



Universidad
de La Laguna

Escuela de Doctorado
y Estudios de Posgrado

TÍTULO DE LA TESIS DOCTORAL

Los materiales de construcción de los clarinetes. Mapa acústico y optimización acústica del clarinete bajo

AUTOR/A

JUAN ANTONIO

SANCHÍS

SANCHIS

DIRECTOR/A

Pompeyo Juan

Pérez

Díaz

CODIRECTOR/A

DEPARTAMENTO O INSTITUTO UNIVERSITARIO

FECHA DE LECTURA

15/01/16

Como director de la tesis doctoral de D. Juan Antonio Sanchis Sanchis D.N.I. 20419212L, titulada *Los materiales de construcción de los clarinetes. Mapa acústico y optimización acústica del clarinete bajo*, hago constar que la misma ha sido realizada según el plan de trabajo que establecimos, con rigor y dedicación y que se han alcanzado los objetivos previstos.

El trabajo llevado a cabo cumple los requisitos científicos y académicos exigibles en una tesis doctoral, es original y aporta nuevos contenidos al tema estudiado, por lo cual confirmo que procede su defensa ante el tribunal correspondiente.

Por todo ello, y para que surta los efectos oportunos emito el presente informe favorable.

En La Laguna, 12 de noviembre de 2015.

Firmado: Dr. Pompeyo Pérez Díaz

Profesor Titular del Departamento de Historia del Arte y Filosofía

Universidad de La laguna

DNI: 42065459T.



Universidad
de La Laguna

TESIS DOCTORAL

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes. Mapa Acústico y Optimización Acústica del Clarinete Bajo.

Autor: Juan Antonio Sanchis Sanchis

Director: Dr. Pompeyo Pérez Díaz

La Laguna, 2015

A Isabel, mi mujer

A Adrián y Raúl, mis hijos

A Ángeles, mi madre

**A Mario, mi padre, a quien de estar con nosotros le hubiera gustado ver este
trabajo terminado**

Agradecimientos

Este trabajo debe su existencia también a una serie de personas que, en mayor o menor medida, han estado colaborando en lo personal y en lo profesional para que pudiese llegar a buen término. Mis disculpas si me he olvidado de alguna de ellas.

Gracias a Pompeyo Pérez, Director de esta Tesis, y a Isabel Antúnez, mi mujer, por la paciencia y la dedicación, más allá de lo que razonablemente se puede pedir.

Gracias a Vicente Pastor por haber inspirado el tema de nuestra Tesis y por haber aportado valiosísima información.

Gracias al Equipo Directivo Conservatorio Superior de Música de Canarias por el préstamo del instrumento con el que se han realizado la grabaciones.

Gracias a Vicente Ferrer por aportar su talento con el clarinete bajo a la hora de hacer las grabaciones de audio.

Gracias al equipo del equipo del Espacio Acústico Virtual, que se ocupó de poner a nuestra disposición la infraestructura y los medios humanos y técnicos para realizar la grabación de los sonidos del clarinete bajo.

Gracias muy especiales a Albert Rice por colaborar haciéndonos llegar información e imágenes a las que no hubiésemos tenido acceso de otro modo.

Gracias a Moisés González y Francisco Perdomo por sus aclaraciones referentes a la acústica.

Gracias a Carlos Fernández por sus sugerencias y por honrarme con su amistad.

Gracias muy especiales a Carmen Río porque suyo es el mérito de las referencias.

Gracias a Manuel, Héctor y Rubén Fernández, Olga Tapia, Daura Carballo, M^a Ángeles Atalaya, Clive Dwyer y muy especialmente a Myriam Pereyra por haber traducido textos y conversaciones fundamentales para esta Tesis.

Gracias a Pedro Rubio por haber aportado información importante para el desarrollo de esta Tesis.

Gracias a todas aquellas personas e instituciones que me han permitido usar imágenes de los instrumentos de su colección o a su cargo.

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
I. CONTEXTUALIZACIÓN Y JUSTIFICACIÓN	1
II. OBJETIVOS	18
III. METODOLOGÍA Y ORGANIZACIÓN	20
IV. ESTADO DE LA CUESTIÓN	23
CAPÍTULO 1	29
1. ORÍGENES, MORFOLOGÍA Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL CLARINETE Y EL CLARINETE BAJO	29
1.1. LOS ORÍGENES	33
1.2. LOS CLARINETES GRAVES	39
1.2.1. EL CLARINETE DE AMOR Y EL CLARINETE ALTO	39
1.2.2. EL <i>CORNO DI BASSETTO</i>	42
1.2.3. EL CLARINETE BAJO	45
1.2.4. CLARINETES CONTRabajOS Y CONTRALTOS.....	47
1.3. MORFOLOGÍA DE LOS CLARINETES BAJOS	49
1.4. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL CLARINETE Y EL CLARINETE BAJO	57
1.4.1. BOQUILLAS	59
1.4.2. ABRAZADERAS.....	70
1.4.3. LENGÜETA	81
1.4.4. BARRILETE	93
1.4.5. TUDEL	101
1.4.6. CUERPOS	104
1.4.7. CAMPANAS.....	125
1.4.8. MECANISMO.....	132
1.4.9. ACCESORIOS	144
CAPÍTULO 2	157
2. ORGANOLOGÍA Y ACÚSTICA.....	157
2.1. FUENTES.....	160
2.2. LA FAMILIA DE LOS CLARINETES.....	164
2.3. LOS CLARINETES TRANSPOSITORES	168

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

Mapa Acústico y Optimización Acústica del Clarinete Bajo.

2.4.	LA INFLUENCIA DEL MATERIAL EN LA ACÚSTICA DE LOS CLARINETES EN GENERAL	178
2.5.	ORGANOLOGÍA DE LOS CLARINETES SOPRANO Y BAJO	182
2.5.1.	LA BOQUILLA	184
2.5.2.	EL TUDEL Y EL BARRILETE	193
2.5.3.	EL DISEÑO DEL TALADRO Y LOS AGUJEROS TONALES	198
2.5.4.	LAS CAMPANAS	228
CAPÍTULO 3		235
3.	MEDICIONES Y ANÁLISIS ACÚSTICOS	235
3.1.	LAS HERRAMIENTAS	238
3.2.	DESCRIPCIÓN DEL CLARINETE BAJO	245
3.3.	FUENTES PARA LAS DIGITACIONES	247
3.4.	NOMENCLATURA DE LAS LLAVES	252
3.5.	EL TUBO EFECTIVO	258
3.6.	LA CUESTIÓN DEL USO DE LAS BOCAS ARTIFICIALES	263
3.7.	ASPECTOS PRELIMINARES A LA GRABACIÓN	273
3.8.	DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO, EQUIPOS Y METODOLOGÍA UTILIZADOS PARA LA GRABACIÓN	276
3.9.	LAS GRÁFICAS	279
3.9.1.	EL OSCIOGRAMA	279
3.9.2.	EL ESPECTROGRAMA	281
3.10.	PROCESO DE OBTENCIÓN DE DATOS	284
CAPÍTULO 4		293
4.	SUGERENCIAS DIDÁCTICAS	293
4.1.	LOS SALTOS ENTRE REGISTROS	295
4.2.	PRODUCCIÓN DE UNA ESCALA AFINADA	305
4.3.	OBTENCIÓN DE LA ESCALA	307
4.3.1.	SISTEMAS DE AFINACIÓN	307
4.3.2.	APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CHLADNI	309
4.3.3.	ORGANIZACIÓN POR OCTAVAS	318
4.4.	LA ESCALA	329
5.	CONCLUSIONES	335

Tabla de Contenidos

6. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	341
7. REFERENCIAS	345
8. ANEXOS	354
ANEXO I (TAMBIÉN EN EL CD)	355
MAPA ACÚSTICO	355
ANEXO II (TAMBIÉN EN EL CD)	643
CUESTIONARIO PARA LOS ESPECIALISTAS	643
ANEXO III (TAMBIÉN EN EL CD)	651
TABLA DE SONIDOS ORDENADOS POR FRECUENCIA	651
A. CON LOS ARMÓNICOS HASTA EL OCTAVO	652
B. SÓLO LA FUNDAMENTAL	660
ANEXO IV (TAMBIÉN EN EL CD)	665
TABLA DIGITACIÓN MARCHI	665
ANEXO V	669
INSTRUCCIONES EXCEL	669
ANEXOS EXCLUSIVAMENTE EN CD	671

INTRODUCCIÓN

I. CONTEXTUALIZACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

De todos los instrumentos de los que consta la familia del clarinete, el clarinete soprano y el bajo son, con diferencia, los más tratados por los estudiosos y, entre estos dos, el soprano está mucho más estudiado que el bajo, tanto en lo que concierne a su origen como a su uso, evolución mecánica de sus llaves, taladros, materiales de construcción, repertorio y últimamente, a su comportamiento acústico. Este último aspecto será tratado ampliamente en dos de los capítulos de este trabajo.

Pero antes de esos capítulos queremos profundizar en otras cuestiones que nos parecen relevantes por cuanto forman parte de la evolución de estos instrumentos. Algo que nos parece que está poco tratado en las diversas fuentes consultadas es el material de construcción con el que se fabrican los clarinetes en general. Lo habitual en estas fuentes es, como mucho y en los casos en que lo hacen, nombrar genéricamente el material con el que se han construido los cuerpos del clarinete soprano (tradicionalmente madera), obviando en ocasiones el hecho de que el clarinete bajo, en la gran mayoría de los casos, dispone de un tudel y una campana metálicos y olvidando en no pocas ocasiones otros materiales utilizados para la fabricación de estos instrumentos.

Con el primer capítulo pretendemos dar, por una parte, un repaso general al origen y a la evolución del clarinete bajo, y, por otra, profundizar en los materiales con los que se pueden fabricar los clarinetes sopranos y bajos. Por lo tanto, abordaremos dicho capítulo recopilando aquella información que nos parezca interesante tanto sobre las formas adoptadas por los instrumentos como sobre su evolución y los materiales constructivos usados a través del tiempo. Creemos que el clarinete bajo, como miembro de la familia del clarinete que es, no puede desligar su evolución de la de este y, por lo tanto, en alguna ocasión haremos referencia a la evolución organológica, materiales empleados y manipulación del clarinete soprano, comparándolos con los del bajo.

En la primera parte del capítulo trataremos de alejarnos de aquellas, llamémoslas genealogías, que hacen retroceder el origen del clarinete hasta los instrumentos más antiguos que, por ser de viento, presentar forma cilíndrica, poseer agujeros para los dedos o utilizar lengüeta para excitar la columna de aire, guardan cierta relación con nuestro instrumento, olvidando quizás que el clarinete introduce una característica acústica que lo hace único y que, si bien coincide con aquellos en la forma, los agujeros o la necesidad de una lengüeta para producir el sonido, su comportamiento acústico lo aleja de estos por cuanto no podrá producir octavas desde su registro fundamental. Este hecho determinará absolutamente su diseño y evolución, además de su particular sonido. Asimismo, como podremos constatar en los siguientes capítulos, las posibilidades de obtener según qué notas con varias digitaciones se multiplica, sobre todo en el registro sobreagudo. La importancia de esa multiplicidad de digitaciones para una misma nota la encontramos en varios aspectos que afectan a la interpretación, como pueden ser la comodidad de cara a resolver un pasaje, la mejora en la afinación, la consecución de un determinado timbre o la facilidad de emisión o respuesta del instrumento.

Siguiendo con el primer capítulo y como hemos sugerido, en este trabajo no pretendemos remontarnos en la explicación sobre el origen del clarinete más allá de su antecedente más inmediato: el *chalumeau*, instrumento que podemos considerar o definir casi como una flauta de pico con boquilla de lengüeta simple. En el primer capítulo explicaremos el modo en el que el *chalumeau* se acaba convirtiendo en un clarinete con las características acústicas que le serán propias desde entonces.

En este punto ya podremos considerar al clarinete como antecedente de los clarinetes graves, incluido entre ellos el clarinete bajo objeto de nuestro estudio. Aquí, por un lado, veremos la variedad de clarinetes graves que se han diseñado para poder afrontar las distintas tonalidades en las que había que tocar, además de buscar el timbre idóneo del instrumento. Además, tendremos la oportunidad de ver cómo los constructores de clarinetes han tenido que echar mano de su ingenio para resolver los problemas que se derivan del mayor tamaño de los clarinetes graves, produciendo

instrumentos que pudiesen ser tocados con comodidad tanto en el seno de una orquesta como de pie o desfilando, pues este era uno de los destinos de algunos de ellos.

De estos clarinetes graves, los que centrarán nuestro interés son los clarinetes bajos y, entre estos, el moderno, pues una parte muy importante del presente trabajo es elaborar un mapa acústico con los sonidos convencionales que es capaz de producir este instrumento.

Esta primera parte del primer capítulo nos mostrará, pues, los orígenes y evolución del clarinete bajo, hasta llegar a los modernos instrumentos que hoy conocemos.

Explicada su evolución morfológica, pasaremos a centrarnos en los materiales de construcción del clarinete y del clarinete bajo, tanto antiguos como modernos. Esta división en sólo dos categorías (por llamarlas de alguna manera) debe su razón de ser a que, por lo general, los clarinetes sopranos y agudos suelen conservar la misma forma, aunque pueda variar su tamaño (más pequeño cuanto más agudo). En cualquier caso, los materiales de las partes que los componen suelen coincidir, siendo la ebonita para la boquilla y la madera para el resto del clarinete (las excepciones se verán en el transcurso del primer capítulo). Los clarinetes graves, al ser más largos, deben incorporar curvas que acorten su longitud total y los hagan más manejables, dando como resultado diversos diseños que se alejan de los empleados en los clarinetes sopranos y agudos. El uso de materiales diferentes para los instrumentos graves viene impuesto por una razón práctica: mientras que a la madera es más difícil darle forma curva mientras se conserva el taladro interior, el metal, mucho más dúctil, ofrece la posibilidad de ser empleado para moldear piezas como los tudeles, codos o campanas mucho más fácilmente, lo cual no significa que estos no se hayan fabricado algunas veces en madera, como veremos.

La importancia que para la acústica de los instrumentos de la familia del clarinete tiene su material constructivo se tratará ampliamente en el segundo capítulo, dedicado a su acústica. En el primer capítulo nos centraremos en describir las

propiedades y características de los materiales empleados en la construcción de cada parte de esos instrumentos.

De esta manera estaremos entrando en la segunda parte de este primer capítulo. En este apartado no se recopilarán todos los elementos en su forma individual porque ocuparían demasiado espacio y, en cualquier caso, tal recopilación no es el objeto central de nuestro trabajo. A modo de ejemplo: no vamos a enumerar todas las abrazaderas que se pueden encontrar en el mercado, pero sí podemos describir su forma o material de manera que sea cual sea la abrazadera que encontremos, responda a los parámetros que describiremos en el primer capítulo.

La novedad que pretendemos aportar con la redacción de esta parte del trabajo es, por un lado, la propia recopilación de los materiales utilizados para fabricar cada parte del clarinete y del clarinete bajo (cuando estos sean diferentes) a lo largo de su evolución, dando cuenta cuando ello sea posible de las razones por las que se usaron. Estas razones, más allá de tener relación con las propiedades y características del propio material pueden haber sido económicas o coyunturales. Por otro lado, el uso de cada material para cada componente concreto del instrumento no es aleatorio: cada material ha de responder a una serie de características que lo hagan idóneo o al menos adecuado para el cometido para el que dicho componente haya sido diseñado.

La organización de esta segunda parte vendrá impuesta por el orden en el que habitualmente se describen las partes del clarinete. De arriba abajo, la boquilla y, dentro de esta, la abrazadera y la lengüeta, el barrilete o en el caso del clarinete bajo, el tudel, los cuerpos superior e inferior y la campana. También analizaremos los mecanismos y accesorios que incorporan los clarinetes sopranos y bajos y que, por insignificantes que puedan parecer algunos de ellos, no dejan de ser imprescindibles para un buen funcionamiento del instrumento. Podemos incluir en el mecanismo todo el sistema de llaves y las piezas que necesita incorporar para el correcto desempeño de sus funciones. Así, consideraremos parte del mecanismo las llaves, las zapatillas, los muelles, los pilares o los distintos tipos de tornillos según su función. Además será conveniente tratarlos por separado porque cada uno estará fabricado en un material diferente.

Dentro del apartado de los accesorios incluimos aquellas piezas que no tienen una función mecánica, sino que están diseñadas para mejorar algunos aspectos, como la comodidad, o tienen una función de ajuste o refuerzo de las distintas partes del instrumento. Los aros de los barriletes y campanas, los corchos de las espigas o los diferentes tipos de apoyapulgares serían ejemplos de accesorios.

En cualquier caso, si cada una de las partes enunciadas es susceptible de estar fabricada en distinto material, no es menos cierto que, si tomamos cada parte por separado, también es posible encontrarla en materiales y calidades diferentes. Como veremos, es una cuestión que se ramifica. A modo de ejemplo, podemos tomar la abrazadera, la cual puede estar hecha de, entre otros materiales, madera o metal. Pero las que están hechas de madera pueden usar ébano, palisandro, brezo... de la misma manera que las de metal pueden usar latón, plata, bronce...

Para completar el capítulo, procuraremos también hablar de la forma que puede adoptar cada parte del clarinete, así como del mecanismo y los accesorios. Con todas estas cuestiones resueltas habremos conseguido resolver uno de los objetivos propuestos para este trabajo, viniendo a solventar una de las –a nuestro juicio– carencias que se suelen dar en otros trabajos y libros en los que, aunque a veces se menciona, no se profundiza en este tema como lo queremos hacer nosotros.

Pasemos ahora al segundo capítulo. Al hilo de lo expuesto anteriormente para el primer capítulo, queremos profundizar en la comprensión de la manera en la que la forma y tamaño que adoptan los clarinetes y especialmente los clarinetes bajos modernos –sobre todo en lo concerniente al diseño y volumen del taladro y los agujeros tonales– afecta a su acústica en cualquiera de sus aspectos: afinación, timbre y respuesta. También los materiales empleados y su tratamiento tendrán su parte de responsabilidad en el sonido obtenido y, por lo tanto, procuraremos dar cuenta de la medida en la que estos influyen. Aunque, más allá de todo lo expuesto, debemos declarar que la acción del intérprete también deberá ser considerada parte muy importante en la producción del sonido y su calidad.

Aclaremos en este punto una cuestión fundamental para la comprensión de la importancia que tiene para nosotros este segundo capítulo: lo que suena en definitiva en nuestro instrumento es la columna de aire contenida en el tubo y consecuentemente, esta adquiere la forma del tubo que la contiene. Así pues, cualquier cambio en la forma de la columna de aire va a llevar aparejado un cambio en el sonido más o menos sutil dependiendo de la profundidad de dicho cambio. Pero el tubo tiene unas dimensiones exteriores y unos materiales constructivos que no afectan a la forma de la columna de aire, que, como hemos dicho, adopta la forma del interior, aunque sí podrían influir en el sonido resultante. Supongamos un elemento constituyente del clarinete o el clarinete bajo, como por ejemplo la boquilla o la campana. Con idéntica forma pero diferente material de construcción, propiedades como la densidad del material usado, su porosidad o su capacidad de refracción, así como el espesor de las paredes, podrían dar como resultado un sonido diferente, si bien no debería ser tan grande la diferencia como lo sería en el caso de cambiar de forma interior, lo que traería como consecuencia la modificación de la columna de aire. El estudio comparativo sistemático de los diferentes materiales escapa a las pretensiones de este trabajo, pero creemos que es bueno saber cómo se ha ido resolviendo este tema a través del tiempo, de la disponibilidad de los materiales y del ingenio de los constructores.

Como ocurría en el primer capítulo, en este también se podrán distinguir varias partes relativamente independientes pero muy relacionadas entre sí. La primera de ellas tiene que ver con la relación entre el volumen de la columna de aire y la frecuencia fundamental del instrumento, esto es, su afinación. En la práctica, esta relación se traduce en dos resultados: si la variación en el volumen de la columna de aire es lo suficientemente grande, el instrumento cambiará de tono, es decir, obtendremos un instrumento transpositor. Si, por el contrario, la variación no llega tan lejos, lo que obtendremos será un instrumento con una afinación ligeramente más alta o más baja que la afinación de referencia, es decir al diapasón.

El primer caso dará pie a que expliquemos el fenómeno de los instrumentos transpositores de los que el clarinete es un gran exponente. De hecho los clarinetes

sopranos y bajos más usados están afinados en Sib y paradójicamente, los sopranos afinados en Do, es decir, los que no son transpositores, tienen relegado su uso a momentos concretos en algunas obras o, últimamente, a servir de instrumento de iniciación a los clarinetistas más jóvenes debido a que su menor tamaño y peso respecto del soprano en Sib lo hace especialmente adecuado para los niños. Además se toca con la misma boquilla que se utiliza en el soprano en Sib, con lo que la adaptación a este cuando crezcan será más fácil.

Pero no son los únicos clarinetes de la familia que son transpositores. En este segundo capítulo haremos un repaso a las diferentes afinaciones que han adoptado los clarinetes para poder tocar en las tonalidades en las que les han escrito los compositores. Explicaremos el motivo por el que se crean y también las circunstancias que hacen que la mayoría de ellos haya caído en desuso o tenga un uso relativamente limitado.

En el segundo caso, aquel en el que la afinación varía ligeramente y no da lugar a un instrumento transpositor, pueden estar incluidos todos los instrumentos independientemente de si son transpositores o no. Podemos hacer dos distinciones: la afinación general o la puntual. Nos referiremos a la afinación general cuando el tubo esté diseñado para que la frecuencia de una nota concreta (que dependerá de la transposición del clarinete¹) coincida con la frecuencia de referencia (habitualmente La = 440 o 442 Hz). Los fabricantes intentarán que las demás notas del clarinete estén afinadas temperadamente a partir de esa. Con afinación puntual nos referiremos a la que, independientemente de la general, tengan algunas notas que se desviarán de la afinación general quedando ligeramente altas o bajas, porque, pese a los esfuerzos de los fabricantes, los instrumentos de la familia del clarinete, por sus características acústicas, tienen defectos de afinación que tendrán que ser solucionados por el intérprete, bien modificando la embocadura, bien aplicando digitaciones especiales que compensen las desviaciones.

¹ Si el clarinete está afinado en Do, o sea, no es transpositor, la nota de referencia será también el La.

Paralelamente a la afinación, iremos indagando cómo los materiales y las formas de los distintos componentes del clarinete provocan variaciones en la respuesta y timbre de este. La información sobre estas cuestiones la hemos podido encontrar, además de en las habituales fuentes bibliográficas, en las respuestas que nos han proporcionado personas vinculadas a la producción, comercialización o reparación de clarinetes y clarinetes bajos. Información de primera mano, en definitiva, obtenida de aquellos que mejor conocen estos instrumentos musicales.

Otra parte de este capítulo tratará de explicar detalladamente las características del taladro y los agujeros tonales del clarinete y el clarinete bajo y señalar sus similitudes y sus diferencias, pues, pese a lo que pudiera parecer, el clarinete bajo no es exactamente una réplica a mayor tamaño del clarinete soprano. Así, no sólo lo más evidente –el tudel y la campana curvos- sino también la mayor longitud relativa del tubo para poder obtener las notas más graves o la inclusión de, al menos, otra llave de registro hacen que el taladro del clarinete bajo necesite otro tratamiento diferenciado del aplicado al clarinete soprano si queremos conseguir un buen comportamiento acústico.

Podremos ver también las rectificaciones que se le pueden hacer al tubo y los agujeros tonales para conseguir mejor afinación, timbre o respuesta del instrumento. Pero también se advertirá de cómo cualquier modificación puede afectar a otros aspectos, de manera que habrá que ir con cuidado para que las mejoras en un aspecto no vayan en detrimento de otro. Como hemos apuntado más arriba, estas modificaciones podrán afectar a la afinación general del instrumento o a la afinación de una o varias notas. Podemos aplicar lo dicho hasta aquí a la respuesta o el timbre. Siempre habrá que buscar un equilibrio entre lo que se gana y lo que se pierde en cada modificación.

Haremos también un somero repaso a las soluciones que algunos constructores de instrumentos han ideado y aplicado a los clarinetes y clarinetes bajos a lo largo de su evolución en forma de modificaciones en el taladro, inclusión de nuevas llaves de registro y nuevos posicionamientos o accionamientos de estas. También las campanas, los barriletes especiales -por su taladro o por ser extensibles- o los cuerpos con sistemas

telescópicos de ajuste, serán algunas de las propuestas de los fabricantes para tratar de mitigar en lo posible las deficiencias acústicas del instrumento.

Debemos tener en cuenta que habitualmente el músico se preocupa mucho más de resolver los problemas de ejecución e interpretación de la música que de averiguar qué fenómenos acústicos afectan a esa misma ejecución. Entendemos que comprender estos fenómenos nos colocaría en una mejor posición de cara a resolver dichos problemas, pero estos fenómenos se suelen estudiar en un ámbito bastante diferente: la Física y, dentro de esta, la Acústica. En este punto debemos agradecer la aportación de Pastor (2005), quien elaboró una tesis que inspira y guía el presente trabajo, el cual pretende ampliarla aplicando al clarinete bajo la metodología utilizada por Pastor, empleando los nuevos programas informáticos a nuestro alcance, así como la última bibliografía disponible sobre el tema que nos ocupa.

La pretensión de este trabajo es, sobre todo, la de ser útil al intérprete, y hemos encontrado en el trabajo de Merino y otros (2012) una buena referencia estilística y conceptual de cómo explicar las cosas lo más inteligiblemente posible. Así pues, este trabajo pretende explicar de manera asequible al músico que no tenga demasiados conocimientos sobre acústica, los principios acústicos relacionados con el clarinete bajo y mostrar gráficamente los sonidos, además de mostrar en tablas los datos de frecuencia en hertzios y amplitud en decibelios de cada armónico. Sin perjuicio de lo asequible que pretende ser este trabajo, queremos que este sea riguroso en la exposición de los contenidos, pero sin necesidad de entrar en el lenguaje matemático propio de la Física y la Acústica. Intentaremos entonces reducir al mínimo la inclusión de fórmulas matemáticas y al mismo tiempo procuraremos exponer lo más claramente posible las consecuencias que estas tienen en los sonidos obtenidos.

En cualquier caso, hay una serie de datos y conceptos físicos expresados en fórmulas matemáticas que son inamovibles y que ya quedan reflejados en Pastor (2005), Nederveen (1998), Benade (1976/1990) o Wright (2009), por ejemplo. Pero pensamos que la comprensión de estos es más asequible para personas con conocimientos de física. Para aquellos que no los tengan, creemos que las explicaciones que se dan en este

capítulo serán suficientes para entender los fenómenos acústicos que atañen a nuestro instrumento.

Después de haber visto cómo los distintos materiales y las dimensiones de los diferentes componentes de los instrumentos de la familia del clarinete influyen en su acústica, podremos adentrarnos en el tercer capítulo, en el que queremos explicar pormenorizadamente el proceso de grabación de los sonidos que más tarde conformarán el mapa acústico del clarinete bajo. El mapa acústico consiste en una serie de fichas en las que se recogen las características de los sonidos previamente grabados. Los diferentes programas informáticos de edición harán posible tanto el tratamiento de los datos como su representación en imágenes y tablas.

Para la elaboración de este tercer capítulo vamos a partir de la premisa de que el material necesario para la existencia de la música es el sonido. Puede que haya otras consideraciones que amplíen esta premisa, como pueden ser la validez del ruido o el silencio como material musical, la discutida necesidad de la organización de los sonidos para que la música pueda ser considerada como tal o la necesidad no sólo de emisor sino también de transmisor y receptor para que haya sonido, pues este se define por ser una sensación subjetiva producida tras la excitación de nuestro oído gracias a las ondas de presión producidas por la vibración de un cuerpo.

En nuestro caso, es este último aspecto del sonido el que más nos interesa en la realización de este trabajo, pues se va a estudiar la acústica del clarinete bajo para poder elaborar su mapa acústico. Así pues, se hará necesario el estudio de parte de los sonidos que este es susceptible de emitir. Para este estudio en particular, se han rechazado los sonidos, ruidos si se quiere, procedentes de llaves, soplo de aire en el tubo y similares, así como sonidos multifónicos. Nos quedan entonces los sonidos convencionales a los que aplicaremos el análisis que dará por resultado el mapa acústico del clarinete bajo.

La práctica interpretativa del clarinete requiere, entre otros recursos, de un amplio conocimiento de un conjunto de digitaciones alternativas que permita resolver

algunos pasajes atendiendo a diversos factores como pueden ser la facilidad de digitación, la correcta afinación, el timbre o la facilidad de emisión.

Aparte, evidentemente, de la propia búsqueda personal, las fuentes de donde podemos obtener estos conocimientos pueden encontrarse en cualquier persona que nos oriente -normalmente el profesor- o en formato bibliográfico, habitualmente estudios. Entre estos se pueden distinguir aquellos en los que hay una referencia a una nota en concreto en un pasaje determinado y los que ofrecen tablas de digitaciones más o menos completas pero que no suelen incluir ejemplos de pasajes en donde usarlas. Asimismo, esta bibliografía se puede encontrar tanto en papel como en formato digital.

No podemos entrar a considerar la labor de la persona que nos oriente, puesto que su información puede venir condicionada no sólo por sus propios conocimientos sino también por la capacidad de comprensión del alumno. Pero sí podemos hacerlo con la bibliografía, donde es poco habitual encontrar indicaciones del porqué de la digitación sugerida. Es curioso constatar que, en los casos que conocemos, los estudios que aplican digitaciones a notas concretas de pasajes concretos no aportan ninguna explicación, con lo cual, y a la vista de cómo resulte la nueva digitación, extraeremos la conclusión pertinente. Por otro lado están las tablas de digitaciones, que muestran, en el mejor de los casos, alguna información sobre el resultado de su uso, tal como la afinación o la facilidad de emisión, pero sin entrar a sugerir algún pasaje donde sea conveniente su aplicación.

En nuestro estudio nos hemos ceñido a las encontradas en dos fuentes especializadas que nombraremos en su momento y aun así, para los sesenta y tres sonidos convencionales que componen la escala que puede dar el clarinete bajo utilizado para nuestro estudio, hemos encontrado doscientas ochenta y cinco digitaciones diferentes y seguro que se pueden encontrar algunas más añadiendo o

quitando algunas llaves, o tapando o destapando algunos platos² para mejorar la afinación, el timbre o la respuesta.

Tener tantas opciones puede parecer a primera vista algo molesto y engorroso, pero la verdad es que resulta muy útil cuando se trata de encontrar una digitación que facilite un pasaje, nos ofrezca un determinado timbre o nos procure una respuesta o una emisión más fácil. La elección y el uso que hagamos de las digitaciones alternativas dependerá de las necesidades interpretativas de cada momento.

Profundicemos más en el tema que nos ocupa: hay tablas de digitaciones que apenas sugieren entre una y tres digitaciones para una misma nota, pero otras pueden llegar a superar las quince sugerencias y es entonces cuando nos preguntamos cómo se originan, es decir, qué razón puede haber para encontrar tan elevado número de posibilidades.

La razón de tantas posibilidades de digitación se debe al particular funcionamiento acústico del tubo del clarinete, el cual se comporta como un tubo cilíndrico sin ser cilíndrico totalmente ni exactamente cerrado. El número de posibilidades es mucho mayor en el registro sobreagudo, el cual se puede obtener a partir de armónicos de diversas fundamentales. El clarinete bajo, por su mayor longitud y diámetro de tubo, ofrece más amplitud de registro que el clarinete soprano, quedando en cinco octavas más una segunda mayor, no sólo hacia notas más graves con la extensión del tubo, sino en el registro sobreagudo.

La resolución de problemas de índole acústica en todos los instrumentos de la familia del clarinete, se ha hecho tradicionalmente de manera empírica, usando el método de ensayo-error y aplicando cierta lógica, aunque desconociendo, a veces, las razones que hacen que esa lógica funcione. De un tiempo a esta parte se ha venido investigando sobre la acústica de los instrumentos desde un punto de vista científico, dando una respuesta fundamentada a esa práctica.

² Los platos son piezas metálicas redondas que disponen de zapatillas para tapar los agujeros tonales correspondientes a los dedos, pero que estos no pueden cubrir debido a su tamaño y posición.

Por otra parte, la informática nos ha suministrado programas capaces de mostrar de manera gráfica la forma de la onda de los sonidos así como su espectrograma, es decir, un diagrama que muestra las amplitudes relativas de las diferentes frecuencias componentes de un sonido.

El tercer capítulo estará dedicado a explicar el proceso de grabación de los sonidos del clarinete bajo, así como su tratamiento y la posterior muestra de los datos obtenidos sobre una serie de fichas (una por sonido y digitación) que servirán para conformar el mapa acústico del clarinete bajo. Lo haremos describiendo el proceso tan detalladamente como sea posible, con la intención de que pueda servir a otros en el mismo cometido y diferente –o similar- objeto de estudio. Como parte del proceso describiremos los parámetros a tener en cuenta en la recogida y muestra de los datos, así como las herramientas utilizadas para ello. Algunas de estas herramientas han sido creadas para la ocasión por nosotros mismos, como el diagrama modificable de la digitación, la tabla de tubo efectivo, la tabla explicativa del funcionamiento de las llaves y platos o la tabla comparativa de nomenclaturas.

La primera herramienta de la que hablamos será un diagrama con la representación esquemática de los agujeros/platos y llaves del clarinete bajo, que necesitábamos para reflejar las digitaciones de cada sonido. El diagrama tenía que ser susceptible de ser modificado para podernos permitir relacionar cada digitación con su sonido. Como no pudimos encontrar ninguno con esas características, tuvimos que crearlo.

La tabla de tubo efectivo y la tabla explicativa del funcionamiento de las llaves y platos serán de interés para comprender la relación entre lo que parece que sugiere una digitación concreta y la disposición real de los agujeros abiertos y cerrados en el tubo que queda con la aplicación de esa digitación.

Dada la variedad de nomenclaturas que se le puede dar a los platos y las llaves que podemos encontrar en las diferentes fuentes consultadas, también hemos elaborado una tabla comparativa en la se muestre la relación entre cada nomenclatura. Asimismo,

explicaremos el criterio que fundamenta cada nomenclatura, así como el criterio seguido para elegir la que utilizaremos en nuestro estudio. Con esta tabla podemos facilitar el trabajo de otros estudiosos, al tener en el mismo documento la traducción entre nomenclaturas, por llamarla de alguna manera.

Metidos ya de lleno en la grabación de los sonidos, describiremos el entorno, equipos y metodología utilizados para la grabación, con la misma intención que venimos mostrando: allanar el camino a quien quiera realizar un estudio de este tipo, aportando el conocimiento de los recursos que han hecho posible el nuestro.

Haremos un inciso durante el capítulo para argumentar las razones por las que no hemos utilizado una boca artificial. Nos parece importante esta cuestión porque parece ser un recurso cada vez más empleado para hacer mediciones acústicas, pero a nuestro parecer, y sin desmerecer las virtudes que estos dispositivos atesoran, nos decantamos por un intérprete real. Como hemos dicho, los argumentos se darán en el tercer capítulo.

Con los sonidos ya grabados, procederemos a obtener los datos que irán a formar parte del mapa acústico. A través del tratamiento de la grabación por medio de un programa de edición de sonido, podríamos lograr las dos gráficas que nos interesaban: la que representaba el oscilograma, que nos mostrará la forma de onda del sonido, y el espectrograma, que nos mostrará su composición armónica. Describiremos en ese punto los parámetros necesarios que se deben tener en cuenta en la configuración del programa para la posible réplica de un trabajo similar al nuestro y los detalles a los que poner cuidado en el tratamiento de los datos para evitar pérdidas de tiempo por errores en las dimensiones de las gráficas.

El siguiente capítulo, el cuarto, estará dedicado a explicar cómo podemos sacar provecho de lo estudiado hasta el momento. Durante nuestra labor docente y fijándonos también en nuestra propia práctica y estudio diario, hemos podido constatar que algunos de los problemas que suelen tener los alumnos o nosotros mismos al abordar el estudio en ciertos registros o al pasar de un registro a otro, se producen en no pocas ocasiones

por una falta de conocimiento del funcionamiento acústico del clarinete y el clarinete bajo. Así pues, creemos que la comprensión de este funcionamiento puede ayudar a ejecutar algunos pasajes mucho más fácilmente de lo que suele ser habitual.

Aprovecharemos las diferentes gráficas y tablas insertas en las fichas del mapa acústico para comprender e ilustrar mejor cómo el conocimiento de la acústica del instrumento nos puede ayudar.

En este capítulo no pretendemos agotar todas las posibilidades que nos podríamos encontrar durante nuestro estudio o interpretación de piezas musicales. Más bien intentaremos dar algún ejemplo lo suficientemente ilustrativo del hecho que estudiamos, para que pueda ser aplicado a cada circunstancia concreta.

Una pequeña reseña sobre las afinaciones utilizadas a lo largo de la historia nos permitirá introducir la siguiente sección de este cuarto capítulo, en la que vamos a elaborar la escala más afinada posible con los sonidos grabados. Los datos mostrados en las distintas fichas del mapa acústico nos servirán para saber qué sonido escoger entre todos los posibles cuando haya más de una digitación por sonido. Los resultados para un caso concreto -en el que se tomará la frecuencia de la nota más grave- se mostrarán como una escala completa en la que se relacionará cada nota con la digitación que la produce.

En cualquier caso, para llegar hasta ese punto habrá que realizar todo un proceso que incluirá la elaboración de una tabla que, desechando los armónicos del 2 al 8, sólo contendrá las frecuencias fundamentales de todos los sonidos grabados. Esta tabla, que se ordenará por frecuencias de menor a mayor para que resulte fácil de manejar, conservará para cada frecuencia el número de sonido al que pertenece.

Paralelamente a lo anterior, describiremos con detalle el procedimiento para obtener todas las frecuencias temperadas a partir de la de un sonido concreto. En nuestro caso, y como hemos indicado más arriba, hemos usado como frecuencia básica la del sonido más grave, pero, gracias a la ayuda de una hoja de cálculo, podremos utilizar como referencia cualquier frecuencia que queramos, de manera automática. En

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

la hoja de cálculo hemos introducido las fórmulas pertinentes para que, con sólo introducir la frecuencia deseada en la celda correcta, se calculen todas las demás automáticamente. Como parte de este trabajo aportaremos este archivo en un CD adjunto.

Los resultados obtenidos se compararán en una serie de tablas (una por cada octava) en la que conste la frecuencia temperada en una fila y la experimental en otra, más una tercera fila en la que se indique el número de sonido al que pertenece cada frecuencia experimental. Las digitaciones que produzcan las frecuencias más cercanas a la frecuencia temperada serán las que utilizemos para formar nuestra escala.

Además de la descripción de todo el proceso, procuraremos explicar a modo de ejemplo, las peculiaridades que nos iremos encontrando referidas a la afinación o el timbre de algunos de los sonidos de esa escala.

La redacción de las conclusiones y la sugerencia de nuevas líneas de investigación cerrarán este trabajo.

Independientemente de que puedan ser mostrados en papel o no, incluiremos todos los anexos en un CD para mayor comodidad de consulta y uso. En los anexos podremos encontrar:

- el mapa acústico del clarinete bajo, con doscientas ochenta y cinco fichas (papel y CD)
- dos tablas de sonidos ordenados por frecuencia, una de ellas con todos los armónicos incluidos hasta el octavo y otra solamente con la frecuencia fundamental (papel y CD)
- el cuestionario que se planteó a diversos especialistas para obtener información (papel y CD)
- la tabla de digitaciones del clarinete sistema Marchi (papel y CD)
- la hoja de cálculo que servirá para averiguar las frecuencias temperadas a partir de una de referencia (exclusivamente en CD)

- el diagrama editable y modificable de las llaves y agujeros/platos del clarinete bajo (exclusivamente en CD)
- los archivos de los sonidos grabados del clarinete bajo, que se incluyen porque son archivos de audio que no pueden ir en papel, obviamente (exclusivamente en CD)
- el oscilograma de cada sonido, incluidos por ser archivos digitales de mapa de bits y así se pueden seleccionar independientemente para poder ser comparados (exclusivamente en CD)
- el espectrograma de cada sonido, por el mismo motivo anterior (exclusivamente en CD)

Terminamos aquí la contextualización y justificación, esperando que haya sido de ayuda para comprender los motivos por los que se ha elegido este tema y el modo en el que se organizará este trabajo.

II. OBJETIVOS

Este trabajo pretende ser útil, sobre todo pero no únicamente, al intérprete del clarinete bajo, poniendo a su disposición una serie de herramientas, conocimientos y datos que le puedan resultar de ayuda de cara a resolver cuestiones relativas a la afinación, la respuesta o el timbre de su instrumento. No obstante, hay cuestiones que se pueden aprovechar para ampliar el conocimiento sobre ciertos aspectos que comparten con el clarinete soprano –como en el caso de los materiales de construcción- o que pueden resultar comparables para averiguar hasta qué punto los parámetros de diseño pueden ser divergentes –como es el caso del diseño interior del tubo, por ejemplo-, aunque busquen el mismo objetivo: buscar el equilibrio entre la mejor afinación, timbre y respuesta del instrumento.

Teniendo en cuenta lo mencionado hasta el momento, los objetivos de este trabajo son:

1. Realizar un compendio exhaustivo de aquellos materiales que han servido para la fabricación de cada componente de los clarinetes y clarinetes bajos, así como la descripción de las características que los hacen aptos para el desempeño de sus funciones o las circunstancias que han contribuido a su éxito. Este objetivo va a representar una novedad, dado que, hasta donde hemos podido indagar, no hemos encontrado ningún otro estudio que trate el tema como nosotros lo hacemos.
2. Identificar, a nivel organológico, las similitudes y diferencias entre los diseños del clarinete soprano y del clarinete bajo. La novedad residirá en plasmar las características diferenciales del bajo, pues las del soprano están más estudiadas.
3. Elaborar el mapa acústico del clarinete bajo con aquellos sonidos susceptibles de ser emitidos por este instrumento. La novedad será esta vez el objeto de estudio, pues para el soprano ya se ha hecho (Pastor, 2005) y para el bajo ha habido un tímido intento por parte de Richards

(s.f.), pero que no llega a la profundidad a la que pretende llegar este trabajo.

4. Aportar sugerencias de realización -aplicando el conocimiento adquirido aquí sobre las características acústicas del clarinete bajo- que puedan servir para la mejor ejecución de los sonidos de ciertos registros o para la interpretación de pasajes que contengan notas de diferentes registros.
5. Elaborar la escala más afinada posible que se pueda dar con los sonidos obtenidos en la grabación, eligiendo los sonidos más cercanos a los de la frecuencia temperada para un sonido de referencia dado.

III. METODOLOGÍA Y ORGANIZACIÓN

Tendremos que usar varios tipos de metodología para la realización de este trabajo. En los primeros dos capítulos se recurrirá a la metodología documental, en el tercero a la cuantitativa y experimental, y acudiremos a la cualitativa en aquellos casos en los que se solicite la entrevista a personas especializadas en los temas que trataremos.

Aparte de consultar bibliografía referente a la propia metodología que nos ayude a organizar un trabajo coherente, para la realización de este trabajo será necesario reunir bibliografía que atienda a varios aspectos: la bibliografía referente al primer capítulo tendrá que ver, por un lado, con los antecedentes del clarinete bajo y con las formas que ha adoptado este a lo largo de su evolución. Por otro lado, la parte más novedosa de este primer capítulo no tiene, evidentemente, una bibliografía específica como tal que la sustente, sino que hemos tenido que buscar los datos sueltos en páginas especializadas y darles coherencia y sentido.

La metodología en este segundo caso ha sido buscar, en no pocas ocasiones y además de la bibliografía en papel, diversas fuentes en internet de las que obtener y contrastar información. Por las características de este primer capítulo, las imágenes que hemos podido encontrar sirven para exponer de un vistazo las principales características de los elementos estudiados. Pero no hemos querido convertir el capítulo en un catálogo de instrumentos o accesorios, sino mostrar las formas y materiales básicos con los que nos podemos encontrar.

Aparte de las fuentes directamente relacionadas con la música o los instrumentos musicales, hemos recurrido a aquellas especializadas en las materias primas con las que terminarán fabricándose los diferentes instrumentos de la familia del clarinete, como las diferentes maderas, metales o materiales sintéticos. Asimismo, estas indagaciones nos darán las pistas necesarias para entender el porqué del uso de según qué materiales en determinados componentes o partes del instrumento.

Los instrumentos de la familia del clarinete están lejos de estar perfectamente afinados y su respuesta y su timbre no son todo lo homogéneos que desearíamos. El

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

Mapa Acústico y Optimización Acústica del Clarinete Bajo.

segundo capítulo nos dará la oportunidad de adentrarnos en su organología y funcionamiento acústico para fundamentar científicamente las anomalías en la afinación, respuesta y timbre y conocer cómo los fabricantes intentan solucionarlas introduciendo modificaciones en el tubo.

Para el segundo capítulo, además de acudir a la cada vez más abundante bibliografía sobre la acústica del clarinete soprano, hemos encontrado en internet un valiosísimo aliado a la hora de entender los fenómenos físico-acústicos que se dan en los instrumentos musicales en general y en los de viento en particular, centrandolo nuestro mayor interés en los tubos sonoros que funcionan como el del clarinete: los cilíndricos cerrados. Las simulaciones dinámicas como, por ejemplo y entre otras, las de Russell (2014) y Wolfe (s.f.) han sido fundamentales en este sentido.

No han sido ajenas a este capítulo las entrevistas a especialistas en la materia, como fabricantes, diseñadores o reparadores de clarinetes y clarinetes bajos, tanto en persona como utilizando el correo electrónico, el teléfono o el software de comunicación Skype. Las respuestas dadas han servido para entender parte de la organología de los clarinetes sopranos y bajos y mostrar parte de esos conocimientos en este segundo capítulo.

El tercer capítulo de este trabajo albergará otra de las novedades que queremos presentar: el mapa acústico del clarinete bajo. Como el trabajo pretende ser punto de partida de otros trabajos similares, se explicará todo el proceso lo más detalladamente posible, empezando por las propias condiciones de la grabación, el modo en que se ha usado cada programa de edición y las herramientas utilizadas para fijar los datos en el mapa acústico que pretendemos elaborar. Explicaremos someramente la metodología que utilizaremos: grabaremos los sonidos que producen las distintas digitaciones en las mejores condiciones acústicas que podamos encontrar y los someteremos a un programa editor digital de audio.

Para ello, será fundamental que el programa informático al que recurramos nos permita representar los oscilogramas y los espectrogramas de los sonidos grabados.

Hemos encontrado en el programa WaveLab Demo de Steinberg las prestaciones que necesitábamos para este cometido. Un programa de edición de fotos nos permitirá comparar las diferentes gráficas. Para esta función nos puede servir el visualizador de fotos de Windows. Estas gráficas formarán parte del mapa acústico. Usaremos el programa Paint de Microsoft Windows para editar las gráficas y los diagramas de las digitaciones y poderlas montar en una hoja de Word. De hecho, los diagramas del mecanismo del clarinete los crearemos desde cero, puesto que no hemos encontrado ninguno que nos pudiera servir.

Los datos de los espectrogramas que nos interesan para mostrar en las fichas del mapa acústico serán la frecuencia, medida en hertzios (Hz), y la intensidad, medida en decibelios (dB), de los ocho primeros armónicos de cada sonido. Mostraremos los datos en una tabla Excel de diseño propio que nos facilitará su estudio.

El cuarto capítulo servirá para que, aplicando en la práctica lo aprendido en cuanto a funcionamiento acústico del clarinete bajo, podamos mejorar nuestra interpretación con el instrumento. Asimismo se sugerirá un método para elaborar escalas afinadas conforme a una frecuencia de referencia.

Para poder tratar y reflejar los datos que se muestran en este trabajo se han tenido que elaborar una serie de herramientas que forman parte de la Metodología y que se explicarán en el capítulo correspondiente.

También sería muy útil poder enlazar con vídeos o gráficas dinámicas que ayuden a comprender mejor los conceptos. Pero esta última cuestión es, obviamente, imposible trasladarla a papel.

IV. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Podemos distinguir en nuestra bibliografía entre fuentes que atienden al clarinete en sus múltiples aspectos (historia, evolución, organología, acústica...), otras dedicadas a la Acústica como rama de la Física y otras que tratan de la Acústica Musical. También encontramos bibliografía específica sobre el clarinete bajo y sobre la acústica del clarinete, pero no sobre la acústica específica del clarinete bajo.

Entre las fuentes en las que hemos buscado información sobre el clarinete y el clarinete bajo para realizar nuestro trabajo podemos encontrar métodos de estudio, tablas de digitaciones, conocimiento y estudio de técnicas avanzadas, acústica, interpretación, estudio del repertorio orquestal y solístico y cuestiones referentes a la historia, evolución, organología y familia del clarinete. En general, la información contenida sobre el clarinete bajo en esta bibliografía se reduce a mencionarlo como parte de la familia del clarinete. En otros la información se amplía hablando de sus orígenes y uso en las bandas u orquestas.

A modo de ejemplo de lo anterior, podemos encontrar entre la bibliografía a Brymer (1976), quien escribe, entre otros aspectos, sobre la historia, el desarrollo y la acústica del clarinete, fijándose en la importancia de la boquilla y la caña, el comportamiento de las ondas en el tubo, la serie de los armónicos y una serie de digitaciones correctoras para mejorar la afinación o respuesta de algunas notas. En cualquier caso, no habla del clarinete bajo si no es como integrante de la familia. Otro libro que podemos citar aquí es el de Dangain (1978), en el que, entre referencias a la historia, desarrollo, escuelas clarinetísticas, biografías y otros contenidos muy interesantes pero que no se relacionan con nuestro trabajo, encontramos una breve referencia al clarinete bajo hablando de su inclusión en la orquesta. En este libro, a diferencia del anterior, no encontraremos nada sobre acústica, ni general ni específica sobre el clarinete. Podremos encontrar en la bibliografía otros títulos que albergan otros contenidos similares a los comentados. Entre los autores españoles, libros como los de Vercher (1983) o Gil (1991) nos ofrecen una visión general del clarinete en la que hay apartados específicos que tratan, entre otros temas, la acústica del clarinete a nivel

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

Mapa Acústico y Optimización Acústica del Clarinete Bajo.

básico o una pequeña introducción a la historia y desarrollo de la familia del clarinete que, a veces, incluye la del bajo. Tesis, artículos o libros como los de Fernández Vicedo (2010), Álvarez Martínez (1996) o Gil (2011), nos ilustran sobre la trayectoria del clarinete, sus intérpretes y su repertorio en España. Otras, como las de Rodríguez Lorenzo (2009) o Veintimilla (2002), se centran en intérpretes españoles que han trascendido esa faceta para adentrarse en terrenos como la docencia o la composición (como es el caso de Miguel Yuste), o además de los anteriores, la edición o la creación de un nuevo sistema de clarinete (como es el caso de Antonio Romero). La tesis de Fernández Cobo investiga la influencia que la metodología europea del clarinete tendrá sobre el *Método Completo para Clarinete* de Antonio Romero. Otros trabajos de temática más cercana a la nuestra son el trabajo de máster de Bautista (2008) o la tesis y el consiguiente libro de Pastor (2005; 2010).

Libros que pueden atraer más nuestra atención porque se refieren más específicamente al clarinete bajo son los de Rice (2009) o Sparnaay (2011). La obra de Rice (2009) nos parece especialmente interesante para sustentar parte del apartado de organología de nuestro trabajo por cuanto nos proporciona valiosa información sobre el origen del instrumento y su evolución hasta 1860. Probablemente es el libro más completo y el que con mayor profundidad trata la historia, constructores, intérpretes y música escrita para los instrumentos de la familia de los clarinetes graves. Por otra parte, no ofrece ninguna información sobre acústica, al menos como pretendemos estudiarla. Sparnaay (2011) nos ofrece, entre otras cosas, la historia del clarinete bajo hasta nuestros días, además de un apartado para repertorio, clarinetistas, compositores e incluso páginas web interesantes para los intérpretes o estudiosos de clarinete bajo. Como en anteriores casos, no entra en el estudio acústico del instrumento del modo en el que vamos a entrar nosotros. Rubio (2004; 2007) ofrece dos libros con estudios para clarinete bajo, clarinete contrabajo, clarinete di *bassetto* y *corno di bassetto*, que están pensados para mejorar la práctica del instrumento. Mención aparte merece el libro de Bok y Wendel (1989), porque nos ha servido para obtener parte de las digitaciones que hemos usado en el trabajo.

En cuanto a la bibliografía sobre Acústica General, hay que decir que está escrita para personas con conocimientos de Física, con un lenguaje conceptual habitualmente muy técnico y que, por no ser nuestra especialidad, a veces nos cuesta seguir los razonamientos. En cualquier caso, nuestro interés se centra en Acústica Musical o sobre instrumentos musicales. En este apartado hemos encontrado material con distintos niveles de profundidad conceptual, de manera que hemos podido adentrarnos poco a poco en ese mundo sin que resulte demasiado traumático. Además, gracias a páginas web especializadas, hemos podido aprender cómo funciona la física, sobre todo en los tubos sonoros, de una manera muy didáctica, al emplear modelos dinámicos en las explicaciones.

Un ejemplo de este tipo de libros es el de Benade (1976/1990), quien nos introduce en multitud de aspectos sobre la Acústica Musical, con apartados específicos referidos a cada familia de instrumentos. De este libro nos interesará, además de las cuestiones generales sobre la acústica en general, la específica de los tubos sonoros. También las obras de Campbell y Greated (1987) y de Fletcher y Rossing (1998) nos procurarán inestimable información, con el valor añadido de estar escritas en un lenguaje, aunque riguroso, más asequible para los no especialistas en Física. Helmholtz (1954), por su parte, nos servirá de ejemplo de cómo se empezó a estudiar sistemáticamente la acústica de los instrumentos musicales.

Escritos en castellano encontramos los libros de Merino (2007), que trata de la Acústica en general, con referencias en algunos apartados al clarinete tipo o sea, al soprano, no al bajo, y de Merino y otros (2012), que hemos elegido para la mejor comprensión de conceptos acústicos y sobre todo por su estilo de redacción, muy claro. Dirigido a estudiantes de Secundaria y de la asignatura de Acústica y Organología de Conservatorio, plantea las explicaciones de manera muy inteligible. Las unidades se dividen en dos partes: Material del Profesor, que contiene la selección y relación de contenidos (plasmados en un mapa conceptual) y Material del Alumno, que ofrece los contenidos, propuestas de actividades, esquemas e imágenes que ayudan a la comprensión de muchos conceptos.

Precisando más la bibliografía, pasamos a abordar algunas de las fuentes que se refieren a la acústica del clarinete en concreto. Gibson (1998) es un tratado que se ocupa de forma específica de la acústica del clarinete con un enfoque eminentemente didáctico. Wolfe (2002), por su parte, realiza un formidable estudio sobre la acústica del clarinete mediante el cálculo de la impedancia de entrada en el instrumento y su espectro sonoro. Este trabajo lo encontramos en internet y nos proporciona, además de la información por escrito, una serie de diagramas y animaciones que nos permitirán entender mucho mejor los fenómenos acústicos que acontecen en el clarinete.

El trabajo de máster de Bautista (2008) trata sobre las diferencias en la percepción del sonido dependiendo del material de construcción del clarinete. A pesar de las interesantes conclusiones a las que llega, no podremos aplicar su metodología en el presente trabajo, porque en la parte experimental nosotros no cambiaremos de material.

El libro de Pastor (2010) constituye el resumen de su tesis doctoral (Pastor, 2005). Ambas obras son, por los objetivos que proponen, las que mayor relación guardan con nuestro trabajo. De hecho, nuestra tesis pretende tomar ejemplo de ella y ampliar el mapa acústico propuesto por aquella al clarinete bajo. Aunque ciertos aspectos de los trabajos de Pastor (2005; 2010) son, por su carácter histórico o físico, inamovibles, otros –los que tienen que ver con la parte experimental del estudio– creemos que serán de gran originalidad en nuestro trabajo, porque los propios datos acústicos conseguidos se referirán a los sonidos obtenidos del clarinete bajo, el tratamiento de los datos se procesará con otros programas y se expondrán con otro formato. Por otra parte, evidentemente, la parte referida a la organología del instrumento describirá la del clarinete bajo, objeto de nuestro estudio.

También hemos encontrado estudios sobre aspectos muy concretos relacionados con la acústica del clarinete en la revista JASA³. Entre los temas más destacados figuran, por ejemplo, las vibraciones de la caña y su repercusión en la columna de aire

³ *Journal of the Acoustical Society of America*

(Backus, 1961; McGinnis y Gallagher, 1941; Obataya y Norimoto, 1999; Thompson, 1979), la interacción del tracto vocal en la frecuencia del sonido del clarinete (Fritz y Wolfe, 2005; Guillemain, 2007), o los estudios sobre el taladro o la columna de aire del clarinete (Nederveen y Dalmont, 2012; Werschnik, 1982). Hay otros libros y artículos que tratan una parte de la acústica que afecta a la producción de sonidos no convencionales, como pueden ser, entre otros, los multifónicos -resultan muy interesantes para saber cómo funciona el instrumento cuando se hace vibrar la columna de aire en varias frecuencias simultáneas, no vamos a utilizar para nuestro estudio pues, como hemos dicho más arriba, el mapa acústico sólo recogerá sonidos producidos de manera convencional. Ello no es obstáculo para que cualquiera pueda hacer, aprovechando la metodología y procedimientos usados en este trabajo, un mapa acústico basado en multifónicos.

En cuanto a trabajos específicos sobre acústica relacionada con el clarinete bajo, hemos encontrado el de Alba y otros (2009), que no constituye un estudio general de la acústica del clarinete bajo, sino de los resultados que proporciona el uso de diferentes cañas en el sonido del instrumento. En este trabajo se estudian diferentes tipos de cañas para clarinete bajo, intentando investigar si pueden aplicarse algunos parámetros de calidad acústica para la valoración de estas. Para ello, se han realizado múltiples grabaciones anecoicas variando las características de las cañas sobre un mismo instrumento. Las grabaciones se procesarán para obtener parámetros de calidad tanto clásicos como basados en modelos perceptivos. En el procesamiento de los datos se usa un programa de tratamiento de sonidos similar al WaveLab usado en nuestro trabajo (no se especifica cuál se usó), que recoge las gráficas FFT de varios sonidos: el más grave y los La_1 , La_2 , La_3 y La_4 , emitidos cada uno de ellos con cuatro cañas diferentes. En total aparecen veinte gráficas.

Vemos por lo expuesto que en la bibliografía se tratan temas de lo más diverso relacionados con el clarinete y el clarinete bajo que nos servirán para contextualizar este estudio.

Los libros y páginas web que tratan de la historia y organología de nuestro instrumento nos ayudarán a entender en qué momento está de su evolución y cómo se ha llegado a la construcción del instrumento actual, así como sus características organológicas.

El estudio de las fuentes relacionadas con la Acústica General y Musical nos permitirá entender con mayor exactitud la multitud de aspectos que intervienen en la producción, transmisión y recepción del sonido con lo que podremos comprender mucho más íntimamente este fenómeno.

La gran novedad que esperamos aportar con nuestro trabajo es la realización del mapa acústico del clarinete bajo, algo que, hasta donde hemos podido comprobar, no ha realizado nadie todavía: recordemos que el trabajo más similar al nuestro es el de Pastor (2005; 2010), pero su investigación explora el clarinete soprano.

Como se ha dicho, este trabajo quiere, ante todo, resultar útil. De manera que, gracias al conocimiento de las causas que los provocan y a las acciones correctoras pertinentes, pretendemos que los resultados de este estudio nos puedan ayudar a los intérpretes de este instrumento a resolver diversos problemas de afinación, homogeneidad o emisión del sonido.

La multiplicidad de digitaciones para algunas notas, además de ofrecer solución a los problemas de los que hemos hablado, puede resultar muy útil en pasajes mecánicamente complicados. Podremos entonces elegir entre varias opciones aquella que nos resulte más cómoda, siempre y cuando lo que se pueda perder en afinación, respuesta o timbre no sea tanto como para que no compense el cambio.

CAPÍTULO 1

1. ORÍGENES, MORFOLOGÍA Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL CLARINETE Y EL CLARINETE BAJO

Antes que nada debemos aclarar que a pesar de otras propuestas sobre las posibles divisiones de la familia del clarinete por parte de otros autores, nosotros la dividiremos en este trabajo y, por razones morfológicas, en dos: la sección de los agudos, que engloba a los clarinetes sopranos y agudos (requintos) y la sección de los graves: clarinetes de amor, altos, contraltos, bajos y contrabajos. El clarinete bajo, pese a ser el instrumento de la sección de los clarinetes graves que más atención suscita entre los estudiosos del clarinete, todavía está muy lejos de producir tantos estudios como el clarinete soprano. Puesto que sobre este último y sus más lejanos antepasados se puede encontrar abundante bibliografía (Brymer, 1976; Dullat, 2001; Hoeprich, 2008; Kroll, 1968; Rice, 1992; Rice, 2003; Vercher, 1983), en el siguiente apartado de este capítulo dedicado a los orígenes del clarinete bajo no nos remitiremos a los más remotos antepasados del clarinete y atenderemos sólo a los antecedentes más inmediatos de los clarinetes graves en general y del clarinete bajo en particular. Así, nos será de más interés la bibliografía que trate más específicamente sobre el clarinete bajo (Harris, 1995/2001; Kalina, 1972; Marchetti, 2011; Rice, 2009; Sparnaay, 2011; Van der Meer, 1987), por citar a algunos de los más significativos.

En cuanto a la morfología, nos referiremos solamente a los diferentes diseños que ha adoptado el clarinete bajo –preferentemente- a lo largo de su existencia y no a la de los demás miembros de la familia. La razón es que la sección de los clarinetes agudos, con el soprano a la cabeza, no ha sufrido grandes cambios morfológicos más allá de la adición de llaves y accesorios para mejorar su práctica. En el caso de la sección de los clarinetes graves, no era prioritario para nuestro estudio profundizar en todos aquellos que no fuesen el clarinete bajo.

En el apartado dedicado a los materiales, organizaremos la exposición dividiendo el clarinete y el clarinete bajo en sus partes y mostraremos los materiales que se han empleado para fabricarlas a lo largo de su evolución, explicando las características que deben reunir para resultar apropiados.

Ahora debemos hacer varias puntualizaciones. Hasta donde hemos podido constatar, la compilación sistemática -en este apartado- de los datos sobre dichos materiales, constituye una aportación novedosa a la bibliografía sobre este tema, pues no hemos encontrado otro trabajo que la haga en la medida que el nuestro. Se ha tratado de reunir una cantidad de datos capaz dar una visión suficientemente amplia del tema.

Hemos recurrido en lo posible a fuentes bibliográficas para fundamentar este apartado, pero en no pocas ocasiones, la información se ha encontrado exclusivamente en páginas web y en otras muchas se ha recabado por comunicación personal por parte de algún especialista en la materia.

La bibliografía específica sobre el clarinete bajo no es muy abundante y en los libros dedicados al clarinete, a veces -no siempre- ocupa uno de los capítulos como mucho. Además, en estas fuentes suele hablarse de su evolución histórica y morfológica y se hace referencia a sus constructores, a los compositores que han escrito para él y sus obras, pero no profundizan en los materiales de construcción utilizados, ni tampoco en su criterio de uso o sus características. Venimos, pues, a cubrir en lo posible esta laguna recopilando sistemáticamente este tipo de datos, a menudo obviados en otros trabajos o, al menos, no tratados como lo vamos a hacer aquí.

En cuanto a las ilustraciones, internet ofrece muchas posibilidades de encontrar fotos de gran calidad. Tema aparte es la página donde se encuentran. Siempre que ha sido posible, se ha buscado la imagen que mejor definiera lo que sugería el texto y esta imagen no siempre se encontraba en las, *a priori*, mejores páginas (las del fabricante o las de un libro, por ejemplo), así que se han tenido que buscar en páginas comerciales o hacer las fotos uno mismo.

Por último, al contrastar diversas fuentes sobre un mismo motivo, podemos encontrar algunas divergencias. En estos casos nos hemos decidido por la fuente más fiable, entendiendo por fiable la que está elaborada por un autor de reconocido prestigio o por el propio constructor del instrumento. Aun así, podemos encontrarnos situaciones en las que los autores quizá no tienen demasiado claro el asunto del que hablan, por ejemplo, como cuando se habla del ébano y se pueden estar refiriendo a plantas de los géneros *Ebenus*, *Diospyros* o *Dalbergia*.

Por otra parte, no se tendrán en cuenta opiniones o comentarios sobre los resultados que proporciona el uso de los diferentes materiales, a menos que sean conclusiones extraídas de algún estudio científico, puesto que, de no ser así, pueden obedecer a sensaciones subjetivas del autor o responder a intereses comerciales, en el caso de las marcas.

El presente capítulo se articulará de la siguiente manera:

1.1. LOS ORÍGENES

1.2. LOS CLARINETES GRAVES

1.2.1. EL CLARINETE DE AMOR Y EL CLARINETE ALTO

1.2.2. EL *CORNO DI BASSETTO*

1.2.3. EL CLARINETE BAJO

1.2.4. CLARINETES CONTRABAJOS Y CONTRALTOS

1.3. MORFOLOGÍA DE LOS CLARINETES BAJOS

1.4. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL CLARINETE Y EL CLARINETE BAJO

1.4.1. BOQUILLAS

1.4.2. ABRAZADERAS

1.4.3. LENGÜETA⁴

1.4.4. BARRILETE⁵

1.4.5. TUDEL

1.4.6. CUERPOS

1.4.7. CAMPANAS

1.4.8. MECANISMO

1.4.9. ACCESORIOS

⁴ Aunque normalmente nos referimos a las lengüetas como cañas cuando proceden de la planta *Arundo Donax* y como cañas sintéticas a las fabricadas con ese tipo de material, que el hecho de que la planta sea de tipo caña puede llegar a confundir, así que escogeremos el nombre lengüeta para el accesorio y caña para la materia prima.

⁵ En principio y salvo alguna excepción ajena a nuestro conocimiento, no hay clarinetes bajos que usen barrilete, sino tudel. Pero creemos que el interés que puede despertar en el clarinetista la cantidad de variantes de barrilete encontrados a lo largo de nuestra investigación justifica la inclusión de este apartado.

1.1.LOS ORÍGENES

Para abordar este apartado, vamos a proceder de aspectos más generales a otros más concretos para situar al clarinete bajo en su contexto: de los instrumentos musicales de viento hasta el clarinete y el clarinete bajo, repasando sin profundizar demasiado en lo que los emparenta y lo que los distingue y caracteriza, punto este que trataremos con mayor profundidad en otro capítulo.

Los instrumentos de viento consisten en un tubo cuyo interior conforma la columna de aire que, al ser puesta en vibración, originará el sonido. Debemos tener en cuenta que, a pesar de que la forma del tubo determina la forma de la columna de aire, es esta y no el tubo lo que vibra. Así que el material de construcción influirá menos que la forma de la columna de aire en el timbre del instrumento. Además, el material podrá influir en aspectos que no afecten al sonido, como el peso o la durabilidad.

De esta manera, la combinación de la forma, tamaño y material del tubo del instrumento y la manera de excitar la columna de aire de su interior darán como resultado el sonido característico de cada instrumento. Asimismo, el tamaño del tubo y, consecuentemente, el de la columna de aire puesta en vibración determinarán la altura del sonido: para un mismo diámetro de tubo, será más grave el sonido cuanto mayor sea la longitud del tubo y viceversa.

Si atendemos a la forma podemos encontrar tubos cilíndricos, cónicos, prismáticos o combinar varias secciones⁶, que a su vez pueden ser abiertos o cerrados, dependiendo de si tienen una sola abertura o dos o más, respectivamente⁷. Independientemente de su forma, si son abiertos darán todos los armónicos y si son cerrados sólo los impares. Las consecuencias de esto se estudiarán en el capítulo dedicado a la Acústica de este trabajo.

⁶ Los tubos pueden ser a su vez rectos, curvos o combinar las dos formas, pero eso no afecta a su principio de funcionamiento acústico.

⁷ Veremos más adelante cómo los instrumentos de la familia del clarinete se comportan como cerrados a pesar de ser abiertos.

Para excitar la columna de aire le tendremos que aplicar al tubo una corriente de aire suficiente para hacerla vibrar. El soplo de este aire puede ser mecánico, como lo es en el caso del órgano o el acordeón, o humano -como es el caso del clarinete. Según el modo en que se excite la columna de aire, tres son los procedimientos que pueden seguir los instrumentos de viento para conseguir crear sonido: a partir de la embocadura (directa o indirecta), a partir de lengüetas (libres o batientes y, entre estas últimas, simples o dobles) o con el uso de boquillas, dentro de las cuales serán los labios del ejecutante los encargados de vibrar y transmitir la vibración a la columna de aire.

Otro aspecto fundamental en la conformación del sonido, como hemos apuntado anteriormente, es la determinación de la altura del sonido. Como dijimos, esta va a depender de la longitud y el diámetro del tubo, o sea, de la columna de aire. Pues bien, para obtener las diferentes alturas podemos recurrir a diferentes tubos con una afinación única por tubo, como el órgano o la flauta de Pan (tubos cerrados en este caso), a un tubo al que se le puede modificar la longitud, como el trombón de varas o la trompeta, o a practicarle a un único tubo orificios que acorten o alarguen su longitud acústica,⁸ como el clarinete. En el caso del trombón de varas, el alargamiento del tubo se produce al cortar este y encajar las ramas resultantes dentro de un tubo en forma de U que se mueve telescópicamente sobre estas. En el caso de las trompetas y trompas se acude a un sistema de pistones o válvulas que conectan secciones de tubo de diferente longitud haciendo circular el aire por tramos más o menos largos de tubo y por tanto de columna de aire. Y, por último, en el caso de los tubos a los que se les practican agujeros, estos podrán estar accionados directamente con los dedos o con palancas que permitan accionar agujeros que se encuentren lejos de los dedos o que, por su diámetro, excedan las dimensiones de la yema del dedo. A estas palancas se las llama llaves y a la almohadilla que tapa el agujero, zapatilla.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos definir los instrumentos de la familia del clarinete como instrumentos de viento-madera, de lengüeta simple batiente y agujeros practicados a lo largo del tubo para controlar su longitud acústica.

⁸ En estos instrumentos la acústica no funciona igual que si se cortara el tubo por ese punto.

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

Para hablar del clarinete bajo hay que remontarse en principio al clarinete soprano, puesto que no se crearon a la vez, siendo este último el primero en fabricarse. Y de la misma manera debemos buscar su antecesor. Aunque nos podemos remontar muchos siglos atrás buscando antecesores del clarinete en instrumentos de viento de lengüeta simple, tubo cilíndrico o la combinación de ambos, no encontramos que para este trabajo haga falta retroceder más allá del *chalumeau*⁹ en el que se basaron Johann Christoph Denner y su hijo Jacob¹⁰ a finales del siglo XVII para crear el clarinete.

Este *chalumeau* consistía en el cuerpo de una flauta de pico a la que se le había acoplado una boquilla equipada con lengüeta simple. Podemos ver la similitud de los cuerpos de la flauta de pico y el *chalumeau* en la imagen 1.



Imagen 1. Izquierda: Chalumeau Liebau (1700 – 1750) Musik & Teatermuseum. Estocolmo, Suecia. Derecha: flauta de pico de Johann Christoph Denner (ca. 1678 / 1750) Muziekinstrumentenmuseum. Bruselas, Bélgica.

⁹ El nombre proviene etimológicamente del latín *calamus*, que significa caña o flauta de caña y ha servido para designar un gran número de instrumentos que poco tienen que ver con el que usaron los Denner

¹⁰ Alrededor del año 1700 los Denner crearon en su taller de Nuremberg el clarinete a partir de las modificaciones hechas a un *chalumeau*.

La acción conjunta de la lengüeta simple y el tubo cilíndrico dieron como resultado un sonido una octava más grave del que se esperaba de un instrumento de ese tamaño, es decir del que hubiese dado la flauta con su boquilla de bisel.

El siguiente paso, que resultaría fundamental para el desarrollo del nuevo instrumento, sería el añadido de una llave en la parte superior del tubo que, accionada por el pulgar de la mano que se situase arriba¹¹, debería producir la octava de las notas fundamentales. Sin embargo, esto no fue así, produciéndose la duodécima y configurando de esta manera la característica acústica más relevante del futuro clarinete: la ausencia de armónicos pares.

Este *chalumeau* podía producir hasta una novena diatónicamente (desde un Fa hasta un Sol, siendo el Si bemol) y con digitaciones de horquilla¹² podía producir algunas notas alteradas (Si natural, Do#, Mib y Fa#). La adición de una segunda llave opuesta diametralmente a la primera permitía lograr la nota La y combinando las dos se obtenía el Si natural (3ª línea del pentagrama).

Más tarde (entre 1710 y 1720), Jacob Denner creará el clarinete al acoplar una campana al extremo inferior del tubo y, sobre todo, al recolocar la llave de duodécima un poco más arriba, consiguiendo así un mejor registro agudo, el llamado registro clarino por su similitud con el timbre de los clarinos (trompetas barrocas). Este clarinete estaba diseñado para dar una buena afinación en ese registro a cambio de sacrificar el registro grave. Así que durante un tiempo coexistieron los dos instrumentos complementando sus registros. Más adelante, con las mejoras aplicadas al tubo del clarinete, se perdió el sonido cercano al de la trompeta y se mejoró la respuesta y afinación del registro grave del clarinete, con lo cual el *chalumeau* cayó en desuso. En recuerdo de esos orígenes, al registro grave del clarinete se le llama registro *chalumeau*.

¹¹ Hasta la década de 1760, en la que se creó la cuarta llave, se colocaban las manos indistintamente. Desde entonces el clarinete se sujeta con la derecha abajo y la izquierda arriba.

¹² También llamadas digitaciones cruzadas: Se llaman así aquellas digitaciones que dejan uno o varios agujeros abiertos entre otros cerrados.

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

Como hemos dicho anteriormente, el clarinete es un instrumento que por su acústica salta a la duodécima en lugar de a la octava. En el caso del clarinete de Denner, el registro grave iba del Fa grave hasta el Sol en la segunda línea abriendo todos los dedos y podía subir al Sib de la tercera línea abriendo las llaves mencionadas más arriba del índice y pulgar, y el registro agudo partía del Do como duodécima del Fa, lo que daba como resultado que le faltaba el Si natural de la tercera línea. Pues bien, la solución aportada por Jacob Denner en 1740 fue alargar el tubo hacia abajo hasta poder producir un Mi grave, el cual, gracias a la acción de la llave de duodécima, haría sonar el Si que se buscaba. Como a ese agujero taladrado tan lejos era imposible llegar de manera natural con los dedos, se construyó lo que sería la tercera llave del clarinete, que se accionaría gracias al dedo meñique de la mano izquierda (ver imagen 2).



Imagen 2. Clarinetes barrocos en Do y en Re (con la tercera llave) y flauta tenor en Re.
Colección particular de Albert Gumí (Granollers, España).

Con esta disposición básica se ha llegado a nuestros días, si bien ese clarinete todavía estaba muy lejos de parecerse al actual en cuanto a respuesta, homogeneidad y afinación. Se había conseguido unir los registros, pero el clarinete todavía no podía

tocar en todos los tonos satisfactoriamente. Las diversas mejoras introducidas en el tubo consistían sobre todo en agregar algunas llaves que facilitaran algunos pasajes y trinos y evitaran algunas digitaciones llamadas de horquilla, que resultaban sordas y poco ágiles de usar en pasajes rápidos. Salvo la tercera llave, que funciona cerrando el agujero abierto en la parte baja del cuerpo inferior, las demás llaves funcionaban abriendo agujeros que quedaban entre dos agujeros tapados por dedos, subiendo de esta manera medio tono a la nota obtenida por cada digitación. En estado de reposo, estas llaves permanecían cerradas sobre el agujero.

1.2. LOS CLARINETES GRAVES

1.2.1. EL CLARINETE DE AMOR Y EL CLARINETE ALTO

Hasta la llegada del clarinete de trece llaves creado por Iwan Müller¹³ en 1812, que podrá tocar en todas las tonalidades¹⁴, uno de los mayores problemas de los clarinetes es que no podían tocar en todos los tonos debido a la pobreza de timbre y respuesta de algunas notas. Así pues, los clarinetistas tenían que cargar con clarinetes afinados en varias tonalidades para poder afrontar según qué partituras. Aunque se buscaron soluciones como boquillas adicionales y barriletes más largos, o los llamados cuerpos de recambio (*corps de rechange*)¹⁵, no se lograban resultados óptimos (Ver imagen 3).



Imagen 3. Johannes Jehring, clarinete de 5 llaves con cuerpo de recambio Sib/La (ca. 1800). NC Clarinet Collection. Arkansas, EEUU.

Así que, por un lado, encontramos que, por necesidad, había que construir clarinetes de varios tamaños y afinaciones y, por otro, que la costumbre establecida por

¹³ Clarinetista e inventor. Nacido en 1786 en Reval (Estonia) y fallecido en 1854 en Bückeburg (Alemania).

¹⁴ Aunque con problemas de afinación y sonoridad.

¹⁵ Estos cuerpos eran las dos secciones centrales del clarinete (donde actúan los dedos) fabricadas a diferente tamaño para que entre ellas cambiase la afinación un semitono: Sib y La.

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

los constructores de instrumentos, hacía que estos se fabricaran por familias (como las del oboe, oboe de amor, corno inglés...) y, dado que los clarinetes graves producían un sonido más lleno, rico y oscuro que el del grupo de los sopranos, estos fueron muy apreciados. Estas dos grandes razones son, a nuestro entender, las responsables de que se crearan los clarinetes graves.

Los primeros clarinetes graves de los que se tiene noticia se construyeron hacia 1740. Fueron el clarinete de amor y el clarinete alto, cuya diferencia más evidente es la forma de la campana: bulbosa en el clarinete de amor¹⁶ y similar a la del soprano en el caso del alto. En las siguientes imágenes (ver imagen 4) se pueden observar las semejanzas y diferencias entre estos instrumentos.



Imagen 4. Izquierda: Anónimos, dos clarinetes de amor de 5 y 4 llaves en Do (ca. 1800). Centro: (Atribuidos a Gehring) dos clarinetes de amor de 4 llaves en Sol (ca. 1790). Staatliches Institut für Musikforschung Preussischer Kulturbesitz. Berlin, Alemania. Derecha: Ludwig Embach, clarinete alto de 10 llaves en Mib (ca. 1830) Haags Gemeentemuseum. La Haya, Países Bajos.

Se dividían en cinco partes: la boquilla, construida en madera de boj o ébano, el barrilete o tudel de forma curva, en madera (el barrilete) o latón (el tudel), los dos

¹⁶ Parecida a la del oboe de amor.

cuerpos para los dedos fabricados en madera y la campana, también de este material. La madera podía ser de boj, ébano, peral, cerezo, ciruelo o arce. Salvo el barrilete o el tudel, que como hemos dicho era curvo, el resto del instrumento era recto.

Estos clarinetes se fueron beneficiando de las mejoras introducidas en el clarinete soprano. Empezaron con tres llaves, con la tercera llave accionada por el pulgar derecho. Entre 1800 y 1850 el número de llaves aumentaría hasta las catorce.

Normalmente el clarinete de amor se afinaba en Sol y, aunque raramente, lo podemos encontrar afinado en Do, Sib o La. El clarinete alto se solía afinar en Sol hasta que a partir de 1800 se empieza a afinar en Fa o en Mib.

1.2.2. EL CORNO DI BASSETTO

Si atendemos a la cronología de la aparición de los instrumentos de la familia del clarinete, nos encontraremos este hecho: aunque el clarinete bajo se empezó a desarrollar en 1750 y el *corno di bassetto* en 1760, este último alcanzó mucho antes el nivel de desarrollo necesario para ser usado con garantías, razón por la cual lo presentamos aquí antes que el bajo.

Generalmente se extendía hasta el Do grave acoplándole , según el diseño¹⁷, una caja de madera en la que se incluían una serie de tubos doblados en ángulo para prolongar la longitud general del tubo dentro de unas dimensiones contenidas (ver imagen 5) y de la que salía la campana, que podía ser metálica o de madera. Dependiendo del diseño de esta caja, se podían obtener además de las habituales notas Do y Re, las notas Do# y Mib.



Imagen 5. Izquierda: detalle de la caja para los tubos de un corno di bassetto de 12 llaves de H. Grenser (ca. 1810) Edinburgh University Collection of Historic Musical Instruments, Dr. Raymond Parks, fotógrafo. Edimburgo, Escocia Reino Unido. Derecha: Radiografía de la caja de extensión del tubo de un corno di bassetto de M. Amilangue de finales del siglo XVIII colección privada D. Watel, París, Francia.

Las llaves encargadas de tapar y destapar los agujeros practicados en la caja se colocaron en la parte posterior del cuerpo del *corno di bassetto* para ser accionadas con

¹⁷ Más adelante podremos ver los diferentes diseños usados para construir estos instrumentos.

el pulgar de la mano derecha¹⁸, aunque según el ingenio del constructor se podía trasladar su función al dedo meñique de la mano izquierda. En la imagen 6 se pueden ver diferentes diseños adoptados por los *corni de bassetto*.



Imagen 6. Diferentes diseños para corni di bassetto. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: I. Miraz, 14 llaves (ca. 1830) Edinburgh University Collection of Historic Musical Instruments, Dr. Raymond Parks, fotógrafo. Edimburgo, Escocia, Reino Unido. J. H. G. Streitwolf 15 llaves (ca 1830) Staatliches Institut für Musikforschung Preussischer Kulturbesitz, Berlin, Alemania. F. Schölnast, 16 llaves (ca. 1835) Stearns Collection of Musical Instruments University of Michigan, Christopher Dempsey, fotógrafo. Michigan, EEUU. Beltrami (atribuido), 16 llaves (ca 1850) propiedad de Thomas Reil y moderno corno di bassetto.

¹⁸ Salvo los primeros modelos, en los que se tocaba con la mano izquierda en el cuerpo inferior.

Los primeros *corni di bassetto* tenían cuatro llaves por la necesidad de alcanzar mediante dos llaves los agujeros más alejados de los dedos, pero técnicamente funcionaban como un clarinete de dos llaves. Estos instrumentos se habían diseñado en principio para estar afinados en Fa, una quinta por debajo del clarinete en Do, aunque los podemos encontrar afinados también en Sol, Re, Mib y Mi. Son, para sonar más grave que el clarinete, necesariamente más largos y grandes que este, quedando sus dimensiones entre las del clarinete y el clarinete bajo.

1.2.3. EL CLARINETE BAJO

Este instrumento está diseñado para sonar una octava por debajo del clarinete soprano y, por lo tanto, es mayor que este, con boquilla y lengüetas específicas también más grandes. Parece ser que se buscaba un instrumento más sonoro y afinado que el fagot de la época. El clarinete bajo, según menciona un autor anónimo en 1791, sustituía algunas veces al fagot en conjuntos de viento, lo que sugiere que era un instrumento apreciado.

Desde alrededor de 1750 se trabajó en la búsqueda de este nuevo instrumento, pero no sería hasta 1793 cuando Grenser¹⁹ construyó un clarinete bajo que pudo ser usado satisfactoriamente. Como en el caso del *cornò di bassetto*, en sus orígenes se construyó con diversas formas, ideadas para que el intérprete pudiera llegar a realizar todas las digitaciones con relativa comodidad.

De la misma manera que el *cornò di bassetto*, el clarinete bajo va introduciendo las mejoras que se le aportan al soprano. Su lenta evolución es probablemente debida a los limitados medios disponibles en la época. Tenemos que pensar en el tipo y calidad de las herramientas usadas para trabajar la madera y el latón (en algunos casos la plata, el marfil o el cuero), la calidad del material que se usaba en las zapatillas, las tolerancias en los ajustes entre partes del instrumento y lo más importante: eran artesanos que heredaban los conocimientos de sus maestros y probablemente, las mejoras que iban introduciendo en los instrumentos no eran fruto de estudios científicos preconcebidos sino del método de ensayo-error (no exento de lógica e intuición). Este método era necesariamente lento y caro, pues se desecharía gran cantidad de material. Podemos compararlo con los nuevos procedimientos de construcción usados hoy en día, con los que, incluso así, se tardan años en lanzar nuevos instrumentos al mercado, a pesar de contar con la ayuda de la informática, herramientas especializadas, operarios

¹⁹ Johann Heinrich Wilhelm Grenser (5 Marzo 1764 – 12 Diciembre 1813). Constructor de instrumentos musicales con taller en Dresde. Sobrino de August Grenser (1720-1807), con quien trabajó y a quien, a su muerte, sucedió en el taller.

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

especialistas en cada área de la construcción, mejores materiales y los conocimientos atesorados gracias a la tradición.

En el apartado dedicado a su morfología podremos ver imágenes que nos mostrarán la evolución de su diseño a lo largo de su existencia hasta llegar al del clarinete bajo moderno.

1.2.4. CLARINETES CONTRABAJOS Y CONTRALTOS

Se considera que estos clarinetes se crean siguiendo el desarrollo que están teniendo los contrafagotes a principios del siglo XVIII. Son, evidentemente, más largos y de taladro más ancho que el clarinete bajo. Los contrabajos (se les ha llamado con diversos nombres, ver más abajo) suenan una octava más grave que los bajos (normalmente afinados en Do o Sib) y los contraltos una octava más grave que los altos (normalmente afinados en Fa o Mib). Se construyen con los mismos materiales y llaves que los clarinetes bajos. Su uso en bandas, orquestas y grupos de música de cámara ha llegado hasta hoy en día. En la imagen 7 se pueden ver distintos diseños empleados en la fabricación de clarinetes contrabajos.



Imagen 7. Arriba a la izquierda: vista anterior y posterior del Batyphon de 18 llaves en Do fabricado por Wieprecht y Skorra (ca 1840) tomada de Rice, 2009. Arriba a la derecha: Besson & Co (ca 1890). Abajo: Moderno clarinete contrabajo Leblanc modelo 342 fabricado en metal.

El primer clarinete contrabajo del que se tiene noticia, pero no se conserva, está fabricado en París por Dumas en 1808 y recibe el nombre de contrabajo guerrero (*contre-basse guerrière*). Otros constructores dieron diferentes nombres a sus propias creaciones: Streitwolf lo llamó Contrabajo-Clarinete (*Kontrabass-Klarinette*), Wieprecht y Skorra, *Batyphon*, Kastner llama al modelo de Sax clarinete bordón en Sib (*clarinette bourdon* o *contra bass clarinet in Bb*), Müller (Louis) lo llama *Müllerphone* o Contrabajo de Lengüeta (*Contrebasse à Anche*). El nombre, ahora habitual, de clarinete contrabajo, se aplicó a partir del desarrollo satisfactorio de este instrumento por parte de la firma anglo-francesa Fontaine-Besson en 1890.

Será Streitwolf en 1829 quien construya el primer clarinete alto del que se tiene noticia, pero parece ser que el instrumento más satisfactorio fue el de Sax (construido en 1840). Se fabricaban, al igual que los contrabajos, con forma de fagot u oficleido. Los sistemas de Boehm y Oehler, que ya usaban los clarinetes sopranos, se aplicaron a los contraltos y contrabajos a partir de la década de 1850. En la imagen 8 podemos ver dos clarinetes contraltos.

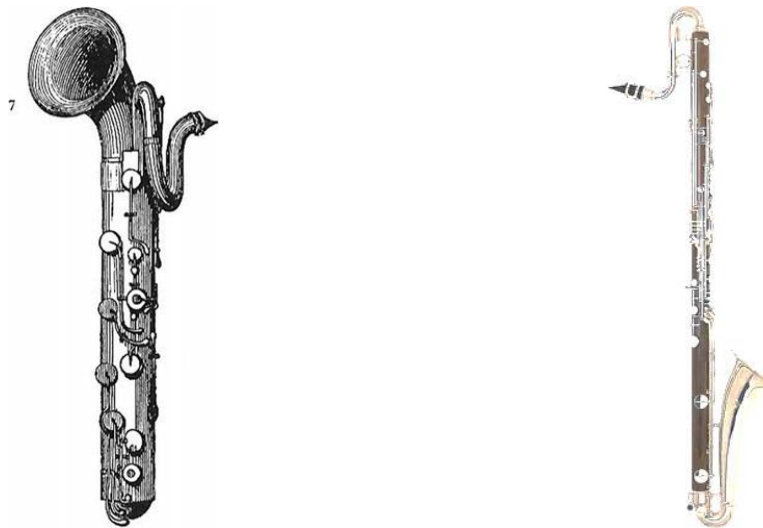


Imagen 8. Izquierda: Ilustración de un clarinete contralto de Sax en el Manuel Générale de Musique Militaire de Georges Kastner (1848). Derecha: Clarinete contralto moderno.

1.3. MORFOLOGÍA DE LOS CLARINETES BAJOS

Hasta llegar a ser producidos en serie con al aspecto actual habitual de los clarinetes bajos modernos (además de los *corni di bassetto* y clarinetes altos), estos han tenido que ser contruidos con varios aspectos conducentes a procurar un sonido aceptable y afinado y tener en cuenta la comodidad de uso por parte de intérprete. No trataremos en este apartado los clarinetes del grupo de los sopranos y agudos, puesto que estos no han variado su forma básica al no tener los intérpretes los problemas que se podían encontrar con los clarinetes graves. Seguiremos aquí la clasificación sugerida por Rice (2009), compuesta por siete variantes: prototipos (podemos encontrarlos nombrados como *Planck*), curvos, con forma de fagot, serpenteantes, rectos, con forma de oficleido y rectos con tapón al final²⁰.

Prototipos

Los primeros clarinetes bajos, los llamados prototipos, se construyeron alrededor de 1750 con cuerpo cilíndrico de madera -al que se le acopló una plancha del mismo material- en el que los agujeros estaban taladrados oblicuamente (ver imagen 9).



Imagen 9. Clarinete bajo (ca. 1770). Constructor anónimo. La Caverne d'Ali Baba du Decorateur. Clarinettes, <http://anticwindbooks.chez-alice.fr/clarinet/clarinet.html>

²⁰ Según el propio Rice (2009), Van der Meer (1987) propone cuatro variantes y Dullat (2001), ocho.

El tudel que enlazaba con la boquilla era de latón, y entre el cuerpo y la campana se insertaba un tubo metálico doblado en ángulo cerrado. Aunque básicamente compartían el diseño, su mecánica era diferente por cuanto se le iban acoplando las mejoras que se iban introduciendo en el clarinete soprano en cuanto a número y disposición de las llaves, lo cual no significa que sonara mejor.

Curvos

Aproximadamente en 1765, Anton y Michael Mayrhofer, en su taller de Passau (Alemania) construyeron un clarinete bajo con forma curva, al estilo de algunos *corni di bassetto* (ver imagen 10).



Imagen 10. Clarinete bajo de 7 llaves (ca. 1765). Anton y Michael Mayrhofer, Passau. Imagen tomada de Rice, 2009.

Con forma de fagot

Otros clarinetes bajos adoptaron la forma del fagot (ver imagen 11). El primero en construir un instrumento con esta forma fue Heirich Grenser en 1793, se supone que aprovechando la experiencia que tenía fabricando fagotes.



Imagen 11. Clarinetes bajos. De izquierda a derecha: Streitwolf (1820), Grenser (1793) y Catterini (1838). La Caverne d'Ali Baba du Decorateur. Clarinettes, <http://anticwindbooks.chez-alice.fr/clarinet/clarinet.html>

Este primer instrumento tenía ocho llaves. Normalmente, los clarinetes bajos con esta forma constaban de siete partes: boquilla, barrilete, una pieza que enlazaba con el cuerpo superior que podía ser un tudel metálico curvo o en ángulo, o de madera en ángulo, los dos cuerpos para las llaves y agujeros, el de la mano izquierda insertado en el de la derecha y estando el cuerpo de la mano derecha terminado en una especie de tapón similar al de los fagotes y que alberga el codo que debe formar el tubo para cambiar de sentido su recorrido.

Las dos últimas piezas son un tubo que sale del cuerpo de la mano derecha y la campana metálica orientada hacia arriba. La mecánica de un bajo de ocho llaves era equivalente a la de un soprano de 4 llaves. Los clarinetes bajos que adoptaron esta

forma, fueron evolucionando y añadiendo llaves hasta llegar a las 23 llaves que tenía el modelo de Catterini²¹.

Serpenteantes

Los únicos clarinetes bajos con esta forma que se conocen fueron construidos por Nicola Papalini²² entre 1820 y 1829 (ver imagen 12).



Imagen 12. Clarinete bajo de 5 llaves. Nicola Papalini (ca 1825), Chiaravalle. Musée des instruments de musique, Bruselas, Bélgica.

Como en todos los clarinetes bajos, la intención era la de poder actuar sobre los agujeros del instrumento con la mayor comodidad posible, al tiempo que seguía conservando la longitud necesaria para que sonara una octava más grave que el clarinete soprano. Y esta, desde luego, fue una solución de lo más original. En lugar de doblar el

²¹ Catterini Catterini. Clarinetista e inventor con taller en Monselice, en el área de Padua.

²² Nicola Papalini (1781- ¿?). Poco se sabe de este constructor, salvo que tuvo su taller en Chiaravalle, cerca de Ancona donde había llegado, posiblemente en 1816. En 1829 se le pierde el rastro.

tubo como en el caso del modelo de Mayrhofer o conectar varios tubos rectos sirviéndose de codos o tudeles, Papalini trabajó en el cuerpo que alberga los agujeros a partir de dos bloques de madera de arce, peral u olivo, haciendo un vaciado en la madera pegando luego los dos bloques y asegurándolos con clavijas de madera o hierro. Sus dimensiones eran similares a los diseños en forma de fagot y resultaba bastante cómodo de tocar. Estaban provistos de cinco, ocho o diez llaves.

Rectos

También llamados “con forma de clarinete”, tienen, como su nombre indica, un aspecto más cercano al clarinete bajo actual. Desfontenelles, relojero de Lisieux, está considerado como el primer fabricante en construir uno de estos instrumentos, aunque Rice (2009, p. 287) pone en duda que este clarinete fuese realmente construido por Desfontenelles. Este parece ser un modelo único, por lo que está considerado como un modelo experimental (ver imagen 13).



Imagen 13. Clarinete bajo. Desfontenelles (1807), Lisieux. Collections du Musée Philharmonie de París, Francia.

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

Lo constituyen ocho elementos: la boquilla, dos barriletes (uno de ellos, curvo), dos secciones para la mano izquierda, una para la mano derecha y una sección curva que enlaza con la campana. Está provisto de diez llaves y baja hasta llegar al Mi grave. Sax²³ mejoró el clarinete bajo siguiendo este diseño recto, aunque a veces la campana era recta en lugar de curva. Recolocó los agujeros para optimizar la afinación y la respuesta y obtener un sonido mejor y más amplio. Más tarde, en 1855, Louis Auguste Buffet²⁴ implantaría en los clarinetes bajos el sistema Boehm que ya había aplicado a los clarinetes sopranos desde 1844. Su sobrino, Jean Louis Buffet, quien fundaría la compañía Buffet-Crampon²⁵, lo haría a finales de 1850 o principios de 1860.

En la imagen 14 podemos ver otros ejemplos de clarinetes bajos rectos, tanto con la campana dirigida hacia abajo como doblada para estar orientada hacia arriba y hacia el frente.



Imagen 14. Clarinetes bajos rectos. Izquierda Sax (1845) Haags Gemeentemuseu. La Haya, Países Bajos. Derecha: Buffet-Crampon (1850). La Caverne d'Ali Baba du Decorateur. Clarinettes, <http://anticwindbooks.chez-alice.fr/clarinet/clarinet.html>

²³ Antoine Joseph (Adolphe) Sax (1814–1894). Intérprete e inventor de origen belga.

²⁴ Louis Auguste Buffet (1789-1864). Constructor de instrumentos musicales con taller en París.

²⁵ Jean Louis Buffet (1813-1865), sobrino de Louis Auguste Buffet. Crampon es el apellido de su esposa. Usó los dos apellidos separados por el guion para distinguirse de la compañía de su tío y rival.

En el caso del instrumento de Sax que se muestra en la imagen 14, el tudel es curvo, aunque no se aprecia porque las fotos están tomadas mostrando las partes delantera y trasera del clarinete bajo y, a falta de una toma lateral, no se puede distinguir la forma del tudel.

Rectos con tapón al final

Durante las décadas de 1840-50 se intentó contener el tamaño de los clarinetes bajos combinando la forma recta de los instrumentos de Sax y Buffet con la forma de fagot, adoptando un tapón en la parte baja del tubo de la que salía una campana orientada hacia delante, en lugar de hacia arriba como era este último caso (ver imagen 15). En cualquier caso, estos clarinetes bajos no pudieron competir con la sonoridad de los posteriores instrumentos.



Imagen 15. Dos ejemplos de clarinete bajo con tapón al final: Schiediva a la izquierda y Douglas and Son a la derecha. Los dos en MIMO-University of Edinburg. Edimburgo, Escocia, Reino Unido.

Forma de oficleido

Construidos por la misma época que los clarinetes bajos con forma de fagot, podían estar fabricados en madera o metal y tenían una mecánica muy similar. Es característico de estos instrumentos el codo en forma de U que tienen en la parte baja para conectar los tubos (ver imagen 16). Algunos modelos como los de Kruspe y Losschmidt tienen en el cuerpo correspondiente a la mano izquierda las llaves accionadas por la mano derecha. A algunos de estos instrumentos se les añadían anillos a los que poder sujetar una correa para poder usarlos mientras se caminaba, así como un soporte para un atril de marcha.



Imagen 16. Izquierda: L. A. Buffet de 20 llaves (ca 1850). Fabricado en madera. Stearns Collection of Musical Instruments University of Michigan, Christopher Dempsey, fotógrafo. Michigan, EEUU. Derecha: Losschmidt de 24 llaves (ca. 1850). Fabricado en latón (Le falta la campana). MIMO-University of Edinburgh. Edimburgo, Escocia, Reino Unido.

1.4. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL CLARINETE Y EL CLARINETE BAJO

Aunque la familia del clarinete tiene más representantes que los que el título sugiere, queremos englobar como clarinetes aquellos instrumentos de la familia que van desde los sopranos hasta los agudos y como clarinetes bajos aquellos más graves que los sopranos: desde los altos hasta el contrabajo. Esta manera un tanto simplista de dividirlos tiene su razón de ser porque dentro de cada división podemos encontrar bastantes similitudes en cuanto a morfología y materiales usados en su fabricación.

Dicho esto, lo siguiente que debemos entender es que las propiedades acústicas de los materiales con los que se construye un instrumento van a determinar en cierta medida el sonido que produzca. De ahí se deduce su importancia en este trabajo.

Como se habrá podido comprobar en el apartado anterior dedicado al origen y la morfología de los clarinetes sopranos y graves, estos se han construido utilizando cierta variedad de materiales. Mientras que las distintas maderas constituyen la opción preferida por los fabricantes, aunque no la única, para elaborar los cuerpos, el metal es el material escogido para elaborar los tudeles y campanas de los clarinetes graves. Como en el caso de las maderas para el cuerpo, el metal es el material usado con preferencia en tudeles y campanas, pero no el único. En cualquier caso, los fabricantes utilizan varios materiales en la construcción de los instrumentos de la familia del clarinete, en función de las necesidades.

El clarinete en general y el clarinete bajo en particular, a lo largo de su historia y evolución, han sido fabricados con diferentes materiales que se debían ajustar a una serie de características concretas para resultar idóneos en su cometido. Es más, cada parte o componente necesita de un material específico con sus características específicas, lo cual no quiere decir que sólo pueda haber un material único para cada componente. En este apartado vamos a dar un repaso a los diferentes materiales usados en la construcción de los clarinetes, desde los más antiguos a los más modernos,

definiendo las características que los hacen, si no idóneos, al menos sí adecuados al fin para el que han sido usados.

La calidad del sonido se deriva, entre otras cosas, del material usado, y su facilidad de adquisición y manipulación determinarán su empleo. Debemos tener en cuenta que, a pesar del deseo de los constructores de experimentar con diferentes materiales, no siempre su adquisición era posible por razones de coste o accesibilidad.

Para lograr que los materiales cumplan con su cometido, se ha de tener en cuenta las siguientes características: flexibilidad, elasticidad, dureza (entendida como resistencia al desgaste), rigidez (entendida como resistencia a deformarse), resistencia a la corrosión, maleabilidad, ligereza, durabilidad, coste, facilidad de adquisición, capacidad de proyección del sonido y de producción de armónicos y, aunque no sea determinante en la producción de sonido, la estética y el lujo también se tienen en cuenta en la elección de los materiales.

Organizaremos este apartado dividiendo el clarinete²⁶ en sus componentes, a saber: boquilla, abrazadera, lengüeta, tudel o en su caso, barrilete, cuerpos superior e inferior, campana, mecanismo de las llaves y accesorios.

Especialmente loable ha sido la contribución de Rice (comunicación personal por correo electrónico del 24 de agosto de 2015), al proporcionarnos valiosa información sobre boquillas de marfil, hueso, cristal/vidrio y metal o chapadas en metal. Sin su contribución, difícilmente habiésemos conocido la existencia de algunas de ellas.

²⁶ Entiéndase cualquier miembro de la familia del clarinete.

1.4.1. BOQUILLAS

Las dimensiones y forma de la boquilla son, además del material usado en su construcción, aspectos fundamentales en la calidad de sonido creado. Pero este apartado sólo se dedicará al material, dejando para el siguiente capítulo la influencia de los otros aspectos sobre el sonido.

El material de la boquilla necesita ser rígido para no deformarse con los cambios de temperatura y humedad que se producen por el contacto con la boca, bajo la presión de la misma o por el roce de los dientes²⁷. Asimismo, necesita ser duro, entendido como resistente a desgastarse, porque la lengüeta y la abrazadera también la rozan y resultaría desastroso que estos accesorios deformaran la boquilla por fricción, pues influiría muy negativamente en el sonido. Algunas veces nos podemos encontrar que la boquilla y el barrilete forman una sola pieza. Otra de las cualidades del material que puede afectar al sonido es su densidad, como veremos en el segundo capítulo.

Madera: es el material por excelencia usado en los primeros clarinetes, incluida la boquilla. Su mayor problema es la estabilidad dimensional: es un material fácil de trabajar, pero con la temperatura y la humedad pueden cambiar sus dimensiones y esto afecta al buen asiento de la lengüeta y, en consecuencia, a la calidad del sonido. Caída en desuso desde el descubrimiento de materiales plásticos, actualmente hay fabricantes que las vuelven a construir en madera aduciendo una mejor calidad del sonido porque es el mismo material que se usa para el cuerpo del clarinete. El tipo de madera usado va en consonancia con la madera utilizada en la fabricación del cuerpo de clarinete, siendo la más usual la de boj para las boquillas más antiguas y las maderas negras para las más recientes.

Actualmente, por ejemplo, Pomarico fabrica las boquillas en ébano, Sugall en granadillo (*Dalbergia Melanoxylon*) y Gregory Smith y Zinner las hacen en granadillo, cocobolo (*Dalbergia Retusa*) y ébano jamaicano (*Brya Ebenus*), maderas mucho más

²⁷ Muchos clarinetistas usan una delgada almohadilla de material sintético llamada compensador que, entre otras funciones, tiene la de proteger la boquilla de los roces de los dientes.

densas y, por lo tanto, pesadas que el boj, pero más inalterables en sus dimensiones que este. En España fabrican boquillas en madera Florián Popa (Etxaguen de Zigoitia, Álava) y Emiliano Taller Musical (La Orotava, Tenerife), quien también las fabrica en madera para clarinete bajo.

A excepción de Zinner y Emiliano Taller Musical, en ninguno de los fabricantes mencionados más arriba hemos encontrado boquillas en madera para clarinete bajo. En la imagen 17 podemos ver boquilla de clarinete y clarinete bajo fabricadas en distintas maderas.



Imagen 17. Izquierda: tres boquillas para clarinete en diferentes maderas: granadillo, ébano jamaicano y cocobolo. Derecha: dos boquillas para clarinete bajo en ebonita y granadillo

Marfil o hueso: material más denso y estable que la madera. Se utilizó para las boquillas de los primeros clarinetes, parece ser que producía un buen sonido pero se obtenía una respuesta lenta y poco espontánea del instrumento.

En el apartado dedicado a los cuerpos del clarinete se puede ver una imagen de un clarinete construido en marfil, incluida la boquilla, pero parece deducirse de su construcción que estaba destinado a ser un objeto de lujo más que a ser un instrumento funcional, aunque pudiese serlo. Gracias a la amable aportación de Rice (comunicación personal por correo electrónico del 24 de agosto de 2015), podemos saber que hay algunos fabricantes que elaboraron boquillas de marfil durante el siglo XVIII que se pueden encontrar en varios museos. También nos indica Rice que en Bayreuth, Johann

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

Simon Stengel fabricó, alrededor de 1820, boquillas de marfil que se pueden ver en museos de Suiza, Italia, Suecia y Dinamarca.

En cuanto al hueso, usado habitualmente en las teclas de los instrumentos de teclado, Rice señala en dicha comunicación personal que podría haberse usado también para la fabricación de boquillas, aunque no llega a especificar si conoce alguna fabricada en este material. En la imagen 18 podemos ver una boquilla de marfil del fabricante Michel Amlingue.



Imagen 18. Boquilla de marfil. Colección privada D. Watel, París, Francia

Metal: se han probado diversos metales o aleaciones de estos, pero actualmente se usan poco en el clarinete, utilizándose más en saxofones, sobre todo para tocar música de jazz. Entre los metales empleados está el oro, la plata, el aluminio o el latón. Su mecanizado requiere técnicas diferentes y equipamiento más caro que el necesario para trabajar sobre el plástico o la ebonita.

Se sabe del uso de una boquilla de plata o madera con tabla en plata (Rice, 2003) o de oro con tabla en plata (Rendall, 1954/1971) por parte del clarinetista Johann Simon Hermstedt, el virtuoso clarinetista alemán para quien escribieron conciertos y otras piezas compositores como Spohr o Weber. Estas boquillas estarían fabricadas por Johann Heinrich Gottlieb Streitwolf en Göttingen. Alrededor de 1832, Johann Joseph

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

Ziegler en Viena y Franz Czermak en Praga habrían elaborado boquillas de estas características (Rice, comunicación personal por correo electrónico del 24 de agosto de 2015).

Del uso del latón en la boquilla de un clarinete bajo puede dar fe el instrumento fabricado por Losschmidt (ver anterior imagen 16) alrededor de 1850 (todo el instrumento está fabricado en latón, aunque al de la imagen le falta la campana).

Asimismo, encontramos una boquilla en metal muy ingeniosa por cuanto incorpora una abrazadera atornillada a la propia boquilla (ver imagen 19), capaz de bascular (por lo que se deduce de la imagen) y que dispone de dos tornillos con los que modifica la tabla de la boquilla con uno de ellos y la apertura de la lengüeta respecto de la boquilla con el otro.



Imagen 19. Boquilla en metal. Vista lateral y frontal (con la lengüeta puesta) de una anónima para clarinete bajo, encontrada junto a un clarinete bajo del fabricante Martin Frères (ca 1850). Musée de la Musique, París, Francia.

Aunque en esta boquilla/abrazadera no aparece estampado el nombre del fabricante, su aspecto es muy parecido a la boquilla que Triebert patentó el 24 de diciembre de 1847 en Francia con el número de patente 6937. Se puede encontrar con los nombres de *Bec-pompe* en francés o *Pumpenmundstück* en alemán.

El único fabricante actual de boquillas íntegramente de metal (latón y oro de 18 kilates) para clarinete que hemos encontrado ha sido el anteriormente mencionado Sugala (ver imagen 20), pero no ofrece boquillas para clarinete bajo y las que ofrece para clarinete están diseñadas, según su constructor, para tocar Jazz, Dixieland o tocar en Big Band procurando mayor volumen y proyección. Puede que el poco uso de estas boquillas en clarinetes tenga más que ver con la tradición que con sus características acústicas.



Imagen 20. Moderna boquilla del fabricante Sugala

Ebonita: este material inventado por Charles Goodyear en 1839 debe su nombre al ébano, a quien pretende sustituir. En 1851 se usó para los cuerpos del clarinete y unos años más tarde para las boquillas. Ebonita es uno de los nombres comerciales²⁸ aplicados a un material plástico, de hecho, un polímero obtenido al vulcanizar caucho en presencia de azufre.

²⁸ Se puede encontrar como Vulcanita, Steel Ebonite, Steelite, etc. En España, Ebonita es el nombre más conocido.

El resultado es un material de color negro, relativamente duro y rígido, impermeable y muy estable frente a los cambios de temperatura y humedad gracias a su estructura molecular cristalina. Además de caucho y azufre, la ebonita está compuesta por otros materiales acelerantes, antioxidantes, plastificantes, etc. cuya proporción dará como resultado un material con diferentes características.

Los fabricantes invierten una gran cantidad de dinero en probar varias fórmulas hasta dar con el resultado deseado, pero, a cambio, el material resultante es fácil de mecanizar o moldear y barato de producir. Gracias a todas las características mencionadas, es el material más utilizado actualmente en la fabricación de boquillas para clarinete y, por supuesto, para clarinete bajo (ver imagen 21).



Imagen 21. Boquilla para clarinete bajo en ebonita.

Metal /Ebonita: hemos encontrado dos tipos de boquillas que combinan metal y ebonita, pero no como un material aleado. El primer tipo es una boquilla metálica (fabricada en aluminio) a la que, para reducir su peso se le ha rebajado el espesor exterior del material metálico y se ha sustituido el espacio con ebonita, de manera que todo el interior es metálico. En este caso la proporción entre el metal y la ebonita es favorable al metal (ver imagen 22).

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

En el otro caso nos encontramos un anillo de titanio acoplado al final de la espiga de una boquilla de ebonita (ver imagen 23) con lo cual la proporción entre los dos materiales esta vez es favorable a la ebonita. Según el fabricante, con la inclusión de este anillo se mejora la respuesta, el picado, el ligado, el margen dinámico, etc.



Imagen 22. Boquilla fabricada con aluminio y ebonita.



Imagen 23. Anillos de titanio acoplados a boquillas de ebonita.

Cristal: por su aspecto, se suele llamar cristal a lo que es en realidad, vidrio²⁹, confusión por otra parte, bastante frecuente. Debemos entender que tallar cristal debe

²⁹ Desde el punto de vista químico los átomos del cristal están ordenados formando redes tridimensionales que se repiten infinitamente creando la estructura cristalina. En cambio, los átomos del vidrio no están ordenados y por tanto es un material amorfo, aunque pueda tomar el aspecto del cristal.

ser muy complicado y caro y es muy posible que el resultado acústico no fuese, al menos significativamente, mejor que el obtenido con el vidrio. Este, además de ofrecer una mayor facilidad de manipulación, puede obtenerse con varias densidades.

El ingrediente principal del vidrio es la sílice, obtenida a partir de arena, pedernal o cuarzo. Se funde a altas temperaturas con boratos o fosfatos y en caliente es maleable, mientras que en frío es susceptible de ser tallada, pero se vuelve frágil. Puede variar su color dependiendo de los ingredientes que se utilicen en su composición.

Es impermeable a la humedad, aguanta los cambios de temperatura sin alterar sus dimensiones y tiene una excelente dureza, entendida como resistencia a la abrasión producida por el roce de la lengüeta o la abrazadera. En su contra está el hecho de ser muy frágil.

A pesar de sus cualidades, no es el material más usado actualmente en la construcción de boquillas (tuvo su momento de mayor expansión en los años 60 del siglo XX) y esto se puede deber a su fragilidad, mucho mayor que la de la ebonita y a que retiene la humedad más que esta. En cualquier caso, constructores como O'Brien, Selmer, Vandoren y Pomarico han fabricado o fabrican actualmente boquillas de cristal (vidrio) para clarinete, requinto y clarinete bajo (ver imagen 24).



Imagen 24. Boquilla para clarinete bajo en cristal/vidrio.

Plástico/sintético: Los materiales plásticos más usados en la construcción de boquillas, aparte de la ebonita de la que ya hemos hablado, son el PMMA

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

(polimetilmetacrilato³⁰) y el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno). Los separamos de ella porque estos son totalmente sintéticos, a diferencia de la ebonita que, como hemos visto, se basaba en una materia prima natural como es el caucho. Otros materiales sintéticos usados en boquillas son el Delrin³¹ o el policarbonato³² (ver imagen 25).

La estructura molecular tridimensional de estos materiales los hace más estables ante los cambios de temperatura que la ebonita, cuya estructura molecular es bidimensional.

El PMMA es el más transparente de los plásticos, por lo que su aspecto, si no se le añade colorante, se asemeja al cristal/vidrio. Comparado con el vidrio es la mitad de denso, mucho más fácil de rayar y sin embargo, mucho más resistente a los golpes. Además de las anteriores cualidades, su precio y facilidad de mecanización y moldeo hacen del PMMA un muy buen material para construcción de boquillas (ver imagen 25).



Imagen 25. Izquierda boquilla para clarinete sistema alemán en PMMA. Derecha boquilla para clarinete sistema francés en Graftonite (policarbonato).

³⁰ O metacrilato de polimetilo. También conocido como vidrio acrílico o por alguno de sus nombres comerciales: plexiglás o perspex.

³¹ Uno de los nombres comerciales del polioximetileno (POM). Explicaremos sus cualidades en el apartado dedicado a los cuerpos del clarinete.

³² La marca Rico fabrica las boquillas Graftonite de policarbonato (a pesar del nombre no están hechas de Graftonita, que es un mineral fosfato a base de hierro manganeso y calcio).

Por su parte el ABS es un termoplástico amorfo y rígido, pero no transparente. Posee un alto brillo y una buena resistencia frente al rayado y los golpes. Se puede trabajar por extrusión y moldeo. Como en el caso del PMMA, sus características y precio lo hacen atractivo para fabricar boquillas (ver imagen 26).



Imagen 26. Diferentes boquillas de colores en ABS.

Sabemos por Santiago Llopis (comunicación personal del 26 de julio de 2015), socio de la empresa Futurtono, que hay un fabricante que está realizando boquillas en fibra de carbono, pero aún no están en el mercado ni tienen nombre comercial.

Cerámica: como en el caso del cristal/vidrio, estamos ante una confusión de términos. La cerámica es el arte de fabricar objetos (o los propios objetos) a partir de materiales cerámicos, principalmente arcilla. Estos materiales, por efecto del calor y según su acabado se transforman, entre otros, en loza, terracota o porcelana. Llegamos así a que el material que nos interesa tratar es en realidad la porcelana. Esta es un material compacto, duro, impermeable y resonante, pero frágil, dada su poca elasticidad.

El comportamiento de la porcelana y el vidrio son similares porque así son sus características, aunque, a diferencia del vidrio, la porcelana sí tiene una estructura cristalina. La poca difusión de la porcelana como material para la construcción de

boquillas se debe a su dificultad extrema para darle esa forma concreta. En este punto queremos aclarar que, aunque la cerámica/porcelana aparece como material de construcción de boquillas para clarinete en varias de las fuentes digitales consultadas, no hemos podido encontrar imágenes de estas. Lo que sí hemos encontrado en el artículo de Smith (2009) que trata este tema, es la referencia a un constructor de boquillas para saxofón (Drake Mouthpieces) que ofrece dos variantes: unas boquillas las construye en porcelana, y otras reviste con un anillo de porcelana el interior de las boquillas de ebonita (ver imagen 27). El mismo constructor ofrece este tipo de revestimiento interior en barriletes para clarinete pero no en boquillas para clarinete ni clarinete bajo.



Imagen 27. Boquilla de saxofón en cerámica y en ebonita con anillo interior de cerámica.

Las mejoras que promete el fabricante pasan por unas mayores posibilidades dinámicas, estabilidad en la afinación, sonido más claro, mayor facilidad de emisión y mayor velocidad en el picado.

1.4.2. ABRAZADERAS

La abrazadera es una pieza que, como su nombre indica, abraza o sujeta la lengüeta contra la boquilla impidiendo que aquella se mueva. Los distintos fabricantes han visto en la oferta de materiales y diseños de abrazaderas un mercado bastante amplio por cuanto del uso de esos materiales y diseños se deriva una diferente sensación al tocar así como un diferente sonido producido, aunque no siempre las diferencias sean fácilmente perceptibles al oído. Es importante resaltar que la abrazadera debe sujetar la lengüeta de manera que esta no se mueva durante la interpretación, pues daría nefastos resultados en esta al alterar la respuesta de la lengüeta.

En este apartado nos centraremos en su material constructivo, pero hemos de señalar que existen muchos diseños que tratan, cada uno a partir de su propia teoría, de buscar el mayor rendimiento acústico posible, mayor facilidad de emisión o articulación o un timbre determinado. Podemos ahora entrar a describir el diseño pero no su resultado acústico, puesto que no es objeto de este apartado.

Básicamente, los diseños son en forma de anillo más o menos ancho y buscan una de las dos posibilidades de contacto con la lengüeta: podemos encontrar abrazaderas que intentan estar en contacto con la mayor parte posible de la lengüeta³³, distribuyendo la presión sobre su superficie y esperando que el material ayude a la proyección del sonido, facilite su emisión y produzca el timbre deseado, y otras con la menor parte posible del material tocando la boquilla o la lengüeta, concentrando la presión en puntos concretos de esta con la intención de que la lengüeta vibre lo más libremente posible para conseguir los mismos resultados que con el otro tipo de abrazadera, es decir, que nos permita tocar fácilmente y con el sonido deseado.

La imaginación multiplica los diseños y las podemos encontrar como un anillo cerrado o como un anillo abierto que se cierra con uno o dos tornillos, dispuestos en la parte de arriba o de abajo, o con algún otro sistema que permita fijar la abrazadera a la boquilla y la lengüeta. Según el diseño, unas son simples, entendiendo por esto que

³³ Hablamos del talón de la lengüeta, que es la parte no rebajada, es decir, la que contiene la corteza.

presionan directamente la lengüeta, y otras llevan entre la propia abrazadera y la lengüeta placas de presión que pueden ser intercambiables o fijas.

También podemos encontrar abrazaderas con diseño en espiral y otras de cordón, el cual puede venir previamente trenzado o ser un simple cordón suelto que el intérprete atará a la boquilla.

Este estudio no puede ni pretende ser un catálogo de todas las abrazaderas que se han diseñado a lo largo de su existencia o que se pueden encontrar en el mercado actualmente. Lo que intentaremos hacer es ver algunos ejemplos que resuman los diferentes diseños con los que se construyen, junto con los materiales que se utilizan para fabricarlas.

Hilo o cordón: es el material más antiguo usado en estos menesteres. No hemos encontrado demasiada información específica sobre cuáles fueron los primeros materiales empleados en su composición. Rendall (1954/1971) habla de cuerda encerada o seda, pero es probable que también pudiesen ser de cuero o algodón.

En la actualidad se pueden encontrar fabricadas con materiales naturales y sintéticos como algodón y viscosa o sólo sintéticos como poliamida y elastina. Es el material más flexible de entre los que se pueden usar para la fabricación de abrazaderas. Suele estar en contacto con gran parte del talón de la lengüeta y su colocación tradicional es más lenta y engorrosa que la de las abrazaderas rígidas o semirrígidas.

Se coloca atando vuelta a vuelta la lengüeta contra la boquilla y haciendo un nudo al final (ver imagen 28). Una vez colocada adquiere la apariencia de un anillo cerrado.



Imagen 28. Proceso de colocación de una abrazadera de hilo/cordón.

Actualmente se ofrecen abrazaderas de hilo/cordón ya cerradas (ver imagen 29) que se ponen directamente sobre la boquilla y lengüeta y se ajustan con unos tiradores, facilitando mucho su colocación y ahorrando tiempo en el proceso.

En cualquiera de los dos casos se aprecia que entran en contacto con la mayor parte del talón de la lengüeta. Las abrazaderas previamente trenzadas resultan más caras por ser más elaboradas que el cordón simple, pero, a cambio, este pasa por ser el más barato y accesible de todos los materiales que se verán en este apartado.



Imagen 29. Abrazadera flexible de hilo previamente trenzado. A la izquierda suelta y a la derecha colocada en la boquilla.

Metal: desde que en 1812 Iwan Müller, virtuoso del clarinete, cambiara el hilo por una abrazadera metálica con dos tornillos por abajo para sujetar la lengüeta a la boquilla, se ha utilizado oro, plata, aluminio, titanio, bronce, acero inoxidable o latón

tanto solos como en diversas aleaciones para fabricar abrazaderas. Siendo esto así, independientemente del diseño, la materia prima ya determinará su precio básico.

Por su maleabilidad, los metales permiten infinidad de diseños y acabados. Son impermeables y les afecta poco la temperatura que soportan en condiciones de trabajo, pues la abrazadera no está en contacto con la boca. Cuanto más noble es el material (oro, plata...), más resistente es a las reacciones químicas. En casi todos los casos, los restantes materiales reciben baños de oro, plata, níquel o alpaca para evitar oxidaciones y mantener buen aspecto. Pueden tener diferentes espesores y densidades y las que son de tipo abierto son más susceptibles de deformarse ante un golpe, pues son flexibles pero poco elásticas.

En las siguientes imágenes se pueden ver varios diseños de abrazaderas metálicas cerradas (ver imagen 30) y abiertas (ver imagen 31). Como se podrá observar, las hay que buscan tocar la mayor parte del talón de la lengüeta y otras la menor parte, buscando unas y otras la mejor respuesta, proyección del sonido y timbre.

En el caso de la abrazadera en espiral, el diseño no debe confundirnos: aunque su apariencia sea flexible, el trenzado de sus hilos metálicos le confiere una rigidez sólo algo menor que las otras abrazaderas que se muestran en la imágenes.



Imagen 30. Abrazaderas metálicas cerradas. De izquierda a derecha: rígidas con forma de vaso (en aleación de bronce, plata y oro). Con forma espiral (en aluminio trenzado). Rígida con forma de anillo (en plata).



Imagen 31. Abrazaderas metálicas abiertas (se cierran a tornillo). De izquierda a derecha y de arriba a abajo: simple con un tornillo en la parte de arriba. Simple con dos tornillos por arriba. Compuesta con tornillo por abajo y placas de presión intercambiables (con boquillero) y simple con sistema de carrete.

Madera: No se prodiga mucho como material de construcción para abrazaderas. Sólo hemos podido encontrar tres fabricantes que la usen: Florián Popa (FP), la empresa IM³⁴ (ambas en España) y Paraschos en Grecia (ver imagen 32).

Las fabricadas por Popa e IM están construidas íntegramente en madera (de ébano las primeras y brezo las segundas). Las primeras son, junto con las abrazaderas rígidas metálicas, las que menos opciones de ajuste ofrecen, tanto por diseño como por el propio material utilizado al ser un anillo indeformable en forma de vaso. A cambio, al carecer de cualquier mecanismo, son las más rápidas de colocar. Su interior no es exactamente cilíndrico para poder tener cierto juego y colocarla un poco más arriba o debajo de la boquilla y ajustarse a lengüetas de diferente grosor en el talón.

³⁴ Investigaciones Manchegas S.L.

Las IM³⁵ están hechas con dos piezas troncocónicas concéntricas, siendo la interior abierta y más ancha y ejerciendo la exterior la función de aumentar o aflojar la presión sobre la lengüeta al deslizarse sobre la pieza interior, la cual se abrirá o cerrará en consecuencia. Debemos destacar aquí un hecho extraño: la hemos encontrado en páginas comerciales como abrazadera para clarinete, pero en su propia página web³⁶ no aparece como tal.

Las abrazaderas Paraschos están hechas con madera de palisandro y reforzadas con fibra de carbono. Su diseño es similar al de una abrazadera metálica de un solo tornillo. Las de madera de caña de bambú las hemos encontrado en la galería de fotos de la empresa Clarsaxpopa, pero no indica que la fabriquen ni está entre sus accesorios a la venta y no hemos podido encontrar ninguna referencia al fabricante.



Imagen 32. Abrazaderas de madera. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: Popa, Paraschos, IM (abierta y cerrada) y en madera de caña de bambú.

³⁵ También las fabrican en bronce con el mismo sistema.

³⁶ Ver: <http://www.investigacionesmanchegas.com/index.php/es/productos>

Cuero: el cuero es piel de animal curtida. Se trata de un material resistente y flexible, pero poco elástico. Nos referiremos aquí a las abrazaderas en las que el cuero es el material más importante en su estructura, aunque también puedan contener partes fabricadas en otros materiales, como veremos. Las abrazaderas que describiremos aquí son las de cuero del tipo anillo abierto que se cierra con tornillo -y no al cordón hecho con cuero- que dicho sea de paso, son el único tipo que hemos encontrado.

Las variantes de diseño halladas son: las más simples, en las que el cuero forma el anillo y pueden poseer o no una placa dentada fija en la base que se encarga de sujetar directamente la lengüeta.

Otras, más complejas, incluyen unas placas de presión intercambiables, las cuales pueden ser también de cuero o metálicas y que son las que están en contacto con la lengüeta. Las que hemos encontrado de este modelo, sujetan la placa intercambiable mediante un velcro, pegándose una parte del velcro a la propia placa y la otra al interior de la abrazadera.

Otro modelo que podemos encontrar incluye una placa metálica móvil pero no intercambiable y, por último, las hay con placas de madera instaladas en el interior de la abrazadera y en contacto con la lengüeta. Estas últimas (de la marca Wood Stone) se ofrecen con dos aspectos: con el cuero colocado como una sola cinta ancha y con el cuero dispuesto como dos cintas estrechas rodeando, en los dos casos, la boquilla.

En la imagen 33 podemos ver un ejemplo de cada uno de los modelos de abrazadera que se ha descrito, si bien, como hemos dicho al principio, no se pretende agotar toda la variedad de marcas y modelos que ofrece el mercado, sino mostrar los tipos básicos en cuanto a diseño que cuentan con el cuero como material de fabricación de abrazaderas.



Imagen 33. Abrazaderas de cuero. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: con placa fija de goma. Con base metálica fija. Con placas intercambiables (dos en cuero y una metálica), y las dos últimas con placa fija de madera de granadillo (cinta de cuero ancha y estrecha)

Plástico/sintético: Como en ocasiones anteriores, este término puede llevar a confusión. En realidad esta palabra debería referirse al estado en que se encuentra un material, pero habitualmente se refiere al propio material. Para ser correctos deberíamos hablar de polímeros sintéticos que, eso sí, pueden alcanzar el estado plástico cuando se exponen a cierto grado de calor. Entonces se vuelven fluidos o viscosos y es cuando se pueden manipular utilizando varias técnicas³⁷.

Los polímeros están formados por cadenas de monómeros, moléculas más simples que aquellos que se unen para formarlos. La gran ventaja de estos materiales es que eligiendo los monómeros que se utilizarán en su formación y controlando el grado de polimerización (la longitud de la cadena molecular), el entramado (creando uniones entre diferentes cadenas del mismo polímero) o la creación de enlaces cruzados, también llamados uniones puente o *cross-linking* (creando uniones entre diferentes

³⁷ Extrusión, moldeo o termoconformado.

cadena polimérica) se puede conseguir que el material resultante posea una gran variedad de propiedades y características que cubrirán una infinidad de necesidades.

Las características que los hacen adecuados para la fabricación de abrazaderas son: facilidad de manipulación y moldeo, tienen una densidad baja, son impermeables, no se deforman en condiciones de trabajo ni por la humedad ni por la temperatura y resisten la corrosión. Si a los factores descritos añadimos su bajo coste de producción y su buen funcionamiento, tenemos un material muy atractivo para la fabricación de abrazaderas.

Como según la composición y el tratamiento de los materiales plásticos, estos van a adquirir una serie de propiedades específicas, los que se van a usar en las abrazaderas tendrán, a excepción de la fabricada en Delrin³⁸, unas propiedades similares al cuero, material al que pretenden sustituir. Así, encontramos que el plástico empleado en las abrazaderas es un material resistente y flexible (salvo el Delrin, que es rígido), pero poco elástico.

Como en el caso de las abrazaderas de cuero, nos referiremos aquí a las abrazaderas en las que el plástico es el material más importante en su estructura, aunque también puedan contener partes fabricadas en otros materiales. Como podremos observar, son de un diseño muy similar a las de cuero. No trataremos aquí las construidas con cordón hecho con materiales sintéticos.

Las abrazaderas que describiremos aquí son las de material sintético del tipo anillo abierto que se cierra con tornillo por arriba (ver imagen 34), salvo tres excepciones: una que cierra por abajo, otra que es un anillo cerrado en la que el tornillo tiene la función de tensar unos cordones sintéticos (ver las dos en la imagen 35) y una tercera consistente en un anillo rígido cerrado, sin mecanismo alguno (ver imagen 36). Podría hablarse de una cuarta excepción, pero necesita una pequeña explicación:

³⁸ Delrin es la marca comercial de un material sintético muy rígido que tiene una densidad similar a la de la madera de granadillo, el Polioximetileno (POM). En el apartado dedicado a los cuerpos detallaremos mejor sus características. Otros nombres comerciales para este material son: Acetal, Acetron, Ertacetal, Resal, Hostaform, Sustarin, Tecaform, Ensita, Ultraform, Hydrel, Hydex, Pomalux, Turcite o Celcon.

puestos en contacto con el constructor italiano de instrumentos Flavio Ripamonti, este nos mostró una abrazadera de fabricación propia y no comercializada, según él mismo nos comentó (comunicación personal del 19 de marzo de 2013). Tenía forma de anillo cerrado, sin tornillo, pero estaba fabricada con un material sintético muy flexible, al que definió como Delrin. El caso es que, al buscar las propiedades de este material, constatamos que básicamente hay dos tipos de Delrin (POM-C y POM-H, copolímero y homopolímero, respectivamente) pero, que en cualquier caso, son materiales rígidos y no concordaban con lo que Ripamonti nos mostraba. Nos queda pensar que, o bien escuchamos mal a nuestro interlocutor, o bien este estaba equivocado con respecto a lo que nos estaba enseñando.



Imagen 34. Abrazaderas de material sintético. De izquierda a derecha: la más sencilla. Similar a la anterior pero con menos contacto con la lengüeta. Con placa metálica fija y con placa metálica movable pero no intercambiable.



Imagen 35. Abrazaderas de material sintético. De izquierda a derecha: con tornillo por abajo paralelo a la lengüeta, con tornillo por abajo perpendicular a la lengüeta y cerrada (el tornillo es para tensar el cordón)



Imagen 36. Izquierda: abrazadera en Delrin. Derecha: la misma colocada en la boquilla.

Las abrazaderas de Delrin son comparables por su diseño a las abrazaderas rígidas cerradas, por su densidad a las de madera y por su facilidad de producción y bajo coste a las sintéticas. Siguiendo la tendencia del mercado a diversificar el alcance de los productos, estas abrazaderas están disponibles entre otros instrumentos de la familia de los clarinetes y los saxofones, para clarinete bajo.

1.4.3. LENGÜETA

Antes que nada queremos comentar que, aunque las lengüetas para saxofón y clarinete pueden presentar algunas diferencias en cuanto a tamaño, su material y los procesos para su fabricación son los mismos. Por lo tanto, lo que se diga sobre unas sirve para las otras y la información que se haya obtenido sobre la lengüeta en el saxofón puede servir para la del clarinete. Con todo, en este trabajo nos referiremos siempre a las lengüetas para clarinete. Asimismo, las lengüetas para los instrumentos de la familia del oboe y el fagot también se fabrican en los mismos materiales, pero no se tratarán aquí porque su forma, procesado y funcionamiento es diferente al de las lengüetas de los instrumentos de la familia del clarinete y el saxofón.

La lengüeta del clarinete es una parte fundamental en la producción del sonido del instrumento. Se puede definir como una lámina de forma compleja (ver imagen 37) en la que su extremo más delgado vibra y bate sobre la punta boquilla. Este movimiento es el que origina la vibración que excitará la columna de aire del tubo del clarinete y producirá su sonido característico. Para que una lengüeta funcione bien debe tener una punta fina, flexible y elástica.

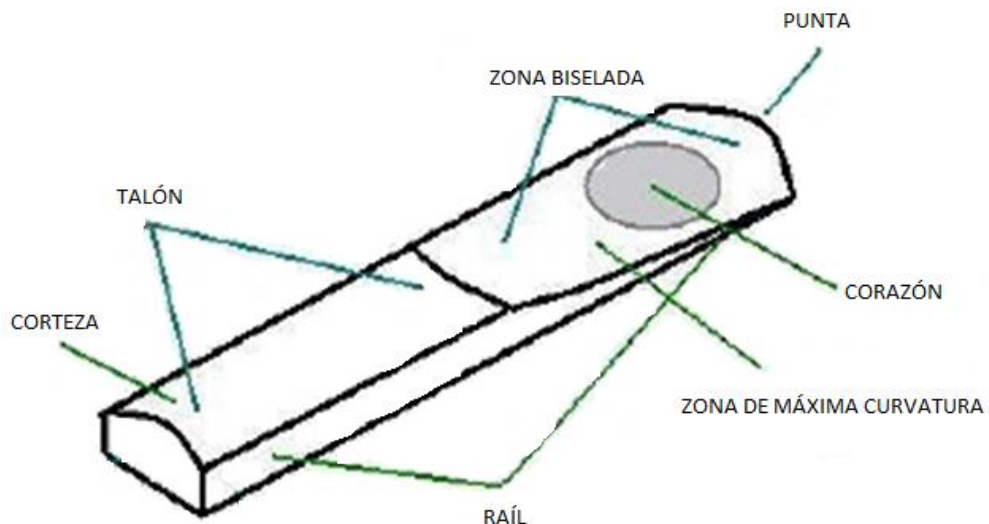


Imagen 37. Lengüeta de clarinete con los nombres de sus partes.

Al principio de su uso en el clarinete tenían forma rectangular, siguiendo la forma de la punta de la boquilla. Más tarde esa parte de la boquilla ha ido cambiando (tanto como su forma general) adquiriendo un contorno redondeado y ahora los fabricantes las construyen, además de con la punta curva, con ligeras variaciones en su forma y grosor. Hay que saber que las lengüetas serán tanto más grandes (ver imagen 38) cuanto más grande sea el instrumento y consecuentemente su boquilla. Aunque tradicionalmente se han venido construyendo a partir de la madera de una planta herbácea llamada *Arundo donax*, no es el único material con las que se han construido. Desde la Segunda Guerra Mundial (Brymer, 1976) se han probado materiales sintéticos para la construcción de lengüetas. Estos parece que han sido mejor recibidos por parte de los músicos de jazz, sobre todo saxofonistas. Pero parece ser que últimamente se le está dando un fuerte impulso y mejora a las lengüetas sintéticas para clarinete, de manera que incluso los intérpretes solistas de música clásica y profesores de orquestas sinfónicas las están usando satisfactoriamente.



Imagen 38. Lengüetas de clarinete (izquierda) y clarinete bajo (derecha)

Hemos podido encontrar tres fuentes en las que se mencionan otros materiales aparte del *Arundo donax* y del material sintético. Una de ellas es Brymer (1976), otra es Neuberger (1983) y la tercera Rice (2003). En la primera de las obras se menciona que

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

se han construido lengüetas con otros materiales pero solo pone los ejemplos del hueso y el metal y, en cualquier caso, no describe sus propiedades ni su funcionamiento. Neuburger (1983) reproduce lo que dice Brymer (1976) y en el libro de Rice (2003) se enumeran (además del *Arundo donax*) varios materiales: marfil, hueso, hueso de ballena, madera de calambuco (*Calophyllum brasiliense*), madera de boj, ébano y plata. Como en el primer caso, no se describen sus propiedades ni funcionamiento, aunque es de esperar que este no fuese muy satisfactorio, habida cuenta de que el único material que se ha seguido usando es el *Arundo donax*.

Así las cosas, salvo en los casos del *Arundo donax* y del material sintético, no tenemos referencias sobre su funcionamiento pero podemos intuir las razones por las que un material consigue mayor éxito que otro. Cuestiones como la absorción de humedad y su consecuencia en la calidad del sonido, la fragilidad de la lengüeta teniendo en cuenta las dimensiones que esta llega a tener en la punta o la peor respuesta a la vibración estarían en la base del poco éxito del resto de los materiales empleados en la fabricación de lengüetas. No creemos que el coste en dinero y tiempo empleado fuese una razón válida para dejar de usar esos materiales. Si hubiesen funcionado mejor que la caña natural, a nuestro parecer, se estarían fabricando al coste que fuese.

A falta de otros datos, nuestra opinión es que se intentaría que las primeras lengüetas estuvieran hechas de la misma madera que el instrumento al que iban destinadas. Esta opinión está fundamentada en que instrumentos hechos con tubo de caña anteriores a los *chalumeaux* y clarinetes de madera, tenían la lengüeta tallada en el mismo tubo (ver imagen 39). Es de suponer que al intentar este sistema con instrumentos de madera, la flexibilidad y elasticidad de esta fuera mucho menor que el de la lengüeta hecha de caña (*Arundo donax*, como se ha dicho) y no produjera el sonido deseado. Más tarde la lengüeta dejó de tallarse en el cuerpo del instrumento y se independizó, pasando a acoplarse mediante un cordón a una boquilla creada al efecto, dando lugar al sistema usado actualmente, si bien los tamaños y formas de boquillas y lengüetas se han ido modificando con el paso del tiempo.

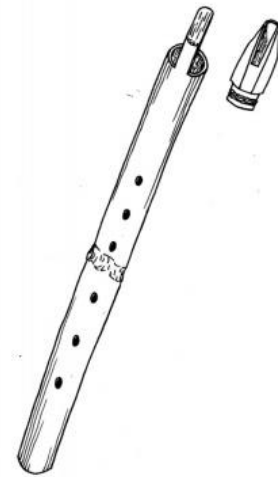


Imagen 39. Dos imágenes que pueden ilustrar el texto. Izquierda: instrumento de fabricación moderna, caña con un nudo de lengüeta simple a la cual se levanta un segmento desde el exterior para que entre el aire y así producir el sonido. Derecha: dibujo de un instrumento de viento semejante a un clarinete clásico hecho a partir de una caña, con la lengüeta tallada en el mismo cuerpo y una boquilla fabricada aparte.

La caña *Arundo donax* ha sido la materia prima que mayor éxito ha obtenido como material para construir lengüetas puesto que, como dijimos, es flexible y elástica y su cultivo permite obtenerla de manera abundante y fácil. Otra cosa es que su manipulación sea lenta y delicada y, como consecuencia, se encarezca el producto.

La forma de las lengüetas puede ser rectangular o trapezoidal, aunque salvo las primeras lengüetas construidas, la punta siempre será redondeada. Su base es plana y es la que se asentará sobre la tabla de la boquilla. En la parte contraria se distinguen dos zonas: una es curva y lisa formada por la corteza de la caña: es la parte que estará en contacto con la abrazadera. La otra zona está biselada de forma compleja hacia la punta (ver imagen 40), dejando más cantidad de madera en la parte más cercana a la corteza.

El biselado de la lengüeta así como su grosor en el talón o la densidad de sus fibras determinan la respuesta de la lengüeta y en gran medida, el timbre del instrumento, siempre en conjunción con la boquilla y la abrazadera. Las marcas comerciales de lengüetas se sirven de números o letras para determinar la resistencia a

la vibración que presentan estas. Los clarinetistas solemos llamar duras a las lengüetas que más resistencia oponen y blandas a las que menos.



Imagen 40. Ejemplos de diferentes formas del biselado de una lengüeta³⁹

No estamos de acuerdo con quienes afirman que la lengüeta de caña natural del clarinete ya trabajada sigue siendo un material vivo. Esta afirmación se basa en que la lengüeta acusa los cambios de humedad y temperatura muy sensiblemente, cambiando

³⁹ Imagen obtenida del Catálogo Vandoren 2015 (único lugar de donde hemos podido encontrar esta imagen con líneas topográficas). Hay un texto que acompaña la imagen pero que se ha eliminado de la foto porque era difícil de leer. El texto decía así: “Esquema en 3D indicando las curvas de nivel comparativo de 3 cortes de cañas. Todos los puntos sobre una misma curva de nivel tienen el mismo espesor. Cuanto más pronunciada sea la curva, mayor espesor tendrá la columna vertebral y el corazón de la caña, mientras que los lados del biselado son más finos”. Por si no se lee bien, el texto que aparece en la imagen hace referencia al espesor en mm y pulgadas de la punta y el talón de cada caña. De arriba abajo: **Tradicional**: espesor de la punta: 0,09 mm (0,0035 pulgadas), espesor del talón: 2,8 mm (0,110 pulgadas). **V12**: espesor de la punta: 0,10 mm (0,0040 pulgadas), espesor del talón: 3,15 mm (0,124 pulgadas). **56 Rue Lepic**: espesor de la punta: 0,11 mm (0,0045 pulgadas), espesor del talón: 3,25 mm (0,128 pulgadas). **V21**: espesor de la punta: 0,10 mm (0,0040 pulgadas) Espesor del talón: 3,25 mm (0,128 pulgadas).

su comportamiento en consecuencia. También es un material propenso al desgaste o más bien, a la pérdida de elasticidad por fatiga, lo cual también afecta a su comportamiento. Pero a nuestro entender, de ahí a ser un material vivo hay mucho camino. Quizá se refieran a que esos cambios en el comportamiento de la lengüeta y el hecho de que sea un material proveniente de una planta (ser vivo al fin y al cabo), sugieren que la caña tiene vida propia. Pero la caña al cortarla muere, aunque como madera que es, estará sujeta a cambios físicos que ya nada tendrán que ver con su vida.

Si las varas de caña, después de recogidas, no se manipulasen con el objeto de fabricar lengüetas acabarían pudriéndose, así que los productores, después de cortarlas, las juntan en haces y las dejan en el mismo campo o en algún lugar a la sombra durante un tiempo que puede oscilar entre dos y cuatro meses. Durante ese tiempo se pudren las hojas. Pasado este tiempo, se seleccionan las varas que servirán para hacer lengüetas y se cortan en trozos de alrededor de dos metros de largo. Hecho esto, se ponen a secar al sol durante mucho tiempo (entre seis y doce meses de media), dándoles un cuarto de vuelta cada cierto tiempo para que se sequen por igual todos sus lados. Hay quien dice que en el tiempo de secado y la frecuencia del volteado está el secreto de la calidad de las futuras lengüetas. Ignoramos si hay estudios específicos sobre este particular. En nuestra opinión, la condición indispensable para que las varas se puedan empezar a trabajar para convertirlas en lengüetas para clarinete, es que estas estén secas, pero a partir del punto en que ya lo estén, dejarlas reposar más es perder el tiempo.

A partir de ese momento se somete a las varas a toda una serie de procesos mecánicos que pasan por cortarlas en tubos un poco más largos que la longitud de la lengüeta que se desea fabricar, los cuales se dividirán en cuatro cuartos que se irán perfilando hasta conseguir la forma deseada. Los tubos también se separarán según el espesor de la pared del tubo, eligiendo los de mayor espesor para fabricar las lengüetas de los instrumentos más graves. Antes de que se mecanizara todo el proceso, cada clarinetista se fabricaba su propia lengüeta desde cero. En la imagen 41 se puede ver esquemáticamente la transformación del tubo de caña en lengüeta.



Imagen 41. Fases en la fabricación de una lengüeta.

Ahora existe la posibilidad de comprar el material en distintos grados de evolución: tubo de caña, cuartos de tubo, con la base plana, con el principio del bisel, con el bisel hecho a falta de rematar y cortar la punta y como lengüeta preparada para tocar.

La estructura de la lengüeta de caña la forman los xilemas, los floemas y la parénquima. Los xilemas son tejidos leñosos por los que se transporta el agua y las sales inorgánicas ascendentemente, los floemas son tejidos conductores por los que se transportan los azúcares y otros nutrientes sintetizados. La parénquima es un tejido de relleno que protege a los xilemas y floemas, los cuales se agrupan en haces. Estos tienen forma de tubo y además de las anteriores funciones mencionadas, también ofrecen soporte mecánico a la planta. Viene esto a cuento porque, aunque las lengüetas comerciales vienen listas para tocar, hay que pensar en que las cañas han sido seres vivos y presentan diferencias entre ellas. La consecuencia de estas diferencias se traduce en la diferente densidad de cada caña. Las lengüetas comerciales vienen numeradas según su dureza, es decir su resistencia a vibrar. Se suelen numerar del 1 al 5 o con letras en orden creciente de dureza/resistencia y, en contra de algunas creencias, no tienen diferente grosor en la punta, sino diferente densidad estructural.

Aún con todo lo que han avanzado las herramientas necesarias para fabricar las lengüetas, el clarinetista se encuentra con que no siempre las lengüetas de una misma numeración responden igual a sus exigencias y tienen que retocarlas para mejorarlas. Esto se debe a que no siempre la distribución de los xilemas y floemas es regular a lo

largo de toda la caña y por lo tanto de la lengüeta, provocando zonas de diferente densidad a lo largo de esta que hay que corregir para lograr el mejor funcionamiento. Tengamos en cuenta que el grosor de la lengüeta en la punta está alrededor de 0,09 mm.

Precisamente esa circunstancia hace que las lengüetas sean muy frágiles en la punta y se rompan con facilidad si no se manipulan con cuidado. Otros problemas que presentan las lengüetas tienen que ver con la higiene y las cuestiones antes mencionadas relativas a las propiedades mecánicas y a las variaciones de comportamiento por causa de la humedad o la temperatura.

Las lengüetas, al estar en contacto con la boca y ser manipuladas con las manos, van recogiendo suciedad (el calcio de la saliva, la grasa de las manos, polvo del ambiente...). Estos elementos van obstruyendo los xilemas y frenando su capacidad de vibración. Por otra parte, las variaciones de humedad y temperatura influyen en la dilatación o contracción del material, provocando cambios en su comportamiento muy rápidamente. El desgaste por roce y la fatiga del material al estar sometido a las tensiones producidas por las vibraciones, terminan por reducir la elasticidad de las lengüetas y con ello su capacidad de vibrar correctamente.

Todas las circunstancias descritas anteriormente se producen en períodos más o menos largos de tiempo. Las relacionadas con la higiene y el desgaste tendrán que ver con el cuidado que pongamos en la correcta manipulación y almacenaje de la lengüeta o el tiempo que la estemos usando. En lo que menos podemos influir es en los cambios de humedad y temperatura que se pueden producir de un momento a otro al cambiar de una habitación a otra, que haya aire acondicionado o no, etc.

En fin, todos los factores mencionados condicionan el comportamiento de la lengüeta y por extensión la calidad del sonido que producirá.

Las lengüetas sintéticas se crearon para paliar todos estos inconvenientes. Durante la II Guerra Mundial se experimentó mucho con materiales sintéticos y su uso como lengüetas para instrumentos como el saxofón o el clarinete viene determinado por

su capacidad de comportarse como una lengüeta de caña natural sin acarrear ninguno de sus inconvenientes. Es decir, se ha logrado un material flexible y elástico, con una capacidad de vibrar semejante a la lengüeta de caña natural, pero más resistente a la rotura, el roce o la fatiga del material y más higiénico porque es poco o nada poroso y por ello poco susceptible de almacenar suciedad, además de que se puede lavar fácilmente. Por si fuera poco las propias cualidades del material lo hacen insensible a los cambios de humedad o temperatura.

Parece ser que la creciente calidad en la fabricación de estas lengüetas y el paulatino desmoronamiento de prejuicios sobre el uso de estas ha propiciado que cada vez haya más grandes intérpretes utilizándolas. Quizá la tardanza en hacerlo provenga del apego a la tradición, pero las características de este material lo hacen un buen candidato a ser el material por excelencia. Por otra parte al ser un material muy estable, la lengüeta sintética siempre ofrecerá la misma respuesta y si el conjunto boquilla-lengüeta sintética-abrazadera no responde a las expectativas depositadas en él, poco se podrá hacer, puesto que, al contrario que la lengüeta de caña natural, aquella no debería tener zonas de diferente densidad y por lo tanto no debería ser necesario retocarlas. Aun así, parece que hay cierto margen para el retoque, pues hemos encontrado información (poca) al respecto de cómo retocar una lengüeta sintética⁴⁰ y parece ser que el proceso es menos complicado que el necesario para una lengüeta de caña natural, al menos sobre el papel. En cualquier caso será mejor buscar la combinación boquilla-lengüeta sintética-abrazadera más satisfactoria.

La forma general de las lengüetas sintéticas es similar a la de las lengüetas de caña natural para poder usarse con las mismas boquillas (ver imágenes 42, 43 y 44). Hay fabricantes que están diseñando boquillas específicas para sus lengüetas, pero no por eso cambian la forma básica.

⁴⁰ De hecho, sólo la encontramos en la página comercial de la empresa Fiberreed.

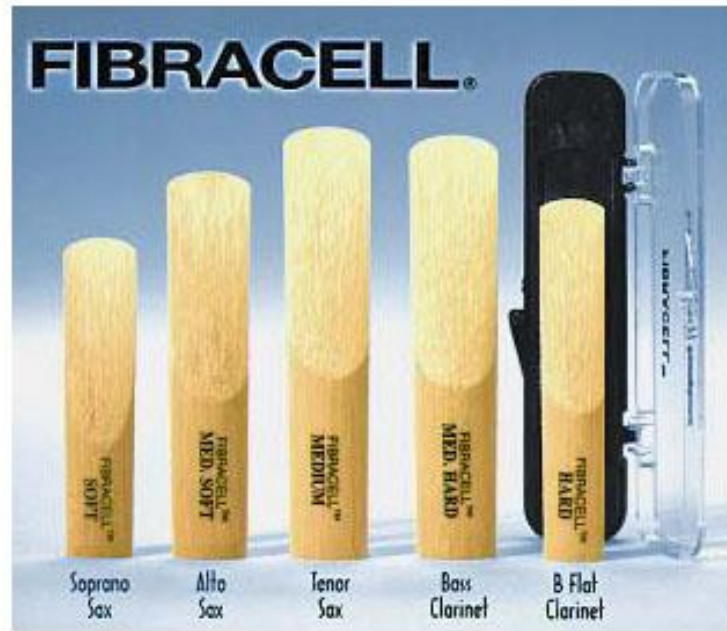


Imagen 42. Lengüetas sintéticas para clarinete y saxofón.



Imagen 43. Lengüetas sintéticas de varias marcas. De izquierda a derecha: Bari, Légère y Forestone.



Imagen 44. Lengüetas sintéticas Fiberreed de diferentes características.

En cuanto a material de construcción, debemos hacer dos aclaraciones: hay marcas que usan como base la caña natural y cubren la zona biselada con un compuesto sintético (ver imagen 45). Este tipo de lengüetas las hemos ubicado dentro del apartado de las lengüetas sintéticas porque con esta cubierta se quiere conseguir alcanzar las características de este tipo de lengüetas. Claro que, usando caña natural como base, nos podemos encontrar con los problemas de densidad mencionados anteriormente, que hacen necesario el retoque de las lengüetas naturales para su mejor funcionamiento. Otra marca fabrica sus lengüetas sintéticas basándose en un material compuesto especial: una mezcla de resina de polipropileno y celulosa procedente de fibras de madera, más del 50 por ciento de las cuales provienen del bambú (ver imagen 43, derecha). Están en este apartado por las mismas razones que las anteriores.



Imagen 45. Lengüeta natural con la zona biselada cubierta con material sintético.

El resto de lengüetas sintéticas está fabricado íntegramente en material sintético. Evidentemente, los fabricantes no van a desvelar la fórmula específica de cada compuesto ni la manera de trabajarlo, pero hemos podido encontrar algunas pistas.

Hasta los años setenta se probó con plásticos duros, probablemente PMMA (Polimetilmetacrilato), pero sus resultados eran muy poco satisfactorios en cuanto a calidad y control del sonido. A partir de entonces, los materiales compuestos tomaron el relevo y se ha ido mejorando mucho el comportamiento, la respuesta y la calidad del sonido obtenido.

En algunas lengüetas sintéticas se usan fibras de plástico, Kevlar⁴¹ en algunos casos o fibra de carbono hueca en otros, rodeadas de una resina porosa que intenta imitar la absorción de humedad de la caña natural (ver imagen 46).

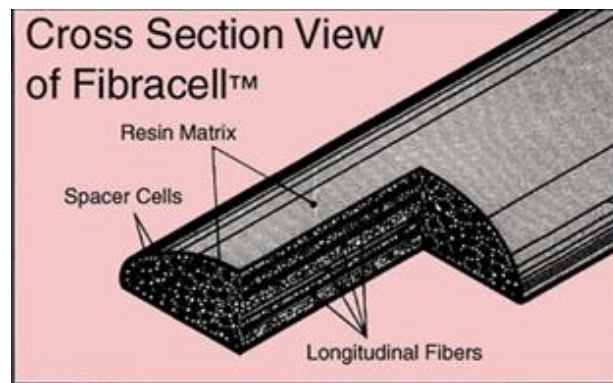


Imagen 46. Estructura de una lengüeta sintética.

⁴¹ Es el nombre comercial de la poliamida poliparafenileno tereftalamida.

1.4.4. BARRILETE

El barrilete es una pieza que conecta la boquilla con el cuerpo superior del clarinete. Suele tener forma de cilindro más o menos abombado, de ahí que su semejanza con un barril le haya proporcionado el nombre. En algunas ocasiones se ha construido el barrilete integrado en la boquilla y en otras el barrilete se ha integrado en el cuerpo superior. No tendremos en cuenta estos barriletes en este apartado porque se pueden considerar más como boquillas o cuerpos extendidos que como barriletes propiamente dichos y, en lo que concierne al material, estarían hechos del mismo que la boquilla o el cuerpo.

Al principio, los barriletes se fabricaban con el mismo material con el que estuvieran fabricados los cuerpos del clarinete, pudiendo estar fabricada la boquilla en otro material. Actualmente el mercado ofrece muchos tipos de formas y materiales de construcción de barriletes donde elegir según las necesidades o gustos de cada intérprete. Los criterios de elección pasan desde la mejora de la afinación, el timbre o la respuesta hasta la ligereza o el aspecto. En cualquier caso, al ser un elemento independiente, ya no es necesario que esté fabricada en el mismo material que el cuerpo del instrumento. Se pueden encontrar con anillos en los extremos para protegerlos de golpes o para evitar que se agrieten. Los anillos pueden ser de marfil, metálicos o de material sintético. Otros prescinden de anillos aduciendo que el sonido es mejor sin ellos. Algunas veces, estos últimos tienen el borde más ancho, a modo de anillo.

Su taladro interior puede ser cilíndrico, ligeramente cónico inverso (más estrecho en la parte que se une a la boquilla y más ancho en la parte que se une al cuerpo superior) o doble cónico (con forma de reloj de arena). Además de estos taladros habituales, hemos podido encontrar un curioso e interesante barrilete con taladro rectangular. Asimismo, además de los barriletes fabricados en una sola pieza, encontramos barriletes telescópicos cuyo funcionamiento detallaremos más abajo.

En cuanto a las cualidades que deben poseer los materiales empleados para su fabricación, deben ser más similares a los de la boquilla o a los de los cuerpos superior e

inferior que a los de las lengüetas y abrazaderas flexibles. Así pues, necesitaremos unos materiales rígidos pero de fácil mecanizado o moldeado. No sólo la calidad del material puede producir un timbre o una respuesta diferente dependiendo de sus cualidades, también la cantidad de material usado puede influir en el sonido obtenido.

A falta de un estudio sistemático sobre este particular, los fabricantes sostienen que un barrilete con paredes más delgadas producirá un timbre más claro, mientras que un barrilete con paredes más gruesas dará el resultado contrario. Hay barriletes en varias medidas para ajustar la afinación general del clarinete, bajando esta si el barrilete es más largo (para el mismo taladro), pues se alarga el tubo del clarinete y baja la frecuencia.

La afinación del clarinete depende en parte de la temperatura de la columna de aire, y esta puede mantener su temperatura más o menos estable dependiendo del material y grosor del tubo que la contiene. Así, dentro de un mismo material, cuanto más grosor tengan sus paredes, más tardará en calentarse pero también retendrá más el calor y en consecuencia, también tardará más en enfriarse, manteniendo por más tiempo la temperatura óptima de cara a la afinación.

Veamos qué materiales y formas se han usado en la construcción de los barriletes:

Madera: es el material más antiguo y el más usado, al menos mientras algún material sintético no lo desplace de ese puesto. Como hemos dicho en otros apartados, es el material al que mejor acceso tenían los constructores y además es fácil de trabajar con el torno. Con el tiempo los fabricantes han ido usando diferentes maderas con el objeto de mejorar o, mejor dicho, individualizar su sonido (ver imágenes 47 y 48).

Los primeros clarinetes se construían frecuentemente en madera de boj, estando el barrilete fabricado con la misma madera, aunque según avanzaba el tiempo, por lo general se han ido empleando maderas cada vez más duras y pesadas como el ébano, hasta que la sobreexplotación de este árbol amenazó su supervivencia y hubo que restringir el empleo de su madera. Entre otras, la madera del cocobolo, el palo de rosa,

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

el mopane, el palisandro, el granadillo, etc. están supliendo con gran éxito el uso del ébano en la fabricación de instrumentos y accesorios musicales. Podemos hacernos una idea de la variedad de maderas usadas en la fabricación de barriletes sabiendo que actualmente la empresa *Martin Freres Company* fabrica barriletes por encargo en quince tipos de madera natural además de cuatro tipos de material sintético.



Imagen 47. Barriletes de madera. De izquierda a derecha: ébano, olivo y boj (con anillos en marfil), NC Clarinet Collection Arkansas, EEUU.



Imagen 48. Barriletes de diferentes formas y maderas. De izquierda a derecha: granadillo de pared gruesa, cocobolo de pared delgada, palisandro con forma curvada.

Materiales sintéticos: se han usado para la fabricación de barriletes, así como de otras partes del clarinete, porque ofrecen cualidades parecidas a las que ofrece la

madera con la ventaja de su menor coste de la materia prima y la producción, menor peso y mayor resistencia a la rotura. También juegan la baza de la estética, pudiendo encontrarse en varios acabados y colores (ver imagen 49).



Imagen 49. Barriletes de material sintético. De izquierda a derecha: ebonita, PMMA (Polimetilmetacrilato) transparente y ABS (Acrilnitrilo Butadieno Estireno)

La necesidad de encontrar materiales que simulen el comportamiento acústico de la madera pero que resulten más ventajosos económicamente y respeten los árboles que producen tradicionalmente las maderas usadas en la fabricación de clarinetes (entre otros instrumentos), ha hecho que el desarrollo de nuevos materiales sintéticos haya avanzado mucho.

Los últimos avances en este campo los encontramos en la creación de compuestos a base de polvo de madera natural mezclado con materiales sintéticos. Así, los últimos materiales usados en la fabricación de clarinetes en general y, por lo tanto de barriletes, son el *Green-Line*, desarrollado por la empresa francesa con sede en París Buffet-Crampon y el BTR (*Bi-thermal Reinforced Grenadilla*) desarrollado por Hanson Clarinets en Londres.

El primer material consiste en un compuesto a base de polvo de granadillo y fibra de carbono elaborado con unas técnicas exclusivas y patentadas por la casa Buffet-Crampon. Su aspecto es el de la madera de granadillo. El BTR es un compuesto a base

de madera de granadillo y ebonita y su aspecto también es similar a la madera de granadillo. En la imagen 50 se puede ver un ejemplo de cada barrilete.



Imagen 50. Izquierda: barrilete fabricado en Greenline. Derecha: barrilete fabricado en BTR.

Hueso/marfil: no hemos podido encontrar información concreta sobre barriletes de marfil. Como ocurre con el ébano, la obtención de la materia prima está muy restringida y en cualquier caso, el poco uso que se le ha dado como material para la fabricación de barriletes en particular y clarinetes en general, hace pensar que no daba mejor resultado que la madera, siendo probablemente más caro, más difícil de obtener y más delicado de trabajar.

Lo que sí ha sido más habitual es encontrar marfil en los anillos de los extremos de los barriletes y que servían de protección contra los golpes o para evitar que la madera se agrietase por esos puntos.

En cuanto al hueso, hemos encontrado un fabricante que los construye en lo que llama Marfil de Québec que es, como él mismo explica en su página, cuerno de alce que se recoge en enero, cuando los alces mudan la cornamenta, siendo así innecesario matar animales para obtenerlo. En la imagen 51 podemos ver un ejemplo de cada material.



Imagen 51. Izquierda: barrilete y boquilla en marfil con anillos y abrazadera en latón Metropolitan Museum of Art. Nueva York, EEUU. Derecha: barrilete en marfil de Québec (cuerno de alce).

Metal: en este apartado podemos distinguir entre los modernos barriletes fabricados en aluminio pulido o anodizado en color negro y con el exterior liso o rizado para eliminar tiempo de calentamiento, diseñados para acoplarse en los clarinetes modernos y los barriletes que formaban parte de un clarinete fabricado íntegramente en plata o latón con baño de plata⁴². Entre estos últimos también los había de pared simple y de doble pared. Ver ejemplos en la imagen 52.



Imagen 52. Barriletes metálicos. De izquierda a derecha: en aluminio anodizado, moderno en resina y aluminio, y de pared simple. NC Clarinet Collection. Arkansas, EEUU.

⁴² En 1879 Agostino Ramponi experimentó con el clarinete metálico de doble pared sin mucho éxito. En 1888 la empresa *C. G. Conn Co.* patentó un clarinete diseñado para su producción masiva. Los clarinetes fabricados en metal estuvieron en producción entre 1895 y 1965. La mayoría se fabricaron entre 1924 y 1939 y su principal mercado eran los Estados Unidos.

Barriletes especiales: queremos hacer aquí un aparte con los barriletes que suponen una innovación respecto de los tradicionales independientemente de su material de construcción. Las innovaciones consisten en la posibilidad de incrementar su longitud sin tener que cambiar de barrilete (ver imagen 53), en el taladro rectangular en lugar de cilíndrico (ver imagen 54) o en la introducción de material cerámico en su interior (el barrilete no está íntegramente fabricado con este material), como podemos ver en la imagen 55.

Entre los barriletes que pueden variar su longitud (mediante un sistema de roscado) podemos encontrar diferentes formas y materiales utilizados en su fabricación: madera, material sintético o aluminio, con grabados ornamentales o sin ellos. En cualquier caso, el mecanismo de estos barriletes está pensado y diseñado para que no se creen holguras en el taladro interior.



Imagen 53. Barriletes con sistema de afinación integrado. De izquierda a derecha y de arriba abajo: en aluminio liso o grabado, en aleación de aluminio, en madera de granadillo (con rosca metálica), en material sintético SIOTTEC y en ABS.



Imagen 54. Exterior y vista del interior de un barrilete con taladro rectangular en material sintético.

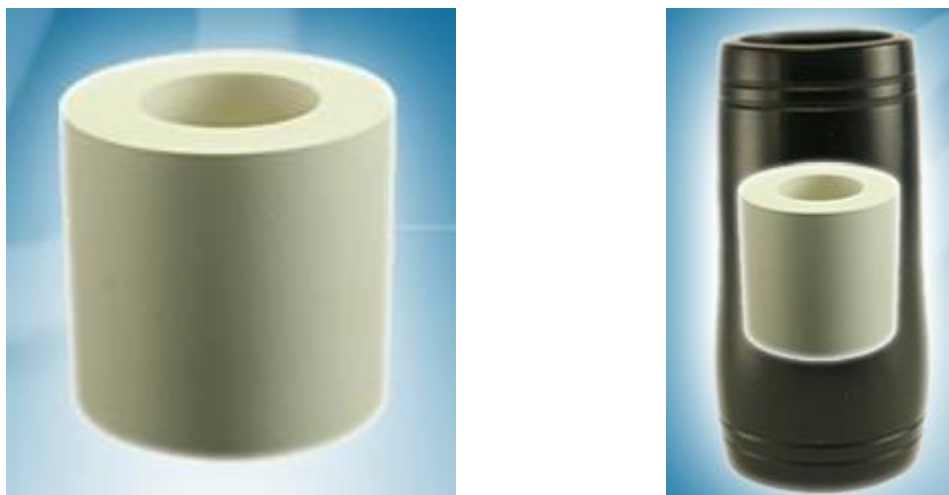


Imagen 55. De izquierda a derecha: cilindro cerámico y fotomontaje para ver el cilindro cerámico instalado en el interior del barrilete de resina

1.4.5. TUDEL

El tudel del clarinete bajo y en general el de los clarinetes graves hace la misma función que el barrilete en los clarinetes sopranos y agudos; es decir, conecta la boquilla con el cuerpo superior del instrumento. Pero debemos tener en cuenta que su mayor tamaño condiciona tanto su forma, en ángulo recto o curvado, como los materiales empleados en su fabricación, los cuales se han limitado a diferentes metales o a las distintas maderas con las que estaban fabricados los clarinetes bajos más antiguos. Al menos nosotros no hemos encontrado tudeles fabricados en marfil, hueso, materiales sintéticos o cerámica.

Madera

Hasta donde sabemos y salvo la excepción que veremos más abajo y que casi podríamos definir como barrilete para clarinete bajo, los tudeles de madera sólo se han utilizado en los primeros clarinetes bajos. Es de suponer que en cuanto los fabricantes se dieron cuenta de que la maleabilidad del metal les ofrecía mayor versatilidad que la madera, dejaron de usar esta última. Las desventajas que presenta el metal se encuentran en que este es flexible pero no elástico, con lo que un golpe puede deformarlo y no recupera su forma por sí mismo; en que cambia de temperatura a mayor velocidad que la madera, con lo que ello puede suponer de cara a la afinación y en el caso de no estar fabricado en metal noble, la posibilidad de oxidación es muy grande, cuestión que se intenta paliar recubriendo el metal con un baño de oro, plata o níquel.

Salvo por el excepcional diseño del clarinete bajo de Papalini, los tudeles fabricados en madera son rectos (ver imagen 56), por la dificultad de esta para curvarse y pueden disponer de un codo para conectarse con el cuerpo superior del instrumento. Los fabricados en metal suelen ser curvados y pueden estar divididos en dos partes, una de las cuales se puede desplazar telescópicamente dentro de la otra y facilitar la modificación de la afinación general del clarinete bajo modificando la longitud del tubo. Algunos tudeles metálicos incorporan un agujero de registro tapado con una zapatilla

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

montada sobre una llave y accionada por el dedo pulgar izquierdo, directamente o gracias a un automatismo.



Imagen 56. Tudeles para clarinete bajo en madera. Izquierda: curvado (Papalini). Musée des instruments de musique. Bruselas, Bélgica. Centro: recto (Streitwolf). Haags Gemeentemuseum. La Haya, Países Bajos. Derecha: moderno anónimo, con codo metálico.

No hemos encontrado ningún fabricante actual que los fabrique para clarinete bajo de forma curva utilizando madera. Sin embargo, la empresa Paraschos está fabricando tudeles en madera para saxofones (imagen 57), con lo cual, no sería sorprendente encontrarlos dentro de un tiempo también para clarinete bajo.



Imagen 57. Tudel en madera para saxofón.

Otro accesorio relacionado con el tudel del que hemos tenido noticia es el resonador (imagen 58), construido por Florián Popa y que consiste en un anillo cerrado de madera de ébano que se puede acoplar al tudel de un clarinete bajo con la pretensión de mejorar la resonancia y la producción de armónicos.



Imagen 58. Resonador de madera para tudel metálico de clarinete bajo.

Como hemos comentado, la maleabilidad del metal (habitualmente latón), su rigidez en condiciones de trabajo, su bajo coste y su facilidad de adquisición hacen de este material una opción muy apreciada a la hora de fabricar tudeles, motivo por el cual ha desplazado a la madera en ese cometido. En la anterior imagen 56 podemos ver algunas de las distintas formas que han ido tomando los tudeles a lo largo del tiempo y, en la imagen 59, tudeles actuales fabricados con diferentes materiales.



Imagen 59. Tudeles metálicos de dos piezas con agujero de registro. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: de Gloger en cobre y en plata y de Selmer con ángulo estrecho.

1.4.6. CUERPOS

Las piezas que albergan los agujeros y las llaves del clarinete se llaman cuerpos, estando el superior destinado a la mano izquierda y el inferior a la mano derecha, al menos desde que se generalizó este diseño. En los clarinetes más agudos podemos encontrar que una sola pieza alberga el mecanismo y los agujeros de las dos manos. Asimismo, en algunos clarinetes se pueden encontrar agujeros fuera de estos cuerpos, tanto abiertos sin ningún mecanismo de apertura o cierre como accionados por llaves. Los abiertos sin mecanismo sólo se pueden encontrar en la campana y los que disponen de mecanismo se pueden encontrar en la campana o el barrilete (ver imagen 60).



Imagen 60. Agujeros practicados fuera de los cuerpos del clarinete. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: en la campana de un clarinete, sin mecanismo de cierre, en la campana de un clarinete bajo, con plato para abrirlo o cerrarlo, en el barrilete de un clarinete y en el tudel de un clarinete bajo.

Como en los casos que hemos comentado anteriormente sobre las boquillas y barriletes, estas piezas necesitan ser lo suficientemente rígidas para no deformarse. Hemos encontrado cuerpos fabricados en varios materiales: madera, materiales sintéticos, marfil y metal. Los tres primeros resultan ser por aspecto, dimensiones y

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

tratamiento, bastante similares, mientras que el metal presenta claras divergencias con los anteriores, como veremos más adelante.

Ya hemos dicho al principio de este apartado que los cuerpos albergan los agujeros llamados tonales, que son aquellos que atraviesan perpendicularmente la pared del tubo hasta el interior del clarinete. Pero, además de estos, los cuerpos (excepto los de metal) reciben otros agujeros en su superficie -sin llegar hasta el taladro- que servirán para albergar los pivotes que se atornillarán al cuerpo y a los que se fijarán las llaves, las guías de estas o el apoyapulgar. Además, también se practican algunos rebajes destinados a alojar algunos muelles de ballesta. En el caso de los cuerpos de metal, los pivotes, guías y apoyapulgar se unen a aquellos mediante soldadura (ver imagen 61).



Imagen 61. Cuerpos desprovistos de mecanismo. Arriba: cuerpo superior de clarinete en madera con los agujeros tonales, los agujeros para pivotes y las ranuras para los muelles de ballesta. Abajo: cuerpo inferior de clarinete de metal con los pivotes montados en una placa soldada al cuerpo.

Madera: no hay novedades en cuanto a las maderas usadas para la construcción de los cuerpos de los clarinetes. Son las que se han ido viendo en los apartados de las boquillas y los barriletes. Hasta hace relativamente poco tiempo, el material con el que

se fabricaban las diferentes partes del tubo de un clarinete⁴³ era el mismo para todo el instrumento excepto la boquilla, que por las razones descritas en el apartado destinado a ellas, han sido fabricadas en ocasiones con maderas más duras que las usadas para el resto del tubo, cuando no en otros materiales, como metal, vidrio o ebonita (el de mayor éxito). En el caso de los clarinetes bajos, los tudeles (sustituyendo a los barriletes) y campanas han sido mayoritariamente fabricados en latón ya desde el principio.

La mayor dificultad en la fabricación de los cuerpos es encontrar un bloque de madera con las características apropiadas para realizar ese cometido. Se necesitan bloques lo suficientemente grandes como para que con el mecanizado de las piezas queden con el tamaño adecuado (ver imagen 62). Además del tamaño, debemos tener en cuenta que se pueden encontrar nudos e imperfecciones en la madera que pueden hacer que esta se agriete en el proceso y se pierda la pieza. Recordemos que la pieza va a recibir un buen número de agujeros tonales, ranuras y por supuesto el taladro interior, todos los cuales van a socavar la resistencia de los cuerpos.



Imagen 62. Pasos para la formación del cuerpo superior de un clarinete (izquierda) y una campana de clarinete (derecha).

⁴³ Entendido como el que alberga el tubo sonoro, desde la boquilla hasta la campana ambas inclusive y excluyendo lengüeta, abrazadera, llaves, zapatillas y corchos.

La tendencia en la construcción de la familia de clarinetes fabricados en madera ha sido la de emplear maderas cada vez más duras y densas y, por tanto más pesadas. La razón aducida por los constructores ha sido la de que las características de estas maderas provocaban un mayor número de armónicos en el sonido que daban como resultado una percepción más brillante del mismo y producían una mayor proyección del sonido. Tengamos en cuenta que la cada vez mayor envergadura de las orquestas así como las exigencias dinámicas de los compositores durante el período de evolución de los instrumentos de la familia del clarinete, hacía de la proyección de su sonido una necesidad vital. Ahora bien, la susodicha proyección no se lograba solamente cambiando el material y así tenemos que los constructores introdujeron distintas modificaciones en las dimensiones y formas interiores de los tubos y los agujeros, de manera que ahora se hace difícil, sin una investigación específica, saber qué parte de mérito se le ha de atribuir a cada aspecto.

Otra de las razones que sugeriríamos como argumento para el uso de estas maderas más densas es la resistencia al agrietamiento durante el proceso de taladrado del tubo, tanto el taladro interior como el de los agujeros tonales. Hasta que se generalizó el actual sistema de fijación de las llaves por medio de pilares atornillados al cuerpo del clarinete, el sistema consistía en dejar unos resaltes de la propia madera en el cuerpo del clarinete a los que atravesaba un pasador que servía de eje a la llave (ver imagen 63).



Imagen 63. Llave para el meñique derecho montada sobre un resalte de la madera de un clarinete en Do Graves & Alexander (Winchester, New Hampshire, ca. 1827-1833). National Music Museum. University of South Dakota. Dakota, EEUU. El eje de la llave es un pasador que atraviesa la madera.

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

El uso, según la época, de anillos de marfil, metálicos o sintéticos en los extremos de las piezas de madera que constituyen el clarinete lo podemos tomar como indicativo de que se pretendía evitar en lo posible el agrietamiento de la madera por accidente o por la acción de los cambios bruscos de temperatura y humedad.

También, como se puede ver en las imágenes de los cuerpos de los clarinetes sin mecanismo, el número de los agujeros taladrados y su situación han de minar necesariamente la resistencia de la madera, sobre todo en el extremo superior del cuerpo superior, porque hay muchos agujeros juntos y es la parte del cuerpo más próximo a la boca, con lo que recibe mayores variaciones de humedad y temperatura. En la imagen 64 se puede ver una grieta en el cuerpo superior de un clarinete.

Por su parte, el cuerpo inferior no suele agrietarse tanto como el superior a pesar de que los agujeros, aunque estén más separados, sean más grandes y el espesor de la madera suele decrecer en su extremo inferior de manera que la espiga resulte delgada. Esto hace que, en ocasiones, se refuerce la zona con un anillo metálico o sintético. Actualmente, muchos fabricantes consideran que estos anillos tienen un efecto adverso en el sonido e intentan mediante el cuidado en el secado y tratamiento de la madera reducir la aparición de grietas para poder así prescindir de los mencionados anillos.



Imagen 64. Grieta en el cuerpo superior de un clarinete de madera.

Por supuesto, y como se ha dicho, la accesibilidad a la materia prima era un argumento fundamental en el uso de la misma. Hasta después de la revolución industrial es de suponer que los talleres en los que se construían los instrumentos eran pequeños

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

negocios familiares sin muchos operarios y sin un respaldo económico lo suficientemente grande como para permitirse investigar el uso de diferentes maderas.

La exploración del interior de África y la explotación de las maderas exóticas que allí se daban proveería de materia prima a estos talleres, iniciando el declive de las maderas en uso hasta entonces: boj, peral, cerezo, ciruelo o arce por las nuevas maderas negras africanas. La sobreexplotación de estas ha dado como resultado la necesidad de controlar su uso, de manera que los constructores han buscado en otras maderas las características y prestaciones que obtenían de las africanas (ver imagen 65). Las maderas que se están usando actualmente son, entre otras, el granadillo, el cocobolo, el palisandro o el mopane.

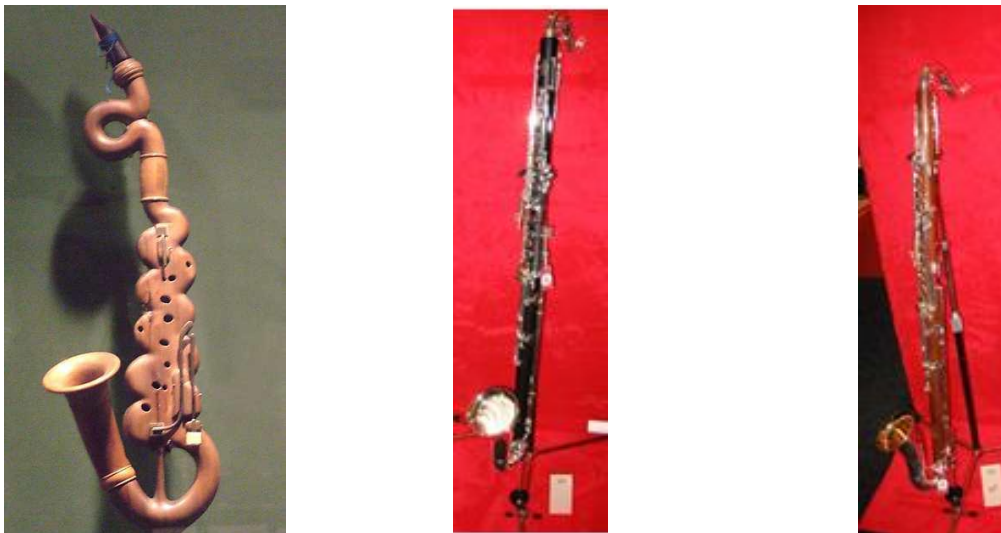


Imagen 65. Clarinetes bajos fabricados con distintas maderas. Izquierda: en olivo. Metropolitan Museum of Art. Nueva York, EEUU. Centro: granadillo. Derecha: mopane.

Con todo, los constructores de réplicas de instrumentos antiguos siguen usando el tipo de maderas con las que en su día se fabricaban estos instrumentos. Uno de estos constructores, Schwenk-Seggelke de Bamberg (Alemania), fabrica tanto réplicas de instrumentos antiguos como instrumentos modernos, pudiendo estos últimos adoptar los sistemas francés, alemán o *Reform-Boëhm* (combinación del taladro alemán con la digitación francesa). La experiencia acumulada gracias a estas dos actividades le ha permitido construir clarinetes modernos en madera de boj (ver imagen 66) y, al parecer,

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

con muy buenos resultados. Aun así, y como no podía ser de otra manera, el propio fabricante advierte de que la estabilidad dimensional del boj no puede ser la de la madera de granadillo porque no es una madera tan dura.



Imagen 66. Clarinetes Schwenk-Seggelke en madera de boj. Izquierda: sistema francés. Derecha: sistema alemán.

Materiales sintéticos: como podemos imaginar, los materiales sintéticos usados en los barriletes son susceptibles de usarse también en los cuerpos superior e inferior del clarinete y, por extensión, del clarinete bajo. Este trabajo no pretende nombrar a todos los fabricantes que usan cada material, sino dar ejemplos de su uso por parte de algunos constructores, con lo cual señalaremos su uso en los clarinetes bajos preferiblemente.

ABS: material más ligero y más económico que la madera por producción y por la posibilidad de prescindir del mecanizado en la formación de las piezas. Parece ser que el proceso de formado de las piezas consiste en la inyección a presión de la resina

ABS en estado plástico en unos moldes, lo cual es mucho más rápido que el mecanizado de las piezas a partir de un bloque. Por sus buenas capacidades acústicas, ha sido ampliamente usado en clarinetes sopranos y agudos y también ha servido para construir los cuerpos superior e inferior de algunos clarinetes bajos (ver imagen 67).



Imagen 67. Yamaha YCL-221 con cuerpos en ABS.

Para evitar las grietas de las que hemos hablado anteriormente y –suponemos– para abaratar costes, Yamaha fabrica el clarinete modelo YCL-450M Duet+⁴⁴. En la información que podemos encontrar en la página hay dos explicaciones diferentes sobre el método empleado para la fabricación de este clarinete: la primera explica que el cuerpo superior está realizado en ABS y reforzado con inserciones de madera de granadillo y la segunda explica que sólo el contorno interior del taladro del cuerpo superior recibe una capa de resina ABS. Según Emilio Martínez, uno de los responsables técnicos de la marca (comunicación personal del 7 de mayo de 2012), la segunda información es la correcta.

⁴⁴ Información en la página: <http://es.yamaha.com/es/products/musical-instruments/winds/clarinets/bb-clarinets/ycl-450m/?mode=model>

PMMA⁴⁵: no hemos podido encontrar clarinetes bajos fabricados en este material pero sí clarinetes sopranos, de los que sí hemos localizado algunos ejemplos. Aunque el PMMA es susceptible de ser coloreado, reproduciremos -por la curiosidad que despierta- un clarinete soprano fabricado en PMMA transparente (ver imagen 68). Como en el caso del ABS, se puede mecanizar y moldear.



Imagen 68. Clarinete desmontado fabricado en PMMA transparente.

EBONITA: material sintetizado a partir de la vulcanización del caucho natural, es el material por excelencia en la elaboración de las boquillas modernas por su estabilidad ante los cambios de temperatura y humedad. También se ha usado para fabricar el resto de las partes del clarinete desde 1860 (Rendall, 1954/1971), con mayor o menor profusión según épocas. Presenta las ventajas de los materiales sintéticos mencionados más arriba, pero mejora su calidad acústica (según los fabricantes, así que este dato hay que tomárselo con precaución). Actualmente hay constructores que fabrican clarinetes y clarinetes bajos en este material. Como los modernos clarinetes fabricados en ebonita tienen similar aspecto a cualquier otro fabricado actualmente, nos ha parecido más interesante mostrar en la imagen 69 un modelo con el cuerpo realizado

⁴⁵ Polimetilmetacrilato.

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

a partir de una sola pieza de ebonita. En la imagen 70 se muestra un clarinete bajo moderno fabricado en este material.

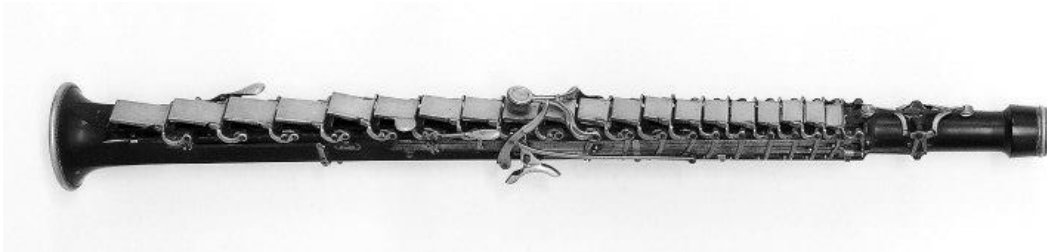


Imagen 69. Curioso clarinete sistema Schaffner fabricado por Maino & Orsi en Milán (ca 1890). University of Edinburgh. Edimburgo, Escocia, Reino Unido. Está fabricado en una sola pieza de ebonita que incluye el barrilete, los dos cuerpos y la campana.



Imagen 70. Clarinete bajo con cuerpos en ebonita.

DELFIN: material termoplástico y semicristalino, es una resina acetálica⁴⁶ muy rígida y estable en sus dimensiones. Su densidad es similar a la de la madera de

⁴⁶ Polioximetileno (POM)

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

granadillo. Su facilidad de mecanizado, impermeabilidad, resistencia mecánica y su estabilidad frente a los cambios de humedad y temperatura lo hacen un material muy adecuado para la construcción de clarinetes. Sin embargo, al menos de momento, no son muchos los constructores que lo usan. De hecho, algunos fabricantes usan Delrin para algunos componentes del clarinete, tal como anillos de refuerzo en las espigas, barriletes o el tubo de pequeñas dimensiones que entra en el taladro del clarinete correspondiente al agujero del pulgar, pero sólo hemos encontrado un fabricante que use Delrin tanto para la fabricación integral (entiéndase barrilete, cuerpos y campana, excluyendo llaves y demás accesorios) de clarinetes agudos como bajos: Stephen Fox (ver imágenes 71 y 72).



Imagen 71. Clarinetes fabricados en Delrin (izquierda) y granadillo (derecha).



Imagen 72. Clarinete bajo fabricado en Delrin por Stephen Fox.

Una ventaja que creemos que tiene este material sobre la madera es que se pueden hacer los cuerpos de una sola pieza. No decimos que con la madera no se pueda (los requintos se hacen de una sola pieza porque necesitan un bloque más corto), pero es difícil encontrar bloques tan largos y los que se encuentran se destinan a los clarinetes graves. Además, en caso de agrietamiento de la madera sólo se perdería el cuerpo afectado y no toda la pieza.

Pero lo importante no es el hecho de que se pueda hacer de una sola pieza, sino lo que ello implica: se podría eliminar la junta entre los dos cuerpos, lo que por un lado eliminaría posibles huecos y, por otro, permitiría mejorar la colocación del agujero del

Do# que acciona la llave 6, algo que sería imposible con los dos cuerpos separados, optimizando así la calidad y afinación de ese sonido.

Los siguientes materiales quizá se pueden definir como semi-sintéticos, pues aunque su materia prima principal es la madera, esta no se trabaja como un bloque sólido, sino en forma de polvo y sometida a procedimientos propios de la síntesis de materiales, al añadirle productos sintéticos.

Las ventajas de estos materiales residen en sus buenas cualidades acústicas, su menor tendencia (nula, según los fabricantes) a agrietarse, su mayor estabilidad frente a los cambios de temperatura y humedad y el ahorro económico y ecológico en maderas, ya que se pueden aprovechar mucho mejor. Dicho esto, cada fabricante ha encontrado una fórmula propia para llegar a desarrollar estos materiales. A continuación, comentaremos los encontrados. Evidentemente, el proceso de producción es un secreto al que no tenemos acceso.

Greenline: este material que, como se ha dicho, es una mezcla de granadillo (95%) y fibra de carbono (5%), desarrollado por la empresa Buffet-Crampon en París, se usa en varios modelos de la marca, incluidos los clarinetes bajos (ver imagen 73). El aspecto es el mismo que el de la madera natural.



Imagen 73. Clarinete bajo fabricado en Greenline

BTR: siglas de *Bi-thermal Reinforced Grenadilla*, este material es un compuesto de madera de granadillo y ebonita desarrollado con apariencia de madera natural, por Hanson Clarinets en Londres. El nombre está tomado de una parte del proceso de producción. En la página web de Hanson Clarinets no hemos encontrado referencias a la fabricación de clarinetes bajos por parte de la empresa, por lo tanto la imagen 74 ilustra clarinetes sopranos.



Imagen 74. Desde delante hacia atrás: BTR, palo de rosa y granadillo.

Fibra de carbono: realmente no hemos encontrado clarinetes fabricados en este material⁴⁷, pero en algunos foros se apunta la posibilidad de que si no el clarinete entero, al menos sí podría fabricarse el mecanismo. Teniendo en cuenta que ya se han construido flautas en este material, podemos esperar que algún fabricante de clarinetes lo haya tenido en consideración, puesto que es un material muy ligero y resistente mecánica y químicamente, aunque difícil de trabajar y muy costoso de adquirir.

Marfil: Si hay algún clarinete bajo fabricado en marfil, no hemos encontrado ni la imagen ni ninguna referencia a este en las diversas fuentes consultadas. Sin embargo, aunque pocos, sí hemos encontrado imágenes de clarinetes soprano construidos en

⁴⁷ Sí hemos encontrado una campana para clarinete bajo en fibra de carbono que mostraremos en el apartado correspondiente.

marfil. Es de suponer que la escasez de información sobre estos clarinetes se debe a su rareza.

A falta de mayor información y dada la imposibilidad de probar alguno de estos instrumentos, podemos intuir algunas razones que influirían en su escasa producción: la difícil accesibilidad a la materia prima (afortunadamente para los donantes del marfil), su precio de adquisición, la dificultad de encontrar piezas del tamaño adecuado para la fabricación de las piezas grandes o la posible complicación de trabajar con un material tan delicado, serían suficientes razones para no usar el marfil en la construcción de clarinetes, tanto más en la de clarinetes bajos. Pero estamos convencidos de que hay una razón más importante. Teniendo en cuenta que todas las razones expuestas no son obstáculo para aquel que busca un material que le ofrezca su sonido ideal, pensamos que, sobre todo, el resultado no mejoraba la calidad del sonido producido por la madera.

Podemos ver en la imagen 75 un clarinete fabricado en marfil y latón dorado. Las cabezas de las llaves están trabajadas de manera que se asemejan a cabezas de león. Probablemente sea un clarinete destinado a alguna exhibición o a ser considerado como una joya, por el cuidado que se pone en los detalles estéticos. Charles Joseph Sax (padre de Adolphe Sax) fue el constructor de este clarinete fechado en 1830.



Imagen 75. Clarinete y detalle del mismo en marfil. Metropolitan Museum of Art. Nueva York, EEUU.

Metal: probablemente el buen resultado obtenido al construir las flautas traveseras en metal, animó a algunos fabricantes de instrumentos a intentarlo con el

clarinete. Ya en 1817 el constructor Jean Hilaire Asté⁴⁸ fabricó los primeros clarinetes metálicos de los que se tiene noticia, aunque los graves problemas de afinación que tenía desaconsejaban su uso. No se tiene constancia de la construcción de un clarinete bajo por esta empresa, pero sí de un clarinete alto en Mib en latón. Sería en 1879 cuando Agostino Rampone lograría construir un clarinete metálico de doble pared que, por fin, fuese utilizable (ver imagen 76).



Imagen 76. Clarinete bajo metálico de doble pared Rampone (Milán ca. 1890).

A partir de entonces se desata la carrera por conseguir hacer un clarinete que mejore las cualidades sonoras de los clarinetes de madera (en 1899 la empresa CG Conn consiguió producirlos en masa). Además del diseño, también se probaron varios materiales metálicos como latón, alpaca o plata. Los primeros clarinetes construidos en

⁴⁸ Se le puede encontrar bajo el nombre de Halary o Halari.

Estados Unidos los fabricó Harry Pedler en 1936. En la imagen 77 se pueden ver un clarinete alto y dos bajos de diferente diseño entre ellos.



Imagen 77. Izquierda: clarinete bajo Leblanc. Centro: clarinete bajo Pedler. Derecha: clarinete alto Kohlert (colección François Camboulive).

Aunque nunca ha llegado a eclipsar el éxito de la madera como material constructivo, el metal ha tenido su época de esplendor entre los años 1924 y 1939 (aunque se produjeron regularmente entre 1895 y 1965). No hemos podido encontrar información sobre las técnicas de construcción de estos clarinetes, pero comparando la construcción de flautas y saxofones, podemos ver que, básicamente, se pueden usar dos técnicas a la hora de dar forma a los instrumentos contruidos en metal: las flautas se hacen partiendo de un tubo metálico (generalmente alpaca, plata, oro o platino) al que se

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

le inserta dentro otro en acero para que no se deforme, los agujeros tonales se pueden moldear a partir del propio tubo o se puede perforar el tubo y soldar después unos resaltes (chimeneas) alrededor de los agujeros. Asimismo se pueden soldar unas placas llamadas costillas a las que irán sujetas las llaves. Los saxofones se hacen a partir de una lámina de latón a la que se va dando forma cónica y soldando los bordes. Las chimeneas sobre los agujeros se pueden hacer, como en las flautas, soldando las chimeneas o moldeándolas a partir del tubo. El resto del proceso, a semejanza de las flautas, consiste en soldar al tubo las placas con los pivotes que sostendrán las llaves. Los clarinetes metálicos podían estar fabricados en una sola pieza (salvo la boquilla) o tener algunas de las partes en una sola pieza, por ejemplo, los dos cuerpos, la campana con el cuerpo inferior, el barrilete y el cuerpo superior, etc. y podían exhibir varios acabados (ver imagen 78).



Imagen 78. Detalle de clarinetes de latón en tres acabados. Izquierda: niquelado. Centro: plateado. Derecha: lacado

Como hemos dicho más arriba, no hemos encontrado información sobre si el clarinete se formaba a partir de un tubo o de una lámina, pero sí sabemos que se empezó soldando las chimeneas al estilo de las flautas y se cambió el procedimiento por el de sacarlas del propio tubo porque daban problemas de fugas de aire a través de las zonas

donde estaban las soldaduras. También se empezó soldando los pivotes directamente al tubo, sin fijarlas antes a una placa, pero quedaban fijadas de manera demasiado débil y se rompía la soldadura.

Las ventajas del metal radicaban en su accesibilidad a la materia prima y su económico coste (siempre que hablemos de latón), en su facilidad de manipulación, en la imposibilidad de agrietarse como era el caso de la madera (al menos por culpa de la humedad y temperatura) y en su menor peso. Este último dato puede sorprender, pero debemos pensar que, a pesar de que el metal es más denso que la madera, esta necesita tener un grosor mínimo en sus paredes para lograr rigidez. El metal, al ser más rígido, puede tener las paredes más finas y ahorrar peso, al menos cuando el instrumento está hecho con una sola pared. Los clarinetes de doble pared suplen su desventaja en el peso con la posibilidad de mantener la temperatura del tubo gracias a que se puede destapar la parte superior del tubo y soplar aire caliente entre sus paredes. Pero resultaban difíciles de construir y reparar, además de ser caros.

Los inconvenientes tienen que ver, entre otros, con que el metal es flexible sin ser elástico. En su construcción este hecho se tiene en cuenta, y cuando se le da un uso normal, el material no se deforma, pero si se le somete a demasiada fuerza o se le da un golpe, el instrumento se puede abollar o en el peor de los casos, doblar. Y si por este hecho se desplaza alguna llave y la zapatilla no cierra correctamente el agujero, no podremos seguir tocando, o al menos no todas las notas. Para resolver este problema, la empresa Conn creó un clarinete llamado Conn Blindado (*Armored Conn*), consistente en recubrir un clarinete de ebonita con un revestimiento metálico (ver imagen 79), lo que lo hacía más resistente a los golpes pero también más pesado. Esto, unido a su mayor precio determinó su escaso éxito comercial, a pesar de ser considerado muy buen clarinete.



Imagen 79. Clarinete metálico modelo Armored Conn.

A pesar de la calidad de algunos clarinetes, algunos de ellos fabricados en plata (imagen 80), la proliferación de marcas fabricantes de clarinetes en metal de poca calidad, que dieron mala fama a estos clarinetes, la necesidad de material, maquinaria y personal para atender las necesidades que provocaba la participación en la 2ª Guerra Mundial y la utilización para fabricar clarinetes de materiales sintéticos (ABS) mucho más baratos y fáciles de manipular a partir de 1948, determinó el declive del uso del metal en la construcción de clarinetes, cuya producción cesó definitivamente a mediados de los años 60 del siglo XX.



Imagen 80. Clarinetes en plata. Izquierda: de doble pared Haynes. Derecha: de pared simple Silver King.

Para terminar con los clarinetes de metal, tenemos que decir que en diferentes foros se ha escrito sobre clarinetes fabricados en titanio por la marca inglesa Hanson. Pero al visitar la página oficial de la marca no se hace referencia directa al titanio como material de construcción, con lo cual es de esperar que se refiera al acabado de las llaves. Ahora bien, como hemos visto, se han fabricado clarinetes en metal con cierto éxito y no podemos cerrar la posibilidad de que se vuelvan a construir aprovechando los avances de la tecnología desde que aquellos se dejaron de construir. Debemos tener en cuenta que se han creado nuevas aleaciones de metales que se pueden trabajar con técnicas similares a las que se usan con los termoplásticos⁴⁹. Características como la facilidad de conformado unido a su resistencia a la rotura, el desgaste o la corrosión pueden resultarles atractivas a los fabricantes de clarinetes.

⁴⁹ Se las conoce por sus nombres comerciales: Vitreloy y Liquidmetal. A pesar de su nombre, a temperatura ambiente es sólido. Es una aleación de zirconio, titanio, cobre, níquel y aluminio.

1.4.7. CAMPANAS

Llegamos al extremo final del clarinete y encontramos la campana que ha ido evolucionando en su diseño a lo largo del tiempo: desde las paredes con el taladro interior cónico simple hasta el actual diseño, que describe una curva exponencial con o sin rebajes interiores en la parte más estrecha.

Madera: Históricamente, los clarinetes sopranos y agudos han sido equipados con campanas fabricadas en el mismo tipo de material que el resto del cuerpo, lo cual no es obstáculo para que el mercado de accesorios brinde, en el caso de la madera, alternativas tanto a las campanas como a los barriletes, ofreciendo tipos de madera, diseños y acabados diferentes a los componentes originales. Existen constructores que se han dedicado a fabricar exclusivamente campanas, barriletes o ambos y, por otra parte, hay intérpretes que usan barriletes y campanas de marcas diferentes a las de su clarinete, o de la misma marca pero diferente modelo (ver imagen 81).



Imagen 81. Clarinete con cuerpos en granadillo y barrilete y campana en cocobolo.

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

Los diferentes tipos de madera y las características que las hacen adecuadas para fabricar clarinetes se han explicado más arriba y por lo tanto no hará falta repetir las aquí. La única diferencia con las demás partes del clarinete es que para la campana se necesita, obviamente, un bloque de madera más voluminoso.

Diametralmente opuesto es el caso de las campanas para clarinete bajo, las cuales han sido casi siempre fabricadas en metal. Podemos suponer que la facilidad de fabricación de las campanas en metal, junto con su accesibilidad y el precio de la materia prima fuesen los motivos por los que la madera perdiera preponderancia como material para fabricarlas. También podemos añadir su menor peso, que sería de agradecer en un instrumento ya de por sí más pesado que el clarinete. Pero, con todo, algunas se fabricaron en madera y podemos ver ejemplos en las campanas usadas en los clarinetes bajos de Desfontenelles (1807), Martin Frères (1850) o el segundo de los llamados prototipos (ver imagen 82).

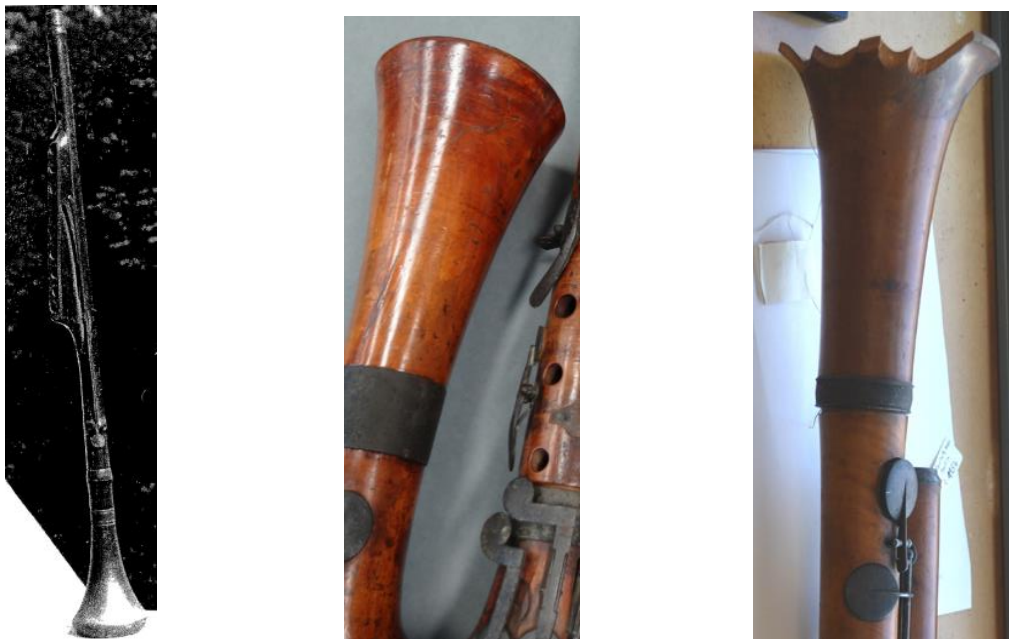


Imagen 82. Clarinetes bajos con campana de madera. Izquierda: segundo prototipo (en las fuentes consultadas no se menciona qué tipo de madera se usa en la campana). Centro: Desfontenelles (en arce barnizado). Martin Frères (campana –rota- en arce barnizado). Musée de la Musique, París, Francia.

Hace relativamente poco se han puesto de moda este tipo de campanas, aunque todavía están muy lejos de producirse masivamente.

Luis Rossi, clarinetista y constructor de clarinetes que también fabrica actualmente campanas de madera para clarinetes bajos, cuenta en su página web comercial⁵⁰ que fue en 1976 cuando vio por primera vez una campana de madera para clarinete bajo. Estaba torneada a partir de un único bloque de madera y su fabricante – para uso propio- fue Stephen Trier, clarinete bajo de la Royal Philharmonic Orchestra de Londres. Ahora Rossi las fabrica para vender, también desde un único bloque de madera, aunque reconoce que hay fabricantes que, debido a la dificultad que entraña hacerlo de esa manera, las fabrican a partir de dos mitades que después unen.

La campana de madera se une al cuerpo inferior del clarinete bajo gracias a un codo metálico (ver imagen 83).



Imagen 83. Campanas de madera para clarinete bajo. Izquierda: en cocobolo. Centro: la misma montada en el codo de unión con el cuerpo inferior. Derecha: en granadillo.

Metal: Actualmente las campanas para clarinetes sopranos y agudos se han dejado de fabricar (al menos masivamente) en metal y marfil por la sencilla razón de

⁵⁰ <http://www.rossiclarinet.com/>

que se han dejado de fabricar clarinetes con estos materiales. Aun así, hemos podido encontrar unas campanas de construcción actual fabricadas –se supone- en aluminio anodizado, coloreadas y decoradas con grabados (ver imagen 84). Por lo visto se pueden pedir por encargo pero no aparece explícitamente el nombre del fabricante, a menos que este sea la propia tienda que las oferta (Olvera Music). Asimismo, no se describen sus especificaciones técnicas ni las prestaciones que ofrece. En nuestra opinión (que hay que tomar con precaución, puesto que no las hemos probado), parece más un accesorio con una función decorativa más que musical.

Otros metales utilizados para la fabricación de campanas para clarinetes agudos han sido los descritos en el apartado dedicado a los cuerpos: plata, alpaca y sobre todo, latón (pudiendo estar este lacado, plateado, dorado o niquelado).



Imagen 84. Campana de clarinete en aluminio anodizado.

En el caso de los clarinetes bajos, las campanas en metal, como hemos comentado más arriba, han sido la norma habitual. Normalmente se ha usado el latón tanto sin tratar como niquelado o plateado (ver imagen 85).



Imagen 85. Campanas de latón para clarinete bajo. Izquierda campana sin tratar de un clarinete bajo atribuido a Angelo Gaëtan Philippe Marzoli. Paris (ca. 1860-65). Musée de la Musique, París, Francia. Derecha: moderno modelo plateado de Leblanc.

Marfil: no nos consta ninguna campana para clarinete bajo realizada en este material. Por lo que respecta a las campanas para clarinete soprano, se puede ver el aspecto y características del marfil en los apartados dedicados a los barriletes y los cuerpos.

Materiales sintéticos: los diferentes materiales sintéticos usados en los cuerpos y barriletes de los clarinetes agudos son los mismos que se suelen usar también para las campanas, con lo que no será necesario tratarlos aquí. En el caso de los clarinetes bajos no hemos encontrado campanas fabricadas en ABS, PMMA, ebonita, Greenline o BTR. Sin embargo hemos encontrado dos materiales sintéticos que sí han sido utilizados. Uno de ellos ha sido el Delrin, del que ya hemos explicado sus características, y el otro la fibra de carbono⁵¹. Ya habíamos hablado sobre este material cuando forma parte de

⁵¹ Es un polímero (poliacrilonitrilo o PAN) convertido en fibra gracias a su oxidación y pirólisis térmica, aunque también se puede usar una mesofase de la brea-alquitrán y, en menor medida, la celulosa.

otros compuestos, pero ahora lo encontramos formando íntegramente (salvo la llave y los accesorios) la campana de un clarinete bajo (ver imagen 86). Sin entrar a definir las diferentes variantes que adopta la fibra de carbono, podemos decir que es más resistente que el acero pero mucho más ligera que este. También posee una alta resistencia a la corrosión y no altera su forma por culpa de la temperatura. Al usarla tendremos una rebaja considerable en el peso de la campana.



Imagen 86. Campana de clarinete bajo en fibra de carbono.

En cualquier caso y si atendemos a la cantidad de fabricantes que lo usan, el Delrin y la fibra de carbono se utilizan menos que la madera y estos tres materiales muchísimo menos que el latón. De hecho y como dijimos antes, algunos fabricantes usan Delrin o fibra de carbono para algunos componentes del clarinete como anillos de refuerzo en las espigas, barriletes o el pequeño tubo cilíndrico que entra en el taladro del clarinete correspondiente al agujero del pulgar, pero sólo hemos encontrado un fabricante que use Delrin tanto para la fabricación integral (entiéndase barrilete, cuerpos y campana) de clarinetes agudos como bajos: Stephen Fox. En la imagen 87 podemos ver un clarinete bajo y un detalle de la campana del mismo fabricados en Delrin.



Imagen 87. Clarinete bajo fabricado en Delrin por Stephen Fox.

1.4.8. MECANISMO

Entramos en el penúltimo apartado dedicado a los materiales de construcción del clarinete y el clarinete bajo, correspondiente al mecanismo. En principio, y salvo excepciones –como las zapatillas- son piezas que en nada o casi nada afectan a la acústica del instrumento. Al contrario de lo que ha sucedido con las piezas anteriores - las cuales modifican el sonido según la forma que adopten o el material del que estén hechas- las que trataremos a continuación no determinan la forma de la columna de aire. El mecanismo está formado por las llaves (con sus zapatillas) y todas aquellas piezas necesarias para su funcionamiento: los pilares donde se fijan, los tornillos que las sujetan y sirven de pivotes, los muelles o los tornillos de ajuste.

A estas alturas, los materiales que se puedan emplear en los mecanismos instalados en el clarinete y clarinete bajo ya se han descrito en su mayoría en los anteriores apartados. Así pues, en este caso procederemos al contrario que en los apartados anteriores y describiremos primero el mecanismo para pasar luego a enumerar los materiales de los que puede estar compuesto.

Aunque no se mueven, incluiremos en este apartado los pilares como parte del mecanismo. En los primeros clarinetes, el mecanismo no usaba pilares y se anclaba directamente a unos resaltes tallados en los mismos tubos de madera que conformaban los cuerpos. Al principio, estos resaltes rodeaban todo el cuerpo para, más tarde, quedar sólo la madera necesaria para cumplir la función de anclaje. No obstante, podían combinar los dos diseños dentro del mismo clarinete. El eje donde basculaba la llave era un pasador metálico que atravesaba la madera de lado a lado (ver imagen 88).



Imagen 88. Resaltes para los pasadores de las llaves. En el mismo clarinete Stengel (ca. 1810) se usan los dos diseños descritos. NC Clarinet Collection. Arkansas, EEUU.

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

Más tarde se empezaron a usar los pilares metálicos alojados en la madera, los cuales, aunque con diferentes diseños, tienen en común el estar dotados de un orificio por donde pasaría el eje de la llave (ver imagen 89).



Imagen 89. Izquierda: llaves acopladas sobre pilares montados tanto sobre la madera como sobre los anillos de refuerzo de un clarinete bajo Desfontenelles (ca. 1807). Musée de la Musique, París, Francia. Centro: detalle de los pilares antes de ser montados en sus orificios. Derecha: pilares sujetando las llaves en un clarinete bajo moderno.

Este sistema es el que mayor éxito ha tenido y se sigue utilizando actualmente independientemente del material en el que esté construido el instrumento. El eje puede estar sujeto en sus extremos por dos tornillos o puede albergar en su interior un pasador que se atornillará a uno de los pilares.

Llaves: por la disposición de los agujeros en el clarinete, los dedos no podían – ni pueden– alcanzar todos los agujeros. Las llaves son unas piezas que forman parte del mecanismo que sirve para transmitir el movimiento de los dedos hasta el agujero que hay que tapar o destapar. Algunas de ellas llevan incorporados anillos o platos. Estos anillos y platos dejan libre el agujero que corresponde al dedo, pero al bajar este, baja solidariamente toda la llave cerrando uno o varios agujeros a los que el dedo no llegaría. En el caso del clarinete bajo moderno, todos los anillos se sustituyen por platos porque el agujero es demasiado grande para ser cubierto por el dedo.

Cada llave tiene una forma y tamaño determinados que dependerán del cometido específico de cada una de ellas, pero podemos decir que tienen unos elementos comunes. A estos los podemos llamar: pulsador, que sería la parte donde actúa el dedo, la pala o cazoleta⁵², que sería el lugar donde se instala la zapatilla (esta es independiente de la llave), el brazo, que une el pulsador y la pala o la cazoleta y, por último, el eje, que será necesariamente hueco si ha de alojar un tornillo pasador. En unas ocasiones el eje y el brazo son la misma pieza y en otras el eje es transversal al brazo (ver imagen 90).



Imagen 90. Izquierda: el brazo hace las funciones del eje. Derecha: el eje es transversal al brazo.

Algunas llaves tienen un funcionamiento que podemos llamar directo o simple, como el mecanismo de una palanca, en la que si pulsamos hacia abajo la llave, la zapatilla sube, abriendo el agujero. Otras llaves tienen un funcionamiento articulado, por lo que están divididas en dos o más partes. En estos casos, consideraremos las partes desde el pulsador hasta la cazoleta como una única llave. Las llaves articuladas, a diferencia de las simples, funcionan de manera que al pulsar la llave hacia abajo, la zapatilla cerrará el agujero (ver imagen 91).

⁵² Ha habido dos diseños básicos para la zona donde se instala la zapatilla: plano, con la zapatilla pegada y cóncavo, en el que la zapatilla se introduce en el hueco. Al primero lo llamaremos pala y al segundo cazoleta por su actual forma cóncava.



Imagen 91. Izquierda: llave de funcionamiento directo de un clarinete bajo Leschke (ca. 1860). Derecha: llave de funcionamiento articulado de un clarinete Keller (ca. 1780). NC Clarinet Collection. Arkansas, EEUU.

Para desempeñar su función las llaves necesitan de la ayuda de muelles que las devuelvan a su posición original cuando se deja de ejercer presión sobre ellas. Hay dos tipos de muelles: de aguja y planos o de ballesta (ver imagen 92).

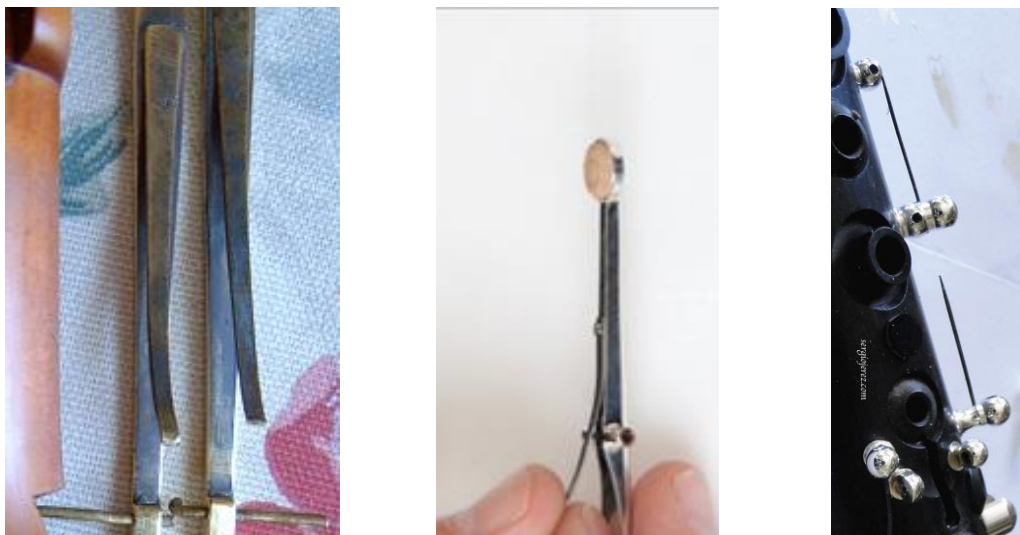


Imagen 92. Izquierda: muelles planos de un clarinete Baumann (ca. 1800). NC Clarinet Collection. Arkansas, EEUU. Centro: muelle plano de un clarinete moderno. Derecha: muelles de aguja de un clarinete moderno.

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

Ambos están hechos de acero. El primero se inserta en un pilar y su extremo suelto empujará un pequeño resalte practicado en la llave. El segundo se fija a la llave por un extremo y el lado libre se apoya en el cuerpo del instrumento.

En cuanto a su aspecto, las llaves han ido mejorando su colocación sobre el instrumento y su ergonomía, adoptando diseños que evitan posiciones forzadas de la mano y los dedos y evitando lesiones (ver imagen 93).



Imagen 93. Llaves accionadas por el meñique izquierdo. Arriba: clarinetes de finales del siglo XVIII y principios del XIX. Sin posibilidad de ajuste y con ajuste de longitud. NC Clarinet Collection. Arkansas, EEUU. Abajo: llaves instaladas en un moderno clarinete bajo.

Todas las llaves que hemos podido encontrar están fabricadas en metal. Este es normalmente latón o alpaca, aunque se pueden fabricar en oro o plata. No parece que usar metales preciosos aporte ningún cambio a la calidad del sonido. En cambio, sí pueden evitar alergias a las pieles más sensibles.

De hecho, actualmente las llaves de latón se suelen revestir de una capa de otros metales mediante electrólisis que tiene la triple finalidad de mejorar la estética, hacer más resistente al latón tanto mecánica como químicamente (evitando la corrosión) y, según el material con que se cubra, resultar más o menos hipoalergénico. La alpaca no se suele tratar porque su aspecto ya se asemeja a la plata.

Es obvio que antes de la invención de la electrólisis, el latón no se trataba, con lo cual se quedaba con su característico color dorado. Ahora se puede dar diferente acabado a las llaves: dorado, plateado y niquelado son los más frecuentes, pero también se pueden encontrar acabados semejantes al rodio, titanio o platino. El gusto personal, el coste económico y la sensibilidad dérmica determinarán la elección de un acabado determinado.

La parte de la llave que alberga actualmente la zapatilla la hemos llamado cazoleta porque es la forma con la que se presenta actualmente. Este sistema ha venido usándose, con sus evoluciones en cuanto a diseño, desde que I. Müller, clarinetista e inventor, la creara alrededor de 1820 con el aspecto de una cuchara semiesférica.

Las cazoletas, así como las zapatillas han ido evolucionando en su diseño, pero básicamente, funcionan igual. Antes del invento de Müller, las zapatillas iban pegadas al extremo de la llave, al que hemos llamado pala, que era ancho y plano pero que podía adoptar variadas formas (ver imagen 94). Los clarinetes bajos, por supuesto, usaron el mismo tipo de llaves que los clarinetes agudos, evolucionando con estos.

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo



Imagen 94. Diversos diseños adoptados por las palas de las llaves para albergar las zapatillas antes de inventarse las cazoletas. Izquierda: clarinete Graves (ca. 1827-1833). National Music Museum. University of South Dakota. Dakota, EEUU. Centro: clarinete Cuvillier (ca. 1780-1790). Derecha: clarinete Stengel (ca. 1810). NC Clarinet Collection. Arkansas, EEUU.

Las cazoletas de las llaves también han ido cambiando su diseño desde los tiempos de las semiesféricas de Müller, siendo cada vez más planas (ver imagen 95).

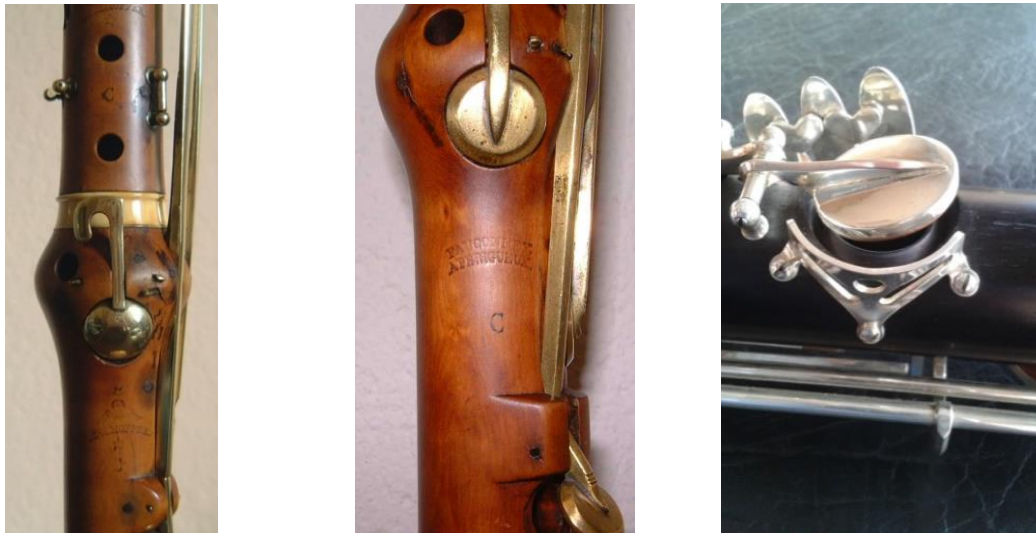


Imagen 95. Cazoletas. Izquierda: semiesférica en un clarinete Seelhoffer (ca. 1820). Centro: plana en un clarinete Fauconney (ca. 1830). NC Clarinet Collection. Arkansas, EEUU. Derecha: plana en un moderno clarinete bajo Selmer.

Zapatillas: son las almohadillas que tapan los agujeros del clarinete que no pueden tapan los dedos. En el caso de los clarinetes bajos modernos y por las razones que hemos mencionado más arriba, los dedos no tapan directamente ningún agujero, así que esa función queda para las zapatillas.

Por la función que han de desempeñar, tienen que ser de un material que a la vez resulte blando -para evitar en lo posible los ruidos al golpear el cuerpo del instrumento- y resistente a la deformación, aspecto este que también tiene que ver con la impermeabilidad de la zapatilla. Debemos tener en cuenta que algunas zapatillas están formadas por varias partes y estas pueden ser de diferentes materiales.

Las primeras zapatillas se elaboraban con fieltro que se pegaba a la llave y adquiría la forma de esta (ver imagen 96), aunque el agujero que tuviese que cubrir fuese redondo (más arriba hemos visto ejemplos del aspecto que podían tener las llaves de los primeros clarinetes).

Actualmente todas las zapatillas son cilíndricas, aunque hay algunas que tienen un pequeño rebaje en la parte que se une a la cazoleta y otras no. Las zapatillas que se instalaban en las cazoletas de las llaves de Müller eran una especie de bola de piel o tripa rellena de lana. Más tarde las zapatillas irán perdiendo grosor y este diseño más delgado afectará al diseño de las cazoletas.

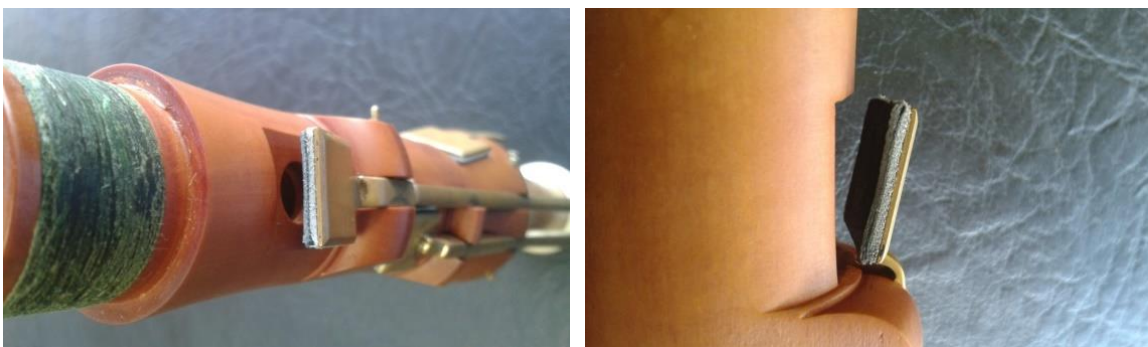


Imagen 96. Dos vistas de una zapatilla instalada en la pala de una llave de un clarinete de seis llaves. El asiento de la zapatilla es cuadrado pero el agujero es redondo.

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

Podemos dividir las zapatillas modernas en aquellas que están formadas por varios materiales, como las de fieltro o piel y aquellas que están formadas por un solo material, como las de corcho o las sintéticas (ver imagen 97).



Imagen 97. Zapatillas hechas con un solo material o combinando varios. Izquierda: zapatillas de corcho. Derecha: anverso y reverso de una zapatilla revestida con piel de canguro.

Entre las primeras están las de fieltro, en las que además de este material encontramos cartón (al que se pega y que irá dentro de la cazoleta) y una fina capa sintética o de piel que recubre toda la zapatilla y la hace impermeable. Son las que menos tiempo duran sin estropearse. También las de piel se suelen montar sobre una base de cartón, son de mayor calidad que las de fieltro y duran más. Las más sofisticadas que hemos encontrado entre las zapatillas de piel son las fabricadas por David Straubinger (ver imagen 98) en las que se añade un estabilizador en Delrin, material del que ya hemos hablado. Inicialmente previstas para la flauta, se han revelado también satisfactorias para el clarinete.



Imagen 98. Partes de una zapatilla Straubinger.

Zapatillas quizá menos complicadas (por tener menos partes y ser más fácil su montaje) que las Straubinger, pero igual de novedosas nos las ofrece el fabricante alemán Clarissono (ver imagen 99).

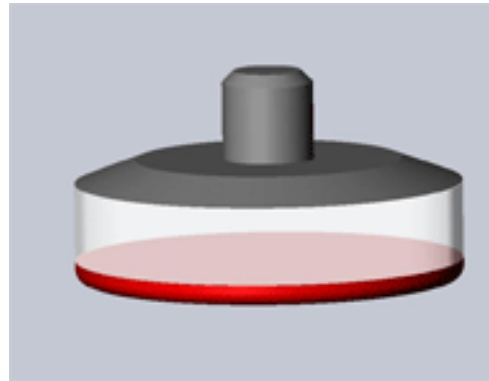
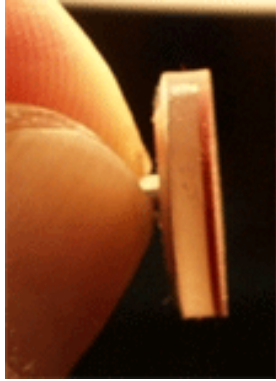


Imagen 99. Zapatillas Clarissono.

Constan de tres partes: una rígida en aluminio que será la que mantenga la forma plana de la zapatilla de manera estable, una capa de silicona que amortiguará el golpe al cerrarla sobre el agujero y se ajustará a su contorno y una tercera capa también de silicona roja especial que contiene óxido de hierro y un 24% de polvo de cuarzo (el fabricante llama a este material vidrio elástico). Según el fabricante, estas zapatillas cierran el agujero herméticamente, no hacen ruido al cerrar y reflejan el sonido mucho mejor que el fieltro.

Las zapatillas de material único son las de corcho y las sintéticas. El corcho – tanto natural como sintético- es muy resistente, pero no se suele usar para enzapatillar⁵³ todo el clarinete. Por orden de preferencia se enzapatilla la llave 12, si sólo se va a instalar una, y de más pequeñas a más grandes si se van a instalar más. Las zapatillas más pequeñas se sitúan en la parte alta del clarinete y su tamaño va creciendo conforme nos acercamos a la campana. La razón puede estar en que el corcho es más rígido que los otros materiales, produce más ruido al golpear contra el cuerpo del instrumento y el ruido será mayor cuanto mayor sea el tamaño de la zapatilla.

⁵³ Llamamos enzapatillar a la acción de instalar la zapatilla en la cazoleta o en la pala.

Las zapatillas sintéticas están pensadas para reunir las cualidades de durabilidad y estabilidad que poseen las de corcho y la suavidad de funcionamiento de las de piel o fieltro. Las hemos encontrado en varios materiales, aunque parece ser que las marcas son algo reacias a desvelar el material de fabricación de sus zapatillas. Entre estos podemos mencionar la silicona⁵⁴, el Teflón⁵⁵, el Gore-Tex⁵⁶, el Neopreno⁵⁷, goma EVA⁵⁸. En definitiva, materiales lo suficientemente blandos para adaptarse al agujero y sellarlo bien y, al mismo tiempo resistentes a la fatiga e impermeables.

Las zapatillas modernas, independientemente del tipo que sean pueden incorporar un accesorio llamado resonador instalado para, según el fabricante, mejorar el sonido y que consiste en una pieza circular de madera, metal o material sintético (ver imagen 100). Puede adoptar varias formas: planos, abombados, estriados, convexos, con remache y sin remache. Los clarinetes agudos no las suelen incorporar salvo, como excepción, en las zapatillas más grandes del cuerpo inferior, sin embargo, un clarinete bajo puede incorporarlas en todas salvo las más pequeñas del cuerpo superior. Estos resonadores son muy comunes en flautas y saxofones.

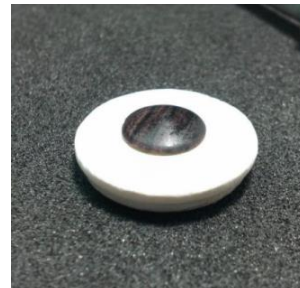


Imagen 100. Izquierda: resonador metálico en una zapatilla de cuero de un clarinete bajo. Derecha: resonador de madera en zapatilla de goretex.

⁵⁴ Polímero inorgánico constituido por una serie de átomos de silicio y oxígeno, ambos alterados.

⁵⁵ Nombre comercial del Politetrafluoroetileno.

⁵⁶ Nombre comercial de un tejido que se fabrica a partir de capas de fluoruro en polvo que se van hilando en hilos microscópicos.

⁵⁷ Nombre comercial para una familia de cauchos sintéticos basadas en un polímero del cloropreno llamado policloropreno.

⁵⁸ Es un polímero termoplástico. EVA es el Acrónimo del etilvinilacetato (*ethylene vinyl acetate* en inglés).

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

En el curso de nuestra investigación hemos encontrado unas zapatillas que, aunque no nos consta que se usen actualmente en el clarinete, creemos que puede resultar interesante su inclusión en este apartado, puesto que, como hemos visto, no sería la primera vez que los avances aplicados a unos instrumentos terminan siendo incorporados en otros. Las zapatillas en cuestión se han encontrado en saxofones (las Top Tone) y en saxofones y flautas (las JS).

De las Top Tone sólo hemos encontrado información en algunos foros, pero no hemos podido localizar la página del constructor. Lo que se dice de ella es que el fieltro es sustituido por acero inoxidable o titanio y la piel por goma EVA y son autoajustables.

Las JS cubren la piel de la zapatilla con oro de dos posibles maneras: con una delgada lámina de oro que la reviste o con micropartículas de este metal que se adhieren a la piel junto con un lubricante seco que evitará que la zapatilla se pegue. Este lubricante es el bisulfuro de molibdeno (MoS_2) y es el responsable del color oscuro que luce la zapatilla (ver imagen 101).



Imagen 101. Zapatillas JS. Izquierda: para saxofón, con micropartículas adheridas y resonador atornillado. Derecha: para flauta, con lámina de oro.

1.4.9. ACCESORIOS

Este es el último apartado dedicado a los materiales de construcción del clarinete y el clarinete bajo. En principio, son piezas que en nada afectan a la acústica del instrumento, salvo alguna excepción, como los anillos. No son piezas que modifiquen la columna de aire ni, como las zapatillas, estén en contacto con ella. Tampoco el material con el que estén hechas determinará el funcionamiento acústico general del instrumento. Su influencia sobre el sonido, caso de existir, estará muy lejos de ser tan importante como cualquier modificación en el tubo o los agujeros tonales.

Los accesorios son aquellos elementos que no tienen una función mecánica, sino de refuerzo o seguridad, de comodidad, de ajuste o estética. Entrarían en este concepto los anillos o aros de refuerzo de barrilete, cuerpos y campana, el apoyapulgar, la pica del clarinete bajo, los corchos de las espigas o las placas identificativas de la marca.

Como hemos comentado en el apartado de los mecanismos, a estas alturas, los materiales que se puedan emplear en los accesorios instalados en el clarinete y clarinete bajo ya se han descrito en su mayoría en los anteriores apartados. Así pues, en este caso, como en el anterior, describiremos primero el accesorio para pasar luego a enumerar los materiales de los que puede estar compuesto.

Anillos: son piezas cilíndricas que sirven para dar rigidez a los extremos de algunas o todas -según modelos- las piezas de los clarinetes, independientemente de su tamaño. Con esta solución se pretende reducir la posibilidad de agrietamiento de la madera y proteger esa parte del instrumento frente a eventuales golpes. Son piezas, pues, fabricadas con materiales que se puedan tornear o moldear con facilidad y precisión y que al mismo tiempo, una vez colocadas en su sitio, aporten la rigidez necesaria para cumplir su función. En ocasiones, los instrumentos más antiguos se construían dejando un poco más de madera en los extremos o tenían un resalte en el extremo de cada pieza tallado en el mismo bloque de material a modo de anillo de refuerzo. Actualmente hay constructores que usan el mismo método en barriletes y

campanas (ver imagen 102), aunque no hemos encontrado el mismo método aplicado a los cuerpos.



Imagen 102. Ejemplos de anillos de refuerzo tallados en el mismo bloque del material. Izquierda: cuerpo inferior de un clarinete de Roberty (ca 1790). University of Edinburgh. Edimburgo, Escocia, Reino Unido. Centro y derecha: campana y barrilete modernos.

Abandonado este procedimiento, se empezaron a usar anillos independientes para reforzar los extremos de las piezas y estos fueron fabricados en marfil, hueso (los primeros clarinetes) o diversos metales (ver imágenes 103 y 104). Entre estos, eventualmente se ha usado alpaca⁵⁹ o alguna aleación de plata, pero el material por excelencia empleado para este menester ha sido el latón.

Fácil y barato de producir, fácilmente moldeable, relativamente ligero y susceptible de aceptar varios acabados (lacado, plateado, etc.), se ha empleado desde prácticamente los primeros clarinetes y se sigue empleando masivamente en la actualidad.

⁵⁹ La alpaca es un material del que no se había hablado anteriormente en este trabajo. Es una aleación de cobre, níquel y zinc, de aspecto parecido al de la plata y resistente a la corrosión.



Imagen 103. Ejemplos de anillos de refuerzo en el cuerpo inferior de un clarinete Stengel (ca. 1810) en marfil y en un clarinete Jehring (ca. 1800) en hueso. NC Clarinet Collection. Arkansas, EEUU.



Imagen 104. Ejemplos de anillos metálicos. A la izquierda: en alpaca sobre la unión de los dos cuerpos de un clarinete bajo Leschke (ca. 1860). NC Clarinet Collection. Arkansas, EEUU. Derecha: anillos en latón plateado en la campana de un moderno clarinete Seles.

En ocasiones el refuerzo ha llegado hasta el interior del alojamiento de la espiga o a la misma espiga (ver imagen 105).

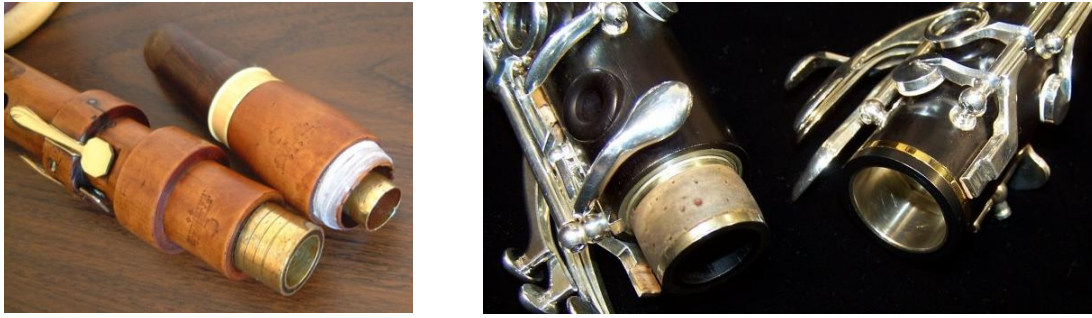


Imagen 105. Ejemplos de anillos de refuerzo metálicos interiores. Izquierda: en latón dorado sobre la espiga del cuerpo superior de un clarinete Stengel (ca. 1810). NC Clarinet Collection. Arkansas, EEUU. Derecha: anillos exteriores en espiga y cuerpo inferior y casquillo interior en aleación de plata de un moderno clarinete Selmer Privilège.

En el caso de las campanas metálicas o los tudeles del clarinete bajo, el refuerzo está integrado en la misma pieza y es del mismo material. Las campanas de clarinete bajo que hemos encontrado en madera siguen el procedimiento de dejar en la parte ancha un borde grueso de refuerzo en el mismo material y en la estrecha, según modelos, puede terminar en un borde grueso envolviendo el alojamiento de la espiga o en una espiga al estilo de la de los cuerpos inferiores para clarinete soprano (ver imagen 106).



Imagen 106. Campanas para clarinete bajo con los dos extremos reforzados (izquierda) y con sólo el extremo ancho (derecha).

En cuanto a los materiales sintéticos usados para la fabricación de anillos, hemos podido encontrar la fibra de carbono, material muy rígido y a la vez muy ligero y resistente a la corrosión, pero difícil de trabajar y muy caro, como dijimos más arriba. Lo podremos encontrar en anillos para clarinetes de alta gama (ver imagen 107). De hecho, incluso los clarinetes fabricados en materiales sintéticos usan mayoritariamente anillos metálicos o no los usan en absoluto (los fabricados en Delrin).



Imagen 107. Anillos de refuerzo en fibra de carbono emplazados en un barrilete (izquierda) y en el cuerpo inferior de un clarinete (derecha).

Apoyapulgat: es un dispositivo colocado en la parte posterior del cuerpo inferior de los instrumentos de la familia del clarinete, aproximadamente a la altura del agujero o el plato sobre el que descansa el dedo índice de la mano derecha. Los primeros clarinetes, quizás debido a su ligereza, no lo usaban, pero a partir de principios de 1820 se pueden ver los primeros apoyapulgares, unos tallados en el mismo bloque de madera del cuerpo inferior del clarinete, siendo parte integral de él y otros en diferente material sujetándose al cuerpo gracias a unos tornillos (ver imagen 108). Este accesorio sirve para descansar el peso del instrumento sobre el dedo pulgar de la mano derecha y de paso estabilizar el instrumento mientras se está tocando. En el caso de los clarinetes graves, debido a su excesivo peso, el instrumento suele estar, o bien descansando sobre una pica que traslada el peso al suelo, o bien enganchado a una correa o arnés que traslada el peso al cuello, los hombros, la cadera o la espalda del intérprete. Pero no por

eso deja de tener instalado el apoyapulgares pues, como hemos dicho, también se utiliza para dar estabilidad durante la ejecución.

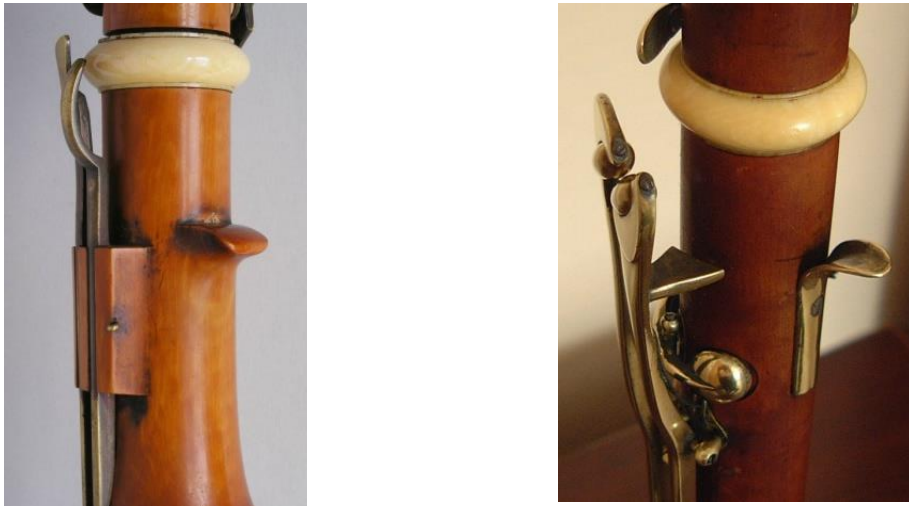


Imagen 108. Apoyapulgares. Izquierda: integral en madera de boj. University of Edinburgh. Edimburgo, Escocia, Reino Unido. Derecha: en latón. NC Clarinet Collection. Arkansas, EEUU.

Los diseños son de lo más variado, pero básicamente responden a tres tipos: simples, ajustables y ergonómicos. Simples: a excepción de los integrados como un resalte del propio cuerpo, se trata de una pieza en forma de ángulo atornillada al cuerpo del instrumento sin posibilidad de ajuste (ver imagen 109).



Imagen 109. Apoyapulgares simples. Izquierda: de hueso sobre un clarinete Hess (ca. 1840). NC Clarinet Collection. Arkansas, EEUU. Derecha: moderno de latón.

Ajustables: compuestos por al menos dos piezas, una de las cuales se atornilla al cuerpo del instrumento y queda fija, mientras que la otra pieza se desliza sobre la primera variando la altura y pudiendo, en ocasiones, variar también la inclinación, para buscar mayor comodidad (ver imagen 110).



Imagen 110. Apoyapulgares ajustables metálicos. Izquierda: sobre un clarinete bajo (la anilla de sujeción para la correa o arnés está atornillada al cuerpo del instrumento y no es parte del apoyapulgar). Derecha: sobre un clarinete soprano (con la anilla solidaria con la parte fija de la pieza).

En ocasiones llevan incorporada una anilla donde enganchar la correa o el arnés de sujeción. El último tipo de apoyapulgar, al que podemos llamar ergonómico, está diseñado para minimizar el riesgo de lesiones y proporcionar el mayor grado posible de comodidad y estabilidad (ver imágenes 111 y 112). Este último tipo es, por su propia condición, del tipo ajustable.



Imagen 111. Apoyapulgares ergonómicos en material sintético. Izquierda: la base se puede deslizar verticalmente sobre la pieza que va fijada al instrumento y el suplemento que se ve a la derecha tiene poco movimiento sobre su articulación pero puede moverse en vertical y sirve para desplazar el peso del clarinete hacia la primera falange del pulgar, reduciendo la palanca que se ejerce sobre este. Derecha: el mismo apoyapulgar instalado.

En muchos casos, la parte del apoyapulgar que está en contacto directo con el dedo suele incorporar una almohadilla de corcho o fieltro para hacer más cómodo el contacto y el mercado de accesorios ofrece almohadillas en materiales blandos (caucho, goma) más gruesos con la misma finalidad.

En cuanto a materiales utilizados⁶⁰ podemos encontrar hueso o marfil (sólo en clarinetes antiguos), latón (mayoritariamente) y materiales sintéticos. También se pueden encontrar combinando los materiales sintéticos y metálicos. En el caso de los ergonómicos, hemos visitado la página y aunque se menciona que los materiales empleados son de alta calidad, no se describe el tipo concreto de material que se utiliza en su fabricación.



Imagen 112. Apoyapulgar ergonómico (podemos encontrarlo en material sintético, metálico o combinando ambos). Izquierda: la pieza de la derecha es móvil para permitir el ajuste más adecuado al dedo. Derecha: el apoyapulgar instalado.

⁶⁰ No incluiremos aquí los tornillos como parte del apoyapulgar.

Pica del clarinete bajo: este accesorio, como hemos explicado más arriba, sirve para transferir el peso del clarinete bajo al suelo. Los clarinetes agudos no lo usan. Consiste en una barra metálica que suele terminar en un remate ancho o una bola de material antideslizante (ver imagen 113). Para regular la altura a la que quedará el instrumento, la pica pasa por el interior de un orificio situado en una parte fija anclada a la campana y un tornillo la mantiene en la posición deseada. La pica moderna no la hemos encontrado en otro material que no sea acero inoxidable.



Imagen 113. Izquierda: pica de clarinete bajo y los accesorios para montarla. Derecha: la pica montada en la campana.

La excepción a esta norma la constituyen los llamados prototipos (de los que hemos hablado en el apartado referido a los orígenes y las formas) y algunos bajos con forma de fagot (ver imagen 114). En el primer caso nos encontramos con una pica con forma de lanza fijada a la campana con, probablemente, una función más decorativa que práctica y en el segundo se trata de una pieza corta de metal fijada a la caja donde se unen los cuerpos. Probablemente la función de esta última fuese proteger la caja de golpes, pues por la forma del instrumento, este se tocaría como un fagot y no necesitaría transferir el peso al suelo.



Imagen 114. Picas en clarinetes bajos antiguos. Izquierda: en la campana de un prototipo. Derecha: en la caja de unión de los cuerpos de un Streitwolf. La Caverne d'Ali Baba du Decorateur. Clarinettes, <http://anticwindbooks.chez-alice.fr/clarinet/clarinet.html>

Materiales de ajuste: con esta expresión pretendemos mostrar aquí una serie de elementos que desempeñan funciones como evitar ruidos impidiendo que algunas piezas del mecanismo rocen o se golpeen entre sí, o evitar holguras entre las partes del clarinete.

Como sabemos, las distintas partes del clarinete y el clarinete bajo se unen entre sí mediante espigas que entran en un casquillo practicado a tal efecto. En vista de que la madera es susceptible de dilatarse o contraerse por efecto de la humedad y de la temperatura, podemos deducir que si las piezas entrasen muy ajustadas y se dilatasen, agrietarían la madera o se unirían tan fuerte que sería como mínimo, difícil y peligroso separarlas. Si, por el contrario, las piezas se contrajesen, el instrumento podría perder aire por la holgura o se podría soltar una pieza de otra y caer al suelo. La solución ha sido encontrar un material más blando que la madera para cubrir las espigas. Los materiales que hemos encontrado para cubrir esta necesidad son el hilo, el corcho (el más común) y el corcho sintético, que en realidad, es un polímero (ver imagen 115).

Orígenes, Morfología y Materiales de Construcción del Clarinete y el Clarinete Bajo

Los diferentes instrumentos de la familia del clarinete han usado estos materiales independientemente del material en el que estuvieran contruidos los diferentes cuerpos que los componen.

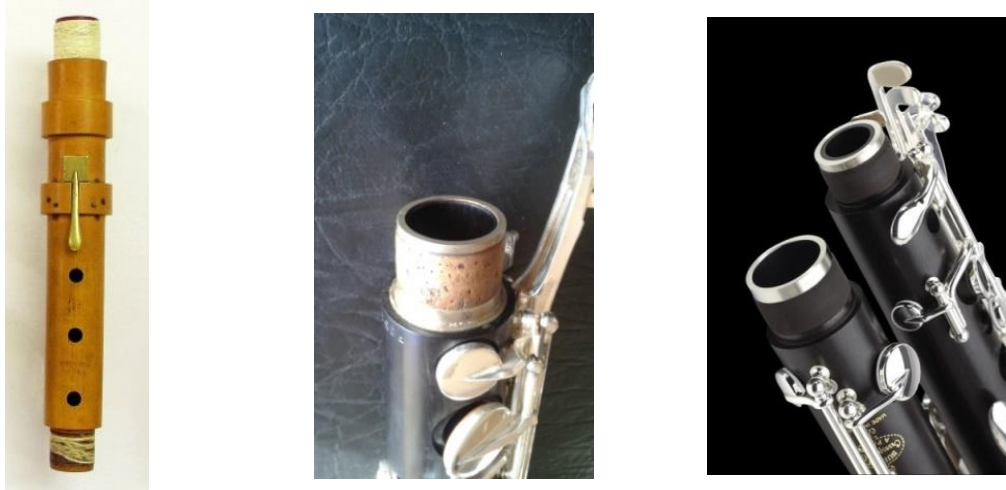


Imagen 115. Espigas cubiertas con diferentes materiales para ajustar las distintas partes del clarinete. Izquierda: hilo sobre un clarinete Simiot (ca. 1811). University of Edinburgh. Edimburgo, Escocia, Reino Unido. Centro: corcho natural sobre un clarinete bajo. Derecha: corcho sintético sobre un clarinete soprano.

Otro uso que se le da al corcho, ya sea natural o sintético (o a pequeñas piezas de plástico blando, goma o fieltro) es acoplarlo a diferentes partes del mecanismo para evitar ruidos o ajustar la apertura de las llaves (ver imagen 116). Los materiales mencionados reúnen los requisitos necesarios para realizar esa función: ser de consistencia relativamente blanda, pero resistente al desgaste.



Imagen 116. Izquierda: llaves del cuerpo superior de un clarinete soprano. El material de color amarillo es corcho sintético, pero en los mismos lugares también se puede usar goma o fieltro. Centro: pieza de plástico en forma de pequeño tubo en el cuerpo superior de un clarinete bajo para evitar la holgura entre llaves (esta pieza empujará la llave que abrirá el agujero del tudel). Derecha: detalle de corchos instalados en sus llaves.

Esperamos haber contribuido con la elaboración de este capítulo al mejor y más profundo conocimiento de la gran variedad de materiales que se pueden usar en la fabricación de los instrumentos de la familia del clarinete, así como a la comprensión de las propiedades y características que los hacen adecuados para su uso.

CAPÍTULO 2

2. ORGANOLOGÍA Y ACÚSTICA

Organizaremos este capítulo haciendo una introducción que explique brevemente la evolución del clarinete atendiendo a las diversas afinaciones que ha tenido que adoptar para adaptarse a las tonalidades en las que los compositores le escribían música. Asimismo, veremos las razones por las que algunos de estos mismos instrumentos han seguido siempre activos mientras otros han ido cayendo en desuso, y como otros están volviendo a ser tenidos en cuenta de cara a la interpretación o al estudio. Seguiremos analizando cada componente del clarinete -sea soprano o bajo- por separado, empezando por la boquilla y siguiendo por los cuerpos superior e inferior para terminar con la campana.

El funcionamiento del instrumento y su calidad acústica van a depender de la interacción entre todos estos elementos entre sí y entre las condiciones que se den fuera de aquel, como puedan ser las que tienen que ver con el intérprete (la presión de los labios o su colocación, el tracto vocal...) o con las del entorno (temperatura, humedad o acústica arquitectónica...), aunque estas no se tratarán en este trabajo si no es de manera puntual. Así pues, nuestra atención se centrará en la morfología interna de estos instrumentos y en qué modo esta afecta a su acústica.

Para mayor comodidad en la organización de este capítulo, estudiaremos los elementos del tubo por separado: boquilla, barrilete o tudel en su caso, cuerpos superior e inferior con sus agujeros tonales y campana. Ahora bien, debemos considerar que aunque se traten por separado, en conjunto, todos forman el tubo que contiene la columna de aire y, por lo tanto la modificación de cualquier aspecto en una de las partes afectará a todo el tubo.

Explicaremos cómo afectan a la acústica del instrumento las variaciones tanto del taladro como de los agujeros tonales y qué se puede hacer para paliar las irregularidades acústicas que puedan presentar estos instrumentos.

El presente capítulo se articulará de la siguiente manera:

- 2.1. FUENTES
- 2.2. LA FAMILIA DE LOS CLARINETES
- 2.3. LOS CLARINETES TRANSPOSITORES
- 2.4. LA INFLUENCIA DEL MATERIAL EN LA ACÚSTICA DE LOS CLARINETES EN GENERAL
- 2.5. ORGANOLOGÍA DE LOS CLARINETES SOPRANO Y BAJO
 - 2.5.1. LA BOQUILLA
 - 2.5.2. EL TUDEL Y EL BARRILETE
 - 2.5.3. EL DISEÑO DEL TALADRO Y LOS AGUJEROS TONALES
 - 2.5.4. LAS CAMPANAS

2.1. FUENTES

Como se ha dicho, el estudio de estas cuestiones en el clarinete soprano han sido mucho más estudiadas –o para ser más exactos, descritas en estudios- que en el clarinete bajo. Así las cosas, queremos en este capítulo dar cuenta de las soluciones que se han aportado en el diseño del clarinete bajo en comparación con las aplicadas al soprano. Esta sería la novedad aportada en este capítulo.

Ya habíamos comentado que las fuentes que tratan del clarinete soprano abarcan un gran abanico de aspectos que tienen que ver con su historia, evolución, organología y acústica. Hay estudios que centran su atención en alguno de sus componentes (lengüetas, boquillas, taladro...), en la acción del intérprete (embocadura, tracto vocal, soplo...) o en la producción de efectos para música contemporánea.

El clarinete bajo, por su parte, ha sido objeto de atención antes por los compositores que por los estudiosos. Josef Horák fue quien dio estatus de solista al clarinete bajo al dar el primer recital íntegro de clarinete bajo y piano del que se tenga noticia (Simmons, 2009). Sería en la extinta Checoslovaquia en 1955. Al piano le acompañó Emma Kovárnová, su esposa. Este evento fue el detonante del interés de los compositores por este instrumento -que no era nuevo, como hemos visto, pero que ahora recibía trato de solista- y sus posibilidades, multiplicándose las composiciones ofrecidas a este y la cantidad de intérpretes interesados en él.

La bibliografía (excluidas las composiciones y los estudios) dedicada al clarinete bajo, sin embargo, no ha crecido en la misma proporción. Aunque últimamente se percibe mayor interés por el instrumento, todavía no genera la cantidad de bibliografía que sí genera el clarinete soprano. Con todo, los aspectos que nosotros queremos tratar en este capítulo no se suelen tratar en la bibliografía dedicada al clarinete bajo, la cual suele tender a tratar más su evolución morfológica, mecánica o de repertorio que su acústica.

De la bibliografía dedicada al clarinete bajo ya se ha hablado con anterioridad: Brymer (1976), Vercher (1983) o Dangain (1978) incluyen al clarinete bajo en alguno

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

de sus capítulos, pero lo tratan de un modo más bien superficial y a nivel histórico básicamente. Aunque no se acerquen tampoco a las cuestiones que pretende responder este trabajo y que se enumeran en los objetivos, los libros de Rice (2009), Sparnaay (2011) o Bok y Wendel (1989) estarán más cerca de nuestros intereses. El de Rice (2009) nos aporta la necesaria parte de la visión histórica y evolutiva del instrumento que hemos podido ver en el primer capítulo. El de Sparnaay (2011), entre otras cosas, nos ayuda a entender el estado actual del repertorio y la interpretación del clarinete bajo y el de Bok y Wendel (1989) nos proporciona parte de las digitaciones con las que elaboraremos el mapa acústico del clarinete bajo.

Hunt (1986), Aber (1990), Bowen (2009), Simmons (2009), Rice (2011) y Seta (2008) tratan sobre todo el clarinete bajo desde el punto de vista del repertorio y Kalina (1972), Van der Meer (1987), Alba y otros (2009) y Marchetti (2011) tratan, entre otros aspectos y con más o menos profundidad, la evolución morfológica y mecánica del clarinete bajo.

La bibliografía sobre Acústica, tanto general como musical, está -por decirlo de alguna manera- “escalonada”: desde fuentes que tratan los diferentes temas en términos muy técnicos que a veces nos cuestan de comprender y que están, evidentemente, dirigidos a personas con importantes conocimientos previos, hasta aquellas que por su vocación didáctica explican los fenómenos acústicos de manera mucho más comprensible recurriendo incluso a las simulaciones virtuales. Libros como los de Helmholtz (1954), Benade (1976/1990), Campbell y Greated (1987), Fletcher y Rossing (1998) o Merino (2007) son los que más nos ayudarán, por tratar de la acústica de los instrumentos musicales específicamente.

En cuanto a la bibliografía que se ocupa de la acústica del clarinete (soprano) podemos citar a Gibson (1998), Wolfe (2002) o Pastor (2005; 2010) entre otros, trabajos que nos ilustrarán sobre el comportamiento acústico de los tubos sonoros en general y del clarinete en particular.

Llegamos así a la acústica específica del clarinete bajo, sobre la cual no hemos encontrado nada excepto el trabajo de Alba y otros (2009), en el que se intenta aplicar parámetros de calidad acústica con el fin de valorar diferentes lengüetas para clarinete bajo.

La bibliografía citada nos permitirá contextualizar este estudio, conocer la evolución organológica del clarinete bajo y comprender mejor los diferentes aspectos relacionados con la producción, transmisión y recepción del sonido.

Con todo, la bibliografía sobre el clarinete no siempre da las respuestas que buscamos cuando las preguntas se refieren al clarinete bajo. Tras la introducción mencionada sobre los instrumentos transpositores, queremos tomar como hilo conductor las características que se han de tener, o que se podrían tener en cuenta, para la construcción del clarinete. Dado que la bibliografía se refiere principalmente al clarinete soprano, hemos pensado que sería más interesante, por su novedad, comparar las similitudes y diferencias entre los dos instrumentos. Como complemento y para obtener aquellas respuestas que no se encuentran en la bibliografía, hemos optado por entrevistar a los responsables de diseño y construcción de las marcas de clarinetes, bien mediante un cuestionario enviado por correo electrónico, bien contactando con ellos bien personalmente o por Skype.

Las preguntas intentan cubrir los vacíos que nos dejan los libros y artículos que hemos consultado en cuanto a diseño de taladros interiores, agujeros tonales, materiales de construcción., etc. Estas preguntas no están formuladas como una encuesta de opinión o valoración y, por lo tanto, no vamos a extraer tablas ni porcentajes. La relación de preguntas se puede encontrar en el Anexo II de este trabajo.

Como hemos dicho, tratamos de contactar con las personas más cercanas a los departamentos de diseño y construcción de los instrumentos o con reparadores para intentar recabar información de primera mano y lo más fiable posible sobre las mencionadas cuestiones. Entre comunicaciones personales y respuestas por correo electrónico nos contestaron personas relacionadas con las marcas y talleres -por orden

alfabético- Emiliano Taller Musical, Futurtono, L.A. Ripamonti, Schwenk & Seggelke, Selmer, Stephen Fox y Yamaha. Juan Garijo, aunque no es clarinetista, nos respondió muy amablemente a aquellas de las preguntas sobre las que podía aportar información, dados sus conocimientos sobre la flauta que se podían trasladar al clarinete.

En cuanto a las preguntas en persona o a través del correo, cada una de las opciones ofrece ventajas y desventajas: en el caso de las respuestas por correo electrónico la ventaja es que las respuestas son inequívocas y la desventaja es que si surge una duda a raíz de las respuestas, no se puede resolver sobre la marcha. Por el contrario, en la entrevista personal se puede profundizar y debatir cada aspecto y obtener datos que en principio no esperábamos. A cambio, anotar las respuestas a la velocidad que se producen nos resultó algo difícil, porque tampoco podíamos alargar mucho las entrevistas, habida cuenta de que eran personas que tenían que atender sus obligaciones. Bien es cierto que pensamos en grabar las entrevistas, pero si tenemos en cuenta que los responsables no se podían ausentar de sus puestos y que en estos había un continuo fluir de clarinetistas probando instrumentos a la vez, podemos imaginar la poca calidad que hubiera tenido la grabación. Así pues, decidimos anotar por escrito las respuestas recurriendo incluso a dibujos o diagramas cuando estos aportaban información y respuestas más inmediatas pero igual de fiables a nuestras preguntas. Vaya desde aquí nuestro agradecimiento a las personas que nos ayudaron con la traducción simultánea de las respuestas.

Creemos que con las respuestas dadas por los entrevistados y las fuentes consultadas podremos dar respuesta a unas cuantas cuestiones que nos preocupaban relativas a su construcción. Muchas de las preguntas y respuestas sirven para todos los instrumentos de la familia, así que, al igual que en el capítulo anterior, podremos considerar la información obtenida como general y haremos una distinción especial cuando la podamos aplicar al clarinete bajo en particular.

2.2. LA FAMILIA DE LOS CLARINETES

Como ya explicamos en el primer capítulo, dividiremos la familia de los clarinetes en dos grandes secciones, pero hay autores (Garcés, 1991; Vercher, 1983) que la dividen hasta en siete grupos, en las que encuadran 21 clarinetes de varios tamaños y afinaciones. Rendall (1954/1971) presenta también siete grupos con alguna nomenclatura diferente a los anteriores y que reúne hasta veintisiete clarinetes.

Por su interés, creemos que debemos mostrar aquí las dos relaciones de estas divisiones y los clarinetes que incluye cada una, así como el tono en el que estaban afinados. La primera reúne los instrumentos que se relacionan en los libros de Vercher (1983) y Garcés (1991) (ver imagen 117), mientras que la segunda reúne la lista según la división de Rendall (1954/1971) (imagen 118).

GRUPOS	AFINACIÓN	USO ACTUALMENTE
Sopranos agudos o requintos ⁶¹	Lab Fa Mib Re	Mib: masivamente Re y Lab: ocasionalmente Fa: en desuso
Sopranos	Do Si Sib La	Sib y La: masivamente Do: ocasionalmente Si: en desuso
De Amor	Sol Fa	en desuso
Altos	Fa Mib	Mib: ocasionalmente Fa: en desuso

⁶¹ Tschaikov (1995/2001) añade un clarinete agudo en Sol a estos cuatro.

Contraltos	Fa (<i>Corno di bassetto</i>) Mib	Fa (<i>Corno di bassetto</i>): ocasionalmente Mib: en desuso
Bajos	Do (<i>Glicibarífono</i>) Sib La	Sib: masivamente Do (<i>Glicibarífono</i>) y La: en desuso
Contrabajos	Fa Mib (Guerrero) Do (Batyphon y Pedal) Sib (Bordón)	Sib (Bordón): ocasionalmente Fa, Mib (Guerrero) y Do (Batyphon y Pedal): en desuso

Imagen 117. Listado de clarinetes por grupo según Vercher (1983) y Garcés (1991)

GRUPOS	AFINACIÓN	USO ACTUALMENTE
Octavas	Do Sib Lab Sol	Lab: ocasionalmente Los demás: en desuso
Sopraninos	Fa Mi Mib Re	Mib: masivamente Re: ocasionalmente Fa y Mi: en desuso
Sopranos	Do Si Sib La	Sib y La: masivamente Do: ocasionalmente Si: en desuso
Altos ⁶²	Lab (Clarinete de Amor) Sol (Clarinete de Amor) Clarinete Sol	en desuso

⁶² Notamos aquí la ausencia del Alto en Mib, cuyo uso es solicitado ocasionalmente.

Tenor	Fa Sol (<i>Corno di bassetto</i>) Fa (<i>Corno di bassetto</i>) Mib ⁶³	Fa (<i>Corno di bassetto</i>): ocasionalmente Los demás: en desuso
Barítonos y Bajos	Do Sib La	Sib: masivamente los demás: en desuso
Contrabajos ⁶⁴	Sol (Contrabasset-horn) Fa (Contrabasset-horn) Mib (Contrabasset-horn) Do Sib	Sib: ocasionalmente los demás: en desuso

Imagen 118. Listado de clarinetes por grupo según Vercher (1983) y Garcés (1991)

Podemos ver en los listados cómo en la actualidad los clarinetes que se utilizan preferentemente son el requinto en Mib, el soprano en Sib o La y el bajo en Sib (el clarinete alto en Mib también goza de cierto éxito, a bastante distancia de los anteriores). Entre ellos, el más extendido, con diferencia es el soprano en Sib. Ahora bien, queremos comentar en este punto algunas particularidades que atañen al resto de los instrumentos indicados. En Rice (2009, p. 7) podemos ver un cuadro que indica el nacimiento de los diversos instrumentos graves de la familia del clarinete (mediados del siglo XVIII, principios del XIX) y su referencia con los clarinetes sopranos.

Para el nacimiento de los clarinetes agudos las referencias en Rice (2003) o Tsaichkov (1995/2001) por ejemplo, nos remiten a la misma época. En definitiva, este

⁶³ Quizá este sea el mismo clarinete que en el listado de Vercher (1983) y Garcés (1991) aparece como Alto en Mib.

⁶⁴ Rendall (1954, 1971) no le asigna nombre a este grupo quizá por error, porque por la numeración que le aplica, sí se nota que lo separa del resto.

período fue muy fecundo en la creación y desarrollo de clarinetes capaces de cubrir la mayor cantidad de registro posible y eso justifica la cantidad de tamaños disponibles.

2.3. LOS CLARINETES TRANSPOSITORES

Los instrumentos de la familia del clarinete han tenido que adoptar diversas afinaciones por las causas que se explicarán más adelante. Los únicos de estos que no son transpositores son aquellos que están afinados en Do, es decir, que el sonido de la nota que nosotros tocamos coincide con el de la que leemos. O sea, que si tocamos con la digitación de un Do, sonará un Do.

Ser transpositor significa que cuando se toca una nota con una digitación determinada, el sonido resultante no coincide con el que se le atribuye a la nota escrita. Que el instrumento esté afinado en Sib quiere decir que cuando se toque una nota con la digitación del Do, sonará un Sib. De la misma manera, que esté afinado en Mib querrá decir que al hacerlo sonar con esa misma digitación, sonará un Mib.

Si bien el cambio de tamaño determinaba el registro, el origen de la diversidad de afinaciones hay que buscarla en las prestaciones de los primeros clarinetes. Si observamos los primeros clarinetes, nos daremos cuenta sin mucha dificultad de la escasez de llaves que muestran. En estos, los agujeros tonales se taladraban en el tubo siguiendo un, llamémoslo así, diseño diatónico, de manera que con el tubo cerrado sonaba la nota más grave posible -que daba nombre a la afinación del clarinete- y al levantar los dedos en orden ascendente se producía una escala diatónica mayor. Para conseguir notas alteradas se debía recurrir a digitaciones especiales que resultaban incómodas⁶⁵ y que además de restar agilidad a la ejecución, producían una afinación y un timbre defectuosos.

La solución inicial a este problema fue construir clarinetes en diferentes afinaciones según la tonalidad en la que tuvieran que tocar (ver imagen 119). De esta manera, nace el carácter transpositor del clarinete.

⁶⁵ Las llamadas digitaciones de horquilla, en las que se dejan agujeros destapados entre otros tapados.



Imagen 119. Izquierda: clarinetes en Sib, Do, Re y Fa (segunda mitad del siglo XIX). Derecha: actuales clarinetes en Lab, Mib y Sib.

La comodidad de este sistema reside en que el intérprete siempre toca cualquier clarinete en cualquier afinación con las mismas digitaciones y es el compositor quien deberá tener en cuenta la afinación del clarinete para escribirle la música ya transportada a la tonalidad correspondiente, de manera que compense la diferencia de afinación. Por ejemplo, si el clarinete suena un tono por debajo de la nota escrita, el compositor le escribirá su parte un tono por encima para corregir la diferencia.

Pongamos un ejemplo práctico: si la partitura está escrita en Do Mayor, se puede tocar cómodamente con un clarinete afinado en Do con el que, además, se podrá tocar en tonalidades con más alteraciones sirviéndonos de las digitaciones de horquilla que, como hemos dicho, dificultan la agilidad y producen un timbre y una afinación deficientes. Si la partitura estuviese en La Mayor, sería posible tocarla con el clarinete en Do aunque de manera muy incómoda, desafinada y con un timbre muy heterogéneo entre las notas producidas por las digitaciones de horquilla y las que no la usan. Es aquí donde entraría en juego el clarinete afinado en La, lo cual quiere decir que usando la digitación prevista para el Do, en realidad sonará un La y tendrá que ser el compositor quien escriba la parte del clarinete una tercera menor ascendente para compensar la

afinación. Es decir, el intérprete tocará la pieza leyéndola y digitándola cómodamente en Do, pero sonará en La.

Una muestra muy conocida de este mismo ejemplo la encontramos en el *Concierto KV 622 en La Mayor para Clarinete y Orquesta* de W. A. Mozart, en el que el clarinete tendrá su parte escrita en la tonalidad de Do Mayor⁶⁶, el intérprete lo tocará sin transportar y, sin embargo el resultado será que la parte de clarinete sonará en La Mayor. Es más, algunas ediciones de este concierto están pensadas para ser interpretadas con un clarinete en Sib. En estos casos, el intérprete tocará exactamente las mismas digitaciones sobre el clarinete y, como este sonará un semitono más alto, el editor subirá la tonalidad del acompañamiento a Sib Mayor, precisamente para evitar que el intérprete tenga que transportar su parte un semitono hacia abajo, a la más incómoda tonalidad de Dob Mayor y leer en clave de Sol, o transportarla a Si Mayor y leer en clave de Do en cuarta línea.

En el siguiente cuadro se hace referencia a la afinación del clarinete, la tonalidad en la que se le deberá escribir y el sonido real que resultará (ver imagen 120). Por ser sólo un ejemplo, mostraremos en el cuadro las afinaciones de los clarinetes más usados (Mib, Sib y La).

AFINACIÓN DEL CLARINETE	NOTA/ TONALIDAD	TONALIDAD REAL EN LA QUE SONARÁ	TONALIDAD QUE SE LE DEBERÁ ESCRIBIR EN LA PARTITURA
REQUINTO EN Mib	DO	tercera menor ascendente (Mib)	tercera menor descendente (LA)
CLARINETE EN Sib		segunda mayor descendente (Sib)	segunda mayor ascendente (RE)
CLARINETE EN LA		tercera menor descendente (LA)	tercera menor ascendente (Mib)

Imagen 120. Sonido real y nota que se debe escribir para que compensar la transposición.

⁶⁶ Primer y tercer movimientos. El segundo está escrito en Fa Mayor.

La finalidad de fabricar clarinetes afinados en tonalidades con varias alteraciones es poder tocar cómodamente en esas tonalidades, convirtiendo al clarinete en un instrumento transpositor, como hemos dicho más arriba. Con el tiempo, la inclusión de nuevas llaves paliaba en cierta medida estas dificultades y, con la llegada del sistema de trece llaves de Müller en 1812, desapareció la necesidad de fabricar clarinetes afinados en varias tonalidades, pues este era capaz de tocar, si bien algo imperfectamente todavía, en todas las tonalidades⁶⁷. El desarrollo de nuevos sistemas omnitónicos por parte de, entre otros, Albert, Oehler o Boehm (ver imagen 121) ya no permitió que se volviese a buscar en los diferentes tamaños y afinaciones lo que ya se podía encontrar en un solo clarinete⁶⁸. Ahora bien, el registro era independiente de estos avances y seguía siendo necesario recurrir a un instrumento más grande para llegar a sonidos más graves y a instrumentos más pequeños para tocar sonidos más agudos con mayor facilidad.

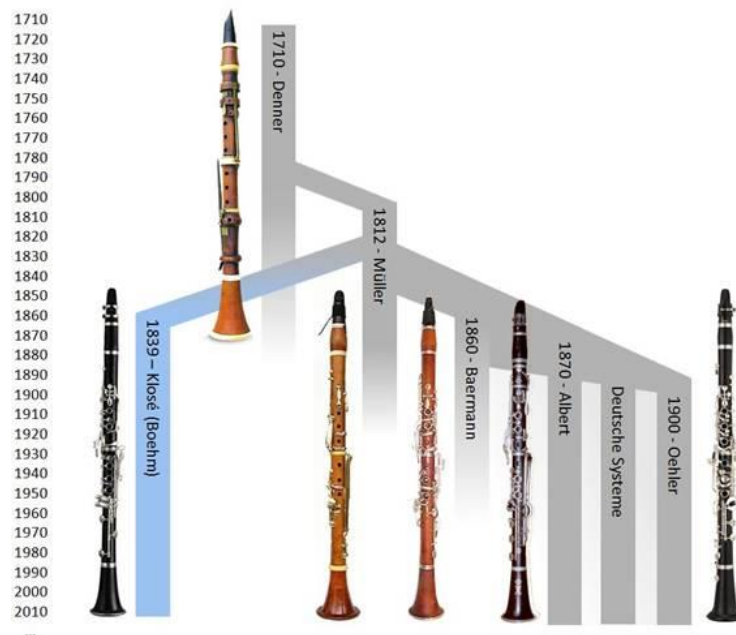


Imagen 121. Árbol genealógico del clarinete

⁶⁷ De hecho, por esa razón, Müller lo llamaba clarinete omnitónico.

⁶⁸ Pese a la oposición de algunos clarinetistas, que encontraban en el timbre específico de cada instrumento un argumento válido para que siguiesen existiendo.

Todo lo anteriormente expuesto explica las razones por las que han ido desapareciendo la mayor parte de los clarinetes que se indicaban en el cuadro mostrado más arriba, pero no explica por qué son el requinto en Mib, el soprano en Sib y La, el alto en Mib (que se usa sobre todo en bandas de música) y el bajo los que quedan en uso hasta hoy de manera claramente mayoritaria. Y la explicación viene de la mano del timbre y la afinación, que en estos instrumentos resultaba más agradable y precisa respectivamente, lo cual acabó relegando a los demás instrumentos de la familia si no al olvido, al menos a un uso muy restringido. Bowen (2009), por su parte, nos sugiere que, en el caso del clarinete bajo en La, su práctica⁶⁹ desaparición no era debida a su timbre sino a motivos puramente comerciales.

El interés por recuperar música antigua e interpretarla con instrumentos de época ha provocado que se estén fabricando réplicas de aquellos en las tonalidades y afinaciones originales, pero aunque parece que el mercado para estos instrumentos está creciendo, no podemos considerar que sean de uso habitual porque se circunscriben casi únicamente a ese tipo de música e interpretación. *Chalumeaux*, clarinetes barrocos y clásicos, *corni di bassetto* o réplicas de clarinetes románticos entran en esta categoría (ver imagen 122).



Imagen 122. Réplicas de clarinetes históricos. De izquierda a derecha: A. Grenser (ca. 1800) por Peter Van der Poel. Clarinete di bassetto Lotz (ca. 1788) por Jochen Seggelke. Wilhelm Hess (ca. 1840) por Stephen Fox.

⁶⁹ Según Bowen (2009), actualmente sólo Stephen Fox fabrica clarinetes bajos en La.

Por otra parte, hay fabricantes que están construyendo clarinetes en sistemas modernos pero afinados en tonos poco comunes como consecuencia de algún encargo o buscando un timbre particular. Como en el caso anterior, son poco utilizados a pesar de que su mecanismo los hace mucho más cómodos de usar que las réplicas de los clarinetes antiguos. Entran aquí los clarinetes agudos en Lab, contraltos en Mib o clarinetes en Sol del fabricante Ripamonti, por ejemplo (ver imagen 123).

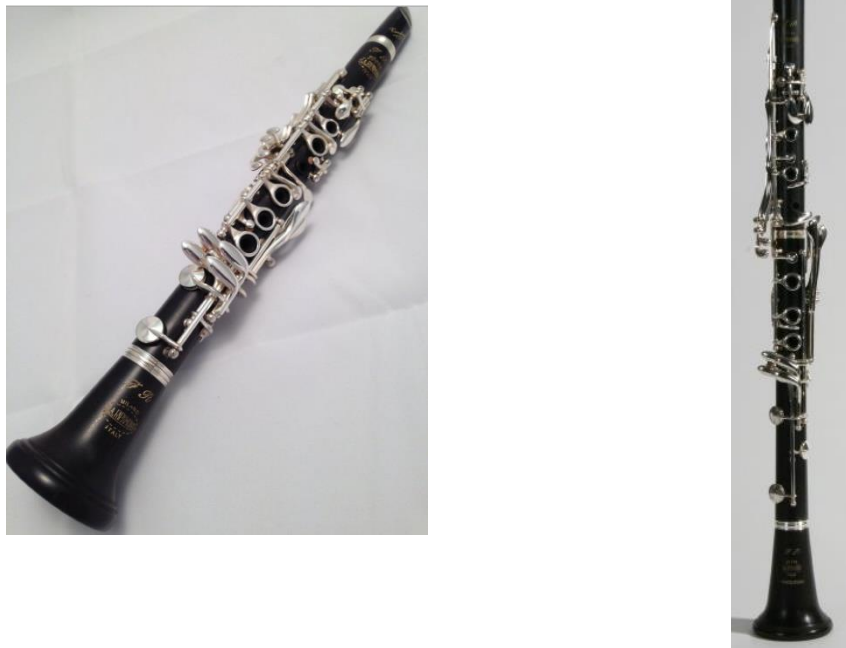


Imagen 123. Izquierda: Requinto en Lab. Derecha: clarinete en Sol

Mención aparte creemos que merece la referencia a los actuales clarinetes soprano en Do, cuya fabricación parece obedecer a dos razones distintas: por un lado, dotar a los profesionales de un instrumento con un timbre particular y para el que se ha escrito mucha música original. Los profesionales pueden de esta manera recurrir a este instrumento en lugar de transportar la música para poderla tocar con el clarinete en Sib o en La. Además, obtendrían de esta manera el timbre deseado por el compositor, si es que eso es lo que deseaba y no estaba escrito en Do para facilitar la ejecución, como hemos mencionado más arriba. Por otro lado, parece que últimamente hay una gran

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

Mapa Acústico y Optimización Acústica del Clarinete Bajo.

preocupación por evitar molestias y lesiones en los niños que empiezan a estudiar este instrumento. El propio diseño del instrumento y el peso del mismo dificultan en no pocas ocasiones la ejecución y favorece la aparición de molestias que, si no son detectados y tratados a tiempo, pueden derivar en lesiones más o menos irreversibles. Como el diseño del clarinete no parece que vaya a cambiar, al menos a corto plazo, la demanda de clarinetes en Do de estudio ha servido para aligerar el peso que deben soportar los alumnos sobre el pulgar y además, al ser un instrumento más corto que el Sib, los dedos de los más pequeños pueden llegar con más facilidad a los agujeros (debemos recordar que los agujeros se tapan directamente con los dedos y no con platos, lo cual añade otra dificultad extra). Las digitaciones, como hemos apuntado, serán las mismas que en cualquier otro clarinete. Estos clarinetes pueden estar fabricados, además de en madera, en materiales sintéticos o ebonita por lo que todavía resultan más ligeros. De cara al progreso del alumno, podemos añadir que se tocan con la misma boquilla que los clarinetes soprano en Sib o La, haciendo que cuando crezcan estos alumnos, la transición hacia estos sea más fácil. Ahora bien, tendrán que acostumbrarse a la nueva afinación.

Para terminar, podemos apuntar aquí que, a pesar de que el clarinete moderno puede tocar en todas las tonalidades, hay ocasiones en las que, a falta de la confirmación del compositor, parece que este haya tenido la deferencia con el intérprete de escribir su parte para un clarinete de distinta afinación cuando con el cambio se facilitaba la ejecución (ver imágenes 124 y 125). Hasta qué punto se deseaba el timbre concreto o se evitaban tonalidades con muchas alteraciones es algo de lo que difícilmente podremos estar seguros sin la confirmación del propio compositor. Por comunicación personal de un solista de una de las más importantes orquestas españolas, quien nos ha pedido que no desvelemos su identidad, sabemos que en ocasiones toca el solo del ejemplo sin cambiar el instrumento y transportando el pasaje. Su argumento es que el cambio de timbre no es tan importante como para notarse y que con el cambio de instrumento podría resentirse la afinación en el sentido de que al cambiar a un instrumento frío quedaría afinado bajo.

**Clarinet I in B \flat
in B**

Allegro con brio

13

23

31

38

42

46

mutano in A

mutano in B

Ob. I

Imagen 124. Fragmento de la parte del primer clarinete del primer movimiento de la Sinfonía n° 3 en Fa Mayor Op. 90 de J. Brahms. Las marcas rojas indican qué clarinete hay que tocar en cada momento (al cambiar al clarinete en La, la armadura queda sin alteraciones).

Solo

piu p

Klar. I

Ob. I

1

4

C

Imagen 125. Fragmento de la parte del segundo clarinete del primer movimiento de la Sinfonía n° 3 en Fa Mayor Op. 90 de J. Brahms. Las marcas delimitan los compases en los que el clarinete 1° está tocando con el La. Se puede observar cómo la parte del Solo está transportada para poderla tocar con un Sib. Aunque no los pone, en la armadura habría cinco sostenidos.

En el otro extremo están las composiciones que incorporan un pasaje escrito en una tonalidad con muchas alteraciones. En este caso se podría utilizar un clarinete de distinta afinación y transportar el pasaje, bien por facilitar el pasaje, bien por no disponer de un clarinete en la afinación requerida. En principio los profesionales deberían disponer de los clarinetes requeridos por el compositor y no deberían tener

problemas para interpretar el pasaje o la obra entera en la tonalidad original. Pero podría darse el caso en el que la obra se interprete por una agrupación de aficionados y estos no dispongan de los mencionados instrumentos. En ese caso tendrían que transportar el papel por necesidad.

Con respecto a la transposición, Veintimilla (2002) cita al gran clarinetista Romero (1886)⁷⁰ cuando indica que en la segunda edición de su *Método para clarinete*, este da gran importancia a la práctica del transporte, pues el clarinetista de la orquesta debería estar preparado para transportar su parte cuando acompañaba a voces, en el caso de que por salud o tesitura hubiese que cambiar de tonalidad. Y para dejar más clara la opinión de Romero (1886) en relación con el transporte, podemos señalar aquí que, en su día, fabricó su clarinete con una llave adicional⁷¹ que, con el consiguiente alargamiento del tubo, permitía bajar hasta el Mib grave. Así conseguía hacer desaparecer por completo la necesidad de emplear en las orquestas los clarinetes afinados en La que, a juicio de Romero pecaba de molesta, además de costosa y perjudicial, según apunta en la tercera edición de su Método (Romero, 1886). Con la extensión hasta el Mib instalada en el clarinete en Sib, se podía tocar la nota más grave que podía dar el clarinete en La. En contrapartida, el intérprete tendría que transportar su papel un semitono hacia abajo. En ese caso sus dos opciones eran o bien leer en la misma clave y añadir siete alteraciones descendentes, o bien leer en Do en cuarta línea y añadir cinco alteraciones ascendentes, en ambos casos teniendo cuidado con las diferencias.

A modo de ejemplo podemos ver en la imagen 126 un fragmento de las *Danzas de Galanta* (Kodály, 1934/1962). El clarinete exigido está afinado en La y la armadura de su parte tiene cinco bemoles. Si la tocásemos con un clarinete en Sib podríamos prescindir de todas las alteraciones, pero a cambio tendríamos que leer el papel en clave de Do en cuarta y aplicar las diferencias.

⁷⁰ Quien además fue un gran pedagogo, editor e inventor de un sistema de clarinete que lleva su apellido, muy avanzado para su época pero de escaso éxito comercial.

⁷¹ Accionada por el meñique derecho.



Imagen 126. Fragmento de Danzas de Galanta (Kodály, 1934/1962)

2.4. LA INFLUENCIA DEL MATERIAL EN LA ACÚSTICA DE LOS CLARINETES EN GENERAL

Mientras que suele haber consenso en que el material ejerce una influencia notable en la calidad del sonido y la facilidad de emisión de este, lo que discuten algunos autores es el grado de importancia de cada factor en el resultado final. La influencia del material es la misma para todo el tubo y, por lo tanto, extrapolable a cualquiera de sus partes. Los primeros datos serán aplicables a cualquier parte del tubo. Más abajo concretaremos los datos referidos al barrilete o el tudel en concreto.

Si tenemos en cuenta la densidad⁷² del material, cuanto mayor sea esta, más timbrado⁷³ será el sonido producido. La porosidad del material también tendrá gran importancia en el resultado. En este caso, a menor porosidad, mayor timbre encontraremos en el sonido. La razón está en que un material menos denso o más poroso absorberá más vibraciones y, por lo tanto, frenará la proyección y la resonancia del sonido.

En cuanto a la afinación, Benade (1976/1990) nos explica que la porosidad y la densidad del material utilizado afectarán a la afinación y, aunque no menciona en qué sentido, entendemos que a mayor porosidad o menor densidad le corresponderá una bajada de afinación por las pérdidas visco-termales producidas por el amortiguamiento de la onda en las paredes del tubo. Por lo mismo que hemos comentado sobre la absorción de vibraciones por parte del tubo, hay autores que consideran que el grosor del tubo influye decisivamente en el sonido y que si un material es menos denso debería compensar esa pérdida con un mayor grosor de las paredes (Rendall, 1954/1971).

A este respecto preguntamos a los responsables competentes de las marcas y nos contestaron afirmativamente, además de ampliar la respuesta. Jérôme Selmer (comunicación personal, 19 de junio de 2015) nos dijo que a mayor grosor, más facilidad en la emisión, mayor riqueza tímbrica y mayor estabilidad en la afinación. Este

⁷² No confundir con el grosor de las paredes

⁷³ Entenderemos por timbrado aquel sonido en el que están reforzados los armónicos más agudos.

último dato tiene que ver con que una vez alcanzada la temperatura de trabajo del instrumento, el mayor grosor de las paredes del tubo, retendrá mejor el calor y tardará más en perder la temperatura correcta de uso. Jochen Seggelke (comunicación personal, 12 de enero de 2013) también le da la razón y además apunta que a mayor grosor, mayor definición (entendida como concentración) en el sonido. Además, nos comentó la importancia de un buen pulido del interior del tubo, entendido como un método para evitar en lo posible la porosidad del material. Stephen Fox (comunicación personal, 18 de julio de 2014) no nos terminó de aclarar si estaba de acuerdo o no con Rendall con respecto a compensar la densidad con el grosor, pero a cambio nos dijo que él le da más importancia en primer lugar a la porosidad del material y su acabado y en segundo lugar a la densidad y la elasticidad de este. Asimismo, nos explicó que un mayor grosor proporciona mayor dinámica al sonido.

En este punto tenemos que decir que Bautista (2008) hace un estudio de la percepción acústica del sonido del clarinete atendiendo al material de construcción empleado en varios modelos. Aunque las conclusiones nos parecen interesantes, sobre todo en lo concerniente a la percepción del sonido por parte de cada grupo de encuestados, el hecho de que los clarinetes no sólo estén fabricados en distinto material, sino que además se trate de marcas y modelos diferentes, hace que tomemos con precaución los resultados, pues estos se pueden deber tanto o más a la forma del taladro que al material de construcción.

De lo anterior se desprende que la opinión de Fox nos parecía especialmente valiosa porque este constructor ha fabricado, además de un clarinete bajo, dos clarinetes soprano de idénticas dimensiones pero de dos materiales diferentes: granadillo y Delrin. Se entenderá entonces que no teniendo que prestar atención a la forma del taladro por ser este idéntico, podríamos sacar conclusiones más ajustadas a la realidad en cuanto a la comparación de los materiales utilizados. En su comunicación personal, Fox nos dijo que el clarinete fabricado en Delrin sonaba más oscuro porque el material absorbía los armónicos debilitándolos y además su respuesta era poco espontánea. En cuanto a Yamaha, su técnico Emilio Martínez (comunicación personal, 7 de mayo de 2012) nos

indicó que, si bien en teoría el cambio de material no tenía por qué afectar al sonido puesto que, físicamente y a igualdad de dimensiones, no debería cambiar nada, reconocía que en la práctica sí se notaba la diferencia al cambiar de material. En cuanto al grosor de este, nos contó que la percepción del sonido producido por una pared más gruesa era más oscuro y viceversa. Juan Garijo, especialista en flauta, coincidía en que – al menos en el caso de las flautas- una mayor densidad del material iba a producir sonidos más densos y proyectados (comunicación personal, 22 de julio de 2015). Citaba a este respecto que experimentos usando material sintético ABS producían sonidos ahogados. En contra de la opinión generalizada de las personas anteriores, Garijo no estaba de acuerdo con que un mayor grosor del material compensara su menor densidad.

Por último, y como contrapunto a todas las opiniones anteriores, Ridenour (s.f.) cuenta en su artículo cómo el uso de la madera de granadillo como material por excelencia para fabricar clarinetes es una cuestión más económica que acústica. La razón, según dicho experto, está en que aunque hay otras maderas con unas cualidades acústicas más adecuadas (palo de rosa hondureño, apunta Ridenour), son de difícil manipulación, tienen una mayor tendencia a agrietarse que el granadillo y además son mucho más sensibles a los cambios de temperatura y humedad, los cuáles producen efectos devastadores en las dimensiones del taladro, pudiendo provocar problemas graves de afinación y fugas de aire en los agujeros tapados por zapatillas que impedirían la normal ejecución del instrumento. El problema, además de la inseguridad que provocan estos hechos en el intérprete, se torna económico por los constantes retoques que tendrían que hacerse sobre el clarinete para mantenerlo a punto.

Desechada la fabricación de clarinetes en granadillo porque, para Ridenour (s.f.), no ofrecen la mejor calidad acústica, y desechadas las otras maderas por no ofrecer garantías de ejecución, este constructor se decanta por la ebonita para fabricar sus clarinetes y clarinetes bajos. No podemos estar de acuerdo con él en que la ebonita sea un producto natural porque entendemos que, aunque la materia prima –el caucho y el azufre- lo sea, la ebonita como producto es un material sintético. En cualquier caso, eso no desmerece los resultados. Ridenour (s.f.) arguye que si la colocación, las

dimensiones y el trabajo de ajuste, fresado y pulido están bien hechos, el resultado ha de ser bueno independientemente del material. Continúa diciendo que, además, el color del sonido es más oscuro que el que produce la madera de granadillo. En este punto estaría en contra de las anteriores opiniones, puesto que estaría asignando un color más oscuro a un material menos denso que el granadillo. La razón podría estar en que a cambio puede ofrecer menor grado de porosidad. Los beneficios colaterales (por llamarlos de alguna manera) vendrían de la mano de un menor coste de producción, con la consecuente reducción del precio de venta, la ausencia de cualquier posibilidad de que se agriete el instrumento, menor sensibilidad a los cambios de temperatura y humedad y menor peso del instrumento. A todo ello habría que añadir el menor impacto medioambiental ocasionado sobre los árboles que producen las maderas usadas para la fabricación de los clarinetes y clarinetes bajos.

2.5. ORGANOLOGÍA DE LOS CLARINETES SOPRANO Y BAJO

Terminada esta introducción dedicada a la división en grupos de la familia del clarinete y sus diferentes afinaciones y la información referida a la influencia del material de construcción en la acústica de los clarinetes en general, pasaremos a redactar la información que hemos obtenido de diversas fuentes bibliográficas y comunicaciones personales referidas a su construcción y a las diferencias entre el clarinete soprano y el bajo.

Las respuestas a las preguntas elaboradas para los responsables de diseño y producción de los clarinetes nos servirán para sustentar esta segunda parte de este capítulo. Estas preguntas nunca tuvieron la finalidad de servir para hacer una estadística ni nada similar. Dado que, además de recurrir a las fuentes bibliográficas, pensábamos entrevistarnos personalmente con las personas de nuestro interés, en nuestro ánimo estaba la posibilidad de que se entablara cierto debate a raíz de las preguntas y terminar obteniendo más información que la que en principio hubiésemos conseguido con la simple respuesta escrita al cuestionario. Si esto no fuera posible, las respuestas nos deberían dar, al menos, suficientes datos para poder elaborar este capítulo, junto con la información sacada de otras fuentes.

Cada pregunta estaba respaldada por un conocimiento previo adquirido gracias a las diversas fuentes bibliográficas o digitales y pretendía conseguir algún dato original, la clase de dato que poseen las personas que, por su trabajo, manejan estos instrumentos a diario. Este tipo de información no suele terminar en los libros porque son pequeños trucos de constructor o reparador, sin una entidad suficiente para publicarse, pero que hacen que cada instrumento sea único.

No es pretensión de este trabajo entrar a fondo en cuestiones matemáticas para definir el comportamiento acústico del clarinete ni en los cálculos necesarios para resolver los problemas que resultan de su diseño. El comportamiento diferente del instrumento dependiendo de la boquilla⁷⁴ que se use, el registro en el que esté sonando,

⁷⁴ En conjunción con la lengüeta y la abrazadera.

la distribución de los agujeros tonales abiertos y cerrados o las correcciones aplicadas al taladro interior son algunas de las cuestiones que los investigadores estudian de cara a mejorar el comportamiento acústico, la respuesta o la afinación de los clarinetes. Pasado el tiempo en el que las mejoras introducidas en el clarinete eran resultado de ensayos experimentales, diferentes músicos y físicos se han esforzado en aplicar los conocimientos en acústica al diseño de estos instrumentos, puesto que al menos desde el punto de vista acústico, el clarinete tiene uno de los comportamientos más interesantes. De estos esfuerzos queda constancia en la bibliografía, así que en este trabajo procuraremos darlos a conocer sin entrar en profundidad en las fórmulas matemáticas que los sustentan. Con todo, el clarinete sigue resistiéndose a ser un instrumento perfectamente afinado o de timbre homogéneo en todos sus registros.

Como hemos dicho más arriba, vamos a empezar por exponer las similitudes y las diferencias entre los dos instrumentos de la familia del clarinete que más se usan, el clarinete soprano y el clarinete bajo. Antes queremos hacer una aclaración: en el caso del clarinete soprano, podemos dividirlo en dos por su afinación: en Sib y el La. El afinado en Sib es, con diferencia, el más usado de la familia. En cualquier caso el clarinete en La no es exactamente un clarinete en Sib a escala. Según Pino (1980), el clarinete en La conserva el diámetro interior del taladro de un clarinete en Sib y lo que cambia es la longitud del tubo y la distancia de los agujeros tonales entre sí, lo que originaría, además de ese cambio en la afinación, un timbre un tanto más velado que el producido por el Sib.

2.5.1. LA BOQUILLA

Pasemos ahora a concretar las características de cada parte del clarinete y el clarinete bajo y la relación entre ellas. Independientemente del material con el que se fabrique, y salvo los rarísimos casos que hemos podido ver en el primer capítulo (las boquillas con abrazadera incorporada o con varios materiales), la boquilla está hecha de una sola pieza y en ella se pueden distinguir varias partes: la cámara, el taladro, la tabla y la espiga (ver imagen 127). Teniendo en cuenta que no todos los autores coinciden en la nomenclatura de cada una de sus partes, nosotros vamos a proponer y definir la nuestra para evitar equívocos al leer este trabajo.

- La tabla incluye una parte plana en la que se apoya la lengüeta; una parte ligeramente curva a la que llamaremos ventana⁷⁵, que es el hueco por donde entrará el aire y sobre el que la lengüeta se situará en voladizo, y los rafles, que delimitan la ventana.
- El taladro es la parte de aspecto cilíndrico⁷⁶ en el interior de la boquilla.
- La cámara consiste en el techo (que es la parte superior del interior de la boquilla, opuesta a la ventana), la garganta (que es la zona donde se produce la transición entre la parte cónica y el taladro cilíndrico) y, por último, las paredes, que unen la ventana con el techo⁷⁷.
- La espiga es la parte de la boquilla que conecta con el barrilete del clarinete o con el tudel en el caso del clarinete bajo. En los instrumentos modernos, su parte exterior está recubierta con corcho para poder ajustarse en el hueco habilitado para ello.

⁷⁵ En los catálogos de boquillas, a esta zona se le suele llamar tabla.

⁷⁶ En realidad suele ser muy ligeramente cónica, al menos en las boquillas francesas.

⁷⁷ No siempre han sido así. Sparnaay (2011, p. 36) nos muestra una boquilla de clarinete bajo sin cámara.

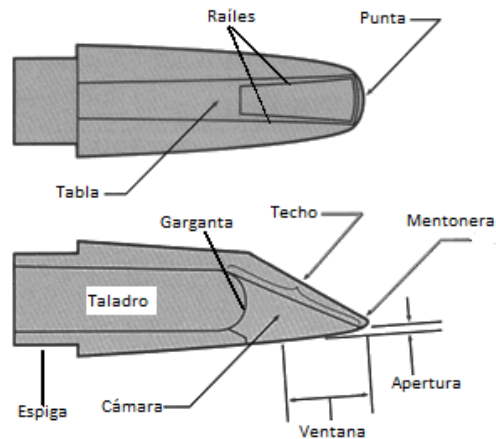


Imagen 127. Partes de la boquilla. Arriba: vista inferior. Abajo: corte transversal lateral.

No podríamos agotar las características de todas las boquillas existentes en el mercado, ni mucho menos las de aquellas que se han fabricado a lo largo de la historia y evolución del clarinete. Si a ello le añadimos las características propias de las boquillas específicas para los sistemas francés y alemán (con sus diferentes diámetros de taladro) y dentro de estos, las de los distintos instrumentos de la familia, el panorama se podría complicar mucho. Además, las marcas suelen editar catálogos con las medidas y características técnicas de cada modelo, con lo cual sólo será necesario acudir a una de estas publicaciones para conocer los datos que precisemos. En este apartado dedicado a las boquillas nos parece más interesante hablar de la relación entre las diferentes partes de este componente y la influencia que la forma y tamaño tiene sobre el sonido. En cualquier caso, aunque las dimensiones de las boquillas varíen consecuentemente con el tamaño del instrumento al que van destinadas⁷⁸, las variaciones sobre las diferentes partes que la componen producirán los mismos cambios en el sonido producido o en la facilidad de ejecución, independientemente del tamaño de la boquilla.

Aclarado este punto, podemos entrar en materia. La boquilla puede estar hecha de diferentes materiales, como se ha visto en el primer capítulo, y estos tendrán su parte

⁷⁸ Aunque a veces una misma boquilla pueda servir para varios instrumentos, como la boquilla para soprano en Sib, que podrá ser utilizada en los sopranos en Do y La.

de influencia en la calidad del sonido. Pero, independientemente de la materia prima debemos saber que el diámetro del taladro, la longitud de la tabla y, sobre todo, de la ventana, el volumen de la cámara y la altura y forma del techo interactuarán entre sí y tendrán una influencia decisiva en la calidad sonora.

En cuanto a la incidencia de los materiales de los que está hecha la boquilla en el sonido, podemos decir que la madera ofrece una buena respuesta, poca resistencia al soplo y un sonido cálido. En contra de este material está el hecho de que con la temperatura y la humedad se puede llegar a deformar y esto tiene consecuencias desastrosas para el sonido, porque si el asiento de la lengüeta sobre la tabla y la ventana no es bueno, aquella no vibrará correctamente y esto afectará muy negativamente al sonido resultante. En cuanto a las boquillas de marfil, sabemos que se han usado en los primeros clarinetes y que ya hace mucho tiempo que se dejaron de utilizar. De densidad más alta que la madera y mayor resistencia a la deformación, ofrecían un buen sonido pero una respuesta algo lenta. Las boquillas de vidrio⁷⁹ ofrecen mayor resistencia a deformarse que las anteriores, si bien el riesgo de rotura frente a un golpe es mayor que en aquellas. Algo más resistentes al soplo, ofrecen un sonido algo más oscuro y aflautado. Debido a esa resistencia suelen exigir lengüetas algo blandas pero con mucha vibración. El metal también se ha utilizado para fabricar boquillas de clarinete, aunque se usa mucho más en saxofones por su mayor resonancia. En la página web de Behn Mouthpieces International (2015b) se añade que suelen tener un techo más alto que la media para incrementar el brillo y el volumen del sonido. Muy estable y resistente a los golpes, el material utilizado puede ser latón, bronce, acero inoxidable o aluminio. En bastantes ocasiones se puede encontrar la boquilla chapada en oro o plata. El plástico⁸⁰, denostado –no siempre justamente- por su bajo coste, ha sido acusado de no poseer la profundidad y el color que puede producir la ebonita. Sin embargo, el plástico puede ser muy buen material si se tiene en cuenta la densidad con la que se fabrica y se tiene cuidado con que el diseño permita sacar buen provecho de su resonancia. Dejamos para

⁷⁹ Mal llamadas de cristal como ya aclaramos en el primer capítulo.

⁸⁰ Suele ser ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno).

el final la ebonita, material mayoritariamente utilizado para fabricar boquillas tanto para los diferentes instrumentos de la familia del clarinete como del saxofón. Sus grandes cualidades acústicas, su buena estabilidad dimensional frente a los cambios de temperatura o humedad y un precio de adquisición relativamente bajo han hecho de la ebonita el material por excelencia para la fabricación de boquillas. Ahora bien, como en casi todos los materiales, no toda la ebonita es igual. Dependiendo de la densidad que esta tenga, se obtendrá de ella diferente respuesta, facilidad de emisión o color del sonido. Behn Mouthpieces International (2015a) nos informa de que, además de la fórmula concreta de la ebonita, también su procesado determinará su calidad. Así, el proceso habitual para obtener las barras de ebonita que después se transformarán en boquillas es la extrusión, que consiste básicamente en forzar la entrada del material en un molde a gran presión y temperatura. La extrusión requiere de aditivos para evitar la carbonización de la ebonita, pero estos aditivos perjudican la resonancia, ralentizan la respuesta y le restan dulzura al sonido. Behn Mouthpieces International (2015a) explica que si se consigue moldear la ebonita sin recurrir a la extrusión y a los aditivos que esta exige, se conseguirá el mejor sonido posible del material⁸¹. En contrapartida, el proceso de formación de las barras resultará más largo.

Independientemente de la aportación al sonido por parte del material, debemos considerar las dimensiones de las distintas partes de la boquilla, de manera que las variaciones que se produzcan en aquellas serán las causantes del sonido particular de cada una de ellas. Si consideramos la cantidad de variables que se pueden considerar en su diseño, que diferencias de fracciones de milímetro pueden acarrear importantes consecuencias en la calidad del sonido y que, además, las boquillas se terminan a mano, podemos entender cómo Pino (1980) considera que no hay dos boquillas iguales.

Aquí debemos aclarar un punto importante: puesto que cada modificación en una parte de la boquilla causará cambios en el sonido dependiendo de la parte que se haya modificado y de la importancia de la alteración, deberemos tener en cuenta que

⁸¹ Behn Mouthpieces International (2015b) recurre al aplanado y enrollado de la pasta de caucho y azufre, que después someterá a calor y gran presión dentro de un molde para curarla y formar la ebonita. No hay, pues, proceso de extrusión.

hablaremos aquí de cómo cambiaría el sonido cuando se modifica esa parte en concreto, manteniendo las demás medidas intactas. En realidad, como veremos más abajo, muchos de estos cambios exigirán compensaciones en otros lugares de la boquilla o del resto del instrumento para equilibrar la respuesta, la facilidad de emisión y la calidad del sonido.

Normalmente se toman dos parámetros cuyas medidas servirán para definir la boquilla y que son los que más directamente afectan a la elección de la dureza de las lengüetas: la longitud de la ventana⁸² y la apertura de la punta. La interacción entre estos dos parámetros determina la elección de la lengüeta de la manera descrita a continuación.

- Para una misma longitud de ventana, cuanto más grande sea la apertura en la punta, más blanda será la lengüeta que se necesite. Esto es así porque la lengüeta necesita acercarse a la punta de la boquilla para producir la vibración y si fuese demasiado dura no tendría la elasticidad suficiente para realizar ese movimiento.
- Para una misma apertura en la punta, cuanto mayor sea la longitud de la ventana, más dura necesitará ser la lengüeta. La razón es que al ser más largo el voladizo, mayor fuerza de palanca se ejerce sobre la lengüeta y si esta es demasiado blanda se cerrará sobre la punta y no tendrá fuerza suficiente para abrirse.

En principio, el diámetro del taladro de la boquilla en la parte en la que se une al barrilete o al tudel deberá coincidir con el diámetro del taladro de estos. Decimos esto porque el taladro es diferente para clarinetes de sistema alemán o francés. Puesto que las modificaciones efectuadas tendrán el mismo efecto sobre el sonido, independientemente del tamaño o el sistema de clarinete al que vaya destinada la boquilla, este apartado no hará distinciones entre sistemas o tamaños, aunque en caso de tener que concretar algún

⁸² En los catálogos de boquillas se suele llamar tabla, pero nosotros consideraremos tabla a la parte plana de la boquilla -donde se apoya la lengüeta- y ventana a la parte curvada que incluye los rieles y el propio hueco de la ventana y que va desde el punto en el que la lengüeta queda separada de la tabla hasta la punta de la boquilla.

dato, lo haremos sobre el sistema francés, que es el que utilizamos en este trabajo. Muchas de esas modificaciones se miden en centésimas de milímetro o dimensiones aún menores, con lo que no serán apreciables a simple vista pero tendrán un gran efecto sobre el sonido. Pasemos ahora a analizar la consecuencia que sobre el sonido tendrán las diferentes modificaciones en cada parte de la boquilla.

La cámara influye en el color del sonido. Si el volumen de esta es grande, el sonido tenderá a ser grande y flexible, pero bajo de afinación. Por ello habrá que compensar el volumen total del interior de la boquilla jugando con las dimensiones del taladro y haciéndolo más estrecho. En el caso de que la cámara sea más pequeña, el sonido sonará más concentrado, se notará mayor resistencia al soplo y la afinación subirá. En este caso habrá que compensar el volumen aumentando el diámetro del taladro. Lo que deducimos de lo dicho es que el aumento del volumen de aire contenido en el interior de la boquilla produce una bajada de la afinación en el instrumento.

La parte superior interna de la cámara es lo que llamamos techo. De su forma va a depender el color del sonido. Tres son sus parámetros: perfil longitudinal, perfil transversal y anchura.

- Llamaremos perfil longitudinal a la forma que adopta el techo desde la punta hasta la garganta visto desde la perspectiva lateral. Puede adquirir dos formas básicas: recta o cóncava (ver imagen 128). Esta última podrá ser ligeramente cóncava (a la manera de una pista de salto de esquí) o pronunciadamente cóncava (como una cuchara).
- Llamaremos perfil transversal a la forma que adopta el techo visto desde la perspectiva frontal. Puede adquirir las mismas formas que el longitudinal.
- Llamaremos anchura a la separación entre las paredes de la cámara. Puede ser -simplificando mucho, como hemos dicho- grande, mediana o pequeña.



Imagen 128. Corte transversal de una boquilla indicando la forma del perfil longitudinal del techo.

Las medidas exactas de estos parámetros pueden variar mucho de unos modelos a otros. Esto, unido a que las medidas de un parámetro se han de compensar con uno o los otros dos, hace que nos decidamos a reducir las posibilidades a dos formas de perfil y tres medidas generales de anchura para poder tratar los datos más cómodamente (ver imagen 129). Manejaremos así los tipos más ortodoxos de boquillas francesas.

PERFIL LONGITUDINAL	RECTO	LIGERAMENTE CÓNCAVO	PRONUNCIADAMENTE CÓNCAVO
PERFIL TRANSVERSAL	RECTO	LIGERAMENTE CÓNCAVO	PRONUNCIADAMENTE CÓNCAVO
ANCHURA	GRANDE	MEDIANA	PEQUEÑA

Imagen 129. Cuadro con los parámetros del techo de la cámara de la boquilla.

Una conformación del techo con los perfiles longitudinal y transversal rectos dará como resultado el sonido más brillante posible con una respuesta fácil y rápida. La opción totalmente opuesta, con perfiles muy cóncavos producirá el tono más oscuro posible y de respuesta más lenta. Cualquier otra combinación de parámetros y medidas proporcionará su color particular al sonido. Se pueden encontrar boquillas con el techo convexo, que dan un gran volumen de sonido pero son de difícil control y tienden a hacer chillar la lengüeta.

La anchura influirá en la focalización del sonido y la resistencia al soplado de la boquilla. Una anchura grande provocará un sonido muy abierto pero fácil de emitir y una anchura pequeña, consecuentemente, el efecto contrario. Si las paredes son paralelas entre sí (en sentido vertical cuando la boquilla se apoya sobre la tabla) se dice

que tienen forma de H. En ocasiones las paredes no son paralelas sino que se abren en su parte más cercana al techo⁸³ (ver imagen 130) para intentar encontrar un punto de equilibrio en el que el sonido sea de fácil emisión pero oscuro.



Imagen 130. Izquierda: diagramas con las dos formas básicas que puede tomar la anchura. Derecha: boquilla vista desde abajo. Se puede ver la forma de A. Obsérvese que la ventana está vuelta hacia arriba.

De todas formas, hay que considerar que hay ciertos márgenes que no se pueden superar. Si se abrieran o cerraran en exceso las formas, el efecto sobre la calidad del sonido o su facilidad de emisión se resentiría. La anchura será el último aspecto que considerar en el diseño de la boquilla y en cualquier caso, habrá que respetar el volumen total de su interior.

Dependiendo de la combinación entre cámara y taladro (gran concavidad y gran diámetro, por ejemplo) podríamos obtener una boquilla de sonido profundo y resonante pero de afinación baja. Tendríamos, en este caso, que corregirla recurriendo a un barrilete más corto. Para este tipo de boquillas y siempre que la desafinación no sea demasiado pronunciada, parece recomendable un barrilete de tipo cónico inverso (más ancho en la parte superior). Por el contrario, una boquilla de taladro estrecho, gran anchura y techo plano, producirá un sonido alto en afinación. A este tipo de boquillas se les puede acoplar un barrilete más largo, pero este deberá tener una conicidad más ligera o, dicho de otro modo, cuanto más estrecho sea el taladro de la boquilla, más tendencia a ser cilíndrico deberá tener el barrilete.

⁸³ Se le suele llamar forma en A. Pero esta forma es la que adopta cuando la ventana está vuelta hacia arriba. En condiciones de uso tendría forma de V.

La imaginación de los fabricantes ha hecho posible la producción de un barrilete dotado de un mecanismo que permite modificar su longitud, consiguiendo variar en consecuencia la afinación general del instrumento sin tener que separarlo de la boquilla o el cuerpo superior, lo cual evita que se forme una hendidura en el tubo.

En el caso del clarinete bajo, la función del barrilete la hace el tudel. El tudel del clarinete bajo moderno suele incorporar un agujero de registro y estar dividido en dos partes que se acoplan telescópicamente para modificar su longitud y con ello, la afinación. Gracias a que es metálico, las paredes pueden ser más delgadas y cuando se alarga su longitud la profundidad de la hendidura es menor que en el caso del barrilete. Por lo general, su taladro es cilíndrico porque los problemas de afinación que puedan derivarse de su diseño y del de la boquilla que hemos visto anteriormente deberían corregirse gracias a la doble llave de registro que poseen los clarinetes bajos modernos, una de las cuales está situada en la parte del tudel más cercana al cuerpo superior.

Los efectos que esta variedad de formas y tamaños en las boquillas producen con respecto a la resistencia al soplo y a la calidad del sonido exigen que tengamos que elegir la lengüeta y, en menor medida la abrazadera, en función de estos. Debemos escoger lengüetas más blandas cuando aumente la resistencia de la boquilla al soplo y más duras en caso contrario.

El taladro de la boquilla moderna suele ser, salvo excepciones, ligeramente cónico y es la parte que más influencia ejerce sobre la afinación general del instrumento y sobre algunas zonas de los diferentes registros. Si el taladro aumenta su diámetro la afinación general bajará. Pero, además, bajarán más su afinación las notas de garganta y al mismo tiempo subirá la afinación del registro agudo. Un taladro de menor diámetro tenderá a producir el efecto contrario. Además de la afinación, el taladro influirá en el color, la flexibilidad y la resonancia. Cuanto más grande sea el diámetro, más cálido, flexible y resonante será el sonido. Cuanto más estrecho sea aquel, más brillante y poco flexible será el sonido.

2.5.2. EL TUDEL Y EL BARRILETE

Podemos profundizar ahora un poco más en los barriletes y los tudeles. Acabamos de ver básicamente cómo interaccionan estas piezas entre sí, pero debemos recordar que estos elementos, que pueden parecer un simple accesorio para conectar la boquilla con el cuerpo superior del instrumento, tienen una función mucho más importante de lo que parece. Tenemos ante nosotros una pieza de capital importancia tanto para la afinación como para la respuesta del clarinete. Los fabricantes invierten mucho tiempo y dinero en la búsqueda de un diseño que reduzca los problemas de afinación y respuesta inherentes a la particular acústica del clarinete. Así podemos encontrar barriletes fabricados en gran variedad de materiales y formas, tanto internas como externas. Los materiales con los que se construyen los barriletes y los tudeles han sido tratados ya en el primer capítulo, así que trataremos aquí las consecuencias que sobre el sonido o la facilidad de respuesta tendrá su forma o el propio material.

En cuanto al material en general o el del barrilete o tudel en particular, habrá que tener varios aspectos en cuenta: la densidad, la porosidad, la forma del taladro, el grosor, la inclusión o no de anillos en sus extremos (en el caso del barrilete), el pulido del interior del taladro o su humectación (capacidad de retener la humedad).

En cuanto a los materiales empleados para elaborar el tudel moderno, sabemos que van a ser metálicos en la gran mayoría de los casos, aunque como hemos podido comprobar en el apartado dedicado a ellos en el primer capítulo, hay quien ya ha fabricado uno en madera. Pero hasta que la construcción de tudeles en madera sea un hecho más extendido, tendremos que aplicar nuestra atención a los tudeles metálicos. Dentro de la variedad de metales que se pueden usar, lo más habitual es el latón con baño plateado y, en menor medida dorado. Otros materiales disponibles, como hemos visto en el primer capítulo, pueden ser el cobre o la plata maciza. No hemos encontrado un estudio sobre el uso de cada uno de los materiales, pero sí testimonios del uso de unos tudeles de latón especialmente pesados por acumulación de material⁸⁴ (la empresa los llama reforzados), cuyo mayor beneficio es, según comunican, la posibilidad de

⁸⁴ De la empresa *Das Blauhaus* en Suiza.

producir un sonido más puro, más enfocado y con un mayor rango dinámico. La propia empresa anuncia que el chapado en plata produce un sonido más brillante mientras que el chapado en oro dará un sonido más oscuro. Estas afirmaciones coinciden con lo dicho anteriormente por la mayoría de especialistas en el sentido de que un material más denso o el mayor grosor de las paredes de tudel producirán un sonido más enfocado y timbrado.

Nos queda hablar más concretamente de la forma del taladro en el barrilete y el tudel. Si bien, como ya hemos dicho, el taladro del tudel del clarinete bajo es habitualmente cilíndrico, salvo excepciones (como vimos en el caso del fabricado por Fox), la forma a la que nos referiremos será la que adopta su curva, pudiendo esta ser más o menos cerrada (ver imagen 131). La opinión de todos los entrevistados es que, aunque acústicamente se comporta igual que si fuera recto, sí hay cierta resistencia al soplo, más acusada cuanto más cerrado sea el ángulo.



Imagen 131. Tres tudeles mostrando diferentes ángulos.

En el caso de la forma interior del barrilete, podemos encontrar literatura referida a los tipos más usados y en algún caso una pequeña explicación sobre los beneficios de aquella sobre la afinación o la resistencia al soplado.

No podemos dudar de que las marcas realizan grandes estudios sobre este particular, pero no es menos cierto que el proceso seguido, las medidas usadas y los

resultados obtenidos quedan dentro del ámbito privado de la marca por razones obvias: no quieren que otras marcas aprovechen sus conclusiones y puedan ofrecer un producto con las mismas características sin haber invertido tiempo ni dinero para ello.

Así, lo que nos queda es lo que podemos leer en los anuncios de venta (este barrilete facilita la emisión... o mejora la afinación... o produce un timbre más oscuro...). A este respecto, Campos (2005) realiza un estudio psicoacústico del sonido del clarinete. El estudio consiste en analizar las respuestas de un grupo de estudio frente al sonido del clarinete al que se le va cambiando únicamente el barrilete. El estudio recoge y trata las percepciones de los oyentes y los intérpretes sobre un escala de uno a cinco⁸⁵ en cuanto a la emisión (precisa/imprecisa), la calidad del picado (suave/agresivo), la calidad del ligado (*legato/no legato*), la homogeneidad (regular/irregular), el brillo (brillante/opaco), el color (claro/oscurito) y la estabilidad en las notas largas (estable/inestable) con cada barrilete.

Las características de sus barriletes en cuanto a material de fabricación, longitud y forma se detallan en el siguiente cuadro (ver imagen 132). Campos (2005) utilizará madera *Dalbergia Nigra* (palisandro) para los barriletes de fabricación propia porque es la que presenta una densidad cercana a la de la *Dalbergia Melanoxylon* (granadillo) usada en el barrilete original Buffet: 0,83 g/cm³ la primera por 0,85 g/cm³ la segunda.

Lo que más nos interesa del estudio es que Campos (2005) fabrica tres de los cuatro barriletes para la ocasión⁸⁶ (ver imagen 133), con lo cual puede decidir las dimensiones, características y material de cada uno. Además de estos fabricará otros dos que no usará para elaborar el estudio⁸⁷.

⁸⁵ El 1 y el 5 serán los extremos que se indican con un concepto, el 3 será la posición de equilibrio y el 2 y el 4 serán las percepciones intermedias entre la posición de equilibrio y el extremo más próximo.

⁸⁶ El que no fabrica Campos (2005) es de la marca Buffet.

⁸⁷ Fabricados en madera *Dalbergia Nigra*, ambos con anillos tallados en la misma madera y con taladro cónico invertido, pero uno de ellos con una longitud de 51 mm para poderlo acoplar a un clarinete con sistema Oehler.

BARRILETE	LONGITUD	MATERIAL	FORMA	DETALLES
A (Buffet)	67mm	DALBERGIA MELANOXYLON	CILÍNDRICO	CON ANILLOS METÁLICOS
B	67mm	DALBERGIA NIGRA	CILÍNDRICO	SIN ANILLOS
C	67mm	DALBERGIA NIGRA	CÓNICO INVERSO	SIN ANILLOS
D	67mm	DALBERGIA NIGRA	CÓNCAVO	SIN ANILLOS

Imagen 132. Características de los barriletes del estudio de Campos (2005)



Imagen 133. Barriletes usados en el estudio de Campos Franco (2005). A la izquierda el original de Buffet. Los otros tres son los creados ex profeso para el estudio.

Las conclusiones del trabajo de Campos (2005) nos indican que la opción mejor valorada es la B, siendo las peores las A y D. Aun no siendo un estudio que agote las variantes básicas -faltaría añadir, en cuanto a la forma, cónico directo o doble cónico (con forma de reloj de arena) y en cuanto a los detalles, la presencia o ausencia de anillos metálicos o tallados en la misma madera- las conclusiones nos permiten ver cómo el taladro con forma de cono invertido (más estrecho abajo) es más efectivo. En cualquier caso, y como hemos dicho, a falta de que las marcas publiquen sus estudios,

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

es el único trabajo de investigación que hemos encontrado que se centra exclusivamente en el barrilete.

2.5.3. EL DISEÑO DEL TALADRO Y LOS AGUJEROS TONALES

Es el momento de averiguar qué mejoras en el taladro de los clarinetes sopranos se han trasladado al clarinete bajo o al contrario. En la consulta previa de las fuentes bibliográficas habíamos constatado cómo el taladro del clarinete soprano no es, como frecuentemente se define, exactamente cilíndrico y en los próximos párrafos explicaremos las razones por las que no se mantiene la forma cilíndrica del taladro. Algo que hay que tener en cuenta también y de lo que daremos la explicación, es que los agujeros aumentan su diámetro y el espacio que los separa conforme se van situando más abajo en el tubo.

El segundo registro del clarinete se sitúa a distancia de duodécima de los sonidos fundamentales o del primer registro, a diferencia del resto de los instrumentos musicales, en los que suena a la octava. Pero, por sus especiales características, el taladro del clarinete no es cilíndrico porque, de serlo, la distancia entre los dos registros sería demasiado amplia, quedando desafinados entre ellos. Debut (2004) propone en su tesis una serie de soluciones como alteraciones en los agujeros tonales o de registro, en el diámetro del taladro o en su forma para mejorar la afinación entre, al menos, los dos primeros registros del clarinete.

En realidad, estas modificaciones ya hace tiempo que se están haciendo y lo que Debut (2004) sugiere son nuevos emplazamientos de las correcciones basados en sus cálculos. Pero sus cálculos son de carácter teórico y, hasta donde nosotros tenemos conocimiento, no se han aplicado en la práctica a ningún clarinete. Además, Debut (2004) advierte de que hay más variables que influyen en la afinación, como puedan ser el tracto vocal, los parámetros de la caña, aspectos como el gradiente de la temperatura o el efecto viscotermal.

En cualquier caso, como el clarinete bajo que hemos utilizado para elaborar el mapa acústico de este trabajo no participa de las propuestas de mejora que sugiere Debut (2004) por estar fabricado antes de la publicación de su tesis, entendemos que

debemos plasmar aquí los condicionantes requeridos para la fabricación de los instrumentos como el que hemos usado.

Hemos apuntado más arriba que los taladros cilíndricos en los clarinetes dan como resultado duodécimas demasiado amplias. Si bien esto es cierto, no todas las notas estaban igual de desafinadas, siendo las notas producidas en los extremos del tubo las que más altas quedaban. Es por esta razón por la que se empezó a experimentar con modificaciones en el interior del taladro, introduciendo partes cónicas en aquellos lugares en los que la afinación tendía a quedarse alta (básicamente los extremos del clarinete, como hemos dicho) o diseñando un taladro policilíndrico (ideado por Robert Carrée para Buffet-Crampon⁸⁸ en 1955), consistente en dividir la longitud del taladro de los cuerpos superior e inferior en tres partes de diámetro decreciente hacia la campana. En la imagen 134 podemos ver los esquemas básicos de estos diseños. Cada fabricante aplicará sus medidas teniendo en cuenta una serie de parámetros que darán como resultado el sonido particular de cada sistema, marca y modelo.

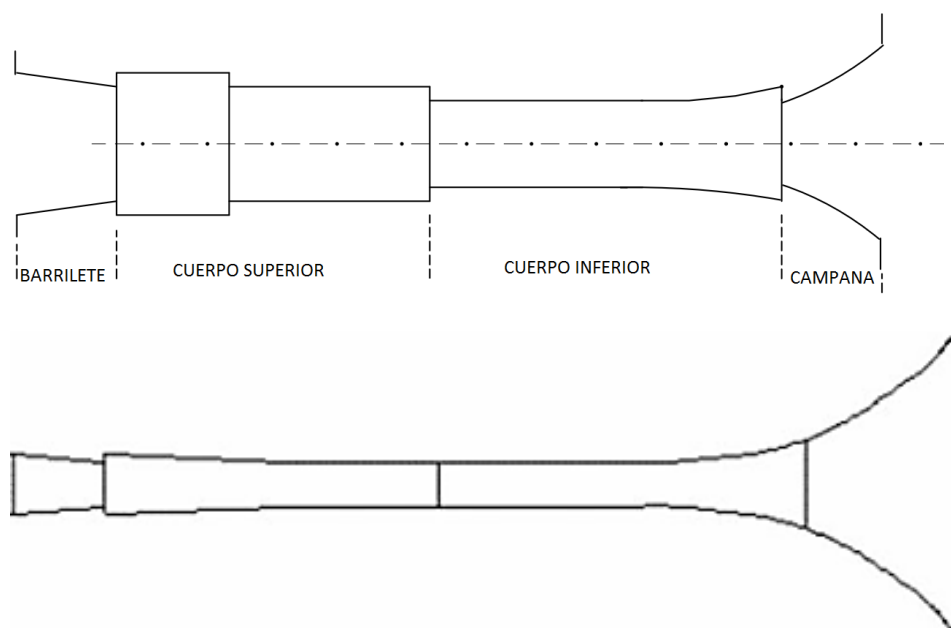


Imagen 134. Esquemas de los taladros interiores de un clarinete. Arriba: policilíndrico. Abajo: con partes cónicas.

⁸⁸ El resultado fue el modelo R13.

La distribución de los agujeros cerrados en el tubo del clarinete depende, en principio, de relaciones matemáticas que los sitúan en los lugares idóneos. Pero no es tan fácil hacer la operación, puesto que se ha de tener en cuenta el volumen de aire contenido en el tubo a la altura de cada uno de los agujeros tonales.

Benade (1976/1990) ya estudió el tema y para resolver el problema tuvo que tener en cuenta el radio del agujero tonal en cuestión, así como la distancia entre este y su inmediato anterior y posterior. También tuvo que tener en cuenta la distancia entre los centros de los agujeros tonales anterior y posterior, y el centro del agujero tonal que se iba a taladrar. Además, para el cálculo hay que conocer el diámetro del taladro del tubo en el que se van a practicar los agujeros tonales y la profundidad del agujero tonal medida desde el borde exterior del agujero hasta que se cruza con el taladro (lo que vendría a ser el espesor del material en ese punto concreto).

Con respecto a los agujeros tonales abiertos, tenemos que pensar que la influencia más importante de estos recae sobre la frecuencia de corte. Esta es la frecuencia a la que se irradia al exterior la mayor parte de la energía sonora en el primer agujero tonal abierto, en lugar de reflejarse hacia dentro del tubo. Dependiendo del modelo de clarinete (soprano), suele situarse entre los 1.500 y 1.800 Hz. Más abajo detallaremos las diferentes maneras de modificarla.

En los instrumentos de la familia del clarinete, el diseño del tubo sonoro –con un tubo principal y con agujeros perpendiculares a este y de diámetro más pequeño que el taladro del tubo- hace que este se comporte como un filtro de paso alto (o filtro de alta). Este fenómeno, basado parcialmente en la resonancia y la difracción, consiste en que las frecuencias bajas van a encontrar gran impedancia⁸⁹ en el tubo, pero poca en los orificios tonales y, que a la inversa, las frecuencias más altas encontrarán mayor impedancia en los agujeros tonales que en el tubo principal. El resultado va a ser que las

⁸⁹ Para no entrar en mayor profundidad matemática, podemos decir que la impedancia es la resistencia que opone un medio a las ondas que se propagan sobre este. En nuestro caso, la oposición del aire del tubo al paso de las ondas sonoras.

frecuencias altas seguirán por el tubo mientras que las bajas se irradiarán por los agujeros tonales.

La importancia de la frecuencia de corte estriba en que esta determinará el timbre del instrumento (más brillante cuanto más alta sea aquella). Para explicarlo de una manera poco matemática: los sonidos producidos por el clarinete se componen de un sonido fundamental y una serie de sonidos armónicos sonando al mismo tiempo que aquella. Todos aquellos armónicos cuya frecuencia exceda la frecuencia de corte se verán debilitados al irradiarse más fácilmente al exterior, mientras que aquellos armónicos que no la excedan se verán reforzados. Así tenemos que si se sube la frecuencia de corte, cabrán más armónicos de mayor frecuencia y el timbre sonará, en consecuencia, más brillante. Hay varios métodos posibles para subir la frecuencia de corte que se pueden utilizar solos o combinados:

- **Modificar el diámetro del agujero tonal:** al aumentar el diámetro de este, la frecuencia de corte sube y por lo tanto admite armónicos más altos y el resultado será un sonido más brillante, más rico en armónicos. Al disminuir el diámetro bajará la frecuencia de corte, los armónicos más altos no serán irradiados al exterior y el timbre será más oscuro.
- **Alterar la forma de los agujeros tonales:** Fobes (2000) nos detalla en su artículo cómo modificar los agujeros tonales para afinar o mejorar la sonoridad de las notas del clarinete mediante la técnica del fresado, consistente en limar o cortar material de las paredes del agujero tonal para subir la afinación, o añadir material pegando material adhesivo a la parte alta del agujero tonal para bajarla (ver imagen 135). Aunque la intención del artículo no es la de enseñarnos a modificar la frecuencia de corte del instrumento, sino a ilustrarnos sobre las técnicas para mejorar su afinación, entendemos que la alteración de los agujeros tonales provocará consecuentemente una variación en la frecuencia de corte al alterar el volumen de aire contenido en el agujero tonal después de su manipulación, de manera que, si el volumen es mayor, la frecuencia de corte subirá y viceversa.

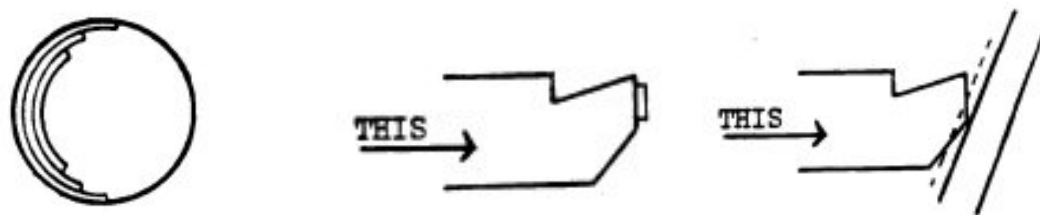


Imagen 135. Izquierda: técnica para bajar la afinación a base de añadir material al agujero vista desde arriba. Centro: el material añadido visto transversalmente. Derecha: técnica para subir la afinación a base de limar parte del material del agujero tonal.

- **Alterar el espaciado entre agujeros tonales:** si se mantiene el diámetro del tubo y se reduce la distancia entre agujeros tonales, la frecuencia de corte se situará más arriba, provocando, como se ha dicho, un mayor número de armónicos agudos reforzados y con ello mayor brillantez en el sonido. Si se aumenta el interespaciado se producirá, consecuentemente, el efecto contrario, obteniéndose un timbre más parco en armónicos superiores y, por lo tanto, más oscuro.
- **Separar la zapatilla del agujero tonal:** en el clarinete hay agujeros accionados directamente por los dedos y otros por llaves que, como hemos dicho en el capítulo dedicado a los materiales, están provistas de una zapatilla situada en el extremo que toca con los bordes del agujero tonal. En los clarinetes bajos modernos la totalidad de los agujeros tonales se tapa mediante zapatillas⁹⁰. Independientemente del material con el que estén fabricadas y que tendrá cierta influencia en la calidad del sonido, para la concreción de la frecuencia de corte se tiene en cuenta la distancia entre la zapatilla y el borde del agujero tonal. La frecuencia de corte subirá en la medida en la que la separación de la zapatilla y el borde del agujero tonal aumente. Lo contrario, además de bajar la frecuencia de corte, puede producir ruidos por el roce del aire contra la zapatilla. Fobes (2000) sugiere darle una forma cónica a algunas zapatillas (cuando el material de fabricación lo permita), con lo que se conseguiría poderlas acercar al agujero tonal y evitar al mismo tiempo los ruidos. De esta manera se podría evitar

⁹⁰ Salvo el pequeño agujero practicado sobre la llave accionada por el dedo índice de la mano izquierda. Por su tamaño, funciona más como agujero de registro que como agujero tonal.

entorpecer la salida del aire sin alterar necesariamente la frecuencia de corte por ello.

- **Actuar sobre la profundidad del agujero tonal:** la modificación de la profundidad entendemos que se podría hacer de dos maneras: reduciendo la profundidad mediante el rebaje de la parte externa del tubo (la modificación del taladro por la parte interior produciría efectos mucho mayores en el sonido). Un ejemplo radical de este sistema se puede ver en un clarinete construido por Sax en 1843 (ver imagen 136). Por otra parte, el segundo método consistiría en sobredimensionar la altura de algunos agujeros tonales, lo cual tendría como consecuencia la bajada de la afinación de las notas afectadas (ver imagen 137). La reducción de la altura del agujero tonal subiría la frecuencia de corte, con las consecuencias mencionadas más arriba sobre el timbre. El aumento de su altura produciría, obviamente, el efecto contrario.

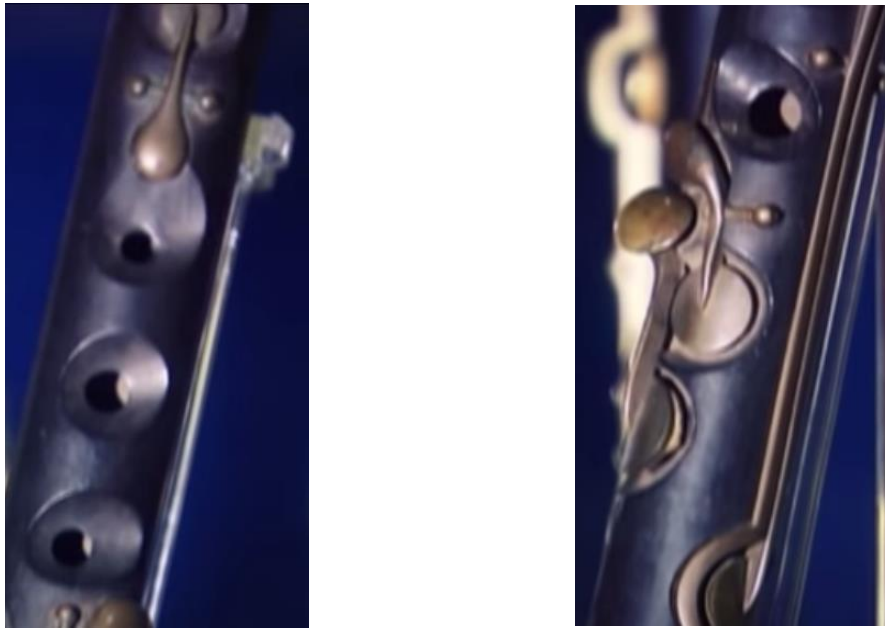


Imagen 136. Izquierda: clarinete Sax con los agujeros tonales enrasados con el taladro interior. Derecha: cuando se usan zapatillas para tapar agujeros tonales, estas también se enrasan con el taladro interior.



Imagen 137. Izquierda: agujero tonal del dedo anular izquierdo sobreelevado en un Selmer Signature. Derecha: agujero sobreelevado -tapado por una zapatilla- accionado por la llave 6 en un Buffet R 13 Vintage.

Por otro lado, y para intentar remediar problemas de afinación entre duodécimas debidas a la doble función de la llave de registro (que explicaremos más abajo), algunos fabricantes han ideado a lo largo del tiempo soluciones que en algunos casos no comportaban ningún cambio en la digitación por parte del intérprete y en otros sí.

En el primer caso se ha tratado de paliar la situación, bien añadiendo una llave especial que se abrirá cuando se toque el Sib (3ª línea), bien desdoblado la función de la llave de registro de manera que al pulsarla en combinación con la llave 10, abrirá un agujero de dimensiones y situación adecuadas para hacer sonar con calidad el Sib descrito y, cuando se use como llave de registro, abrirá un agujero de dimensiones y situación adecuadas para mejorar la afinación del segundo registro. Son los casos del mecanismo S-K (Stubbins-Kaspar), de 1950 y Leblanc (conocido como patente Sib), de 1933 (ver imagen 138).



Imagen 138. Izquierda: sistema S-K sobre un Noblet. Derecha: patente Sib de Leblanc sobre un Leblanc modelo 277.

Entre los casos en los que el intérprete sí debía hacer cambios en su digitación estaban los sistemas ideados por Romero en la segunda mitad del siglo XIX y los de McIntyre y Mazzeo a mitades del siglo XX (ver imágenes 139 y 140).



Imagen 139. Vista frontal y lateral de un clarinete McIntyre.

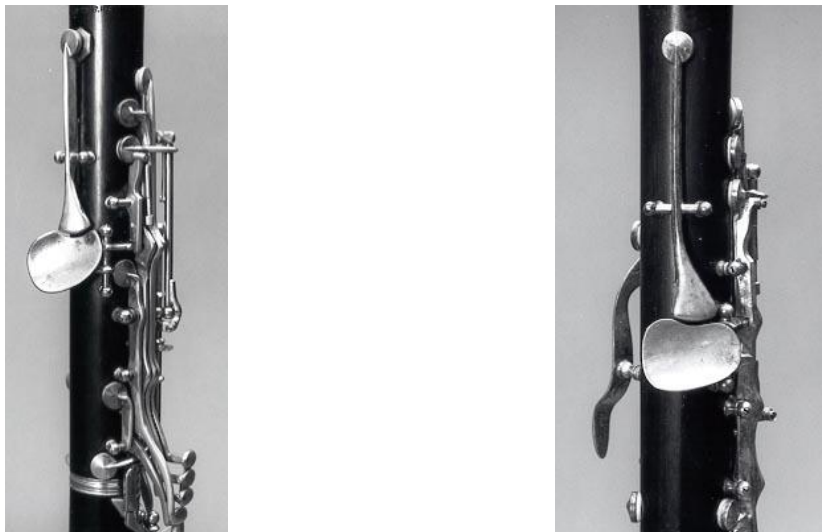


Imagen 140. Modificaciones de Mazzeo sobre un Selmer en 1963. Izquierda: vista lateral/trasera del cuerpo superior. Derecha: detalle.

El sistema de Thomas y Robert McIntyre patentado en 1959 dejaba el cuerpo inferior sin modificar y centraba su atención en alinear en la parte frontal del

instrumento los agujeros tonales que deben producir las notas Sol# y La y Sib (escritos en la segunda línea, segundo espacio y tercera línea del pentagrama respectivamente), eliminar las llaves 9 y 10, y desplazar su función a los dedos de la mano izquierda.

Mazzeo, por su parte, separaba las funciones de agujero tonal y de registro añadiendo un nuevo agujero para el Sib e introducía modificaciones en las digitaciones para esta y otras notas de la escala.

Mucho antes que Mazzeo y McIntyre, el español Antonio Romero, quien conocía los problemas de afinación del sistema de trece llaves -gracias a haber conocido el sistema de anillos móviles de Boehm alrededor del año 1844- decide crear un sistema que acabe con las carencias de estos clarinetes. Romero empieza a investigar cómo mejorar la digitación y la afinación del clarinete.

Tras varios años de esfuerzo y paciencia, porque los primeros fabricantes a los que acudió⁹¹ no pusieron demasiado interés en fabricar el clarinete con las nuevas especificaciones que Romero pedía, la colaboración con el constructor, también francés, Paul Bié, discípulo de Lefèvre, da como resultado un nuevo sistema bautizado con el apellido de su creador (ver imagen 141). Romero patenta su sistema junto con el constructor francés Bié en 1862 y 1867.

Los agujeros tonales que debían solucionar los problemas de afinación se situaban en el cuerpo superior, pero el accionamiento de las llaves se confiaba a los dedos de la mano derecha. A pesar de sus innegables cualidades no tuvo el éxito que se merecía.

⁹¹ Buffet y Triebert



Imagen 141. Clarinete sistema Romero fabricado en París por Bié alrededor de 1865.

Actualmente se pueden seguir encontrando clarinetes que explotan el uso de la llave de registro con doble función separada, como los modelos *Reform-Boehm* de Wurlitzer o los de Schwenk & Seggelke (ver imagen 142). Estos unen el taladro del sistema alemán con la digitación del sistema francés. Se considera que el diseño del tubo del sistema alemán ofrece un sonido más centrado y afinado que el del tubo del sistema francés. A cambio, el sistema de llaves y las digitaciones del sistema francés le resultan más cómodas de utilizar al intérprete.



Imagen 142. Izquierda: Wurlitzer modelo 188 de 1991. Derecha: Seggelke modelo 3000 de 2015.

Una de las personas que posiblemente más a fondo haya estudiado la acústica del clarinete desde el punto de vista físico-teórico y además haya plasmado en la práctica el resultado de sus estudios, es Arthur H. Benade, físico de profesión y músico aficionado. Con esta doble perspectiva sobre el instrumento, desde finales de los años 70 del pasado siglo, Benade fue modificando dos clarinetes sopranos (uno en Sib y otro en La) para introducir las mejoras acústicas que había ideado y que tenían que ver con el número y tamaño de los agujeros de registro, la disposición, forma y tamaño de los agujeros tonales, la forma del taladro interior del tubo del clarinete (ver imagen 143) y la forma de la campana. Obsérvese lo irregular del taladro, debido a que se le hacían modificaciones según la frecuencia de resonancia de cada digitación. La revista *The Clarinet* publica un artículo a título póstumo en el que Benade explica el origen y desarrollo de su clarinete (Benade, 1994). Al clarinete creado a partir de todos estos condicionantes, Benade lo llamó NX, pero no fue comercializado porque todavía había que pulir ciertos detalles que tenían que ver, entre otras cosas, con las llaves. Los

detalles nunca se llegaron a pulir porque el desarrollo de estos clarinetes se detuvo al fallecer Benade en 1987.

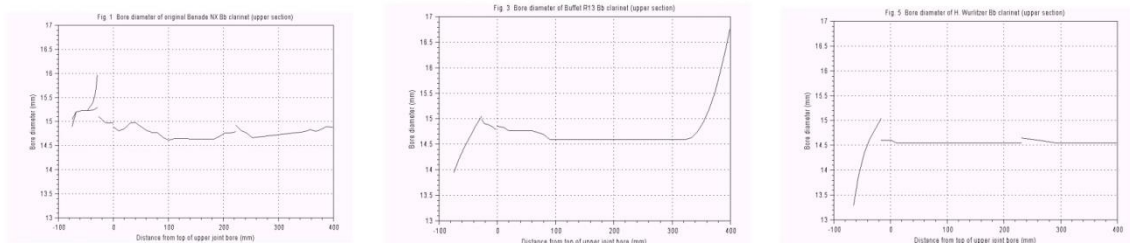


Imagen 143. Diagramas que representan el diámetro en milímetros del taladro del cuerpo superior de tres clarinetes, incluida la boquilla. Izquierda: NX. Centro: Buffet R13. Derecha: Wurlitzer.

George Jameson, técnico en instrumentos de viento y colaborador de Benade, siguió desarrollando este instrumento con ideas propias y en 1994 presentó una versión con acabados de prototipo y que incluía un sistema de llaves nuevo (Jameson, 1994). El fallecimiento en 1996 de Jameson volvió a detener el progreso de los clarinetes NX.

En opinión de Fox (s.f.), la contribución de Benade al desarrollo del clarinete moderno está a la altura de constructores como Ernst Schmidt (creador del sistema Reform-Boehm) o Robert Carrée, diseñador del Buffet R13 de posguerra.

Fox (s.f.), explica cómo en 1998, él mismo retomó el desarrollo del clarinete NX con la intención de fabricar instrumentos susceptibles de poder ser fabricados en serie. El primer clarinete de la nueva generación se terminó en 1999 y en 2000 se presentó en el ClarinetFest de Oklahoma. En el artículo se describen las características del nuevo modelo y las diferencias con los originales de Benade.

En la imagen 144 podemos ver los NX originales de Benade y los de Fox. No hemos podido encontrar imágenes del modelo de Jameson.



Imagen 144. Izquierda: clarinetes NX de Benade. Derecha: clarinetes NX de Fox.

Volviendo a la acústica del clarinete, una herramienta muy útil en el diseño de los instrumentos musicales es el cálculo de la impedancia acústica. Pastor (2005) describe algunos de los métodos para calcularla, desde los primeros intentos de Benade (1960) hasta Wolfe (2002), pasando por Backus (1974) y Benade e Ibsi (1987).

La impedancia acústica se mide para cada digitación y los resultados se muestran en un eje de coordenadas en el que el eje de abscisas muestra la frecuencia y el de ordenadas la intensidad. La gráfica se mostrará como una sucesión de picos y valles. Al ser excitada la columna de aire, esta vibrará en una gran cantidad de sonidos armónicos que suenan a determinada frecuencia y que forman la serie armónica de cada sonido particular. La curva de impedancia nos mostrará la intensidad de cada armónico para esa digitación (ver imagen 145).

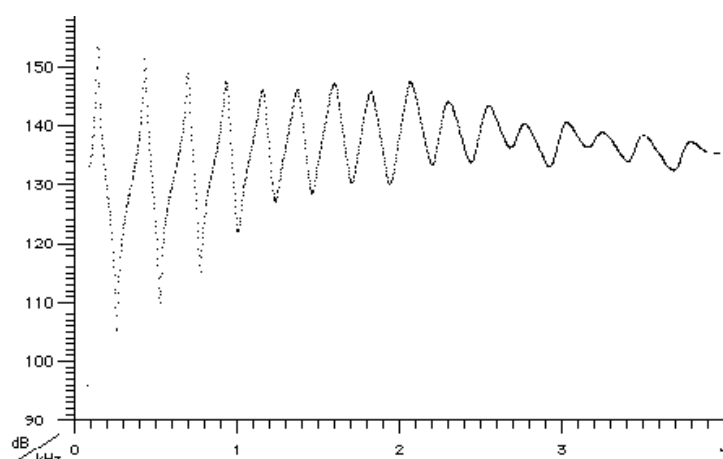


Imagen 145. Curva de impedancia para un Mi grave de un clarinete soprano.

Si la frecuencia a la que se sitúa el pico de impedancia coincidiese con alguno de los múltiplos enteros del sonido fundamental, estos serán amplificados dentro del tubo, tanto más cuanto mayor sea la altura del pico de impedancia. También podremos saber que cuanto más cerca esté la frecuencia de una nota de la frecuencia de un pico de impedancia, más fácil de emitir y más afinada resultará esa nota. La impedancia acústica se mide en la punta de la boquilla y con medios mecánicos y electrónicos, sin el concurso del intérprete. Su cálculo y la interrelación con la frecuencia de corte servirán para ubicar los agujeros tonales y hacer las correcciones necesarias en el tubo para mejorar la afinación del instrumento.

Volvamos, pues, a la duda que motivaba la pregunta que queríamos hacer a los responsables cualificados de cada marca: cuáles de las mejoras introducidas en el diseño del taladro del clarinete soprano han sido aplicadas al clarinete bajo⁹². La pregunta, ciertamente, daba por hecho que había habido una aplicación de las mejoras, con lo cual sólo pretendía confirmar lo que pensábamos que era un hecho lógico. Al fin y al cabo considerábamos al clarinete bajo como un clarinete soprano a escala y, por lo tanto, debería tener el comportamiento acústico del clarinete soprano y, en consecuencia, debería incorporar las mismas correcciones. Se podrá entender, pues, nuestra sorpresa

⁹² La pregunta tal cual estaba formulada en el cuestionario era: “¿Los taladros interiores de los clarinetes bajos heredan las mismas mejoras que los de los sopranos: taladros policilíndricos, partes cónicas...?”

cuando nos dijeron que el taladro del clarinete bajo es cilíndrico, excepción hecha de la campana y la boquilla. Ante nuestra sorpresa, uno de los responsables procedió a medir el taladro en nuestra presencia, para corroborar la afirmación.

Por supuesto, la siguiente demanda –fuera de cuestionario- fue solicitar la razón por la que el clarinete bajo no funcionaba acústicamente como el soprano o, al menos, cómo se habían solucionado los problemas inherentes al tubo sin recurrir a darles forma policilíndrica al taladro o cónica a algunos tramos de este. Ripamonti (comunicación personal, 19 de marzo de 2013) nos dijo, además de que era totalmente cilíndrico, que de ser cónico produciría una duodécimas demasiado altas en su afinación. Seggelke (comunicación personal, 12 de enero de 2013) nos aportó incluso datos históricos al comentar que los taladros de los primeros clarinetes bajos tenían un diámetro notablemente superior a los actuales (podían llegar a los 30 mm, nos dijo, cuando los actuales pueden rondar los 20 mm de los clarinetes bajos de sistema alemán o los 23,5 mm del clarinete bajo usado en nuestro estudio⁹³).

Jérôme Selmer (comunicación personal del 19 de junio de 2015) nos respondió a vuelta de correo que el taladro es cilíndrico considerando los cuerpos superior e inferior. Como después se verá, Selmer afirma en su comunicación personal que el tudel no es exactamente cilíndrico sino cónico, con la parte central cilíndrica para ajustar la afinación general (ver imagen 146). Aunque no lo llega a decir, la parte más ancha del cono sería la que está situada en contacto con la boquilla.

Sin embargo, Fox (comunicación personal del 18 de julio de 2014) afirma lo contrario, es decir, que es totalmente cilíndrico. La razón de esta discrepancia la podremos entender si tenemos en cuenta que cada uno de ellos define el tudel que cada uno fabrica. Fox también nos informa en su comunicación personal sobre la diferencia en el diámetro del taladro de los actuales clarinetes bajos según si son de sistema alemán (alrededor de 20 mm) o francés (alrededor de 23,5 mm). A raíz de esto, nos

⁹³ Para ser exactos, en la página web de la casa Selmer (<http://www.selmer.fr/fiche.php?code=1108045011>) se indican 23,5 mm de diámetro en el extremo superior y 23,4 en el inferior. Es decir, muy ligeramente cónico inverso.

comenta que, simplificando mucho, para una longitud doble del tubo de un clarinete soprano, el taladro debería aumentar 1,4 veces y no el doble. Esto se cumple, según Fox, para los clarinetes bajos alemanes.

En cambio, los franceses apuestan por un taladro más ancho, como hemos visto. A este respecto, Jochen Seggelke (comunicación personal del 12 de enero de 2013) nos aclaraba –respondiendo a otra pregunta- que así como los clarinetes bajos alemanes seguían la lógica de los sopranos, los franceses estaban pensados para sustituir a los metales graves, de ahí que se necesitara más potencia y que para conseguirla se ampliase el taladro.



Imagen 146. Tudel de un clarinete bajo.

En Rice (2009) se puede ver la fluctuación de diámetros habida durante el período de mayor experimentación con el instrumento hasta que se normalizó su construcción. Podremos ver en la siguiente relación de constructores la diversidad de taladros usados (ver imagen 147).

Constructor	Año	Diámetro en mm
Mayrhofer	ca. 1765	entre 15,8-16,7

Grenser	1793	entre 14-14,8
Catlin & Bacon	ca. 1812	17,3
Streitwolfe	ca. 1835	21
Sax	ca. 1840	22,9
Buffet	ca. 1845	22,3
Buffet-Crampon	ca. 1850	32
Bimboni	ca. 1850	21
Losschmidt	ca. 1852	28
Kruspe	ca. 1855	18,5

Imagen 147. Diámetros de taladros de diferentes clarinetes bajos.

A falta de otros datos, podríamos suponer que los taladros eran cilíndricos, pero desde luego, no asegurarlo. Por ejemplo, Rice (2012) mide, entre otras cosas, los diámetros del taladro de un clarinete bajo de Desfontenelles⁹⁴ en sus extremos superior e inferior (donde se une a la boquilla y al comienzo de la campana) y sus resultados son: 20 mm para el extremo superior y 35 mm para la entrada a la campana.

Jochen Seggelke (comunicación personal del 12 de enero de 2013) nos siguió comentando que las excepciones a los taladros cilíndricos en los clarinetes bajos modernos se podrían encontrar en los instrumentos cuya nota más grave es un Mib, pero no en aquellos que desciendan hasta el Do grave. Fue también este constructor quien nos dio la clave para entender el uso del taladro cilíndrico en el clarinete bajo: por una parte, el cuerpo es más grande y permite más juego en las dimensiones de los agujeros tonales, pero, sobre todo, la razón estriba en el uso de una doble llave de registro.

⁹⁴ Fabricado en 1807 y custodiado en el *Musée de la Musique* de Paris.

Expliquémoslo: el clarinete, para acceder al segundo registro necesita de la acción del agujero de registro⁹⁵ que, al abrirse, dividirá la columna de aire de forma que se produzca la duodécima del sonido fundamental. Lo ideal sería que para cada sonido fundamental haya un agujero de registro propio que, situado en el lugar exacto, produzca su duodécima afinada perfectamente. Al no poder darse este hecho por falta de espacio, habitualmente en el clarinete sólo hay una llave de registro que sirve para todos los sonidos.

En consecuencia, funcionará mejor para aquellos sonidos para los que está mejor situada. Para el resto de los sonidos habrá que buscar soluciones como las que hemos visto más arriba y que tienen que ver con las modificaciones en el taladro o en los agujeros tonales. En la mayoría de los clarinetes sopranos y agudos modernos esta llave de registro debe hacer la doble función de cortar la columna de aire para producir la duodécima y permitir tocar el Sib de la tercera línea.

El resultado es que se sitúa en un lugar de compromiso en el que puede hacer las dos funciones pero no de manera óptima. En este tipo de clarinetes se recurre a digitaciones especiales consistentes en cerrar agujeros tonales para intentar mejorar la resonancia y afinación del Sib.

Como hemos visto anteriormente, se ha buscado la solución desdoblado la función de la llave de registro del clarinete soprano con más o menos éxito comercial hasta el momento. Pero en el caso del clarinete bajo moderno, ese segundo agujero tonal no está tan pensado para mejorar el Sib como para mejorar las notas más agudas del segundo registro, de manera que entre las mejoras producidas por el agujero de registro y el tamaño y disposición de los agujeros tonales para las notas más graves se pueda llegar a un buen equilibrio.

Esta preocupación no es nueva y Kalina (1972) nos proporciona la referencia más antigua al doble agujero de registro que hemos encontrado: los clarinetes bajos de Heinrich Grenser y August Grenser de 1793 y 1795 respectivamente, aunque Rice en

⁹⁵ Accionado por la llave 12.

comunicación personal (17 de noviembre de 2015) nos comenta que los tudeles no son los originales y, por lo tanto existe cierta duda sobre si realmente incorporaban la doble llave de registro. En cualquier caso, podemos ver en la imagen 148 el modelo de 1795. Se trata de un modelo de clarinete bajo con forma de fagot afinado en Do y fabricado por August Grenser. Este clarinete bajo, conservado en el *Hessisches Landesmuseum* de Darmstadt (Alemania) ha sufrido algunas modificaciones en sus llaves y ya no podría funcionar correctamente, pero Kalina (1972) supone que el agujero que ahora no está operativo estaba diseñado como segundo agujero de registro para las notas más agudas del segundo registro.



Imagen 148. Clarinete bajo en Do Grenser (August) de 1795. Izquierda: vista anterior. Centro: vista posterior. Derecha: detalle de las llaves de registro enmarcadas en rojo.

Fue Adolphe Sax el primero -entre 1835 y 1837- en hacer los cálculos necesarios para situar dos agujeros de registro en el lugar correcto del cuerpo superior del clarinete bajo para poder producir un buen Sib y unas buenas duodécimas (sus resultados se describen en la patente de 1838). Para accionarlos dispuso dos llaves independientes

tocadas por el dedo pulgar de la mano izquierda. Más tarde, y para facilitar la digitación, se ideó un sistema de reenvíos gracias al cual se lograba la automatización del mecanismo, dejándolo con una sola llave y permitiendo que el sistema abriese el agujero adecuado en cada momento.

Pero esto ocurriría a partir de 1900, como veremos más abajo. Antes de esto, sabemos por Kalina (1972) que, en 1888, Lecomte & Co. patentan en Francia la primera doble llave de registro automatizada. Se trata de un dispositivo ideado para ser instalado sobre un saxofón con mecanismo sistema Boehm. En la imagen 149 podemos ver la evolución de las llaves de registro de un saxofón.



Imagen 149. Izquierda: dobles llaves de registro en saxofones de ca. 1898 (Buffet a la izquierda y anónimo a la derecha). Derecha: única llave de registro automática en un saxofón Yamaha moderno.

Para la instalación de estas llaves de registro automatizadas sobre el clarinete bajo habrá que esperar a las patentes de Wilhelm Heckel de 1900 y 1902 (Alemania y Estados Unidos, respectivamente) y León Leblanc en 1926 (Francia). En la imagen 150 podemos ver ejemplos de las dobles llaves de registro independientes y con mecanismo automatizado.



Imagen 150. Izquierda: clarinete bajo Lefèvre con llaves de registro independientes. Derecha: moderno clarinete bajo Buffet modelo 1180.

Convendría explicar en este momento el funcionamiento del mecanismo automatizado que emplea el clarinete que hemos usado en este trabajo para las grabaciones⁹⁶:

- La llave que accionamos es la que en el diagrama está numerada como llave nº 12 y está conectada con dos agujeros: el 29 (situado más abajo) y el 30 (situado en el tudel)⁹⁷.
- En estado de reposo están las dos cerradas, pero no existe ningún caso en el que puedan estar las dos abiertas al mismo tiempo.
- La llave 12 pulsada sola abre el agujero 30.
- La llave 10 pulsada junto con la 12 siempre obligará a abrirse al agujero 29 y a cerrarse el 30, independientemente de si el resto de las llaves están pulsadas o no.

⁹⁶ Clarinete bajo Selmer modelo Privilège extendido hasta el Do grave.

⁹⁷ En el tercer capítulo de este trabajo se puede ver la tabla que relaciona las llaves numeradas con los agujeros que tapan o destapan.

- Siempre que se pulse el plato del dedo anular derecho en conjunción con la llave 12, se abrirá el agujero 29 y se cerrará el 30.

Tenemos, pues, como habíamos comentado, un funcionamiento que va más allá de mejorar el Sib y que pretende equilibrar al menos los dos primeros registros, puesto que los dos agujeros accionados no están en el lugar adecuado, ni tienen la forma ni el tamaño de un agujero tonal. De hecho, el Sib sonará mejor con la combinación de la llave 10 y la *10bis*.

Las modificaciones de las que hemos estado hablando, y que se han llevado a cabo en estos instrumentos hasta ahora, nunca han terminado de resolver todos los problemas de afinación, respuesta y timbre de estos, entre otras cosas porque el efecto de las modificaciones no actúa de igual manera en todos los registros y porque la dureza de la lengüeta y factores externos al instrumento como la forma del tracto vocal del intérprete (Fritz y Wolfe, 2005), la presión de soplado, la fuerza aplicada sobre la caña o la posición del labio sobre esta (Almeida y otros, 2013) son factores que también contribuyen decisivamente a la calidad del sonido.

Para terminar con este apartado, podemos mencionar algunas de las tentativas más imaginativas ideadas para resolver los aspectos tratados. Algunas algo lejanas en el tiempo, como el clarinete extensible de Kohlert, inventado en 1923 y que consistía en un clarinete en Sib de trece llaves y cuatro anillos cuyas piezas del tubo tenían la posibilidad de aumentar o disminuir su longitud gracias a unas roscas insertas en ellos (ver imagen 151).

Gracias a este sistema se podía llegar a bajar hasta medio tono, pudiendo funcionar como clarinete en La cuando estaba totalmente extendido. La posibilidad de extenderse también lo hacía adecuado para adaptarse a las distintas afinaciones que el intérprete se podía encontrar en las diferentes orquestas de la época, según estas fuesen europeas o norteamericanas.

La afinación podía variar desde $La = 435\text{Hz}$ hasta $La = 451\text{Hz}$. Simiot hizo algo parecido en 1827, también sobre un clarinete de trece llaves. Este clarinete se custodia en el MIMEd (*Musical Instrument Museums Edinburgh*).

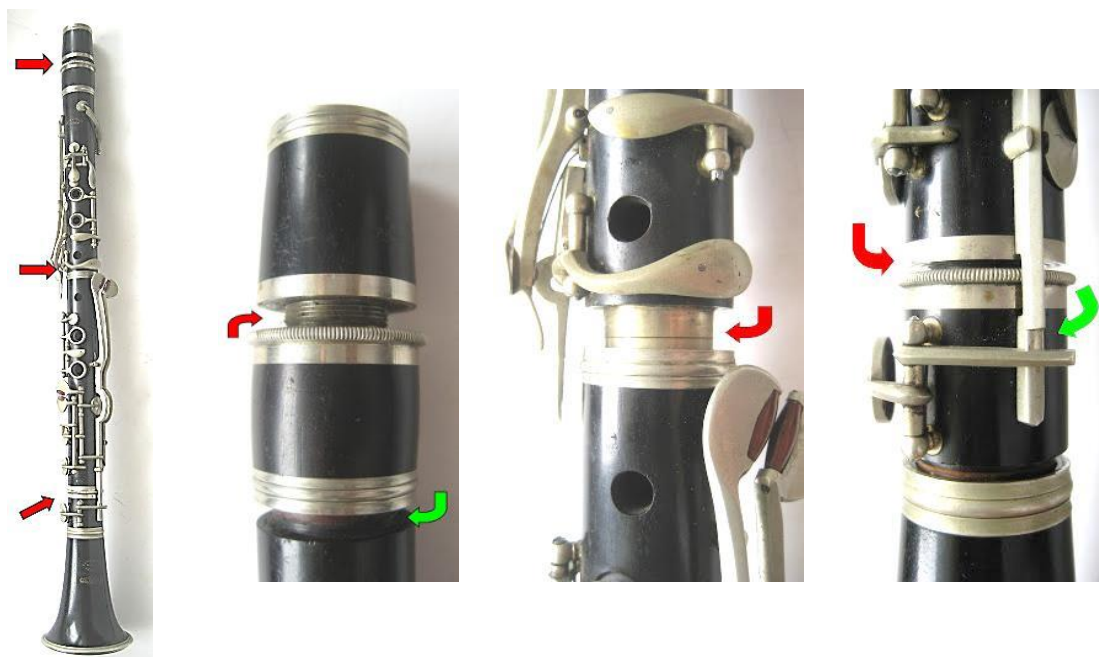


Imagen 151. Clarinete Kohlert extensible de 1930. Vista general y detalle de cada junta. Las flechas indican la situación de las piezas roscadas. Colección privada D. Watel, Paris, Francia.

Más recientemente Marchi, en su preocupación por mejorar los sonidos sobreagudos del clarinete, introdujo, entre otras modificaciones que afectaban a las llaves, un segundo agujero de registro en un clarinete Selmer sistema *Full-Boehm* (ver imagen 152) con el objetivo de dividir la columna de aire de manera que se obtuviese el quinto armónico (la 17ª).

Su lógica era que si un agujero de determinada dimensión colocado en el lugar conveniente dividía la columna de aire en tres partes y producía el tercer armónico, era razonable pensar que otro colocado más arriba podría producir el quinto. La llave que activaba el sistema estaba accionada por el pulgar de la mano izquierda y el agujero se situaba en el barrilete. Si no se pulsaba la llave, el clarinete mantenía un funcionamiento normal.



Imagen 152. Clarinete sistema Marchi. Izquierda: vista lateral. Derecha: vista posterior. Véase la llave extra del pulgar que acciona el agujero de registro situado en el barrilete.

Esta innovación permitía tocar en el registro sobreagudo usando digitaciones de los dos registros anteriores con la comodidad que eso suponía al no tener que utilizar digitaciones difíciles de realizar en *tempi* rápidos. Por otra parte permitía una mejor afinación en ese registro, unas grandes posibilidades de ligar intervalos muy amplios de manera muy fácil y añadía una octava aguda a la extensión del clarinete. Este clarinete estuvo en el catálogo de Selmer desde 1975 hasta mediados de los años 80. A pesar de la edición de un método polivalente por parte del autor⁹⁸ y de las posibilidades del

⁹⁸ El método incluía una tabla de digitaciones que se incluye como Anexo V

nuevo instrumento, no se impuso en el mercado, quizá debido al peso del conjunto con todo el mecanismo añadido o su, presumiblemente, delicada puesta a punto. Hasta donde sabemos, nunca se implantó este sistema en un clarinete bajo.

Una mejora que sí se le ha hecho a un clarinete bajo hace poco tiempo (el lanzamiento del instrumento fue en 2014) es la que ha aplicado Buffet a su modelo *Tosca*, consistente en practicar un tercer agujero para mejorar la respuesta y la afinación del Sib (ver imagen 153). El modelo queda de esta manera con tres agujeros, pero la intención no es la misma que en el sistema Marchi: uno se abre para la parte más baja del segundo registro y otro se abre para la parte alta (hasta aquí el funcionamiento coincide con el que hemos visto en el caso del Selmer Privilège del estudio). El tercer agujero estaría operativo exclusivamente para mejorar el susodicho Sib, en conjunción con el agujero de registro más bajo.



Imagen 153. mecanismo de llave automática para tres agujeros tonales/de registro sobre un Buffet modelo Tosca.

Podemos ver que, básicamente y salvo las excepciones descritas, la inclusión de nuevos agujeros y sus mecanismos de acción han sido aplicados al clarinete soprano para mejorar el Sib y al clarinete bajo para mejorar el 2º registro.

Más allá de las mejoras acústicas que se derivan de todo lo dicho anteriormente, podemos hablar de los aspectos de la digitación del clarinete bajo que se han aplicado al clarinete soprano. Tengamos en cuenta que al clarinete bajo (como también en otros instrumentos graves de la familia) se le han tenido que instalar llaves accionadas por el pulgar desde muy pronto para poder cerrar los agujeros que daban las notas más graves (ver imagen 154). Este uso habitual del pulgar en el bajo ha visto su réplica en los sopranos, pero no con la misma intención de alargar el registro, salvo en el caso del clarinete *di bassetto* (ver imagen 155), sino de activar un agujero extra para bajar la afinación del Fa grave⁹⁹ (ver imagen 156).



Imagen 154. Llaves de clarinete bajo accionadas por el pulgar. Izquierda: A. Grenser de 1795. Hessisches Landesmuseum. Darmstadt, Alemania. Derecha: moderno Buffet Tosca.

⁹⁹ Los modelos Tosca de Buffet han trasladado esa función al meñique de la mano derecha.



Imagen 155. cuerpo inferior de dos clarinetes di bassetto. Izquierda: recreación por parte de Seggelke de un instrumento de alrededor de 1890. Derecha: moderna extensión creada por Chadash para acoplarse a un clarinete en La.

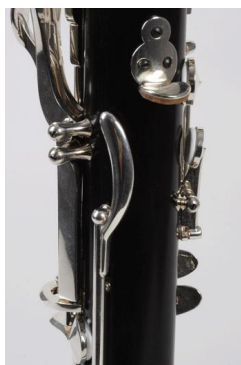


Imagen 156. llave para el pulgar instalada en un clarinete soprano.

Si bien, como ya hemos visto, en los clarinetes bajos más antiguos algunos agujeros tonales se tapaban directamente con los dedos, la evolución de este instrumento ha tenido que dejar paso a un sistema en el que todos los agujeros deben ser tapados por platos provistos de zapatillas, por las razones ya comentadas en su momento. Creemos que este sería el lugar donde comentar otro de los accesorios que

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

Mapa Acústico y Optimización Acústica del Clarinete Bajo.

han sido emplazados en principio sobre los clarinetes bajos y después han pasado a los sopranos. Se trata en este caso de los platos con zapatillas para tapar los agujeros accionados directamente con los dedos. Como sabemos, las llaves provistas de zapatillas ya se usaban en los primeros clarinetes, pero con el fin de tapar agujeros que estaban fuera del alcance de los dedos. La evolución del clarinete soprano multiplicó el uso de este tipo de llaves pero no usó los platos para cerrar agujeros que sí se podían tapar con los dedos. Por el contrario, el clarinete bajo tuvo que recurrir a los platos aunque el dedo alcanzara el agujero, porque el diámetro de este era demasiado grande como para poderlo abarcar con el dedo. Con el paso del tiempo algunos fabricantes aplicaron esa solución al clarinete soprano (ver imagen 157).



Imagen 157. Izquierda: clarinetes soprano en Sib y La. Derecha: detalles del cuerpo superior e inferior de los platos en un clarinete soprano.

La referencia al clarinete más antiguo con esta configuración la hemos encontrado en la página de la *NC Clarinet Collection* de la Universidad de Arkansas (EE.UU.)¹⁰⁰ y se trata de un clarinete sistema Boehm fabricado por el constructor alemán August Clemens Glier alrededor de 1890 del que no hemos podido encontrar imágenes. Más tarde se fue popularizando un poco más pero sin llegar a cambiar la tendencia básica de los agujeros abiertos. La ventaja que ofrecen los platos respecto de los agujeros abiertos es la evidente ganancia en seguridad que proporcionan estos,

¹⁰⁰ <http://www.uark.edu/ua/nc/NCclarinetcollections1.htm/Home.html>

puesto que ya no se necesita la precisión del dedo tapando el agujero. Sabido es que si el dedo no tapa bien el agujero el resultado puede ser, dependiendo del tamaño del resquicio y su situación, la obtención de una nota algo sorda o, peor todavía, que no suene en absoluto. Esta seguridad en la digitación sería bienvenida por aquellos intérpretes que por el tamaño de sus manos o el peso del instrumento tengan dificultades para cubrir bien el agujero, porque el plato y la zapatilla son los que se encargan de hacer esa función independientemente de dónde pulse el dedo sobre el plato. Las desventajas que ofrece el sistema son, por un lado, el mayor peso que debe soportar esta configuración así como la mayor necesidad de ajuste de todas las zapatillas extra que monta. Debemos tener en cuenta que la afinación y la limpieza del sonido que sale por los agujeros que se tapan con zapatillas dependen de la altura a la que se encuentre la zapatilla respecto del agujero. Así, a veces la apertura correcta desde el punto de vista de la afinación puede no ser suficiente para que el sonido salga limpio, sin silbidos o siseos. El problema puede sobrevenir al buscar esa limpieza en el sonido a base de sacrificar la afinación. Deberá ser el intérprete quien decida qué aspecto prefiere potenciar en detrimento del otro.

Con todo, quizá la razón que más ha pesado en la práctica desaparición de los clarinetes soprano con ese sistema es acústica. Tanto la bibliografía consultada como los especialistas entrevistados coinciden en la importancia que tiene el material con el que se fabrican las zapatillas en la calidad del sonido y en la respuesta al soplo. Además todos coinciden en que las zapatillas amortiguan la proyección del aquel, explicando Seggelke (comunicación personal del 12 de enero de 2013) que esto es debido a la refracción producida por las zapatillas. Por lo tanto, la mejor solución es dejar libre la salida del aire a través de los agujeros siempre que se pueda.

A la vista de los resultados y si tenemos en cuenta que los clarinetes de menor tamaño suplen las ventajas que proporcionaban los platos, como vimos más arriba con el clarinete soprano en Do, podremos entender por qué son los clarinetes sin platos para los dedos los que han sobrevivido, dejando estos para aquellos instrumentos en los que de otra manera resultaría imposible taparlos, básicamente los clarinetes graves.

De todas maneras, actualmente se siguen fabricando de manera muy minoritaria, creemos que prácticamente sólo por encargo. Aunque sólo sea por curiosidad, vamos a incluir dos variantes de estos clarinetes con platos: por un lado platos que no son totalmente cerrados y por otro, el uso de platos en algún agujero concreto y no en todos ellos (ver imagen 158). En algunas ocasiones se han instalado platos para suplir una merma física del intérprete.



Imagen 158. Izquierda plato semiabierto. Derecha: Plato instalado sólo en el agujero del dedo anular derecho.

2.5.4. LAS CAMPANAS

Para terminar con las características de cada parte del clarinete y el clarinete bajo y sus similitudes y diferencias, vamos a tratar las campanas. Como en los anteriores casos referidos a las demás partes del clarinete, tanto las dimensiones exactas (la longitud y la anchura, la curva descrita y el grosor del material) como el material empleado van a influir en el sonido resultante. Como estos aspectos ya han sido tratados más arriba, se podrán deducir sus consecuencias sobre el sonido sin mayor problema, con lo que nos podremos ahorrar explicaciones repetitivas. Procuraremos, pues, mostrar otros aspectos que puedan resultar interesantes de cara a comprender mejor el funcionamiento y evolución de las campanas en el clarinete y clarinete bajo.

Pasemos a ver, en primer lugar, las características de las campanas para clarinete soprano. En las campanas distinguiremos el cuello (parte estrecha) y la boca (parte ancha). La campana tiene dos funciones básicas que cumplir: ayudar a radiar el sonido hacia el exterior del instrumento y ayudar con la afinación de las notas más graves de los dos primeros registros. Con esa intención, fue Denner el primero en acoplar una campana cónica a su clarinete de dos llaves. Con el tiempo, el diseño de las campanas se ha ido sofisticando y, actualmente, las paredes rectas de las campanas cónicas han ido dejando paso a las campanas exponenciales, denominadas así porque su taladro interior define una curva exponencial (la curva que describe se va abriendo cada vez más, conforme se va acercando a la boca de la campana). Además podemos encontrar modelos que incluyen un agujero siempre abierto o con posibilidad de abrirse o cerrarse mediante una llave habilitada al efecto.

En el caso de las campanas para el clarinete actual, lo habitual es que estén dirigidas hacia abajo siguiendo la dirección del cuerpo inferior y que su taladro interior describa una curva exponencial simple, como se ha comentado, dado que esta solución es la más rápida y económica por facilidad de construcción. No obstante, podemos encontrar al menos un par de excepciones a esta norma: algunas campanas albergan en su cuello un diseño que no sigue de entrada esa curva exponencial, sino que contiene una cámara de resonancia (ver imagen 159). Por otra parte, debemos recordar que las

campanas, además de sus dimensiones y grosor, pueden tener instaladas arandelas en los dos extremos o en uno solo de ellos y que estas pueden estar fabricadas en diferentes materiales (podemos encontrar más información en el primer capítulo).

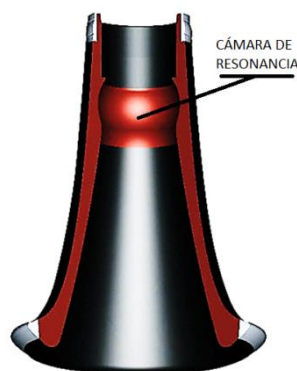


Imagen 159. Corte transversal de una campana Yamaha mostrando la cámara de resonancia.

Diferentes a las campanas metálicas vistas en el primer capítulo, la otra excepción la encontramos en las campanas (actualmente en desuso) creadas para unos clarinetes soprano llamados *Saxonette*, fabricados por Buescher, Supertone o Gretsch¹⁰¹ o el *Jazzophone*¹⁰² de Buffet, fabricado también durante la década de 1920 y que consiste básicamente en un clarinete soprano al que se le ha sustituido la campana tradicional por una curvada, pudiendo también, en ocasiones, sustituirse el barrilete por un tudel metálico curvo (ver imagen 160). Hay comentarios (Milandro, 2014) que explican la creación de estos instrumentos con cierto aspecto de saxofón argumentando las pocas ventas que por esa época tenían los clarinetes, dado que los saxofones tenían mucha más demanda. Por lo visto, pensaron que dándole cierta forma parecida al saxofón, se podrían vender más clarinetes. A pesar de su fabricación francesa, se usó preferentemente en grupos de jazz de Estados Unidos y desapareció alrededor del año 1940. La campana curva característica hacía que se compensase su ángulo con el del clarinete y se orientase más hacia arriba que una campana normal hasta que, en

¹⁰¹ Parece ser que este último constructor fue el inventor del *Saxonette* en 1923 (Woods, 2014).

¹⁰² Con este nombre también se puede encontrar una trompeta con forma de saxofón y dos campanas (una abierta y otra con sordina).

ocasiones y según el ángulo adoptado, quedar vertical. Podían equipar un pequeño tudel curvo o un barrilete, se fabricaron más con el sistema Albert que con el sistema Boehm y solían estar afinados en Sib o en Do, como se ve en el blog Le Chtiot Musée des Clariboles et Cie (2009). Suponemos, puesto que no hemos podido encontrar información concreta sobre este particular, que la inclusión de este tipo de campana en los clarinetes sopranos estuviera motivada por la creencia de que su orientación ayudaría (no sin cierta razón) a proyectar mejor el sonido. A este respecto y como en el caso de los tudeles para el clarinete bajo, preguntamos a los especialistas (vista la escasa literatura específica sobre el tema) y nos respondieron que, como en el caso de los tudeles, el comportamiento acústico de estas campanas, al igual que las del clarinete bajo, no debería verse afectado, pero que en la práctica, cuanto más cerrado fuese el ángulo adoptado, mayor sería la resistencia a la emisión, además de notarse cambios en la percepción del sonido y su color.



Imagen 160. Saxonettes. Izquierda: Abbott en Sib, sistema Albert y con platos para los dedos. Centro: Couesnon en Do, sistema Albert y agujeros para los dedos. Derecha: Saxonette sistema Boehm con barrilete en lugar de tudel.

A falta de datos en relación con la desaparición de estas campanas, suponemos que esta podría estar relacionada con su mayor dificultad y tiempo necesario para su construcción, con que los beneficios de encarar la campana hacia arriba (y el tudel curvo, en su caso) se verían compensados por las pérdidas en aspectos como la emisión,

percepción y color, como hemos dicho más arriba y, por qué no, con su asociación con la imagen de instrumento de banda de jazz, poco serio a los ojos de los clarinetistas clásicos.

Quizá la campana que puede reunir la forma recta tradicional con la proyección que, podemos suponer, era la razón de ser de las campanas para *Saxophone*, es la campana que para clarinete soprano ha ideado Florián Popa (ver imagen 161). Esta consiste en una pieza de ébano sin anillos metálicos, aunque puede incluir uno o tres pequeños imanes (no dos) en la parte externa del cuello. La gran novedad de esta campana reside en su boca, la cual presenta una escotadura que deberá ser orientada hacia arriba para conseguir dejar el nivel de proyección al nivel de los demás instrumentos, tal como resalta Florián Popa (comunicación personal del 12 de marzo de 2014).



Imagen 161. Campana Popa modelo Cut. Obsérvese la escotadura en la boca de la campana.

Pasemos ahora a tratar las campanas para clarinete bajo. Como en el caso de las campanas para clarinete soprano, los materiales empleados, las dimensiones y el grosor de estas determinarán en cierta medida el sonido producido, si bien los cambios serán más perceptibles para aquellas notas que cierren la mayor parte del tubo y, entre estas, las más graves. Los diferentes materiales con los que se fabrican las campanas los

hemos descrito en el primer capítulo y los efectos sobre el sonido se han descrito en este, por lo que no hará falta repetirlo.

Lo que nos interesa destacar en este punto es su función acústica. Acotemos nuestra atención a los clarinetes bajos extendidos hasta el Do grave, ya que de este tipo es el que hemos utilizado en nuestro estudio. Recordemos que los cuerpos superior e inferior del clarinete bajo son, al contrario que en el soprano, cilíndricos. Sabemos que la doble llave de registro mitiga en parte las discrepancias de afinación entre registros y entre distintas zonas de cada registro. Así las cosas, la campana del clarinete bajo no sólo funcionará como un elemento que irradia el sonido hacia el exterior, sino que hará las veces de la parte cónica que sí tiene el clarinete. Veamos: en el cuerpo inferior del cuerpo del clarinete soprano de sistema francés, la parte cilíndrica llega hasta aproximadamente el agujero tonal que se acciona con la llave $4/D^{103}$, o sea, el cuarto agujero que encontramos si empezamos a contar desde abajo. La parte cilíndrica es necesaria para disminuir la distancia entre duodécimas en el clarinete soprano al no tener la doble llave de registro. Con la doble llave de registro del clarinete bajo podríamos pensar que se ha solucionado el tema y por eso el tubo es cilíndrico. Pero debemos fijarnos en un detalle: la campana de un moderno clarinete bajo extendido hasta el Do tendrá precisamente el primer agujero tonal precisamente en la campana, el cual, mientras se mantenga cerrado, permitirá que suene el Do grave (siempre que el resto de los agujeros tonales estén a su vez cerrados, por supuesto) y al quedar abierto dejará sonar un Do#/Reb grave. Esta ubicación del agujero tonal en la campana nos indica que, a pesar de la mejora de la afinación proporcionada por la doble llave de registro, esta no es suficiente para cubrir toda la extensión del clarinete bajo y hay que recurrir a ese ensanchamiento cónico que es la campana para acabar de ajustar la parte grave de cada registro.

Jochen Seggelke (comunicación personal por correo electrónico, 18 de octubre de 2015) nos dijo que hasta el modelo *Prestige* de Buffet-Crampon, el último agujero de

¹⁰³ En el sistema alemán, la parte cilíndrica llega hasta más abajo, a veces hasta la espiga, donde se expande rápidamente.

abajo estaba en una parte cónica de la campana. Pero a partir de este modelo, además del agujero tonal del Do#/Reb que al cerrarse dará el Do, hay uno sin llave más abajo que tiene funciones de agujero de resonancia. Estos dos últimos agujeros están colocados en la parte cilíndrica de la campana. Al ser preguntado por el caso en el que la campana solo tiene el agujero de resonancia sin la llave, Seggelke nos respondió en la mencionada comunicación personal por correo electrónico que esta disposición era más bien característica del sistema alemán y del *Reform-Boehm*, quedando el último agujero con llave situado en el cuerpo inferior del instrumento, que es más largo. Esta longitud extra influirá en el intérprete, quien deberá tocar el instrumento situándose un poco más alto.

Vemos con estas últimas aportaciones que, exceptuando al modelo *Prestige* de Buffet-Crampon, al menos en los clarinetes bajos de sistema francés, si bien el cuerpo inferior es cilíndrico, la corrección cónica que el soprano aplica en el cuerpo inferior, el bajo la ha aplicado en la campana, pues en esta todavía se ubica un agujero tonal en un tramo cónico, resultando de esto que sí se han aplicado al bajo ciertas mejoras de diseño de uso común en el soprano. El hecho de que se sitúe tan abajo la corrección puede ser debida al efecto de la doble llave de registro. En el caso del *Prestige*, el diseño con el agujero tonal en una zona cilíndrica ha tenido que llevar aparejado el agujero de resonancia del que hemos hablado más arriba.

Los clarinetes y clarinetes bajos de sistema alemán parten de otras premisas en su diseño y de ahí que su taladro sea más cilíndrico hasta el final. Los agujeros tonales del clarinete bajo quedarán de esta manera situados en el cuerpo inferior y dejarán para la campana el agujero de resonancia, algo habitual también en los clarinetes soprano. Los clarinetes llamados *Reform-Boehm* siguen las premisas del taladro alemán con la digitación del sistema francés y, por lo tanto, le serán de aplicación las características del clarinete alemán.

Esperamos haber contribuido con la redacción de este capítulo a la mejor comprensión de los fenómenos acústicos que se producen en los instrumentos de la familia del clarinete y a entender algunas de sus deficiencias acústicas. Asimismo, este

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

capítulo puede servir de homenaje a aquellas personas que se esfuerzan por mejorar constantemente la calidad de nuestros instrumentos, desde quienes los diseñan y los construyen, hasta los que los ajustan, les dan los últimos retoques o los reparan.

CAPÍTULO 3

3. MEDICIONES Y ANÁLISIS ACÚSTICOS

Una parte importante de este trabajo consiste en establecer lo que podemos llamar “mapa acústico del clarinete bajo”, ateniéndonos a la expresión que utiliza Pastor (2005). Consiste este mapa acústico en aislar, identificar y catalogar todos los sonidos susceptibles de ser emitidos por el clarinete bajo. En nuestro caso y como hemos dicho al principio de este trabajo, nos centraremos en los sonidos convencionales, rechazando los sonidos multifónicos y los efectos requeridos para la interpretación de gran parte de la música escrita para este instrumento.

Al consultar otros trabajos de temática similar a la nuestra, podemos constatar que, al menos hasta hace relativamente poco, no se solía dar información detallada sobre los procedimientos de obtención y tratamiento de datos, es decir, se solía mostrar el resultado final y mencionar los medios con los que se había trabajado, pero no el proceso seguido de manera puntual. Así procuraremos, como novedad, describir las herramientas con las que se ha trabajado, algunas de las cuales las hemos tenido que crear nosotros mismos.

Otra de las novedades que aportaremos en este apartado será precisamente definir todos los elementos que intervinieron en la grabación de los sonidos. Usando como hilo conductor el proceso seguido entre la grabación de los sonidos y la consecución del mapa acústico del clarinete bajo, concretaremos tanto los recursos humanos como los materiales con los que hemos podido contar para la realización de esta parte del trabajo. Definiremos tanto los lugares, como los medios y el procedimiento, argumentando en su caso el criterio por el que se elige o rechaza una opción concreta.

Novedad también será presentar el mapa acústico basándolo en un sistema de fichas, de forma que en cada ficha se recojan los datos obtenidos de cada uno de los sonidos. Creemos que este sistema es una forma útil, fácil y rápida de mostrar los datos.

No obstante, cabe puntualizar que esta manera de mostrar los datos, si bien presenta la ventaja de tener todos los datos referentes a cada sonido, reunidos y visibles de una sola mirada tiene, sin embargo, un problema: resulta complicado comparar los datos entre sonidos diferentes. Como no se puede mostrar todo a la vez, hemos pensado solucionar el problema incluyendo en este trabajo un CD con, entre otros archivos de interés, los oscilogramas y los espectrogramas de los sonidos que hemos grabado.

Dado que los dos primeros se pueden abrir en un visor de fotos, se pueden comparar fácilmente las gráficas de los sonidos que se deseen, abriéndolas alternativamente o, si ello fuese posible, superponiéndolas como transparencias. Los últimos datos de la ficha están mostrados en una tabla, con lo que se puede trasladar la tabla hasta donde necesite ser comparada.

El presente Capítulo se articulará de la siguiente manera:

- 3.1. LAS HERRAMIENTAS
- 3.2. DESCRIPCIÓN DEL CLARINETE BAJO
- 3.3. FUENTES PARA LAS DIGITACIONES
- 3.4. NOMENCLATURA DE LAS LLAVES
- 3.5. EL TUBO EFECTIVO
- 3.6. LA CUESTIÓN DEL USO DE LAS BOCAS ARTIFICIALES
- 3.7. ASPECTOS PRELIMINARES A LA GRABACIÓN
- 3.8. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO, EQUIPOS Y METODOLOGÍA UTILIZADOS PARA LA GRABACIÓN.
- 3.9. LAS GRÁFICAS
 - 3.9.1. EL OSCILOGRAMA
 - 3.9.2. EL ESPECTROGRAMA
- 3.10. PROCESO DE OBTENCIÓN DE DATOS

3.1. LAS HERRAMIENTAS

Para poder llevar a cabo este apartado hemos tenido que crear algunas herramientas, puesto que no las pudimos encontrar en ninguna otra parte. Las aportamos aquí como novedad, con la esperanza de que puedan serle útiles a otros investigadores. Estas herramientas son:

- El diagrama modificable de la digitación del clarinete bajo, junto con la leyenda explicativa. Podemos encontrar multitud de diagramas dibujados de clarinete soprano, pero no se pueden modificar. En el caso del clarinete bajo se encuentran muchos menos, pero también dibujados y sin posibilidad de modificación. El que hemos construido por nosotros mismos desde cero con el programa Word de Microsoft, está pensado para poder editarlo con el programa Paint, desde el que se pueden rellenar los dibujos de las llaves y agujeros/platos¹⁰⁴, indicando si están accionados o no. Se incluirá en el CD.
- La tabla de tubo efectivo. Consiste en dos columnas con treinta filas cada una. Las celdas de la columna de la izquierda están numeradas con el número de orden del agujero del clarinete bajo, siendo el número 1 el agujero lateral situado más abajo en el instrumento (o sea, el más cercano a la campana) y el 30 el situado más alto. Las celdas de la columna de la derecha indican si este queda abierto o cerrado al accionar llaves y platos. Su utilidad reside en comprender cómo queda el tubo en realidad comparado con la digitación aplicada.
- Tabla de correspondencias entre la nomenclatura de las llaves que aparece en el libro de Bok y Wendel (1989) y la que proponemos nosotros. Las razones por las que proponemos la nueva nomenclatura

¹⁰⁴ Son los agujeros tonales del clarinete bajo que se corresponden con los que en el clarinete soprano se tapan directamente con los dedos pero que, dadas las dimensiones de éstos y su situación en el clarinete bajo, necesitan de la ayuda de los platos con zapatillas para ser accionados.

se explican más abajo, junto con los criterios que se siguen para elaborar cada una de ellas¹⁰⁵.

- Tabla explicativa del funcionamiento de las llaves y platos. Se señala aquí la acción real de cada llave o plato respecto de los agujeros accionados.

No es habitual que un intérprete de música posea conocimientos profundos o formación avanzada de acústica musical y, aunque nosotros hemos tenido que consultar bibliografía específica para llevar a cabo este apartado, hemos pensado que, a diferencia de otros estudios, deberíamos hacer una redacción que no necesite grandes explicaciones técnicas pero que, no obstante, deje muy claro de lo que estamos hablando sin tener que recurrir a definiciones muy complicadas o a fórmulas matemáticas de difícil comprensión para un profano. Para este menester, las imágenes nos pueden ser de gran ayuda. En cualquier caso, quienes quieran profundizar en este tema podrán encontrar en el mercado y en este trabajo, bibliografía específica y avanzada dedicada a la acústica, tanto en general como específicamente musical o referida concretamente al clarinete.

En cuanto a la descripción del clarinete bajo, nos hemos centrado en el instrumento que hemos usado para hacer las grabaciones. En el caso de que alguien quisiera replicar este trabajo con otro clarinete bajo, el mercado ofrece varios modelos entre los que se pueden encontrar diferencias muy significativas en cuanto a sistemas y taladros (francés y alemán), registro (hasta el Mib grave o extendido hasta el Do grave) o materiales (distintas maderas, ebonita o ABS). El registro hasta el Do grave condiciona el tener que nombrar las llaves que hacen posible que se puedan tocar esas notas añadidas. Nosotros decidimos llamar las llaves por el nombre de la nota que la llave hace que suene cuando está cerrada.

¹⁰⁵ Después de elaborar nuestra tabla de correspondencias, encontramos una tabla de nomenclatura diferente (Seve, 1991). Nos puede servir como ejemplo del empleo de otro criterio para elaborar la tabla de digitación, pero para nuestro trabajo no es necesario tenerla en cuenta.

Las novedades que presenta esta descripción pasan por explicar los criterios adoptados por Bok y Wendel (1989) y por nuestra parte en lo concerniente a la nomenclatura de las llaves, puesto que, aunque estos criterios tienen una lógica, hemos encontrado clarinetistas que aun sabiendo el nombre de las llaves, no saben cuál ha sido el criterio para nombrarlas. Visto lo diferentes que son entre sí, nos ha parecido útil explicar cada uno de ellos. En cualquier caso y, por supuesto, el asunto está abierto a todos aquellos que quieran crear un sistema de nomenclatura de llaves con otra lógica y otro criterio.

Nosotros hemos decidido usar una nomenclatura basada en la que sugiere Klosé (1843/1951) para el clarinete soprano en su método, hacer una tabla de correspondencia entre esta y la que proponen Bok y Wendel (1989) y exponer nuestros criterios para decidir qué sistema adoptar.

Más allá de las digitaciones usadas, tenemos que saber que algunas llaves condicionan el funcionamiento de otras y que el estado del tubo no siempre es el que la digitación sugiere (de hecho, casi nunca lo es). Para poner el ejemplo quizá más claro: cuando no pulsamos ningún plato ni ninguna llave, el tubo del clarinete bajo no está totalmente abierto, sino que trece de sus agujeros permanecen cerrados¹⁰⁶. Veámoslo con un ejemplo gráfico: ante esta digitación se podría pensar que el tubo del clarinete bajo tiene todos sus agujeros abiertos (ver imagen 162).



Imagen 162. Digitación para el Sol de la segunda línea

¹⁰⁶ En un clarinete soprano estándar serían doce

Y sin embargo, la disposición de agujeros abiertos y cerrados queda como sigue (ver imagen 163).

30	
29	
28	
27	
26	
25	
24	
23	
22	
21	
20	
19	
18	
17	
16	
15	
14	
13	
12	
11	
10	
9	
8	
7	
6	
5	
4	
3	
2	
1	

Imagen 163. Distribución de agujeros abiertos y cerrados para un Sol de la segunda línea.

Los cuadros en gris son agujeros cerrados, los cuadros en blanco agujeros abiertos y los números indican la posición de los agujeros en el tubo contando de abajo a arriba: el 1 es el situado más abajo.

En otros trabajos hemos echado en falta los datos necesarios para poder elaborar este tipo de tabla y poder ver el tubo efectivo que queda al aplicar la digitación al instrumento. Así que no dejará de ser una novedad el que nosotros los aportemos, como podremos ver más abajo.

La intención de este trabajo es, como hemos dicho, la de resultar útil a quienes vengan después de nosotros con la intención de investigar temas similares. Dicho esto, la utilidad del presente apartado se puede plantear desde varios puntos de vista. Así, a los intérpretes de clarinete bajo que quieran conocer mejor su instrumento, su funcionamiento acústico y alguna de sus muchas posibilidades, se les ofrece un mapa acústico del instrumento en el que pueden encontrar gráficamente la composición armónica de cada sonido producido por cada una de las digitaciones. En el mapa acústico se podrá ver la relación del timbre obtenido con la estructura de la forma de la onda y con la distribución de la intensidad de los armónicos que lo componen. Con los datos obtenidos se puede buscar una escala lo más perfectamente afinada posible (hasta donde sea viable y dependiendo del diapasón) adoptando las digitaciones que nos proporcionen los sonidos deseados. De hecho, se podría dividir la escala en intervalos más pequeños que el semitono, lo cual no es una demanda inusual por parte de los compositores desde la segunda mitad del siglo XX hasta la actualidad, de igual modo que también solicitan cambios de timbre sobre una misma nota, entre otros muchos efectos. Esta información la puede dar el mapa acústico.

Otro punto de vista es el de quien quiera seguir profundizando sobre el clarinete bajo, otro instrumento de la familia del clarinete o incluso cualquier otro instrumento. A estos investigadores se les ofrece la posibilidad de replicar este mismo trabajo siguiendo los mismos pasos. Lo decimos porque con el trabajo terminado no se ven los fallos cometidos, ya que se han ido subsanando conforme los hemos ido detectando. Pero fallos hemos tenido y el ensayo-error ha sido un método más usado de lo que hubiésemos deseado. Hasta llegar al sistema de fichas definitivo, a las dimensiones tanto externas como internas de las gráficas o la tabla de los datos de frecuencia e intensidad, ha habido que deshacer mucho trabajo porque hallábamos maneras más correctas, fáciles, cómodas y rápidas de mostrar la información. Esas maneras son las que han quedado definitivamente reflejadas en la ficha.

Pensando en aquellos que pudieran tener interés en hacer un trabajo de este tipo y para prevenir errores, explicaremos lo más pormenorizadamente posible los pasos seguidos durante el proceso de medición y análisis. Pretendemos, con ello, poner de relieve el cuidado que se ha tenido en la obtención y tratamiento de los datos. Además, puede servir de guía a quienes quieran hacer un trabajo de este tipo. El mapa acústico consta de una serie de fichas (ver imagen 164).

Número de sonido	Digitación completa	Digitación simplificada

Oscilograma

Gráfica FFT

Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)	
Nº del sonido	Armónicos hasta el 8º
dB	Valores de amplitud de la onda medidos en decibelios
Frecuencia experimental	Frecuencia obtenida de las grabaciones de audio
Frecuencia Teórica	Frecuencia que se debería obtener matemáticamente si partiésemos del primer armónico obtenido experimentalmente

Imagen 164. Plantilla del mapa acústico.

Cada ficha muestra una serie de tablas y celdas en las que se incluye el número del sonido analizado, la nota que hay que tocar escrita en un pentagrama (pensamos que es la mejor opción para no tener que usar los índices acústicos y define inequívocamente la nota que queremos tocar), dos diagramas para la digitación que hay que usar para

tocar esa nota (uno con la digitación completa y otro con la digitación simplificada¹⁰⁷), el oscilograma del sonido, su espectrograma y una tabla con los datos de intensidad (medida en decibelios) y frecuencia (medida en hertzios) de cada sonido. La frecuencia se presenta de dos maneras: la experimental, que refleja los datos obtenidos, y la teórica, que refleja la que deberían tener los armónicos, los cuales, según la teoría, deberían tener una frecuencia múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

¹⁰⁷ La diferencia entre estas se explica más abajo.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL CLARINETE BAJO

El clarinete bajo usado para el presente estudio es un Selmer modelo Privilège sistema Boehm¹⁰⁸ extendido hasta el Do grave, con boquilla Vandoren B40 y caña Vandoren de dureza 3½. Este instrumento pertenece al Conservatorio Superior de Música de Canarias (CSMC) y se custodia en la Sede de Tenerife. Vaya aquí nuestro agradecimiento al CSMC por el préstamo del clarinete bajo para la realización de las grabaciones.

Hemos intentado recabar información en distintas publicaciones en papel y virtuales y no hemos podido encontrar todas las características que deseábamos saber sobre el instrumento. Así, en la propia página de la marca se indica el peso del instrumento (3,6 Kg) pero no así su longitud, que viene a ser aproximadamente¹⁰⁹ de unos 167 cm incluyendo la boquilla.

Para mayor comodidad de transporte y fabricación, el clarinete bajo se divide en cinco secciones: la boquilla, comúnmente fabricada en ebonita, el tudel, fabricado en latón y doblado formando una S, los cuerpos superior e inferior, fabricados en madera de granadillo y que son los que alojan la mayoría de las llaves y agujeros, y la campana, fabricada en latón y doblada hacia arriba. La campana y el tudel están doblados para facilitar la práctica del ejecutante, pues de lo contrario el mecanismo y los agujeros quedarían demasiado lejos para accionarlos. Por otra parte, queremos puntualizar que los materiales de fabricación que hemos descrito corresponden al modelo probado y son los que trae el instrumento de fábrica, pues en el mercado de los accesorios podemos encontrar boquillas y campanas en otros materiales. Las llaves están fabricadas en latón y son plateadas, y las zapatillas son de cuero, contando algunas de ellas con resonadores metálicos. Como en el caso de boquillas y campanas, el material de construcción es susceptible de modificarse y se pueden montar zapatillas de corcho o material sintético

¹⁰⁸ También llamado sistema francés.

¹⁰⁹ Medidos por el autor.

o aplicar a las llaves un baño de níquel o de oro. Los muelles de aguja que accionan las llaves están contruidos en acero inoxidable.

El número de llaves, obtenido de la página web, nos sorprendió al principio pues parecía indicar 22 llaves incluidas las del Sol# articulado y la de Mib en el pulgar derecho¹¹⁰, pero finalmente estas no están incluidas y el número de llaves asciende a 24, que es el número que nosotros habíamos contado sobre el propio clarinete bajo.

¹¹⁰ La llave del Sol# que menciona la web es la que en nuestro trabajo figura como D y en el libro de Bok y Wendel (1989) como VIII. Veáse el cuadro de correspondencia de llaves. La del Mib con el pulgar derecho no está recogida en Bok y Wendel (1989) y por eso no se halla en el cuadro de correspondencia citado.

3.3. FUENTES PARA LAS DIGITACIONES

La elección de las digitaciones que se iban a usar y de las que se obtendrían la serie de datos que acabarían formando el mapa acústico recayó fundamentalmente en dos fuentes: las tablas de digitaciones de la página de Reichard (2005) y las de Bok y Wendel (1989)¹¹¹. D. Vicente Ferrer también hizo aportaciones importantes para completar el mapa acústico. El libro de Bok y Wendel (1989) empieza con la digitación del Do# sobreagudo, con lo cual usamos la digitaciones de Reichard (2005) hasta ese sonido y a partir de ahí usamos las de Bok y Wendel (1989) añadiendo aquellas de la página web que no coincidían, más las sugeridas por D. Vicente Ferrer.

Con la finalidad de agilizar la grabación, en el caso del libro de Bok y Wendel (1989), sustituimos la nomenclatura de las llaves que se usan en la obra por las que se sugieren en Klosé (1843/1951), a la que estamos más acostumbrados, ganando con ello tiempo y fiabilidad en los resultados. La nomenclatura de las llaves en Klosé (1843/1951) no incluye las que tiene de más el clarinete bajo respecto de las del clarinete soprano, así que la sugerencia de los nombres para esas llaves es nuestra. En las imágenes 169 y 171 se muestra la correspondencia entre ambas nomenclaturas. En la imagen siguiente (165) se ilustra un ejemplo que describe el cambio entre la tabla original de Bok y Wendel (1989) y nuestra propuesta. Además, se puede ver en la imagen de más abajo una de las digitaciones añadidas que sugirió D. Vicente Ferrer (ver imagen 165).

El proceso de corrección fue simple pero laborioso: se fotocopiaron las tablas originales y se borraron con un corrector tipográfico (*Tipp-Ex*) los datos que nos pudieran confundir para, acto seguido, escribir nuestros números de llaves, los números correspondientes a cada sonido, diagramas enteros correspondientes a las sugerencias de D. Vicente Ferrer o a los diagramas de la página web que no coincidían con los del libro

¹¹¹ Bok reeditó en abril de 2005 este libro en solitario. Nosotros usamos la edición de 1989 porque las fechas en las que se hicieron las grabaciones eran anteriores a las de la reedición. En cualquier caso, las tablas de digitaciones no presentan cambios ni adiciones entre una y otra edición.

y, por último, el nombre de la nota con su índice acústico, aunque después no se llegó a usar en el mapa acústico.

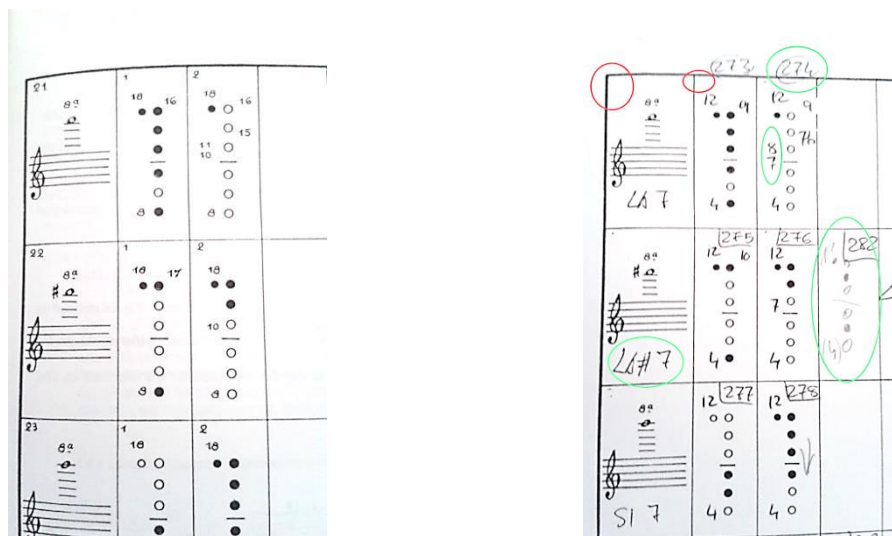


Imagen 165. Izquierda: detalle de una página del libro de Bok y Wendel (1989). Derecha: nuestra propuesta. En rojo los datos que eliminamos para no confundir. En verde los cambios o añadidos.

Dos son los problemas que nos encontramos a la hora de empezar la grabación de las muestras: el primero fue decidir la nomenclatura de las notas respecto de su sonido, pues siendo el clarinete bajo en Sib un instrumento transpositor¹¹², nos asaltaba la duda de si nombrar la nota que leemos o el sonido que escuchamos.

Teniendo en cuenta que esperábamos que este Trabajo fuese de alguna utilidad a los clarinetistas, que suponíamos fuesen ellos los más interesados en este trabajo y que los compositores ya tienen en cuenta el hecho de que el instrumento es transpositor y escriben la nota que debemos leer para dar el sonido que ellos quieren, decidimos nombrar la nota que se lee, o sea que hablaremos de un Do aunque lo que suene sea un Sib. Esperamos con esto facilitar la lectura del Trabajo.

El segundo problema era exponer de forma inequívoca la nota que se tocaba, su digitación y el sonido resultante. Nuestra solución pasó por omitir el índice acústico¹¹³ porque, como ocurre con la nomenclatura de las llaves, hay varios métodos con los que

¹¹² Es aquel para el cual la altura de la nota que suena no corresponde a la altura de la nota escrita.

¹¹³ Conjunto de símbolos -letras, nombres, números, etc.- que sirve para representar los sonidos prescindiendo del pentagrama. Es convención el que un índice acústico asigne valores a las distintas octavas tomando como referencia los sucesivos Do.

elaborarlos y puede resultar confuso para quien no esté familiarizado con el que pudiésemos proponer.

Para evitar malentendidos y para facilitar la lectura del mapa acústico, se decidió asignar a cada sonido un número, empezando por el más grave, que recibió el número 0, la nota que se estaba tocando se escribió sobre un pentagrama usando como referencia el sistema francés de escritura para clarinete bajo en el que las notas se escriben en clave de Sol (como para el clarinete soprano), aunque suenen una 8ª más grave que en éste.

El último paso en este sentido fue mostrar las digitaciones mediante dos diagramas. En uno de ellos se ven todos los agujeros/platos y llaves que tiene el clarinete (al que llamaremos digitación completa). En el otro (al que llamaremos digitación simplificada), teniendo en cuenta que las llaves a veces están agrupadas, sólo se mostraban aquellos grupos en los que se accionaba alguna llave.

La posición relativa de esa llave respecto de las demás hacía innecesaria la nomenclatura de las llaves mediante números o letras, además de reducir la posibilidad de error de accionamiento de las diferentes llaves. Este último sistema, habida cuenta de los diferentes sistemas de nomenclatura para las llaves, creemos que hubiera dificultado la lectura de los diagramas. En la imagen 166 podemos ver cómo eran las “partituras” que se usaron durante la grabación.

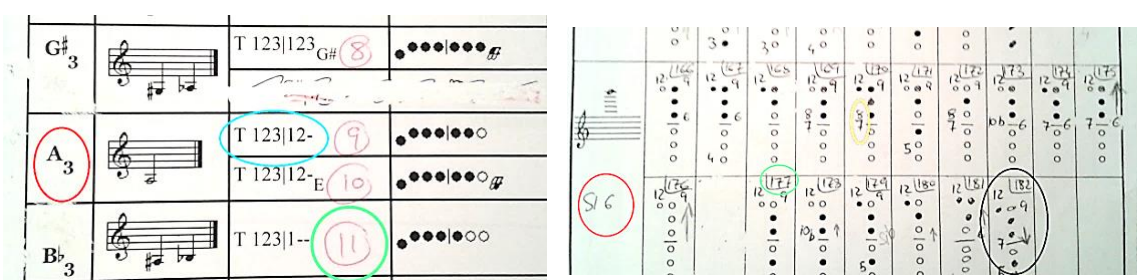


Imagen 166. Izquierda: detalle de una tabla obtenida de la página de internet citada. Derecha: detalle de la página del libro de Bok y Wendel (1989). El índice acústico (que no usamos para el mapa acústico) está marcado con un círculo rojo. Con un círculo verde está marcado el número del sonido, que coincide con el número de archivo. Con un círculo azul señalamos un ejemplo de sistema de nomenclatura de llaves diferente del nuestro. Con el círculo amarillo marcamos nuestra sugerencia de nomenclatura de llaves y en un círculo negro se ve inscrito un diagrama con una digitación que no estaba en el libro original.

Para empezar a elaborar las fichas que conformarían el mapa acústico usamos un programa editor de música para mostrar la nota que se iba a tocar. El programa en cuestión fue *MuseScore* y, como dijimos, con él no escribimos el sonido que ha de producir el clarinete bajo, sino la nota que este ha de tocar, con lo cual, al ser un instrumento transpositor en Sib, el Fa# del ejemplo (ver imagen 167) sonará efectivamente como un Mi. Recordemos que el clarinete bajo utilizado para este estudio es un instrumento transpositor.

En la celda de arriba del pentagrama con la nota se escribió el número asignado a ese sonido que coincidiría, como hemos dicho, con el nombre del archivo. En otras dos celdas hemos colocado, debidamente identificados, dos diagramas con la digitación propuesta para producir el sonido. La digitación es la misma, pero en la versión completa aparecen todas las llaves y en la simplificada se omiten todas aquellas que no son necesarias para entender la digitación.

No pudimos encontrar diagramas para clarinete bajo, así que los tuvimos que crear nosotros partiendo de cero. Los diagramas se crearon combinando el uso de tablas del programa de procesamiento de textos Word y el programa editor de fotografía Paint (ver imagen 167). La leyenda de los diagramas se puede ver en la imagen 168.


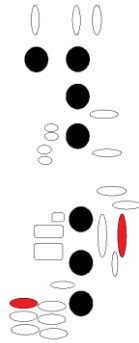
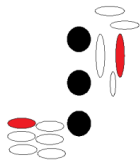
SONIDO 6	Digitación completa	Digitación simplificada
		

Imagen 167. Tabla con con el número de sonido, el pentagrama con la nota que tocar y la digitación con que hacerlo.







	<p>Plato abierto</p>
	<p>Plato cerrado</p>
	<p>Plato semicerrado (sólo para el dedo índice de la mano izquierda)</p>
	<p>Llave. Con el mismo criterio que los platos: si está rellena en negro, la llave estará pulsada.</p>
	<p>Llave. La encontraremos en rojo cuando se pueda accionar indistintamente con el meñique de cualquier mano porque tapa o destapa el mismo agujero y por lo tanto no cambia la disposición del tubo.</p>
	<p>Llave para los pulgares. Con el mismo criterio que los platos: si está rellena en negro, la llave estará pulsada.</p>

Imagen 168. Leyenda explicativa de los diagramas.

3.4. NOMENCLATURA DE LAS LLAVES

Como podremos ver más abajo, el sistema de nomenclatura de las llaves de un clarinete bajo es diferente según autores porque cada uno tiene un criterio propio a la hora de darle nombre o número a cada llave e incluso a los agujeros. Aunque en la ficha de la parte experimental de nuestro trabajo no hace mayor falta nombrar las llaves por cuanto lo que se muestra es un diagrama con la digitación, nos parece interesante y útil explicar la nomenclatura que nosotros usaremos por si en otras partes del trabajo hay que nombrar las llaves sin recurrir al diagrama.

Hemos decidido usar la nomenclatura que propone Klosé (1843/1951), añadiendo según criterio propio los nombres a las llaves de más que tiene el clarinete bajo. Teniendo en cuenta que hemos tomado el libro de Bok y Wendel (1989) como referencia y que es de esperar que quien quiera estudiar el tema tendrá que consultarlo, vamos a describir las dos nomenclaturas.

Lo primero que tendremos en cuenta es que, a diferencia de otros sistemas, ninguno de los dos nombra los agujeros de los dedos. Así que, si tenemos que nombrarlos, lo haremos nombrando el dedo y la mano correspondientes. Por otra parte, y viendo el diagrama que presenta el libro de Bok y Wendel (1989), se puede ver que el clarinete bajo más moderno descrito (“new model”) es un modelo anterior al que se usó en la grabación¹¹⁴. Este hecho no invalida su inclusión aquí porque, en cuanto a digitación, sólo le falta una llave que sí tiene nuestro modelo y a la que le hemos dado nombre. La llave en cuestión es la que al accionarla con el dedo pulgar de la mano derecha hace sonar el Mib grave. La llamamos Mib *bis* porque ya hay una llave que hace esa función accionada por el dedo meñique de la mano derecha.

En el diagrama de Bok y Wendel (1989) se sigue el criterio de nombrar las llaves por la posición de estas y por la mano que las acciona:

- Los números del 1 al 4 son las llaves que, una vez accionadas, producen las notas más graves. Estas notas: Do, Do#, Re y Mib son las que se

¹¹⁴ La primera edición del libro es de 1989. En 2005 se escaneó y reimprimió este libro por estar agotado. Por lo tanto, el diagrama es el mismo. En la edición revisada del 2011 sigue siendo el mismo.

añaden al registro (salvando la distancia de octava) de un clarinete soprano estándar.

- Los números del 5 al 8 son las llaves que se accionan con el meñique de la mano derecha y producen notas más agudas conforme sube la cifra (Mi, Fa, Fa# y Sol#).
- Para las llaves accionadas por el meñique de la mano izquierda se usan números romanos que se corresponden con los números arábigos de las llaves de la mano derecha¹¹⁵ que realizan la misma función (las correspondencias entre números romanos y arábigos está bien salvo en el caso de las números III y 4, los cuales accionan la misma llave).
- A partir de aquí, las llaves se numeran siguiendo un orden ascendente: primero las accionadas con los dedos de la mano derecha, después la izquierda y por último el pulgar izquierdo.

Nuestra propuesta parte, como hemos dicho, de la de Klosé (1843/1951) y su criterio se basa en la altura o posición del agujero que se tapa o destapa al accionar la llave:

- Las llaves de las notas más graves se nombran por el mismo nombre de la nota que hacen sonar desde el Do hasta el Mib. En el caso de que dos llaves diferentes puedan hacer la misma función, a una de ellas se le añade la palabra *bis*.
- Las restantes llaves de los meñiques se nombran como en el libro de Klosé (1843/1951), correspondiéndose los números de las llaves (del 1 al 4) con la misma función, con las letras de la A a la D.

¹¹⁵ En este punto y viendo el diagrama de Bok y Wendel (1989), encontramos un problema de nomenclatura que, nos atrevemos a afirmar, es un error de imprenta, pues las llaves del pulgar deberían estar numeradas como 1 y 2 y no 1 y 3. De la misma manera, la llave que en el libro está numerada como 2 debería estarlo como 3, puesto que de esta manera se correspondería con la función de la llave III del meñique izquierdo. Además, la tabla de trinos lo confirma. Puesto que no podemos cambiar lo que viene en el libro, hemos hecho el cuadro de correspondencias tomando como buena la nomenclatura del libro; eso sí, avisando de los cambios.

- A partir de aquí y como se ha explicado, las llaves recibirán un número basándose en la altura o posición del agujero que acciona la llave, hasta el número 12.
- Las llaves *7 bis* y *10 bis*, a diferencia de las anteriores, se nombran así porque dan la misma nota, aunque en diferente agujero, que las llaves 7 y 10.

Comparación de los diagramas del clarinete bajo con la nomenclatura de las llaves usadas en el libro de Bok y Wendel (1989) y las usadas en este trabajo (ver imagen 169):

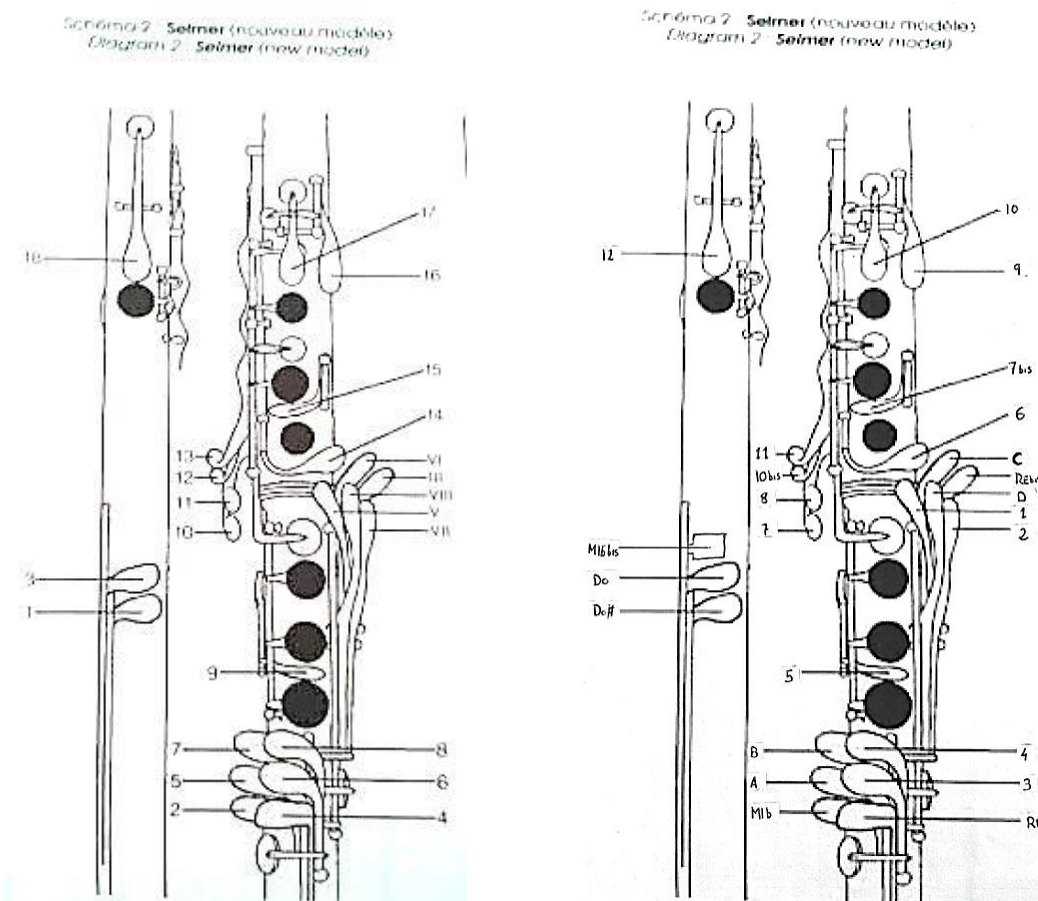


Imagen 169. Izquierda: Nomenclatura de las llaves en el diagrama del libro de Bok y Wendel (1843/1951). Derecha: nuestra propuesta de nomenclatura basada en el sistema de Klosé (1843).

Otro ejemplo de nomenclatura para las llaves de un clarinete bajo (ver imagen 170) la encontramos en la página web de Reichard (2005). A nuestro juicio, tal cual se presenta, puede inducir a errores (se repiten nomenclaturas para diferentes llaves o

platos) y por lo tanto, a falta del diagrama, se necesitarían explicaciones adicionales para estar seguro de la llave que hay que pulsar. Por otra parte, la imagen se corresponde con un clarinete bajo no extendido hasta el Do grave, sino hasta el Mib y además numera los platos, cosa que ni Bok y Wendel (1989) ni nosotros hacemos.

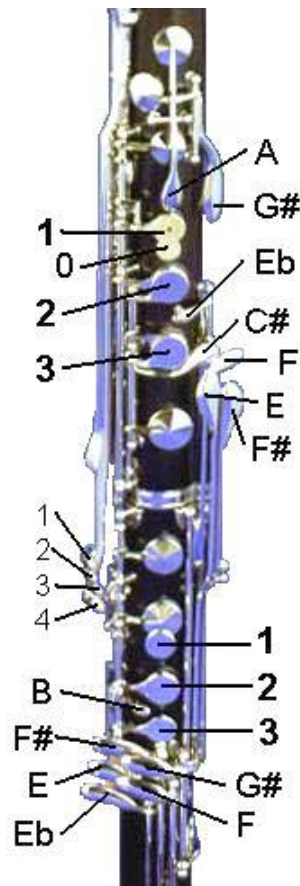


Imagen 170. Propuesta de nomenclatura de Reichard (2005)

Aunque para nuestro trabajo nos interesa más la correspondencia entre la nomenclatura de Bok y Wendel (1989) y la nuestra -basada en la de Klosé (1843/1951)-, no estará de más incluir la de Reichard (2005) por su posible utilidad.

En el cuadro comparativo (ver imagen 171), obviamente quedarán en blanco aquellas casillas que correspondan a las llaves que el modelo de Reichard (2005) no tiene. Por otra parte, no pondremos la numeración de los platos por ser irrelevante en

esta parte del estudio y porque no hay posibilidad de comparación con los otros modelos, puesto que aquellos no la incluyen.

BOK Y WENDEL (1989)	TRABAJO	REICHARD (2005)
1	Do	-
2 (debería ser la 3) ¹¹⁶	Mib	Eb
No está	Mib <i>bis</i> ¹¹⁷	-
3 (debería ser la 2) ¹¹⁸	Do#	-
4	Re	-
5	A	E
6	3	F
7	B	F#
8	4	G#
9	5	B
10	7	4
11	8	3
12	10 <i>bis</i>	2
13	11	1
14	6	C#
15	7 <i>bis</i>	Eb
16	9	G#
17	10	A
18	12	- ¹¹⁹
III	Re	-
V	1	E
VI	C	F
VII	2	F#
VIII	D	-

Imagen 171. Cuadro comparativo de nomenclaturas.

Por sus dimensiones, el clarinete bajo presenta dos problemas en cuanto a digitación se refiere: el primero es que los agujeros que en el clarinete soprano se tapan con los dedos, en el bajo son de tan gran diámetro que los dedos no alcanzan a cubrir el

¹¹⁶ Se explica en la nota 115.

¹¹⁷ En Bok y Wendel (1989), el diagrama del instrumento no tiene esta llave, probablemente por tratarse de un modelo anterior al usado en nuestro estudio.

¹¹⁸ Se explica en la nota 115.

¹¹⁹ A diferencia de los otros huecos, este no lo está porque le falte la llave –accionada por el pulgar- al instrumento, sino porque el autor no la nombra. En otros casos con nomenclatura por letra se le suele llamar T (por *Thumb*) y es la que funciona como llave de registro.

hueco. El segundo consiste en que la distancia entre los agujeros es tan grande que no todos los dedos llegan al lugar donde están estos.

La solución al primer problema en los dedos que se sitúan sobre el agujero viene dada por la adopción de unos platos como los que usan las flautas, por ejemplo, que tienen acoplada una zapatilla que es la que cerrará el agujero. En cuanto al segundo, el clarinete bajo dispone de un sistema de palancas que hacen que el movimiento del dedo se transmita hasta el plato que hay que accionar para tapar o destapar el agujero (ver imagen 172).



Imagen 172. Cuerpo superior de un clarinete bajo. En la parte baja se ve el plato para el pulgar. También se puede ver el sistema de palancas con el que se llega a los agujeros más alejados.

3.5. EL TUBO EFECTIVO

Aunque la evolución del mecanismo y el tubo del instrumento se ha visto en el segundo capítulo de este trabajo, para entender mejor lo que viene a continuación conviene recordar que, a diferencia de los primeros clarinetes -en los que todos los agujeros se accionaban con los dedos directamente o con palancas simples- los actuales disponen de una serie de palancas y reenvíos que permiten accionar varios agujeros a la vez, gracias a la automatización de su accionamiento.

El total de agujeros taladrados en el tubo del clarinete bajo utilizado para el trabajo es de treinta -accionados como hemos dicho por veinticuatro llaves y siete platos correspondientes a los siete agujeros para los dedos del clarinete soprano- distribuidos como sigue: uno en la campana, trece en el cuerpo inferior, quince en el cuerpo superior y uno en el tudel.

En estado de “reposo”, es decir, sin accionar ninguna llave ni ningún plato, quedan diecisiete agujeros abiertos y trece cerrados. Los cuatro de diferencia se justifican por la extensión hasta el Do grave que no encontramos en el clarinete soprano. Así pues, si los descontamos para dejarlo en la extensión de este, encontramos que el número de agujeros abiertos y cerrados es el mismo: trece. En el clarinete soprano son doce cerrados y doce abiertos. Los dos agujeros de más que encontramos en el bajo se justifican porque el bajo acciona con la llave 3 dos agujeros a la vez, por uno que acciona la misma llave del soprano y porque la llave 12 acciona dos agujeros distintos (29 y 30) según la digitación que se emplee con los otros dedos. Aunque hay sopranos que usan la llave 12 con doble función o dos agujeros para la llave 3, no es lo habitual en los clarinetes de sistema francés, que es con el que estamos trabajando.

El siguiente cuadro relaciona la acción de cada dedo o llave (columna izquierda) con el agujero o agujeros que tapa o destapa (columna central). Los agujeros se han numerado del 1 al 30 contando desde el situado más abajo hasta el más alto en el cuerpo del clarinete bajo. En la columna derecha se informa sobre si en estado de reposo el o

los agujeros están abiertos (A) o cerrados (C). Los colores pueden servir para hacer más fácil la lectura de este cuadro (ver imagen 173)¹²⁰.

A la hora de leer esta tabla deberemos tener en cuenta que los dedos y llaves están considerados individualmente, es decir, se tiene en cuenta el o los agujeros que se tapan o destapan sin vincularlos con los demás dedos o llaves¹²¹, puesto que el sistema de correspondencias hace que ciertas llaves o dedos interfieran con otros y haría muy farragosa la lectura de la tabla.

Pongamos un ejemplo: si pulsamos el plato que acciona el dedo anular izquierdo individualmente, se cerrarán tres agujeros. Si cuando pulsemos ese mismo plato, el dedo corazón ya hubiese pulsado su plato, este último dedo habrá cerrado dos de los tres agujeros que habría cerrado el dedo anular si hubiese actuado solo, con lo que el anular, en este caso, sólo cerrará un agujero.

En las tablas posteriores a la que sigue (ver imagen 174), se expone a modo de ejemplo cómo quedaría conformado el tubo del clarinete bajo según cuatro digitaciones diferentes.

¹²⁰ De cara a la comodidad para estudiarla y porque no cabe entera en lo que resta de la página en la que estamos, expondremos la tabla en la otra página.

¹²¹ Salvo los que requieren una explicación con una nota al pie.

Tudel		
12	30 ¹²²	C

Cuerpo Superior		
12	29	C
11	28	C
10 bis	27	C
10	25 y 26	C
9	25	C
8	23	C
Pulgar izquierdo	22 y 24	A
Índice izquierdo	24	A
	21	A ¹²³ a
7	19	C
7 bis	18	C
Corazón izquierdo	17 y 20	A
Anular izquierdo	16, 17 y 20	A
6	15	C

Cuerpo Inferior		
Índice derecho	13 y 14	A
5	12	C
Corazón derecho	11 y 14	A
Anular derecho	10 ¹²⁴	A
4/D	9	C
3/C	7 y 8	A
2/B	7 y 8	A
	6	C
1/A	5 a 7	A
Mib/Mib bis	4 a 7	A
Re	3 a 7	A
Do#	2 a 7	A

Campana		
Do	1 a 7	A

Imagen 173. Relación entre la acción de los dedos y los agujeros que se tapan o destapan.

¹²² La llave 12 abrirá el agujero 30 siempre y cuando el plato del anular esté abierto y/o la 10 esté sin accionar. En caso contrario abrirá el agujero 29. Así como en reposo los dos agujeros permanecen cerrados, el sistema hace imposible que los agujeros 29 y 30 estén abiertos a la vez.

¹²³ Esta llave tiene un pequeño agujero concéntrico en el plato que se puede tapar independientemente (al que podemos llamar “a”) por lo que “Aa” quiere indicar que los dos agujeros están abiertos.

¹²⁴ Esta llave actúa también sobre los agujeros 29 y 30 siempre que esté accionada la llave 12 y no lo esté al mismo tiempo la 10.

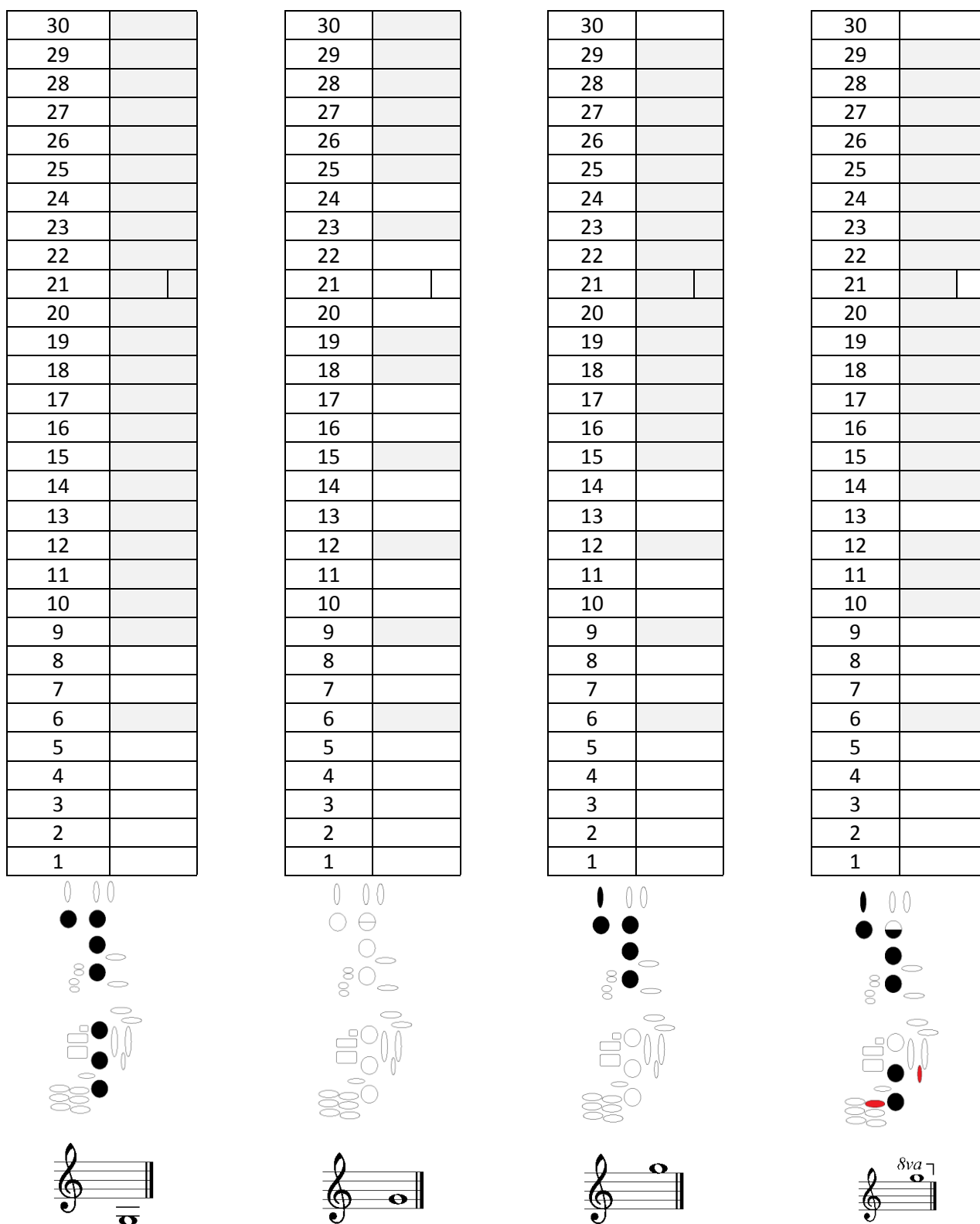


Imagen 174. Ejemplo de tubo efectivo para cuatro digitaciones.

En la columna de la izquierda se indica la altura a la que se halla el agujero (el 1 es el que está situado más abajo en el instrumento y el 30 el situado más arriba) y en la columna de la derecha se indica si para esa digitación el agujero está abierto o cerrado (cuadro en blanco o en gris, respectivamente). Debemos tener en cuenta que es una tabla y que no se respeta la escala, con lo que los agujeros ni son del mismo diámetro ni son equidistantes, como en un momento dado podrían sugerir la tabla o el diagrama. Por las dimensiones de estas tablas, su inclusión en las fichas que conforman el mapa acústico era inviable.

3.6. LA CUESTIÓN DEL USO DE LAS BOCAS ARTIFICIALES

Lo interesante de la cuestión de los sonidos que es posible emitir con el clarinete bajo¹²⁵ es que la mayoría de estos se puede obtener con distintas digitaciones. Esta peculiaridad hace que, usando diferentes digitaciones para tocar la misma nota, esta suene de diferente manera según aquellas, adquiriendo características que le son propias y que afectan tanto al timbre como a la afinación o la facilidad de emisión. Las gráficas que muestran cada uno de esos diferentes sonidos que produce cada digitación, junto con los datos obtenidos gracias al programa informático de tratamiento de audio, son la base que conformará el mapa acústico de nuestro clarinete bajo.

Como se ha dicho, cualquier cambio en las condiciones de la grabación afectaría al resultado. Por ello y para evitar las probables fluctuaciones de presión en la embocadura por parte del intérprete, se planteó en su momento, hacer la toma de muestras con un aparato que soplase el aire dentro del instrumento

Antes de entrar en el apartado dedicado a la grabación de los sonidos del clarinete bajo, creemos oportuno hacer un inciso para conocer algunas de estas “bocas artificiales” para después estimar o no su idoneidad para este trabajo.

No es nuevo que diversos investigadores hayan creado bocas artificiales para clarinete: dispositivos que reprodujeran las funciones de la boca de un instrumentista para ser capaces de hacer sonar un clarinete, pero con la posibilidad de cambiar parámetros de funcionamiento de forma independiente. Fritz (2004) nos informa de que al menos desde 1941 se han construido bocas artificiales. La primera de ellas fue creada por McGinnis y Gallagher (1941) para estudiar el comportamiento de la lengüeta. Backus (1962) desarrolló una boca artificial para estudiar lo mismo, pero que mejoraba las prestaciones de la anterior. Le siguieron las bocas artificiales de Mooney (1968) y Bak y Domler (1987). La primera se creó para estudiar el efecto de la cavidad oral en la calidad tonal del sonido del clarinete y la segunda para estudiar la relación entre la presión de soplado y la frecuencia del sonido en el clarinete. A partir de estos, otros

¹²⁵ Como en otros muchos instrumentos.

trabajos han tenido en estas bocas artificiales un aliado para realizar sus estudios. Creemos que para nuestro trabajo es más interesante acudir a un intérprete humano. No obstante, presentaremos aquí las últimas bocas artificiales de las que tenemos noticia y trataremos su pertinencia de cara a la elaboración de nuestro trabajo, evaluando los pros y contras que ofrecen.

CLARINETROBOT¹²⁶

Es un robot diseñado por la UNSW¹²⁷ y el NICTA¹²⁸ para estudiar cómo la digitación, la presión sobre la caña, la dureza de esta y otros parámetros afectan al timbre, la dinámica o la afinación del sonido resultante. Consiste esquemáticamente en un soplador de aire, una boca artificial que se acopla a la boquilla del clarinete, unos dedos artificiales que operan sobre los agujeros y llaves del clarinete y todo el sistema informático necesario para hacerlo funcionar y registrar los datos. Según los propios investigadores, el mayor reto consistió en diseñar el mecanismo que haría las funciones de la boca del clarinetista y hacerlo actuar de manera satisfactoria, sin chirridos. Dos servomotores se encargaban de imitar el efecto de la lengua sobre la caña y la fuerza de los labios. El resultado podemos escucharlo en la página web de la UNSW¹²⁹

Pero esta solución no nos convenció por varios motivos: el desarrollo de un mecanismo de estas características excede con mucho nuestra capacidad de producción del mismo. Se necesitarían conocimientos en ingeniería que no poseemos o un equipo de personas muy cualificadas para construir una boca artificial como esta¹³⁰, además de un desembolso económico considerable y, con todo, probablemente el resultado no hubiese sido el deseado.

Sin menospreciar el magnífico trabajo realizado por estos investigadores, quien escuche el resultado sonoro de las notas largas en las nueve muestras grabadas,

¹²⁶ Creado con motivo de la Artemis Orchestra Competition de 2008, resultó ganador.

¹²⁷ University New South Wales de Sidney, Australia.

¹²⁸ National Information and Communications Technology Australia

¹²⁹ <http://newt.phys.unsw.edu.au/jw/clarinetrobot.html>

¹³⁰ El listado de las quince personas que hicieron posible el experimento y el cometido de cada uno de ellos se puede ver en la página: <http://newt.phys.unsw.edu.au/jw/clarinetrobot.html>

convendrá con nosotros en que se parecen poco al sonido que podría producir un intérprete humano. También existe la posibilidad de que el ruido producido por el mecanismo de soplado hubiese interferido con el del propio instrumento y hubiese falseado los datos en alguna medida.

En cualquier caso, a tenor de lo que se escucha cuando el robot-clarinete toca la pieza del compositor ruso N. Rimski-Kórsakov titulada *el Vuelo del Moscardón*¹³¹, el instrumento tiene dificultades al cambiar de registro y los propios investigadores juegan con la fuerza del soplo y la presión sobre la caña para obtener diferentes timbres y afinaciones de una misma nota. Este hecho es el que nos hace pensar en que tendríamos ciertas dificultades en decidir cuál de los resultados sonoros sería el adecuado, puesto que en teoría todos serían buenos.

En nuestro caso, contamos con que la sensibilidad del intérprete es muy superior a la de la máquina y le pedimos a D. Vicente Ferrer que hiciese sonar cada sonido con la mejor calidad posible pero sin usar *vibrato* ni rectificar la afinación, de manera que pudiésemos registrar el sonido lo más puro posible.

RIAM

Siglas de *Reed Instrument Artificial Mouth*. Definido como un dispositivo controlado por ordenador para accionar instrumentos de viento, es de hecho y traduciendo literalmente el acrónimo, una boca artificial para instrumentos de lengüeta (ver imágenes 175 y 176).

¹³¹ Esta pieza es un interludio orquestal que cierra el Acto III, Cuadro I de su ópera *El Cuento del Zar Saltán*, compuesta entre 1899 y 1900.

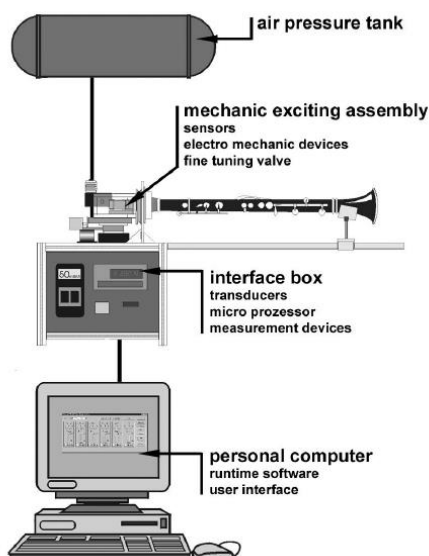


Imagen 175. Esquema de todo el sistema de la RIAM, incluyendo los dispositivos electrónicos

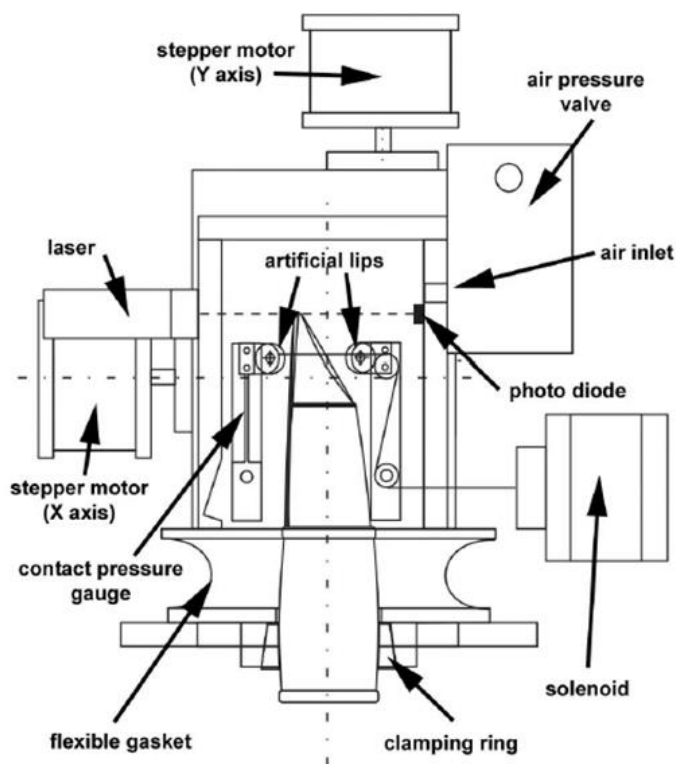


Imagen 176. Detalle de la boca artificial

Conocemos su existencia por Mayer (2003), quien describe el desarrollo y funcionamiento de dicho dispositivo. Aunque se podría adaptar al oboe o el fagot (en el

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

Mapa Acústico y Optimización Acústica del Clarinete Bajo.

estudio no se menciona al saxofón a pesar de que, por su morfología, la boquilla de este es más similar a la del clarinete que la de los instrumentos aludidos), de momento el dispositivo sólo ha sido probado con el clarinete soprano. De todas maneras, Mayer (2003) apunta que las diferencias de tamaño y forma de las diferentes embocaduras harían prácticamente imposible diseñar una boca multifuncional, es decir que se adaptase también al sistema de doble lengüeta.

Los objetivos que debía conseguir el dispositivo eran, por un lado, generar o reproducir un sonido de la manera más semejante a una situación real, pero prescindiendo de la acción humana y, por otro lado, comparar los resultados sonoros al emplear diferentes lengüetas y disposiciones de la embocadura. Uniendo los dos objetivos, se lograría estudiar el timbre producido. También se podría, aprovechando las características del dispositivo, estudiar la vibración de la lengüeta a través de la grabación estroboscópica del movimiento de esta.

El funcionamiento dependía de tres parámetros: la presión del aire, la posición de los labios artificiales sobre la lengüeta y presión de estos sobre la misma. Gracias al uso de un ordenador conectado a la boca artificial, el control de esta resulta más preciso en cada uno de los parámetros mencionados. Estos parámetros se podían modificar independientemente, cosa que para los humanos es muy difícil (si no imposible), pues tratamos de compensar unos con otros, a veces de manera inconsciente o, como mínimo, instintiva. El artículo sigue describiendo los elementos que componen el sistema y su funcionamiento, así como las dificultades surgidas durante el proceso de construcción y las modificaciones aportadas para mejorar el rendimiento del sistema. Como este está alojado dentro de una caja transparente, también se puede estudiar el movimiento de la lengüeta. Para el experimento se usaron tanto lengüetas naturales como sintéticas.

Los resultados obtenidos se exponen en un par de gráficas. La primera muestra cómo se modifican o se compensan la presión de los labios artificiales y su posición sobre la lengüeta y la boquilla para obtener los sonidos requeridos. Así, para una posición de los labios más alejada de la punta de la boquilla se requerirá una mayor

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

presión de los labios sobre la lengüeta y viceversa. También se manifiesta cómo el hecho de que la lengüeta natural esté seca o húmeda resulta determinante en la obtención de resultados, pues la lengüeta seca necesitará de una fuerza significativamente mayor para funcionar.

La segunda gráfica ilustra las presiones necesarias del aire y de los labios artificiales para conseguir hacer sonar el instrumento. Esta gráfica nos muestra unas regiones (en forma de zona sombreada) en las que es posible obtener sonido con las diferentes lengüetas utilizadas durante el experimento. Por lo que se deduce de la ilustración, cada región marca los límites de presión entre los que es posible obtener sonido. Es de esperar, pues, que fuera de esa zona, el instrumento no suene, bien sea por exceso o por defecto de presión tanto del aire como de los labios artificiales, lo cual provocaría en cualquier caso la falta de vibración de la lengüeta.

El estudio no aporta datos sobre la calidad del sonido en general ni de cómo se comporta en las situaciones extremas. Sí se puede ver un patrón similar en la forma de las regiones, notándose que, a mayor presión de los labios, menos presión de aire se necesita para lograr un sonido estable. Además, se vuelve a constatar la diferencia de funcionamiento de la lengüeta natural cuando está húmeda o seca. En este último caso, la lengüeta necesitará mayor presión de aire y labios para conseguir resultados.

Tanto unas conclusiones como otras son conocidas por los clarinetistas, quienes, como hemos comentado, harán las modificaciones necesarias de manera intuitiva o más o menos consciente para obtener el sonido deseado. El estudio tiene la virtud de poder modificar los tres parámetros por separado y medir el efecto de cada uno de estos independientemente de los otros dos.

Ahora bien, a pesar de lo interesante que resulta este procedimiento, lo que sí nos interesa para la defensa de nuestro procedimiento de registro de datos, es decir, la decisión de que la grabación se hiciese con un intérprete humano en lugar de un soplador mecánico, son las limitaciones que se describen en el artículo de Mayer. La primera es que las pruebas se hacen en el intervalo de la octava más grave del clarinete (entre el Mi más grave y el escrito en la primera línea del pentagrama) y por tanto no

sabemos hasta qué punto hubiese podido conseguir hacer sonar el registro agudo o sobreagudo en ese clarinete y menos todavía con un clarinete bajo. La segunda tiene que ver con la necesaria humidificación de la lengüeta de caña natural, cosa que con un intérprete humano no pasa. No hemos podido escuchar los sonidos producidos por el RIAM, con lo cual, tampoco podemos hacer una valoración del resultado como sí ocurre con el robot del NICTA-UNSW.

No pretendemos menospreciar el gran trabajo realizado por Mayer (2003), que nos parece magnífico y ofrece unas posibilidades enormes de análisis y conocimiento de los fenómenos relacionados con la generación de sonidos en, al menos, el clarinete. Pero creemos que para nuestro objetivo sigue siendo mejor opción la de la participación del intérprete humano.

MIAM

Siglas de *Multi Instrument Artificial Mouth*. Es un dispositivo puesto a punto en el IRCAM por Claudia Fritz, Christophe Vergez, André Almeida, René Caussé y Alain Terrier que Dominique Rodrigues usará para su Memoria de Prácticas de Master ATIAM¹³² (Rodrigues, 2005).

En este estudio, el autor analiza sobre todo la variación de la frecuencia de una nota dada en función de la intensidad a la que sea sometida. Los experimentos los realizará tanto a partir de clarinetistas profesionales de reconocido prestigio¹³³ como a partir del uso de una boca artificial, la MIAM (ver imagen 177).

¹³² Acrónimo de *Acoustique, Traitement du signal, Informatique, Appliqués à la Musique*.

¹³³ Aude Richard, Joseph Arracic, Michel Arrigon, Guy Deplus y Florent Pujaila

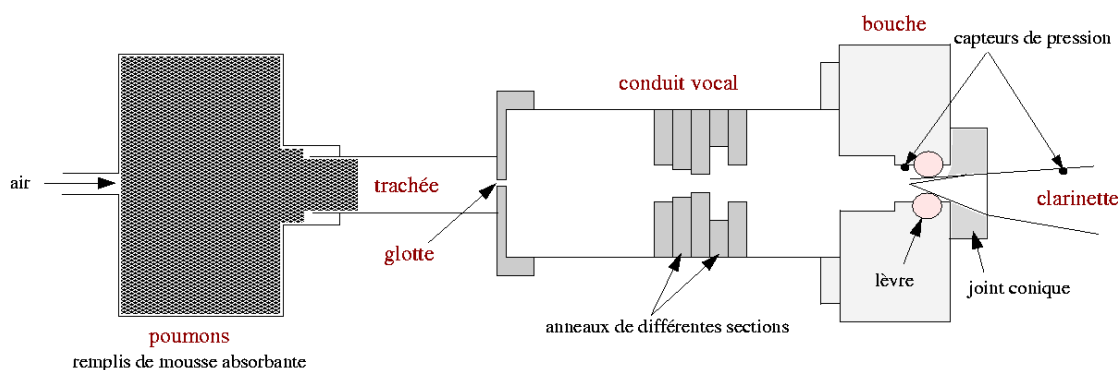


Imagen 177. Diagrama de la MIAM incluyendo el dispositivo que hace la función del tracto vocal

A diferencia de las otras embocaduras artificiales vistas hasta ahora, la MIAM monta un dispositivo que ejerce la función de un conducto vocal adaptable. Este dispositivo se incluyó para estudiar la influencia del tracto vocal sobre la producción del sonido (Fritz, 2004) y su frecuencia (Demoucron, 2004). En el trabajo de Rodrigues (2005) no se utilizó el mencionado dispositivo, puesto que su objeto de estudio no incluía el tracto vocal y sus variaciones como parámetro a tener en cuenta.

En el estudio se comenta que cada intérprete (incluida la boca artificial) produce sonidos diferentes aun tocando con el mismo clarinete y que este hecho pone de manifiesto la cantidad de factores que influyen en el sonido producido. Algunos factores pueden ser externos, por ejemplo la lengüeta utilizada, pero cuando el mismo material suena diferente al ser tocado por diferentes intérpretes, las razones de tales diferencias habrá que buscarlas en el tracto vocal, la presión y posición de los labios sobre la boquilla y lengüeta, la posición de la lengua durante la producción del sonido o la presión de soplado.

El estudio, como hemos dicho, trata de mostrar la variación de la afinación de cada nota al ser interpretada con diferente dinámica (*pp*, *mf* o *ff*). El uso de la MIAM pretende, como en los casos anteriores, minimizar las variaciones más o menos involuntarias de los factores mencionados por parte de los intérpretes y al mismo tiempo controlar y medir independientemente cada parámetro. Es curioso observar que, al variar la presión del aire de entrada en el instrumento, varía la afinación de cada nota. Este hecho es predecible en intérpretes humanos por la señalada manera intuitiva de proceder de estos, pero no esperábamos que con un aparato mecánico controlado por ordenador pudiera pasar lo mismo. Hay que señalar que en el caso de la boca artificial,

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

el autor nos indica que no se puede conseguir el *pianissimo* que sí se consigue con un intérprete humano. Como curiosidad, podemos apuntar que uno de los resultados obtenidos con la boca artificial es diametralmente opuesto al obtenido con el intérprete humano: se trata de la evolución de la afinación de una nota al aumentar la presión de entrada del aire. En los humanos, al crecer la presión, la afinación sube al principio y baja al final del tiempo que dura la nota, mientras que en el caso de la boca artificial el sonido baja de afinación al principio y va subiendo después. Es lógico pensar que el intérprete humano realiza variaciones en la embocadura y tracto vocal, pero lo sorprendente es que, si suponemos que la boca artificial no realiza variaciones, no debería haber cambios en la afinación y sin embargo los hay, aunque sea en sentido contrario. Este fenómeno revela que hay una relación entre la presión del aire y la afinación de los sonidos producidos, pero también nos puede quedar muy claro que para nuestro trabajo resulta igual de variable una forma de obtener las grabaciones que la otra.

Por lo comentado en el anterior párrafo, y a pesar de las virtudes que atesora la MIAM, seguimos pensando que para nuestro trabajo es mejor la participación de un intérprete humano. El propio trabajo del que tomamos la información sobre la MIAM nos proporciona otras razones por las que no nos decantamos por su uso: el autor no usa exclusivamente el dispositivo, sino que cuenta con la ayuda de intérpretes humanos a los que además, otorga como mínimo el mismo grado de validez en sus resultados que a la boca artificial. Más adelante, el autor advierte que la boca artificial, a pesar del cuidado puesto en su puesta a punto, no siempre es igual de estable, y en una comparación entre dos grabaciones se puede ver una diferencia entre frecuencias e intensidades que no debería aparecer si el dispositivo está calibrado de igual manera para las dos grabaciones.

Así las cosas y visto que, además de todo lo dicho, para la construcción de una boca artificial hacen falta recursos humanos y materiales de los que no disponemos y conocimientos que tampoco tenemos, nuestra elección del intérprete humano se considera como la más viable de cara a la consecución de nuestro trabajo.

3.7. ASPECTOS PRELIMINARES A LA GRABACIÓN

A diferencia de los sonidos producidos de manera digital, en los que el sonido se puede reproducir cuantas veces se quiera sin que este varíe, los sonidos producidos por el resto de los instrumentos musicales difícilmente se pueden repetir sin ninguna variación. Esta característica se puede observar incluso en una única nota larga emitida, en la que, si la grabamos y la reproducimos con algún programa editor de sonido con analizadores de espectro, notaremos que ni siquiera la forma de su onda o la gráfica que representa los armónicos de los sonidos (FFT¹³⁴) dejan de cambiar continuamente. Los cambios pueden obedecer a diversos factores: cambio de material, fuerza del soplo, presión sobre la caña y la boquilla (en los instrumentos que las usan), etc.

Decimos esto porque el mapa acústico incluye dos gráficas en las que se ve el oscilograma y la FFT en un momento dado, como si fuera una foto que congela un instante mientras está sonando una nota. Esta nota suena durante varios segundos y se ve en la pantalla cómo va fluctuando su gráfica. Cada “foto” ha sido tomada después de haber escuchado el sonido varias veces y se ha intentado escoger el momento en el que este sonaba con mayor riqueza de armónicos. Aunque se podría haber grabado cada sonido varias veces, con diferentes intérpretes, en diferentes momentos, en diferentes lugares, con diferentes condiciones de presión, humedad y temperatura o con cambios más o menos significativos de material, el resultado no hubiera aportado información de interés a nuestra investigación, con lo que habiéramos perdido el tiempo. De hecho, hay investigaciones que sí se centran en los posibles cambios que se producen en el sonido al cambiar alguno de los aspectos que acabamos de mencionar, pero no buscan los mismos objetivos que busca este trabajo.

De esta manera, y para garantizar las menores variaciones posibles en las grabaciones de los sonidos, los registros se realizan con un único intérprete, en una sola

¹³⁴ Acrónimo de *Fast Fourier Transform* o Transformada Rápida de Fourier. Es un algoritmo aritmético que ejecuta un cálculo matemático por el que se puede representar una gráfica de una función en el dominio de la frecuencia cuando en principio era una función en el dominio del tiempo.

sesión, en un único lugar, con unas condiciones de humedad y temperatura estables y con un solo instrumento.

Detallando más los factores anteriores, diremos que, para cada intérprete, la forma de soplar, la presión sobre la caña, la embocadura¹³⁵ o el ángulo de la boquilla son distintos en función de la propia anatomía personal y del sonido que se busque. Nuestro intérprete ha sido D. Vicente Ferrer Corcín¹³⁶.

Por parecidas razones, se han grabado los sonidos con un único instrumento. La descripción detallada de este instrumento y su funcionamiento se describen más abajo. Cualquier cambio en la caña, boquilla, abrazadera, tudel o campana aun por separado hubiese producido diferencias en el sonido producido, tanto más si se cambia el instrumento entero. Para evitar esto, durante la sesión de grabación no se cambió ningún accesorio del clarinete bajo.

Debemos saber que los instrumentos de viento pueden alterar su afinación –esto es, la frecuencia del sonido- variando la longitud del tubo, de manera que alargando el tubo baja la afinación y acortándolo, esta sube. Esto es posible porque el tubo del clarinete bajo se divide en partes y estas se unen entre sí por medio de una espiga que se aloja en un casquillo que la recibe. La manera de alargar el tubo es sacar un poco la espiga del casquillo, movimiento que también provoca que se produzca una hendidura entre las partes. En nuestra grabación, el tubo estaba en su posición más corta para evitar esas hendiduras en el interior del tubo.

Otro aspecto a tener en cuenta es que, al tocar, introducimos aire caliente y húmedo en el interior del tubo y con la variación de la temperatura y la humedad del interior del tubo, también varía la afinación hasta un límite en que se estabiliza. Para la grabación, D. Vicente Ferrer estuvo tocando hasta que la temperatura y humedad del tubo quedó estabilizada. La grabación se efectuó en una sola sesión para mantener las condiciones todo lo estables que fuese posible.

¹³⁵ Entendida esta como la forma que adopta la boca al acoplarse a la boquilla.

¹³⁶ Clarinete y clarinete bajo en la Orquesta Sinfónica de Tenerife y profesor de clarinete en el Conservatorio Profesional de Música de Tenerife.

De igual manera, el lugar elegido para la grabación debía reunir, además de las condiciones climáticas citadas lo más estables posible, unas condiciones acústicas adecuadas a la tarea propuesta. Pensamos que una cámara anecoica sería el mejor lugar para grabar, pero en Tenerife no encontramos ninguna. A cambio, pudimos encontrar una cámara semianecoica en el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), emplazada en el laboratorio EAV (Espacio Acústico Virtual) del Grupo de Neuroquímica y Neuroimagen de la Universidad de la Laguna, que dirige el Prof. José Luis González Mora, a quien, junto con su equipo, también queremos agradecer su colaboración. En una cámara semi-anecoica se eliminan los absorbentes electromagnéticos del suelo de una cámara anecoica para disponer de un plano de masa reflectante entre la fuente transmisora y la receptora.

El resto de miembros del equipo que integraba el Espacio Acústico Virtual eran: Óscar Casanova González, Carlos Merino Gracia, Miguel Ángel Torres Gil y Guillermo Herrera en calidad de ingenieros y Enrique Burunat Gutiérrez, Cristián Modroño Pascual y Antonio Francisco Rodríguez Hernández en calidad de investigadores.

3.8. DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO, EQUIPOS Y METODOLOGÍA UTILIZADOS PARA LA GRABACIÓN.

Las grabaciones se realizaron en una sala diseñada y construida para finalidades similares (la cámara semianecoica), y por lo tanto estaba aislada y acondicionada acústicamente. Tenía forma de paralelepípedo rectangular y dimensiones de 7,7 m (profundidad) por 3,8 m (ancho) y por 3,9 m (altura).

Sobre un suelo flotante, las paredes estaban constituidas por tabiques de lana de roca cubierta por placas perforadas de acero galvanizado, que tenían como función reducir el tiempo de reverberación a valores por debajo de los 100ms. El aislamiento acústico era de 35 dBSPA.

El uso de esta cámara venía dado por la necesidad de registrar las mediciones con la menor reflexión posible del sonido.

El sistema de grabación de audio empleado estaba compuesto por los siguientes elementos, en orden secuencial de intervención:

Micrófono miniatura Sennheiser MKE-2-60, con 38 dB SPL (CCIR 468-3) de ruido eléctrico equivalente y sensibilidad 10 mV/Pa. Se acompañaba de un módulo alimentador adaptador Sennheiser K6P.

Preamplificador estéreo de micrófono RDL RU-MP2, con respuesta en frecuencia de 25hz a 20khz, +/- 0,5 dB; ganancia de 45-65 dB, y ruido menor de -75dB por debajo de +4dBu a la salida. Alimentación: 24-33 Vdc @ 50mA, ref. a tierra.

Placa de audio profesional DAL CardDeluxe, con 2 entradas y dos salidas analógicas, por medio de canales diferenciales, con resolución entre 8 y 24 bits, respuesta en frecuencia de +/- 0,05 dB entre 20-20khz, frecuencias de muestreo de audio estándares entre 8 y 96 kmuestras/s, nivel de señal +/-10 dBu seleccionable por jumper, ruido de -110dBFS (entradas) y de -114BFS (salidas), ruido + distorsión de -104 dBFS a 1 khz (entradas) y de -100dBFS a 1 KHz (salidas).

El método consistió en realizar la grabación estando el clarinete bajo ubicado a 3 metros de la pared posterior y a 4,7 metros de la pared frontal del eje mayor de la sala, y orientado en esa misma dirección. El micrófono de grabación se colocó orientado ortogonalmente hacia el eje vertical del instrumento y a una distancia de 100 cm y a una altura de 100 cm respecto al mismo. Ante la reproducción de un tono por parte del instrumento a la mayor intensidad posible, se ajustó la ganancia del micrófono de modo que se pudiera captar el máximo de intensidad del sonido sin que se produjera saturación en la señal grabada. La señal fue muestreada a una frecuencia de 96 KHz y 24 bits por muestra, y se generaron los diferentes archivos de audio en formato .wav mediante el programa editor de sonidos *Sony Sound Forge v 7.0*.

La grabación se hizo en una sola sesión. Previamente se había decidido que, por razones de comodidad y economía de tiempo, D. Vicente Ferrer iría produciendo los sonidos que se iban a registrar en un solo archivo de audio. Para evitar malentendidos, vamos a aclarar que la escala que pudo tocarse con el clarinete bajo comprendió 63 notas (cinco octavas más una segunda mayor) pero, teniendo en cuenta que para ciertas notas hay varias digitaciones posibles, los sonidos obtenidos superan con mucho las notas que componen la escala de notas susceptible de emitirse con el clarinete bajo, llegando estos a los 285.

Cada sonido iría precedido de la voz del intérprete anunciando su número correspondiente y entre cada anuncio y sonido se colocaría una marca en el archivo general, lo que nos permitiría más tarde separar cada marca creando un archivo de audio para cada sonido. Cada uno de estos archivos sería nombrado con el número de sonido grabado en él. Esta opción dio como resultado 285 archivos nombrados cada uno con el número del sonido que contenía, pero evitó tener que buscar cada sonido en el archivo general.

Tenemos que explicar algo antes de escuchar los archivos de sonido: Vicente, nuestro intérprete, antes de emitir cada sonido nombraba, como hemos dicho, el número que le correspondía desde el 1. Por un error en la partitura, el número 4 estaba repetido, así que tendríamos que haber renombrado los siguientes archivos hasta el 286. Para

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

evitar esta pérdida de tiempo en plena grabación, decidimos subsanar la discrepancia por el lado más corto, de manera que bajamos la numeración hasta el 0. Así, los números que Vicente nombra hasta el primer 4, se corresponden con los archivos 0, 1, 2 y 3. El siguiente 4 que nombra Vicente y todos lo demás números de ahí hasta el final, ya se corresponden con los nombres del archivo. Veámoslo en forma de cuadro:

voz en el archivo de sonido	nombre del archivo
1	0
2	1
3	2
4	3
4	4
a partir de aquí coinciden todos	

3.9. LAS GRÁFICAS

Una vez grabados los sonidos, utilizamos el programa editor de sonido WaveLab de Steinberg para reproducirlos. Durante la reproducción se le podían aplicar a éstos varias funciones de análisis de sonido. Las que usamos nosotros son, por un lado, la propia que propone el programa al abrirlo –el oscilograma- y el analizador de espectro (FFT) que nos dio una gráfica a la que llamamos espectrograma.

3.9.1. EL OSCIOGRAMA

Al abrir el programa, este ilustra el oscilograma del sonido producido. El oscilograma se representa sobre dos ejes, en los que el horizontal representa el tiempo y el vertical los valores de presión o amplitud que toma el aire en un punto (no el movimiento real de las partículas de aire). Lo que hicimos fue ampliar la gráfica hasta conseguir una imagen inequívoca de uno de los ciclos¹³⁷ que componen el oscilograma

En este punto hubo que decidir hasta qué tamaño había que ampliar la gráfica. La primera posibilidad era que se viese el ciclo lo más grande posible y la segunda que la gráfica mantuviese siempre las mismas dimensiones. Teniendo en cuenta que cuanto más agudo era el sonido (esto es, a mayor frecuencia), los ciclos iban a ser más estrechos (o sea, había más en la misma unidad de tiempo), con la primera posibilidad el ciclo de una nota más aguda se podría ver mejor, pero a cambio se perdía la relación entre el tamaño del ciclo de una nota grave y el de una aguda. La segunda posibilidad, como se deduce de lo anterior, nos daba la oportunidad de comparar las longitudes de onda y por eso fue la opción elegida de cara a formar parte del mapa acústico.

Para que quedase lo más claro posible cuál era la longitud de onda de un solo vistazo, sombreamos el tramo con un tono más oscuro (ver imagen 178). A la imagen obtenida se le hacía una captura de pantalla y se editaba en el programa Paint del que hemos hablado, recortando las partes innecesarias y se añadía a la ficha correspondiente.

¹³⁷ Un ciclo es una repetición temporal de un fenómeno. En nuestro caso lo aplicamos a la forma que toma la variación de la presión o amplitud de la onda hasta que se repite exactamente.

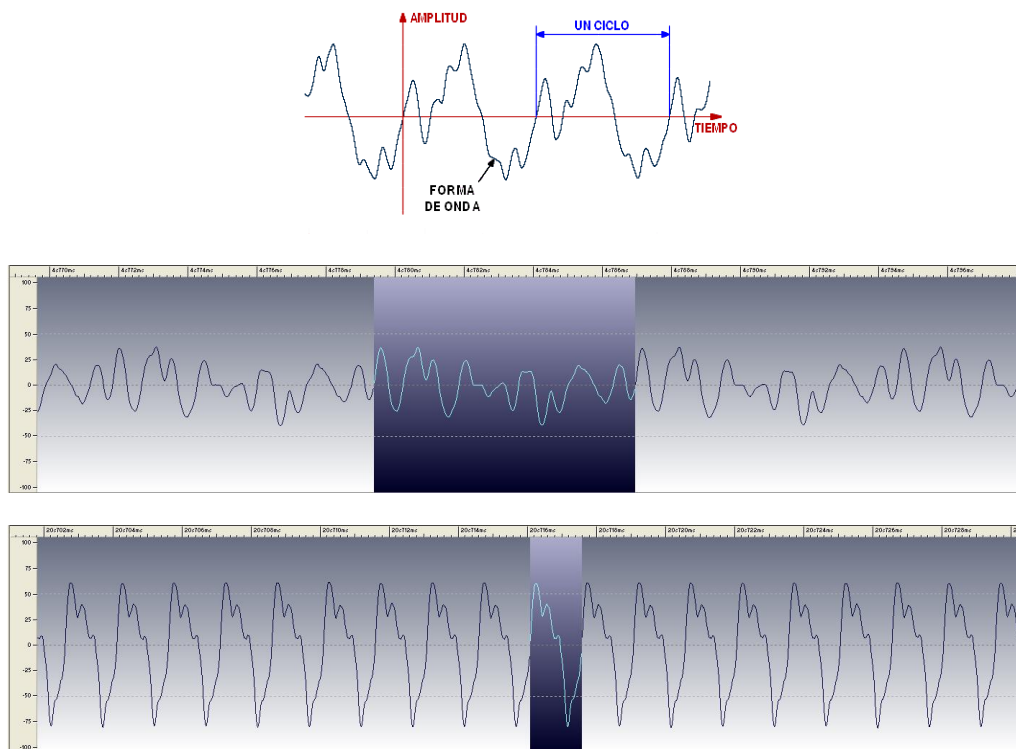


Imagen 178. Arriba: gráfica para explicar la teoría. Centro: una de nuestras gráficas representando un sonido grave. Abajo: una de nuestras gráficas representando un sonido agudo. La zona sombreada señala la longitud de onda.

La complejidad de la forma de la onda se debe a que esta está compuesta por la suma de varias ondas senoidales de diferente frecuencia. En previsión de que la forma de onda no coincida exactamente con el oscilograma por las limitaciones que este pudiera tener debidas al propio programa informático, es por lo que le damos el nombre de oscilograma y no forma de onda. La onda de frecuencia más grave es el sonido fundamental y, las restantes, los armónicos (ver imagen 179).

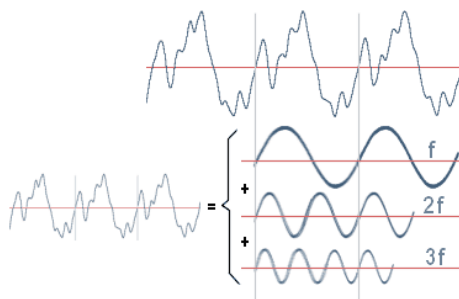


Imagen 179. La suma del sonido fundamental f más los armónicos $2f$ (2º armónico) y $3f$ (3er armónico) da como resultado la onda compleja.

3.9.2. EL ESPECTROGRAMA

Es una gráfica en la que, en el eje horizontal se hace referencia a la frecuencia de los sonidos medida en hertzios y en el eje vertical se hace referencia a su intensidad medida en decibelios. Es el resultado de aplicar a la muestra de audio la función FFT de la que hemos hablado más arriba, por la que en el eje horizontal aparece el dominio de la frecuencia en lugar del dominio del tiempo, como ocurría en la gráfica del oscilograma. Los picos que se observan en las gráficas indican la frecuencia de los armónicos y su intensidad en un momento concreto. Para captar la gráfica había que reproducir el archivo de audio usando el programa WaveLab de Steinberg. En la barra de tareas del programa podíamos encontrar la pestaña *Analysis* y al abrir el desplegable encontramos la función *Spectrum Analyser* (FFT). Al pulsar esta, se abre una gráfica con las coordenadas de intensidad y frecuencia dispuestas de modo vertical y horizontal respectivamente. Al contrario que la gráfica del oscilograma, esta gráfica permanecerá vacía en tanto en cuanto no se esté reproduciendo ningún sonido, ya que no muestra tiempo y sólo capta el momento concreto. En la barra de herramientas que posee la gráfica encontramos dos herramientas (valga la redundancia) fundamentales para nuestro estudio. Por un lado, un icono representando una cámara fotográfica que hace precisamente esa función al pulsarlo: captar un instante mientras está sonando una nota. Por otro lado, un cuadro que nos indica, entre otras cosas, la intensidad y la frecuencia en el punto de la gráfica en el que coloquemos el cursor.

La escala del eje horizontal de la gráfica del espectrograma llegaba hasta los 20008 Hz, límite de la audibilidad humana. Esto hacía que se representasen en la gráfica los armónicos más agudos que el oído podía registrar.

Con las herramientas del analizador de espectro se podían cambiar los parámetros tanto del análisis como del aspecto con el que se mostraban los resultados en la pantalla. La ruta para acceder es la siguiente: con el programa WaveLab abierto, pulsar la pestaña *Analysis* en la barra de herramientas, al abrirse el desplegable pulsar *Spectrum Analyser* para abrir la gráfica y en la barra de herramientas de la gráfica pulsar el icono con forma de cabeza de llave inglesa que abre un cuadro con dos pestañas en

las que se pueden decidir los parámetros con los que se quiere trabajar. A continuación mostramos los parámetros con los que trabajamos para obtener las gráficas. Dejamos las palabras sin traducir porque es como se encontrarán al abrir el cuadro.

SPECTRUM ANALYSIS SETTINGS

PROCESS

Analysis block size: 32768

Frequency resolution:

- 0.7 Hz (at 22050 sample rate)
- 1.3 Hz (at 44100 sample rate)
- 2.9 Hz (at 96000 sample rate)

Latency:

- 1 s 486 ms (at 22050 sample rate)
- 743 ms (at 44100 sample rate)
- 341 ms (at 96000 sample rate)

Analysis overlapping: 50 %

Time resolution:

- 743 ms (at 22050 sample rate)
- 372 ms (at 44100 sample rate)
- 171 ms (at 96000 sample rate)

Smoothing window: Gaussian

Alpha parameter: 5

DISPLAY

Frequency ruler:

from 0 Hz (might be increased according to the analysis block size) to 20008 Hz (might be reduced according to the sample rate)

Logarithmic scale (each octave is equally spaced) activado

Level ruler:

From 0 dB to -144 dB

Normalize display to 0 dB (when not real-time mode) no activado

Optimize scale (when not real-time mode) no activado

Display type:

Bargraph

Peak hold time: 2 s

Colors:

Fondo blanco

Línea negra

3.10. PROCESO DE OBTENCIÓN DE DATOS

El Oscilograma

Una vez abierto el programa WaveLab se importaba un archivo de audio. La primera imagen es la del sonido en toda su duración (ver imagen 180)

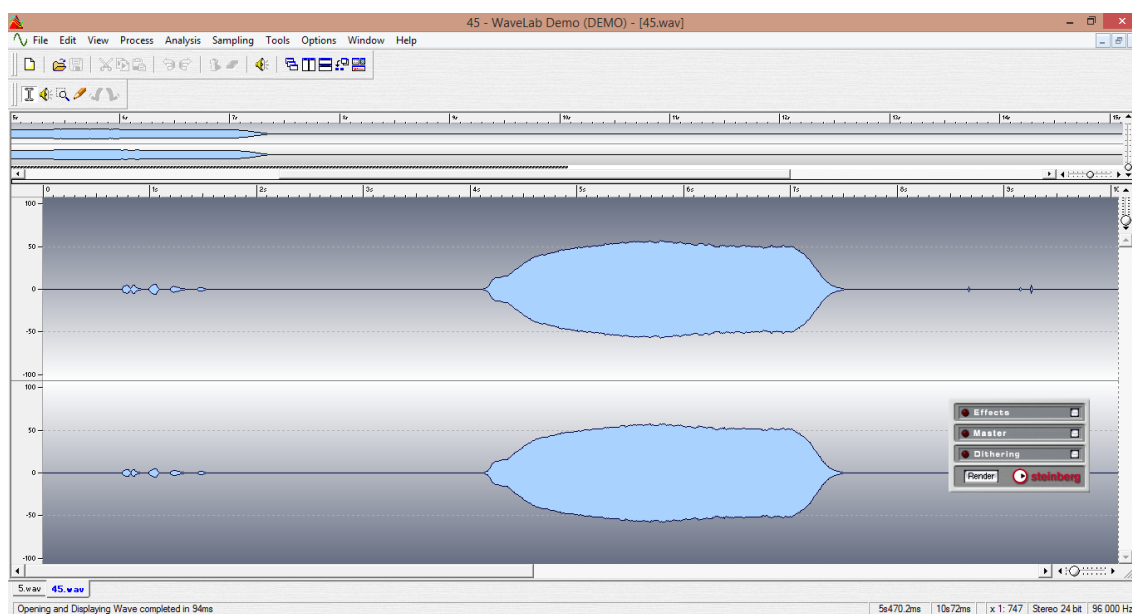


Imagen 180. Oscilograma de toda la duración del sonido.

Para captar el oscilograma había que hacer funcionar el *zoom* hasta lograr el tamaño adecuado, en nuestro caso, este era el que permitiera ver un ciclo lo más grande posible sin que se saliese de la pantalla (ver imagen 181). Como hemos explicado, habíamos decidido que el tamaño de la pantalla iba a ser el mismo para todos los sonidos, sacrificando la resolución de la imagen de los más agudos para poder ver inequívocamente la relación entre la longitud de onda de cada uno de ellos.

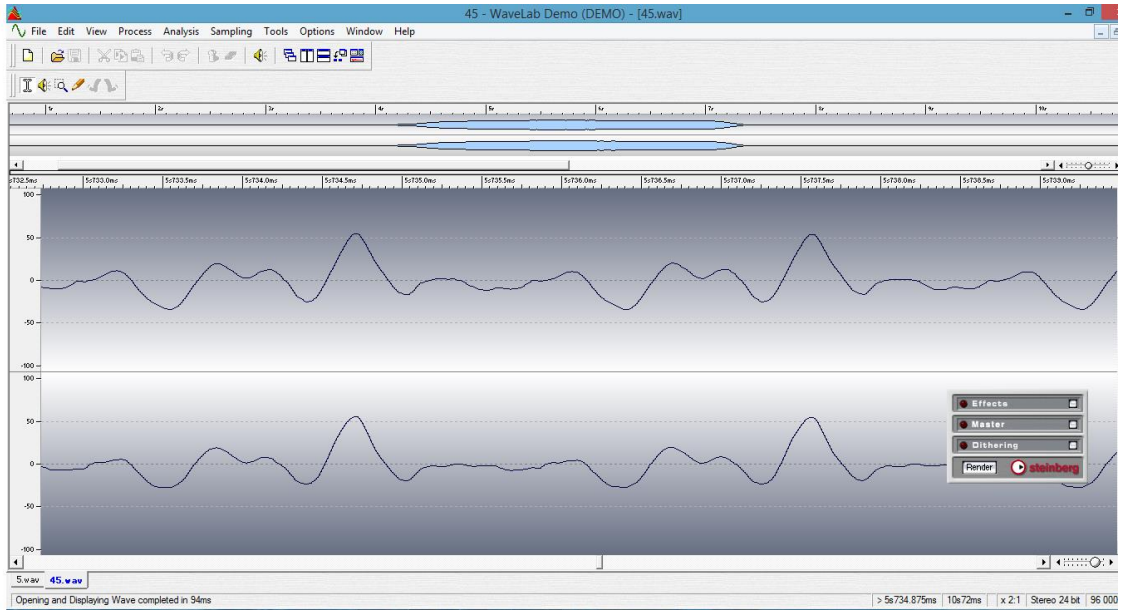


Imagen 181. Oscilograma ampliado con el zoom.

El siguiente paso consistía en sombrear el ciclo para verlo con mayor comodidad (ver imagen 182). Este ciclo coincide con la longitud de onda.

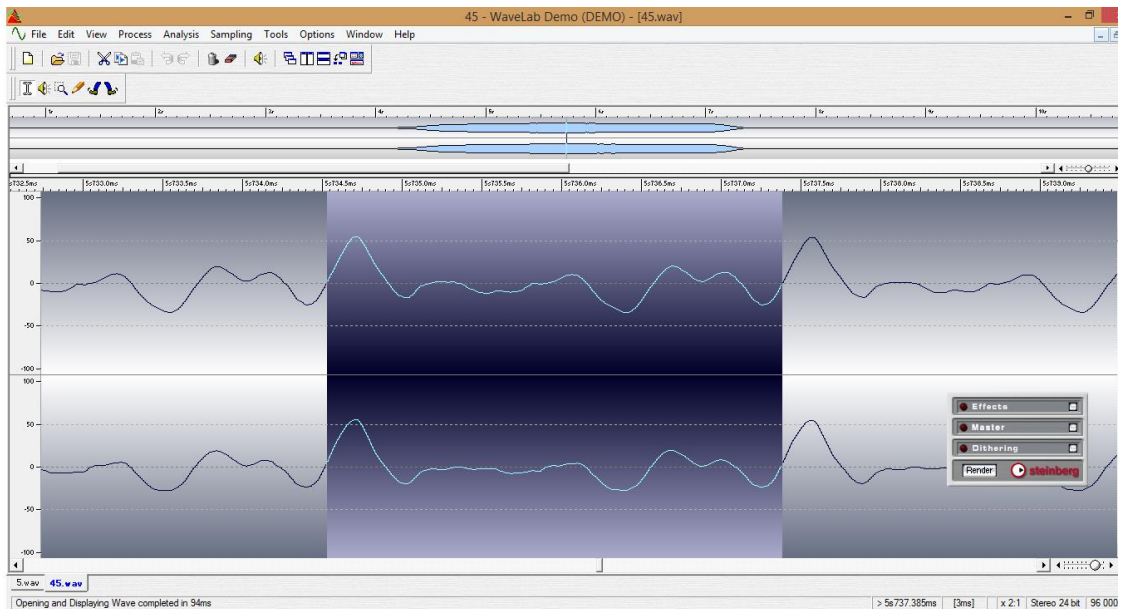


Imagen 182. La zona sombreada delimita la longitud de onda.

En este punto la imagen estaba lista para enviarla al programa Paint, donde recortaríamos y eliminaríamos toda la información que no resultase útil y guardaríamos la imagen definitiva nombrando el archivo con el número de sonido correspondiente e indicando que se trataba del oscilograma, para distinguirlo del espectrograma. Tras modificar la imagen en Paint, esta reducía mucho su tamaño (ver imagen 183), lo cual era muy conveniente de cara a poderla incluir en la ficha.



Imagen 183. Oscilograma definitivo.

El espectrograma

Para obtener el espectrograma, se buscaba el analizador de espectro según la ruta detallada más arriba. Al abrirlo teníamos ante nosotros la gráfica vacía (ver imagen 184).

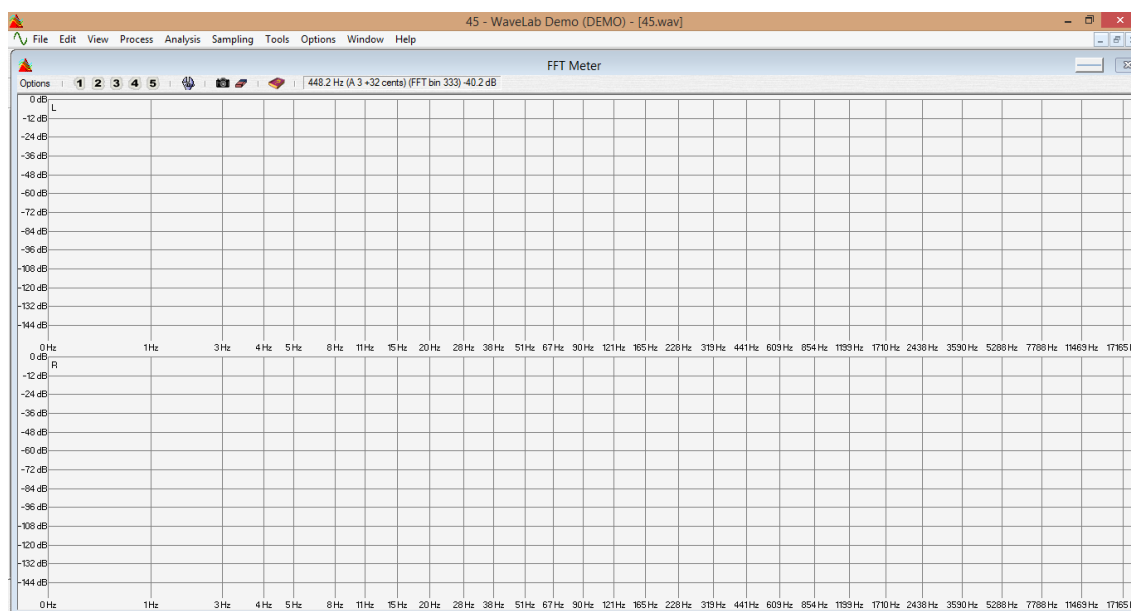


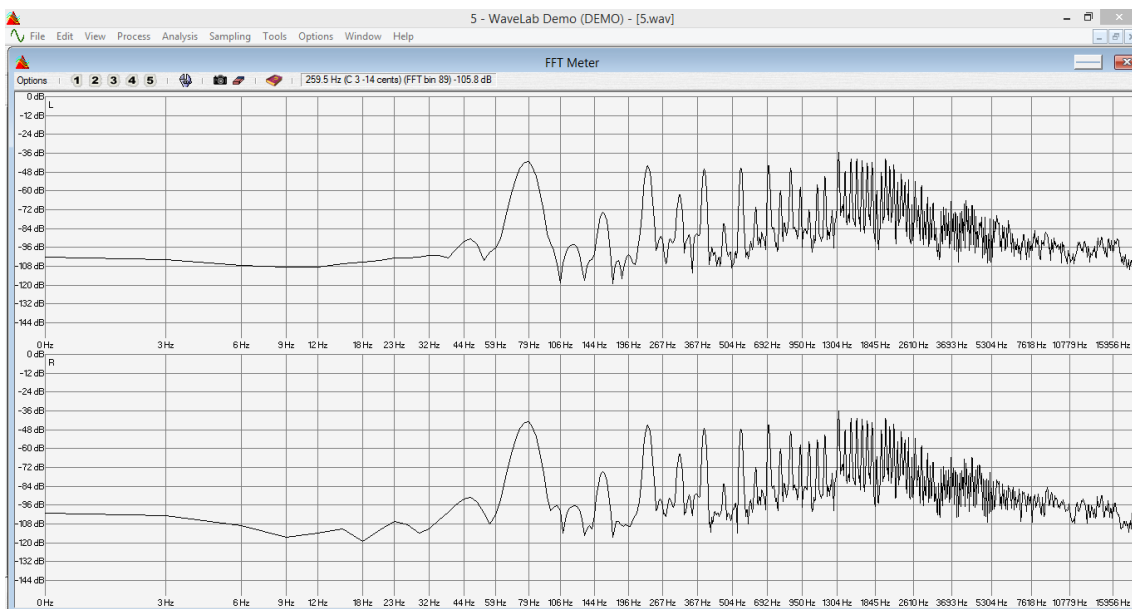
Imagen 184. Coordenadas para el espectrograma.

Se trataba entonces de hacer sonar la muestra de audio y elegir el momento idóneo para captar el sonido en su mejor momento mediante la función *make snapshot* indicada con un icono con forma de cámara fotográfica.

El procedimiento que se siguió consistía en escuchar varias veces el audio para encontrar el momento en el que el sonido presentaba mayor riqueza e intensidad armónica. Mientras, se observaba la gráfica.

Después de varias repeticiones se llega a saber cuál es ese momento y entonces se pulsa el icono, registrándose el espectrograma de ese sonido en ese momento exacto. Quedará entonces una línea quebrada que se mantendrá aunque el sonido siga.

En la imagen 185 podemos ver dos ejemplos de espectrograma pertenecientes a un sonido grave y otro agudo. El primer pico pronunciado es el sonido fundamental. Se observa que, consecuentemente con el hecho de que los sonidos suenan más agudos porque aumenta su frecuencia, este primer pico se sitúa más a la derecha cuanto más agudo es el sonido, es decir, cuanto más alta es su frecuencia.



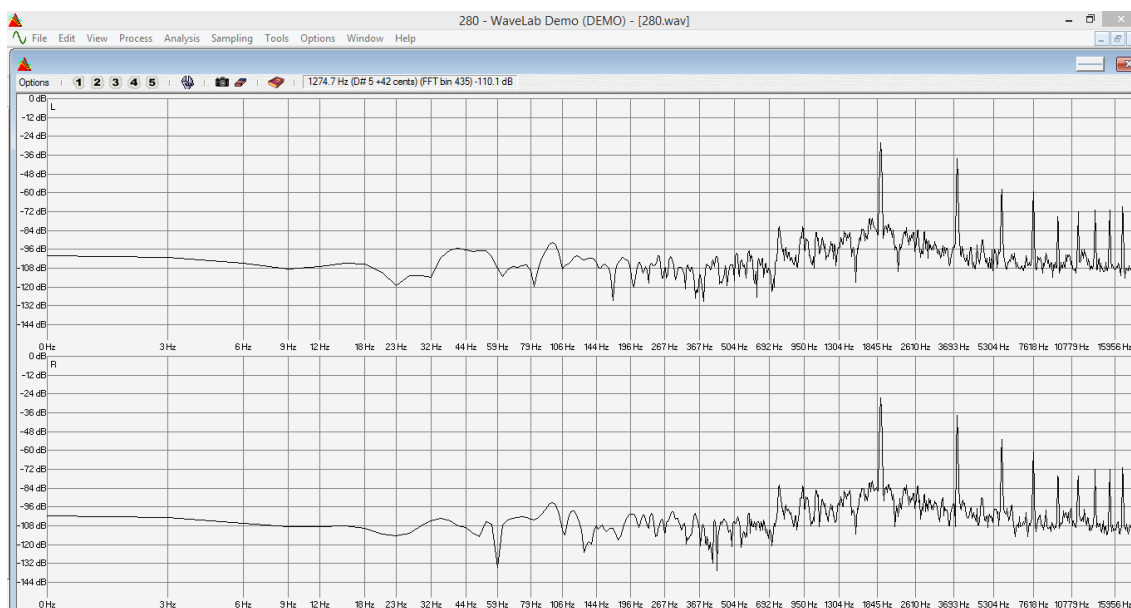


Imagen 185. Arriba: espectrograma de un sonido relativamente grave. Abajo: espectrograma de un sonido más agudo que el anterior.

Llegados a este momento y antes de tratar la imagen con el programa Paint para, como en el caso anterior, reducir su tamaño, debíamos hacer algo sumamente importante: registrar los datos de frecuencia e intensidad de los ocho primeros armónicos (que cubren cuatro octavas). Se trataba de no borrar la captura realizada y con el *zoom* (para conseguir mayor precisión) acercar la imagen hasta el punto de poder poner el cursor en el punto más alto del pico de cada armónico. En ese momento debíamos mirar en un cuadro en la barra de herramientas donde, entre otros datos, figuraban los de la frecuencia (en hertzios) e intensidad (en decibelios) en ese punto. Estos datos se copiaban aparte y se mostraban en una tabla creada con el programa Excel de Microsoft.

A estas tablas con los resultados experimentales se le añadía una tabla más con los resultados que, según la teoría, se deberían haber obtenido en cada armónico partiendo de la misma frecuencia del sonido fundamental¹³⁸ (ver ejemplo en la imagen 186). Así se podría observar el grado de desviación entre la teoría y la realidad.

¹³⁸ Según la teoría, los armónicos deberían ser múltiplos enteros del sonido fundamental.

Valores de intensidad (en decibelios) y frecuencia (en hertzios)								
SONIDO 0	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-49,2	-59,5	-41,9	-59,9	-32,7	-45,9	-39,7	-48,9
Frecuencia experimental	58,7	117,5	177,4	236	295,7	354,2	413,1	471,8
Frecuencia Teórica	58,7	117,4	176,1	234,8	293,5	352,2	410,9	469,6

Imagen 186. Tabla con intensidades y las frecuencias.

Con los datos de frecuencia e intensidad mostrados en la tabla Excel, ya podíamos editar la gráfica en Paint y reducirla hasta un tamaño adecuado a la ficha (ver imagen 187).

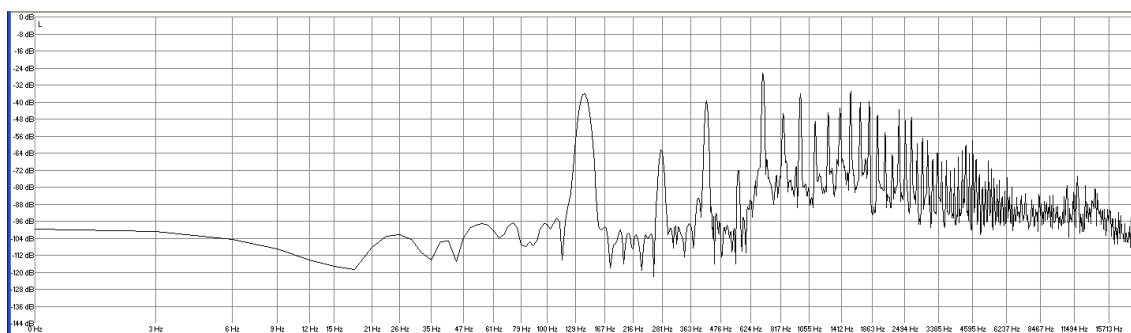

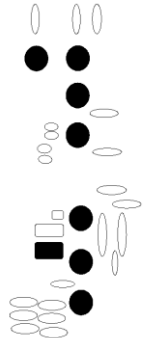
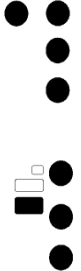


Imagen 187. Espectrograma definitivo.

La ficha con todos los datos quedaba así (ver ejemplo en la imagen 188)¹³⁹.

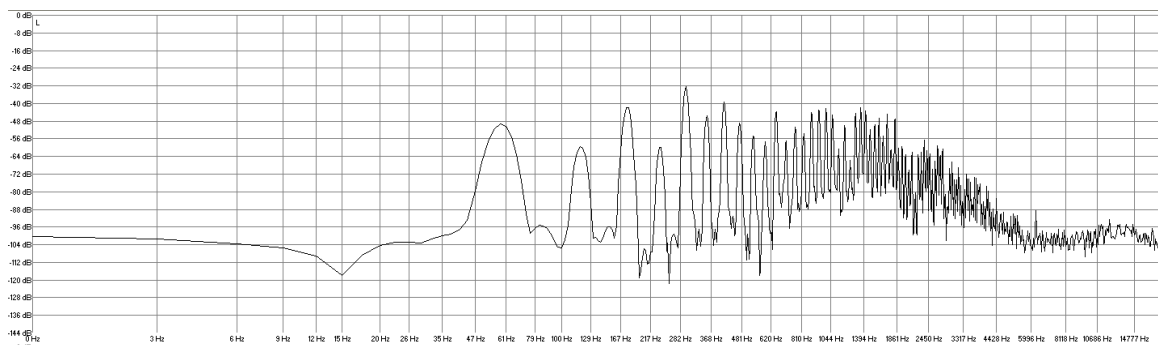
¹³⁹ Dadas las dimensiones de la ficha y para poder verla entera, la mostraremos en la siguiente página.

SONIDO 0	Digitación completa	Digitación simplificada
		

Oscilograma



Gráfica FFT



Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 0	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-49,2	-59,5	-41,9	-59,9	-32,7	-45,9	-39,7	-48,9
Frecuencia experimental	58,7	117,5	177,4	236	295,7	354,2	413,1	471,8
Frecuencia Teórica	58,7	117,4	176,1	234,8	293,5	352,2	410,9	469,6

Imagen 188. Ficha del mapa acústica para un Do grave.

Creemos que se puede dar por concluido este apartado, ya que hemos enumerado las novedades: el mapa acústico del clarinete bajo, la descripción de todos los elementos

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

Mapa Acústico y Optimización Acústica del Clarinete Bajo.

necesarios para crearlo y la creación de herramientas *ex profeso* para la realización de este apartado. Hemos detallado el proceso de obtención de datos para quien quiera acometer un trabajo similar tenga allanado el camino y minimice los errores. Hemos sugerido las utilidades que los datos podrían aportarnos. Además, hemos argumentado nuestra toma de decisiones basándonos en el repaso que hemos hecho de los últimos trabajos sobre estos temas de los que tenemos noticia.

CAPÍTULO 4

4. SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

En este cuarto capítulo, con los datos obtenidos y mostrados en las fichas que conforman el mapa acústico, con lo que hemos aprendido gracias al apartado dedicado a las bocas artificiales y con lo asimilado de las fuentes que tratan tanto de la acústica general como la específica del clarinete, podemos proponer una serie de sugerencias didácticas encaminadas a mejorar la práctica del clarinete o el clarinete bajo basadas en el conocimiento de su funcionamiento mecánico y acústico.

Organizaremos este capítulo mostrando en primer lugar cómo nos puede ayudar el conocimiento del funcionamiento acústico del clarinete bajo en la resolución de los saltos entre diferentes registros en sentido ascendente y, en segundo lugar, expondremos detalladamente un método con el que elaborar una escala lo más afinada posible con las digitaciones que se muestran en el mapa acústico.

Este método nos permitirá descubrir algunas discrepancias entre la frecuencia que se debería obtener de la puesta en práctica de esas digitaciones y la que se obtiene en realidad. Hasta donde podamos, intentaremos descubrir las razones por las que se producen esas discrepancias.

La puesta en marcha de este método producirá un archivo Excel que se añadirá al CD que queremos que acompañe este trabajo y que podrá servir a otras personas interesadas en este tipo de estudios.

El presente capítulo se articulará de la siguiente manera:

- 4.1. LOS SALTOS ENTRE REGISTROS
- 4.2. PRODUCCIÓN DE UNA ESCALA AFINADA
- 4.3. OBTENCIÓN DE LA ESCALA
 - 4.3.1. SISTEMAS DE AFINACIÓN
 - 4.3.2. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CHLADNI
 - 4.3.3. ORGANIZACIÓN POR OCTAVAS
- 4.4. LA ESCALA

4.1.LOS SALTOS ENTRE REGISTROS

Gracias a nuestra experiencia docente, que nos ha permitido observar cómo afrontan y resuelven los alumnos las diferentes dificultades técnicas, y gracias también a que aplicamos esa misma observación a nuestro propio estudio técnico, hemos reparado en un hecho al parecer bastante arraigado en la práctica interpretativa general: la excesiva preocupación del intérprete a la hora de enfrentarse a notas de los registros agudo y sobreagudo, sobre todo cuanto se abordan por saltos. Esta preocupación se puede traducir en excesiva presión de los labios sobre la caña y la boquilla, en falta de presión en el soplo por miedo a que la nota suene demasiado fuerte o en todo tipo de movimientos extraños más o menos involuntarios (se levantan las cejas o los hombros, se estira el cuello, se hacen puntillas con los pies...) que pretenden ayudar a conseguir la nota aguda.

Lo que pretendemos explicar a continuación es cómo se pueden lograr estos saltos sin necesidad de recurrir a semejantes prácticas y para ello creemos que la mejor herramienta es el conocimiento de cómo la acústica nos puede ayudar. Nos ayudaremos de las gráficas FFT que nos mostrarán la composición armónica de cada sonido que vamos a emplear en la explicación. Lo más ilustrativo sería verlo como transparencias para poder superponer las diferentes gráficas. Como esto no es posible sobre el papel (o si lo es, desconocemos el método), aquí se mostrarán unas debajo de otras. En el CD adjunto se pueden encontrar las gráficas y, si se editan en un programa visor de fotografías, quizá se vean más claras las diferencias entre las gráficas al visionarlas alternativamente o, si ello es posible, superponerlas.

Para encuadrar el problema vamos a suponer en principio un salto del registro grave al agudo. Podemos encontrarnos dos tipos de salto: aquel en el que la nota aguda es el tercer armónico de la nota grave¹⁴⁰ (la duodécima) o aquel en el que la nota aguda

¹⁴⁰ Partimos de la convicción de que quien lea este trabajo debe saber que en los instrumentos de la familia del clarinete el primer armónico que se puede obtener a partir del sonido fundamental es el tercer armónico, no se puede conseguir el segundo como sonido válido de la escala. De hecho podremos ver cómo en las gráficas FFT aparecen armónicos pares pero, a diferencia de otros instrumentos, es imposible hacerlos sonar con la digitación sugerida.

no forma parte de su serie armónica. La diferencia estribará en que en el primer caso la nota aguda sólo necesitará la apertura de la llave de registro y mantener el resto de la digitación inalterada para cambiar a la nota aguda y en el segundo caso sí habría de cambiarse la digitación para obtener la nota aguda. De hecho, en el primer caso y con un poco de habilidad, se podría conseguir hacer sonar la duodécima sin necesidad de abrir la mencionada llave de registro, jugando con la presión del aire, la posición de la embocadura y la disposición del tracto vocal. Pero esto ya se sale de los límites de este trabajo.

Lo primero que debemos comprender es que cada nota está formada por el sonido fundamental y sus armónicos (ver imagen 189). No hará falta aquí exponer toda la teoría de los armónicos, la cual está explicada suficientemente en cualquier estudio serio de acústica musical.

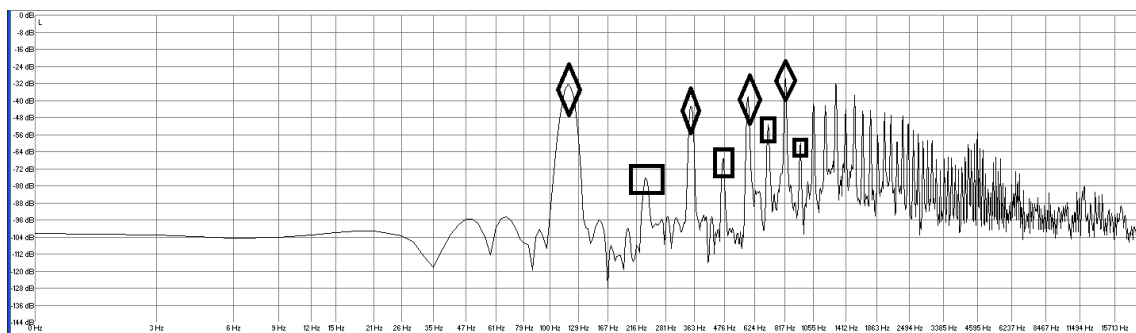


Imagen 189. Modelo de gráfica FFT mostrando el contenido armónico de un sonido.

En esta gráfica, la escala de la izquierda indica la intensidad de la nota medida en decibelios (dB) y la escala inferior la frecuencia medida en hertzios (Hz). Podemos observar una serie de picos altos, que son los armónicos, y unos picos y curvas más pequeños debidos a ruidos procedentes de la caña y el siseo del aire¹⁴¹. Nuestro interés se centrará en los armónicos, al primero de los cuales llamaremos fundamental. La fundamental y los armónicos impares se han señalado con rombos y los pares con rectángulos. Lo interesante del caso es que, si queremos saltar a la duodécima, como

¹⁴¹ En una gráfica optimizada sólo saldrían los picos correspondientes a los armónicos, pero esta nos parece que muestra el sonido de manera más real.

hemos propuesto anteriormente, esta nota se encuentra como tercer armónico del sonido fundamental, es decir forma parte de su serie armónica.

Veamos ahora las gráficas de un Do¹⁴² (ver imagen 190 para la nota y su digitación y la imagen 191 para su espectrograma)

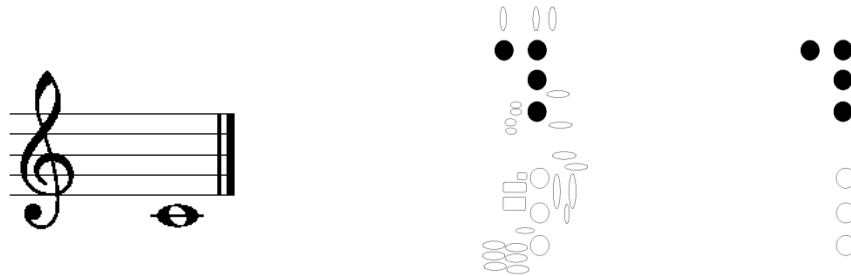


Imagen 190. El Do con el diagrama de su digitación completa (mostrada con todas la llaves) y simplificada (mostrando lo mínimo para comprenderla).

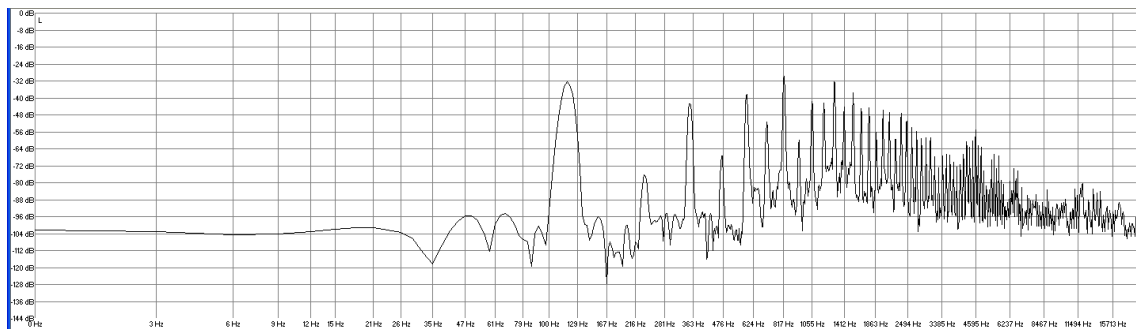


Imagen 191. Gráfica FFT del Do

Y comparémoslas con las de un Sol¹⁴³ (ver imagen 192 para la nota y su digitación y la imagen 193 para su espectrograma) a distancia de duodécima del anterior:

¹⁴² Los datos completos para esta nota están en la Ficha del sonido 14 en el mapa acústico.

¹⁴³ Los datos completos para esta nota están en la Ficha del sonido 45 en el mapa acústico.

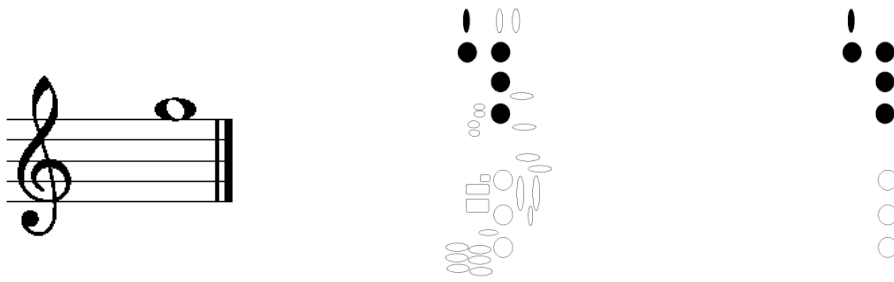


Imagen 192. Sol con el diagrama de su digitación mostrada de manera completa y simplificada

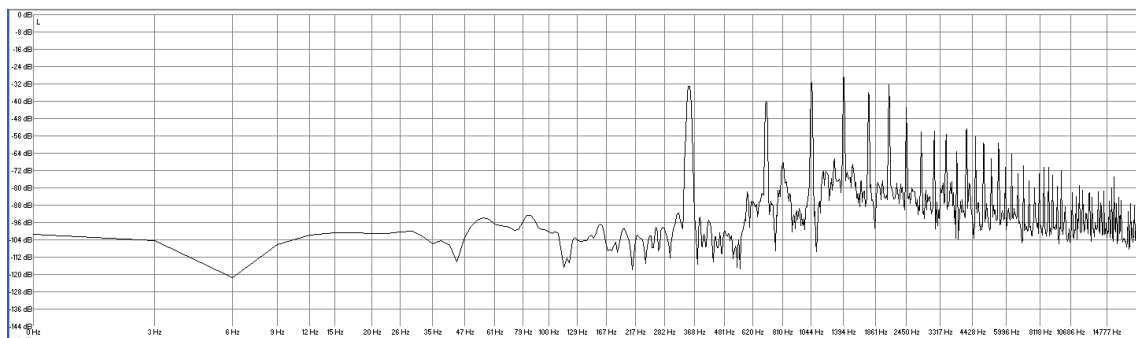


Imagen 193. Gráfica FFT del Sol

Podemos ver cómo las digitaciones de estas dos notas son iguales salvo por la llave de registro accionada con el pulgar izquierdo para obtener el Sol. Ahora podemos observar en la gráfica FFT del Sol cómo los armónicos por debajo del Sol desaparecen. Aunque como dijimos, el Sol se puede hacer sonar sin el concurso de esta, abrir la llave de registro garantiza que el Do no pueda sonar en absoluto, y este es el punto al que queríamos llegar: el salto de duodécima no debe generar mayor esfuerzo que el necesario para accionar la llave con el dedo pulgar de la mano izquierda, puesto que la nota saldrá fácilmente. De hecho, a nuestro juicio, la mayor parte de los fallos al saltar de registro se producen, como hemos dicho, al hacer una serie de esfuerzos innecesarios que entorpecen este salto hacia el segundo registro.

Debemos tener en cuenta que si el aire es esencial en la práctica de nuestro instrumento, no lo es menos la función de la caña (en conjunción con la boquilla). Nos

viene a la mente una comparación que podría ilustrar la importancia de las dos cosas: el aire y la caña serían al clarinete lo que la gasolina y el motor a un coche. Si bien el aire/gasolina son necesarios para hacer funcionar nuestro instrumento/coche, la forma en la que funcione nuestra caña/motor determinará la calidad general de funcionamiento. Viene esto porque es habitual encontrar alumnos con una preocupación bastante grande por el aire y la presión de soplado, pero que después descuidan la atención que requiere la caña para funcionar correctamente, lo que acaba produciendo, para compensar, toda esa serie de esfuerzos extraños e innecesarios de los que hemos hablado anteriormente. En no pocas ocasiones la realización de los saltos entre registros es la causa de ese descuido con la caña, al estar más pendiente de la digitación pertinente que del correcto funcionamiento de aquella.

Numerosos métodos para clarinete incluyen ejercicios para practicar estos saltos, con lo cual no hará falta transcribirlos aquí, pero la cuestión es que, si no se tienen en cuenta estos aspectos, al practicarlos podríamos incluir esfuerzos innecesarios en su realización, adoptar estos como algo consustancial al salto y terminar por hacer de esta mala práctica algo intuitivo e inconsciente.

En el caso de que el salto no se haga a la duodécima, la complicación tiene que ver con la coordinación de los dedos al tener que cambiar la digitación de la nota a la que llegamos, pues no será tan sencillo como abrir la llave de registro sin más. El cambio de digitación se debe a que la nota aguda será un armónico que formará parte de la serie armónica de otra nota fundamental con otra digitación. Pero, como hemos dicho, aquí lo que se exige es coordinación en el cambio de digitación y este cambio no tiene por qué llevar aparejados los esfuerzos innecesarios de los que hemos venido hablando.

Otra aplicación didáctica encaminada a facilitar la práctica del clarinete y el clarinete bajo será comprender que, al tener el registro fundamental del instrumento más de una octava, el registro sobreagudo se puede obtener tanto a partir del quinto armónico de algunos sonidos fundamentales como a partir del tercero de otros igualmente fundamentales. Debido a que no se pueden usar armónicos pares en la constitución de su escala, el registro fundamental del clarinete soprano comprende una

Los Materiales de Construcción de los Clarinetes.

duodécima menor y no una octava¹⁴⁴, al necesitar cubrir con notas fundamentales el intervalo entre los dos registros. En consecuencia, nos encontramos con que antes de pasar al segundo registro hay notas que se repiten a la octava permaneciendo, sin embargo, en el registro fundamental y, por lo tanto, son susceptibles de crear su propia serie armónica a partir de su digitación particular.

En el caso del clarinete bajo, el registro fundamental todavía es más amplio, pero no porque se puedan obtener notas más agudas en este registro, sino porque el tubo se alarga y se consiguen notas más graves, llegando actualmente al Mib o al Do, según modelos. De esta manera, podemos llegar a tener un registro fundamental de dos octavas (usando el Do que se describe en la nota al pie), algo excepcional en los instrumentos de viento-madera.

Como en el caso anterior en el que se saltaba al registro agudo, podemos decir aquí que lo mismo que se ha explicado antes, sirve para saltar hacia la nota del siguiente registro, el sobreagudo, con la salvedad de que el salto (entendiendo que se salta al siguiente armónico de la nota fundamental) será de sexta y no de duodécima. En el caso de las notas que estamos usando de ejemplo, el Sol pasaría al Mi siguiente, que sería el quinto armónico del Do y no el tercero del Sol (recordemos que el clarinete no puede usar los armónicos pares como notas reales de la escala, al menos en teoría).

Para ello, si usáramos la digitación básica del Do, deberíamos aplicar la misma teoría de antes, es decir, abrir un agujero de registro. Pero como este ya está abierto gracias a la llave 12, podemos abrir el pequeño agujero concéntrico que se halla en el plato que acciona el dedo índice de la mano izquierda (más la llave 4/D, que se acciona para mejorar la afinación de esa nota la cual, sin su ayuda quedaría algo baja) (ver imagen 194). Esto facilitará la consecución de estos sonidos al garantizar que no sonará ninguna de las notas de los registros anteriores basadas en la digitación del Do. La teoría nos dice que, cuanto más alto sea el armónico de una fundamental que se use para conseguir las notas más agudas, más baja queda la afinación de estas.

¹⁴⁴ Se puede llegar a obtener un tono más añadiendo a la digitación básica del Sib las llaves 10bis y 11, pensadas en principio para trinar, pero que producirían un Do, aunque de poca calidad.

Pero hablábamos más arriba de conseguir ese mismo Mi con la digitación del La. Es decir, que el Mi¹⁴⁵ que obtuvimos como quinto armónico del Do¹⁴⁶ (ver imagen 194), también se podría conseguir como tercer armónico del La. Podemos observar cómo, de hecho, las dos digitaciones propuestas para el La (ver imagen 195) no sufren modificación alguna para conseguir el Mi. Ahora bien, sin ayuda de ninguna llave de registro, la obtención del Mi desde el La en *legato* es muy complicada y se debe acudir a modificaciones en la embocadura y el tracto vocal para conseguirlo.

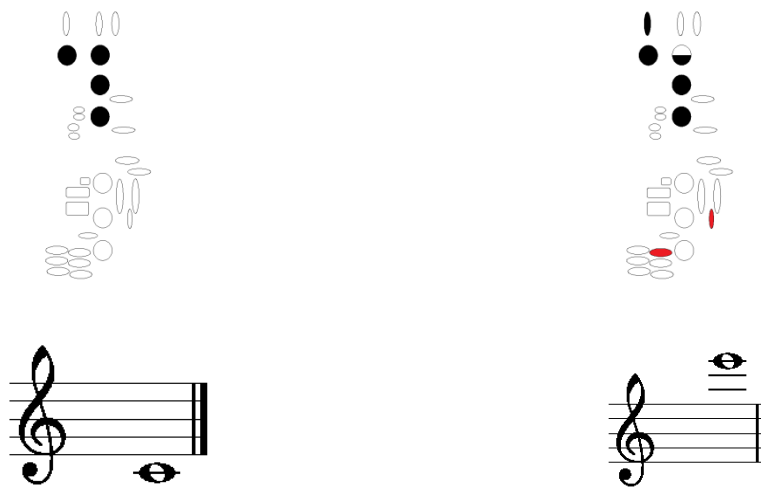


Imagen 194. A la izquierda, la digitación del Do. A la derecha el Mi como quinto armónico del Do. Basada en la misma digitación, para el Mi se abren algunos agujeros para mejorar la afinación y la respuesta, como si se abriera otra llave de registro.

¹⁴⁵ Los datos completos para esta nota están en las Fichas de los sonidos 84 a 87 en el mapa acústico.

¹⁴⁶ Las modificaciones hechas a la digitación básica del Do son para mejorar la afinación y la respuesta del Mi.

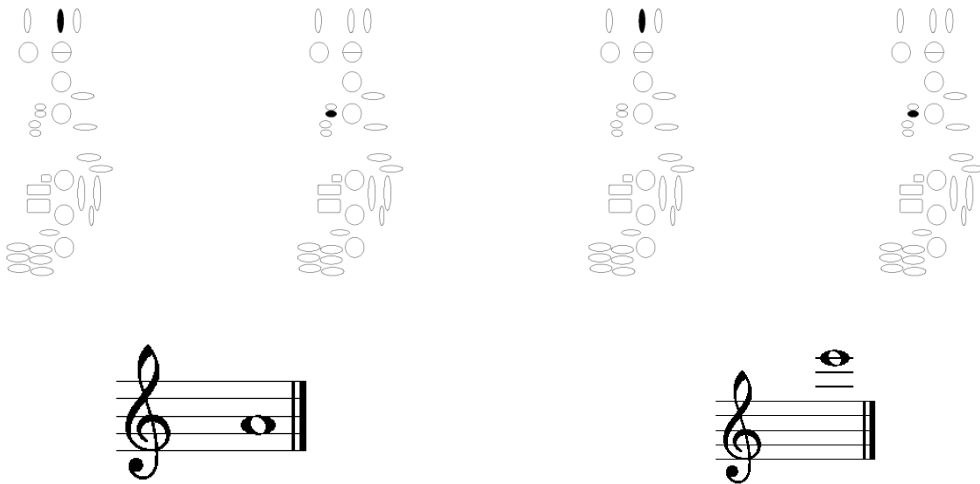


Imagen 195. A la izquierda las dos digitaciones para el La. A la derecha, el Mi como tercer armónico del La. Obsérvese que las digitaciones son exactamente iguales.

A cambio, y como ocurría en el registro fundamental, el registro medio abarca más de una octava y comparte con el sobreagudo sus primeras notas (desde el Do# hasta el Fa#). Este hecho hace que para según qué pasajes podamos elegir unas digitaciones u otras en función de la facilidad de digitación o la mejor afinación, respuesta o timbre que busquemos.

La teoría nos dice que la siguiente nota que deberíamos conseguir con la digitación básica del Do debería ser el séptimo armónico desde esa fundamental, es decir La#/Sib (ver imagen 196), aunque su afinación queda tan baja que funciona mejor como el La inmediatamente anterior.



Imagen 196. Esta es la nota que debería obtenerse como séptimo armónico del Do.

Es momento de explicar este fenómeno: recordemos que la frecuencia de corte del clarinete bajo está alrededor de los 750 Hz (la mitad de la del clarinete soprano, ya que suena una octava más grave). Cuando la frecuencia fundamental sea mayor que la

frecuencia de corte, el sonido viajará más allá del primer agujero tonal, radiando la mayor parte de su energía al exterior. El efecto será más acusado cuantos más agujeros abiertos deje la digitación. Al no reflejarse, la onda estacionaria no podrá constituirse y mantenerse correctamente y la nota tenderá a bajar su afinación. En el ejemplo que nos ocupa, el La# que se debería obtener, está más allá de los 830 Hz y por el fenómeno explicado se queda en alrededor de los 785 Hz, es decir, en la zona del La¹⁴⁷.

Para acabar de complicar las cosas, esa nota La también se puede obtener como cuarto armónico del La del segundo espacio. Lo que viene a matizar la teoría de que no se pueden usar los armónicos pares como notas de la escala. Tenemos, pues, que cuanto más agudo es el registro y hasta cierto punto, más digitaciones posibles nos iremos encontrando. Hay dos notas (ver imagen 197) entre las que la variedad de digitaciones es bastante notable (entre un mínimo de diez y un máximo de veinticinco digitaciones por nota). A partir de ese momento, y hasta la nota más aguda, se van reduciendo las posibilidades.



Imagen 197. Las notas que se encuentran entre las dos de la imagen son las que tienen un mayor número de digitaciones posibles.

Lo que deducimos de estos datos es que esas notas se pueden obtener como armónicos de distintas fundamentales. Cuanto más agudas sean las notas, más fundamentales podrán generarlas, si, como hemos visto, cabe la posibilidad de que algunas notas puedan obtenerse como armónicos pares. La forma del tubo y su tamaño, junto con el hecho de tener una doble llave de registro y el doble agujero en el dedo índice izquierdo, haciendo las veces de otro agujero de registro, hacen que el clarinete bajo pueda tener más digitaciones diferentes para cada nota, pueda obtener una

¹⁴⁷ Estas frecuencias son aproximadas, tomando como base un La=440 Hz (Si para nosotros). En el registro experimental podremos ver cómo cada digitación produce una frecuencia diferente.

extensión mayor y además llegar a notas tan agudas en términos absolutos como el soprano. Es decir, compensaría la octava que los separa.

Ahora bien, así como hasta ahora las notas eran más fáciles de obtener de lo que se podría pensar en un primer momento, el hecho de poderlas producir como armónicos de otras fundamentales hará que se tenga que poner cuidado en que no salga un armónico más bajo del que deseamos. Serán la embocadura y el tracto vocal los que se encarguen de que se produzca con precisión la nota que queramos. A este respecto, tanto D. Vicente Ferrer en comunicación personal el 15 de noviembre de 2006, como Bok y Wendel (1989) o Marchi (1994), coinciden en que para alcanzar las notas más agudas no es necesario aumentar consecuentemente la presión del aire (salvo ya en el último tramo), sino actuar sobre el tracto vocal y la embocadura, como hemos dicho.

En cualquier caso, esperamos que la comprensión del funcionamiento acústico del instrumento pueda ayudar al intérprete a tocar estos saltos más fácilmente y sin recurrir a inútiles esfuerzos. Al menos a nosotros nos ha ayudado.

4.2.PRODUCCIÓN DE UNA ESCALA AFINADA

Con lo explicado en los anteriores capítulos hemos podido ir entendiendo las razones por las que los instrumentos de la familia del clarinete muestran un comportamiento característico en lo que se refiere a su respuesta, timbre y afinación. Los materiales que se utilizan en su construcción, así como el grosor de estos en general o en algún punto concreto, determinarán en mayor o menor medida no sólo el timbre, sino incluso su respuesta a la emisión y el soplo. Más allá de los materiales usados para la estructura, los empleados en las zapatillas también tienen su influencia en el sonido obtenido, ya que están en contacto directo con la columna de aire cuando las llaves están cerradas o pueden interferir con la salida del aire por los agujeros tonales cuando están abiertas.

Pero no hay duda de que lo que más influye en la calidad del sonido es el diseño general del taladro del instrumento, la forma y disposición de los agujeros tonales y la relación de estos entre sí. La columna de aire quedará conformada por la digitación concreta aplicada en cada momento. Para bien o para mal, el clarinete en general puede obtener muchas de sus notas con digitaciones diferentes. Este hecho hace que se pueda elegir, entre las posibles, aquella que responda a nuestras necesidades particulares en cada momento. Algunas veces tendremos que elegir en función de su facilidad de digitación para conseguir mayor fluidez en algún pasaje rápido. En otros casos, el pasaje no exigirá ser interpretado con rapidez y podremos elegir digitaciones que produzcan sonidos más afinados.

Con esta última premisa y refiriéndonos al clarinete bajo, queremos hacer una propuesta de método para hallar aquellas digitaciones que produzcan los sonidos más afinados. Sabemos que cada instrumento es un mundo y que cada intérprete puede hacerlo sonar de manera muy diferente dependiendo de la conformación de su tracto vocal y la presión que aplique a los labios o al propio soplo. Aun así, creemos que este método puede ser útil para determinar las notas más afinadas entre sí del propio instrumento.

El procedimiento habitual seguido por el intérprete es confiar en un afinador electrónico y, si es necesario, ajustar la longitud del tubo hasta conseguir la afinación deseada para la nota de referencia. Sabemos que ese cambio va a afectar a unas notas en mayor medida que a otras, dejando el tubo descompensado. Pero también sabemos que el tubo, antes de recibir esas correcciones, tampoco da una escala perfectamente afinada. El clarinete ha sido puesto a punto en la fábrica teniendo en cuenta sus dimensiones estando montado y sin fisuras entre las partes desmontables. Después, el intérprete podrá seguir confiando en el afinador o en su oído para seguir afinando la escala e ir corrigiendo el resto de las notas con modificaciones en la embocadura o tracto vocal, cambiando algunas digitaciones cuando ello sea posible¹⁴⁸ o abriendo o cerrando agujeros para subir o bajar la afinación, ajustándola.

¹⁴⁸ Nos referimos a digitaciones basadas en fundamentales diferentes.

4.3.OBTENCIÓN DE LA ESCALA

4.3.1. SISTEMAS DE AFINACIÓN

El método que proponemos es matemático y, creemos, sencillo. Para ponerlo en marcha hemos creado un archivo Excel y hemos introducido la fórmula oportuna en las celdas pertinentes.

Pero antes deberíamos explicar cómo hemos llegado a este punto. Sabemos, por un lado, que hay varias maneras de elaborar las escalas, sean estas temperadas o no. Por otra parte, sabemos que la premisa del diseño del clarinete es que este esté afinado según el temperamento igual, tarea muy difícil –si no imposible- de conseguir, por su especial acústica. Además, otras razones de índole comercial, tímbrica y de comodidad por parte del intérprete, como apunta Pastor (2005), hacen que aunque fuese posible fabricar un clarinete con mejor afinación, los cambios en el timbre del instrumento y la técnica necesaria para poder tocarlo no harían de él, a pesar de todo, un producto bien recibido. Las marcas, por tanto, no invierten en una nueva evolución del clarinete, sino que intentan mejoras puntuales en el que ya conocen. El trabajo de afinar los sonidos que produce el clarinete y homogeneizar su timbre queda a cargo del intérprete.

Como hemos comentado, la afinación del clarinete pretende ser temperada, puesto que el gran problema de los sistemas no temperados (Ling-Lun, Terpandro, Pitágoras, Aristógenes¹⁴⁹, de Tono Medio o Temperamento Desigual¹⁵⁰) es que, a menos que se disponga de un instrumento de afinación libre (como el violín, por ejemplo), no sirven para tocar en cualquier tono, porque las relaciones entre sus notas sirven a una tonalidad determinada. En concreto, el problema está en que, por ejemplo, el sonido de un Do# no tendría la misma afinación que el de un Reb, en un sistema no temperado.

¹⁴⁹ También llamada natural, o de los Físicos, o de Zarlino, o de los Armónicos.

¹⁵⁰ Expuesto y aplicado por Francisco de Salinas a principios del siglo XVI.

La afinación temperada viene a solventar este problema al poder sustituir cada par de sonidos por un solo sonido enarmónico y poder así solucionar el problema de las modulaciones, a las que con este sistema se podrá recurrir libremente. Ahora bien, el sistema temperado tampoco es perfecto. Al obligar a los semitonos a ser iguales, estos se alejarán de la afinación que por su naturaleza tendrían en la serie armónica y por lo tanto, salvo el intervalo de octava, todos los demás intervalos estarán desafinados. A cambio conseguiremos que todas las tonalidades estén igual de afinadas, o si se quiere, desafinadas.

No terminan aquí los sistemas de afinación temperada propuestos por los estudiosos, quienes con sus diversos sistemas han dividido la octava en treinta y una (31-EDO), cuarenta y tres (Harry Partch) o cincuenta y tres partes (53-EDO). Otros han tomado como base la duodécima en lugar de la octava para dividirla en partes iguales (Bohlen-Pierce). Puesto que no son sistemas que vayamos a utilizar en nuestro trabajo, no abundaremos aquí en más ejemplos. Para mayor información, podremos consultar las obras de Olazábal (1954/1998) o de Benson (2008).

4.3.2. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CHLADNI

Aunque el sistema de afinación temperado y sus características es más que conocido, lo mencionamos aquí porque el clarinete bajo se diseña pensando en obtener semitonos temperados. El procedimiento de obtención de estos que nosotros utilizaremos será el de Chladni¹⁵¹, descrito en Olazábal (1954/1998) aunque con unas modificaciones que no alterarán los resultados.

Como la relación entre un sonido y el de su octava es que el segundo tiene el doble de frecuencia que el primero (o la mitad, si es su octava grave. Pero lo consideraremos de la primera manera para facilitar la explicación), la escala temperada tendría que dividir esa escala en doce partes iguales, que vendrían a ser los semitonos temperados. Para no tener que tratar con las frecuencias concretas de cada sonido, el procedimiento de Chladni simplifica los cálculos asignando al primer sonido el número 1 y a su octava el número 2, es decir, el doble. Ahora habrá que establecer la razón de la progresión geométrica, es decir, habrá que hallar el número que al multiplicarse doce veces por sí mismo dé como resultado el 2. Para hallarlo hay que calcularlo resolviendo la raíz duodécima de 2 ($\sqrt[12]{2}$). El resultado de esta operación es: 1,05946309435929¹⁵².

Llegados a este punto, el procedimiento de Chladni consiste en asignar un número a cada semitono que designe la distancia -en semitonos- que lo separa del primer sonido. Por ejemplo, si empezamos por el La, el La# sería el nº 1, el Si el nº 2 y así sucesivamente hasta el La a la octava que sería el nº 12. Para averiguar la frecuencia del segundo sonido (cuyo número de orden es 1), se multiplicaría la frecuencia del primer sonido por la razón de la progresión geométrica (1,05946309435929). Si queremos averiguar el siguiente sonido (número de orden 2), la razón geométrica se elevaría a 2 y se multiplicaría por la frecuencia del primer sonido (no del inmediatamente anterior) y así sucesivamente. Dicho de otra manera, el exponente al

151 Ernst Florens Friedrich Chladni (1756-1827). Físico alemán. Considerado como el padre de la acústica moderna.

152 Este es el número aportado por nuestra calculadora. Se puede encontrar este procedimiento operando con números con menos decimales.

que se eleve la razón será el número de orden del sonido cuya frecuencia queremos hallar (ver imagen 198).

SONIDO	Nº ORDEN	OPERACIÓN	RESULTADO
Frecuencia del La=440 Hz			
La# ¹⁵³	1	$440 \times 1,05946309435929$	466,16 Hz
Si	2	$440 \times 1,05946309435929^2$	493,88 Hz
Do	3	$440 \times 1,05946309435929^3$	523,25 Hz
Do#	4	$440 \times 1,05946309435929^4$	554,37 Hz
Re	5	$440 \times 1,05946309435929^5$	587,33 Hz
Re#	6	$440 \times 1,05946309435929^6$	622,25 Hz
Mi	7	$440 \times 1,05946309435929^7$	659,26 Hz
Fa	8	$440 \times 1,05946309435929^8$	698,46 Hz
Fa#	9	$440 \times 1,05946309435929^9$	739,99 Hz
Sol	10	$440 \times 1,05946309435929^{10}$	783,99 Hz
Sol#	11	$440 \times 1,05946309435929^{11}$	830,61 Hz
La	12	$440 \times 1,05946309435929^{12}$	880,00 Hz

Imagen 198. Tabla con las operaciones y los resultados

Debemos aquí explicar cómo hemos llegado a esta tabla. Ahora que queda explicado el procedimiento de Chladni, podemos volver a la página Excel de la que hablamos más arriba. Explicaremos aquí el proceso detalladamente para entenderlo bien, aunque propondremos algún método para facilitararlo:

¹⁵³ Aunque hemos usado estas alteraciones, las notas alteradas se pueden enarmonizar puesto que son temperadas y por lo tanto equivalentes.

- Abierta la hoja de cálculo, elegir una celda donde colocar la frecuencia de referencia. En esta primera celda no se insertará ninguna fórmula (nosotros, a modo de ejemplo hemos puesto 440, la frecuencia del La).
- A continuación, en la siguiente celda (horizontal o vertical, indistintamente) insertaremos una fórmula que consistirá en multiplicar el número de la primera celda por la razón de la progresión geométrica.
- El procedimiento puede ser simplificado marcando el signo = en la segunda celda, seguidamente picar en la primera celda (lo que hará que el valor escrito en la primera celda se copie en la segunda).
- A continuación se pulsa el signo de la multiplicación y se escribe o se pega (si está en otra celda o archivo) la razón de la progresión geométrica.
- Podemos seguir el mismo procedimiento con las siguientes celdas teniendo en cuenta que a partir de aquí, después del signo = deberemos picar en la celda inmediatamente anterior a la que estamos insertando la fórmula y no a la primera celda escrita.
- Un método más sencillo es, una vez escrita la primera fórmula (en la segunda celda), se puede picar en ella, lo que hará que esta se seleccione y muestre el borde grueso. En la esquina inferior derecha del borde hay un pequeño cuadro. Si picamos sobre ese cuadro y arrastramos el cursor hacia la derecha¹⁵⁴, obtendremos automáticamente las frecuencias de cada semitono temperado.

Para facilitar un poco más el trabajo posterior de tratamiento de estos datos, se pueden tener en cuenta un par de cosas más: se puede hacer todo el procedimiento seleccionando las celdas en horizontal y será de utilidad poner en una de las filas o columnas el nombre de las notas y marcar en otro color la nota que tomemos de referencia y sus octavas. La secuencia del proceso la podemos ver en las imágenes 199 a 203.

¹⁵⁴ Por comodidad. Así se nos quedarán ordenados las frecuencias de cada semitono de menor a mayor.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	LA	LA#	SI	DO	DO#	RE	RE#	MI	FA	FA#	SOL	SOL#	LA
3	=A3*1,05946309435929												
4													

Imagen 199. Recorte del archivo Excel. La escala por semitonos. Obsérvese que las octavas están marcadas en rojo para localizarlas mejor cuando coloquemos varias seguidas. Los números encima de la escala indican la distancia en semitonos desde la nota de referencia, en este caso el La. Se ha dejado abierta la celda B3 para mostrar la fórmula inserta.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	LA	LA#	SI	DO	DO#	RE	RE#	MI	FA	FA#	SOL	SOL#	LA
3	440	466,164											
4													

Imagen 200. La flecha indica desde qué punto y en qué sentido hay que arrastrar el cursor para obtener los resultados automáticamente.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	LA	LA#	SI	DO	DO#	RE	RE#	MI	FA	FA#	SOL	SOL#	LA
3	440	466,164	493,883	523,251	554,365	587,33	622,254	659,255	698,456	739,989	783,991	830,609	880
4													

Imagen 201. Los resultados finales

	A	B	C	D
LA			440	
LA#	1		466,164	
SI	2			
DO	3			
DO#	4			
RE	5			
RE#	6			
MI	7			
FA	8			
FA#	9			
SOL	10			
SOL#	11			
LA	12			

Imagen 202. Disposición vertical de la tabla. Puede ser conveniente si después hemos de mostrar los datos en una tabla con esta disposición. La flecha indica desde dónde y en qué sentido hay que arrastrar el cursor para obtener los resultados automáticamente

A	B	C	D
LA		440	
LA#	1	466,164	
SI	2	493,883	
DO	3	523,251	
DO#	4	554,365	
RE	5	587,33	
RE#	6	622,254	
MI	7	659,255	
FA	8	698,456	
FA#	9	739,989	
SOL	10	783,991	
SOL#	11	830,609	
LA	12	880	

Imagen 203. Resultados definitivos.

Para obtener las frecuencias de los semitonos en sentido descendente a partir de la frecuencia de referencia, procederemos de manera parecida, pero teniendo en cuenta varias consideraciones.

- Como el número de orden se designa teniendo en cuenta la distancia en semitonos desde la nota de referencia, ahora el número de orden se contará teniendo en cuenta que la escala se va a ordenar en sentido descendente, así que partiendo del mismo La, la siguiente nota será un Sol# (o Lab si se prefiere, pues son enarmónicos) y tendrá el 1 por número de orden, por estar a distancia de 1 semitono del La. El Sol natural tendrá el nº 2 y así sucesivamente.
- Si queremos que nos quede ordenado de menor a mayor frecuencia, tendremos que elegir una celda que no sea la primera¹⁵⁵ (cuanto más alejada de esta, mayor número de frecuencias podremos obtener, puesto que el límite lo pone la primera columna).
- Como ahora se trata de obtener una frecuencia menor, la operación va a ser dividir la frecuencia de la celda por la razón de la progresión geométrica (1,05946309435929) elevado al número de orden del sonido cuya frecuencia queremos hallar.

¹⁵⁵ De lo contrario las frecuencias se ordenarán de mayor a menor.

- Seleccionaremos una celda y apuntaremos la frecuencia de referencia. Esta celda no albergará ninguna fórmula.
- Seleccionaremos la celda situada inmediatamente a su izquierda e insertaremos la operación marcando =, picaremos en la celda de referencia (se seleccionará automáticamente el valor que esta contenga), seleccionaremos el signo de la división e introduciremos la razón de la progresión geométrica. La operación se realiza automáticamente.
- Si picamos en la celda de la izquierda, se seleccionará mostrando un borde grueso. En la esquina inferior derecha se resalta un pequeño cuadro. Si picamos sobre él y arrastramos el cursor hacia la izquierda obtendremos los valores de frecuencia para cada semitono en orden descendente.

La secuencia completa de este último proceso la podemos ver en las imágenes 204 a 208.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
2	LA	LA#	SI	DO	DO#	RE	RE#	MI	FA	FA#	SOL	SOL#	LA
3												=M3/1,05946309435929	
4													

Imagen 204. La celda M3 muestra la fórmula inserta en ella. Obsérvese que ahora los números de orden van en sentido decreciente o, si se quiere, en orden creciente de derecha a izquierda.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
2	LA	LA#	SI	DO	DO#	RE	RE#	MI	FA	FA#	SOL	SOL#	LA
3												415,305	440
4													

Imagen 205. La flecha indica desde dónde y en qué sentido hay que arrastrar el cursor para obtener los resultados automáticamente.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
2	LA	LA#	SI	DO	DO#	RE	RE#	MI	FA	FA#	SOL	SOL#	LA
3	220	233,082	246,942	261,626	277,183	293,665	311,127	329,628	349,228	369,994	391,995	415,305	440
4													

Imagen 206. Los resultados definitivos.

A	B	C	D
LA		440	
SOL#	1	415,305	
SOL	2		
FA#	3		
FA	4		
MI	5		
RE#	6		
RE	7		
DO#	8		
DO	9		
SI	10		
LA#	11		
LA	12		

Imagen 207. Disposición vertical de la tabla. Puede ser conveniente si después hemos de mostrar los datos en una tabla con esta disposición. La flecha indica desde dónde y en qué sentido hay que arrastrar el cursor para obtener los resultados automáticamente.

A	B	C	D
LA		440	
SOL#	1	415,305	
SOL	2	391,995	
FA#	3	369,994	
FA	4	349,228	
MI	5	329,628	
RE#	6	311,127	
RE	7	293,665	
DO#	8	277,183	
DO	9	261,626	
SI	10	246,942	
LA#	11	233,082	
LA	12	220	

Imagen 208. Los resultados definitivos. Como en el caso de la tabla horizontal, se puede cambiar el sentido de los datos ordenándolos de menor a mayor. Aquí hemos dejado el mayor valor en la parte de arriba de la tabla.

Gracias a todas estas operaciones podremos elaborar una tabla como la que sigue (ver imagen 209).

SONIDO	Nº ORDEN	OPERACIÓN	RESULTADO
Frecuencia del La=440 Hz			
SOL#	1	$440 / 1,05946309435929$	415,30 Hz
SOL	2	$440 / 1,05946309435929^2$	392,00 Hz
FA#	3	$440 / 1,05946309435929^3$	369,99 Hz
FA	4	$440 / 1,05946309435929^4$	349,23 Hz
MI	5	$440 / 1,05946309435929^5$	329,63 Hz
RE#	6	$440 / 1,05946309435929^6$	311,13 Hz
RE	7	$440 / 1,05946309435929^7$	293,66 Hz
DO#	8	$440 / 1,05946309435929^8$	277,18 Hz
DO	9	$440 / 1,05946309435929^9$	261,63 Hz
SI	10	$440 / 1,05946309435929^{10}$	246,94 Hz
LA#	11	$440 / 1,05946309435929^{11}$	233,08 Hz
LA	12	$440 / 1,05946309435929^{12}$	220 Hz

Imagen 209. Tabla con las operaciones y los resultados. Obsérvese que la escala está ordenada en sentido decreciente.

Averiguado el procedimiento de hallar las frecuencias de los semitonos temperados, podemos ahora aplicarlo a nuestro estudio.

Gracias a la grabación de los sonidos de nuestro clarinete bajo y al posterior tratamiento de los datos obtenidos, hemos podido elaborar unas tablas en las que se reflejan las frecuencias -experimentales y teóricas- y las intensidades de cada sonido hasta el octavo armónico. La selección de las tablas en las que se reflejan las frecuencias experimentales se ha mostrado en una tabla general de manera que hemos podido

ordenar los sonidos en orden creciente de la frecuencia¹⁵⁶ del sonido fundamental. Para facilitar el trabajo podremos conservar sólo el número del sonido y la primera frecuencia que aparece (la de la fundamental) y obviar las demás. Puesto que hay notas que se pueden obtener mediante diferentes digitaciones y dado que estas pueden producir diferentes afinaciones para esa misma nota, nuestra propuesta será averiguar qué digitaciones producen los sonidos necesarios para elaborar la escala más afinada.

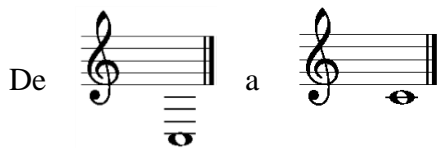
Para hallar estas frecuencias podremos sustituir la frecuencia de referencia del archivo Excel por la que nos interese en cada momento y seguir el procedimiento descrito más arriba. Halladas las frecuencias, habrá que acudir a la tabla de los sonidos ordenados por frecuencia y, con el número correspondiente, averiguar en el mapa acústico qué digitación se requiere para hacerlo sonar. Este estudio se basará en los resultados obtenidos y mostrados en las tablas de nuestro mapa acústico en particular; por lo tanto, no son extrapolables sin más a otros instrumentos, a menos que sus frecuencias de referencia sean las mismas. Lo que sí es extrapolable es el método que vamos a utilizar.

¹⁵⁶ La tabla la podemos encontrar en el Anexo IIIb: *SONIDOS ORDENADOS POR FRECUENCIA Con todos los armónicos hasta el octavo*

4.3.3. ORGANIZACIÓN POR OCTAVAS

Para racionalizar la organización del estudio compararemos, de octava en octava, las frecuencias de los sonidos temperados con los de los sonidos registrados en el mapa acústico, teniendo en cuenta que la frecuencia de referencia va a ser la más grave obtenida por el clarinete bajo utilizado para la grabación. Después podremos comparar los sonidos del primer registro y los del segundo, los cuales repiten las digitaciones del primero añadiendo la llave de registro, salvo en los casos que explicaremos en el punto dedicado a la segunda octava.

1ª OCTAVA



La frecuencia de la nota más grave de nuestro clarinete bajo es Do=58,7 Hz. Vamos a ver qué digitaciones nos van a dar las frecuencias más afinadas respecto de la frecuencia de referencia: Do=58,7 Hz. En este tramo del primer registro, y dado que todos los sonidos son fundamentales, no hay ninguna posibilidad de aprovechar los armónicos para decidir cuál de ellos puede servir de base para el sonido. Aun así, sí que podemos encontrar digitaciones diferentes para algunas notas¹⁵⁷.

En el caso del La, se le añade a la digitación del sonido 9, una llave que atenuará los armónicos superiores dejando la misma afinación pero un timbre más oscuro, por eso en la celda correspondiente figuran los dos números (9 y 10). En el caso del Si las digitaciones son diferentes por cuanto una de ellas se consigue aplicando una digitación de horquilla¹⁵⁸, o digitación cruzada (Pastor, 2005).

La afinación en los dos casos es muy similar, pero elegiremos la del sonido 12 por estar más cerca de la temperada. En la imagen 210 se presenta una tabla en la que se

¹⁵⁷ Las notas La y el Si de esta octava tienen dos digitaciones diferentes cada una.

¹⁵⁸ Es aquella que deja entre al menos dos agujeros tonales cerrados, uno o más abiertos.

pueden observar las discrepancias entre las frecuencias temperadas y las experimentales. En la fila de debajo de la tabla se exponen los números de las digitaciones que producen esas afinaciones.

	DO	DO#	RE	RE#	MI	FA	FA#	SOL	SOL#	LA	LA#	SI	DO
Afinación ¹⁵⁹ Temperada	58,7	62,2	65,9	69,8	74	78,4	83	88	93,2	98,7	104,6	110,8	117,4
Afinación ¹⁶⁰ Experimental	58,7	61,5	66,7	70,1	73,1	78,9	82	88	93,5	98,9	105,1	111,3	117,3
Sonido ¹⁶¹	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9 ó 10 ¹⁶²	11	12	14

Imagen 210. Tabla de la primera octava.

Podemos observar que la nota Sol es la única que coincide perfectamente con la frecuencia temperada. El resto de las frecuencias no siguen un patrón uniforme, en el sentido de quedarse altas o bajas según estén más cerca del Do grave o de su octava, estos es, dependiendo de si se producen más o menos cerca de la disposición cerrada del tubo o de la disposición con los agujeros tonales de la mano derecha abiertos.

Así, la distribución de afinaciones altas o bajas es caótica. En cualquier caso, la diferencia de afinación no llega nunca a ser mayor de 1 Hz respecto de la afinación temperada, lo cual nos dice que esta primera octava tiene sus sonidos muy afinados entre sí. Recordemos que la frecuencia de referencia es la del Do grave.

Si hubiese sido la del La = 440 Hz, la afinación general de esta octava resultaría algo alta, pues para esta referencia el Do debería tener una frecuencia de 58.2 Hz.

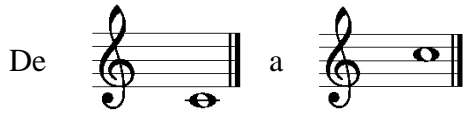
¹⁵⁹ Obtenida gracias al cálculo hecho con Excel.

¹⁶⁰ Obtenida con el clarinete bajo del estudio.

¹⁶¹ N° del Sonido que le corresponde en el mapa acústico.

¹⁶² Las dos digitaciones dan la misma afinación, aunque con diferente timbre.

2ª OCTAVA



En la imagen 211 podemos ver la tabla correspondiente a la 2ª octava.

	DO	DO#	RE	RE#	MI	FA	FA#	SOL	SOL#	LA	LA#	SI	DO
AT ¹⁶³	117,4 ¹⁶⁴	124,4	131,8	139,6	147,9	156,7	166,0	175,9	186,4	197,4	209,2	221,6	234,8
AE ¹⁶⁵	117,3	125,1	131,8	139,4	146,6	155,2	165,5	175,7	186,1	197	208,6	222,3	235,4
S ¹⁶⁶	14	15	16	18	21	22	23	25	26	27	30	32	55

Imagen 211. Tabla de la segunda octava.

Como dijimos más arriba, hay notas en el clarinete y, por extensión, en el clarinete bajo, que están consideradas como pertenecientes al segundo registro y, sin embargo, se pueden conseguir dentro del primer registro a base de acortar mediante digitaciones la longitud del tubo, sin recurrir a los armónicos. Este sería el caso de las notas Si y Do, que se podrían conseguir abriendo más llaves por encima de los agujeros abiertos para el La# o mediante la activación del tercer armónico de las notas Mi y Fa graves gracias al uso de la llave de registro.

Recordemos que esta llave, aunque en este momento podría estar siendo usada para obtener el La#, no estaría funcionando como llave de registro, sino como si fuera un agujero tonal que sube un semitono.

Al no tener el tamaño ni la forma adecuada para ser un agujero tonal, ni estar situado en el lugar correcto para funcionar como tal, el resultado no es un Sib

¹⁶³ AT: Afinación Temperada.

¹⁶⁴ La frecuencia de este Do y la de sus siguientes octavas es la que les corresponde teniendo en cuenta que la frecuencia de referencia es Do=58,7 Hz

¹⁶⁵ AE: Afinación Experimental.

¹⁶⁶ S: n° del Sonido que le corresponde en el mapa acústico.

exactamente sino, más bien, un La de afinación tan alta que nos sirve como un Sib aunque con un timbre muy sordo.

En la tabla anterior podemos ver que el Re es el único sonido que coincide perfectamente con la afinación temperada. Asimismo, las discrepancias entre las afinaciones temperada y experimental, siendo algo mayores que en la anterior octava, no pasan más allá de 1,5 Hz. Si nos fijamos en el Do agudo de la tabla (en rojo en la imagen 211), veremos que se obtiene con una digitación muy alejada de las demás. Expliquémoslo: la digitación de la que se obtiene esa afinación es la propuesta en el mapa acústico para obtener el primer La# por encima del pentagrama.

Si nos fijamos, la digitación es la misma que para el Do del tercer espacio a falta del dedo corazón de la mano izquierda. Puede que la razón¹⁶⁷ de que esta digitación procure un Do en lugar de un La# esté en que el clarinete bajo que se usara en su día para proponer las digitaciones del libro de Bok y Wendel (1989) dejara un agujero tonal abierto al levantar el dedo corazón, provocando efectivamente un La# (como sucedería en un clarinete soprano).

En el clarinete bajo de nuestro estudio, el plato accionado por el dedo corazón de la mano izquierda queda automáticamente cerrado con esa digitación, lo que en la práctica nos daría un Do del tercer espacio. La pequeña discrepancia entre afinaciones (0,7 Hz) puede deberse a la diferente presión del labio entre la interpretación de un sonido y el otro.

Por último, una observación: recordemos que, con las digitaciones pertinentes, estas dos primeras octavas pueden constituir por sí solas el primer registro.

¹⁶⁷ No pasa de ser una conjetura puesto que no sabemos qué clarinete se usó. En cualquier caso, es la explicación más probable.

3ª OCTAVA



En la imagen 212 podemos ver la tabla correspondiente a la 3ª octava.

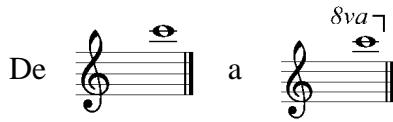
	DO	DO#	RE	RE#	MI	FA	FA#	SOL	SOL#	LA	LA#	SI	DO
AT	234,8	248,8	263,6	279,2	295,8	313,4	332,1	351,8	372,7	394,9	418,4	443,2	469,6
AE	235,4	248,7	263,5	278	293,5	312,2	330,7	350,2	370,4	392,5	418,7	442,2	467,9
S	55	37	38	39	40	41	43	54	46	48	50	56	58

Imagen 212. Tabla de la tercera octava.

Todos estos sonidos se pueden encuadrar en el segundo registro (la excepción sería el Do por los motivos explicados en el punto anterior). En este caso, casi todas las afinaciones experimentales quedan bajas respecto de las temperadas (de hecho, todas quedan bajas excepto las del primer Do y el La#, que quedan altas), y las discrepancias están más acentuadas (hasta 2,4 Hz en el caso del Sol#).

Si observamos el número de digitación del Sol (en rojo en la imagen 212), veremos que se salta la progresión normal de los demás números. Esta digitación corresponde en el mapa acústico a un La#. La razón de esta discordancia está, si damos por buena la del punto anterior con respecto al Do y al La#, en que el clarinete bajo usado para concretar las digitaciones del libro de Bok y Wendel (1989) sí permitía abrir un agujero tonal al abrir el dedo corazón de la mano izquierda, cosa que el clarinete bajo de nuestro estudio no permite, quedando la digitación equivalente a la del Sol (nº 47 del mapa acústico). La discrepancia en la afinación (0,3 Hz) de estas dos digitaciones responderá, pues, a las mismas causas apuntadas en el punto anterior.

4ª OCTAVA



En la imagen 213 podemos ver la tabla correspondiente a la 4ª octava.

	DO	DO#	RE	RE#	MI	FA	FA#	SOL	SOL#	LA	LA#	SI	DO
AT	469,6	497,5	527,1	558,5	591,7	626,8	664,1	703,6	745,4	789,8	836,7	886,5	939,2
AE	467,9	497,4	529,7	559,4	591	626,2	662,2	703,2	746,5	790,6	838,1	887,6	940,7
S	58	64	57	79	87	90	102	103	128	142	135 o 161	178	188

Imagen 213. Tabla de la cuarta octava.

En la tabla se puede observar que la distribución de frecuencias experimentales más altas o más bajas que las temperadas es menos uniforme que en la anterior octava. La mayor discrepancia que encontramos está en el Re (2,6 Hz más alto en la experimental). Podemos observar que para el La# hay dos digitaciones que producen la misma afinación, aunque esta vez las digitaciones son claramente diferentes y no se puede achacar a las razones de los puntos anteriores.

Si nos fijamos en los números de las digitaciones que se emplean, podremos ver cómo la separación entre estos ya empieza a ser más amplia que en las anteriores octavas. Ello se debe a que ahora las posibilidades de producir estos sonidos se multiplican gracias a que se pueden obtener como armónicos de varias fundamentales y nos podemos encontrar con más de diez digitaciones para un mismo sonido. De todas esas digitaciones hemos elegido la que más se acercaba a la afinación temperada y desechado las demás. De ahí los grandes saltos entre números.

Para ilustrar esta multiplicidad de posibilidades, vamos a poner un ejemplo: tomemos el Do que inicia esta cuarta octava. Si observamos las fichas del mapa acústico para ese Do, podremos ver que esta nota se obtiene con ocho digitaciones distintas. La

digitación n° 58 es claramente el tercer armónico de la nota Fa que se escribe en el primer espacio del pentagrama, de hecho es la misma que la del Fa¹⁶⁸, a la que se le aplica la llave de registro. Las digitaciones 59 y 60 a nuestro juicio, están basadas también en el tercer armónico, pero se cierran varios platos, lo cual provoca que suba la frecuencia de la fundamental y al mismo tiempo se atenúe su intensidad. De hecho sube tanto la afinación que está más cerca de ser un Do# que un Do.

La digitación n° 61 es básicamente un Sib (tercer armónico del Mib de la primera línea, aplicándole la llave de registro) al que se le añaden las llaves 7 y 8. Puede que a alguien no familiarizado con el funcionamiento de las llaves del clarinete llegue a confundir la situación de las llaves con la de los agujeros que abren o cierran. En el caso que ahora nos ocupa, debemos aclarar que así como los platos que se ven cerrados en la digitación cierran efectivamente los agujeros tonales que les corresponden y que estos están en la disposición que se muestra en el diagrama, las llaves 7 y 8, al ser pulsadas destapan sus correspondientes agujeros en lugar de cerrarlos y además estos no están situados donde sugiere el diagrama sino, aproximadamente, a la altura de los dedos índice y corazón de la mano izquierda, es decir, más arriba de lo que parecería viendo la digitación. En el tercer capítulo hemos incluido una tabla con la relación de cada dedo y cada llave con el agujero que tapa o destapa, para precisar exactamente cómo queda realmente la disposición del tubo. Volviendo a nuestra digitación n° 61 para el Do, esta no se suele considerar como una digitación de horquilla, puesto que no hay dedos levantados entre otros cerrados y sin embargo sí lo es, si consideramos que al pulsar las llaves 7 y 8 quedan agujeros tonales abiertos entre otros cerrados. Al abrir estos dos agujeros se acorta la longitud efectiva del tubo y esto hace que se obtenga un Do con esa digitación.

Nos quedan otras cuatro digitaciones para este Do. La n° 62 es un ejemplo perfecto de quinto armónico, estando basada en la del sonido Lab/Sol# grave (n° 8 del mapa acústico). La apertura de la llave de registro hace, en principio, que se produzca el tercer armónico, Mib/Re# (ver digitación n° 39). Así pues, la elección entre la obtención

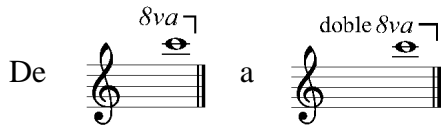
¹⁶⁸ Ver la digitación del sonido n° 22 en el mapa acústico.

de este Mib o del Do que nos ocupa recae en la acción del intérprete, quien modificando su embocadura, presión o tracto vocal logrará la nota deseada.

Las digitaciones de los sonidos 64 y 65 son básicamente la misma que la anterior con la diferencia de que abren una pequeña parte del tubo gracias a la acción del dedo índice de la mano izquierda, que abre o cierra los agujeros 21 y 24 del tubo. Como sabemos por la tabla del tercer capítulo, el plato que acciona este dedo tiene un pequeño agujero concéntrico (el cual estando abierto tendría un funcionamiento similar, aunque no tan efectivo, al de un agujero de registro) que puede dejarse abierto o cerrado a voluntad e independientemente del agujero tonal. Si sólo se abre el agujero pequeño (como en el caso de la digitación del sonido 65) la afinación sube un poco respecto de la del sonido nº 62 (1,3 Hz) y, si se abre el agujero tonal entero, (como en la digitación del sonido 64) la discrepancia llega a los 14,1 Hz. De cualquier modo, todas las digitaciones anteriores resultan muy altas respecto de la que tendría que ser la temperada basada en nuestra frecuencia de referencia: 467,9 Hz.

La última digitación, correspondiente al sonido 63, es como la del Lab nº 64 de la que hemos hablado en el párrafo anterior, salvo que no se pulsa la llave 4/D (que abre el agujero 9 del tubo). Al quedar cerrado el agujero 9, la frecuencia bajará. Si miramos el diagrama, realmente puede tomarse como basada en la de un Sol (sonido nº 7) al que se le sube la afinación abriendo el plato del dedo índice izquierdo (que destapará los agujeros 21 y 24). En cualquier caso, a pesar de que está más bajo de afinación que los anteriores (excepto el nº 58), sigue estando muy alto con respecto a la frecuencia temperada que debería tener.

5ª OCTAVA



En la imagen 214 podemos ver la tabla correspondiente a la 5ª octava.

	DO	DO#	RE	RE#	MI	FA	FA#	SOL	SOL#	LA	LA#	SI	DO
AT	939,2	995,0	1054,2	1116,9	1183,3	1253,7	1328,2	1407,2	1490,9	1579,5	1673,5	1773,0	1878,4
AE	940,7	994,7	1051,6	1113,8	1182,7	1257,1	1408	1489	1584,9	1679	1774,6	1886,4	
S	188	204	227	236	262	264	269	271	274	275	277	279	

Imagen 214. Tabla de la quinta octava.

Lo primero en lo que queremos poner énfasis en esta octava es en que estos sonidos igualan las frecuencias a las que llega el clarinete soprano. Con la octava anterior se cubría la misma extensión que el clarinete soprano (más las notas graves del bajo). Con el añadido de esta nueva octava, más las dos primeras notas de la siguiente octava (Do# y Re) el clarinete bajo de nuestro estudio iguala las frecuencias más altas a las que llega el soprano, quedando su extensión en cinco octavas más una segunda mayor¹⁶⁹ frente a las tres octavas y una séptima mayor del soprano¹⁷⁰.

La tabla también deja ver que en esta octava vuelven a acortarse las distancias entre números de sonidos, ya que las digitaciones posibles ya no son tantas como en la anterior octava: a partir del Fa (con seis digitaciones posibles) ninguno pasa de cinco posibilidades de digitación. Además, las digitaciones empleadas ya no parecen seguir la lógica anterior y más bien se puede llegar a pensar en que se ha llegado a ellas de manera empírica, en lugar de recurrir a la serie armónica para dilucidarlos.

¹⁶⁹ Recordemos que este clarinete llega al Do grave, una tercera menor más grave que los que llegan al Mib.

¹⁷⁰ Recordemos que el clarinete soprano estándar llega hasta el Mi grave y no hasta el Do, con lo cual, pierde una tercera mayor respecto del bajo.

Otra particularidad que nos muestra la tabla es que el Fa# y el Sol comparten digitación. En realidad lo que ocurre es que con las digitaciones propuestas en el libro de Bok y Wendel (1989), no siempre se consigue la nota que se sugiere. Puesto que dentro de nuestro procedimiento se ha recurrido a ordenar los sonidos -y consecuentemente su digitación- por su frecuencia, nos hemos podido dar cuenta de que, en ocasiones, la frecuencia de esos sonidos corresponde a una nota diferente de la que se dice en el libro. Algo parecido a lo que hemos explicado que ocurre con el sonido/digitación nº 54 para el Sol de la tercera octava.

En la imagen 215 mostraremos, a modo de ejemplo y para esta octava, las discrepancias entre la nota que se debe obtener para una digitación concreta según el libro de Bok y Wendel (1989) y la nota a la que correspondería la frecuencia obtenida experimentalmente según nuestra frecuencia de referencia.

Nota en Bok y Wendel (1989)	Nº de digitación	Frecuencia obtenida (en Hz)	Frecuencia temperada (en Hz)	Nota a la que correspondería ¹⁷¹
Fa	262	1182,7	1183,3	Mi
Fa#	264	1257,1	1253,7	Fa

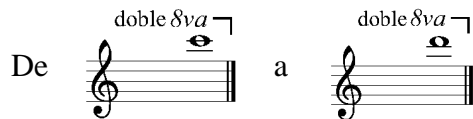
Imagen 215. Discrepancias entre las notas que se debería obtener según el libro de Bok y Wendel y las que se obtienen en realidad.

Retomemos el caso del Fa# y el Sol: las frecuencias temperadas del Fa, Fa# y Sol teniendo en cuenta nuestra frecuencia de referencia, son Fa = 1253,7 Hz, Fa# = 1328,2 y Sol = 1407,2 Hz. Si miramos los sonidos ordenados por frecuencia en el Anexo III, podremos ver que del sonido 264 con frecuencia 1257,1 Hz se pasa al sonido 269 con 1408 Hz. No se ha obtenido una frecuencia intermedia. Por lo tanto, no hay una frecuencia cercana a los 1328,2 Hz que debería dar un Fa# temperado. Lo más cercano a esta última frecuencia es de hecho el Sol a 1408 Hz de nuestra frecuencia experimental. Como nuestra premisa es mostrar la frecuencia experimental más cercana a la temperada, en la tabla el Fa# y el Sol tienen que compartir necesariamente la frecuencia

¹⁷¹ Según nuestra frecuencia de referencia.

en la tabla. Pero en realidad el Fa# no se ha podido obtener con las digitaciones propuestas.

6ª OCTAVA (fragmento)



En la imagen 216 podemos ver la tabla correspondiente a las notas que es posible obtener dentro de la 6ª octava.

	DO	DO#	RE
AT	1878,4	1990,1	2108,4
AE	1886,4	2009,2	2171,7
S	279	284	285








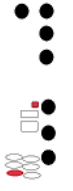















Imagen 216. Tabla de la sexta octava.

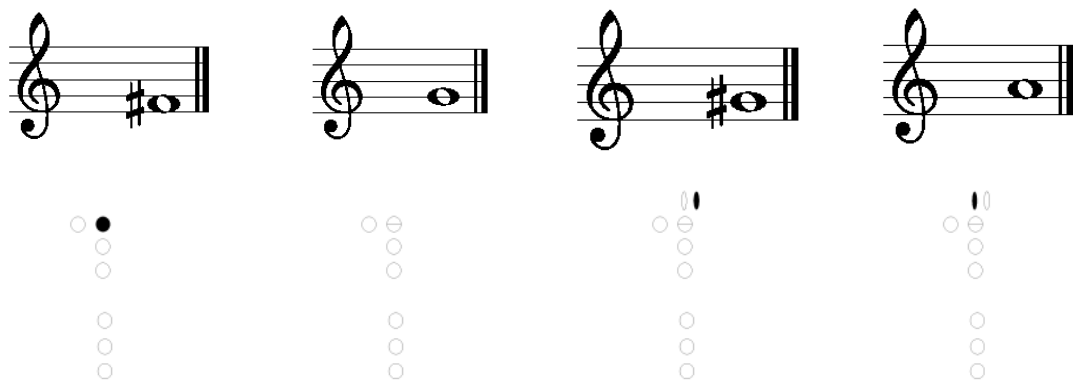
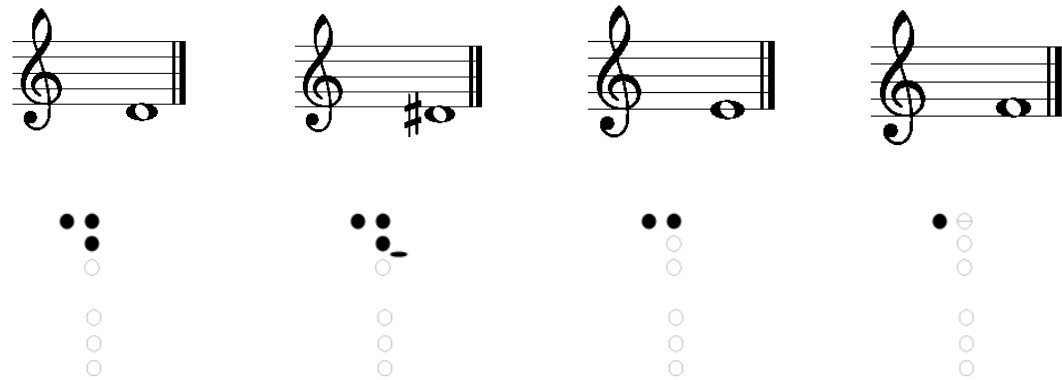
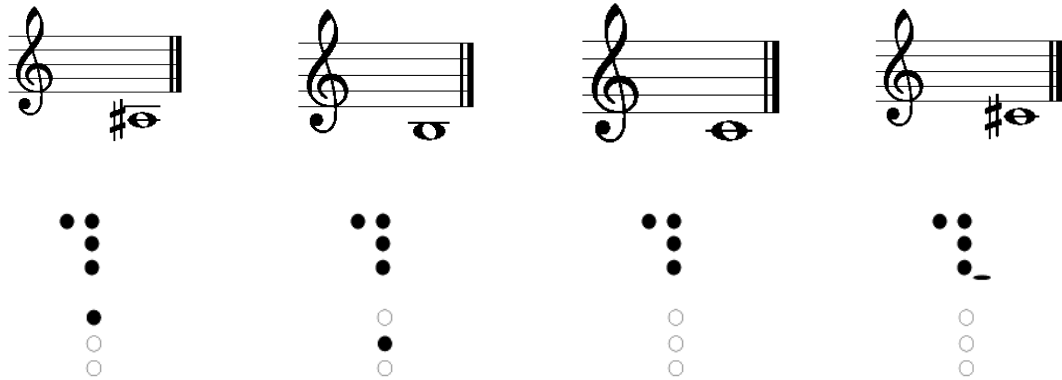
Estas notas son las más agudas que hemos podido conseguir con nuestro clarinete bajo. Como en el caso anterior, algunas de las digitaciones que en el libro de Bok y Wendel (1989) deberían dar un Do, en concreto las n° 281 y 282, producen en realidad frecuencias similares (sobre todo la que corresponde al n° 281) a las temperadas para el Sol# y el La# inmediatamente anteriores, respectivamente.

Los 2009,2 Hz que obtuvimos con la digitación 284, aún produciendo un Do# muy alto de afinación, queda más cerca de la frecuencia temperada del Do# (1990,1) que del Re (2108,4). Por último, la frecuencia que obtuvimos con la digitación n° 285 resultó tan alta de afinación que, de hecho, se quedó a medio camino entre la frecuencia temperada calculada para un Re y la calculada para un Re#/Mib (2233,8 Hz).

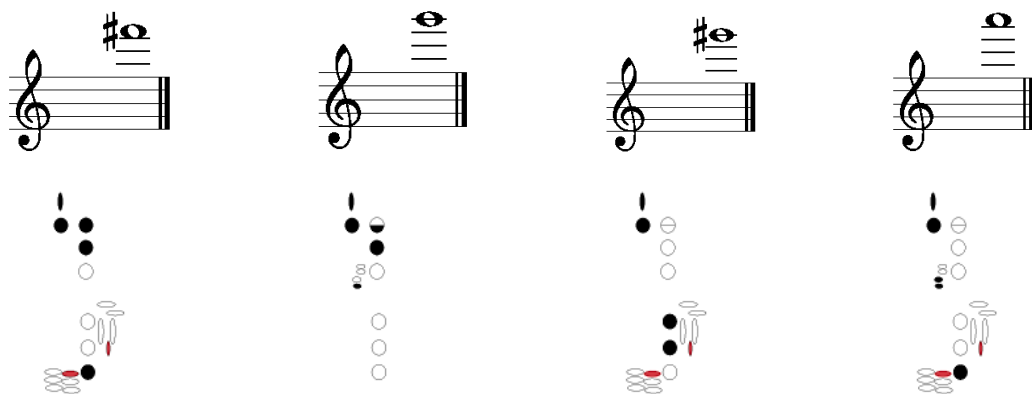
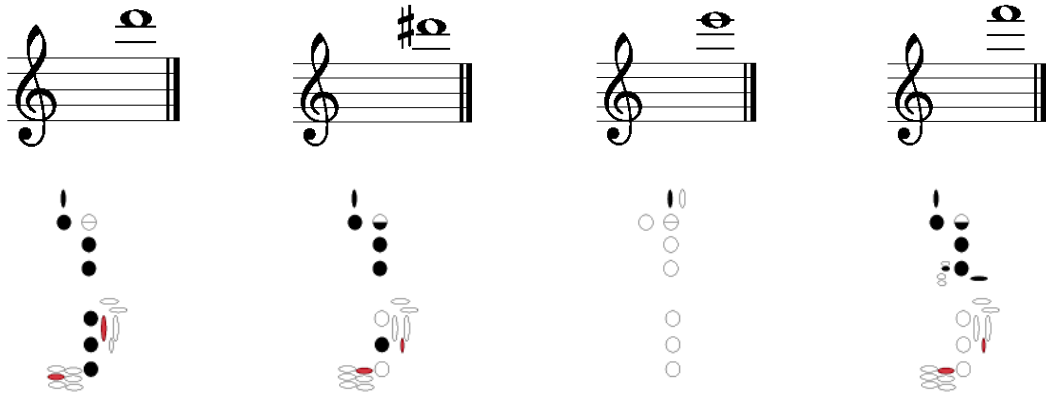
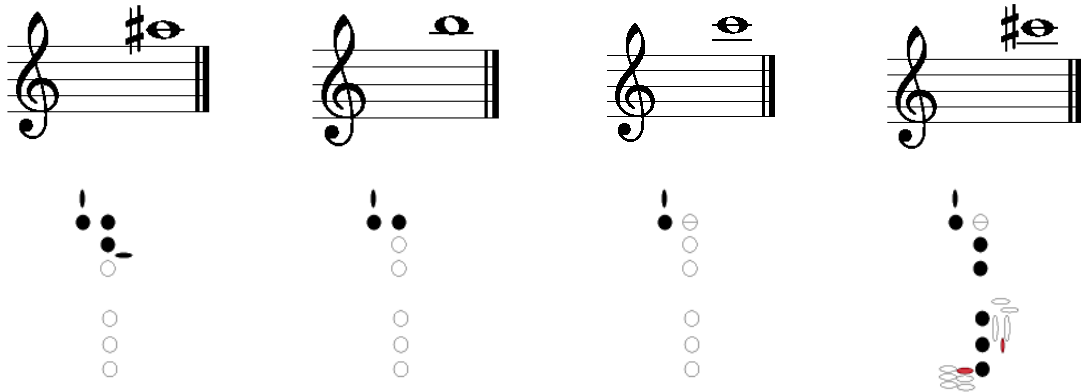
4.4.LA ESCALA

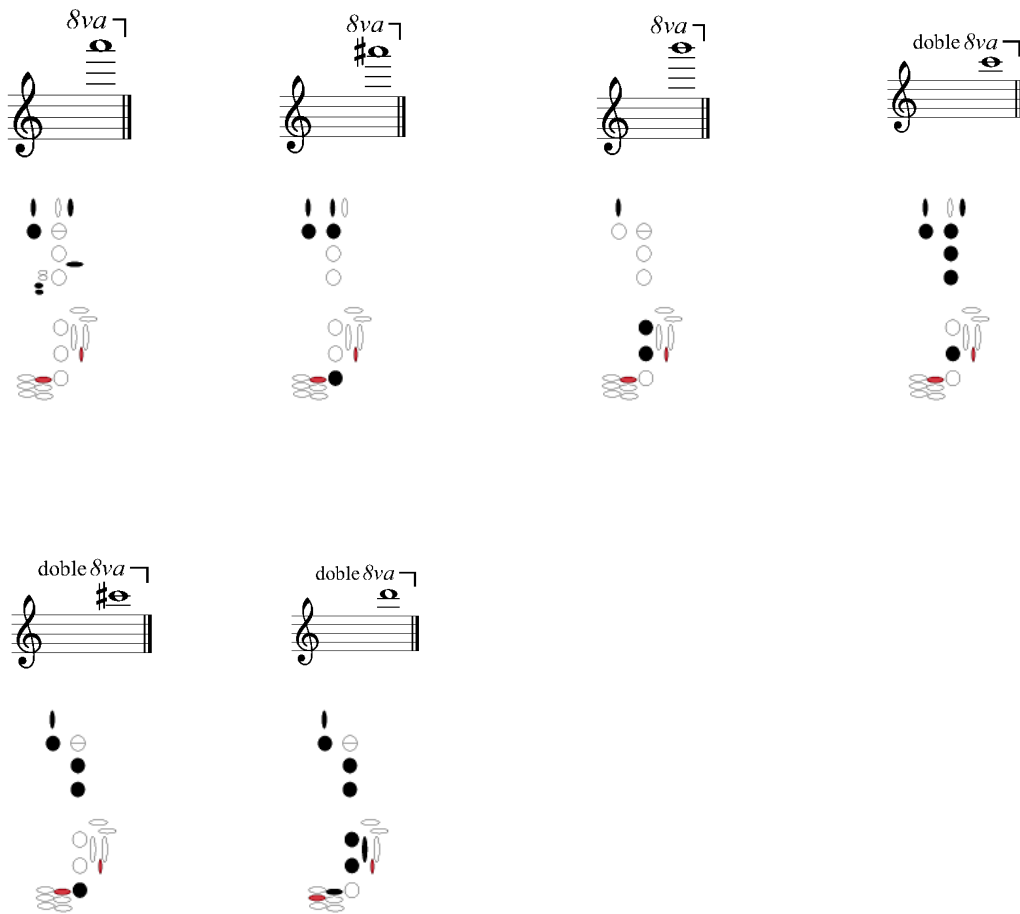
Todo este proceso estaba pensado para obtener una escala lo más afinada posible con los sonidos de los que disponíamos. A continuación mostramos una tabla con las digitaciones que producirán esa escala.



The image displays a 3x4 grid of musical notation and fingering diagrams for the clarinet. Each cell contains a musical staff with a single note and a corresponding fingering diagram below it. The notes are: Row 1: F#4, G4, A4, B4; Row 2: C5, D5, E5, F5; Row 3: G5, A5, B5, C6. Fingering diagrams use black dots for fingers, white circles for open keys, and red arrows for key movements.





Con el método descrito hasta ahora y la ayuda de la hoja de cálculo que está en el CD, podremos recalculer las frecuencias temperadas de todas las notas de la escala desde cualquier frecuencia que nos sirva de referencia, tanto en sentido ascendente como descendente.

Después, podremos compararlas con las frecuencias que produzca cada nota de nuestro instrumento según la digitación utilizada, y entonces, con los resultados obtenidos, podremos elaborar la escala más afinada posible dentro de los límites de las digitaciones y los sonidos que estas producen.

5. CONCLUSIONES

Los objetivos de este trabajo pretendían cubrir una serie de vacíos de conocimiento que no se suelen tratar en otras fuentes. Así, esos vacíos tenían que ver con los materiales de construcción de los instrumentos de la familia del clarinete, con las similitudes y diferencias entre los diseños de los tubos del clarinete soprano y el bajo y con la elaboración del mapa acústico del clarinete bajo.

Redactaremos las conclusiones recordando los objetivos¹⁷² y podremos ver hasta qué punto se han alcanzado.

Objetivo 1: Hacer un compendio exhaustivo de aquellos materiales que han servido para la fabricación de cada componente de los clarinetes y clarinetes bajos, así como la descripción de las características que los hacen aptos para el desempeño de sus funciones o las circunstancias que han contribuido a su éxito.

A este objetivo le hemos dedicado el primer capítulo, aunque ha habido algunas referencias a este tema en el segundo. Tras redactar una pequeña reseña histórica sobre los orígenes y evolución del clarinete bajo, en la que se podía ver cómo la imaginación de los fabricantes resolvía los problemas derivados del tamaño de estos instrumentos, pasábamos a desarrollar y dar respuesta al objetivo. Como se habrá podido comprobar durante el desarrollo del primer capítulo, los materiales con los que se fabrican los clarinetes soprano y bajo son muchos más de los que a simple vista parecen ser. Algunos más todavía si contamos los que se han utilizado en otros momentos de su evolución y han caído en desuso.

Así pues, podemos constatar cómo los fabricantes han ido buscando y usando aquellos materiales que mejor se adaptasen a sus necesidades y a las de los intérpretes. Aunque a este respecto, en el segundo capítulo podemos leer cómo en realidad se busca el mejor compromiso posible entre la calidad del sonido, el coste de los materiales, su

¹⁷² En este apartado omitiremos de la redacción de los objetivos 1, 2 y 3 los comentarios sobre la novedad que representan. La redacción completa se puede ver en el apartado correspondiente de la introducción.

facilidad para manipularlos y la estabilidad en sus dimensiones ante los cambios de temperatura y humedad. Esto es de vital importancia y lo hemos estudiado en el segundo capítulo, por el que sabemos que si el tubo cambia sus dimensiones, el sonido se verá afectado.

Si nos fijamos, apenas las llaves y algunos accesorios menores –corchos, fieltros- son los componentes de los clarinetes en los que menos variedad de materiales se han usado. Las llaves siempre han sido metálicas, aunque podía variar la clase de metal o su acabado. La lengüeta también tiene poca variedad actualmente, aunque se ha intentado fabricar en muchos materiales, estos nunca han dado las prestaciones de la lengüeta de caña. En la actualidad las lengüetas sintéticas están avanzando mucho en la producción de un sonido y una sensación parecidos a los que dan las lengüetas de caña y, como en el caso de las llaves, aunque todas son sintéticas, no todas son iguales, ya que cada fabricante tiene su propia fórmula.

En los demás casos se han probado varios materiales con más o menos éxito y, por lo que hemos podido averiguar, se sigue intentando fabricar algunos componentes en nuevos materiales (como es el caso de la boquilla en fibra de carbono, que todavía no está en el mercado). El tiempo dirá si este material tendrá éxito o no.

A nosotros no nos deja de rondar en la cabeza la idea de que si el clarinete se hubiese inventado hoy, muy probablemente se hubiera fabricado directamente con materiales sintéticos, por coste de materia prima y mano de obra, por ligereza, por el nulo riesgo de agrietamiento o por su mayor estabilidad dimensional. Al fin y al cabo, cuando todavía no se habían inventado los materiales sintéticos, los fabricantes de clarinetes recurrían a las maderas más duras –aunque más pesadas- para minimizar el riesgo de aparición de grietas o para garantizar hasta donde fuese posible que el tubo no alterase sus dimensiones con la consiguiente pérdida en calidad de sonido que ello conllevaría. Un intento de suplir las deficiencias de la madera fue el uso del metal, pero por las razones expuestas en el primer capítulo, no obtuvo el éxito deseado.

En otro orden de cosas, creemos que este capítulo viene a rellenar uno de los vacíos a los que hacíamos referencia al principio de este apartado. Hasta donde conocemos, en ningún otro trabajo se puede encontrar un compendio tan detallado de los materiales que en mayor o menor medida forman el clarinete y el clarinete bajo y menos todavía que describa tan profundamente sus características y propiedades. Creemos también que la manera en la que se ha ordenado el capítulo puede contribuir a su fácil lectura y a encontrar rápidamente la información que necesitamos.

Objetivo 2: Averiguar a nivel organológico, las similitudes y diferencias entre los diseños del clarinete soprano y el clarinete bajo.

Es este un objetivo que nos interesaba mucho resolver, pues la literatura producida por el clarinete soprano no encuentra el mismo reflejo en el clarinete bajo y, en cualquier caso, menos todavía en el sentido que nosotros buscábamos. Antes, y como consecuencia directa del cambio en las dimensiones del tubo, quisimos hacer referencia a los clarinetes transpositores: su origen, su cometido y, según el caso, su permanencia, su decadencia o su ascendencia. A este respecto, hicimos alguna sugerencia de uso de estos instrumentos de cara a facilitar la interpretación de algunos pasajes, proponiendo dos casos concretos como ejemplo. Creemos que la sugerencia puede resultar útil.

Después de este apartado, y para resolver el tema en cuestión, antes debíamos entender bien el funcionamiento acústico de los tubos sonoros cilíndricos cerrados. Las simulaciones, apoyadas por los textos más o menos complejos referidos a la acústica general o concreta de los tubos sonoros, nos fueron de gran ayuda porque podíamos ver la aplicación práctica de la teoría.

Al igual que para el objetivo anterior, optamos por estudiar cada parte del instrumento por separado, para analizar las características que le son propias más profundamente. Esto nos permitió estudiar de forma pormenorizada el efecto que cada modificación hecha a cada parte del instrumento tiene en el sonido resultante.

Por fin, con lo estudiado y contando, además, con las respuestas que las personas responsables de los departamentos de diseño o los profesionales de la reparación de instrumentos nos dieron, pudimos averiguar en qué puntos el diseño de los clarinetes sopranos se asemeja al bajo y en qué puntos se aleja de él. Lo más curioso del caso es que el clarinete bajo se acerca más a la definición de tubo cilíndrico cerrado (aunque el tubo sea curvo, no deja de ser cilíndrico a efectos acústicos), que el propio clarinete soprano. Este hecho y la información precisada a lo largo del capítulo que va mostrando las semejanzas y diferencias entre los dos instrumentos más allá de la evidente del tamaño, nos aseguran haber resuelto este segundo objetivo.

Objetivo 3: Crear el mapa acústico del clarinete bajo con aquellos sonidos susceptibles de ser emitidos por este instrumento.

La conclusión para este objetivo no necesita mayor aclaración porque el resultado se ve en las doscientas ochenta y cinco fichas que componen el mapa acústico expuesto en el Anexo I. Queremos comentar que la primera intención al pensar en hacer este trabajo fue crear este mapa para el clarinete bajo a semejanza del que Vicente Pastor hizo en su tesis para el clarinete soprano, como ya hemos comentado a lo largo de este trabajo. Con todo, hemos intentado huir en lo posible de replicarla sin más y, a pesar de que hemos tenido que contextualizar y reforzar nuestro texto con aportaciones de otros estudiosos, hemos procurado siempre que la perspectiva sobre el tema que se tratara fuese novedosa y además pudiera resultar útil.

Con este enfoque, y más allá de la elaboración del mapa acústico del clarinete bajo, el tercer capítulo recogería el proceso seguido hasta la consecución de aquel. Queríamos mostrar el proceso detalladamente para que, por un lado, se viera el cuidado puesto en cada parte de su elaboración y para que cualquiera que quisiese estudiar algo parecido tuviese ya unas herramientas probadas. Así, por ejemplo, no nos limitamos sólo a proveernos de las digitaciones que íbamos a usar, sino que además explicamos el criterio que cada autor usa para nombrar las llaves e hicimos una tabla comparativa de las diferentes nomenclaturas, siempre con la utilidad como fin. Lo mismo ocurre con los diagramas de digitaciones o las tablas de tubo efectivo, entre otros elementos.

Objetivo 4: Aportar sugerencias de realización -aplicando el conocimiento adquirido aquí sobre las características acústicas del clarinete bajo- que puedan servir para la mejor ejecución de los sonidos de ciertos registros o para la interpretación de pasajes que contengan notas de diferentes registros.

Con respecto a este objetivo, al que se trata de dar respuesta en el cuarto capítulo, debemos aclarar que nunca fue intención de este trabajo que la conclusión fuese diseñar algún tipo de ejercicio técnico o similar que poner en práctica para resolver problemas de ejecución. Más bien se trataba de aprovechar lo aprendido hasta el momento en cuanto al funcionamiento acústico del instrumento para comprender que es mucho más fácil interpretar según qué pasajes si se conoce ese funcionamiento. Aquí queremos manifestar que, en nuestro caso particular, entender los fenómenos acústicos que se producen en el interior del tubo nos ha aportado una nueva perspectiva sobre nuestra manera de tocar y nos ha facilitado la interpretación de dichos pasajes.

En cualquier caso, en el capítulo se exponen algunos casos que por su claridad resultan, a nuestro juicio, fáciles de entender. Exponer todos los casos posibles excedería en mucho las expectativas de este trabajo. Los ejemplos están pensados para mostrar el proceso empleado y que este sea extrapolable a cada caso concreto que cualquiera quiera estudiar. Evidentemente, las gráficas y tablas están tomadas de las elaboradas para el mapa acústico mostrado en el Anexo I.

Desde el punto de vista del trabajo, el objetivo está resuelto porque las sugerencias están expuestas y argumentadas teniendo en cuenta lo que de las características acústicas hemos aprendido durante la elaboración de este trabajo. Desde el punto de vista del intérprete, habría que hacer un estudio aparte para saber hasta qué punto las recomendaciones han surtido efecto. En nuestro caso, como hemos comentado más arriba, sí lo han hecho.

Objetivo 5: Elaborar, eligiendo los sonidos más cercanos a la frecuencia temperada para un sonido de referencia dado, la escala más afinada posible que se pueda dar con los sonidos obtenidos en la grabación.

Una premisa de este trabajo era la de intentar que se entendieran lo más clara y rigurosamente posible los fenómenos acústicos, pero sin recurrir al lenguaje físico-matemático que los sustenta. Entendemos que exponer en este trabajo todas las fórmulas que respaldan y fundamentan nuestras afirmaciones haría más farragosa su lectura y no aportaría mayor claridad a las explicaciones. En el último capítulo ha habido que ponerlas para explicar el procedimiento de Chladni y, aun así, hemos simplificado el procedimiento todo lo posible al elaborar el archivo Excel con la operación matemática ya incluida.

La conclusión para este objetivo está resuelta en la escala expuesta al final del cuarto capítulo, algo parecido a lo que pasaba con el mapa acústico y el tercer capítulo. Pero, a nuestro parecer, lo importante no es tanto haber obtenido la escala, sino haber explicado el procedimiento y haber aportado un método muy sencillo de cálculo que hemos mostrado, como dijimos más arriba, en un archivo Excel, con el que se podrá ahorrar mucho tiempo en el caso de que alguien quiera recalcular las frecuencias temperadas para una de referencia y en su caso, compararlas con las que ofrezca su instrumento.

Además, durante el proceso hemos ido comentando y analizando algunos de los pormenores encontrados en cada octava y hemos destacado otra de las diferencias del clarinete bajo respecto del soprano: su mayor extensión debido al tubo extendido hasta el DO grave y a la posibilidad de llegar a su misma altura absoluta, lo que le da por relatividad una octava más a aquel. Por lo expuesto, podemos afirmar que también este objetivo ha quedado resuelto.

6. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A pesar de los objetivos logrados en el presente trabajo, hay cuestiones que escapan a las pretensiones de este, pero que resultaría interesante investigar a partir de los datos que aquí se muestran o aprovechando los archivos, tablas y diagramas que se han aportado tanto al cuerpo del trabajo como en los anexos. Además de estas cuestiones, en el curso de nuestras indagaciones encontramos algunas ideas que se podrían desarrollar en otras investigaciones que tengan que ver con la acústica del clarinete bajo, pero que no se derivan necesariamente de nuestro trabajo. Estas ideas provienen básicamente de las respuestas que nos dieron los especialistas en diseño o reparación de instrumentos a las preguntas que les hicimos. Algunas de ellas han quedado sin reflejar en el trabajo porque se alejaban en cierta medida del asunto central que queríamos tratar, pero sin embargo, podrían ser la base de otros trabajos.

En cuanto al primer caso podemos sugerir algunas líneas de investigación que se podrían derivar de nuestro trabajo. Las primeras y más evidentes son replicar este trabajo cambiando de objeto. El apartado de los materiales tendría poco sentido, al menos en el mismo modo en el que nosotros lo hemos desarrollado, ya que el resto de la familia de los clarinetes comparte los mismos materiales. Sería novedoso en su tratamiento si, por ejemplo, se tratara específicamente de averiguar las características de producción de aquellos materiales que sean susceptibles de ser modificados por medios mecánicos o químicos. Se podría ahondar en cuestiones como cuál sería la influencia de la proporción de los diferentes metales de una aleación sobre el sonido del instrumento. O la temperatura a la que se funden, o el sistema o condiciones de enfriamiento, o la densidad del producto. De la misma manera, esta cuestión, también aplicable a los materiales sintéticos o el vidrio, podría constituir la motivación de un nuevo trabajo. Recordemos cómo en el capítulo II se hablaba de la importancia, no sólo de la materia prima para fabricar boquillas de ebonita, sino de su procesamiento para obtener mejor calidad en el sonido.

Si hablamos de la acústica de cada instrumento, las posibilidades se multiplican. Desde elaborar el mapa acústico de cada uno de los instrumentos de la familia hasta comparar, también mediante el mapa acústico, diferentes modelos de clarinete o el mismo modelo con diferentes componentes (cambiando lengüetas, o boquillas, o barriletes, etc.). Sería muy interesante analizar los sonidos resultantes de distintos intérpretes con el mismo clarinete. No menos interés tendría la percepción auditiva del sonido según el entorno en el que este se produzca. En este caso estaríamos entrando en cuestiones de acústica arquitectónica o psicoacústica, según el enfoque.

La relación de las notas fundamentales con las que se derivan de ellas, como quintos, séptimos y demás armónicos, también podría ser otra línea de investigación. Averiguar las semejanzas y diferencias entre su composición armónica o la afinación entre ellas o examinar la relación entre el timbre producido y la digitación empleada creemos que puede resultar interesante. La metodología y procedimientos expuestos en los capítulos II, III y IV podría ser de ayuda de cara a la elaboración de un trabajo de esas características.

Otras líneas de investigación relacionadas con este tema pero que se alejan un poco más de la metodología propuesta en este trabajo, pueden ser aquellas en las que se propongan soluciones a las anomalías acústicas que afectan a los instrumentos de la familia del clarinete que hemos ido viendo a lo largo de este trabajo. Unas líneas se situarían en el ámbito de las matemáticas y la física, como muchos de los trabajos consultados para elaborar este, mientras otras tendrían un enfoque más práctico, aunque no exento necesariamente de los cálculos pertinentes.

Las primeras no necesitan mayor aclaración pues, como hemos dicho, darían lugar a trabajos teóricos como muchos de los que hemos referido en la bibliografía. Las segundas tendrían como objetivo implementar en algunos o todos los instrumentos de la familia de los clarinetes las mejoras adecuadas para intentar crear un instrumento más afinado, con mejor respuesta y un timbre más homogéneo. Lo cierto es que a lo largo del tiempo ha habido muchos intentos de mejorar las prestaciones del clarinete, si bien muchas de ellas no han sido llevadas a la producción o esta ha sido anecdótica. Pero

teniendo en cuenta los nuevos materiales y los nuevos procesos de fabricación, quizá se podrían recuperar algunas ideas o, basándose en sus principios, aportar alguna solución.

Para concretar, podemos poner algún ejemplo. Sabemos que ya se están fabricando barriletes con taladro interior rectangular: si la acústica del instrumento depende del volumen de aire en el tubo y su forma ¿sería factible que el tubo también tuviese el taladro (o incluso también el exterior) rectangular o cuadrado? Con esta solución quizá sería más fácil hacer los cálculos para determinar el tamaño y posición de los agujeros al no tener que considerar las curvaturas tanto interna como externa.

En el mismo sentido y teniendo en cuenta la exactitud del diseño por ordenador, el uso de herramientas de precisión y de adhesivos y materiales sellantes ¿se podrían fabricar estos instrumentos en dos mitades longitudinales, trabajar los agujeros tonales teniendo el interior a la vista y después unir las dos mitades por pegado o machihembrado? Se podría conseguir un taladro interior mejor acabado y pulido, con las correcciones policilíndricas o cónicas deseadas y la forma de los agujeros tonales perfectamente acabadas.

Por último, si pudiésemos cambiar el actual sistema de cierre de agujeros tonales basado en el mecanismo de llaves y zapatillas por un dispositivo similar al del diafragma de una cámara fotográfica y si lográsemos que este enrasara con el taladro interior del tubo, podríamos conseguir, por un lado, que el agujero tonal no tenga encima una zapatilla que puede dificultar la salida de aire cuando está abierta o deje un hueco a modo de chimenea cuando esté cerrado. Si más allá de lo dicho, se pudiese controlar su apertura con algún tipo de limitador asociado a la llave de registro, conseguiríamos agujeros tonales más o menos estrechos en función del registro en el que estemos tocando, mejorando -como mínimo- la afinación.

Difícil será que alguien ponga en práctica estas ideas, pero difícil no es lo mismo que imposible, y de diseños e ideas fuera de lo común está llena la historia de la evolución de nuestro instrumento -eso sí- con desigual éxito. Los diferentes diseños de los primeros clarinetes bajos, los revolucionarios diseños de los clarinetes sistema

Romero o el Schaffner construido por Maino & Orsi, no han tenido continuidad, por poner algún ejemplo. Sin embargo, sólo tenemos que ver la evolución desde los primeros clarinetes a los actuales para ver las mejoras que sí han triunfado.

A nosotros sólo nos queda finalizar este trabajo dejando estas posibilidades abiertas a quien quiera investigarlas. Quizá alguien, basándose en estas sugerencias, dé un salto adelante como el que en su día supusieron los diseños de Müller o Boehm. ¿Quién sabe?

7. REFERENCIAS

- Aber, T. C. (1990). *A history of the bass clarinet as an orchestra and solo instrument in the nineteenth and early twentieth centuries and an annotated, chronological list of solo repertoire for the bass clarinet from before 1945*. (Tesis doctoral, University of Missouri, Kansas City, Missouri). Consultado en <http://www.circb.info/?q=node/10006>
- Alba, J., Del Rey, R., Cruaños, J., y Nadal, M. (2009). Estudio Preliminar de la Influencia de la Caña en el Clarinete Bajo. Ponencia presentada en *Tecniacústica*. Cádiz. Consultado en http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Cadiz09/Cadiz09_AMS_002.pdf
- Almeida, A., George, D., Smith, J., y Wolfe, J. (2013). The clarinet: How blowing pressure, lip force, lip position and reed “hardness” affect pitch, sound level, and spectrum. *Journal of the Acoustical Society of America*, 134(3), 2247-2255. Consultado en <https://newt.phys.unsw.edu.au/jw/reprints/PlayingParameters.pdf>
- Álvarez Martínez, M. R. (1996). Clarinetes para el ayer y el hoy. En M. Cureses (Coord.), *LIM 85-95: una síntesis de la música contemporánea en España (II)* (págs. 55-58). Madrid: Alpuerto.
- Backus, J. (1961). Vibrations of the Reed and the Air Column in the Clarinet. *Journal of the Acoustical Society of America*, 33(6), 806-809. Consultado en <http://dx.doi.org/10.1121/1.1908803>
- Backus, J. (1962). Experimental Check of Theoretical Expressions for Frequency Shift and Minimum Blowing Pressure in the Clarinet. *Journal of the Acoustical Society of America*, 34, 1994. Consultado en <http://dx.doi.org/10.1121/1.1937087>
- Backus, J. (1974). Input impedance curves for the reed woodwind instruments. *Journal of the Acoustical Society of America*, 56(4), 1266-1279.
- Bak, N., y Domler, P. (1987). The relation between blowing pressure and blowing frequency in clarinet playing. *Acustica*, 63, 238-241.
- Bautista, C. (2008). *Influencia del material de construcción en el sonido del clarinete*. (Proyecto de Investigación de Máster en Música, Universidad de Valencia).
- Behn Mouthpieces International. (2015a). The History of Golden Era "French" Mouthpieces. Consultado el 23 de octubre de 2015 en <http://www.clarinetmouthpiece.com/chedeville-golden-era/>

- Behn Mouthpieces International. (2015b). Nomenclature guide. Consultado el 23 de octubre de 2015 en <http://www.clarinetmouthpiece.com/nomenclature/>
- Benade, A. H. (1960). On the mathematical theory of woodwind finger holes. *Journal of the Acoustical Society of America*, 32, 1591.
- Benade, A. H. (1976/1990). *Fundamentals of Musical Acoustics*. (2ª ed.). Nueva York: Oxford University Press.
- Benade, A. H. (1994). Benade's NX Clarinet: Its Genesis. *The Clarinet*, 21(2), 46-48.
- Benade, A. H., y Ibsi, M. I. (1987). Survey of impedance methods and a new piezo-disk-driven impedance head for air columns. *Journal of the Acoustical Society of America*, 81(4), 1152-1167.
- Benson, D. (2008). *Music: A Mathematical Offering*. Aberdeen, Reino Unido: Universidad de Aberdeen. Consultado en <https://homepages.abdn.ac.uk/mth192/pages/html/music.pdf>
- Bok, H., y Wendel, E. (1989). *The Bass Clarinet Manual. New Techniques for the Bass Clarinet*. París: Editions Salabert.
- Bowen, D. K. (2009). *The Rise and Fall of the Bass Clarinet in A*. (Tesis de Máster, Open University, Reino Unido). Consultado en <http://www.circb.info/sites/default/files/Bowen%20Bass%20Clarinet%20in%20A%202009-DISSERTATION.pdf>
- Brahms, J. (1883/1927/1960). En Gal H. (Coord.), *Partitura de la Sinfonía nº 3 e Fa Mayor, Op. 90*. Leipzig, Detroit: Breitkopf & Härtel, Luck's Music Library.
- Brymer, J. (1976). *Clarinet*. Londres: Macdonald and Jane's.
- Campbell, M., y Greated, C. (1987). *The Musician's Guide to Acoustics*. Nueva York: Oxford University Press.
- Campos, N. (2005). *Avaliação Psicoacústica do desenho de barrilhetes: Variações sonoras percebidas na clarineta*. (Tesis de Máster, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte). Consultado en http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/AAGS-7YQFD7/ney_campos_franco.pdf?sequence=1
- Dangain, G. (1978). *A propos de la Clarinette*. París: Gérard Billaudot.
- Debut, V. (2004). *Deux études d'un instrument de musique de type clarinette: analyses des fréquences propres du résonateur et calcul des auto-oscillations par*

- décomposition modale*. (Tesis doctoral, Université de la Méditerranée, Aix-Marseille II). Consultado en <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00008711>
- Demoucron, M. (2004). *Influence du conduit vocal du clarinettiste sur la fréquence de jeu*. (Mémoire de stage de DEA-ATIAM, Université Paris VI, Ircam). Consultado en <http://www.atiam.ircam.fr/Archives/Stages0304/demoucron.pdf>
- Dullat, G. (2001). *Klarinetten: Grundzüge ihrer Entwicklung*. Frankfurt: Erwin Bochinsky.
- Fernández Vicedo, F. J. (2010). *El clarinete en España: historia y repertorio hasta el siglo XX*. (Tesis doctoral, Universidad de Granada). Consultado en <http://hdl.handle.net/10481/15084>
- Fletcher, N. H., y Rossing, T. D. (1998). *The Physics of Musical Instruments*. Nueva York: Springer-Verlag.
- Fobes, C. W. (2000). *Tuning and Voicing the Clarinet: Procedure and Techniques*. Consultado el 23 de octubre de 2015 en <http://www.clarkwfobes.com/pages/tuning-and-voicing-the-clarinet>
- Fox, S. (s.f.). *The Benade NX Clarinet, Part I: Origins*. Consultado 10 de octubre de 2015 en <http://www.sfoxclarinets.com/BenclartI.html>
- Fritz, C. (2004). *La Clarinette et le Clarinettiste: Influence du Conduit Vocal sur la Production du Son*. (Tesis doctoral, Universidad de París 6 y Universidad de New South Wales (Sidney)).
- Fritz, C., y Wolfe, J. (2005). How do clarinet players adjust the resonances of their vocal tracts for different playing effects? *Journal of the Acoustical Society of America*, 118, 3306.
- Garcés, A. (1991). *Primer Libro del Clarinetista. Técnica, Práctica y Estética*. Madrid: Mundimúsica Ediciones.
- Gibson, L. (1998). *Clarinet Acoustics*. Bloomington e Indianápolis: Indiana University Press.
- Gil, F. J. (1991). *El clarinete. Técnica e interpretación*. Granada: Anel.
- Gil, J. J. (2011). *Recepción del clarinete en la Corte de Madrid durante la segunda mitad del siglo XVIII: reinados de Carlos III y Carlos IV*. (Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid). Consultado en <http://hdl.handle.net/10486/13066>

- Guillemain, P. (2007). Some roles of the vocal tract in clarinet breath attacks: Natural sounds analysis and model-based synthesis. *Journal of the Acoustical Society of America*, 121, 2396.
- Harris, M. (1995/2001). The bass clarinet. En C. J. Lawson (Coord.), *The Cambridge Companion to the Clarinet* (5ª ed., págs. 66-75). Cambridge: Cambridge University Press.
- Helmholtz, H. (1954). *On the Sensations of Tone*. Nueva York: Dover.
- Hoepfich, E. (2008). *The Clarinet*. New Haven: Yale University Press.
- Hunt, A. (1986). *The bass clarinet index: a selectively annotated bibliography of music composed for the bass clarinet*. (Tesis doctoral, Juilliard School, Nueva York). Consultado en <http://www.circb.info/?q=node/10025>
- Jameson, G. (1994). Benade's NX clarinets. Mechanical and Other Considerations. *The Clarinet*, 21(3), 32-33.
- Kalina, D. L. (1972). *The structural development of the bass clarinet*. (Tesis doctoral, Columbia University, Nueva York).
- Klosé, H. E. (1843/1951). *Método para clarinete. [Méthode pour servir à l'enseignement de la clarinette à anneaux mobiles et de celle à treize clefs]* (Trad. A. Carmona). París/Zaragoza: Alphonse Leduc/Música Moderna.
- Kodály, Z. (1934/1962). *Galántai Táncok [Danzas de Galanta]*. Viena: Universal Edition.
- Kroll, O. (1968). *The Clarinet. Revised, and with a Repertory*. Nueva York: Taplinger.
- Marchetti, E. (2011). *Il clarinetto basso: storia, evoluzione tecnologica e principali composizioni ed interpreti*. (Tesis, Istituto Superiore di Studi Musicali Conservatorio "Guido Cantelli", Novara).
- Marchi, J. (1994). *Etude des Harmoniques et du Suraigu*. París: Henry Lemoine.
- Mayer, A. (2003). RIAM (Reed Instrument Artificial Mouth), a computer controlled excitation device for reed instruments. Ponencia presentada en *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference 2003*, Estocolmo. 279-282. Consultado en <http://www.speech.kth.se/smac03/>
- McGinnis, C. S., y Gallagher, C. (1941). The Mode of Vibration of a Clarinet Reed. *Journal of the Acoustical Society of America*, 12, 529.

- Merino, J. M. (2007). *Las Vibraciones de la Música*. Alicante: Club Universitario.
- Merino, J. M., Verde, E., y Muñoz-Repiso, L. (2012). *Acústica Musical, una Aproximación Didáctica*. Valladolid: Ediciones Universidad de Valladolid.
- Milandro. (2014, 14 de diciembre). Tipped-bell clarinet? Mensaje publicado en <http://forum.saxontheweb.net/showthread.php?220652-tipped-bell-clarinet>
- Mooney, J. (1968). *The effect of the oral cavity on the tone quality of the clarinet*. (Tesis doctoral, Brigham Young University, Utah).
- Nederveen, C. J. (1998). *Acoustical Aspects of Woodwind Instruments*. DeKalb, IL: Northern Illinois University Press.
- Nederveen, C. J., y Dalmont, J. P. (2012). Mode locking effects on the playing frequency for fork fingerings on the clarinet. *Journal of the Acoustical Society of America*, 131, 689.
- Neuburger, U. (1983). *The Clarinet Reed. Instruction for the Making of Clarinet Reeds*. Lucerna: Autoedición.
- Obataya, E., y Norimoto, M. (1999). Acoustic properties of a reed (*Arundo donax* L.) used for the vibrating plate of a clarinet. *Journal of the Acoustical Society of America*, 106, 1106. Consultado en <http://dx.doi.org/10.1121/1.427118>
- Olazábal, T. (1954/1998). *Acústica Musical y Organología*. Buenos Aires: Ricordi.
- Pastor, V. (2005). *Estudio y Análisis sobre la Acústica y Organología del Clarinete y su Optimización*. (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia).
- Pastor, V. (2010). *El Clarinete. Acústica, Historia y Práctica*. Valencia: Rivera Editores.
- Pino, D. (1980). *The Clarinet and Clarinet Playing*. Nueva York: Charles Scribner's Sons.
- Reichard, T. (2005). The Woodwind Fingering Chart. Consultado el 23 de octubre de 2015 en <http://www.wfg.woodwind.org/clarinet/index.html>
- Rendall, F. G. (1954/1971). *The Clarinet; Some Notes upon its History and Construction*. (3ª ed.). Londres: Williams and Norgate.
- Rice, A. R. (1992). *The Baroque Clarinet*. Oxford: Clarendon Press.

- Rice, A. R. (2003). *Clarinet in the Classical Period*. Nueva York: Oxford University Press, USA.
- Rice, A. R. (2009). *From the Clarinet d'Amour to the Contra Bass. A History of Large Size Clarinets, 1740–1860*. Nueva York: Oxford University Press.
- Rice, A. R. (2011). The Earliest Bass Clarinet Music (1794) and the Bass Clarinets by Heinrich and August Grenser. *The Clarinet*, 38(3), 54-58. Consultado en <http://www.circb.info/?q=node/44>
- Rice, A. R. (2012). Bass Clarinets in the Musée de la Musique, Paris — An update from 2012. Consultado el 23 de octubre de 2015 en <http://www.circb.info/?q=node/11019>
- Richards, E. M. (s.f.). The Clarinet of the Twenty-First Century. New Sonic Resources based on Principles of Acoustics. Capítulo VI: Bass Clarinet. Consultado el 20 de octubre de 2015 en <http://userpages.umbc.edu/~emrich/clarinet21.html>
- Ridenour, T. (s.f.). The Grenadilla Myth. Consultado el 23 de octubre de 2015 en <http://www.ridenourclarinetproducts.com/the-grenadilla-myth.html>
- Rodrigues, D. (2005). *Étude de la justesse de la clarinette*. (Tesis de Máster, Université Pierre et Marie Curie, Ircam, París).
- Rodríguez Lorenzo, G. A. (2009). *El clarinetista, profesor y compositor Miguel Yuste Moreno (1870-1947): estudio biográfico y analítico*. (Tesis doctoral, Universidad de Oviedo).
- Romero, A. (1886). *Método Completo para Clarinete*. Madrid: Antonio Romero.
- Rubio, P. (2004). *Cuaderno I. 25 estudios progresivos. Estudios para clarinete bajo. Estudios de los siglos XVIII y XIX adaptados por Pedro Rubio*. (Madrid ed.) Música Didáctica.
- Rubio, P. (2007). *Cuaderno II. 30 estudios progresivos. Estudios para clarinete bajo. Estudios en sistema alemán de escritura adaptados por Pedro Rubio*. Madrid: Música Didáctica.
- Russell, D. (2014). Acoustics and Vibration Animations. Consultado el 20 de octubre de 2015 en <http://www.acs.psu.edu/drussell/Demos.html>
- Sax-O-Nette (suite). Entrada del blog "Le chtiot musée des Clariboles et Cie". (2009). Consultado el 23 de octubre de 2015 en <http://clariboles-et-cie.blogspot.com.es/search/label/Saxonette>

- Seta, F. (2008). From the glicibarifono to the bass clarinet: A chapter in the history of orchestration in Italy. En N. M. Jensen, y F. Piperno (Coords.), *The Opera Orchestra in 18th- and 19th-Century Europe (Vol. II: The Orchestra in the Theatre: Composers, Works, and Performances)* (págs. 331-352). Berlín: Berliner Wissenschafts-Verlag. Consultado en <http://www.circb.info/?q=node/43>
- Simmons, M. S. (2009). *The Bass Clarinet Recital: The Impact of Josef Horák on Recital Repertoire for Bass Clarinet and Piano and a List of Original Works for that Instrumentation*. (Tesis doctoral, Northwestern University, Evanston (Illinois)). Consultado en <http://www.circb.info/?q=node/10036>
- Smith, B. (2009). Clarinet Mouthpiece Materials. Consultado el 24 de octubre de 2015 en http://carolinaclarinet.org/mpc_matl.pdf
- Sparnaay, H. (2011). *El Clarinete. Una Historia Personal*. Barcelona: Periferia Sheet Music.
- Thompson, S. C. (1979). The effect of the reed resonance on woodwind tone production. *Journal of the Acoustical Society of America*, 66, 1299. doi:<http://dx.doi.org/10.1121/1.383448>
- Tschaikow, B. (1995/2001). The high clarinets. En C. J. Lawson (Coord.), *The Cambridge Companion to the Clarinet* (5ª ed., págs. 43-56). Cambridge: Cambridge University Press.
- Van der Meer, J. H. (1987). The typology and history of the bass clarinet. *JAMIS (Journal of the American Musical Instruments Society)*, 13, 65-88.
- Veintimilla, A. (2002). *El Clarinetista Antonio Romero y Andía (1815-1886)*. (Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo). Consultado en <http://ria.asturias.es/RIA/handle/123456789/2921>
- Vercher, J. (1983). *El Clarinete*. Gandía, Valencia: Autoedición.
- Werschnik, A. (1982). Clarinet with varying diameter of its longitudinal bore. *Journal of the Acoustical Society of America*, 72, 2057.
- Wolfe, J. (2002). *Introduction to clarinet acoustics*. Sidney: University of New South Wales. Consultado en <http://newt.phys.unsw.edu.au/jw/clarinetacoustics.html>
- Wolfe, J. (s.f.). Physclips: Waves and Sounds. University of New South Wales (Sidney). Consultado el 20 de octubre de 2015 en <http://www.animations.physics.unsw.edu.au/waves-sound/>

- Woods, O. (2014). Have you seen this instrument? *The Galpin Society for the Study of Musical Instruments*, 40, 6. Consultado en http://www.galpinsociety.org/Galpin_htm_files/GSNOct2014.pdf
- Wright, D. (2009). *Mathematics and Music*. St Louis, MO: Washington University. Consultado en <http://www.math.wustl.edu/~wright/Math109/00Book.pdf>

8. ANEXOS

ANEXO I (TAMBIÉN EN EL CD)

MAPA ACÚSTICO

Número de sonido	Digitación completa	Digitación simplificada
<ul style="list-style-type: none"> • Pentagrama con la nota. Escrito en clave de Sol. • Se usará la distribución que ofrece el libro de H. Bok y la de la web woodwind.org • El sonido resultante puede no corresponderse con la nota aquí escrita. • Se ha hecho corresponder la digitación sugerida en los libros con el sonido que debería producir. • La tabla de valores es la que determina hasta qué punto se cumple esa correspondencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Se muestra aquí el despiece de las llaves del clarinete. • Se incluyen todas las llaves. • Las que no tienen color son las llaves o agujeros que no se tapan. En rojo las digitaciones alternativas que no modifican el tubo. En negro las llaves o agujeros que se tapan 	<ul style="list-style-type: none"> • Se eliminan las llaves que no se usan • Se añaden las llaves en blanco cuando pertenecen a un grupo con la intención de no equivocarse de llave


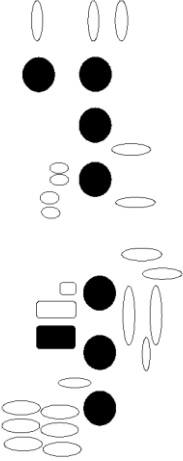
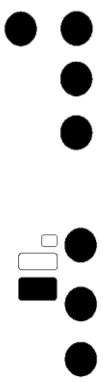
Oscilograma

En este espacio se mostrará el oscilograma. Siempre tendrá la misma dimensión relativa, de manera que se pueda observar cómo va disminuyendo la longitud de onda conforme aumenta la frecuencia del sonido. La marca oscura determina la longitud de la onda.

Gráfica FFT

En este espacio irá pegada la gráfica FFT que determina la frecuencia y la amplitud del sonido.

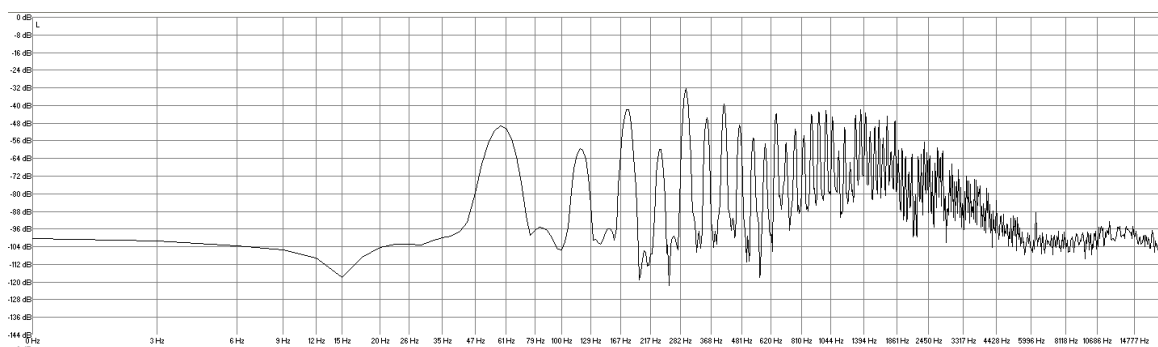
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)	
Nº del sonido	Armónicos hasta el 8º
dB	Valores de amplitud de la onda medidos en decibelios
Frecuencia experimental	Frecuencia obtenida de las grabaciones de audio
Frecuencia Teórica	Frecuencia que se debería obtener matemáticamente si partiésemos del primer armónico obtenido experimentalmente

SONIDO 0	Digitación completa	Digitación simplificada
		


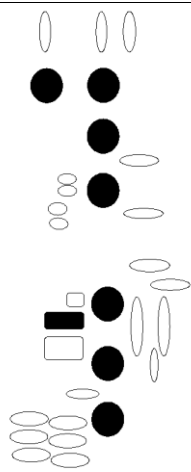
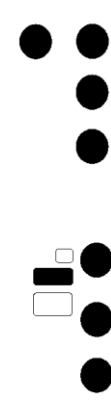
Oscilograma



Gráfica FFT



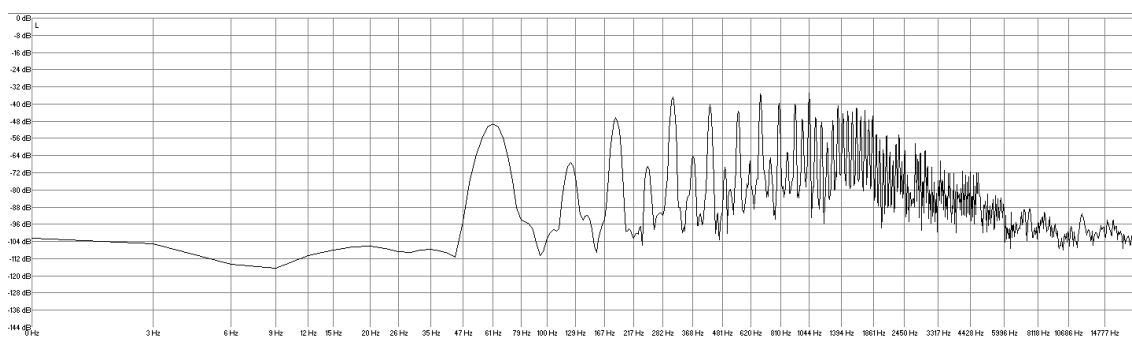
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 0	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-49.2	-59.5	-41.9	-59.9	-32.7	-45.9	-39.7	-48.9
Frecuencia experimental	58.7	117.5	177.4	236	295.7	354.2	413.1	471.8
Frecuencia Teórica	58,7	117,4	176,1	234,8	293,5	352,2	410,9	469,6

SONIDO 1	Digitación completa	Digitación simplificada
		


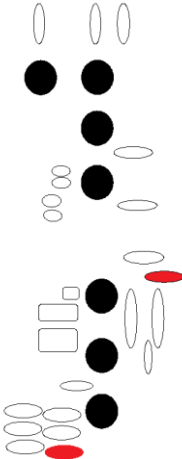
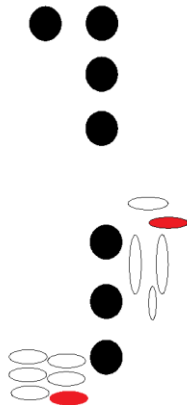
Oscilograma



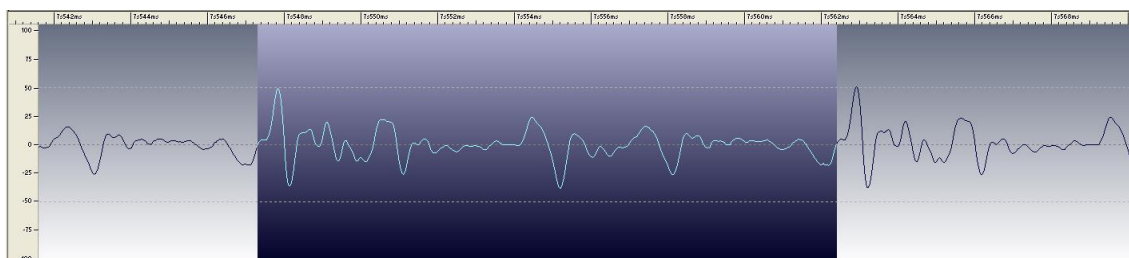
Gráfica FFT



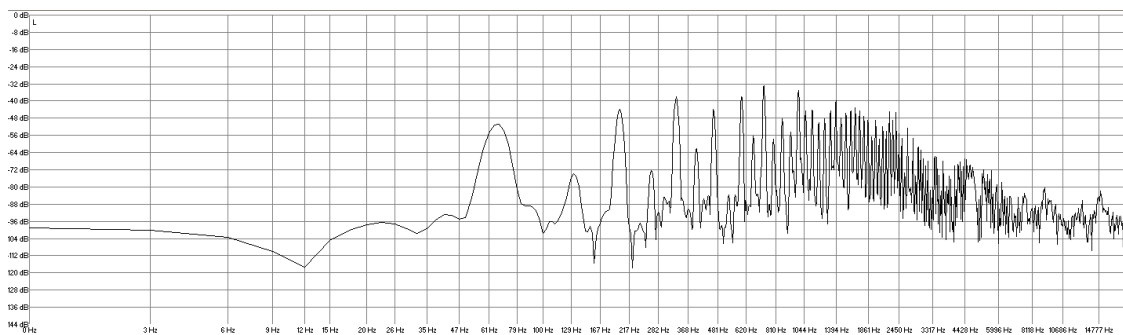
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 1	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-49.2	-67.6	-46.3	-69.1	-37.1	-64.3	-40	-69.8
Frecuencia experimental	61.5	123	184.5	246.1	307.8	369.2	430.8	492.3
Frecuencia Teórica	61,5	123	184,5	246	307,5	369	430,5	492

SONIDO 2	Digitación completa	Digitación simplificada
		


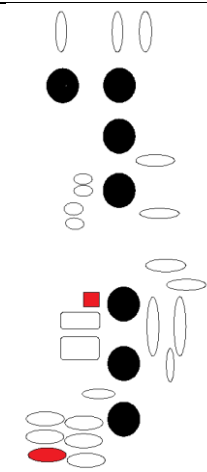
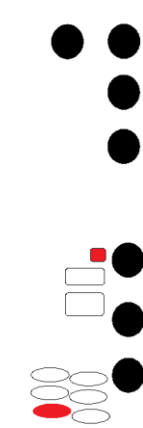
Oscilograma



Gráfica FFT



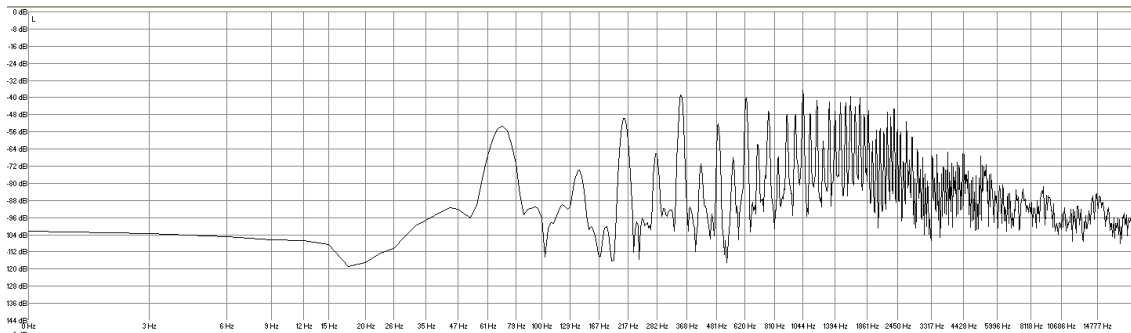
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 2	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-50.8	-73.5	-44.3	-72	-38.3	-62.5	-44.7	-80.7
Frecuencia experimental	66.7	131.7	198.7	264.2	331.2	398	463.6	530.1
Frecuencia Teórica	66,7	133,4	200,1	266,8	333,5	400,2	466,9	533,6

SONIDO 3	Digitación completa	Digitación simplificada
		


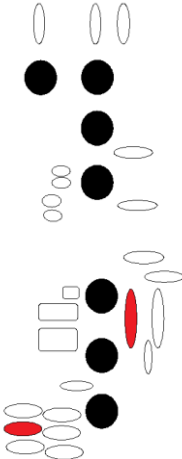
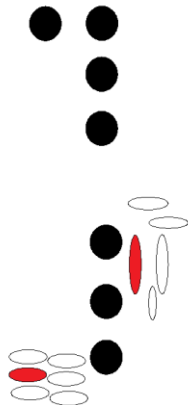
Oscilograma



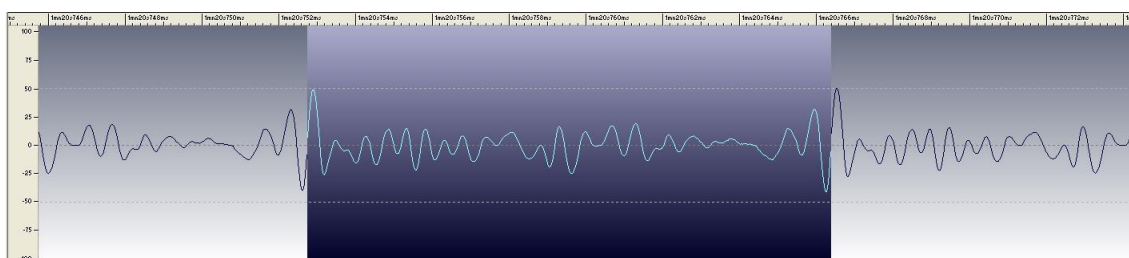
Gráfica FFT



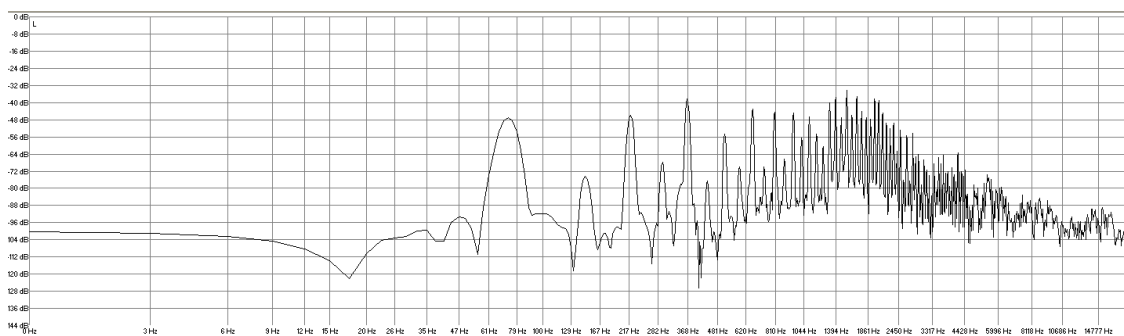
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 3	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-52.9	-73.3	-49.6	-64.2	-38.6	-71.5	-51.8	-67.1
Frecuencia experimental	70.1	140.6	210.2	279	348.8	418.7	489.3	559.2
Frecuencia Teórica	70,1	140,2	210,3	280,4	350,5	420,6	490,7	560,8

SONIDO 4	Digitación completa	Digitación simplificada
		


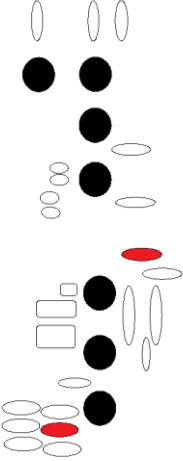
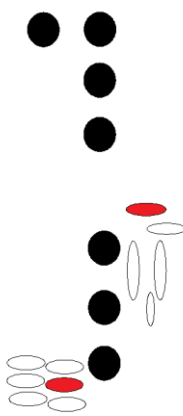
Oscilograma



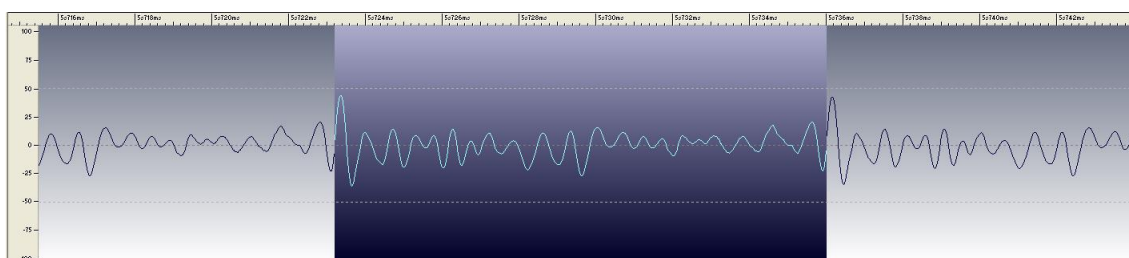
Gráfica FFT



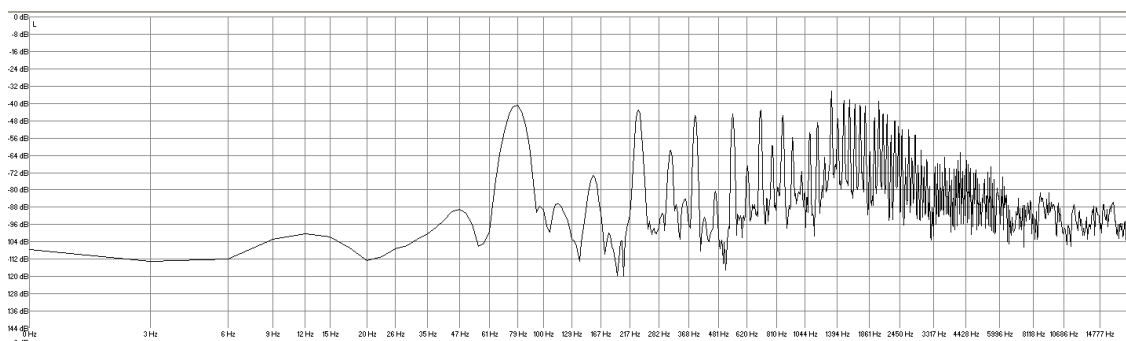
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 4	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-47	-74.7	-45.9	-68.2	-38.6	-76.9	-55	-70.4
Frecuencia experimental	73.1	146.3	219.6	292.6	366.3	439.2	512.8	585
Frecuencia Teórica	73,1	146,2	219,3	292,4	365,5	438,6	511,7	584,8

SONIDO 5	Digitación completa	Digitación simplificada
		


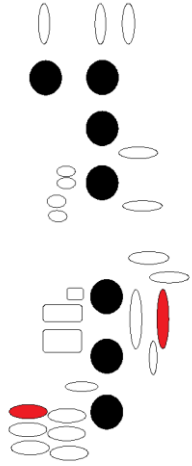
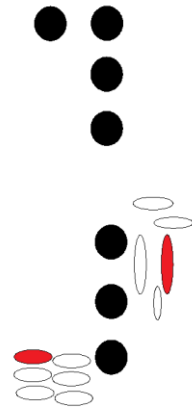
Oscilograma



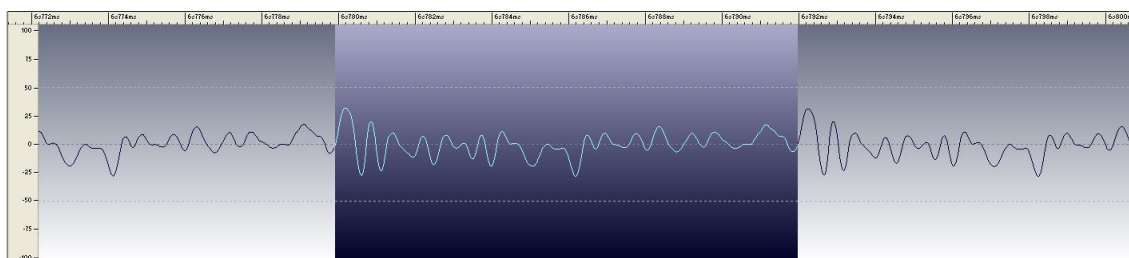
Gráfica FFT



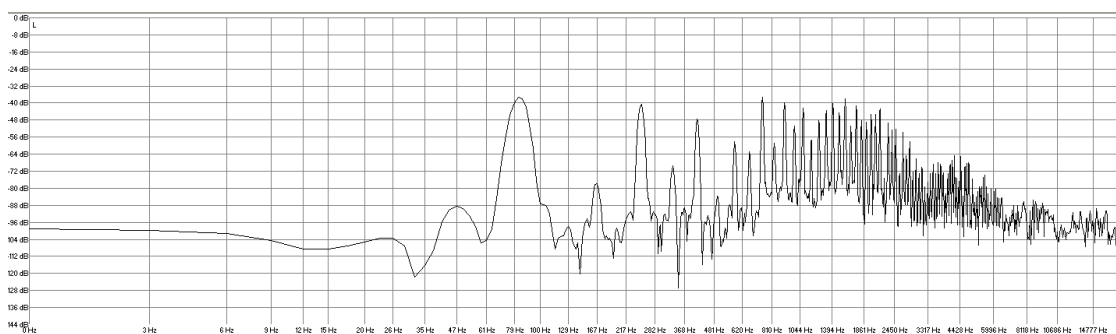
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 5	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-40.8	-73.3	-43.4	-61.6	-45.9	-80.9	-44.8	-69.3
Frecuencia experimental	78.9	155.5	234.3	313	389.8	468.7	546	624
Frecuencia Teórica	78,9	157,8	236,7	315,6	394,5	473,4	552,3	631,2

SONIDO 6	Digitación completa	Digitación simplificada
		


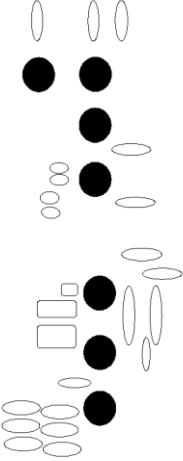
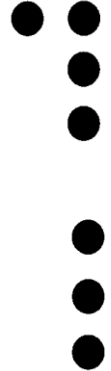
Oscilograma



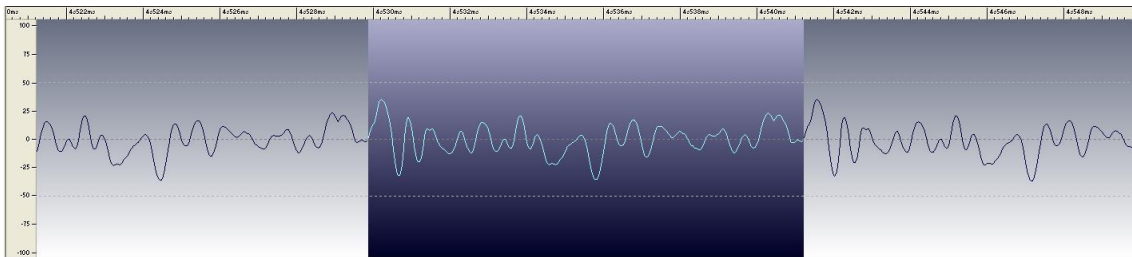
Gráfica FFT



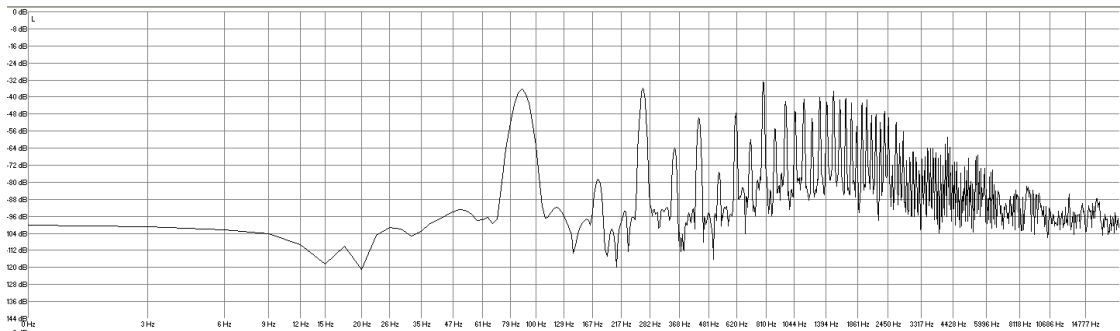
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 6	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-37.3	-77.8	-40.6	-69.8	-47.9	-83.7	-58.1	-63.2
Frecuencia experimental	82	166.4	248.8	331.2	413.5	495.9	579.8	662.2
Frecuencia Teórica	82	164	246	328	410	492	574	656

SONIDO 7	Digitación completa	Digitación simplificada
		


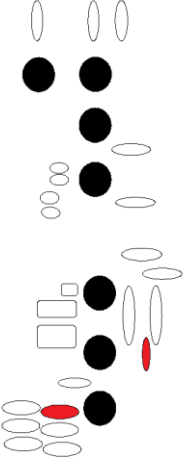
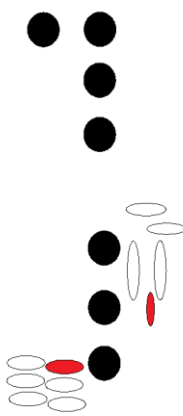
Oscilograma



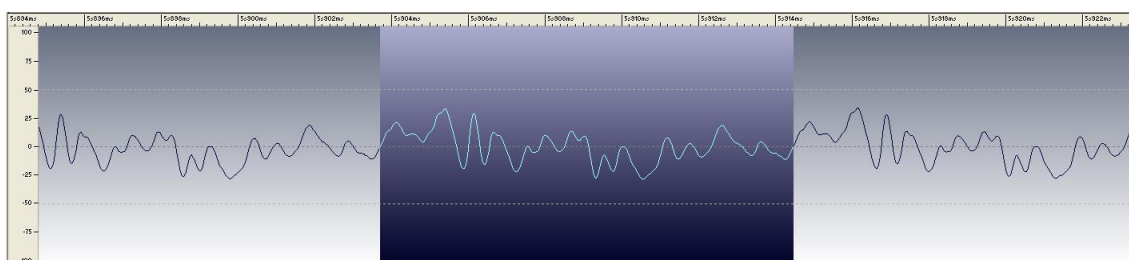
Gráfica FFT



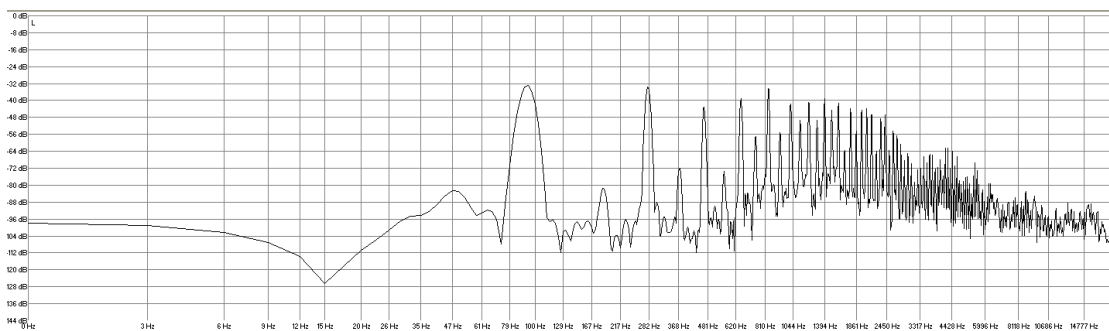
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 7	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-36.2	-78.9	-36.5	-64	-49.7	-75.3	-47.9	-60.3
Frecuencia experimental	88	175.8	263.7	352.1	440	528.1	616.5	704.2
Frecuencia Teórica	88	176	264	352	440	528	616	704

SONIDO 8	Digitación completa	Digitación simplificada
		


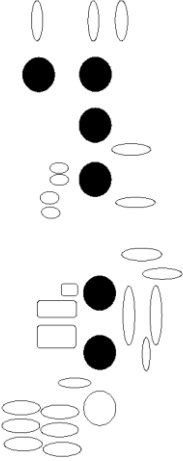
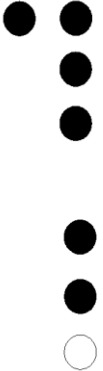
Oscilograma



Gráfica FFT



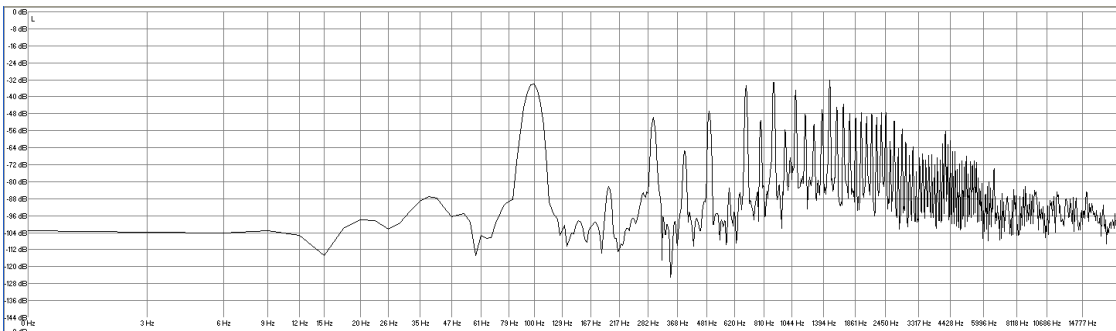
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 8	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-32.9	-81.5	-34	-72	-43.1	-73.5	-39.5	-57,4
Frecuencia experimental	93.5	185.5	278.3	371.5	465.4	557.2	650.9	743.9
Frecuencia Teórica	93,5	187	280,5	374	467,5	561	654,5	748

SONIDO 9	Digitación completa	Digitación simplificada
		


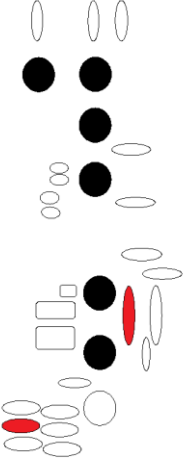
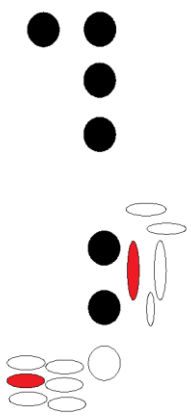
Oscilograma



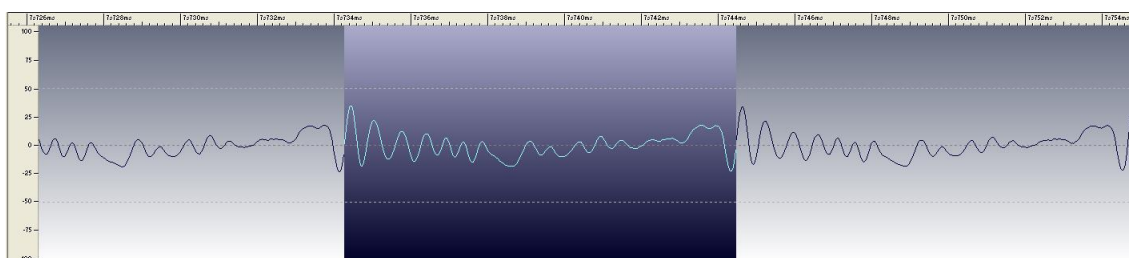
Gráfica FFT



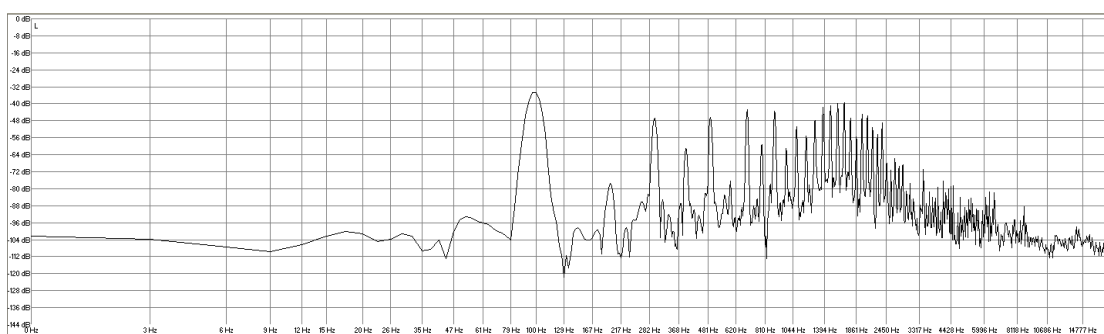
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 9	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-34	-83	-50.1	-65.4	-47.1	-83	-35.5	-51.2
Frecuencia experimental	98.9	196.3	295.4	393.4	492.5	590.8	688.9	788
Frecuencia Teórica	98,9	197,8	296,7	395,6	494,5	593,4	692,3	791,2

SONIDO 10	Digitación completa	Digitación simplificada
		


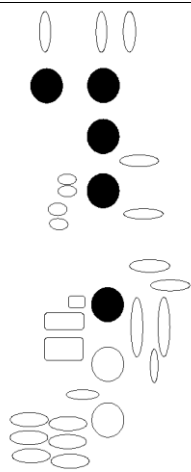
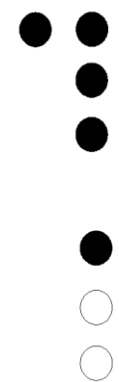
Oscilograma



Gráfica FFT



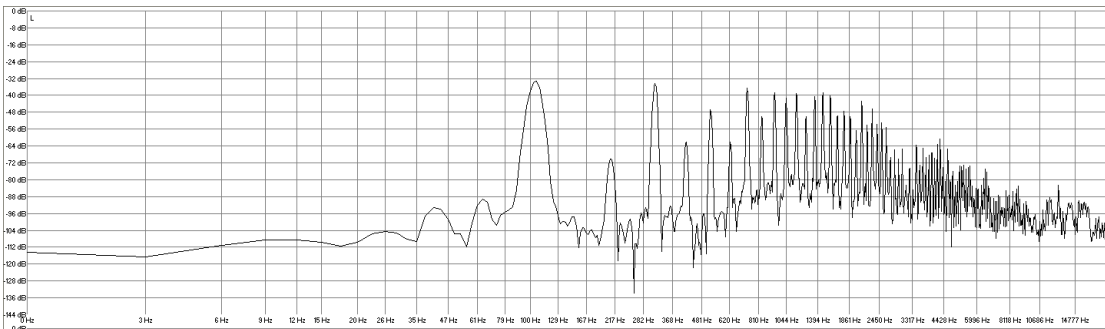
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 10	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-34.7	-77.5	-47.1	-60.7	-46.8	-75.3	-43.5	-59.2
Frecuencia experimental	98.9	196.3	294.9	392.7	491.8	590.8	688.1	788.1
Frecuencia Teórica	98,9	197,8	296,7	395,6	494,5	593,4	692,3	791,2

SONIDO 11	Digitación completa	Digitación simplificada
		


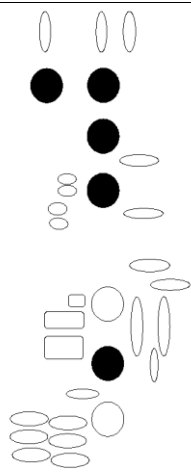
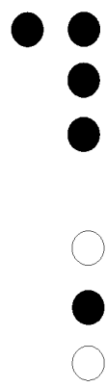
Oscilograma



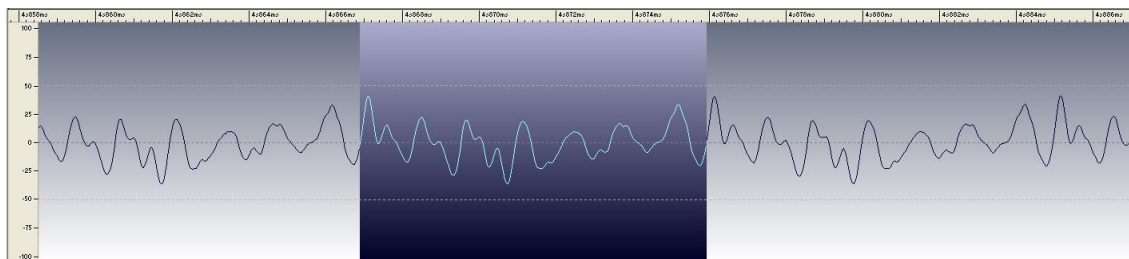
Gráfica FFT



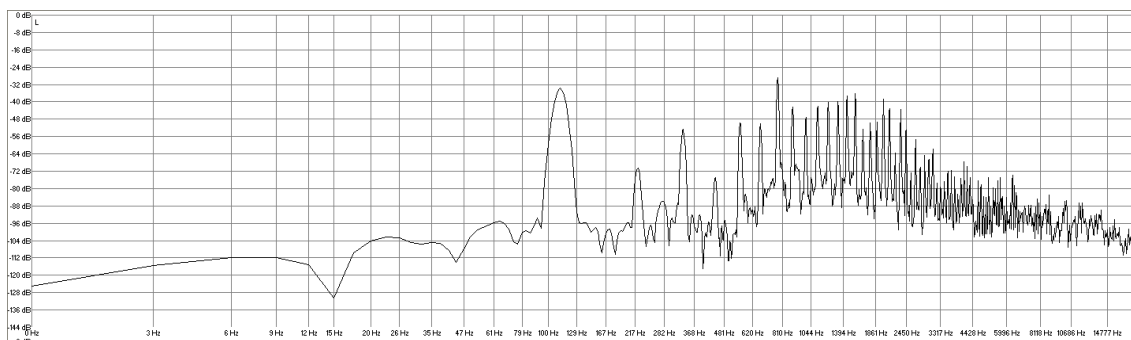
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 11	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-33.3	-70.2	-34.7	-62.1	-47.1	-62.1	-36.5	-50.4
Frecuencia experimental	105.1	208.8	313	417.6	521.8	626.9	732	835.3
Frecuencia Teórica	105,1	210,2	315,3	420,4	525,5	630,6	735,7	840,8

SONIDO 12	Digitación completa	Digitación simplificada
		


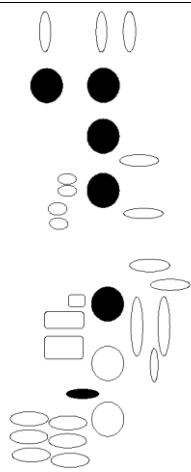

Oscilograma



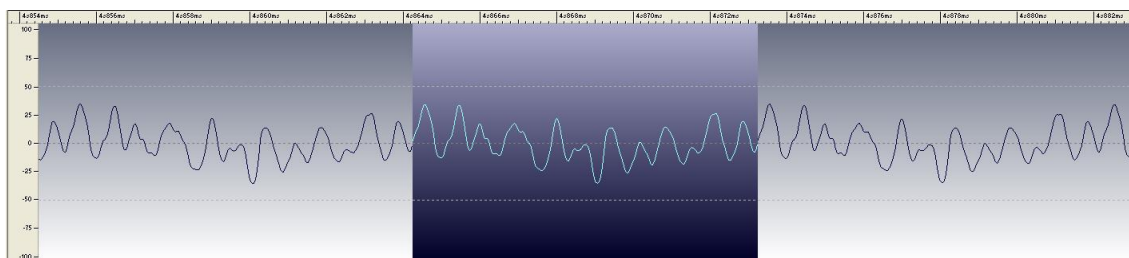
Gráfica FFT



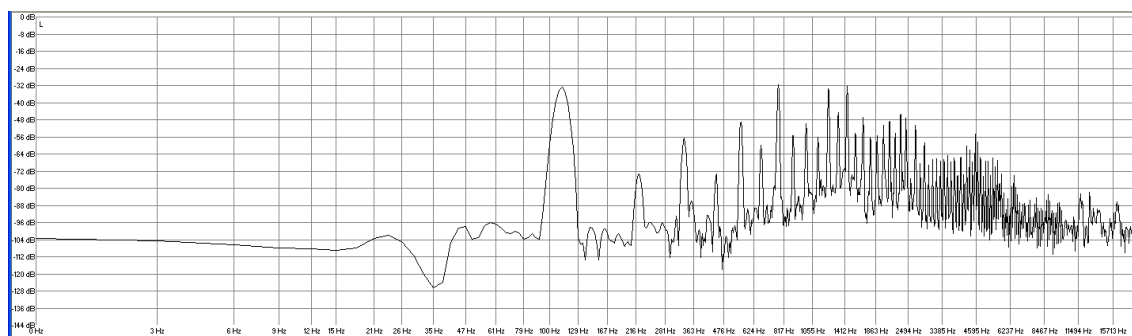
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 12	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-33.6	-70.5	-53	-74.9	-49.7	-50.8	-29.2	-42.8
Frecuencia experimental	111.3	222.3	333.5	444.8	554.7	665	776.8	888.3
Frecuencia Teórica	111,3	222,6	333,9	445,2	556,5	667,8	779,1	890,4

SONIDO 13	Digitación completa	Digitación simplificada
		


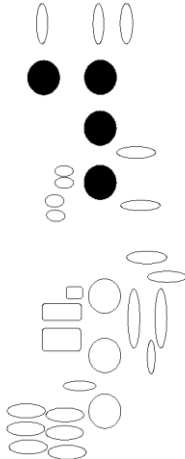

Oscilograma



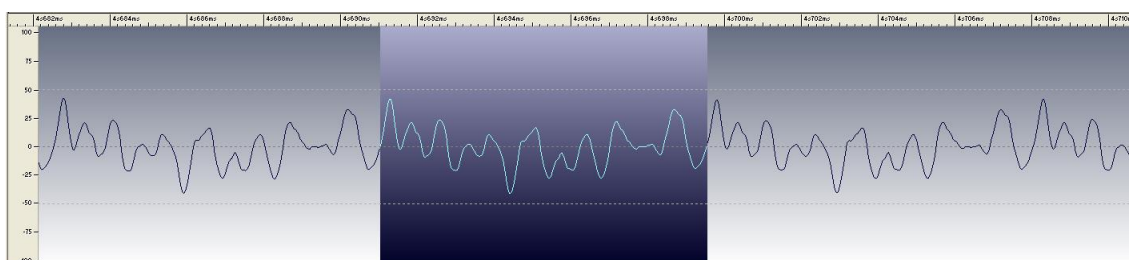
Gráfica FFT



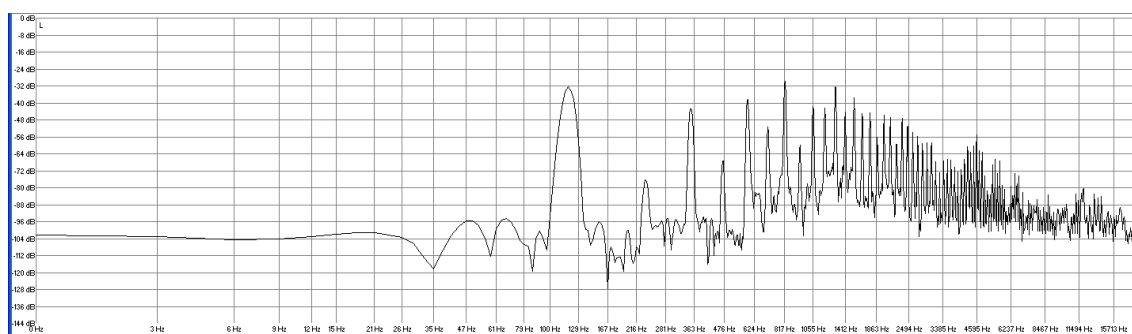
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 13	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-32.7	-73.7	-56.9	-73.7	-49.1	-59.9	-32	-55.4
Frecuencia experimental	111.4	222.3	333.8	445.2	556.8	667.2	779	889
Frecuencia Teórica	111,4	222,8	334,2	445,6	557	668,4	779,8	891,2

SONIDO 14	Digitación completa	Digitación simplificada
		


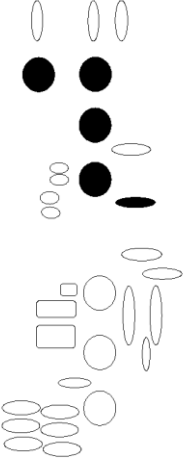
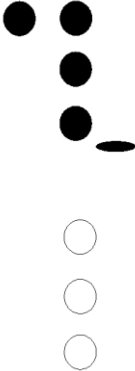
Oscilograma



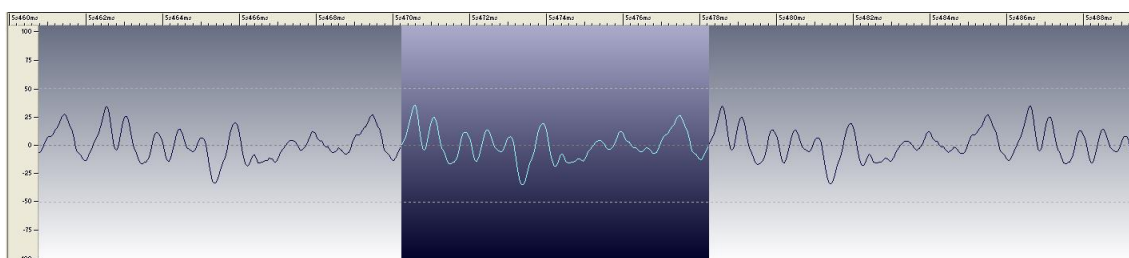
Gráfica FFT



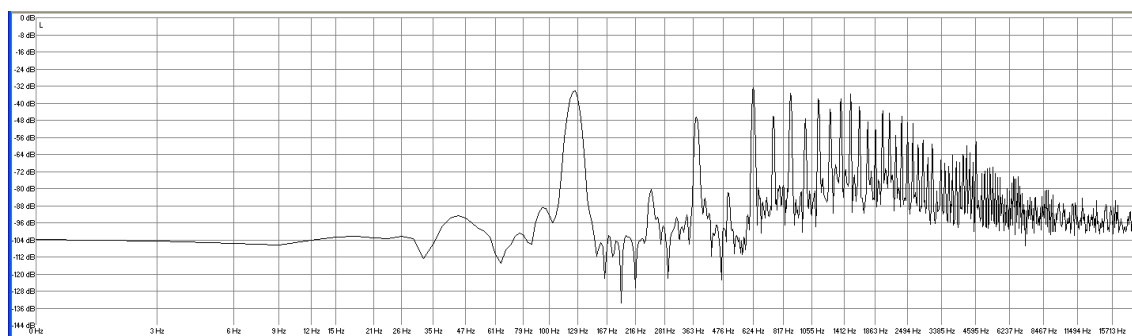
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 14	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-32.7	-76.3	-42.8	-67.3	-38.3	-51.7	-30.1	-60.7
Frecuencia experimental	117.3	234.4	352.1	469.9	588.3	706	822.6	940.7
Frecuencia Teórica	117,3	224,6	117,4	224,7	117,5	224,8	117,6	224,9

SONIDO 15	Digitación completa	Digitación simplificada
		


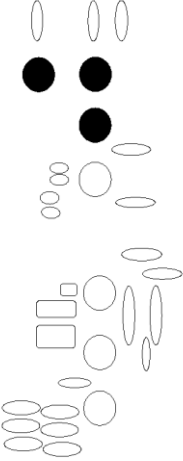
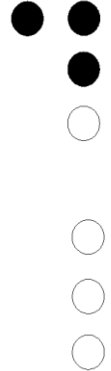
Oscilograma



Gráfica FFT



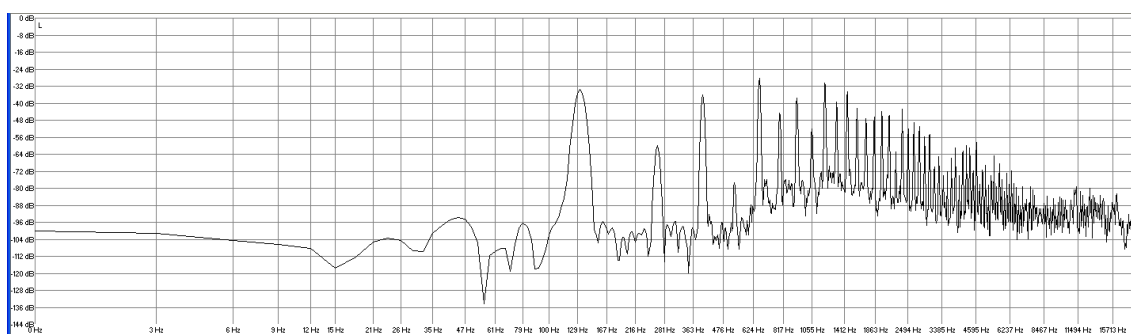
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 15	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-34.2	-80.7	-46.5	-81.9	-33.1	-46.5	-35.7	-47.3
Frecuencia experimental	125.1	249	374.2	499.4	623.7	748.2	873	998.4
Frecuencia Teórica	125,1	250,2	375,3	500,4	625,5	750,6	875,7	1000,8

SONIDO 16	Digitación completa	Digitación simplificada
		


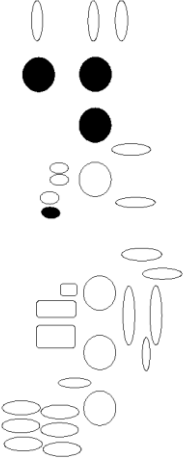
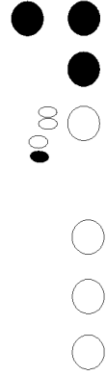
Oscilograma



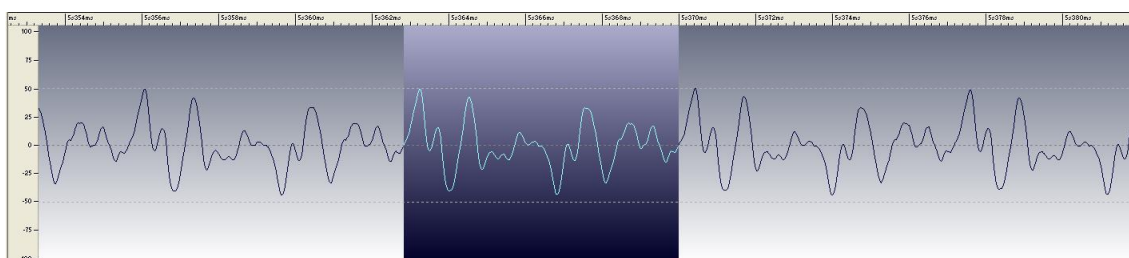
Gráfica FFT



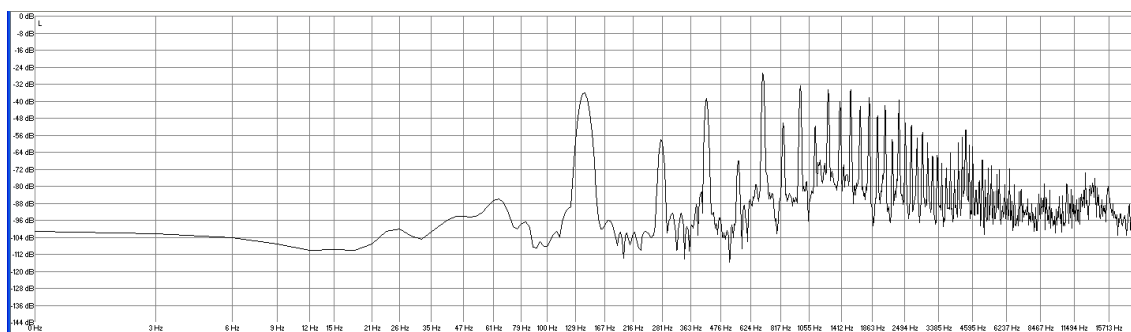
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 16	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-33.5	-60.3	-36.5	-77.8	-28.7	-45.4	-38.3	-52.8
Frecuencia experimental	131.8	263.7	395.7	527	659.7	792	923.2	1054.8
Frecuencia Teórica	131,8	263,6	395,4	527,2	659	790,8	922,6	1054,4

SONIDO 17	Digitación completa	Digitación simplificada
		


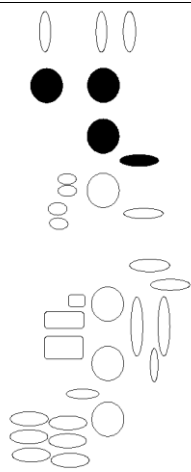
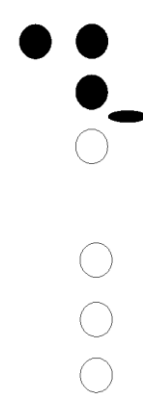
Oscilograma



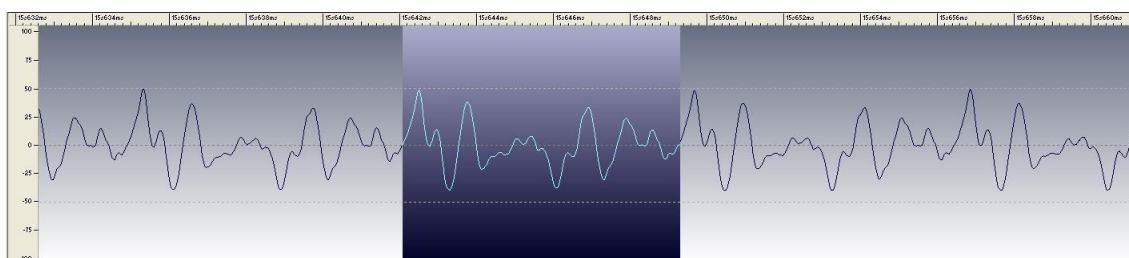
Gráfica FFT



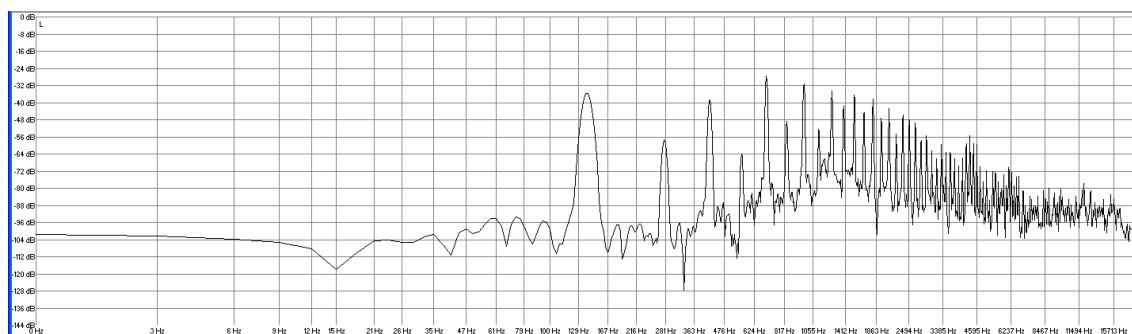
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 17	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-36.1	-58.4	-39.1	-68.1	-27.2	-51	-32.7	-52.1
Frecuencia experimental	139.9	278.6	418.9	558.3	697	836.8	975.2	1115.4
Frecuencia Teórica	139,9	279,8	419,7	559,6	699,5	839,4	979,3	1119,2

SONIDO 18	Digitación completa	Digitación simplificada
		


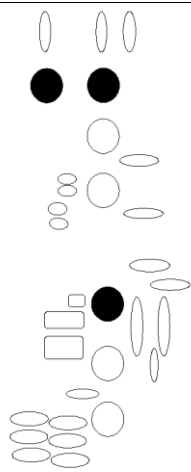

Oscilograma



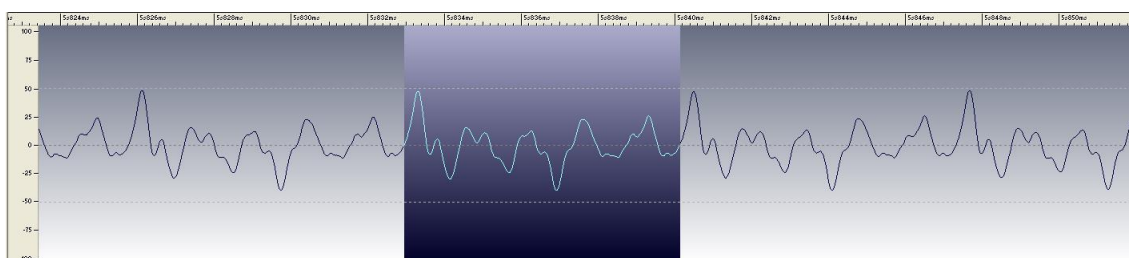
Gráfica FFT



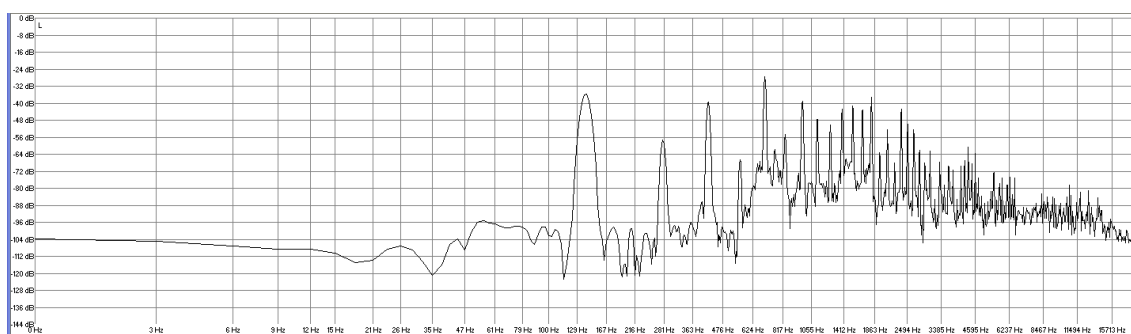
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 18	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-35.7	-57.7	-39.1	-64	-27.9	-49.5	-32	-53.2
Frecuencia experimental	139.4	278.5	418.4	557	697.5	835.6	975.2	1114.1
Frecuencia Teórica	139,4	278,8	418,2	557,6	697	836,4	975,8	1115,2

SONIDO 19	Digitación completa	Digitación simplificada
		


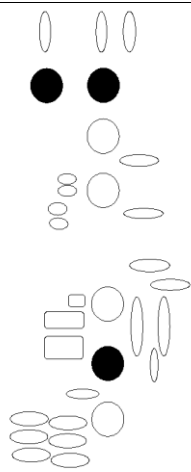

Oscilograma



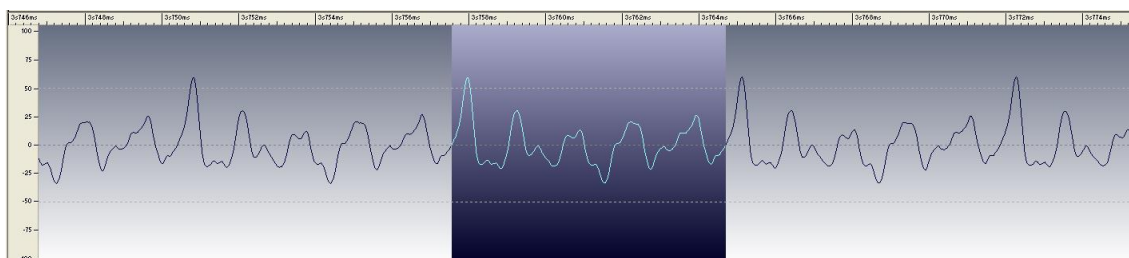
Gráfica FFT



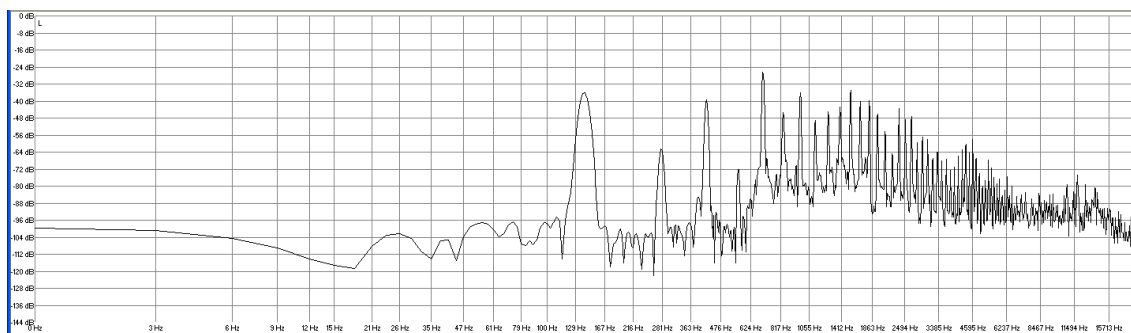
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 19	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-36.1	-57.7	-39.8	-67.3	-27.5	-54.7	-40.2	-48.4
Frecuencia experimental	140	278.1	418.3	556.8	695.7	836.2	976	1114.8
Frecuencia Teórica	140	280	420	560	700	840	980	1120

SONIDO 20	Digitación completa	Digitación simplificada
		


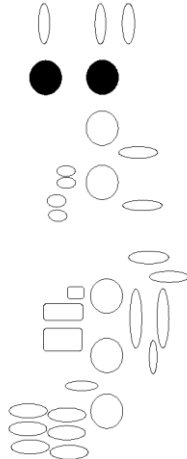

Oscilograma



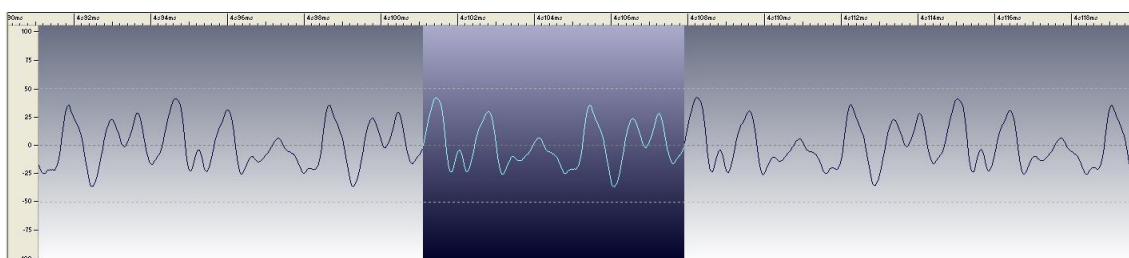
Gráfica FFT



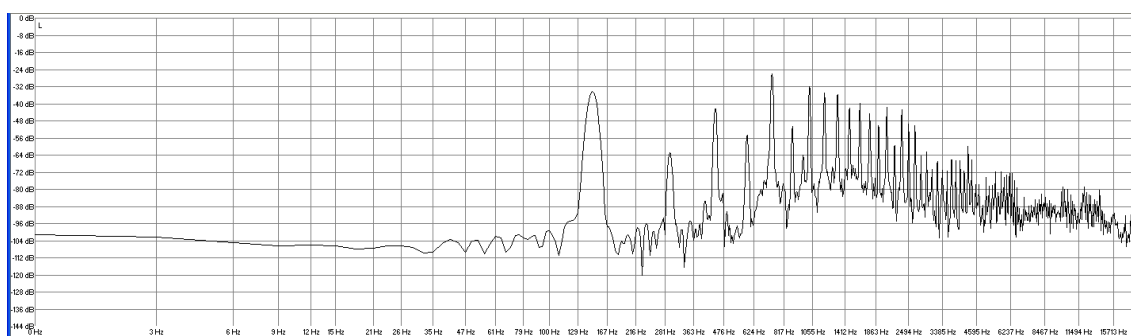
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 20	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-36.1	-62.9	-40.2	-72.2	-26.8	-46.1	-36.8	-49.1
Frecuencia experimental	139.9	278.5	418.9	558.8	697.5	837.9	977.4	1115.9
Frecuencia Teórica	139,9	279,8	419,7	559,6	699,5	839,4	979,3	1119,2

SONIDO 21	Digitación completa	Digitación simplificada
		


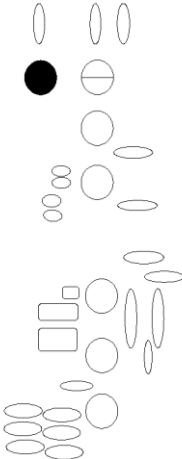

Oscilograma



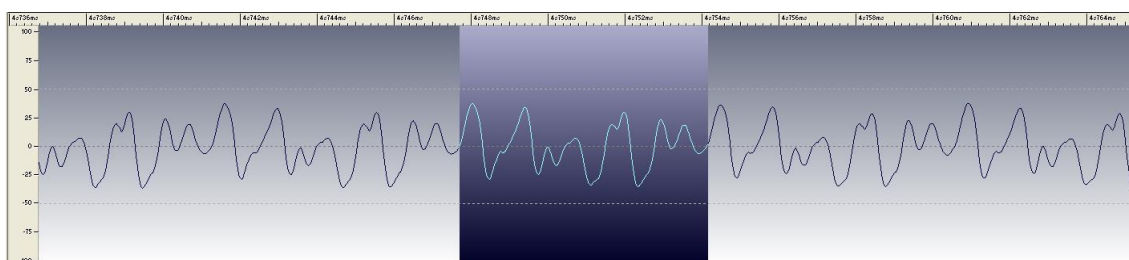
Gráfica FFT



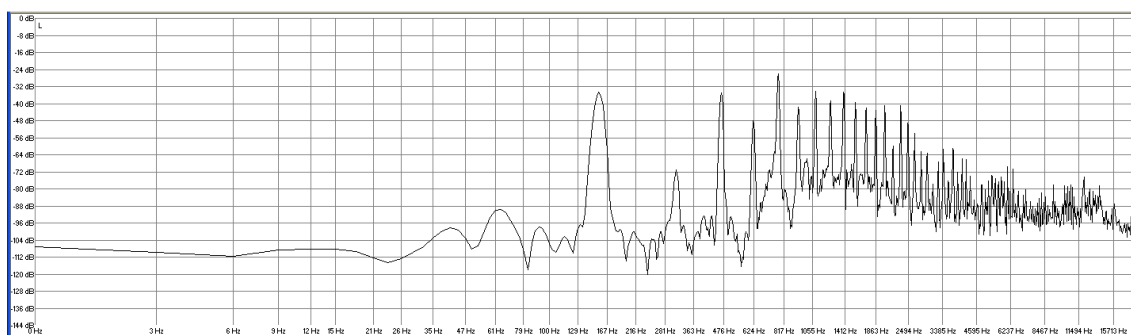
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 21	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-34.2	-62.9	-42.4	-55.1	-26.4	-51	-32.7	-35
Frecuencia experimental	146.6	293.4	441.2	588.7	735.4	882.7	1029	1175.9
Frecuencia Teórica	146,6	293,2	439,8	586,4	733	879,6	1026,2	1172,8

SONIDO 22	Digitación completa	Digitación simplificada
		

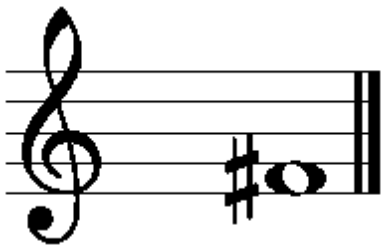
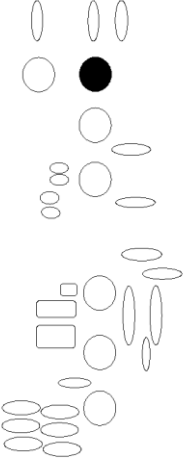

Oscilograma



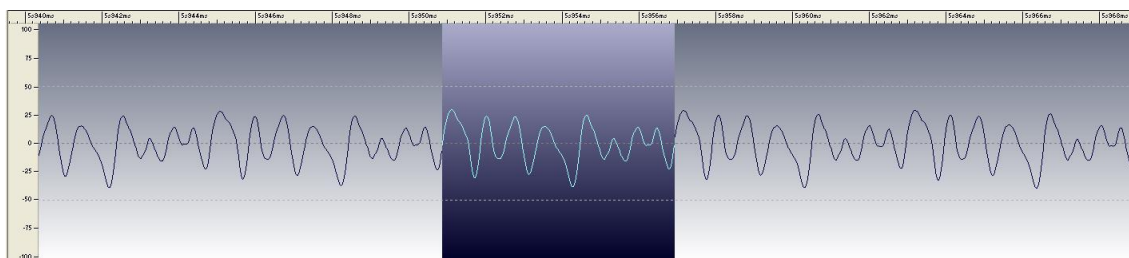
Gráfica FFT



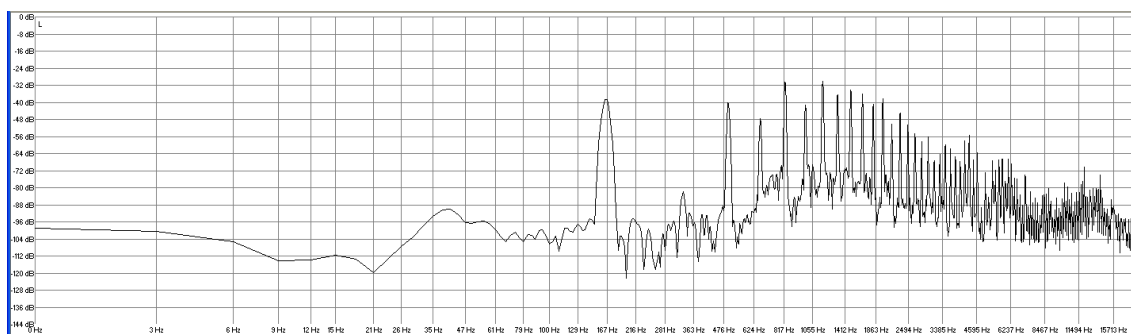
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 22	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-34.6	-71.4	-35	-48	-26.4	-42.4	-35.7	-39.8
Frecuencia experimental	155.2	310.6	465.9	621.3	776.3	932.1	1087.6	1243
Frecuencia Teórica	155,2	310,4	465,6	620,8	776	931,2	1086,4	1241,6

SONIDO 23	Digitación completa	Digitación simplificada
		

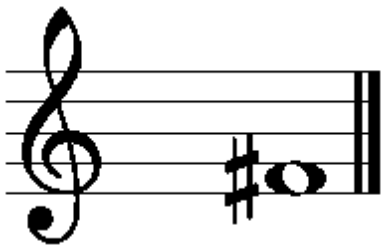
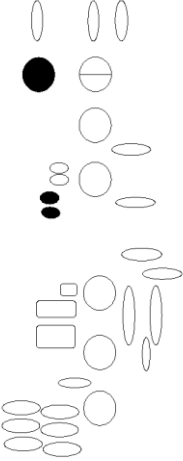
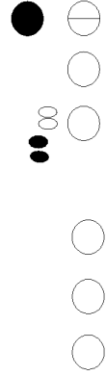
Oscilograma



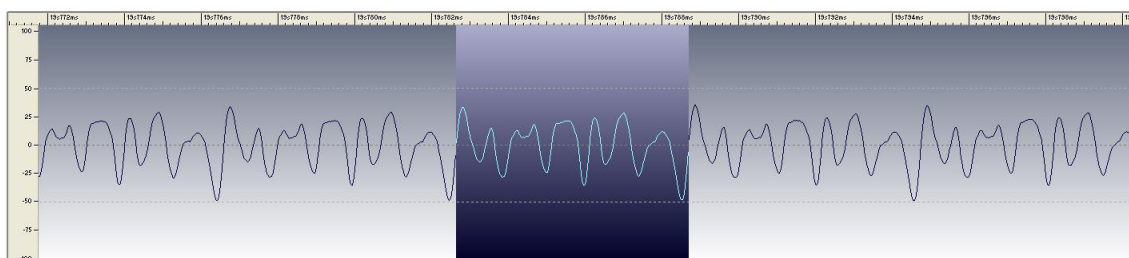
Gráfica FFT



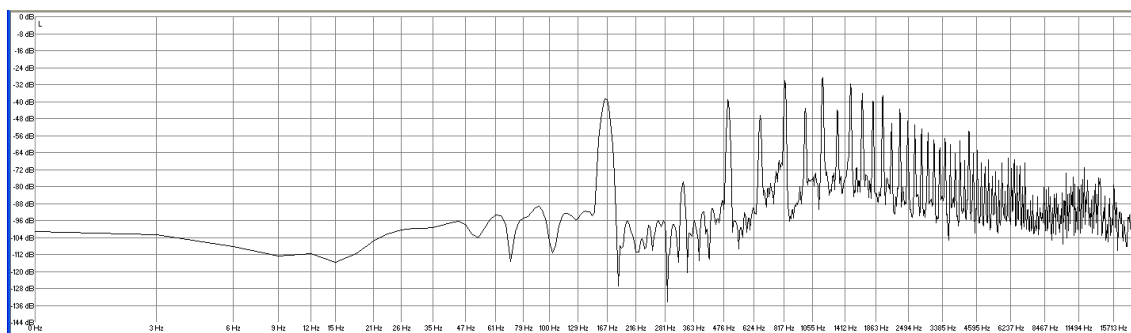
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 23	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-38.7	-81.9	-40.2	-48	-30.9	-41.7	-29.8	-36.8
Frecuencia experimental	165.5	331	496.3	662.1	827.3	994.3	1158.3	1324.3
Frecuencia Teórica	165,5	331	496,5	662	827,5	993	1158,5	1324

SONIDO 24	Digitación completa	Digitación simplificada
		


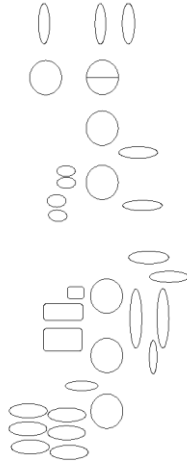

Oscilograma



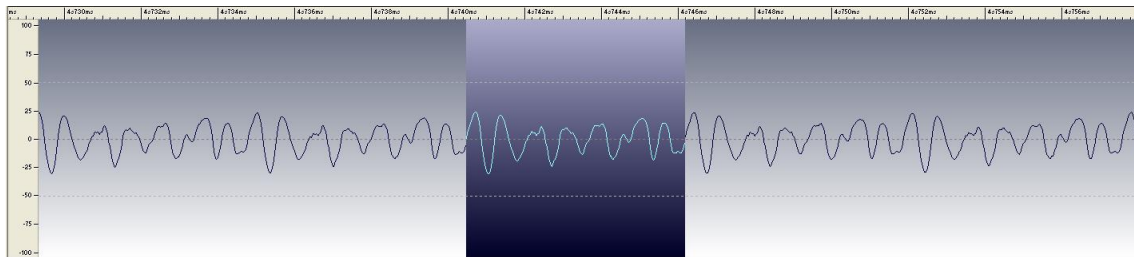
Gráfica FFT



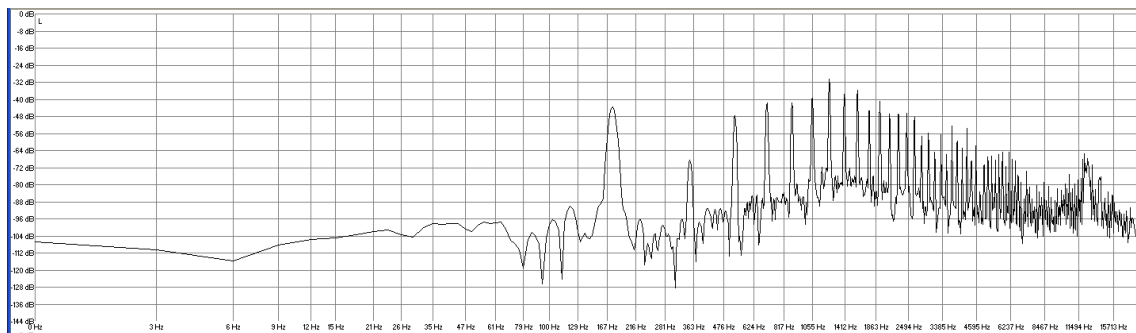
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 24	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-38.7	-78.1	-39.1	-46.9	-30.9	-43.2	-29	-43.9
Frecuencia experimental	164.5	330.7	495.2	661.9	825.7	991.2	1157.5	1320.8
Frecuencia Teórica	164,5	329	493,5	658	822,5	987	1151,5	1316

SONIDO 25	Digitación completa	Digitación simplificada
		

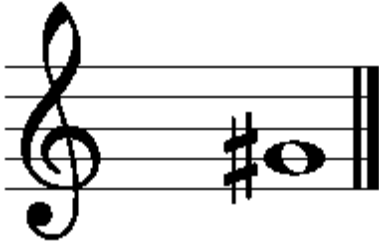
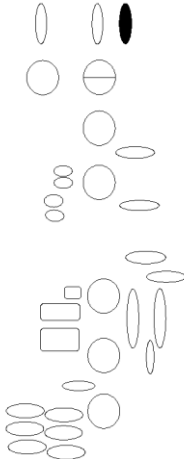

Oscilograma



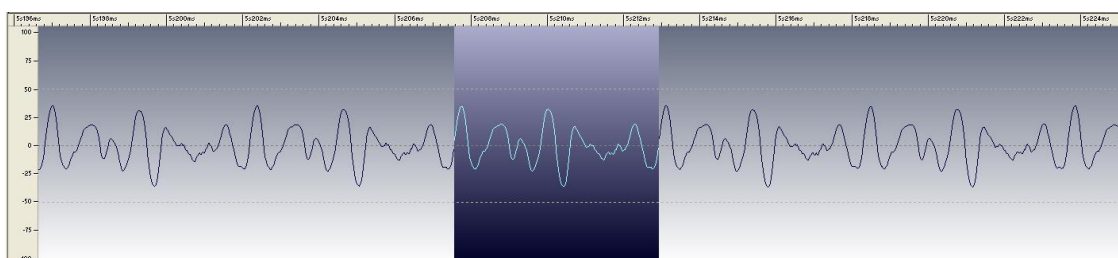
Gráfica FFT



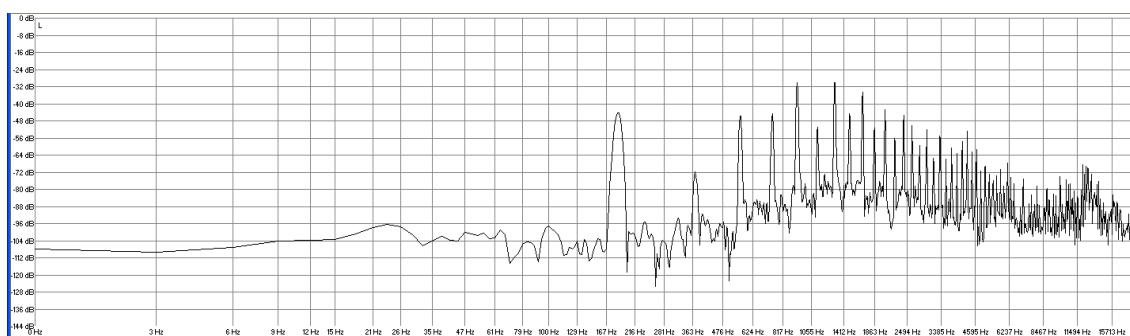
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 25	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-43.9	-68.5	-48	-41.7	-41.7	-40.2	-30.9	-39.1
Frecuencia experimental	175.7	351.3	526.9	702.7	879.4	1053.9	1230.2	1405.3
Frecuencia Teórica	175,7	351,4	527,1	702,8	878,5	1054,2	1229,9	1405,6

SONIDO 26	Digitación completa	Digitación simplificada
		


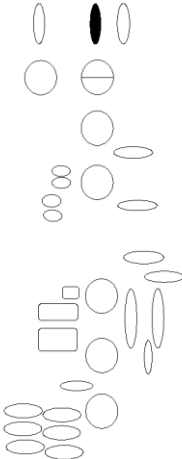

Oscilograma



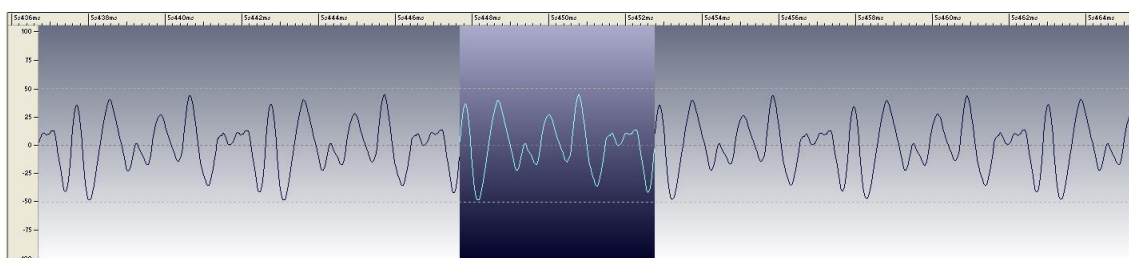
Gráfica FFT



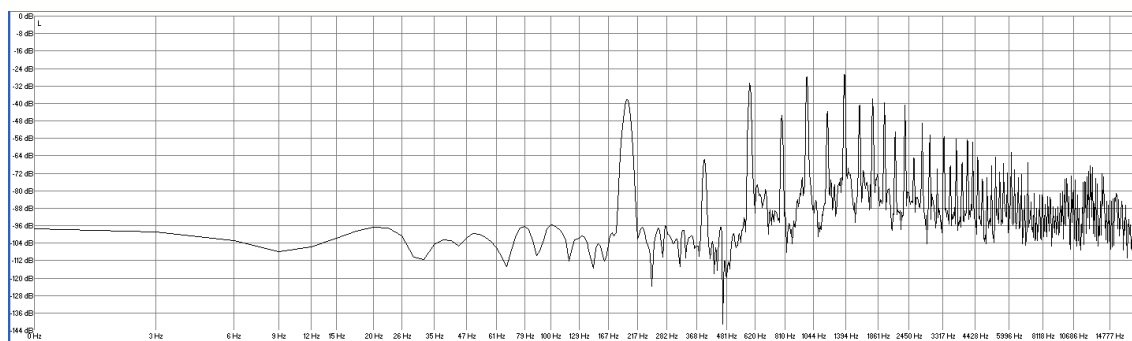
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 26	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-44.3	-72.2	-45.8	-45	-30.5	-51.3	-30.9	-45
Frecuencia experimental	186.1	372.3	558.3	743.6	929.8	1116.9	1300.9	1487.5
Frecuencia Teórica	186,1	372,2	558,3	744,4	930,5	1116,6	1302,7	1488,8

SONIDO 27	Digitación completa	Digitación simplificada
		


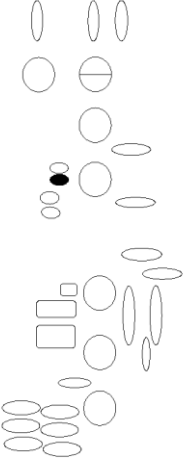
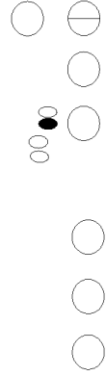
Oscilograma



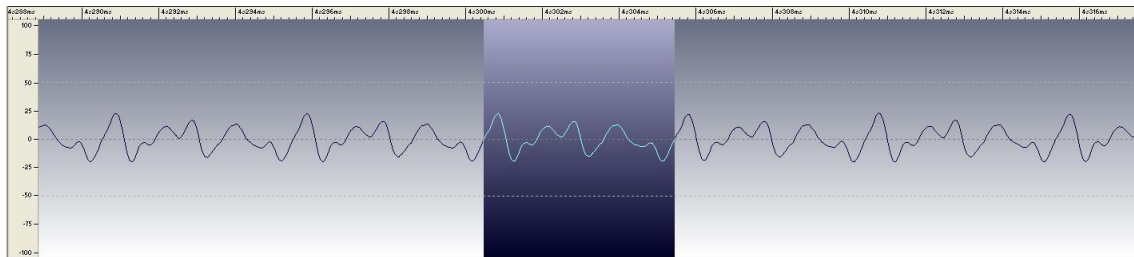
Gráfica FFT



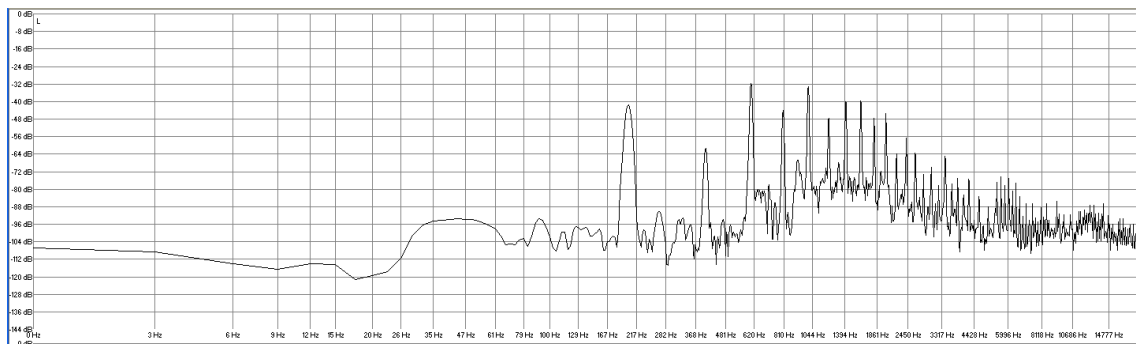
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 27	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-38.3	-66	-31.4	-45.1	-27.8	-44	-26.7	-41.5
Frecuencia experimental	197	395.1	591.8	789	986.5	1183.5	1381.3	1578
Frecuencia Teórica	197	394	591	788	985	1182	1379	1576

SONIDO 28	Digitación completa	Digitación simplificada
		


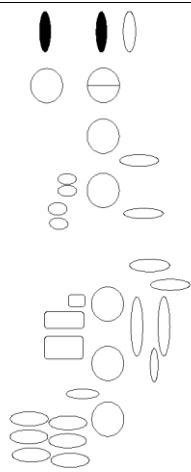

Oscilograma



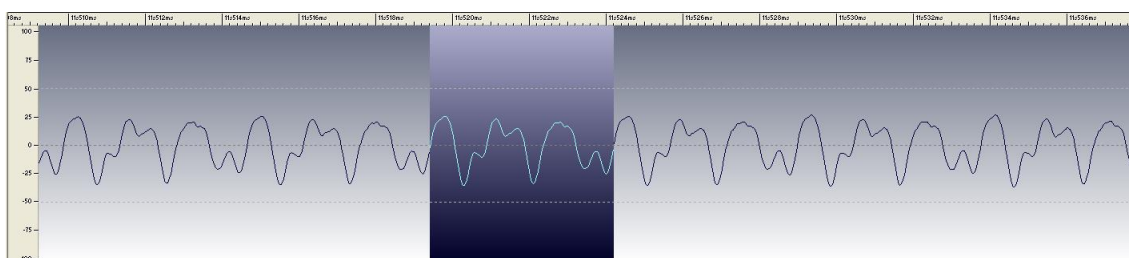
Gráfica FFT



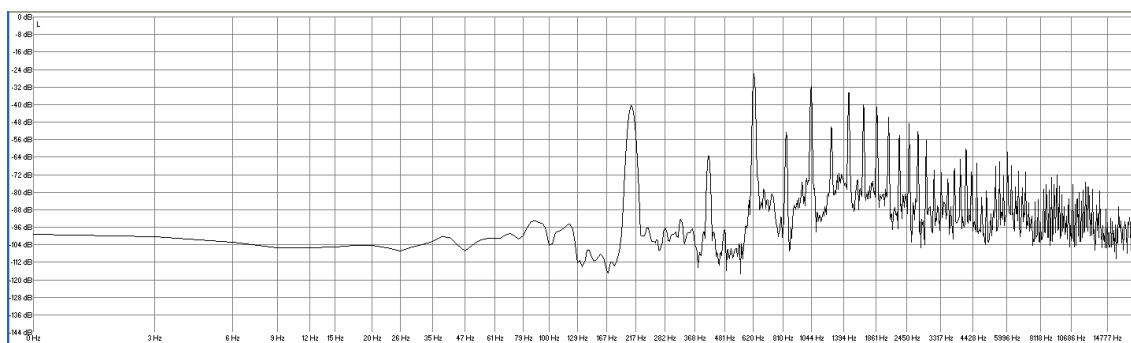
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 28	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-41.5	-61.4	-31.8	-44.4	-34.3	-47.6	-40.4	-40.1
Frecuencia experimental	202	403.6	604.1	805.2	1007.4	1210.8	1410.9	1611.4
Frecuencia Teórica	202	404	606	808	1010	1212	1414	1616

SONIDO 29	Digitación completa	Digitación simplificada
		


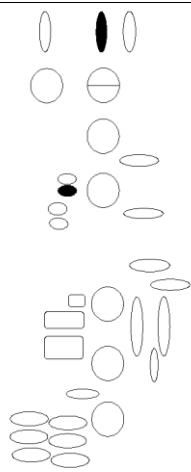
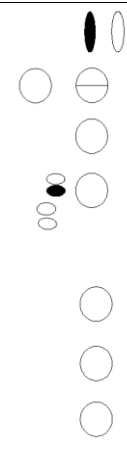
Oscilograma



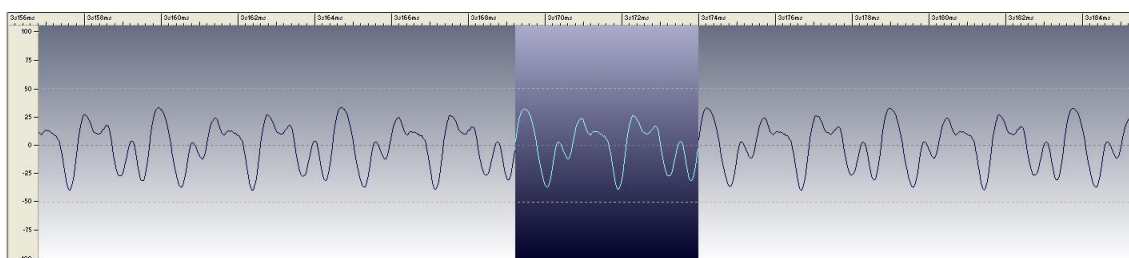
Gráfica FFT



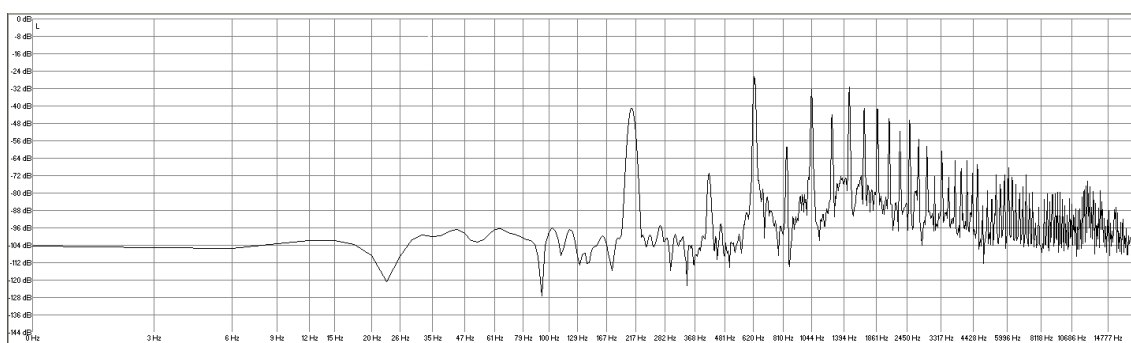
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 29	1 ^{er} arm	2º arm	3 ^{er} arm	4º arm	5º arm	6º arm	7º arm	8º arm
dB	-40.4	-63.9	-26.3	-53.1	-31.8	-50.5	-35.4	-40.8
Frecuencia experimental	208.5	417.2	625.8	835	1042.3	1250.6	1460	1668.7
Frecuencia Teórica	208,5	417	625,5	834	1042,5	1251	1459,5	1668

SONIDO 30	Digitación completa	Digitación simplificada
		


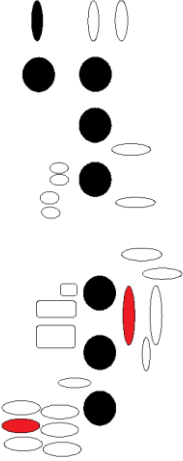
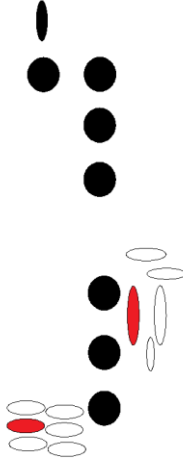
Oscilograma



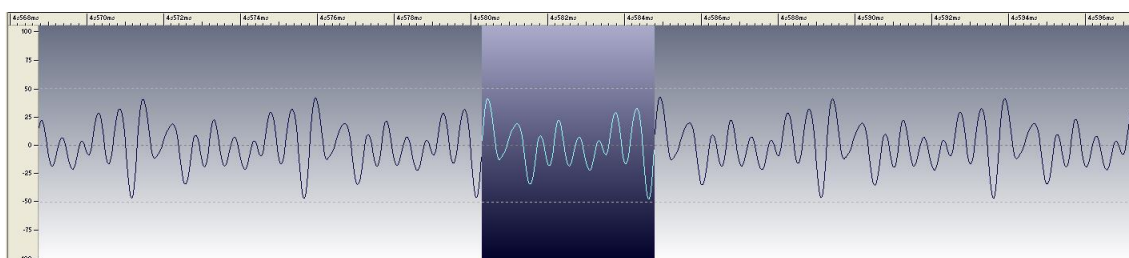
Gráfica FFT



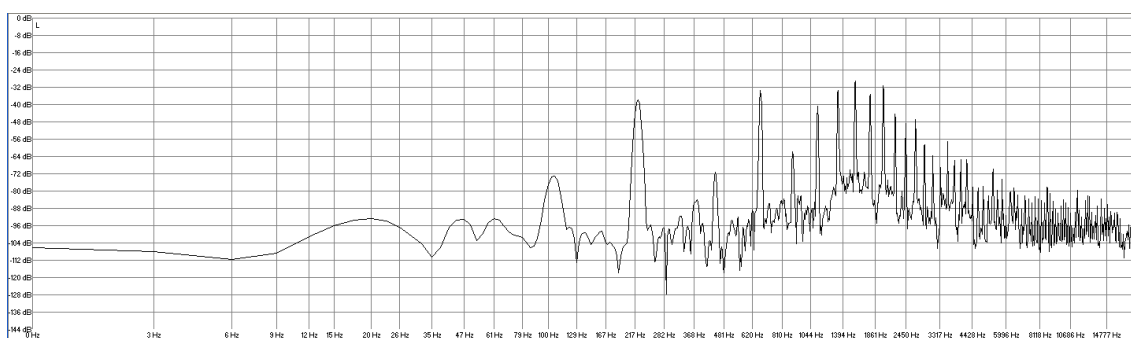
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 30	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-41.1	-71.3	-26.9	-59.3	-32.7	-44.4	-31.3	-40.7
Frecuencia experimental	208.6	418.8	627.2	836.7	1043.7	1253.2	1464.1	1674.3
Frecuencia Teórica	208,6	417,2	625,8	834,4	1043	1251,6	1460,2	1668,8

SONIDO 31	Digitación completa	Digitación simplificada
		


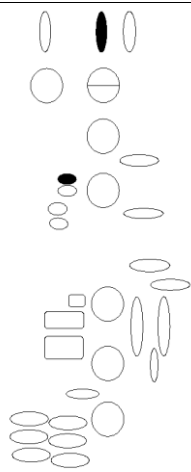
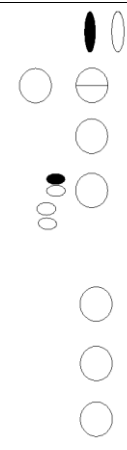
Oscilograma



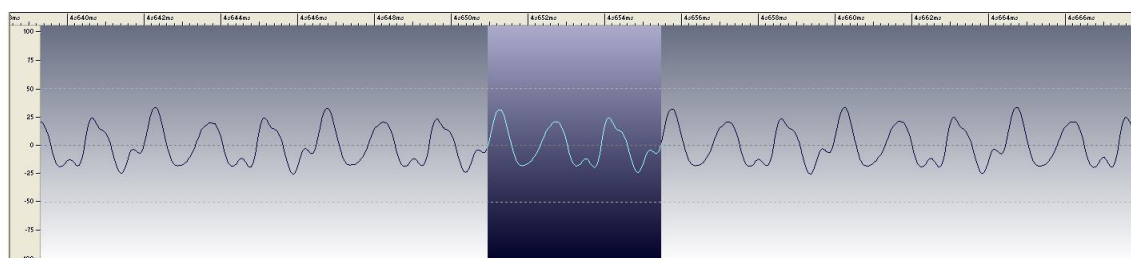
Gráfica FFT



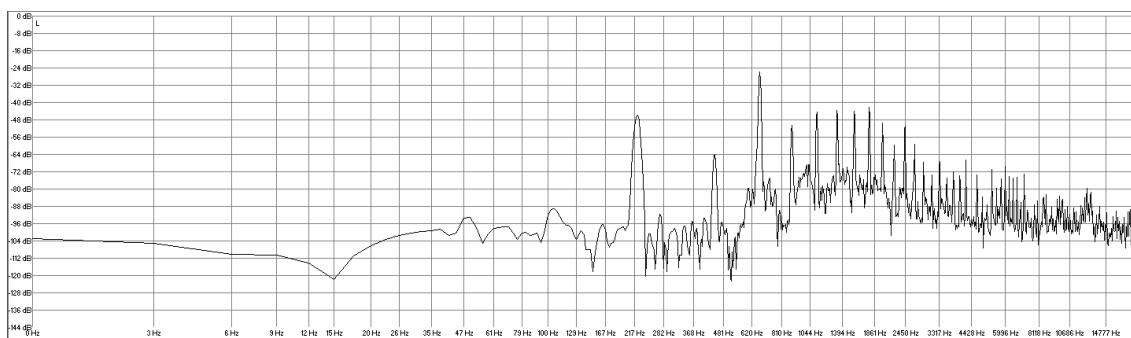
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 31	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-38.2	-71.6	-33.8	-62.2	-41.1	-33.5	-29.5	-35.6
Frecuencia experimental	222.7	445.5	667.7	891	1113.9	1335.5	1559.5	1781.9
Frecuencia Teórica	222,7	445,4	668,1	890,8	1113,5	1336,2	1558,9	1781,6

SONIDO 32	Digitación completa	Digitación simplificada
		


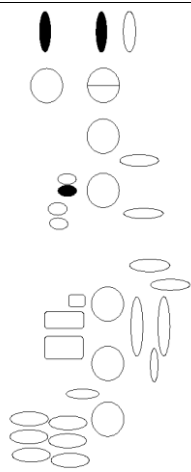
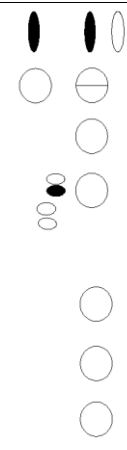
Oscilograma



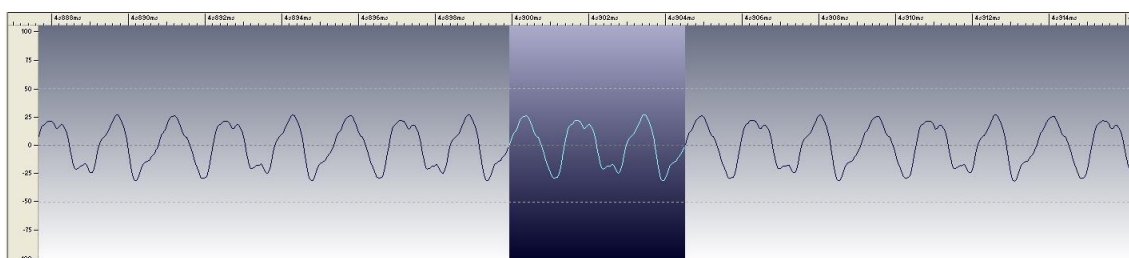
Gráfica FFT



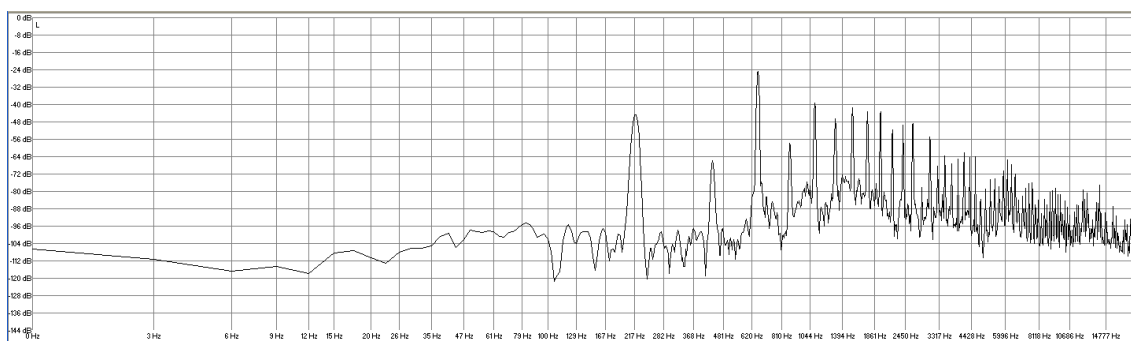
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 32	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-46.2	-64	-25.8	-51.3	-45.1	-44	-44.4	-42.2
Frecuencia experimental	222.3	444.7	665.2	888.3	1110.7	1332.6	1555.4	1777
Frecuencia Teórica	222,3	444,6	666,9	889,2	1111,5	1333,8	1556,1	1778,4

SONIDO 33	Digitación completa	Digitación simplificada
		


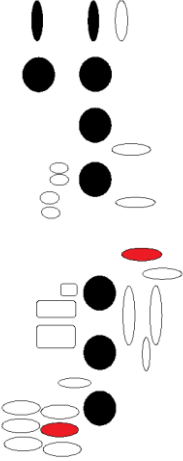
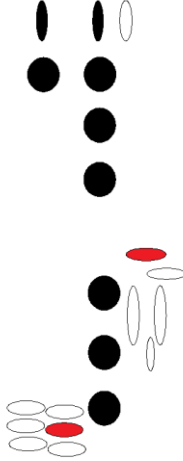
Oscilograma



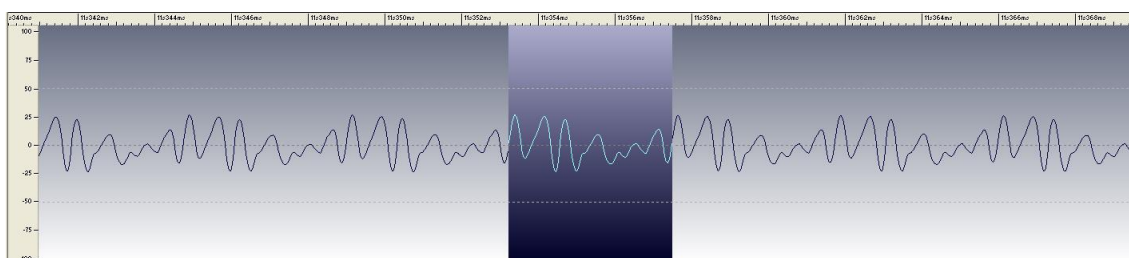
Gráfica FFT



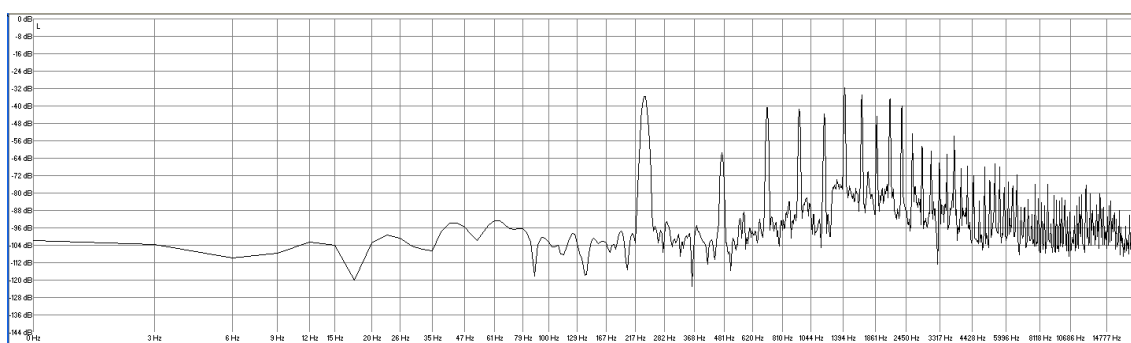
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 33	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-44.7	-66.2	-24.7	-58.2	-39.6	-46.5	-41.8	-43.3
Frecuencia experimental	218.3	437.2	656.6	873.7	1092.8	1310.3	1529.5	1746.8
Frecuencia Teórica	218,3	436,6	654,9	873,2	1091,5	1309,8	1528,1	1746,4

SONIDO 34	Digitación completa	Digitación simplificada
		


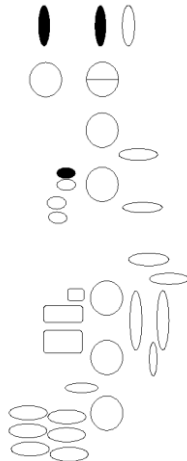

Oscilograma



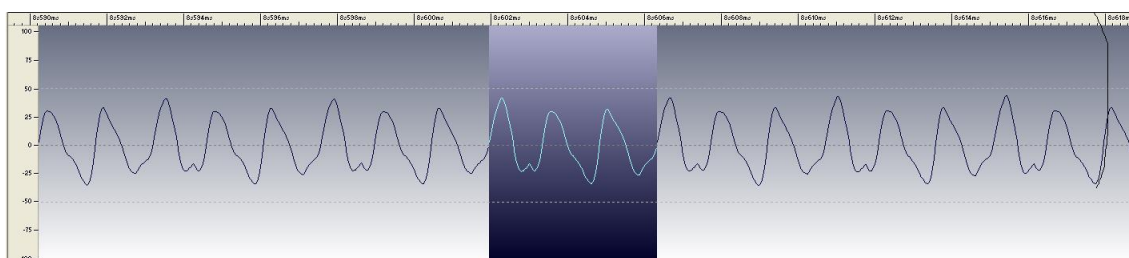
Gráfica FFT



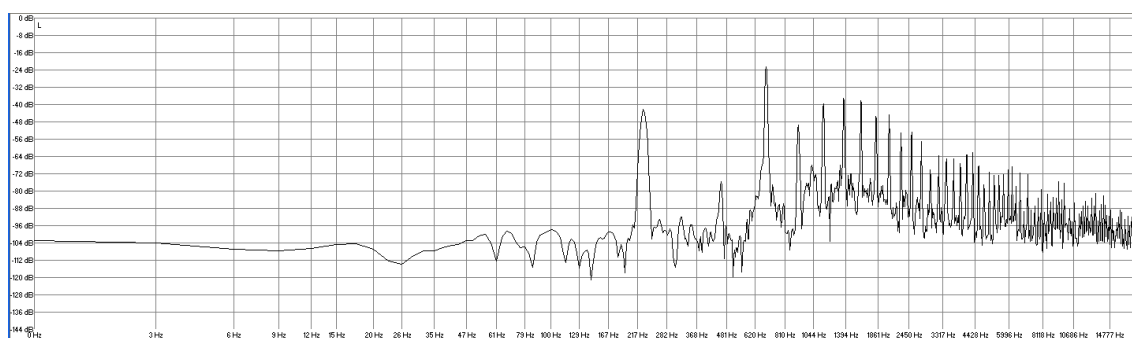
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 34	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-35.6	-61.8	-40.7	-42.2	-43.6	-32	-34.9	-44.7
Frecuencia experimental	236.1	471.5	707.6	943.7	1179.5	1415.1	1651.6	1887.7
Frecuencia Teórica	236,1	472,2	708,3	944,4	1180,5	1416,6	1652,7	1888,8

SONIDO 35	Digitación completa	Digitación simplificada
		


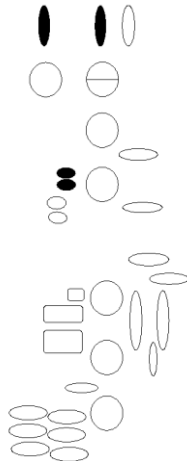
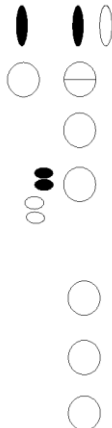
Oscilograma



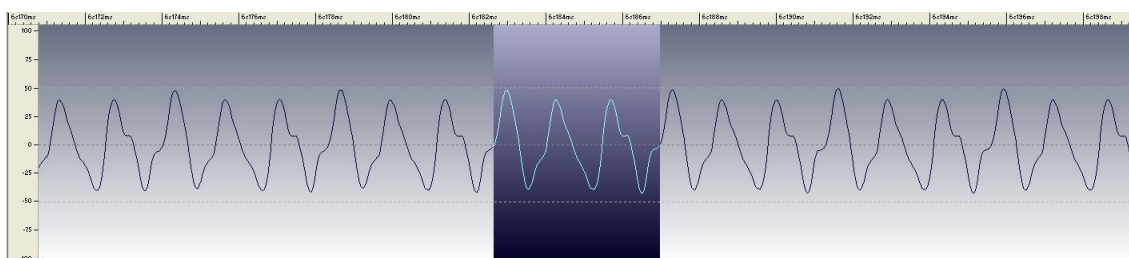
Gráfica FFT



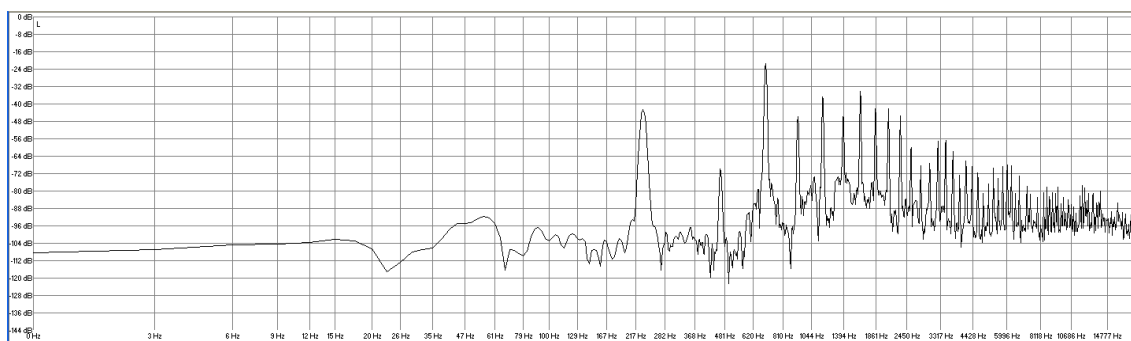
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 35	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-42.5	-76	-22.9	-49.8	-39.6	-37.5	-38.5	-45.8
Frecuencia experimental	228.5	457.2	685.3	914	1142.8	1371.4	1599.7	1828.4
Frecuencia Teórica	228,5	457	685,5	914	1142,5	1371	1599,5	1828

SONIDO 36	Digitación completa	Digitación simplificada
		


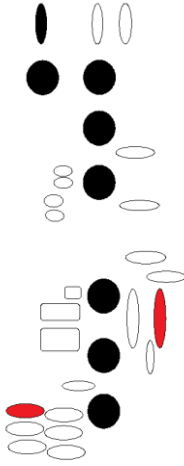
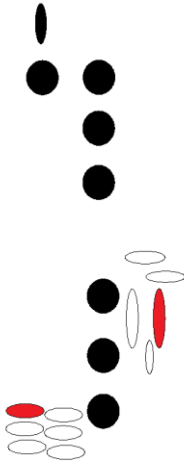
Oscilograma



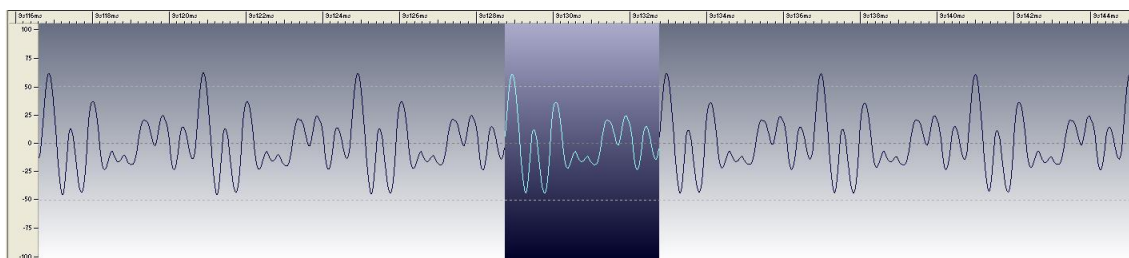
Gráfica FFT



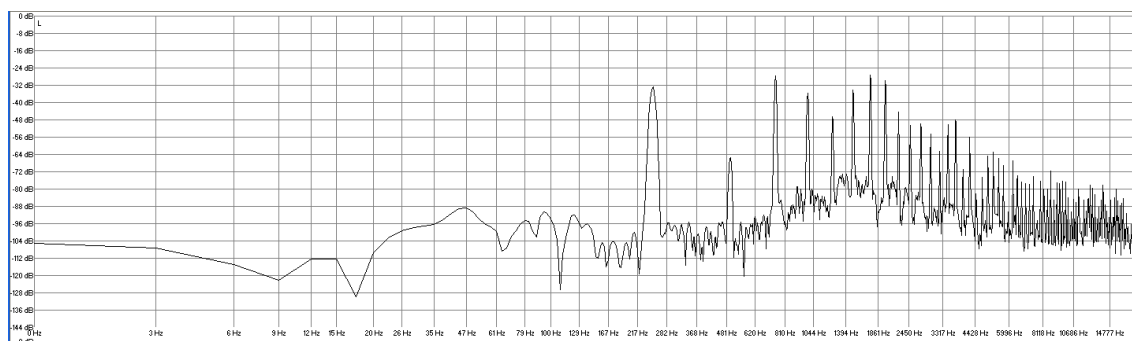
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 36	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-42.5	-69.8	-21.5	-46.2	-36.7	-45.8	-34.2	-42.2
Frecuencia experimental	231.4	462.9	694.1	926.1	1157.5	1389.3	1621.6	1853.5
Frecuencia Teórica	231,4	462,8	694,2	925,6	1157	1388,4	1619,8	1851,2

SONIDO 37	Digitación completa	Digitación simplificada
		


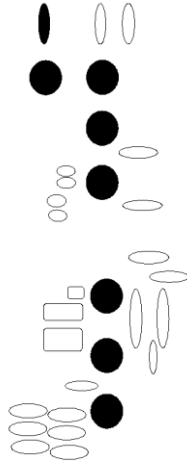

Oscilograma



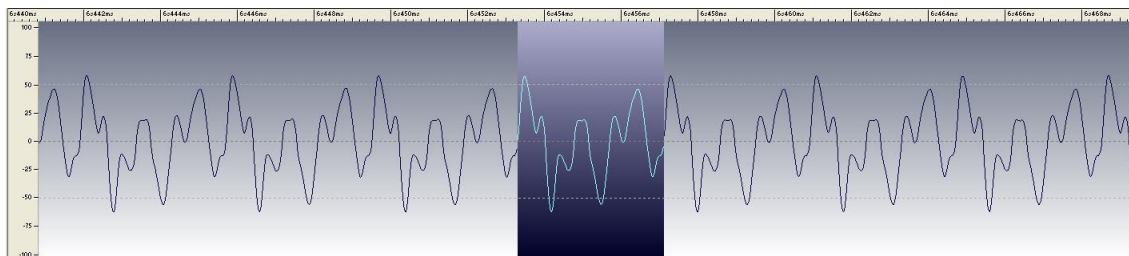
Gráfica FFT



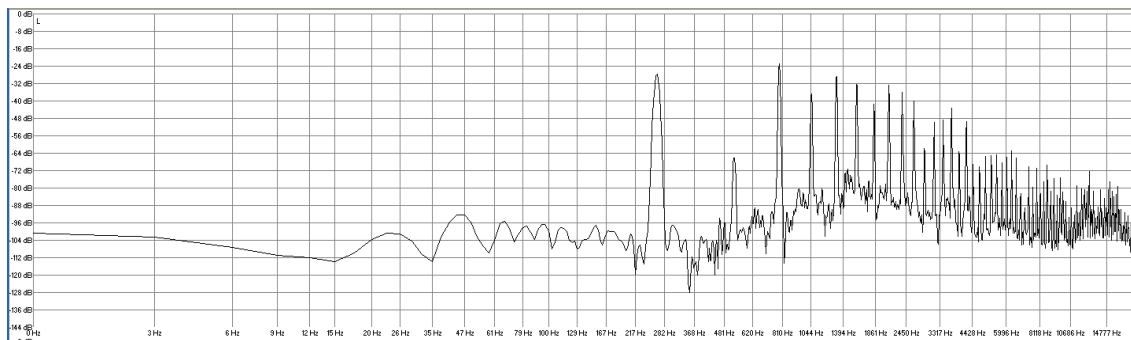
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 37	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-33.1	-65.5	-27.6	-36.4	-46.5	-34.9	-27.3	-29.8
Frecuencia experimental	248.7	497.8	744.2	993.2	1242	1491.3	1740.3	1988.7
Frecuencia Teórica	248,7	497,4	746,1	994,8	1243,5	1492,2	1740,9	1989,6

SONIDO 38	Digitación completa	Digitación simplificada
		


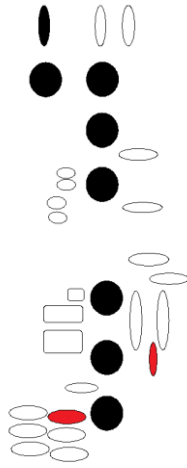
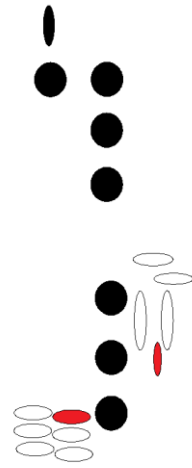
Oscilograma



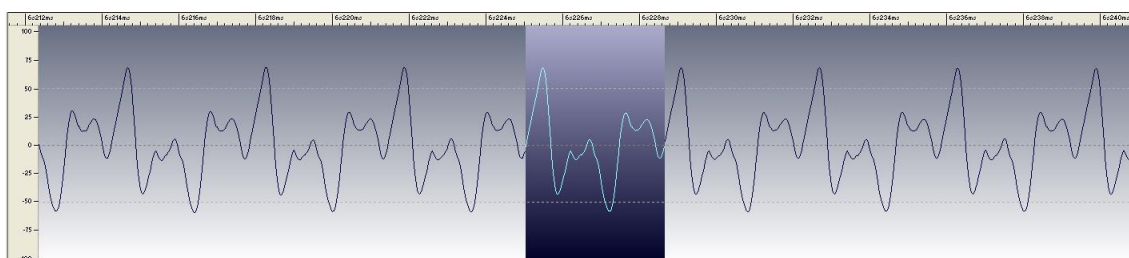
Gráfica FFT



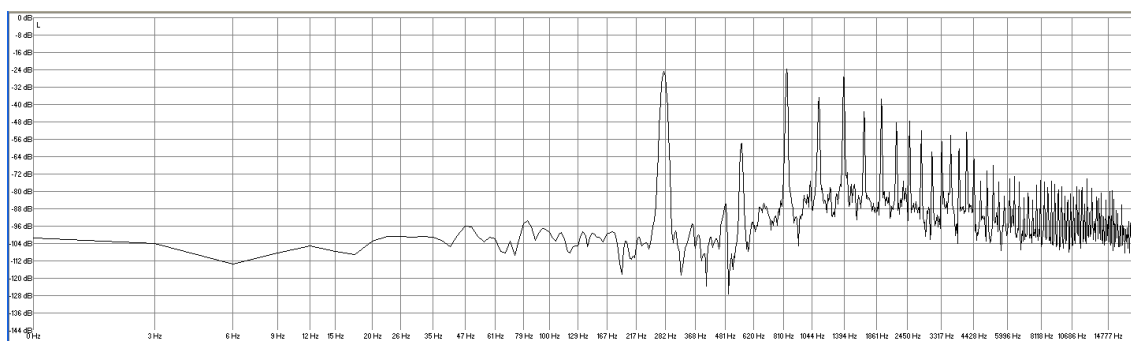
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 38	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-28	-66.2	-23.3	-36.7	-28.7	-32	-41.1	-32.7
Frecuencia experimental	263.5	526.2	787.7	1052	1314.9	1576.9	1840.7	2103.5
Frecuencia Teórica	263,5	527	790,5	1054	1317,5	1581	1844,5	2108

SONIDO 39	Digitación completa	Digitación simplificada
		


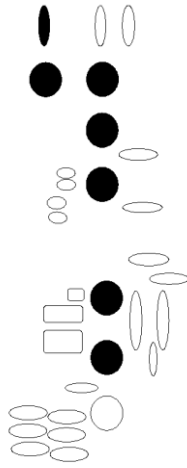

Oscilograma



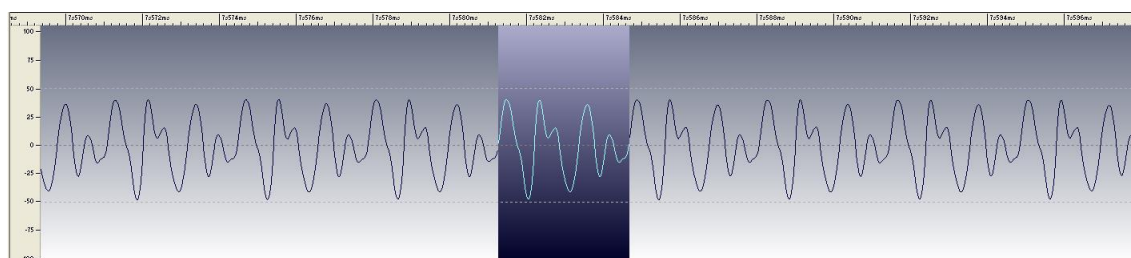
Gráfica FFT



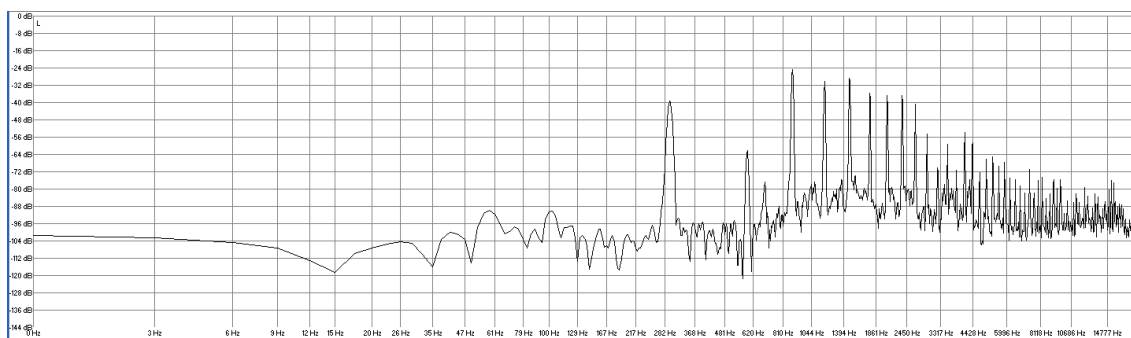
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 39	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-25.1	-57.8	-23.6	-36.7	-27.3	-43.3	-37.8	-48.4
Frecuencia experimental	278	556.4	834.4	1112.2	1389.3	1667	1945.3	2223.8
Frecuencia Teórica	278	556	834	1112	1390	1668	1946	2224

SONIDO 40	Digitación completa	Digitación simplificada
		


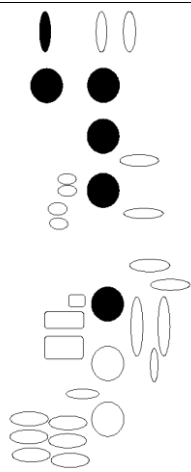

Oscilograma



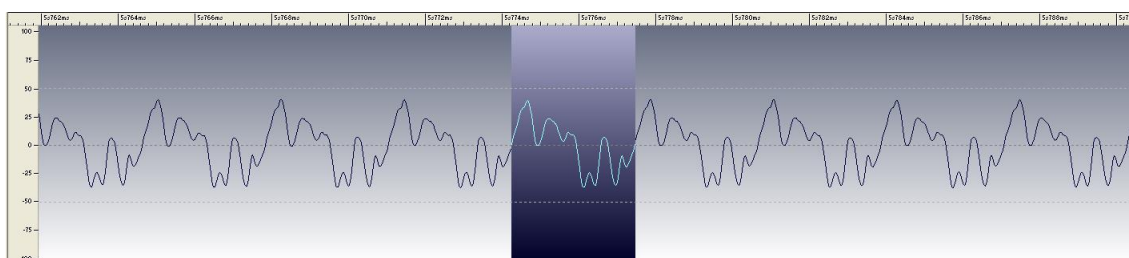
Gráfica FFT



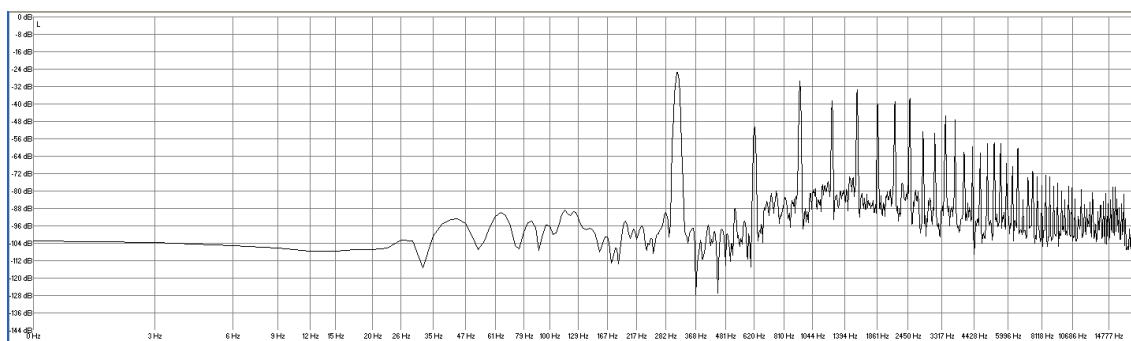
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 40	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-39.3	-62.5	-24.7	-29.8	-29.1	-36	-37.1	-37.1
Frecuencia experimental	293.5	589.1	881.9	1178.3	1470.8	1766.6	2059.8	2354.1
Frecuencia Teórica	293,5	587	880,5	1174	1467,5	1761	2054,5	2348

SONIDO 41	Digitación completa	Digitación simplificada
		

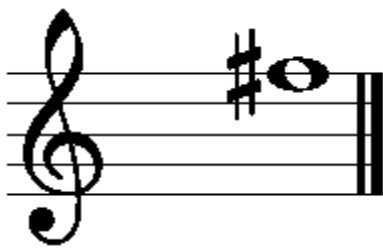
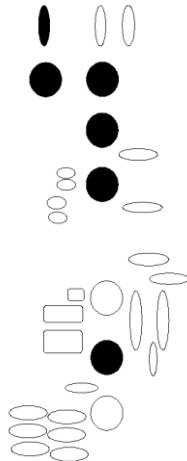

Oscilograma



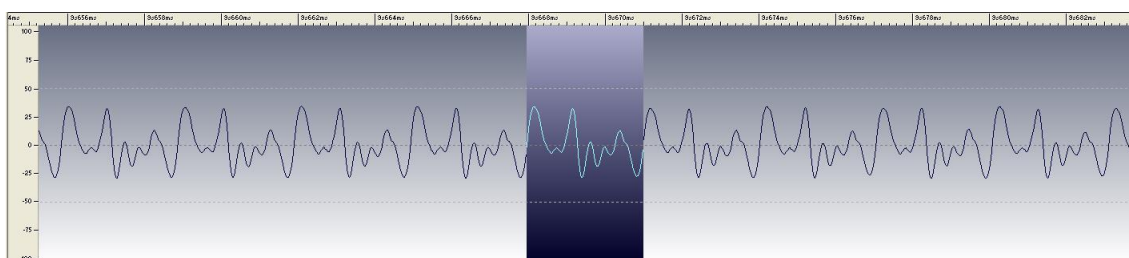
Gráfica FFT



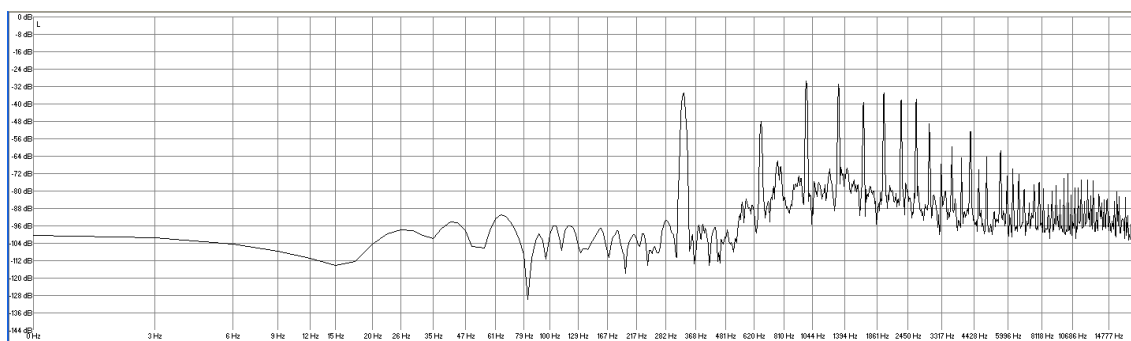
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 41	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-25.5	-50.5	-29.5	-38.9	-33.8	-40.4	-39.6	-37.8
Frecuencia experimental	312.2	624.3	935.2	1248.1	1559.2	1871.9	2183.2	2496.3
Frecuencia Teórica	312,2	624,4	936,6	1248,8	1561	1873,2	2185,4	2497,6

SONIDO 42	Digitación completa	Digitación simplificada
		

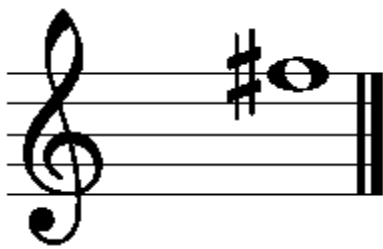
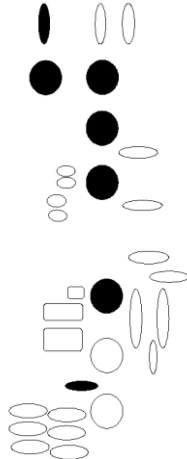

Oscilograma



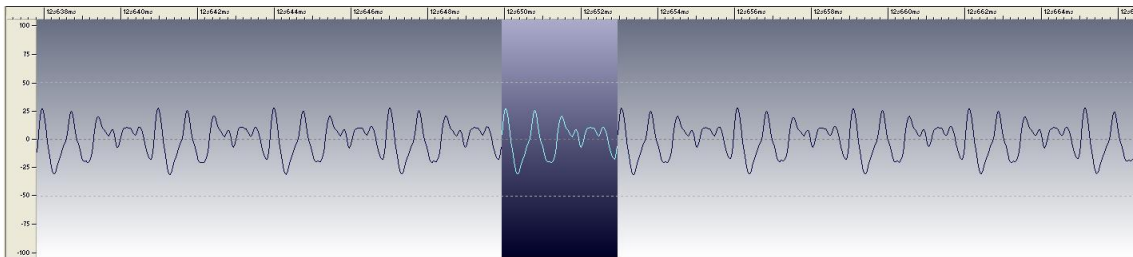
Gráfica FFT



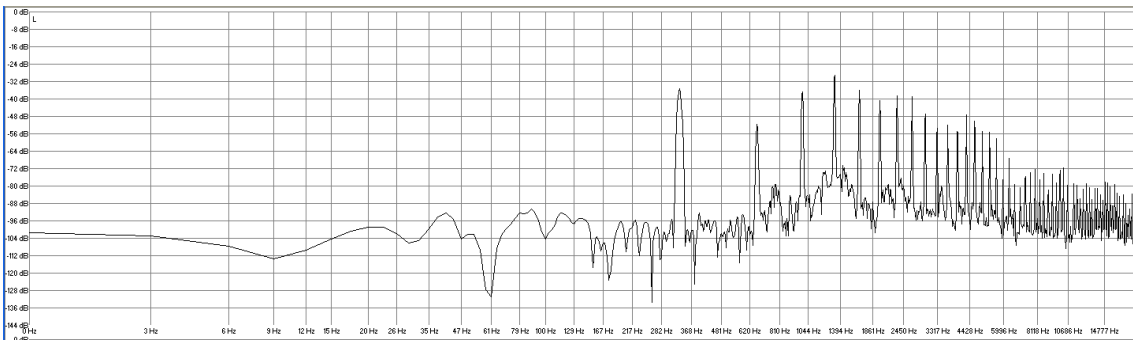
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 42	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-34.9	-47.6	-29.8	-31.3	-39.3	-34.9	-38.5	-38.5
Frecuencia experimental	330.4	659.3	990.7	1321.2	1649.2	1980.4	2310.4	2639.2
Frecuencia Teórica	330,4	660,8	991,2	1321,6	1652	1982,4	2312,8	2643,2

SONIDO 43	Digitación completa	Digitación simplificada
		

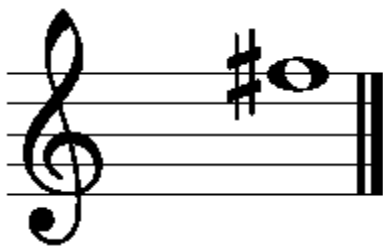
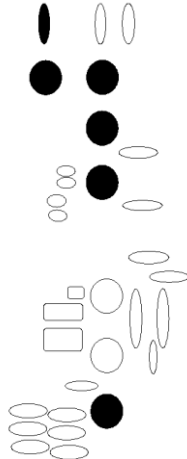

Oscilograma



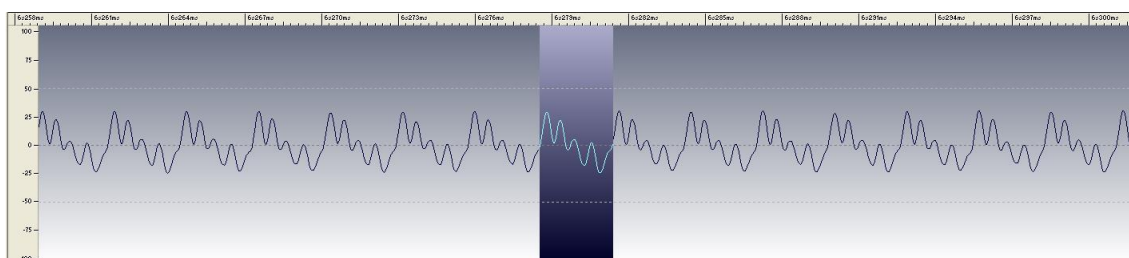
Gráfica FFT



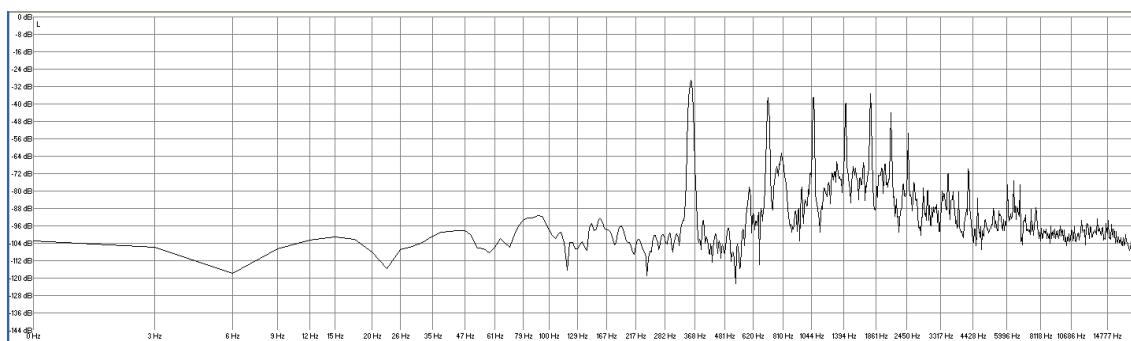
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 43	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-35.6	-51.6	-37.1	-29.8	-36	-40.7	-38.2	-39.3
Frecuencia experimental	330.7	662	992.7	1323.9	1654.9	1985.9	2317	2647.7
Frecuencia Teórica	330,7	661,4	992,1	1322,8	1653,5	1984,2	2314,9	2645,6

SONIDO 44	Digitación completa	Digitación simplificada
		


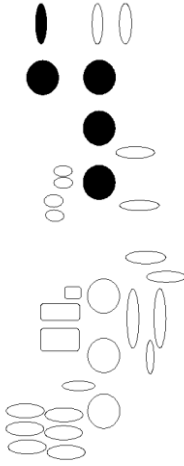

Oscilograma



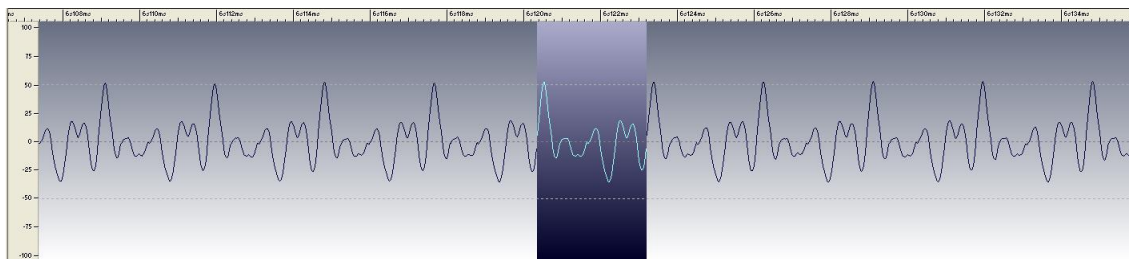
Gráfica FFT



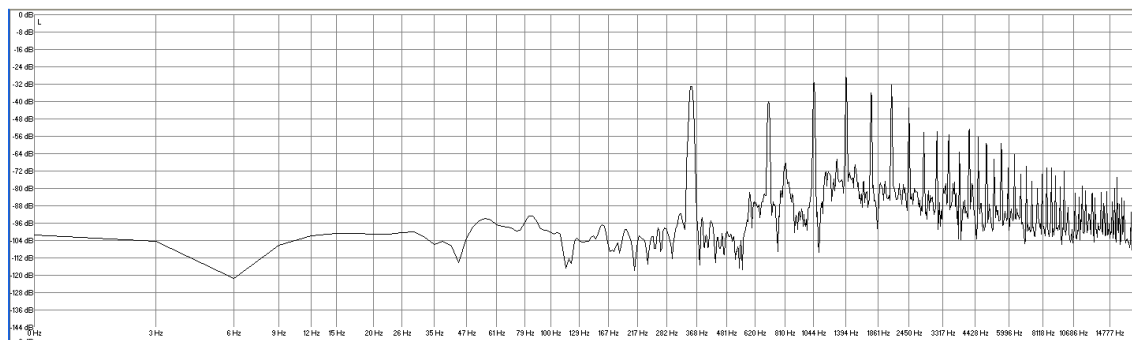
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 44	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-29.1	-37.5	-36.4	-40.4	-34.9	-43.3	-54.2	-80
Frecuencia experimental	354.5	708.7	1064.4	1420.1	1775.3	2129.7	2484.2	2841.9
Frecuencia Teórica	354,5	709	1063,5	1418	1772,5	2127	2481,5	2836

SONIDO 45	Digitación completa	Digitación simplificada
		


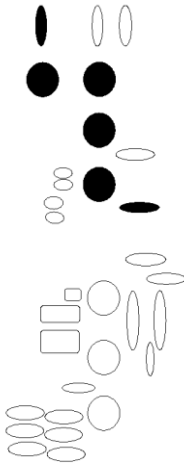

Oscilograma



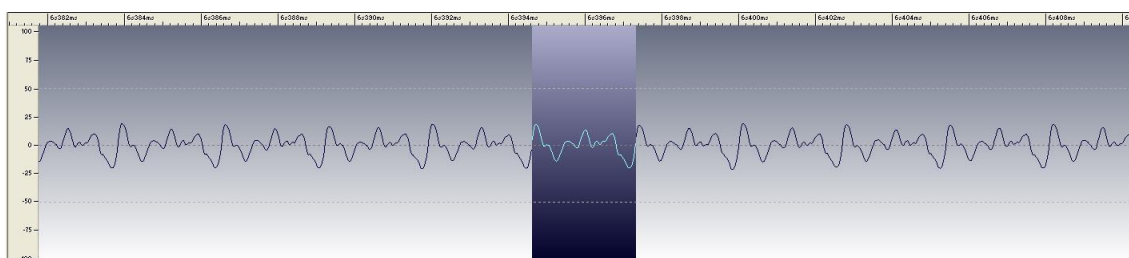
Gráfica FFT



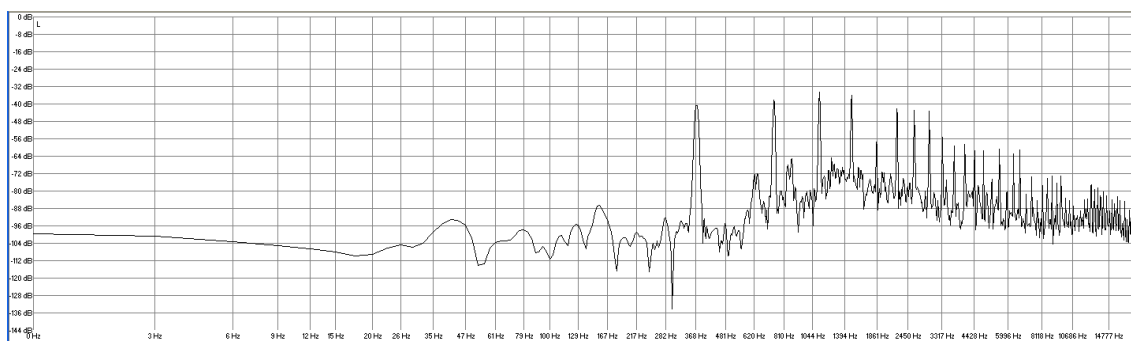
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 45	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-33.1	-40	-31.6	-29.5	-36.4	-32.4	-43.3	-54.5
Frecuencia experimental	349.9	700	1050.6	1401.5	1751.4	2101.3	2452	2802.8
Frecuencia Teórica	349,9	699,8	1049,7	1399,6	1749,5	2099,4	2449,3	2799,2

SONIDO 46	Digitación completa	Digitación simplificada
		


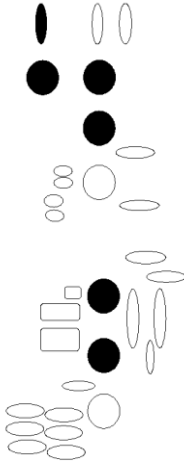

Oscilograma



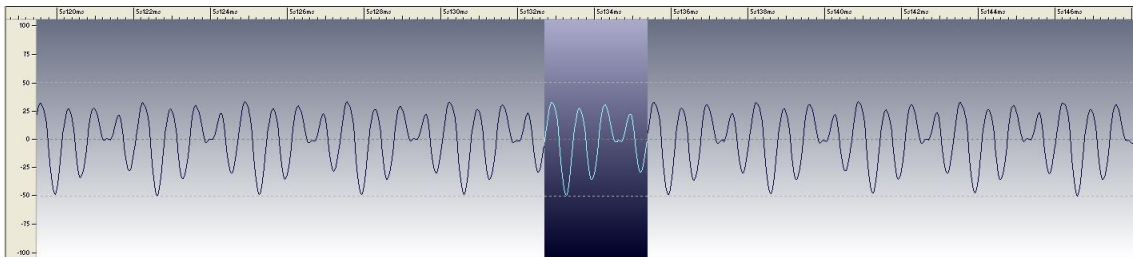
Gráfica FFT



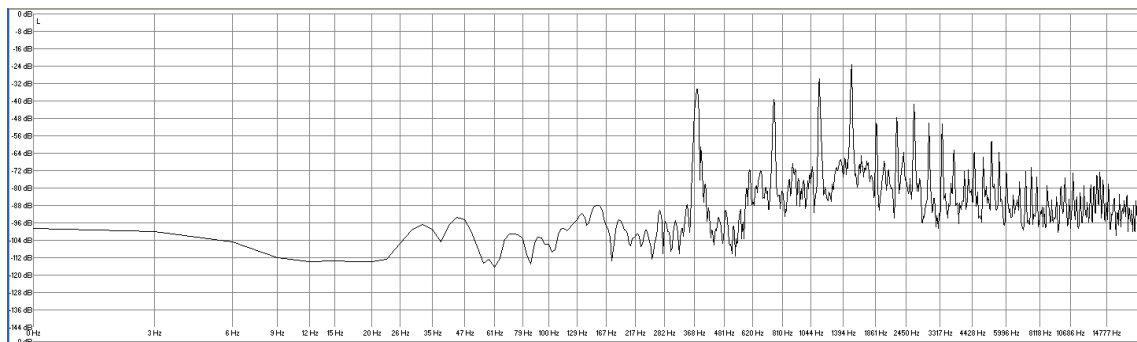
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 46	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-40.4	-38.5	-35.3	-36.4	-57.5	-42.5	-43.3	-43.3
Frecuencia experimental	370.4	741.1	1113.1	1484.3	1854.2	2226	2596	2968.3
Frecuencia Teórica	370,4	740,8	1111,2	1481,6	1852	2222,4	2592,8	2963,2

SONIDO 47	Digitación completa	Digitación simplificada
		


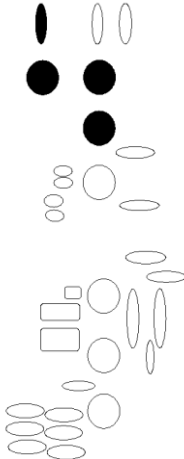

Oscilograma



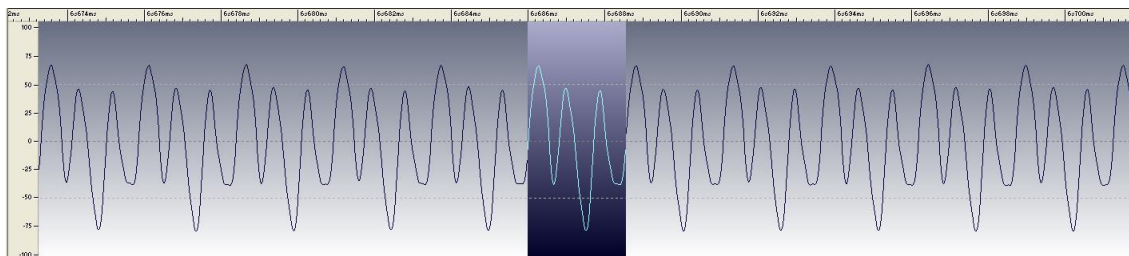
Gráfica FFT



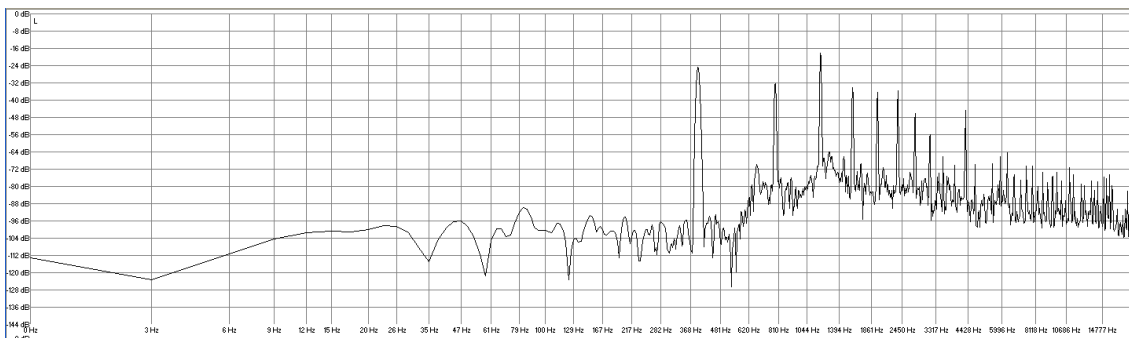
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 47	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-34.5	-40	-30.5	-24.4	-50.5	-48	-41.8	-50.9
Frecuencia experimental	376.4	752.6	1129	1504.9	1880.9	2258.5	2633.5	3010.4
Frecuencia Teórica	376,4	752,8	1129,2	1505,6	1882	2258,4	2634,8	3011,2

SONIDO 48	Digitación completa	Digitación simplificada
		

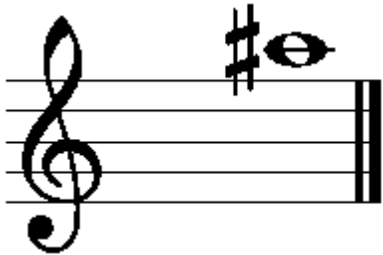
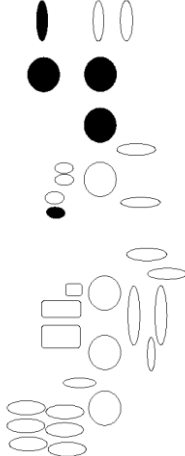
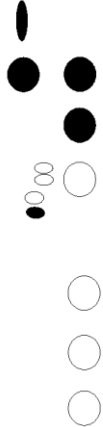
Oscilograma



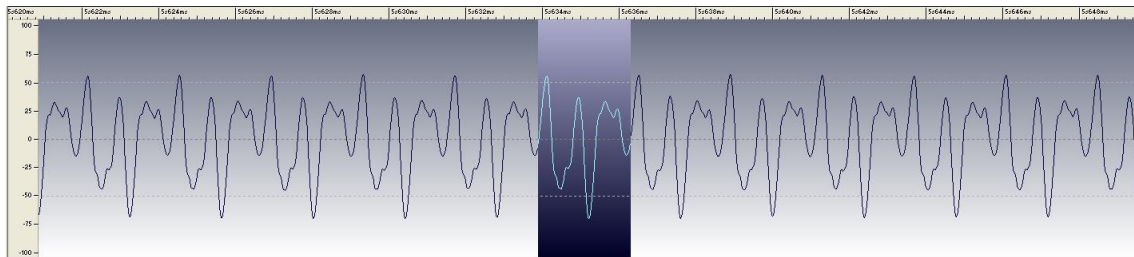
Gráfica FFT



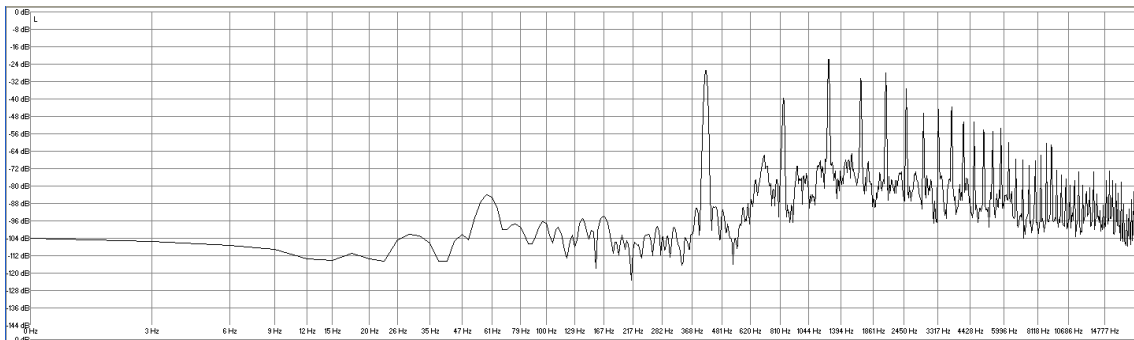
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 48	1 ^{er} arm	2 ^º arm	3 ^{er} arm	4 ^º arm	5 ^º arm	6 ^º arm	7 ^º arm	8 ^º arm
dB	-24.7	-32.7	-19.3	-34.2	-36.4	-36.4	-46.5	-57.1
Frecuencia experimental	392.5	787.4	1180.8	1573	1968.2	2361.5	2755.8	3149
Frecuencia Teórica	392,5	785	1177,5	1570	1962,5	2355	2747,5	3140

SONIDO 49	Digitación completa	Digitación simplificada
		

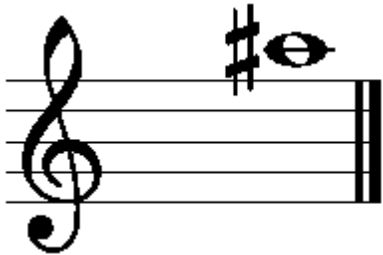
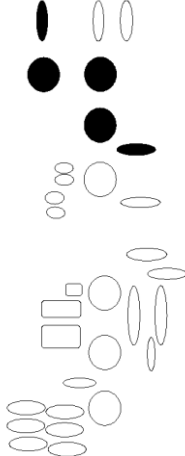
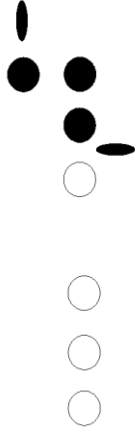
Oscilograma



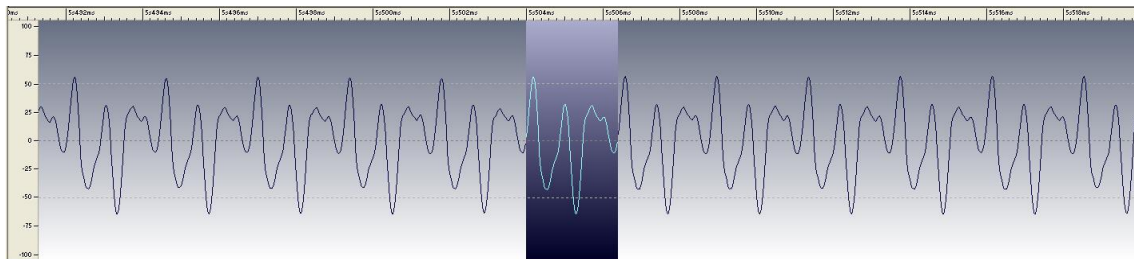
Gráfica FFT



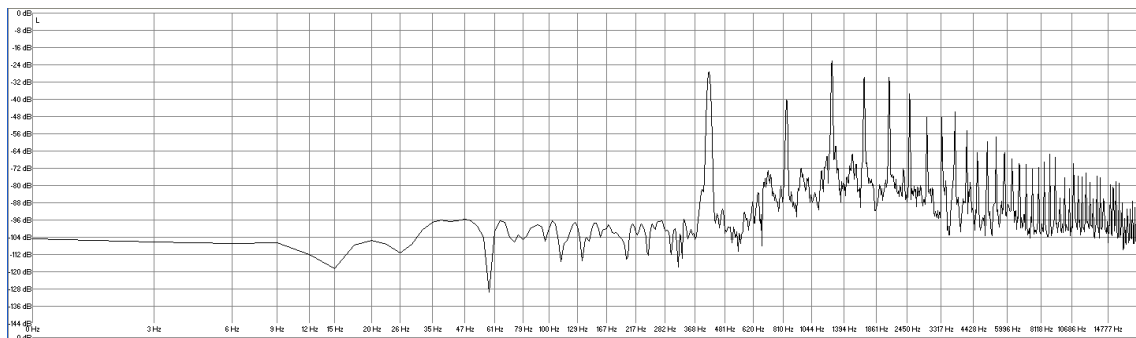
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 49	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-26.9	-40	-22.2	-30.9	-28	-35.6	-46.9	-45.5
Frecuencia experimental	417.3	835	1251.9	1669.2	2087.5	2505	2922.1	3339.3
Frecuencia Teórica	417,3	834,6	1251,9	1669,2	2086,5	2503,8	2921,1	3338,4

SONIDO 50	Digitación completa	Digitación simplificada
		

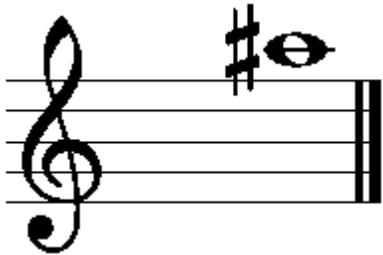
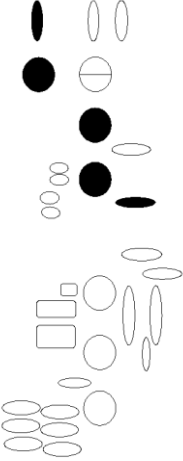
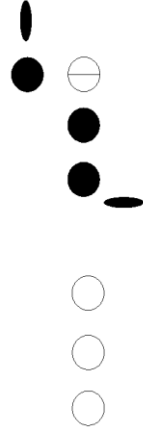
Oscilograma



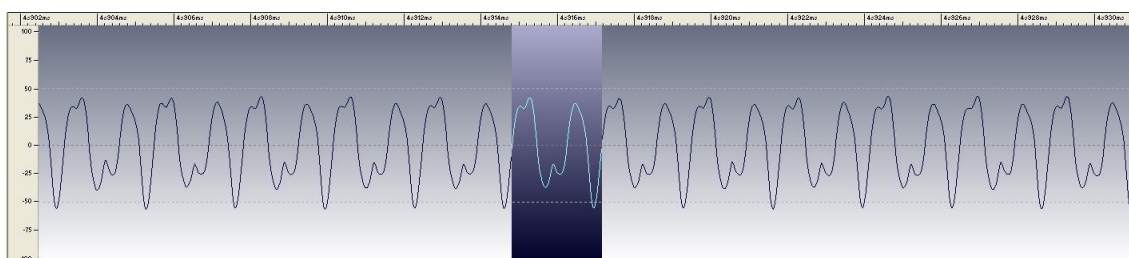
Gráfica FFT



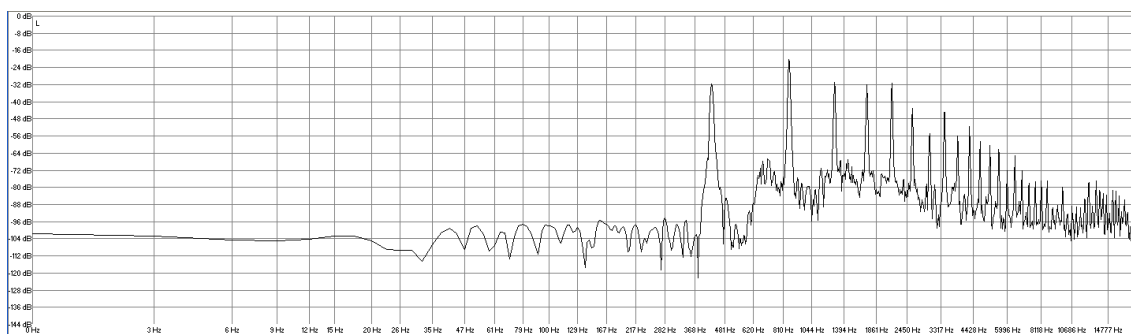
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 50	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-27.3	-40.7	-22.5	-30.2	-29.8	-37.8	-48.4	-48.4
Frecuencia experimental	418.7	835.7	1253.8	1673.2	2090.6	2508.2	2926.9	3345.5
Frecuencia Teórica	418,7	837,4	1256,1	1674,8	2093,5	2512,2	2930,9	3349,6

SONIDO 51	Digitación completa	Digitación simplificada
		

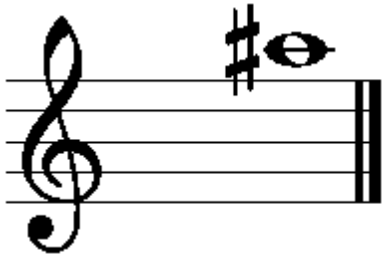
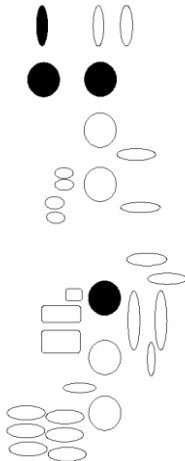

Oscilograma



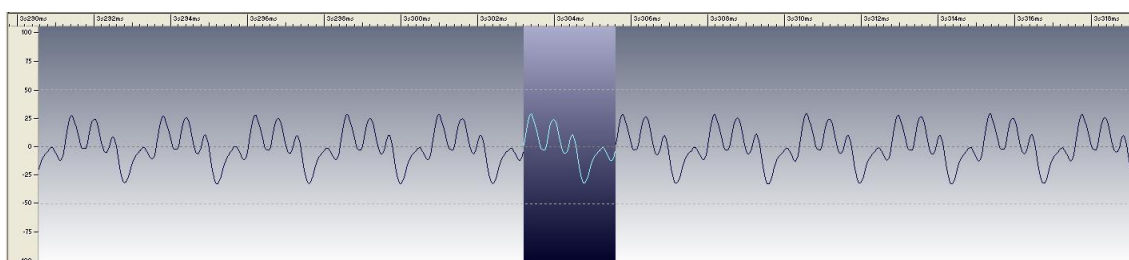
Gráfica FFT



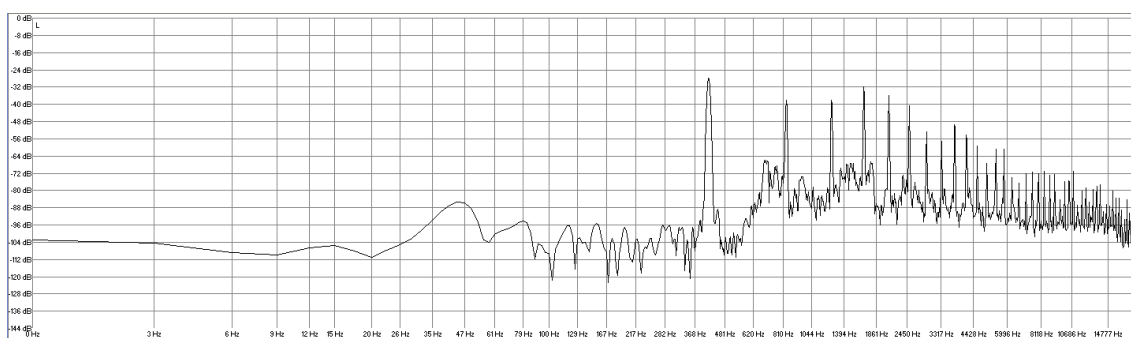
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 51	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-31.5	-20.2	-31.1	-31.9	-31.9	-43.6	-52.4	-46.9
Frecuencia experimental	426.8	852.7	1280.6	1707.4	2133.3	2559.2	2985.5	3416.3
Frecuencia Teórica	426,8	853,6	1280,4	1707,2	2134	2560,8	2987,6	3414,4

SONIDO 52	Digitación completa	Digitación simplificada
		

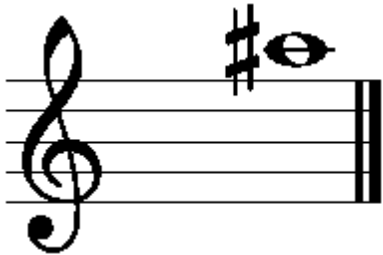
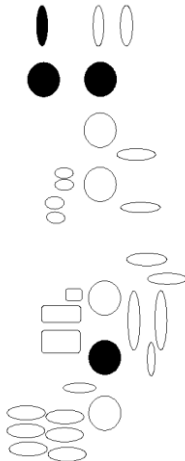

Oscilograma



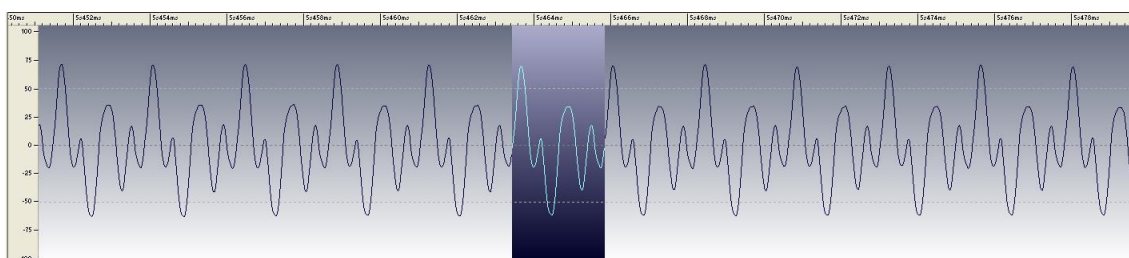
Gráfica FFT



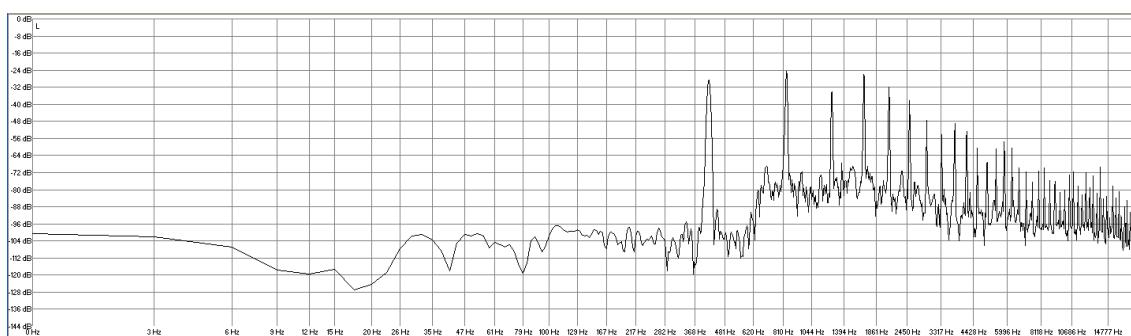
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 52	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-27.8	-38.5	-38.5	-32.2	-36.3	-40.7	-53.1	-57.9
Frecuencia experimental	416.3	834.4	1251.5	1669	2085.2	2502.6	2920.2	3336.9
Frecuencia Teórica	416,3	832,6	1248,9	1665,2	2081,5	2497,8	2914,1	3330,4

SONIDO 53	Digitación completa	Digitación simplificada
		

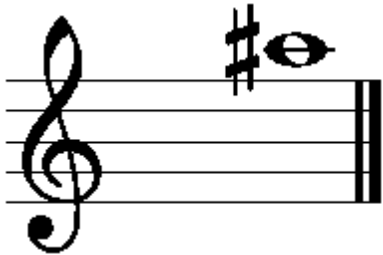
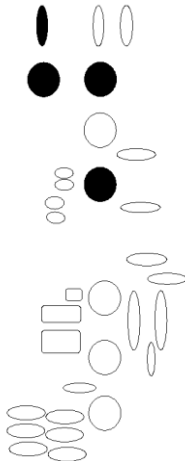

Oscilograma



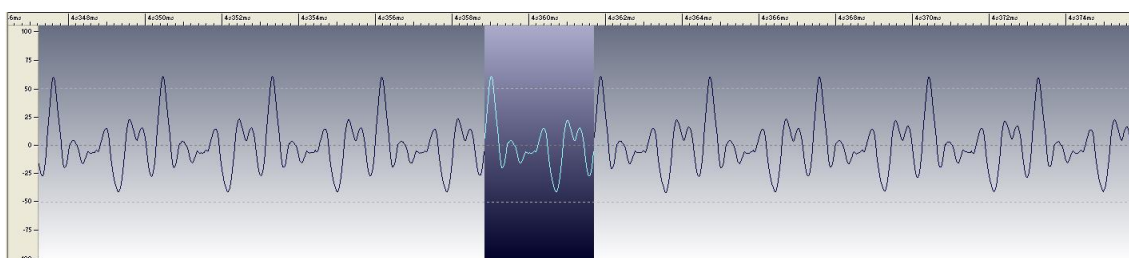
Gráfica FFT



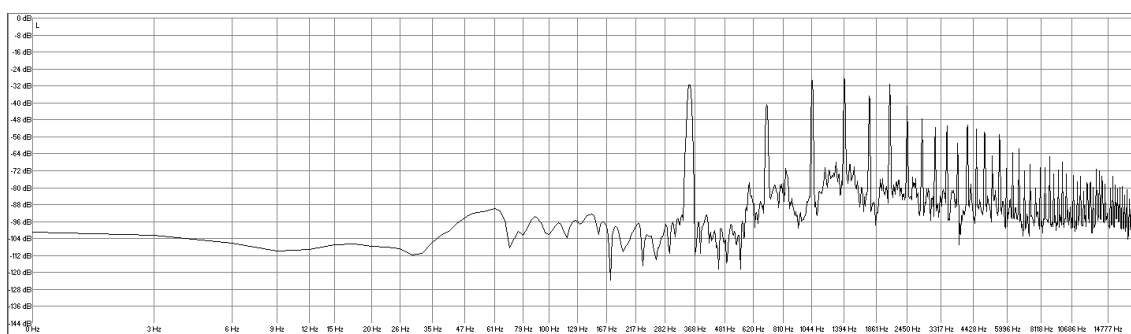
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 53	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-28.6	-24.5	-34.5	-26.7	-31.9	-38.6	-47.5	-54.6
Frecuencia experimental	418	834.7	1254.5	1670.4	2088.5	2506.3	2924.4	3340.6
Frecuencia Teórica	418	836	1254	1672	2090	2508	2926	3344

SONIDO 54	Digitación completa	Digitación simplificada
		

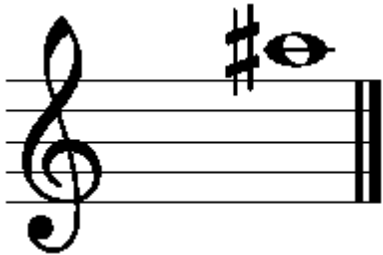
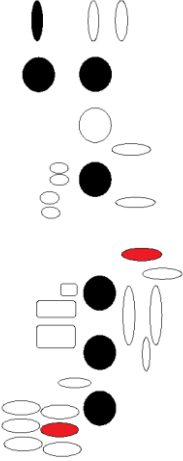
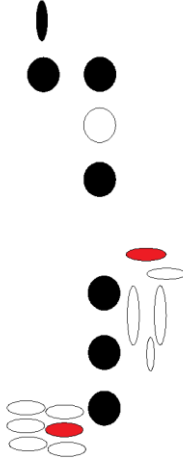
Oscilograma



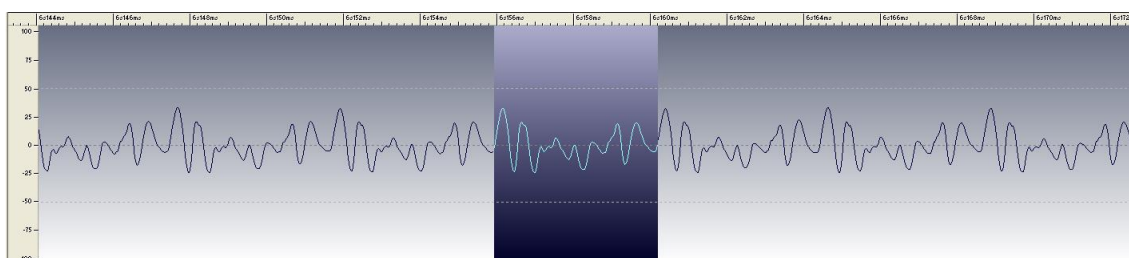
Gráfica FFT



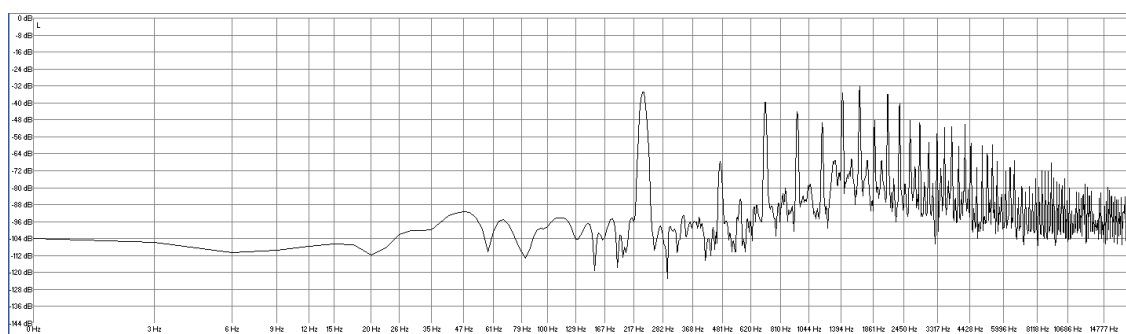
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 54	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-31.9	-41.2	-29.7	-28.6	-36.7	-30.8	-41.9	-47.9
Frecuencia experimental	350.2	700.5	1051.1	1399.9	1751.9	2100.9	2452.4	2802.9
Frecuencia Teórica	350,2	700,4	1050,6	1400,8	1751	2101,2	2451,4	2801,6

SONIDO 55	Digitación completa	Digitación simplificada
		


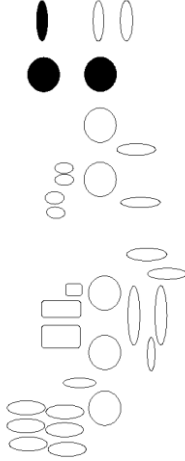

Oscilograma



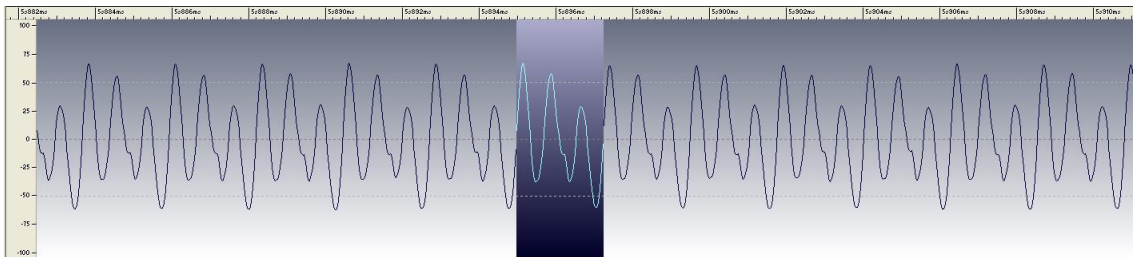
Gráfica FFT



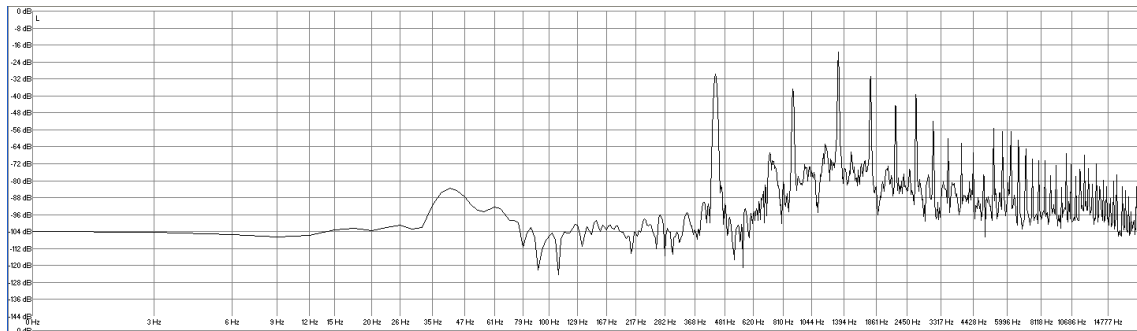
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 55	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-34.9	-67.9	-40.1	-44.9	-49.4	-36.4	-31.9	-47.5
Frecuencia experimental	235.4	471.8	707.4	943.3	1178.3	1414.8	1651	1887.6
Frecuencia Teórica	235,4	470,8	706,2	941,6	1177	1412,4	1647,8	1883,2

SONIDO 56	Digitación completa	Digitación simplificada
		


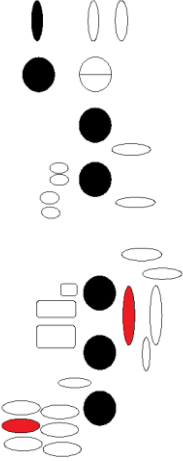
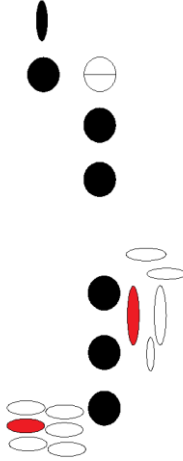
Oscilograma



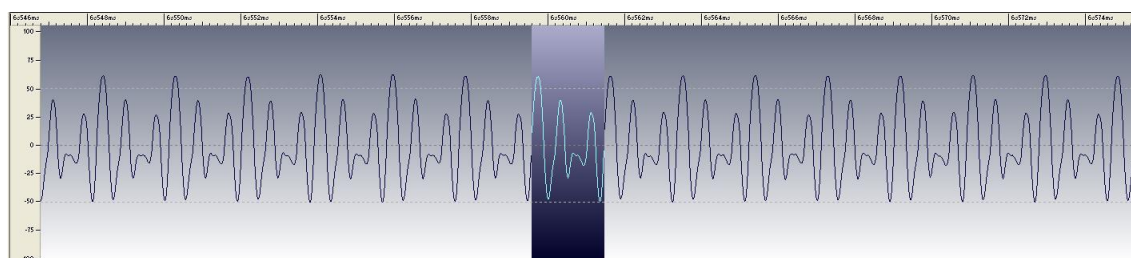
Gráfica FFT



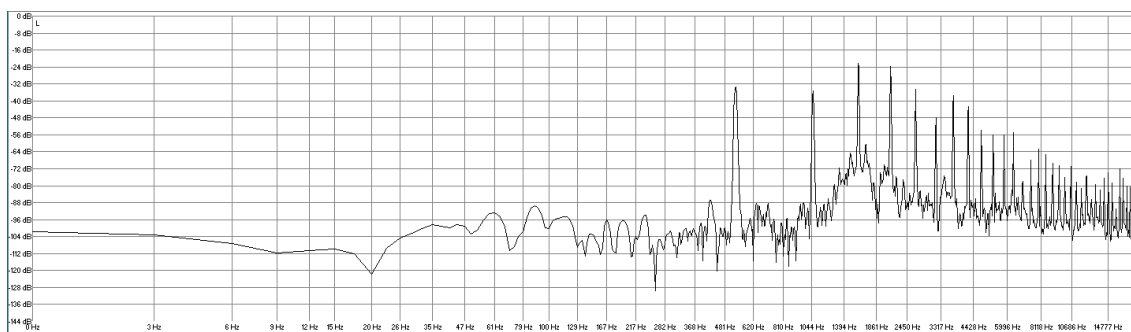
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 56	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-30.1	-37.1	-19.7	-31.5	-44.5	-39.7	-52	-60.5
Frecuencia experimental	442.2	884.3	1327.3	1770.3	2211.8	2655.8	3098	3540.2
Frecuencia Teórica	442,2	884,4	1326,6	1768,8	2211	2653,2	3095,4	3537,6

SONIDO 57	Digitación completa	Digitación simplificada
		


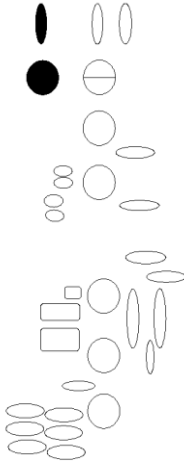

Oscilograma



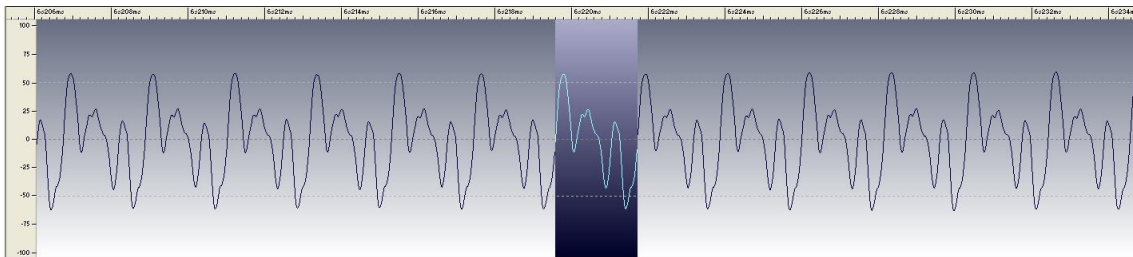
Gráfica FFT



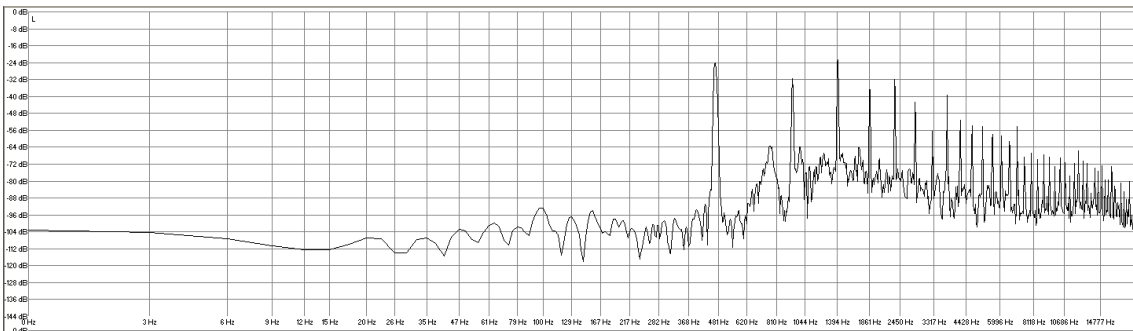
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 57	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-33.8	-35.6	-23	-24.1	-34.5	-47.5	-38.2	-43.1
Frecuencia experimental	529.7	1059	1587.4	2117.1	2646.7	3176.3	3706.4	4234
Frecuencia Teórica	529,7	1059,4	1589,1	2118,8	2648,5	3178,2	3707,9	4237,6

SONIDO 58	Digitación completa	Digitación simplificada
		


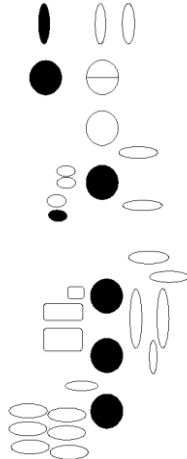

Oscilograma



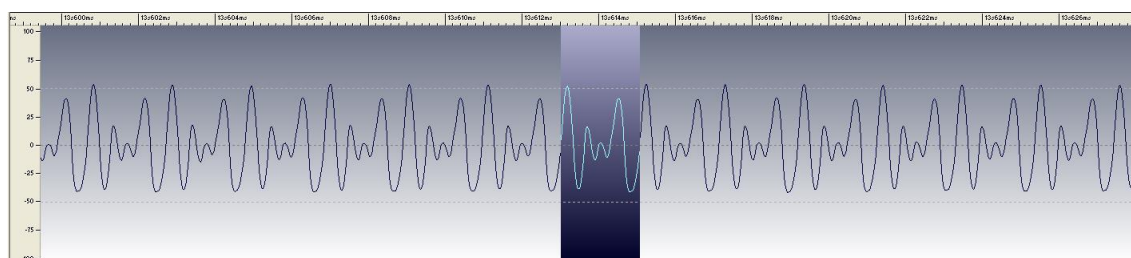
Gráfica FFT



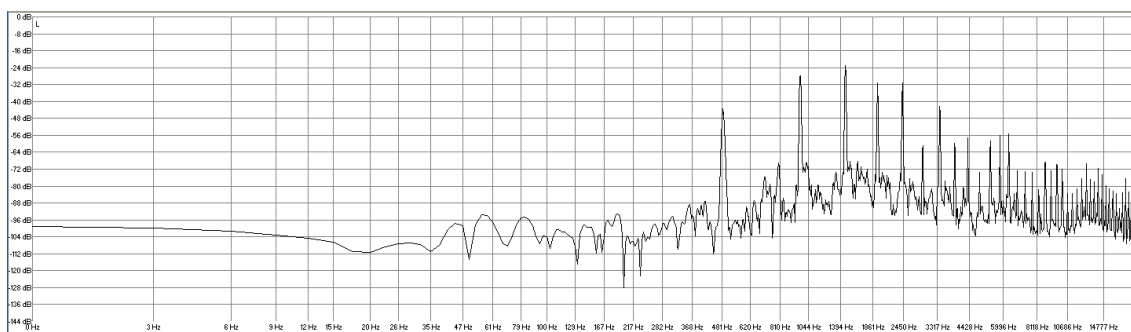
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 58	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-24.1	-32.3	-23	-36.4	-31.9	-43.1	-56.8	-40.1
Frecuencia experimental	467.9	935.3	1402.6	1871.5	2337.8	2806.3	3273.1	3741.8
Frecuencia Teórica	467,9	935,8	1403,7	1871,6	2339,5	2807,4	3275,3	3743,2

SONIDO 59	Digitación completa	Digitación simplificada
		


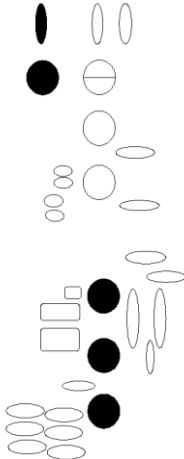

Oscilograma



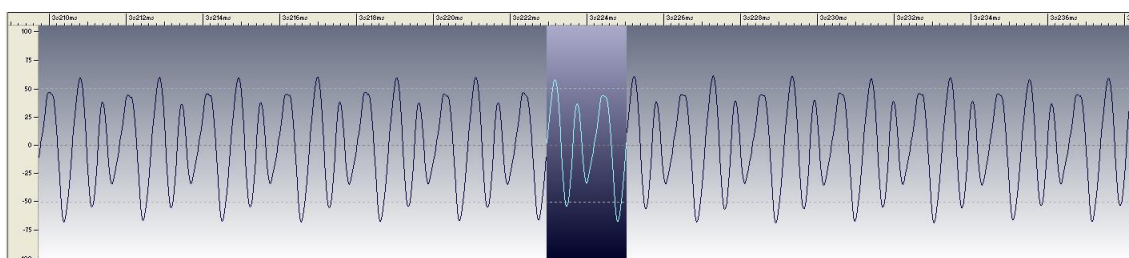
Gráfica FFT



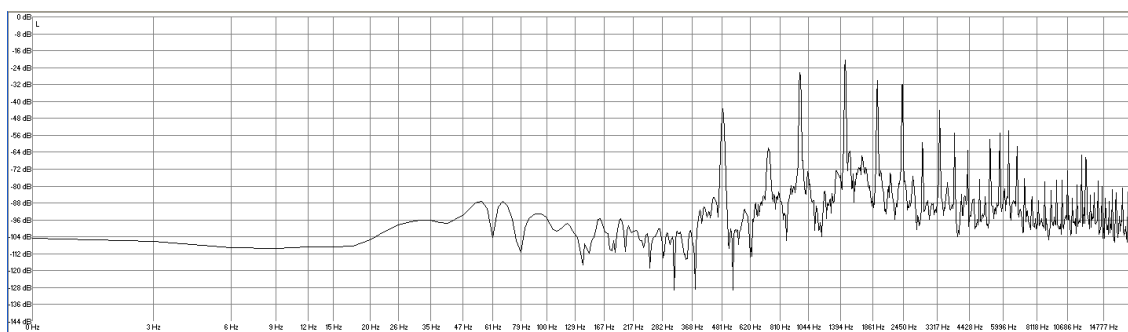
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 59	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-43.8	-27.8	-23.4	-31.5	-31.5	-61.2	-42.3	-60.1
Frecuencia experimental	486	971.4	1458.1	1943.9	2428.4	2915.2	3401.5	3887
Frecuencia Teórica	486	972	1458	1944	2430	2916	3402	3888

SONIDO 60	Digitación completa	Digitación simplificada
		


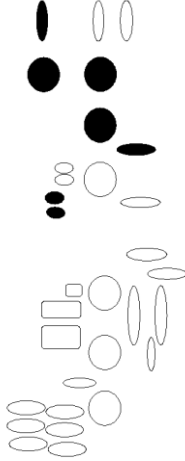
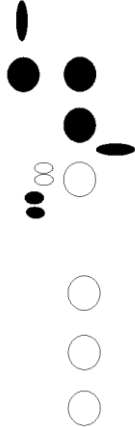
Oscilograma



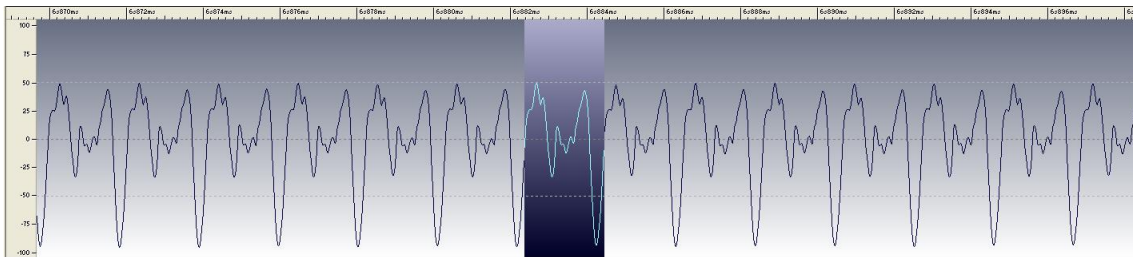
Gráfica FFT



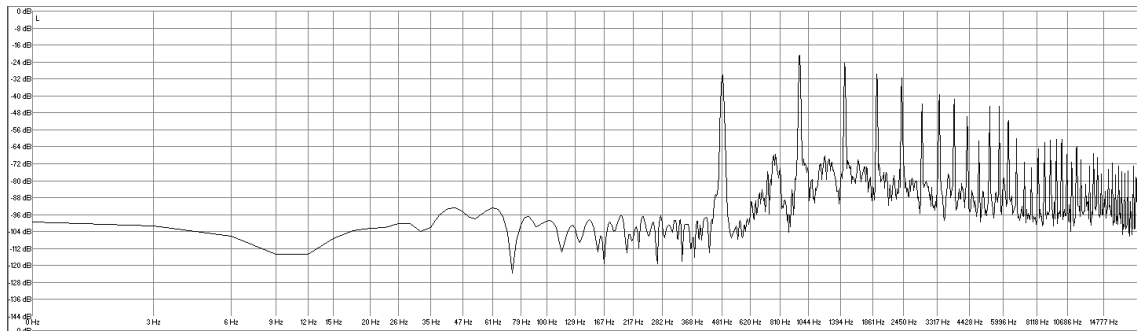
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 60	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-43.4	-26.7	-20.8	-30.8	-31.9	-59.8	-44.5	-55.7
Frecuencia experimental	484.8	969.3	1455.2	1938.7	2424.5	2909.9	3395.6	3878.6
Frecuencia Teórica	484,8	969,6	1454,4	1939,2	2424	2908,8	3393,6	3878,4

SONIDO 61	Digitación completa	Digitación simplificada
		


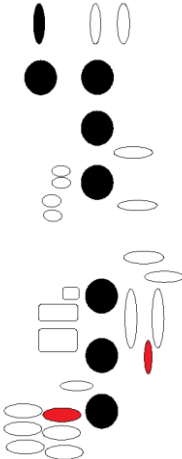
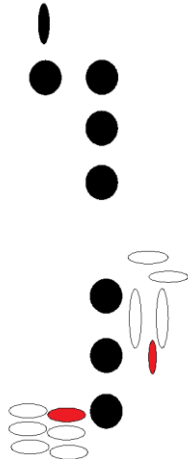
Oscilograma



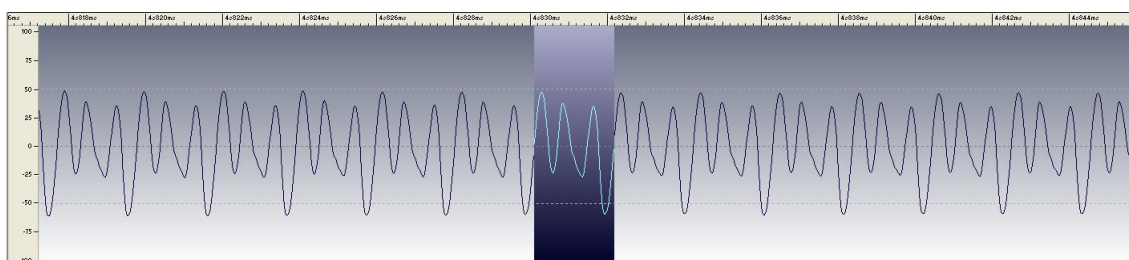
Gráfica FFT



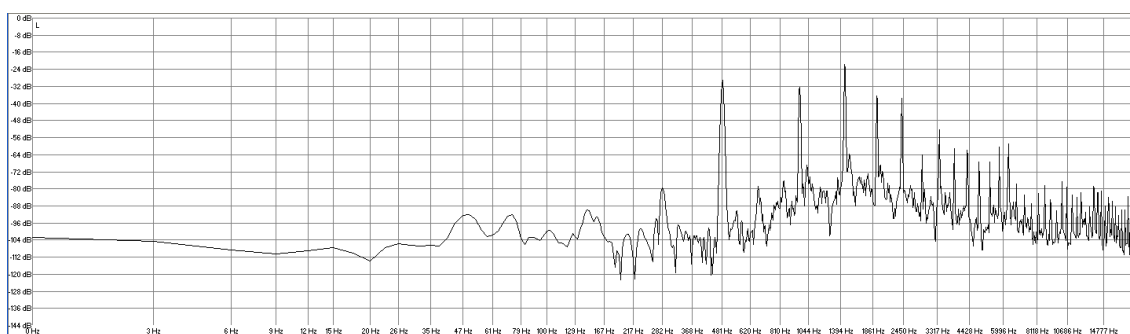
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 61	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-30.1	-21.5	-24.5	-30.1	-31.9	-44.5	-39.7	-41.9
Frecuencia experimental	482.6	966.6	1448.8	1932.1	2414	2897.2	3380.8	3864.8
Frecuencia Teórica	482,6	965,2	1447,8	1930,4	2413	2895,6	3378,2	3860,8

SONIDO 62	Digitación completa	Digitación simplificada
		


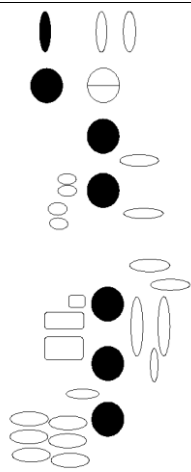

Oscilograma



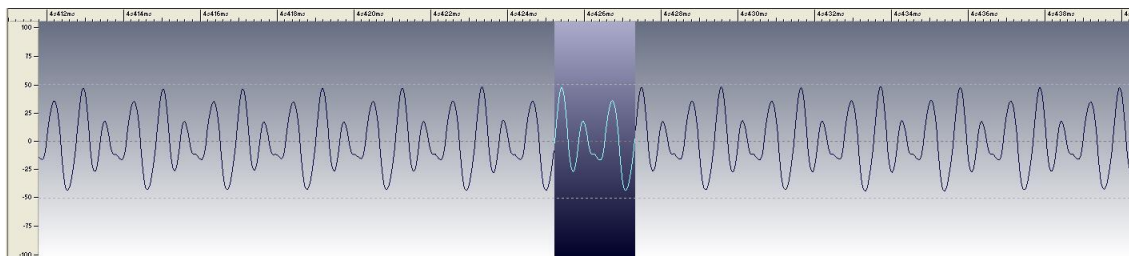
Gráfica FFT



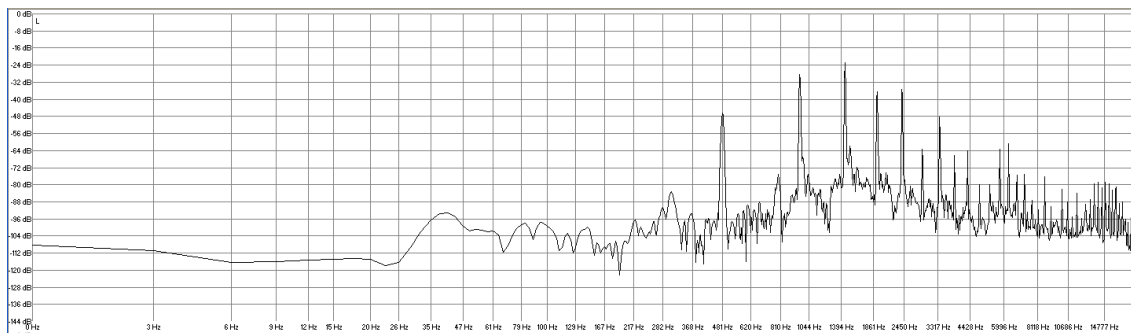
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 62 B	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-29.5	-32.4	-22.1	-36.8	-37.9	-64.8	-52.7	-61.5
Frecuencia experimental	483.3	966.9	1449.9	1934.5	2417.1	2900.8	3384.1	3867.6
Frecuencia Teórica	483,3	966,6	1449,9	1933,2	2416,5	2899,8	3383,1	3866,4

SONIDO 63	Digitación completa	Digitación simplificada
		


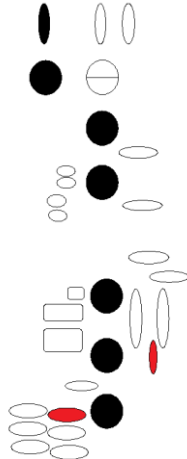
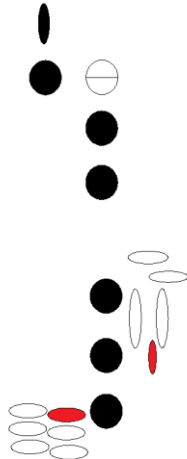
Oscilograma



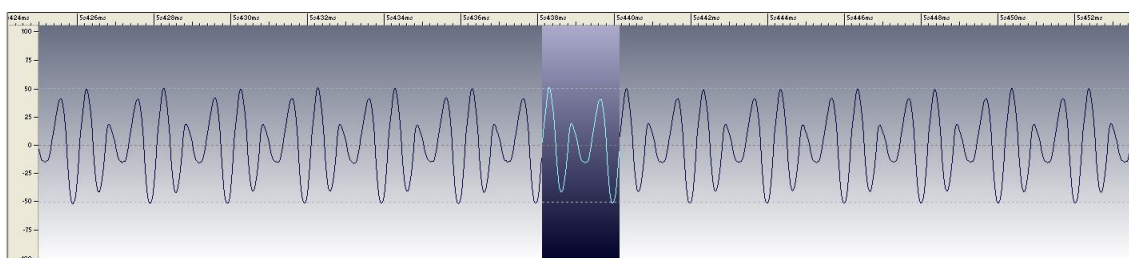
Gráfica FFT



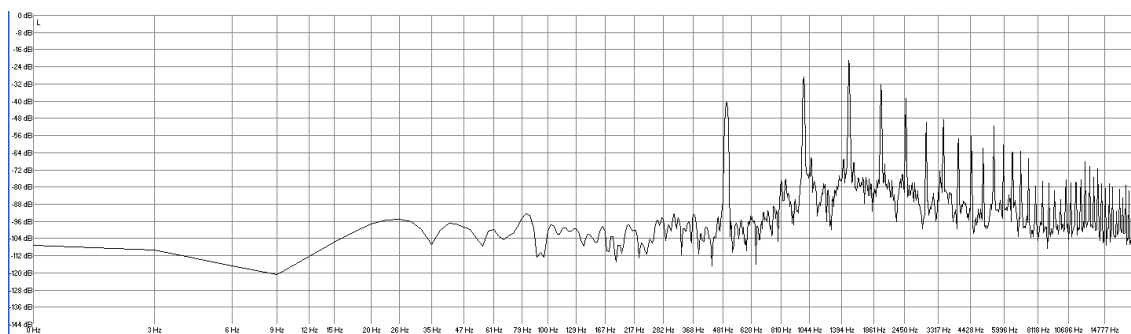
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 63	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-46.8	-28.4	-23.2	-36.8	-35.4	-64.1	-48.6	-66.7
Frecuencia experimental	480.2	964.2	1443.7	1927.5	2407.6	2888.9	3370.9	3852
Frecuencia Teórica	480,2	960,4	1440,6	1920,8	2401	2881,2	3361,4	3841,6

SONIDO 64	Digitación completa	Digitación simplificada
		


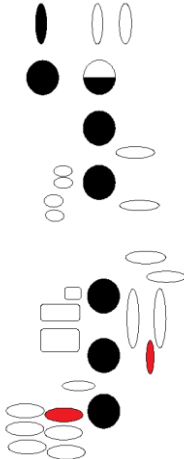
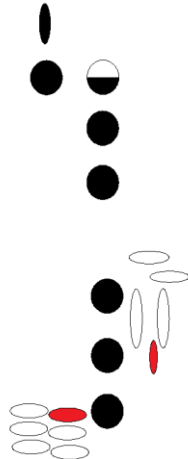
Oscilograma



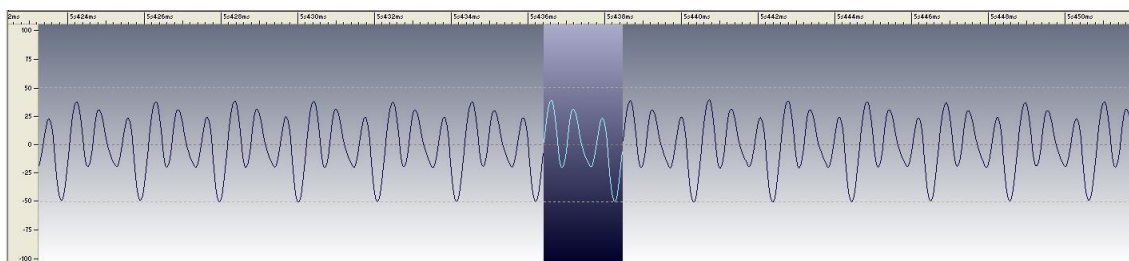
Gráfica FFT



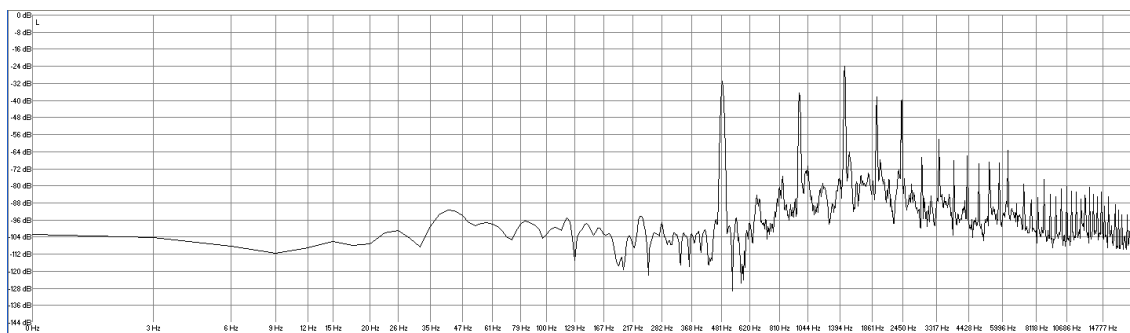
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 64	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-40.1	-29.1	-21.4	-32.8	-39	-49.7	-48.6	-57.5
Frecuencia experimental	497.4	993.1	1490.9	1989.3	2484	2981.2	3477.4	3973.5
Frecuencia Teórica	497,4	994,8	1492,2	1989,6	2487	2984,4	3481,8	3979,2

SONIDO 65	Digitación completa	Digitación simplificada
		


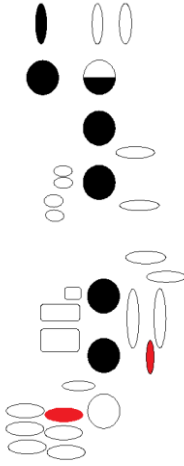
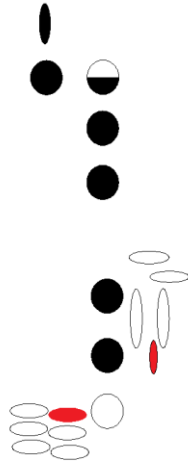
Oscilograma



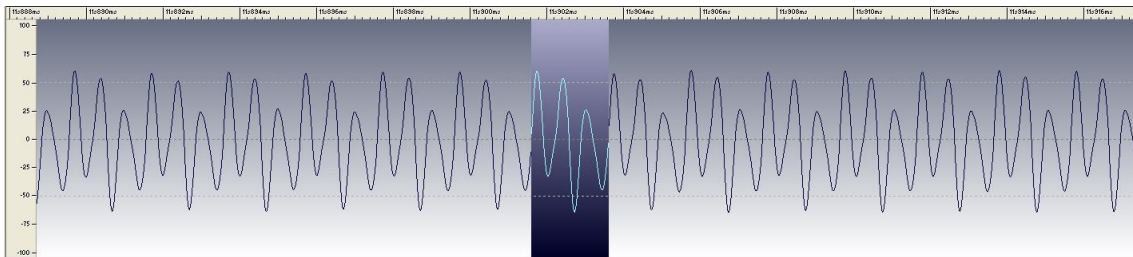
Gráfica FFT



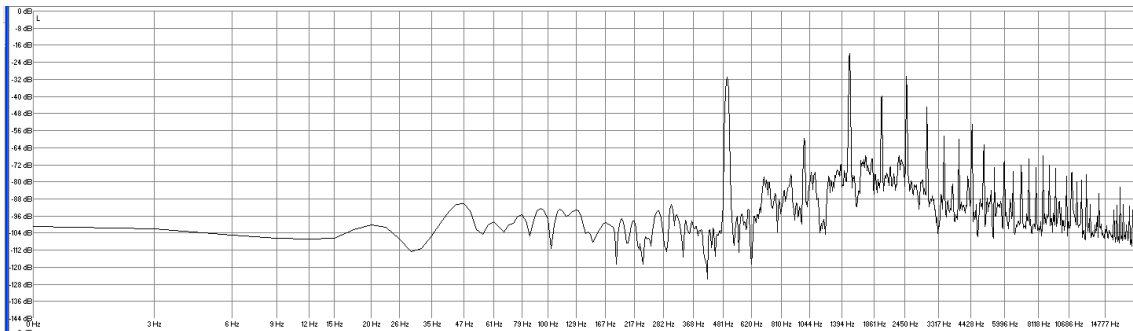
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 65	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-30.9	-36.8	-24.7	-38.7	-40.1	-67	-58.6	-68.5
Frecuencia experimental	484.6	970.4	1455	1941.1	2425.2	2908.7	3395.9	3878.9
Frecuencia Teórica	484,6	969,2	1453,8	1938,4	2423	2907,6	3392,2	3876,8

SONIDO 66	Digitación completa	Digitación simplificada
		


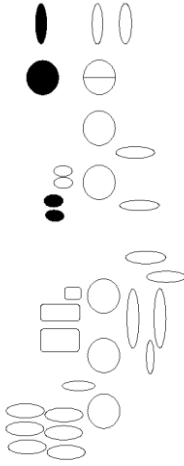
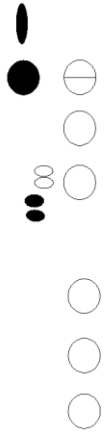
Oscilograma



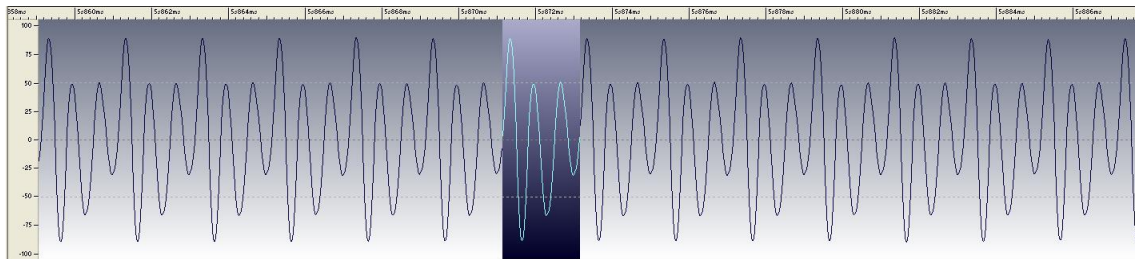
Gráfica FFT



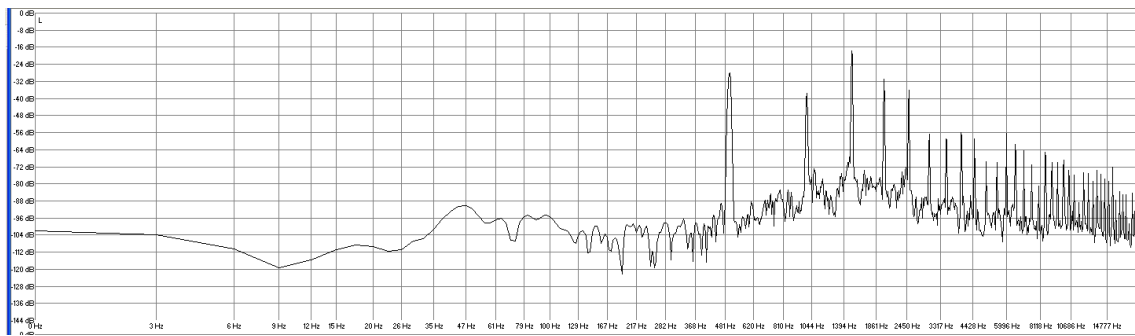
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 66	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-31,3	-60	-20,3	-40,1	-30,9	-45,3	-58,9	-60,4
Frecuencia experimental	498,3	995,9	1494,7	1992,6	2490,7	2988,6	3487	3985,1
Frecuencia Teórica	498,3	996,6	1494,9	1993,2	2491,5	2989,8	3488,1	3986,4

SONIDO 67	Digitación completa	Digitación simplificada
		


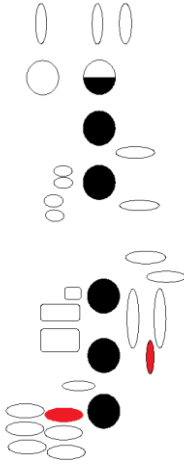
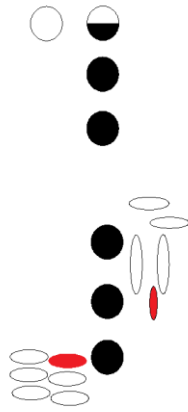
Oscilograma



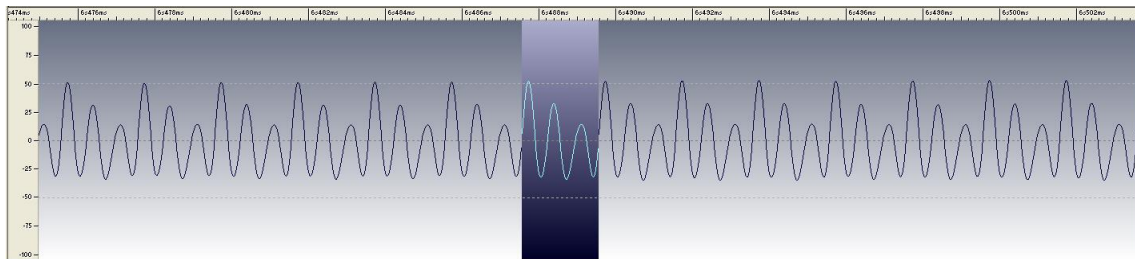
Gráfica FFT



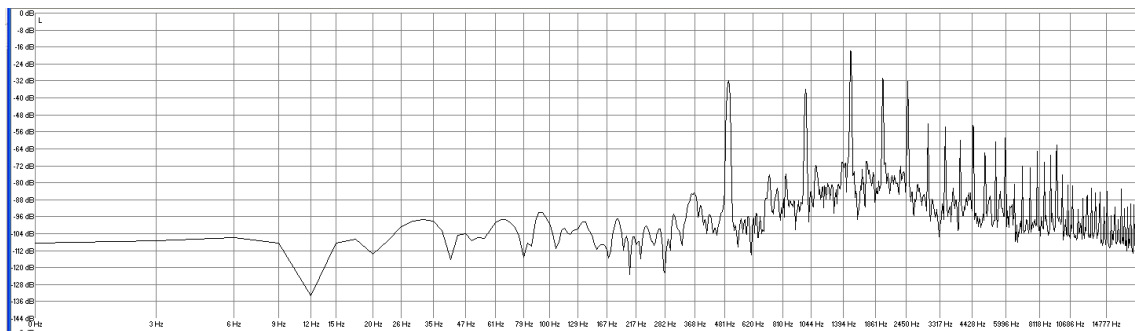
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 67	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-28	-37,6	-18	-31,3	-36,1	-57,1	-59,7	-56,3
Frecuencia experimental	500,5	999,5	1499,6	2000,5	2498,8	3000,1	3499,8	3999,8
Frecuencia Teórica	500,5	1001	1501,5	2002	2502,5	3003	3503,5	4004

SONIDO 68	Digitación completa	Digitación simplificada
		


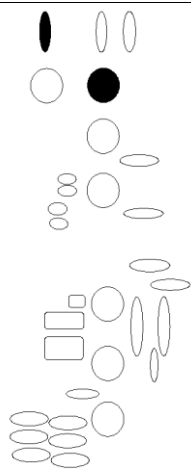

Oscilograma



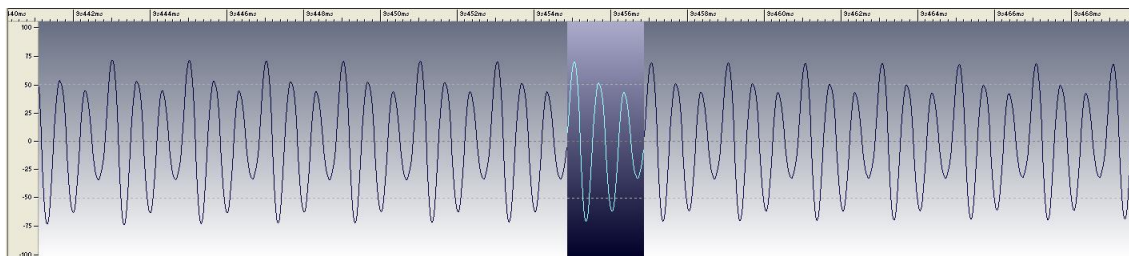
Gráfica FFT



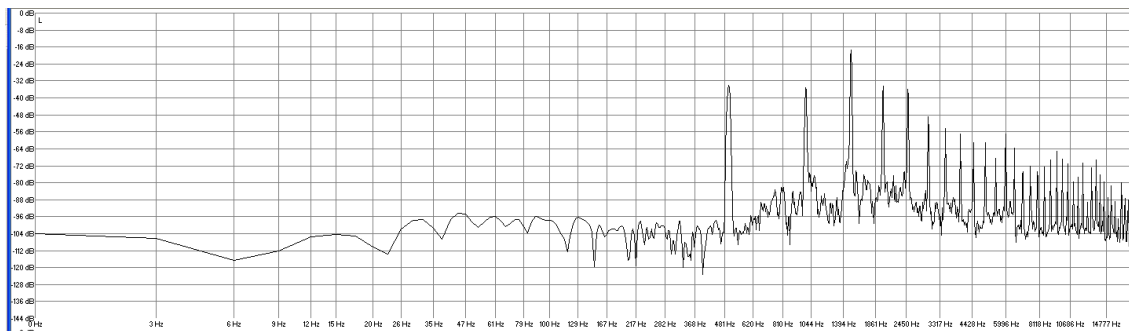
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 68	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-31,8	-36,3	-17,8	-31,1	-32,9	-52,2	-53,7	-60,3
Frecuencia experimental	497,1	994,7	1491,7	1988,2	2487	2986	3482,3	3979,2
Frecuencia Teórica	497,1	994,2	1491,3	1988,4	2485,5	2982,6	3479,7	3976,8

SONIDO 69	Digitación completa	Digitación simplificada
		


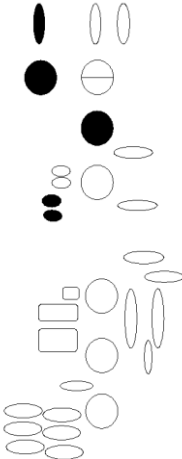
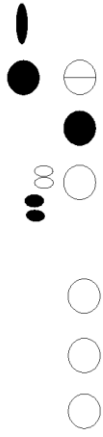
Oscilograma



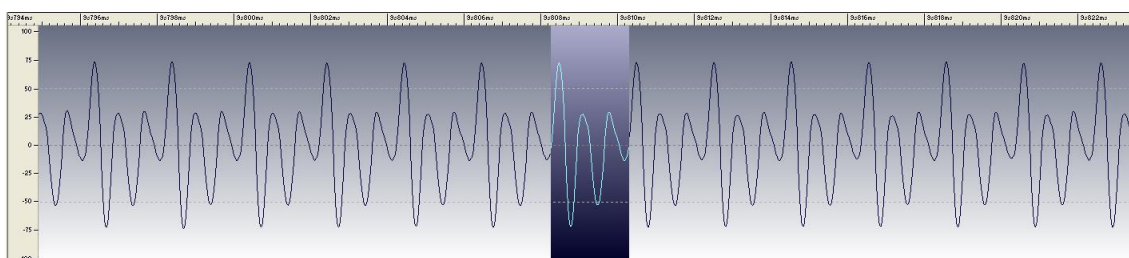
Gráfica FFT



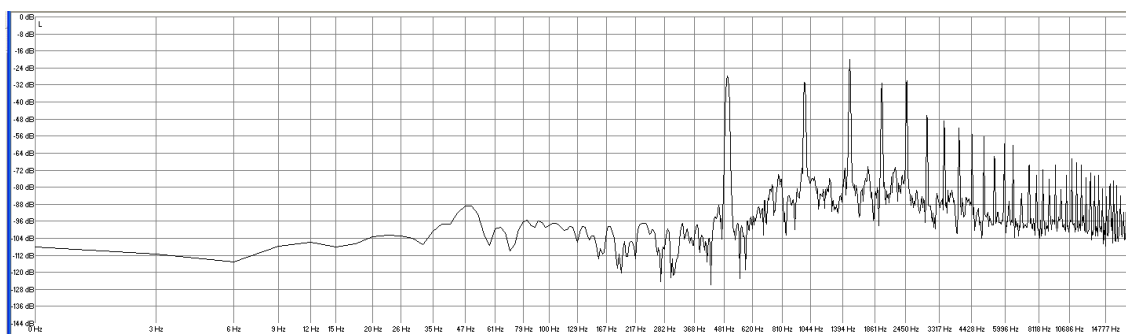
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 69	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-33,7	-35,5	-17,4	-34,8	-36,3	-48,9	-54,4	-57
Frecuencia experimental	498	995,7	1495,7	1995,4	2492,9	2991,3	3488,7	3987,2
Frecuencia Teórica	498	996	1494	1992	2490	2988	3486	3984

SONIDO 70	Digitación completa	Digitación simplificada
		


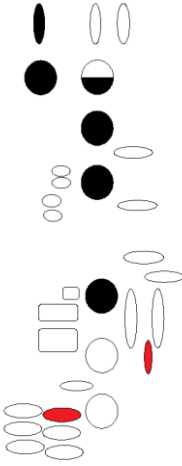
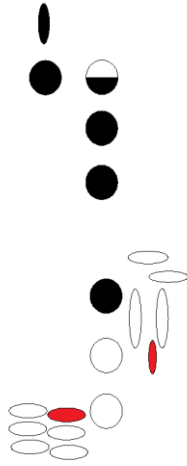
Oscilograma



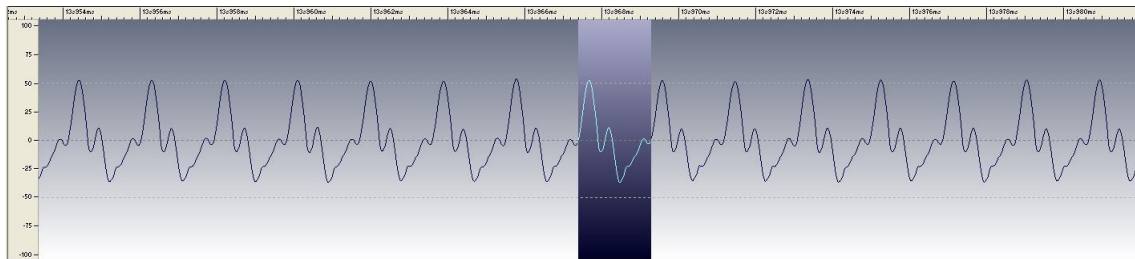
Gráfica FFT



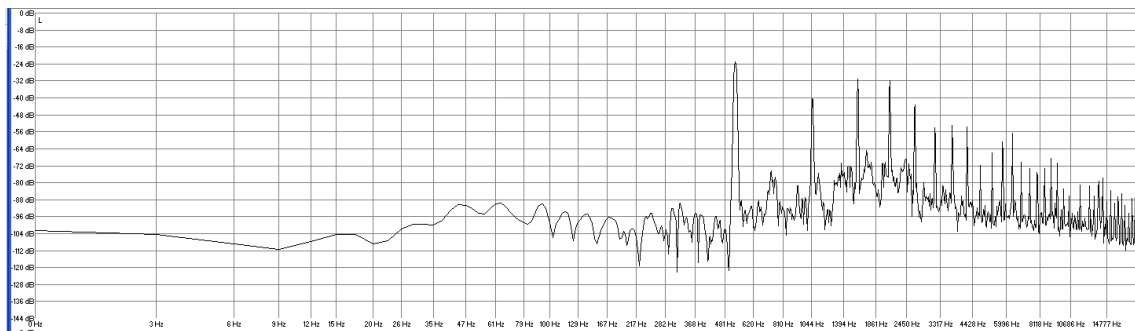
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 70	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-27,8	-31,1	-20	-31,8	-30,4	-47	-49,2	-52,2
Frecuencia experimental	495,5	991,1	1486,3	1984,4	2477,9	2974,2	3864,8	3963,6
Frecuencia Teórica	495,5	991	1486,5	1982	2477,5	2973	3468,5	3964

SONIDO 71	Digitación completa	Digitación simplificada
		


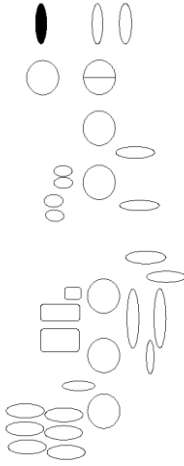

Oscilograma



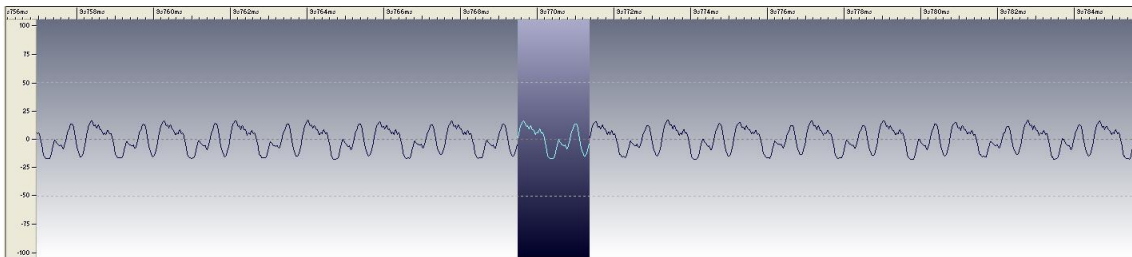
Gráfica FFT



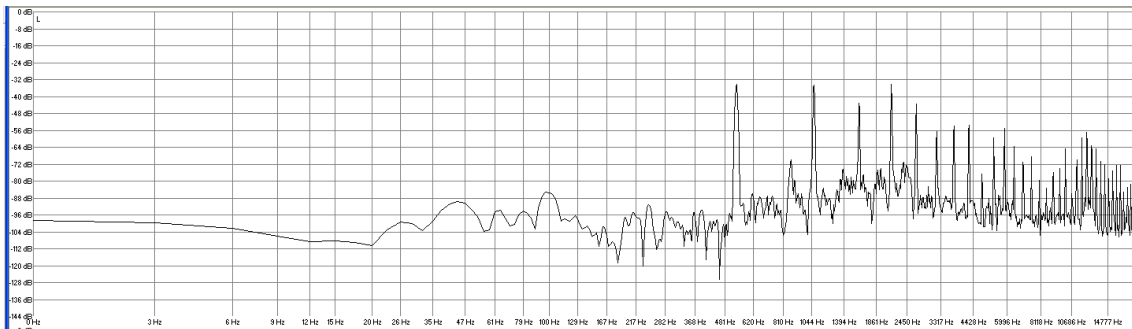
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 71	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	- 16.8	- 37.4	-24	- 28.1	- 39.6	- 50.9	- 56.5	- 56.3
Frecuencia experimental	515.2	1067.2	1594	2109	2626.1	3182.2	3702.9	4218.6
Frecuencia Teórica	515,2	1030,4	1545,6	2060,8	2576	3091,2	3606,4	4121,6

SONIDO 72	Digitación completa	Digitación simplificada
		


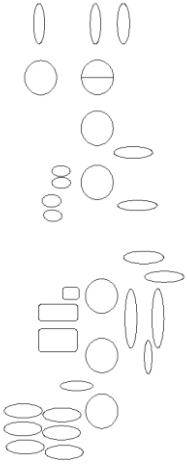

Oscilograma



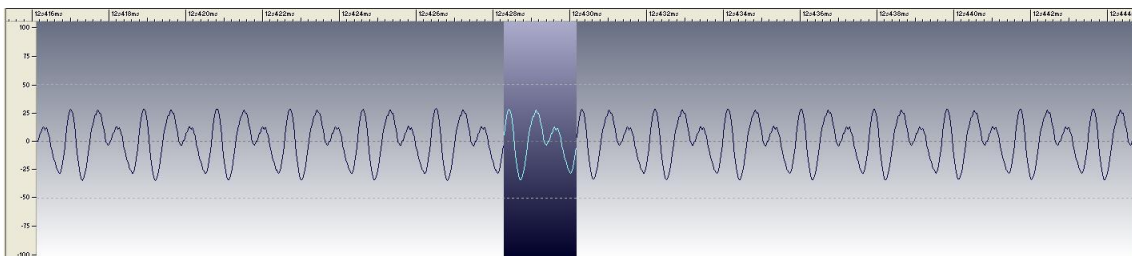
Gráfica FFT



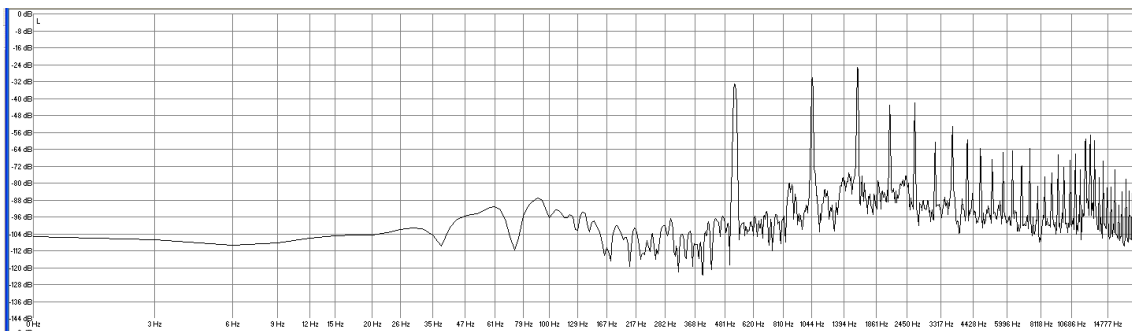
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 72	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	- 28.8	- 28.1	- 34.8	- 29.5	- 38.9	- 48.2	-49	- 47.9
Frecuencia experimental	516.3	1076.9	1593.2	2113.1	2663.9	3118.8	3748.2	4265
Frecuencia Teórica	516,3	1032,6	1548,9	2065,2	2581,5	3097,8	3614,1	4130,4

SONIDO 73	Digitación completa	Digitación simplificada
		


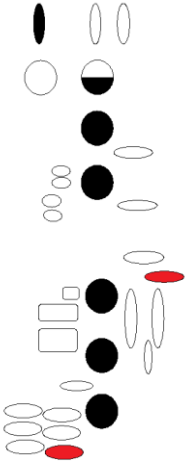
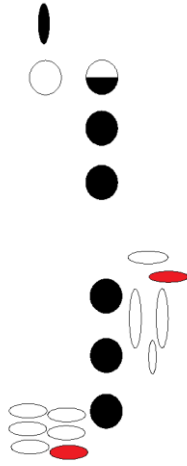
Oscilograma



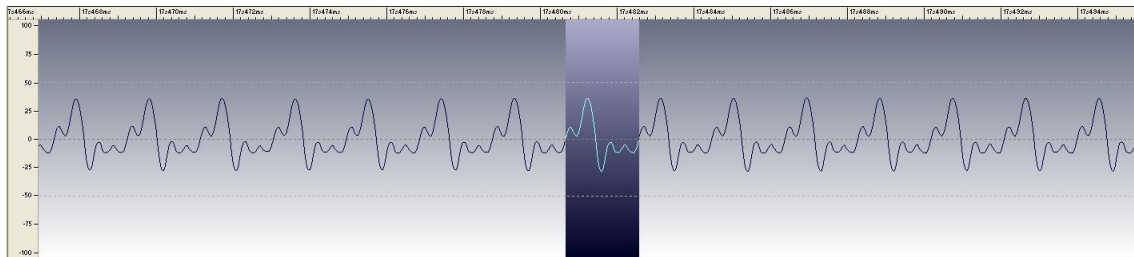
Gráfica FFT



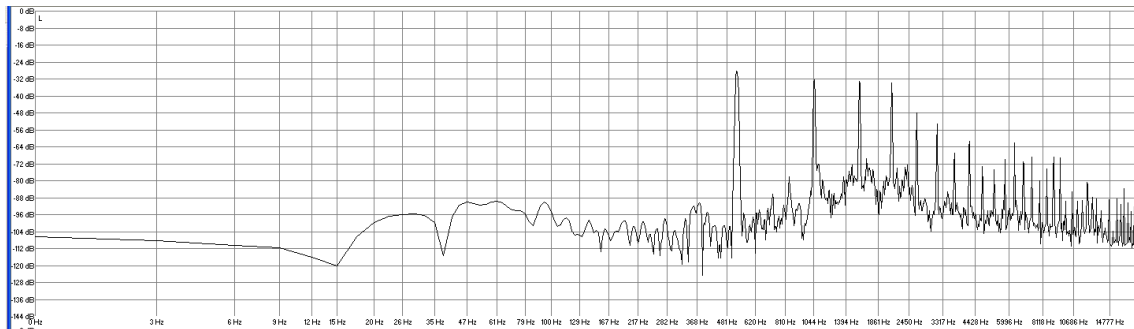
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 73	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	- 26.7	- 25.5	-20	- 37.1	- 35.1	- 55.5	- 47.2	- 52.2
Frecuencia experimental	516	1031.4	1589.6	2105.8	2625.6	3138.2	3677.1	4218.4
Frecuencia Teórica	516	1032	1548	2064	2580	3096	3612	4128

SONIDO 74	Digitación completa	Digitación simplificada
		


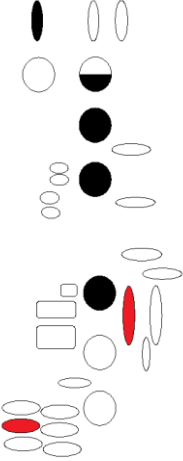
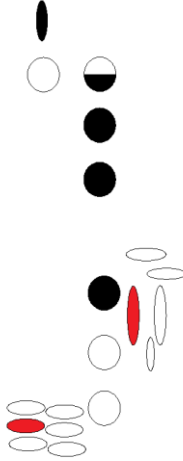
Oscilograma



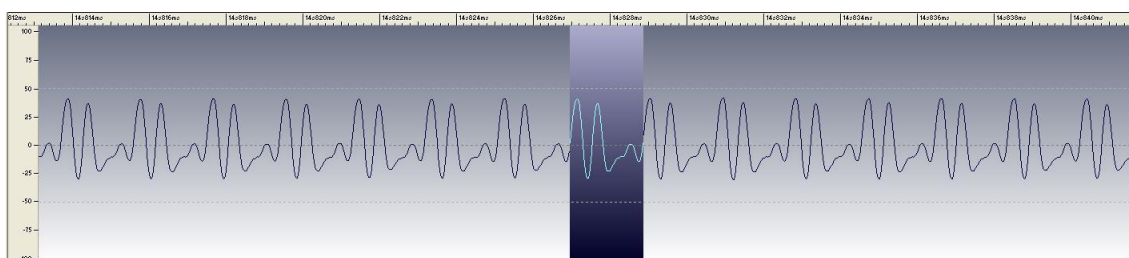
Gráfica FFT



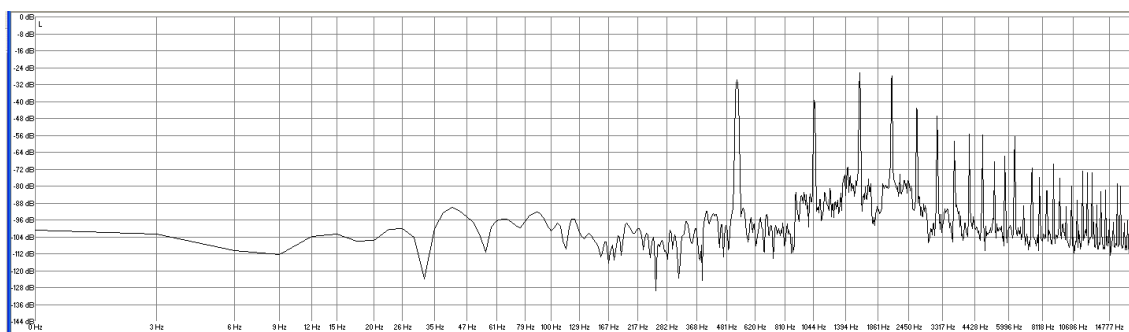
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 74	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	- 21.5	-26	-26	-26	- 40.5	- 43.1	- 57.9	- 54.2
Frecuencia experimental	514.8	1030.8	1588.8	2107.1	2624	3141	3654.8	4218
Frecuencia Teórica	514,8	1029,6	1544,4	2059,2	2574	3088,8	3603,6	4118,4

SONIDO 75	Digitación completa	Digitación simplificada
		


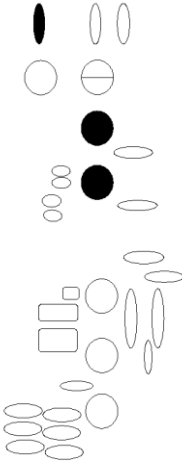

Oscilograma



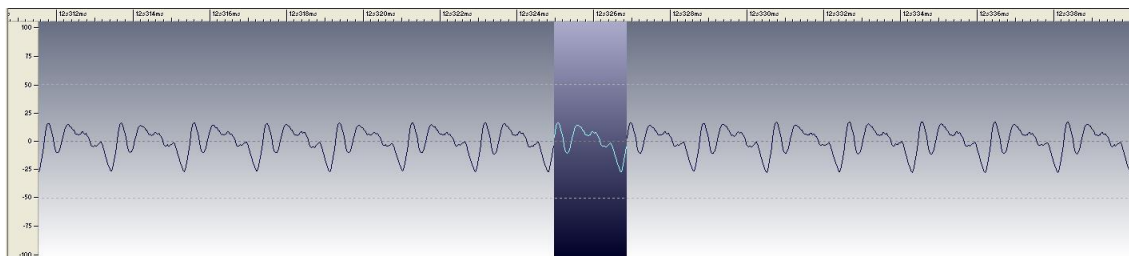
Gráfica FFT



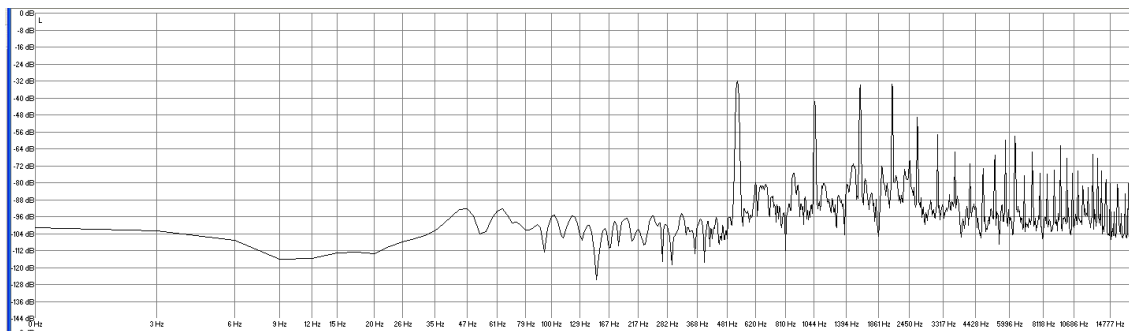
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 75	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	- 23.4	- 33.4	- 19.7	- 20.8	- 36.7	-42	- 50.8	- 46.9
Frecuencia experimental	515	1055.4	1594	2109.9	2624.6	3163.3	3702	4218.9
Frecuencia Teórica	515	1030	1545	2060	2575	3090	3605	4120

SONIDO 76	Digitación completa	Digitación simplificada
		


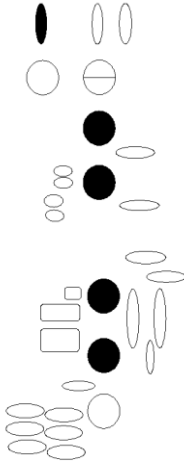

Oscilograma



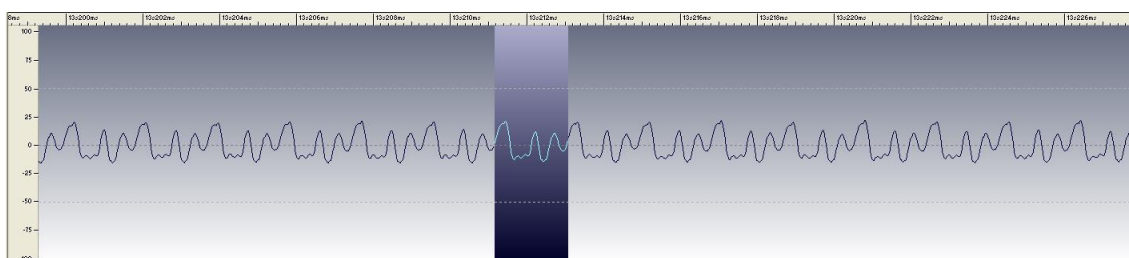
Gráfica FFT



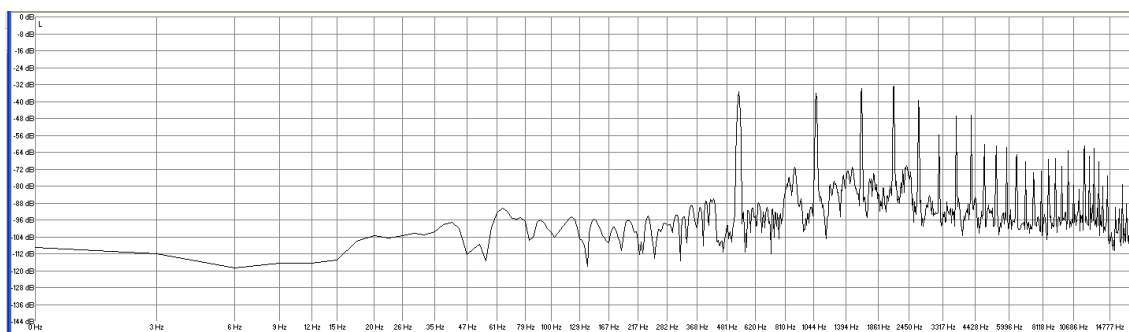
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 76	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	- 25.4	- 34.9	- 27.2	- 26.5	-42	- 51.2	- 60.4	- 62.5
Frecuencia experimental	516	1032	1593	2110.4	2625	3141.2	3679.4	4218.5
Frecuencia Teórica	516	1032	1548	2064	2580	3096	3612	4128

SONIDO 77	Digitación completa	Digitación simplificada
		


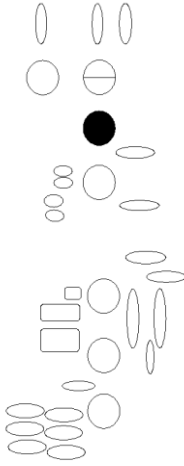

Oscilograma



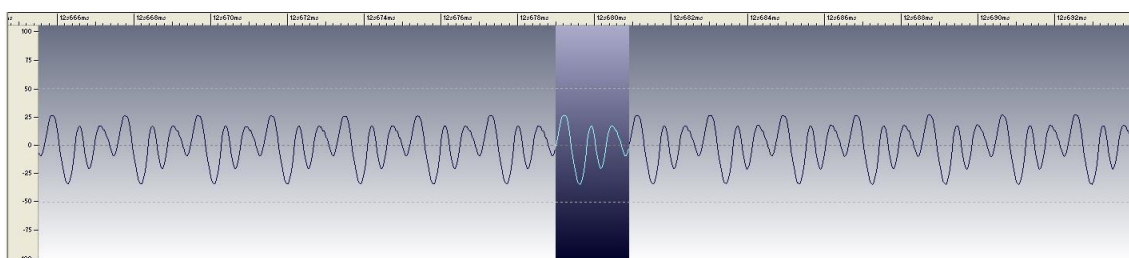
Gráfica FFT



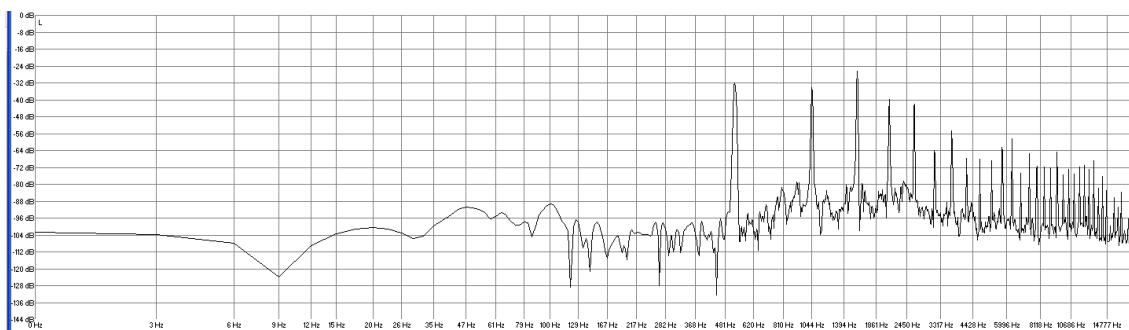
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 77	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	- 29.3	- 28.9	- 27.5	- 28.9	- 34.2	- 48.7	- 41.3	- 39.9
Frecuencia experimental	516	1077.7	1594	2150	2671	3187.8	3747.9	4265
Frecuencia Teórica	516	1032	1548	2064	2580	3096	3612	4128

SONIDO 78	Digitación completa	Digitación simplificada
		


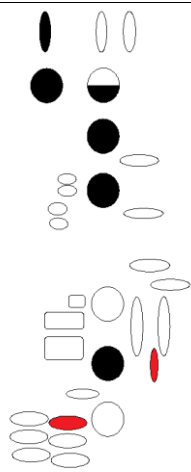
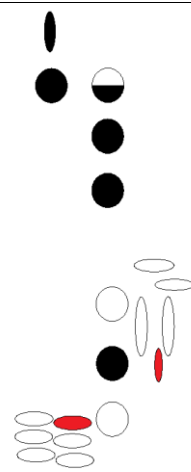
Oscilograma



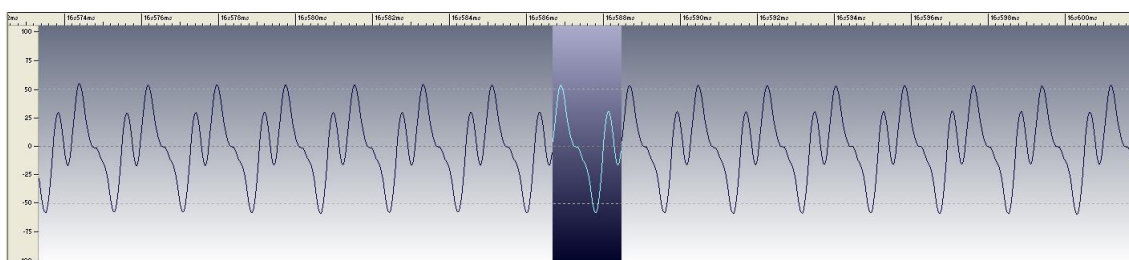
Gráfica FFT



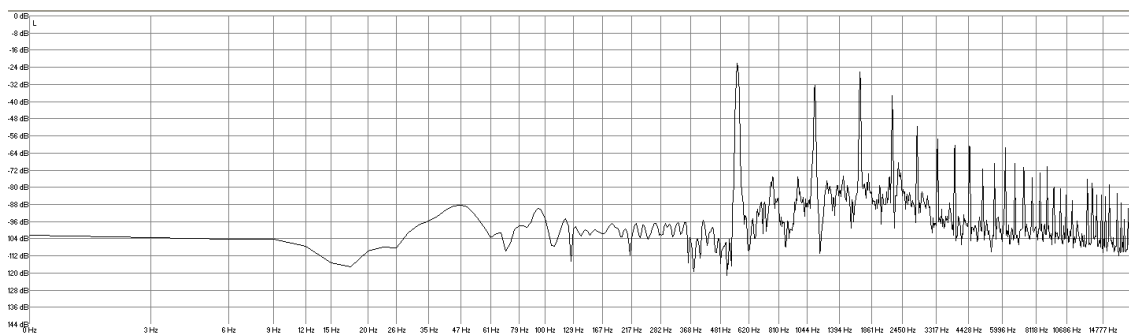
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 78	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	- 25.4	- 27.9	- 20.5	- 33.2	- 34.9	- 57.2	- 47.3	- 62.1
Frecuencia experimental	514.7	1031.6	1583.3	2109	2626.3	3140	3653.7	4171.7
Frecuencia Teórica	514,7	1029,4	1544,1	2058,8	2573,5	3088,2	3602,9	4117,6

SONIDO 79	Digitación completa	Digitación simplificada
		


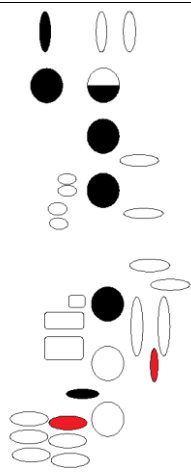
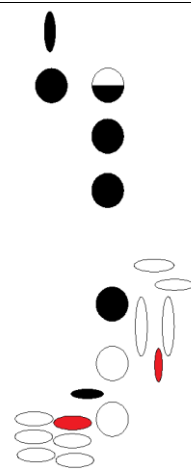
Oscilograma



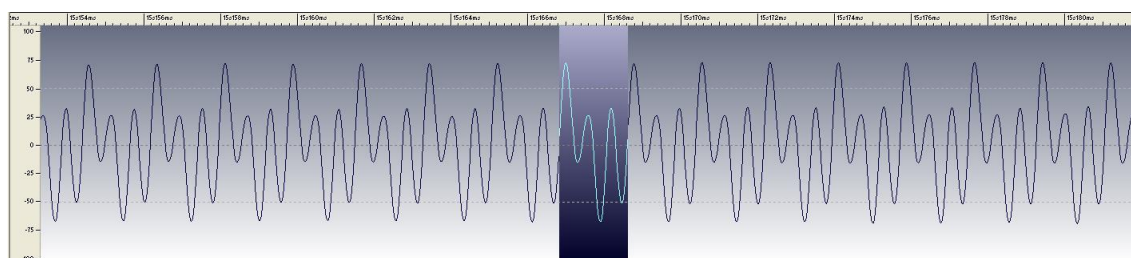
Gráfica FFT



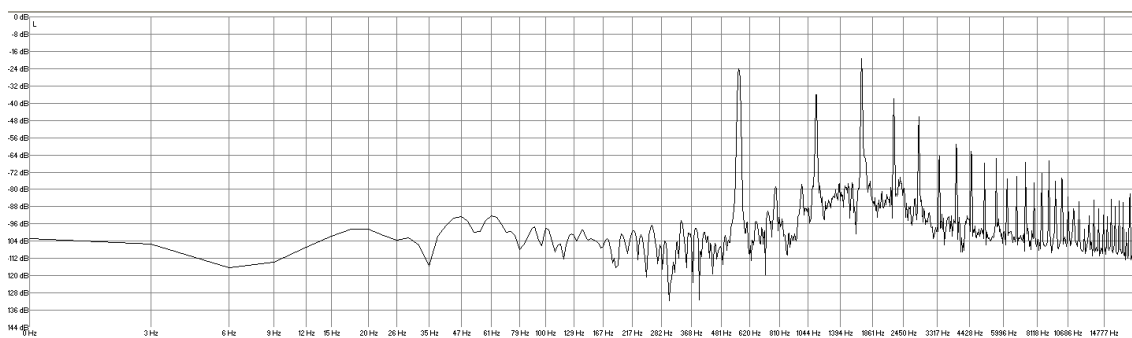
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 79	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-22,1	-33,1	-26,5	-37,6	-51,6	-57,8	-60,4	-61,5
Frecuencia experimental	559,4	1119,1	1678,4	2238,5	2797,7	3357,7	3917,1	4476,8
Frecuencia Teórica	559,4	1118,8	1678,2	2237,6	2797	3356,4	3915,8	4475,2

SONIDO 80	Digitación completa	Digitación simplificada
		


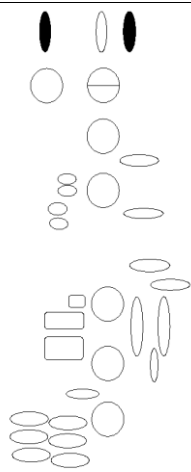

Oscilograma



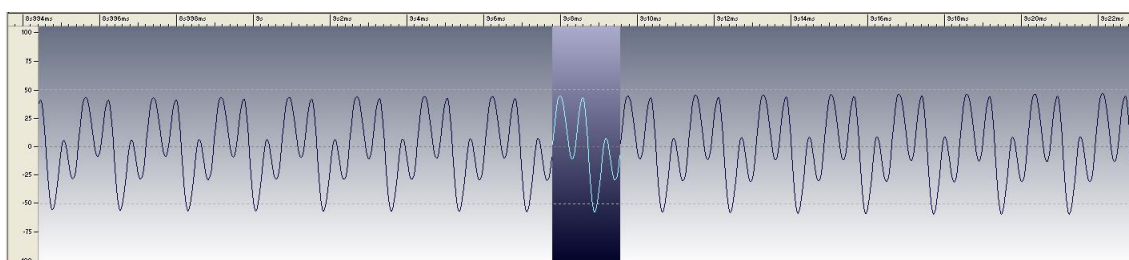
Gráfica FFT



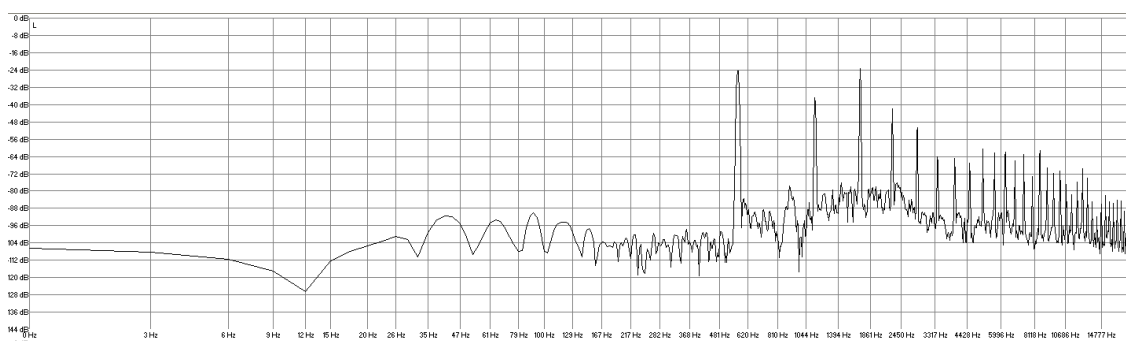
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 80	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-24,1	-36,1	-19,7	-38,3	-46,3	-64,5	-59,4	-62,7
Frecuencia experimental	562,3	1126	1690,2	2252,3	2815,2	3377,4	3943,3	4506,8
Frecuencia Teórica	562,3	1124,6	1686,9	2249,2	2811,5	3373,8	3936,1	4498,4

SONIDO 81	Digitación completa	Digitación simplificada
		


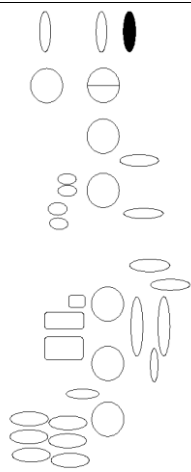

Oscilograma



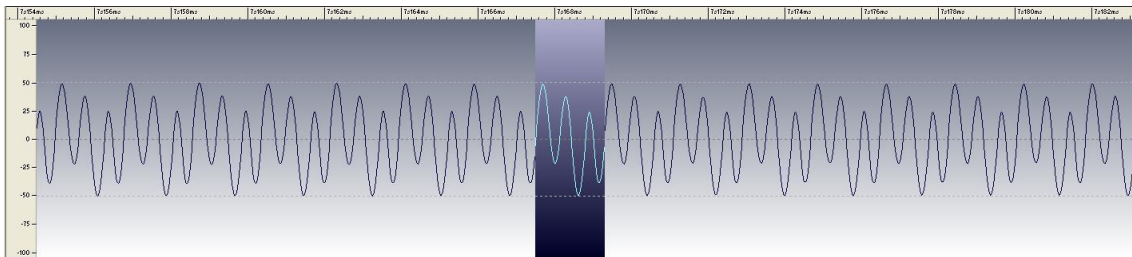
Gráfica FFT



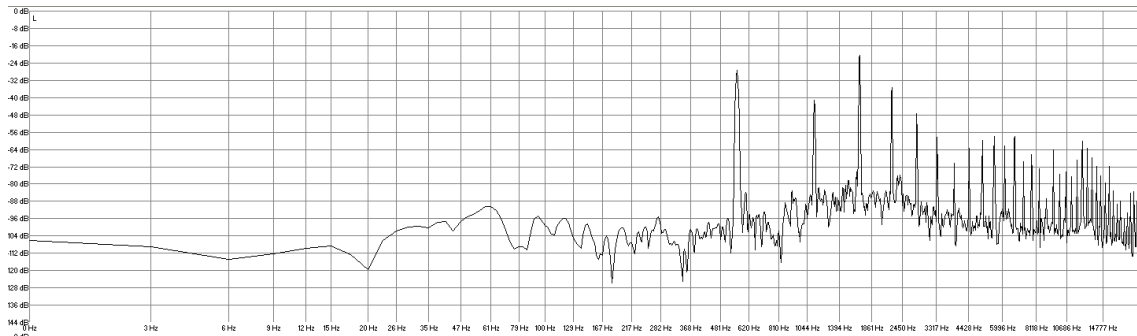
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 81	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-24,4	-37,2	-23,7	-41,6	-51	-64,2	-64,9	-67,1
Frecuencia experimental	567,1	1133,3	1701,8	2267,4	2833,4	3401	3966,3	4534,5
Frecuencia Teórica	567,1	1134,2	1701,3	2268,4	2835,5	3402,6	3969,7	4536,8

SONIDO 82	Digitación completa	Digitación simplificada
		


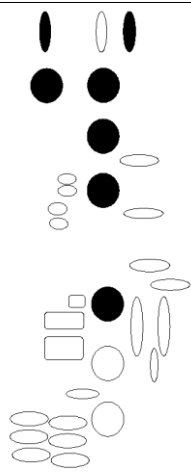
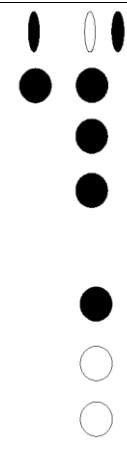
Oscilograma



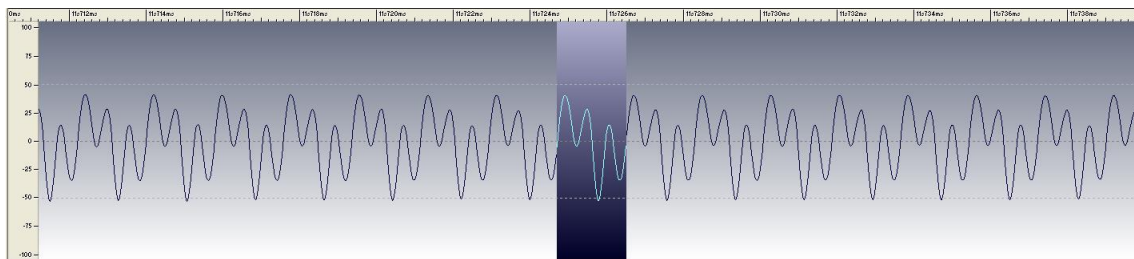
Gráfica FFT



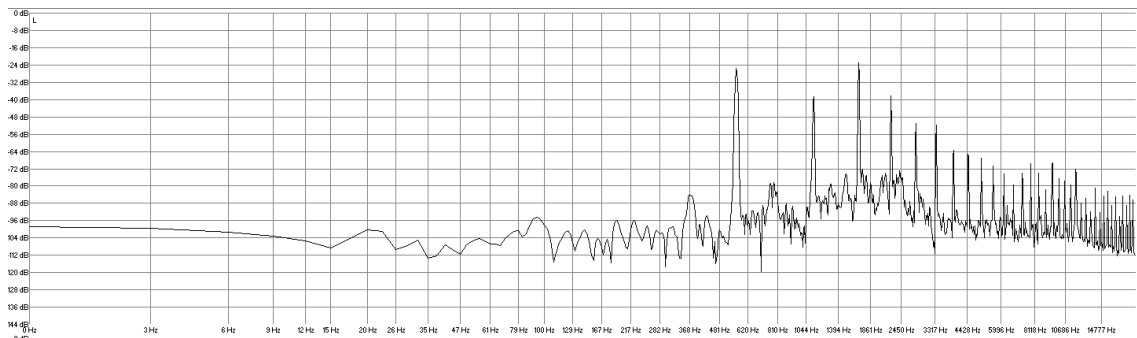
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 82	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-27,3	-41,6	-20,8	-35,4	-47,8	-58,7	-70,7	-64,2
Frecuencia experimental	556,3	1114,4	1672,2	2229,9	2788,4	3345,3	3901,5	4462,2
Frecuencia Teórica	556,3	1112,6	1668,9	2225,2	2781,5	3337,8	3894,1	4450,4

SONIDO 83	Digitación completa	Digitación simplificada
		


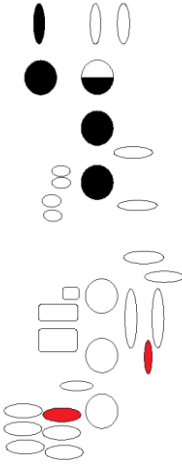
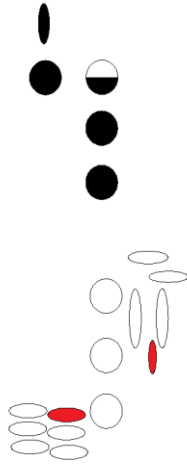
Oscilograma



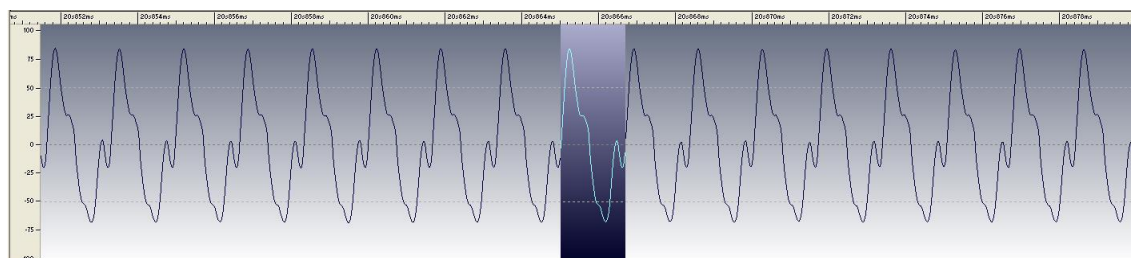
Gráfica FFT



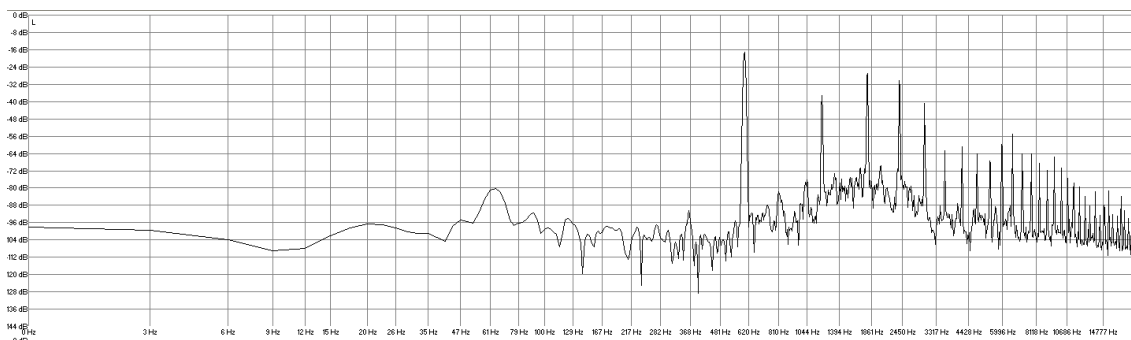
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 83	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-25,9	-39	-23,7	-39	-51,4	-52,1	-64,2	-65,6
Frecuencia experimental	559,8	1118,7	1678,5	2238,1	2798,3	3357	3917,2	4477,1
Frecuencia Teórica	559,8	1119,6	1679,4	2239,2	2799	3358,8	3918,6	4478,4

SONIDO 84	Digitación completa	Digitación simplificada
		


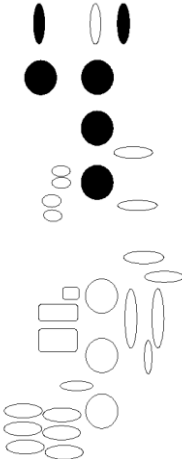

Oscilograma



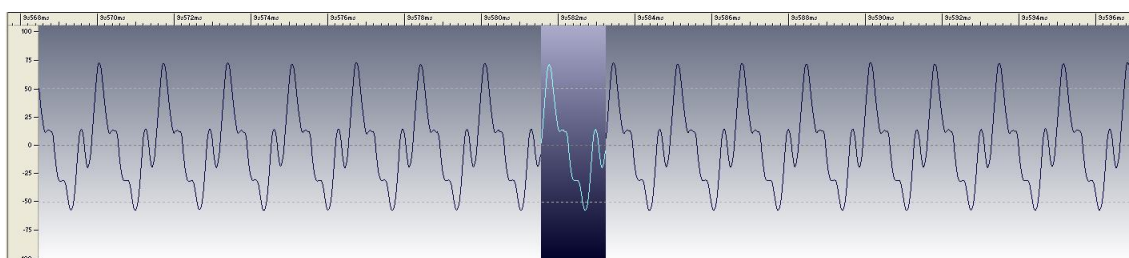
Gráfica FFT



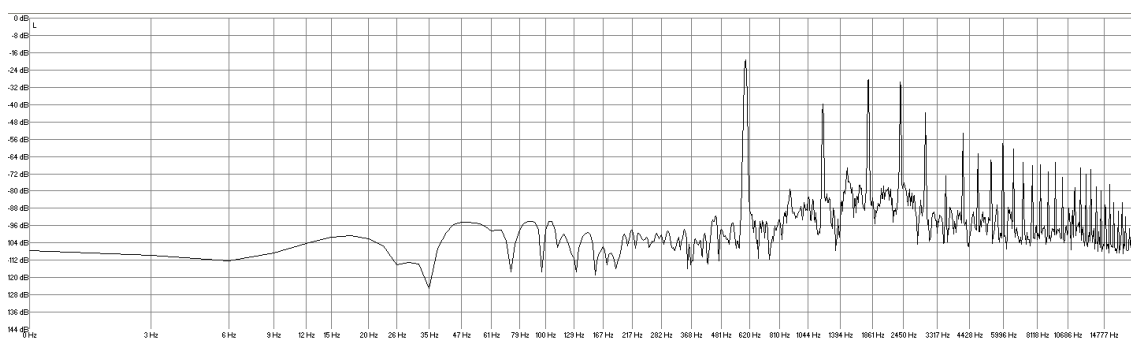
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 84	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,5	-37,5	-27,7	-31,4	-40,5	-63,1	-61,2	-63,8
Frecuencia experimental	597,1	1195,2	1793,8	2387,3	2988	3584,8	4181,5	4779,4
Frecuencia Teórica	597,1	1194,2	1791,3	2388,4	2985,5	3582,6	4179,7	4776,8

SONIDO 85	Digitación completa	Digitación simplificada
		


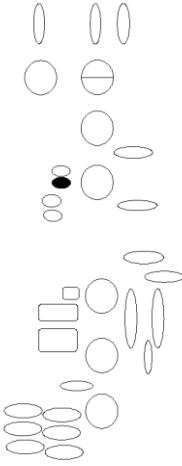
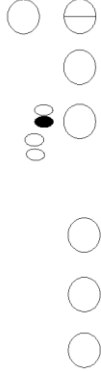
Oscilograma



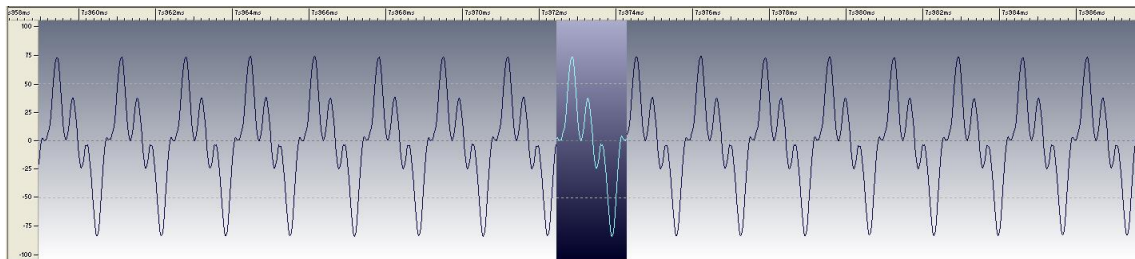
Gráfica FFT



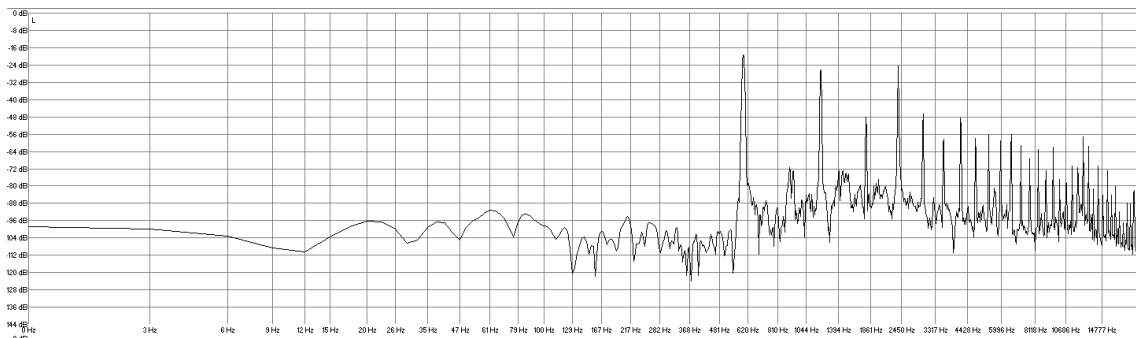
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 85	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-19,7	-40,1	-28,8	-29,9	-43,7	-73,3	-53,2	-63,1
Frecuencia experimental	598,6	1195,1	1792,5	2389,1	2986,9	3585	4182,5	4777,6
Frecuencia Teórica	598,6	1197,2	1795,8	2394,4	2993	3591,6	4190,2	4788,8

SONIDO 86	Digitación completa	Digitación simplificada
		


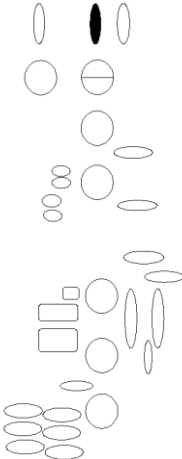

Oscilograma



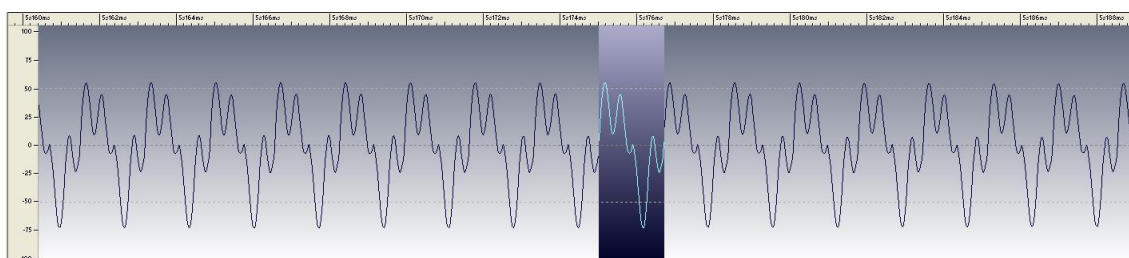
Gráfica FFT



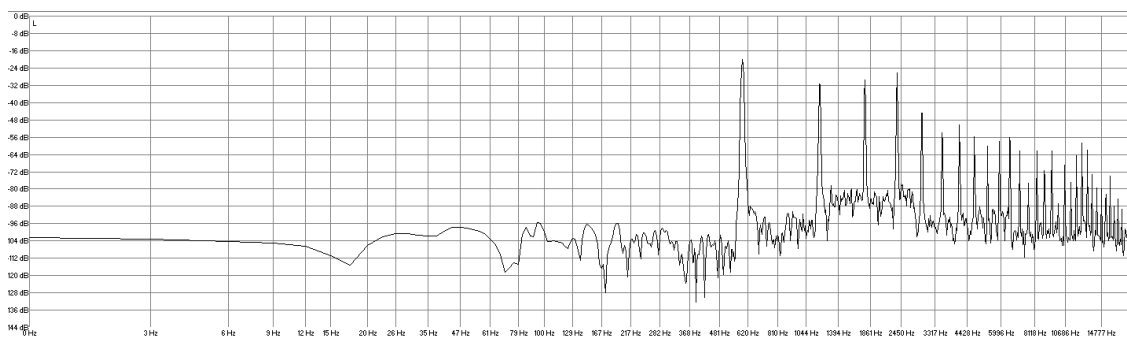
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 86	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-19,3	-26,6	-48,9	-24,4	-46,7	-58,7	-48,5	-58,7
Frecuencia experimental	594,8	1192,7	1787,6	2383,7	2979,6	3573,9	4169,8	4766,8
Frecuencia Teórica	594,8	1189,6	1784,4	2379,2	2974	3568,8	4163,6	4758,4

SONIDO 87	Digitación completa	Digitación simplificada
		

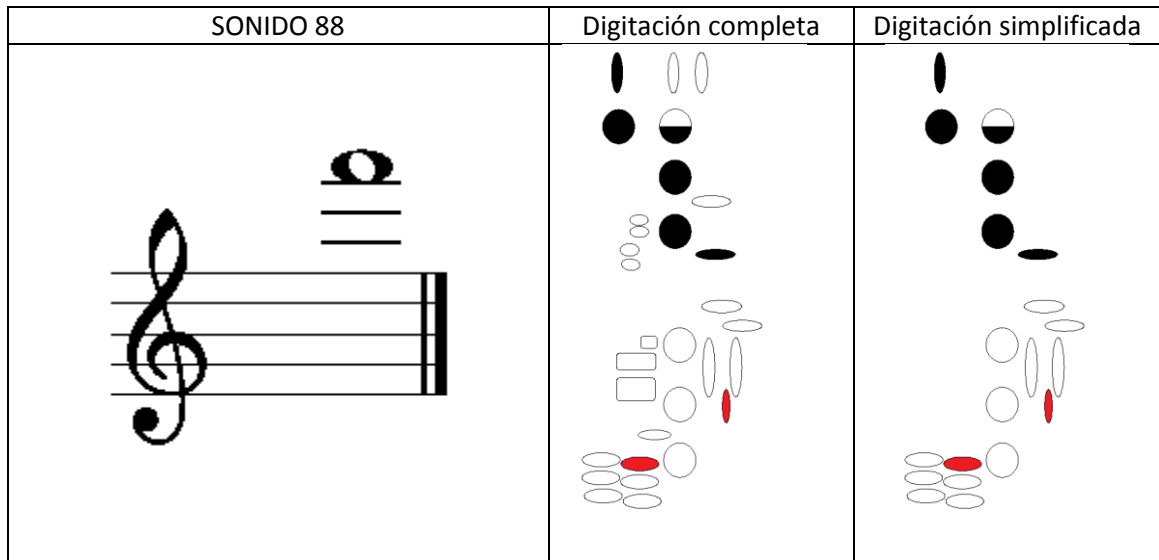
Oscilograma



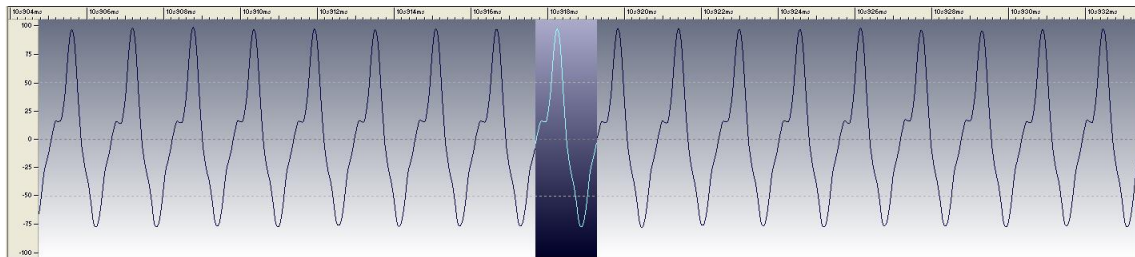
Gráfica FFT



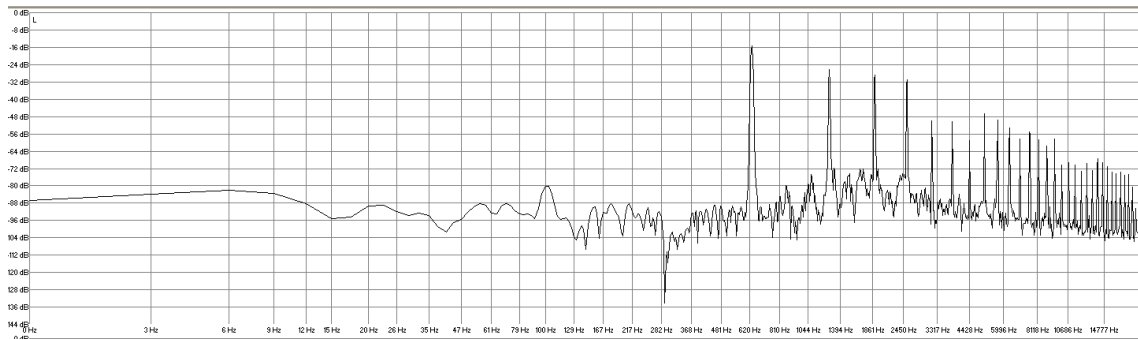
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 87	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-19,7	-31,7	-30,3	-26,2	-44,8	-54,7	-50,7	-55,8
Frecuencia experimental	591	1182,6	1774,8	2363,4	2954,9	3545,5	4135,9	4728,1
Frecuencia Teórica	591	1182	1773	2364	2955	3546	4137	4728




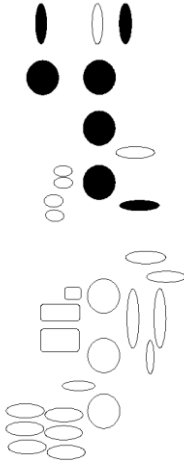

Oscilograma



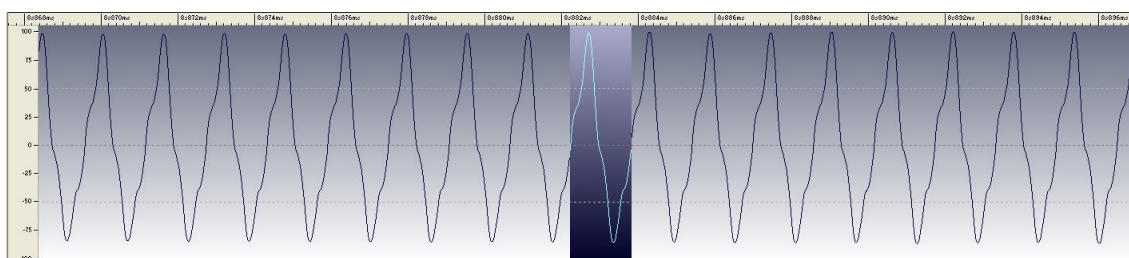
Gráfica FFT



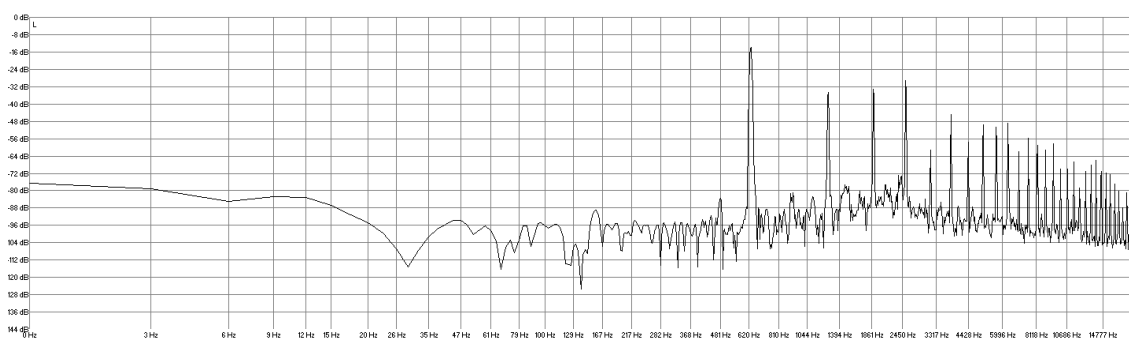
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 88	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-15,3	-27	-29,2	-31,7	-50,3	-51	-59,8	-47
Frecuencia experimental	633	1265,4	1899,8	2532,4	3163,9	3796,9	4430,4	5063
Frecuencia Teórica	633	1266	1899	2532	3165	3798	4431	5064

SONIDO 89	Digitación completa	Digitación simplificada
		


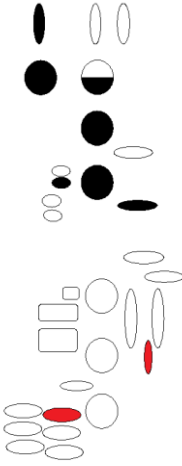
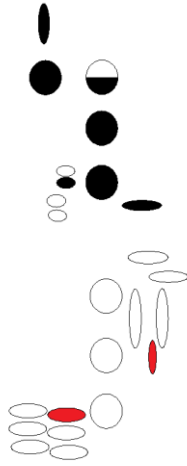
Oscilograma



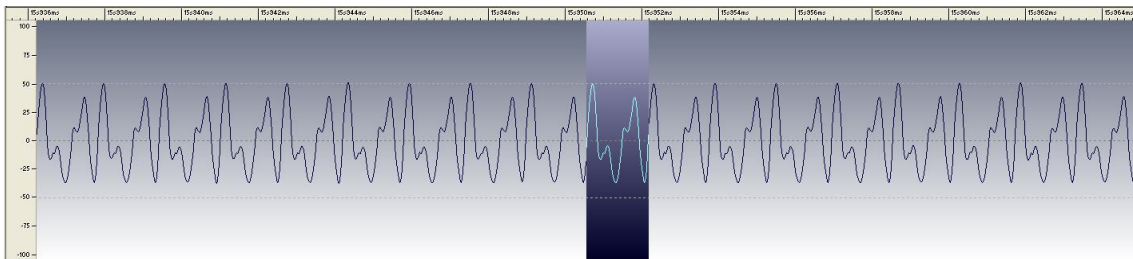
Gráfica FFT



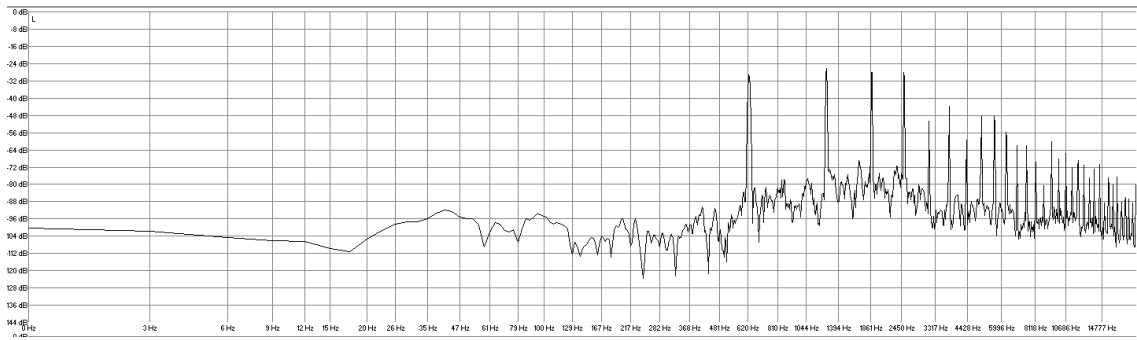
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 89	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-13,9	-35	-34,3	-29,2	-61,6	-45,6	-57,6	-49,9
Frecuencia experimental	631,9	1262,1	1894,7	2526,4	3158,7	3790	4420,1	5053,5
Frecuencia Teórica	631,9	1263,8	1895,7	2527,6	3159,5	3791,4	4423,3	5055,2

SONIDO 90	Digitación completa	Digitación simplificada
		


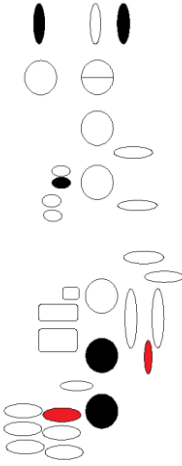
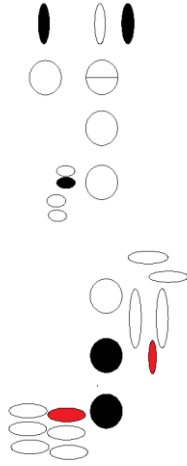
Oscilograma



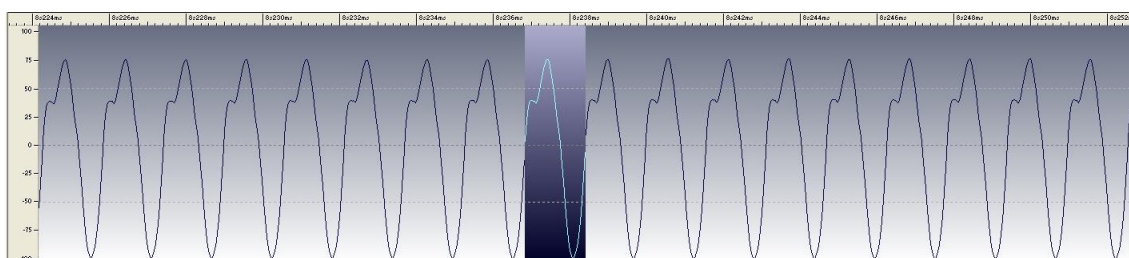
Gráfica FFT



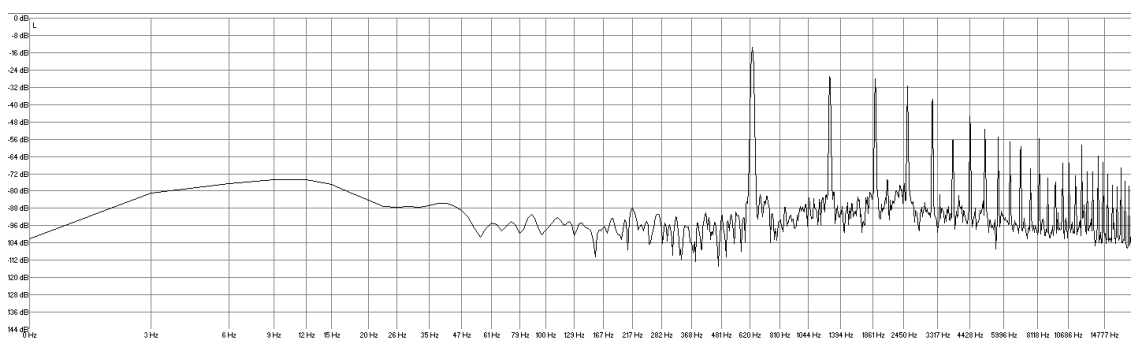
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 90	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-29,5	-26,2	-28,4	-28,1	-50,7	-44,1	-59,4	-49,2
Frecuencia experimental	626,2	1254	1833,4	2511,3	3137,3	3765	4391,3	5019,5
Frecuencia Teórica	626,2	1252,4	1878,6	2504,8	3131	3757,2	4383,4	5009,6

SONIDO 91	Digitación completa	Digitación simplificada
		

Oscilograma



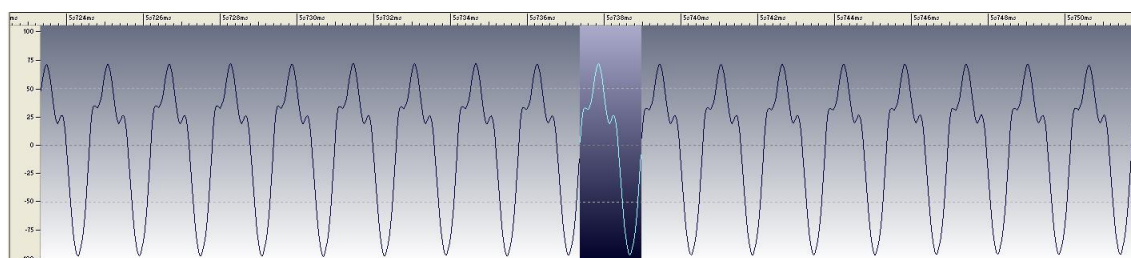
Gráfica FFT



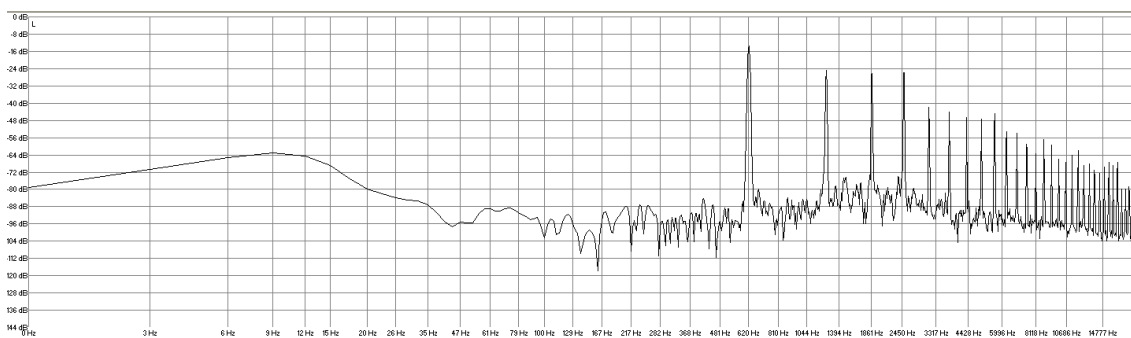
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 91	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-13,9	-27,7	-28,4	-31,7	-37,5	-56,1	-46,3	-51,8
Frecuencia experimental	634,8	1268,8	1903,7	2538,7	3172,8	3807	4441,7	5078,1
Frecuencia Teórica	634,8	1269,6	1904,4	2539,2	3174	3808,8	4443,6	5078,4

SONIDO 92	Digitación completa	Digitación simplificada


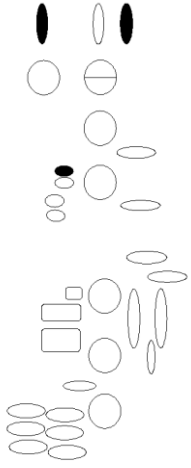
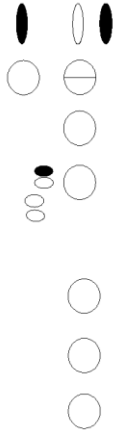
Oscilograma



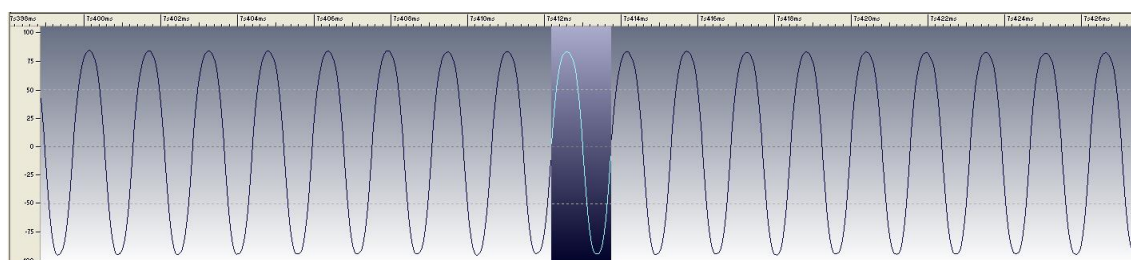
Gráfica FFT



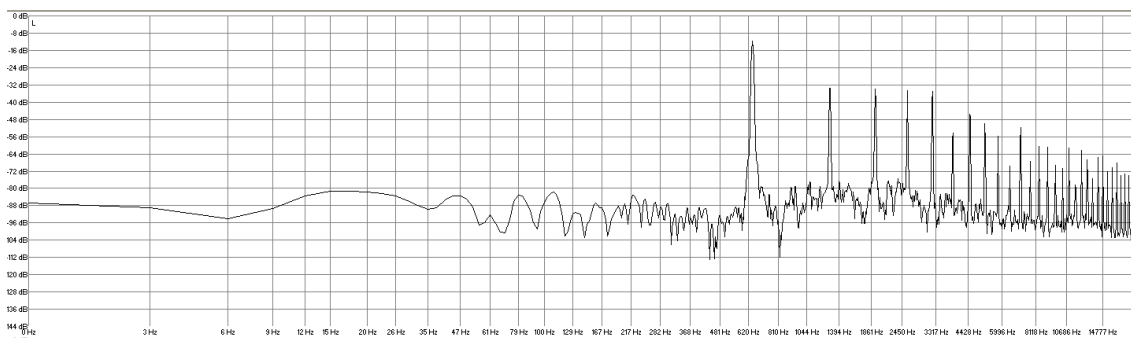
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 92	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-13,5	-25,2	-25,9	-25,9	-41,9	-44,1	-47	-47,8
Frecuencia experimental	623,9	1248,5	1872,3	2495,5	3118,2	3743	4365,3	4988,8
Frecuencia Teórica	623,9	1247,8	1871,7	2495,6	3119,5	3743,4	4367,3	4991,2

SONIDO 93	Digitación completa	Digitación simplificada
		


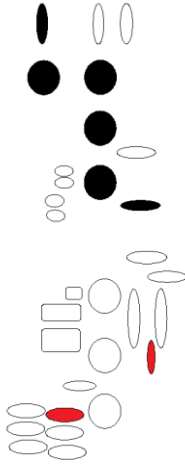

Oscilograma



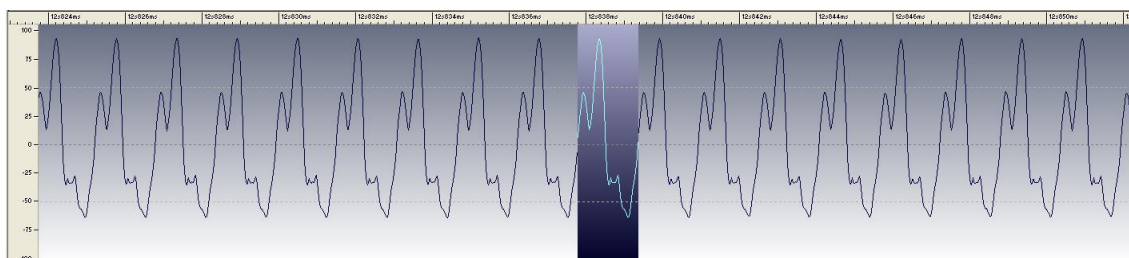
Gráfica FFT



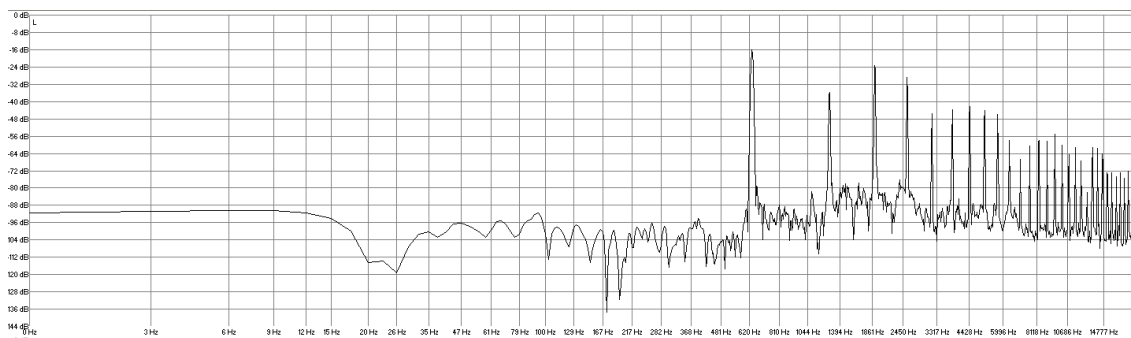
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 93	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-12	-33,2	-34,3	-34,6	-35,4	-56,3	-45,9	-49,9
Frecuencia experimental	644,3	1288	1930,8	2577,7	3220,3	3861,6	4505,7	5149,5
Frecuencia Teórica	644,3	1288,6	1932,9	2577,2	3221,5	3865,8	4510,1	5154,4

SONIDO 94	Digitación completa	Digitación simplificada
		


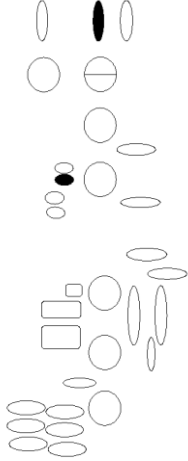
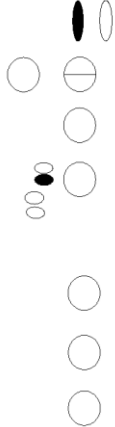
Oscilograma



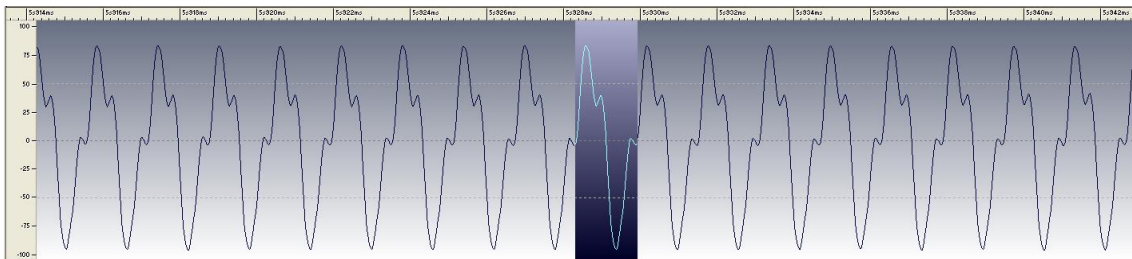
Gráfica FFT



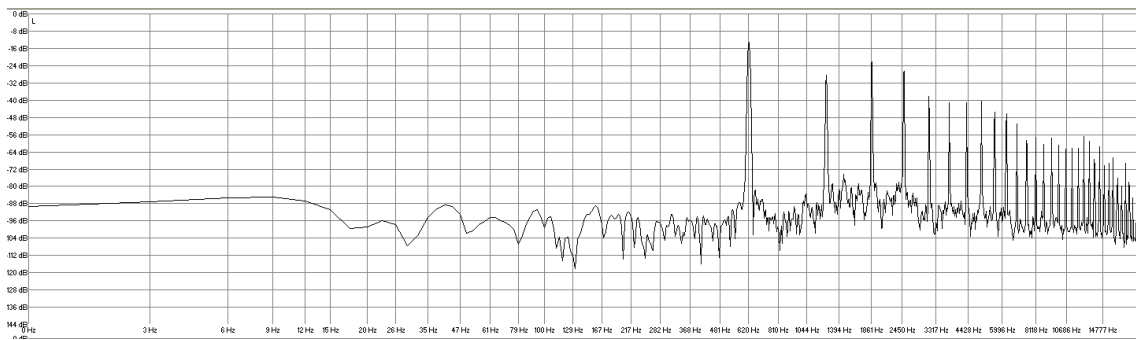
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 94	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16	-36,1	-23,7	-29,2	-45,6	-44,1	-41,9	-44,5
Frecuencia experimental	636	1271,7	1907	2542,8	3178,2	3814,7	4451	5086,6
Frecuencia Teórica	636	1272	1908	2544	3180	3816	4452	5088

SONIDO 95	Digitación completa	Digitación simplificada
		


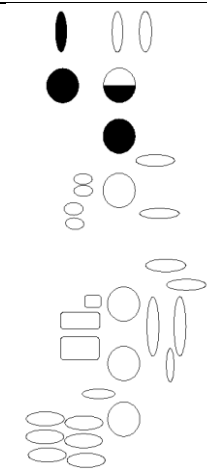
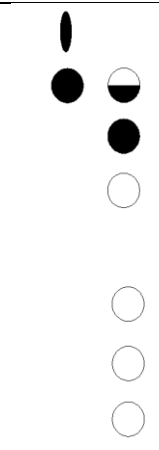
Oscilograma



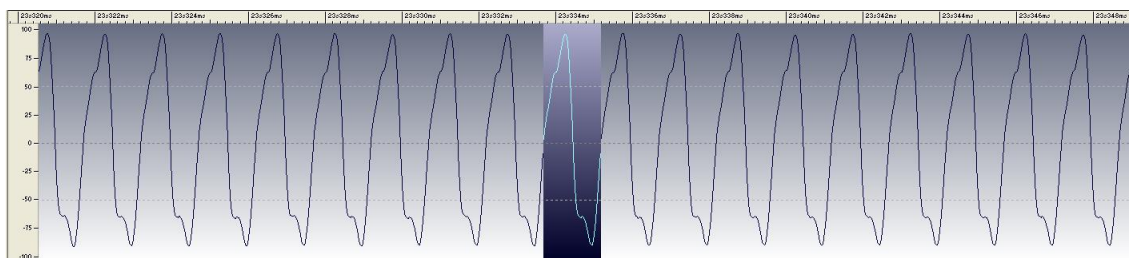
Gráfica FFT



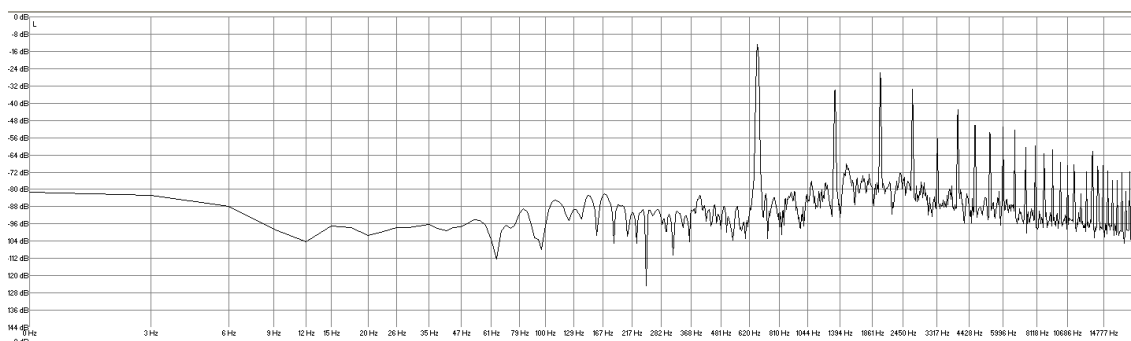
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 95	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-13,5	-28,4	-21,9	-27	-38,3	-40,8	-41,2	-40,1
Frecuencia experimental	624,2	1247,6	1872,6	2496,5	3118,9	3741,6	4366	4988,9
Frecuencia Teórica	624,2	1248,4	1872,6	2496,8	3121	3745,2	4369,4	4993,6

SONIDO 96	Digitación completa	Digitación simplificada
		


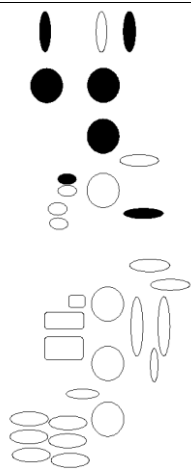

Oscilograma



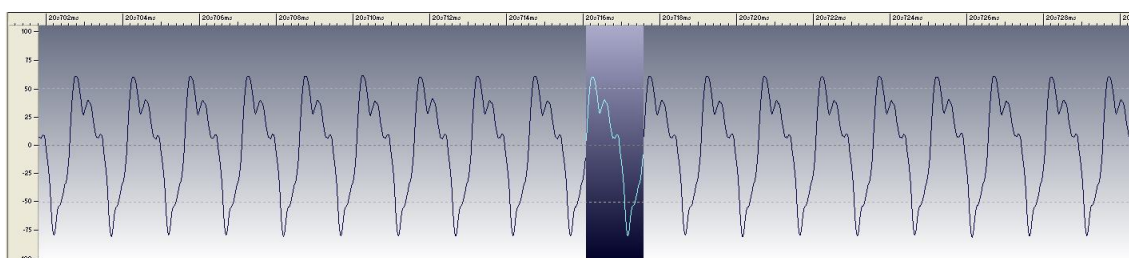
Gráfica FFT



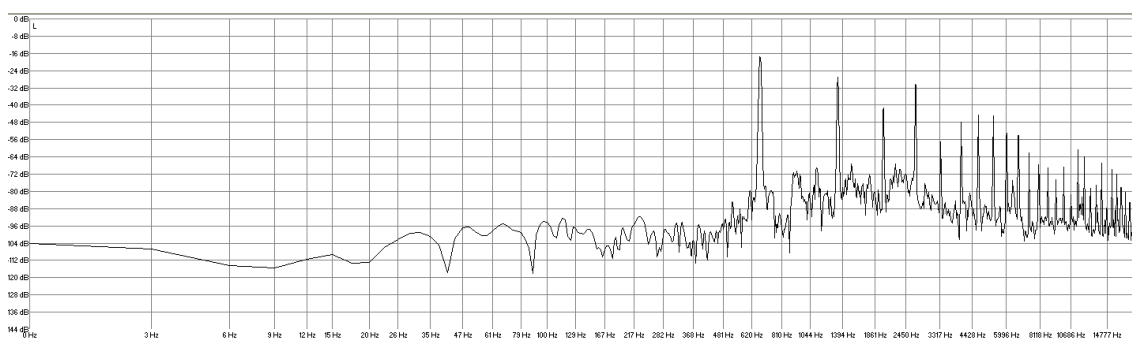
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 96	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-12,8	-33,9	-25,9	-33,5	-56,9	-43,4	-49,9	-54
Frecuencia experimental	667,9	1334,6	2000,6	2669,7	3336,6	4005,2	4670,2	5339
Frecuencia Teórica	667,9	1335,8	2003,7	2671,6	3339,5	4007,4	4675,3	5343,2

SONIDO 97	Digitación completa	Digitación simplificada
		


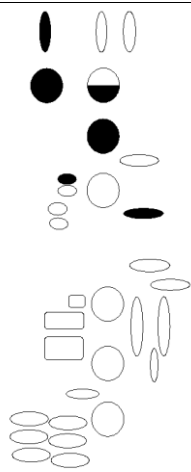

Oscilograma



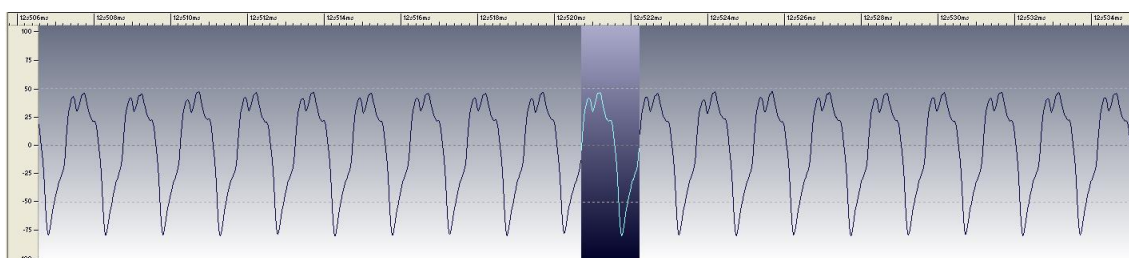
Gráfica FFT



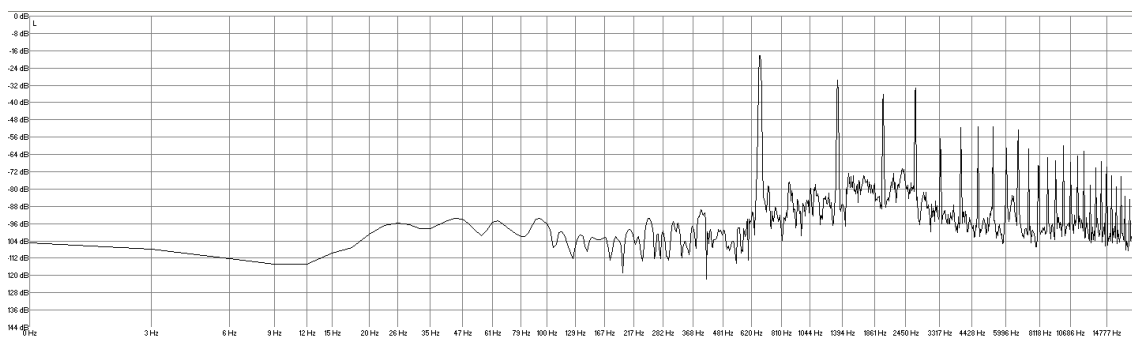
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 97	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,5	-27	-41,3	-30,7	-57	-48,2	-44,6	-45
Frecuencia experimental	668,5	1339,5	2007,1	2675,5	3345,3	4014	4683,4	5352,5
Frecuencia Teórica	668,5	1337	2005,5	2674	3342,5	4011	4679,5	5348

SONIDO 98	Digitación completa	Digitación simplificada
		


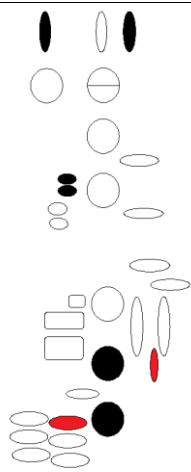
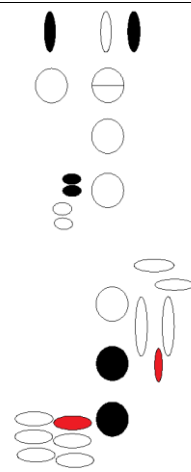
Oscilograma



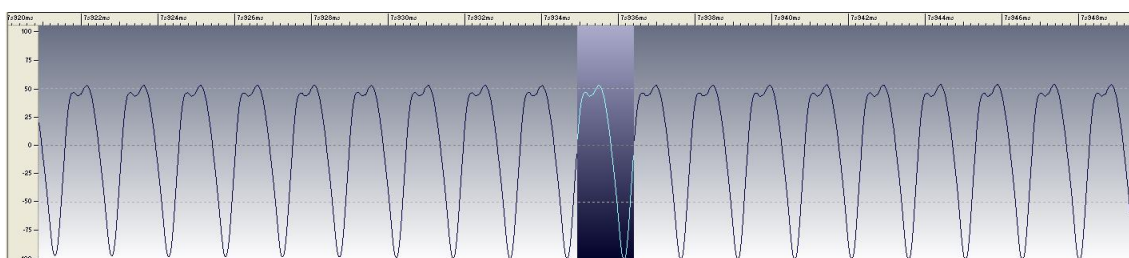
Gráfica FFT



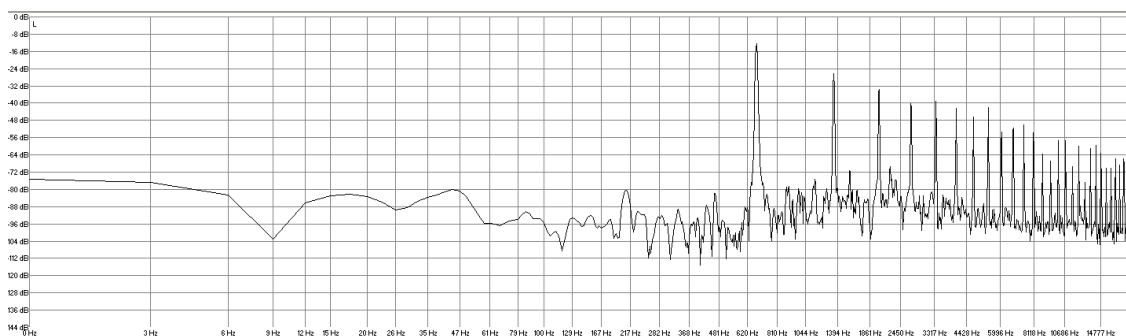
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 98	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,3	-30	-36,2	-33,6	-57	-51,9	-51,5	-51,2
Frecuencia experimental	669,4	1339,4	2008,5	2676,9	3348,5	4018,1	4687,8	5358,6
Frecuencia Teórica	669,4	1338,8	2008,2	2677,6	3347	4016,4	4685,8	5355,2

SONIDO 99	Digitación completa	Digitación simplificada
		


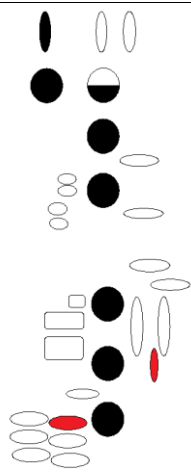
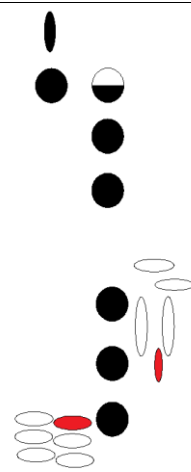
Oscilograma



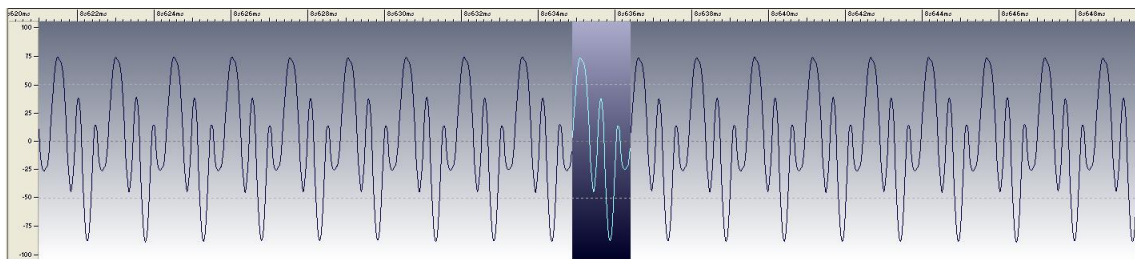
Gráfica FFT



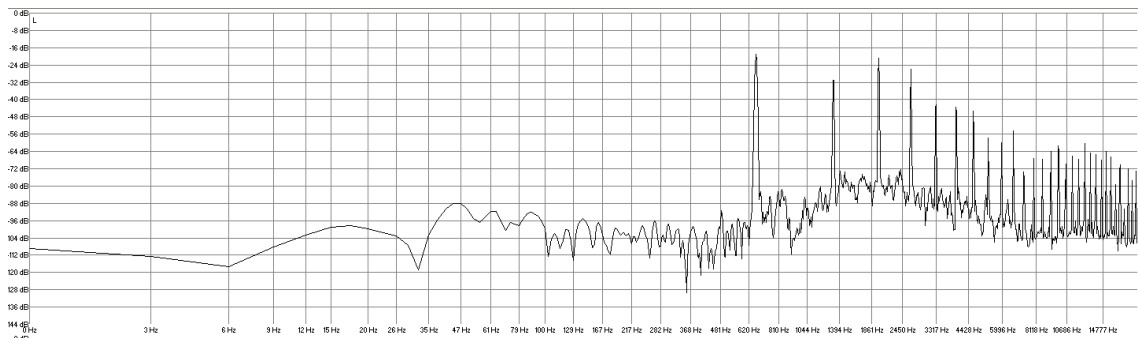
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 99	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-12,8	-26,3	-33,6	-40,6	-39,5	-42,8	-46,8	-42
Frecuencia experimental	674,1	1347,9	2021,6	2694,9	3368,6	4043,4	4717,4	5390,5
Frecuencia Teórica	674,1	1348,2	2022,3	2696,4	3370,5	4044,6	4718,7	5392,8

SONIDO 100	Digitación completa	Digitación simplificada
		


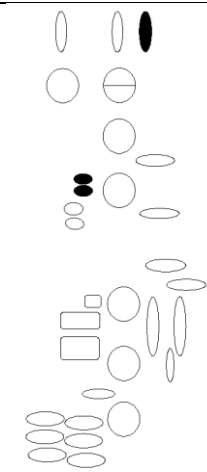
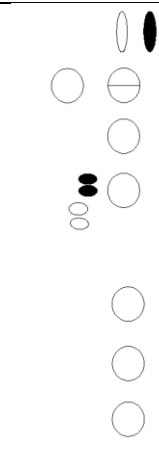
Oscilograma



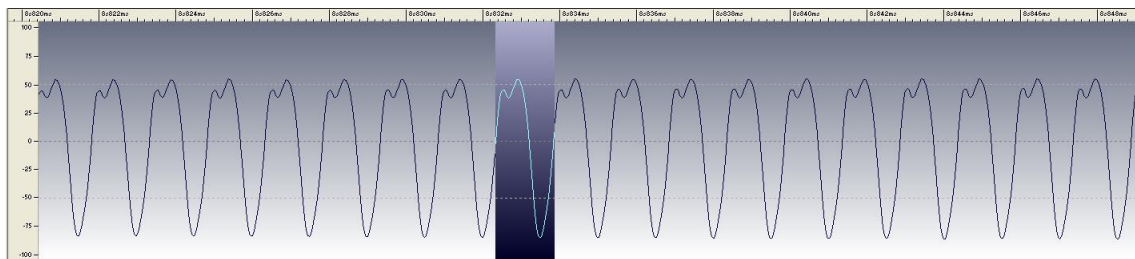
Gráfica FFT



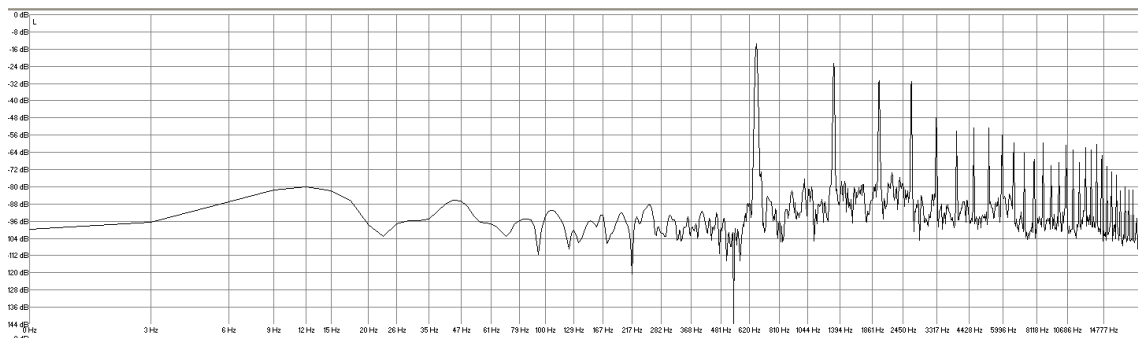
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 100	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-19,4	-31,1	-20,8	-25,9	-42,2	-43,9	-45,3	-57,7
Frecuencia experimental	661,8	1323	1983,4	2645,9	3307,7	3969,3	4630,3	5291,1
Frecuencia Teórica	661,8	1323,6	1985,4	2647,2	3309	3970,8	4632,6	5294,4

SONIDO 101	Digitación completa	Digitación simplificada
		


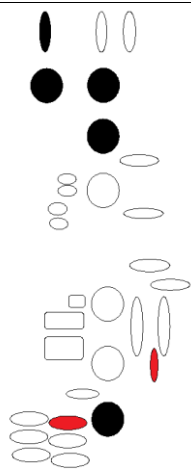
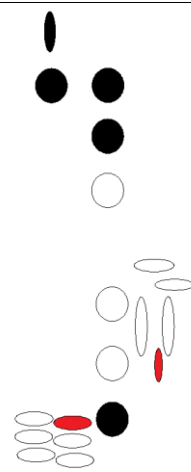
Oscilograma



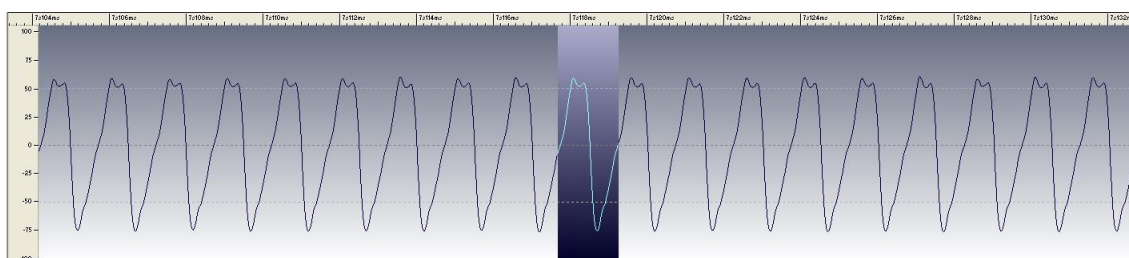
Gráfica FFT



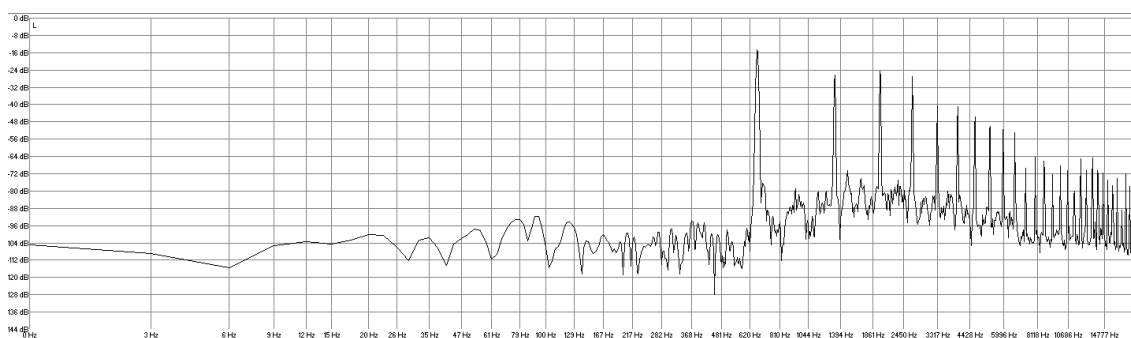
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 101	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-13,5	-22,7	-31,1	-31,4	-47,9	-54,1	-52,6	-52,6
Frecuencia experimental	659,4	1320,5	1980,2	2640,7	3300,8	3960,8	4620,4	5282,6
Frecuencia Teórica	659,4	1318,8	1978,2	2637,6	3297	3956,4	4615,8	5275,2

SONIDO 102	Digitación completa	Digitación simplificada
		


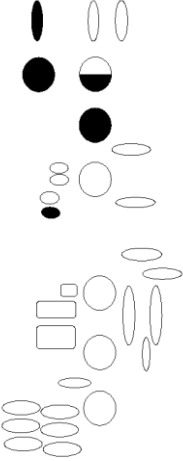
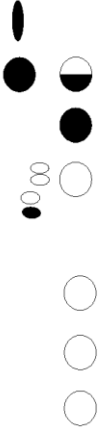
Oscilograma



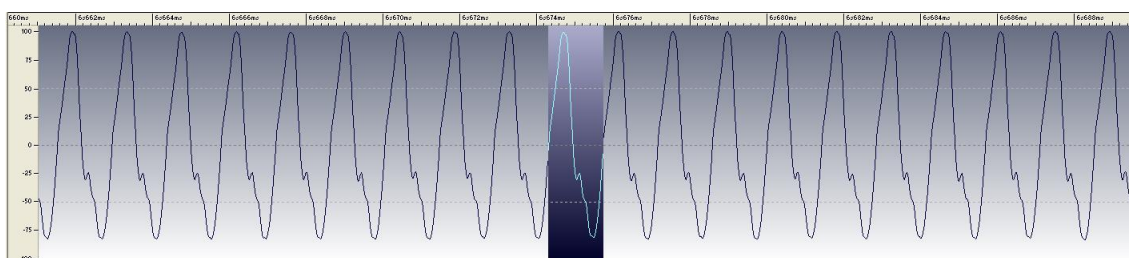
Gráfica FFT



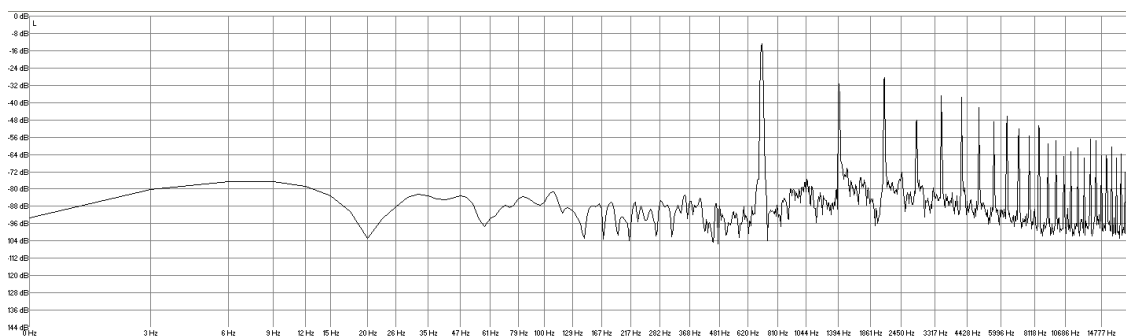
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 102	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-14,6	-26,3	-24,1	-27	-40,6	-40,9	-45,7	-50,4
Frecuencia experimental	662,2	1325,6	1988,4	2651	3313,3	3976,2	4640,1	5302,6
Frecuencia Teórica	662,2	1324,4	1986,6	2648,8	3311	3973,2	4635,4	5297,6

SONIDO 103	Digitación completa	Digitación simplificada
		


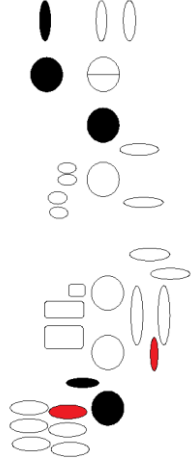
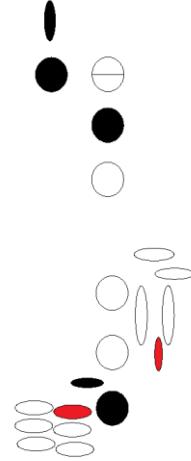
Oscilograma



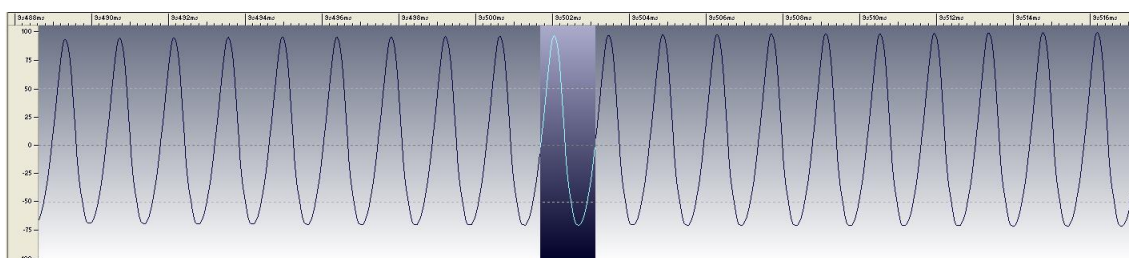
Gráfica FFT



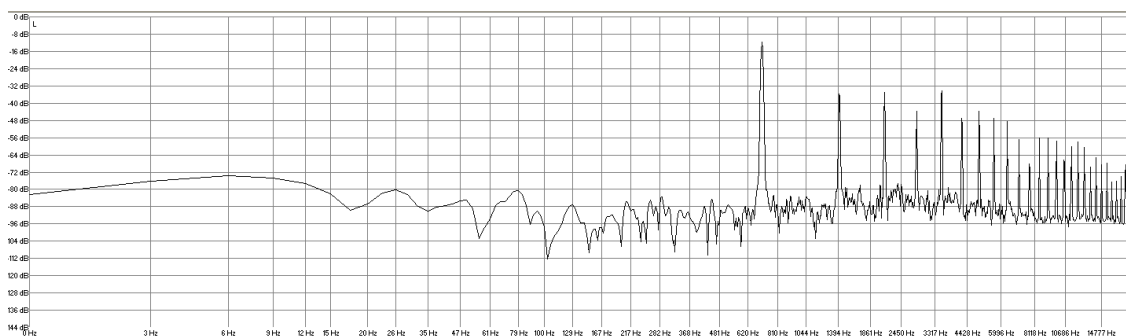
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 103	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-12,8	-31,7	-28,4	-48,5	-37,2	-38,3	-42,3	-48,9
Frecuencia experimental	703,2	1406,3	2109,2	2812,6	3515,9	4215,3	4922,9	5625,4
Frecuencia Teórica	703,2	1406,4	2109,6	2812,8	3516	4219,2	4922,4	5625,6

SONIDO 104	Digitación completa	Digitación simplificada
		


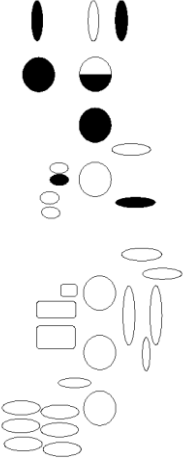
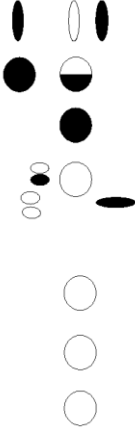
Oscilograma



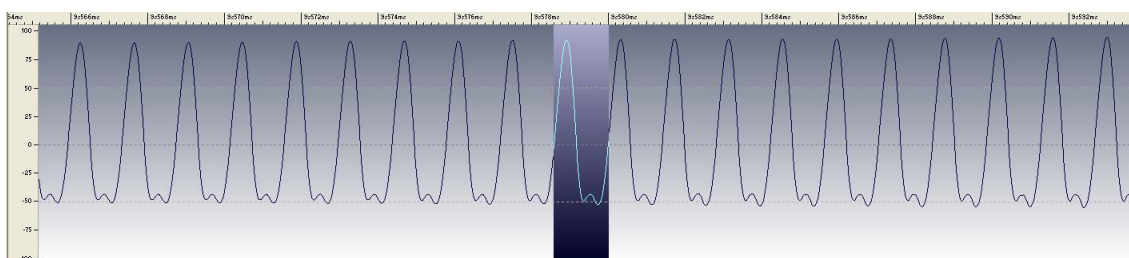
Gráfica FFT



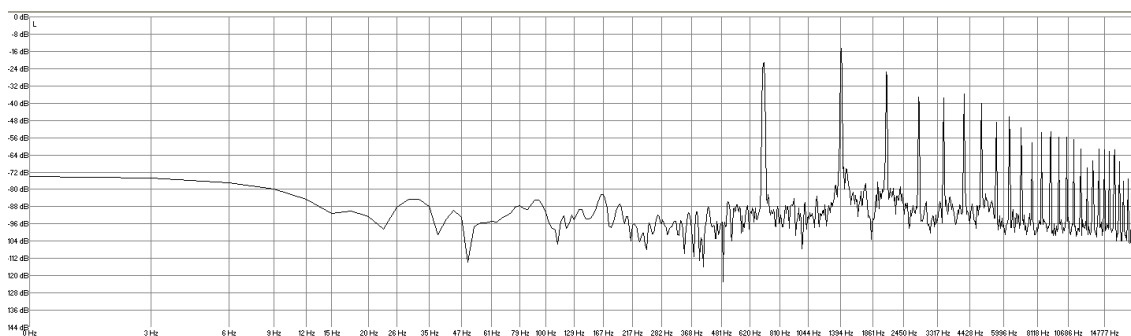
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 104	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-11,7	-35,7	-35,4	-43,7	-33,9	-47	-43,7	-47
Frecuencia experimental	705,7	1409,3	2115,2	2818,1	3524,2	4229,8	4933,6	5639,9
Frecuencia Teórica	705,7	1411,4	2117,1	2822,8	3528,5	4234,2	4939,9	5645,6

SONIDO 105	Digitación completa	Digitación simplificada
		


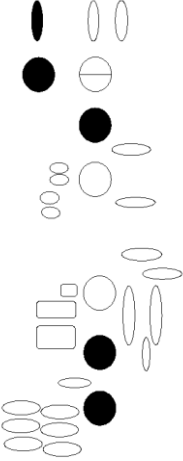

Oscilograma



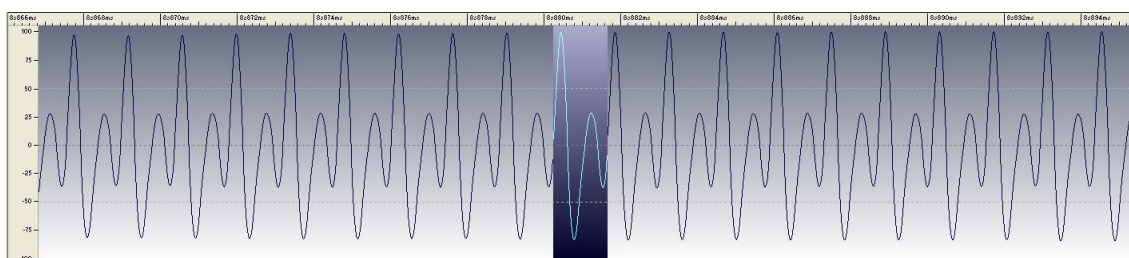
Gráfica FFT



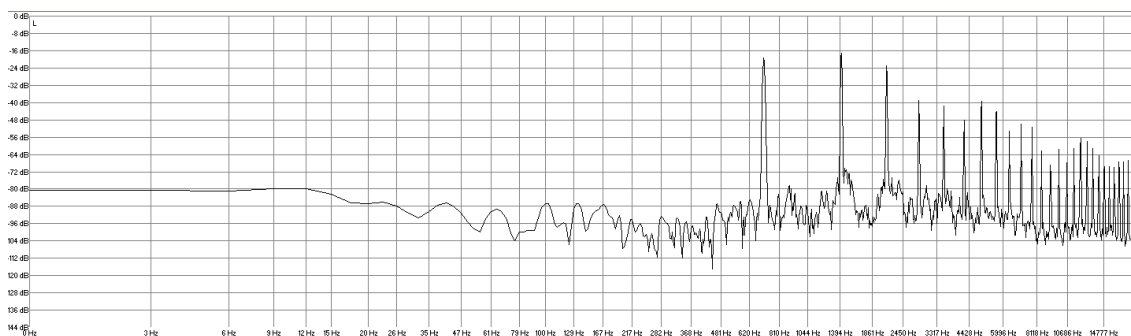
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 105	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-12,8	-24,4	-27	-33,2	-35,7	-40,5	-48,9	-52,2
Frecuencia experimental	706,6	1415,4	2121,3	2829,7	3536	4244,9	4951,2	5658,8
Frecuencia Teórica	706,6	1413,2	2119,8	2826,4	3533	4239,6	4946,2	5652,8

SONIDO 106	Digitación completa	Digitación simplificada
		


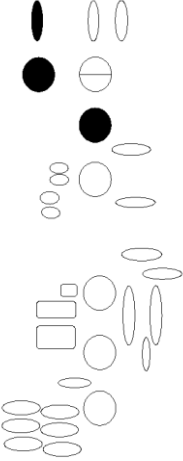

Oscilograma



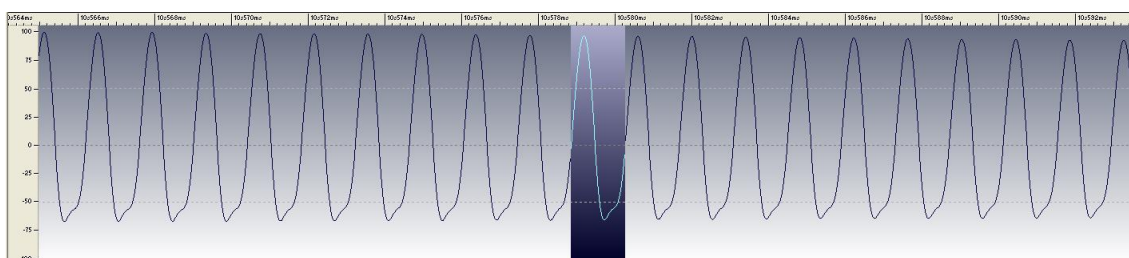
Gráfica FFT



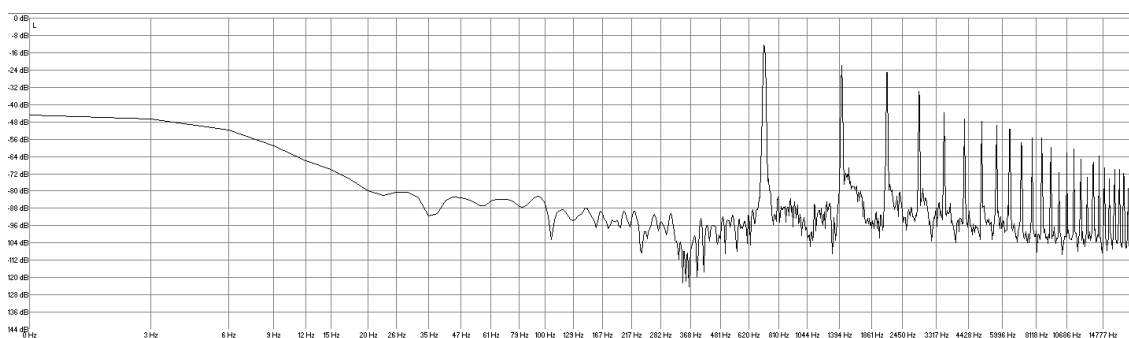
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 106	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-19,7	-17,5	-23	-39	-41,6	-48,1	-39,4	-44,5
Frecuencia experimental	706,3	1412,4	2118,6	2825,1	3531,9	4238,1	4945,1	5651,3
Frecuencia Teórica	706,3	1412,6	2118,9	2825,2	3531,5	4237,8	4944,1	5650,4

SONIDO 107	Digitación completa	Digitación simplificada
		

Oscilograma



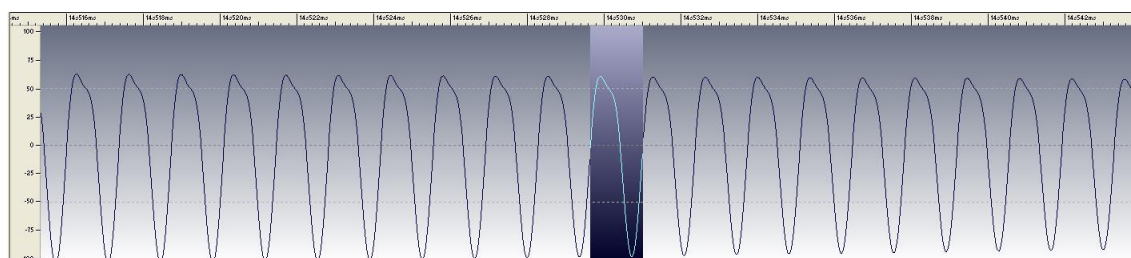
Gráfica FFT



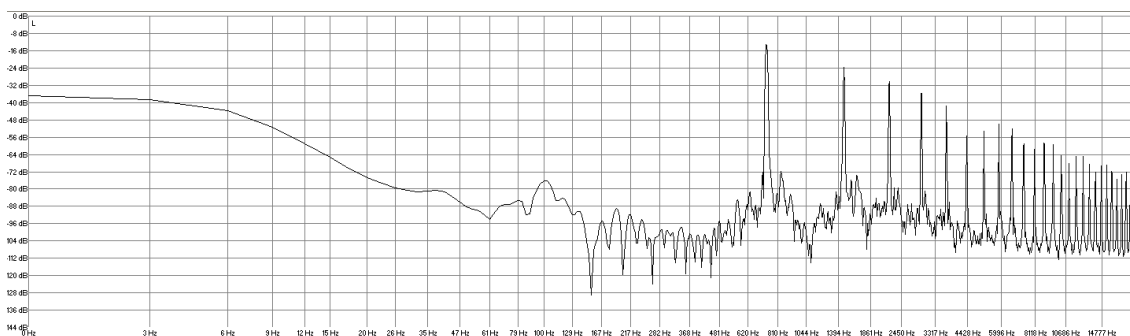
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 107	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-12,4	-21,9	-25,2	-33,9	-43,7	-47	-47,8	-49,6
Frecuencia experimental	712	1424,7	2137,3	2850,6	3562,5	4274,3	4986,7	5697,9
Frecuencia Teórica	712	1424	2136	2848	3560	4272	4984	5696

SONIDO 108	Digitación completa	Digitación simplificada


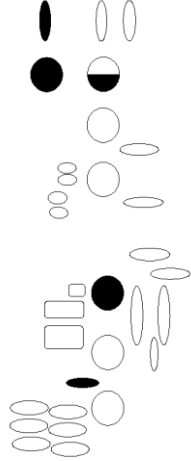

Oscilograma



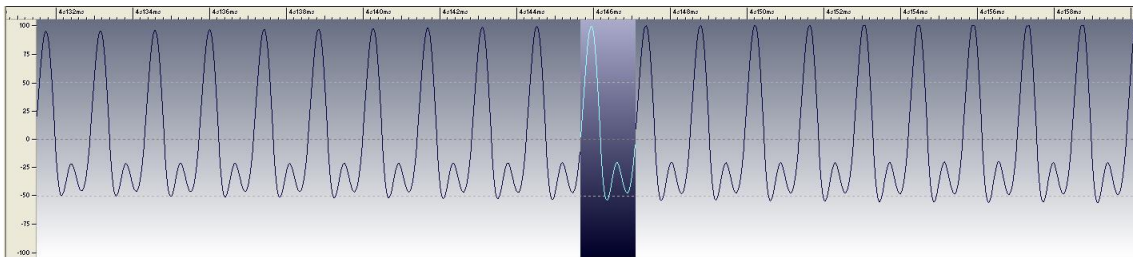
Gráfica FFT



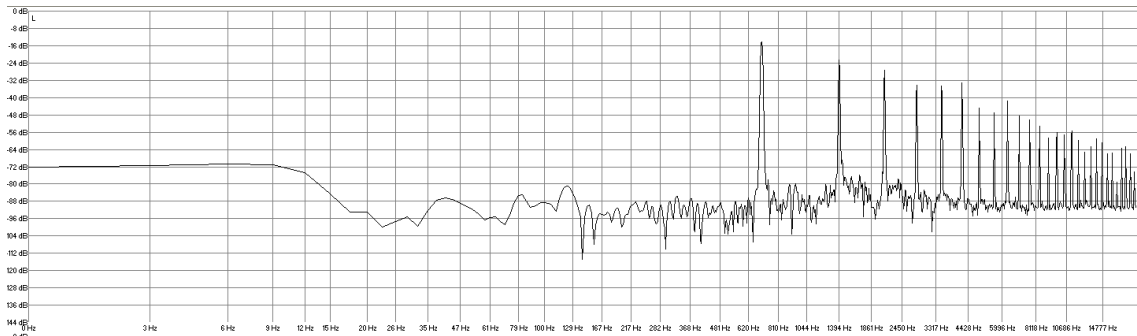
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 108	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-13,1	-23,7	-30,6	-35,7	-41,6	-55,4	-53,2	-49,9
Frecuencia experimental	732,7	1466,9	2200,5	2934	3667,5	4400,5	5136,6	5867,8
Frecuencia Teórica	732,7	1465,4	2198,1	2930,8	3663,5	4396,2	5128,9	5861,6

SONIDO 109	Digitación completa	Digitación simplificada
		


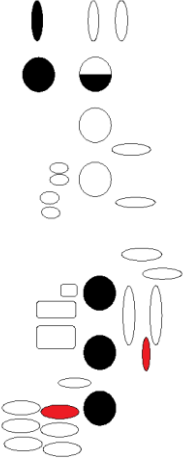
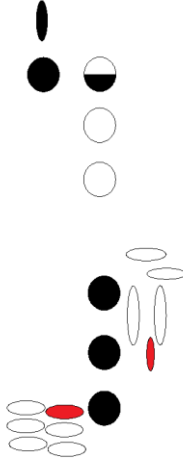
Oscilograma



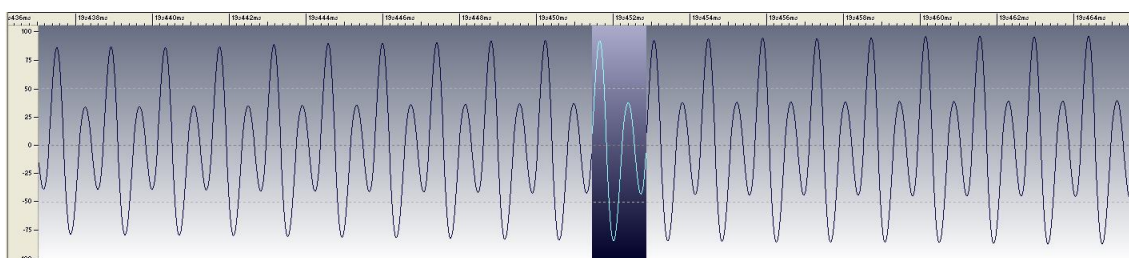
Gráfica FFT



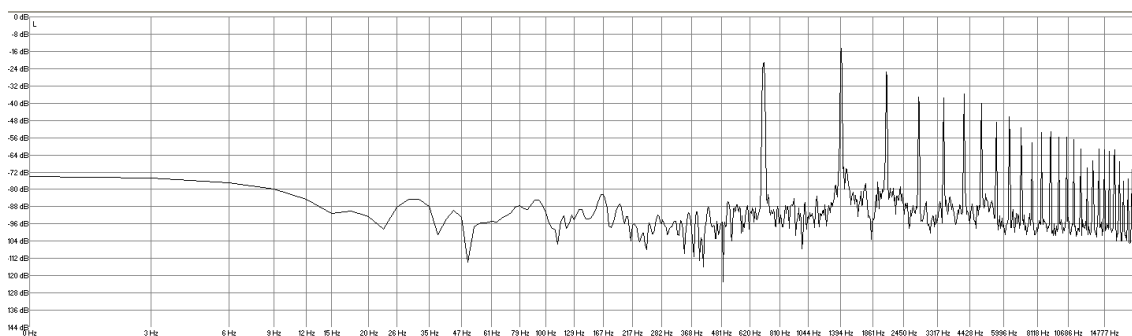
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 109	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-14,2	-22,6	-27,3	-34,3	-34,6	-33,5	-44,8	-47
Frecuencia experimental	699,9	1398	2097,4	2797,6	3496,8	4195,5	4895,4	5594,5
Frecuencia Teórica	699,9	1399,8	2099,7	2799,6	3499,5	4199,4	4899,3	5599,2

SONIDO 110	Digitación completa	Digitación simplificada
		


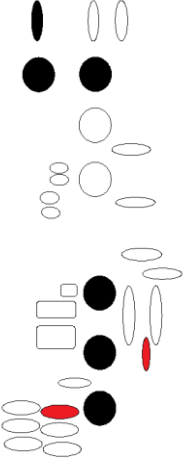
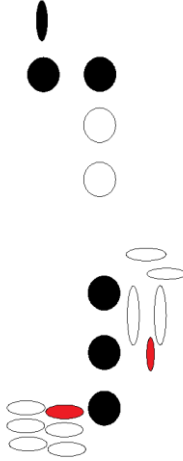
Oscilograma



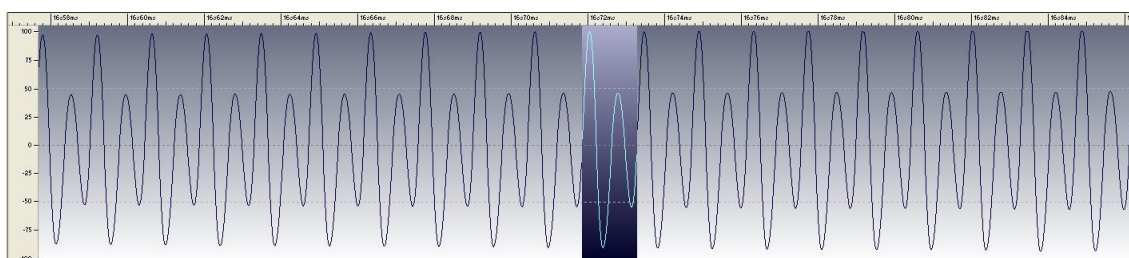
Gráfica FFT



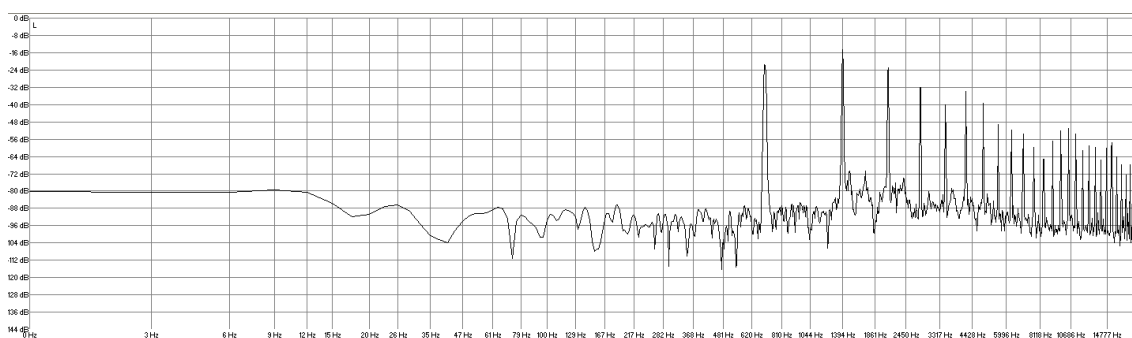
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 110	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-21,1	-14,6	-25,9	-37,2	-37,9	-35,7	-40,1	-48,9
Frecuencia experimental	702,1	1403	2106,6	2806,5	3509,5	4212,4	4914	5616,2
Frecuencia Teórica	702,1	1404,2	2106,3	2808,4	3510,5	4212,6	4914,7	5616,8

SONIDO 111	Digitación completa	Digitación simplificada
		


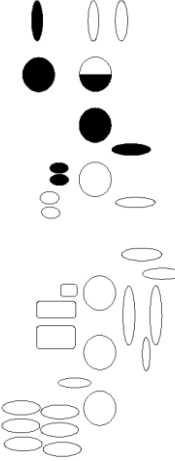
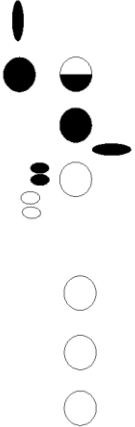
Oscilograma



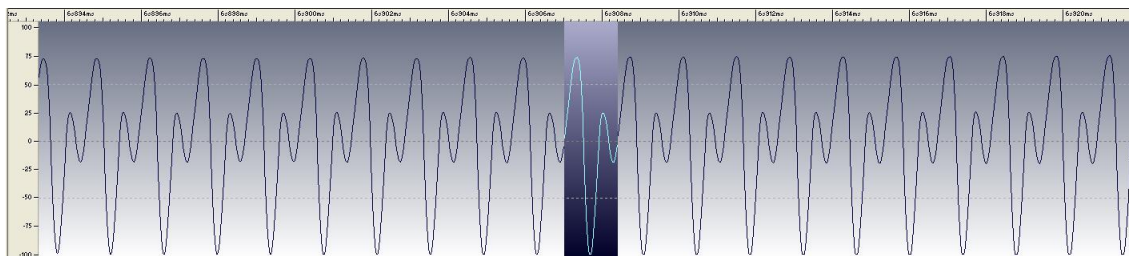
Gráfica FFT



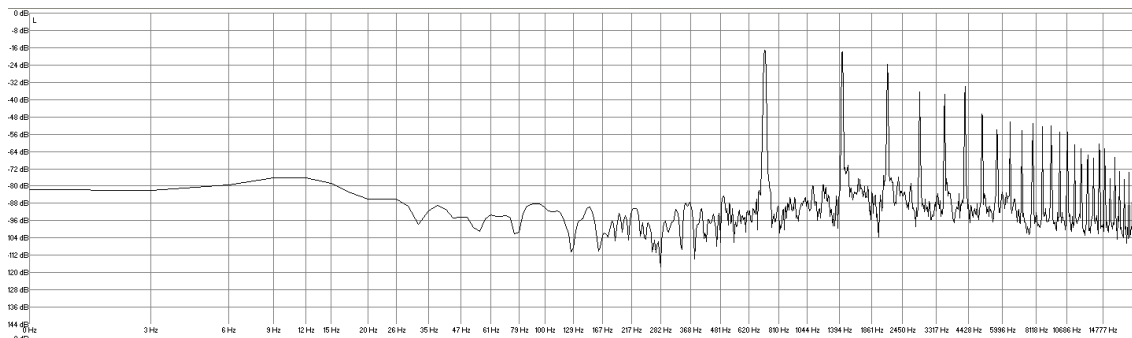
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 111	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-21,5	-14,6	-23,3	-32,1	-40,1	-34,3	-39,4	-49,2
Frecuencia experimental	697,5	1397,1	2094,4	2793,5	3491,9	4189,3	4888,8	5586,9
Frecuencia Teórica	697,5	1395	2092,5	2790	3487,5	4185	4882,5	5580

SONIDO 112	Digitación completa	Digitación simplificada
		

Oscilograma



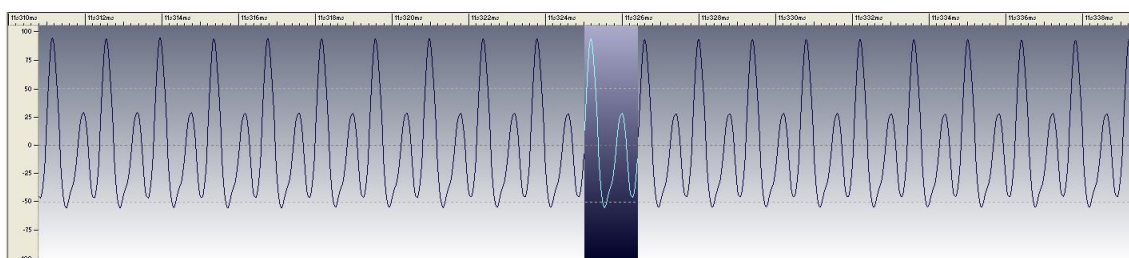
Gráfica FFT



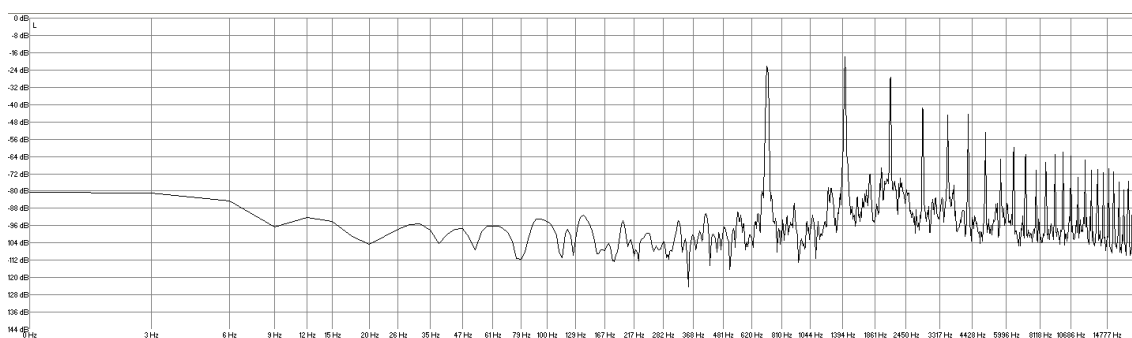
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 112	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,1	-17,9	-24,1	-36,5	-37,5	-34,3	-46,7	-54
Frecuencia experimental	715,3	1432,4	2147,7	2862,4	3580,3	4295,1	5009,6	5725,9
Frecuencia Teórica	715,3	1430,6	2145,9	2861,2	3576,5	4291,8	5007,1	5722,4

SONIDO 113	Digitación completa	Digitación simplificada


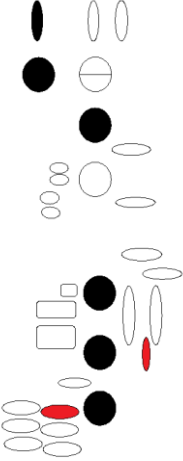
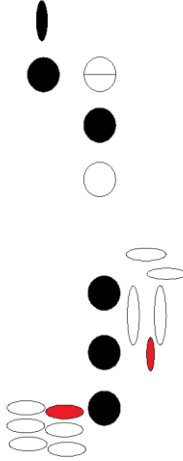
Oscilograma



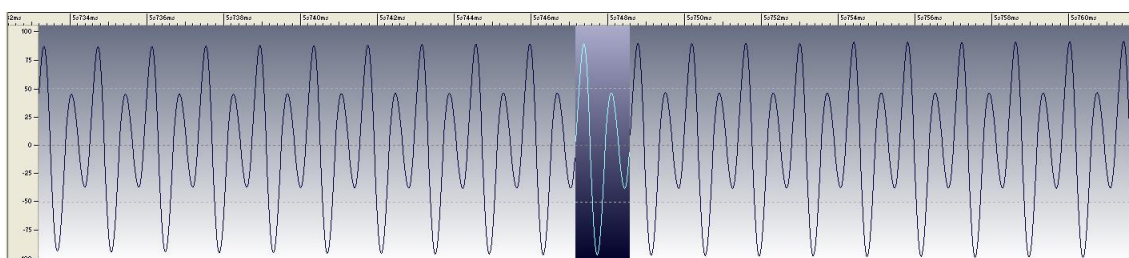
Gráfica FFT



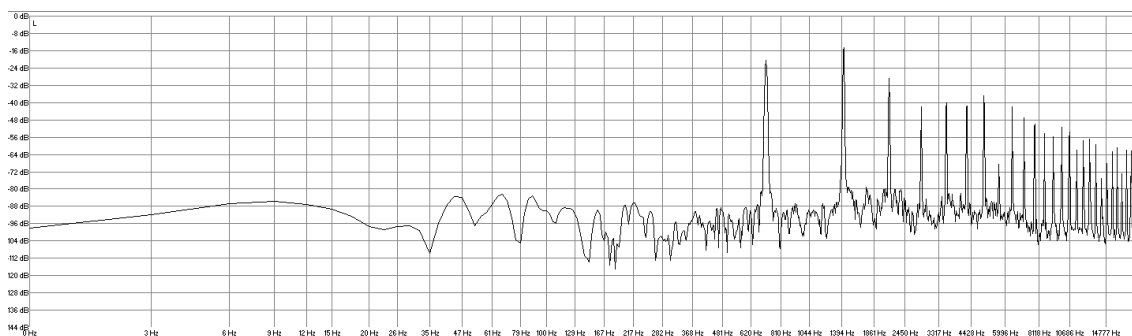
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 113	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-22,2	-17,9	-27,3	-41,2	-44,8	-44,8	-52,9	-65,3
Frecuencia experimental	712	1424,8	2138,7	2851,1	3564	4277	4984,4	5701,9
Frecuencia Teórica	712	1424	2136	2848	3560	4272	4984	5696

SONIDO 114	Digitación completa	Digitación simplificada
		


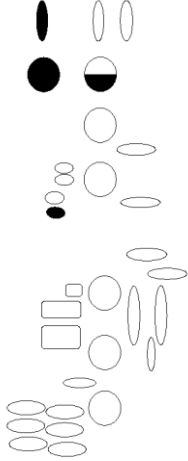
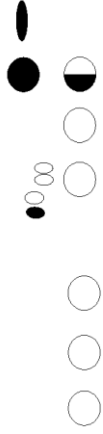
Oscilograma



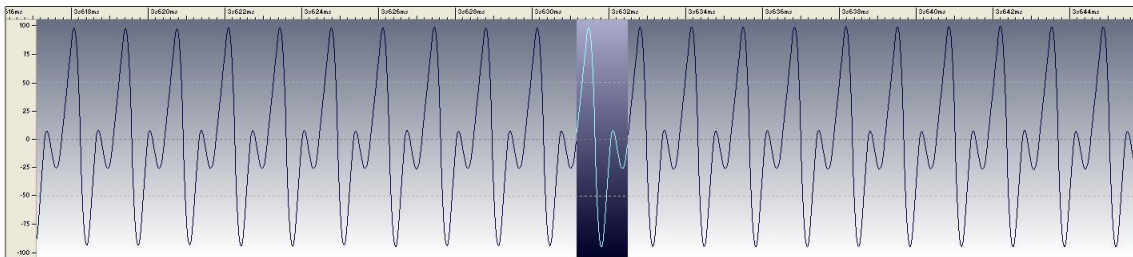
Gráfica FFT



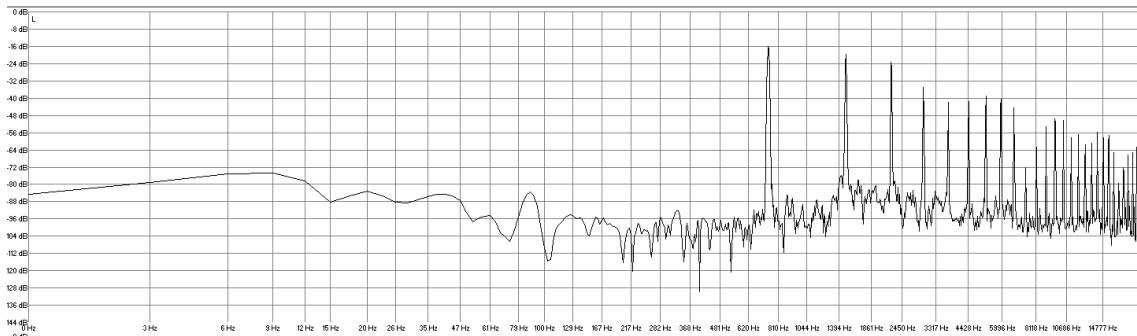
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 114	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-20,4	-14,9	-28,8	-41,9	-40,1	-41,6	-37,2	-68,9
Frecuencia experimental	710,6	1420,9	2130,6	2841,3	5551,6	4262,3	4971,7	5681,3
Frecuencia Teórica	710,6	1421,2	2131,8	2842,4	3553	4263,6	4974,2	5684,8

SONIDO 115	Digitación completa	Digitación simplificada
		


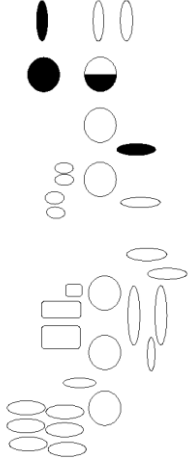
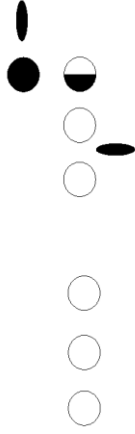
Oscilograma



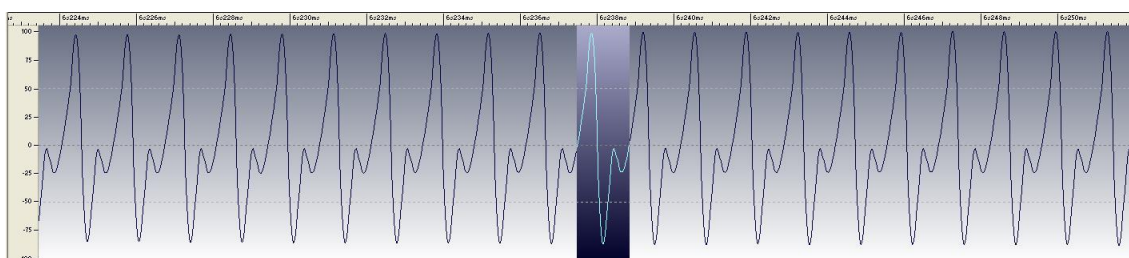
Gráfica FFT



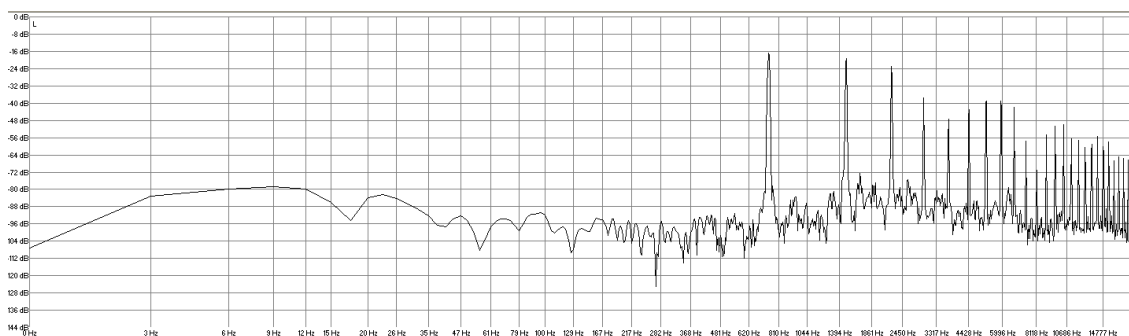
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 115	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16	-19,7	-23,3	-35	-41,9	-41,9	-39,4	-40,1
Frecuencia experimental	741,1	1484,1	2226,8	2967,5	3710,6	4452,9	5194,2	5935,3
Frecuencia Teórica	741,1	1482,2	2223,3	2964,4	3705,5	4446,6	5187,7	5928,8

SONIDO 116	Digitación completa	Digitación simplificada
		


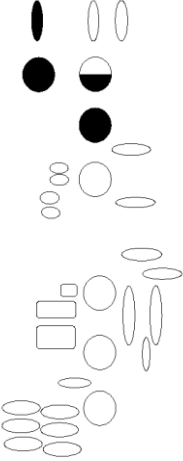

Oscilograma



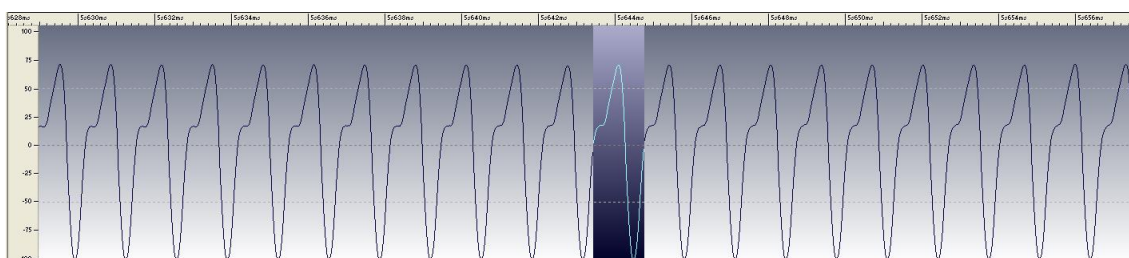
Gráfica FFT



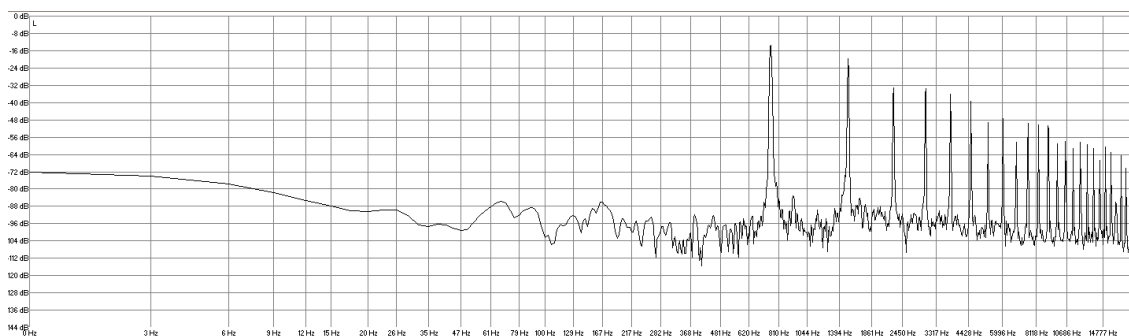
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 116	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16,8	-19,7	-23	-37,5	-47,4	-43	-39	-39
Frecuencia experimental	741,5	1482,2	2223,4	2964,5	3707	4449,6	5190,9	5933
Frecuencia Teórica	741,5	1483	2224,5	2966	3707,5	4449	5190,5	5932

SONIDO 117	Digitación completa	Digitación simplificada
		


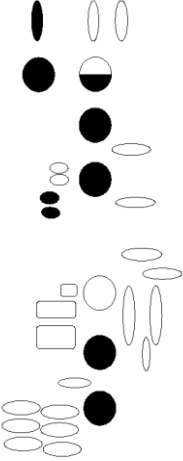

Oscilograma



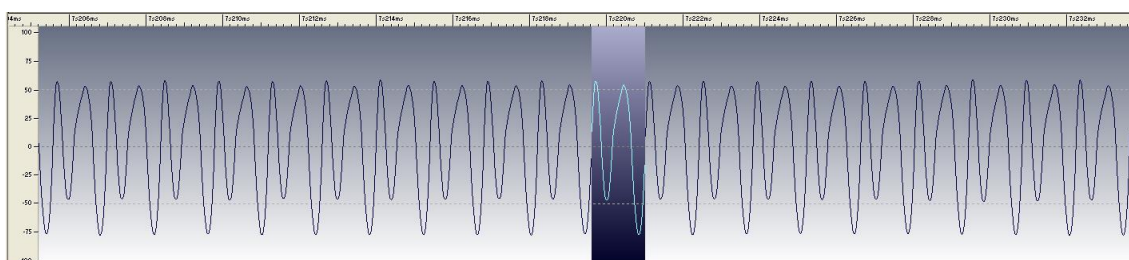
Gráfica FFT



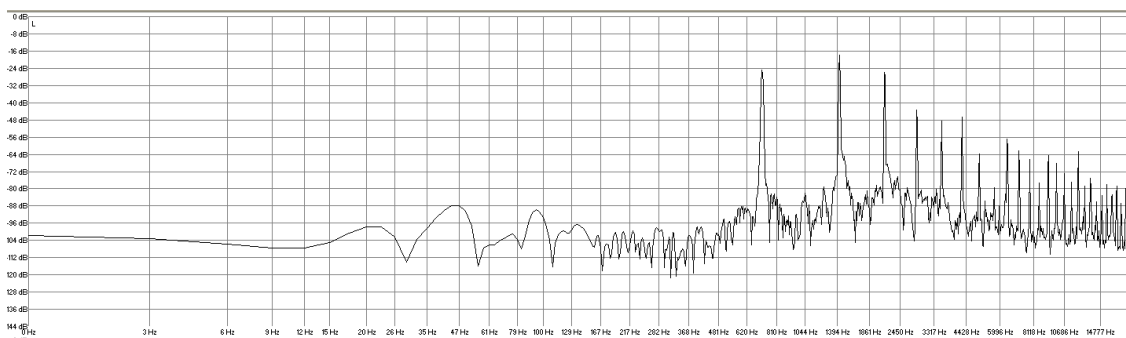
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 117	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-13,5	-19,7	-33,2	-33,5	-36,1	-39,4	-49,2	-47,4
Frecuencia experimental	755,6	1508,9	2264,8	3017,3	3773,5	4528,4	5282,2	6037,6
Frecuencia Teórica	755,6	1511,2	2266,8	3022,4	3778	4533,6	5289,2	6044,8

SONIDO 118	Digitación completa	Digitación simplificada
		


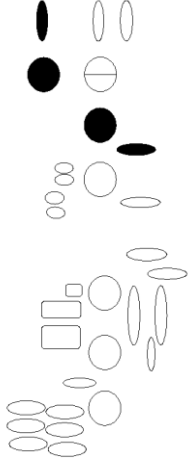
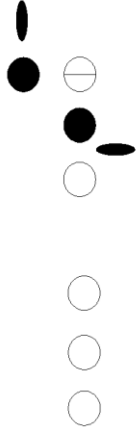
Oscilograma



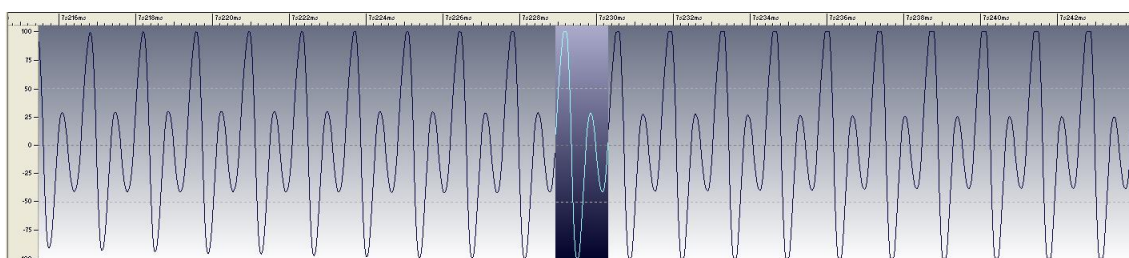
Gráfica FFT



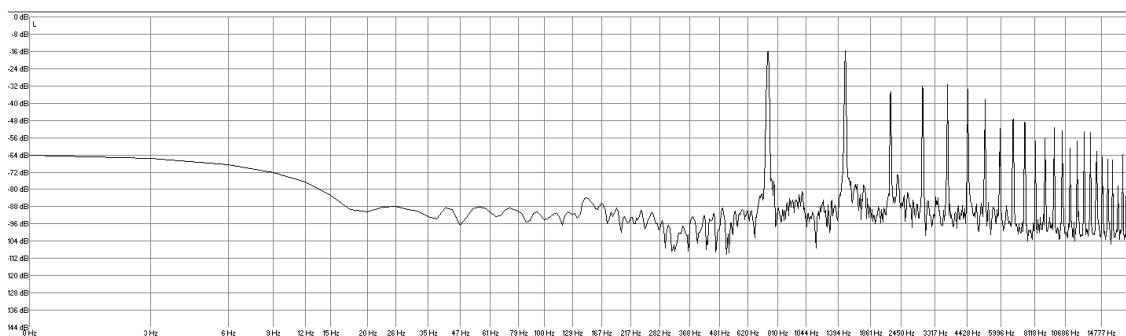
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 118	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-25,2	-17,9	-25,9	-43,4	-48,5	-47	-63,8	-79,8
Frecuencia experimental	712	1423,8	2135,9	2847,9	3559,9	4271,9	4983,6	5695,7
Frecuencia Teórica	712	1424	2136	2848	3560	4272	4984	5696

SONIDO 119	Digitación completa	Digitación simplificada
		


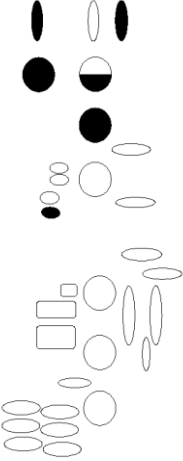

Oscilograma



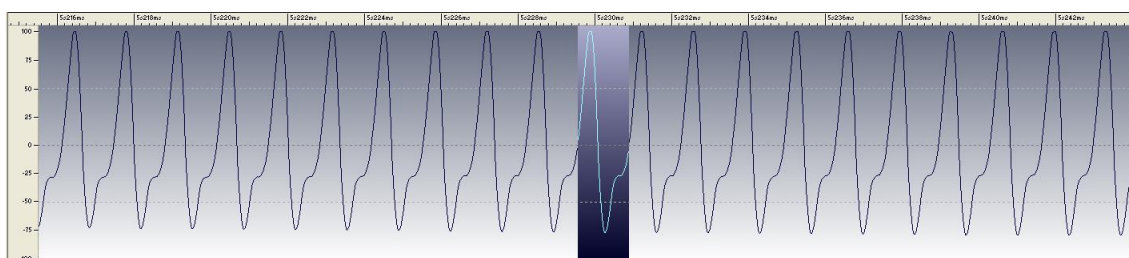
Gráfica FFT



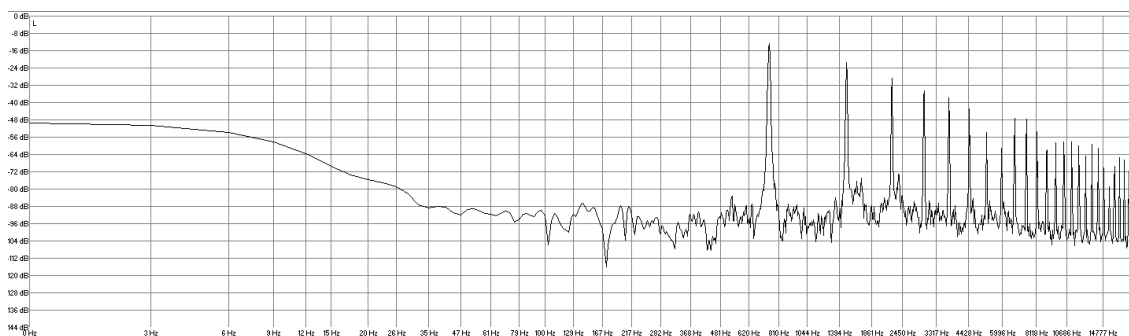
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 119	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16	-15,7	-35	-32,1	-31,4	-33,5	-38,3	-51,8
Frecuencia experimental	744	1487,2	2229,4	2973,7	3717,9	4459,7	5203,2	5947,3
Frecuencia Teórica	744	1488	2232	2976	3720	4464	5208	5952

SONIDO 120	Digitación completa	Digitación simplificada
		


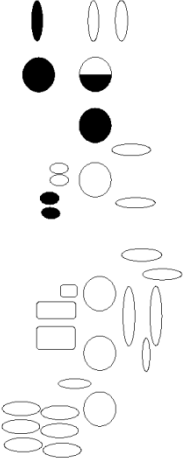
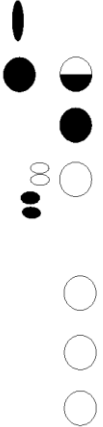
Oscilograma



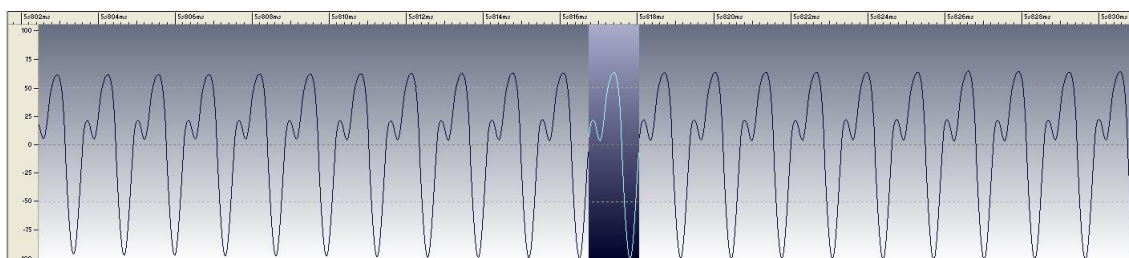
Gráfica FFT



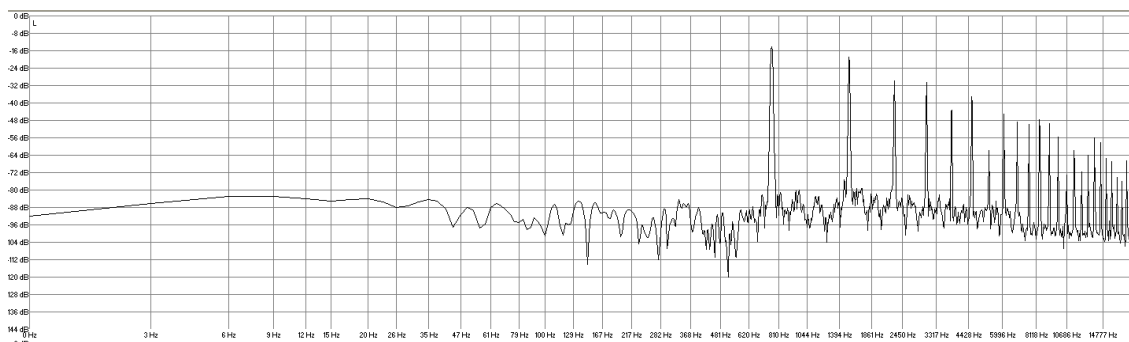
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 120	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-13,1	-21,5	-28,7	-34,5	-37,8	-42,9	-53,8	-61,1
Frecuencia experimental	744,1	1488,2	2233,2	2976,5	3721,2	4466,4	5210,3	5952,8
Frecuencia Teórica	744,1	1488,2	2232,3	2976,4	3720,5	4464,6	5208,7	5952,8

SONIDO 121	Digitación completa	Digitación simplificada
		


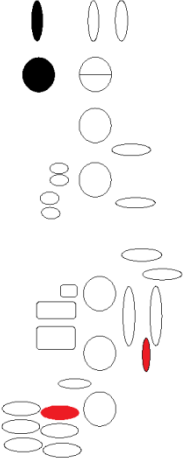
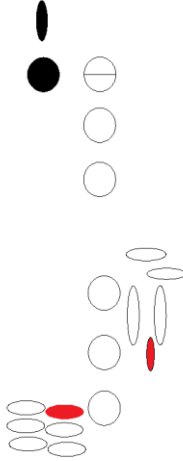
Oscilograma



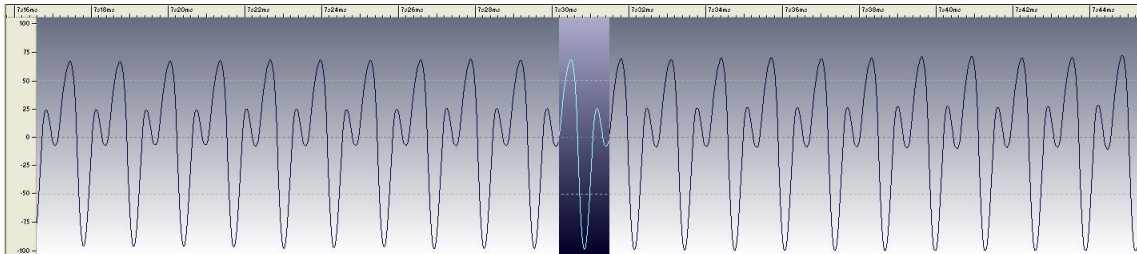
Gráfica FFT



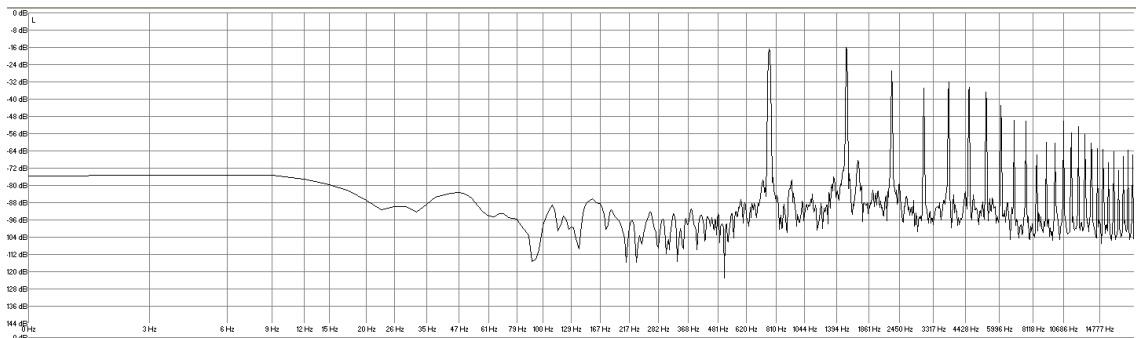
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 121	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-14,2	-18,9	-29,8	-30,5	-43,3	-37,1	-61,8	-45,1
Frecuencia experimental	761,6	1523,7	2284,9	3046,9	3808,4	4570,1	5331,6	6091,1
Frecuencia Teórica	761,6	1523,2	2284,8	3046,4	3808	4569,6	5331,2	6092,8

SONIDO 122	Digitación completa	Digitación simplificada
		


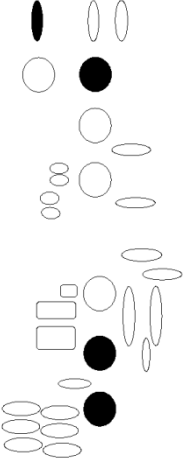

Oscilograma



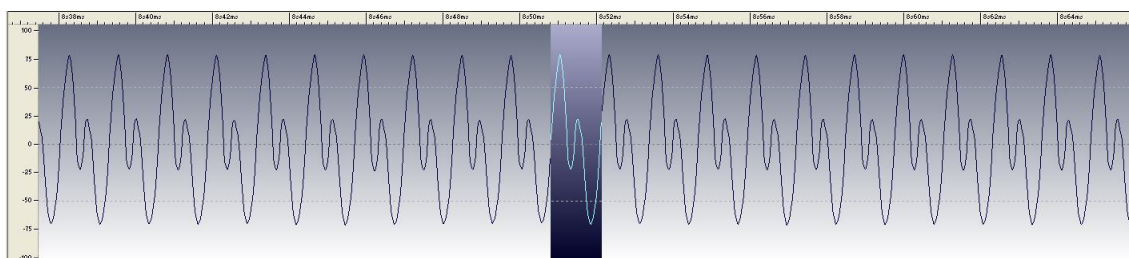
Gráfica FFT



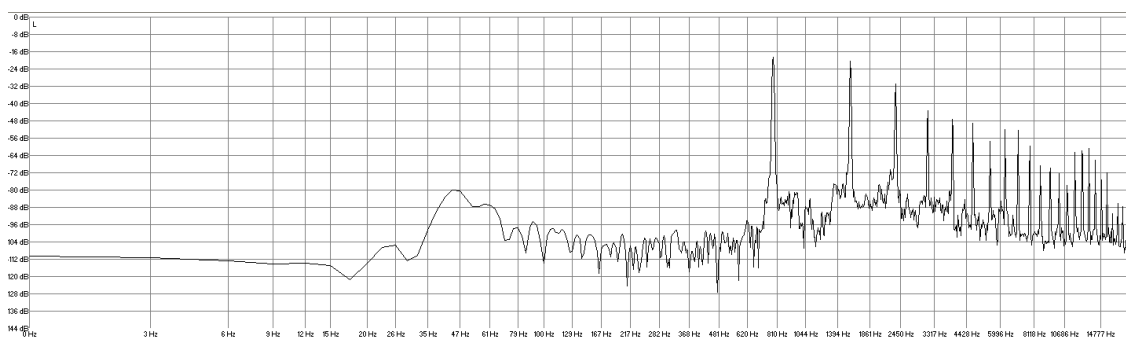
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 122	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16,7	-16	-26,9	-35,3	-32	-34,2	-36,7	-42,9
Frecuencia experimental	762,2	1524,5	2287	3050,3	3811,3	4573	5334,5	6096,5
Frecuencia Teórica	762,2	1524,4	2286,6	3048,8	3811	4573,2	5335,4	6097,6

SONIDO 123	Digitación completa	Digitación simplificada
		


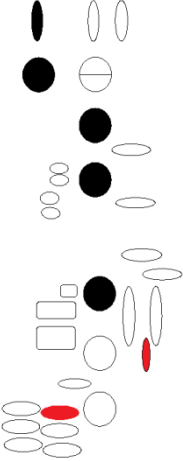
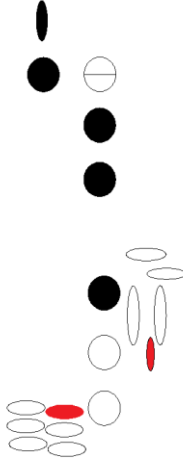
Oscilograma



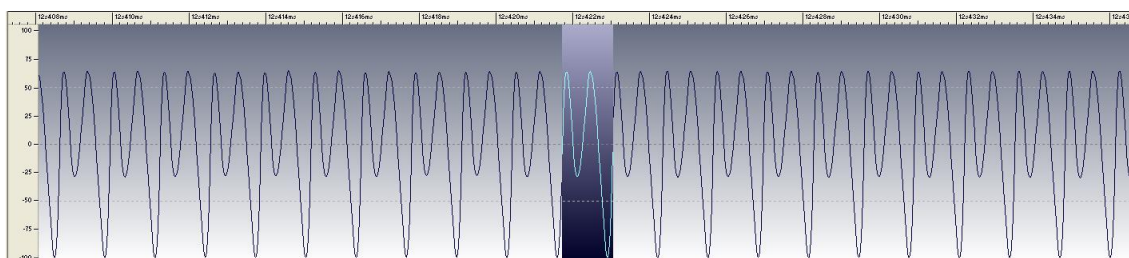
Gráfica FFT



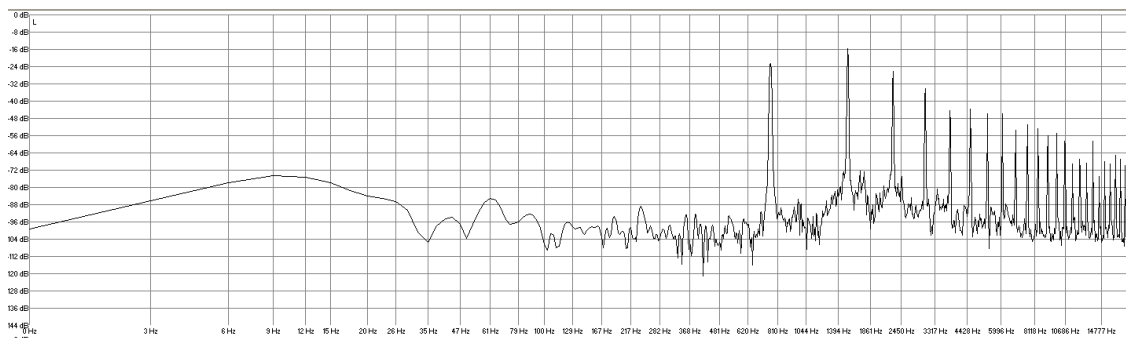
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 123	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,9	-20,7	-30,9	-43,3	-48	-49,1	-57,1	-52,4
Frecuencia experimental	782,3	1564,5	2346,9	3128,8	3911,4	4693,3	5475,2	6258,8
Frecuencia Teórica	782,3	1564,6	2346,9	3129,2	3911,5	4693,8	5476,1	6258,4

SONIDO 124	Digitación completa	Digitación simplificada
		


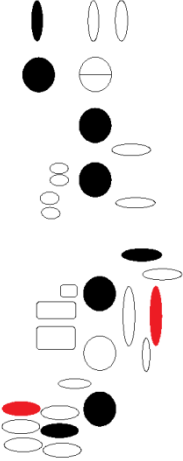
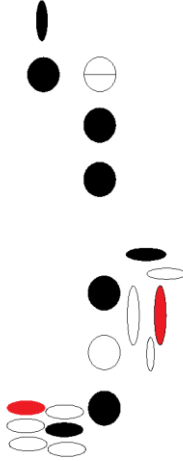
Oscilograma



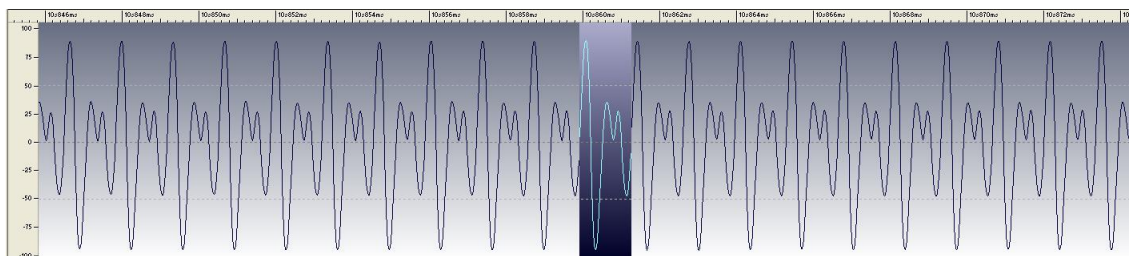
Gráfica FFT



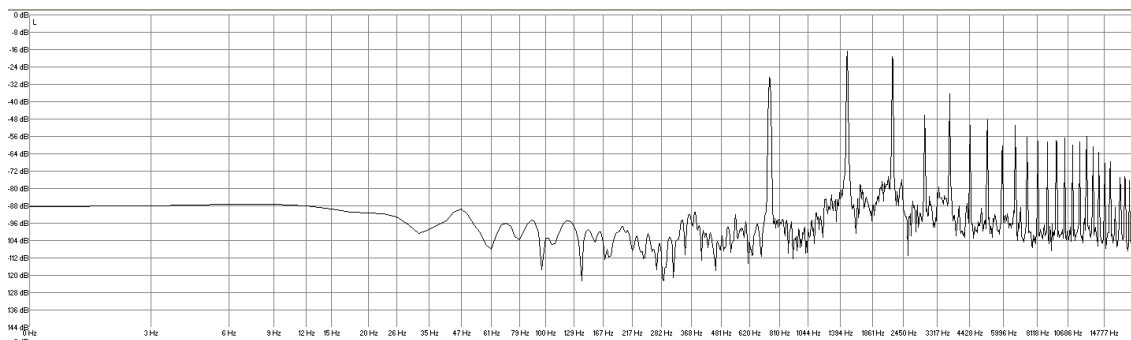
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 124	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-22,5	-15,6	-26,2	-34,2	-44,4	-44	-45,8	-46,2
Frecuencia experimental	761,1	1521,6	2282,1	3043,4	3802,6	4564,7	5325,1	6084,9
Frecuencia Teórica	761,1	1522,2	2283,3	3044,4	3805,5	4566,6	5327,7	6088,8

SONIDO 125	Digitación completa	Digitación simplificada
		


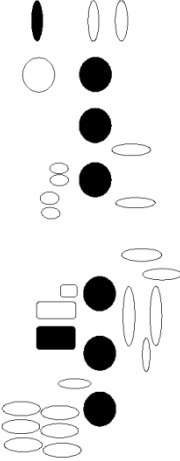

Oscilograma



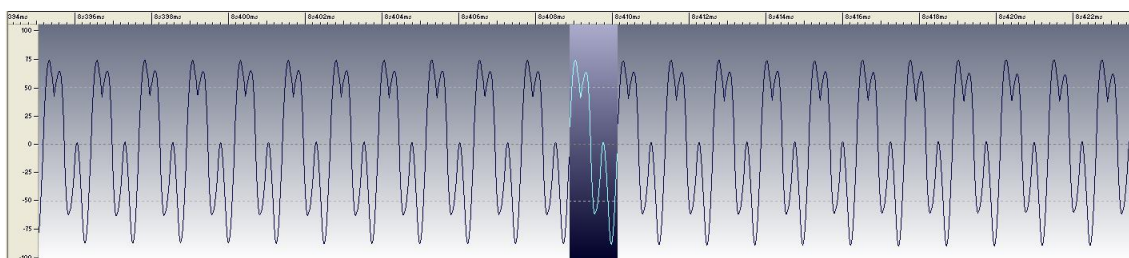
Gráfica FFT



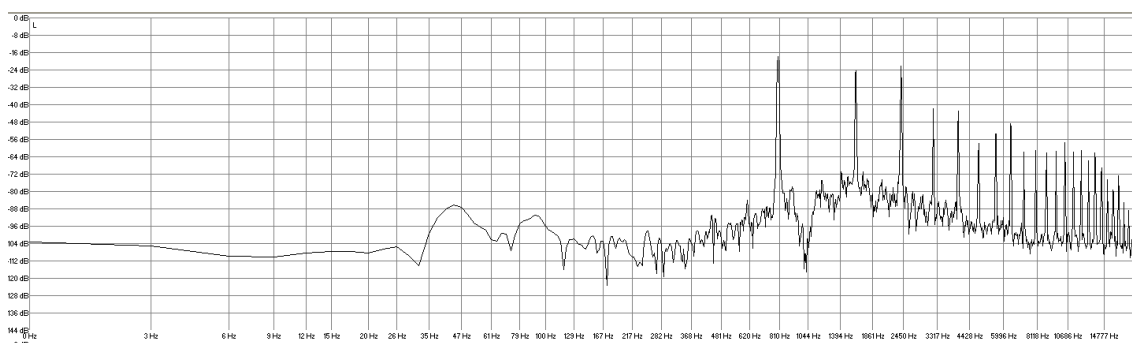
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 125	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-28,7	-16,7	-19,3	-46,2	-36,4	-50,9	-48,4	-60,4
Frecuencia experimental	741,2	1485,1	2226,4	2968,9	3711,8	4453,5	5194,8	5937,7
Frecuencia Teórica	741,2	1482,4	2223,6	2964,8	3706	4447,2	5188,4	5929,6

SONIDO 126	Digitación completa	Digitación simplificada
		


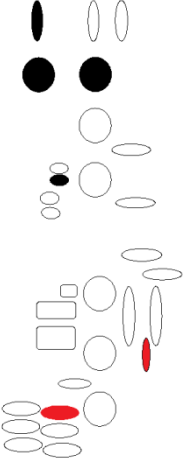
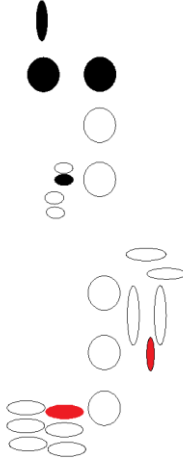
Oscilograma



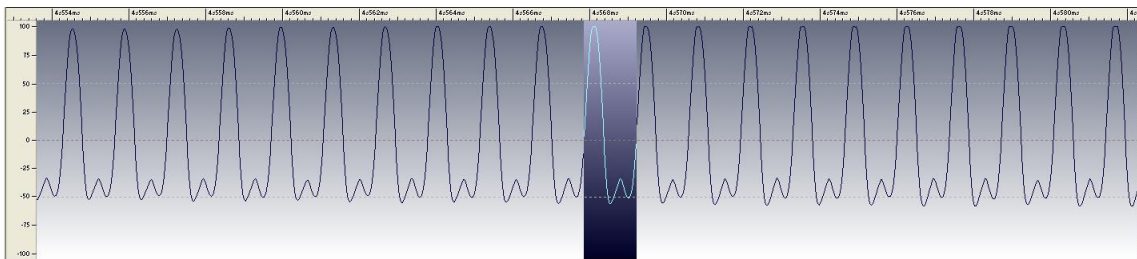
Gráfica FFT



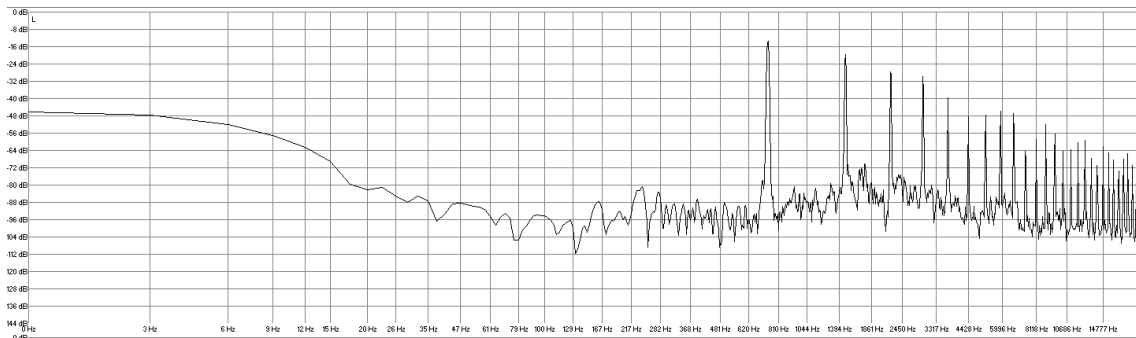
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 126	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,8	-24,4	-22,2	-41,8	-42,9	-57,8	-53,5	-48,7
Frecuencia experimental	801,3	1602,4	2403,9	3205,4	4006,3	4807,9	5609,1	6409,9
Frecuencia Teórica	801,3	1602,6	2403,9	3205,2	4006,5	4807,8	5609,1	6410,4

SONIDO 127	Digitación completa	Digitación simplificada
		


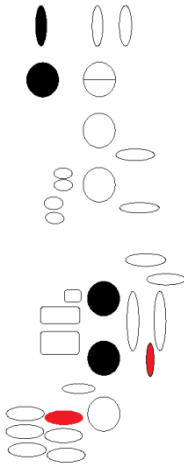
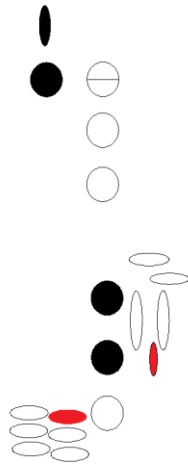
Oscilograma



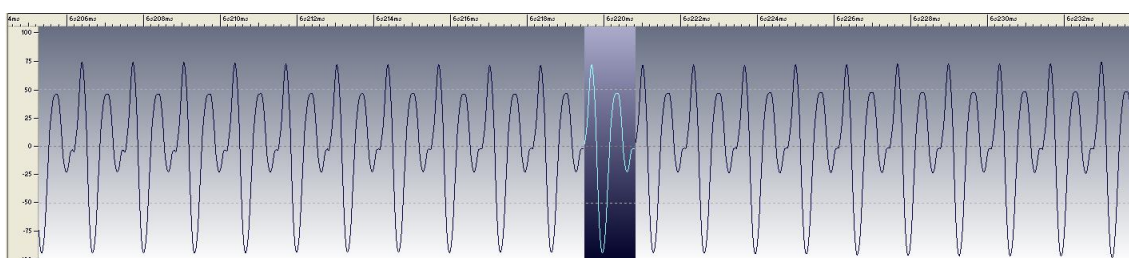
Gráfica FFT



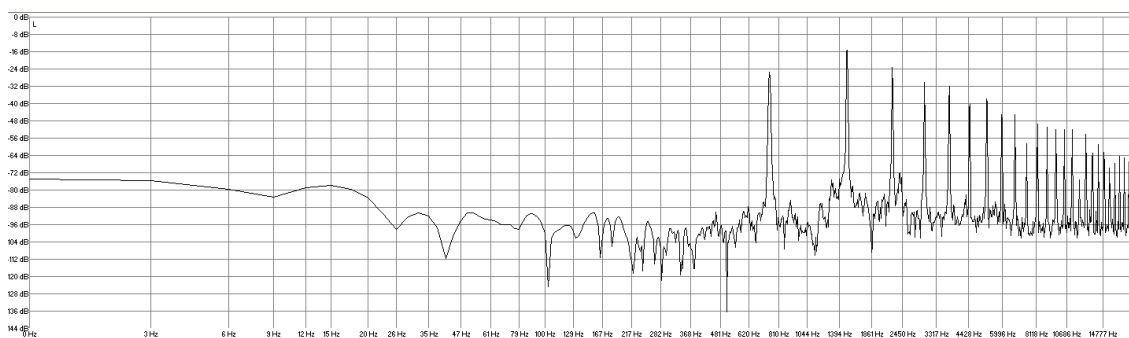
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 127	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-13,5	-19,6	-28	-30,2	-40	-48,4	-47,6	-45,8
Frecuencia experimental	738,7	1475,4	2211,9	2950,5	3687,8	4424,6	5162,6	5900,6
Frecuencia Teórica	738,7	1477,4	2216,1	2954,8	3693,5	4432,2	5170,9	5909,6

SONIDO 128	Digitación completa	Digitación simplificada
		


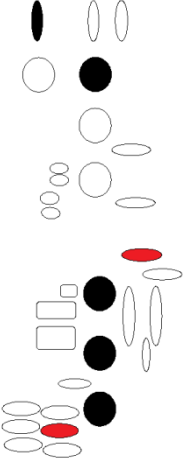
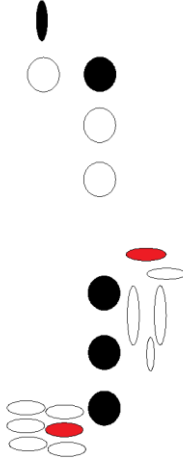
Oscilograma



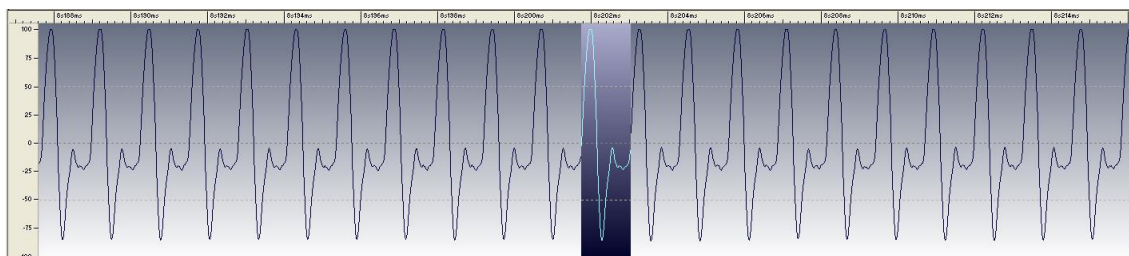
Gráfica FFT



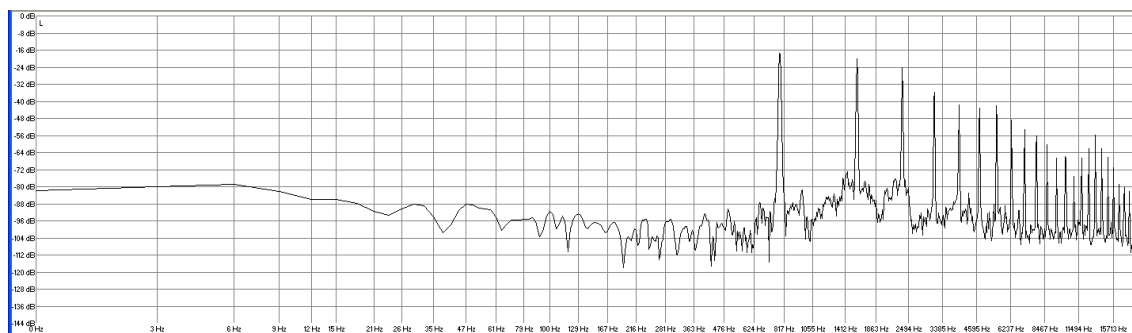
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 128	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-25,5	-15,6	-23,3	-30,2	-32,4	-40	-37,8	-45,5
Frecuencia experimental	746,5	1494	2239,8	2985,5	3733,4	4479,8	5226,7	5973,6
Frecuencia Teórica	746,5	1493	2239,5	2986	3732,5	4479	5225,5	5972

SONIDO 129	Digitación completa	Digitación simplificada
		


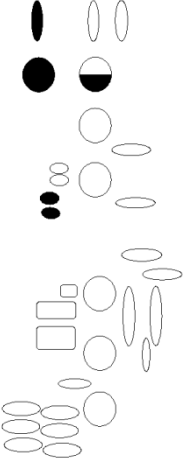
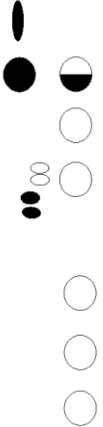
Oscilograma



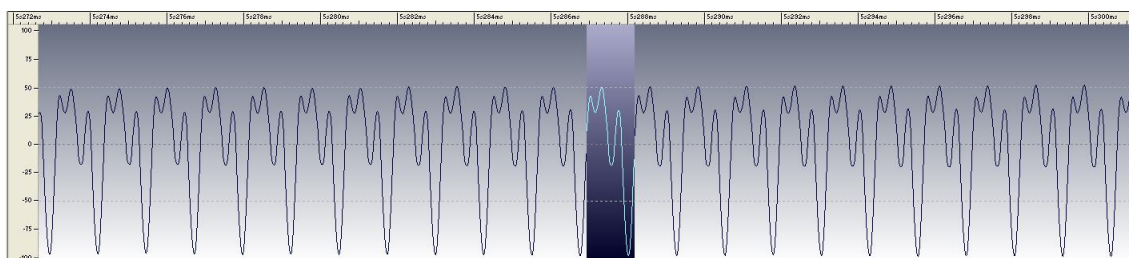
Gráfica FFT



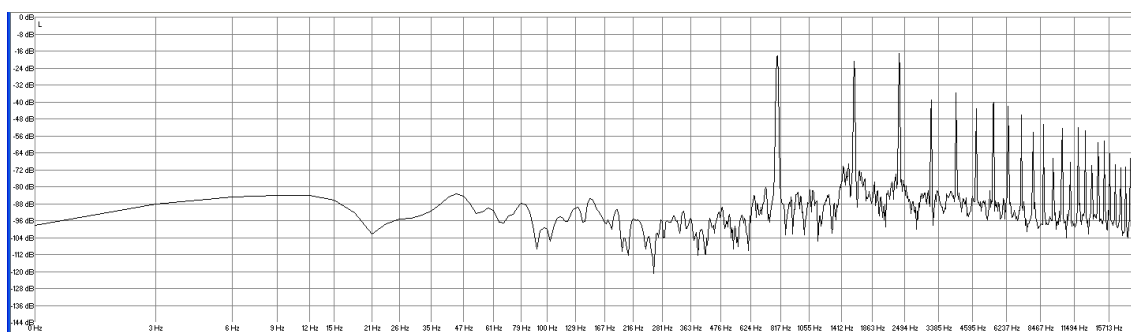
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 129	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-14,9	-20	-24,7	-35,6	-41,5	-43,3	-42	-49,1
Frecuencia experimental	786	1573,8	2358,5	3145,9	3931,5	4716,2	5505,2	6290,5
Frecuencia Teórica	786	1572	2358	3144	3930	4716	5502	6288

SONIDO 130	Digitación completa	Digitación simplificada
		


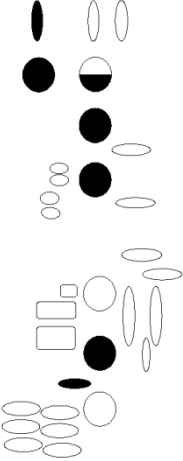

Oscilograma



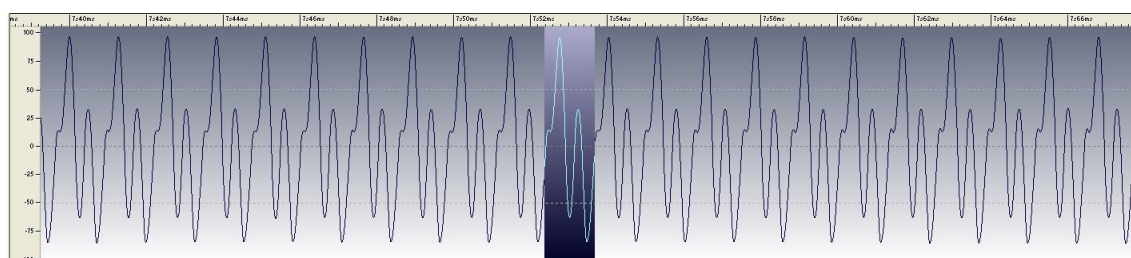
Gráfica FFT



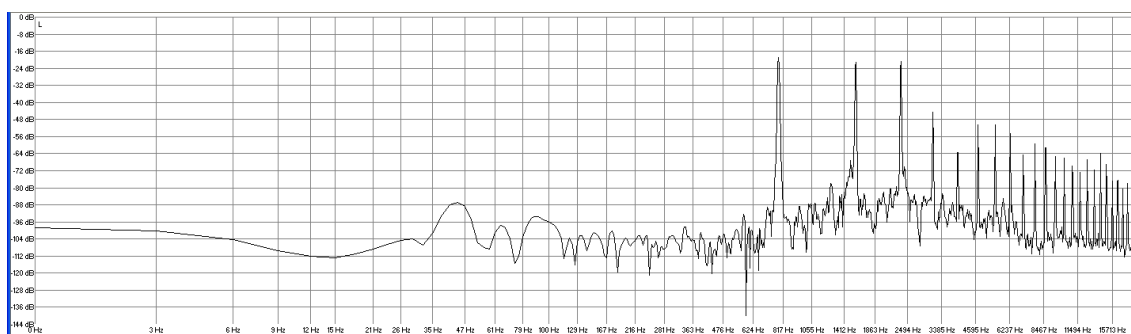
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 130	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,2	-20,8	-17,5	-39,1	-35,7	-43,2	-40,6	-42
Frecuencia experimental	793,2	1585,1	2378,6	3170,7	3963,5	4756,2	5548,8	6342,9
Frecuencia Teórica	793,2	1586,4	2379,6	3172,8	3966	4759,2	5552,4	6345,6

SONIDO 131	Digitación completa	Digitación simplificada
		


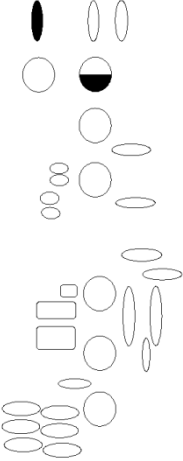

Oscilograma



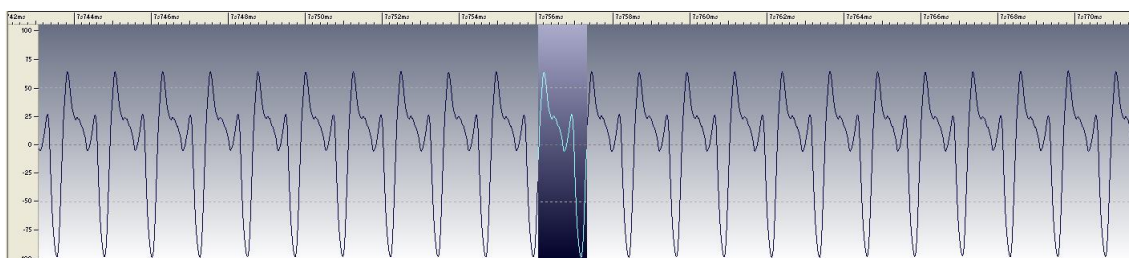
Gráfica FFT



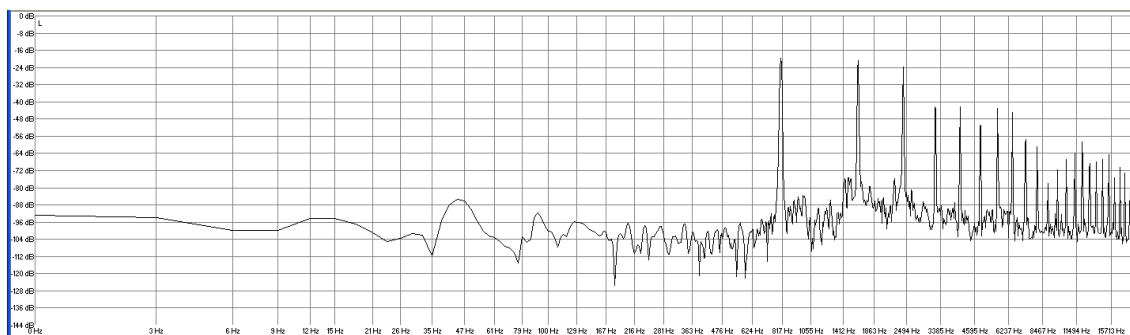
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 131	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,9	-21,2	-20,8	-44,9	-63,5	-50,5	-50,5	-54,6
Frecuencia experimental	784,7	1567,4	2351,5	3134,5	3918,7	4702,3	5486,2	6269,5
Frecuencia Teórica	784,7	1569,4	2354,1	3138,8	3923,5	4708,2	5492,9	6277,6

SONIDO 132	Digitación completa	Digitación simplificada
		

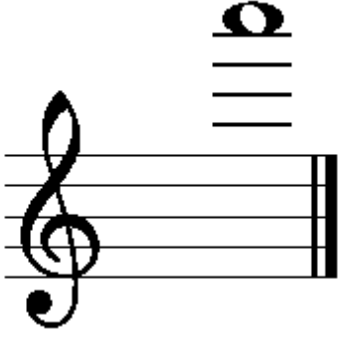
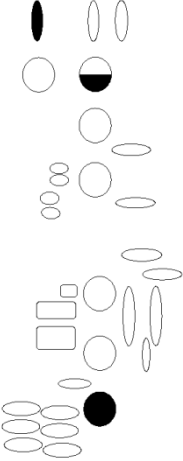

Oscilograma



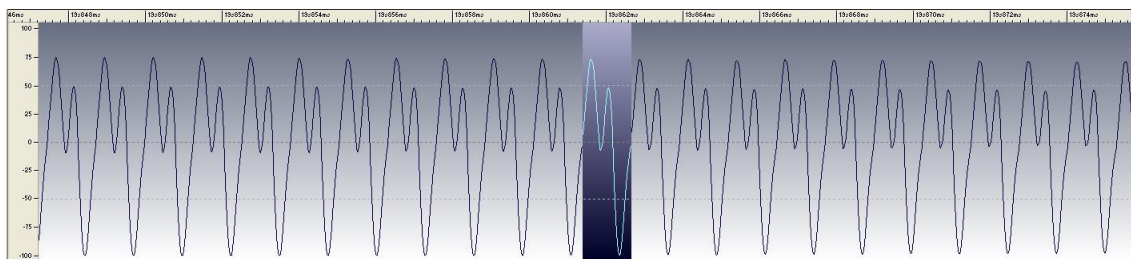
Gráfica FFT



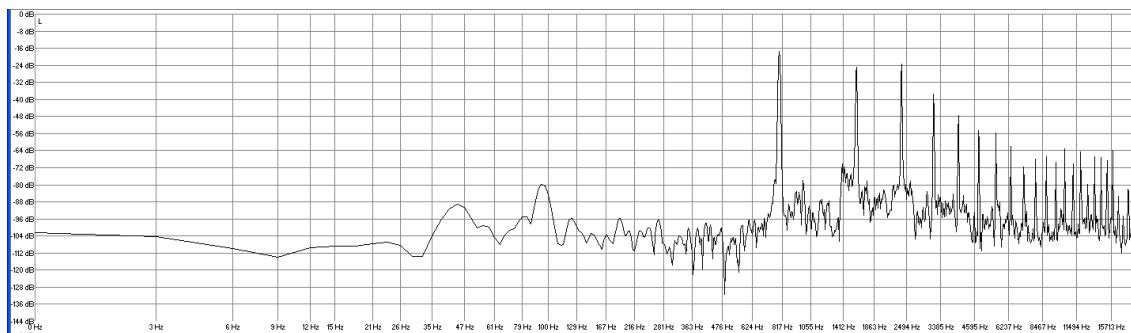
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 132	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-19,7	-20,8	-23,8	-42,3	-41,9	-50,8	-43,1	-45,3
Frecuencia experimental	808,5	1617,3	2423,4	3231,4	4040,1	4848,9	5656,2	6463,3
Frecuencia Teórica	808,5	1617	2425,5	3234	4042,5	4851	5659,5	6468

SONIDO 133	Digitación completa	Digitación simplificada
		

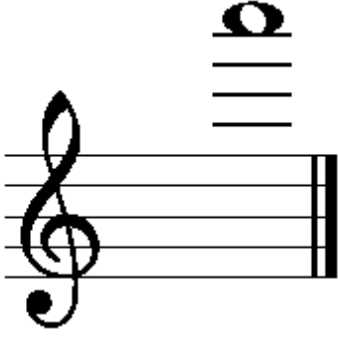
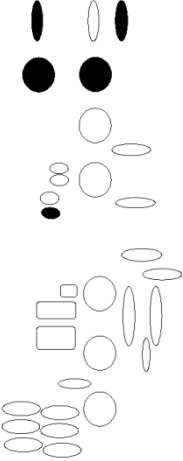
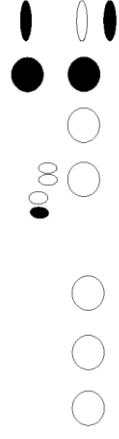
Oscilograma



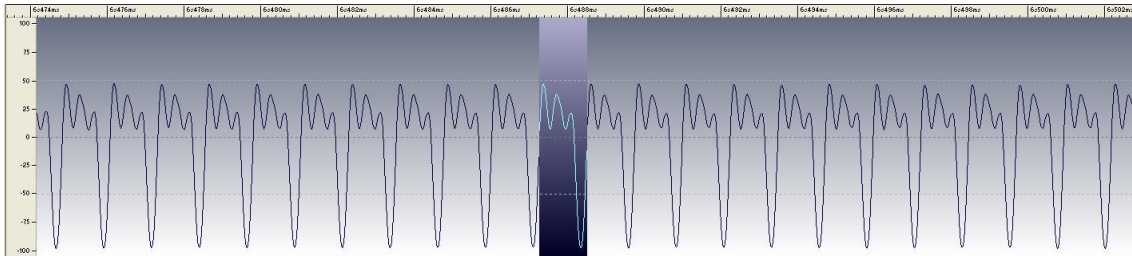
Gráfica FFT



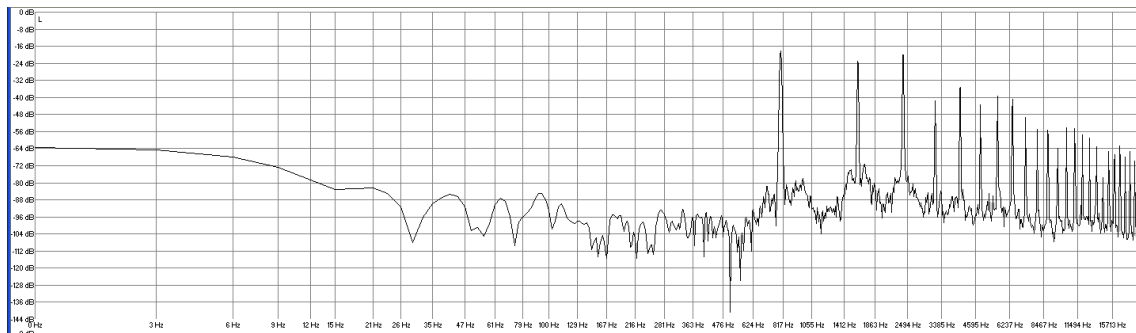
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 133	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,4	-24,9	-23,8	-37,9	-47,5	-54,6	-55,7	-62
Frecuencia experimental	797	1592	2387,8	3184,5	3979,3	4775,3	5571,1	6366,1
Frecuencia Teórica	797	1594	2391	3188	3985	4782	5579	6376

SONIDO 134	Digitación completa	Digitación simplificada
		


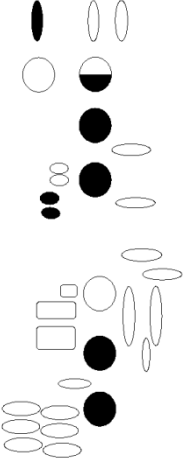

Oscilograma



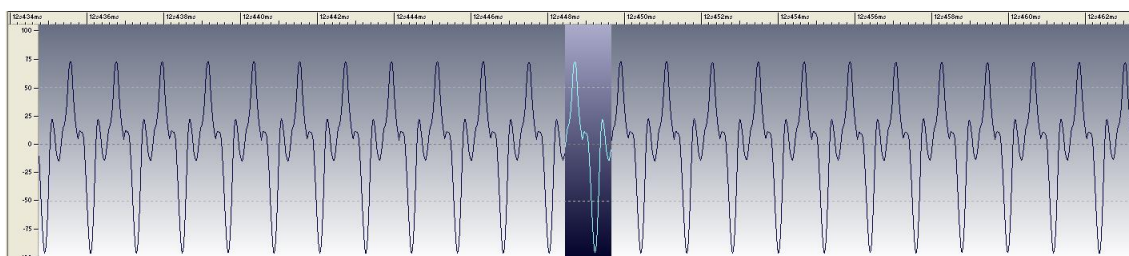
Gráfica FFT



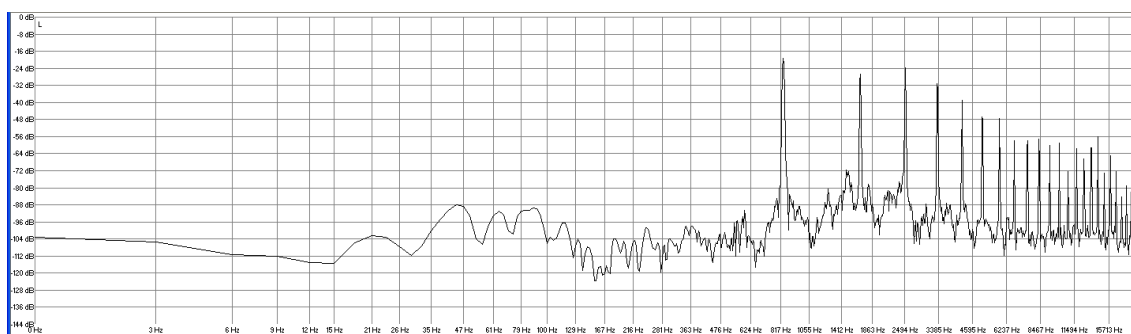
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 134	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,6	-23	-20	-41,6	-35,3	-43,8	-39,3	-40,8
Frecuencia experimental	800,4	1600,4	2401	3201,4	4001,9	4801,6	5601,6	6401
Frecuencia Teórica	800,4	1600,8	2401,2	3201,6	4002	4802,4	5602,8	6403,2

SONIDO 135	Digitación completa	Digitación simplificada
		

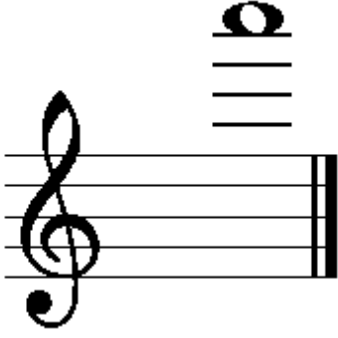
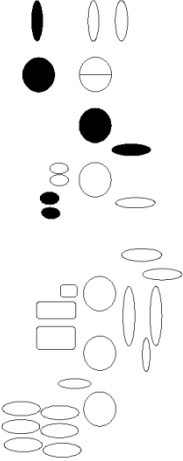
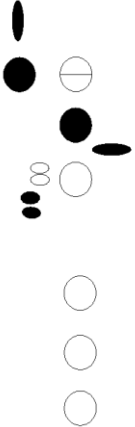
Oscilograma



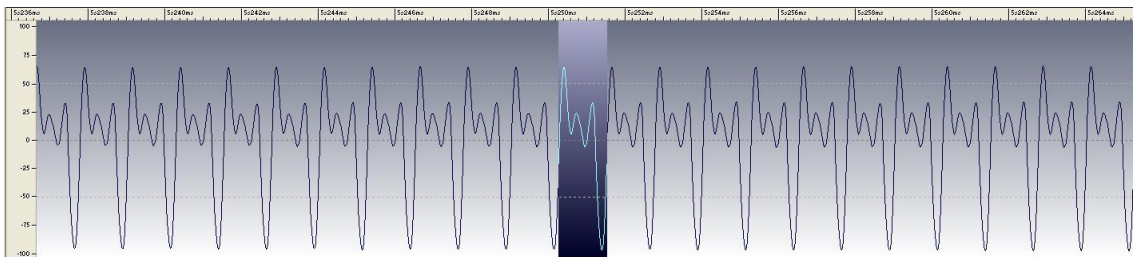
Gráfica FFT



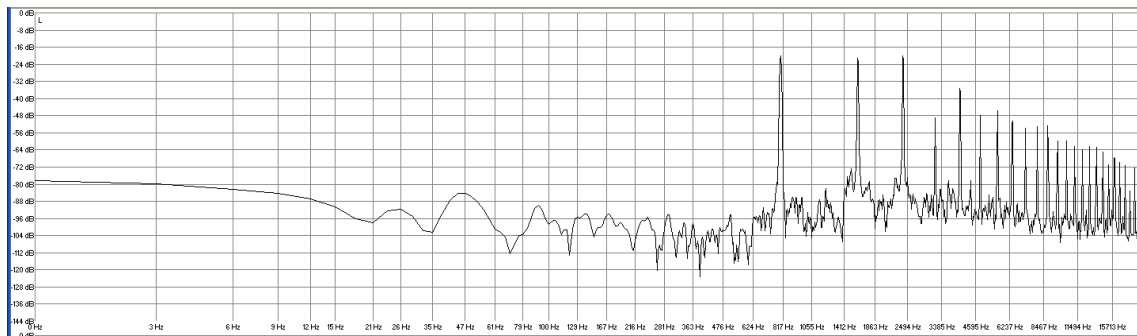
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 135	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-19,7	-26,4	-24,1	-31,2	-39	-47,1	-47,9	-57,9
Frecuencia experimental	838,1	1672,6	2510,6	3348,8	4184,7	5021,3	5859,2	6697,2
Frecuencia Teórica	838,1	1676,2	2514,3	3352,4	4190,5	5028,6	5866,7	6704,8

SONIDO 136	Digitación completa	Digitación simplificada
		


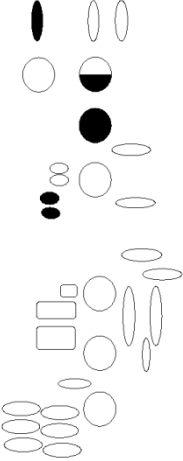
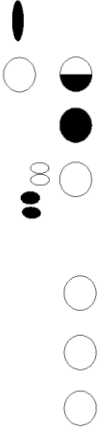
Oscilograma



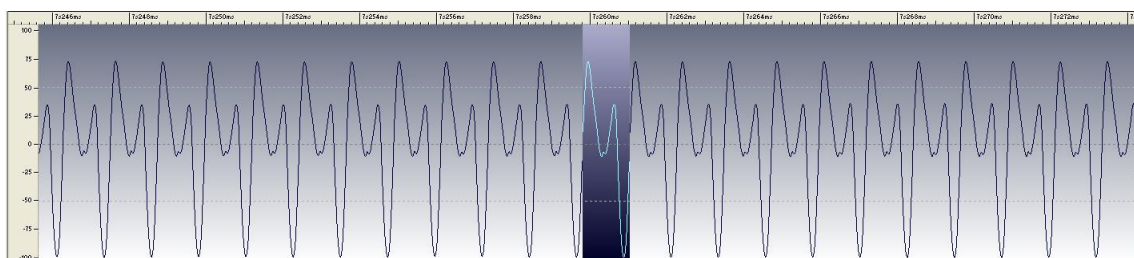
Gráfica FFT



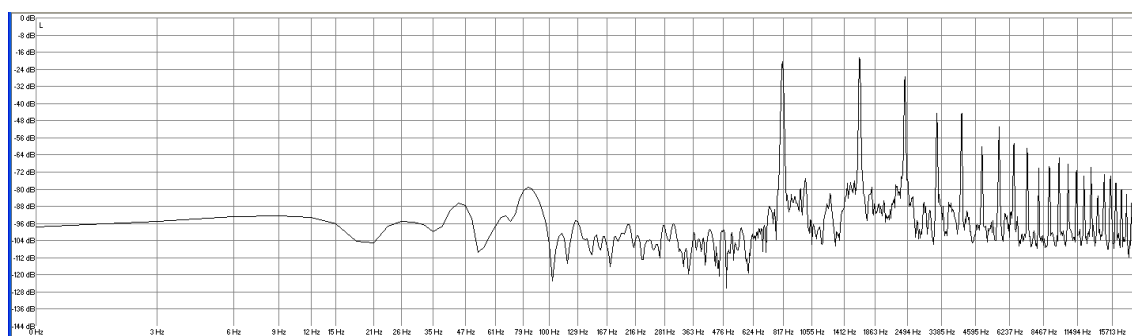
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 136	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-20	-21,2	-20	-49	-34,9	-47,9	-45,3	-50,5
Frecuencia experimental	800	1599,8	2399,4	3199	3999,2	4798,4	5599,1	6398
Frecuencia Teórica	800	1600	2400	3200	4000	4800	5600	6400

SONIDO 137	Digitación completa	Digitación simplificada
		


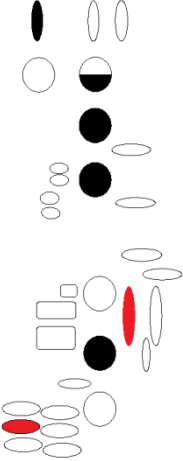
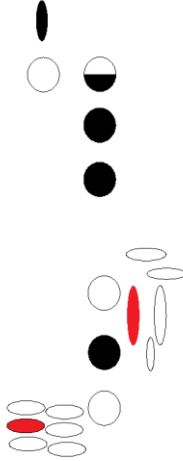
Oscilograma



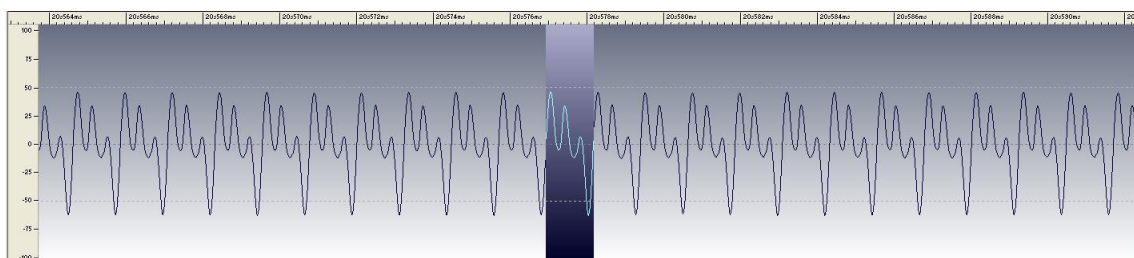
Gráfica FFT



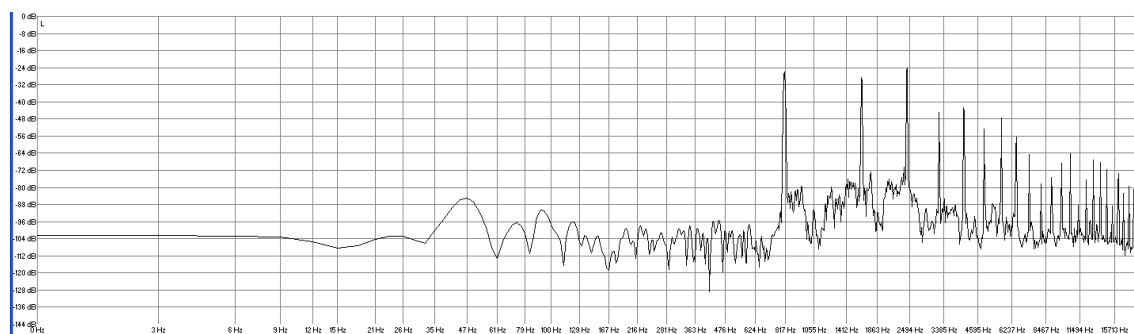
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 137	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-20,4	-18,6	-27,5	-44,5	-44,5	-60,1	-50,5	-58,3
Frecuencia experimental	811,5	1623,5	2436,4	3248,8	4060	4874,2	5682,4	6493
Frecuencia Teórica	811,5	1623	2434,5	3246	4057,5	4869	5680,5	6492

SONIDO 138	Digitación completa	Digitación simplificada
		


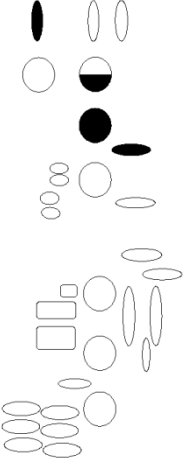
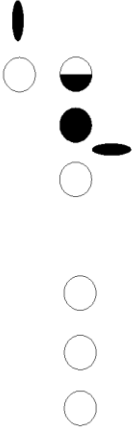
Oscilograma



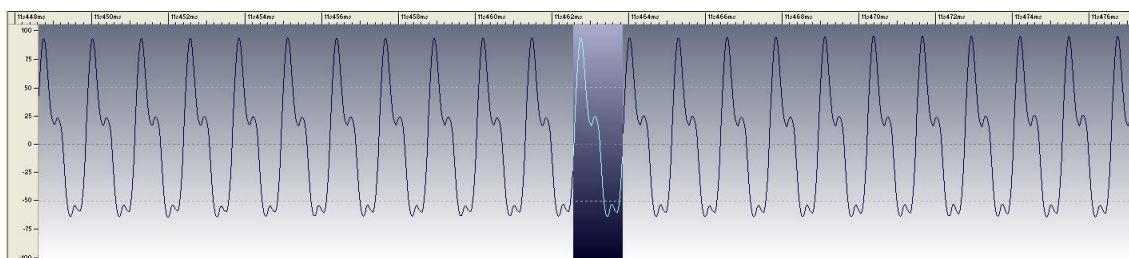
Gráfica FFT



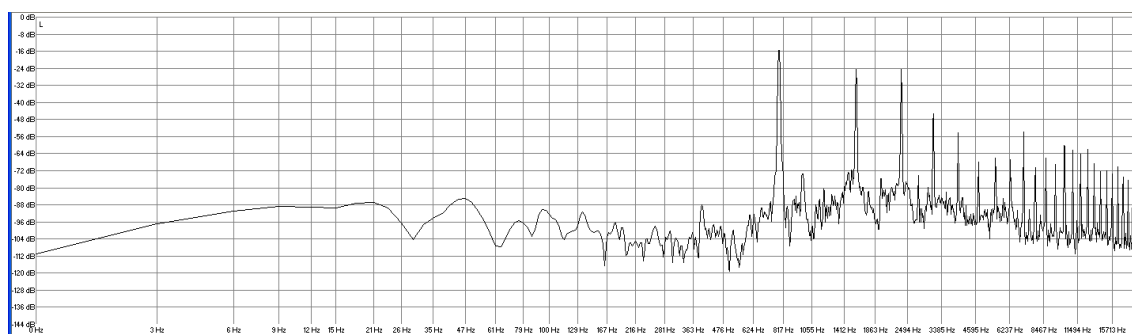
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 138	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-26	-28,9	-24,5	-44,9	-42,7	-52,7	-47,5	-56
Frecuencia experimental	811,5	1622,6	2434,3	3246,1	4057,5	4868,7	5680,8	6492,4
Frecuencia Teórica	811,5	1623	2434,5	3246	4057,5	4869	5680,5	6492

SONIDO 139	Digitación completa	Digitación simplificada
		


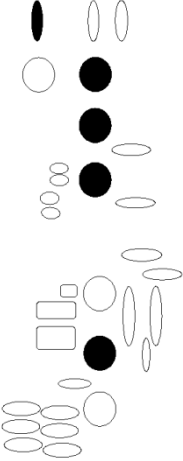

Oscilograma



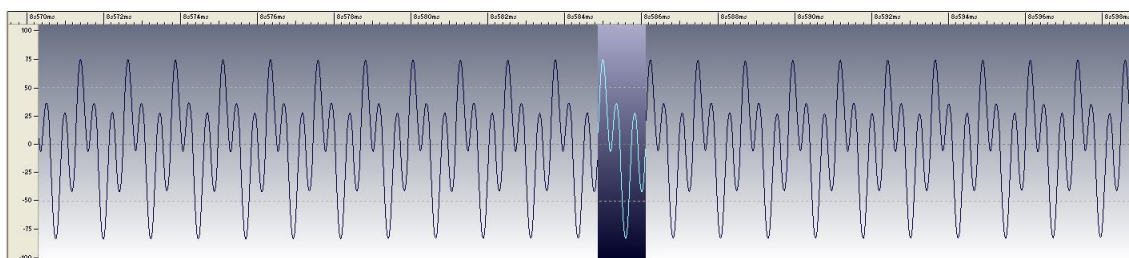
Gráfica FFT



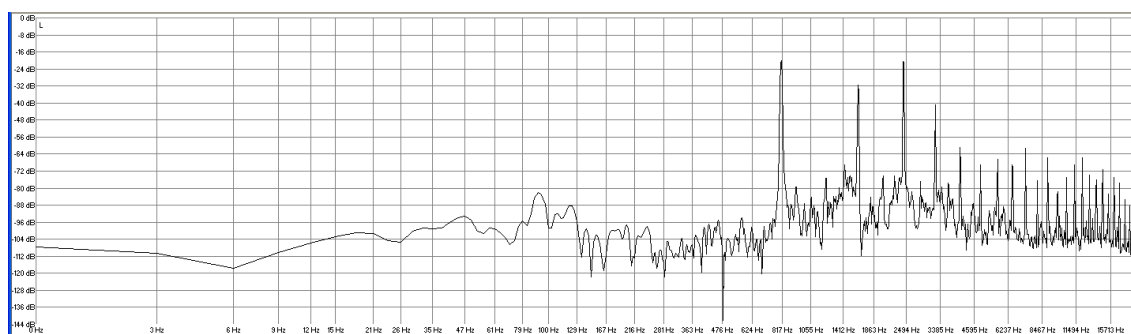
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 139	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-15,6	-24,1	-24,5	-45,3	-54,2	-67,9	-66,1	-66,8
Frecuencia experimental	787	1573,5	2358,2	3146	3930,4	4719,6	5504,7	6291,1
Frecuencia Teórica	787	1574	2361	3148	3935	4722	5509	6296

SONIDO 140	Digitación completa	Digitación simplificada
		


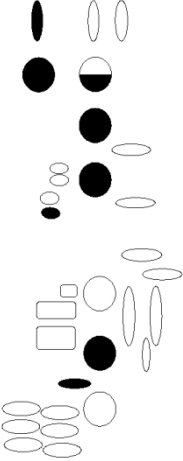
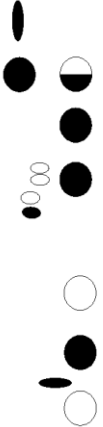
Oscilograma



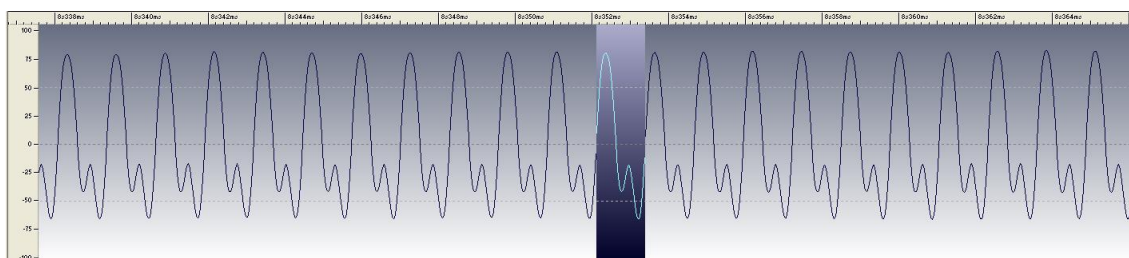
Gráfica FFT



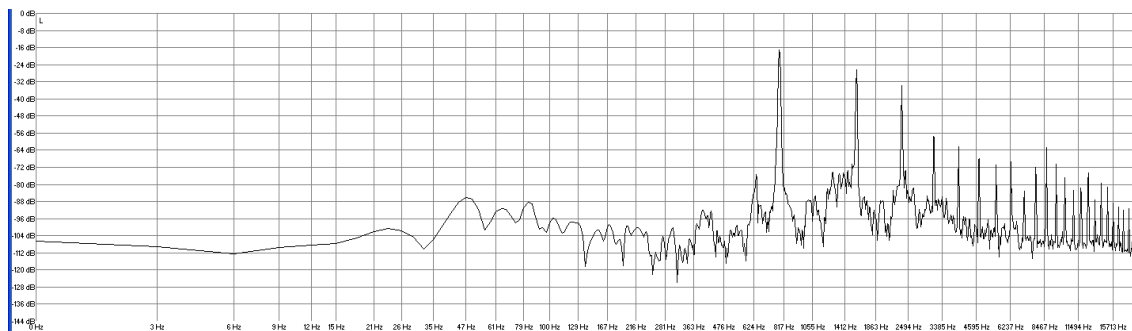
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 140	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-20	-31,9	-20,4	-40,8	-61,2	-69	-66,4	-69
Frecuencia experimental	811,6	1623	2432,2	3242,8	4054,7	4866,3	5674,9	6486,7
Frecuencia Teórica	811,6	1623,2	2434,8	3246,4	4058	4869,6	5681,2	6492,8

SONIDO 141	Digitación completa	Digitación simplificada
		


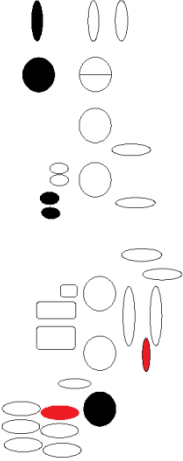
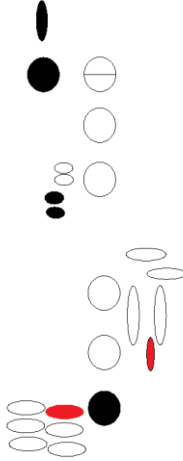
Oscilograma



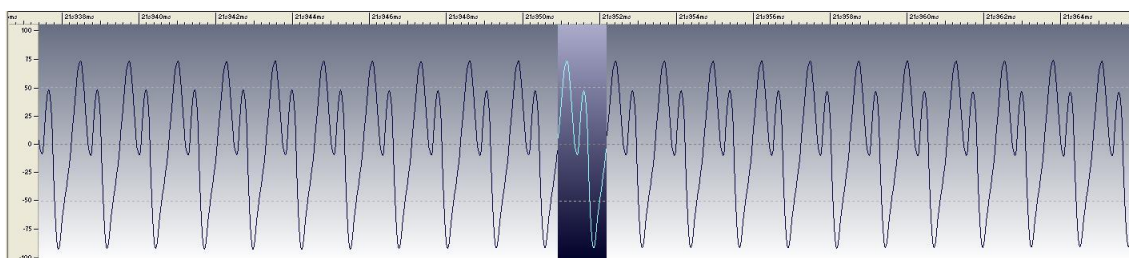
Gráfica FFT



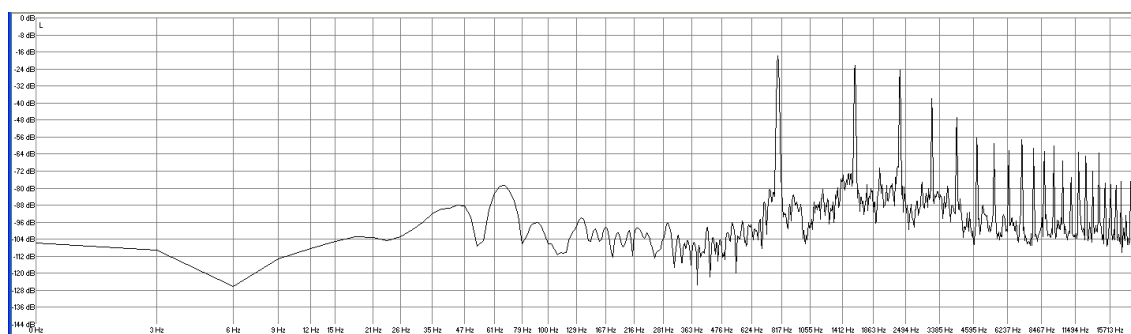
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 141	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,1	-26,4	-33,8	-57,5	-62,4	-67,9	-71,3	-69,4
Frecuencia experimental	785,3	1569,9	2355,5	3141,1	3927	4713,6	5498,8	6283,9
Frecuencia Teórica	785,3	1570,6	2355,9	3141,2	3926,5	4711,8	5497,1	6282,4

SONIDO 142	Digitación completa	Digitación simplificada
		

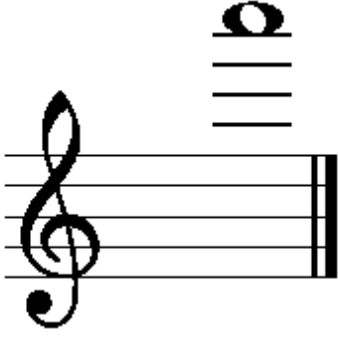
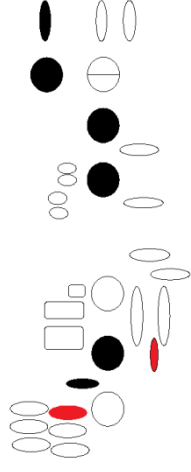
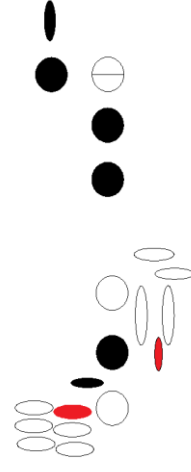
Oscilograma



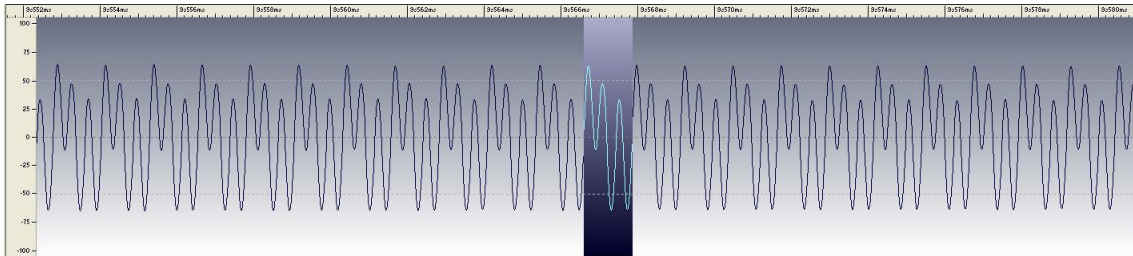
Gráfica FFT



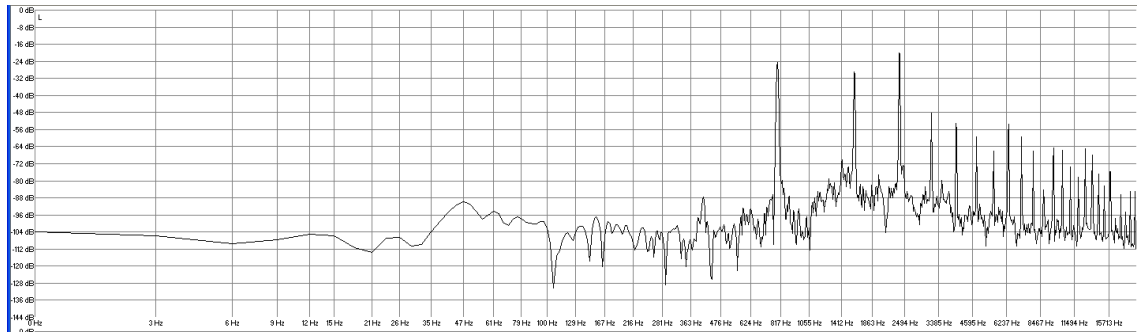
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 142	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,8	-22,3	-24,5	-37,9	-47,1	-56,4	-59	-62,4
Frecuencia experimental	790,6	1579,2	2370,2	3159,9	3949,3	4740,4	5528,9	6319,6
Frecuencia Teórica	790,6	1581,2	2371,8	3162,4	3953	4743,6	5534,2	6324,8

SONIDO 143	Digitación completa	Digitación simplificada
		


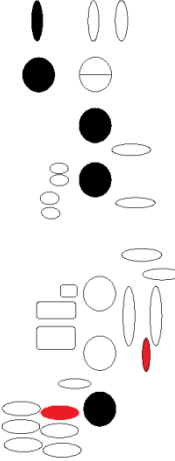
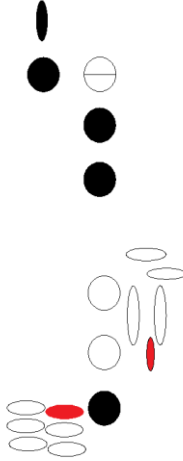
Oscilograma



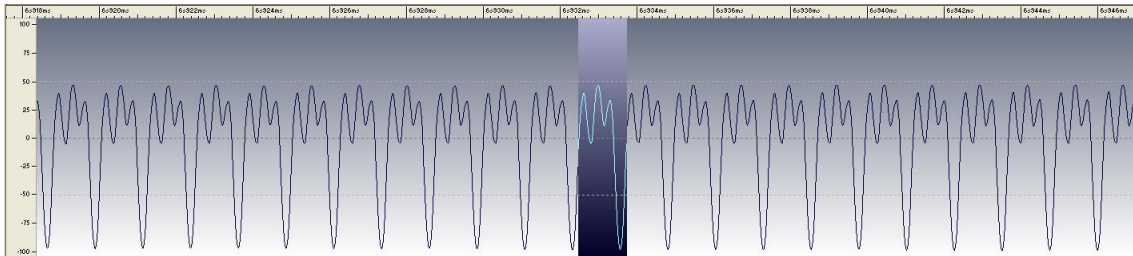
Gráfica FFT



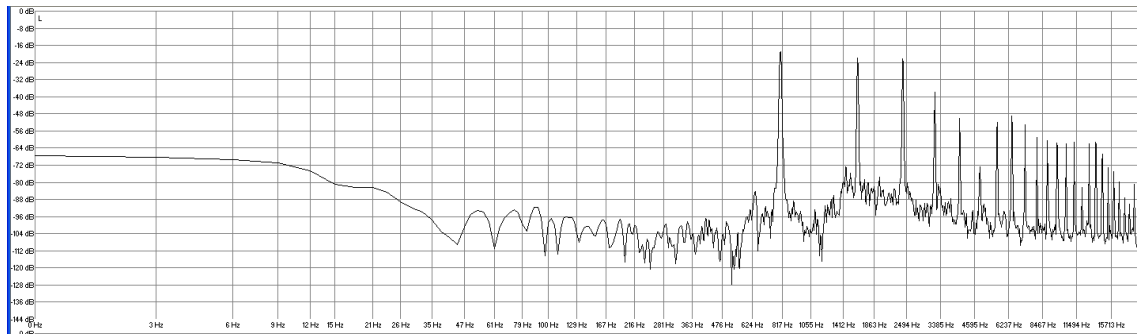
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 143	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-24,9	-28,9	-20	-47,9	-53,1	-59,8	-66,4	-53,4
Frecuencia experimental	793,8	1588	2382,8	3177,4	3971,9	4766,5	5561,2	6354,1
Frecuencia Teórica	793,8	1587,6	2381,4	3175,2	3969	4762,8	5556,6	6350,4

SONIDO 144	Digitación completa	Digitación simplificada
		


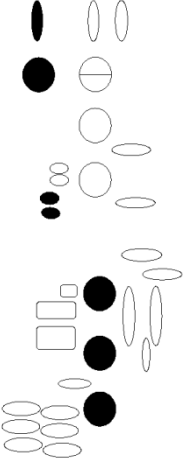
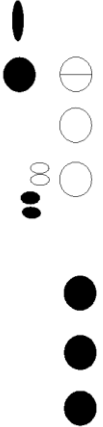
Oscilograma



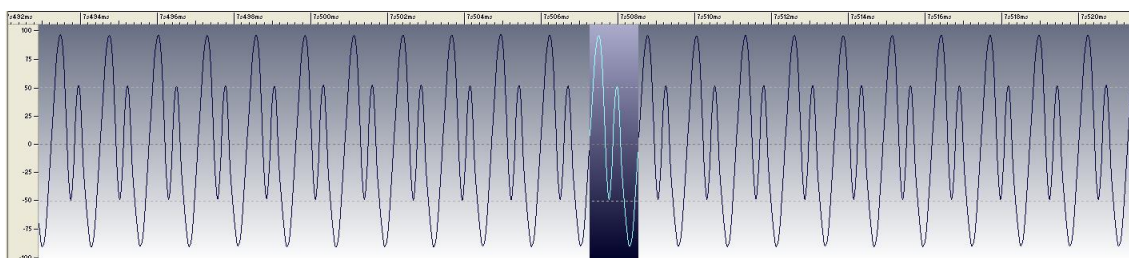
Gráfica FFT



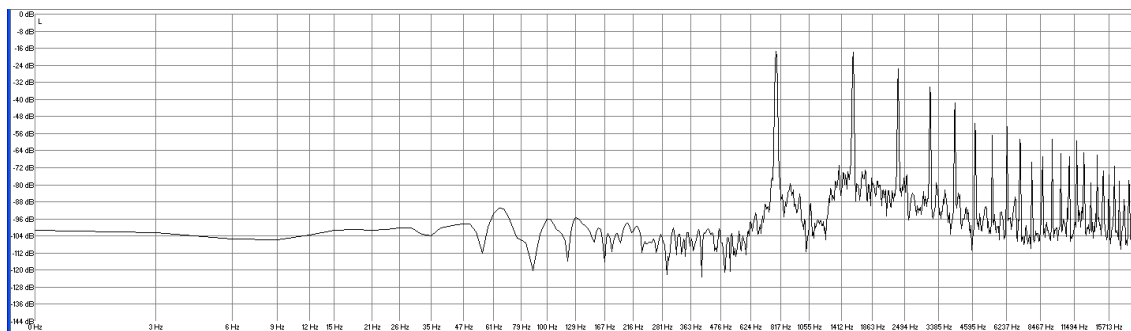
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 144	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,9	-21,9	-22,6	-37,9	-49,7	-72,4	-52	-49
Frecuencia experimental	805,8	1609,4	2414,4	3219,6	4022,9	4819	5633,6	6436,8
Frecuencia Teórica	805,8	1611,6	2417,4	3223,2	4029	4834,8	5640,6	6446,4

SONIDO 145	Digitación completa	Digitación simplificada
		


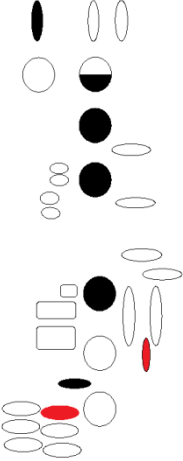
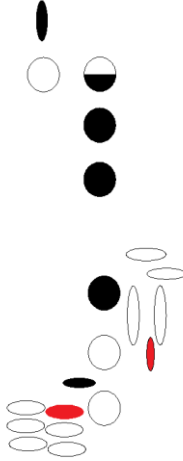
Oscilograma



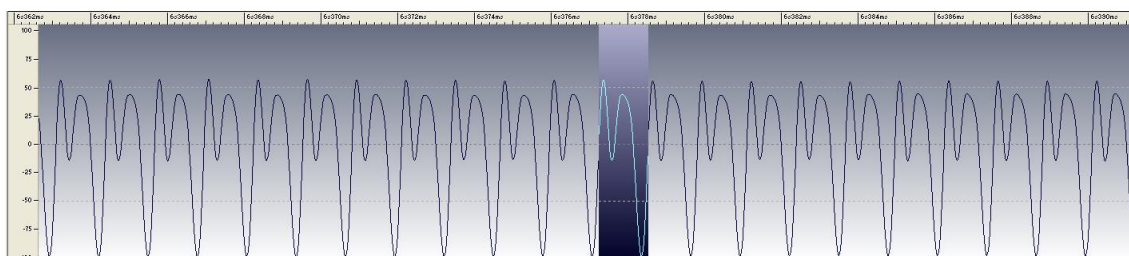
Gráfica FFT



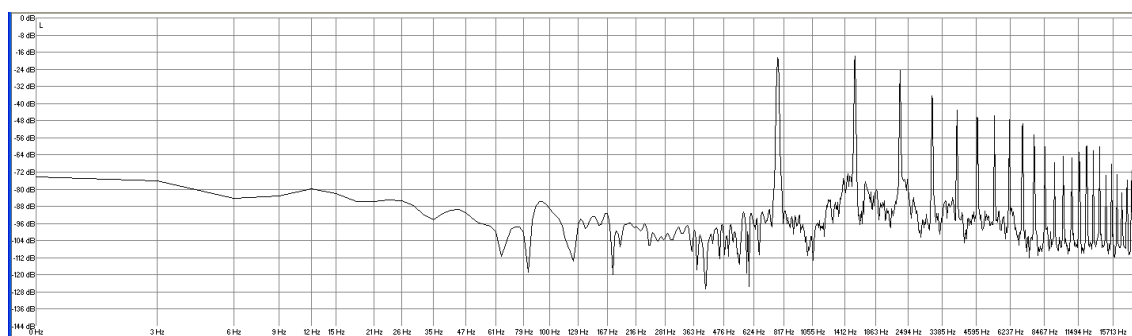
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 145	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,4	-17,8	-25,6	-34,1	-41,6	-51,2	-56,8	-52,7
Frecuencia experimental	785,6	1570,3	2354,7	3138,7	3922,9	4708	5493,3	6278,1
Frecuencia Teórica	785,6	1571,2	2356,8	3142,4	3928	4713,6	5499,2	6284,8

SONIDO 146	Digitación completa	Digitación simplificada
		


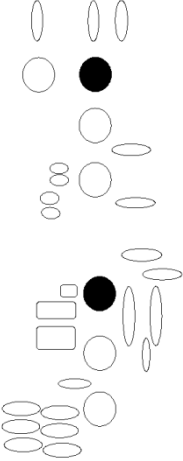
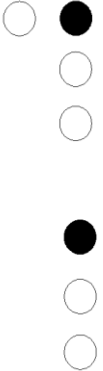
Oscilograma



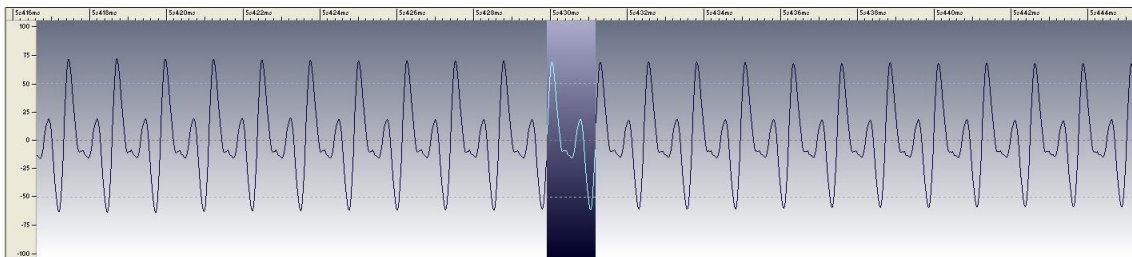
Gráfica FFT



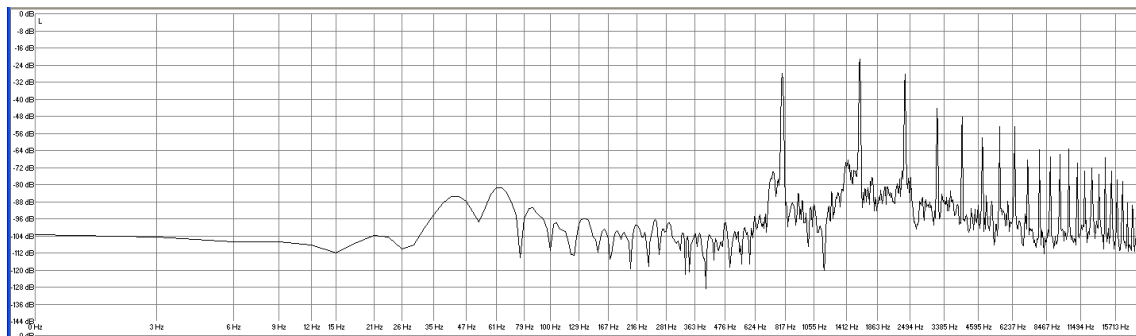
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 146	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,9	-17,8	-24,5	-36,4	-43,1	-46,8	-45,6	-47,5
Frecuencia experimental	773,6	1546,6	2323,2	3096,9	3869,7	4644,8	5420	6193,3
Frecuencia Teórica	773,6	1547,2	2320,8	3094,4	3868	4641,6	5415,2	6188,8

SONIDO 147	Digitación completa	Digitación simplificada
		


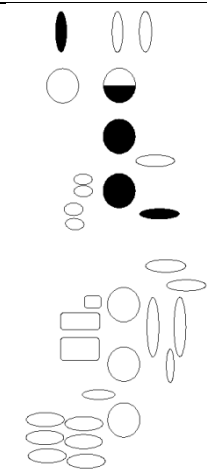
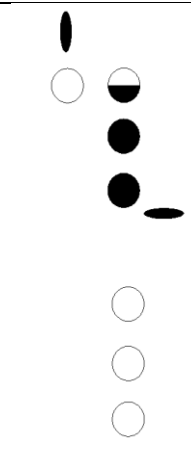
Oscilograma



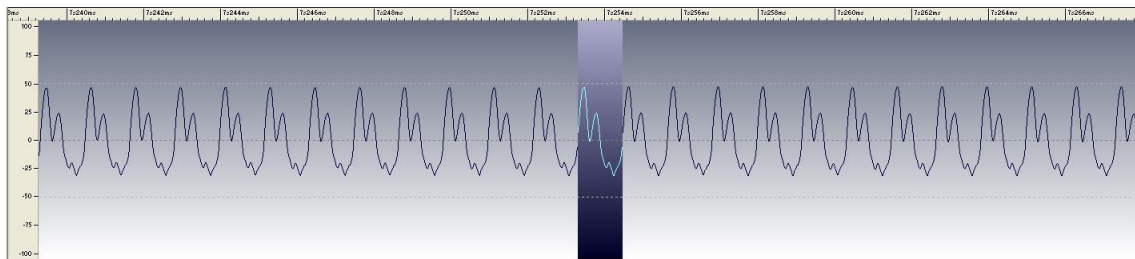
Gráfica FFT



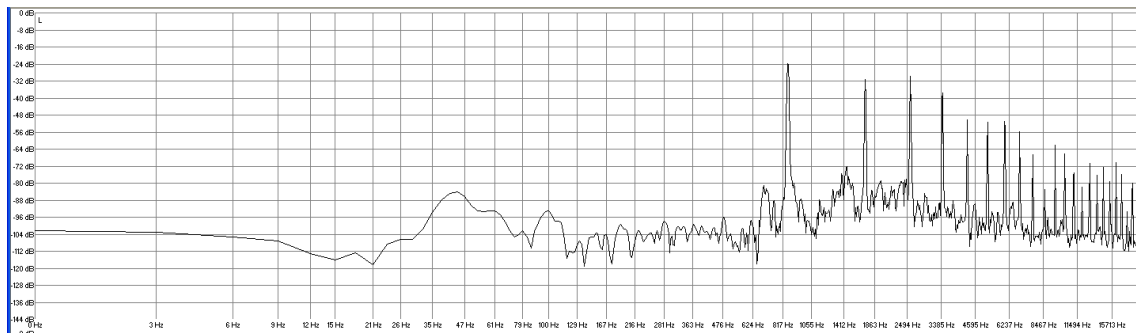
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 147	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-27,9	-21,2	-28,3	-43,9	-48	-58,4	-53,2	-52,8
Frecuencia experimental	795,5	1591,1	2388,2	3181,8	3978,8	4772,1	5569,7	6366,3
Frecuencia Teórica	795,5	1591	2386,5	3182	3977,5	4773	5568,5	6364

SONIDO 148	Digitación completa	Digitación simplificada
		

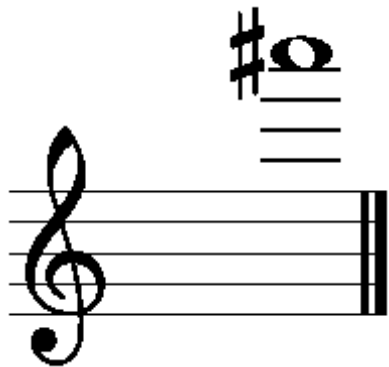
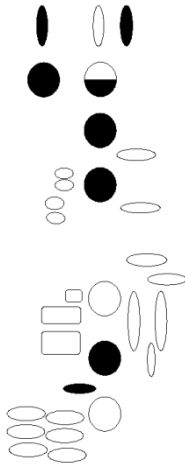

Oscilograma



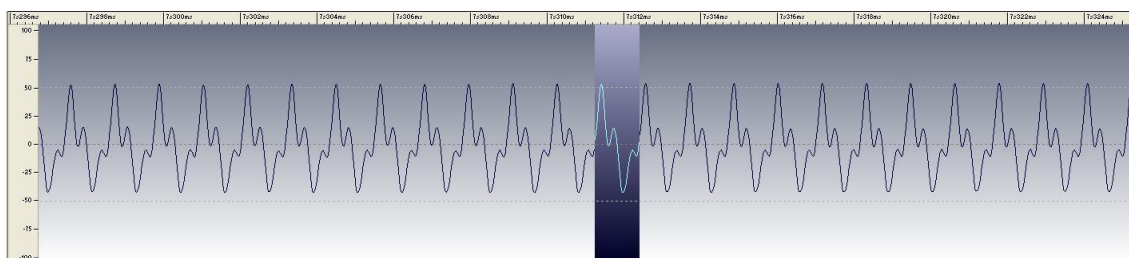
Gráfica FFT



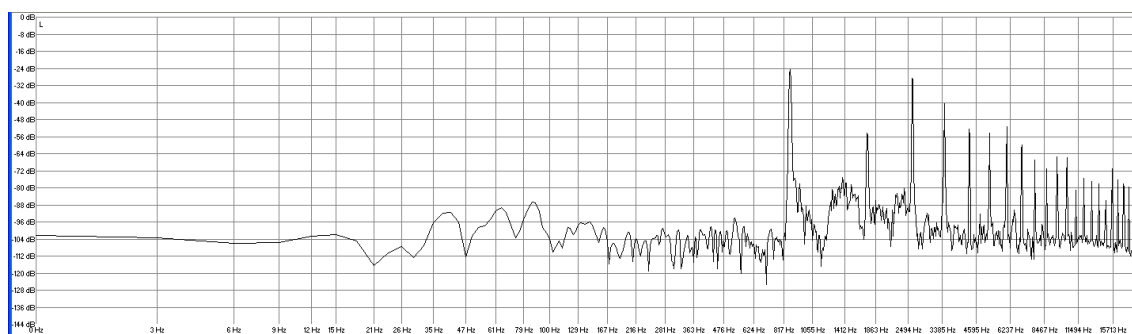
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 148	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-23,8	-31,6	-29,4	-37,6	-49,9	-51,7	-51	-55,8
Frecuencia experimental	856,5	1714,1	2569,6	3425,5	4283,2	5138,5	5995,7	6852,5
Frecuencia Teórica	856,5	1713	2569,5	3426	4282,5	5139	5995,5	6852

SONIDO 149	Digitación completa	Digitación simplificada
		

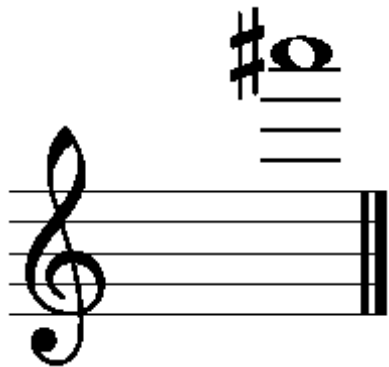
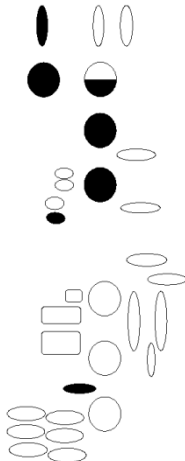

Oscilograma



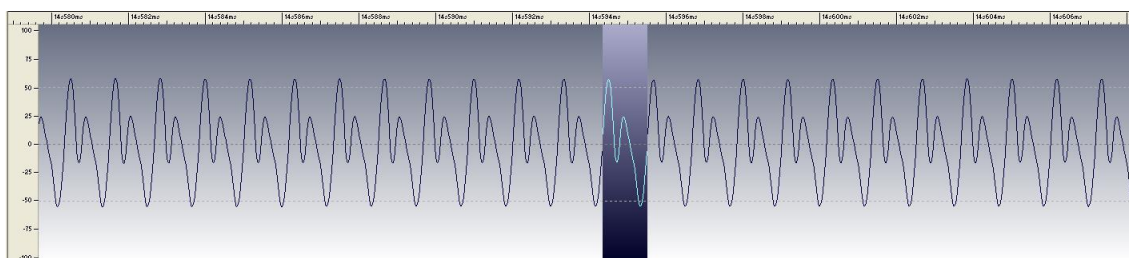
Gráfica FFT



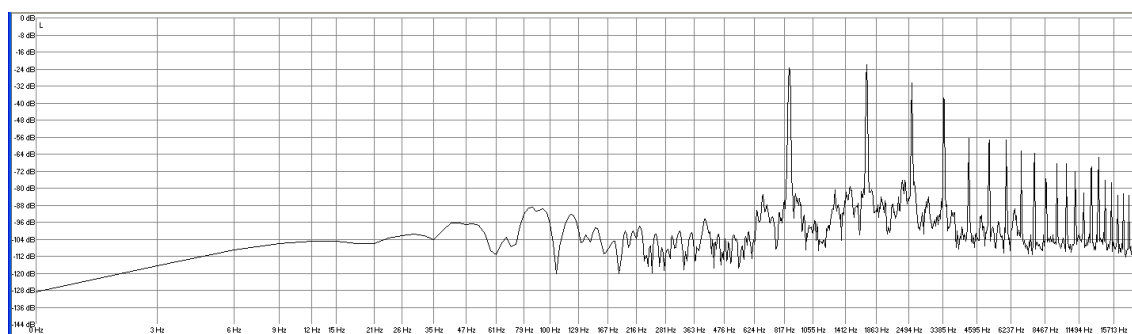
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 149	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-24,6	-54,3	-28,7	-40,6	-52,8	-54,3	-51,3	-59,5
Frecuencia experimental	864,6	1729,3	2593,5	3460,1	4324	5188,6	6052,7	6917,1
Frecuencia Teórica	864,6	1729,2	2593,8	3458,4	4323	5187,6	6052,2	6916,8

SONIDO 150	Digitación completa	Digitación simplificada
		

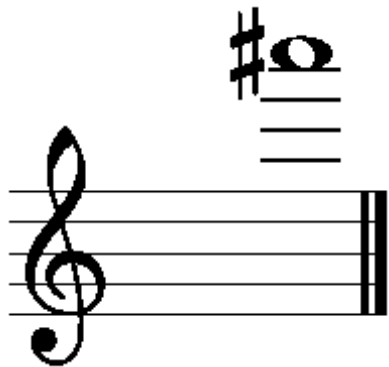
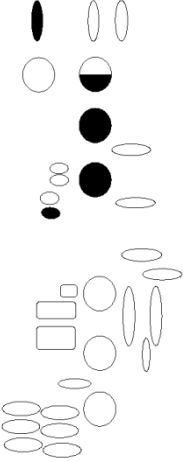

Oscilograma



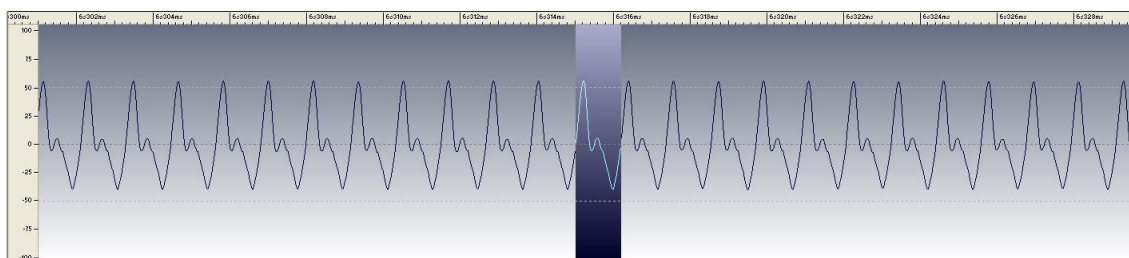
Gráfica FFT



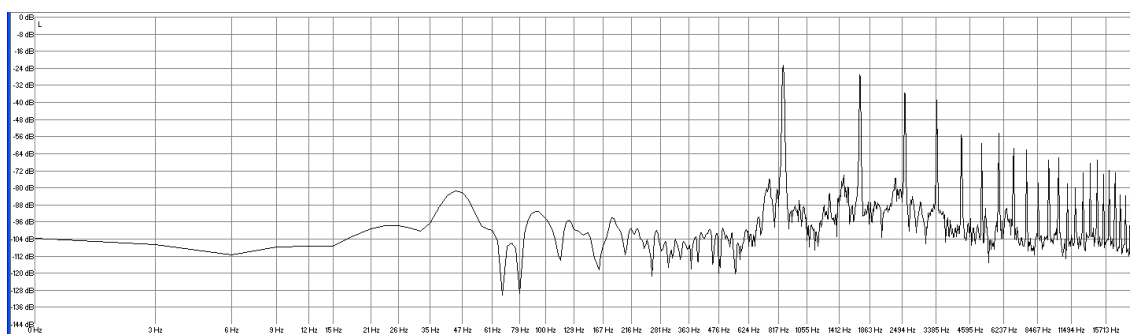
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 150	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-23,4	-22	-30,5	-38	-56,6	-57,3	-56,9	-62,5
Frecuencia experimental	855,5	1710,8	2566,7	3421,8	4277,4	5133,4	5990	6846,6
Frecuencia Teórica	855,5	1711	2566,5	3422	4277,5	5133	5988,5	6844

SONIDO 151	Digitación completa	Digitación simplificada
		

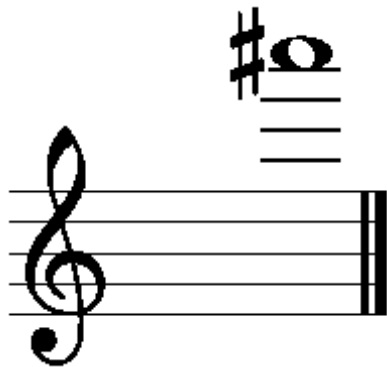
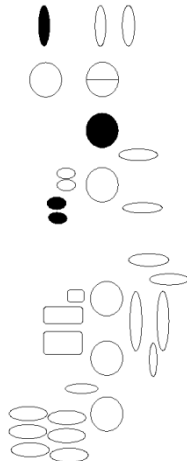
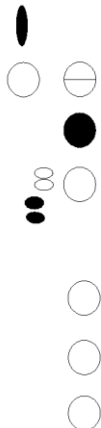
Oscilograma



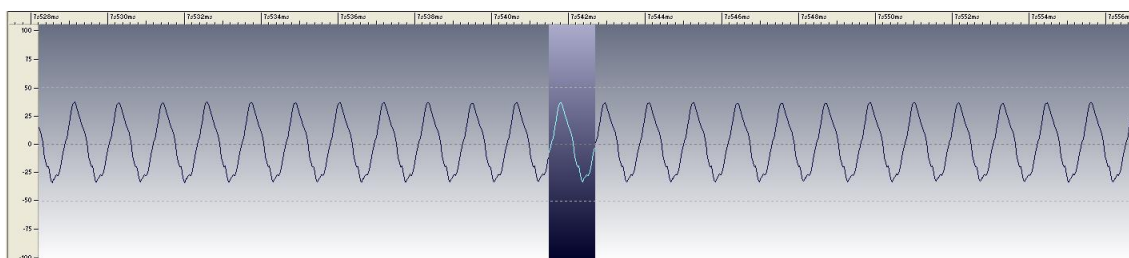
Gráfica FFT



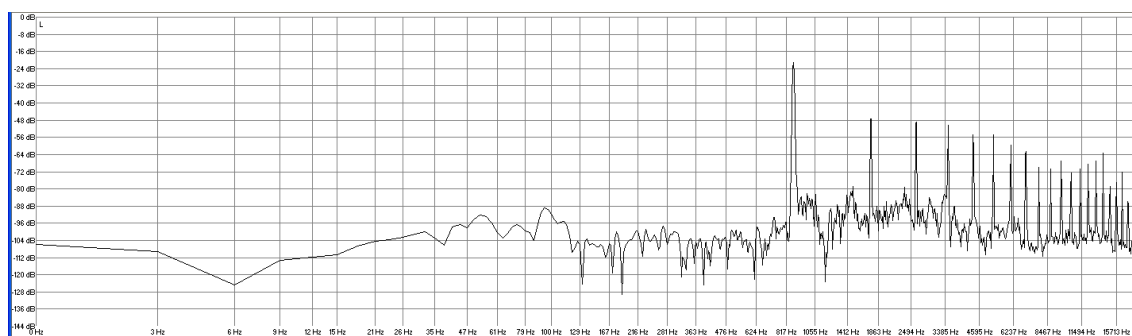
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 151	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-22,6	-26,7	-35,5	-38,9	-55,2	-59,6	-54,8	-61,4
Frecuencia experimental	853,1	1705,2	2558,6	3411,8	4264,7	5118,4	5970,6	6823,4
Frecuencia Teórica	853,1	1706,2	2559,3	3412,4	4265,5	5118,6	5971,7	6824,8

SONIDO 152	Digitación completa	Digitación simplificada
		

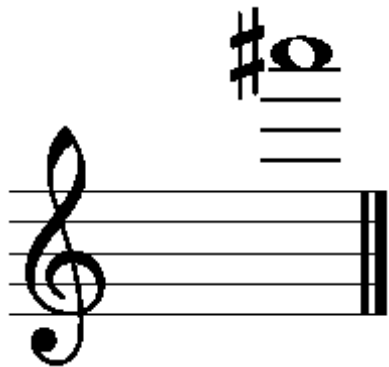
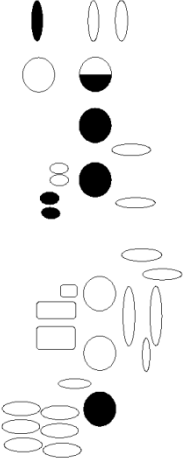

Oscilograma



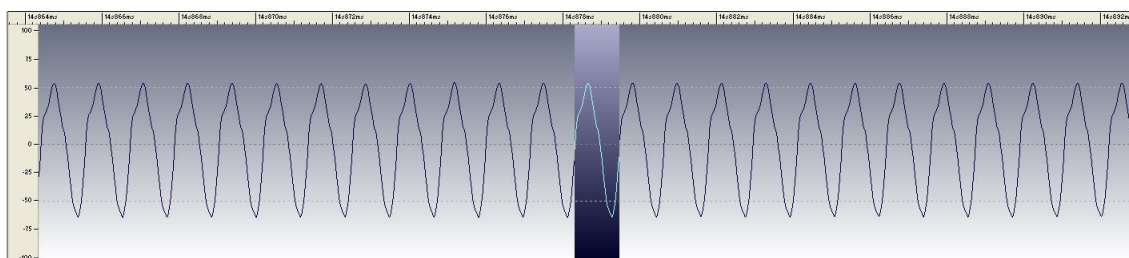
Gráfica FFT



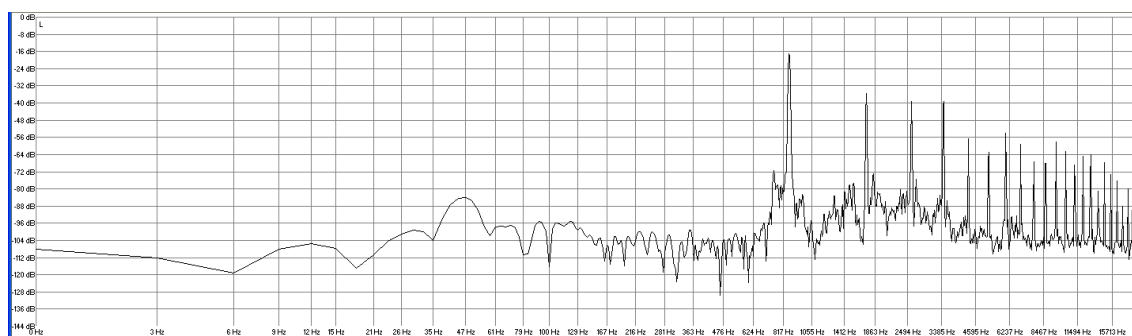
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 152	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-21,1	-47,7	-48,5	-50,7	-54,4	-54,8	-59,2	-62,9
Frecuencia experimental	870,2	1741,7	2613,2	3483,3	4353,6	5225,1	6096,9	6966,9
Frecuencia Teórica	870,2	1740,4	2610,6	3480,8	4351	5221,2	6091,4	6961,6

SONIDO 153	Digitación completa	Digitación simplificada
		

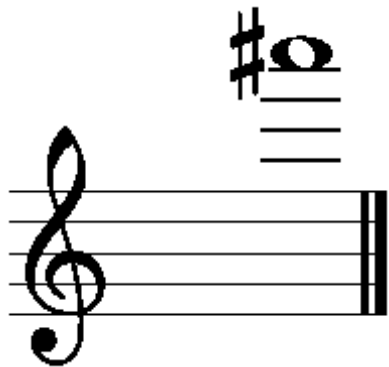
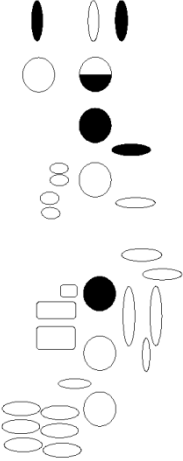
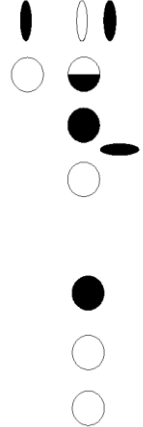
Oscilograma



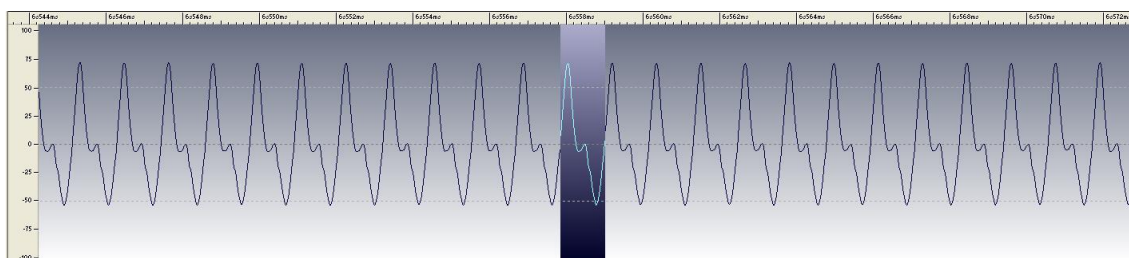
Gráfica FFT



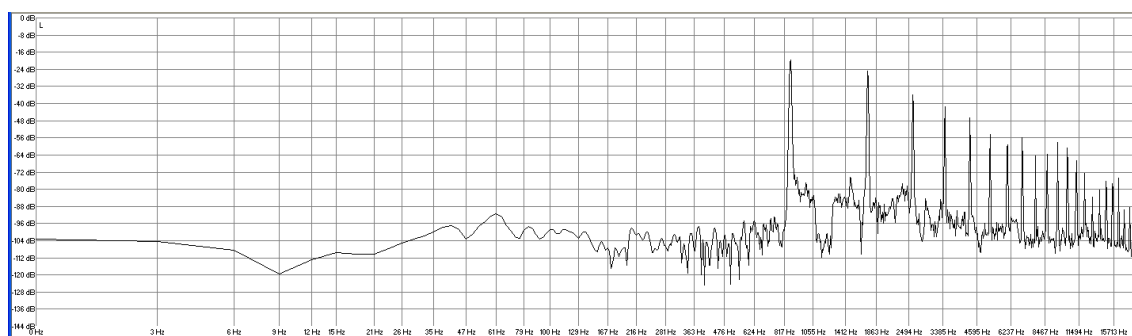
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 153	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17	-35,5	-39,2	-39,2	-56,6	-62,9	-54	-59,2
Frecuencia experimental	861,4	1724	2587,1	3448,7	4309,9	5173,3	6035,4	6896,3
Frecuencia Teórica	861,4	1722,8	2584,2	3445,6	4307	5168,4	6029,8	6891,2

SONIDO 154	Digitación completa	Digitación simplificada
		

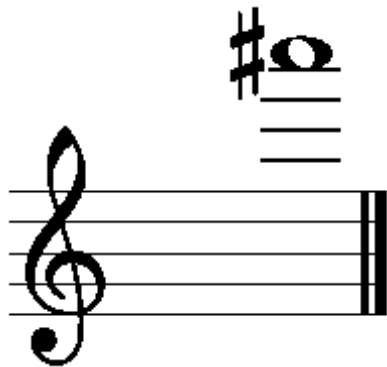
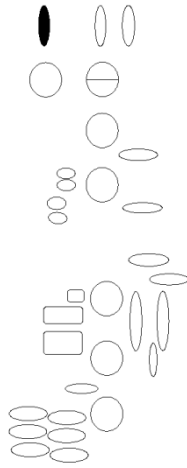

Oscilograma



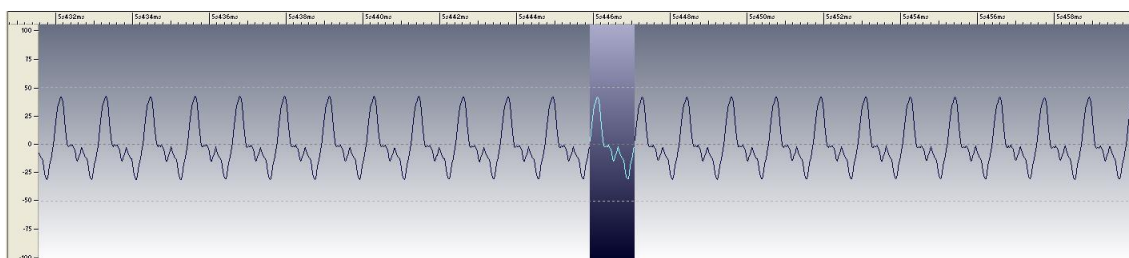
Gráfica FFT



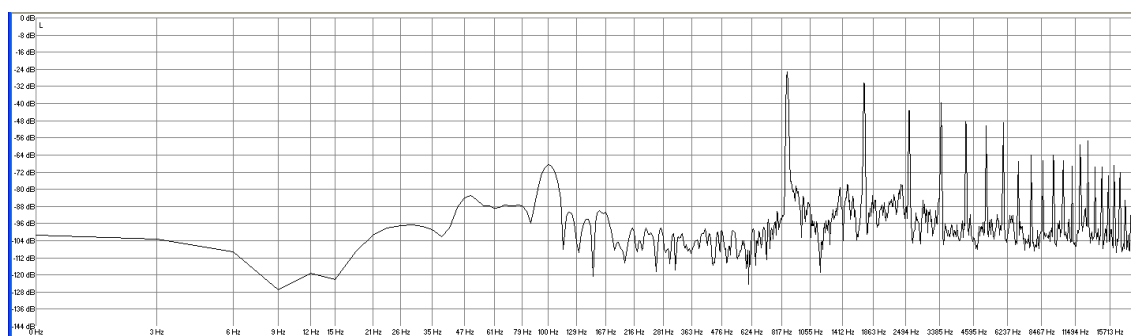
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 154	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-20	-24,8	-35,9	-41,5	-47	-54,4	-59,2	-55,9
Frecuencia experimentalj	864,4	1727,4	2590,1	3453,9	4318,2	5180,4	6047,3	6908,6
Frecuencia Teórica	864,4	1728,8	2593,2	3457,6	4322	5186,4	6050,8	6915,2

SONIDO 155	Digitación completa	Digitación simplificada
		

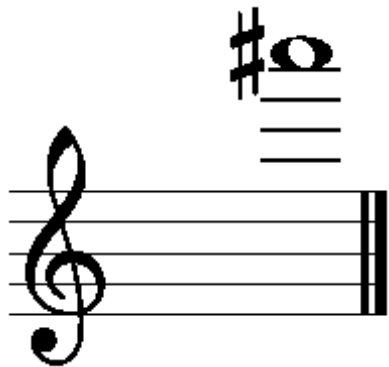
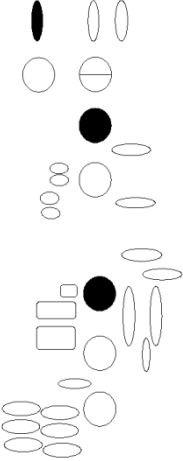

Oscilograma



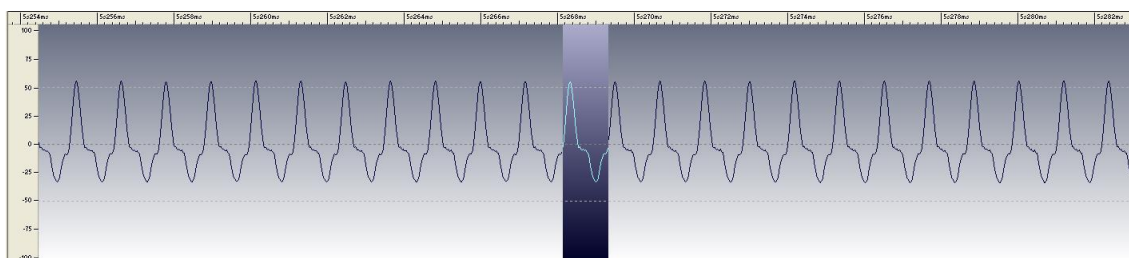
Gráfica FFT



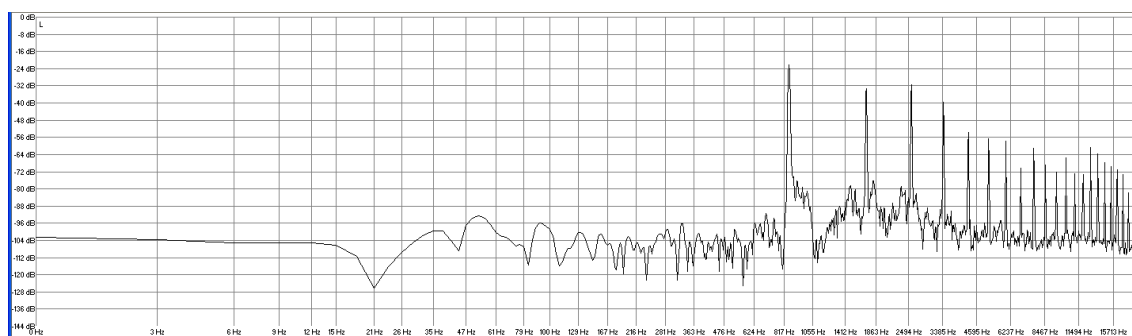
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 155	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-25,2	-30,4	-43,3	-39,6	-48,5	-50,7	-48,9	-67,4
Frecuencia experimental	858,3	1717,3	2577,1	3436,9	4294,9	5153,4	6011,4	6872,7
Frecuencia Teórica	858,3	1716,6	2574,9	3433,2	4291,5	5149,8	6008,1	6866,4

SONIDO 156	Digitación completa	Digitación simplificada
		

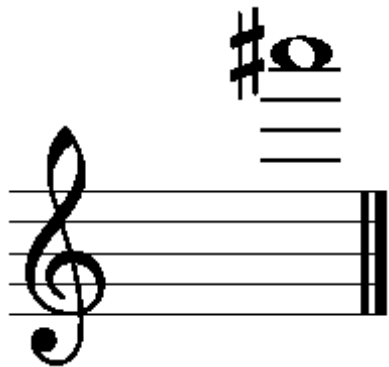
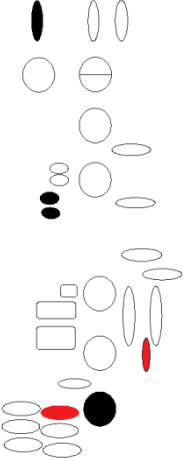
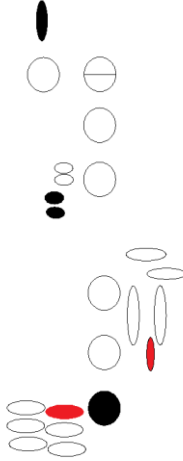
Oscilograma



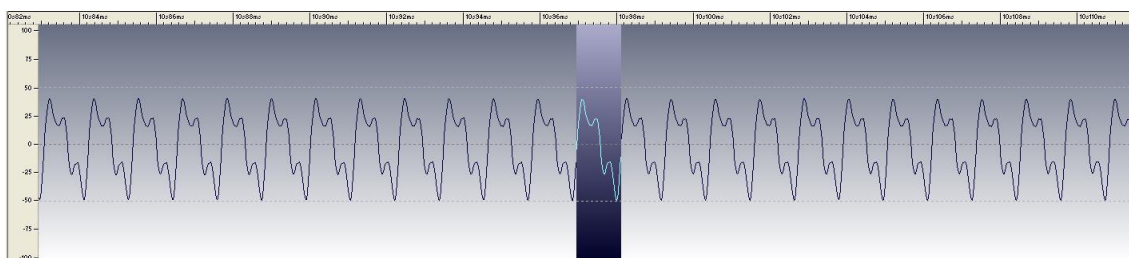
Gráfica FFT



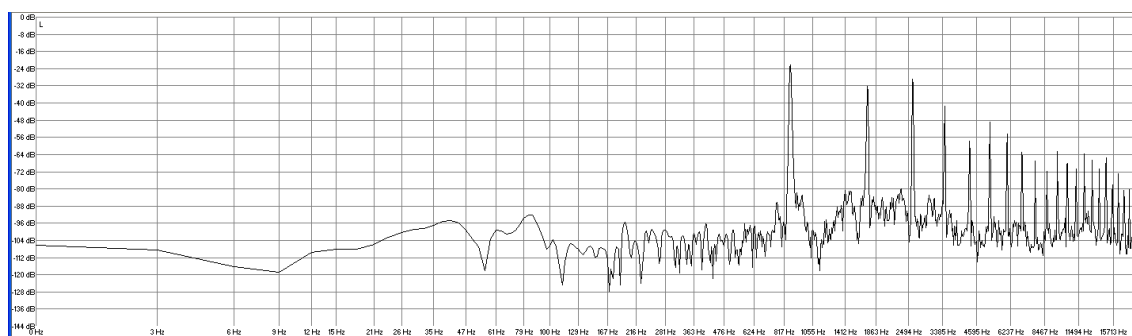
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 156	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-22,2	-33,3	-31,5	-39,6	-53,7	-56,6	-57,4	-70,3
Frecuencia experimental	854,9	1708,4	2563,7	3415,9	4271,1	5127,2	5979,1	6834,7
Frecuencia Teórica	854,9	1709,8	2564,7	3419,6	4274,5	5129,4	5984,3	6839,2

SONIDO 157	Digitación completa	Digitación simplificada
		

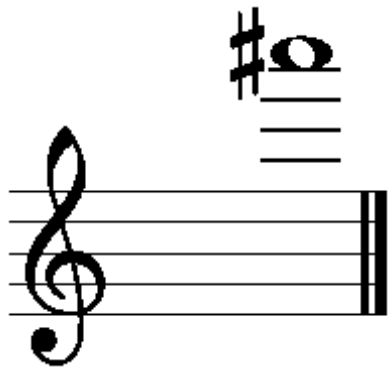
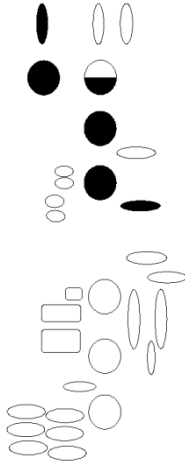

Oscilograma



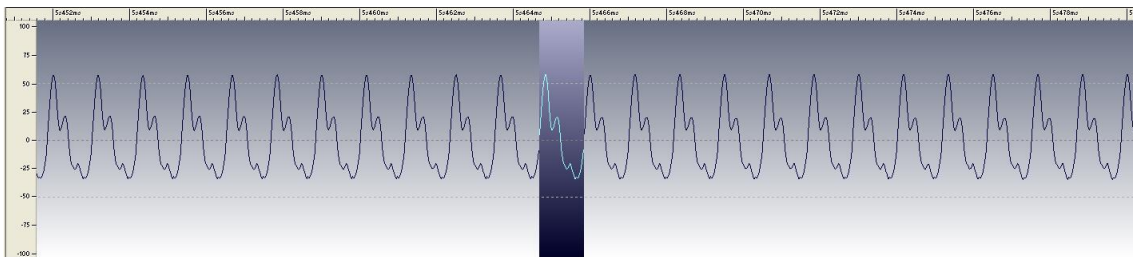
Gráfica FFT



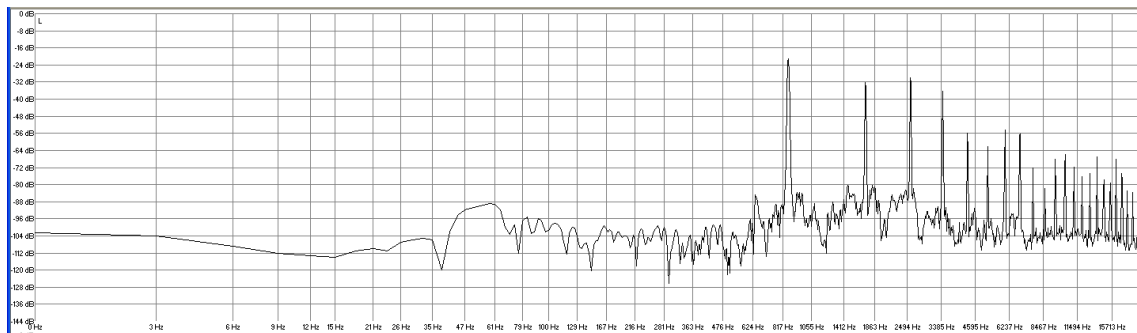
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 157	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-22,2	-32,6	-28,9	-41,8	-57,7	-48,9	-54,4	-62,9
Frecuencia experimental	864,4	1728,8	2592,5	3457	4321,7	5185,7	6049,4	6914,5
Frecuencia Teórica	864,4	1728,8	2593,2	3457,6	4322	5186,4	6050,8	6915,2

SONIDO 158	Digitación completa	Digitación simplificada
		

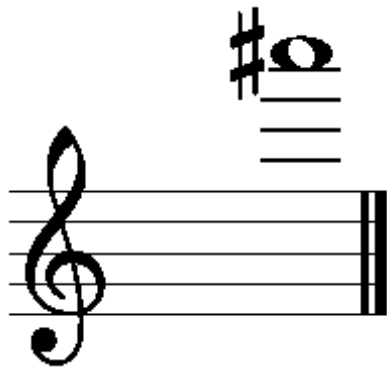
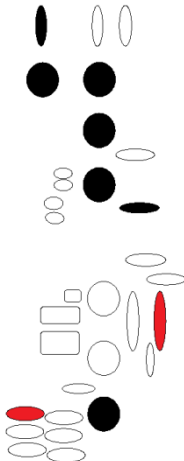

Oscilograma



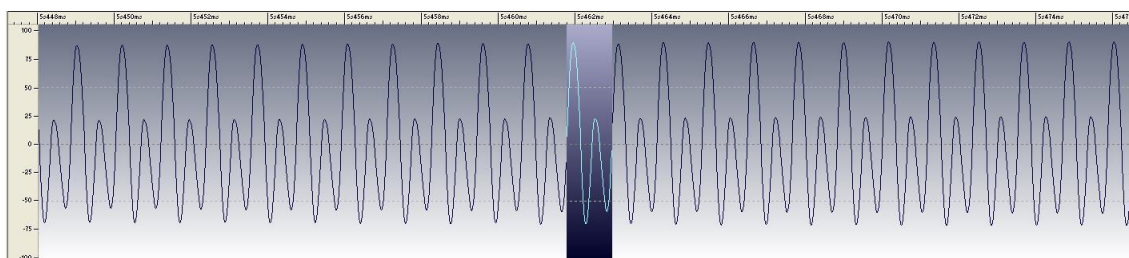
Gráfica FFT



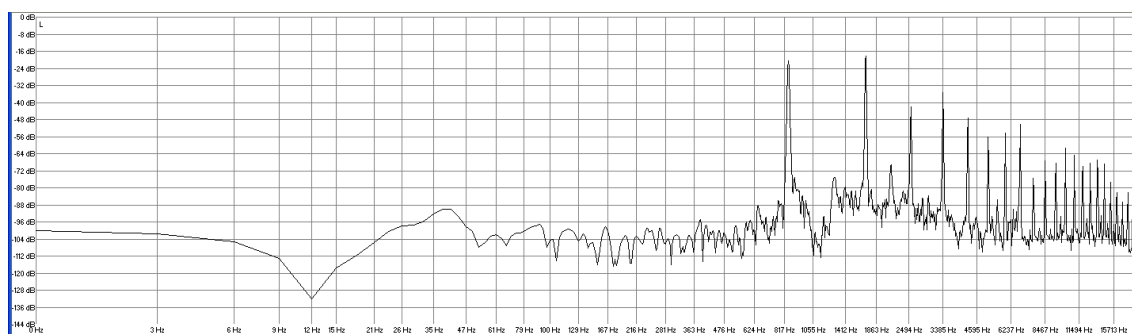
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 158	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-21,5	-32,2	-30	-36,6	-56,3	-62,2	-54,4	-56,3
Frecuencia experimental	858,4	1716,4	2575,1	3434	4291,5	5150,3	6008,8	6867
Frecuencia Teórica	858,4	1716,8	2575,2	3433,6	4292	5150,4	6008,8	6867,2

SONIDO 159	Digitación completa	Digitación simplificada
		

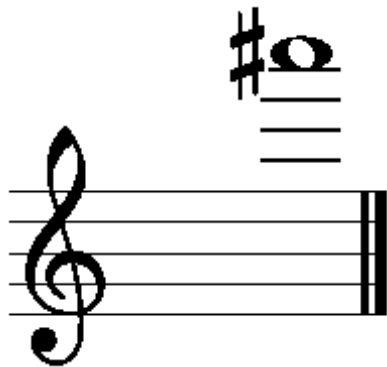
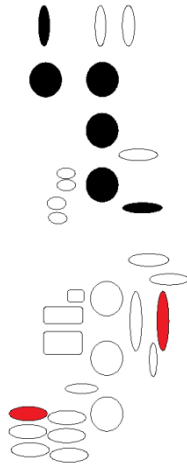
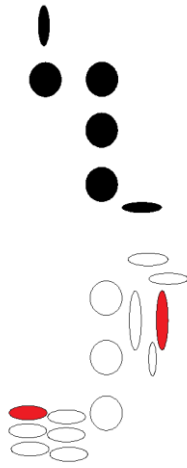
Oscilograma



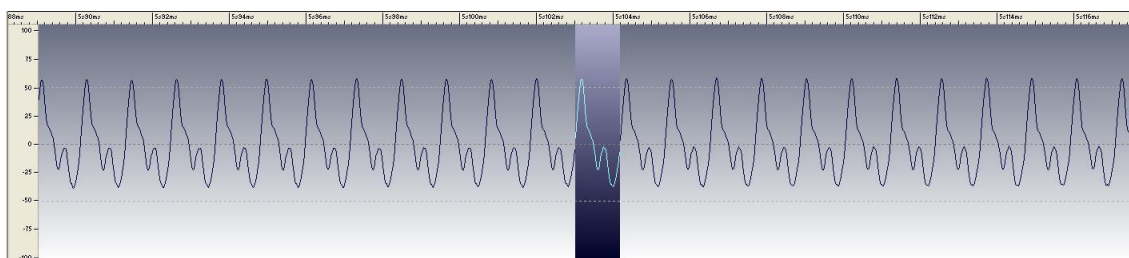
Gráfica FFT



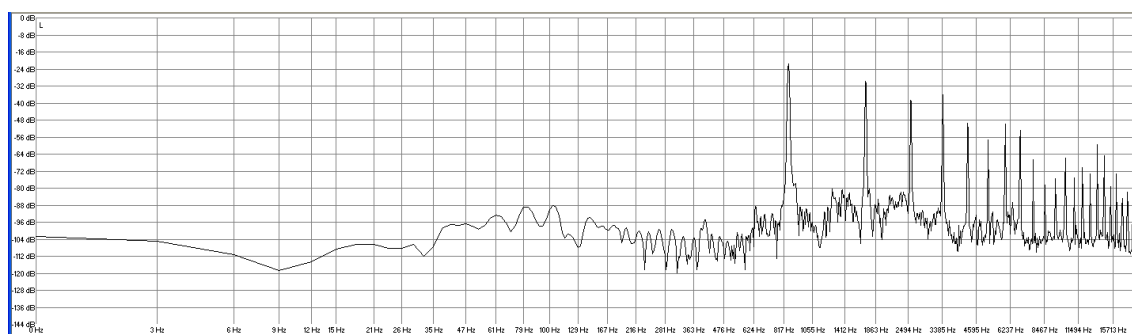
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 159	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-20,5	-18,6	-42	-35,3	-47,3	-56,2	-54,3	-50,2
Frecuencia experimental	849,4	1696	2545,1	3392,8	4241,2	5090	5938,5	6785,3
Frecuencia Teórica	849,4	1698,8	2548,2	3397,6	4247	5096,4	5945,8	6795,2

SONIDO 160	Digitación completa	Digitación simplificada
		

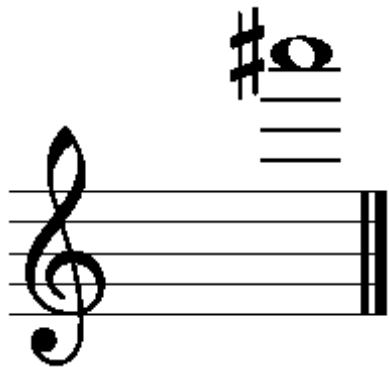
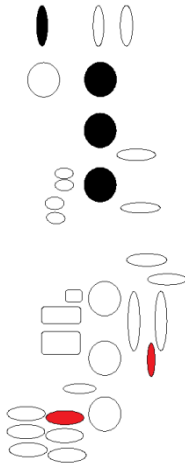
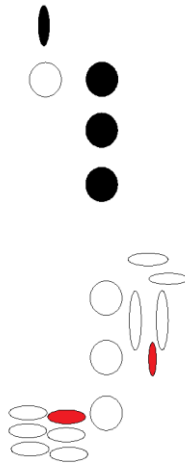
Oscilograma



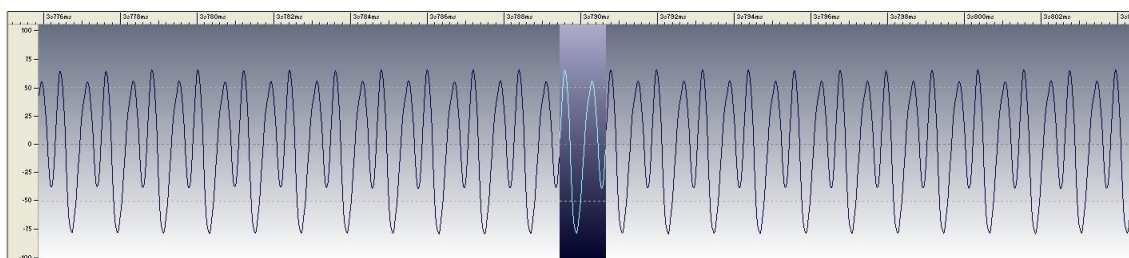
Gráfica FFT



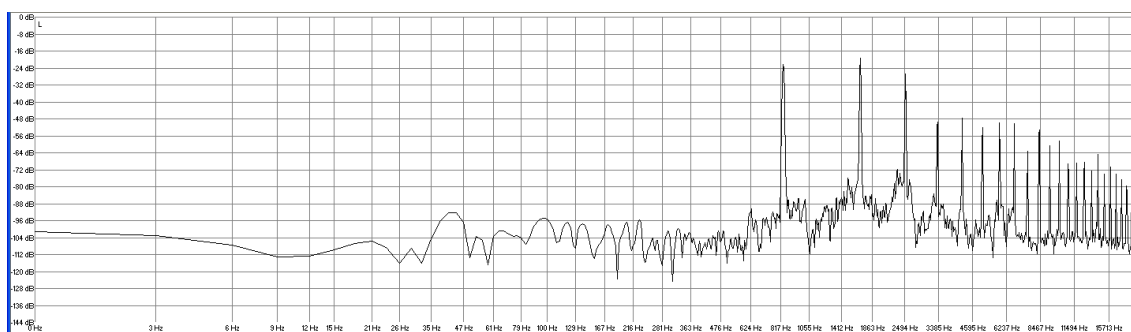
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 160	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-22	-30,1	-38,7	-36,1	-49,5	-57,3	-50,2	-52,5
Frecuencia experimental	852,4	1705,1	4558,2	3411,5	4264,7	5118,4	5970,6	6823,4
Frecuencia Teórica	852,4	1704,8	2557,2	3409,6	4262	5114,4	5966,8	6819,2

SONIDO 161	Digitación completa	Digitación simplificada
		

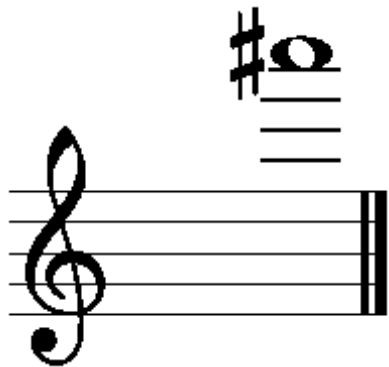
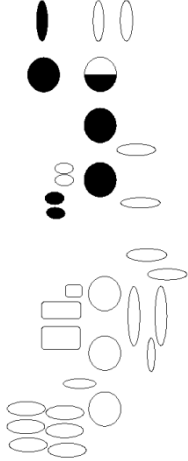

Oscilograma



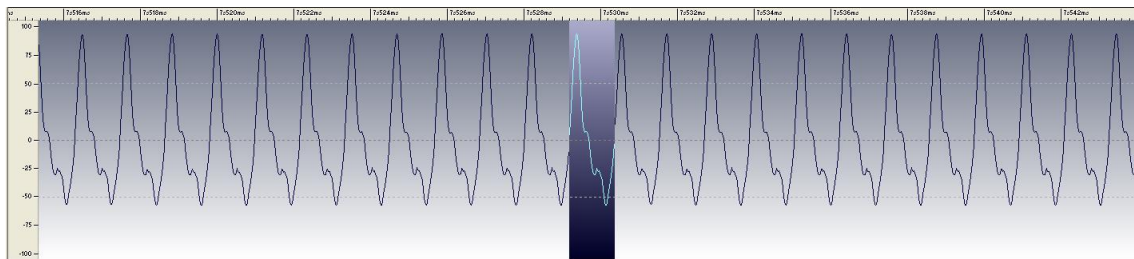
Gráfica FFT



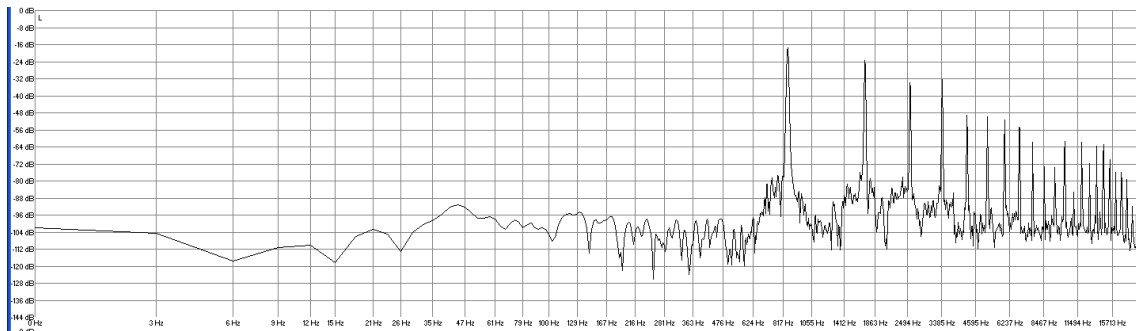
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 161	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-22,3	-19,3	-26,8	-49,9	-47,6	-52,2	-49,9	-50,2
Frecuencia experimental	838,1	1675,7	2513,9	3351,4	4189,5	5027,3	5865,6	6702,8
Frecuencia Teórica	838,1	1676,2	2514,3	3352,4	4190,5	5028,6	5866,7	6704,8

SONIDO 162	Digitación completa	Digitación simplificada
		

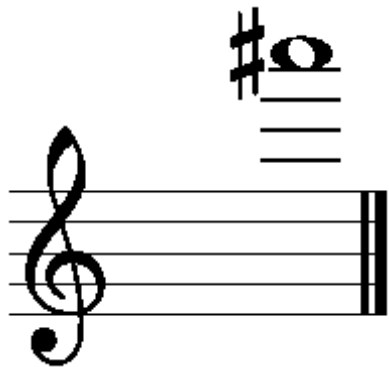
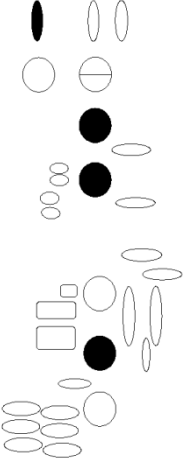

Oscilograma



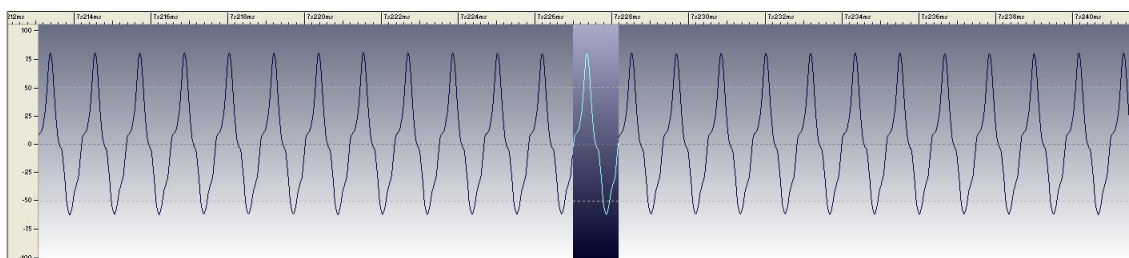
Gráfica FFT



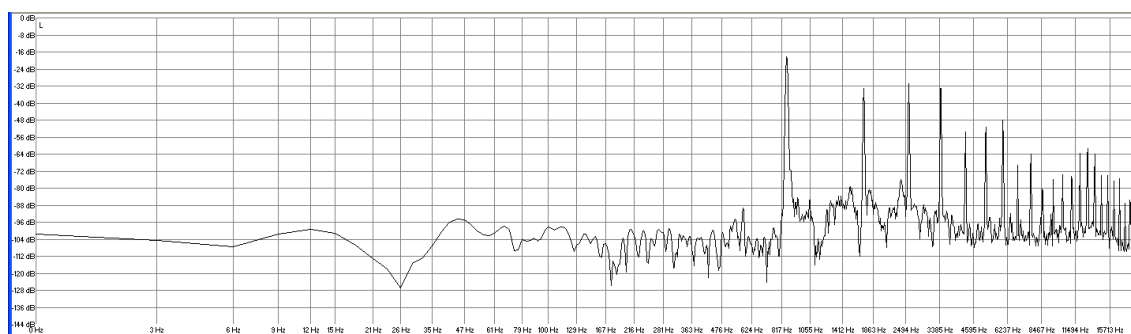
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 162	1 ^{er} arm	2º arm	3 ^{er} arm	4º arm	5º arm	6º arm	7º arm	8º arm
dB	-17,9	-23,4	-33,5	-32,4	-49,1	-49,9	-51	-54,3
Frecuencia experimental	852,6	1705,2	2558,5	3410,9	4262,3	5115	5967	6817,1
Frecuencia Teórica	852,6	1705,2	2557,8	3410,4	4263	5115,6	5968,2	6820,8

SONIDO 163	Digitación completa	Digitación simplificada
		

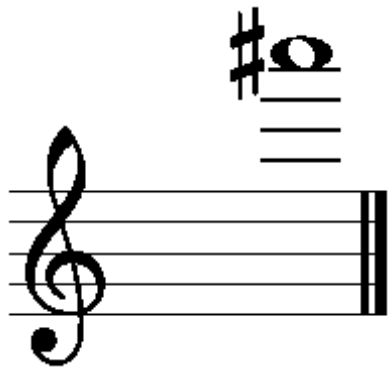
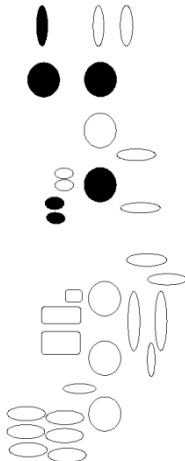

Oscilograma



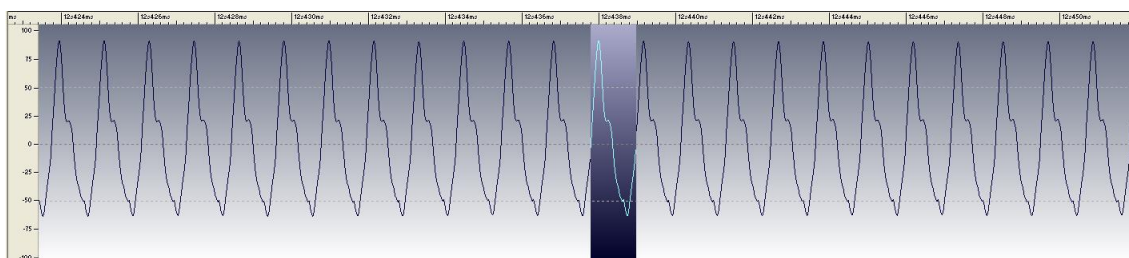
Gráfica FFT



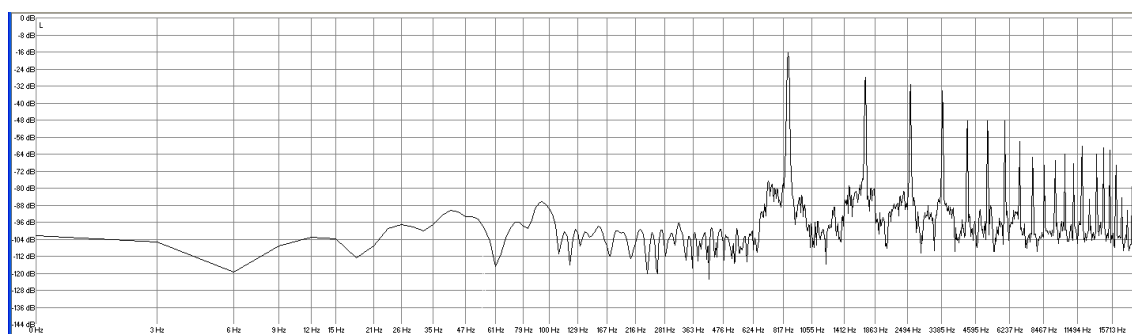
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 163	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,2	-33,1	-30,9	-32,7	-53,6	-51,7	-48	-69,2
Frecuencia experimental	855,6	1711,2	2566,7	3423,6	4278,8	5136	5990,9	6846,5
Frecuencia Teórica	855,6	1711,2	2566,8	3422,4	4278	5133,6	5989,2	6844,8

SONIDO 164	Digitación completa	Digitación simplificada
		

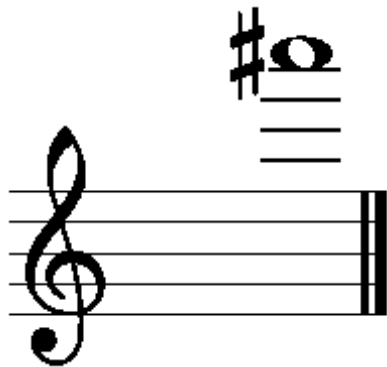
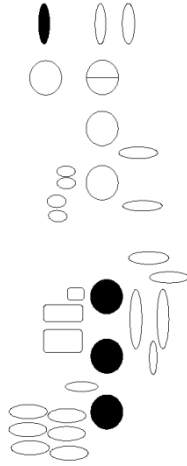

Oscilograma



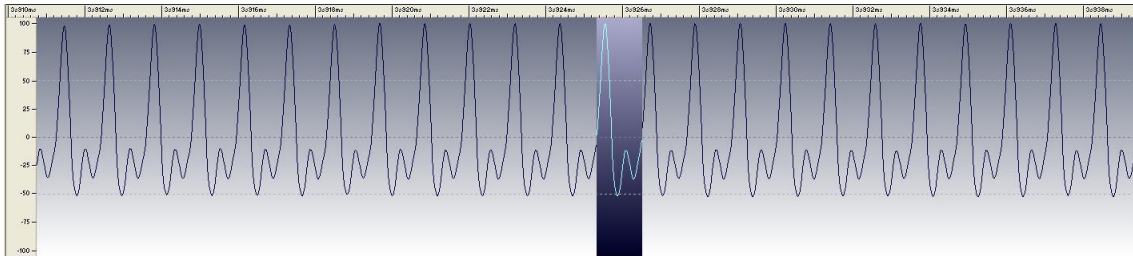
Gráfica FFT



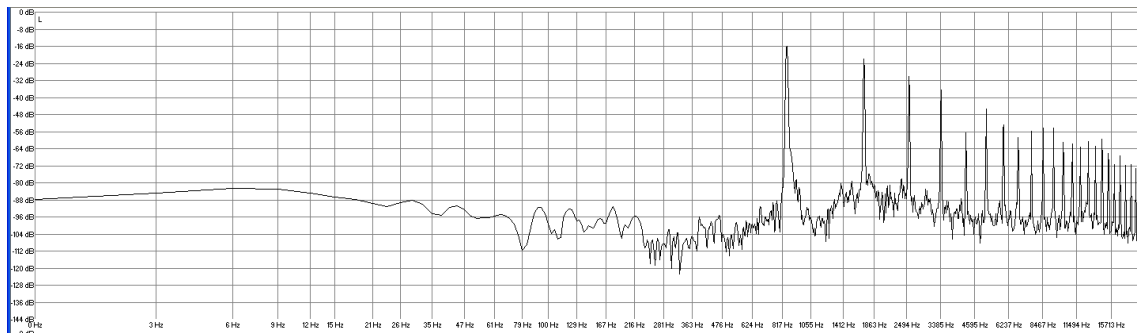
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 164	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16,4	-28,3	-31,3	-34,2	-48,4	-48,4	-48	-58,4
Frecuencia experimental	855,6	1708,1	2563,5	3419,1	4271,1	5127,4	5980,3	6834,7
Frecuencia Teórica	855,6	1711,2	2566,8	3422,4	4278	5133,6	5989,2	6844,8

SONIDO 165	Digitación completa	Digitación simplificada
		


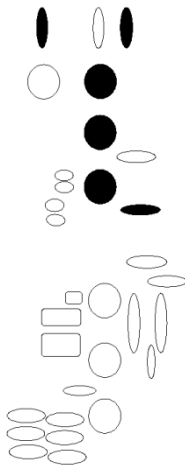

Oscilograma



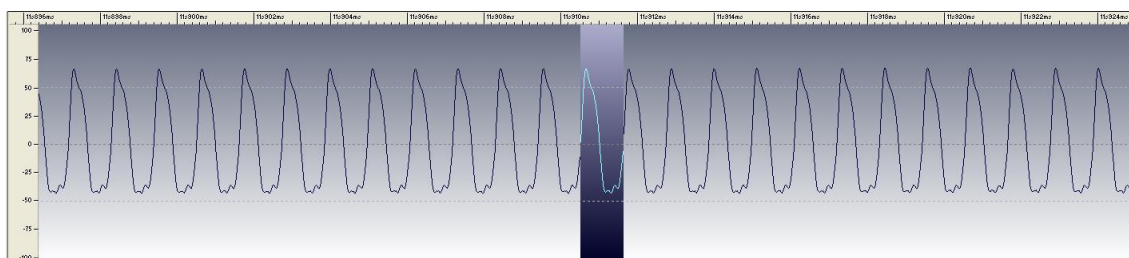
Gráfica FFT



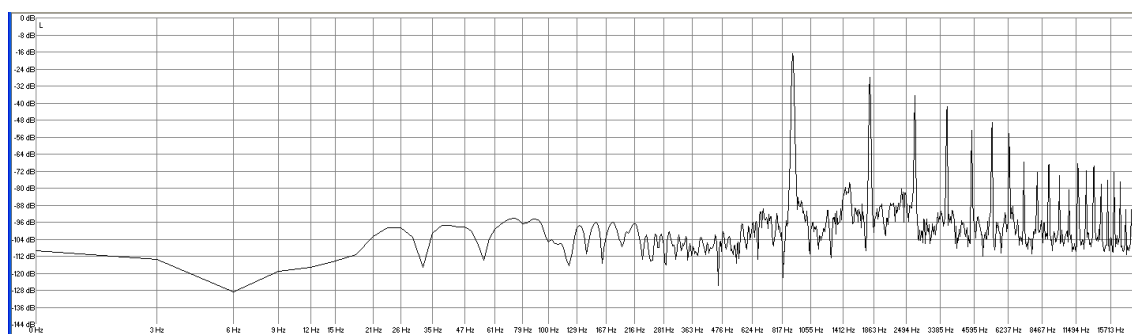
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 165	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16	-22	-30,1	-36,5	-56,6	-45,4	-52,8	-58,8
Frecuencia experimental	851,8	1701,7	2554,5	3404,5	4257	5107,9	5958,8	6811,3
Frecuencia Teórica	851,8	1703,6	2555,4	3407,2	4259	5110,8	5962,6	6814,4

SONIDO 166	Digitación completa	Digitación simplificada
		


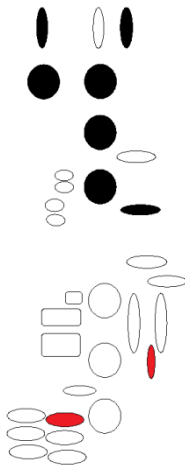

Oscilograma



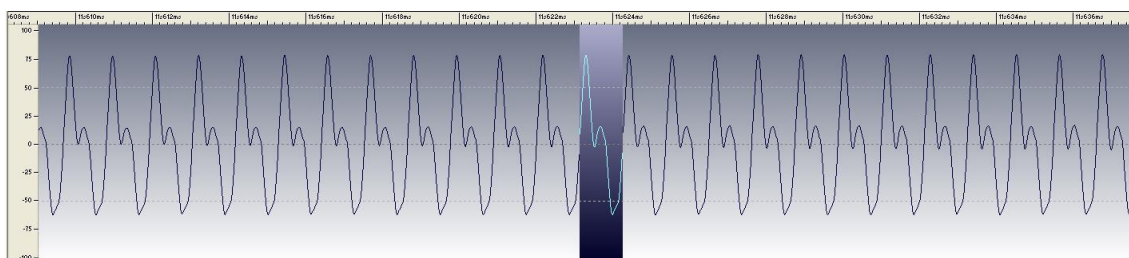
Gráfica FFT



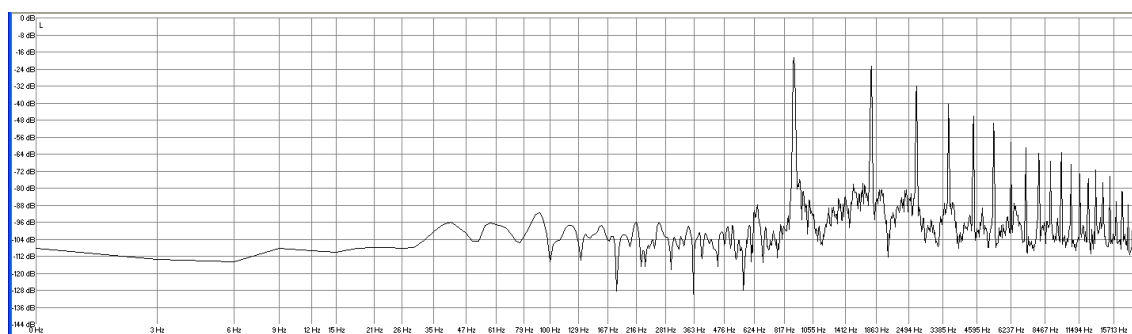
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 166	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,1	-28,3	-36,5	-41,7	-52,8	-49,5	-54,3	-67,3
Frecuencia experimental	899,4	1799,3	2699,1	3599,9	4498,5	5399,3	6298,7	7197,7
Frecuencia Teórica	899,4	1798,8	2698,2	3597,6	4497	5396,4	6295,8	7195,2

SONIDO 167	Digitación completa	Digitación simplificada
		


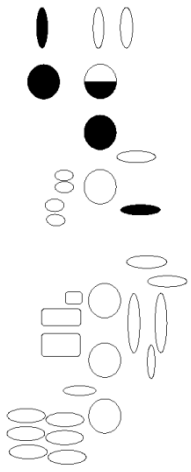
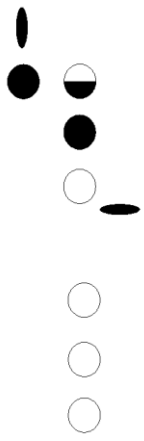
Oscilograma



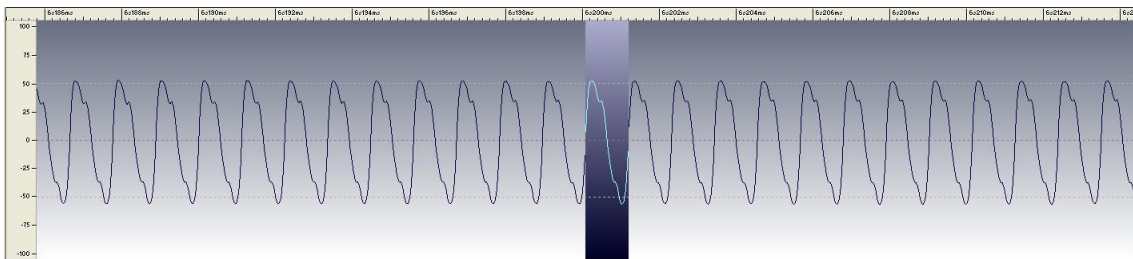
Gráfica FFT



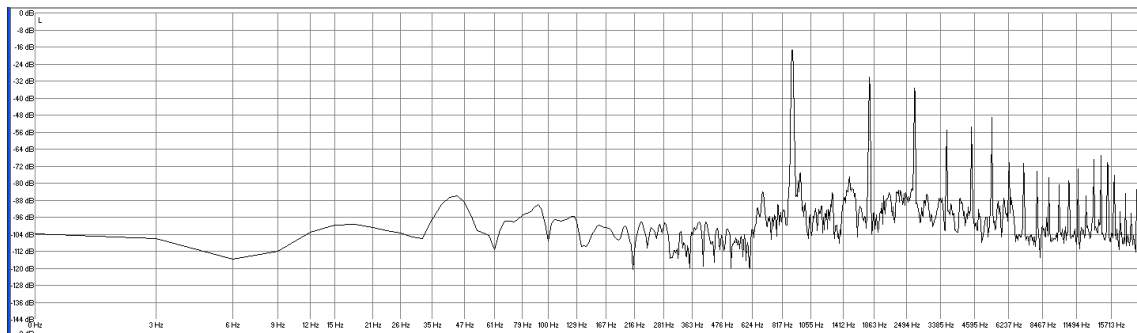
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 167	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,6	-22,7	-32	-40,2	-46,1	-48,7	-58,4	-61
Frecuencia experimental	890,6	1783,3	2674	3565,8	4456,9	5349,6	6240	7130,4
Frecuencia Teórica	890,6	1781,2	2671,8	3562,4	4453	5343,6	6234,2	7124,8

SONIDO 168	Digitación completa	Digitación simplificada
		


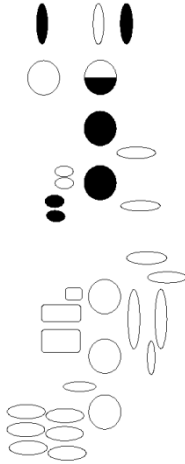

Oscilograma



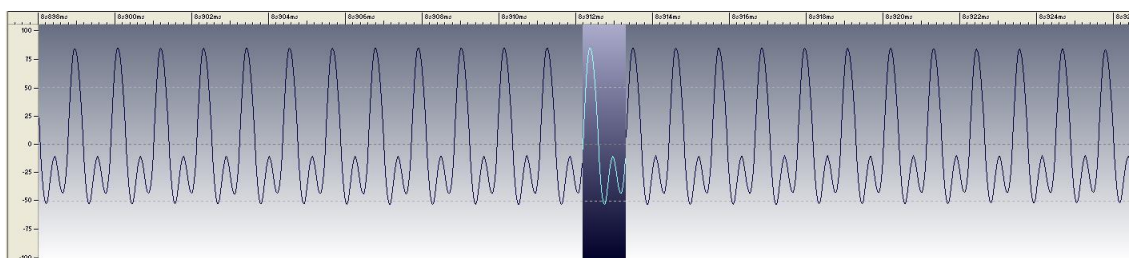
Gráfica FFT



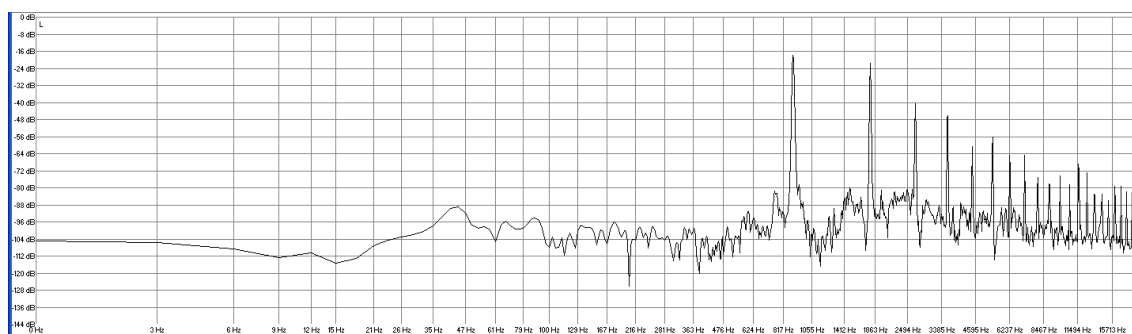
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 168	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,1	-30,1	-35,3	-55,4	-54	-49,1	-71,1	-71,1
Frecuencia experimental	895,3	1790,4	2686,3	3579,8	4476,8	5371,6	6266,6	7163,1
Frecuencia Teórica	895,3	1790,6	2685,9	3581,2	4476,5	5371,8	6267,1	7162,4

SONIDO 169	Digitación completa	Digitación simplificada
		


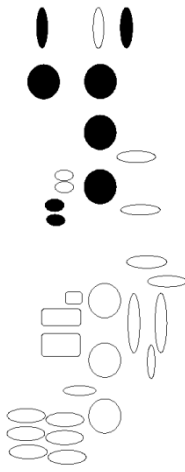

Oscilograma



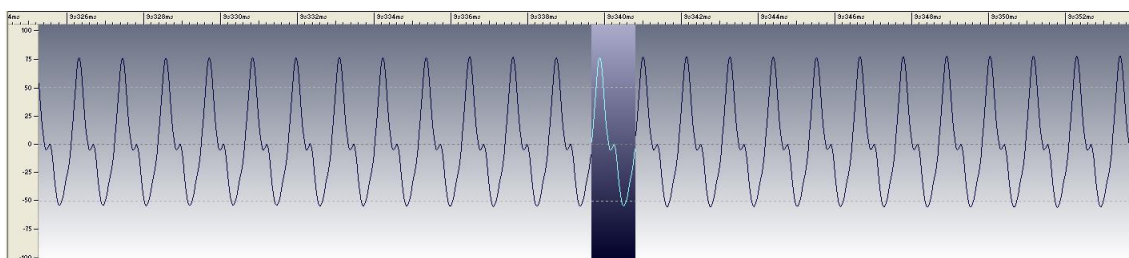
Gráfica FFT



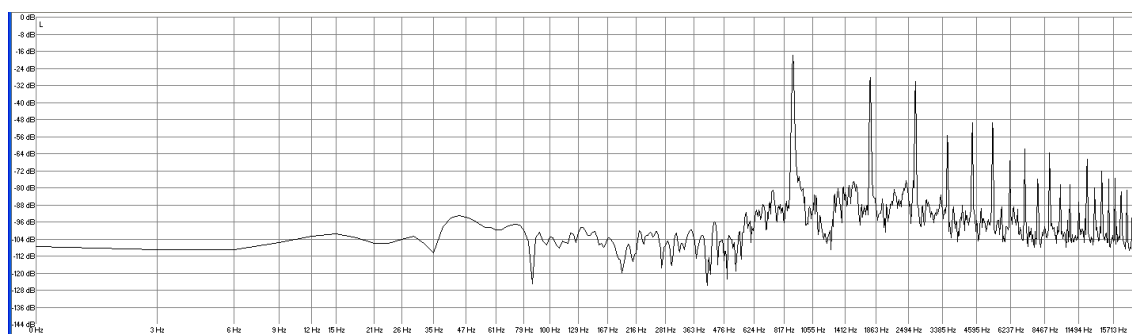
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 169	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,2	-22	-40,9	-46,5	-60,7	-56,6	-64,7	-64,7
Frecuencia experimental	893,6	1787,5	2680,3	3574,5	4468	5360,4	6254,9	7146,9
Frecuencia Teórica	893,6	1787,2	2680,8	3574,4	4468	5361,6	6255,2	7148,8

SONIDO 170	Digitación completa	Digitación simplificada
		


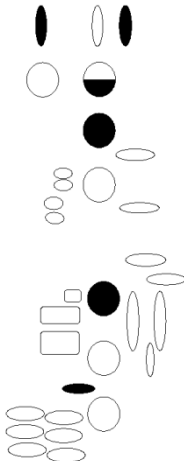

Oscilograma



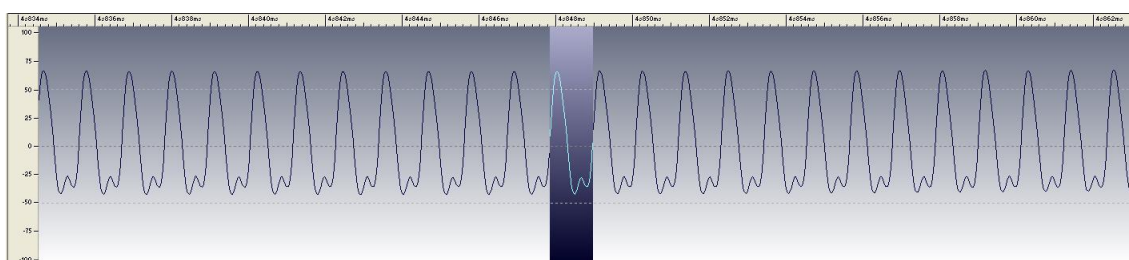
Gráfica FFT



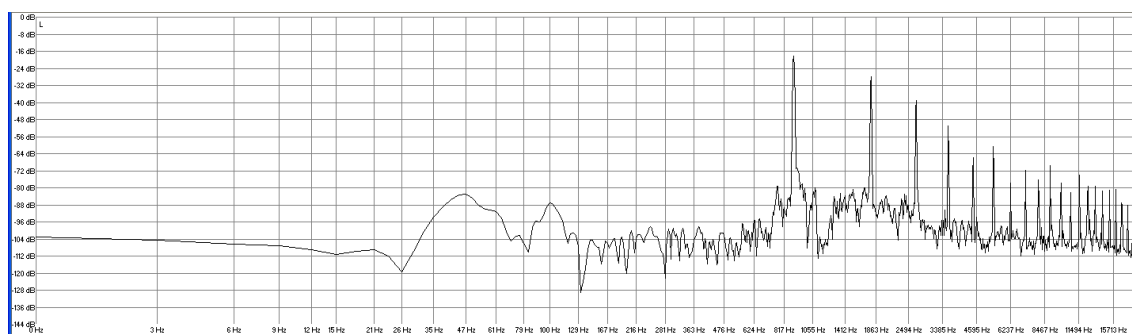
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 170	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,9	-28,3	-30,1	-55,4	-49,5	-49,5	-67,3	-61,8
Frecuencia experimental	884,9	1770,6	2656,9	3542,1	4426,8	5311,6	6196,3	7083,9
Frecuencia Teórica	884,9	1769,8	2654,7	3539,6	4424,5	5309,4	6194,3	7079,2

SONIDO 171	Digitación completa	Digitación simplificada
		


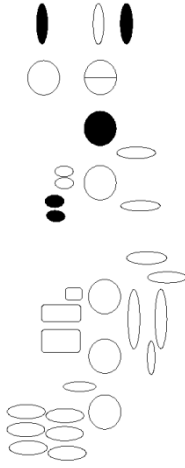
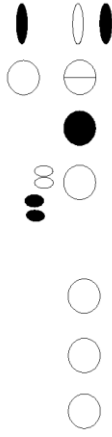
Oscilograma



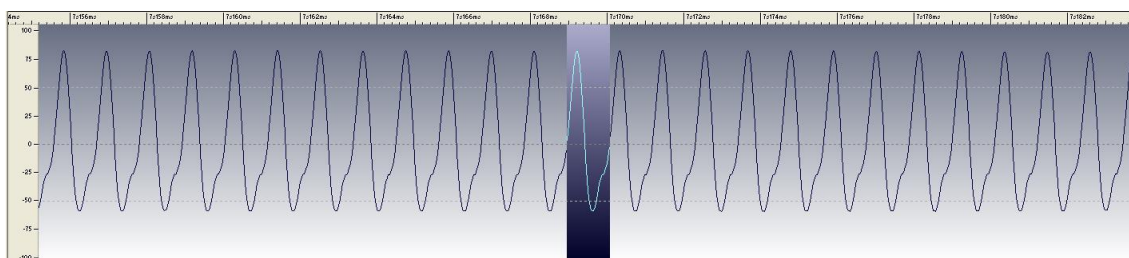
Gráfica FFT



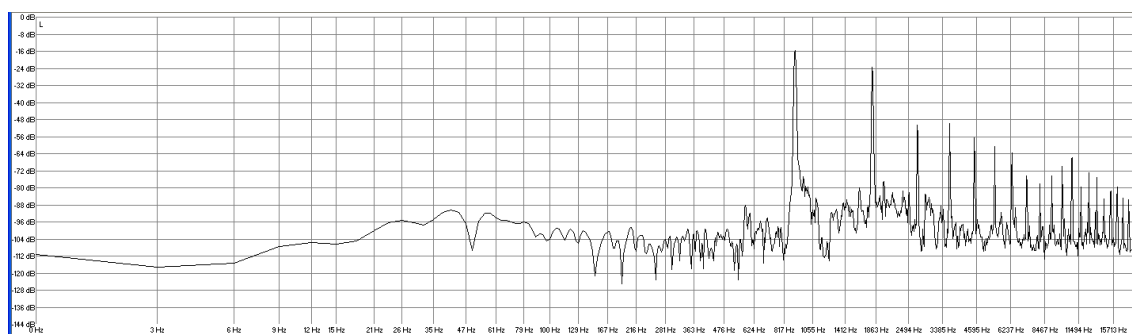
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 171	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,6	-27,9	-39,1	-51	-65,9	-60,7	-77,8	-72,2
Frecuencia experimental	890,8	1783,1	2673,8	3565,6	4455,9	5346,8	6238	7130,6
Frecuencia Teórica	890,8	1781,6	2672,4	3563,2	4454	5344,8	6235,6	7126,4

SONIDO 172	Digitación completa	Digitación simplificada
		


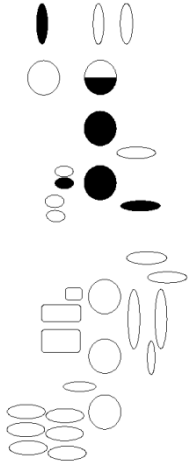
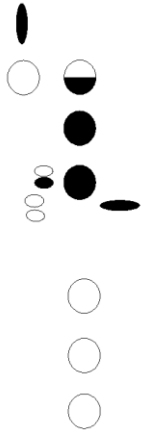
Oscilograma



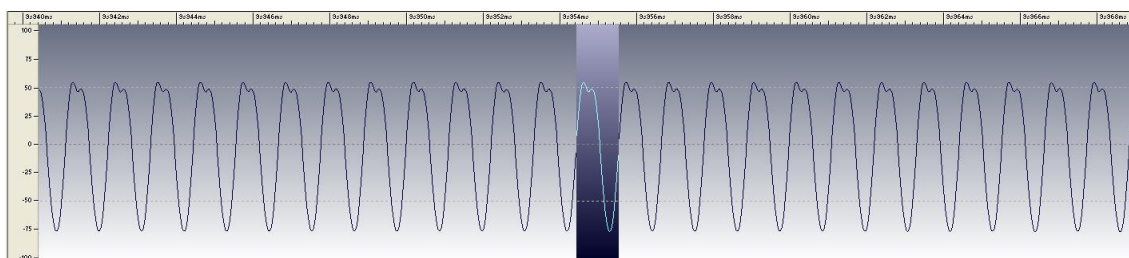
Gráfica FFT



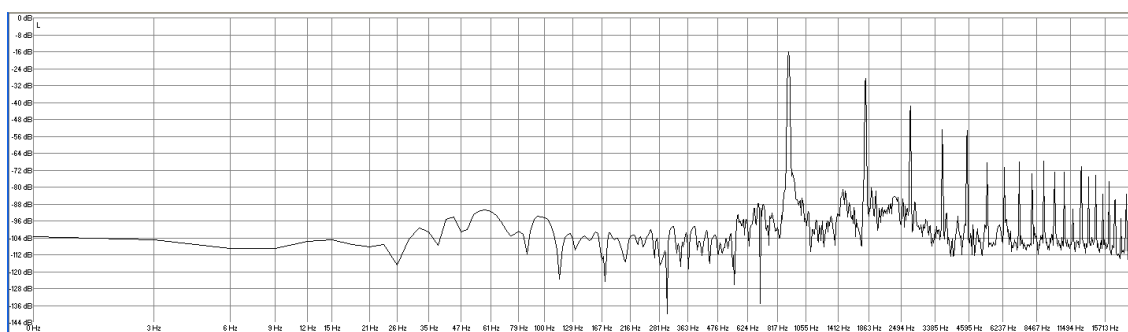
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 172	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-15,6	-23,8	-51	-49,9	-56,6	-61	-64,4	-74,8
Frecuencia experimental	902,5	1804,4	2704,4	3606	4508,8	5411,1	6313,6	7214,9
Frecuencia Teórica	902,5	1805	2707,5	3610	4512,5	5415	6317,5	7220

SONIDO 173	Digitación completa	Digitación simplificada
		


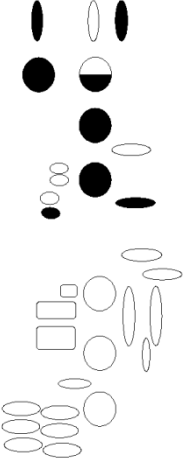
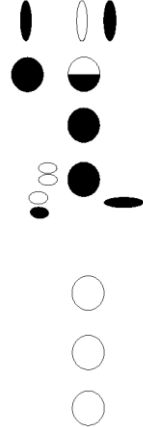
Oscilograma



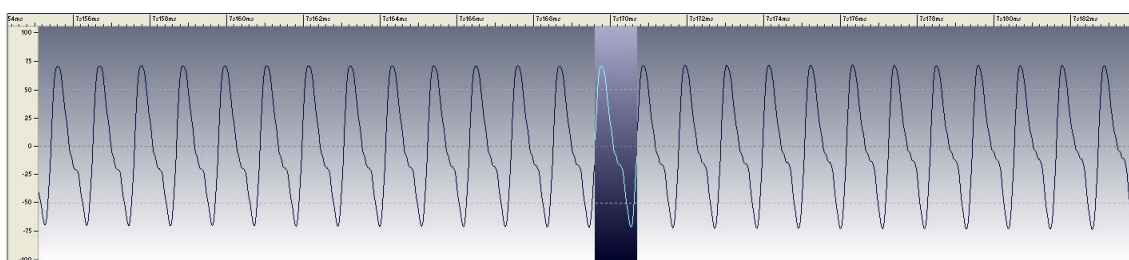
Gráfica FFT



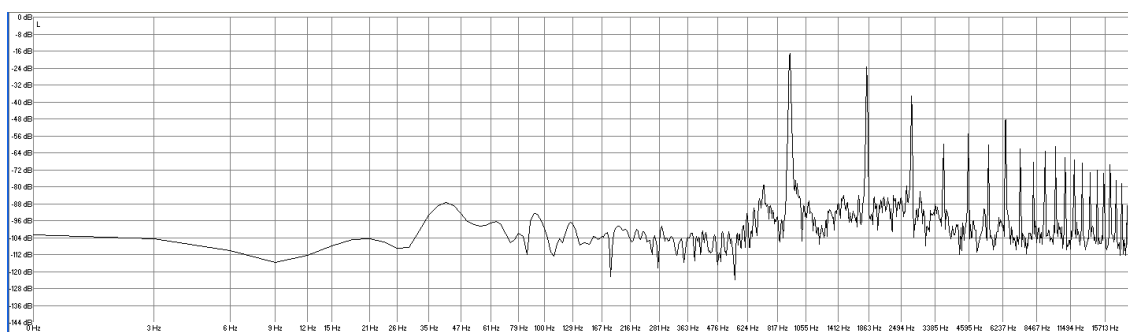
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 173	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16	-29	-41,7	-52,8	-53,6	-68,8	-71,1	-68,5
Frecuencia experimental	904,4	1807,2	2712,1	3615,6	4518,5	5422	6325	7231,1
Frecuencia Teórica	904,4	1808,8	2713,2	3617,6	4522	5426,4	6330,8	7235,2

SONIDO 174	Digitación completa	Digitación simplificada
		


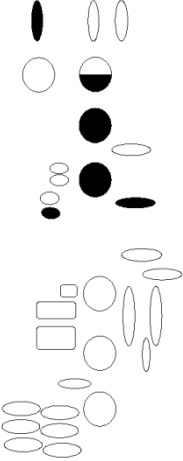
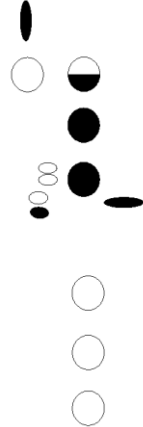
Oscilograma



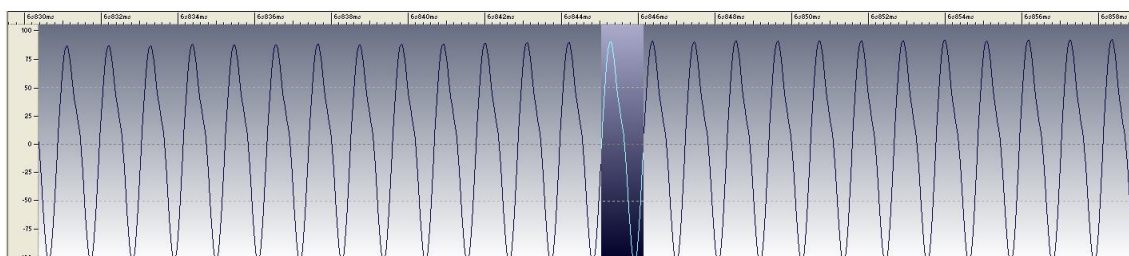
Gráfica FFT



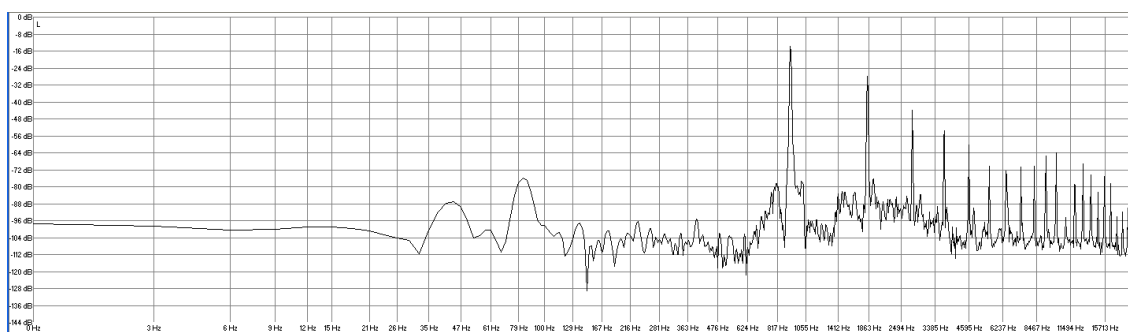
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 174	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16,7	-23,1	-36,8	-59,9	-55,1	-60,3	-48,4	-62,5
Frecuencia experimental	913,3	1827	2743,3	3654,8	4568,6	5482,2	6395,9	7308,4
Frecuencia Teórica	913,3	1826,6	2739,9	3653,2	4566,5	5479,8	6393,1	7306,4

SONIDO 175	Digitación completa	Digitación simplificada
		


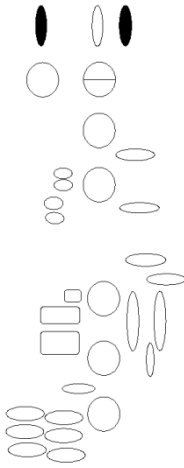

Oscilograma



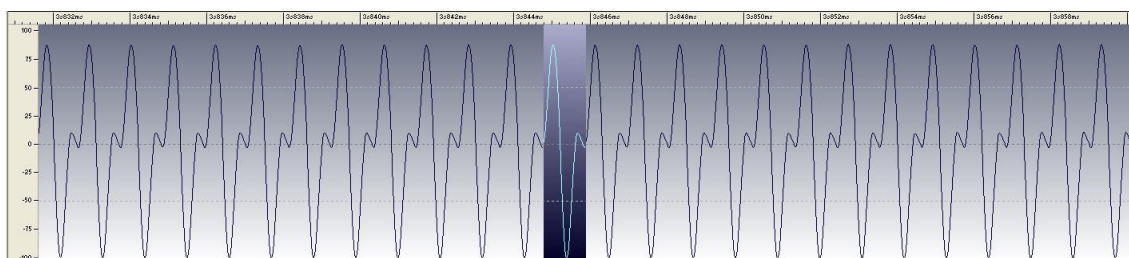
Gráfica FFT



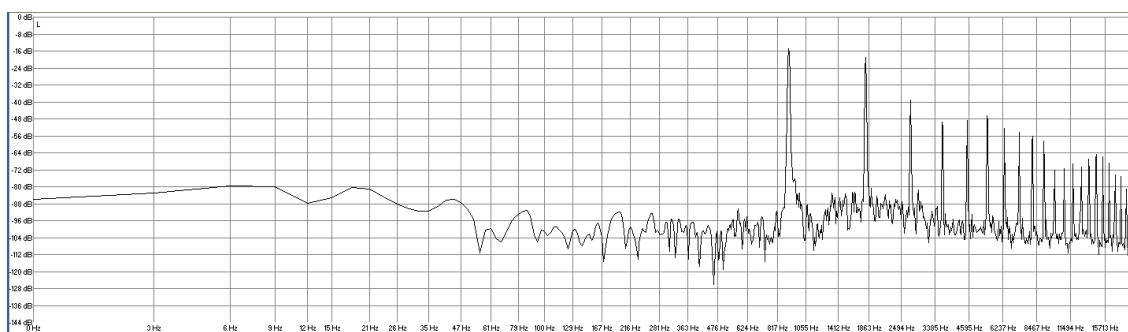
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 175	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-13,8	-28,3	-43,5	-54	-60,3	-70,7	-72,2	-71,1
Frecuencia experimental	919	1838,3	2759,9	3677,3	4598	5516	6438	7356,5
Frecuencia Teórica	919	1838	2757	3676	4595	5514	6433	7352

SONIDO 176	Digitación completa	Digitación simplificada
		


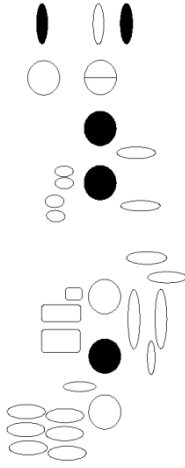

Oscilograma



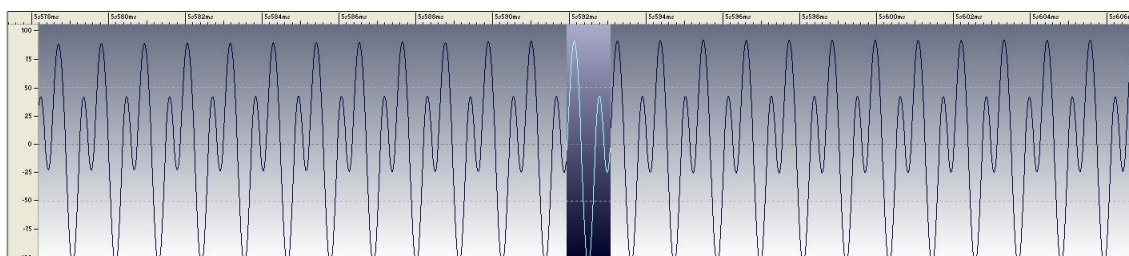
Gráfica FFT



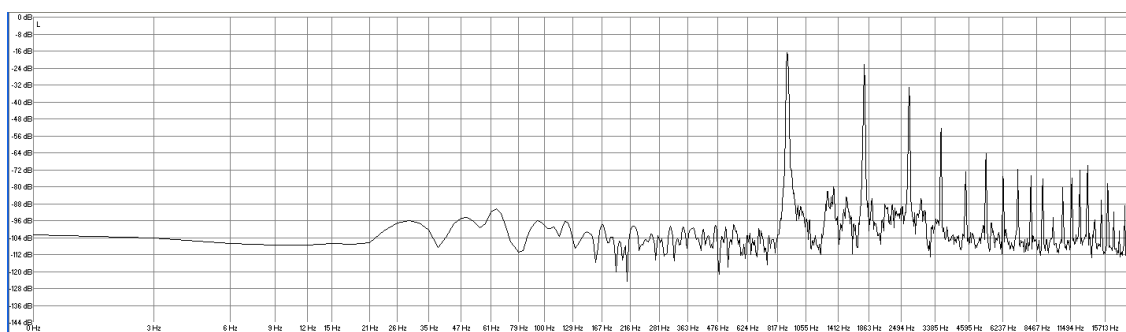
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 176	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-15,3	-19,3	-39,1	-49,5	-49,1	-46,9	-52,5	-54,7
Frecuencia experimental	904,7	1808,8	2711,7	3616,3	4524,7	5429,3	6335,6	7239,5
Frecuencia Teórica	904,7	1809,4	2714,1	3618,8	4523,5	5428,2	6332,9	7237,6

SONIDO 177	Digitación completa	Digitación simplificada
		


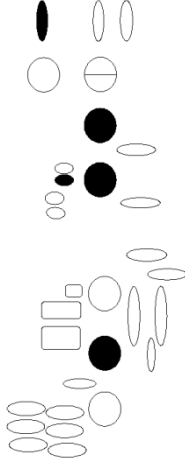
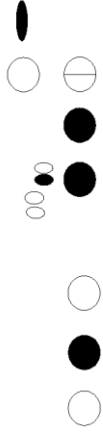
Oscilograma



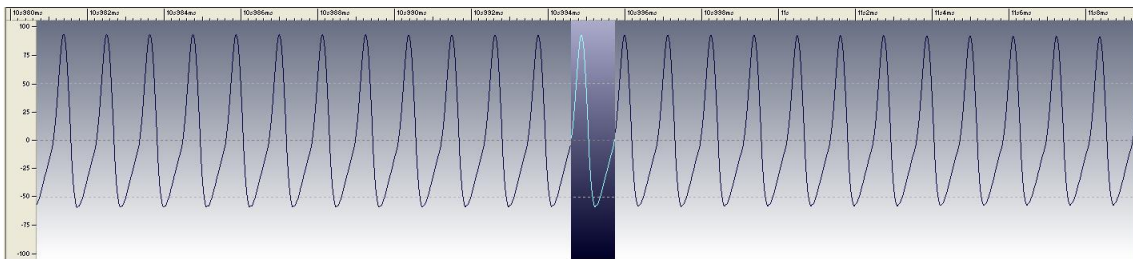
Gráfica FFT



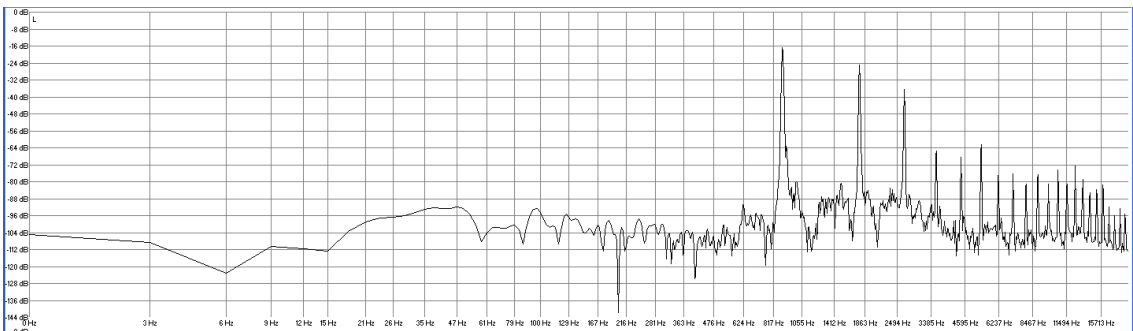
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 177	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16,7	-22	-32,7	-52,1	-72,9	-64	-75,5	-71,8
Frecuencia experimental	893,8	1784,3	2681	3577,2	4469,1	5363,2	6259,4	7152,3
Frecuencia Teórica	893,8	1787,6	2681,4	3575,2	4469	5362,8	6256,6	7150,4

SONIDO 178	Digitación completa	Digitación simplificada
		


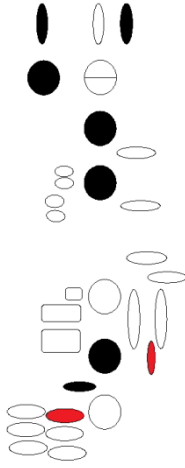
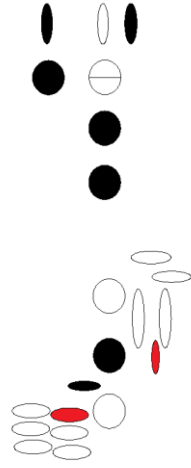
Oscilograma



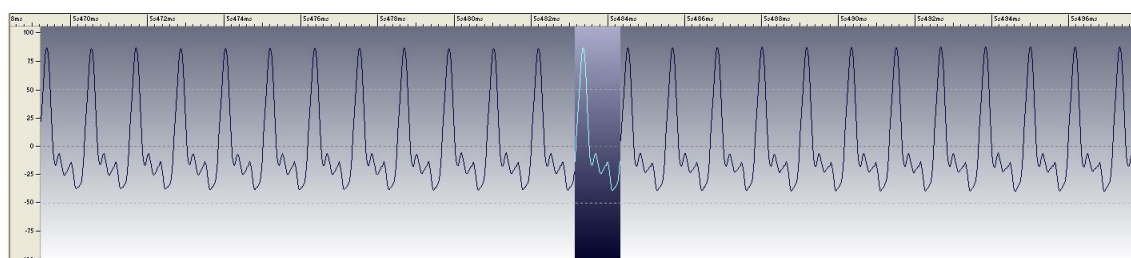
Gráfica FFT



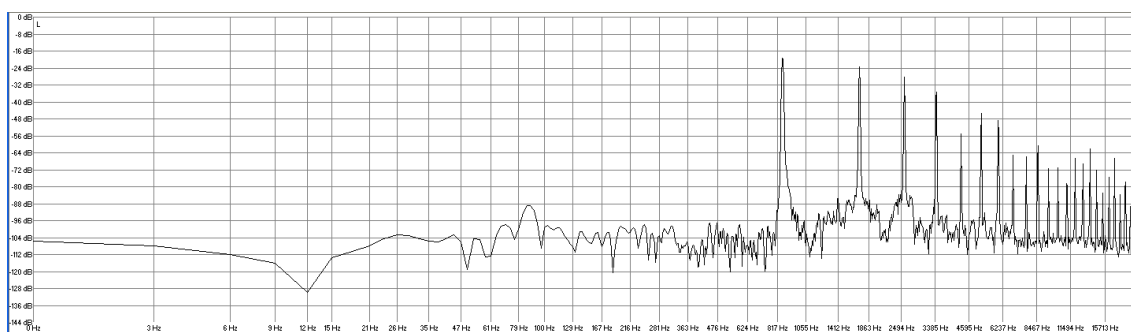
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 178	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,1	-24,2	-36,5	-65,5	-68,5	-62,9	-76,7	-76,3
Frecuencia experimental	887,6	1775,5	2662	3548	4435,1	5320,2	6208,9	7093,4
Frecuencia Teórica	887,6	1775,2	2662,8	3550,4	4438	5325,6	6213,2	7100,8

SONIDO 179	Digitación completa	Digitación simplificada
		


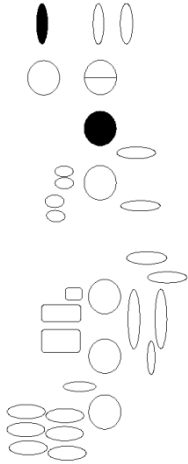

Oscilograma



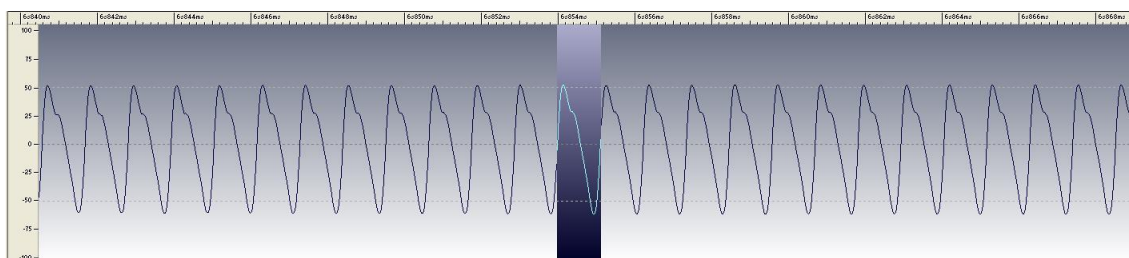
Gráfica FFT



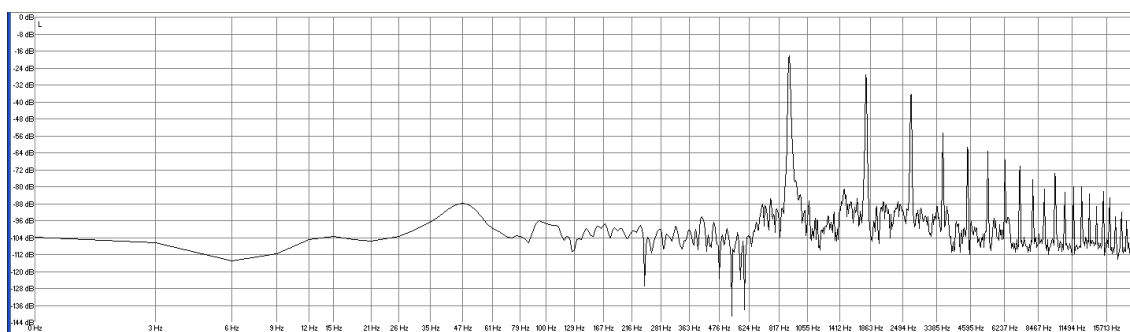
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 179	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-19,3	-23,8	-28,7	-35,7	-55,1	-45,8	-48,7	-65,5
Frecuencia experimental	855,8	1712,3	2569,6	3426,1	4282,3	5138,6	5994,2	6849,4
Frecuencia Teórica	855,8	1711,6	2567,4	3423,2	4279	5134,8	5990,6	6846,4

SONIDO 180	Digitación completa	Digitación simplificada
		


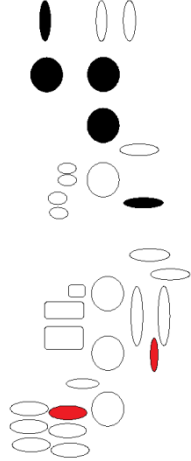
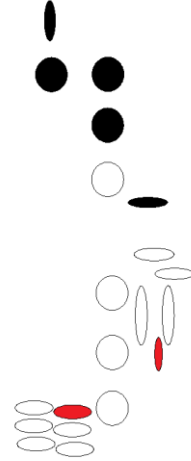
Oscilograma



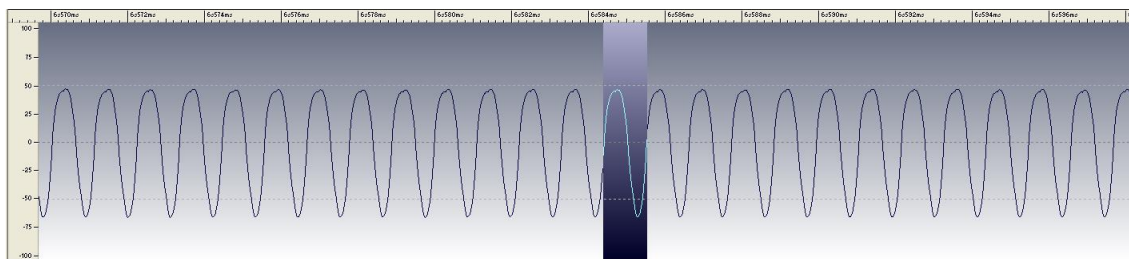
Gráfica FFT



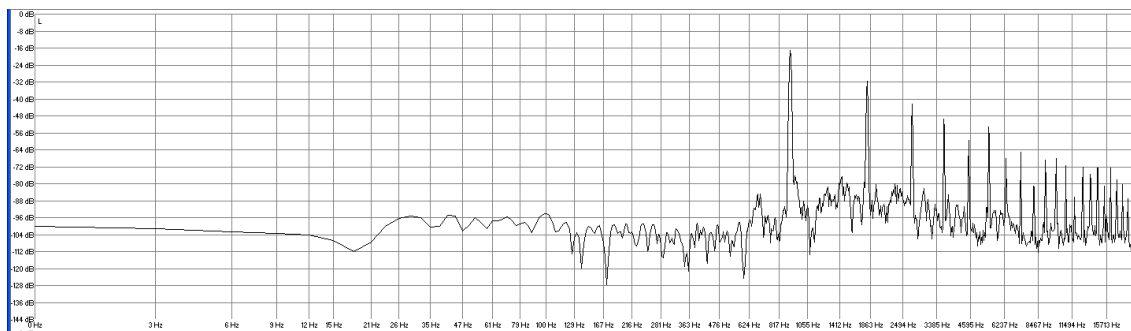
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 180	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,2	-27,2	-36,5	-54,7	-61,8	-63,6	-67,3	-70,3
Frecuencia experimental	896,3	1793,4	2689,4	3581	4483,2	5376	6274,4	7169,5
Frecuencia Teórica	896,3	1792,6	2688,9	3585,2	4481,5	5377,8	6274,1	7170,4

SONIDO 181	Digitación completa	Digitación simplificada
		


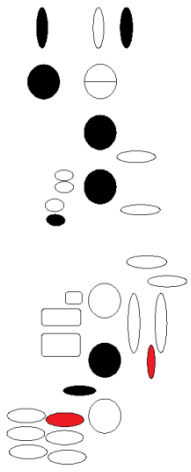
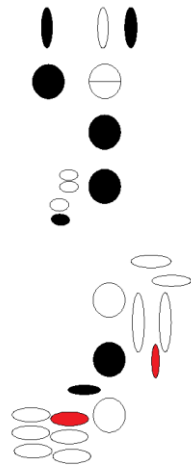
Oscilograma



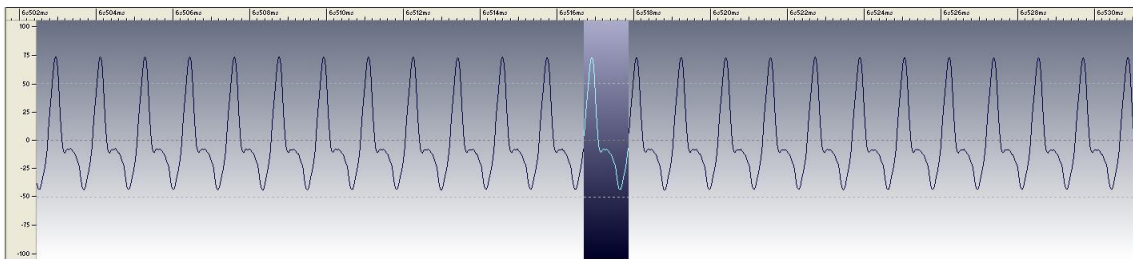
Gráfica FFT



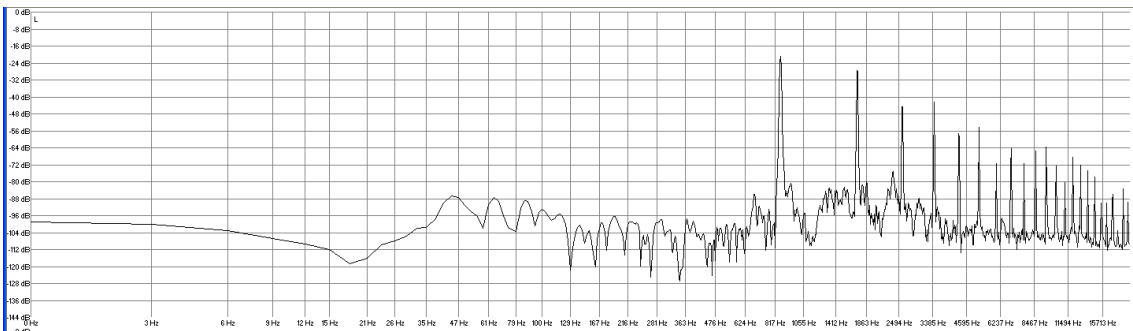
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 181	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16,7	-31,6	-42,2	-49,5	-59,5	-52,8	-68,1	-65,5
Frecuencia experimental	905,1	1811	2713,7	3618	4523,5	5428,3	6333,7	7239,1
Frecuencia Teórica	905,1	1810,2	2715,3	3620,4	4525,5	5430,6	6335,7	7240,8

SONIDO 182	Digitación completa	Digitación simplificada
		


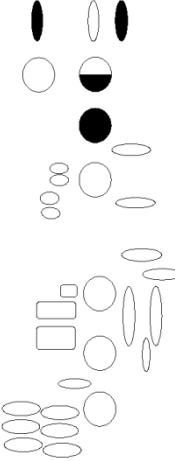

Oscilograma



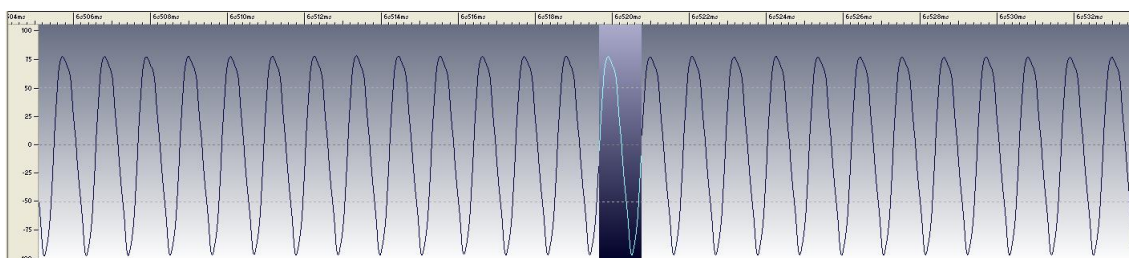
Gráfica FFT



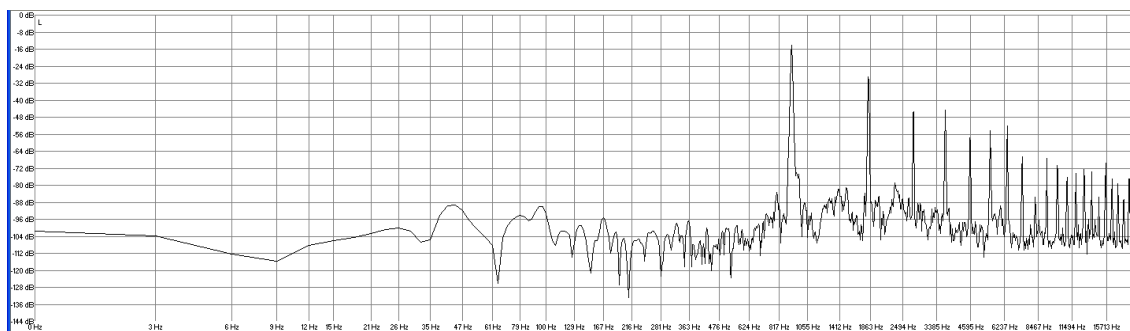
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 182	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-21,1	-27,5	-44,7	-42,2	-57,3	-55,1	-71,8	-64,4
Frecuencia experimental	858,6	1718,2	2577,1	3436,4	4294,5	5153,3	6012,1	6871,7
Frecuencia Teórica	858,6	1717,2	2575,8	3434,4	4293	5151,6	6010,2	6868,8

SONIDO 183	Digitación completa	Digitación simplificada
		


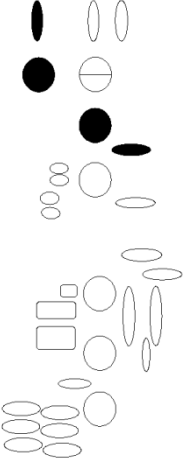
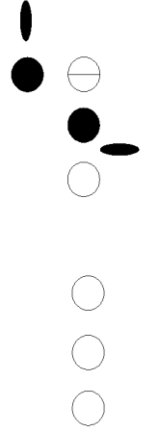
Oscilograma



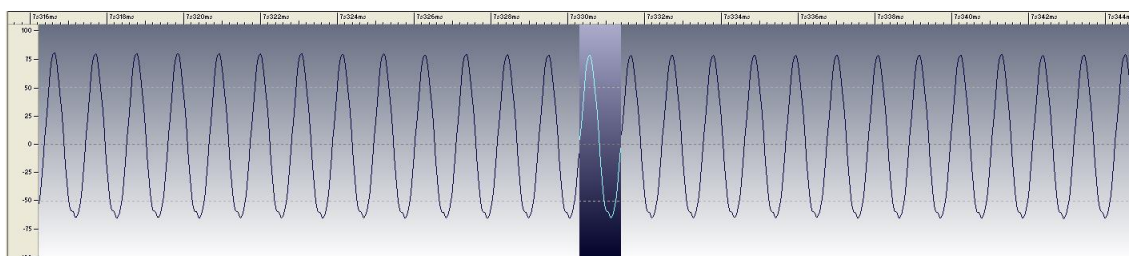
Gráfica FFT



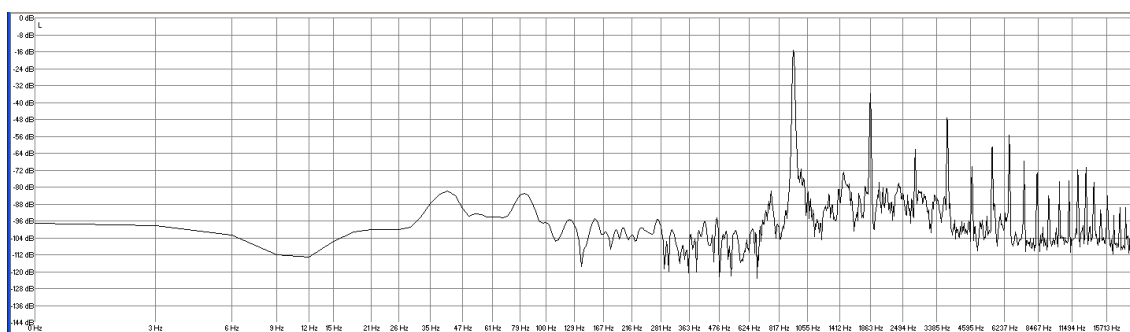
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 183	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-14,1	-29,4	-45,5	-45	-57,7	-54,3	-52,1	-66,6
Frecuencia experimental	917,4	1830,3	2747,2	3662,5	4578,9	5494,8	6409,9	7327,2
Frecuencia Teórica	917,4	1834,8	2752,2	3669,6	4587	5504,4	6421,8	7339,2

SONIDO 184	Digitación completa	Digitación simplificada
		


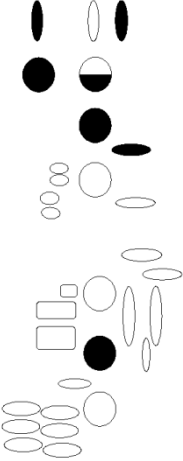
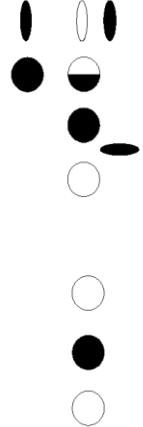
Oscilograma



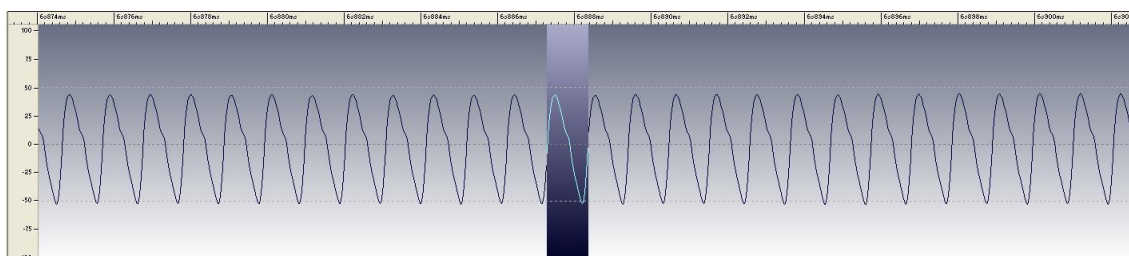
Gráfica FFT



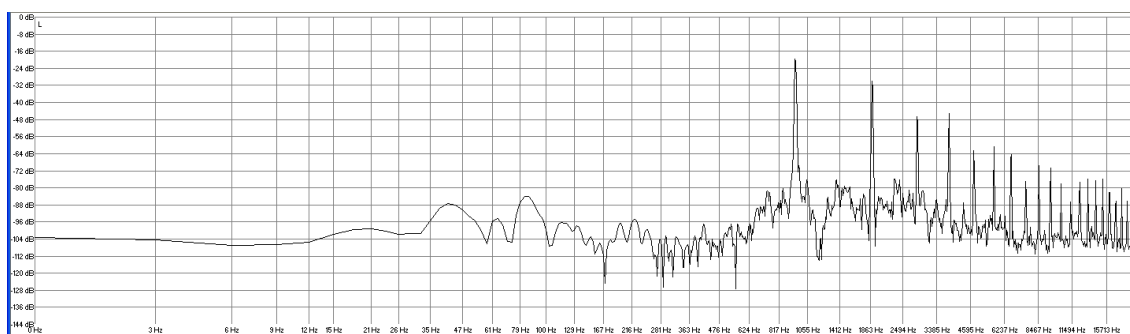
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 184	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-15,6	-35,7	-62,5	-47,3	-70	-60,7	-55,1	-67,7
Frecuencia experimental	931,7	1863,2	2795,1	3726,5	4658,1	5591	6521,8	7453,6
Frecuencia Teórica	931,7	1863,4	2795,1	3726,8	4658,5	5590,2	6521,9	7453,6

SONIDO 185	Digitación completa	Digitación simplificada
		


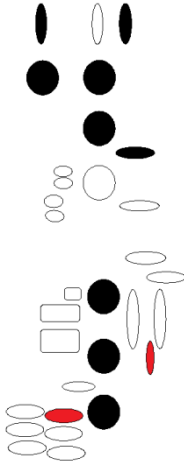
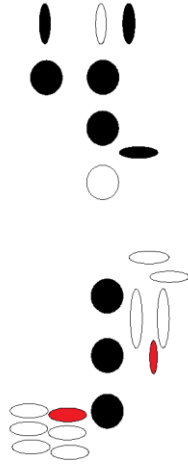
Oscilograma



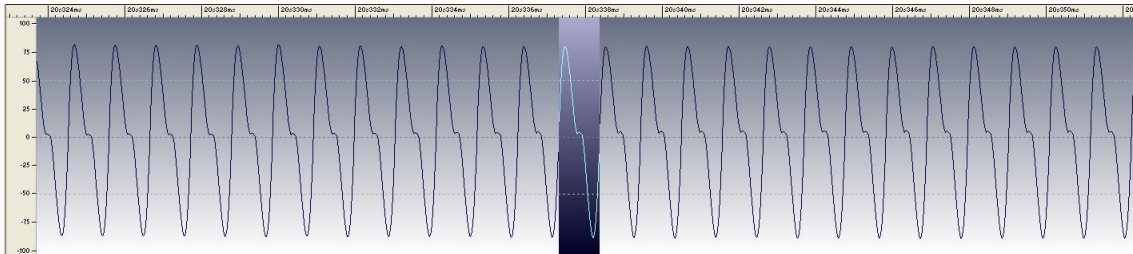
Gráfica FFT



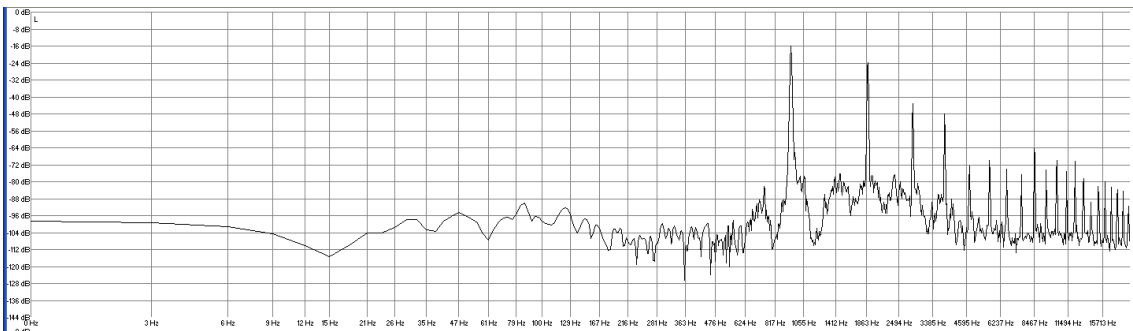
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 185	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-19,2	-29,6	-46,6	-45,2	-62,6	-60,3	-63,7	-77
Frecuencia experimental	945,8	1893,9	2842,7	3787,9	4737	5682,7	6629,8	7578,7
Frecuencia Teórica	945,8	1891,6	2837,4	3783,2	4729	5674,8	6620,6	7566,4

SONIDO 186	Digitación completa	Digitación simplificada
		


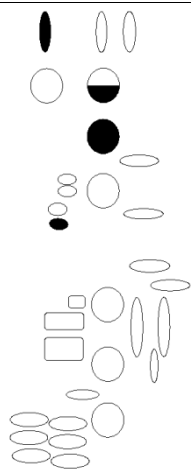
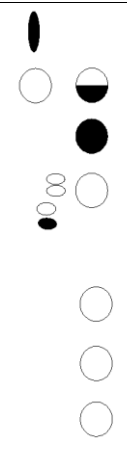
Oscilograma



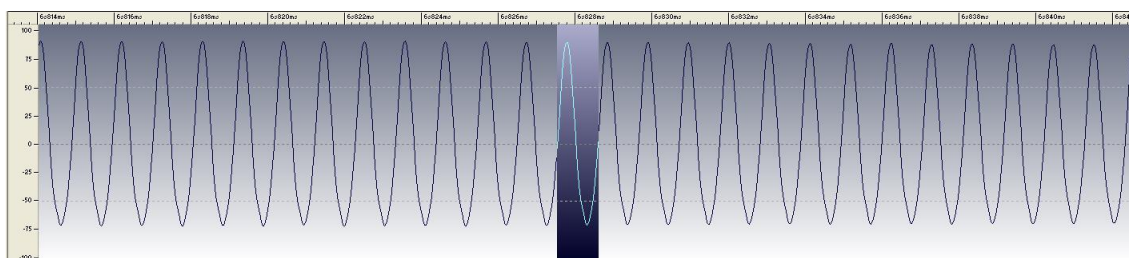
Gráfica FFT



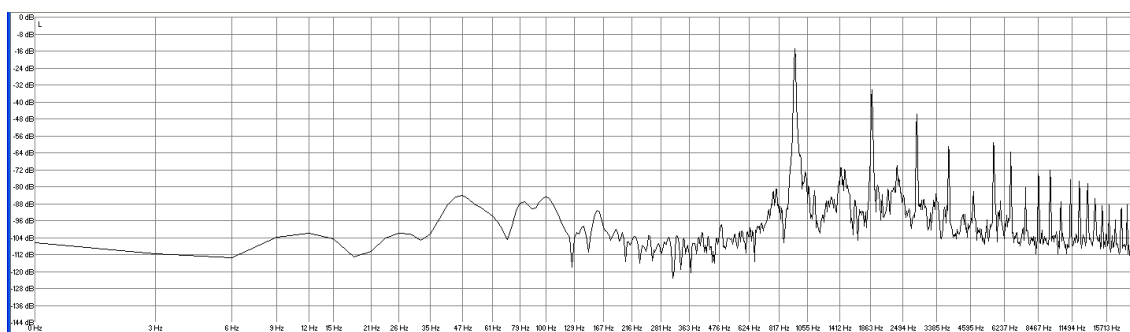
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 186	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16,4	-23,8	-43,2	-48	-72,2	-70	-73,7	-76,3
Frecuencia experimental	943,8	1886,8	2830,1	3773,1	4718,8	5659	6605,5	7546,4
Frecuencia Teórica	943,8	1887,6	2831,4	3775,2	4719	5662,8	6606,6	7550,4

SONIDO 187	Digitación completa	Digitación simplificada
<p>8va</p> 		


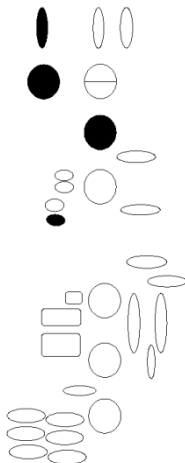

Oscilograma



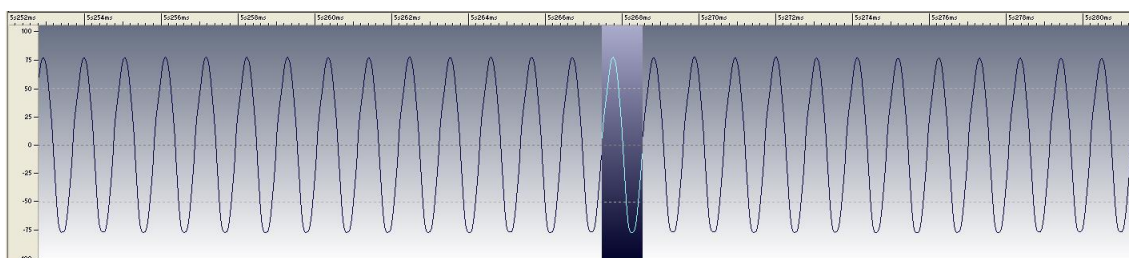
Gráfica FFT



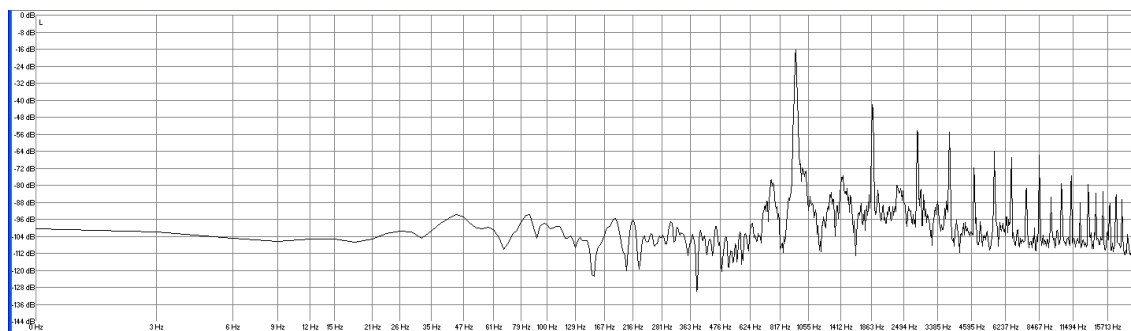
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 187	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-15,3	-34,2	-45,8	-61	-82,2	-58,8	-63,6	-80,4
Frecuencia experimental	943,4	1888,1	2834	3777,6	4721,7	5664,8	6608,8	7549,6
Frecuencia Teórica	943,4	1886,8	2830,2	3773,6	4717	5660,4	6603,8	7547,2

SONIDO 188	Digitación completa	Digitación simplificada
		


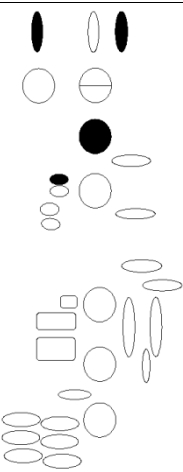

Oscilograma



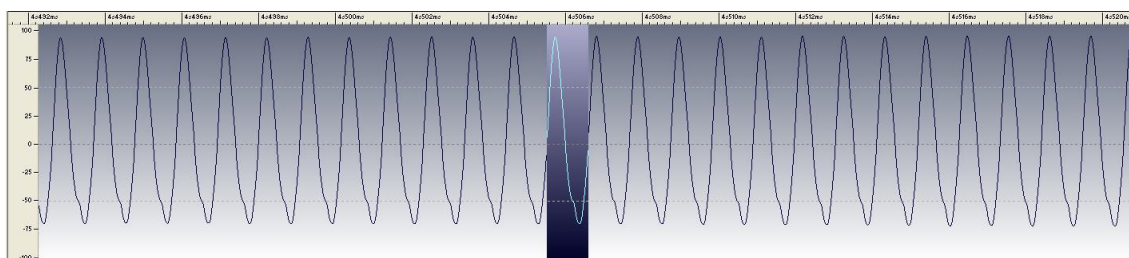
Gráfica FFT



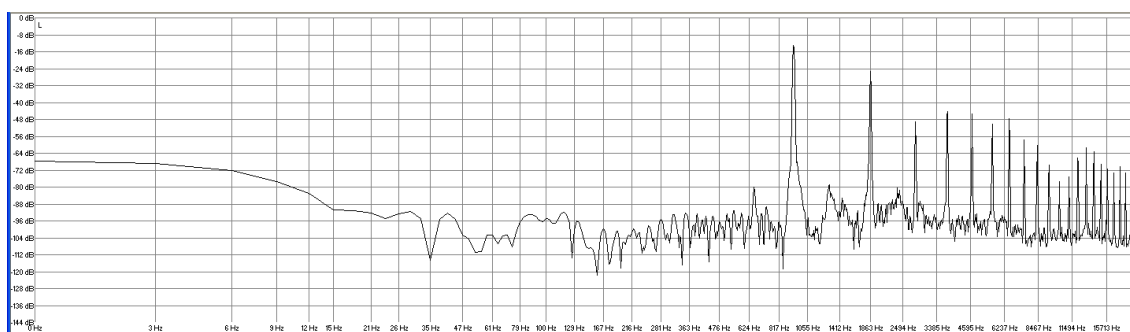
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 188	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16	-42,2	-54,3	-55,1	-71,8	-64	-67	-81,9
Frecuencia experimental	940,7	1883,5	2824,2	3766,4	4708,4	5649,9	6590,5	7532
Frecuencia Teórica	940,7	1881,4	2822,1	3762,8	4703,5	5644,2	6584,9	7525,6

SONIDO 189	Digitación completa	Digitación simplificada
		


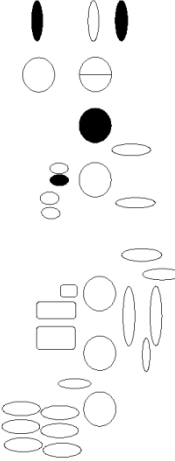

Oscilograma



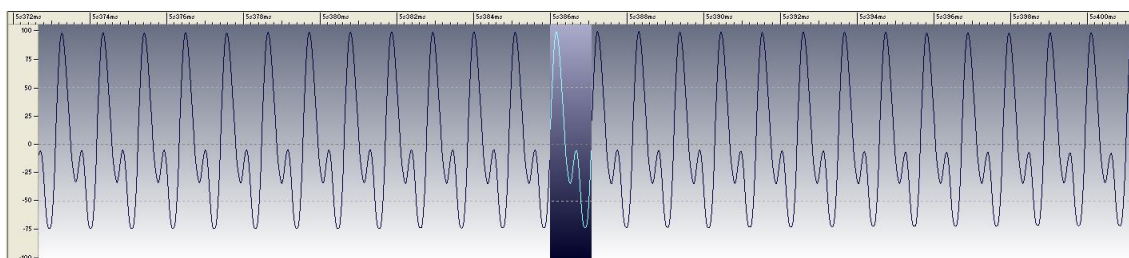
Gráfica FFT



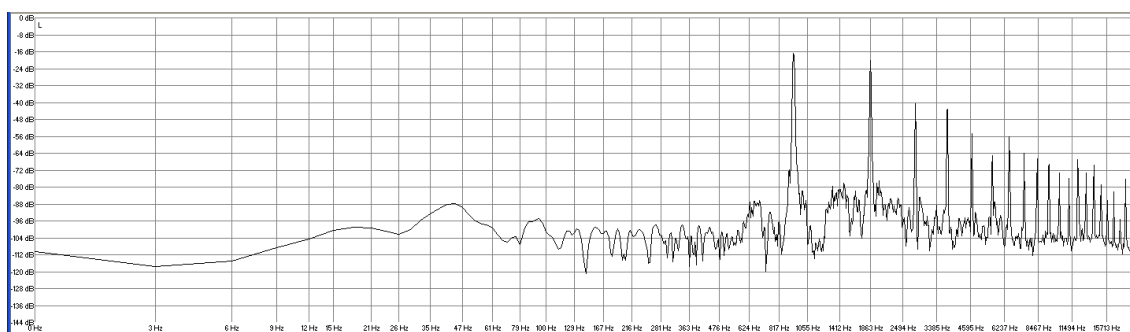
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 189	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-12,7	-25,3	-48,7	-43,9	-45	-51	-48	-58
Frecuencia experimental	932,1	1865,3	2797,7	3729	4662,7	5595,6	6527,4	7459,8
Frecuencia Teórica	932,1	1864,2	2796,3	3728,4	4660,5	5592,6	6524,7	7456,8

SONIDO 190	Digitación completa	Digitación simplificada
		


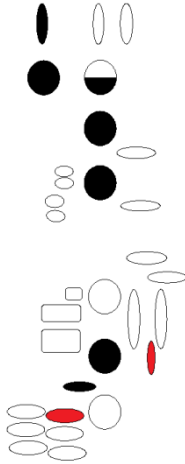
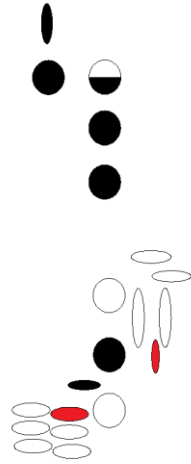
Oscilograma



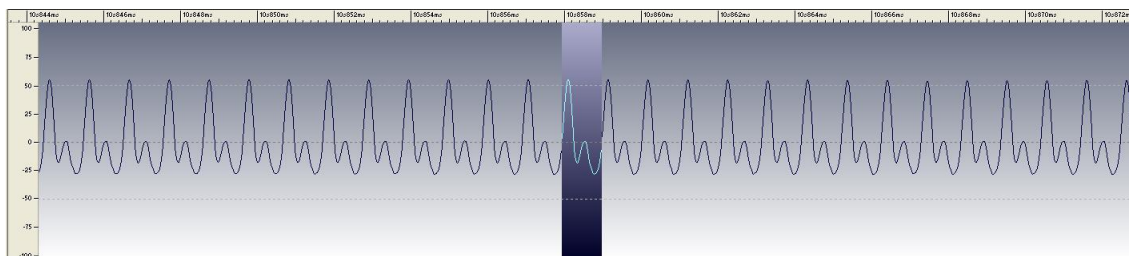
Gráfica FFT



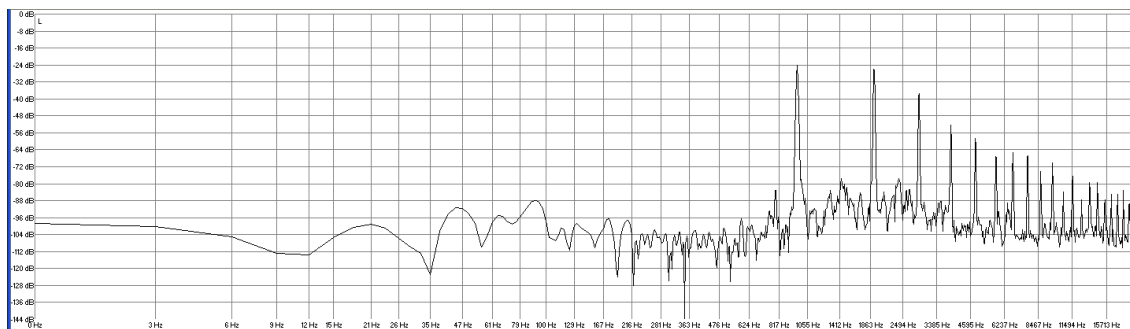
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 190	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16,7	-20,1	-40,2	-43,2	-55,1	-65,9	-56,2	-64
Frecuencia experimental	931,5	1863,4	2795,6	3729,6	4661,5	5593	6525,4	7457,2
Frecuencia Teórica	931,5	1863	2794,5	3726	4657,5	5589	6520,5	7452

SONIDO 191	Digitación completa	Digitación simplificada
<p>8va ↴</p> 		


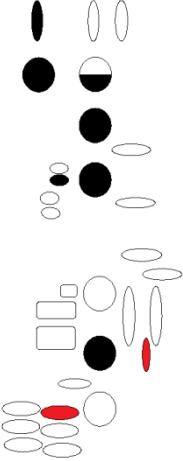
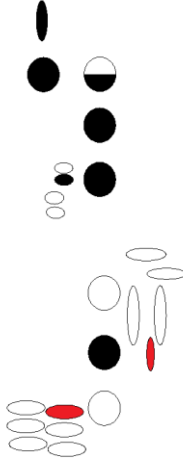
Oscilograma



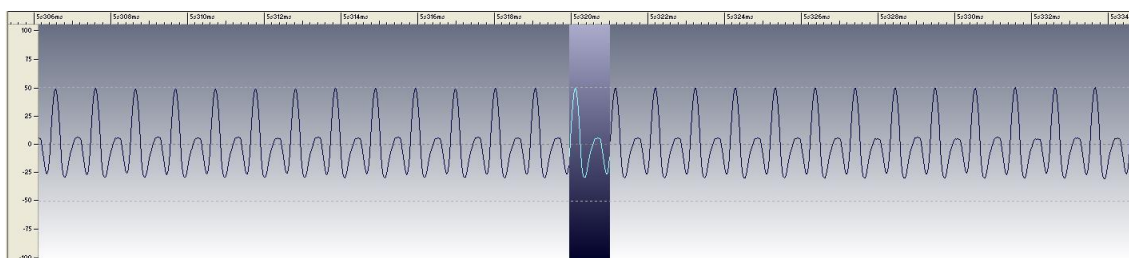
Gráfica FFT



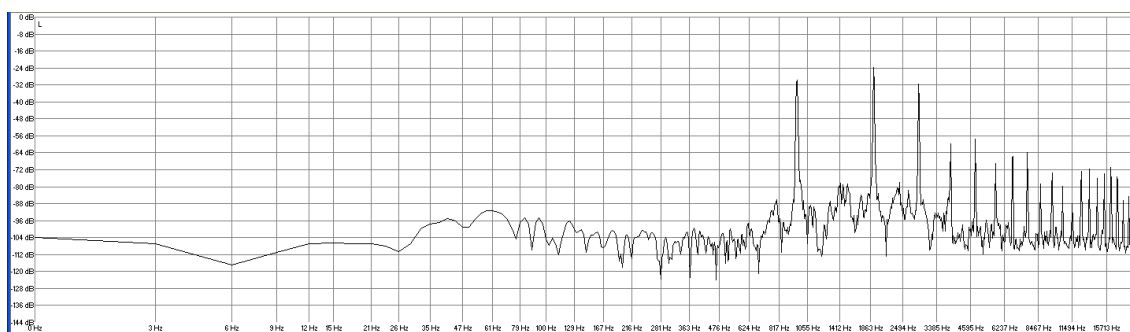
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 191	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-24,1	-26	-37,1	-52,3	-58,3	-66,8	-64,9	-67,2
Frecuencia experimental	964	1925,8	2889,1	3850,6	4811,2	5790,5	6735,6	7696,3
Frecuencia Teórica	964	1928	2892	3856	4820	5784	6748	7712

SONIDO 192	Digitación completa	Digitación simplificada
<p>8va ↴</p> 		



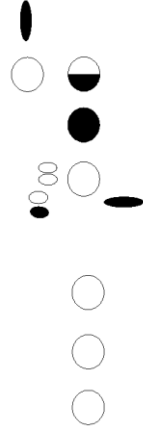
Oscilograma



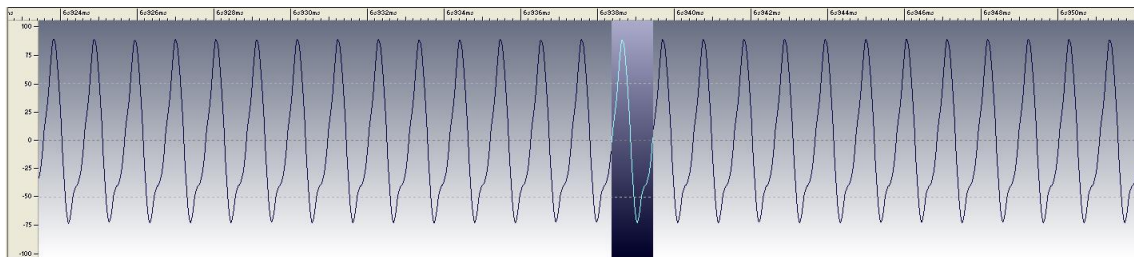
Gráfica FFT



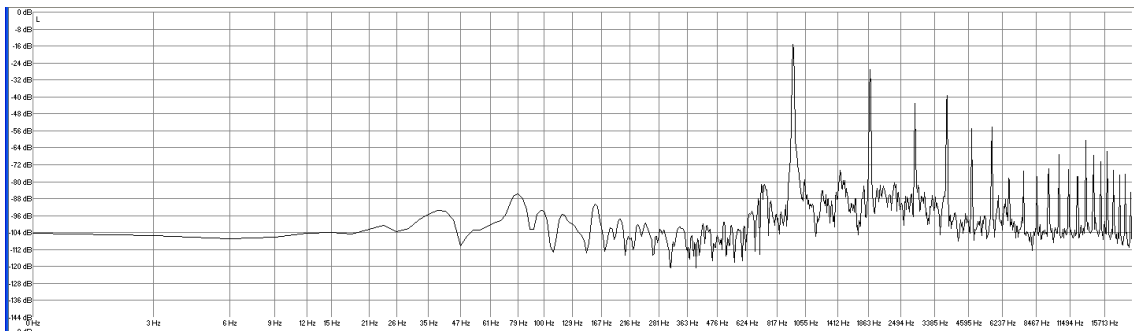
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 192	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-29,7	-23,4	-31,5	-60,1	-57,5	-69	-65,7	-63,8
Frecuencia experimental	961	1922,2	2881,1	3841,8	4802,6	5764,7	6723,4	7684,2
Frecuencia Teórica	961	1922	2883	3844	4805	5766	6727	7688

SONIDO 193	Digitación completa	Digitación simplificada
		


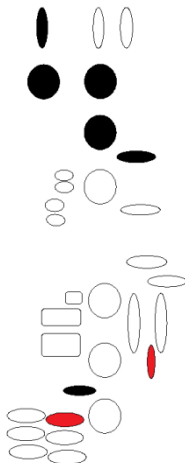

Oscilograma



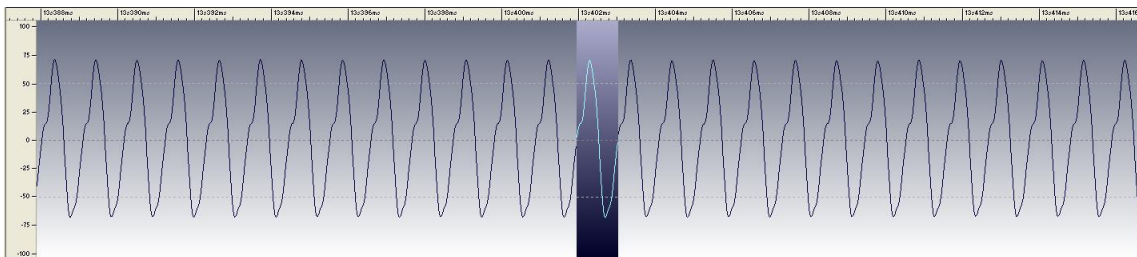
Gráfica FFT



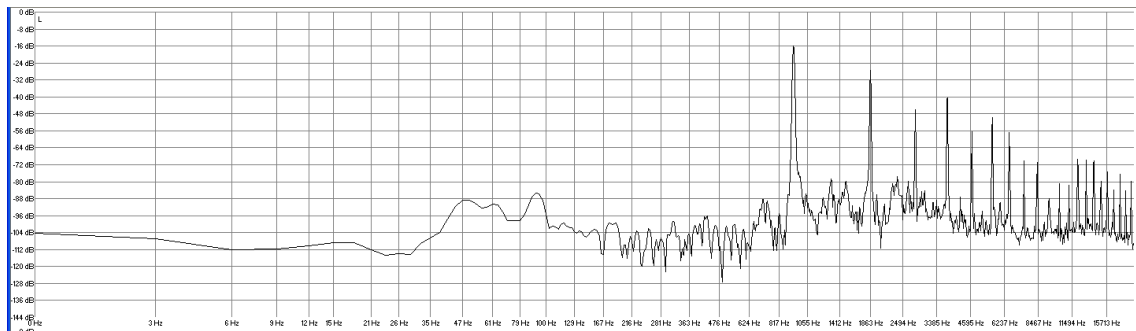
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 193	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-15,2	-27,1	-42,7	-39,3	-54,9	-54,2	-78,3	-75
Frecuencia experimental	946,6	1897,2	2838,6	3784,2	4730,7	5676,8	6622,3	7567,5
Frecuencia Teórica	946,6	1893,2	2839,8	3786,4	4733	5679,6	6626,2	7572,8

SONIDO 194	Digitación completa	Digitación simplificada
		


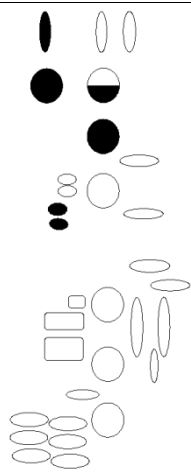

Oscilograma



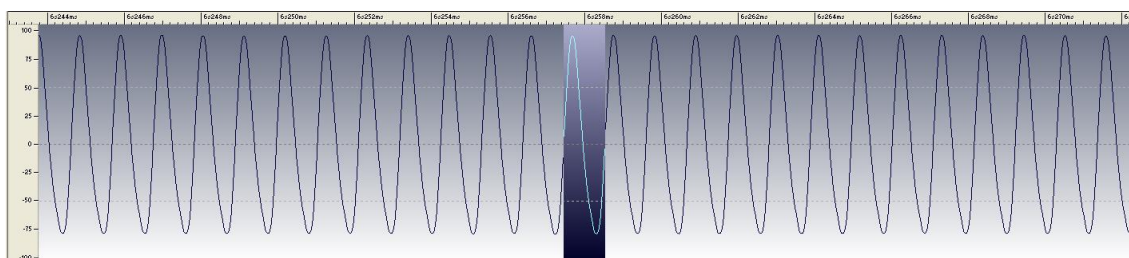
Gráfica FFT



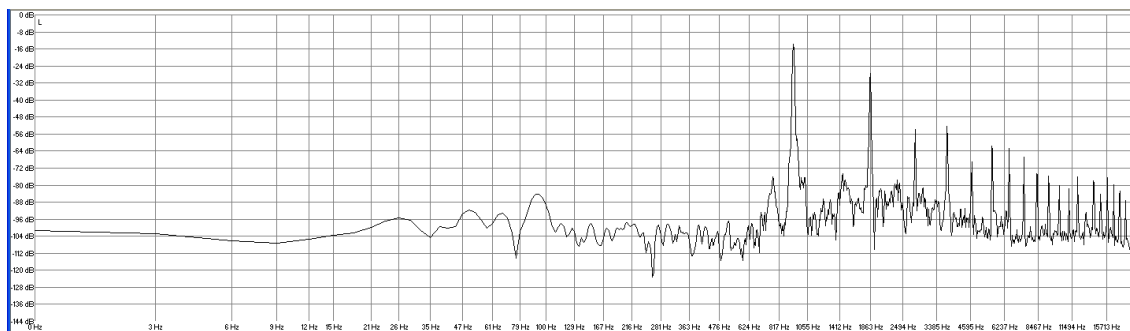
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 194	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16	-27,1	-46	-40,5	-56	-49,7	-56	-70,1
Frecuencia experimental	931,6	1864,7	2797,2	3729,9	4661,1	5593,1	6526,5	7457,8
Frecuencia Teórica	931,6	1863,2	2794,8	3726,4	4658	5589,6	6521,2	7452,8

SONIDO 195	Digitación completa	Digitación simplificada
<p>8va ↴</p> 		


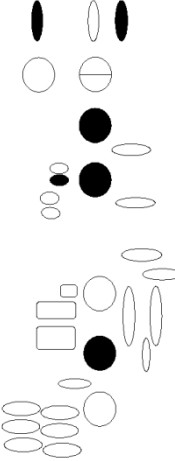
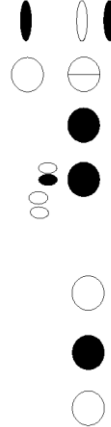
Oscilograma



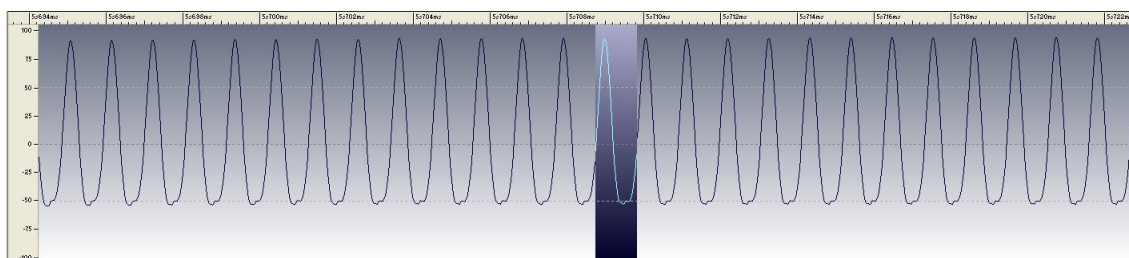
Gráfica FFT



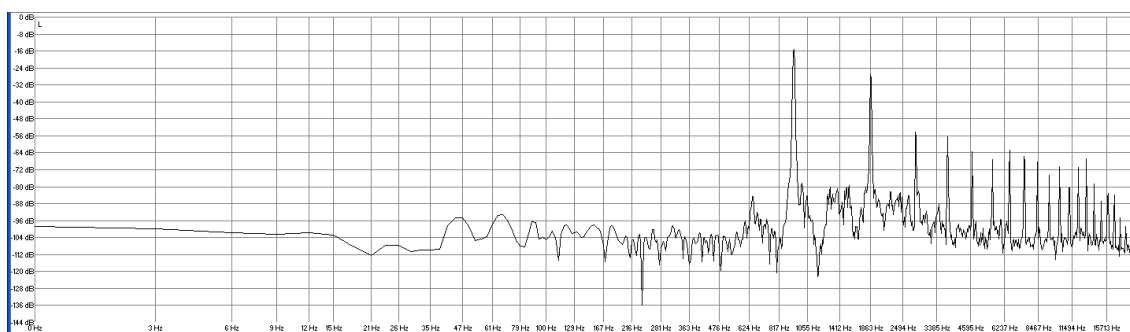
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 195	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-13,7	-27,1	-53,4	-52,3	-68,7	-62	-62,7	-66,8
Frecuencia experimental	931,7	1862,9	2793	3723,6	4654,4	5586,6	6516,7	7447,3
Frecuencia Teórica	931,7	1863,4	2795,1	3726,8	4658,5	5590,2	6521,9	7453,6

SONIDO 196	Digitación completa	Digitación simplificada
		


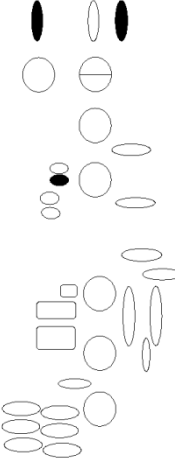
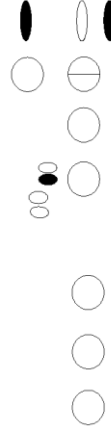
Oscilograma



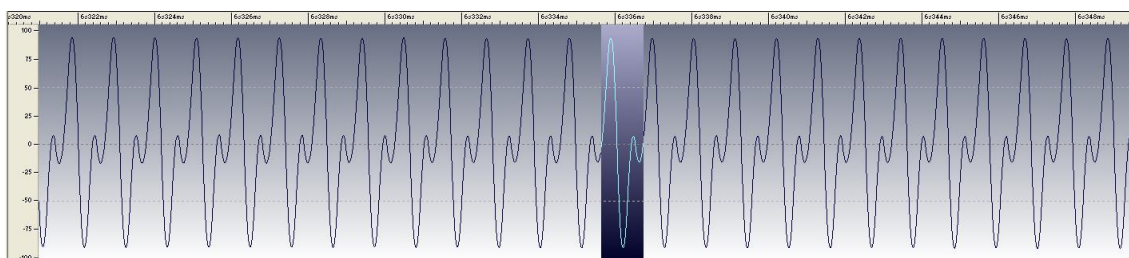
Gráfica FFT



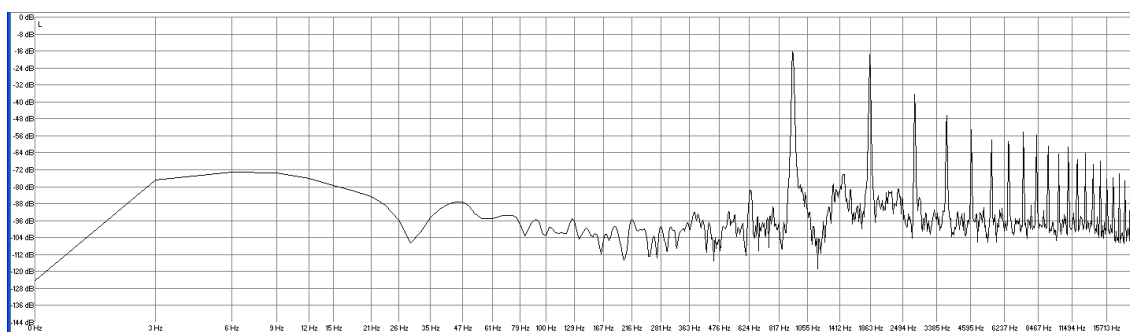
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 196	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-15,6	-27,1	-54,6	-56,4	-63,5	-67,2	-62,7	-65,7
Frecuencia experimental	934,5	1869,3	2807,3	3737	4672,7	5606,5	6542,2	7475,2
Frecuencia Teórica	934,5	1869	2803,5	3738	4672,5	5607	6541,5	7476

SONIDO 197	Digitación completa	Digitación simplificada
		


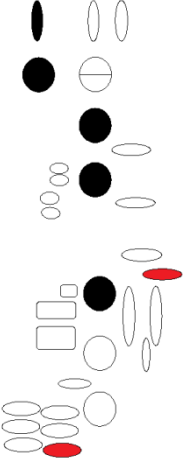
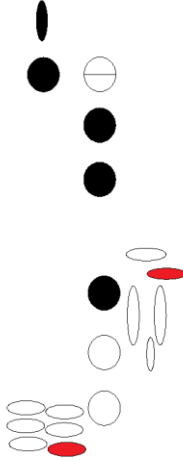
Oscilograma



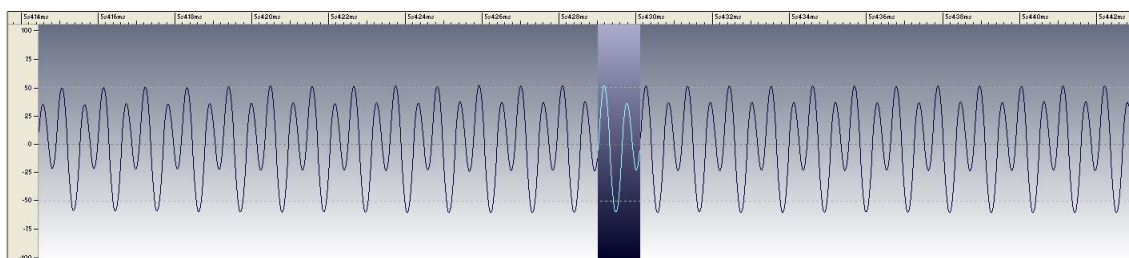
Gráfica FFT



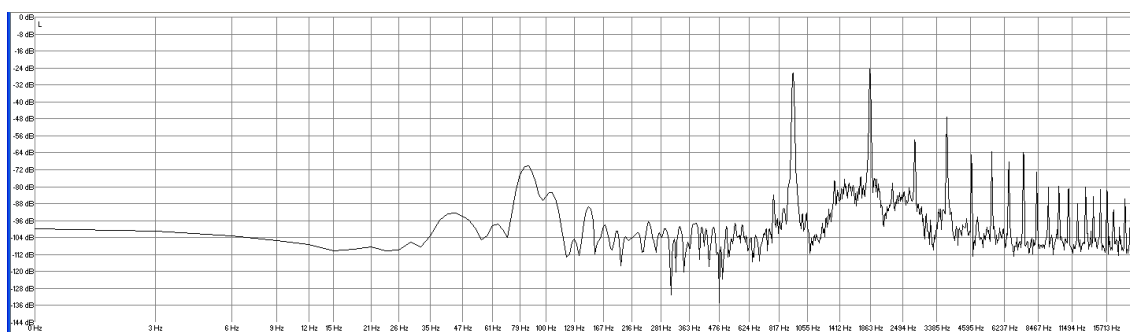
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 197	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16,3	-17,8	-36,4	-46,4	-53,8	-57,5	-58,6	-54,2
Frecuencia experimental	926,2	1853,3	2780,2	3706,4	4632,2	5559,9	6485,7	7412,2
Frecuencia Teórica	926,2	1852,4	2778,6	3704,8	4631	5557,2	6483,4	7409,6

SONIDO 198	Digitación completa	Digitación simplificada
		


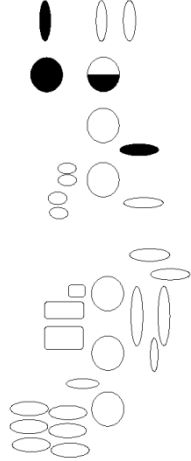
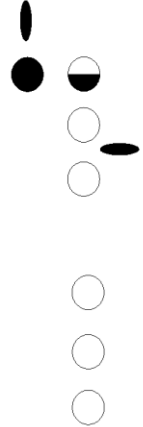
Oscilograma



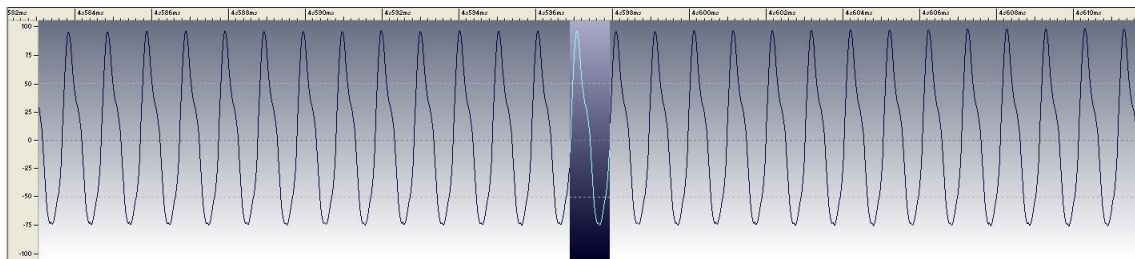
Gráfica FFT



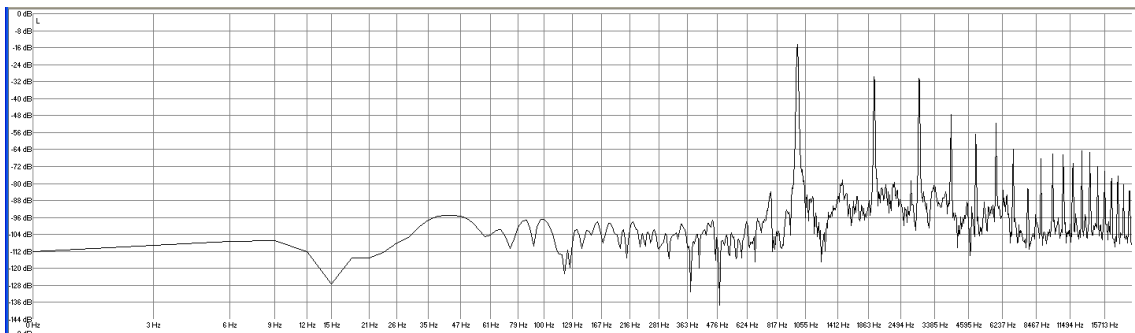
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 198	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-26,4	-24,1	-57,9	-47,5	-64,6	-62,7	-68,3	-63,5
Frecuencia experimental	928,9	1855,4	2782,9	3712,2	4640,2	5567,7	6495,2	7423,5
Frecuencia Teórica	928,9	1857,8	2786,7	3715,6	4644,5	5573,4	6502,3	7431,2

SONIDO 199	Digitación completa	Digitación simplificada
		


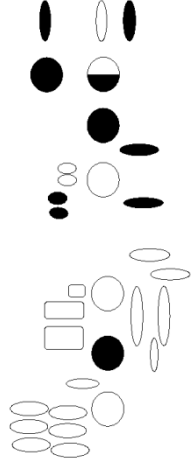
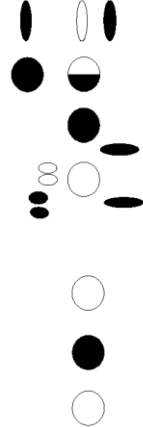
Oscilograma



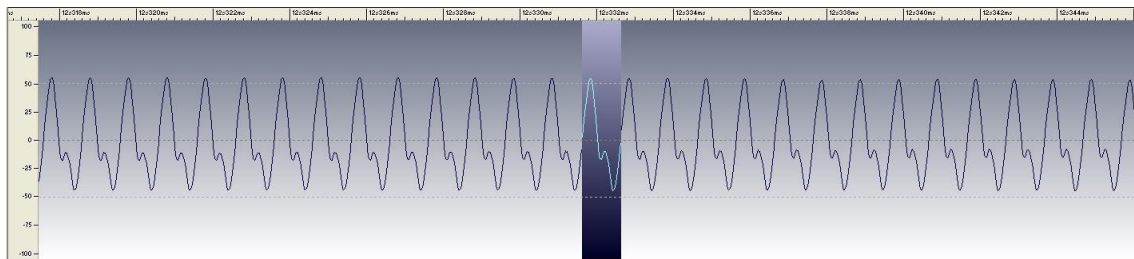
Gráfica FFT



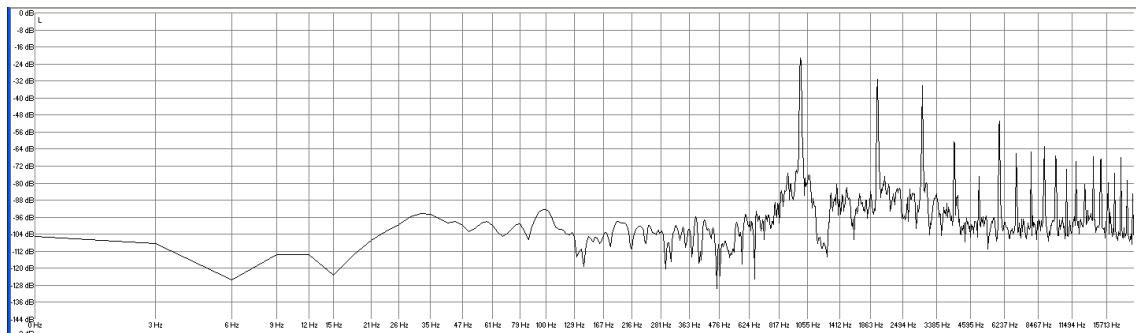
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 199	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-14,5	-29,7	-30,8	-47,9	-56,4	-51,6	-63,5	-82,4
Frecuencia experimental	982,2	1966,2	2947,4	3929,4	4913,4	5894,5	6875,8	7858,2
Frecuencia Teórica	982,2	1964,4	2946,6	3928,8	4911	5893,2	6875,4	7857,6

SONIDO 200	Digitación completa	Digitación simplificada
		


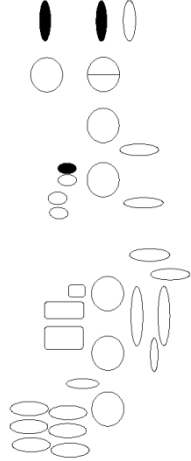

Oscilograma



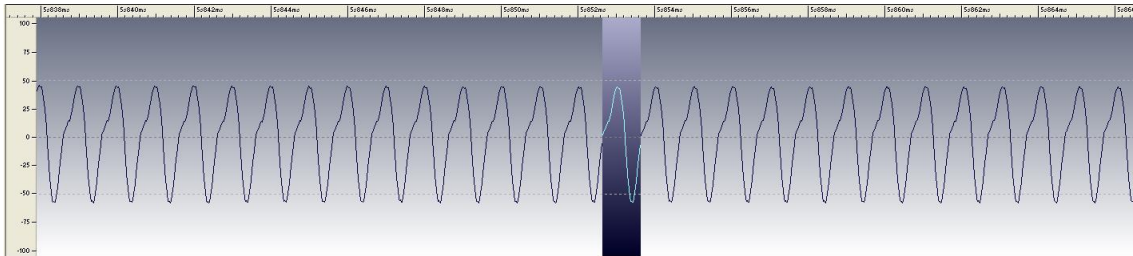
Gráfica FFT



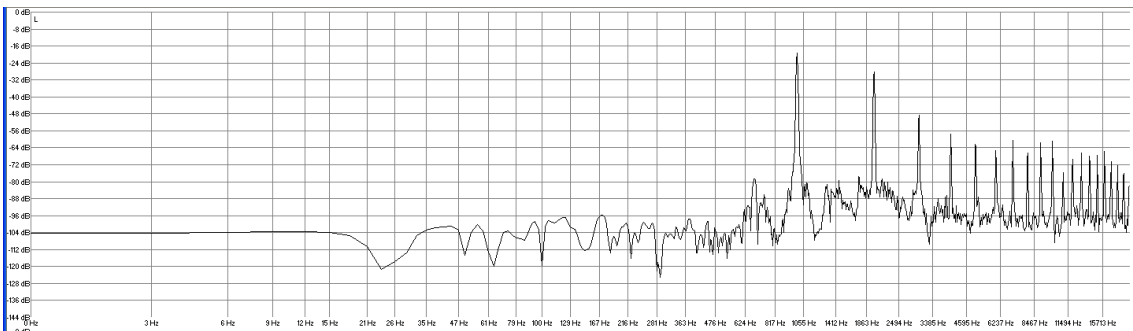
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 200	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-21,5	-31,5	-34,1	-60,5	-76,8	-50,8	-66,1	-65,3
Frecuencia experimental	993,4	1986,5	2980,1	3972,5	4965,5	5960,8	6954,9	7946,6
Frecuencia Teórica	993,4	1986,8	2980,2	3973,6	4967	5960,4	6953,8	7947,2

SONIDO 201	Digitación completa	Digitación simplificada
		


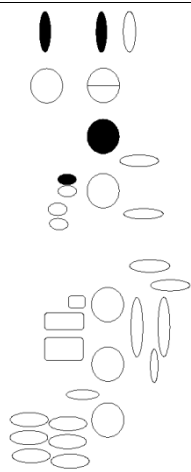
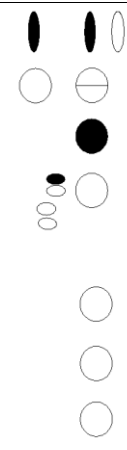
Oscilograma



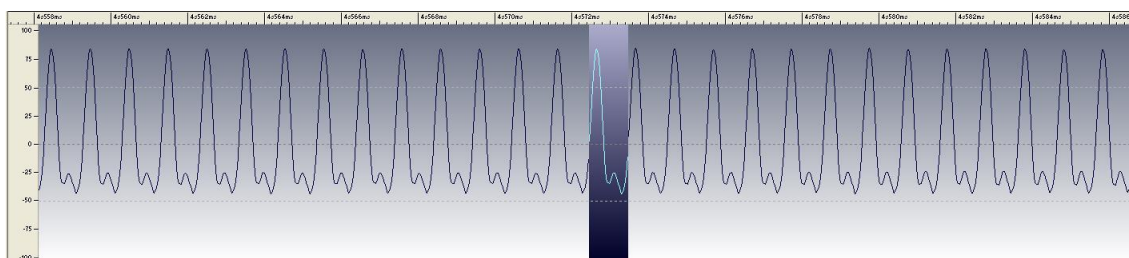
Gráfica FFT



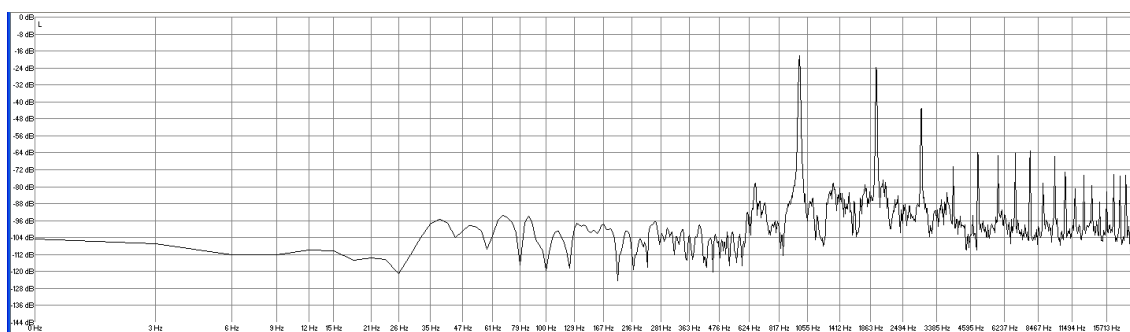
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 201	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-19,3	-28,2	-48,6	-57,5	-62,4	-65,3	-60,5	-66,4
Frecuencia experimental	998,2	1994,2	2993,7	3990,1	4986,1	5986,9	6981,8	7977,3
Frecuencia Teórica	998,2	1896,4	2794,6	3692,8	4591	5489,2	6387,4	7285,6

SONIDO 202	Digitación completa	Digitación simplificada
		


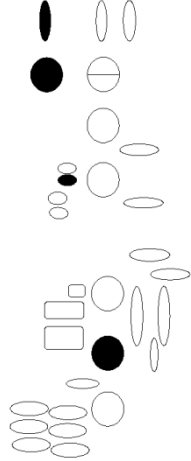
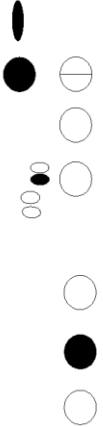
Oscilograma



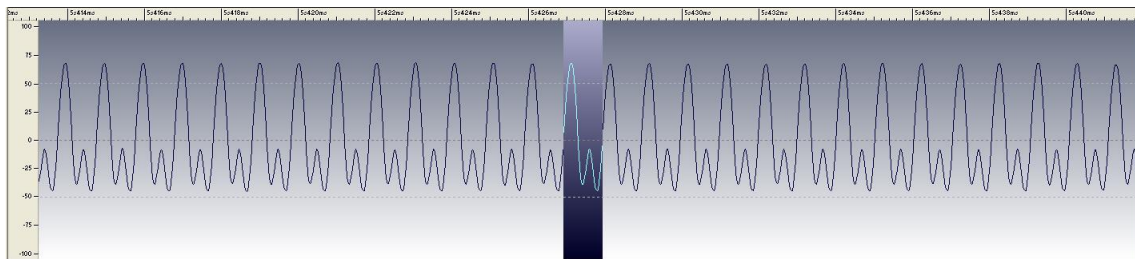
Gráfica FFT



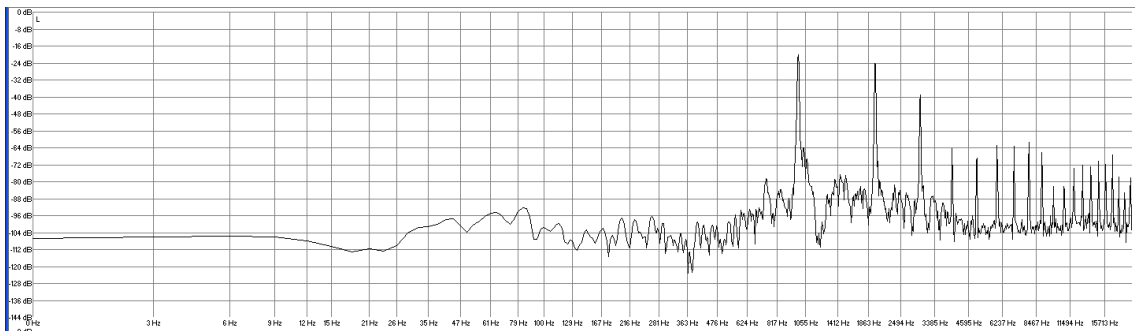
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 202	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,2	-23,8	43,1	-70,5	-63,5	-64,9	-63,8	-63,1
Frecuencia experimental	983,3	1966	2949,7	3933	4915,6	5897,3	6881,6	7866,3
Frecuencia Teórica	983,3	1966,6	2949,9	3933,2	4916,5	5899,8	6883,1	7866,4

SONIDO 203	Digitación completa	Digitación simplificada
		


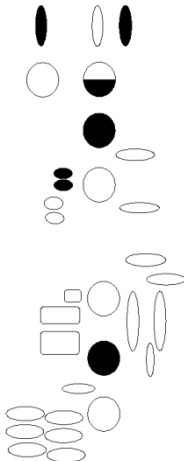
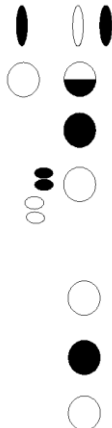
Oscilograma



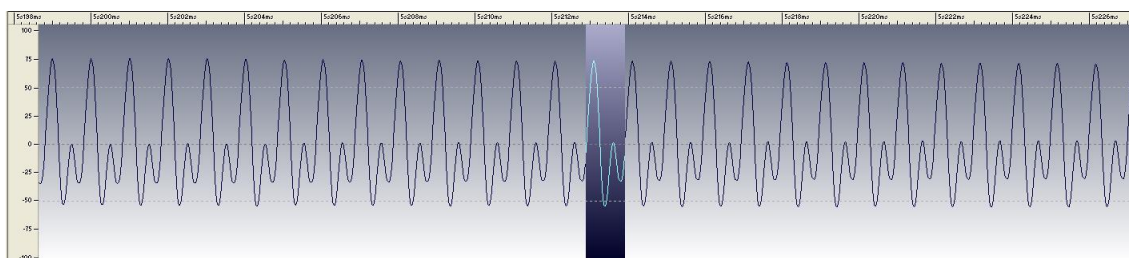
Gráfica FFT



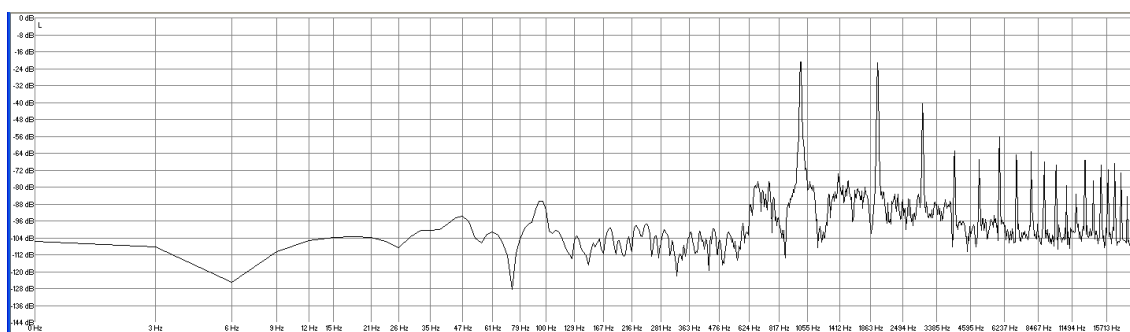
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 203	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-20,5	-24,2	-39,1	-64	-69,2	-62,9	-63,6	-61,4
Frecuencia experimental	990,2	1981,4	2974	3963,7	4954,3	5994,3	6935	7926,2
Frecuencia Teórica	990,2	1980,4	2970,6	3960,8	4951	5941,2	6931,4	7921,6

SONIDO 204	Digitación completa	Digitación simplificada
		


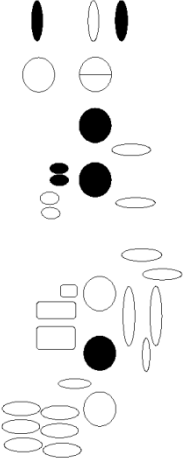
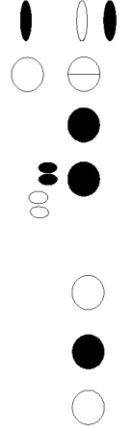
Oscilograma



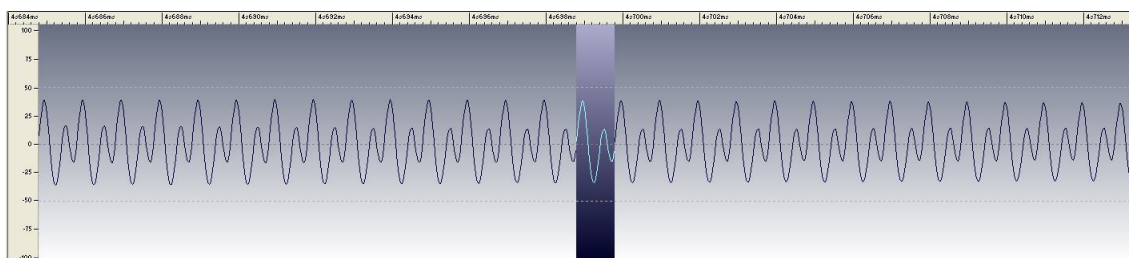
Gráfica FFT



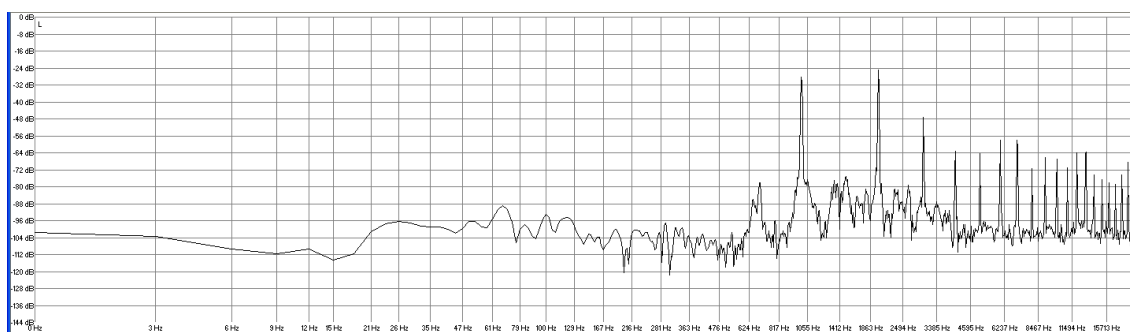
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 204	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-20,8	-21,6	-40,2	-62,9	-67	-55,8	-64,7	-62,9
Frecuencia experimental	994,7	1988,7	2983,8	3978,7	4974,9	5967,2	6961,3	7957,4
Frecuencia Teórica	994,7	1989,4	2984,1	3978,8	4973,5	5968,2	6962,9	7957,6

SONIDO 205	Digitación completa	Digitación simplificada
		


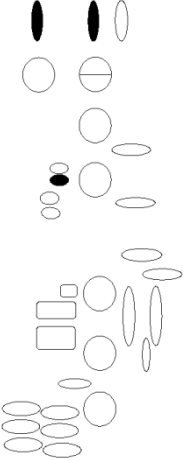
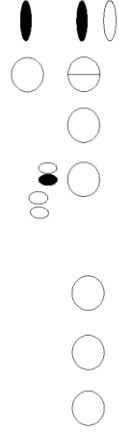
Oscilograma



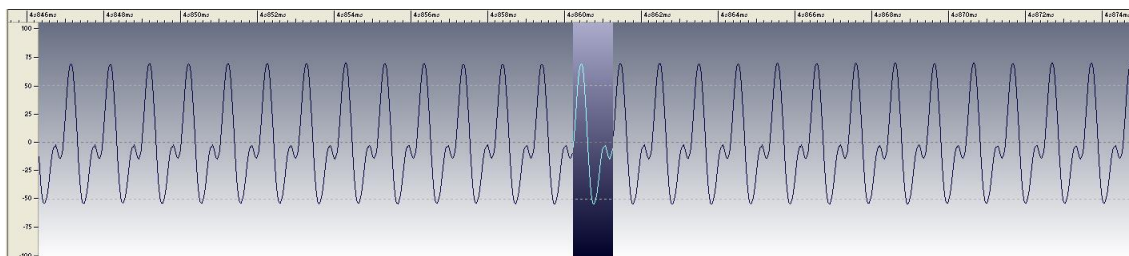
Gráfica FFT



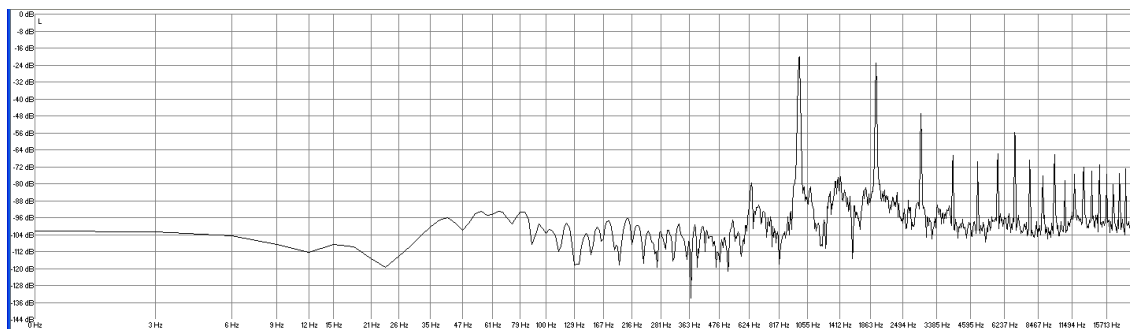
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 205	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-28,3	-24,6	-47,3	-63,3	-64,4	-58	-58,4	-71,4
Frecuencia experimental	1002	2004	3004,5	4007,1	5008,8	6010,8	7011,8	8014
Frecuencia Teórica	1002	2004	3006	4008	5010	6012	7014	8016

SONIDO 206	Digitación completa	Digitación simplificada
		


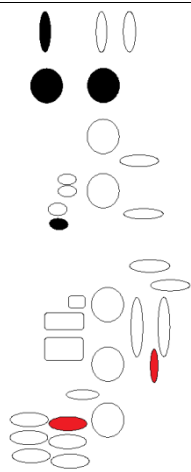
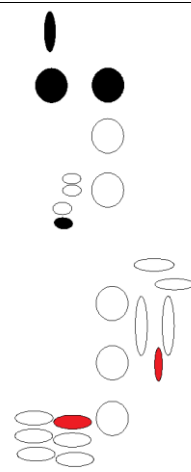
Oscilograma



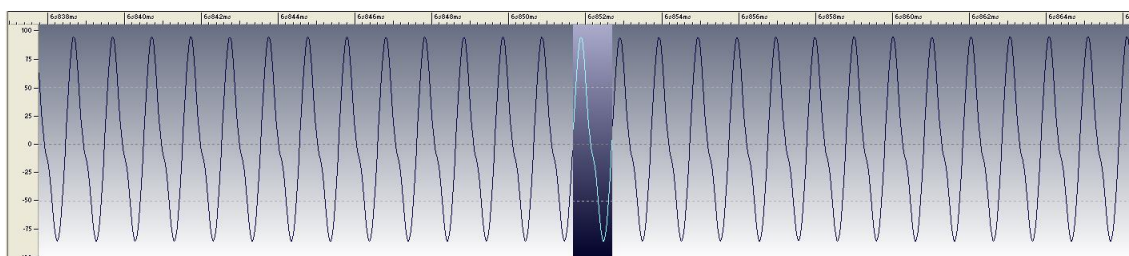
Gráfica FFT



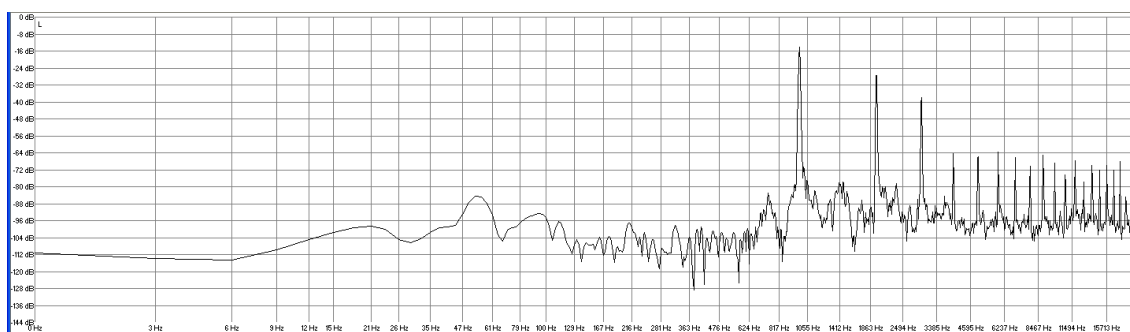
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 206	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-20,1	-23,1	-47,3	-66,2	-69,6	-65,9	-55,8	-68,8
Frecuencia experimental	981,3	1959,4	2941,7	3922,5	4903,9	5883,3	6864,3	7844,3
Frecuencia Teórica	981,3	1962,6	2943,9	3925,2	4906,5	5887,8	6869,1	7850,4

SONIDO 207	Digitación completa	Digitación simplificada
		


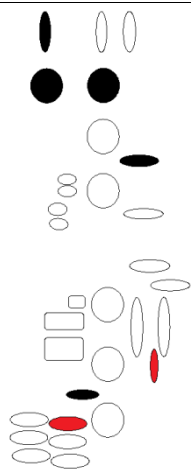
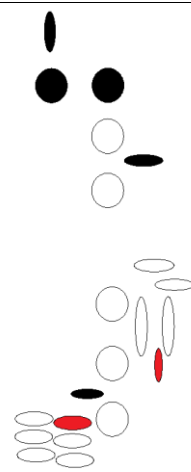
Oscilograma



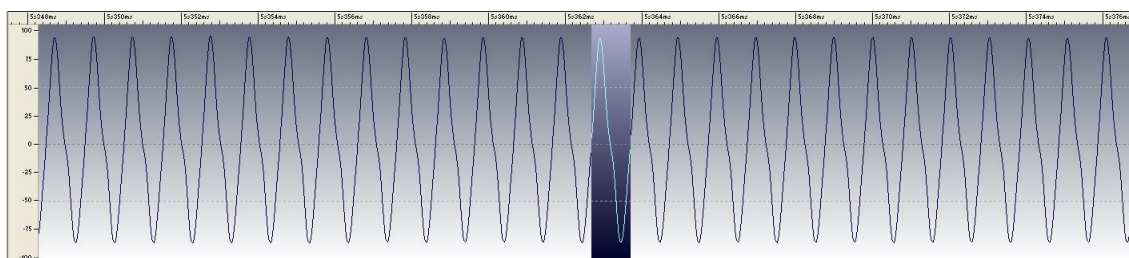
Gráfica FFT



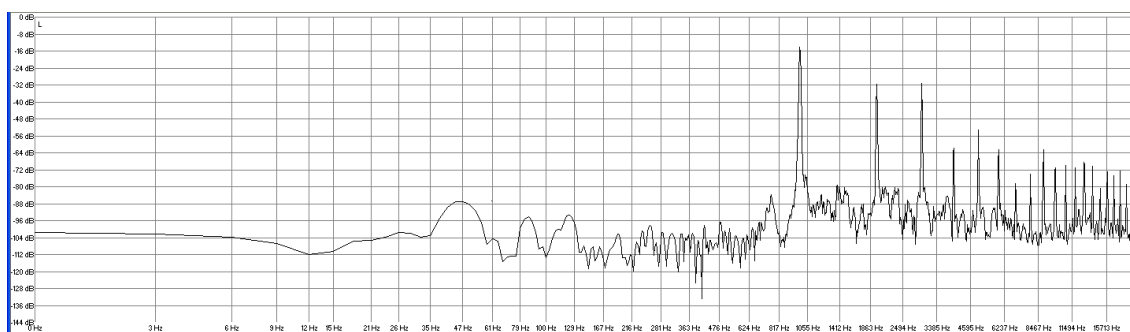
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 207	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-14,1	-27,5	-38,3	-64	-65,9	-63,6	-66,2	-70,7
Frecuencia experimental	984,3	1966,8	2950,1	3934,1	4918,8	5899,2	6882,5	7866,6
Frecuencia Teórica	984,3	1968,6	2952,9	3937,2	4921,5	5905,8	6890,1	7874,4

SONIDO 208	Digitación completa	Digitación simplificada
		


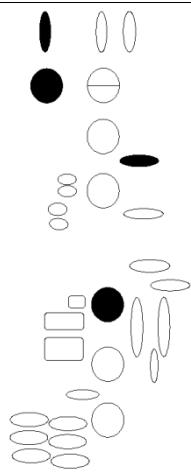
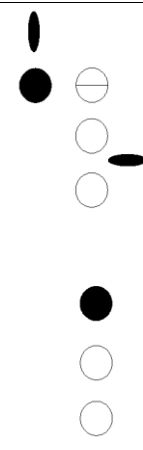
Oscilograma



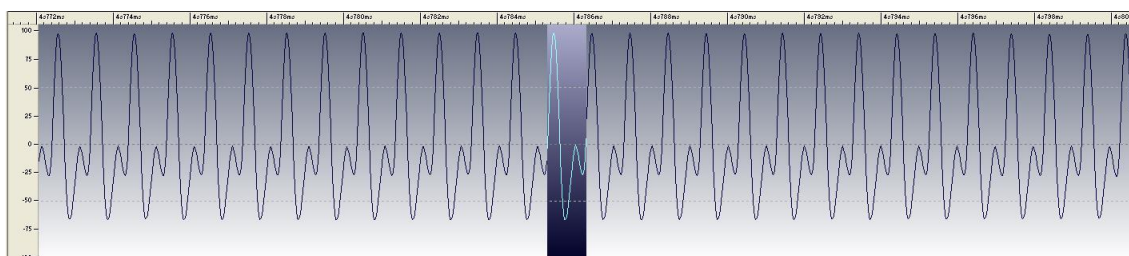
Gráfica FFT



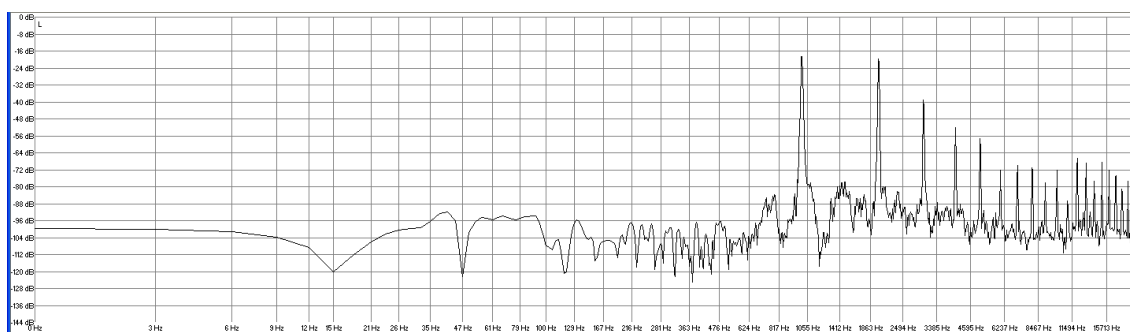
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 208	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-14,1	-31,6	-31,3	-61,8	-53,2	-62,5	-78,5	-74,4
Frecuencia experimental	987,1	1974,1	2960,9	3946,7	4933,4	5920,8	6911,5	7895,8
Frecuencia Teórica	987,1	1974,2	2961,3	3948,4	4935,5	5922,6	6909,7	7896,8

SONIDO 209	Digitación completa	Digitación simplificada
		


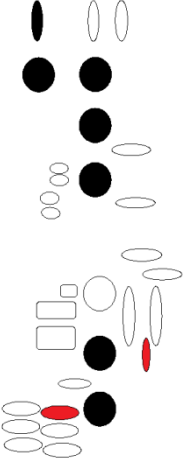
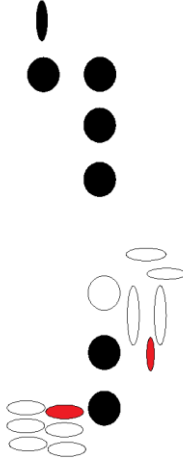
Oscilograma



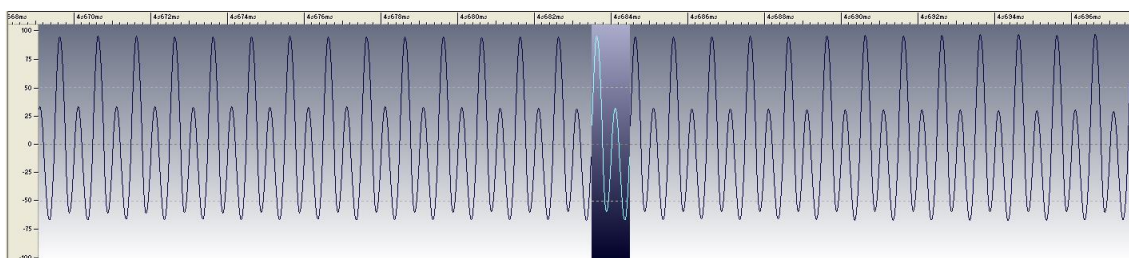
Gráfica FFT



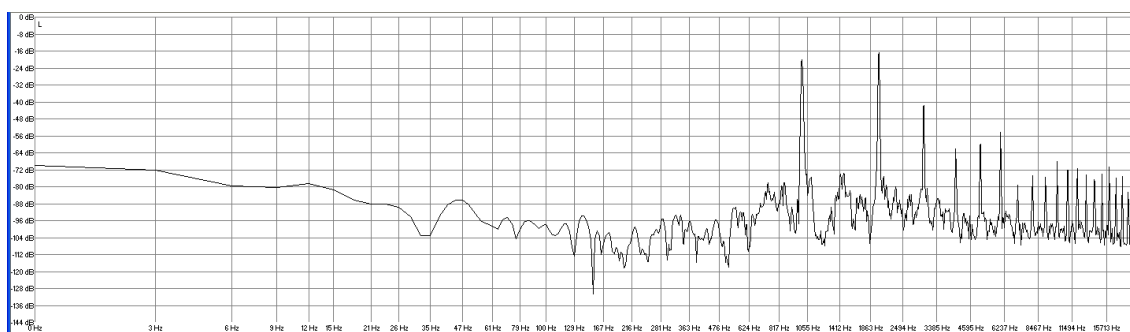
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 209	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,6	-19,7	-39,4	-52,5	-57,3	-72,2	-70	-71,1
Frecuencia experimental	1003,9	2006,7	3009,9	4013,2	5017,3	6020,3	7024	8027,7
Frecuencia Teórica	1003,9	2007,8	3011,7	4015,6	5019,5	6023,4	7027,3	8031,2

SONIDO 210	Digitación completa	Digitación simplificada
		


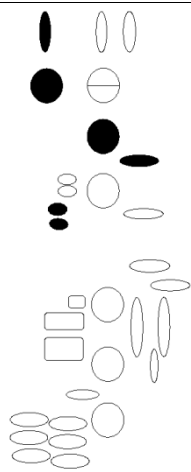
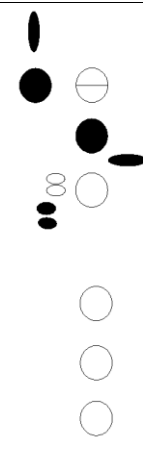
Oscilograma



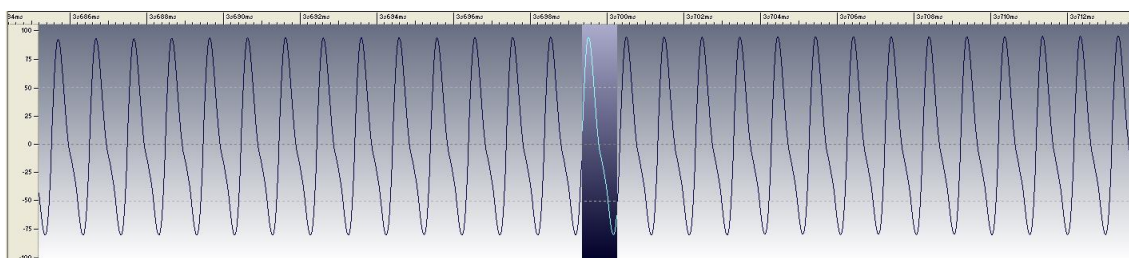
Gráfica FFT



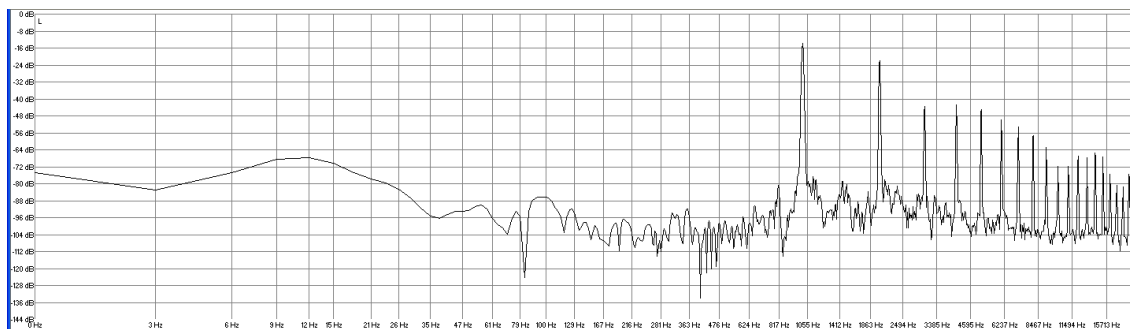
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 210	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-20,1	-17,1	-41,7	-62,1	-59,9	-54,7	-79,6	-74,8
Frecuencia experimental	1004,9	2009,5	3015	4018,9	5024,4	6028,7	7020,1	8032,8
Frecuencia Teórica	1004,9	2009,8	3014,7	4019,6	5024,5	6029,4	7034,3	8039,2

SONIDO 211	Digitación completa	Digitación simplificada
		


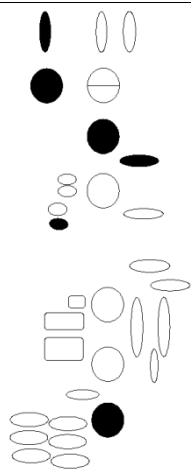
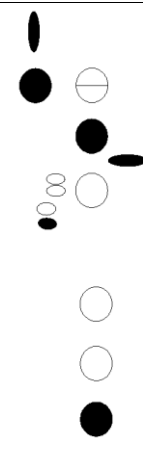
Oscilograma



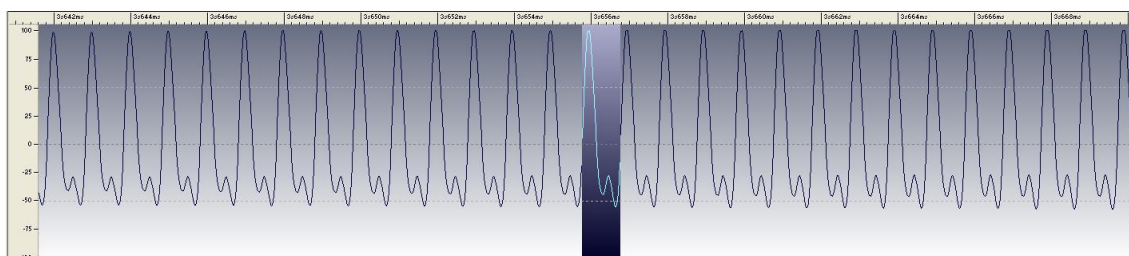
Gráfica FFT



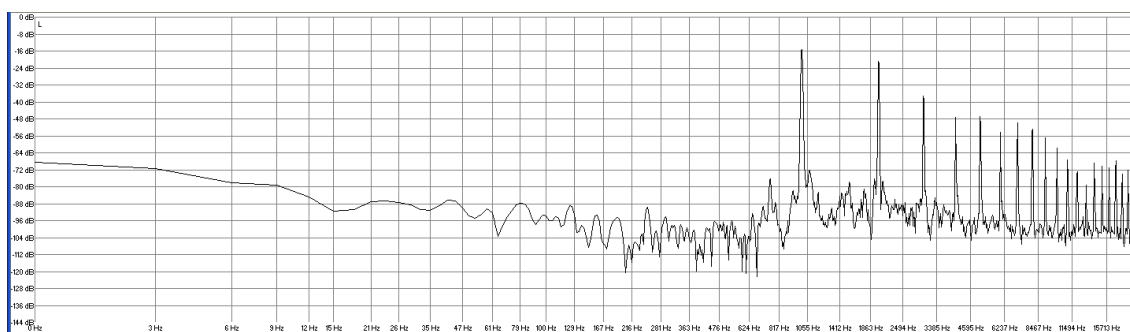
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 211	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-13,8	-22,3	-43,5	-43,2	-45,4	-49,9	-53,2	-57,3
Frecuencia experimental	1012,2	2024,8	3035,7	4048,2	5059,2	6073,7	7084,2	8094,3
Frecuencia Teórica	1012,2	2024,4	3036,6	4048,8	5061	6073,2	7085,4	8097,6

SONIDO 212	Digitación completa	Digitación simplificada
		


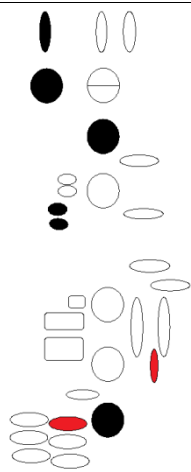
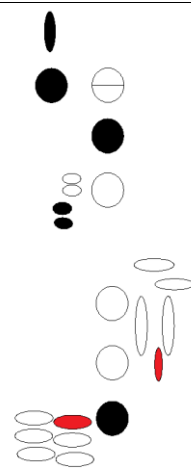
Oscilograma



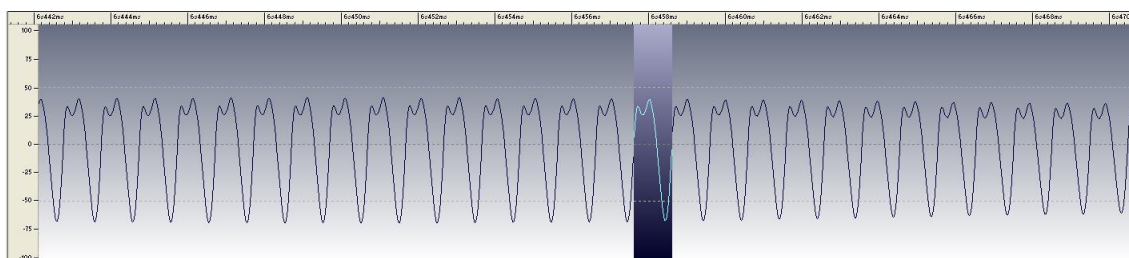
Gráfica FFT



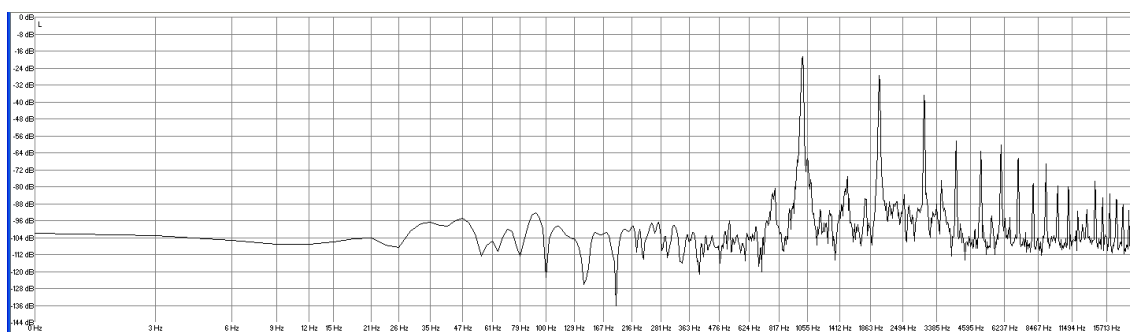
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 212	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-15,3	-20,8	-37,2	-47,3	-46,9	-54,3	-49,9	-52,8
Frecuencia experimental	1005,2	2006,5	3012,6	4015,5	5018	6024,1	7028,8	8031,7
Frecuencia Teórica	1005,2	2010,4	3015,6	4020,8	5026	6031,2	7036,4	8041,6

SONIDO 213	Digitación completa	Digitación simplificada
		


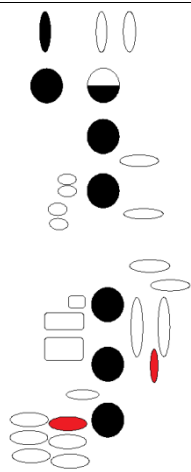
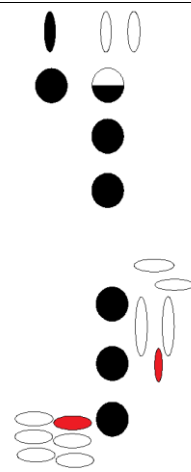
Oscilograma



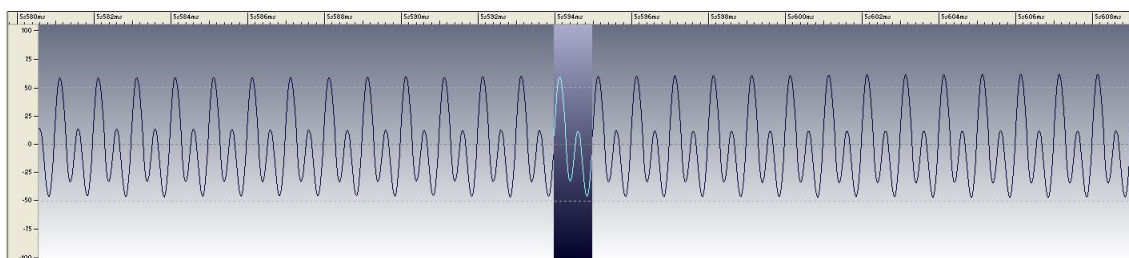
Gráfica FFT



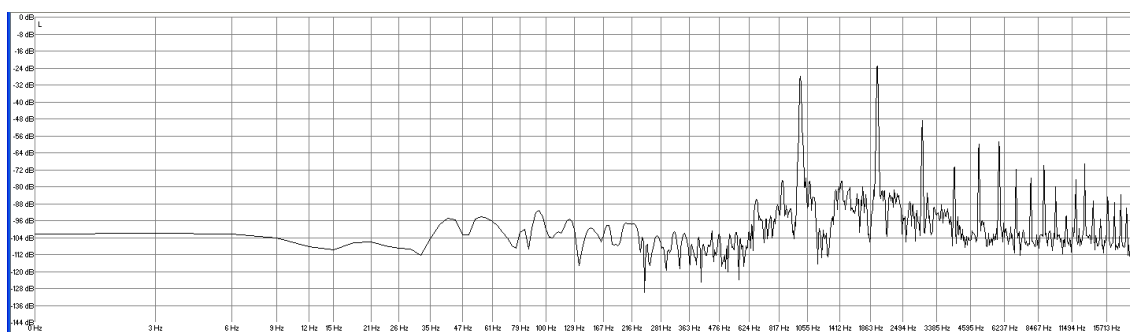
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 213	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,6	-27,5	-36,8	-58,4	-63,3	-60,3	-66,6	80
Frecuencia experimental	1011,2	2021,4	3030,5	4040,6	5049,4	6058,1	7066,2	8077,4
Frecuencia Teórica	1011,2	2022,4	3033,6	4044,8	5056	6067,2	7078,4	8089,6

SONIDO 214	Digitación completa	Digitación simplificada
		


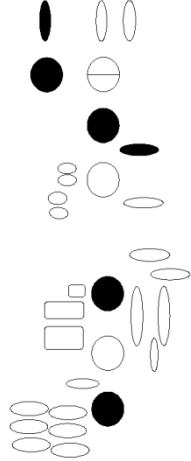
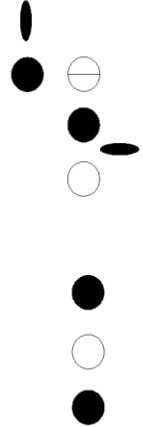
Oscilograma



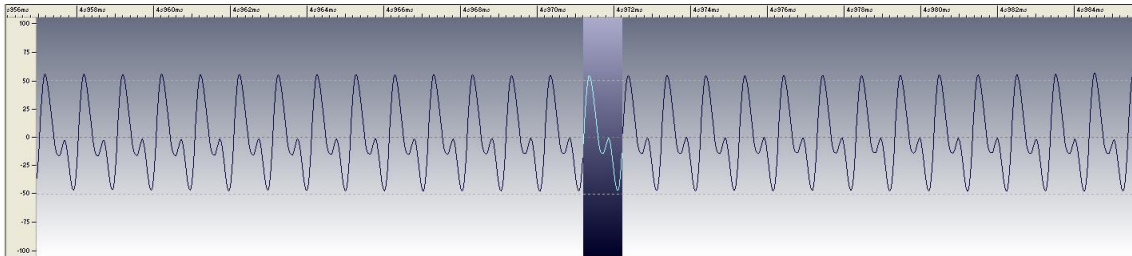
Gráfica FFT



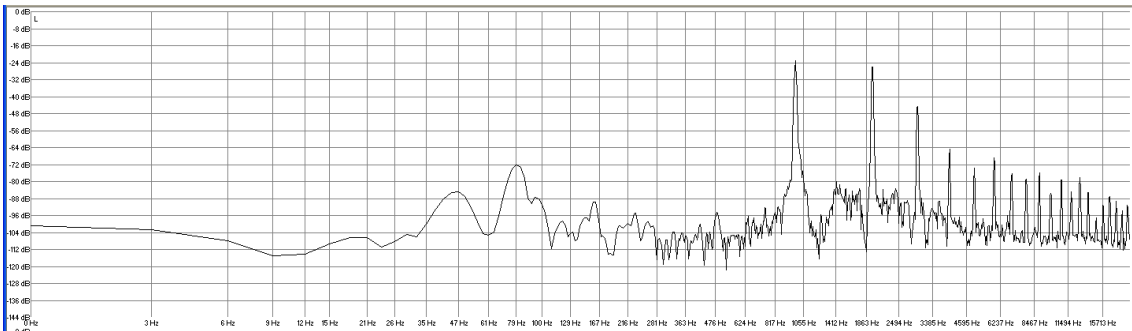
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 214	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-27,9	-23,4	-48	-71,1	-59,9	-59,2	-71,8	-75,9
Frecuencia experimental	990,9	1983,7	2974,7	3975,8	4957,6	5948,5	6944,2	7938
Frecuencia Teórica	990,9	1981,8	2972,7	3963,6	4954,5	5945,4	6936,3	7927,2

SONIDO 215	Digitación completa	Digitación simplificada
		


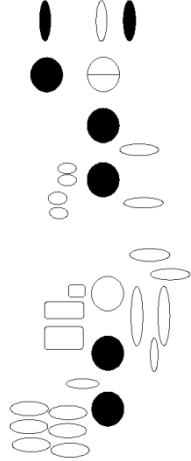
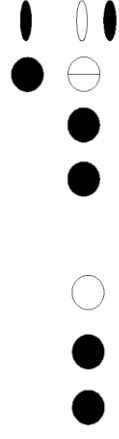
Oscilograma



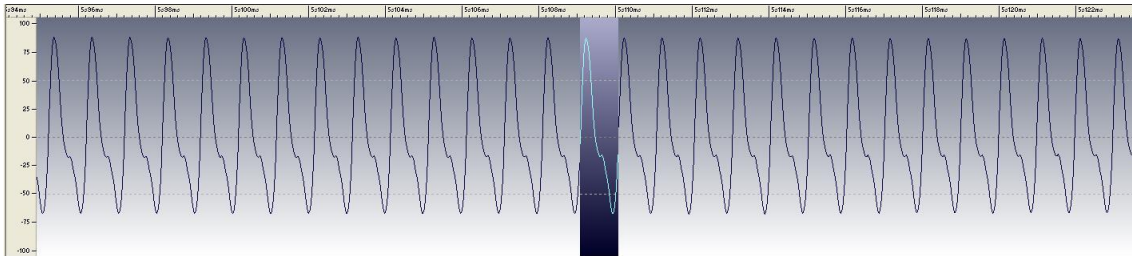
Gráfica FFT



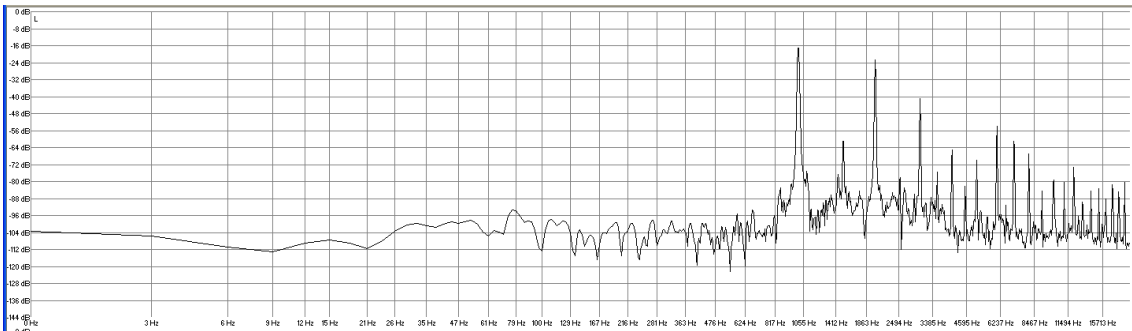
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 215	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-23,4	-26	-44,7	-64	-73,7	-68,8	-76,7	-78,9
Frecuencia experimental	984,3	1967,4	2949,3	3947,4	4942,8	5912,7	6919,7	7878,4
Frecuencia Teórica	984,3	1968,6	2952,9	3937,2	4921,5	5905,8	6890,1	7874,4

SONIDO 216	Digitación completa	Digitación simplificada
		


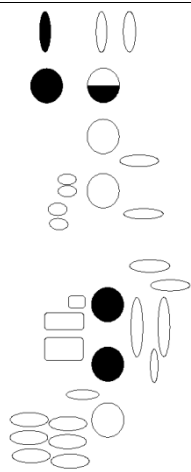

Oscilograma



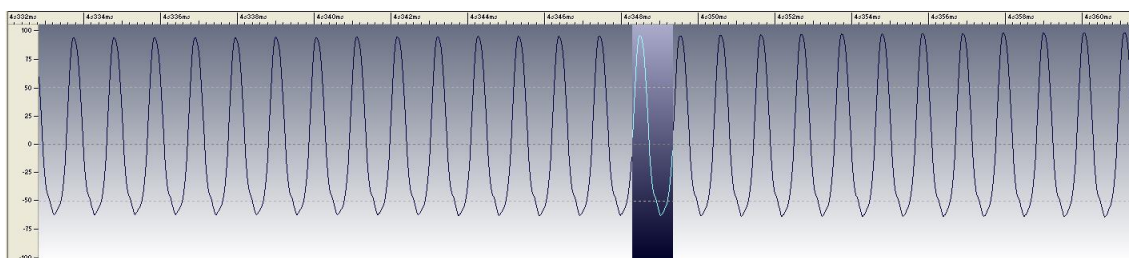
Gráfica FFT



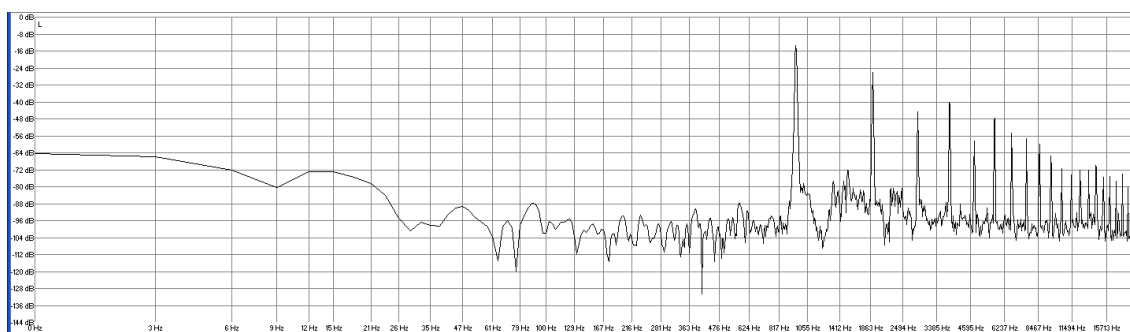
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 216	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,1	-22,7	-40,9	-64,7	-70,3	-54,3	-61	-67,3
Frecuencia experimental	1009,6	2018,1	3026,9	4037,4	5045	6053,9	7062,1	8071,2
Frecuencia Teórica	1009,6	2019,2	3028,8	4038,4	5048	6057,6	7067,2	8076,8

SONIDO 217	Digitación completa	Digitación simplificada
		


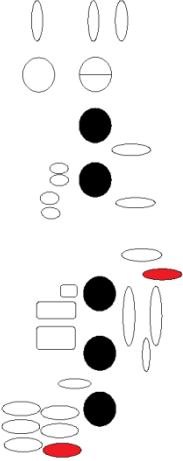
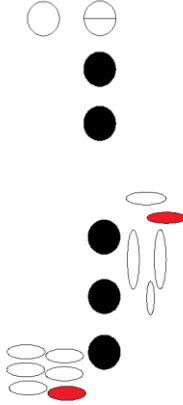
Oscilograma



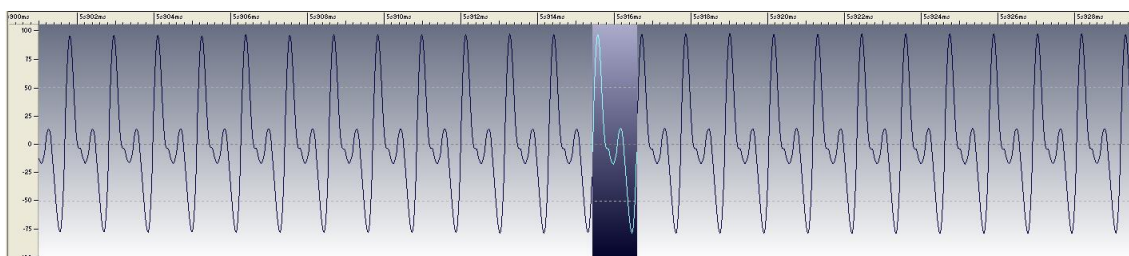
Gráfica FFT



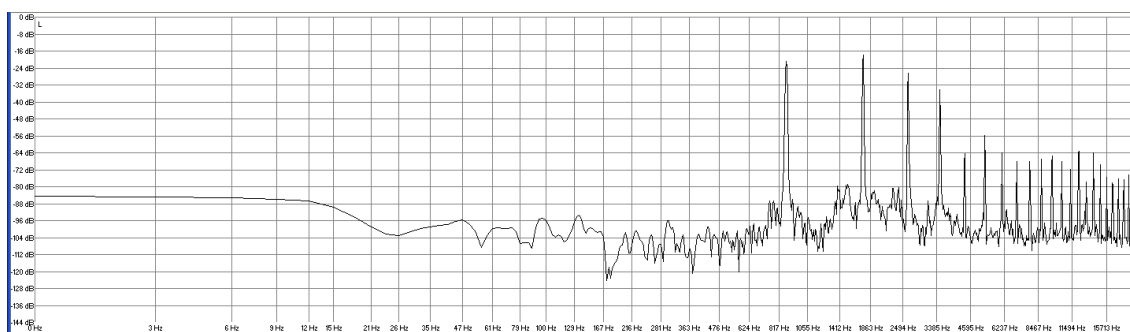
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 217	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-13,8	-26	-45	-40,2	-58,4	-48	-55,1	-57,3
Frecuencia experimental	952,2	1904,7	2854,4	3806,7	4758,1	5710,5	6661,1	7613,2
Frecuencia Teórica	952,2	1904,4	2856,6	3808,8	4761	5713,2	6665,4	7617,6

SONIDO 218	Digitación completa	Digitación simplificada
		


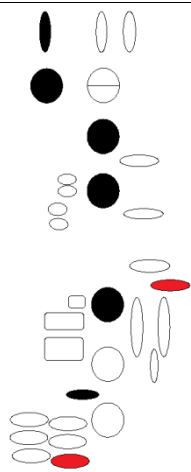
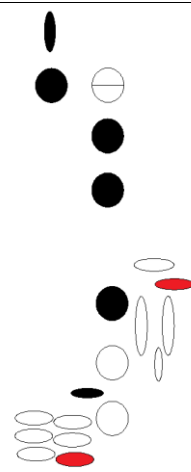
Oscilograma



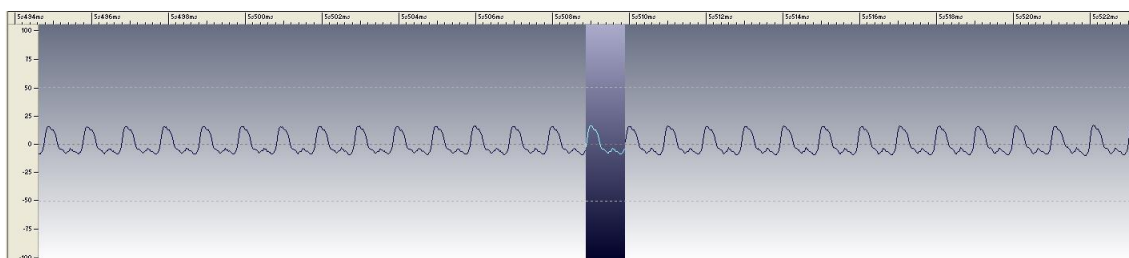
Gráfica FFT



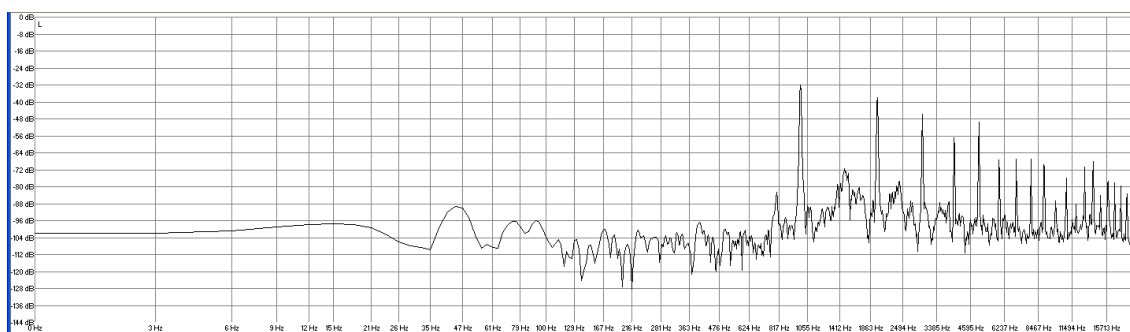
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 218	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-20,8	-17,9	-26,4	-34,2	-64	-56,2	-64	-68,1
Frecuencia experimental	873,2	1743,8	2615,9	3489,4	4361	5232	6105	6976,9
Frecuencia Teórica	873,2	1746,4	2619,6	3492,8	4366	5239,2	6112,4	6985,6

SONIDO 219	Digitación completa	Digitación simplificada
		

Oscilograma



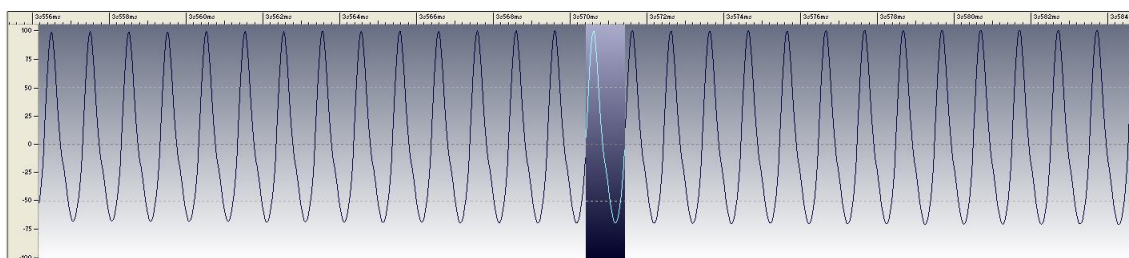
Gráfica FFT



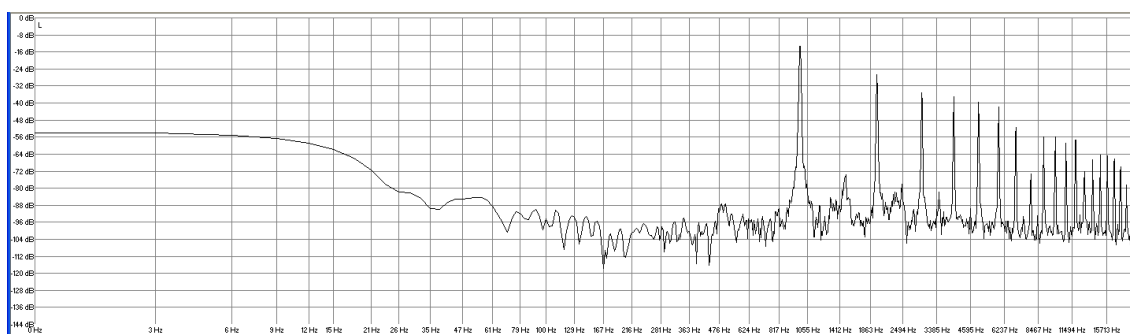
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 219	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-32	-38,3	-46,1	-56,9	-49,9	-67,7	-67	-67
Frecuencia experimental	993,2	1984,3	2977,2	3969,7	4962,8	5953,1	6947,3	7939,1
Frecuencia Teórica	993,2	1986,4	2979,6	3972,8	4966	5959,2	6952,4	7945,6

SONIDO 220	Digitación completa	Digitación simplificada


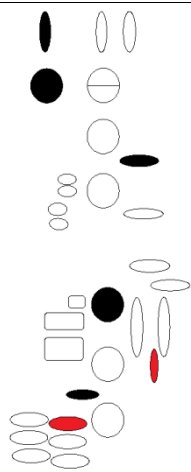
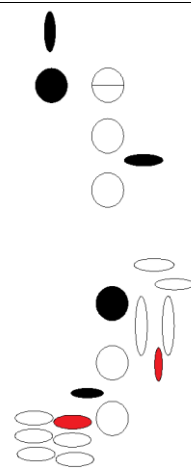
Oscilograma



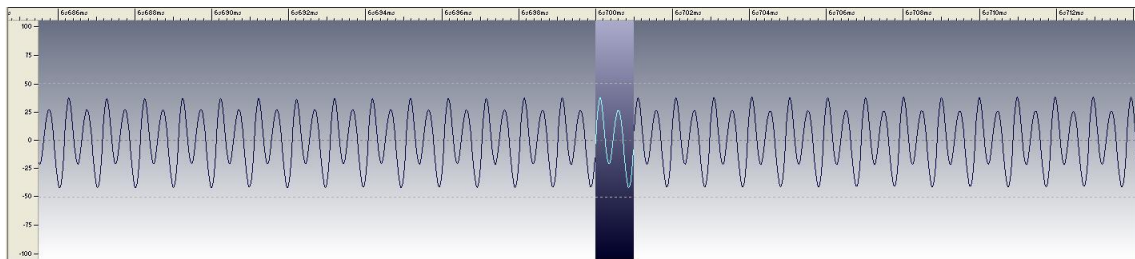
Gráfica FFT



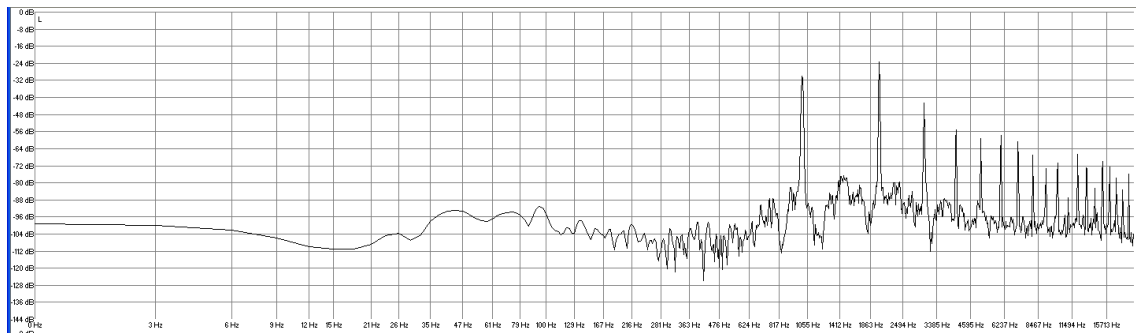
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 220	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-13,3	-26,7	-35,2	-37	-40	-41,8	-51,5	-73,3
Frecuencia experimental	988,8	1987	2965,2	3955,4	4942,3	5932,8	6919,4	7918,5
Frecuencia Teórica	988,8	1977,6	2966,4	3955,2	4944	5932,8	6921,6	7910,4

SONIDO 221	Digitación completa	Digitación simplificada
		


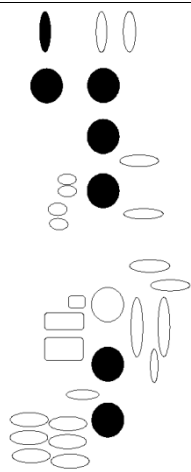

Oscilograma



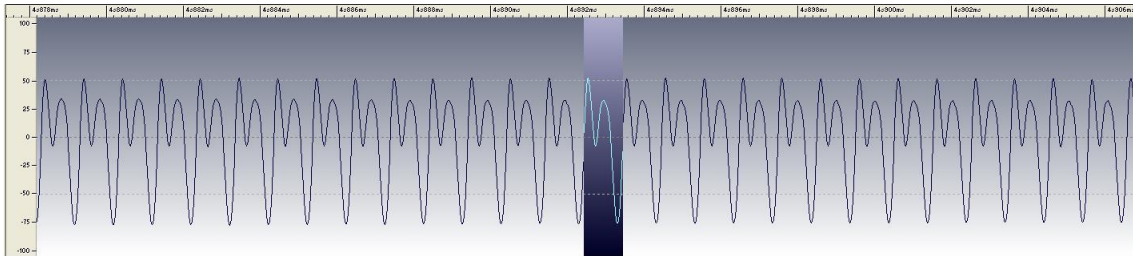
Gráfica FFT



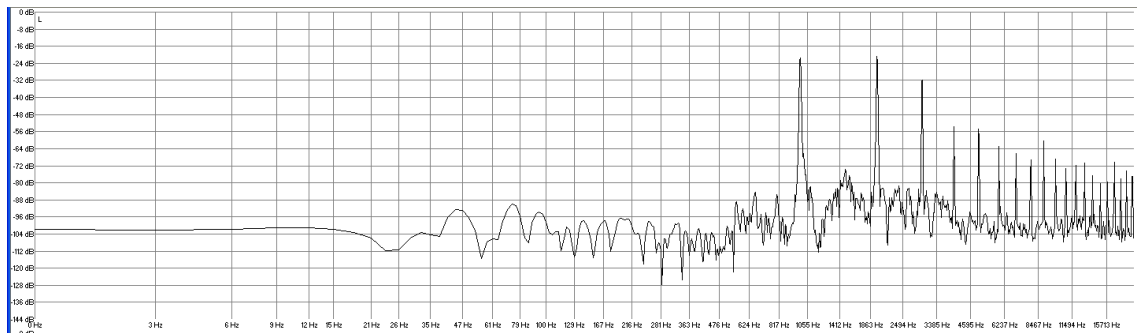
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 221	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-30,4	-23,3	-42,6	-55,2	-59,2	-57,7	-60,7	-67
Frecuencia experimental	1007,7	2016,9	3025,8	4034,6	5042,6	6049,5	7057,3	8067,2
Frecuencia Teórica	1007,7	2015,4	3023,1	4030,8	5038,5	6046,2	7053,9	8061,6

SONIDO 222	Digitación completa	Digitación simplificada
		


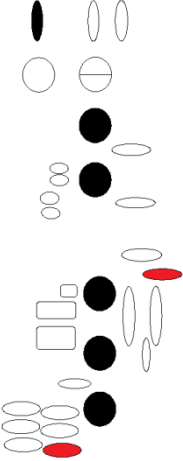
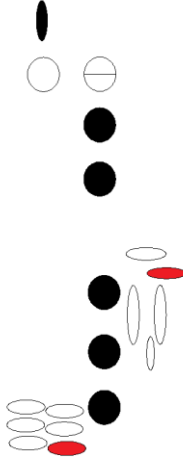
Oscilograma



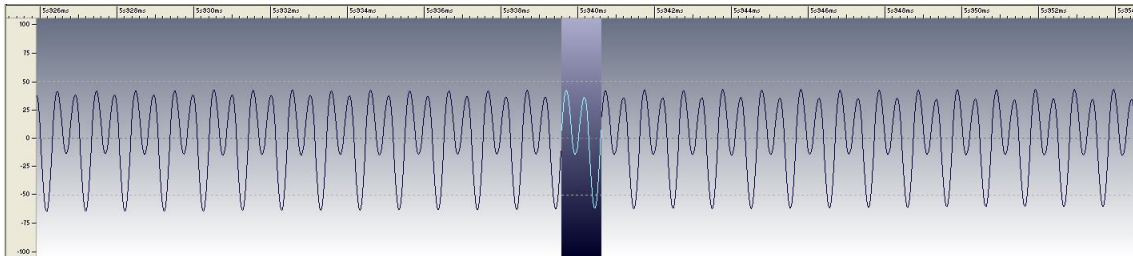
Gráfica FFT



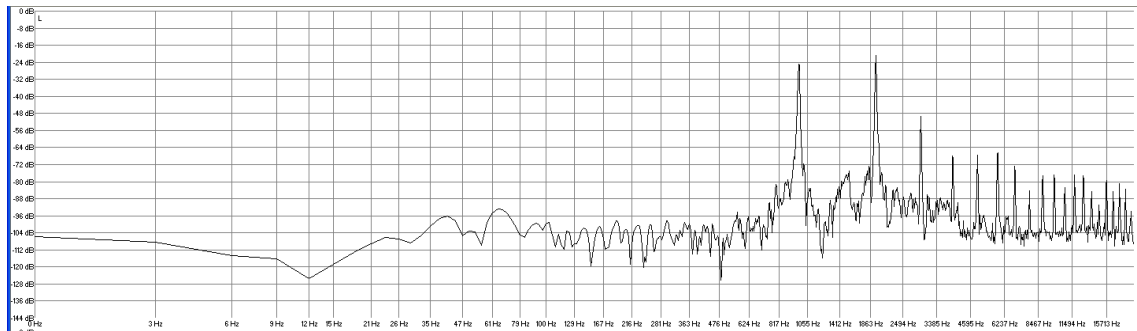
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 222	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-21,5	-21,1	-31,8	-54	-55,2	-63,3	-66,3	-69,6
Frecuencia experimental	990,5	1980	2969,7	3959,2	4989,2	5938,9	6928,5	7918,6
Frecuencia Teórica	990,5	1981	2971,5	3962	4952,5	5943	6933,5	7924

SONIDO 223	Digitación completa	Digitación simplificada
		


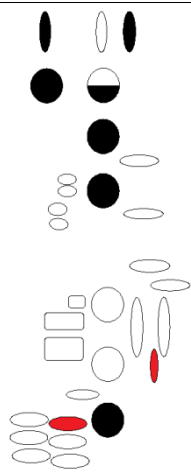
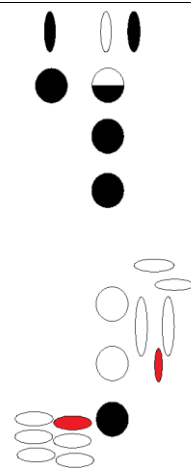
Oscilograma



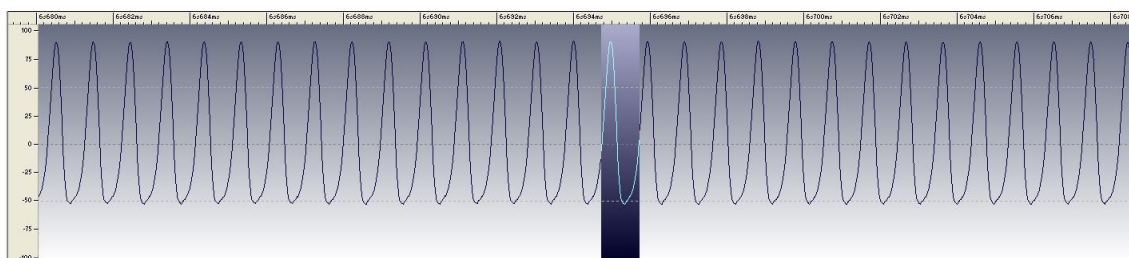
Gráfica FFT



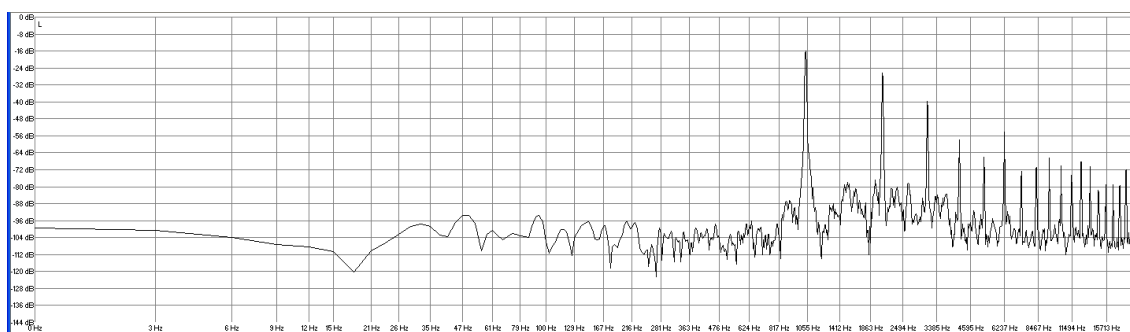
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 223	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-24,1	-20,4	-49,7	-68,3	-67,5	-66,4	-72,4	-84,2
Frecuencia experimental	979,4	1959,5	2938,4	3916,6	4895,6	5873,4	6853,2	7830,9
Frecuencia Teórica	979,4	1958,8	2938,2	3917,6	4897	5876,4	6855,8	7835,2

SONIDO 224	Digitación completa	Digitación simplificada
		


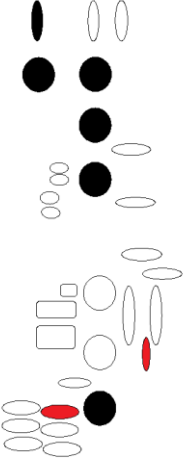
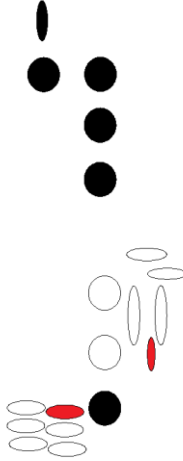
Oscilograma



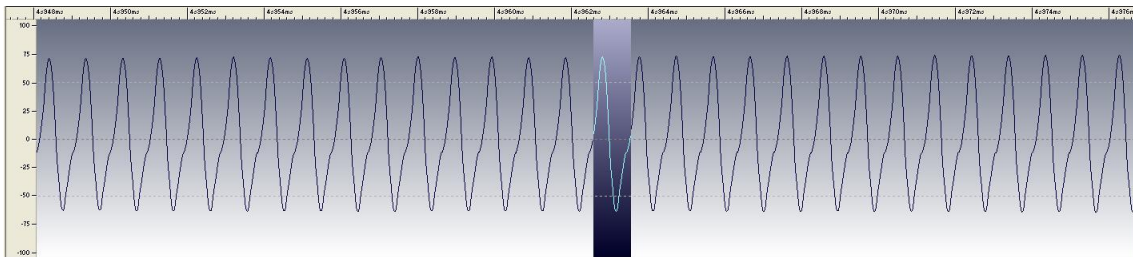
Gráfica FFT



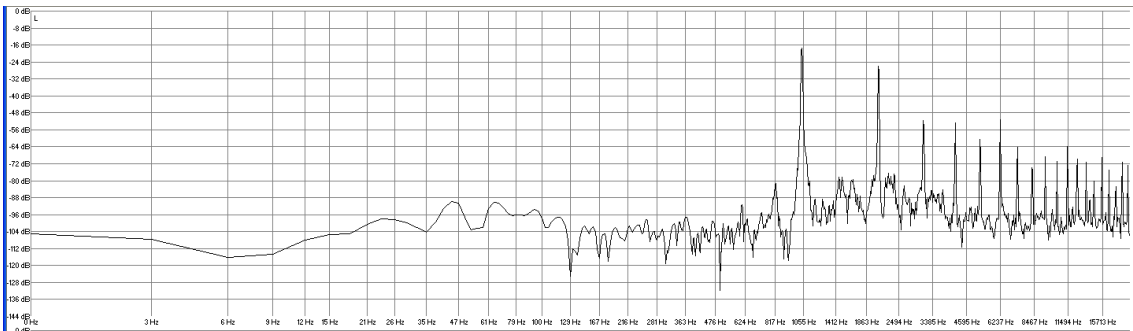
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 224	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16	-26,7	-39,7	-57,9	-66,4	-54,2	-72,4	-70,9
Frecuencia experimental	1039,9	2080,5	3118,1	4158,7	5195,3	6238,6	7278,4	8322
Frecuencia Teórica	1039,9	2079,8	3119,7	4159,6	5199,5	6239,4	7279,3	8319,2

SONIDO 225	Digitación completa	Digitación simplificada
		


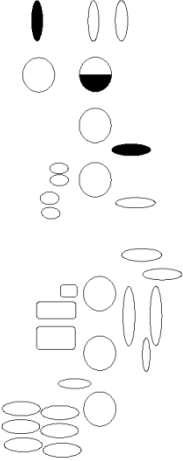
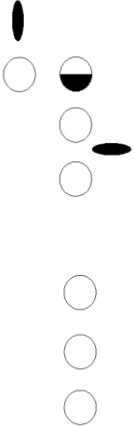
Oscilograma



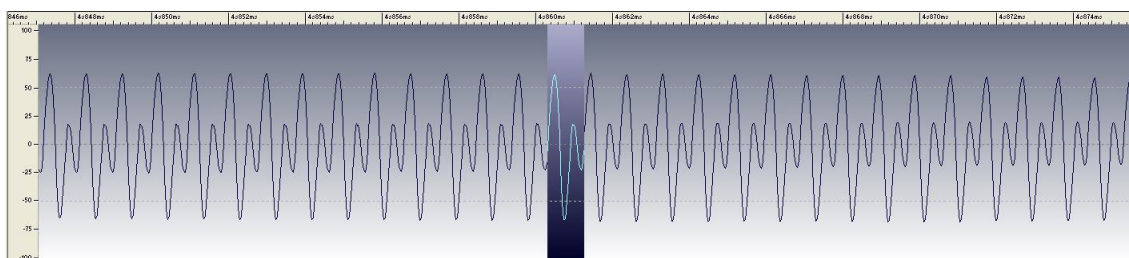
Gráfica FFT



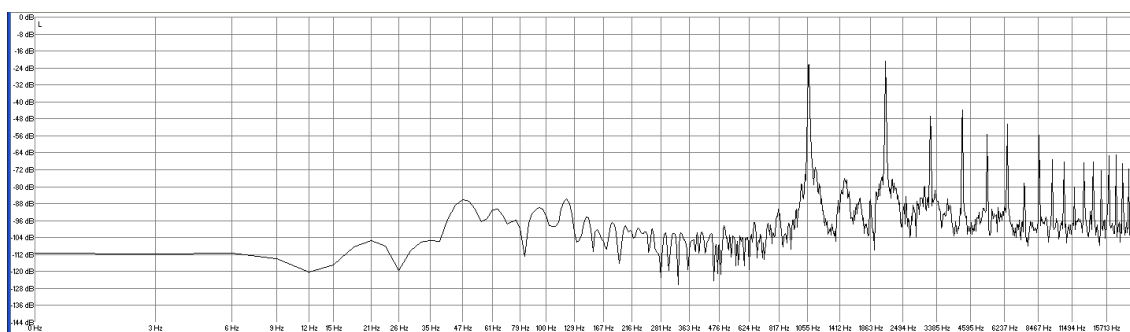
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 225	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,8	-26,4	-51,6	-52,7	-60,5	-51,2	-64,2	-74,2
Frecuencia experimental	1040,3	2080,6	3120,5	4159,5	5198,3	6236,8	7277,1	8317,7
Frecuencia Teórica	1040,3	2080,6	3120,9	4161,2	5201,5	6241,8	7282,1	8322,4

SONIDO 226	Digitación completa	Digitación simplificada
		


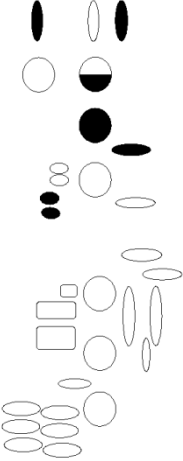
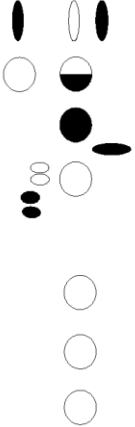
Oscilograma



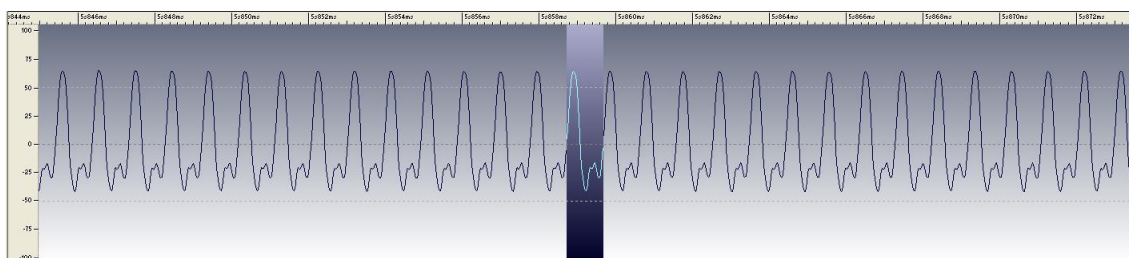
Gráfica FFT



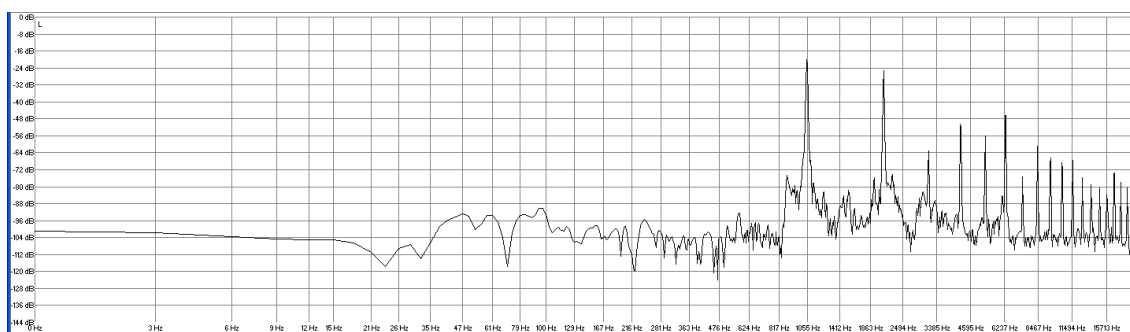
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 226	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-22,3	-20,8	-46,8	-44,5	-55,3	-50,5	-78,3	-55,7
Frecuencia experimental	1069,6	2136,1	3204,7	4271,2	5340,5	6407,8	7476,7	8542,6
Frecuencia Teórica	1069,6	2139,2	3208,8	4278,4	5348	6417,6	7487,2	8556,8

SONIDO 227	Digitación completa	Digitación simplificada
		


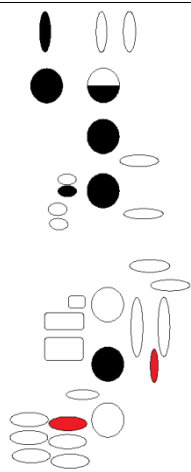
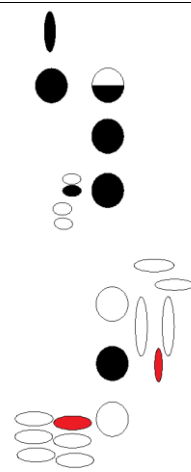
Oscilograma



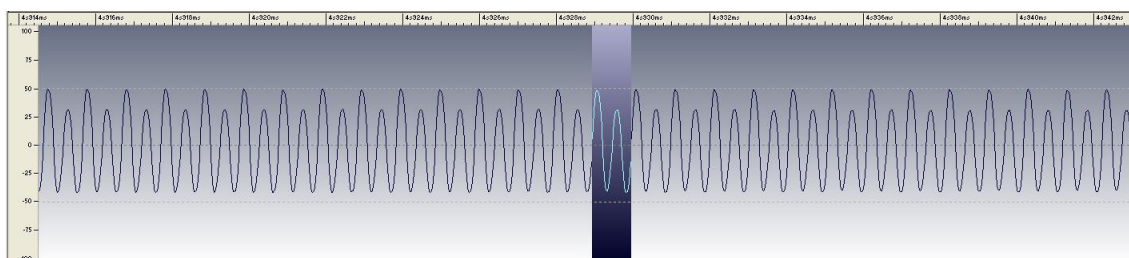
Gráfica FFT



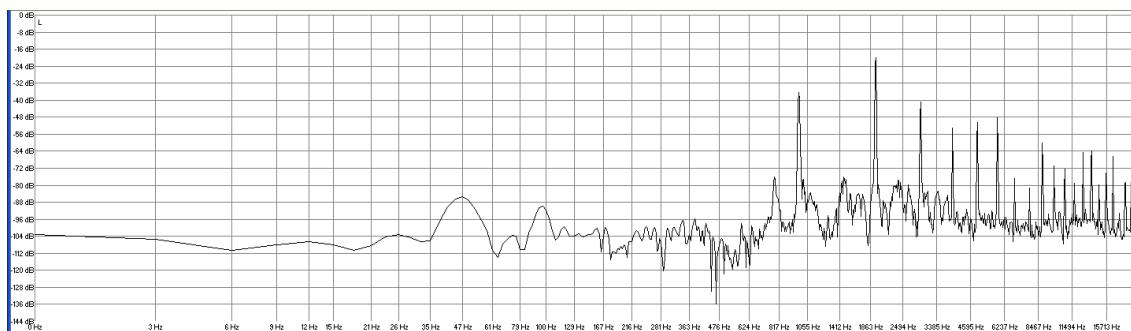
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 227	1 ^{er} arm	2 ^º arm	3 ^{er} arm	4 ^º arm	5 ^º arm	6 ^º arm	7 ^º arm	8 ^º arm
dB	-20	-24,9	-63,1	-50,8	-56	-46,4	-75,3	-61,2
Frecuencia experimental	1051,6	2102,3	3152	4203,6	5254,5	6305,9	7356,1	8408,2
Frecuencia Teórica	1051,6	2103,2	3154,8	4206,4	5258	6309,6	7361,2	8412,8

SONIDO 228	Digitación completa	Digitación simplificada
		


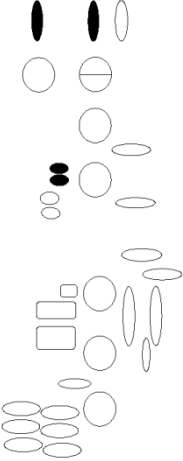
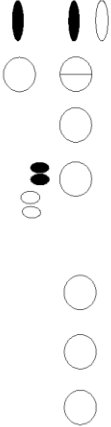
Oscilograma



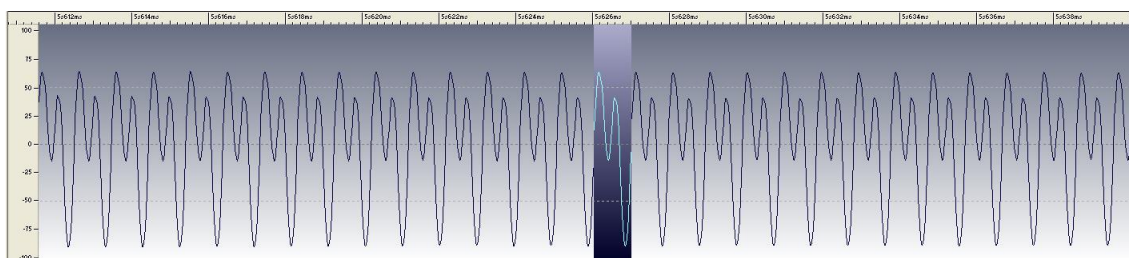
Gráfica FFT



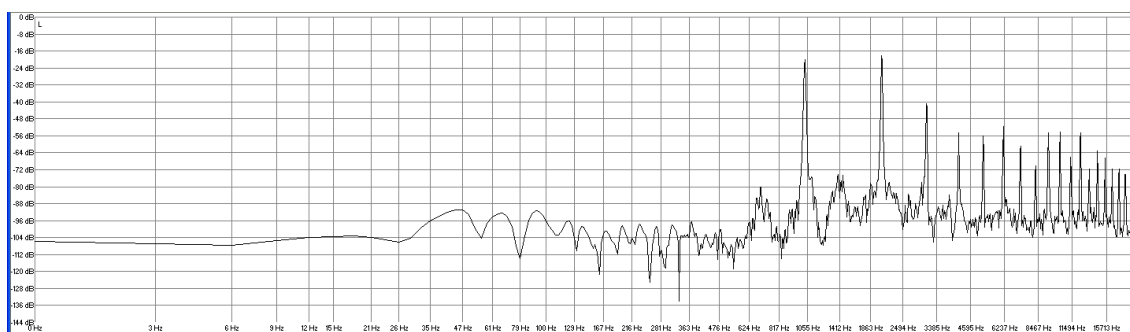
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 228	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-36,7	-20	-40,8	-53,4	-50,5	-48,2	-77,2	-81,3
Frecuencia experimental	978,8	1954,1	2932,5	3911,1	4890,1	5866,1	6844,2	7821,9
Frecuencia Teórica	978,8	1957,6	2936,4	3915,2	4894	5872,8	6851,6	7830,4

SONIDO 229	Digitación completa	Digitación simplificada
		


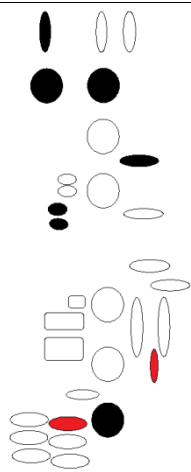
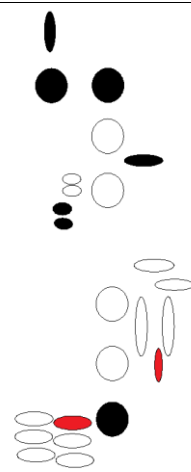
Oscilograma



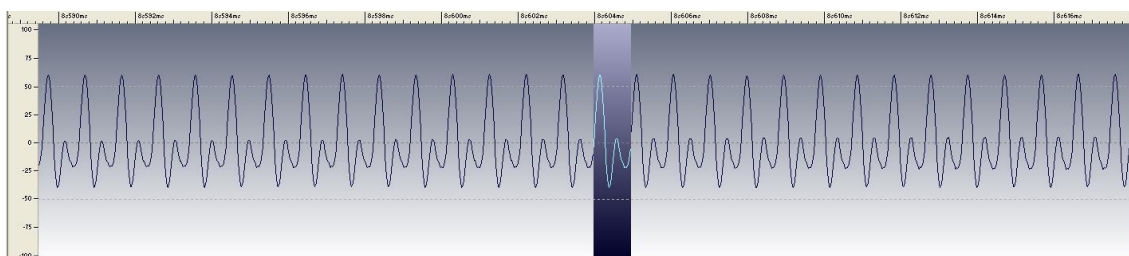
Gráfica FFT



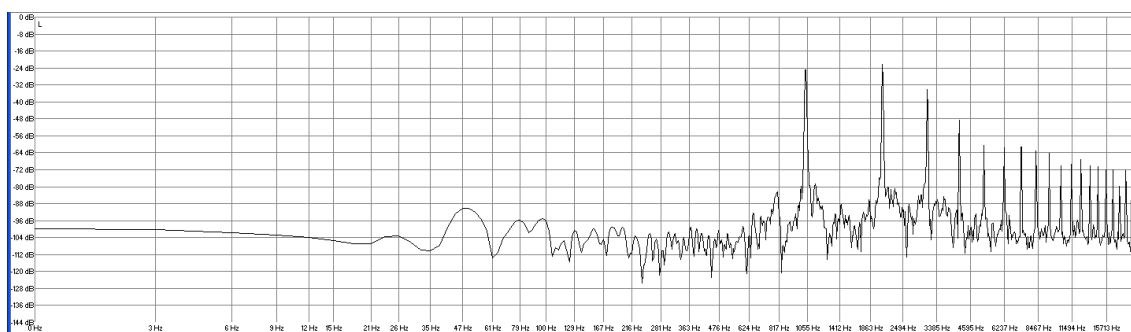
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 229	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-20	-17,8	-41,2	-54,6	-56	-51,6	-60,9	-70,5
Frecuencia experimental	1031,7	2064,4	3096,5	4134	5159,3	6190,1	7221,1	8264,7
Frecuencia Teórica	1031,7	2063,4	3095,1	4126,8	5158,5	6190,2	7221,9	8253,6

SONIDO 230	Digitación completa	Digitación simplificada
		


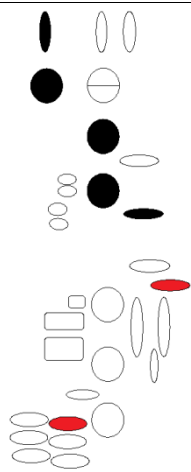

Oscilograma



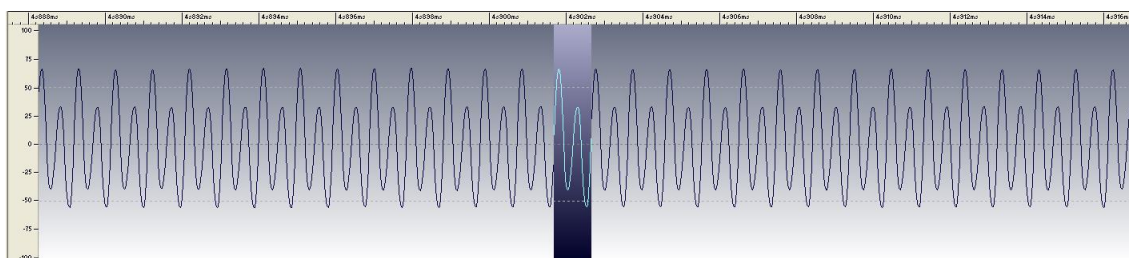
Gráfica FFT



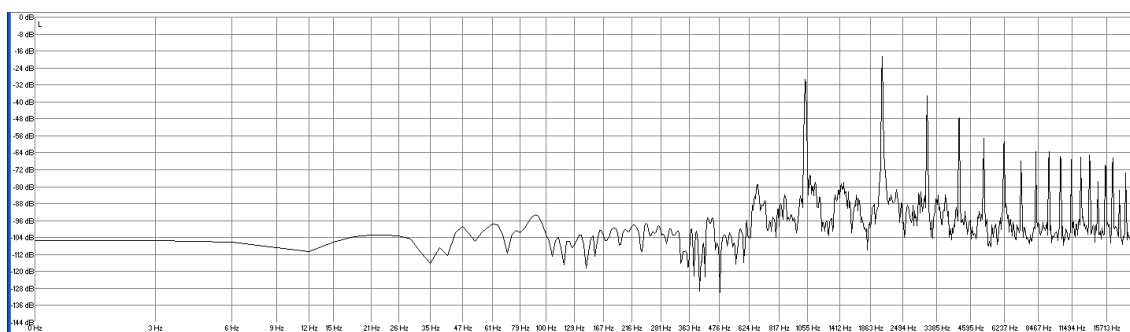
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 230	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-24,5	-22,6	-34,5	-49	-60,9	-62	-61,2	-63,1
Frecuencia experimental	1038,6	2076,9	3117,2	4154,2	5194,1	6231,8	7270,6	8308
Frecuencia Teórica	1038,6	2077,2	3115,8	4154,4	5193	6231,6	7270,2	8308,8

SONIDO 231	Digitación completa	Digitación simplificada
		


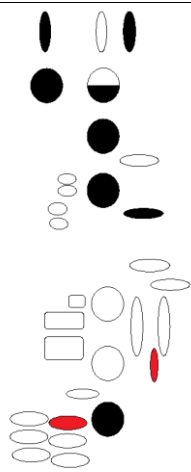

Oscilograma



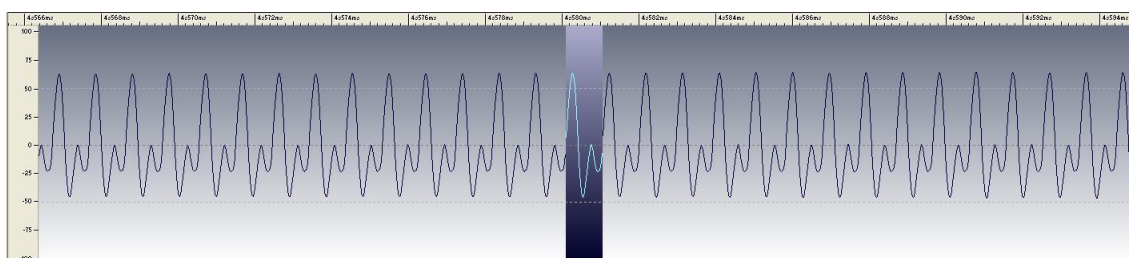
Gráfica FFT



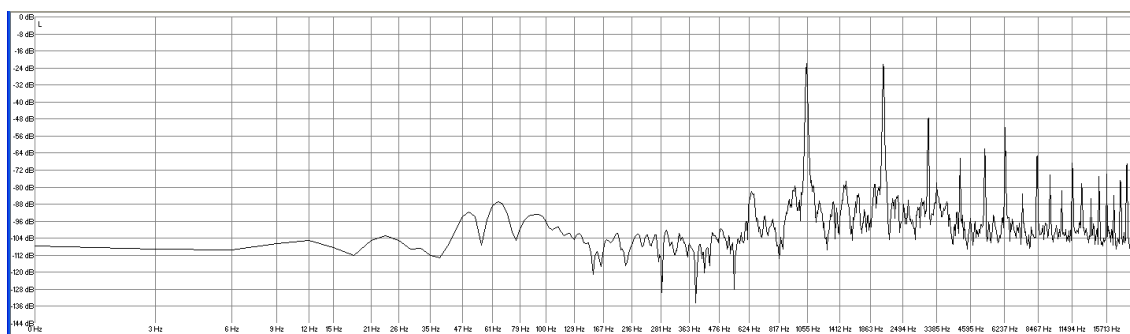
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 231	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-29,7	-18,6	-36,7	-47,1	-56,8	-57,9	-67,5	-63,5
Frecuencia experimental	1037	2074,3	3111,4	4147,6	5184,5	6219,7	7256,6	8293,6
Frecuencia Teórica	1037	2074	3111	4148	5185	6222	7259	8296

SONIDO 232	Digitación completa	Digitación simplificada
		


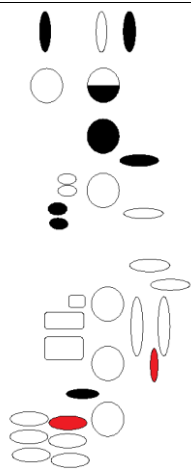

Oscilograma



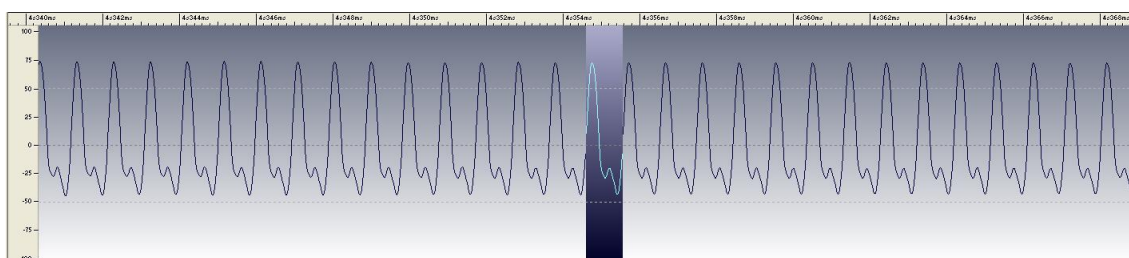
Gráfica FFT



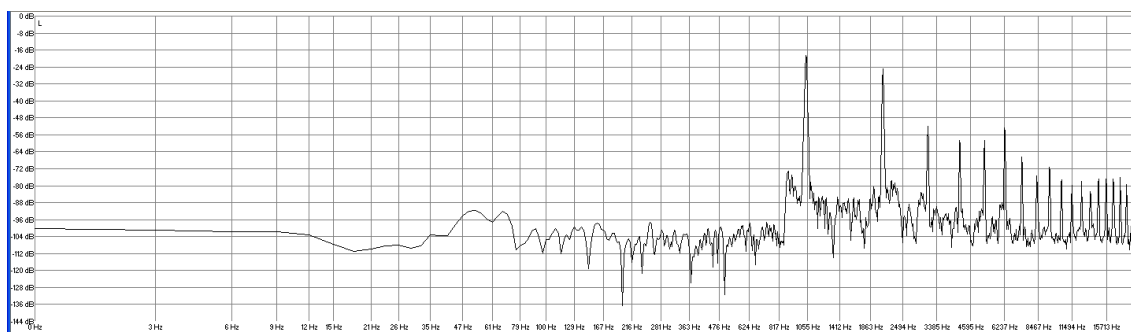
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 232	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-21,9	-22,3	-47,5	-66,4	-62	-52,3	-83,1	-65,7
Frecuencia experimental	1047,7	2095,2	3143,1	4189,7	5235,6	6283,7	7335,2	8377,9
Frecuencia Teórica	1047,7	2095,4	3143,1	4190,8	5238,5	6286,2	7333,9	8381,6

SONIDO 233	Digitación completa	Digitación simplificada
		


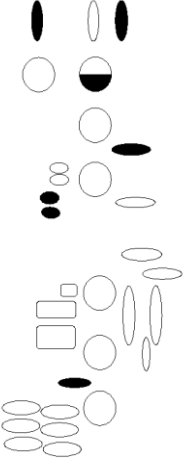
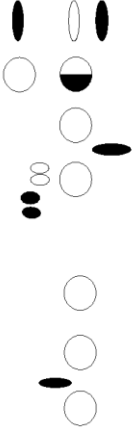
Oscilograma



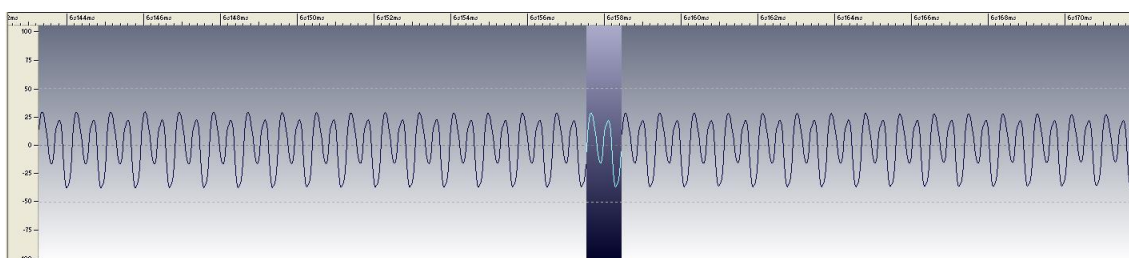
Gráfica FFT



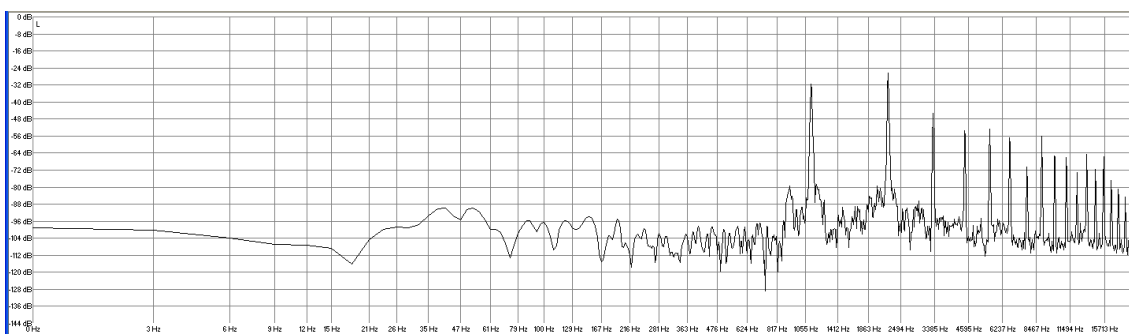
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 233	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,9	-24,9	-52,3	-59	-58,3	-52,3	-66,8	-75,3
Frecuencia experimental	1043,2	2088,3	3131,6	4174,5	5215,7	6260,8	7302	8370
Frecuencia Teórica	1043,2	2086,4	3129,6	4172,8	5216	6259,2	7302,4	8345,6

SONIDO 234	Digitación completa	Digitación simplificada
		


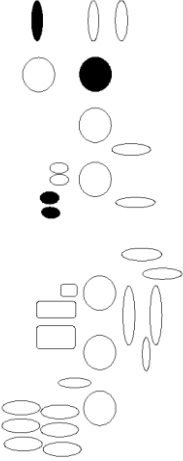
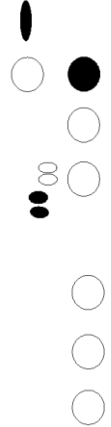
Oscilograma



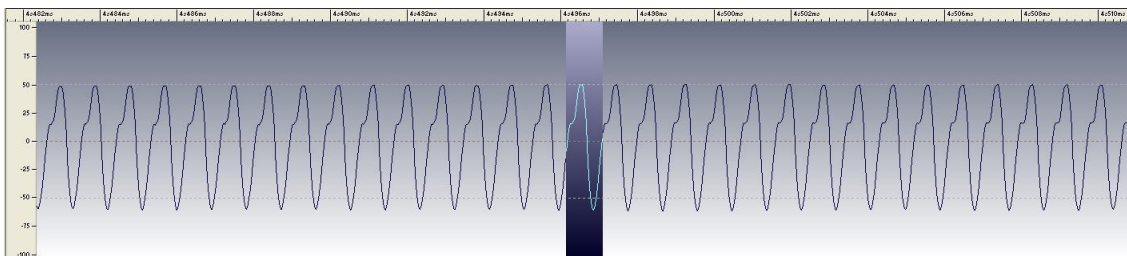
Gráfica FFT



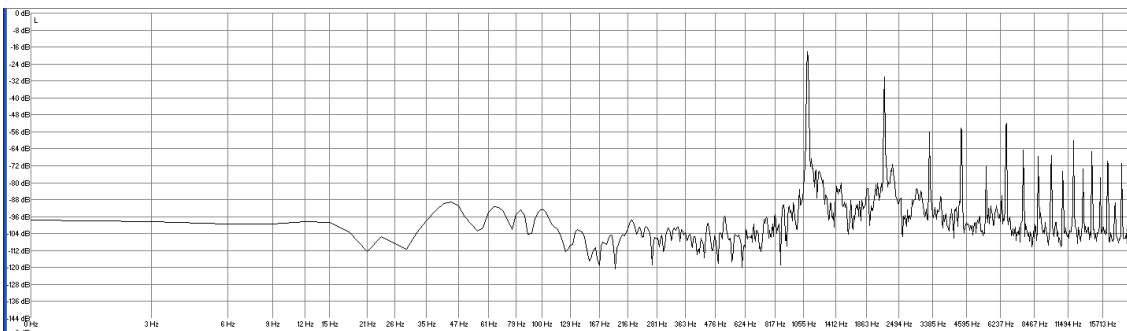
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 234	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-31,9	-26,7	-45,3	-53,8	-53,1	-56,8	-70,9	-56
Frecuencia experimental	1113	2224,8	3336,9	4447,9	5560,9	6670,5	7782,6	8894
Frecuencia Teórica	1113	2226	3339	4452	5565	6678	7791	8904

SONIDO 235	Digitación completa	Digitación simplificada
		


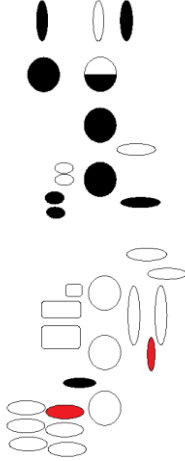
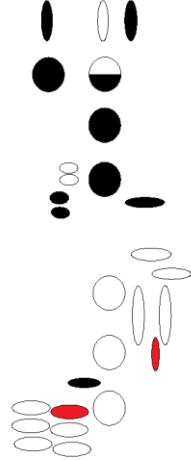
Oscilograma



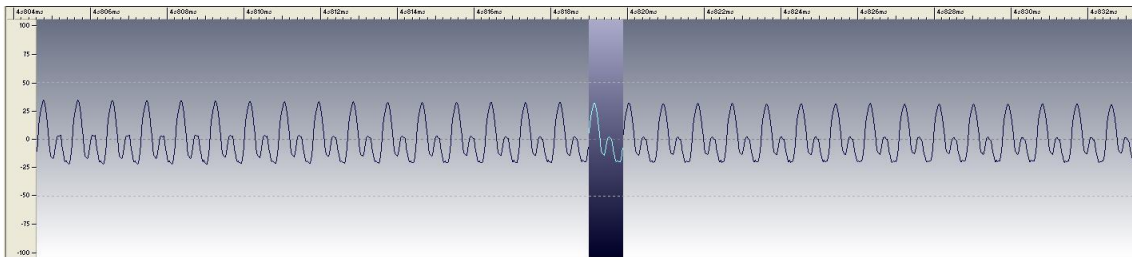
Gráfica FFT



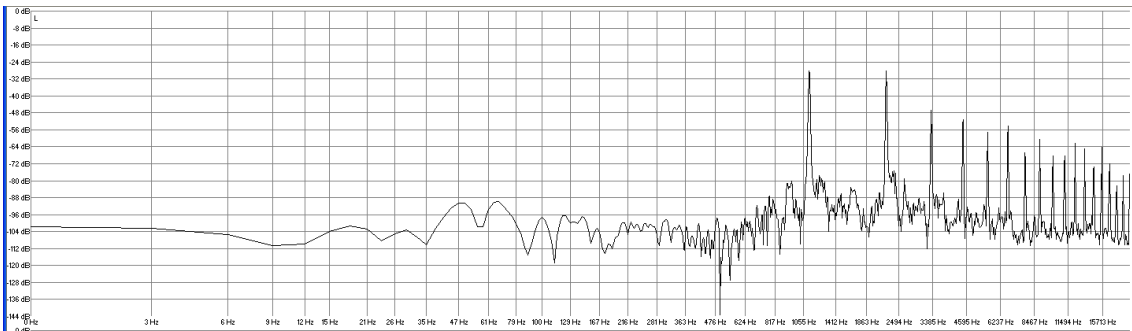
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 235	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,6	-30,4	-56	-54,6	-72,7	-52	-64,2	-67,5
Frecuencia experimental	1098	2194,2	3292,6	4388,6	5487,4	6582,4	7679,4	8777,9
Frecuencia Teórica	1098	2196	3294	4392	5490	6588	7686	8784

SONIDO 236	Digitación completa	Digitación simplificada
		


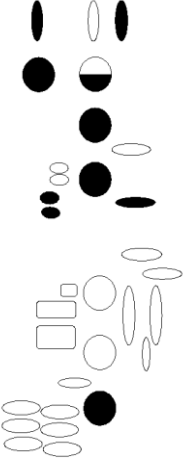
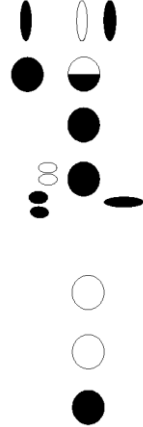
Oscilograma



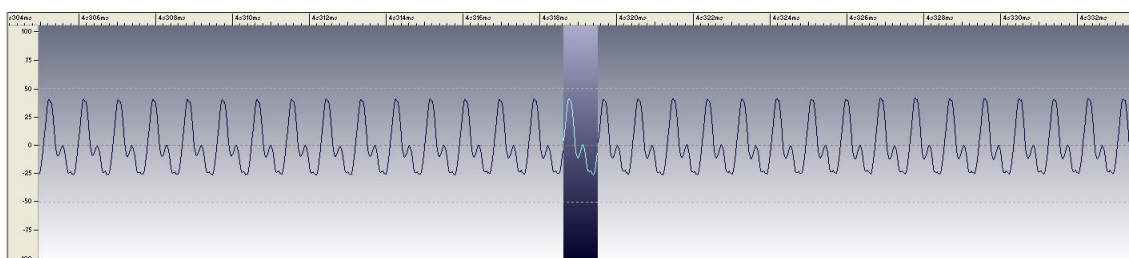
Gráfica FFT



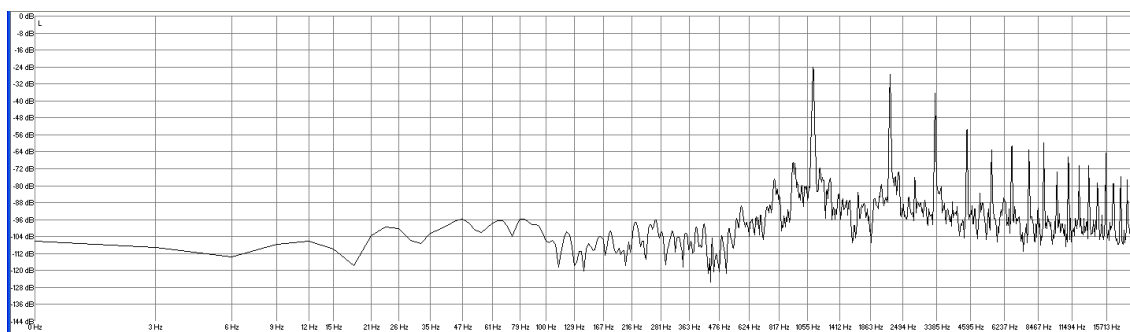
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 236	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-28,2	-28,2	-46,8	-51,6	-56,4	-54,2	-66,8	-60,5
Frecuencia experimental	1113,8	2226,8	3340	4454,2	5567,6	6682,8	7797,3	8913,2
Frecuencia Teórica	1113,8	2227,6	3341,4	4455,2	5569	6682,8	7796,6	8910,4

SONIDO 237	Digitación completa	Digitación simplificada
		


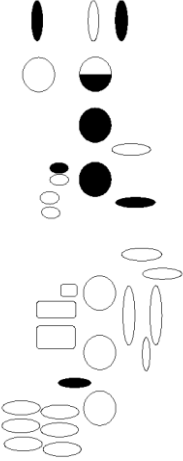
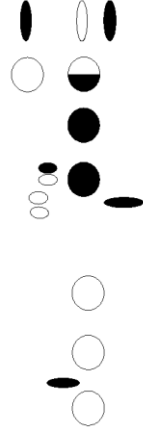
Oscilograma



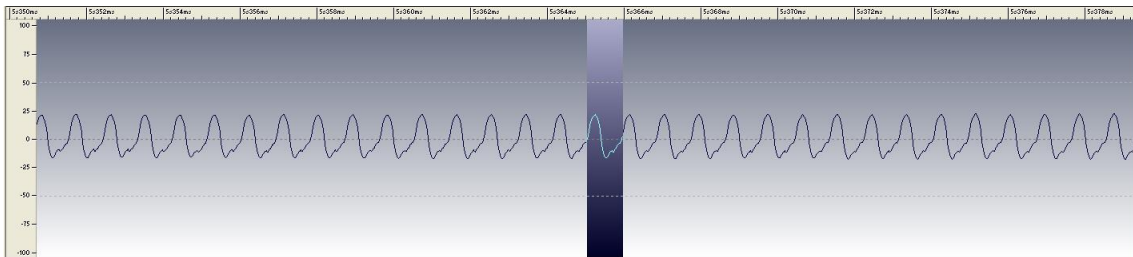
Gráfica FFT



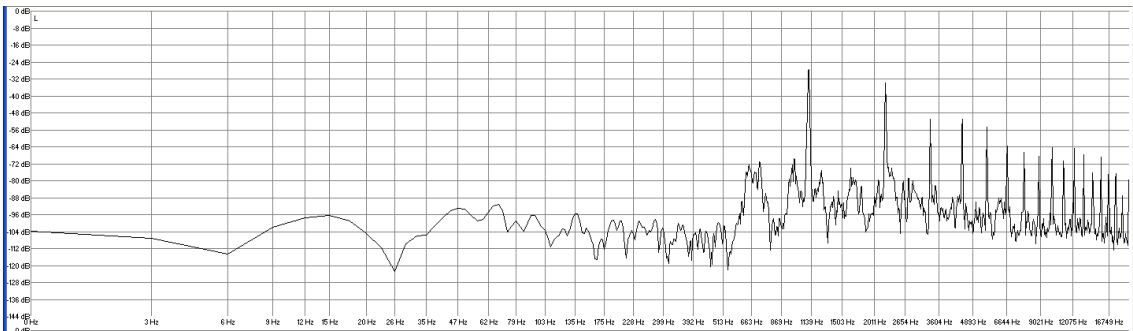
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 237	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-24,1	-27,8	-36,4	-53,4	-62,7	-61,2	-63,1	-59,8
Frecuencia experimental	1113,7	2226,5	3339,9	4453	5563,9	6676,2	7791,3	8903,2
Frecuencia Teórica	1113,7	2227,4	3341,1	4454,8	5568,5	6682,2	7795,9	8909,6

SONIDO 238	Digitación completa	Digitación simplificada
		


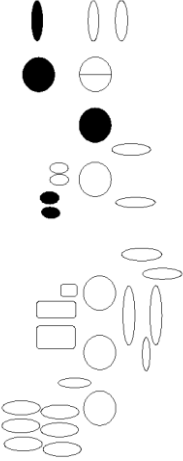
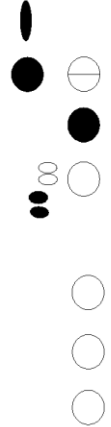
Oscilograma



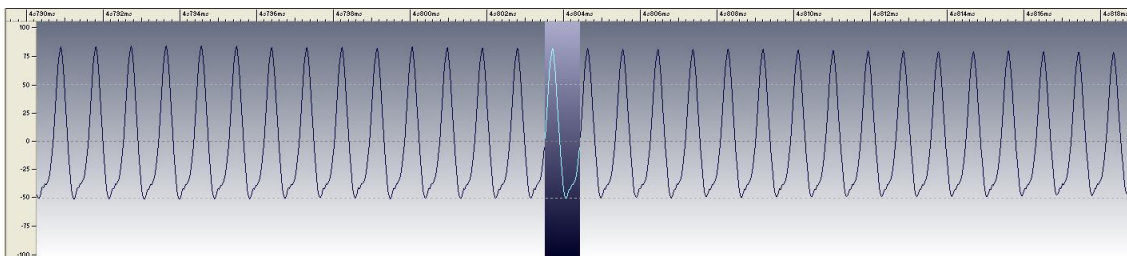
Gráfica FFT



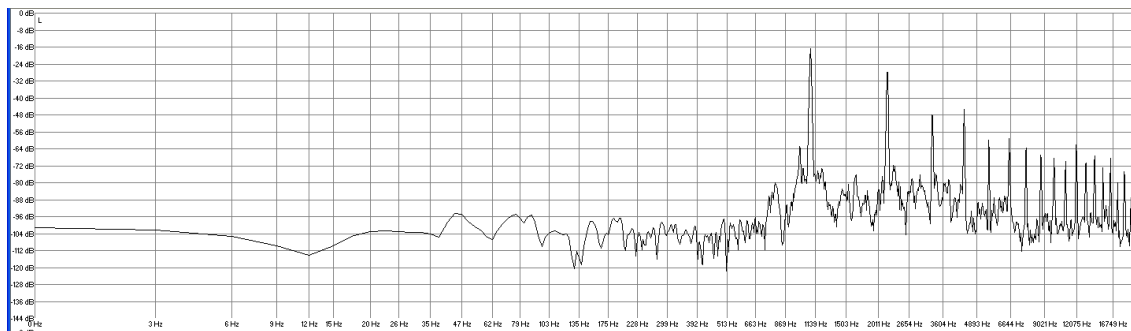
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 238	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-27,9	-33,9	-51	-51	-55,1	-64	-67	-68,5
Frecuencia experimental	1113,4	2225,9	3336,8	4449,6	5560,6	6674	7787,1	8900,9
Frecuencia Teórica	1113,4	2226,8	3340,2	4453,6	5567	6680,4	7793,8	8907,2

SONIDO 239	Digitación completa	Digitación simplificada
		


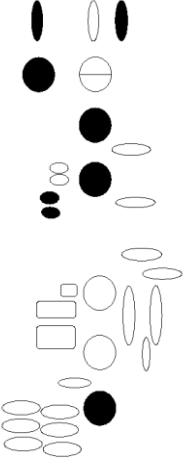

Oscilograma



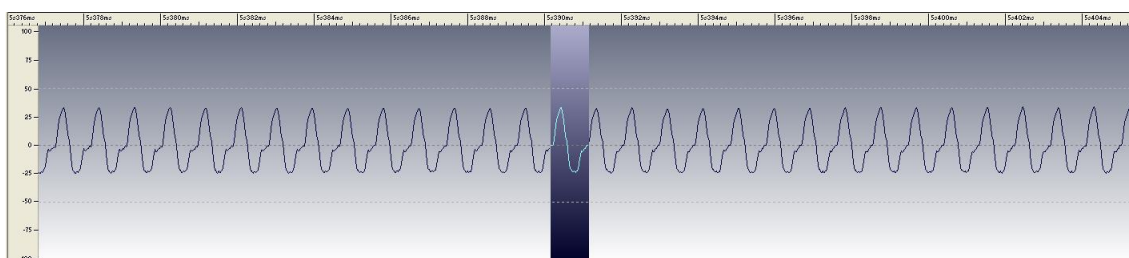
Gráfica FFT



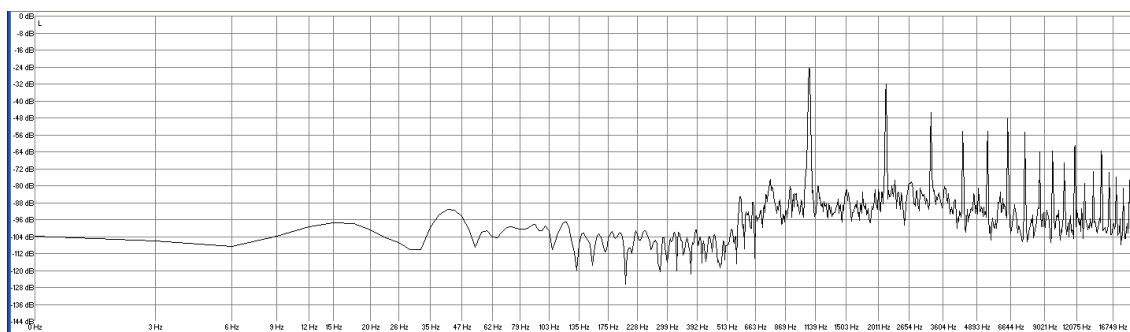
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 239	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16,7	-27,9	-48	-45,8	-59,9	-59,2	-64	-66,6
Frecuencia experimental	1092,9	2184	3276,9	4368	5457,6	6549,4	7639,5	8730,9
Frecuencia Teórica	1092,9	2185,8	3278,7	4371,6	5464,5	6557,4	7650,3	8743,2

SONIDO 240	Digitación completa	Digitación simplificada
		


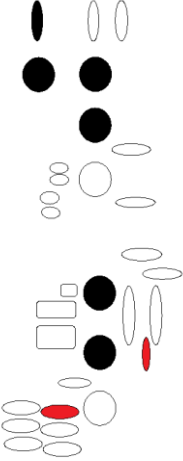
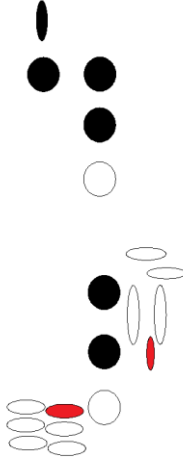
Oscilograma



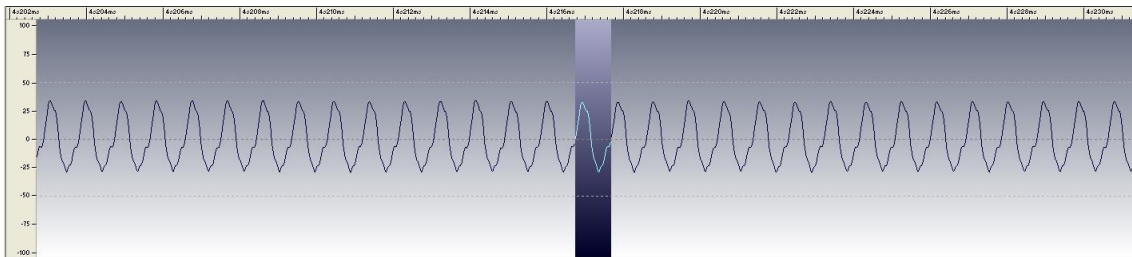
Gráfica FFT



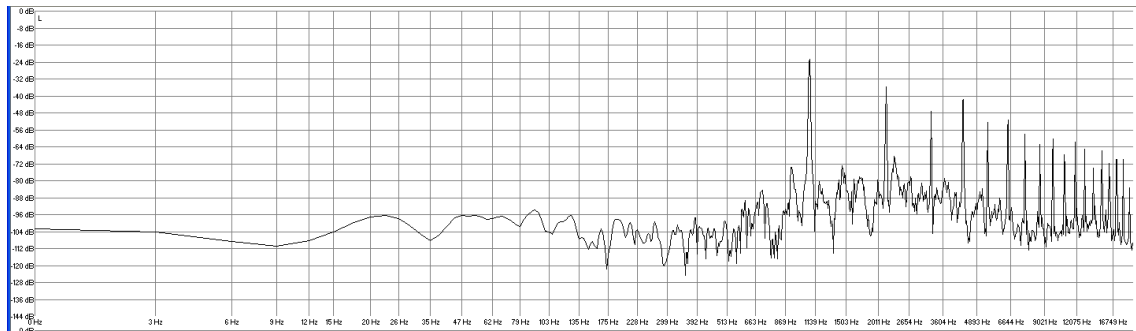
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 240	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-24,6	-32,7	-45,8	-54,7	-54,3	-48,7	-55,1	-64,4
Frecuencia experimental	1078	2158,9	3236,9	4318	5399,7	6474,6	7555,4	8634,1
Frecuencia Teórica	1078	2156	3234	4312	5390	6468	7546	8624

SONIDO 241	Digitación completa	Digitación simplificada
		


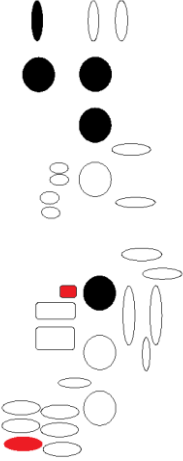
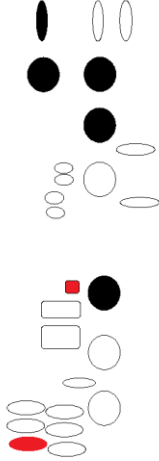
Oscilograma



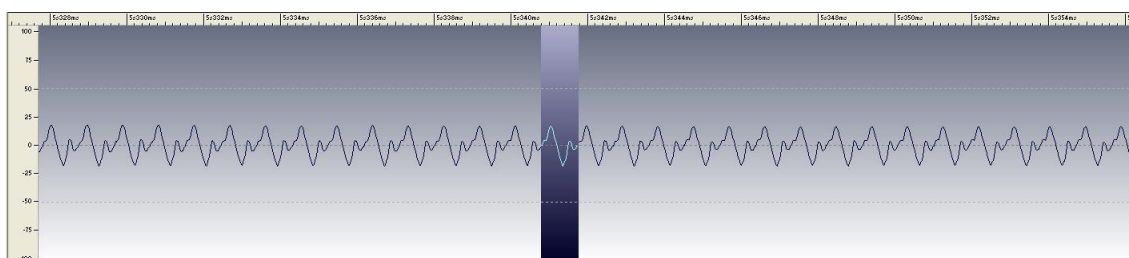
Gráfica FFT



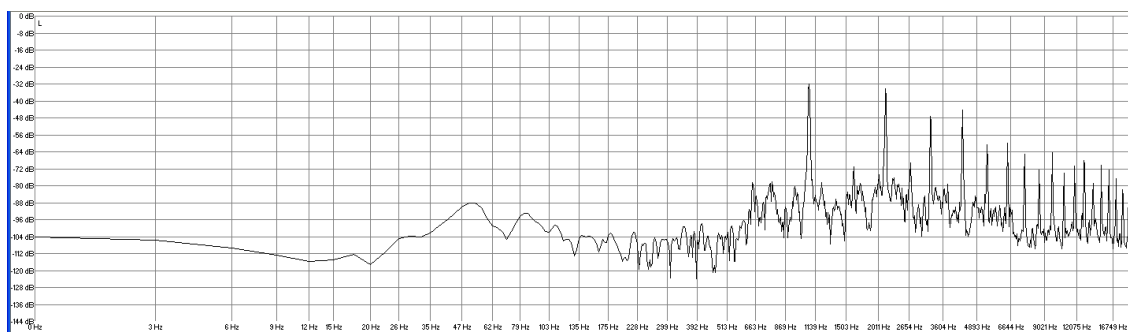
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 241	1 ^{er} arm	2º arm	3 ^{er} arm	4º arm	5º arm	6º arm	7º arm	8º arm
dB	-23,1	-36,1	-48	-41,7	-52,8	-51,3	-58	-62,9
Frecuencia experimental	1081,3	2164	3242,9	4324,4	5405,1	6486,4	7567,3	8647,6
Frecuencia Teórica	1081,3	2162,6	3243,9	4325,2	5406,5	6487,8	7569,1	8650,4

SONIDO 242	Digitación completa	Digitación simplificada
		


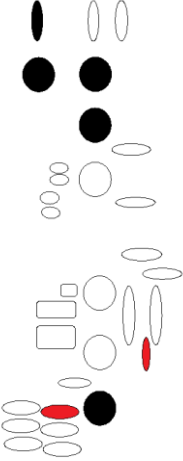
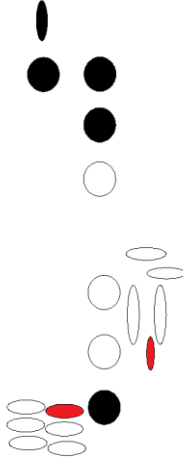
Oscilograma



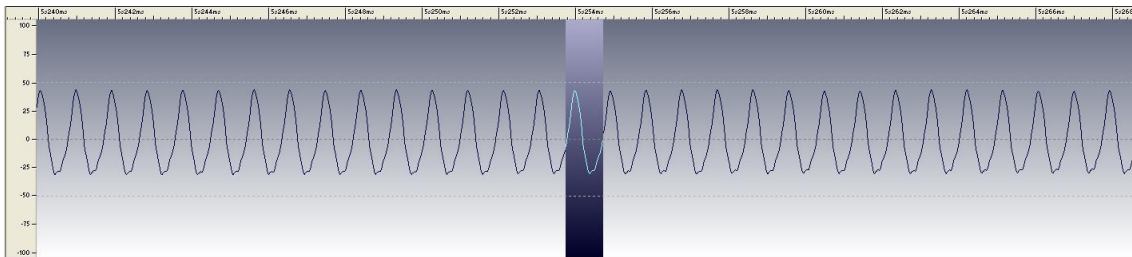
Gráfica FFT



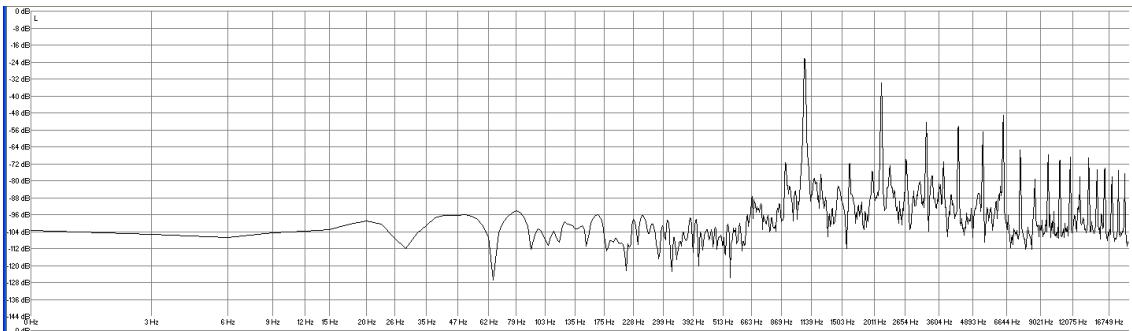
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 242	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-31,6	-34,2	-47,3	-44,3	-60,7	-59,9	-65,5	-72,2
Frecuencia experimental	1074,3	2151,7	3228,5	4304,1	5378,9	6457,4	7531,8	8605,9
Frecuencia Teórica	1074,3	2148,6	3222,9	4297,2	5371,5	6445,8	7520,1	8594,4

SONIDO 243	Digitación completa	Digitación simplificada
		


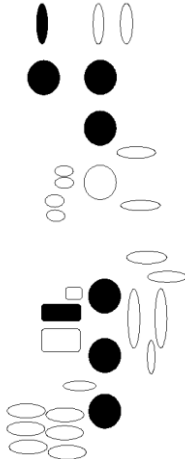

Oscilograma



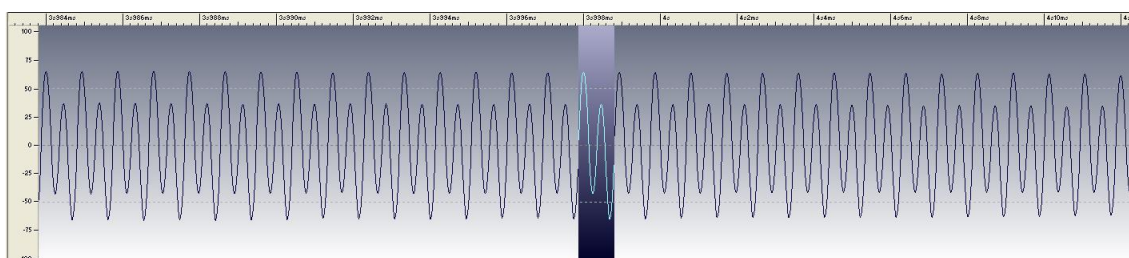
Gráfica FFT



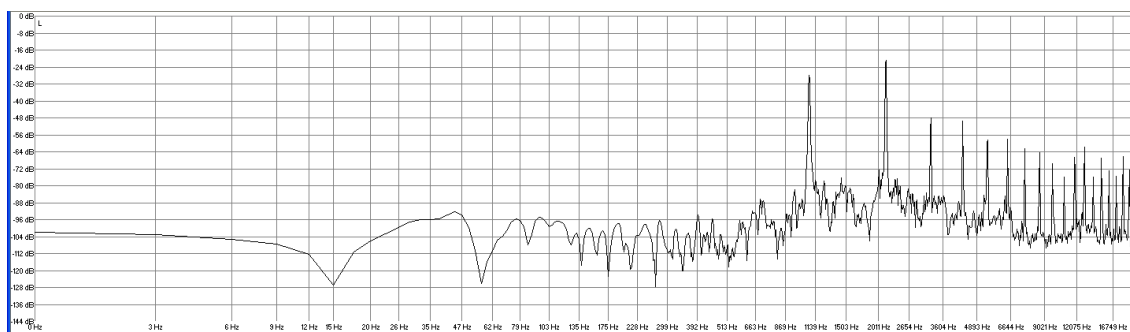
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 243	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-22,3	-33,9	-52,5	-54,3	-56,9	-48,4	-65,5	-79,3
Frecuencia experimental	1072,6	2147,8	3221,9	4293,9	5368,8	6443,4	7517,3	8570,7
Frecuencia Teórica	1072,6	2145,2	3217,8	4290,4	5363	6435,6	7508,2	8580,8

SONIDO 244	Digitación completa	Digitación simplificada
		


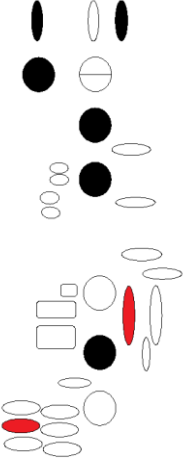
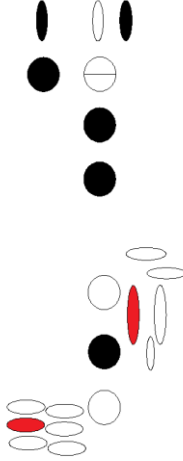
Oscilograma



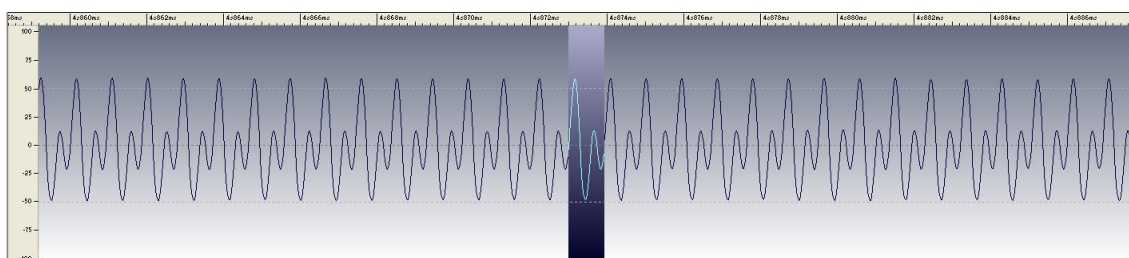
Gráfica FFT



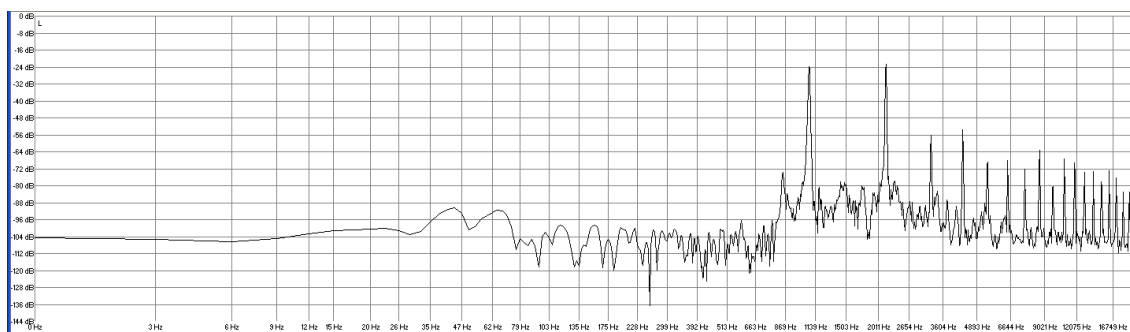
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 244	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-27,9	-20,5	-47,6	-49,5	-58,8	-58,8	-62,5	-64
Frecuencia experimental	1078,3	2156,8	3234,1	4312,8	5390,2	6468,2	7546,9	8623,7
Frecuencia Teórica	1078,3	2156,6	3234,9	4313,2	5391,5	6469,8	7548,1	8626,4

SONIDO 245	Digitación completa	Digitación simplificada
		


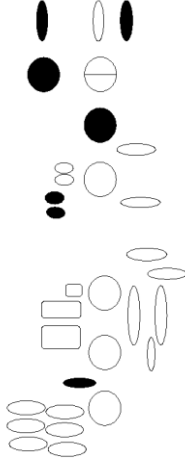
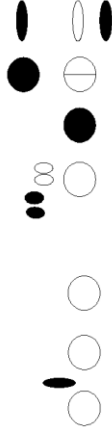
Oscilograma



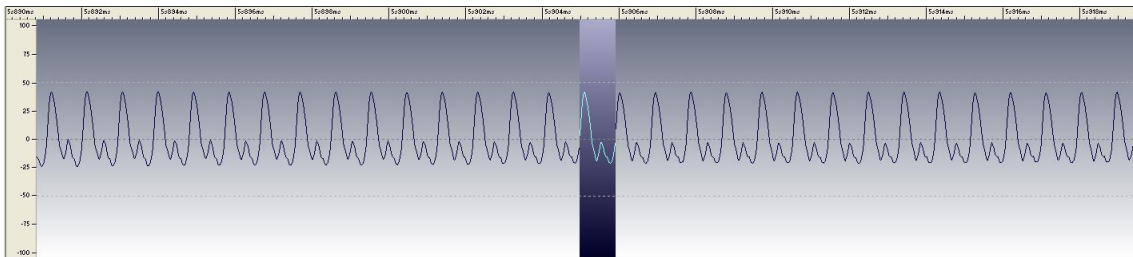
Gráfica FFT



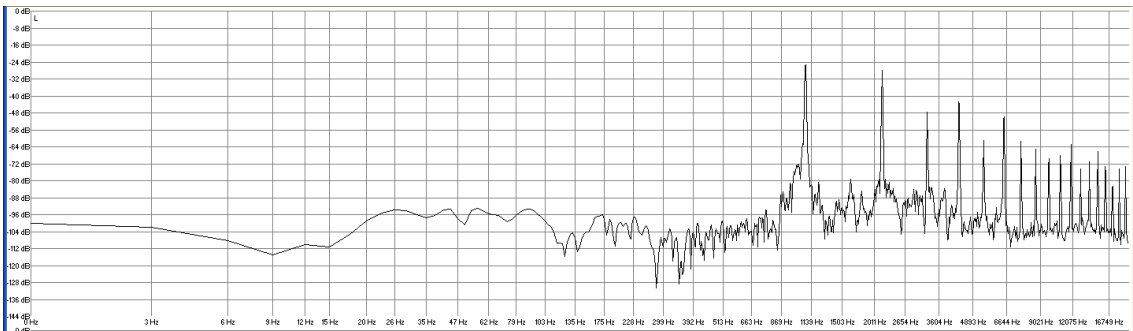
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 245	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-24,2	-22,7	-55,8	-52,8	-69,2	-68,1	-72,2	-63,3
Frecuencia experimental	1078,3	2158	3235,8	4315,9	5394	6468,8	7547,9	8625,5
Frecuencia Teórica	1078,3	2156,6	3234,9	4313,2	5391,5	6469,8	7548,1	8626,4

SONIDO 246	Digitación completa	Digitación simplificada
		


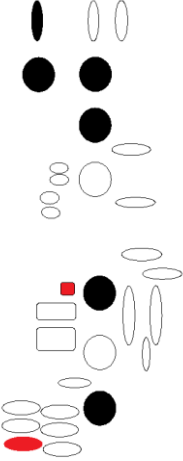
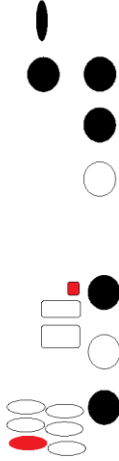
Oscilograma



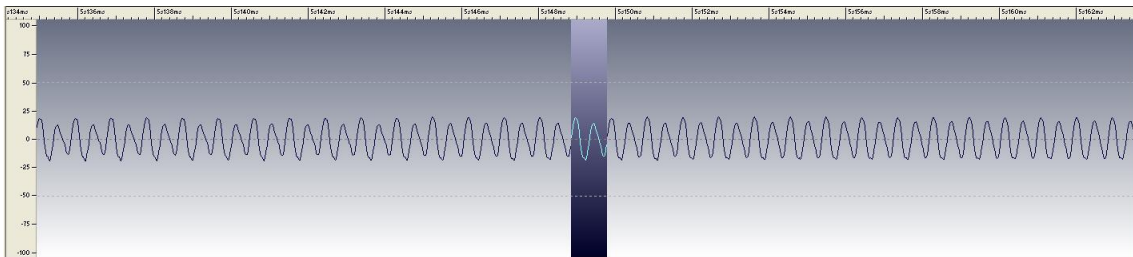
Gráfica FFT



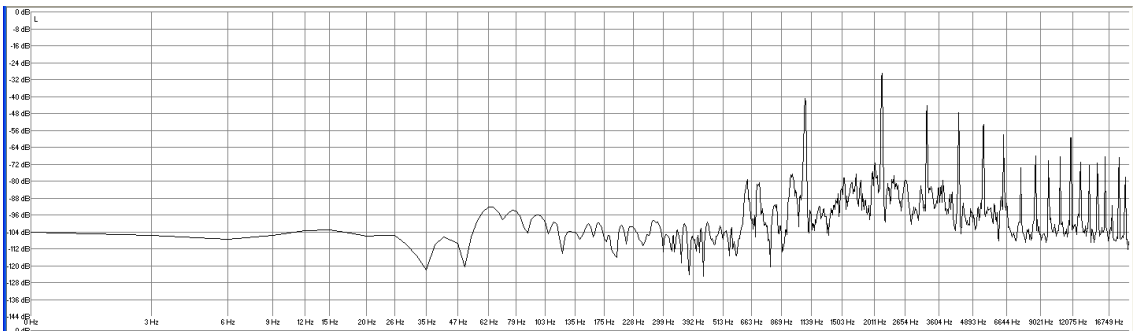
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 246	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-24,9	-27,5	-47,6	-43,2	-61,4	-49,5	-61,4	-64,7
Frecuencia experimental	1081,2	2162,6	3241,9	4322,9	5402,3	6485,1	7564,1	8645,2
Frecuencia Teórica	1081,2	2162,4	3243,6	4324,8	5406	6487,2	7568,4	8649,6

SONIDO 247	Digitación completa	Digitación simplificada
		


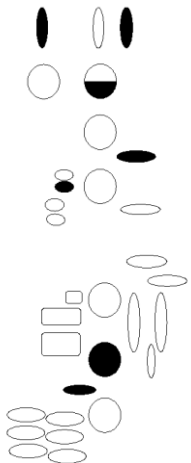
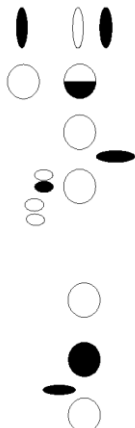
Oscilograma



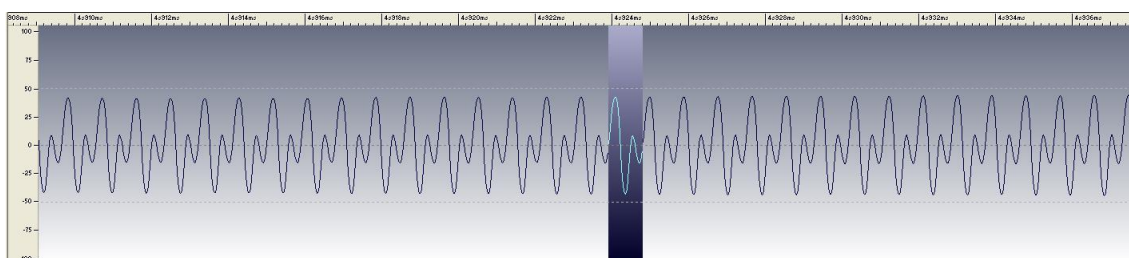
Gráfica FFT



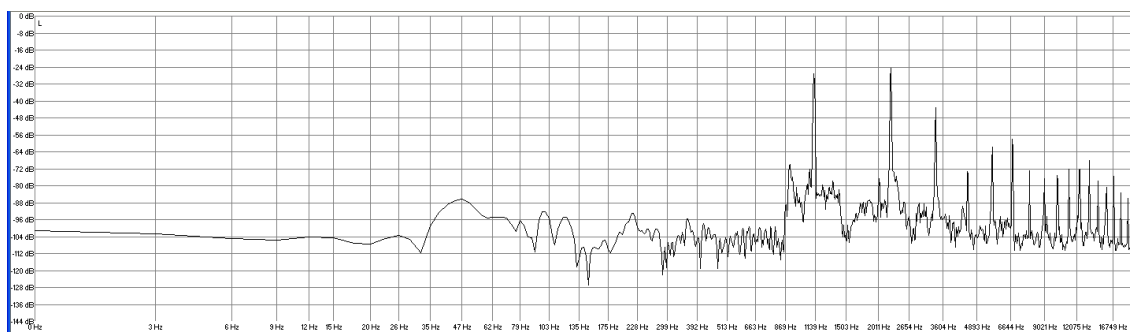
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 247	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-40,9	-29,4	-44,3	-47,6	-53,2	-58	73,3	-68,1
Frecuencia experimental	1077,8	2156,6	3234,3	4312,6	5391,7	6468,3	7549,8	8624,2
Frecuencia Teórica	1077,8	2155,6	3233,4	4311,2	5389	6466,8	7544,6	8622,4

SONIDO 248	Digitación completa	Digitación simplificada
		


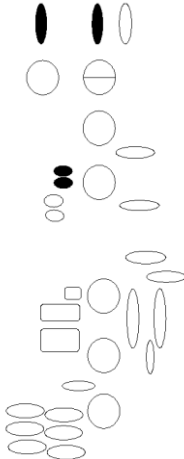
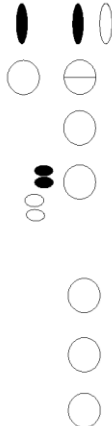
Oscilograma



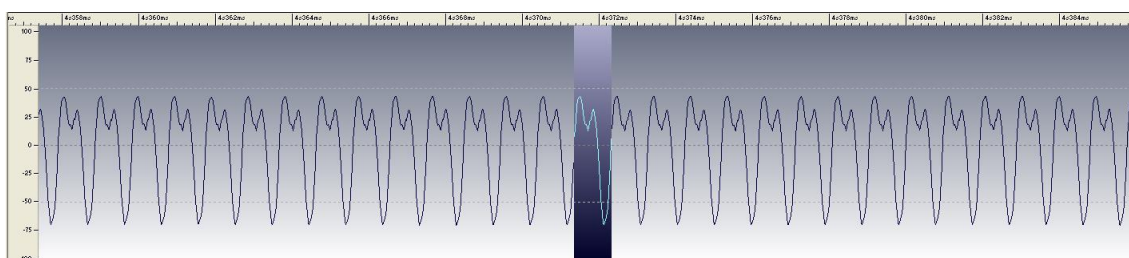
Gráfica FFT



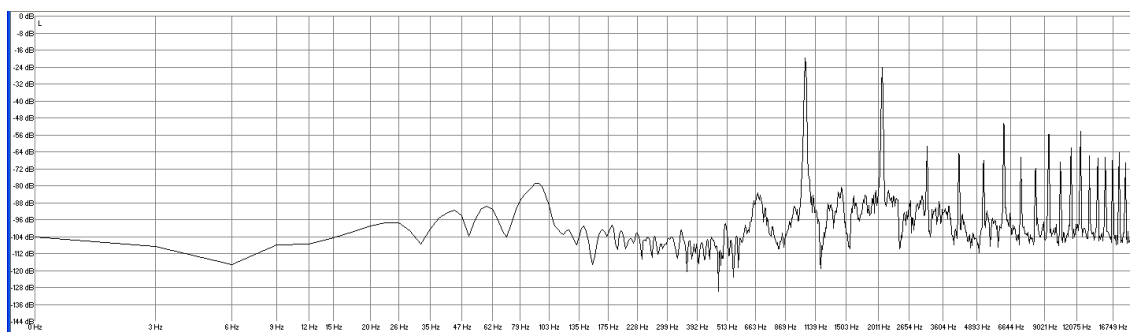
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 248	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-26,8	-24,2	-43,2	-72,9	-61,8	-58,4	-72,9	-76,3
Frecuencia experimental	1126,6	2253,1	3377,7	4508,9	5630,5	6758	7885,7	9010,7
Frecuencia Teórica	1126,6	2253,2	3379,8	4506,4	5633	6759,6	7886,2	9012,8

SONIDO 249	Digitación completa	Digitación simplificada
		


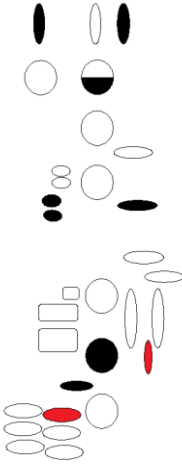
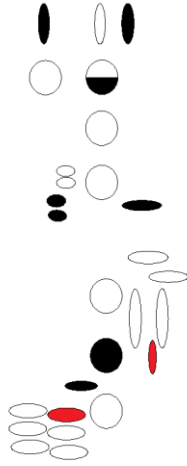
Oscilograma



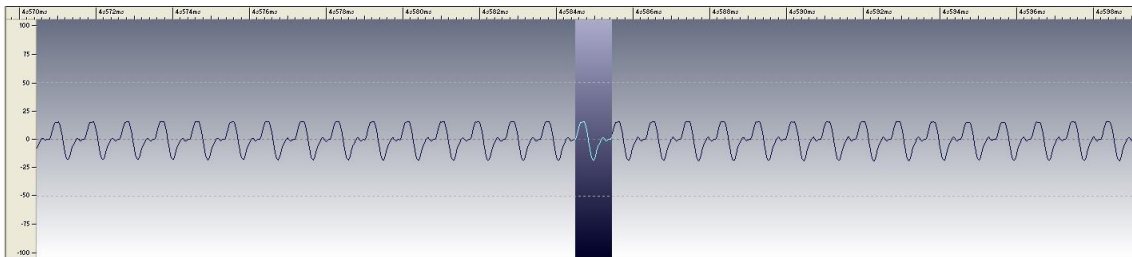
Gráfica FFT



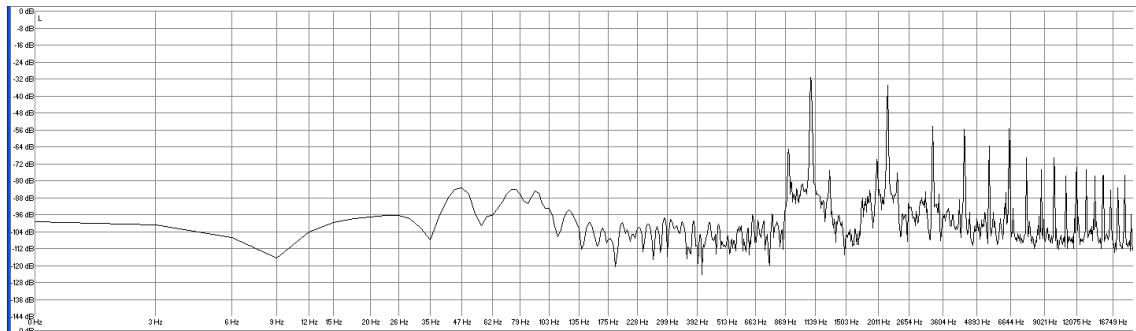
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 249	1 ^{er} arm	2 ^º arm	3 ^{er} arm	4 ^º arm	5 ^º arm	6 ^º arm	7 ^º arm	8 ^º arm
dB	-20,1	-24,2	-61,4	-64,4	-67,7	-50,6	-66,6	-72,2
Frecuencia experimental	1049,2	2083	3126,3	4168,7	5211	6253,1	7297,9	8323,3
Frecuencia Teórica	1049,2	2098,4	3147,6	4196,8	5246	6295,2	7344,4	8393,6

SONIDO 250	Digitación completa	Digitación simplificada
		


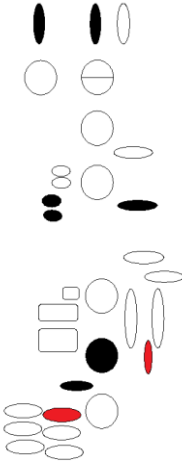
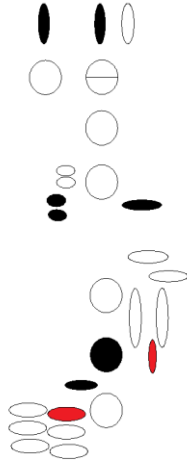
Oscilograma



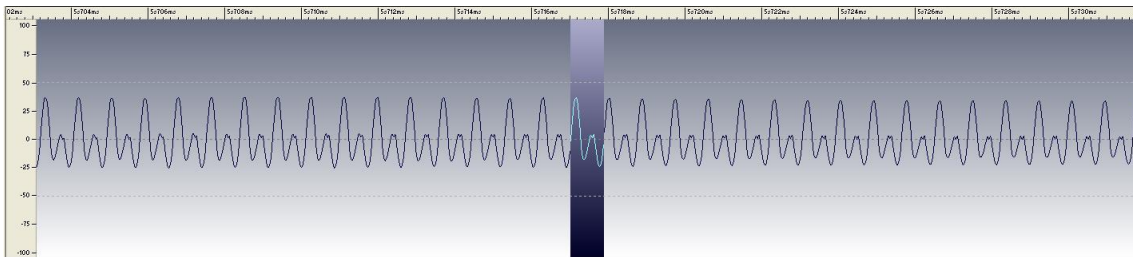
Gráfica FFT



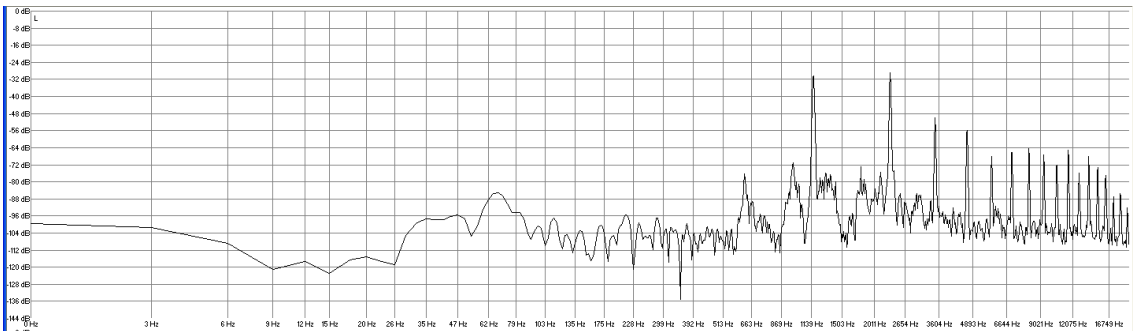
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 250	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-31,3	-34,6	-54,3	-55,8	-63,3	-55,4	-69,2	-74,8
Frecuencia experimental	1095	2190,2	3284	4380,1	5474,4	6569,3	7665,4	8759,3
Frecuencia Teórica	1095	2190	3285	4380	5475	6570	7665	8760

SONIDO 251	Digitación completa	Digitación simplificada
		


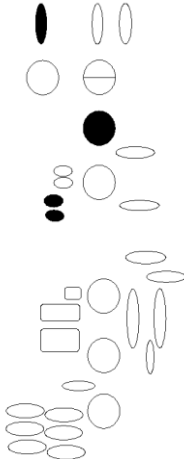
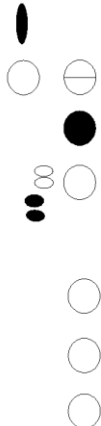
Oscilograma



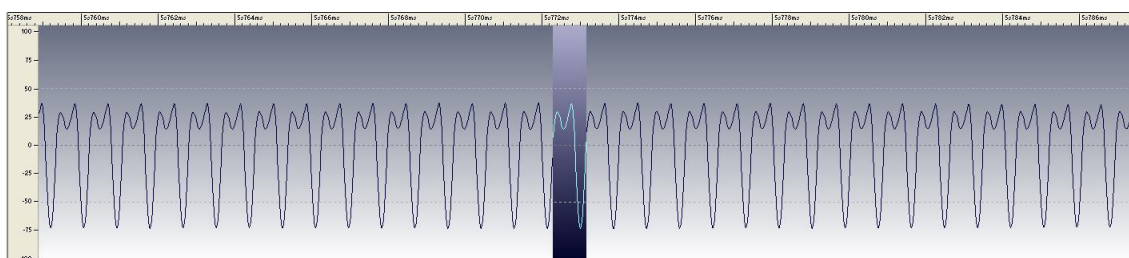
Gráfica FFT



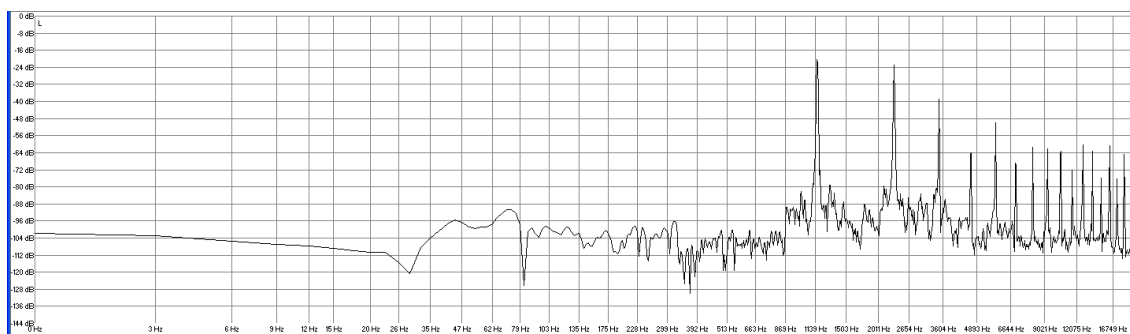
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 251	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-30	-29,2	-50	-55,9	-68,1	-66,3	-64	-67,4
Frecuencia experimental	1162,9	2322,8	3482,8	4640,7	5803,9	6960	8120,8	9280,9
Frecuencia Teórica	1162,9	2325,8	3488,7	4651,6	5814,5	6977,4	8140,3	9303,2

SONIDO 252	Digitación completa	Digitación simplificada
		


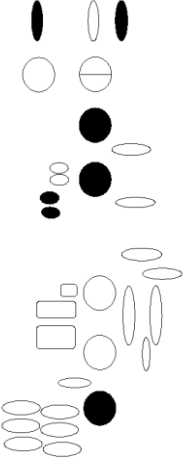

Oscilograma



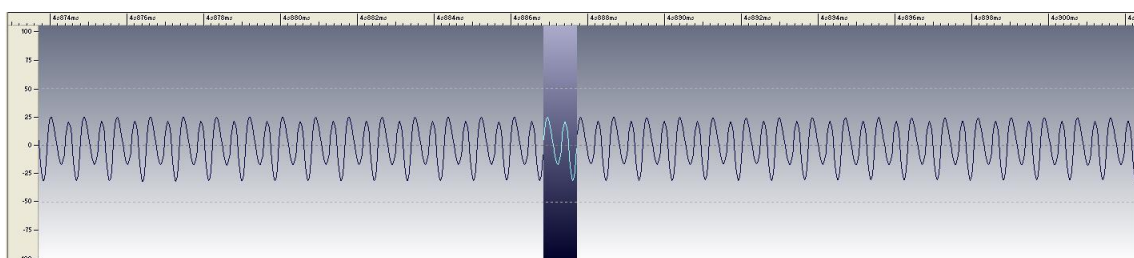
Gráfica FFT



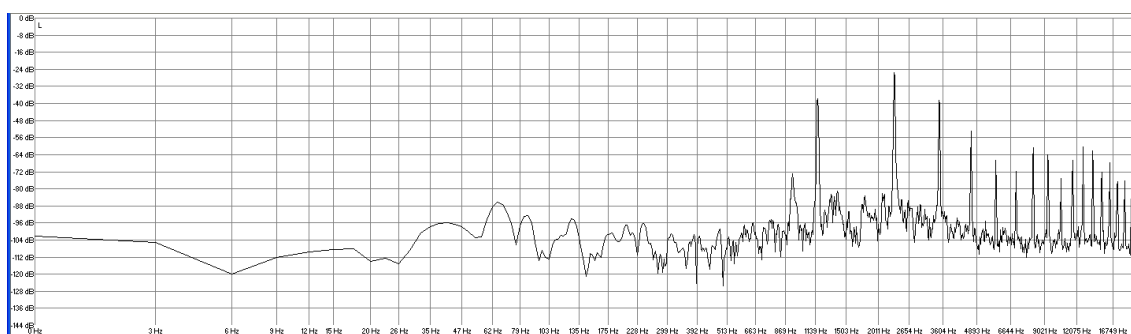
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 252	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-20,4	-23	-38,5	-64	-49,6	-69,2	-61,8	-62,2
Frecuencia experimental	1159,9	2320,2	3480,2	4639,4	5789,9	6957,5	8117,9	9278,2
Frecuencia Teórica	1159,9	2319,8	3479,7	4639,6	5799,5	6959,4	8119,3	9279,2

SONIDO 253	Digitación completa	Digitación simplificada
		


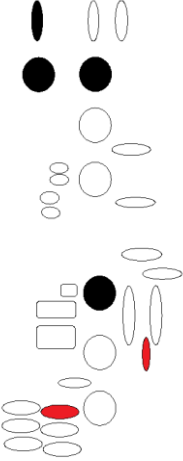
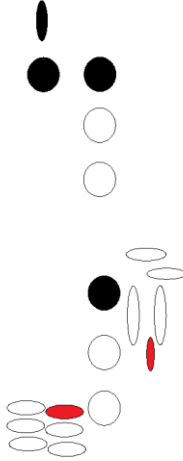
Oscilograma



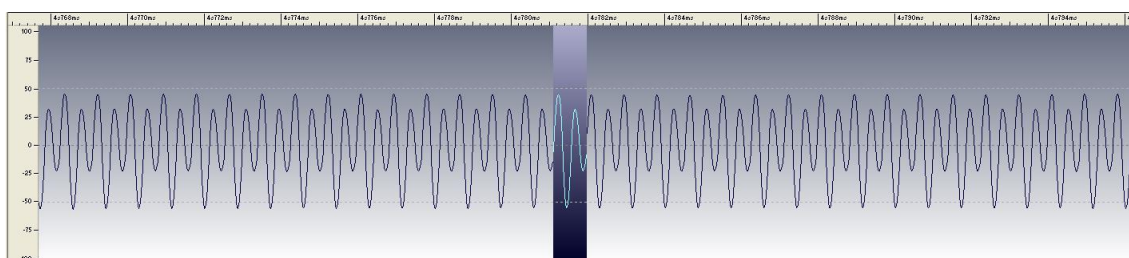
Gráfica FFT



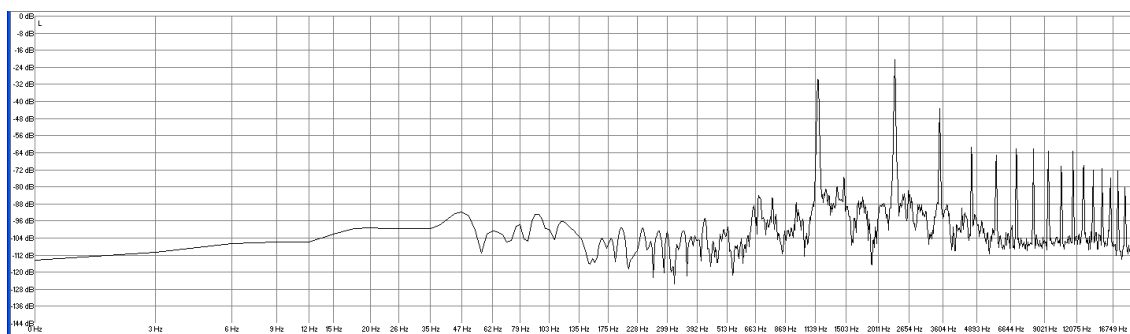
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 253	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-38,1	-25,2	-38,1	-53,3	-66,3	-71,4	-60,3	-64
Frecuencia experimental	1163,1	2326,7	3488,8	4652,7	5815,2	6978,3	8143,3	9306,5
Frecuencia Teórica	1163,1	2326,2	3489,3	4652,4	5815,5	6978,6	8141,7	9304,8

SONIDO 254	Digitación completa	Digitación simplificada
		


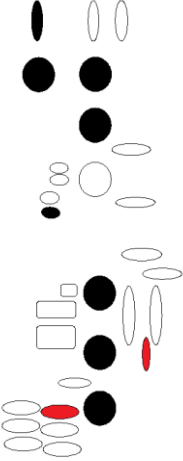
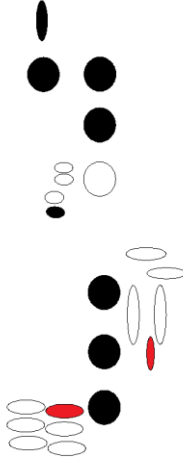
Oscilograma



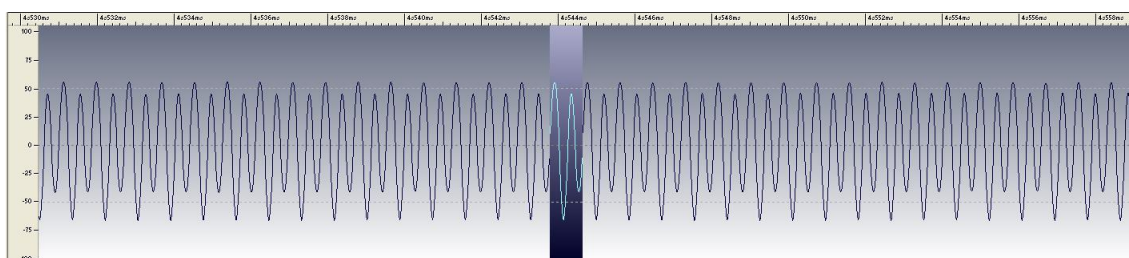
Gráfica FFT



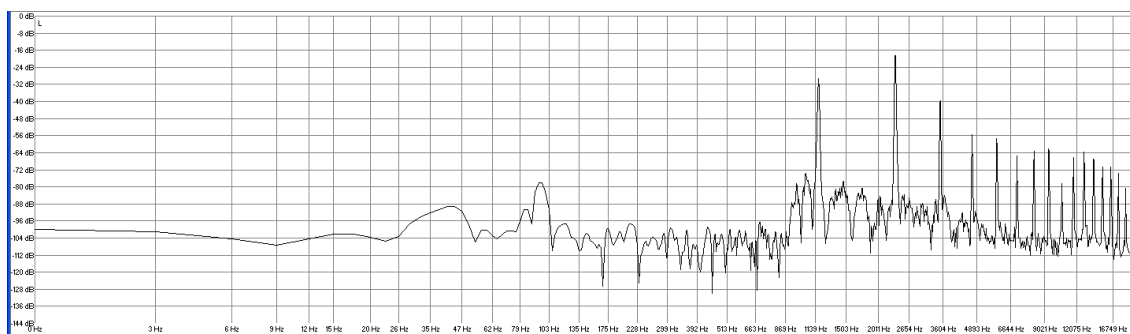
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 254	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-29,2	-20,4	-43,3	-61,4	-64,4	-62,2	-62,2	-63,7
Frecuencia experimental	1166,5	2334,9	3502,4	4669,7	5835,5	7004,9	8170,9	9339,5
Frecuencia Teórica	1166,5	2333	3499,5	4666	5832,5	6999	8165,5	9332

SONIDO 255	Digitación completa	Digitación simplificada
		


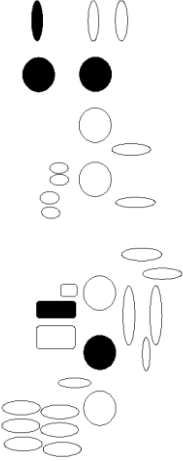

Oscilograma



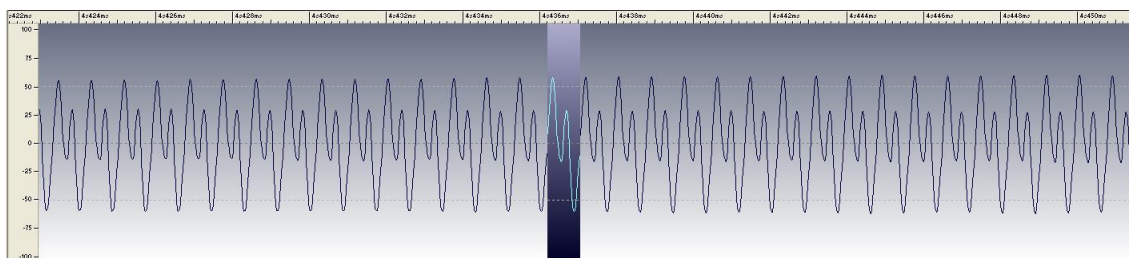
Gráfica FFT



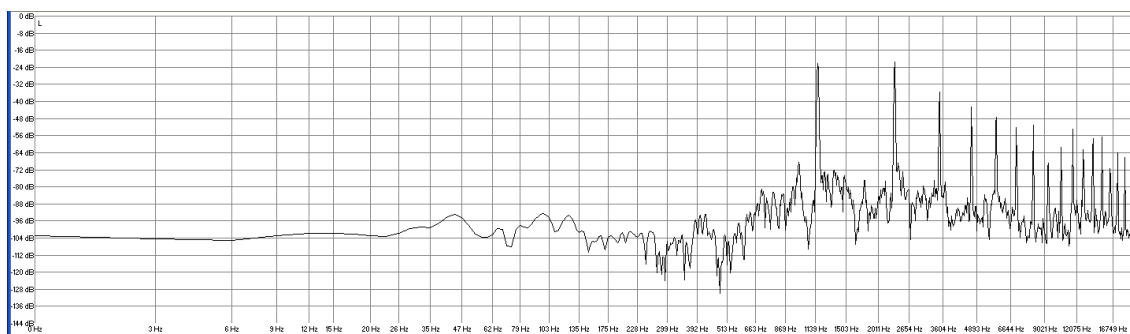
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 255	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-29,9	-18,1	-40	-55,5	-57,4	-65,9	-63,7	-62,2
Frecuencia experimental	1172,9	2344,7	3518,2	4690,8	5861,9	7035,9	8209	9381
Frecuencia Teórica	1172,9	2345,8	3518,7	4691,6	5864,5	7037,4	8210,3	9383,2

SONIDO 256	Digitación completa	Digitación simplificada
		


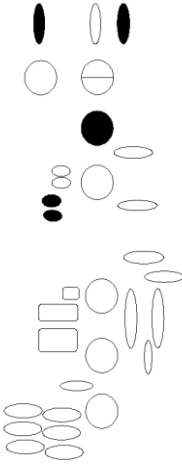

Oscilograma



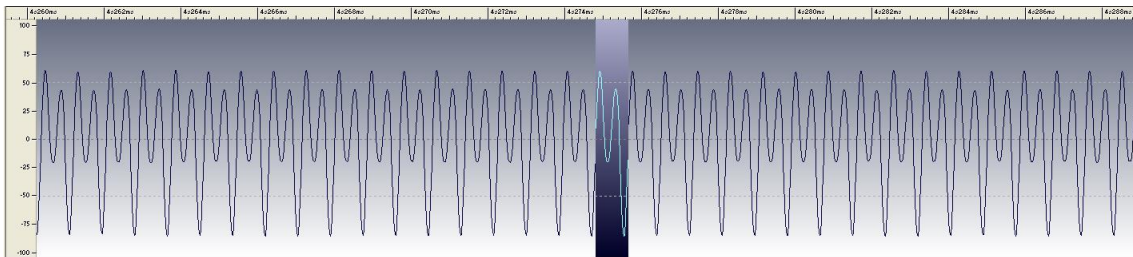
Gráfica FFT



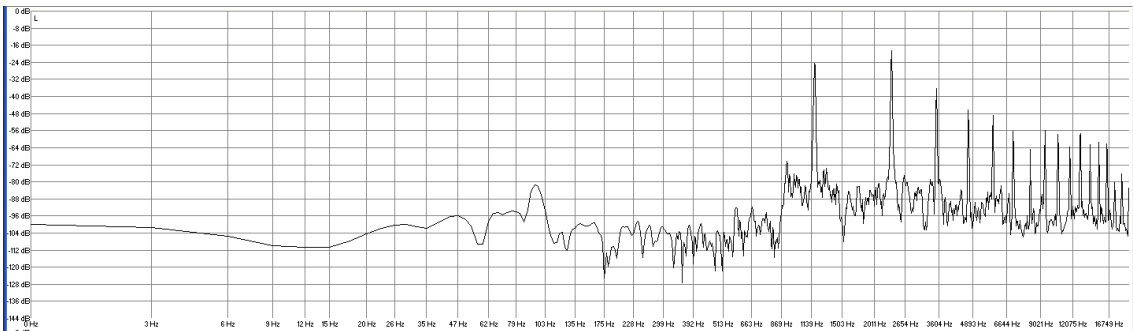
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 256	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-22,6	-22,2	-35,5	-42,6	-47,4	-52,6	-51,1	-69,2
Frecuencia experimental	1166,1	2331,9	3498,2	4662,3	5827,2	6993,5	8158,7	9325
Frecuencia Teórica	1166,1	2332,2	3498,3	4664,4	5830,5	6996,6	8162,7	9328,8

SONIDO 257	Digitación completa	Digitación simplificada
		


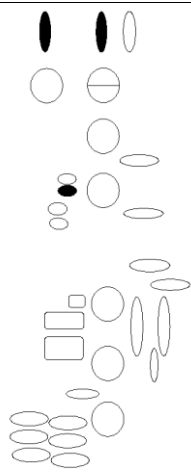
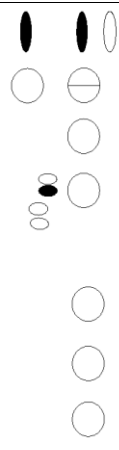
Oscilograma



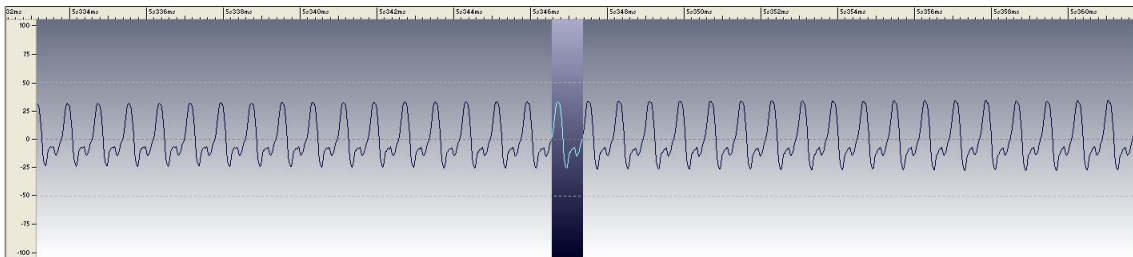
Gráfica FFT



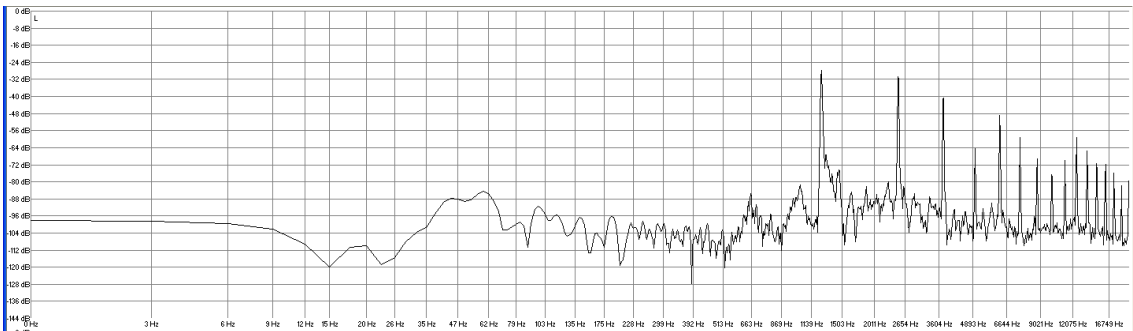
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 257	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-24,4	-18,5	-36,3	-46,3	-48,9	-56,3	-64,8	-55,9
Frecuencia experimental	1175,4	2351,7	3527,7	4702,1	5876,5	7053	8228,8	9398,6
Frecuencia Teórica	1175,4	2350,8	3526,2	4701,6	5877	7052,4	8227,8	9403,2

SONIDO 258	Digitación completa	Digitación simplificada
		


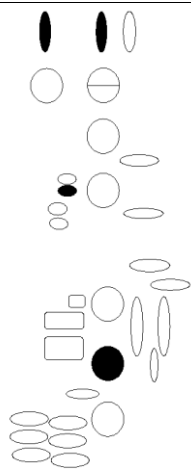
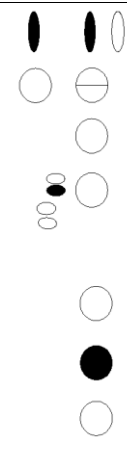
Oscilograma



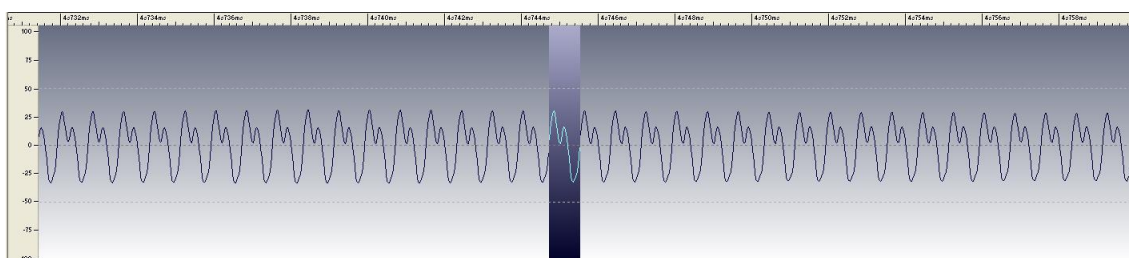
Gráfica FFT



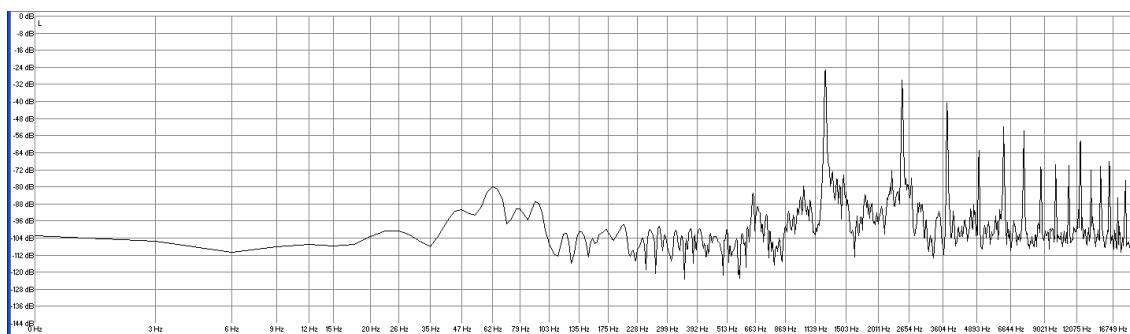
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 258	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-27,8	-30,7	-40,3	-64	-48,5	-59,2	-69,6	-76,3
Frecuencia experimental	1249,2	2499,2	3749,9	4997,7	6248,4	7497,1	8746,8	9993,2
Frecuencia Teórica	1249,2	2498,4	3747,6	4996,8	6246	7495,2	8744,4	9993,6

SONIDO 259	Digitación completa	Digitación simplificada
		


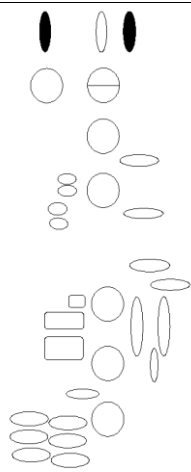

Oscilograma



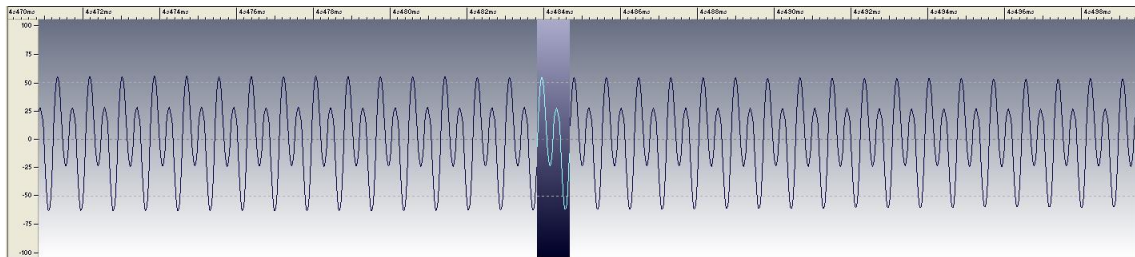
Gráfica FFT



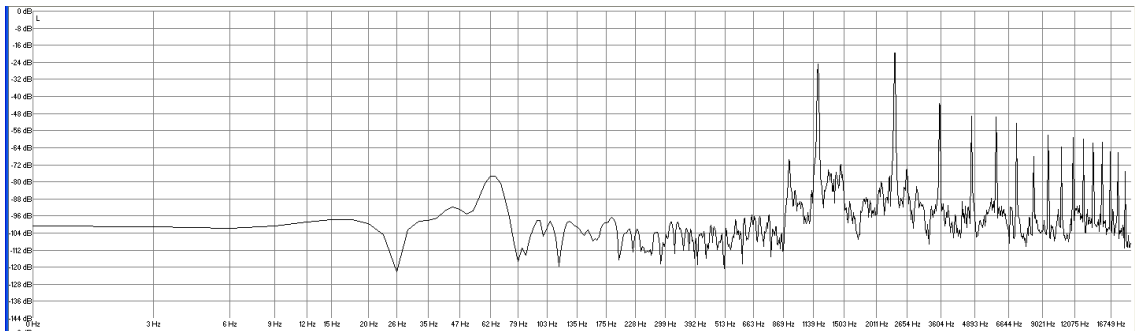
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 259	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-25,2	-30,4	-40,3	-62,9	-52,2	-53,7	-70,7	-69,6
Frecuencia experimental	1247,9	2496,4	3743,7	4990,7	6239,9	7486,7	8735,2	9982,7
Frecuencia Teórica	1247,9	2495,8	3743,7	4991,6	6239,5	7487,4	8735,3	9983,2

SONIDO 260	Digitación completa	Digitación simplificada
		


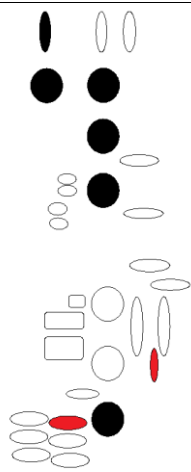
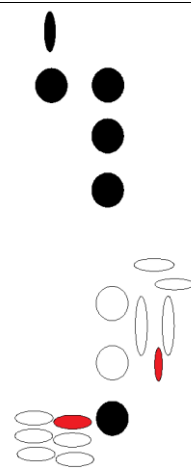
Oscilograma



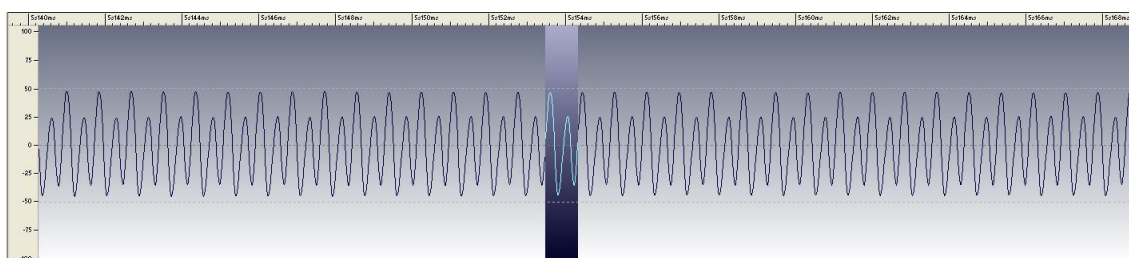
Gráfica FFT



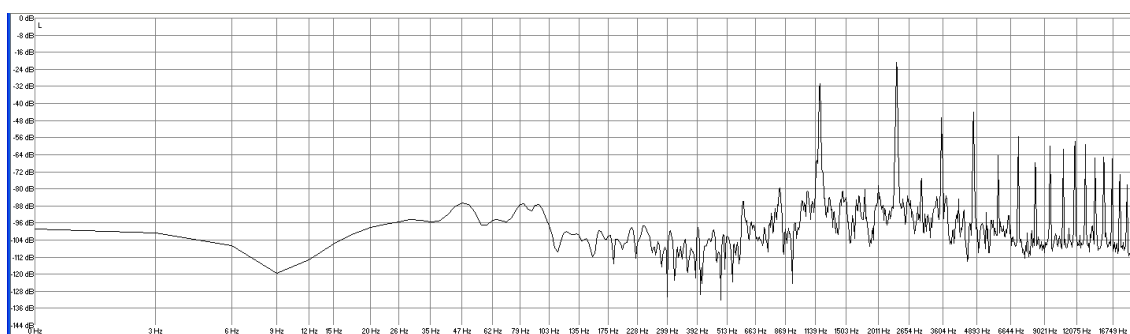
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 260	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-24,4	-19,6	-43,3	-49,2	-49,6	-52,9	-68,9	-58,1
Frecuencia experimental	1189,5	2377,2	3565,1	4754,7	5943,9	7132,7	8321,1	9509,7
Frecuencia Teórica	1189,5	2379	3568,5	4758	5947,5	7137	8326,5	9516

SONIDO 261	Digitación completa	Digitación simplificada
		


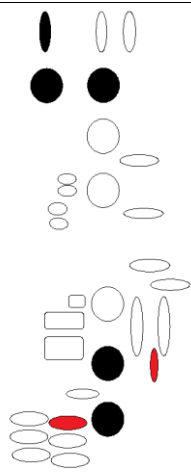
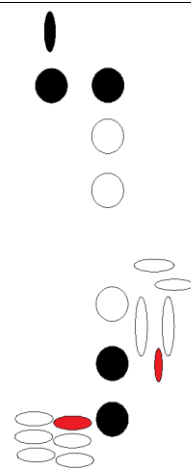
Oscilograma



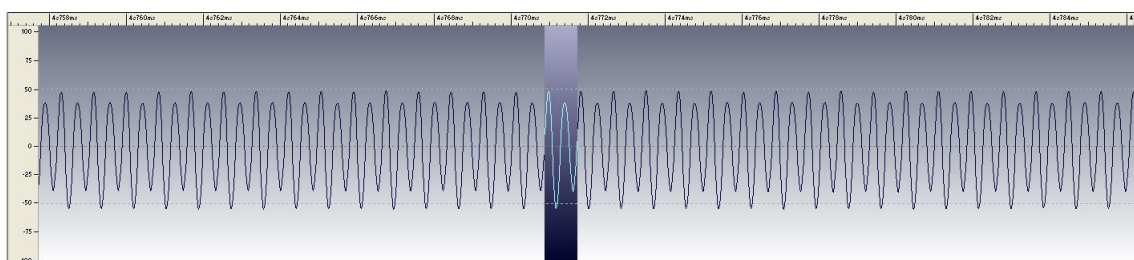
Gráfica FFT



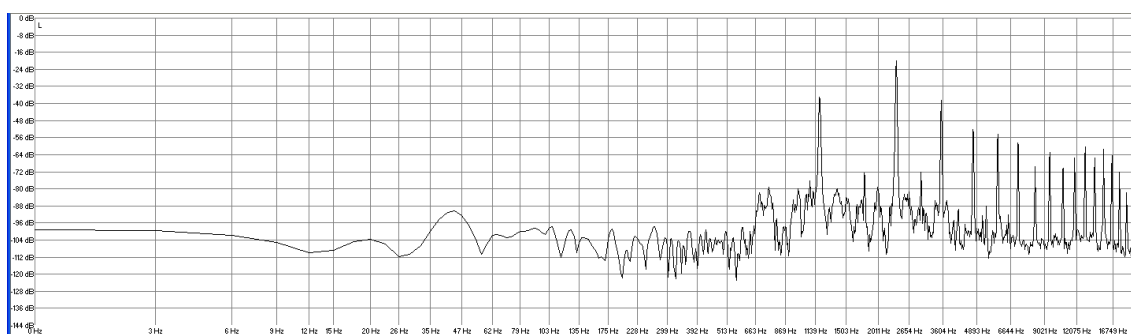
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 261	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-30,7	-21,1	-47	-44,8	-64,4	-55,5	-68,1	-60
Frecuencia experimental	1186,6	2372,8	3560,5	4793,3	5935,9	7121,9	8308,5	9494,6
Frecuencia Teórica	1186,6	2373,2	3559,8	4746,4	5933	7119,6	8306,2	9492,8

SONIDO 262	Digitación completa	Digitación simplificada
		


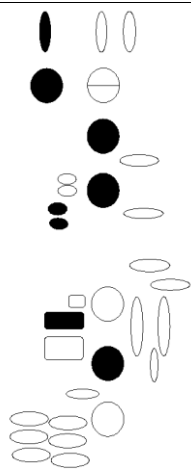

Oscilograma



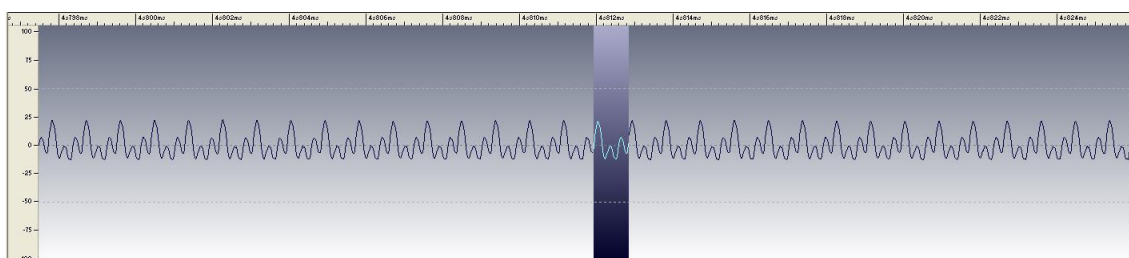
Gráfica FFT



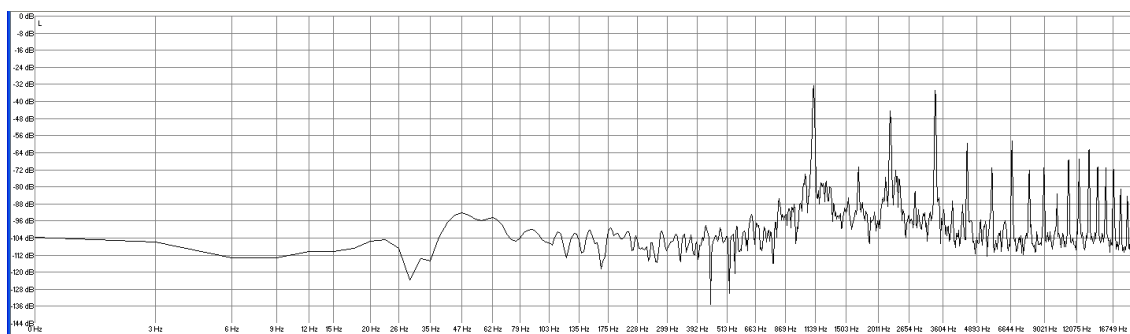
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 262	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-37	-19,6	-38,5	-51,8	-54	-58,1	-69,2	-62,9
Frecuencia experimental	1182,7	2367,3	3550,8	4737	5920,8	7105,8	8292,9	9477,3
Frecuencia Teórica	1182,7	2365,4	3548,1	4730,8	5913,5	7096,2	8278,9	9461,6

SONIDO 263	Digitación completa	Digitación simplificada
		


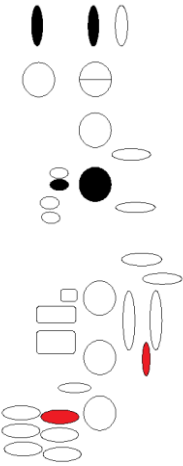
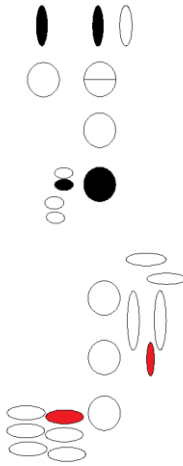
Oscilograma



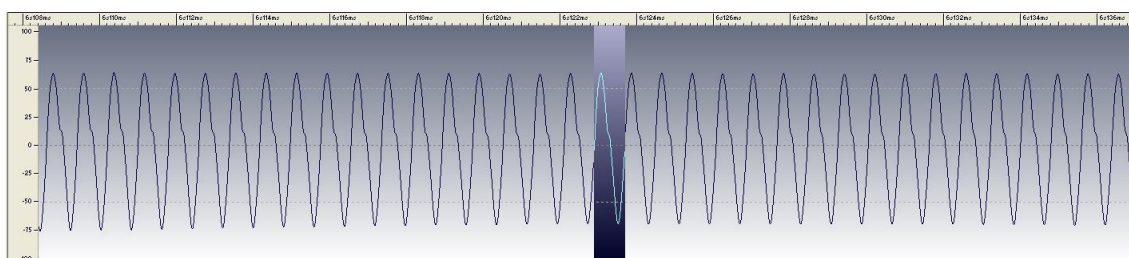
Gráfica FFT



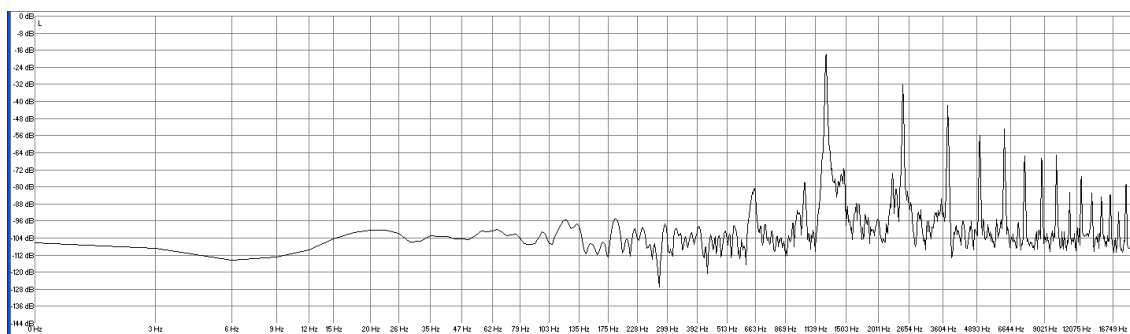
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 263	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-32,2	-44,8	-34,8	-60	-71,1	-58,9	-72,6	-71,8
Frecuencia experimental	1122,2	2241,2	3366,3	4489,8	5608,7	6730,9	7865,7	8967,9
Frecuencia Teórica	1122,2	2244,4	3366,6	4488,8	5611	6733,2	7855,4	8977,6

SONIDO 264	Digitación completa	Digitación simplificada
		

Oscilograma



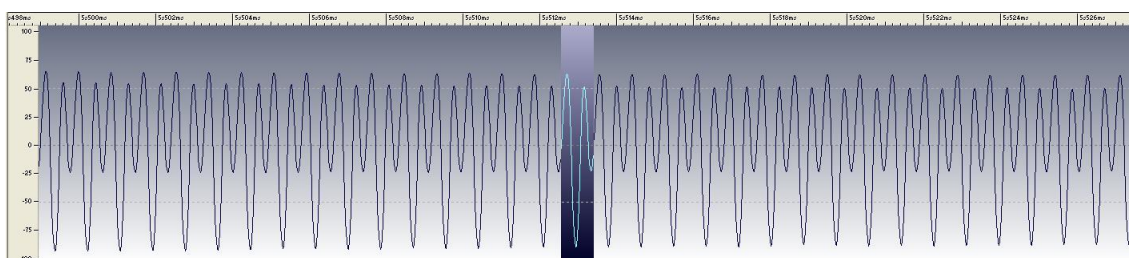
Gráfica FFT



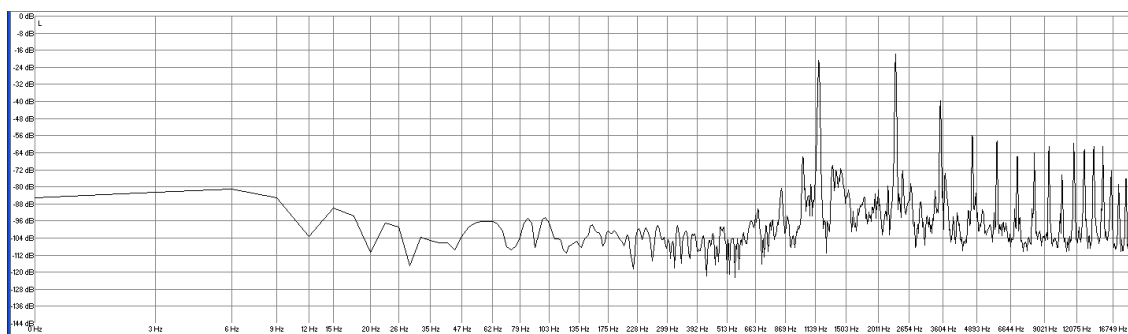
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 264	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,8	-31,8	-41,5	-56,3	-53,3	-65,5	-66,6	-64,8
Frecuencia experimental	1257,1	2511,7	3767,4	5024,6	6281,3	7536,3	8792,7	10058,4
Frecuencia Teórica	1257,1	2514,2	3771,3	5028,4	6285,5	7542,6	8799,7	10056,8

SONIDO 265	Digitación completa	Digitación simplificada


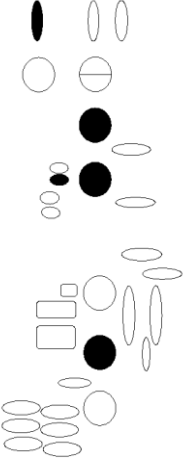
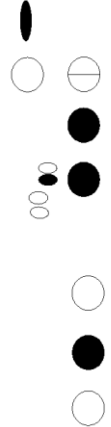
Oscilograma



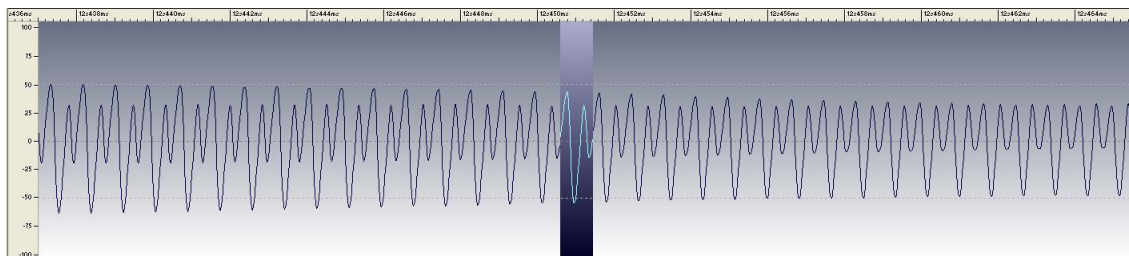
Gráfica FFT



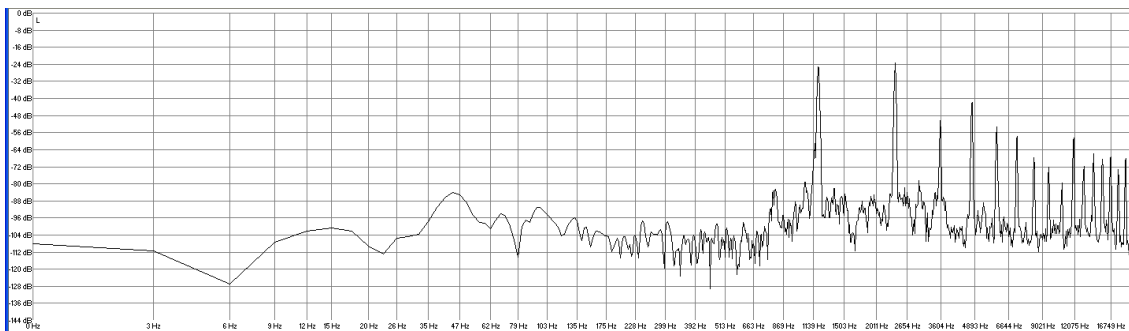
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 265	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-20,4	-17,8	-39,6	-55,9	-58,1	-65,9	-64,4	-61,4
Frecuencia experimental	1174,9	2350,6	3525,9	4703,7	5879,7	7058,7	8234,9	9392,1
Frecuencia Teórica	1174,9	2349,8	3524,7	4699,6	5874,5	7049,4	8224,3	9399,2

SONIDO 266	Digitación completa	Digitación simplificada
		

Oscilograma



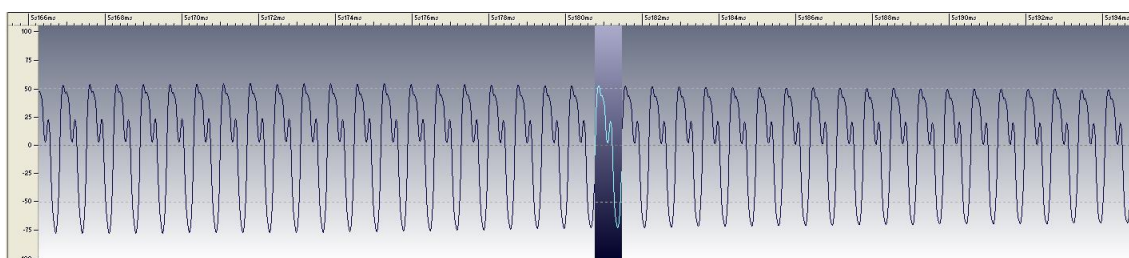
Gráfica FFT



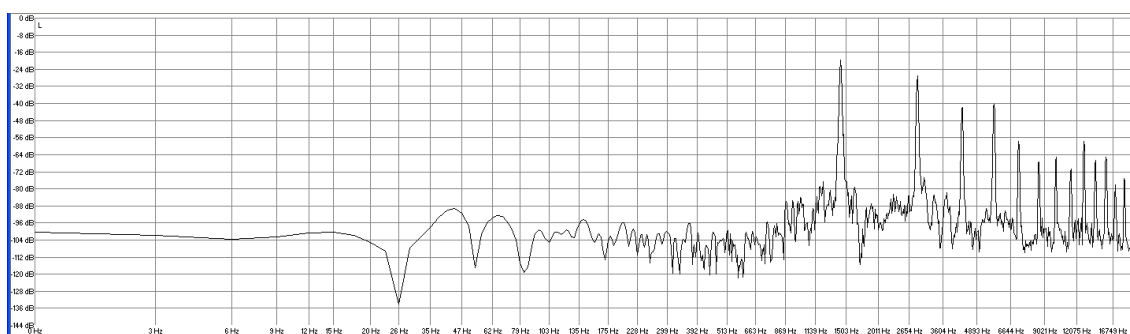
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 266	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-24,8	-23,7	-50,3	-41,8	-53,3	-57,7	-68,1	-72,6
Frecuencia experimental	1192,8	2388,2	3583,3	4775	5969	7163,7	8358,8	9564,2
Frecuencia Teórica	1192,8	2385,6	3578,4	4771,2	5964	7156,8	8349,6	9542,4

SONIDO 267	Digitación completa	Digitación simplificada


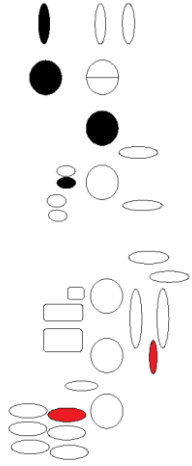
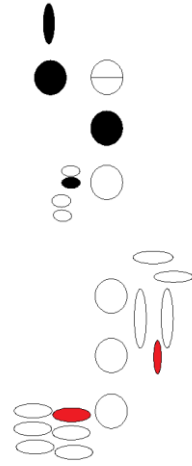
Oscilograma



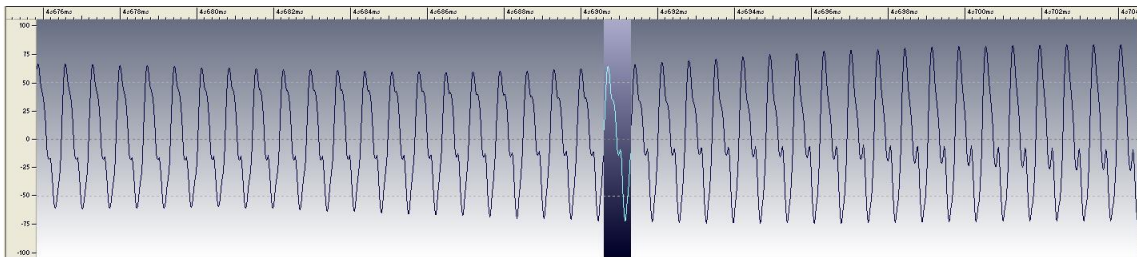
Gráfica FFT



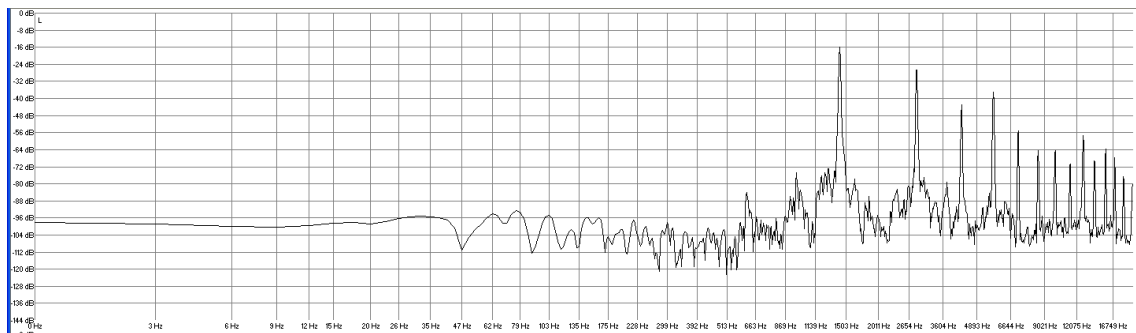
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 267	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-19,6	-27,4	-41,8	-40	-58,1	-67,4	-64,8	-71,1
Frecuencia experimental	1429,5	2868,8	4297,7	5735,1	7124,4	8554	10045,4	11482,6
Frecuencia Teórica	1429,5	2859	4288,5	5718	7147,5	8577	10006,5	11436

SONIDO 268	Digitación completa	Digitación simplificada
		


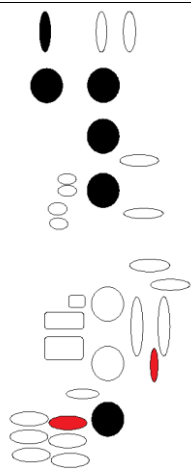
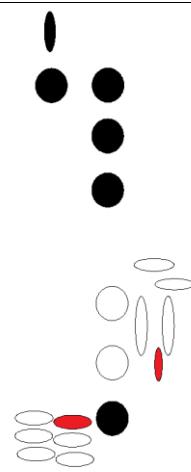
Oscilograma



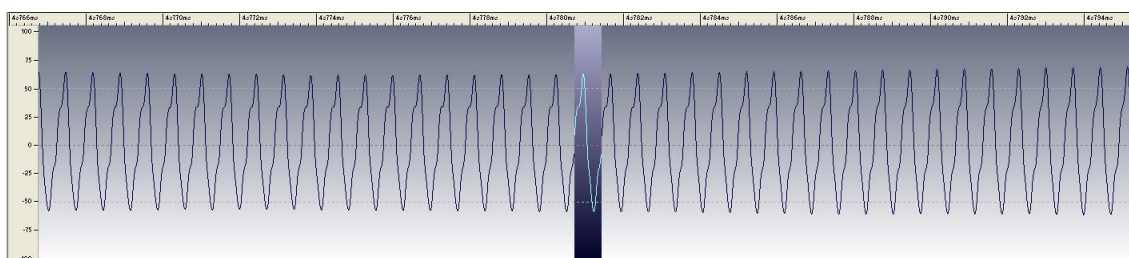
Gráfica FFT



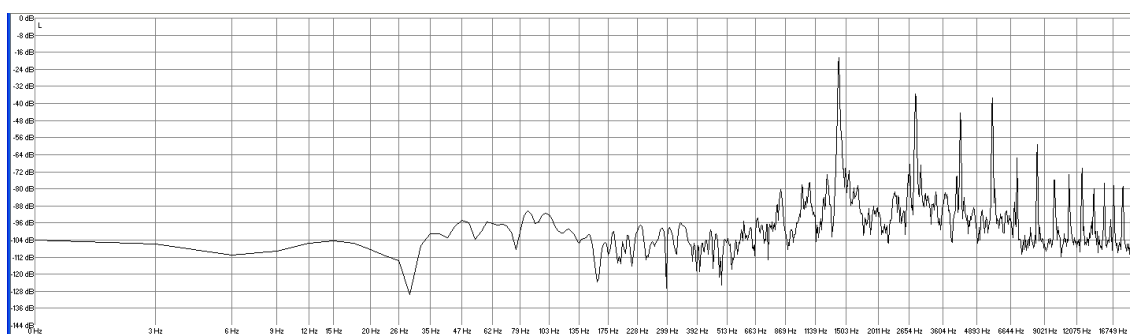
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 268	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-15,9	-27	-42,9	-37	-54,8	-64	-64,8	-70,7
Frecuencia experimental	1421,1	2840,8	4271,4	5692,8	7121,6	8502	9970,5	11393,5
Frecuencia Teórica	1421,1	2842,2	4263,3	5684,4	7105,5	8526,6	9947,7	11368,8

SONIDO 269	Digitación completa	Digitación simplificada
		


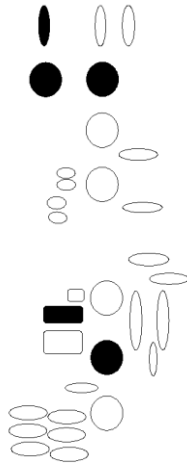

Oscilograma



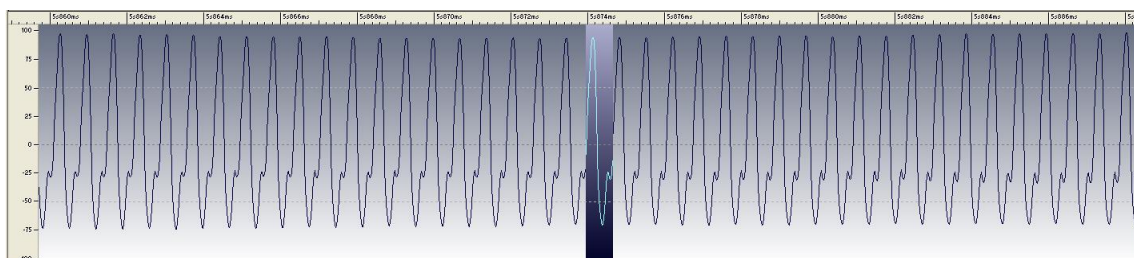
Gráfica FFT



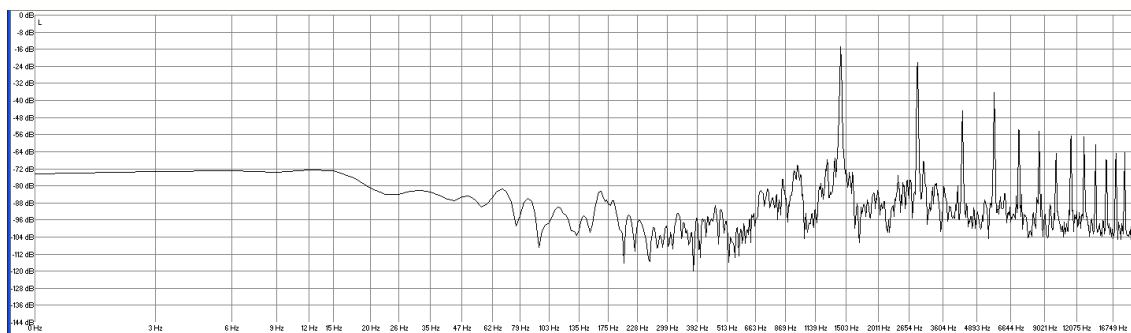
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 269	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-18,5	-35,9	-44,8	-37,4	-65,2	-59,6	-75,9	-73,3
Frecuencia experimental	1408	2816,2	4223,1	5629,2	7047,3	8454,8	9865	11249,5
Frecuencia Teórica	1408	2816	4224	5632	7040	8448	9856	11264

SONIDO 270	Digitación completa	Digitación simplificada
		


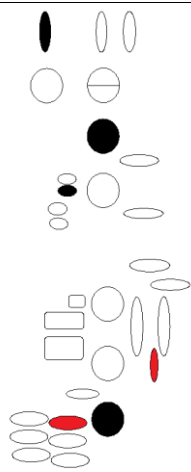
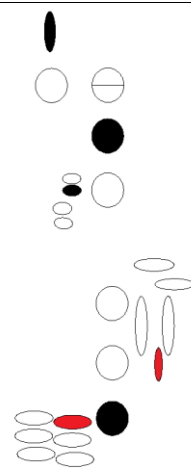
Oscilograma



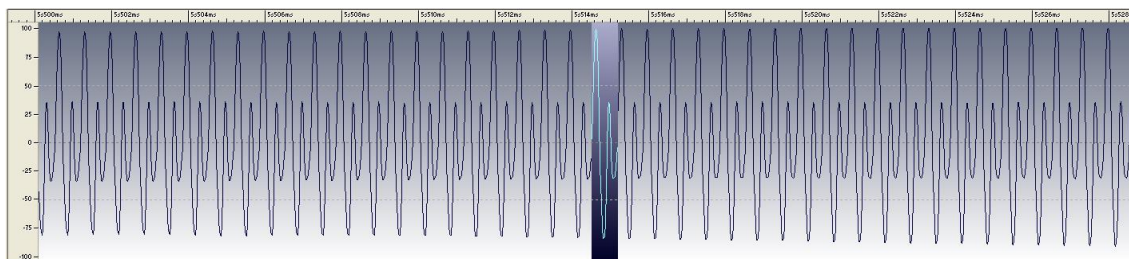
Gráfica FFT



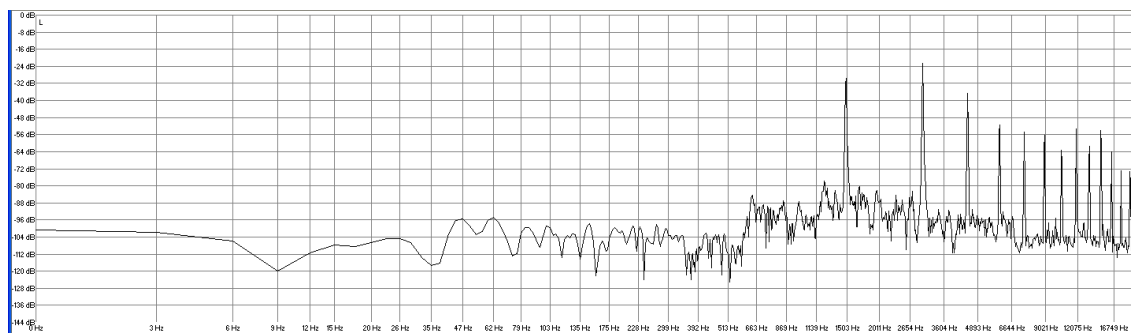
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 270	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-14,8	-22,2	-44,8	-36,3	-53,7	-54,4	-65,2	-56,3
Frecuencia experimental	1431,9	2863,5	4295,4	5729,4	7161,8	8594,4	10010,5	11464
Frecuencia Teórica	1431,9	2863,8	4295,7	5727,6	7159,5	8591,4	10023,3	11455,2

SONIDO 271	Digitación completa	Digitación simplificada
		


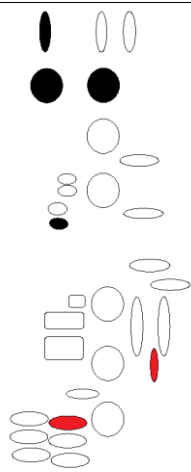
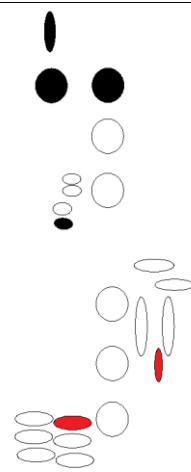
Oscilograma



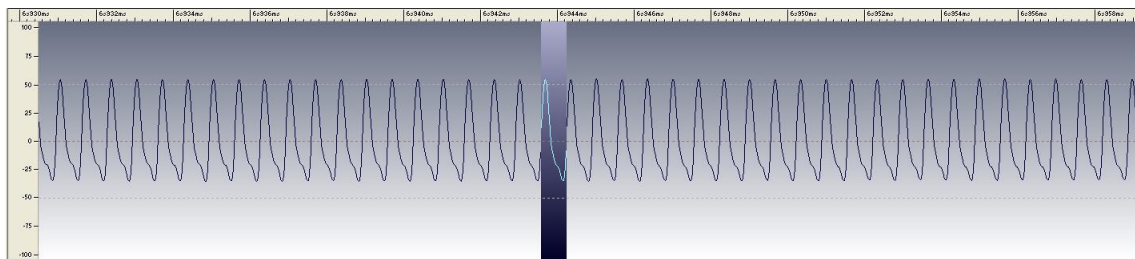
Gráfica FFT



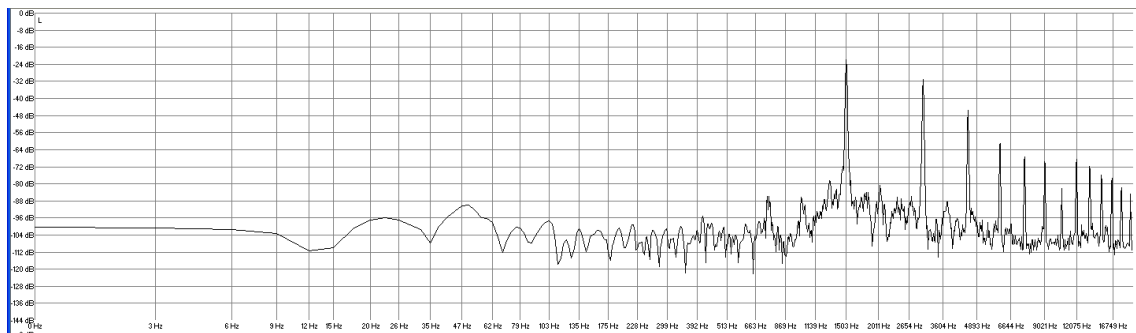
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 271	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-29,2	-22,2	-36,6	-51,1	-54,4	-55,5	-62,9	-52,9
Frecuencia experimental	1489	2979,5	4467,9	5956,3	7445,5	8933,4	10422,8	11910,4
Frecuencia Teórica	1489	2978	4467	5956	7445	8934	10423	11912

SONIDO 272	Digitación completa	Digitación simplificada
		


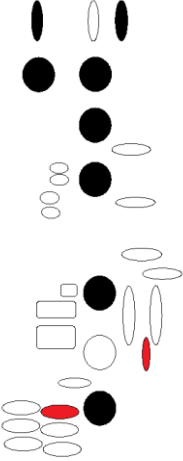
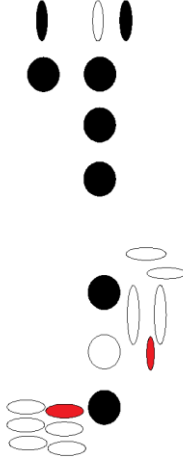
Oscilograma



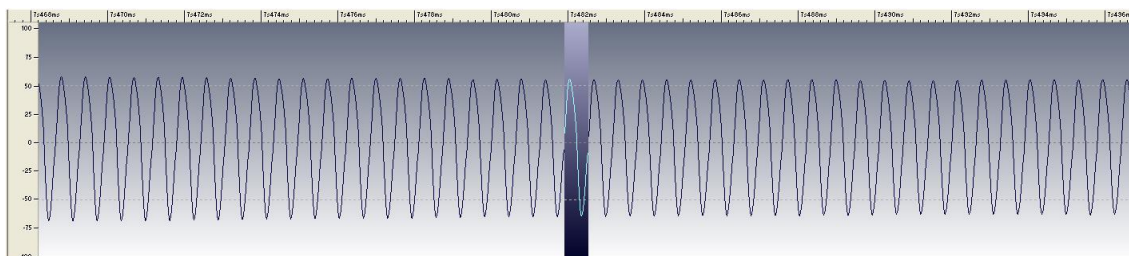
Gráfica FFT



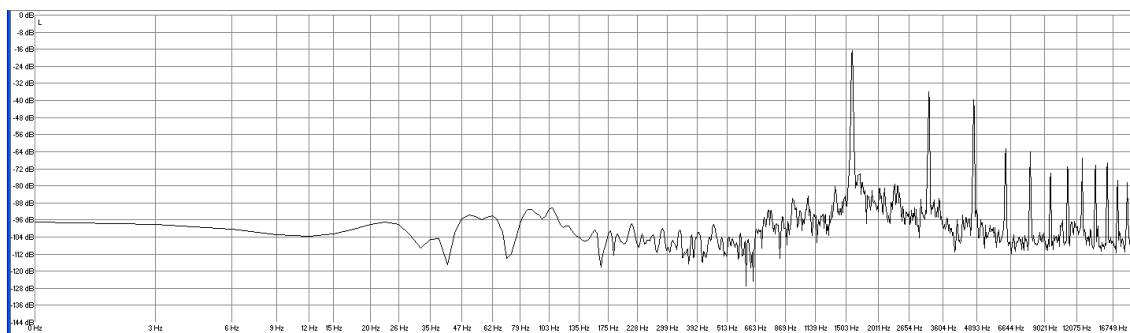
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 272	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-21,8	-31,1	-45,5	-61,4	-67,4	-69,6	-81,8	-68,5
Frecuencia experimental	1507	3012,8	4518,5	6037,4	7544	9050,1	10536,2	12041,2
Frecuencia Teórica	1507	3014	4521	6028	7535	9042	10549	12056

SONIDO 273	Digitación completa	Digitación simplificada
		


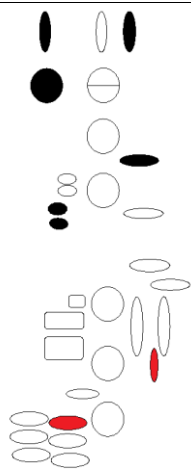
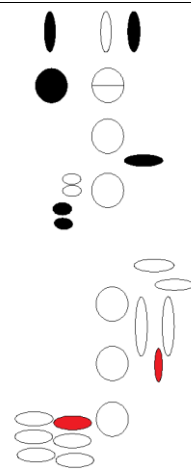
Oscilograma



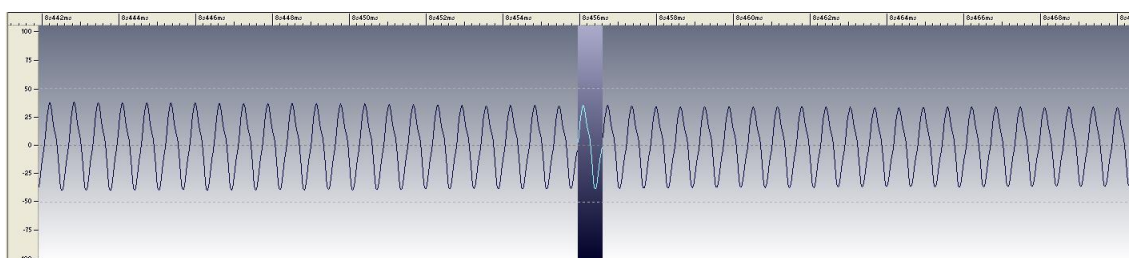
Gráfica FFT



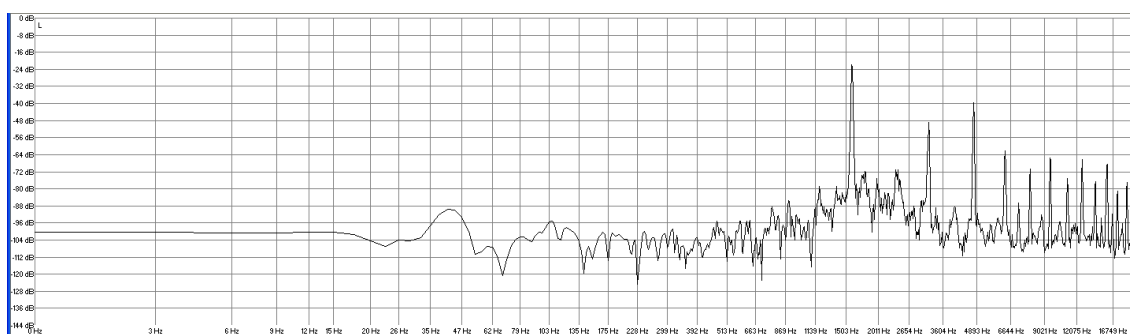
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 273	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16,7	-35,9	-39,6	-62,6	-64	-73,7	-71,4	-67
Frecuencia experimental	1588	3176,3	4765,6	6357,3	7931	9537,8	11109,8	12697,5
Frecuencia Teórica	1588	3176	4764	6352	7940	9528	11116	12704

SONIDO 274	Digitación completa	Digitación simplificada
<p>8va ↴</p> 		

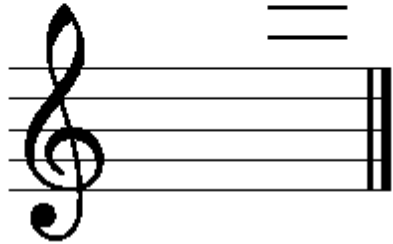
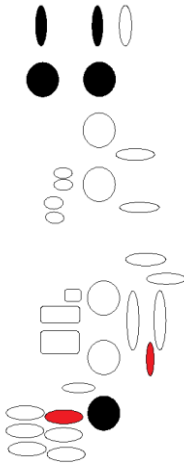
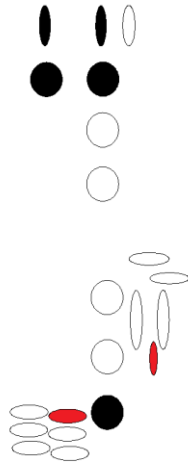
Oscilograma



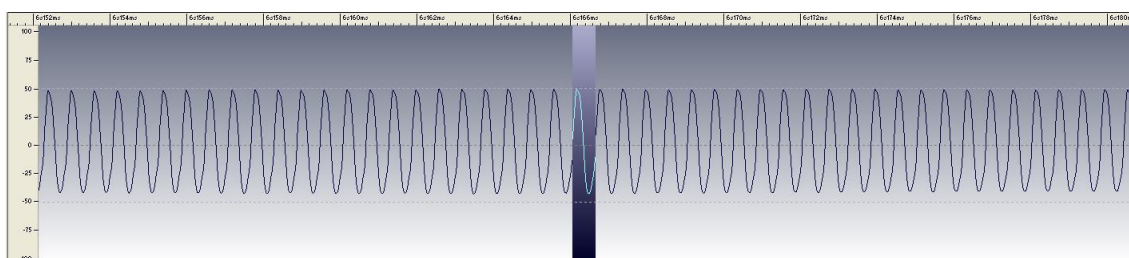
Gráfica FFT



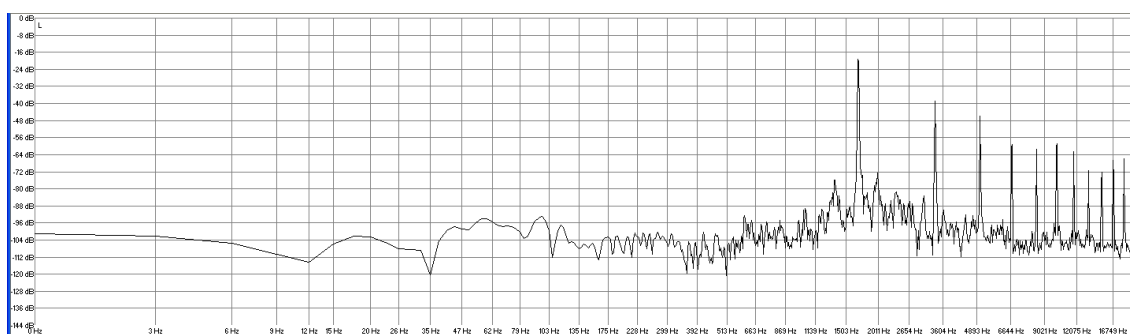
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 274	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-22,2	-48,1	-40	-62,6	-70,7	-65,5	-75,1	-66,3
Frecuencia experimental	1584,9	3176,5	4760,5	6316,1	7942,4	9507,4	11118,4	12682,9
Frecuencia Teórica	1584,9	3169,8	4754,7	6339,6	7924,5	9509,4	11094,3	12679,2

SONIDO 275	Digitación completa	Digitación simplificada
<p>8va \lrcorner</p> <p>#</p> 		

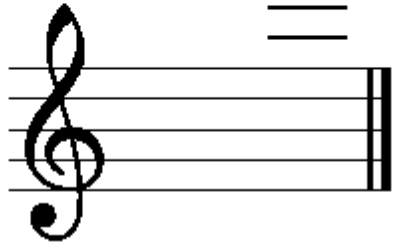
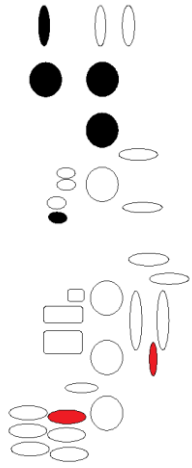
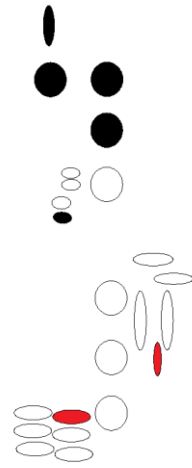
Oscilograma



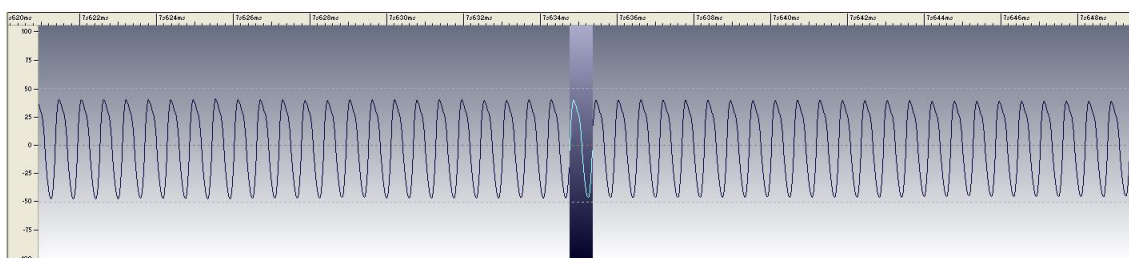
Gráfica FFT



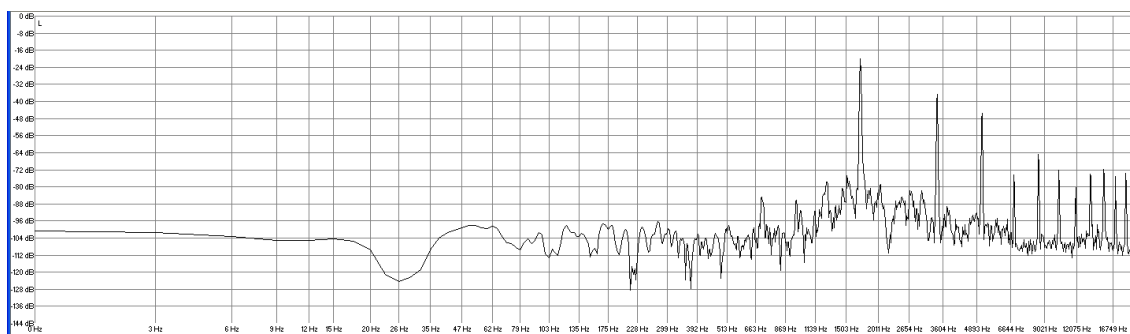
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 275	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-19,2	-39,2	-45,9	-59,6	-61,4	-59,2	-62,6	-71,8
Frecuencia experimental	1679	3358,3	5038,9	6717,4	8396,4	10076	11753,6	13435,3
Frecuencia Teórica	1679	3358	5037	6716	8395	10074	11753	13432

SONIDO 276	Digitación completa	Digitación simplificada
<p>8va ↙</p> <p>#</p> 		

Oscilograma



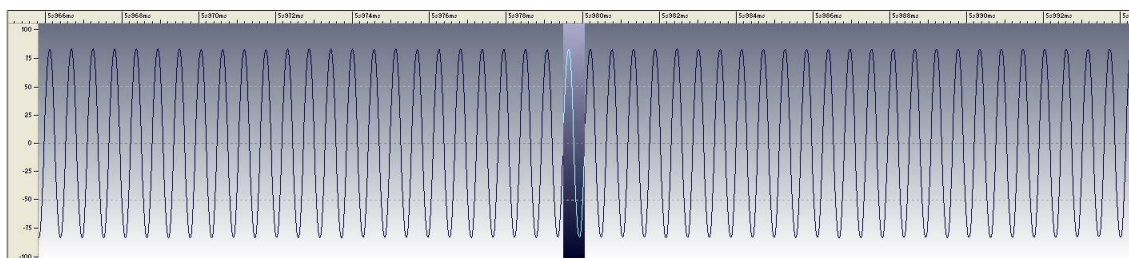
Gráfica FFT



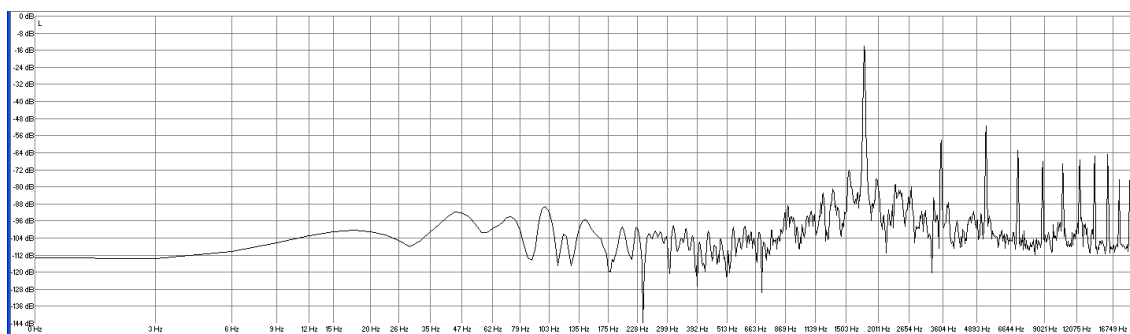
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 276	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-20,4	-37,4	-45,5	-74,8	-64,8	-72,2	-80,7	-74
Frecuencia experimental	1711,1	3421,2	5131,2	6838,8	8549	10255,9	11966,7	13675,2
Frecuencia Teórica	1711,1	3422,2	5133,3	6844,4	8555,5	10266,6	11977,7	13688,8

SONIDO 277	Digitación completa	Digitación simplificada


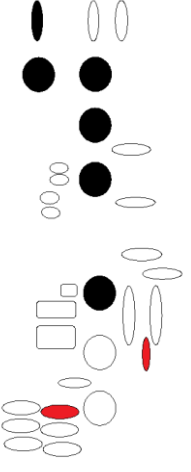
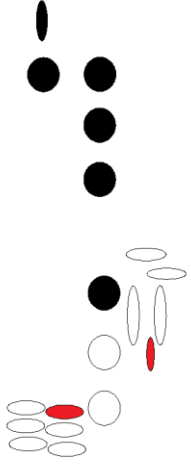
Oscilograma



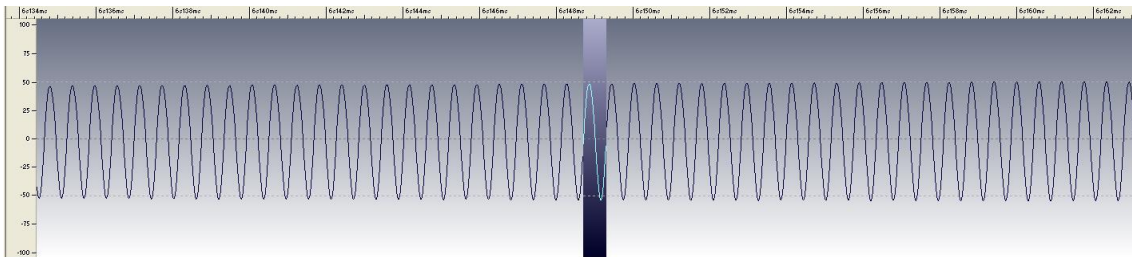
Gráfica FFT



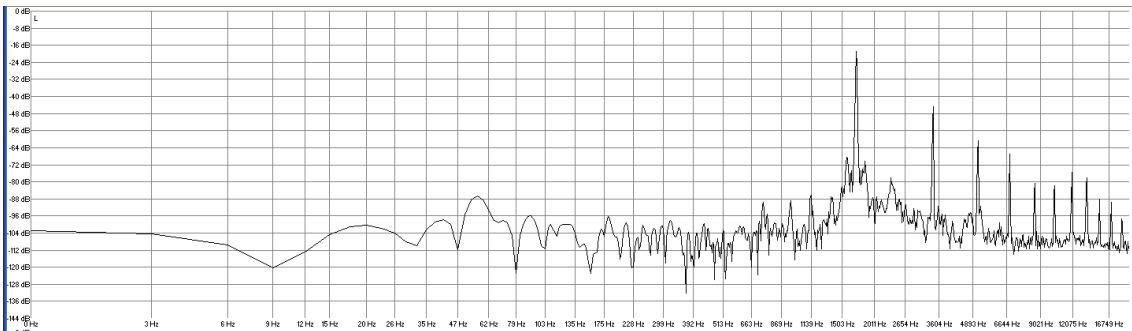
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 277	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-14,1	-58,1	-51,5	-62,9	-68,5	-69,2	-67,4	-65,5
Frecuencia experimental	1774,6	3547,3	5324,5	7101,9	8877	10652,6	12427,5	14206
Frecuencia Teórica	1774,6	3549,2	5323,8	7098,4	8873	10647,6	12422,2	14196,8

SONIDO 278	Digitación completa	Digitación simplificada
		

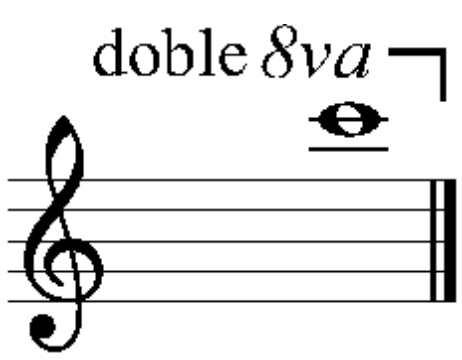
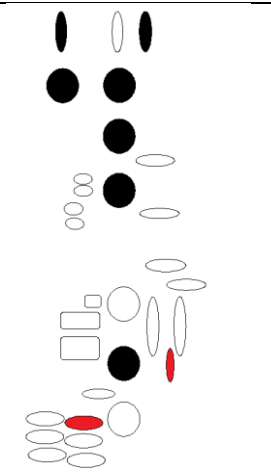
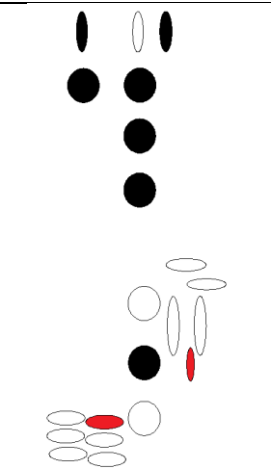
Oscilograma



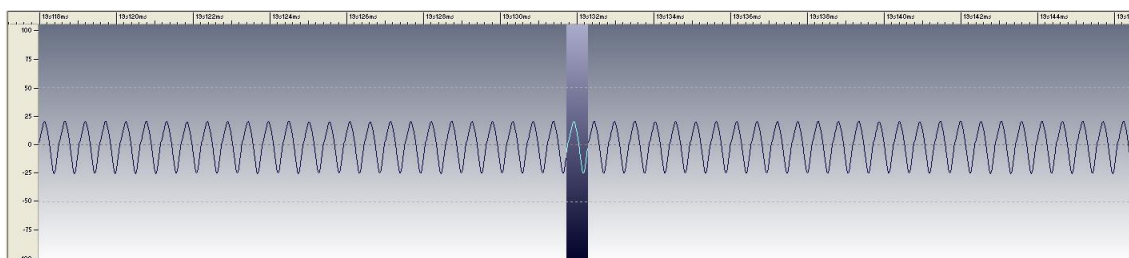
Gráfica FFT



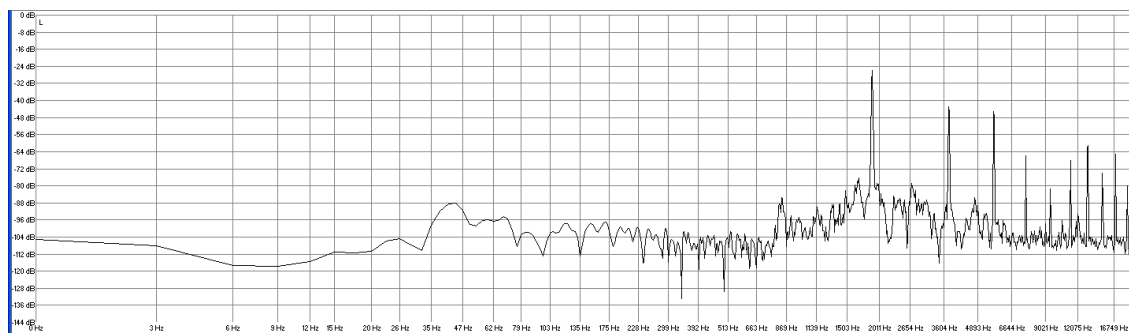
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 278	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-19,2	-44,8	-60,7	-67	-80,3	-81,8	-75,5	-78,1
Frecuencia experimental	1710,3	3422,4	5134,5	6845,4	8557,6	10268,5	11979,9	13691,3
Frecuencia Teórica	1710,3	3420,6	5130,9	6841,2	8551,5	10261,8	11972,1	13682,4

SONIDO 279	Digitación completa	Digitación simplificada
<p>doble <i>8va</i></p> 		

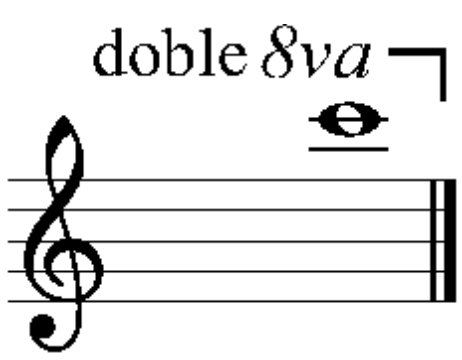
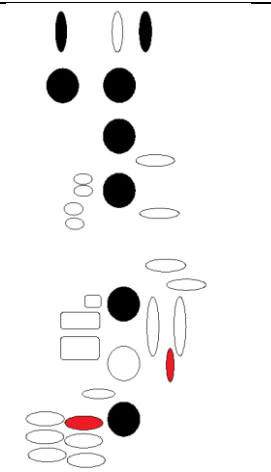
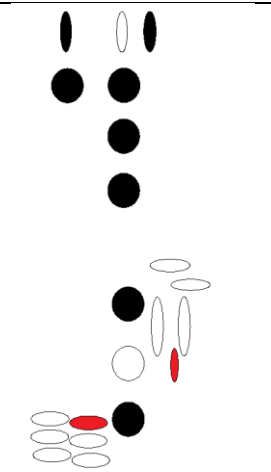
Oscilograma



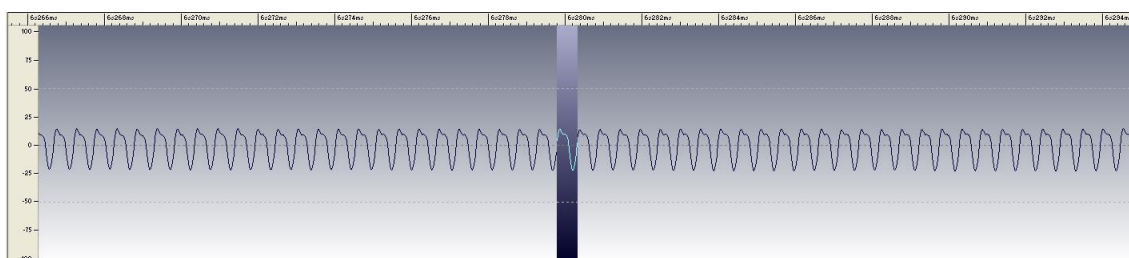
Gráfica FFT



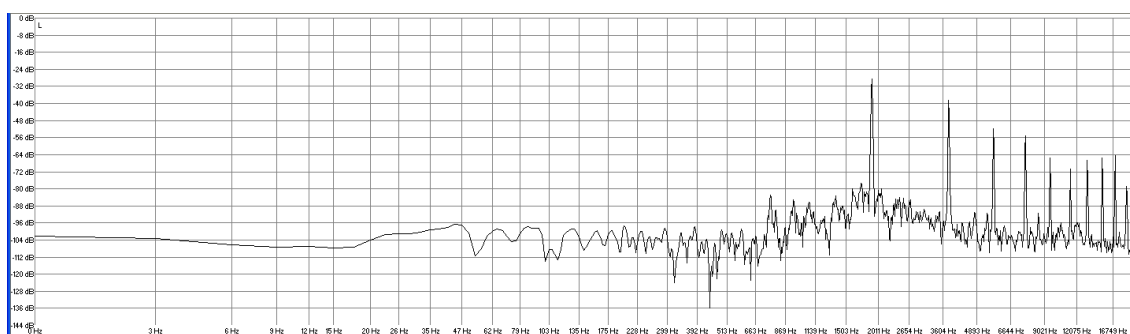
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 279	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-25,9	-43,3	-45,2	-64,8	-81,4	-68,1	-61,1	-74
Frecuencia experimental	1886,4	3774,4	5659,9	7543,5	9430,6	11317,4	13204	15086,5
Frecuencia Teórica	1886,4	3772,8	5659,2	7545,6	9432	11318,4	13204,8	15091,2

SONIDO 280	Digitación completa	Digitación simplificada
<p>doble <i>8va</i></p> 		

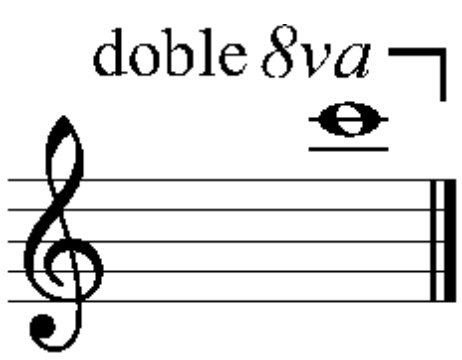
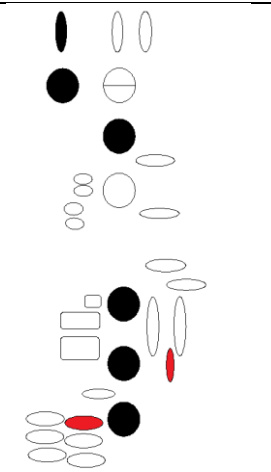
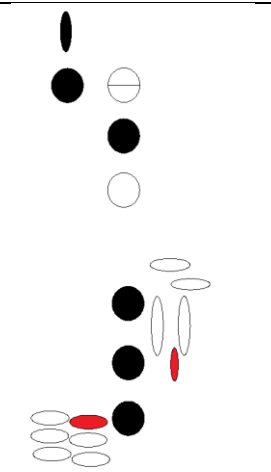
Oscilograma



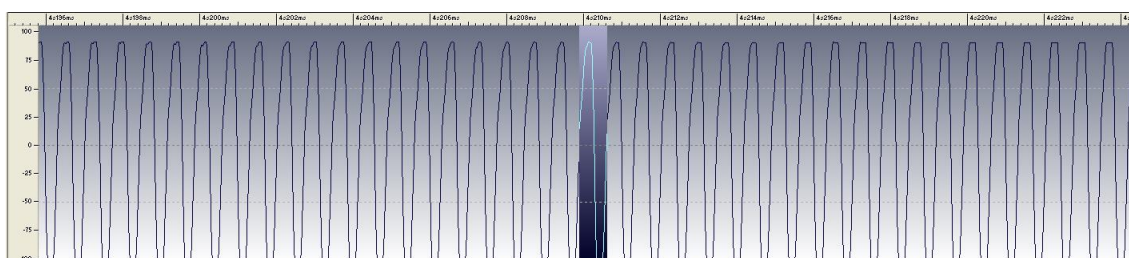
Gráfica FFT



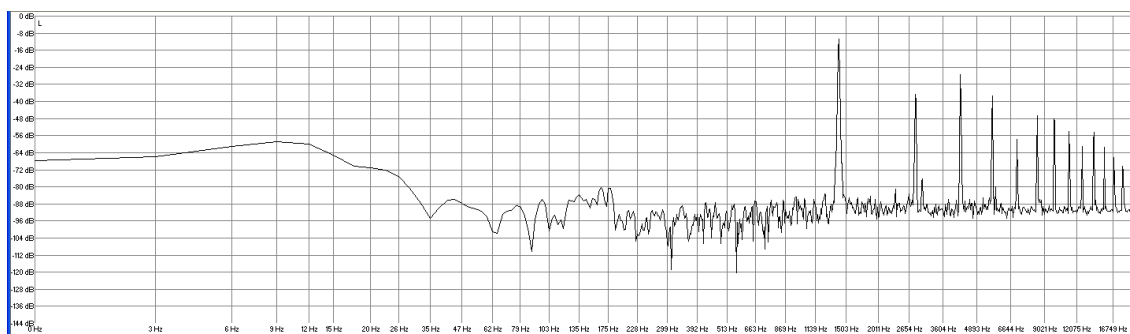
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 280	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-28,5	-38,5	-51,8	-55,2	-65,5	-70,3	-66,6	-65,2
Frecuencia experimental	1898,7	3795,4	5691,9	7588,8	9483,7	11381,8	13276,2	15175,1
Frecuencia Teórica	1898,7	3797,4	5696,1	7594,8	9493,5	11392,2	13290,9	15189,6

SONIDO 281	Digitación completa	Digitación simplificada
<p>doble <i>8va</i></p> 		

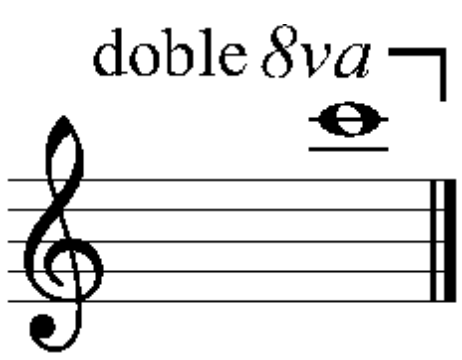
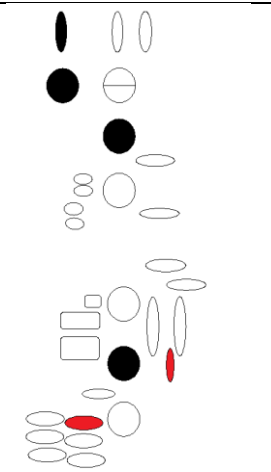
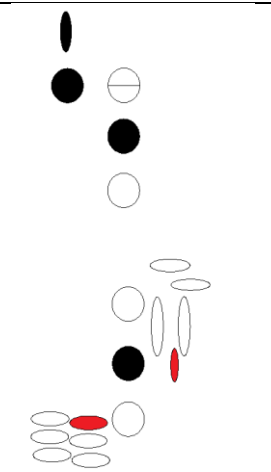
Oscilograma



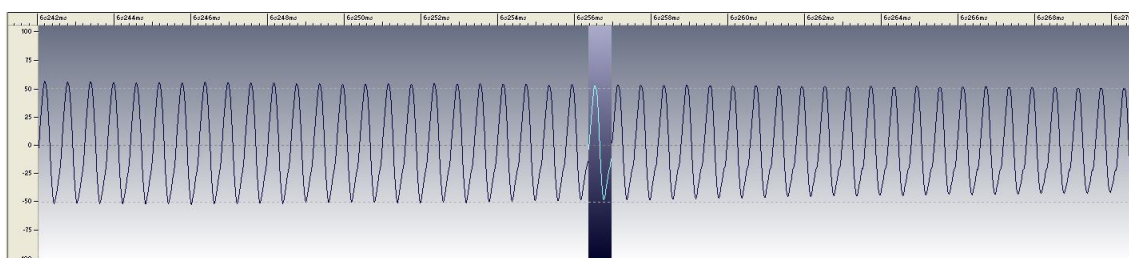
Gráfica FFT



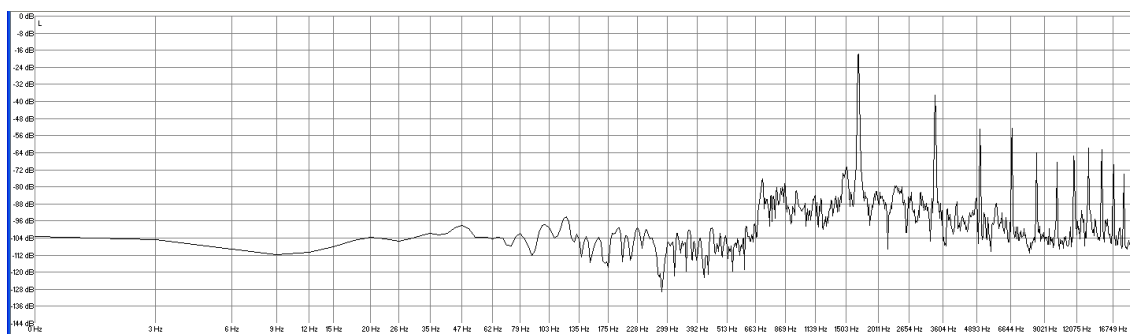
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 281	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-10,7	-36,6	-27,4	-37,4	-57,7	-46,6	-48,1	-54
Frecuencia experimental	1409,1	2817,9	4225,2	5633,9	7042,2	8451,3	9859,7	11267,6
Frecuencia Teórica	1409,1	2818,2	4227,3	5636,4	7045,5	8454,6	9863,7	11272,8

SONIDO 282	Digitación completa	Digitación simplificada
<p>doble <i>8va</i></p> 		

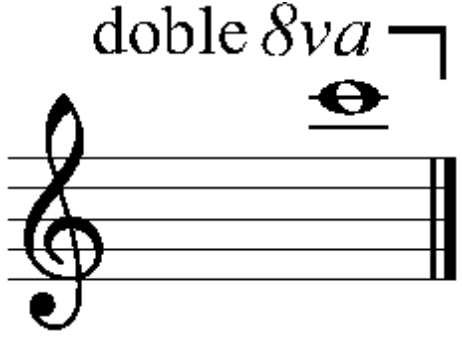
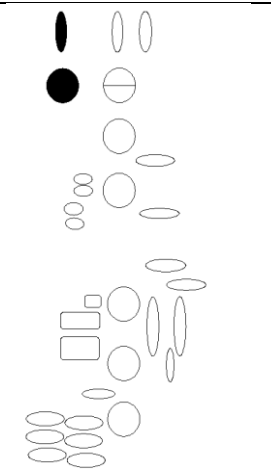
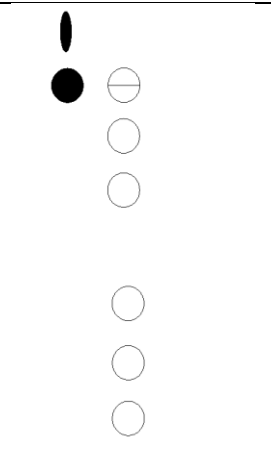
Oscilograma



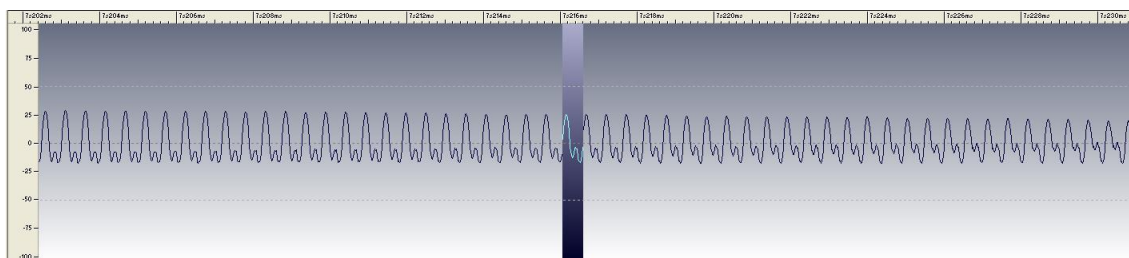
Gráfica FFT



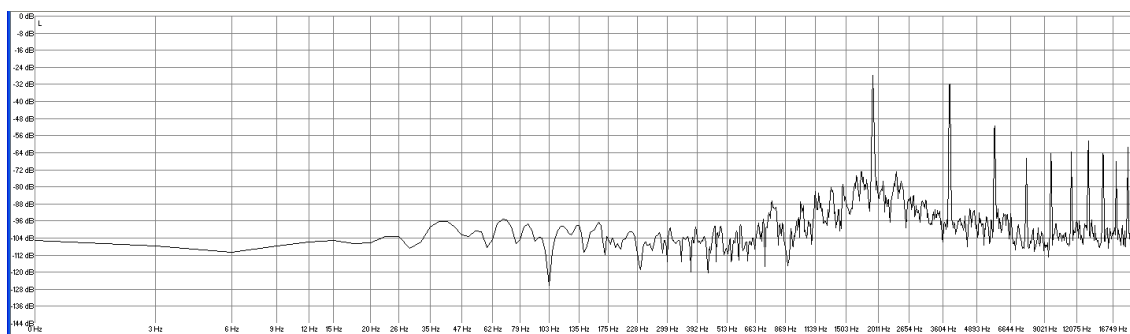
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 282	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-17,8	-37	-52,9	-52,6	-64	-68,5	-65,5	-61,8
Frecuencia experimental	1681,3	3361,9	5044,3	6725,9	8408,5	10091,3	11772,4	13453,3
Frecuencia Teórica	1681,3	3362,6	5043,9	6725,2	8406,5	10087,8	11769,1	13450,4

SONIDO 283	Digitación completa	Digitación simplificada
<p>doble <i>8va</i></p> 		

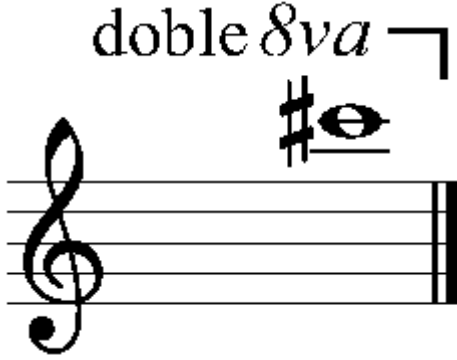
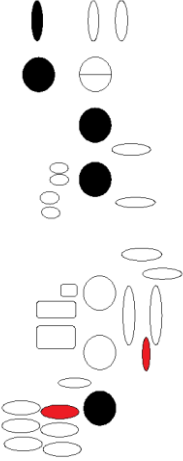
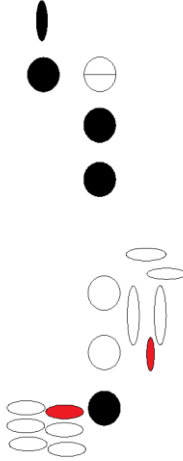
Oscilograma



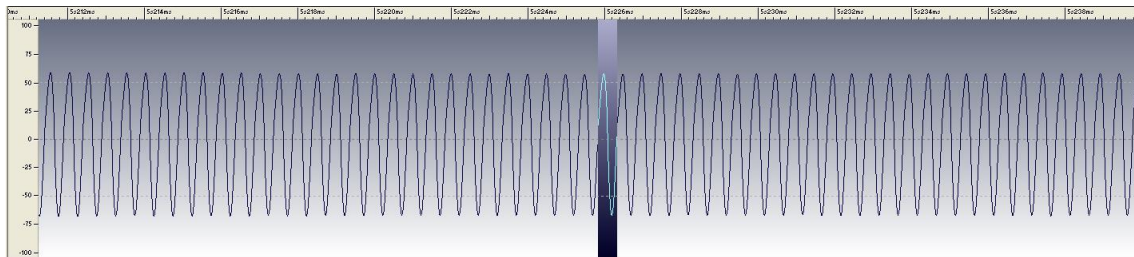
Gráfica FFT



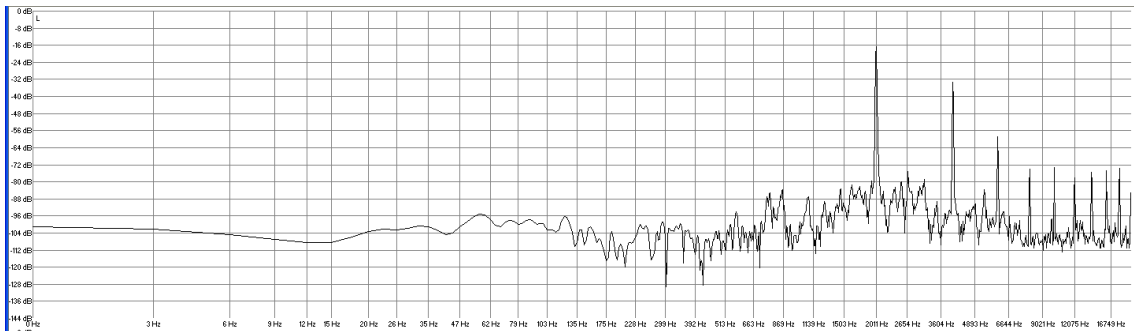
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 283	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-27,8	-31,8	-51,8	-66,6	-64	-64	-58,5	-64
Frecuencia experimental	1915,8	3831,4	5745,4	7661	9576,9	11493,5	13408,4	15325,4
Frecuencia Teórica	1915,8	3831,6	5747,4	7663,2	9579	11494,8	13410,6	15326,4

SONIDO 284	Digitación completa	Digitación simplificada
<p>doble 8va ↗</p> 		

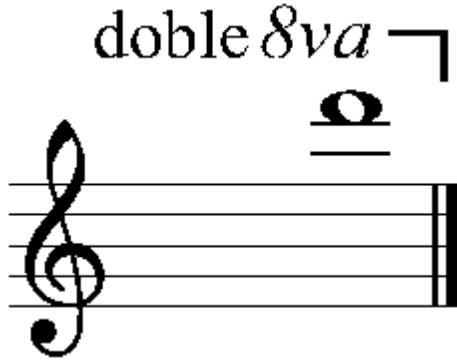
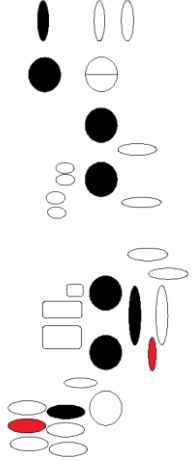
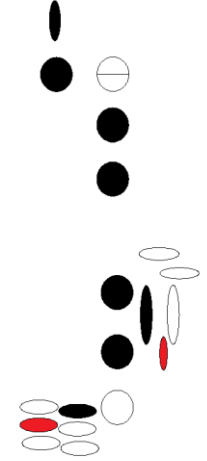
Oscilograma



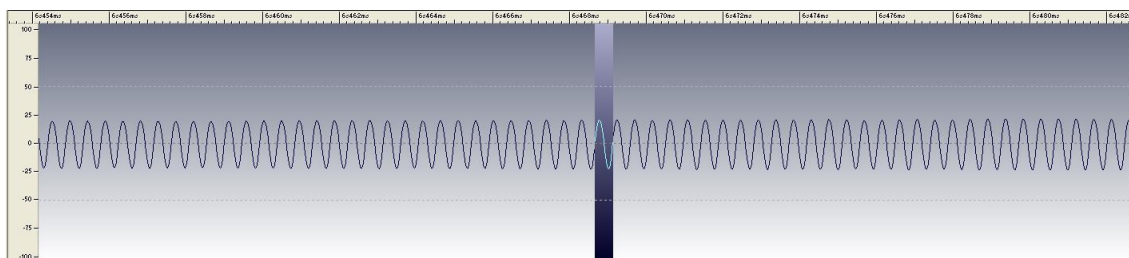
Gráfica FFT



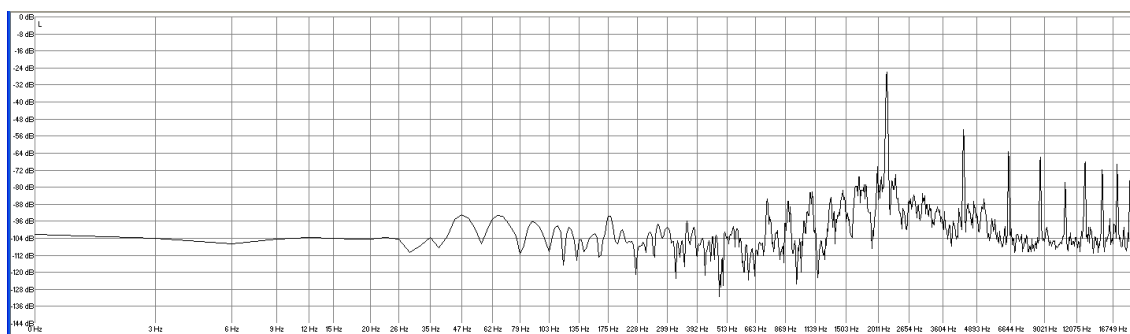
Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 284	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-16,7	-31,8	-58,9	-74	-73,3	-78,1	-75,5	-74,8
Frecuencia experimental	2009,2	4016,8	6023,7	8034,9	10036,3	12044,6	14052,2	16078,2
Frecuencia Teórica	2009,2	4018,4	6027,6	8036,8	10046	12055,2	14064,4	16073,6

SONIDO 285	Digitación completa	Digitación simplificada
<p>doble <i>8va</i></p> 		

Oscilograma



Gráfica FFT



Valores de amplitud (en decibelios) y frecuencia (en Hertzios)								
SONIDO 285	1 ^{er} arm	2 ^o arm	3 ^{er} arm	4 ^o arm	5 ^o arm	6 ^o arm	7 ^o arm	8 ^o arm
dB	-25,9	-52,9	-63,3	-65,9	-77,7	-68,1	-71,8	-69,2
Frecuencia experimental	2171,7	4344,3	6512,3	8683,6	10852,7	13018,4	15210,9	17355,9
Frecuencia Teórica	2171,7	4343,4	6515,1	8686,8	10858,5	13030,2	15201,9	17373,6

ANEXO II (TAMBIÉN EN EL CD)

CUESTIONARIO PARA LOS ESPECIALISTAS

1. ¿Los taladros interiores de los clarinetes bajos heredan las mismas mejoras que los de los sopranos: taladros policilíndricos, partes cónicas...?
 - a. **Est-ce que les perces/tuyaux des clarinettes basses héritent des mêmes améliorations que deux/celles des soprano? (perces/tuyaux polycylindriques, pièces coniques, etc.?)**
 - b. **Do the inner bores of the bass clarinet feature the same improvements the soprano type benefits from? poly-cylindrical tubes, conical parts...**
 2. El barrilete de los clarinetes sopranos puede ser ligeramente cónico ¿pasa lo mismo con el tudel del clarinete bajo?
 - a. **Le baril/barillet des clarinettes soprano peut être légèrement conique. En est-il de même pour le “tudel” de la clarinette basse?**
 - b. **The barrel of the soprano clarinet may be slightly conical. Does the same apply to the bass neck?**
 3. ¿Se guarda la misma proporción entre la longitud y el diámetro del taladro de los clarinetes sopranos y los bajos?
 - a. **Est-ce que la proportion est la même entre la longueur et le diamètre de la perce/tuyau des clarinettes soprano et des clarinettes basses?**
 - b. **Is the same proportion kept – length / diameter of the bore – in soprano clarinets and in bass clarinets?**
 4. ¿Las partes cónicas o las partes en las que cambia el diámetro del taladro, están situadas en los mismos sitios en los dos clarinetes?
 - a. **Les parties coniques de la perce/tuyau, ou bien les parties où le diamètre est différent, sont-elles situées aux mêmes endroits sur les deux clarinettes?**
 - b. **Are the conical parts, or the parts where the diameter of the bores changes, located at the same places in both instruments?**
 5. Para la misma forma del taladro, ¿en qué medida cambia, si es que lo hace, la calidad del sonido al estar fabricado en diferentes materiales
-

(diferentes maderas, ABS, diferentes metales, ebonita...)? ¿es por la densidad del material, su porosidad, su estructura...?

- a. Pour une même forme de la perce/tuyau, dans quelle mesure la qualité du son change-t-elle, si ce changement est un fait, au cas où la clarinette serait fabriquée dans de différents matériaux (différentes sortes de bois, ABS, différents métaux, ébonite, ...?) Serait-ce dû à la densité du matériel, à sa porosité, sa structure...?**
 - b. Assuming the bores have the same shape, would the quality of sound change, depending on the material used in the construction of the clarinet (different kinds of wood, ABS, different types of metal, ebonite, etc.)? . If so, is it due to the density of the material, its porosity, its structure, some other features**
 6. ¿En qué medida cambia el sonido si cambia el espesor del material usado en el tubo?
 - a. Dans quelle mesure une épaisseur différente du matériel employé pour construire le tube modifiera-t-elle le son?**
 - b. To what extent does the sound change if the thickness of the material used in the tubes changes?**
 7. El hecho de que el tudel y la campana de los clarinetes bajos sean curvos ¿influye de alguna manera en su acústica?
 - a. Le fait que le bocal et le pavillon des clarinettes basses soient courbés a-t-il une influence quelconque sur son acoustique?**
 - b. The neck and the bell in the bass clarinets are curved. Does this affect somehow its acoustics?**
 8. ¿Me pueden indicar algún estudio publicado sobre estos temas?
 - a. Pourriez-vous m'indiquer quelque étude publiée à ce sujet?**
 - b. Could you possibly indicate some study published on these topics?**
 9. Si el tubo exterior fuese cuadrado ¿habría cambios en el sonido?
-

- a. **Si le tube extérieur était carré, y aurait-il des changements dans le son?**
 - b. **If the outer tube were square, would there be changes in the sound?**
10. Si el taladro interior fuese cuadrado ¿habría cambios en el sonido?
- a. **Si la perce/tuyau était carrée, y aurait-il des changements dans le son?**
 - b. **If the inner tube were square, would there be changes in the sound?**
11. Si se modifica la forma de la columna de aire pero se respeta su volumen ¿cambia el sonido? ¿hay un límite?
- a. **Si la forme de la colonne d'air était modifiée, tout en respectant son volume, est-ce que le son changerait? Y a-t-il des limites?**
 - b. **If the shape of the air column is modified, but the same volume is kept, would there be a change in the sound? Is there a limit?**
12. Rendall dice en su libro que debe haber una proporción entre la densidad del material y el espesor del cuerpo ¿cierto o falso?
- a. **Rendall dit dans son ouvrage qu'il doit y avoir une proportion entre la densité du matériel et l'épaisseur du corps. Vrai ou faux?**
 - b. **Rendall says in his book that there should be a proportion between the density of the material and the thickness of the body. Right or wrong?**
13. Si se parte o corta el tubo longitudinal o transversalmente y se vuelve a pegar ¿quedaría igual que antes en cuanto a calidad de sonido se refiere?
- a. **Si le tube était coupé, soit dans le sens longitudinal ou transversal, puis encuite recollé, est-ce qu'il garderait les mêmes propriétés originales en ce qui concerne le son?**
 - b. **If the tube is cut - be it long-section or cross-section - and then glued again, would it keep the same properties as before, as far as the quality of sound is concerned?**
-

14. En el caso de materiales concéntricos (exterior madera e interior plástico o metal o viceversa) ¿cuál tendría mayor influencia en el sonido?
- Dans le cas des matériaux concentriques (extérieur en bois et intérieur en plastique ou en métal, ou l'inverse) lequel aurait le plus d'influence sur le son?**
 - In the case of concentric materials (wood on the outside and plastic or metal inside, or the other way round) which would have a greater influence on the sound?**
15. ¿Qué influencia tiene en el sonido el hecho de usar dedos para tapar agujeros en lugar de platos?
- Quelle influence aurait sur le son le fait d'employer les doigts au lieu de plateaux pour couvrir les orifices/trous?**
 - What influence could have on the sound the fact of using the fingers instead of plates to cover the holes?**
16. ¿Se podrían colocar los agujeros de los dedos donde caigan éstos de manera natural y compensar la afinación con las dimensiones del agujero?
- Est-ce qu'il serait possible de placer les orifices/trous pour les doigts aux endroits où ces derniers tombent naturellement et compenser l'accordage au moyen des dimensions des orifices/trous?**
 - Would it be possible to place the holes for the fingers where the latter reach naturally, and design the dimensions of the holes to compensate for the tuning?**
17. Respetando el volumen total, ¿Funcionaría el clarinete igual con taladros más cortos pero más anchos o al revés: taladros más largos y más estrechos?
- Tout en respectant dans les deux cas le volume total, est-ce que la clarinette fonctionnerait pareillement avec des perces/tuyaux plus courtes, mais plus larges, ou au contraire, avec des perces/tuyaux plus longues et plus étroites?**

- b. Would the clarinet work the same with shorter and broader bores or, on the contrary, with bores longer and narrower, considering in both cases an identical total volume?**
18. ¿Cómo se consigue diferente sonido en clarinetes de similar gama?
- a. Comment obtenir des sons différents de clarinettes d'une gamme similaire?**
- b. How may we obtain different sounds from clarinets of a similar range?**
19. ¿Siempre existen una serie de compensaciones/sacrificios? (facilidad/afinación, facilidad/potencia, potencia/timbre)
- a. Existe-t-il toujours une série de compensations/sacrifices? (facilité/accordage, facilité/puissance, puissance/timbre)**
- b. Are there always a series of compromise situations – compensations/sacrifice? (facility / tuning, facility / power, power / tone colour)**
20. ¿En qué se basa la diferencia de precios de unos y otros clarinetes?
- a. Sur quoi se base la différence de prix des clarinettes, entre les unes et les autres?**
- b. What stands for the difference in price between one clarinet and another?**
21. Una réplica de un instrumento en otro material ¿puede sonar igual?
- a. Est-ce qu'une reproduction d'un instrument, faite d'un autre matériel, pourrait produire le même son?**
- b. A reproduction of an instrument made of another material may have the same sound?**
22. Una réplica del tubo interior pero teniendo en cuenta la relación (si la hay) entre la densidad del material y el grosor de las paredes ¿puede sonar igual?
- a. Une reproduction du tube intérieur où l'on aurait tenu compte du rapport (au cas où celui-ci existe) entre la densité du**
-

matériel et l'épaisseur des parois, pourrait-elle produire le même son?

- b. A reproduction of the inner tube, but taking into account the relation (if there is one) between the density of the material and the thickness of the walls, could produce the same sound?**

23. ¿Cómo afectaría un cambio del diseño de los oídos al sonido? (cónicos directos o inversos, doble cónicos, exponenciales, ovalados, cuadrados...

- a. Comment une modification du dessin de la forme des trous affecterait-elle le son? (conique, soit directe ou inverse, double conique, exponentielle, ovale, carrée...)**

- b. How would a change in the design of the shape of tone holes affect the sound (conical, be it direct or inverse, double conical, exponential, oval, square...)**

24. ¿Se podría tapar el agujero tonal de manera que se enrasara con el taladro interior?

- a. Est-ce que les trous pourraient être couvertes de façon à être au même niveau que le tube intérieur?**

- b. Could the tone hole be covered in such a way so as to be levelled with the inner tube?**

25. ¿La caña toca la punta de la boquilla mientras vibra?

- a. Est-ce que l'anche touche l'extrémité de le bec pendant qu'elle vibre?**

- b. Does the reed touch the tip of the mouthpiece while it vibrates?**

26. ¿Se podrían hacer los cuerpos telescópicos? (como los barriletes)

- a. Est-ce que les corps pourraient être télescopiques? (comme les barils/barillets)**

- b. Could the bodies have a telescopic construction (as the barrel)?**

27. Si los agujeros se hicieran taladrando oblicuamente el cuerpo del clarinete ¿cambiaría algún aspecto del sonido producido?

- a. Si les trous étaient perforées en biais dans le corps de la clarinette, est-ce que ce fait changerait un aspect quelconque du son produit?**
- b. If the holes were drilled slantwise in the body of the clarinet, would it change any aspect of the sound produced?**

ANEXO III (TAMBIÉN EN EL CD)

TABLA DE SONIDOS ORDENADOS POR FRECUENCIA

A. CON LOS ARMÓNICOS HASTA EL OCTAVO

B. SÓLO CON LA FUNDAMENTAL

SONIDOS ORDENADOS POR FRECUENCIA

A. CON LOS ARMÓNICOS HASTA EL OCTAVO

SONIDO 0	58.7	117.5	177.4	236	295.7	354.2	413.1	471.8
SONIDO 1	61.5	123	184.5	246.1	307.8	369.2	430.8	492.3
SONIDO 2	66.7	131.7	198.7	264.2	331.2	398	463.6	530.1
SONIDO 3	70.1	140.6	210.2	279	348.8	418.7	489.3	559.2
SONIDO 4	73.1	146.3	219.6	292.6	366.3	439.2	512.8	585
SONIDO 5	78.9	155.5	234.3	313	389.8	468.7	546	624
SONIDO 6	82	166.4	248.8	331.2	413.5	495.9	579.8	662.2
SONIDO 7	88	175.8	263.7	352.1	440	528.1	616.5	704.2
SONIDO 8	93.5	185.5	278.3	371.5	465.4	557.2	650.9	743.9
SONIDO 9	98.9	196.3	295.4	393.4	492.5	590.8	688.9	788
SONIDO 10	98.9	196.3	294.9	392.7	491.8	590.8	688.1	788.1
SONIDO 11	105.1	208.8	313	417.6	521.8	626.9	732	835.3
SONIDO 12	111.3	222.3	333.5	444.8	554.7	665	776.8	888.3
SONIDO 13	111.4	222.3	333.8	445.2	556.8	667.2	779	889
SONIDO 14	117.3	234.4	352.1	469.9	588.3	706	822.6	940.7
SONIDO 15	125.1	249	374.2	499.4	623.7	748.2	873	998.4
SONIDO 16	131.8	263.7	395.7	527	659.7	792	923.2	1054.8
SONIDO 18	139.4	278.5	418.4	557	697.5	835.6	975.2	1114.1
SONIDO 17	139.9	278.6	418.9	558.3	697	836.8	975.2	1115.4
SONIDO 20	139.9	278.5	418.9	558.8	697.5	837.9	977.4	1115.9
SONIDO 19	140	278.1	418.3	556.8	695.7	836.2	976	1114.8
SONIDO 21	146.6	293.4	441.2	588.7	735.4	882.7	1029	1175.9
SONIDO 22	155.2	310.6	465.9	621.3	776.3	932.1	1087.6	1243
SONIDO 24	164.5	330.7	495.2	661.9	825.7	991.2	1157.5	1320.8
SONIDO 23	165.5	331	496.3	662.1	827.3	994.3	1158.3	1324.3
SONIDO 25	175.7	351.3	526.9	702.7	879.4	1053.9	1230.2	1405.3
SONIDO 26	186.1	372.3	558.3	743.6	929.8	1116.9	1300.9	1487.5
SONIDO 27	197	395.1	591.8	789	986.5	1183.5	1381.3	1578
SONIDO 28	202	403.6	604.1	805.2	1007.4	1210.8	1410.9	1611.4
SONIDO 29	208.5	417.2	625.8	835	1042.3	1250.6	1460	1668.7
SONIDO 30	208.6	418.8	627.2	836.7	1043.7	1253.2	1464.1	1674.3
SONIDO 33	218.3	437.2	656.6	873.7	1092.8	1310.3	1529.5	1746.8
SONIDO 32	222.3	444.7	665.2	888.3	1110.7	1332.6	1555.4	1777
SONIDO 31	222.7	445.5	667.7	891	1113.9	1335.5	1559.5	1781.9
SONIDO 35	228.5	457.2	685.3	914	1142.8	1371.4	1599.7	1828.4
SONIDO 36	231.4	462.9	694.1	926.1	1157.5	1389.3	1621.6	1853.5

SONIDO 55	235.4	471.8	707.4	943.3	1178.3	1414.8	1651	1887.6
SONIDO 34	236.1	471.5	707.6	943.7	1179.5	1415.1	1651.6	1887.7
SONIDO 37	248.7	497.8	744.2	993.2	1242	1491.3	1740.3	1988.7
SONIDO 38	263.5	526.2	787.7	1052	1314.9	1576.9	1840.7	2103.5
SONIDO 39	278	556.4	834.4	1112.2	1389.3	1667	1945.3	2223.8
SONIDO 40	293.5	589.1	881.9	1178.3	1470.8	1766.6	2059.8	2354.1
SONIDO 41	312.2	624.3	935.2	1248.1	1559.2	1871.9	2183.2	2496.3
SONIDO 42	330.4	659.3	990.7	1321.2	1649.2	1980.4	2310.4	2639.2
SONIDO 43	330.7	662	992.7	1323.9	1654.9	1985.9	2317	2647.7
SONIDO 45	349.9	700	1050.6	1401.5	1751.4	2101.3	2452	2802.8
SONIDO 54	350.2	700.5	1051.1	1399.9	1751.9	2100.9	2452.4	2802.9
SONIDO 44	354.5	708.7	1064.4	1420.1	1775.3	2129.7	2484.2	2841.9
SONIDO 46	370.4	741.1	1113.1	1484.3	1854.2	2226	2596	2968.3
SONIDO 47	376.4	752.6	1129	1504.9	1880.9	2258.5	2633.5	3010.4
SONIDO 48	392.5	787.4	1180.8	1573	1968.2	2361.5	2755.8	3149
SONIDO 52	416.3	834.4	1251.5	1669	2085.2	2502.6	2920.2	3336.9
SONIDO 49	417.3	835	1251.9	1669.2	2087.5	2505	2922.1	3339.3
SONIDO 53	418	834.7	1254.5	1670.4	2088.5	2506.3	2924.4	3340.6
SONIDO 50	418.7	835.7	1253.8	1673.2	2090.6	2508.2	2926.9	3345.5
SONIDO 51	426.8	852.7	1280.6	1707.4	2133.3	2559.2	2985.5	3416.3
SONIDO 56	442.2	884.3	1327.3	1770.3	2211.8	2655.8	3098	3540.2
SONIDO 58	467.9	935.3	1402.6	1871.5	2337.8	2806.3	3273.1	3741.8
SONIDO 63	480.2	964.2	1443.7	1927.5	2407.6	2888.9	3370.9	3852
SONIDO 61	482.6	966.6	1448.8	1932.1	2414	2897.2	3380.8	3864.8
SONIDO 62	483.3	966.9	1449.9	1934.5	2417.1	2900.8	3384.1	3867.6
SONIDO 65	484.6	970.4	1455	1941.1	2425.2	2908.7	3395.9	3878.9
SONIDO 60	484.8	969.3	1455.2	1938.7	2424.5	2909.9	3395.6	3878.6
SONIDO 59	486	971.4	1458.1	1943.9	2428.4	2915.2	3401.5	3887
SONIDO 70	495,5	991,1	1486,3	1984,4	2477,9	2974,2	3864,8	3963,6
SONIDO 68	497,1	994,7	1491,7	1988,2	2487	2986	3482,3	3979,2
SONIDO 64	497.4	993.1	1490.9	1989.3	2484	2981.2	3477.4	3973.5
SONIDO 69	498	995,7	1495,7	1995,4	2492,9	2991,3	3488,7	3987,2
SONIDO 66	498,3	995,9	1494,7	1992,6	2490,7	2988,6	3487	3985,1
SONIDO 67	500,5	999,5	1499,6	2000,5	2498,8	3000,1	3499,8	3999,8
SONIDO 78	514.7	1031.6	1583.3	2109	2626.3	3140	3653.7	4171.7
SONIDO 74	514.8	1030.8	1588.8	2107.1	2624	3141	3654.8	4218
SONIDO 75	515	1055.4	1594	2109.9	2624.6	3163.3	3702	4218.9

SONIDO 71	515.2	1067.2	1594	2109	2626.1	3182.2	3702.9	4218.6
SONIDO 73	516	1031.4	1589.6	2105.8	2625.6	3138.2	3677.1	4218.4
SONIDO 76	516	1032	1593	2110.4	2625	3141.2	3679.4	4218.5
SONIDO 77	516	1077.7	1594	2150	2671	3187.8	3747.9	4265
SONIDO 72	516.3	1076.9	1593.2	2113.1	2663.9	3118.8	3748.2	4265
SONIDO 57	529.7	1059	1587.4	2117.1	2646.7	3176.3	3706.4	4234
SONIDO 82	556,3	1114,4	1672,2	2229,9	2788,4	3345,3	3901,5	4462,2
SONIDO 79	559,4	1119,1	1678,4	2238,5	2797,7	3357,7	3917,1	4476,8
SONIDO 83	559,8	1118,7	1678,5	2238,1	2798,3	3357	3917,2	4477,1
SONIDO 80	562,3	1126	1690,2	2252,3	2815,2	3377,4	3943,3	4506,8
SONIDO 81	567,1	1133,3	1701,8	2267,4	2833,4	3401	3966,3	4534,5
SONIDO 87	591	1182,6	1774,8	2363,4	2954,9	3545,5	4135,9	4728,1
SONIDO 86	594,8	1192,7	1787,6	2383,7	2979,6	3573,9	4169,8	4766,8
SONIDO 84	597,1	1195,2	1793,8	2387,3	2988	3584,8	4181,5	4779,4
SONIDO 85	598,6	1195,1	1792,5	2389,1	2986,9	3585	4182,5	4777,6
SONIDO 92	623,9	1248,5	1872,3	2495,5	3118,2	3743	4365,3	4988,8
SONIDO 95	624,2	1247,6	1872,6	2496,5	3118,9	3741,6	4366	4988,9
SONIDO 90	626,2	1254	1833,4	2511,3	3137,3	3765	4391,3	5019,5
SONIDO 89	631,9	1262,1	1894,7	2526,4	3158,7	3790	4420,1	5053,5
SONIDO 88	633	1265,4	1899,8	2532,4	3163,9	3796,9	4430,4	5063
SONIDO 91	634,8	1268,8	1903,7	2538,7	3172,8	3807	4441,7	5078,1
SONIDO 94	636	1271,7	1907	2542,8	3178,2	3814,7	4451	5086,6
SONIDO 93	644,3	1288	1930,8	2577,7	3220,3	3861,6	4505,7	5149,5
SONIDO 101	659,4	1320,5	1980,2	2640,7	3300,8	3960,8	4620,4	5282,6
SONIDO 100	661,8	1323	1983,4	2645,9	3307,7	3969,3	4630,3	5291,1
SONIDO 102	662,2	1325,6	1988,4	2651	3313,3	3976,2	4640,1	5302,6
SONIDO 96	667,9	1334,6	2000,6	2669,7	3336,6	4005,2	4670,2	5339
SONIDO 97	668,5	1339,5	2007,1	2675,5	3345,3	4014	4683,4	5352,5
SONIDO 98	669,4	1339,4	2008,5	2676,9	3348,5	4018,1	4687,8	5358,6
SONIDO 99	674,1	1347,9	2021,6	2694,9	3368,6	4043,4	4717,4	5390,5
SONIDO 111	697,5	1397,1	2094,4	2793,5	3491,9	4189,3	4888,8	5586,9
SONIDO 109	699,9	1398	2097,4	2797,6	3496,8	4195,5	4895,4	5594,5
SONIDO 110	702,1	1403	2106,6	2806,5	3509,5	4212,4	4914	5616,2
SONIDO 103	703,2	1406,3	2109,2	2812,6	3515,9	4215,3	4922,9	5625,4
SONIDO 104	705,7	1409,3	2115,2	2818,1	3524,2	4229,8	4933,6	5639,9
SONIDO 106	706,3	1412,4	2118,6	2825,1	3531,9	4238,1	4945,1	5651,3
SONIDO 105	706,6	1415,4	2121,3	2829,7	3536	4244,9	4951,2	5658,8

SONIDO 114	710,6	1420,9	2130,6	2841,3	5551,6	4262,3	4971,7	5681,3
SONIDO 118	712	1423,8	2135,9	2847,9	3559,9	4271,9	4983,6	5695,7
SONIDO 107	712	1424,7	2137,3	2850,6	3562,5	4274,3	4986,7	5697,9
SONIDO 113	712	1424,8	2138,7	2851,1	3564	4277	4984,4	5701,9
SONIDO 112	715,3	1432,4	2147,7	2862,4	3580,3	4295,1	5009,6	5725,9
SONIDO 108	732,7	1466,9	2200,5	2934	3667,5	4400,5	5136,6	5867,8
SONIDO 127	738,7	1475,4	2211,9	2950,5	3687,8	4424,6	5162,6	5900,6
SONIDO 115	741,1	1484,1	2226,8	2967,5	3710,6	4452,9	5194,2	5935,3
SONIDO 125	741,2	1485,1	2226,4	2968,9	3711,8	4453,5	5194,8	5937,7
SONIDO 116	741,5	1482,2	2223,4	2964,5	3707	4449,6	5190,9	5933
SONIDO 119	744	1487,2	2229,4	2973,7	3717,9	4459,7	5203,2	5947,3
SONIDO 120	744,1	1488,2	2233,2	2976,5	3721,2	4466,4	5210,3	5952,8
SONIDO 128	746,5	1494	2239,8	2985,5	3733,4	4479,8	5226,7	5973,6
SONIDO 117	755,6	1508,9	2264,8	3017,3	3773,5	4528,4	5282,2	6037,6
SONIDO 124	761,1	1521,6	2282,1	3043,4	3802,6	4564,7	5325,1	6084,9
SONIDO 121	761,6	1523,7	2284,9	3046,9	3808,4	4570,1	5331,6	6091,1
SONIDO 122	762,2	1524,5	2287	3050,3	3811,3	4573	5334,5	6096,5
SONIDO 146	773,6	1546,6	2323,2	3096,9	3869,7	4644,8	5420	6193,3
SONIDO 123	782,3	1564,5	2346,9	3128,8	3911,4	4693,3	5475,2	6258,8
SONIDO 131	784,7	1567,4	2351,5	3134,5	3918,7	4702,3	5486,2	6269,5
SONIDO 141	785,3	1569,9	2355,5	3141,1	3927	4713,6	5498,8	6283,9
SONIDO 145	785,6	1570,3	2354,7	3138,7	3922,9	4708	5493,3	6278,1
SONIDO 129	786	1573,8	2358,5	3145,9	3931,5	4716,2	5505,2	6290,5
SONIDO 139	787	1573,5	2358,2	3146	3930,4	4719,6	5504,7	6291,1
SONIDO 142	790,6	1579,2	2370,2	3159,9	3949,3	4740,4	5528,9	6319,6
SONIDO 130	793,2	1585,1	2378,6	3170,7	3963,5	4756,2	5548,8	6342,9
SONIDO 143	793,8	1588	2382,8	3177,4	3971,9	4766,5	5561,2	6354,1
SONIDO 147	795,5	1591,1	2388,2	3181,8	3978,8	4772,1	5569,7	6366,3
SONIDO 133	797	1592	2387,8	3184,5	3979,3	4775,3	5571,1	6366,1
SONIDO 136	800	1599,8	2399,4	3199	3999,2	4798,4	5599,1	6398
SONIDO 134	800,4	1600,4	2401	3201,4	4001,9	4801,6	5601,6	6401
SONIDO 126	801,3	1602,4	2403,9	3205,4	4006,3	4807,9	5609,1	6409,9
SONIDO 144	805,8	1609,4	2414,4	3219,6	4022,9	4819	5633,6	6436,8
SONIDO 132	808,5	1617,3	2423,4	3231,4	4040,1	4848,9	5656,2	6463,3
SONIDO 138	811,5	1622,6	2434,3	3246,1	4057,5	4868,7	5680,8	6492,4
SONIDO 137	811,5	1623,5	2436,4	3248,8	4060	4874,2	5682,4	6493

SONIDO 140	811,6	1623	2432,2	3242,8	4054,7	4866,3	5674,9	6486,7
SONIDO 135	838,1	1672,6	2510,6	3348,8	4184,7	5021,3	5859,2	6697,2
SONIDO 161	838,1	1675,7	2513,9	3351,4	4189,5	5027,3	5865,6	6702,8
SONIDO 159	849,4	1696	2545,1	3392,8	4241,2	5090	5938,5	6785,3
SONIDO 165	851,8	1701,7	2554,5	3404,5	4257	5107,9	5958,8	6811,3
SONIDO 160	852,4	1705,1	4558,2	3411,5	4264,7	5118,4	5970,6	6823,4
SONIDO 162	852,6	1705,2	2558,5	3410,9	4262,3	5115	5967	6817,1
SONIDO 151	853,1	1705,2	2558,6	3411,8	4264,7	5118,4	5970,6	6823,4
SONIDO 156	854,9	1708,4	2563,7	3415,9	4271,1	5127,2	5979,1	6834,7
SONIDO 150	855,5	1710,8	2566,7	3421,8	4277,4	5133,4	5990	6846,6
SONIDO 164	855,6	1708,1	2563,5	3419,1	4271,1	5127,4	5980,3	6834,7
SONIDO 163	855,6	1711,2	2566,7	3423,6	4278,8	5136	5990,9	6846,5
SONIDO 179	855,8	1712,3	2569,6	3426,1	4282,3	5138,6	5994,2	6849,4
SONIDO 148	856,5	1714,1	2569,6	3425,5	4283,2	5138,5	5995,7	6852,5
SONIDO 155	858,3	1717,3	2577,1	3436,9	4294,9	5153,4	6011,4	6872,7
SONIDO 158	858,4	1716,4	2575,1	3434	4291,5	5150,3	6008,8	6867
SONIDO 182	858,6	1718,2	2577,1	3436,4	4294,5	5153,3	6012,1	6871,7
SONIDO 153	861,4	1724	2587,1	3448,7	4309,9	5173,3	6035,4	6896,3
SONIDO 154	864,4	1727,4	2590,1	3453,9	4318,2	5180,4	6047,3	6908,6
SONIDO 157	864,4	1728,8	2592,5	3457	4321,7	5185,7	6049,4	6914,5
SONIDO 149	864,6	1729,3	2593,5	3460,1	4324	5188,6	6052,7	6917,1
SONIDO 152	870,2	1741,7	2613,2	3483,3	4353,6	5225,1	6096,9	6966,9
SONIDO 218	873,2	1743,8	2615,9	3489,4	4361	5232	6105	6976,9
SONIDO 170	884,9	1770,6	2656,9	3542,1	4426,8	5311,6	6196,3	7083,9
SONIDO 178	887,6	1775,5	2662	3548	4435,1	5320,2	6208,9	7093,4
SONIDO 167	890,6	1783,3	2674	3565,8	4456,9	5349,6	6240	7130,4
SONIDO 171	890,8	1783,1	2673,8	3565,6	4455,9	5346,8	6238	7130,6
SONIDO 169	893,6	1787,5	2680,3	3574,5	4468	5360,4	6254,9	7146,9
SONIDO 177	893,8	1784,3	2681	3577,2	4469,1	5363,2	6259,4	7152,3
SONIDO 168	895,3	1790,4	2686,3	3579,8	4476,8	5371,6	6266,6	7163,1
SONIDO 180	896,3	1793,4	2689,4	3581	4483,2	5376	6274,4	7169,5
SONIDO 166	899,4	1799,3	2699,1	3599,9	4498,5	5399,3	6298,7	7197,7
SONIDO 172	902,5	1804,4	2704,4	3606	4508,8	5411,1	6313,6	7214,9
SONIDO 173	904,4	1807,2	2712,1	3615,6	4518,5	5422	6325	7231,1
SONIDO 176	904,7	1808,8	2711,7	3616,3	4524,7	5429,3	6335,6	7239,5
SONIDO 181	905,1	1811	2713,7	3618	4523,5	5428,3	6333,7	7239,1

SONIDO 174	913,3	1827	2743,3	3654,8	4568,6	5482,2	6395,9	7308,4
SONIDO 183	917,4	1830,3	2747,2	3662,5	4578,9	5494,8	6409,9	7327,2
SONIDO 175	919	1838,3	2759,9	3677,3	4598	5516	6438	7356,5
SONIDO 197	926,2	1853,3	2780,2	3706,4	4632,2	5559,9	6485,7	7412,2
SONIDO 198	928,9	1855,4	2782,9	3712,2	4640,2	5567,7	6495,2	7423,5
SONIDO 190	931,5	1863,4	2795,6	3729,6	4661,5	5593	6525,4	7457,2
SONIDO 194	931,6	1864,7	2797,2	3729,9	4661,1	5593,1	6526,5	7457,8
SONIDO 195	931,7	1862,9	2793	3723,6	4654,4	5586,6	6516,7	7447,3
SONIDO 184	931,7	1863,2	2795,1	3726,5	4658,1	5591	6521,8	7453,6
SONIDO 189	932,1	1865,3	2797,7	3729	4662,7	5595,6	6527,4	7459,8
SONIDO 196	934,5	1869,3	2807,3	3737	4672,7	5606,5	6542,2	7475,2
SONIDO 188	940,7	1883,5	2824,2	3766,4	4708,4	5649,9	6590,5	7532
SONIDO 187	943,4	1888,1	2834	3777,6	4721,7	5664,8	6608,8	7549,6
SONIDO 186	943,8	1886,8	2830,1	3773,1	4718,8	5659	6605,5	7546,4
SONIDO 185	945,8	1893,9	2842,7	3787,9	4737	5682,7	6629,8	7578,7
SONIDO 193	946,6	1897,2	2838,6	3784,2	4730,7	5676,8	6622,3	7567,5
SONIDO 217	952,2	1904,7	2854,4	3806,7	4758,1	5710,5	6661,1	7613,2
SONIDO 192	961	1922,2	2881,1	3841,8	4802,6	5764,7	6723,4	7684,2
SONIDO 191	964	1925,8	2889,1	3850,6	4811,2	5790,5	6735,6	7696,3
SONIDO 228	978,8	1954,1	2932,5	3911,1	4890,1	5866,1	6844,2	7821,9
SONIDO 223	979,4	1959,5	2938,4	3916,6	4895,6	5873,4	6853,2	7830,9
SONIDO 206	981,3	1959,4	2941,7	3922,5	4903,9	5883,3	6864,3	7844,3
SONIDO 199	982,2	1966,2	2947,4	3929,4	4913,4	5894,5	6875,8	7858,2
SONIDO 202	983,3	1966	2949,7	3933	4915,6	5897,3	6881,6	7866,3
SONIDO 207	984,3	1966,8	2950,1	3934,1	4918,8	5899,2	6882,5	7866,6
SONIDO 215	984,3	1967,4	2949,3	3947,4	4942,8	5912,7	6919,7	7878,4
SONIDO 208	987,1	1974,1	2960,9	3946,7	4933,4	5920,8	6911,5	7895,8
SONIDO 220	988,8	1987	2965,2	3955,4	4942,3	5932,8	6919,4	7918,5
SONIDO 203	990,2	1981,4	2974	3963,7	4954,3	5994,3	6935	7926,2
SONIDO 222	990,5	1980	2969,7	3959,2	4989,2	5938,9	6928,5	7918,6
SONIDO 214	990,9	1983,7	2974,7	3975,8	4957,6	5948,5	6944,2	7938
SONIDO 219	993,2	1984,3	2977,2	3969,7	4962,8	5953,1	6947,3	7939,1
SONIDO 200	993,4	1986,5	2980,1	3972,5	4965,5	5960,8	6954,9	7946,6
SONIDO 204	994,7	1988,7	2983,8	3978,7	4974,9	5967,2	6961,3	7957,4
SONIDO 201	998,2	1994,2	2993,7	3990,1	4986,1	5986,9	6981,8	7977,3
SONIDO 205	1002	2004	3004,5	4007,1	5008,8	6010,8	7011,8	8014

SONIDO 209	1003,9	2006,7	3009,9	4013,2	5017,3	6020,3	7024	8027,7
SONIDO 210	1004,9	2009,5	3015	4018,9	5024,4	6028,7	7020,1	8032,8
SONIDO 212	1005,2	2006,5	3012,6	4015,5	5018	6024,1	7028,8	8031,7
SONIDO 221	1007,7	2016,9	3025,8	4034,6	5042,6	6049,5	7057,3	8067,2
SONIDO 216	1009,6	2018,1	3026,9	4037,4	5045	6053,9	7062,1	8071,2
SONIDO 213	1011,2	2021,4	3030,5	4040,6	5049,4	6058,1	7066,2	8077,4
SONIDO 211	1012,2	2024,8	3035,7	4048,2	5059,2	6073,7	7084,2	8094,3
SONIDO 229	1031,7	2064,4	3096,5	4134	5159,3	6190,1	7221,1	8264,7
SONIDO 231	1037	2074,3	3111,4	4147,6	5184,5	6219,7	7256,6	8293,6
SONIDO 230	1038,6	2076,9	3117,2	4154,2	5194,1	6231,8	7270,6	8308
SONIDO 224	1039,9	2080,5	3118,1	4158,7	5195,3	6238,6	7278,4	8322
SONIDO 225	1040,3	2080,6	3120,5	4159,5	5198,3	6236,8	7277,1	8317,7
SONIDO 233	1043,2	2088,3	3131,6	4174,5	5215,7	6260,8	7302	8370
SONIDO 232	1047,7	2095,2	3143,1	4189,7	5235,6	6283,7	7335,2	8377,9
SONIDO 249	1049,2	2083	3126,3	4168,7	5211	6253,1	7297,9	8323,3
SONIDO 227	1051,6	2102,3	3152	4203,6	5254,5	6305,9	7356,1	8408,2
SONIDO 226	1069,6	2136,1	3204,7	4271,2	5340,5	6407,8	7476,7	8542,6
SONIDO 243	1072,6	2147,8	3221,9	4293,9	5368,8	6443,4	7517,3	8570,7
SONIDO 242	1074,3	2151,7	3228,5	4304,1	5378,9	6457,4	7531,8	8605,9
SONIDO 247	1077,8	2156,6	3234,3	4312,6	5391,7	6468,3	7549,8	8624,2
SONIDO 240	1078	2158,9	3236,9	4318	5399,7	6474,6	7555,4	8634,1
SONIDO 244	1078,3	2156,8	3234,1	4312,8	5390,2	6468,2	7546,9	8623,7
SONIDO 245	1078,3	2158	3235,8	4315,9	5394	6468,8	7547,9	8625,5
SONIDO 246	1081,2	2162,6	3241,9	4322,9	5402,3	6485,1	7564,1	8645,2
SONIDO 241	1081,3	2164	3242,9	4324,4	5405,1	6486,4	7567,3	8647,6
SONIDO 239	1092,9	2184	3276,9	4368	5457,6	6549,4	7639,5	8730,9
SONIDO 250	1095	2190,2	3284	4380,1	5474,4	6569,3	7665,4	8759,3
SONIDO 235	1098	2194,2	3292,6	4388,6	5487,4	6582,4	7679,4	8777,9
SONIDO 234	1113	2224,8	3336,9	4447,9	5560,9	6670,5	7782,6	8894
SONIDO 238	1113,4	2225,9	3336,8	4449,6	5560,6	6674	7787,1	8900,9
SONIDO 237	1113,7	2226,5	3339,9	4453	5563,9	6676,2	7791,3	8903,2
SONIDO 236	1113,8	2226,8	3340	4454,2	5567,6	6682,8	7797,3	8913,2
SONIDO 263	1122,2	2241,2	3366,3	4489,8	5608,7	6730,9	7865,7	8967,9
SONIDO 248	1126,6	2253,1	3377,7	4508,9	5630,5	6758	7885,7	9010,7
SONIDO 252	1159,9	2320,2	3480,2	4639,4	5789,9	6957,5	8117,9	9278,2
SONIDO 251	1162,9	2322,8	3482,8	4640,7	5803,9	6960	8120,8	9280,9

SONIDO 253	1163,1	2326,7	3488,8	4652,7	5815,2	6978,3	8143,3	9306,5
SONIDO 256	1166,1	2331,9	3498,2	4662,3	5827,2	6993,5	8158,7	9325
SONIDO 254	1166,5	2334,9	3502,4	4669,7	5835,5	7004,9	8170,9	9339,5
SONIDO 255	1172,9	2344,7	3518,2	4690,8	5861,9	7035,9	8209	9381
SONIDO 265	1174,9	2350,6	3525,9	4703,7	5879,7	7058,7	8234,9	9392,1
SONIDO 257	1175,4	2351,7	3527,7	4702,1	5876,5	7053	8228,8	9398,6
SONIDO 262	1182,7	2367,3	3550,8	4737	5920,8	7105,8	8292,9	9477,3
SONIDO 261	1186,6	2372,8	3560,5	4793,3	5935,9	7121,9	8308,5	9494,6
SONIDO 260	1189,5	2377,2	3565,1	4754,7	5943,9	7132,7	8321,1	9509,7
SONIDO 266	1192,8	2388,2	3583,3	4775	5969	7163,7	8358,8	9564,2
SONIDO 259	1247,9	2496,4	3743,7	4990,7	6239,9	7486,7	8735,2	9982,7
SONIDO 258	1249,2	2499,2	3749,9	4997,7	6248,4	7497,1	8746,8	9993,2
SONIDO 264	1257,1	2511,7	3767,4	5024,6	6281,3	7536,3	8792,7	10058,4
SONIDO 269	1408	2816,2	4223,1	5629,2	7047,3	8454,8	9865	11249,5
SONIDO 281	1409,1	2817,9	4225,2	5633,9	7042,2	8451,3	9859,7	11267,6
SONIDO 268	1421,1	2840,8	4271,4	5692,8	7121,6	8502	9970,5	11393,5
SONIDO 267	1429,5	2868,8	4297,7	5735,1	7124,4	8554	10045,4	11482,6
SONIDO 270	1431,9	2863,5	4295,4	5729,4	7161,8	8594,4	10010,5	11464
SONIDO 271	1489	2979,5	4467,9	5956,3	7445,5	8933,4	10422,8	11910,4
SONIDO 272	1507	3012,8	4518,5	6037,4	7544	9050,1	10536,2	12041,2
SONIDO 274	1584,9	3176,5	4760,5	6316,1	7942,4	9507,4	11118,4	12682,9
SONIDO 273	1588	3176,3	4765,6	6357,3	7931	9537,8	11109,8	12697,5
SONIDO 275	1679	3358,3	5038,9	6717,4	8396,4	10076	11753,6	13435,3
SONIDO 282	1681,3	3361,9	5044,3	6725,9	8408,5	10091,3	11772,4	13453,3
SONIDO 278	1710,3	3422,4	5134,5	6845,4	8557,6	10268,5	11979,9	13691,3
SONIDO 276	1711,1	3421,2	5131,2	6838,8	8549	10255,9	11966,7	13675,2
SONIDO 277	1774,6	3547,3	5324,5	7101,9	8877	10652,6	12427,5	14206
SONIDO 279	1886,4	3774,4	5659,9	7543,5	9430,6	11317,4	13204	15086,5
SONIDO 280	1898,7	3795,4	5691,9	7588,8	9483,7	11381,8	13276,2	15175,1
SONIDO 283	1915,8	3831,4	5745,4	7661	9576,9	11493,5	13408,4	15325,4
SONIDO 284	2009,2	4016,8	6023,7	8034,9	10036,3	12044,6	14052,2	16078,2
SONIDO 285	2171,7	4344,3	6512,3	8683,6	10852,7	13018,4	15210,9	17355,9

SONIDOS ORDENADOS POR FRECUENCIA

B. SÓLO LA FUNDAMENTAL

SONIDO 0	58.7	SONIDO 37	248.7	SONIDO 77	516
SONIDO 1	61.5	SONIDO 38	263.5	SONIDO 72	516.3
SONIDO 2	66.7	SONIDO 39	278	SONIDO 57	529.7
SONIDO 3	70.1	SONIDO 40	293.5	SONIDO 82	556.3
SONIDO 4	73.1	SONIDO 41	312.2	SONIDO 79	559.4
SONIDO 5	78.9	SONIDO 42	330.4	SONIDO 83	559.8
SONIDO 6	82	SONIDO 43	330.7	SONIDO 80	562.3
SONIDO 7	88	SONIDO 45	349.9	SONIDO 81	567.1
SONIDO 8	93.5	SONIDO 54	350.2	SONIDO 87	591
SONIDO 9	98.9	SONIDO 44	354.5	SONIDO 86	594.8
SONIDO 10	98.9	SONIDO 46	370.4	SONIDO 84	597.1
SONIDO 11	105.1	SONIDO 47	376.4	SONIDO 85	598.6
SONIDO 12	111.3	SONIDO 48	392.5	SONIDO 92	623.9
SONIDO 13	111.4	SONIDO 52	416.3	SONIDO 95	624.2
SONIDO 14	117.3	SONIDO 49	417.3	SONIDO 90	626.2
SONIDO 15	125.1	SONIDO 53	418	SONIDO 89	631.9
SONIDO 16	131.8	SONIDO 50	418.7	SONIDO 88	633
SONIDO 18	139.4	SONIDO 51	426.8	SONIDO 91	634.8
SONIDO 17	139.9	SONIDO 56	442.2	SONIDO 94	636
SONIDO 20	139.9	SONIDO 58	467.9	SONIDO 93	644.3
SONIDO 19	140	SONIDO 63	480.2	SONIDO 101	659.4
SONIDO 21	146.6	SONIDO 61	482.6	SONIDO 100	661.8
SONIDO 22	155.2	SONIDO 62	483.3	SONIDO 102	662.2
SONIDO 24	164.5	SONIDO 65	484.6	SONIDO 96	667.9
SONIDO 23	165.5	SONIDO 60	484.8	SONIDO 97	668.5
SONIDO 25	175.7	SONIDO 59	486	SONIDO 98	669.4
SONIDO 26	186.1	SONIDO 70	495.5	SONIDO 99	674.1
SONIDO 27	197	SONIDO 68	497.1	SONIDO 111	697.5
SONIDO 28	202	SONIDO 64	497.4	SONIDO 109	699.9
SONIDO 29	208.5	SONIDO 69	498	SONIDO 110	702.1
SONIDO 30	208.6	SONIDO 66	498.3	SONIDO 103	703.2
SONIDO 33	218.3	SONIDO 67	500.5	SONIDO 104	705.7
SONIDO 32	222.3	SONIDO 78	514.7	SONIDO 106	706.3
SONIDO 31	222.7	SONIDO 74	514.8	SONIDO 105	706.6
SONIDO 35	228.5	SONIDO 75	515	SONIDO 114	710.6
SONIDO 36	231.4	SONIDO 71	515.2	SONIDO 118	712

SONIDO 55	235.4	SONIDO 73	516	SONIDO 107	712
SONIDO 34	236.1	SONIDO 76	516	SONIDO 113	712
SONIDO 112	715,3	SONIDO 151	853,1	SONIDO 196	934,5
SONIDO 108	732,7	SONIDO 156	854,9	SONIDO 188	940,7
SONIDO 127	738,7	SONIDO 150	855,5	SONIDO 187	943,4
SONIDO 115	741,1	SONIDO 164	855,6	SONIDO 186	943,8
SONIDO 125	741,2	SONIDO 163	855,6	SONIDO 185	945,8
SONIDO 116	741,5	SONIDO 179	855,8	SONIDO 193	946,6
SONIDO 119	744	SONIDO 148	856,5	SONIDO 217	952,2
SONIDO 120	744,1	SONIDO 155	858,3	SONIDO 192	961
SONIDO 128	746,5	SONIDO 158	858,4	SONIDO 191	964
SONIDO 117	755,6	SONIDO 182	858,6	SONIDO 228	978,8
SONIDO 124	761,1	SONIDO 153	861,4	SONIDO 223	979,4
SONIDO 121	761,6	SONIDO 154	864,4	SONIDO 206	981,3
SONIDO 122	762,2	SONIDO 157	864,4	SONIDO 199	982,2
SONIDO 146	773,6	SONIDO 149	864,6	SONIDO 202	983,3
SONIDO 123	782,3	SONIDO 152	870,2	SONIDO 207	984,3
SONIDO 131	784,7	SONIDO 218	873,2	SONIDO 215	984,3
SONIDO 141	785,3	SONIDO 170	884,9	SONIDO 208	987,1
SONIDO 145	785,6	SONIDO 178	887,6	SONIDO 220	988,8
SONIDO 129	786	SONIDO 167	890,6	SONIDO 203	990,2
SONIDO 139	787	SONIDO 171	890,8	SONIDO 222	990,5
SONIDO 142	790,6	SONIDO 169	893,6	SONIDO 214	990,9
SONIDO 130	793,2	SONIDO 177	893,8	SONIDO 219	993,2
SONIDO 143	793,8	SONIDO 168	895,3	SONIDO 200	993,4
SONIDO 147	795,5	SONIDO 180	896,3	SONIDO 204	994,7
SONIDO 133	797	SONIDO 166	899,4	SONIDO 201	998,2
SONIDO 136	800	SONIDO 172	902,5	SONIDO 205	1002
SONIDO 134	800,4	SONIDO 173	904,4	SONIDO 209	1003,9
SONIDO 126	801,3	SONIDO 176	904,7	SONIDO 210	1004,9
SONIDO 144	805,8	SONIDO 181	905,1	SONIDO 212	1005,2
SONIDO 132	808,5	SONIDO 174	913,3	SONIDO 221	1007,7
SONIDO 138	811,5	SONIDO 183	917,4	SONIDO 216	1009,6
SONIDO 137	811,5	SONIDO 175	919	SONIDO 213	1011,2
SONIDO 140	811,6	SONIDO 197	926,2	SONIDO 211	1012,2
SONIDO 135	838,1	SONIDO 198	928,9	SONIDO 229	1031,7
SONIDO 161	838,1	SONIDO 190	931,5	SONIDO 231	1037

SONIDO 159	849,4	SONIDO 194	931,6	SONIDO 230	1038,6
SONIDO 165	851,8	SONIDO 195	931,7	SONIDO 224	1039,9
SONIDO 160	852,4	SONIDO 184	931,7	SONIDO 225	1040,3
SONIDO 162	852,6	SONIDO 189	932,1	SONIDO 233	1043,2

SONIDO 232	1047,7	SONIDO 269	1408
SONIDO 249	1049,2	SONIDO 281	1409,1
SONIDO 227	1051,6	SONIDO 268	1421,1
SONIDO 226	1069,6	SONIDO 267	1429,5
SONIDO 243	1072,6	SONIDO 270	1431,9
SONIDO 242	1074,3	SONIDO 271	1489
SONIDO 247	1077,8	SONIDO 272	1507
SONIDO 240	1078	SONIDO 274	1584,9
SONIDO 244	1078,3	SONIDO 273	1588
SONIDO 245	1078,3	SONIDO 275	1679
SONIDO 246	1081,2	SONIDO 282	1681,3
SONIDO 241	1081,3	SONIDO 278	1710,3
SONIDO 239	1092,9	SONIDO 276	1711,1
SONIDO 250	1095	SONIDO 277	1774,6
SONIDO 235	1098	SONIDO 279	1886,4
SONIDO 234	1113	SONIDO 280	1898,7
SONIDO 238	1113,4	SONIDO 283	1915,8
SONIDO 237	1113,7	SONIDO 284	2009,2
SONIDO 236	1113,8	SONIDO 285	2171,7
SONIDO 263	1122,2	SONIDO 267	1429,5
SONIDO 248	1126,6	SONIDO 270	1431,9
SONIDO 252	1159,9	SONIDO 271	1489
SONIDO 251	1162,9	SONIDO 272	1507
SONIDO 253	1163,1	SONIDO 274	1584,9
SONIDO 256	1166,1	SONIDO 273	1588
SONIDO 254	1166,5	SONIDO 275	1679
SONIDO 255	1172,9	SONIDO 282	1681,3
SONIDO 265	1174,9	SONIDO 278	1710,3
SONIDO 257	1175,4	SONIDO 276	1711,1
SONIDO 262	1182,7	SONIDO 277	1774,6
SONIDO 261	1186,6	SONIDO 279	1886,4

SONIDO 260	1189,5	SONIDO 280	1898,7
SONIDO 266	1192,8	SONIDO 283	1915,8
SONIDO 259	1247,9	SONIDO 284	2009,2
SONIDO 258	1249,2	SONIDO 285	2171,7
SONIDO 264	1257,1		

ANEXO IV (TAMBIÉN EN EL CD)

TABLA DIGITACIÓN MARCHI

J. MARCHI

- Quels sont donc les avantages de cette clarinette système MARCHI?
- 1.) Tout d'abord ce système n'altère aucunement les qualités et possibilités de la clarinette. Elle reste ce qu'elle est et l'on n'utilise pas le système.
 - 2.) L'on peut utiliser tout à la fois le système pour quelques passages qui paraîtront plus faciles ainsi, ou inversement ne pas l'utiliser.
 - 3.) L'on peut passer de grave à l'aigu avec une facilité remarquable (SOL grave-SI) - (LA BEMOL-DO) - (SI BEMOL-RE) etc...
 - 4.) L'on évite de couper la colonne d'air pour passer du DO aigu au RE aigu, ce qui supprime les difficultés de synchronisme des doigts main gauche, main droite, dans l'aigu tels que SI-DO DIESE ou LA-DO DIESE etc... L'intervalle SI-DO DIESE dans l'aigu se jouent seulement avec l'annulaire droit.
- On a donc une plus grande virtuosité dans l'aigu.
- 5.) L'émission des notes du Sur-aigu est beaucoup plus facile et l'on va plus haut. La clarinette dotée du système MARCHI est certainement la seule à pouvoir faire entendre le SOL SUR-AIGU, donc à posséder 4 OCTAVES.

Ce système a repoussé les limites de la clarinette, il appartient à tout clarinettiste d'apprendre à l'utiliser dans les meilleures conditions en se servant scrupuleusement de cette tablature. Ainsi la musique moderne et d'avant-garde ne présenteront plus pour ceux-ci la même acuité de difficultés.

© by JOSEPH MARCHI, 1914, SETE (France)
9, Rue Romain Rolland, 34 SETE (France)
Dépôté Légal V. 1273. (Espagne)
Dépôt Légal 2^{ème} Trimestre 1914. (France)
Imprimé en Espagne par
FIELES, Av. Pérez Galdós, 38 - VALENCIA - 6.

TABLATURE DE LA CLARINETTE

Système MARCHI



giffon

Le système MARCHI est né d'une longue étude sur les caractéristiques acoustiques de la clarinette. C'est en quelque sorte le prolongement naturel des possibilités de la clarinette classique.

Comme chacun sait, DENNER a inventé la clarinette en perceant un trou en la partie haute du chalumeau français. Celui-ci étant de forme cylindrique, ne perdît pas pour autant ses caractéristiques lui permettant de faire entendre que les sons harmoniques impairs. Ce trou, donc, permit de faire entendre le 1^{er} de ces sons harmoniques, c'est à dire le son 3 ou, si l'on préfère la 12^{ème}.

L'on avait donc une nouvelle série de notes qui fut appelée "CLAIRON". Du fait que DENNER était parvenu à faire émettre le son 3 en perceant un trou de dimension bien déterminée, dans la zone de formation du noeud des 3^{èmes} sons harmoniques, il paraissait logique qu'en perceant un trou, de forme et de diamètre approprié, situé cette fois dans la zone de formation du noeud des 5^{èmes} sons harmoniques, que l'on puisse obtenir ces 5^{èmes} sons harmoniques ou 17^{èmes} des fondamentales. Cette thèse était renforcée par l'expérience de ce que l'on appelle communément "canard" et qui, bien souvent, n'est autre chose que la 17^{ème} du son fondamental. Tout clarinettiste a pu constater, involontairement en voulant émettre ledit son fondamental. Tout clarinettiste a pu constater, lorsque le son fondamental "ne sort pas", par suite d'erreurs de doigté ou d'embouchure, que l'on entend une harmonique, souvent très aigüe, c'est alors la 17^{ème} ou quelquefois la 12^{ème}.

Une longue série d'expériences commença, des trous de dimensions et d'emplacements divers furent percés, les résultats étaient encourageants, mais il existait une difficulté de justesse et d'émission.

Ce problème fut résolu en superposant deux trous de dimensions différentes, en même temps le système était simplifié au maximum, la clarinette dotée du système MARCHI était enfin née.

Ce système a fait l'objet de plusieurs dépôts de brevets aussi bien en France que dans les pays étrangers.

L'intérêt de ce système est certain, de très grands virtuoses Français et étrangers l'ont reconnu, c'est ce qui nous a incités à adapter notre "méthode moderne de clarinette" de manière à ce qu'elle soit polyvalente.

Quels sont donc les avantages de cette clarinette système MARCHI?

- 1.) Tout d'abord ce système n'altère aucunement les qualités et possibilités de la clarinette. Elle reste ce qu'elle est et l'on n'utilise pas le système.
- 2.) L'on peut utiliser tout à la fois le système pour quelques passages qui paraîtront plus faciles ainsi, ou inversement ne pas l'utiliser.
- 3.) L'on peut passer du grave à l'aigu avec une facilité remarquable (SOL grave-SI) - (LA BEMOL-DO) - (SI BEMOL-RE) etc...
- 4.) L'on évite de couper la colonne d'air pour passer du DO aigu au RE aigu, ce qui supprime les difficultés de synchronisme des doigts main gauche, main droite, dans l'aigu tels que SI-DO DIESE ou LA-DO DIESE etc... L'intervalle SI-DO DIESE dans l'aigu se jouent seulement avec l'annulaire droit.

On a donc une plus grande virtuosité dans l'aigu.

- 5.) L'émission des notes du Sur-aigu est beaucoup plus facile et l'on va plus haut. La clarinette dotée du système MARCHI est certainement la seule à pouvoir faire entendre le SOL SUR-AIGU, donc à posséder 4 OCTAVES.

Ce système a repoussé les limites de la clarinette, il appartient à tout clarinettiste d'apprendre à l'utiliser dans les meilleures conditions en se servant scrupuleusement de cette tablature. Ainsi la musique moderne et d'avant-garde ne présenteront plus pour ceux-ci la même acuité de difficultés.

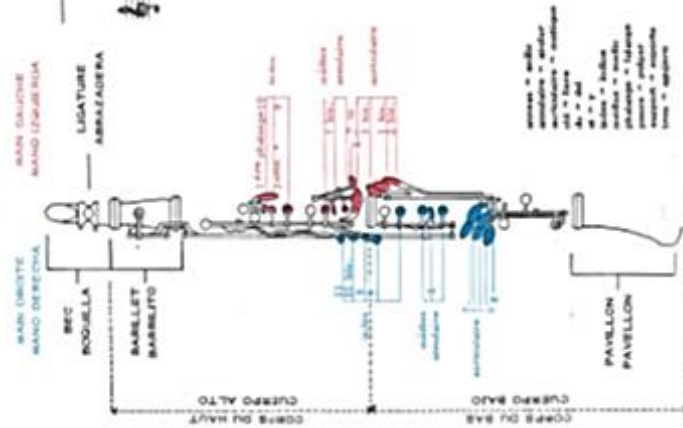
© by JOSEPH MARCHI, 1914, SETE (France)
9, Rue Romain Rolland, 34 SETE (France)
Dépôté Légal V. 1273. (Espagne)
Dépôt Légal 2^{ème} Trimestre 1914. (France)
Imprimé en Espagne par
FIELES, Av. Pérez Galdós, 38 - VALENCIA - 6.

TABLATURE DE LA CLARINETTE

Système MARCHI

Clairon Aigu **Suraigu**

LES DOCTES MULTIPLES SONT CLASSÉS EN VALEUR DÉCROISSANTE DE GAUCHE À DROITE.
 LAS DIGITACIONES MULTIPLES ESTAN CLASIFICADAS EN CALIDAD DECRECIENTE DE IZQUIERDA A DERECHA.



LES CHIFFRES INDICENT LES NUMEROS DES CLES.
 LAS CIFRAS INDICAN LOS NUMEROS DE LAS LLAVES.

TRES BONS DOCTES / BUENAS DIGITACIONES
 Pensez toujours aux associations / Piense siempre en las asociaciones.
 LES DOCTES MULTIPLES SONT CLASSÉS EN VALEUR DÉCROISSANTE DE GAUCHE À DROITE.
 LAS DIGITACIONES MULTIPLES ESTAN CLASIFICADAS EN CALIDAD DECRECIENTE DE IZQUIERDA A DERECHA.

© 1979 H. BOYER

ANEXO V

INSTRUCCIONES EXCEL

Antes de utilizar el archivo, hay que hacer una aclaración: los ejemplos están puestos de manera que la celda de referencia tiene un valor en Hz correspondiente al DO de nuestro estudio, así que los nombres de las notas de la escala que están escritos en la columna o fila –según el caso- están en relación con ese DO. Siempre que el valor escrito en la celda sea posible para un DO no habrá que modificar nada, pero si se quiere tomar el valor en Hz de otra nota, habrá que reescribir las notas de la escala para no confundirse.

Este archivo tiene cuatro hojas con las cuatro posibilidades apuntadas:

- **Hoja 1:** Para cambiar la frecuencia bastará con cambiar el número de la celda A5. Picando en cualquier otra celda vacía, se recalcularán todas las celdas correspondientes al 5 en orden ascendente hacia la derecha.
- **Hoja 2:** Para cambiar la frecuencia bastará con cambiar el número de la celda Y5. Picando en cualquier otra celda vacía, se recalcularán todas las celdas correspondientes al 5 en orden descendente hacia la izquierda.
- **Hoja 3:** Para cambiar la frecuencia bastará con cambiar el número de la celda A5. Picando en cualquier otra celda vacía, se recalcularán todas las celdas correspondientes a la C en orden ascendente hacia abajo.
- **Hoja 4:** Para cambiar la frecuencia bastará con cambiar el número de la celda C17. Picando en cualquier otra celda vacía, se recalcularán todas las celdas correspondientes a la C en orden descendente hacia arriba.

ANEXOS EXCLUSIVAMENTE EN CD

Por su naturaleza, los archivos de sonido y el archivo Excel, no se pueden mostrar o no se pueden usar en papel. De ahí la necesidad de aportarlos en soporte digital. Los archivos de audio contienen los sonidos grabados que sirvieron para obtener los datos que se usan en el presente trabajo.

Los oscilogramas y los espectrogramas sí pueden mostrarse en papel separados de las fichas del mapa acústico del que forman parte, pero resultará más fácil para su comparación abrirlos directamente en un visor de fotos (visualizador de fotos de Windows, en nuestro caso) desde el CD.

La plantilla de digitación también puede mostrarse en papel, pero si se quiere usar para plantear nuevas digitaciones, resultará mejor abrirla en un editor de fotos (Paint, en nuestro caso) desde el CD, que desde el papel o el pdf.

El CD incluye, además de los anexos expuestos hasta aquí:

- El archivo Excel con las fórmulas para averiguar los semitonos temperados desde cualquier frecuencia de referencia
- La plantilla de digitación completa para clarinete bajo
- Los archivos de sonido en formato .wav
- Los oscilogramas en formato .bmp (mapa de bits)
- Los espectrogramas en formato .bmp (mapa de bits)