



**Universidad  
de La Laguna**

**Trabajo de Fin de Grado**

**“BASTÓN LÁSER”**

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**Titulación: Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

**Autores:**

***Enrique Gil García***

***Carlos Armando Rondón Almonte***

**Tutor:**

***Jonay Tomás Toledo Carrillo***

La Laguna, a 9 de junio de 2022

## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, a nuestro tutor Jonay, por toda su colaboración durante estos meses, además de su inestimable ayuda, enseñanza y predisposición cuando más lo hemos necesitado para que este proyecto saliese adelante.*

*En general, a todos los profesores que nos han impartido durante todo el grado, desde la primera a la última asignatura, haciéndonos entender lo bonita y a la vez difícil que es la profesión de un ingeniero técnico industrial. Echando la vista atrás, queremos agradecer a Rosa Navarro y a Walkirio Gonzalez, por darnos una clara noción del diseño industrial. A Silvia Alayón, por motivarnos y hacernos competentes en la automatización. A Alejandro Ayala, por abrirnos las puertas al mundo de la electrónica, A Nuria Regalado y Marta Sigut, por enseñarnos la precisión y la consistencia que hay que tener en la ingeniería. A Santiago Torres y Alberto Hamilton, por enfocarnos y ayudarnos a entender mejor la programación.*

*Agradecer también a la Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología de la ULL, por brindarnos todas las facilidades posibles durante nuestra estancia.*

*A nuestros compañeros de la carrera que empezaron siendo desconocidos y ahora son parte de nuestra familia, toda esta experiencia no se hubiese podido completar sin las horas de estudio, reflexiones, cafés y quedadas. Parte de este proyecto también es de ustedes.*

*Y, por último, pero no menos importante, a nuestras familias por habernos animado durante este largo camino, aportando sus ideas y su comprensión. No hubiésemos conseguido este objetivo sin el apoyo y el compromiso de ustedes.*

*Estas palabras no definen para nada todo lo que hemos sentido pero teníamos que intentar reflejar de alguna manera.*

*Gracias a todos por hacernos mejores personas y crecer como profesionales.*

## RESUMEN

En el siguiente proyecto denominado “Bastón Láser” se ha diseñado e implementado un prototipo de bastón electrónico con el objetivo de asistir a personas invidentes. Este aparato, es capaz de identificar a qué distancia se encuentra cualquier objeto del entorno al usuario y hacérselo saber mediante vibraciones.

El uso del dispositivo es intuitivo. El usuario enciende el aparato y hace su puesta a punto, es decir, comprueba inicialmente que todos sus componentes funcionan. Una vez hecho el paso anterior, el bastón está listo para cumplir su funcionamiento, este aparato será capaz de medir distancias gracias a los dos sensores implementados y transmitirá dicha información en forma de vibración gracias al motor vibrante incorporado. De la misma manera, se utilizará un buzzer que emitirá sonidos para indicar el porcentaje de batería, si se encuentra próximo a un objeto o detecta un error en la medida.

## ABSTRACT

In the following project called "Laser Cane", a prototype of an electronic cane has been designed and implemented with the aim of assisting blind people. This device is capable of identifying how far away any object in the user's environment is and letting them know by means of vibrations.

The use of the device is intuitive. The user turns on the device and sets it up, it's checks that all its components are working, once the previous step is done, the cane is ready to work, this device will be able to measure distances thanks to the two sensors implemented and will transmit this information in the form of vibration thanks to the built-in vibrator. In the same way, it will use a buzzer that will emit sounds to indicate the battery percentage, if it is close to an object or detects an error in the measurement.

## **ÍNDICE DE CONTENIDOS**

<b>1. OBJETIVOS DEL PROYECTO</b>	<b>10</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO</b>	<b>10</b>
<b>3. HISTORIA Y EVOLUCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>4. INVESTIGACIONES PREVIAS</b>	<b>13</b>
<b>5. FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO</b>	<b>14</b>
5.1. MODOS DE USO DEL PROTOTIPO	15
5.2. USO DEL BUZZER DENTRO DEL PROTOTIPO	17
<b>6. IMPLEMENTACIÓN Y DISEÑO</b>	<b>18</b>
6.1. PLACAS UTILIZADAS	18
6.1.1. ARDUINO UNO	18
6.1.2. ARDUINO MEGA	20
6.1.3. ARDUINO NANO	21
6.2. SENSORES	23
6.2.1. LIDAR-LITE V3	23
6.2.2. TF MINI Y TF MINIPLUS	24
6.2.3. ESTUDIO ESTADÍSTICO Y SELECCIÓN DEL SENSOR ÓPTICO	27
6.2.4. SENSOR ULTRASONIDOS HC-SR04	39
6.3. ACTUADORES	43
6.3.1. MOTOR VIBRANTE DE CORRIENTE CONTINUA	43
6.3.2. BUZZER ACTIVO	44
6.4. ALIMENTACIÓN	45
6.5. CIRCUITO DE PROTECCIÓN	46
6.6. EXPLICACIÓN DEL CÓDIGO	47
6.6.1. LIBRERÍAS	47
6.6.2. DECLARACIÓN DE PINES Y VARIABLES	48
6.6.3. FUNCIONES EXTERNAS	50
6.6.4. FUNCIÓN SETUP	51
6.6.5. FUNCIÓN LOOP	52
6.7. DISEÑO E IMPRESIÓN DEL MODELO	57
6.7.1. PRIMER DISEÑO	57
6.7.2. SEGUNDO DISEÑO	57
6.7.3. TERCER DISEÑO	58
6.7.4. PROTOTIPO FINAL	59
6.8. ENSAMBLAJE Y UNIÓN DE LOS DISPOSITIVOS	60
<b>7. SOFTWARE UTILIZADO</b>	<b>60</b>
<b>8. PRESUPUESTO</b>	<b>62</b>
<b>9. CONCLUSIONES E IDEAS DE MEJORA</b>	<b>64</b>

9.1. CONCLUSIONES	64
9.2. IDEAS DE MEJORA	64
9.2.1. REPLANTEAMIENTO DEL USO DE LOS SENSORES	64
9.2.2. MEJORA EN EL DISEÑO	65
9.2.3. REALIZACIÓN DE UN CÓDIGO LIMPIO	65
<b>9. CONCLUSIONS AND IDEAS FOR IMPROVEMENT</b>	<b>66</b>
9.1. CONCLUSIONS	66
9.2. IMPROVEMENT IDEAS	66
9.2.1. RETHINKING THE USE OF SENSORS	66
9.2.2 DESIGN IMPROVEMENT	67
9.2.3. CLEAN CODE PRODUCTION	67
<b>10. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>73</b>
ANEXO I: ESQUEMA CONEXIONADO	74
ANEXO II: PLANOS PROTOTIPO	76
ANEXO III: ESTUDIO DE LOS SENSORES	80
ANEXO IV: CÓDIGOS EMPLEADOS	119
ANEXO V: DATASHEETS	156
ANEXO VI: GRÁFICAS DE CALIBRACIÓN	253

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bastón blanco tradicional [5]	12
Figura 2. Perro guía asistiendo a persona ciega [7]	12
Figura 3. Prototipo Eye Stick	13
Figura 4. We Walk	13
Figura 5. Individuo utilizando el prototipo elaborado por Stanford	14
Figura 6. Implementación del prototipo	15
Figura 7. Placa Arduino Uno [12]	19
Figura 8. Placa Arduino Mega	20
Figura 9. Placa Arduino Nano	22
Figura 10. LIDAR-Lite V3	23
Figura 11. Conexión LIDAR-Lite V3 [17]	24
Figura 12. TF Mini [19]	25
Figura 13. TF Mini Plus [21]	25
Figura 14. Esquema de pines	26
Figura 15. Esquema de conexión de TF MINI en Arduino UNO	26
Figura 16. Frecuencia en las lecturas del sensor TFM en la primera medida	28
Figura 17. Frecuencia en las lecturas del sensor TFMP en la primera medida	28
Figura 18. Frecuencia en las lecturas del sensor LIDAR LITE en la primera medida	28
Figura 19. Frecuencia en las lecturas de los sensores	29
Figura 20. Dispersión TFM primera medida	30
Figura 21. Dispersión TFMP primera medida	30
Figura 22. Dispersión LIDAR LITE primera medida	30
Figura 23. Frecuencia en las lecturas del sensor TFM en la segunda medida	30
Figura 24. Frecuencia en las lecturas del sensor TFM en la segunda medida	31
Figura 25. Frecuencia en las lecturas del sensor LIDAR LITE en la segunda medida	31
Figura 26. Dispersión TFM segunda medida	32
Figura 27. Dispersión TFMP segunda medida	33
Figura 28. Dispersión LIDAR LITE segunda medida	33
Figura 29. Frecuencia de las lecturas TFM en la tercera medida	34
Figura 30. Frecuencia de las lecturas TFMP en la tercera medida	34
Figura 31. Frecuencia de las lecturas LIDAR LITE en la tercera medida	35
Figura 32. Dispersión TFM tercera medida	35
Figura 33. Dispersión TFMP tercera medida	36

Figura 34. Dispersión LIDAR LITE tercera medida	36
Figura 35. Frecuencia de las lecturas TFM en la cuarta medida	36
Figura 36. Frecuencia de las lecturas TFMP en la cuarta medida	37
Figura 37. Frecuencia en las lecturas LIDAR LITE en la cuarta medida	37
Figura 38. Dispersión TFM cuarta medida	37
Figura 39. Dispersión TFMP quinta medida	38
Figura 40. Dispersión LIDAR LITE quinta medida	39
Figura 41. Funcionamiento del HC-SR04 [26]	40
Figura 42. Esquema de conexionado del HC-SR04 con Arduino UNO [27]	40
Figura 43. Frecuencia de las lecturas HC-SR04 en la primera medida	41
Figura 44. Dispersión HC-SR04 en la primera medida	41
Figura 45. Frecuencia de las lecturas HC-SR04 en la segunda medida	42
Figura 46. Dispersión HC-SR04 en la segunda medida	42
Figura 47. Motor vibrante de corriente continua	44
Figura 48. Buzzer activo	44
Figura 49. Conexionado del buzzer con el Arduino UNO [30]	45
Figura 50. Esquema Circuito elevador	46
Figura 51. Powerbank	46
Figura 52. Esquema Circuito protección	47
Figura 53. Implementación de circuito de protección	47
Figura 54. Librerías empleadas en el código	48
Figura 55. Función Ultrasonidos	50
Figura 56. Función Temporizador	51
Figura 57. Función VoltajeBateria	51
Figura 58. Función setup	52
Figura 59. Funcionamiento del buzzer mediante batería	53
Figura 60. Proceso para el cálculo de distancias del TF Mini Plus	54
Figura 61. Rangos de distancias para diferentes modos	55
Figura 62. Rangos de distancias para modos estándar y peligro	55
Figura 63. Uso del HC-SR04 mediante buzzer y vibrador	56
Figura 64. Primer Diseño	57
Figura 65. Segundo diseño	58
Figura 66. Tercer diseño	58
Figura 67. Prototipo Final parte inferior	59
Figura 68. Prototipo Final parte Superior	59
Figura 69. Soporte Buzzer	60

Figura 70. Tornillo con tuerca y arandela

60



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Señales y Tiempos de uso de cada modo	17
Tabla 2. Señales y Tiempos de uso de la batería generado por el Buzzer	17
Tabla 3. Señales y Tiempos de uso de los modos generados por el Buzzer	18
Tabla 4. Características técnicas del Arduino UNO	19
Tabla 5. Características técnicas del Arduino Mega	21
Tabla 6. Características técnicas del Arduino Nano	22
Tabla 7. Tabla comparativa TF MINI y TF MINI PLUS	26
Tabla 8. Tabla comparativa de la primera medida	29
Tabla 9. Tabla comparativa dispersión de la primera medida	29
Tabla 10. Tabla comparativa segunda medida	32
Tabla 11. Tabla comparativa dispersión segunda medida	32
Tabla 12. Tabla comparativa tercera medida	35
Tabla 13. Tabla comparativa cuarta medida	38
Tabla 14. Datos HC-SR04 primera medida	41
Tabla 15. Datos HC-SR04 segunda medida	43
Tabla 16. Pines utilizados	49
Tabla 17. Variables utilizadas	49
Tabla 18. Datos de la impresión 3D	59
Tabla 19. Softwares utilizados	61
Tabla 20. Presupuesto del proyecto unitario	62
Tabla 21. Presupuesto del proyecto mil unidades	63

## 1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El principal objetivo de este proyecto pasa por la creación e implementación de un sistema de detección de objetos, con la meta de asistir a personas invidentes o con cierto grado de baja visión. Es por ello, que para llevar a cabo esta idea se ha construido un prototipo de “bastón electrónico” que es capaz de detectar cualquier tipo de objeto, gracias a dos tipos de sensores: óptico y ultrasonidos. Una vez detectado el objeto, el dispositivo le comunica al usuario mediante vibraciones la información necesaria para detectar la cercanía de los obstáculos y, así, hacerse una idea del entorno que lo rodea, incluyendo una batería que emite un aviso al usuario de dicho porcentaje.

Por otra parte, este proyecto lo hemos llevado a cabo como idea a desarrollar en la asignatura de “Trabajo de Fin de Grado” con el objetivo de nuestra finalización de estudios en el grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática. Dicho proyecto ha sido tutorizado, colaborado y guiado por Jonay Tomás Toledo Carillo, profesor perteneciente al departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas en la Universidad de la Laguna (ULL).

En este proyecto, se han invertido 280 horas de trabajo autónomo por parte de los alumnos implicados, así como la asistencia a las reuniones con el tutor.

## 2. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

Este proyecto nace de la necesidad de ayudar a un colectivo como son las personas con baja visión. Cuando intentamos plantearnos el desarrollo de una idea, siempre tuvimos en cuenta que con los conocimientos adquiridos durante los estudios pudiéramos ayudar a la sociedad.

Es por tanto, que al hacer una primera observación a las necesidades que pudiera tener la población, nos percatamos del gran número de personas invidentes que nos rodean. [1] Si atendemos solamente a España, este tiene el porcentaje más alto de discapacidad visual en Europa, un 6,5%, es decir, unas 3.039.060 personas afectadas (2.898.796 personas tienen algún tipo de discapacidad visual y 140.264 personas son completamente ciegas) y dentro de este porcentaje si observamos a Canarias [2], este valor aumenta alcanzando un 15,6% (106.285 personas afectadas). Todos estos datos repercuten significativamente en la vida de estas, ya sea en su salud y vida laboral; siendo España uno de los países de la comunidad europea que más desempleados registra, con 2.279.295 personas. Pero sobre todo en su vida

cotidiana, ya que muchas personas con baja visión se niegan a utilizar el bastón blanco, ya que piensan que si hacen uso de este aparato, se les trataría de una manera diferente al resto.

Para intentar hacer un poco más ameno el día a día de estas personas, nace este prototipo de bastón láser. Con esto, se pretende demostrar que, gracias a la tecnología y de manera sencilla, podemos hacer más útil y eficiente el bastón blanco.

Con este aparato, los usuarios que lo utilicen se verán beneficiados por la precisión a la hora de detectar los objetos y el entorno que lo rodea. Además, su diseño compacto y de menor tamaño que el bastón convencional permite que las personas invidentes puedan manejarlo con mejor facilidad y que sean menos visibles para los demás.

### 3. HISTORIA Y EVOLUCIÓN

Antes de poner en desarrollo el prototipo, hemos tenido que informarnos acerca de la Historia y evolución en las herramientas utilizadas por las personas con baja visibilidad para poder hacernos una idea de cómo enfocar el proyecto.

Independientemente de que a lo largo de la historia se hayan utilizado diversos inventos para que las personas ciegas se pudieran desplazar de alguna manera, [3] se le atribuye la creación del bastón blanco tradicional al inventor y político argentino José Falliótico en los años 20, pero nunca patentó su invento. Más tarde, en el año 1925, durante la convención anual de Leones Hellen Keller, planteó las dificultades que afrontan las personas ciegas en su cotidianidad y, en 1930 George Benham, presidente del Club de Leones de Illinois, propone el uso de un bastón blanco para personas invidentes con extremo inferior rojo, para darles prioridad en su desplazamiento y así darle visibilidad al resto de personas de la condición que tienen estos individuos.

Durante toda esa época e incluso en nuestros días, se sigue utilizando el bastón blanco, con la intención de que estas personas puedan desplazarse de manera autónoma por espacios públicos y darle información del entorno que lo rodea. [4] Esta herramienta tiene tres características básicas: distintivo, protección e información. Actualmente, se distinguen con una empuñadura de goma en el agarre y en la parte inferior con una puntilla redonda, existiendo modelos plegables o rígidos y con diferentes tamaños según la estatura del usuario.



*Figura 1. Bastón blanco tradicional [5]*

Sin embargo, otro método que existe como reemplazo a cualquier tipo de bastón ha sido el uso de un perro guía o asistente [6], capaz de indicar a aquellas personas con discapacidad visual. La mayoría de estas mascotas, son entrenadas desde temprana edad, con el principal objetivo de tener la capacidad de alertar a los posibles peligros eventuales que van surgiendo para el dueño y su entorno. Dicho esto, son capaces de evitar los obstáculos existentes, pero no están preparados para diferenciar colores, como pueden ser los de un semáforo.

A día de hoy, están legalmente entrenados y asegurados por la ONCE, quienes son los encargados de adiestrar especialmente el crecimiento de estos animales y así cumplir con sus respectivas funciones. Asimismo, también se les permiten una serie de derechos y privilegios en comparación a los demás perros como pueden ser la entrada obligatoria en el transporte público, centros deportivos y sanitarios, etc.



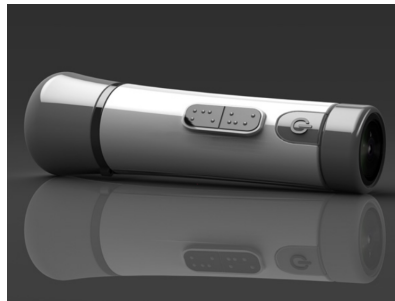
*Figura 2. Perro guía asistiendo a persona ciega [7]*

## 4. INVESTIGACIONES PREVIAS

El proyecto planteado es innovador en las facetas del diseño y en la facilidad de implementación se refiere, pero ya existen algunas investigaciones y aparatos lanzados al mercado con una intención similar.

A continuación, daremos a conocer algunos proyectos que se han ido modernizando con el paso del tiempo como sustitución del bastón tradicional.

**Eye Stick [8]:** este aparato desarrollado por Yanko Design intenta eliminar los inconvenientes causados por el bastón tradicional y lo reemplaza por un objeto similar a un “sable láser” gracias a rayos y sensores ultrasónicos.



*Figura 3. Prototipo Eye Stick*

**We Walk [9]:** este proyecto desarrollado en Turquía y elaborado conjuntamente con personas invidentes, está diseñado con el objetivo de ayudar a estas personas a navegar por su entorno, lo que significa no solo evitar los obstáculos, sino también saber qué es lo que hay a su alrededor. Este aparato cuenta con un altavoz, un micrófono y un sensor háptico. Además, este dispositivo cuenta con Bluetooth y se puede sincronizar con Google Maps, e incluso tener un asistente personal.



*Figura 4. We Walk*

**Bastón Inteligente con navegación integrada [10]:** en este caso investigadores de la universidad de Stanford desarrollaron un bastón inteligente utilizando la tecnología de los coches autónomos. Este aparato capaz de detectar cualquier tipo de obstáculo incluye un sensor óptico y otros instrumentos como acelerómetros, giroscopios o GPS.



*Figura 5. Individuo utilizando el prototipo elaborado por Stanford*

En conclusión, hay muchos proyectos con la misma intención que el nuestro, pero hay ciertos factores, respecto a los demás, que lo hacen distinto. Por una parte, encontramos la ergonomía y simpleza de nuestro diseño, que en comparación al resto, nuestro prototipo se “hace a la mano” de manera muy simple gracias a sus dimensiones, todo esto con el fin de que el individuo pueda adaptarse muy fácilmente a este. Por otro lado, su implementación, ya que este aparato se ha preparado con un número específico de componentes y con un código claro y conciso realiza la misma tarea que el resto. Y por último su economía, ya que este prototipo se ha elaborado de la manera más económica posible gracias a los componentes utilizados y el propio diseño impreso.

## 5. FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

El prototipo se constituye de los siguientes componentes: dos sensores (óptico y ultrasonidos), una placa electrónica con microcontrolador programable (Arduino Nano), un Power Bank (batería portatil), un motor vibrante de corriente continua, un zumbador (Buzzer) y un circuito de protección para dicho vibrador compuesto por: un transistor, un diodo Zener y una resistencia. Todo esto, cubierto mediante un diseño hecho específicamente para que sea lo más compacto posible. El diseño junto a los componentes utilizados se puede observar en la siguiente imagen.

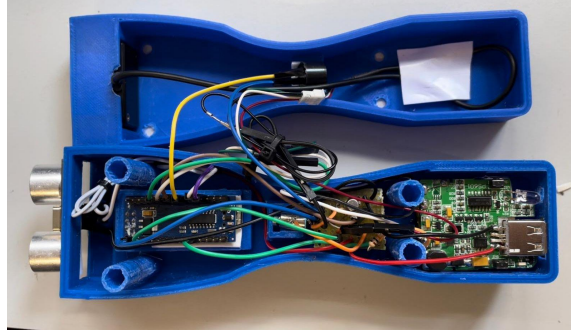


Figura 6. Implementación del prototipo

El uso del bastón es intuitivo. El usuario enciende el aparato y hace su puesta a punto, es decir, primero comprueba que todos sus componentes funcionan correctamente. Por una parte, el estado de la propia batería, ya que dependiendo de en qué porcentaje se encuentre, emitirá un pitido dependiendo en la franja de batería que tenga y, por otra parte, enciende los sensores.

Una vez hecho el paso anterior, el bastón está listo para cumplir su funcionamiento. Este aparato será capaz de medir distancias gracias a los dos sensores implementados, principalmente utilizará el sensor óptico debido a su precisión y, en casos específicos, se hará uso del sensor de ultrasonidos y transmitirá dicha información en forma de vibración gracias al vibrador incorporado.

Independientemente de esta breve explicación, se hará una exposición más extensa en el apartado 6.6: "Explicación del código".

## 5.1. MODOS DE USO DEL PROTOTIPO

A continuación se expondrá los diversos casos que nos encontraremos en el entorno y cómo actuará el dispositivo.

### **Modo seguro:**

Debido al límite de medida del sensor óptico donde a partir de los 12 metros el sensor ya no es fiable, hemos establecido que la franja de distancia para que la persona se encuentre segura se comprenda desde los 12 metros hasta los 6 metros. En este caso, el usuario recibe una pequeña vibración y un tiempo de encendido mayor al de apagado. Con esta información, nos podemos garantizar de que no haya ningún peligro aparente.

### **Modo Estándar:**

Ya que el límite inferior se establece en el caso anterior a los 6 metros, este será su límite superior para este nuevo rango, es decir, las medidas se corresponden entre los 3 metros y los 6 metros. Es aquí donde el usuario recibe una información diferente a la anterior, dándole a entender que el entorno ha cambiado. La vibración aumenta y el tiempo de funcionamiento se reduce haciendo que las vibraciones sean más rápidas.

### **Modo Peligro:**

En este caso el individuo se percata de que tiene los objetos más cerca, por lo tanto, se recogen medidas entre los 3 metros y los 1,5 metros. Es aquí donde se aumenta progresivamente respecto al anterior caso, elevando la señal de vibración hasta llegar casi al máximo permitido e igualando los tiempos de encendido y apagado.

### **Modo ultrasonido:**

Una vez pasada la franja de los 1,5 metros es donde podemos considerar que junto al otro modo, pueden existir peligros potenciales. Uno de estos peligros pueden ser construcciones que el sensor óptico no es capaz de medir, como por ejemplo, los escaparates o cualquier estructura similar, ya que al ser fabricadas de cristal, el sensor óptico no detecta que exista dicha construcción. Es por ello, que pasa a funcionar el sensor de ultrasonido y este será capaz de detectar cualquier objeto a menos de la distancia de referencia con gran exactitud. Por otro lado, la medida será devuelta al usuario de la misma manera que los anteriores modos, pero en este caso elevamos la señal a su máximo y el tiempo de encendido será el doble que el tiempo de apagado.

A continuación se mostrará una tabla con las señales vibratorias (PWM) utilizadas por cada modo así como los tiempos de encendido y apagado (TON Y TOFF).



*Tabla 1. Señales y Tiempos de uso de cada modo*

Modo	PWM	TON (s)	TOFF (s)
Seguro	100	3	1
Estándar	150	2	1
Peligro	200	1	1
Ultrasonido	255	1	0,5

## 5.2. USO DEL BUZZER DENTRO DEL PROTOTIPO

A parte de utilizar el buzzer para saber en el momento de encendido del aparato la cantidad de batería que dispone, este tiene otras prestaciones dentro del propio funcionamiento del bastón. A continuación, se expondrán dichas características.

Al igual que en la puesta a punto, durante su funcionamiento continuo, tiene un medidor de batería. Una vez llegado a la mitad, emitirá durante cada ciclo un pitido, gracias a una señal de PWM para indicarnos que nos encontramos en dicho límite. De la misma manera, actúa cuando nos encontramos cerca de que se agote la batería, en este caso emitirá dos pitidos de PWM cada cierto tiempo.

De la misma manera, el buzzer ayudará al usuario a indicarle que se encuentra en el modo ultrasonido emitiendo 3 pitidos. También, dentro de los modos de uso se ha implementado un detector de error, este modo recogerá datos considerados como error de medida y el buzzer emitirá el pitido de PWM correspondiente.

A continuación se muestran dos tablas con los datos recogidos para las señales utilizadas y los tiempos de uso, tanto en la batería como en los modos correspondientes.

*Tabla 2. Señales y Tiempos de uso de la batería generado por el Buzzer*

Modo Batería	PWM	TON (s)	TOFF (s)	Nº de pitidos	Tiempo Ciclo (s)
Media	20	0,5	0,2	2	10
Baja	20	0,3	0,2	2	6.5

Tabla 3. Señales y Tiempos de uso de los modos generados por el Buzzer

Modo	PWM	TON (s)	TOFF (s)	Nº de pitidos	Tiempo Ciclo (s)
Ultrasonido	120	0,3	0,2	3	5
Error	200	0,5	0,3	1	4

## 6. IMPLEMENTACIÓN Y DISEÑO

A lo largo de este apartado, se contará de manera meticulosa, todo el proceso de selección, implementación y diseño de todo el dispositivo para que pudiera elaborarse de la manera más eficiente posible.

### 6.1. PLACAS UTILIZADAS

Durante todo el proceso de implementación, se trabajó progresivamente con tres placas Arduino. Estas placas, son unos componentes electrónicos de Hardware libre que utiliza un microcontrolador programable con una serie de pines con el fin de establecer conexiones entre el controlador y los diferentes dispositivos utilizados. En este caso, se han usado las placas Arduino UNO, MEGA y NANO.

#### 6.1.1. ARDUINO UNO

El Arduino Uno es una de las primeras placas programables basadas en USB, es un elemento electrónico basado en el micro chip ATmega328P y desarrollada por Arduino.cc [11]. La placa está equipada con 14 pines de entrada y salida digitales, 6 de ellos se utilizan como salida PWM, y también 6 entradas analógicas. Puede ser alimentado por un conector USB tipo B, un puerto de alimentación tipo Jack de 9 voltios, aunque acepta voltajes entre 7 y 20 V; un ICSP (programación serial en circuito) que tiene acceso a la memoria de programa del AVR.

Por definición, es el modelo más conocido y más fácil de encontrar en numerosas tiendas; debido a esto, fue la primera placa con la que se empezó a implementar los primeros sensores ópticos, en los cuales podíamos encontrar una gran variedad de códigos y movimientos predefinidos mediante una comunicación serial. Sin embargo, pese a cumplir numerosas condiciones para ejecutar la puesta en marcha del bastón láser, no se ha escogido dicha placa ya que no cumplía con las dimensiones deseadas; de esta manera, se comenzó a trabajar con el Arduino Mega.



Figura 7. Placa Arduino Uno [12]

A continuación se muestra una tabla con sus características técnicas:

Tabla 4. Características técnicas del Arduino UNO

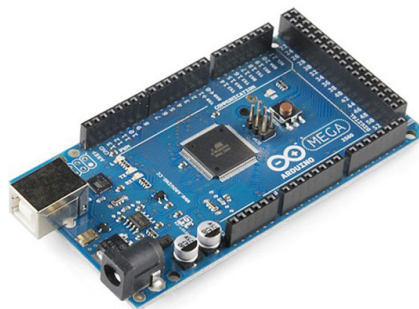
Microcontrolador	Microchip ATmega328P
Voltaje de funcionamiento	5 V
Voltaje de entrada	7 a 20 V
Pines de E/S digitales	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente DC por Pin de E/S	20 mA
Corriente CC para Pin de 3,3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB de los cuales 0.5 KB utilizados por el gestor de arranque
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidad del reloj	16 MHz
Longitud	68,6 mm
Ancho	53,4 mm
Peso	25 g

### 6.1.2. ARDUINO MEGA

El Arduino Mega 2560 es una placa programable de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560, el cual tiene como objetivo principal captar proyectos donde se necesita una gran cantidad de pines mayor que las demás tarjetas usadas [13]. Asimismo, tiene 54 pines de entrada y salida digitales, entre ellos 15 se pueden encontrar con señales PWM, incluyéndose también 16 entradas analógicas, 4 puertos UART y un oscilador de 16MHz. Presenta las mismas características que el Arduino UNO, donde tiene un voltaje de trabajo de 5V, un conector USB tipo B, un circuito programador serial (ICSP), un botón de reinicio y también existe la opción de alimentar este modelo mediante un conector Jack.

Las diferencias hacen que la placa Mega 2560 resulte más interesante para determinados proyectos, donde se emplee mayor capacidad de memoria y una variedad de componentes dentro de este modelo.

Se incorporó esta placa para realizar medidas conjuntas de los 3 sensores ópticos, ya que pudimos usar en este modelo un gran número de pines para conseguir una mayor comodidad con dichos sensores. No obstante, descartamos también la posibilidad de contar con esta placa debido a que presenta dimensiones mayores a las propuestas y porque no será del todo útil usar tantos pines en el bastón; por ello, continuamos el análisis con el modelo Arduino Nano.



*Figura 8. Placa Arduino Mega*

En cuanto a las características específicas, se detallarán a continuación en la siguiente tabla los datos recogidos en la página oficial de Arduino:

*Tabla 5. Características técnicas del Arduino Mega*

Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de funcionamiento	5 V
Voltaje en pin de entrada recomendado	7-12 V
Voltaje en pin de entrada límites	6-20 V
Pines digitales	54 (15 de ellos con posibilidad de utilizar señales PWM)
Pines de entrada analógica	16
Corriente CC máxima en los pines	20 mA (corriente continua)
Corriente CC máxima en pin de 3,3 V	50 mA (corriente continua)
Memoria Flash	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad del reloj	16 MHz
Largo	101,52 mm
Ancho	53,3 mm
Peso	37 g

### 6.1.3. ARDUINO NANO

Es una placa microcontroladora electrónica, flexible y fácil de usar basada también en la ATmega328 (Arduino Nano 3.x) que incorpora la ATmega328p, igual que el Arduino UNO. La principal diferencia que existe entre ambos es que el Nano presenta en forma de TQFP (plastic quad flat pack) con 32 pines y el UNO está disponible en PDIP (Plastic Dual-In-line Package) con 30 pines; por lo que los 2 pines adicionales del Nano consiguen abarcar más funcionalidades para los pines analógicos, siendo en su totalidad 8 pines frente a los 6 puertos analógicos de la placa Arduino UNO. Como ya mencionamos anteriormente, éste presenta algunas características similares al modelo Nano, equipándose con 14 pines de entradas y salidas digitales, de los cuales 6 se utilizan como salida para PWM [14].

El modelo Arduino Nano presenta otras características que ofrecen otras placas de Arduino, como es la toma de alimentación, en el cual tiene un soporte para mini-USB.

Asimismo, usando este puerto lo podemos utilizar tanto para la programación como también para la monitorización en serie. Al comprar estos dispositivos, se puede elegir, si se requiere, un microcontrolador con pines machos; o bien, sin los mencionados pines ni soldadura, para que el usuario en concreto pueda modificarlo a su antojo.

De esta manera, podemos afirmar que esta placa presenta casi con exactitud la misma funcionalidad que el Arduino UNO, pero en tamaño bastante reducido, lo cual nos resultará adecuado por las dimensiones que presenta para la implementación de este modelo en nuestro prototipo.

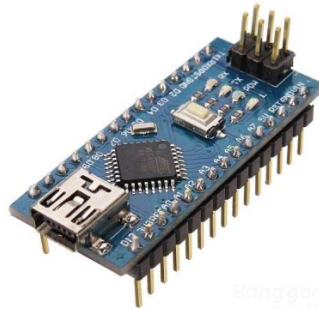


Figura 9. Placa Arduino Nano

En cuanto a las características específicas, se mostrarán en la siguiente tabla los datos recogidos en la página oficial de Arduino de dicha placa:

Tabla 6. Características técnicas del Arduino Nano

Microcontrolador	ATMega328P
Velocidad de reloj	16 MHz
Voltaje de trabajo	5 V
Voltaje de entrada	7-12 V
Voltaje de entrada máximos	6-20 V
Corriente CC máxima por pin de E/S	40 mA
Corriente CC máxima por pin de 3 V	50 mA
Pines digitales	14 pines (de los cuales 6 vienen de la salida PWM)
Pines de entrada analógicos	8
Memoria Flash	32 KB (2KB para bootloader)
RAM	2 KB

EEPROM	1 KB
Largo	45 mm
Ancho	18 mm
Peso	7 g

Por lo tanto, una vez visto las tres placas utilizadas durante el proyecto y por su utilidad, hemos optado por utilizar la placa Arduino Nano, ya que tiene la misma funcionalidad que el arduino UNO pero en menor tamaño y este es uno de los objetivos principales, hacer el aparato lo más compacto posible.

## 6.2. SENSORES

En este prototipo, se ha tenido que decidir entre 3 tipos de sensores ópticos, de los cuales hemos verificado el funcionamiento y las características de los mismos para tener el dispositivo con mayor eficiencia posible. Una vez hecha la selección se le ha acoplado un sensor de ultrasonidos para detectar las estructuras y obstáculos que el sensor óptico no es capaz de captar. A continuación, se explicará con detenimiento cada uno de estos sensores, además de la explicación del estudio estadístico de todos los dispositivos utilizados.

### 6.2.1. LIDAR-LITE V3

El LIDAR-Lite V3 es un sensor de medición óptico compacto de gran rendimiento de la marca GARMIN. Este sensor tiene un alcance de 40 metros, ligero en forma y en peso con bajo consumo de energía de menos de 130 mA durante cada recepción, además este sensor permite al usuario configurarlo para ajustar su precisión, rango de operación, tiempo de medición y elección del modo de modo de comunicación entre I2C y PWM [15].



Figura 10. LIDAR-Lite V3

En cuanto al principio de funcionamiento del dispositivo, es muy simple ya que utiliza una tecnología similar al radar pero utiliza el láser en vez de ondas de radio [16]. Podremos encontrar en el mercado con un precio de 121,5€, siendo elevado y considerable debido al alto rendimiento emitido para proyectos sencillos e interactivos. Este modo es el siguiente:

- Emite un pulso de láser en una superficie
- Atrapa el láser reflejado de vuelta al sensor
- Mide el tiempo transcurrido que el laser viajó
- Utiliza la siguiente fórmula como cálculo de distancias:

$$\textit{“Distancia = (Velocidad de la luz * Tiempo transcurrido) / 2} \quad (1)$$

Por lo que respecta a la conexión se realizó mediante comunicación I2C, es decir, se conectó un condensador de 680µF entre alimentación y tierra y la conexión. I2C SDA e I2C SCA a sus pines correspondientes implementados en el código.

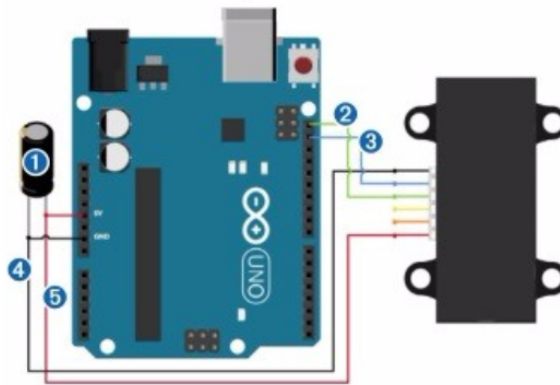


Figura 11. Conexión de LIDAR-Lite V3 [17]

## 6.2.2. TF MINI Y TF MINIPLUS

El TF Mini es un sensor de rango láser unidireccional que se basa en la tecnología de Tiempo de Vuelo (TOF). Se compone a base de dispositivos ópticos y electrónicos especiales para que, de esta manera y junto a su pequeño peso, su anti interferencia y gran eficacia a la hora de medir hace que se pueda utilizar en todo tipo de entornos [18]. En cuanto a la interfaz de comunicación, adopta la UART (TTL) y es por ello que puede ser compatible con una gran variedad de controladores. En cuanto al aspecto económico, nos lo encontraremos en el mercado con precios que oscilan cerca de los 46€.





*Figura 12. TF Mini [19]*

Por parte del TF Mini Plus, tiene la misma tecnología que el anterior sensor, es decir, es un módulo sensor de distancia basado en el principio de Tiempo de Vuelo (TOF) donde el sensor obtiene este tiempo midiendo la diferencia de fases entre viajes de ida y vuelta y calculando el rango relativo entre el sensor y el objeto [20]. La única diferencia que se encuentra respecto al anterior, es el propio diseño y la forma de comunicación, ya que este puede utilizar la UART o el I2C. Además, otro dato que sirve como comparación al modelo del TF Mini es por el coste superior que tiene el TF Mini Plus, el cual se estima con un precio de 67,5€, debido a una mayor fiabilidad para la obtención de datos y un mejor uso para proyectos con un gran manejo. A continuación, se muestra una imagen descriptiva del sensor y una tabla comparativa.



*Figura 13. TF Mini Plus [21]*

Tabla 7. Tabla comparativa TF Mini y TF Mini Plus

Prestaciones	TF Mini	TF Mini Plus
Rango de Voltaje	4,5 – 6 V	4,5 - 6 V
Rango de trabajo	0,3 – 12 m	0,1 - 12 m
Potencia media	0,6 W	0,6 W
Ángulo de recepción	2,3°	2°
Frecuencia de actualización	100 Hz	1-1000 Hz
Precisión de rango	1% (<6 m), 2% (6-12 m)	máximo al 10% de reflectividad: 5 m
Comunicación	UART	UART / I2C

Por lo que respecta al conexionado, es exactamente igual en ambos sensores, los dispositivos disponen de 4 pines correspondientes a alimentación, tierra, emisor (TX) y receptor (RX). A continuación, se muestra tanto un esquema de los pines como un esquema de conexión.

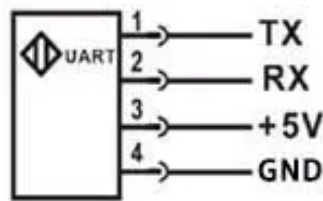


Figura 14. Esquema de pines

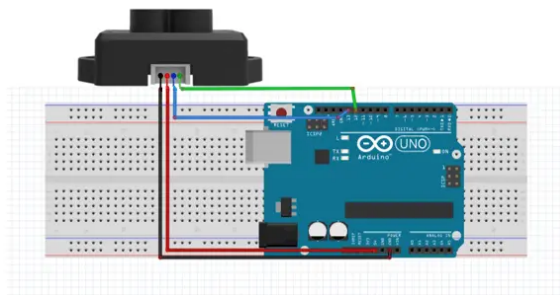


Figura 15. Esquema de conexión de TF Mini en Arduino UNO

Previo al estudio estadístico de los sensores, se ha procedido a tomar unas gráficas de calibración. Estas gráficas se recogen en el Anexo VI: “Gráficas de calibración”.

### 6.2.3. ESTUDIO ESTADÍSTICO Y SELECCIÓN DEL SENSOR ÓPTICO

Una vez visto los tres tipos de sensores ópticos que podemos utilizar, nos encargamos de hacer un estudio estadístico entre dichos modelos para poder comprobar, con más exactitud, la precisión de las medidas, y poder elegir el dispositivo con mejor criterio.

Los parámetros, que se han utilizado para realizar este estudio y poder seguir un criterio coherente, son los siguientes:

- **Frecuencia absoluta (Fi) [22]:** medida estadística que nos da información acerca de la cantidad de veces que se repite un suceso al realizar un número determinado de experimentos aleatorios.
- **Media [23]:** valor promedio de un conjunto de datos numéricos, calculada como la suma del conjunto de valores dividida entre el número total de valores.
- **Moda:** valor que tiene mayor frecuencia absoluta.
- **Desviación típica [24]:** medida que ofrece información acerca de la dispersión media de la variable a utilizar.

Para este estudio, se ha hecho un total de 7 medidas en diferentes circunstancias midiendo dos variables (distancia y luminosidad) con una media de 100 muestras por cada medida, haciendo una lectura total aproximada de 700 datos por cada sensor.

Sin embargo, se ha priorizado siempre las medidas de distancia y es por ello que en la siguiente explicación solo se va a tener en cuenta la distancia, y la luminosidad será solo un factor a tener en cuenta en caso de dudas. El estudio entero se podrá ver en el Anexo III y la siguiente explicación tendrá en cuenta los casos más determinantes.

#### **1º Medida: Superficie (Techo) sin enfocar directamente a una luminaria:**

Para este primer caso, se optó por una medida sencilla para comprobar la eficacia de los sensores. Se apoyaron los dispositivos en la mesa y se enfocaron directamente al techo y esta lectura tendrá que estar sobre los 2,5 m.

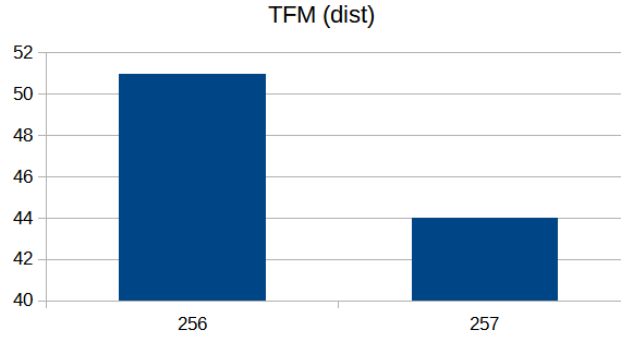


Figura 16. Frecuencia en las lecturas del sensor TFM en la primera medida

Como podemos observar, donde se muestra los datos más significativos del estudio para los tres casos podemos concluir que la lectura es correcta, teniendo un rango entre los 2,54 y 2,56m (esto puede ser debido a las diferentes alturas de montaje que tiene cada dispositivo).

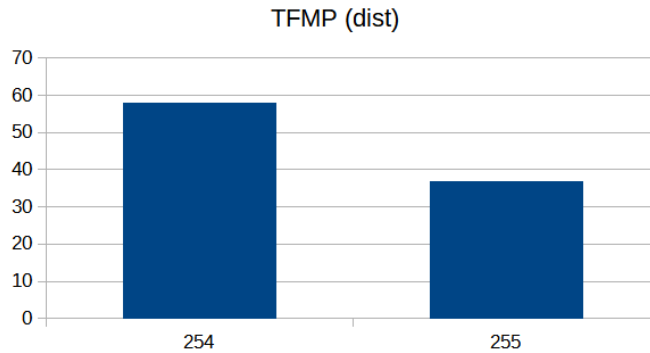


Figura 17. Frecuencia en las lecturas del sensor TFMP en la primera medida

Ahora bien, si atendemos a la frecuencia relativa de los sensores es muy dispar, ya que dos de los tres sensores oscilan siempre entre dos medidas (TF Mini y TF Mini Plus) y el restante tiene unas lecturas más dispersas que los anteriores (Lidar Lite) pudiendo ser esto un criterio a tener en cuenta a la hora de hacer la selección.

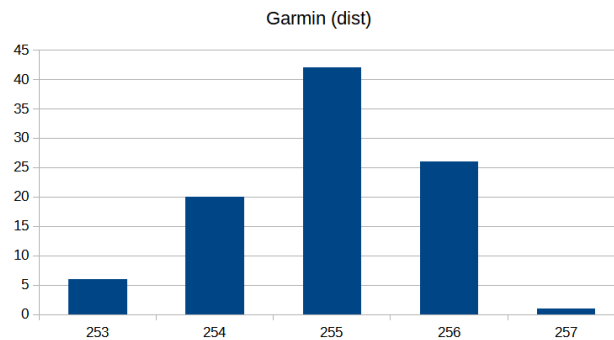


Figura 18. Frecuencia en las lecturas del sensor LIDAR LITE en la primera medida

A continuación, se puede observar lo explicado en la siguiente tabla comparativa y en sus gráficas, tanto por individual como en conjunto.

Tabla 8. Tabla comparativa de la primera medida

Sensor	Xi	Fi	Media	Moda
TFM	254 255	64 37	254,4	254
TFMP	256 257	52 49	256,48	256
Lidar Lite	253 - 257	6 - 1	254,99	255

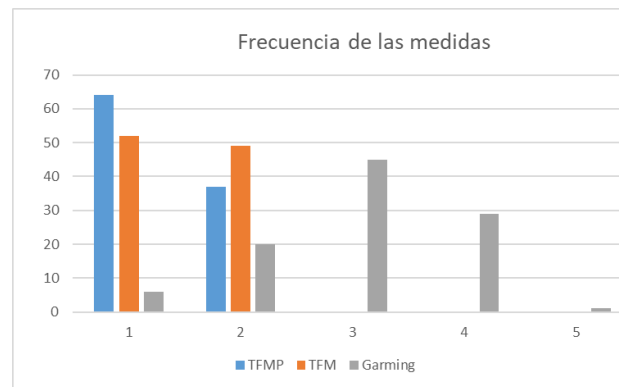


Figura 19. Frecuencia en las lecturas de los sensores

Otro factor a tener en cuenta y relacionado con la disparidad de las medidas es la desviación típica, ya que como criterio necesitamos que las medidas sean próximas a la media (la desviación típica tiene que ser próxima a 0). Este criterio lo cumple el TF Mini Plus, ya que está más próximo que el resto. Para explicar esto con mayor claridad, se adjunta una tabla comparativa con las desviaciones típicas, así como una gráfica de la distribución normal para cada caso.

Tabla 9. Tabla comparativa dispersión de la primera medida

Sensor	Desviación típica
TFM	0,5
TFMP	0,48
Lidar Lite	0,76

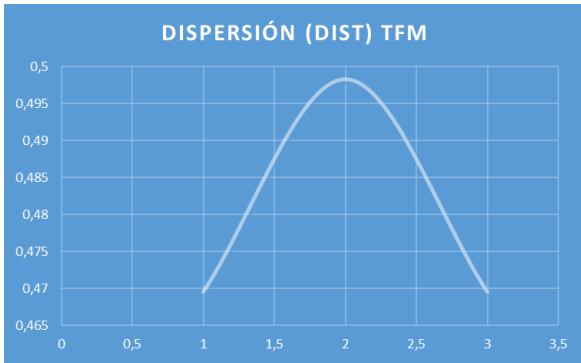


Figura 20. Dispersión TFM primera medida

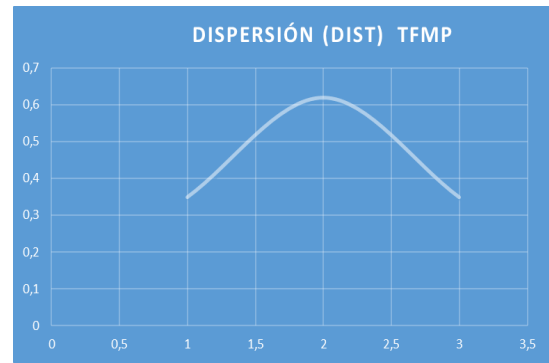


Figura 21. Dispersión TFM primera medida

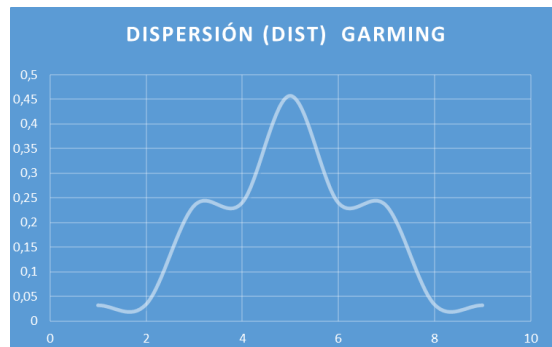


Figura 22. Dispersión LIDAR LITE primera medida

Por lo tanto, para este caso, conviene utilizar el TFM Plus, ya que la mayoría de sus lecturas emiten siempre el mismo resultado y, por consiguiente, están más próximas a la media y esto hace de él una lectura más fiable.

### **2ª Medida: Superficie (Techo) enfocando directamente a una luminaria**

En este caso, se repite la medida anterior pero enfocando directamente a una luminaria (empotrada en el techo, teniendo que volcar datos parecidos al anterior caso) para poder comprobar el funcionamiento de estos dispositivos en circunstancias más extremas.

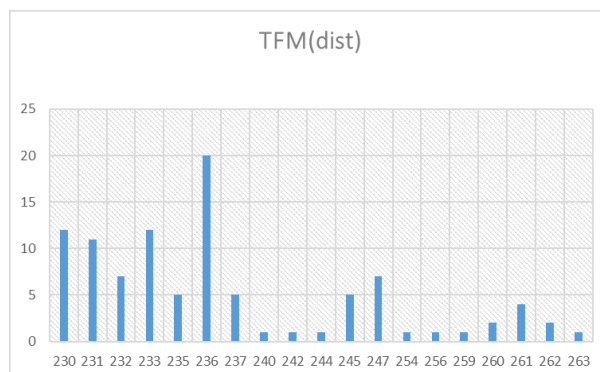


Figura 23. Frecuencia en las lecturas del sensor TFM en la segunda medida

Como podemos observar, las lecturas proporcionadas nos dejan unos datos inconclusos por parte de los sensores TF Mini y TF Mini Plus, ya que en el caso del primero nos deja un abanico de datos comprendidos entre un rango de 230 cm y 263 cm, reflejando como dato mayoritario los 236 cm, frente a los 254 cm del caso anterior; y para el caso del TF Mini plus sigue la misma dinámica, pero esta vez siendo el rango desde los 0 cm hasta los 249 cm siendo la lectura de 0 cm la que más se repite (lo interpretamos como error en la medida).

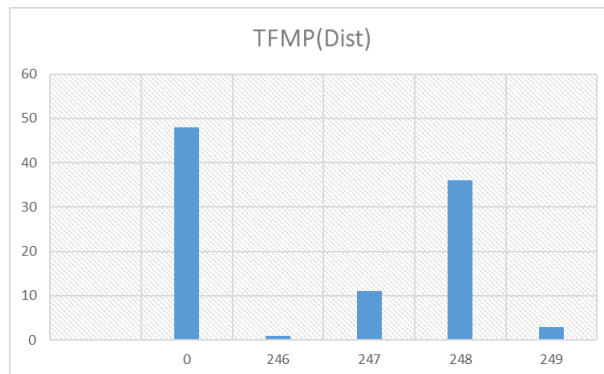


Figura 24. Frecuencia en las lecturas del sensor TFM en la segunda medida

Por otra parte, el Lidar-Lite V3 sí que nos proporciona unos datos más fiables comprendiendo medidas entre los 251 y los 257 cm, siendo mayoritario los 255 cm coincidiendo con las medidas anteriores.

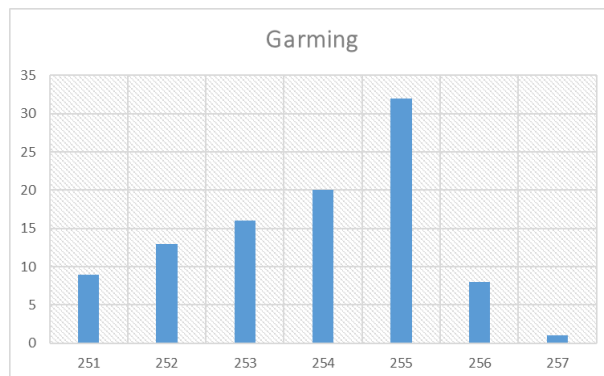


Figura 25. Frecuencia en las lecturas del sensor LIDAR LITE en la segunda medida

A continuación podemos ver lo descrito tanto analíticamente como gráficamente.

Tabla 10. Tabla comparativa segunda medida

Sensor	Xi	Fi	Media	Moda
TFM	230 - 263	12 - 1	238,39	236
TFMP	0 - 249	48 - 3	127,65	0
Lidar Lite	251 - 257	9 - 1	253,81	255

Por otra parte, siguiendo la misma línea que el anterior caso, se certifica lo mencionado anteriormente, y es que la desviación típica en los casos del TF Mini Y TF Mini Plus son muy diferenciales respecto a las del LIDAR LITE.

Tabla 11. Tabla comparativa dispersión segunda medida

Sensor	Desviación típica
TFM	9,39
TFMP	123,84
Lidar Lite	1,49

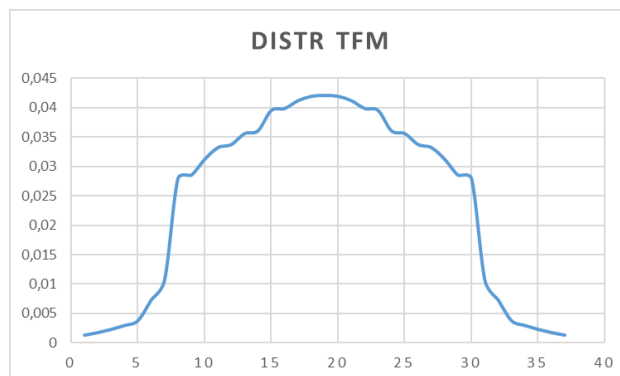


Figura 26. Dispersión TFM segunda medida



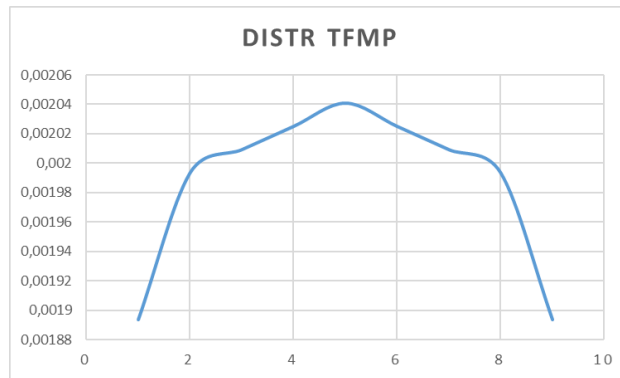


Figura 27. Dispersión TFMP segunda medida



Figura 28. Dispersión LIDAR LITE segunda medida

Por lo tanto, al ver los resultados volcados por los tres sensores y atendiendo exclusivamente al criterio buscado de medir distancias con exactitud, determinamos que la opción más viable pasa por utilizar el sensor LIDAR-LITE V3; en este caso, debido a su fiabilidad en la medida respecto a los otros dos sensores con medidas muy dispares e incluso teniendo fallos en la medida.

### **3º Medida: Detección de persona:**

Para esta tercera medida y siguiendo uno de los propósitos generales de este proyecto, se ha optado por la detección de una persona estando a una distancia considerada de peligro (menos de 50 cm).

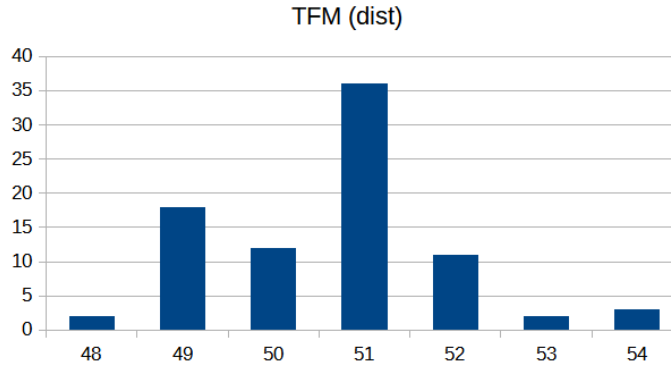


Figura 29. Frecuencia de las lecturas TFM en la tercera medida

En este caso, las medidas se encuentran muy acertadas para los tres casos, reflejando que la distancia a la que se encontraba el individuo estaba entre 48 cm y los 50 cm.

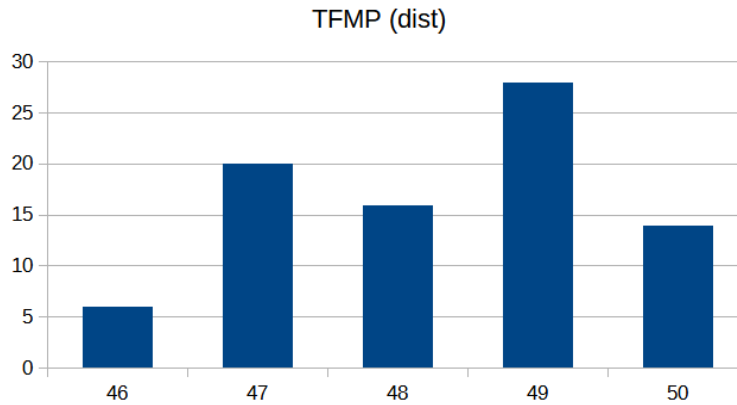


Figura 30. Frecuencia de las lecturas TFMP en la tercera medida

Si atendemos a cada uno por separado, podemos determinar que las frecuencias en las medidas son menores en el TFMP que en el resto donde esto se ve reflejado claramente en la desviación típica, siendo para este sensor mucho más pequeño que el TFM y ligeramente menor al LIDAR LITE.

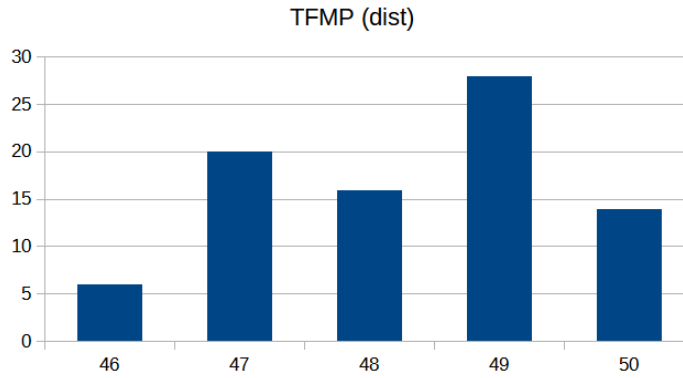


Figura 31. Frecuencia de las lecturas LIDAR LITE en la tercera medida

A continuación, podremos observar tanto una tabla comparativa entre los tres sensores, así como las gráficas de frecuencia de medidas para cada sensor y su distribución.

Tabla 12. Tabla comparativa tercera medida

Sensor	Xi	Fi	Media	Moda	Desviación Típica
TFM	48 - 54	6 - 14	50,64	51	18,91
TFMP	46 - 50	6 - 14	48,28	49	1,2
LIDAR LITE	44 - 52	1 - 18	50,23	51	1,65

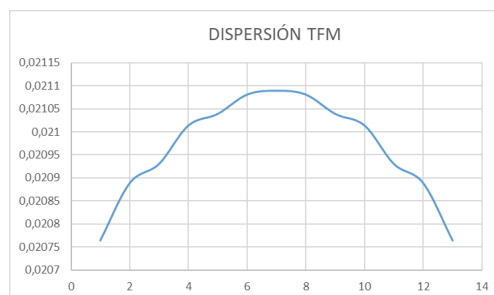


Figura 32. Dispersión TFM en la tercera medida

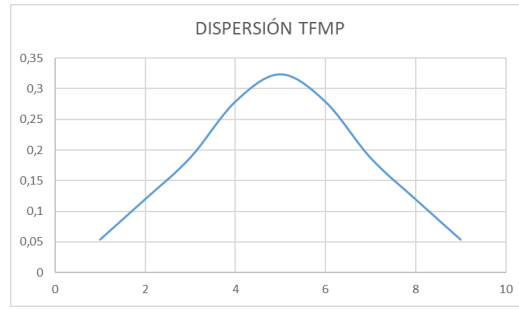


Figura 33. Dispersión TFMP en la tercera medida

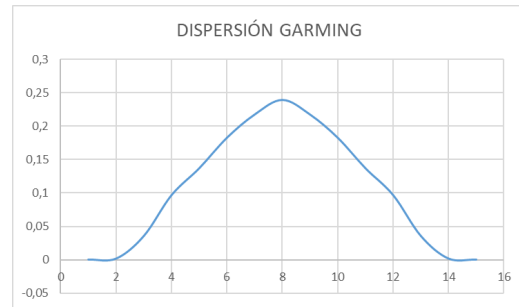


Figura 34. Dispersión LIDAR LITE tercera medida

En definitiva, una vez visto los datos y las gráficas reflejadas, y siguiendo la misma estrategia que los dos apartados anteriores, para este caso es conveniente utilizar el TFM PLUS.

**4º Medida (cristal):**

Uno de los casos terminales que nos llegamos a plantear es si realmente estos sensores ópticos son capaces de medir superficies de cristal, como escaparates o ventanas. Para ello se colocaron los tres sensores a una distancia de menos de 1 metro.

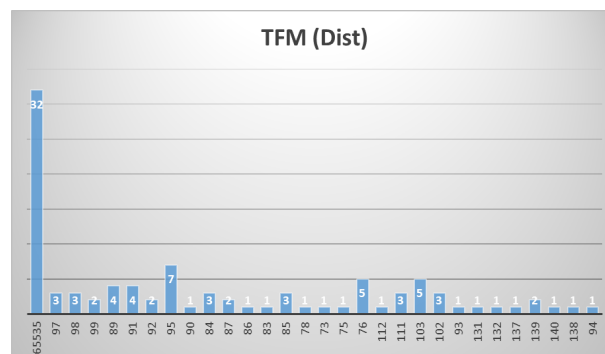


Figura 35. Frecuencia de las lecturas TFM en la cuarta medida

Las lecturas volcadas no muestran datos realmente significativos. Si atendemos al TFM podemos observar que comprende un gran rango comprendido entre 73 cm y 65535 cm,

siendo este último el dato que más se repite e interpretándose como un error de la medida. De la misma manera actúa el TFMP comprendiendo sus rangos entre los 0 cm y los 109 cm, unos datos un poco más fiables pero teniendo en cuenta que el dato mayoritario es el 0 descartamos que este sensor sirve para este tipo de superficies.

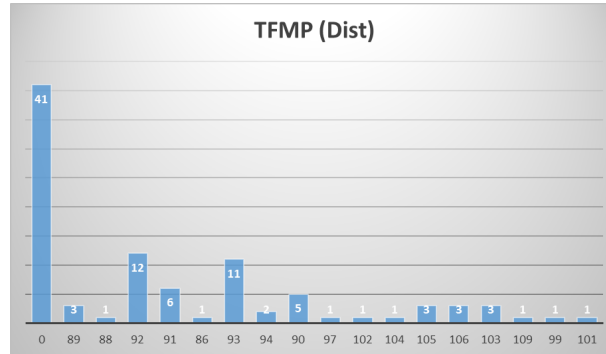


Figura 36. Frecuencia de las lecturas TFMP en la cuarta medida

Por último, nos encontramos el LIDAR-LITE V3 comportándose de manera análoga al anterior, es decir, comprende lecturas entre los 1 y 406 cm. pero siendo el mayor dato que se repite el 1, pudiéndose interpretar como un fallo en la lectura por la superficie que intenta medir.

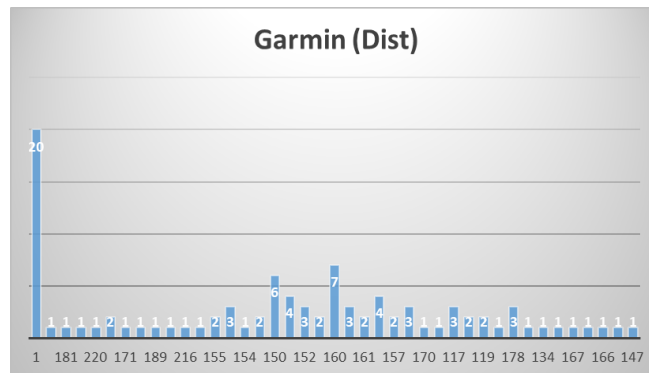


Figura 37. Frecuencia en las lecturas LIDAR LITE en la cuarta medida

Tabla 13. Tabla comparativa cuarta medida

Sensor	Xi	Fi	Media	Moda	Desviación Típica
TFM	73 - 65535	32 - 1	21684,81	65535	30767,32
TFMP	0 - 101	41 - 1	54,7	0	47
LIDAR LITE	1 - 406	20 - 1	132,98	1	77,89

A continuación, podemos observar lo mencionado anteriormente en unas tablas, de manera que se puede ver reflejado tanto la variedad de datos que vuelcan los sensores, como la dispersión entre cada uno de ellos.

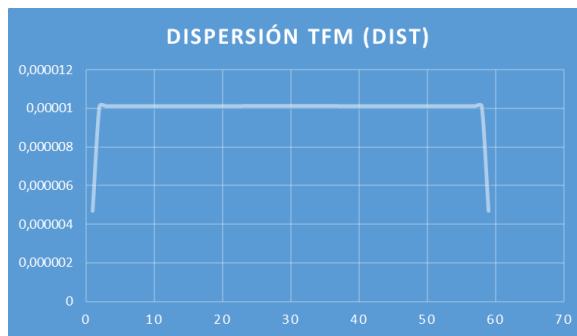


Figura 38. Dispersión TFM cuarta medida

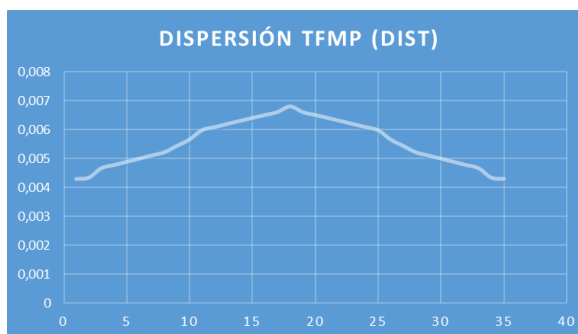


Figura 39. Dispersión TFMP quinta medida

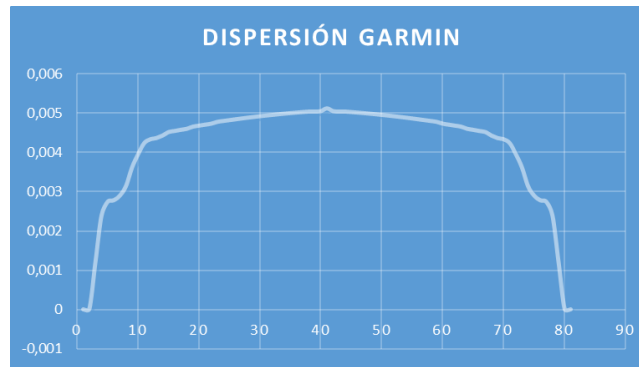


Figura 40. Dispersión LIDAR LITE quinta medida

En conclusión, al hacer esta medida y considerando la gran cantidad de errores que se cometen para este tipo de superficies, se considera que ninguno de los tres sensores es el adecuado para este caso.

Una vez explicado el estudio realizado para los sensores ópticos, se concluye que debido a la adaptabilidad a las diferentes casuísticas (a excepción de superficies como el cristal) y su diseño el dispositivo que más se asemeja a los objetivos perseguidos es el TF Mini Plus y es a partir de este punto en el que se empezó a trabajar exclusivamente con él.

#### 6.2.4. SENSOR ULTRASONIDOS HC-SR04

Ya seleccionado el sensor óptico, nos disponemos a solucionar el problema de medición de superficies como el cristal, por esta razón se hace uso del sensor de ultrasonidos HC-SR04 capaz de cumplir con los requerimientos pedidos.

El sensor HC-SR04 [25] es un sensor que utiliza ultrasonido para determinar la distancia de un objeto en un rango comprendido desde los 2 a 450 cm. Este sensor se compone de dos transductores, es decir, un emisor y un receptor piezoeléctricos. En cuanto al carácter económico, se estima que el sensor tiene un precio de 3,5 €.

Su funcionamiento consiste en emitir 8 pulsos de ultrasonido debido a la orden del pin TRIG, después de esto, las ondas de ultrasonido viajan hasta encontrar un objeto, el sonido de rebote es detectado por el receptor piezoeléctrico, luego el pin ECHO cambia a alto (5V) con un tiempo igual al que tardó la onda, desde que fue emitida hasta que fue detectada. Esta distancia se puede calcular de la siguiente manera:

$$Distancia = ((Tiempo\ del\ pulso\ ECO) * (Velocidad\ del\ sonido)) / 2 \quad (2)$$

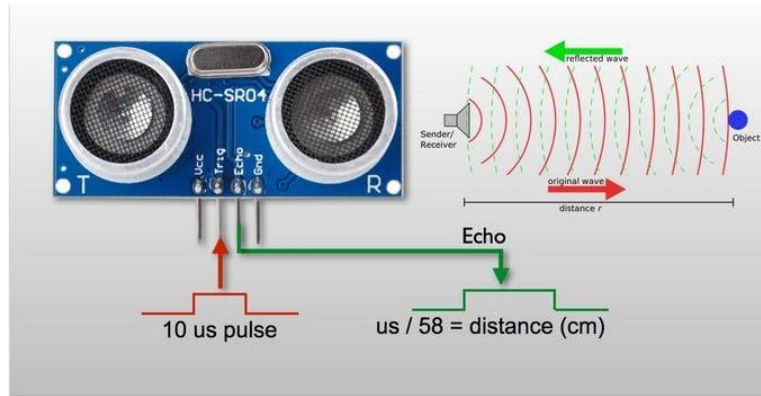


Figura 41. Funcionamiento del HC-SR04 [26]

Por lo que respecta a su conexión, es muy intuitivo ya que como comentamos anteriormente, este se compone de 4 pines: El emisor (TRIGG), El receptor ( ECHO) , la alimentación y tierra. A continuación podemos observar una imagen con el esquema de conexionado.

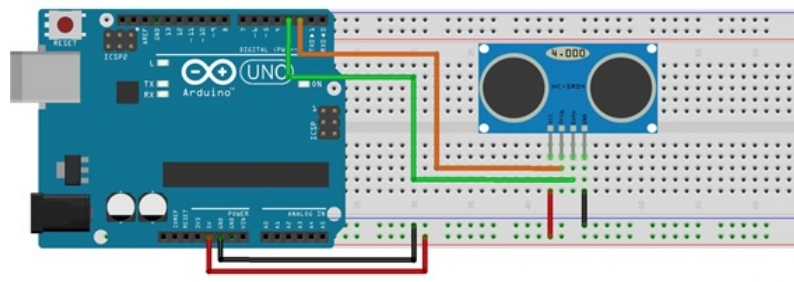


Figura 42. Esquema de conexionado del HC-SR04 con Arduino UNO [27]

Para poder demostrar que el sensor cumple con las condiciones requeridas para compensar al sensor óptico, se ha realizado otro estudio estadístico con los casos críticos del anterior. Este estudio se compone de dos medidas de 95 lecturas cada una, haciendo un total de 190 datos.

### **1º Medida: Superficie (Cristal)**

En esta parte del estudio, se dispone a medir una cristalera a menos de 1,5 m para poder comprobar la eficacia del sensor y poder suplir la carencia de medición del sensor óptico para este tipo de casos.



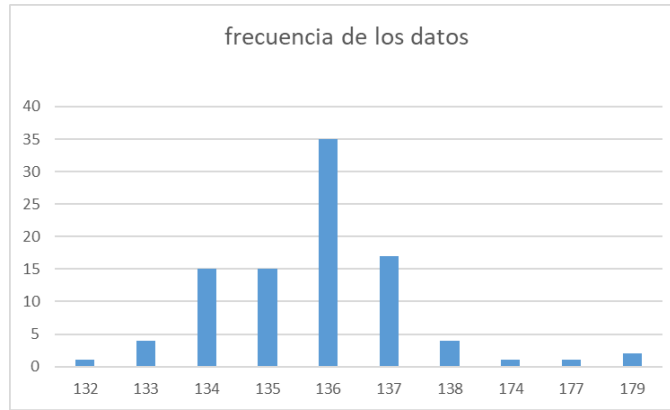


Figura 43. Frecuencia de las lecturas HC-SR04 en la primera medida

Como podemos observar, las lecturas proporcionadas por el ultrasonido son fiables, dando un rango de medida entre los 132 y 179 cm siendo el dato más repetido los 136 cm y teniendo un rango entre los 174 y 179 cm emitiendo una vez cada uno de estos datos, por lo que podemos considerarlos despreciables. Por otra parte, si vemos la dispersión en las medidas no es muy elevada, ya que la mayoría de los datos se concentran alrededor de la medida.

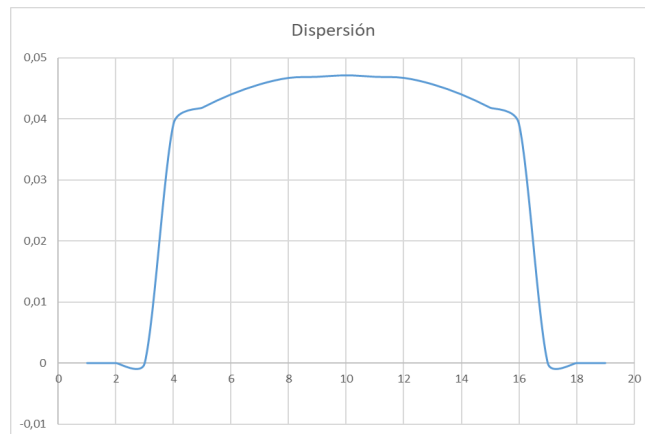


Figura 44. Dispersión HC-SR04 en la primera medida

A continuación podemos observar una tabla resumen de lo explicado así como las gráficas de dispersión y frecuencia en la medida.

Tabla 14. Datos HC-SR04 primera medida

Sensor	Xi	Fi	Media	Moda	Desviación Típica.
HC-SR04	132	1	137,14	136	8,46
	-	-			
	133	2			

## 2º Medida: Enfoque a luminaria

Para demostrar que el ultrasonido también cumple ante situaciones como cambios bruscos de luminosidad, se procedió a medir directamente un foco de luz (linterna del móvil).

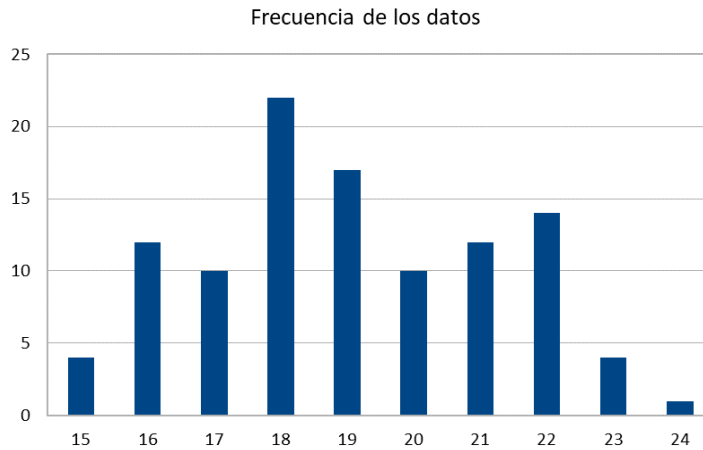


Figura 45. Frecuencia de las lecturas HC-SR04 en la segunda medida

Se pudo corroborar que efectivamente detectaba esta superficie, ya que emitía lecturas regulares entre los 15 y 24 cm, siendo la medida con más frecuencia los 18 cm. Si atendemos a la dispersión, esta también será fiable ya que los datos obtenidos están próximos a la media.

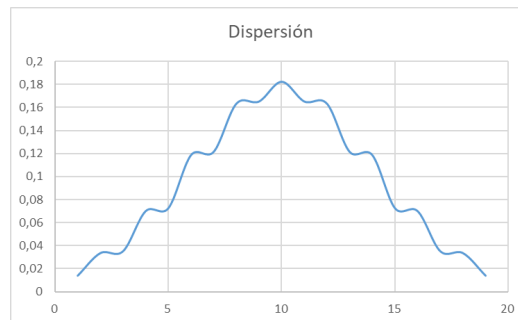


Figura 46. Dispersión HC-SR04 en la segunda medida

De esta forma, podemos confirmar la veracidad de los datos a la hora de determinar las distancias cada vez que tengamos que leer dicha variable con la presencia de luminosidad.

Tabla 15. Datos HC-SR04 segunda medida

Sensor	$X_i$	$F_i$	Media	Moda	Desviación típica
HC-SR04	15 - 24	4 - 1	19,03	18	2,19

Por lo tanto, podemos concluir que el sensor de ultrasonidos es el dispositivo más eficiente para suplir las carencias que tiene el TF Mini Plus.

### 6.3. ACTUADORES

Una vez decidido qué tipo de sensores vamos a utilizar para captar la información del entorno, se hace uso de dos tipos de actuadores para darle al usuario la información requerida. Se han hecho uso de dos tipos de actuadores: un motor al que denominaremos vibrador y un Buzzer activo (zumbador).

#### 6.3.1. MOTOR VIBRANTE DE CORRIENTE CONTINUA

Este aparato hará la tarea mayoritaria del bastón, ya que emitirá diferentes pulsos de PWM con diferentes tiempos de encendido y apagado acorde al modo en el que se encuentre. Dicha explicación se encuentra en el apartado 5.1: “Modos de uso del prototipo”.

El dispositivo utilizado para realizar esta función fue un pequeño vibrador de un móvil antiguo. Dicho aparato, es un motor de corriente continua (DC) cuyo funcionamiento se basa en girar al recibir una tensión entre 3 y 5 V DC que se corresponden a señales de PWM emitidas por el microcontrolador entre 0 y 255. [28] Para que este vibre, al eje del motor se le pone una carga metálica semi-cilíndrica, lo que hace que cuando el motor gire, se genere un cabeceo de la carga con lo cual se produce la vibración. A su vez, el vibrador está incorporado dentro de un circuito de protección para evitar picos de corriente que puedan dañarlo. Dicho circuito, será explicado en el apartado 6.4: “Alimentación”.



Figura 47. Motor vibrante de corriente continua

### 6.3.2. BUZZER ACTIVO

Para las funciones de medidor de batería e indicar cierta cercanía con el entorno, se ha hecho uso de un Buzzer activo debido a que emite sonidos a diferentes frecuencias y tiempos de activación acorde a la situación deseada. Dicha explicación se nombró anteriormente en el apartado 5.2: "Uso del Buzzer dentro del prototipo".

El zumbador o buzzer es un dispositivo electrónico que es capaz de enviar avisos a través del sonido. Pueden ser mecánicos, electromecánicos o piezoeléctricos pero comúnmente se utilizan los piezoeléctricos.

Los zumbadores piezoeléctricos se le denomina así porque solo tienen un electroimán o un disco piezoeléctrico [29]. Su funcionamiento es sencillo, ya que al someterse los materiales que componen este tipo de piezas se deforman, generando así una diferencia de tensión y por consiguiente un sonido. Para nuestro caso, el zumbador seleccionado puede emitir sonidos hasta los 25 KHZ.

El zumbador utilizado es de tipo activo, este contiene un circuito adicional compuesto por un oscilador que a diferencia del pasivo (depende de una señal externa para que funcione) se acciona nada más conectarse a la corriente.



Figura 48. Buzzer activo

Por lo que respecta al conexionado, es muy simple ya que funciona perfectamente si conectamos la terminal positiva a un pin digital de PWM y el negativo a tierra. En ocasiones, se le pone una resistencia entre el pin digital y el buzzer, esto es debido a que la intensidad máxima que puede circular por un pin digital de un Arduino NANO es de 40 mA y no es recomendable sobrecargar el microcontrolador. Para este caso, no hizo falta hacerle un circuito de protección debido a que va a estar poco tiempo activado en comparación a las otras funciones.

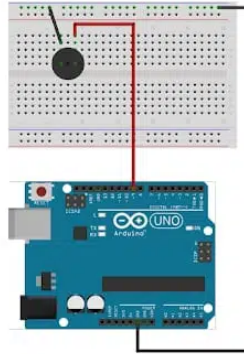


Figura 49. Conexionado del buzzer con el Arduino UNO [30]

## 6.4. ALIMENTACIÓN

Para la alimentación del prototipo se ha hecho uso de un PowerBank, este dispositivo cuenta con una batería que alberga una capacidad aproximada de 4,2 voltios y un circuito elevador para alimentar el resto de componentes a 5 voltios.

Un circuito elevador o Boost es un convertidor de voltaje conmutada no aislada, cuya función es tomar el voltaje de entrada y aumentarlo en la salida mediante ciclos constantes [31]. Para que este circuito funcione, se necesita un interruptor, un diodo, un condensador y una bobina con núcleo de ferrita.

El funcionamiento de este tipo de circuitos se compone de tres fases:

- El condensador de salida se carga con la tensión de entrada.
- El interruptor crea un cortocircuito y toda la corriente se desvía al inductor. Hay que tener en cuenta que el condensador permanecerá cargado debido a la polaridad del diodo y la fuente no se cortocircuita al momento debido a las propiedades del inductor.

- El interruptor se apaga y la corriente del inductor se detiene abruptamente. Debido a la propia naturaleza de la bobina que es la de mantener un flujo de corriente suave y al recibir este corte de corriente repentino hace que responda generando un gran voltaje con la polaridad opuesta a la de la entrada.

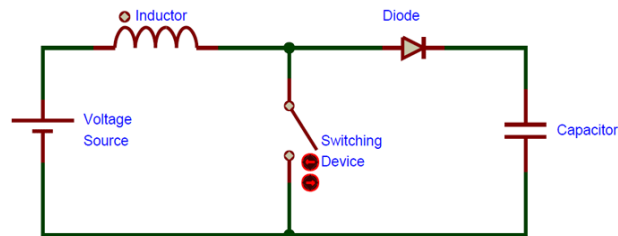


Figura 50. Esquema Circuito elevador

Por lo que respecta a la alimentación general del dispositivo, se le han añadido dos cables en la salida del circuito que irán conectados a la misma placa del circuito de protección para que desde ahí se puedan alimentar todos los componentes.

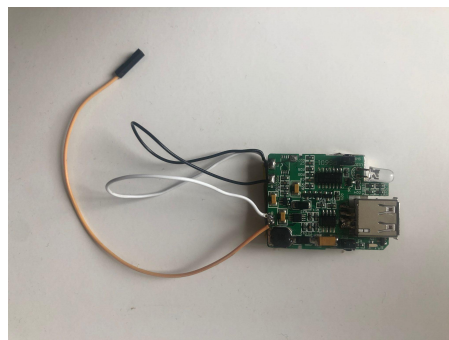


Figura 51. Powerbank

## 6.5. CIRCUITO DE PROTECCIÓN

Al motor de vibración se le ha acoplado una serie de componentes con el fin de proteger tanto al mismo como al propio microcontrolador.

Por una parte, se ha añadido una resistencia de 4,7 k $\Omega$ . Esto es debido a que la corriente máxima que pasa por cada pin digital es de 40 mA y queremos limitar la corriente para no sobrecargar al microcontrolador. De esta forma, al utilizar esta resistencia, se reduce la intensidad y por tanto se reduce la intensidad del sonido.

Por otra parte, se ha utilizado un transistor BC107B cuya función será hacer de interruptor para controlar la corriente que fluye y también para evitar un sobrecalentamiento del

propio vibrador. De la misma manera y para evitar picos de corriente, se le ha añadido un diodo Zener. A continuación, se muestra tanto un esquema de conexión como una vez ya soldado los componentes.

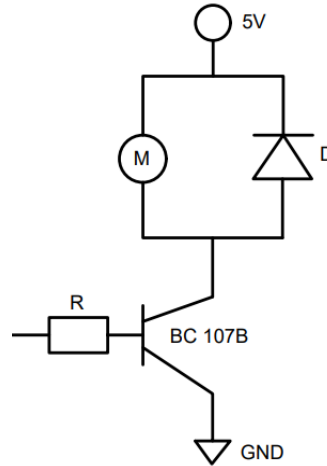


Figura 52. Esquema Circuito protección

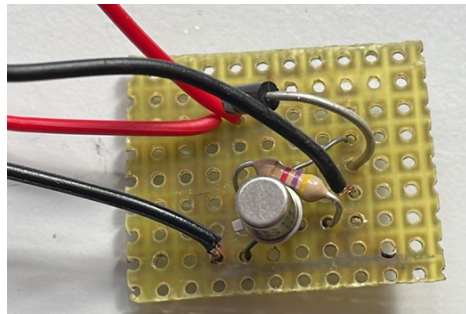


Figura 53. Implementación de circuito de protección

## 6.6. EXPLICACIÓN DEL CÓDIGO

En este apartado, se expondrán los códigos que se han empleado en el funcionamiento interno del bastón láser. Concretamente, analizaremos el fichero definitivo donde se recogerá toda la información necesaria para la ejecución de los sensores implementados y el resto de los códigos empleados durante el transcurso de este proyecto se recogen en el Anexo IV.

### 6.6.1. LIBRERÍAS

Las librerías son fragmentos de código que nos ayudan a añadir nuevas funcionalidades al programa principal de Arduino [32]. Generalmente, son nuevas instrucciones para poder utilizar nuevos componentes no estandarizados en los montajes. Las librerías utilizadas en este código son las siguientes:

**TimerOne.h:** este término nos permite usar temporizadores (“Timers”) para así manipularlos de una manera más simple. Nos indica que trabaja con el Timer1, en el cual se realiza para 16 bits en los microcontroladores ATmega168/328. Se requería inicialmente su instalación, al igual que las demás librerías empleadas en el código, para ingresar en nuestro IDE de Arduino. Por lo tanto, debemos introducir la siguiente instrucción para trabajar posteriormente con los diferentes métodos de la librería TimerOne [33].

Dicho esto, usamos el “*Timer1.initialize*” para iniciar la librería, ya que sin ella no funcionaría de la misma manera que queremos; por lo que esta se presenta para tener una sobrecarga de métodos, colocando un periodo en microsegundos como argumento en nuestro código. Por otro lado, tendremos también el “*Timer1.attachInterrupt*” el cual se ejecutará cuando exista un posible desbordamiento y nos será útil para definir qué tiempos queremos que haga nuestro prototipo en los periodos que hemos definido. El inconveniente que tiene este método es que se recomienda de un código simple, ya que el empleo de un programa extenso podría provocar un bloqueo en el mismo.

**SoftwareSerial.h:** la siguiente librería permite la comunicación serial entre otros pines digitales del arduino usando el software para replicar la funcionalidad [34].

A continuación se muestra un fragmento del código donde aparece la declaración de dichas librerías.

```
// incluimos las librerías  
  
#include <TimerOne.h>  
#include<SoftwareSerial.h>
```

Figura 54. Librerías empleadas en el código

## 6.6.2. DECLARACIÓN DE PINES Y VARIABLES

Una vez declaradas las bibliotecas a utilizar en el programa, se procede a establecer qué pines se van a utilizar para implementar el código, así como las diferentes variables que existen. A continuación, se mostrarán dos tablas para indicar dichos parámetros, además de su funcionalidad.



*Tabla 16. Pines utilizados*

Nombre del Pin	Número del Pin	Tipo del Pin
AnalogPin	1	Analógico
Emisor TFMP	2	Digital
Receptor TFMP	3	Digital
PinVibrador	4	Digital
PinZumbador	5	Digital
EchoPin	8	Digital
TriggerPin	9	Digital

*Tabla 17. Variables utilizadas*

Tipo	Nombre	Funcionalidad
unsigned long int	TiempoCiclo count	Función Temporizador
unsigned long	TiempoOn, TiempoOff, PWMZumb	Asigna los parámetros al vibrador dependiendo el caso.
int const int	dist, strength, check, i , uart[] HEADER	Parámetros utilizados para el cálculo de distancias por el TFMP
int float	analogValor voltaje: máximo = 4,2 medio= 3,9; mínimo= 3,6 *	Parámetros utilizados en el cálculo de la batería.
unsigned long	TiempoPitidomedio; TiempoPitidominimo; TiempoPitidoultra; TiempoPitidoError;	Tiempos declarados para el uso del buzzer acorde a las distancias y al porcentaje de batería.

\*A estas variables se le han dado unos valores en concreto para poder establecer una franja para los niveles de batería.

### 6.6.3. FUNCIONES EXTERNAS

Para poder realizar ciertas acciones dentro del código se han tenido que crear un determinado número de funciones que son las siguientes:

**int ping( int TriggerPin, int EchoPin):** esta función nos devuelve la distancia medida por el sensor de ultrasonido gracias a los datos recogidos por el TriggerPin y el EchoPin. Se comienza poniendo el TriggerPin en estado lógico bajo para generar un pulso limpio durante 4µs. Pasado este tiempo, se pone en estado lógico alto durante 10µs para generar el disparo y de la misma manera se actuará con el EchoPin para medir la distancia. Por último, se devuelve el valor de la distancia medida en cm siguiendo la ecuación (2).

```
int ping( int TriggerPin, int EchoPin ) {  
  
    long duration, distanceCm;  
    digitalWrite(TriggerPin, LOW); //para generar un pulso limpio ponemos a LOW 4us  
    delayMicroseconds(4);  
    digitalWrite(TriggerPin, HIGH); //generamos Trigger (disparo) de 10us  
    delayMicroseconds(10);  
    digitalWrite(TriggerPin, LOW);  
    duration = pulseIn(EchoPin, HIGH); //medimos el tiempo entre pulsos, en microsegundos  
    distanceCm = duration * 10 / 292 / 2; //convertimos a distancia, en cm  
    return distanceCm;  
  
}
```

Figura 55. Función Ultrasonidos

**void Temporizador(void):** Dentro de esta función, utilizaremos varias instrucciones que se tendrán en cuenta para los diferentes valores de tiempo tanto de encendido como de apagado para el vibrador, así como la duración del ciclo. Asimismo, se declara la función *millis()* que permite obtener el tiempo que ha pasado desde que comenzó la ejecución del código; por lo que registra la cantidad de pulsos generados por el contador y los emplea para calcular dicho tiempo en ms [35]. De esta manera, retorna valores enteros para el tipo unsigned long, representando la cantidad de milisegundos realizados desde que la placa fue encendida. Una ventaja que cumple la instrucción *millis()* es que el valor se irá incrementando y, a medida que la placa es reiniciada, ésta nuevamente comienza de cero para seguir con su funcionamiento.

```
void Temporizador(void)
{
    count ++;
    if ((millis() - tiempoCiclo) > TiempoOn + TiempoOff)
        tiempoCiclo = millis();

    if (( millis() - tiempoCiclo) < TiempoOn) {
        analogWrite(PinZumbador, PWMZumb);
    }
    if ((millis() - tiempoCiclo) > TiempoOn) {
        analogWrite(PinZumbador, 0);
    }
}
```

Figura 56. Función Temporizador

**void VoltajeBateria():** esta función se encarga de medir el voltaje que tiene la batería. Para ello hace una lectura del pin ANALOGPIN y devuelve el valor del voltaje siguiendo una regla de tres, es decir, si 5 voltios es 1024, al dividir 5 entre 1024 y multiplicarlo con el valor que nos da el pin analógico, tenemos el valor del voltaje.

```
void VoltajeBateria () {

    analogValor = analogRead ( ANALOGPIN );
    voltaje = 5.0 * (float)analogValor /1024.0;
    Serial.print ( " Voltaje: " );
    Serial.print ( voltaje );
    Serial.print ( '\n' );

}
```

Figura 57. Función VoltajeBateria

#### 6.6.4. FUNCIÓN SETUP

La función setup es la primera función que se ejecuta. Es básicamente donde se inicializa todo el sistema y se establecen algunos criterios de ejecución única [36].

Es, por tanto, que lo primero que se ha realizado en esta función ha sido establecer los seriales y el número de baudios para poder conectar el arduino con el ordenador y el TF Mini Plus con el Arduino.

Por otra parte, se ha indicado cuáles pines son de entrada y de salida, se ha puesto en marcha el temporizador y se ha indicado el tiempo de lectura de los sensores.

Por último, se ha hecho uso de la función VoltajeBateria() para poder indicar el nivel de batería del dispositivo a la hora de encenderlo, y así emitir un sonido diferente acorde a la franja de batería a la que se encuentre.

```
void setup() {  
  
    EasyBuzzer.setPin( PinVibrador );  
    Serial.begin( 9600 );  
    Serial1.begin( 115200 );  
    pinMode( TriggerPin, OUTPUT );  
    pinMode( EchoPin, INPUT );  
    pinMode( PinZumbador, OUTPUT );  
    pinMode( PinVibrador, OUTPUT );  
    Timer1.initialize( 1000 );  
    Timer1.attachInterrupt( Temporizador );  
    VoltajeBateria();  
    if ( voltaje < maximo && voltaje >= medio ) {  
        analogWrite ( PinVibrador, 20 );  
        delay ( 500 );  
        analogWrite ( PinVibrador, 0 );  
        delay (200);  
    }  
    if ( voltaje < medio && voltaje >= minimo ) {  
        analogWrite ( PinVibrador, 20 );  
        delay ( 300 );  
        analogWrite ( PinVibrador, 0 );  
        delay (200);  
        analogWrite ( PinVibrador, 20 );  
        delay ( 300 );  
        analogWrite ( PinVibrador, 0 );  
        delay (200);  
    }  
}
```

*Figura 58. Función setup*

## 6.6.5. FUNCIÓN LOOP

La función de bucle es la función principal, el cual sirve como punto de entrada a la realización de los comandos de nuestro programa que se ejecutarán en la placa de Arduino cada vez que esté habilitada [36]. De esta forma, empezará con la primera instrucción, yendo el microcontrolador hasta el final de la función y volverá al principio del mismo para repetir infinitas veces la misma secuencia.

```
void loop() {  
  //Función sacada para medir el nivel de batería  
  VoltajeBateria();  
  //Trataremos de ver el porcentaje de descarga de la batería  
  if ( (millis() - TiempoPitidominimo > 6500) && (voltaje < medio && voltaje >= minimo) ) {  
    Serial.println("Pita con poca batería");  
    TiempoPitidominimo = millis();  
  
    delay (800);  
    analogWrite(PinVibrador, 20);  
    delay (300);  
    analogWrite(PinVibrador, 0);  
    delay (200);  
    analogWrite(PinVibrador, 20);  
    delay (300);  
    analogWrite(PinVibrador, 0);  
    delay (200);  
  }  
  if ( (millis() - TiempoPitidomedio > 10000) && (voltaje < maximo && voltaje == medio) ) {  
    Serial.println("Pitando dentro de rango normal");  
    TiempoPitidomedio = millis();  
  
    delay(1100);  
    analogWrite(PinVibrador, 20);  
    delay(500);  
    analogWrite(PinVibrador, 0);  
    delay(200);  
  }  
}
```

Figura 59. Funcionamiento del buzzer mediante batería

Empezando dicho bucle nos encontramos con la mención de la función VoltajeBateria(), el cual explicamos anteriormente su funcionamiento. Para ello, tratamos de comprobar el nivel de batería que se encontrará en el powerbank cuando ponemos en marcha nuestro bastón láser. Las dos instrucciones *if* que mencionamos reflejan los diferentes valores que marca nuestra alimentación; por lo que los emplearemos como aviso para que el usuario consiga determinar mediante zumbidos el estado en el que se encuentra el powerbank. Por lo tanto, para el número de pulsos empleados con el comando `analogWrite()` y el tiempo utilizado en cada caso, se consigue diferenciar las posiciones de voltaje de nuestra fuente de alimentación.

```
//Se realiza el cálculo de la distancia con el sensor TF Mini Plus

if ( Serial1.available() ) /*check if serial port has data input*/ {
  if( Serial1.read() == HEADER ) /*assess data package frame header 0x59*/ {
    uart[0] = HEADER;
  }
  if ( Serial1.read() == HEADER ) /*assess data package frame header 0x59*/ {
    uart[1]=HEADER;
    for (i=2;i<9;i++) /*save data in array*/ {
      uart[i]=Serial1.read();
    }
  }

  check = uart[0]+uart[1]+uart[2]+uart[3]+uart[4]+uart[5]+uart[6]+uart[7];
  if ( uart[8] == (check&0xff) ) /*verify the received data as per protocol*/ {

    dist = uart[2]+uart[3]*256; //calculate distance value
    strength = uart[4]+uart[5]*256; //calculate signal strength value

    Serial.print("TFMP: ");
    Serial.print('\t');
    Serial.print("dist = ");
    Serial.print(dist); //output measure distance value of LiDAR
    Serial.print('\t');
    Serial.print("strength = ");
    Serial.print(strength); //output signal strength value
    Serial.print('\n');
    delay(100);
  }
}
```

*Figura 60. Proceso para el cálculo de distancias del TF Mini Plus*

A continuación, con el uso de la librería SoftwareSerial y la mención de algunos parámetros, explicamos el proceso sobre el cálculo de la distancia del sensor TF Mini Plus. En primer lugar, comprobamos que el puerto serie aprecia la entrada de datos de nuestro sensor, y con la lectura de la cabecera del paquete de datos (concretamente en los dos primeros bits del array) conseguimos que el resto de datos se guarden en el vector.

Una vez revisado los datos de los 8 primeros bits del vector, verificamos los datos recibidos para realizar el cálculo de distancia y luminosidad del sensor, en los cuales se sumarán diferentes datos del vector para cada uno y multiplicados por 256 ya que todos los comandos de configuración fueron enviados previamente como valores hexadecimales. Finalmente, se muestran los datos de ambos parámetros del sensor para su posterior uso con los actuadores, ya sea tanto para el motor de vibración como para el buzzer activo.

```
// Una vez calculadas las distancias se procede a indicarlas mediante vibraciones (datos en cm)

//CASOS GENERICO

//MODO ERROR

if( (millis() - TiempoPitidoError > 4000) && (dist > 1200 || dist == 0) ) {

    Serial.print("Entramos en error de la medida");
    Serial.print("\n");
    TiempoPitidoError = millis();
    analogWrite(PinVibrador, 200);
    delay(500);
    analogWrite(PinVibrador, 0);
    delay(300);

}

//MODO SEGURO

if(dist > 600 && dist < 1200) {

    Serial.print("Cambiando distancia 600-1200 ");
    Serial.print(count);
    Serial.print(" ");
    TiempoOn = 3000;
    TiempoOff = 1000;
    PWMZumb = 100 ;

}

}
```

Figura 61. Rangos de distancias para diferentes modos

Después de haber averiguado cómo se sacan las distancias del TF Mini Plus, explicaremos los casos genéricos de los diferentes rangos de medida. Como se puede apreciar, el primer caso que nombramos consiste en la medida del sensor para distancias mayores de 12 metros y cuando también el valor sea nulo (debido a enfoques a objetos que reflejen luminosidad); para ello, utilizamos el buzzer activo para emitir un zumbido elevado durante un periodo de tiempo que está sucediendo dicho error.

En el caso siguiente, para distancias comprendidas entre 6 y 12 metros, se emplea el motor de vibración donde se utiliza un valor de tiempo de encendido y otro de apagado, junto a un valor predefinido de la PWM del arduino como indicación para el usuario.

```
//MODO ESTÁNDAR

if(dist > 300 && dist <= 600) {

    Serial.print("Cambiando distancia 300-600 ");
    Serial.print(count);
    Serial.print(" ");
    TiempoOn = 2000;
    TiempoOff = 1000;
    PWMZumb = 150;

}

//MODO PELIGRO

if(dist > 150 && dist <= 300) {

    Serial.print("Cambiando distancia 150-300 ");
    Serial.print(count);
    Serial.print(" ");
    TiempoOn = 1000;
    TiempoOff = 1000;
    PWMZumb = 200;

}

}
```

Figura 62. Rangos de distancias para modos estándar y peligro

Para los dos siguientes rangos de uso, se realizará el mismo procedimiento que en el caso anterior. La diferencia que existirá entre cada una de ellas es que cuanto más pequeña sea la distancia que capte el sensor, menor será el tiempo de encendido y de apagado del vibrador, y mayor la potencia de las vibraciones, asegurando como precaución al usuario los posibles obstáculos existentes.

```
//A partir de aquí usamos el sensor de ultrasonidos

if(dist <= 150 && dist > 0) {

    int cm = ping(TriggerPin, EchoPin);
    Serial.print("\n");
    Serial.print("Entramos en modo peligro");
    Serial.print("\n");
    Serial.print("Dist ultrasonidos: ");
    Serial.println(cm);
    delay(500);

    if( (millis() - TiempoPitidoultra > 5000) && (cm <= 150) ) {

        TiempoPitidoultra = millis();
        Serial.print("Cambiando distancia menor de 150: ");
        Serial.print(count);
        Serial.print(" ");

        delay(1000);
        analogWrite(PinVibrador, 120);
        delay(300);
        analogWrite(PinVibrador, 0);
        delay(200);
        analogWrite(PinVibrador, 120);
        delay(300);
        analogWrite(PinVibrador, 0);
        delay(200);
        analogWrite(PinVibrador, 120);
        delay(300);
        analogWrite(PinVibrador, 0);
        delay(200);

        TiempoOn = 1000;
        TiempoOff = 500;
        PWMZumb = 255;

    }

}
```

Figura 63. Uso del HC-SR04 mediante buzzer y vibrador

Cuando el suceso sea que la distancia acabe siendo menor a 1,5 metros, pondremos en marcha el sensor de ultrasonidos para que la información obtenida sea más segura y sirva de apoyo nuevamente al usuario de los peligros potenciales que tiene a su alrededor. De esta forma, empleamos otro parámetro de distancia, el cual viene definido por el sensor de ultrasonidos, en caso de que la lectura del TF Mini Plus no sea inicialmente fiable y para que el HC-SR04 nos sirva para obtener una mejor calibración de la medida. Para ello, al igual que en los casos anteriores, se usará al máximo la vibración del motor durante un segundo de encendido y 0,5s apagado, y luego del buzzer activo donde emitirá varios zumbidos durante un periodo de tiempo determinado.



## 6.7. DISEÑO E IMPRESIÓN DEL MODELO

Para implementar el prototipo del bastón se han tenido que realizar varios diseños. Todos ellos han partido de la idea de hacerlo semejante a una linterna y posteriormente han ido evolucionando acorde a las necesidades surgidas. Para realizar estos diseños se ha hecho uso del programa Shapr 3D.

### 6.7.1. PRIMER DISEÑO

Partiendo de la idea original, el primer dibujo tenía como consigna asemejarse lo más parecido a una linterna pero reduciendo el diámetro en la mitad para poder sujetarlo mejor. Este boceto cumplía con las especificaciones deseadas a la hora de la comodidad y tamaño, pero resultaba compleja su implementación debido a la disposición de los propios componentes que irían introducidos dentro de este. Ejemplo de ello sería la colocación del powerbank, ya que la parte posterior está diseñado en forma de semicírculo y por las dimensiones de este aparato se tendría que colocar a cierta distancia para que cupiese y, por consiguiente, la entrada del USB quedaría lejos para poder cargarlo.

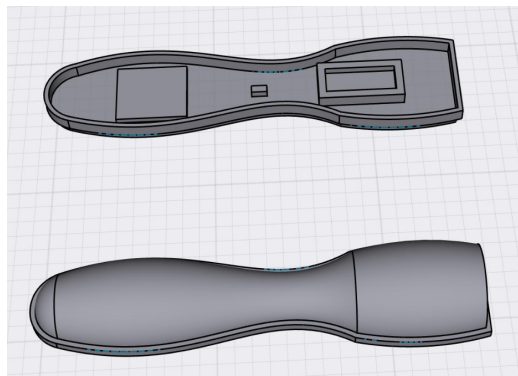
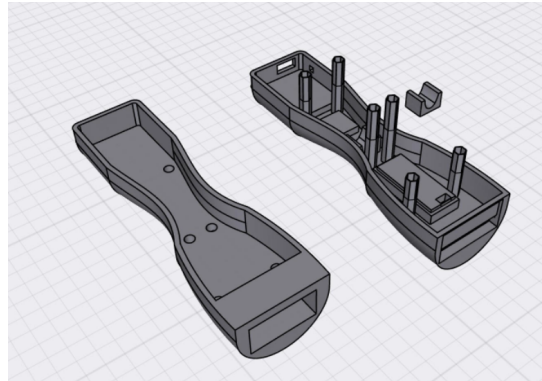


Figura 64. Primer Diseño

### 6.7.2. SEGUNDO DISEÑO

Vista las carencias surgidas por el primer diseño se elaboró un boceto más detallado. En este, se implementaron las dos tapas, la inferior, de forma semicircular y contaba con superficies para poder soportar el arduino, el sensor de ultrasonidos, el powerbank, el circuito de protección y así como unos soportes de unión para los tornillos y la superior, también de forma semicircular donde se contemplaron los agujeros para los tornillos y el soporte para el buzzer y el TF Mini Plus.

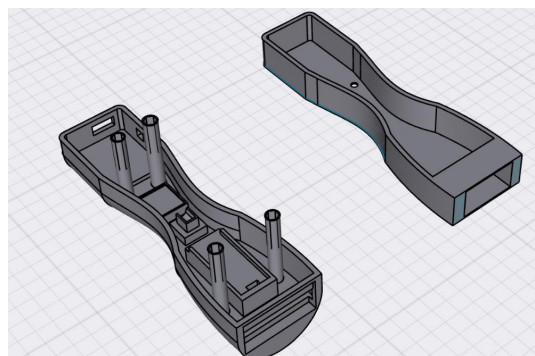
Este diseño se descartó debido a que a la hora de imprimirlo hubo numerosos fallos de cálculo y el aparato era demasiado voluminoso con las dos partes semicirculares y se alejaba del objetivo principal.



*Figura 65. Segundo diseño*

### 6.7.3. TERCER DISEÑO

En este último planteamiento, se tuvieron en cuenta los fallos de cálculo y de diseño del modelo anterior. La principal diferencia, y que por ende se asemejaba más al objetivo inicial, fue el diseño de la tapa superior, que tras hacerla de forma plana conseguimos reducir la altura del aparato y así se identifica de mejor manera que soporte es cual.



*Figura 66. Tercer diseño*

#### 6.7.4. PROTOTIPO FINAL

Una vez pulimos los pequeños detalles del último diseño, se procedió a llevarlo a la realidad gracias a la impresora 3D WITBOX. La impresión se realizó mediante tres tiempos, acarreado un proceso de 12 horas y 35 minutos. A continuación, se muestra una tabla explicativa con los tiempos de impresión y la cantidad de filamento usado, así como una imagen del prototipo final.

Tabla 18. Datos de la impresión 3D

Pieza	Tiempo de Impresión	Cantidad Utilizada (g)	Cantidad utilizada (m)
Parte Inferior	7 horas, 50 minutos	98	32,7
Parte Superior	3 horas, 45 minutos	48	16,11
Soporte Buzzer	10 minutos	2	0,63
Total	11 horas, 45 minutos	148	49,44

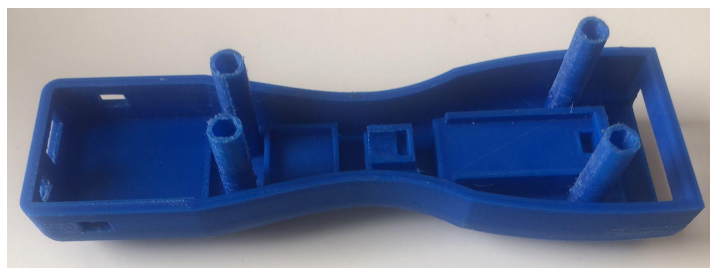


Figura 67. Prototipo Final parte inferior



Figura 68. Prototipo Final parte Superior



Figura 69. Soporte Buzzer

## 6.8. ENSAMBLAJE Y UNIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

Para el ensamblaje entre las dos partes, se han utilizado 4 tornillos de métrica 2. El proceso consistió en pegar la tuerca en el soporte que se hizo en la parte inferior para que al introducir los tornillos, estos se puedan quedar fijos.



Figura 70. Tornillo con tuerca y arandela

Además, para el resto de componentes que se adjuntará entre ambas partes del prototipo, se realizará en la mayoría de los mismos cinta doble cara en los soportes impresos y unidos en la parte inferior de nuestro modelo; luego, para el caso de la parte superior añadiremos nuevamente el mismo adhesivo para el buzzer activo, debido al espacio y disponible que existe en dicha zona del bastón. Mientras que para algún caso específico usaremos la unión mediante un pegamento adhesivo y/o silicona, así como el uso de bridas para los cables, por defecto largos y que se encuentran en el interior de nuestro prototipo, para crear una mejor zona de trabajo para la colocación de los componentes.

## 7. SOFTWARE UTILIZADO

Para la ejecución de este proyecto, se han utilizado softwares específicos de varias especialidades. Todos estos programas han sido por una parte utilizados gracias a licencias educativas y por otras programas de uso gratuito. Dichos programas se encuentran recogidos en la siguiente tabla.

*Tabla 19. Softwares utilizados*

Imagen del programa	Nombre y Versión	Función desempeñada	Referencia
	Shapr3D Versión 5.81.0	Diseño del Prototipo en 3D	[37]
	Ultimaker Cura. Versión 4.131.	Generación de los archivos para la impresora.	[38]
	Autodesk Autocad Versión: 2021	Realización de los planos y esquemas necesarios para la implementación del prototipo.	[39]
	Arduino Versión 1.8.19	Realización del Código.	[40]
	BW_TFDS Versión 1.4.0	Calibración TFM y TFMP	[41]
	Microsoft Excel. Versión Office 365 para empresas.	Realización de los estudios estadísticos.	[42]
	Google Docs	Redacción de la memoria provisional	[43]
	Microsoft Word. Versión Office 365 para empresas.	Redacción y diseño final de la memoria.	[44]

## 8. PRESUPUESTO

Para la elaboración del prototipo, se ha contado con los elementos y materiales necesarios, teniendo en cuenta todas las funcionalidades marcadas por los objetivos iniciales y tratando de ajustar el precio de cada uno lo máximo posible, partiendo en primer lugar con un presupuesto para la fabricación y diseño de un ejemplar de nuestro modelo. De esta forma, se han tomado los siguientes precios:

*Tabla 20. Presupuesto del proyecto unitario*

Componente	Precio unitario (€/unidad)	Unidades	Total
Sensor TF Mini Plus	67,5	1	67,50 €
Sensor HC-SR04	3,5	1	3,50 €
Motor DC	8,2	1	8,20 €
Buzzer activo	1,35	1	1,35 €
Arduino Nano	14,1	1	14,10 €
Resistencia 4,7 kΩ	0,18	1	0,18 €
Transistor BC 107B	1,55	1	1,55 €
Diodo zener	0,47	1	0,47 €
Papel lija	0,6	1	0,60 €
Tornillos + arandelas + tuercas	0,2	5	1,00 €
Cables hembra-hembra	0,07	30	1,95 €
Cables macho-macho	0,07	30	1,95 €
Cinta doble cara	1,75 €/ 20 m	1	1,75 €
Fuente alimentación (powerbank)	4,5	1	4,50 €
Bridas	0,01	100	1,00 €
PLA	20 €/kg	0,152 kg	3,04 €
Gotita	3,68	1	3,68 €
Mano de obra	20 €/h	280 h	5.600,00 €
<b>TOTAL</b>			<b>5.716,32 €</b>

A continuación, realizaremos un presupuesto adicional para la fabricación de 1000 elementos. De esta forma, la mano de obra se ve reducida, debido a que la duración empleada en el prototipo será menor porque será un proceso automatizado. El precio final que aparece en la siguiente tabla es el coste unitario y a este se le tendrá que aplicar un 6% en concepto a beneficio industrial. Asimismo, el balance de este presupuesto es el siguiente:

*Tabla 21. Presupuesto del proyecto mil unidades*

Componente	Precio unitario (€/unidad)	Unidades	Total
Sensor TF Mini Plus	67,5	1	67,50 €
Sensor HC-SR04	3,5	1	3,50 €
Motor DC	8,2	1	8,20 €
Buzzer activo	1,35	1	1,35 €
Arduino Nano	14,1	1	14,10 €
Resistencia 4,7 kΩ	0,18	1	0,18 €
Transistor BC 107B	1,55	1	1,55 €
Diodo zener	0,47	1	0,47 €
Papel lija	0,6	1	0,60 €
Tornillos + arandelas + tuercas	0,2	5	1,00 €
Cables hembra-hembra	0,07	30	1,95 €
Cables macho-macho	0,07	30	1,95 €
Cinta doble cara	1,75 €/ 20 m	1	1,75 €
Fuente alimentación (powerbank)	4,5	1	4,50 €
Bridas	0,01	100	1,00 €
PLA	20 €/kg	0,152 kg	3,04 €
Gotita	3,68	1	3,68 €
Mano de obra	20 €/h	4 h	80,00 €
<b>TOTAL</b>			<b>196,32 €</b>

## **9. CONCLUSIONES E IDEAS DE MEJORA**

### **9.1. CONCLUSIONES**

En el presente documento, se encuentran recogidas todas las experiencias y conocimientos adquiridos para conformar el prototipo. Aparte, hay que mencionar el esfuerzo y dedicación que se ha empleado para realizar todo este proyecto y la sensación tan gratificante que resulta ver hecha realidad una idea desde cero.

Desde que se empezó a gestar la idea y durante todo el proceso de implementación del prototipo, tuvimos que enfrentarnos a numerosas dificultades y ser capaces de adaptarnos a cualquier casuística ocasionada. Ejemplo de estos aspectos era la propia programación, ya que desde un comienzo no teníamos los conocimientos suficientes para llevar a la realidad pero afortunadamente se consiguió un buen resultado.

Por otra parte, el diseño supuso el mayor reto en este proyecto, ya que aparte de no tener suficiente experiencia para crear un objeto desde cero, tuvimos que lidiar con numerosos fallos de cálculo para crear las estructuras que mantienen a los componentes. Aun así, se consiguió la consigna de poder hacerlo lo más compacto y cómodo posible.

Por último, también cabe destacar que, aunque tuviéramos conceptos afianzados en lo que respecta nuestra área, fueron apareciendo nuevos problemas y retos. Ejemplo de ello pudo ser la implementación del circuito de protección, ya que al ser una nueva experiencia el hecho de soldar los componentes y a la hora de comprobarlo no se dieron los resultados esperados, se tuvo que comprobar de manera meticulosa todo el conexionado.

### **9.2. IDEAS DE MEJORA**

Durante el siguiente apartado se expondrán algunos aspectos de mejora del proyecto con el fin de poder hacerlo mucho más eficiente.

#### **9.2.1. REPLANTEAMIENTO DEL USO DE LOS SENSORES**

Uno de los principales problemas que pueden existir es la poca fiabilidad que tiene el sensor óptico para medir superficies cristalinas, es por ello, que se utilizó un sensor de ultrasonidos que volcaba datos con mayor precisión, pero, por consecuencia, hace que nuestro aparato sea más voluminoso.



Por tanto, una de las posibles soluciones que se podrían barajar sería la reconfiguración interna del TF Mini Plus intentando que la longitud de onda que emite pueda detectar este tipo de elementos, pero esto haría que el resto de objetos no se midieran con la misma precisión.

### **9.2.2. MEJORA EN EL DISEÑO**

Como consecuencia del apartado anterior se puede replantear un diseño nuevo para el bastón. La principal diferencia que podría existir es la reducción considerable en el diámetro donde se encuentran los sensores, esto haría que el aparato fuera más ergonómico. Por otra parte, se podría contemplar la forma de la parte superior ya que esta la hicimos plana como forma de identificación de partes pero podría resultar más comfortable utilizando la forma circular.

Otro aspecto a tener en cuenta, es la dificultad a la hora de encender el aparato, ya que el pulsador de la alimentación es muy pequeño y, una vez introducido en el modelo principal, se hace difícil que se ponga en funcionamiento.

### **9.2.3. REALIZACIÓN DE UN CÓDIGO LIMPIO**

Uno de los grandes inconvenientes que ha tenido este proyecto ha sido la implementación del código para que se cumplieran todos los requisitos que contemplamos. Es por ello, que se ha tenido que reemplazar algunos códigos que teníamos integrados por los originales para que cumpla la funcionalidad deseada y esto hace que el código sea menos limpio. A continuación, se recogerán algunos puntos para poder mejorarlo.

- Sustitución de la instrucción AnalogWrite por la función EasyBuzzer(). Una de las ideas principales era la utilización del Buzzer con la función EasyBuzzer pero se decantó por mandar señales simples de PWM debido a que no cumplía las instrucciones pedidas.
- Contemplar los saltos considerables en las lecturas de las medidas. Han habido circunstancias en que los datos volcados por los sensores no se corresponden con las medidas reales o que directamente no se contemplan cambios considerables de distancias como las alturas de los escalones debido a que los contemplamos dentro de un mismo rango.

## 9. CONCLUSIONS AND IDEAS FOR IMPROVEMENT

### 9.1. CONCLUSIONS

This document contains all the experiences and knowledge acquired to create the prototype. Besides, it is necessary to mention the effort and dedication that has been used to carry out this project and the gratifying sensation of seeing an idea from scratch become a reality.

Since we started to develop the idea and during the whole process of implementation of the prototype, we had to face many difficulties and be able to adapt to any casuistry. An example of these aspects was the programming itself, since from the beginning we did not have enough knowledge to bring it to reality, but fortunately we achieved a good result.

On the other hand, the design was the biggest challenge in this project, since apart from not having enough experience to create an object from scratch we had to deal with numerous calculation errors to create the structures that hold the components. Even so, we managed to make it as compact and comfortable as possible.

Finally, it should also be noted that although we had consolidated concepts regarding our area, new problems and challenges were appearing. An example of this could be the implementation of the protection circuit, since it was a new experience to solder the components and at the time of testing it did not give the expected results, we had to meticulously check all the connections.

### 9.2. IMPROVEMENT IDEAS

In the following section, some aspects of improvement of the project will be presented in order to make it much more efficient.

#### 9.2.1. RETHINKING THE USE OF SENSORS

One of the main problems that may exist is the unreliability of the optical sensor to measure crystalline surfaces, that is why an ultrasonic sensor was used, which provides more accurate data but consequently makes our device more bulky.

Therefore, one of the possible solutions that could be considered would be the internal reconfiguration of the TF MINI PLUS trying to detect that the wavelength emitted can detect this type of elements, but this would mean that the rest of the objects would not be measured with the same precision.

### **9.2.2 DESIGN IMPROVEMENT**

As a consequence of the previous section, a new design for the baton can be considered. The main difference that could exist is the considerable reduction in the diameter where the sensors are located, this would make the device more ergonomic. On the other hand, the shape of the upper part could be considered, since we made it flat as a way of identifying the parts, but it could be more comfortable using the circular shape.

### **9.2.3. CLEAN CODE PRODUCTION**

One of the major drawbacks of this project has been the implementation of the code to meet all the requirements we envisaged. This is why we had to replace some of the code that we had integrated with the original code in order to fulfill the desired functionality and this made the code less clean. The following are some of the points to improve it.

- Substitution of the AnalogWrite instruction by the EasyBuzzer() function. One of the main ideas was to use the Buzzer with the EasyBuzzer function, but it was decided to send simple PWM signals because it did not comply with the instructions requested.
- Consider the considerable jumps in the measurement readings. There have been circumstances in which the data provided by the sensors do not correspond to the real measurements or that considerable changes in distances such as the heights of the steps are not taken into account because we are considering them within the same range.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

[1] *Barreras laborales para las personas invidentes.* (s. f.). Lenstore.es. <https://www.lenstore.es/estudio/barreras-laborales-para-personas-ciegas/#:~:text=3%20de%20cada%204%20personas%20invidentes%20no%20encuentran%20empleo&text=Le%20siguen%20Italia%20y%20Espa%C3%B1a,105.198%20personas%20invidentes%20desempleadas%20C%20respectivamente>

[2] *Canarias registra 106.285 discapacitados, un 15,6 por ciento de la población – SID.* (s. f.). Servicio de información sobre la discapacidad. <https://sid-inico.usal.es/noticias/canarias-registra-106-285-discapacitados-un-156-por-ciento-de-la-poblacion/#:%7E:text=discapacidad%20en%20m%C3%A1s%20de%201%2C2%20millones%20de%20personas.&text=afecta%20a%20sus%20huesos%20o%20articulaciones.&text=segundo%20grupo%20la%20m%C3%A1s%20usual%20es%20la%20de%20extremidades%20inferiores.&text=a%C3%B1os%20y%20las%20visuales%20a%20811.033%20personas>

[3] *Cómo nació el bastón.* (2017, 27 marzo). elcomercio.com. <https://www.elcomercio.com/afull/baston-personas-novidentes-historia-salud.html>

[4] colaboradores de Wikipedia. (2022, 25 mayo). *Bastón blanco*. Wikipedia, la enciclopedia libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Bast%C3%B3n\\_blanco](https://es.wikipedia.org/wiki/Bast%C3%B3n_blanco)

[5] *Bastón blanco tradicional.* (s. f.). [Fotografía]. <https://www.elcomercio.com/afull/baston-personas-novidentes-historia-salud.html>

[6] colaboradores de Wikipedia. (2022a, febrero 24). *Perro guía*. Wikipedia, la enciclopedia libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Perro\\_gu%C3%ADa](https://es.wikipedia.org/wiki/Perro_gu%C3%ADa)

[7] *Perro guía.* (s. f.). [Fotografía]. [zooplus.es. https://www.zooplus.es/magazine/perros/adiestramiento-canino/perros-guia](https://www.zooplus.es/magazine/perros/adiestramiento-canino/perros-guia)

[8] Seth, R. (2013, 14 enero). *Light saber can for the sight impaired!* Yanko Design - Modern Industrial Design News. <https://www.yankodesign.com/2013/01/14/light-saber-can-for-the-sight-impaired/>

[9] Álvarez, R. (2019, 16 noviembre). *weWALK, el bastón para invidentes equipado con google maps, altavoz y que se puede enlazar a un . . .* Xataka. <https://www.xataka.com/wearables/wewalk-baston-para-invidentes-equipado-google-maps-alta-voz-que-se-puede-enlazar-a-smartphone>

[10] Sánchez, M. M. (2021, 25 octubre). *Crean un bastón inteligente para invidentes con navegación integrada.* Nobbot. <https://www.nobbot.com/personas/baston-inteligente-discapacidad-visual-navegacion-integrada/>

[11] colaboradores de Wikipedia. (2022b, mayo 8). *Arduino Uno*. Wikipedia, la enciclopedia libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino\\_Uno#Caracter%C3%ADsticas\\_t%C3%A9cnicas](https://es.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno#Caracter%C3%ADsticas_t%C3%A9cnicas)

[12] *Arduino Uno*. (s. f.). [Fotografía]. [https://es.farnell.com/arduino/abx00003/arduino-board-32bit-arm-cortex/dp/3874819?gclid=Cj0KCQjwma6TBhDIARIsAOKuANwho5FRcKWkaT9yT-iXXk6ismmrqAoxXAN4HLyuK3WVgCnGxQGTW64aAn66EALw\\_wcB&mckv=s1v0AZGGS\\_dc%7Cpcrid%7C491017246493%7Cplid%7C%7Ckword%7C%7Cmatch%7C%7Cslid%7C%7Cproduct%7C3874819%7Cpgrid%7C116132254277%7Cptaid%7Cpla-304188254355&CMP=KNC-GES-GEN-SHOPPING-SMEC-Whoops-Medium-Desktop-Title-Changes-10-Aug-21&gross\\_price=true](https://es.farnell.com/arduino/abx00003/arduino-board-32bit-arm-cortex/dp/3874819?gclid=Cj0KCQjwma6TBhDIARIsAOKuANwho5FRcKWkaT9yT-iXXk6ismmrqAoxXAN4HLyuK3WVgCnGxQGTW64aAn66EALw_wcB&mckv=s1v0AZGGS_dc%7Cpcrid%7C491017246493%7Cplid%7C%7Ckword%7C%7Cmatch%7C%7Cslid%7C%7Cproduct%7C3874819%7Cpgrid%7C116132254277%7Cptaid%7Cpla-304188254355&CMP=KNC-GES-GEN-SHOPPING-SMEC-Whoops-Medium-Desktop-Title-Changes-10-Aug-21&gross_price=true)

[13] A. (2020, 8 agosto). ▷ *Arduino Mega 2560 Características, Especificaciones*. Proyecto Arduino. <https://proyectoarduino.com/arduino-mega-2560/>

[14] E. (2021, 31 marzo). *Tutorial de Arduino Nano [Pinout]*. El Osciloscopio. <https://elosciloscopio.com/tutorial-arduino-nano-pinout/>

[15] G. (s. f.). *LIDAR-Lite v3*. Garmin. <https://www.garmin.com/es-ES/p/557294>

[16] YellowScan. (2020, 8 octubre). *How does UAV 3D LiDAR mapping work? - Resources & Knowledge*. <https://www.yellowscan-lidar.com/es/knowledge/how-lidar-works/>

[17] *Lidar-Lite*. (s. f.). [Fotografía]. [https://docs.px4.io/master/en/sensor/lidar\\_lite.html](https://docs.px4.io/master/en/sensor/lidar_lite.html)

[18] A. (2019, 7 marzo). *TFmini con Arduino (sensor de distancia)*. HETPRO/TUTORIALES. <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/tfmini-con-arduino/>

- [19] *TF MINI*. (s. f.). [Fotografía]. <https://pypi.org/project/tfmini/>
- [20] *TFmini Plus*. (s. f.). ROS Components. <https://www.roscomponents.com/es/lidar-escaner-laser/250-tfmini-plus-.html>
- [21] *TF MINI PLUS*. (s. f.). [Fotografía]. <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/distancia/sensor-lidar-tfmini-plus-sensores-de-distancia-proximidad-lidar-tiempo-de-vuelo-tof-drones-detail#:~:text=Descripci%C3%B3n%3A,el%20sensor%20y%20el%20objeto>
- [22] Sanjuán, F. J. M. (2021, 11 febrero). *Frecuencia absoluta*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/frecuencia-absoluta.html>
- [23] López, J. F. (2021, 20 septiembre). *Media aritmética*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/media-aritmetica.html>
- [24] López, J. F. (2021, mayo 15). *Desviación estándar o típica*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/desviacion-tipica.html>
- [25] *Sensor Ultrasonido HC-SR04*. (s. f.). Naylamp Mechatronics. <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html>
- [26] *HC-SR04 en Arduino: Sensor de distancia ultrasónico*. (2014, 16 mayo). [Fotografía]. <https://www.geekfactory.mx/tutoriales-arduino/hc-sr04-con-arduino-sensor-de-distancia-ultrasonico/>
- [27] *Esquema sensor ultrasónico HC-Sr04*. (s. f.). [Fotografía]. [https://naylampmechatronics.com/blog/10\\_tutorial-de-arduino-y-sensor-ultrasonico-hc-sr04.html](https://naylampmechatronics.com/blog/10_tutorial-de-arduino-y-sensor-ultrasonico-hc-sr04.html)
- [28] More, J. (2014, 12 enero). *¿Como funciona el vibrador de tu celular?* Gadgerss. <https://gadgerss.com/2014/01/12/como-funciona-el-vibrador-de-tu-celular/>
- [29] Hernández, L. D. V. (2022, 13 enero). *Zumbador o buzzer con Arduino y librería EasyBuzzer*. Programar fácil con Arduino. <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/buzzer-con-arduino-zumbador/>

[30] *Esquema buzzer con Arduino.* (s. f.). [Fotografía].  
[https://www.hwlibre.com/buzzer/?utm\\_source=feedburner&utm\\_medium=feed&utm\\_campaign=Feed%3A+hwlibreweb+%28Hardware+libre%29](https://www.hwlibre.com/buzzer/?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+hwlibreweb+%28Hardware+libre%29)

[31] *¿Que es un circuito Boost?* (s. f.). Uvapi.Com.  
<https://uvapi.com/circuito-elevador-boost/#:%7E:text=Un%20circuito%20boost%20es%20un,por%20medio%20de%20ciclos%20constante>

[32] J. (2015, 24 marzo). *Librerías.* Aprendiendo Arduino.  
<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/24/librerias/>

[33] Codificada, C. (2020, 15 mayo). *Librería TimerOne en Arduino.* Creatividad Codificada.  
<https://creatividadcodificada.com/arduino/libreria-timerone-en-arduino/>

[34] U., & Perfil, V. T. M. (s. f.). *Biblioteca Software Serial.* ManuelDelgadoCrespoBlog.  
<http://manueldelgadocrespo.blogspot.com/p/biblioteca.html>

[35] Carmenate, J. G. (2021, 11 mayo). *Función millis y micros de Arduino.* Programar fácil con Arduino. <https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/millis-micros-arduino/>

[36] González, A. G. (2015, 10 marzo). *El setup y el loop en Arduino.* Panama Hitek.  
<http://panamahitek.com/el-setup-y-el-loop-en-arduino/#:%7E:text=El%20setup%20es%20la%20primera,que%20requieren%20una%20ejecuci%C3%B3n%20%C3%BAnica>

[37] Shapr3D. (s. f.). [Fotografía]. <https://www.crunchbase.com/organization/shapr3d>

[38] *Ultimaker Cura.* (s. f.). [Fotografía].  
<https://es.taiwebs.com/windows/download-ultimaker-cura-7179.html>

[39] *AutoCad.* (s. f.). [Fotografía]. <https://www.freepng.es/png-gaodpi/>

[40] *Arduino.* (s. f.). [Fotografía]. <https://es.logodownload.org/arduino-logo/>

[41] *BW\_TFDS.* (s. f.). [Fotografía]. <https://www.ti.com/tool/BW-3P-TFMINI-S>

[42] *Microsoft Excel*. (s. f.). [Fotografía]. <https://es.logodownload.org/?s=excel>

[43] Google docs. (s. f.). [Fotografía]. <https://logos.es>

[44] *Word*. (s. f.). [Fotografía]. [logodownload.org. https://es.logodownload.org/?s=word](https://es.logodownload.org/?s=word)

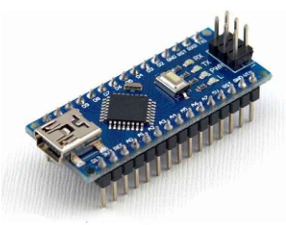
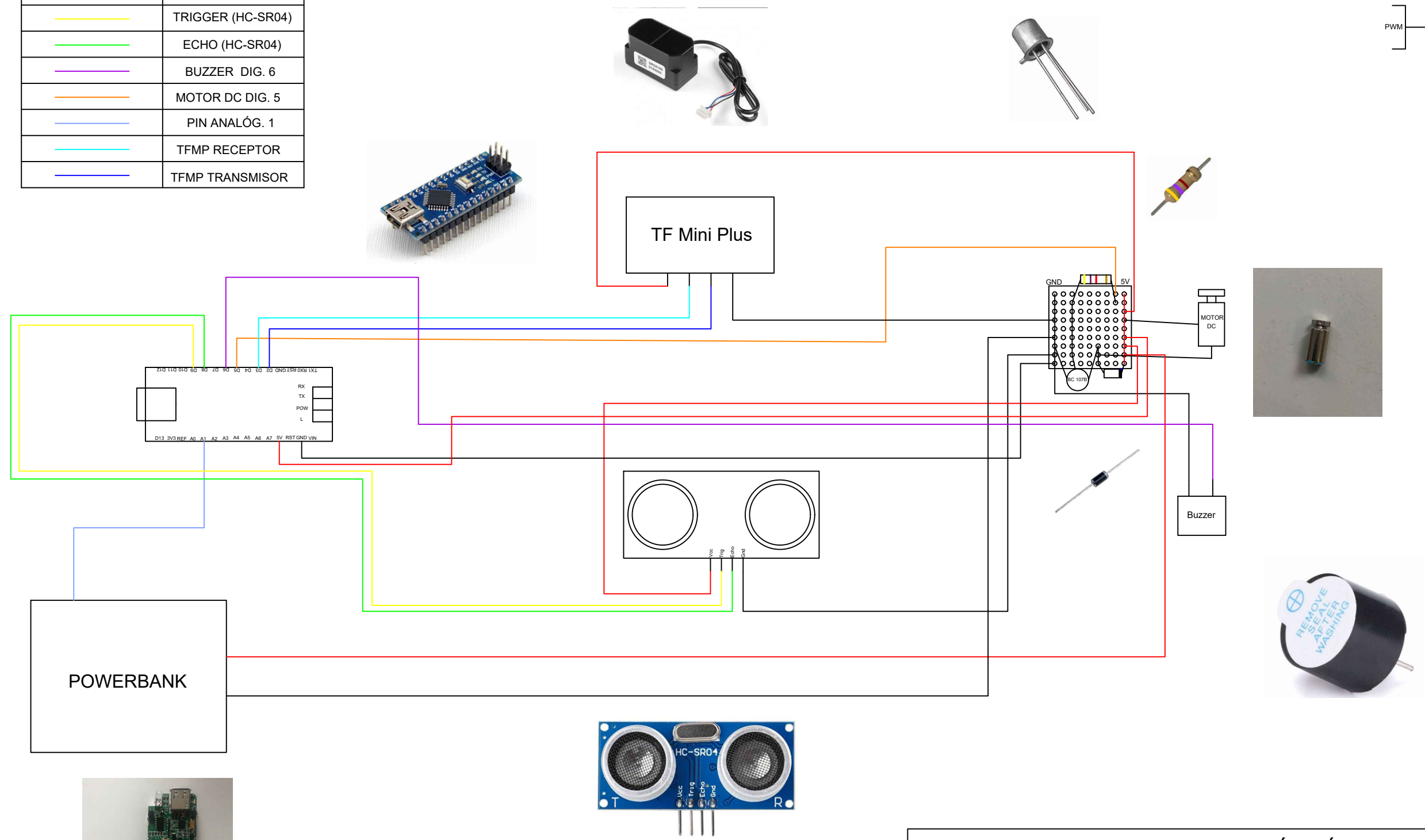
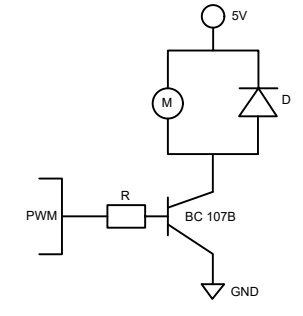


# ANEXOS

**ANEXO I:**  
**ESQUEMA CONEXIONADO**

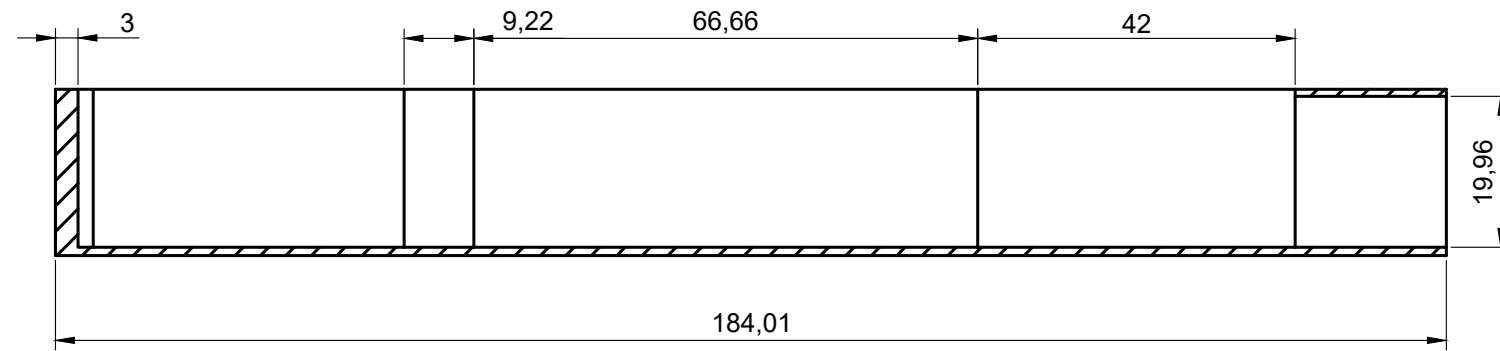
LEYENDA	
	GND
	5 V DC
	TRIGGER (HC-SR04)
	ECHO (HC-SR04)
	BUZZER DIG. 6
	MOTOR DC DIG. 5
	PIN ANALÓG. 1
	TFMP RECEPTOR
	TFMP TRANSMISOR

Circuito de protección para motor

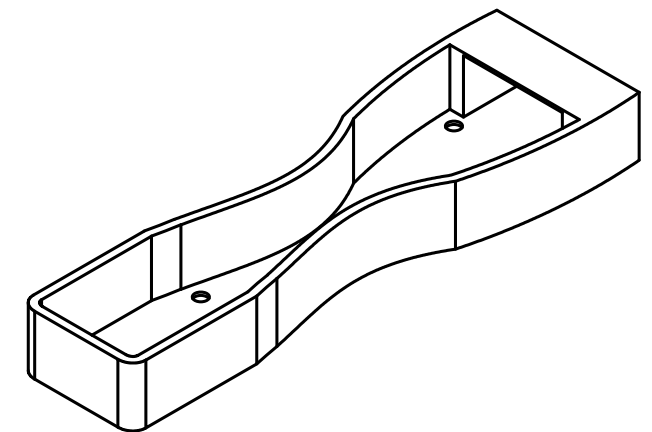
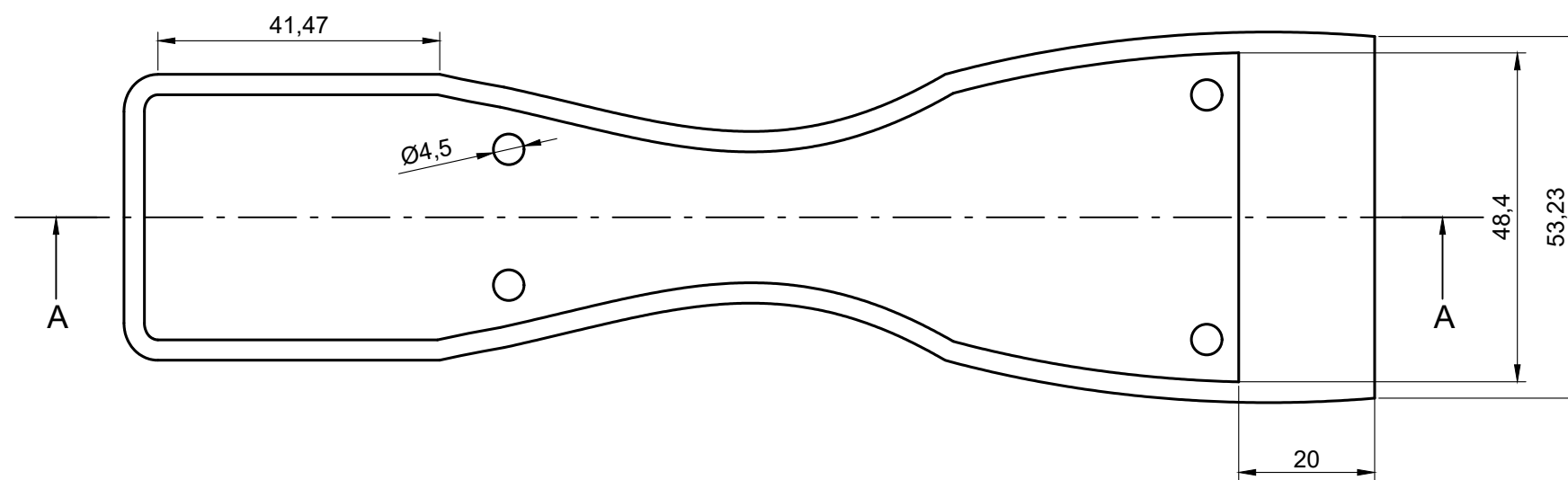
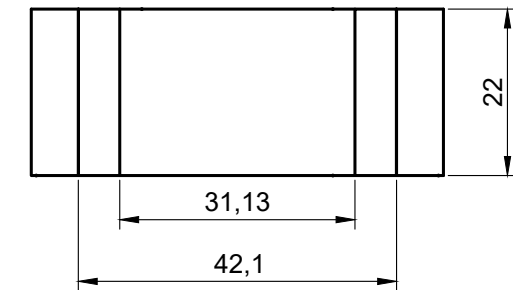


TFG - BASTÓN LÁSER			
Autores	Enrique Gil García	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática
	Carlos Armando Rondón Almonte		
Fecha	JUNIO 2022		
ESCALA: E 1:1	ESQUEMA CONEXIONADO DEL PROTOTIPO		Nº P.: 1 Nom. Arch: Esquema de conexionado.dwg

**ANEXO II:  
PLANOS PROTOTIPO**

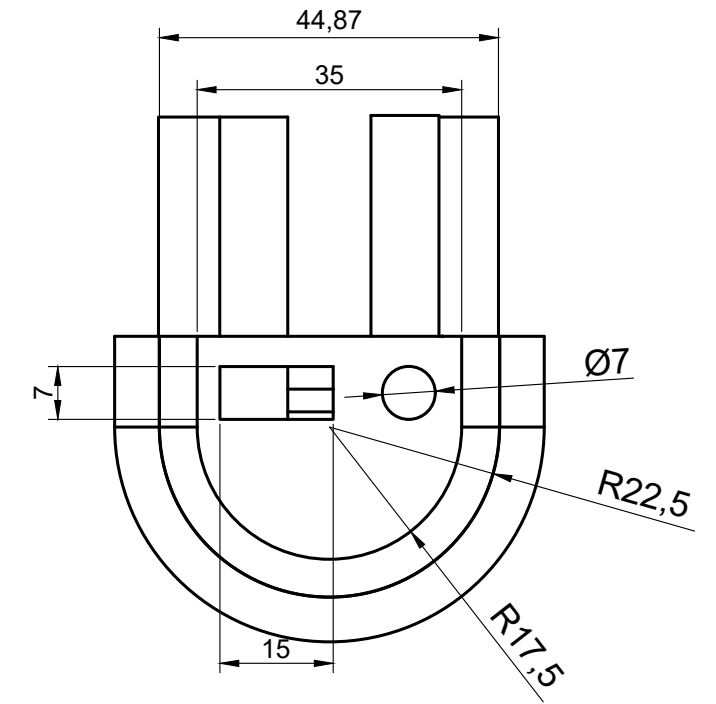
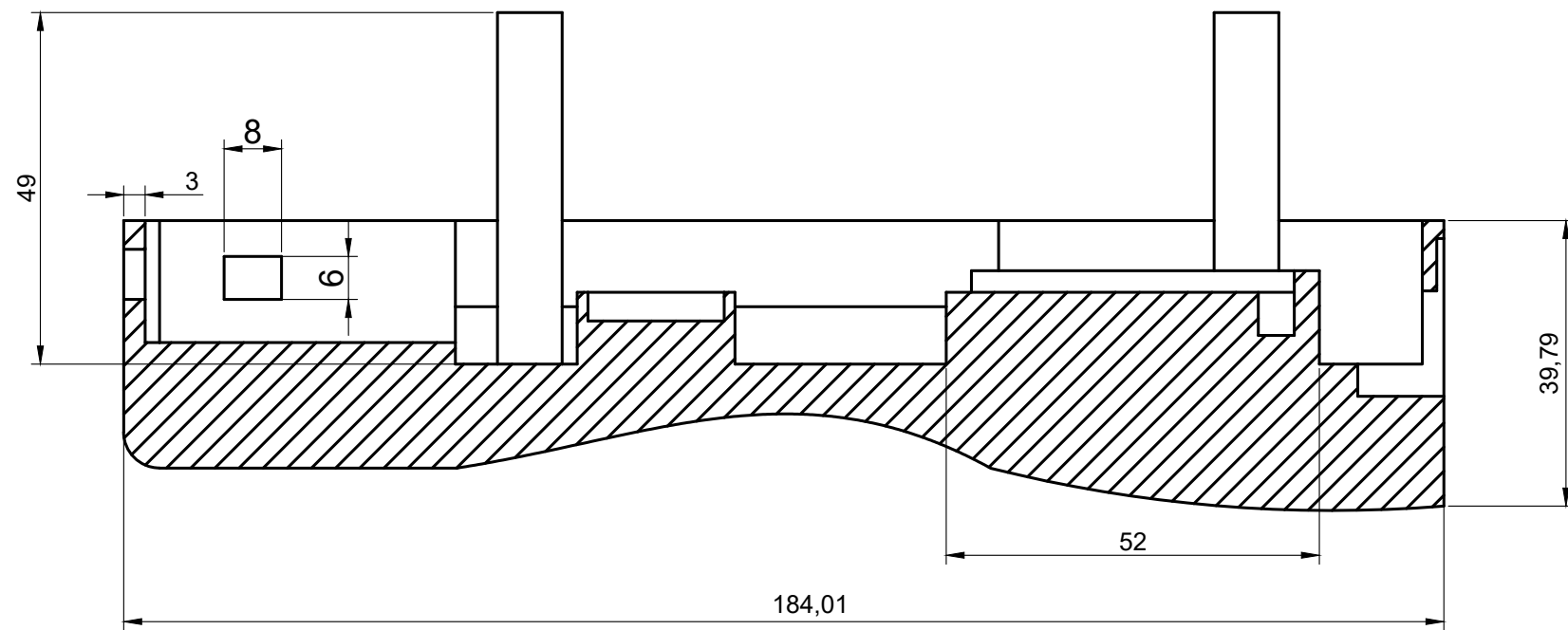


CORTE A-A

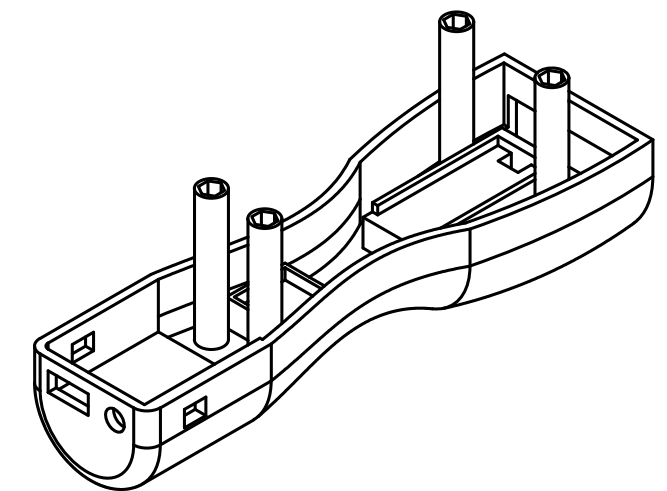
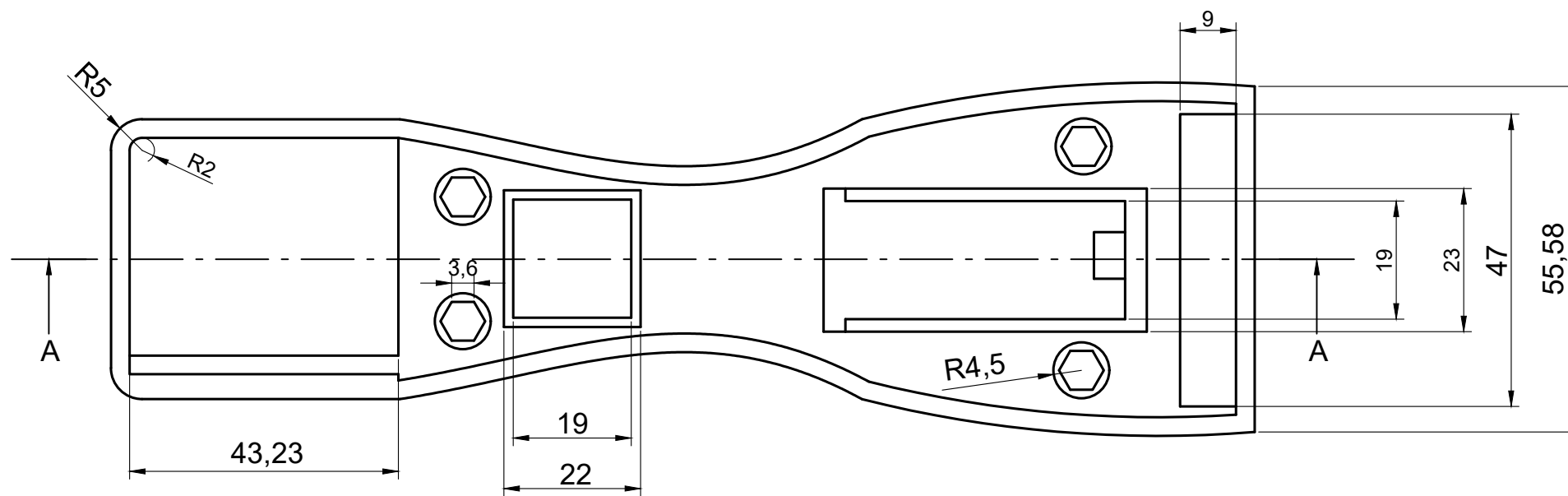


ESCALA 1:2

TFG - BASTÓN LÁSER			
Autores	Enrique Gil García	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática
	Carlos Armando Rondón Almonte		
Fecha	JUNIO 2022		
ESCALA: E 1:1	DIMENSIONES PARTE SUPERIOR PROTOTIPO		Nº P.: 2.2 Nom. Arch: Plano parte superior.dwg

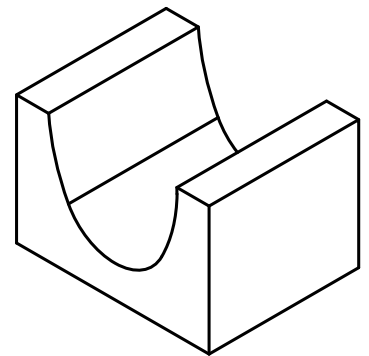
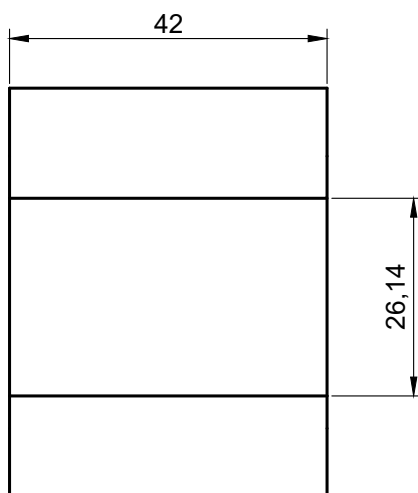
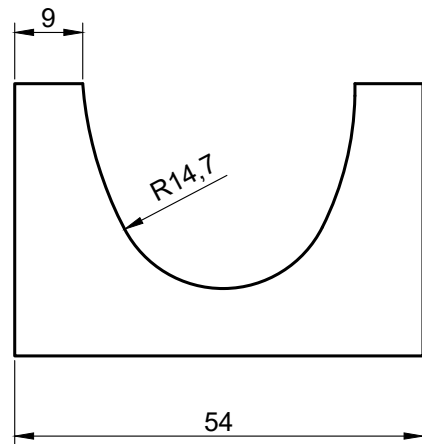


CORTE A-A



ESCALA 1:2

TFG - BASTÓN LÁSER			
Autores	Enrique Gil García		ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática
	Carlos Armando Rondón Almonte		
Fecha	JUNIO 2022		
ESCALA: E 1:1	DIMENSIONES PARTE INFERIOR PROTOTIPO		Nº P.: 2.1 Nom. Arch: Plano parte inferior.dwg



ESCALA 2:1

## TFG - BASTÓN LÁSER

Autores	Enrique Gil García	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática
	Carlos Armando Rondón Almonte		
Fecha	JUNIO 2022		
ESCALA: E 3:1	DIMENSIONES SOPORTE BUZZER		Nº P.: 2.3 Nom. Arch: Soporte buzzer.dwg

**ANEXO III:**  
**ESTUDIO DE LOS SENSORES**



1 medida: techo ( sin enfocar directamente a la luz)

TFMP	TFMP (lumi)	TFM	TFM(lumi)	Garming
255	2747	256	103	254
254	2747	256	103	255
254	2750	257	104	254
254	2753	257	104	254
255	2752	257	103	254
254	2749	257	104	254
254	2748	256	103	254
255	2747	256	103	254
255	2748	256	103	254
254	2742	256	104	255
255	2751	257	104	255
255	2747	257	104	255
255	2746	257	103	255
255	2751	257	104	255
255	2747	257	104	255
255	2747	256	103	255
254	2743	256	104	255
254	2746	257	104	255
254	2752	257	104	256
255	2750	256	103	256
255	2746	256	104	255
255	2750	256	103	255
254	2750	256	104	255
254	2745	256	104	256
254	2750	256	103	256
254	2747	256	103	256
255	2749	256	103	255
255	2745	257	104	256
255	2744	256	104	254
254	2742	256	103	255
254	2741	256	103	254
255	2741	256	104	256
255	2749	256	103	255
255	2749	256	103	256
255	2748	256	104	256
255	2744	256	103	255
254	2741	256	104	256
255	2750	256	104	255
255	2742	257	103	255
254	2747	256	104	254
255	2753	256	103	254
255	2751	256	103	255
254	2744	256	103	255
254	2746	256	103	255
255	2748	257	104	254

2 medida: techo (enfocando a la luz)

TFMP	TFMP (lumi)	TFM	TFM(lumi)	Garming
0	-1	232	302	252
248	6234	233	303	253
0	-1	233	302	253
0	-1	233	304	252
0	-1	240	304	253
0	-1	242	305	253
0	-1	245	305	253
0	-1	247	307	252
0	-1	247	306	253
0	-1	247	306	254
0	-1	247	307	253
0	-1	247	306	254
0	-1	254	310	254
0	-1	256	311	254
248	6791	259	312	254
0	-1	260	313	254
248	6224	261	313	254
248	6225	263	313	254
0	-1	262	313	254
0	-1	262	312	253
0	-1	231	264	252
0	-1	231	264	251
0	-1	231	264	251
0	-1	230	264	251
247	7334	230	265	251
248	6365	233	268	251
248	6277	233	267	251
0	-1	233	267	251
247	5894	233	268	251
0	-1	233	267	254
247	7055	232	267	255
247	7083	232	266	254
0	-1	233	267	253
0	-1	59737	2816	254
0	-1	233	266	254
0	-1	233	266	255
247	6562	233	266	255
247	5939	230	264	254
247	5919	230	264	255
0	-1	230	265	255
247	7194	230	265	255
246	5894	230	265	256
0	-1	230	264	256
247	6537	230	264	255

3º medida (pizarra)

TFMP	TFMP (lumi)	TFM
130	1375	130
130	1381	130
128	1376	130
130	1365	130
130	1372	130
130	1373	130
130	1368	130
130	1370	130
129	1334	130
129	1340	130
129	1296	130
129	1274	131
129	1238	129
130	1224	129
130	4752	129
129	4750	130
128	4656	130
128	4652	130
129	4663	130
129	4577	130
129	4513	130
129	4511	130
129	4515	129
129	4522	129
129	4540	129
129	4502	130
129	4500	130
129	4526	129
129	4547	129
129	4628	130
128	4375	130
128	4446	129
129	4449	129
129	4443	129
129	4530	129
128	4610	129
127	4654	129
127	4536	128
128	4470	129
128	4453	129
128	4376	129
128	4584	129
127	4646	129
128	4671	129
128	4479	129

255	2737	256	104	254
255	2743	256	104	254
255	2747	256	103	254
254	2744	256	103	255
254	2738	256	103	254
255	2746	256	103	253
254	2745	256	103	254
254	2744	256	103	253
254	2743	257	103	254
254	2744	256	103	254
254	2748	257	103	253
254	2742	256	103	253
254	2738	257	103	253
255	2743	257	103	253
255	2744	256	103	255
254	2739	257	103	255
255	2740	257	103	256
255	2739	256	103	255
255	2741	257	103	256
254	2740	256	103	255
254	2740	256	103	256
254	2740	256	103	255
254	2743	256	102	256
254	2741	257	103	256
254	2741	257	103	255
254	2740	257	103	255
255	2736	257	103	255
254	2740	257	103	255
254	2736	256	103	255
254	2731	256	103	257
254	2739	257	103	256
255	2741	257	103	255
254	2740	256	103	256
254	2738	257	103	255
254	2740	257	103	255
254	2733	257	103	255
254	2739	257	103	255
254	2734	257	103	255
254	2738	257	103	256
254	2736	257	103	256
254	2733	257	103	256
254	2734	257	103	256
254	2737	257	103	255
254	2741	256	103	256
254	2731	257	103	256
254	2737	257	103	256
254	2745	257	103	256
254	2730	257	103	255
254	2743	257	103	256
254	2732	257	103	255

0	-1	230	263	256
0	-1	230	264	255
0	-1	230	263	255
248	7062	231	263	256
248	8306	231	263	255
0	-1	231	263	254
248	7036	231	263	255
0	-1	231	263	255
0	-1	232	264	255
0	-1	232	263	255
0	-1	232	263	255
248	7631	232	263	254
0	-1	231	262	254
248	7477	231	263	254
0	-1	231	263	254
249	8690	236	249	251
249	8663	236	248	252
249	8647	236	248	252
0	-1	244	258	252
0	-1	245	258	252
0	-1	245	258	252
248	9609	245	258	253
248	9108	245	259	252
0	-1	247	4	252
248	7983	247	261	253
248	7910	261	277	252
248	8851	261	277	253
248	7669	261	277	254
247	6493	260	277	254
0	-1	237	247	253
0	-1	237	246	253
247	7830	237	245	253
248	8548	237	250	253
248	8413	237	249	252
0	-1	236	247	255
248	8690	236	247	256
248	9558	236	246	255
248	8763	236	247	255
248	8807	236	247	255
248	8822	236	246	256
0	-1	236	246	255
0	-1	236	246	255
248	9945	236	246	257
248	8857	236	246	255
248	8787	236	246	255
248	8785	236	246	256
0	-1	236	246	255
248	8739	236	246	255
248	8877	236	246	255
0	-1	235	245	255

128	4421	129
128	4361	129
128	4286	129
128	4398	129
128	4386	128
128	4348	128
128	4350	128
127	4351	128
128	4285	128
128	4194	128
127	4226	128
127	4188	129
127	4270	128
128	4132	129
128	4072	129
128	4134	129
129	4121	129
128	4116	130
129	4075	130
129	4078	129
129	4074	129
128	4081	129
128	4135	127
125	4003	126
125	4100	126
125	4110	126
125	4202	126
125	4207	126
125	4218	126
125	4292	126
125	4283	126
125	4265	126
126	4154	126
126	4151	126
126	4151	126
126	4094	127
126	4090	126
133	4643	126
133	4681	138
133	4695	138
133	4695	138
133	4699	138
133	4703	138
136	4538	138
136	1321	134
135	4292	134
134	3961	134
135	3831	135
136	3883	135
135	3881	135

254	2739	256	102	256
254	2730	257	103	255
254	2732	257	103	256
254	2737	257	103	256
254	2738	257	102	255
254	2735	257	103	255

248	8833	236	246	256
248	8824	236	245	255
248	9406	235	245	255
248	8860	235	245	255
248	8872	235	245	255
248	8780	235	245	255

135	3867	135
136	3833	134
136	3853	134
135	3738	134
135	3754	134
135	3747	134

4 medida ( suelo )

TFM(lumi)	Garming
162	130
164	132
164	131
164	132
163	131
163	132
156	133
154	132
154	133
151	131
151	130
148	130
154	131
153	130
153	131
152	132
149	131
149	131
148	130
149	129
150	130
151	130
152	130
152	130
152	130
151	130
153	130
152	129
152	127
152	127
152	127
151	126
152	128
151	128
151	128
148	128
155	128
152	127
151	127
151	128
152	129
149	127
146	128

TFMP	TFMP (lumi)	TFM	TFM(lumi)	Garming
114	3057	114	3057	113
113	3066	113	3066	113
113	3083	113	3083	115
113	3091	113	3091	115
114	3113	114	3113	113
114	3128	114	3128	117
114	3140	114	3140	117
114	3179	114	3179	119
114	3214	114	3214	118
114	3508	114	3508	118
114	3455	114	3455	117
113	3469	113	3469	117
113	3432	113	3432	116
113	3608	113	3608	119
113	3621	113	3621	119
113	3626	113	3626	113
113	3638	113	3638	113
112	4090	112	4090	113
113	5091	113	5091	115
113	5065	113	5065	114
113	4808	113	4808	115
115	5524	115	5524	115
115	5646	115	5646	113
114	5281	114	5281	115
114	5293	114	5293	114
113	4972	113	4972	116
113	4962	113	4962	115
114	5103	114	5103	116
114	5122	114	5122	116
115	6025	115	6025	116
115	6138	115	6138	117
115	5655	115	5655	116
114	4691	114	4691	117
114	5037	114	5037	114
115	5118	115	5118	116
115	5143	115	5143	114
115	5166	115	5166	114
115	5184	115	5184	113
115	5262	115	5262	114
115	5485	115	5485	114
115	5020	115	5020	115
115	4976	115	4976	112
115	5091	115	5091	114
115	5282	115	5282	114
115	5270	115	5270	113

5 medida ( suelo + obstaculo)

TFMP	TFMP (lumi)	TFM	TFM(lumi)	Garming
120	2499	122	302	125
120	2499	121	304	125
120	2501	121	302	125
121	2506	121	302	124
120	2500	121	301	127
120	2498	121	300	127
120	2494	141	569	123
120	2490	141	569	124
120	2479	141	567	125
123	2286	142	558	123
122	2347	142	559	122
122	2349	141	561	122
117	2417	118	333	120
117	2420	118	332	120
117	2419	118	333	119
117	2423	118	332	118
117	2412	118	332	120
117	2398	118	279	119
117	2391	118	273	120
117	2396	118	271	120
117	2308	118	269	119
117	2483	118	270	120
116	2560	117	327	121
116	2623	117	329	120
116	2623	117	328	122
116	2605	117	332	120
116	2601	117	332	121
116	2625	117	335	121
116	2514	117	334	120
116	2492	118	312	122
116	2427	118	314	122
116	2428	118	313	122
116	2483	118	303	123
116	2479	118	301	122
117	2425	119	279	123
116	2433	118	283	122
116	2403	118	286	122
116	2407	118	290	123
117	2434	118	292	122
117	2433	117	327	123
116	2496	117	326	121
116	2496	117	327	126
116	2499	117	327	124
116	2500	117	327	124
116	2463	117	326	124

147	128
146	127
142	127
142	127
141	129
144	128
143	129
143	130
144	128
142	129
142	129
140	131
139	128
138	130
140	128
141	128
141	128
138	129
138	128
139	127
137	126
143	126
133	126
142	126
143	127
149	126
153	127
158	127
153	127
153	129
152	129
153	130
152	129
149	127
149	127
150	126
149	125
149	132
130	134
128	132
128	133
128	135
128	136
129	135
113	136
113	136
112	137
115	137
115	136
114	135

115	5165	115	5165	117
115	5139	115	5139	114
114	5088	114	5088	117
114	5040	114	5040	117
114	5061	114	5061	117
115	4971	115	4971	117
114	4831	114	4831	118
114	4451	114	4451	118
114	4211	114	4211	118
114	4073	114	4073	119
114	3633	114	3633	118
114	3457	114	3457	118
113	3472	113	3472	117
114	3638	114	3638	118
114	3389	114	3389	119
114	3541	114	3541	118
114	3387	114	3387	117
113	3588	113	3588	118
114	3450	114	3450	118
114	3773	114	3773	119
114	3616	114	3616	118
114	3142	114	3142	119
114	3240	114	3240	117
114	3091	114	3091	117
114	2869	114	2869	117
114	2790	114	2790	117
115	2519	115	2519	117
115	2370	115	2370	115
115	2345	115	2345	118
115	2361	115	2361	118
115	2358	115	2358	118
115	2372	115	2372	118
115	2357	115	2357	118
115	2378	115	2378	118
115	2442	115	2442	118
114	2845	114	2845	118
114	2783	114	2783	120
114	2773	114	2773	117
114	2731	114	2731	118
114	2697	114	2697	114
113	2813	113	2813	114
114	2829	114	2829	117
114	2782	114	2782	116
115	2774	115	2774	118
114	2788	114	2788	119
115	2782	115	2782	117
115	2789	115	2789	117
115	3064	115	3064	117
115	3062	115	3062	117
116	2703	116	2703	118

116	2405	117	338	123
116	2431	117	338	122
116	2438	117	337	124
116	2417	117	337	123
116	2422	117	333	124
116	2421	117	328	124
117	2374	117	327	120
117	2403	118	315	120
117	2302	118	312	121
117	2303	118	316	122
117	2268	118	299	123
117	2270	118	291	123
117	2249	118	291	123
117	2232	118	290	121
117	2233	119	255	120
117	2159	5995	253	121
117	2217	117	281	124
117	2222	117	289	122
117	2191	117	291	122
116	2330	117	293	123
116	2345	117	294	122
116	2340	118	248	121
116	2345	118	249	124
117	2324	118	253	121
117	2317	118	258	122
30041	-9984	117	323	123
117	2256	118	328	122
117	2260	118	327	123
116	2332	118	327	122
116	2331	118	329	122
116	2346	118	328	125
117	2319	119	280	124
117	2313	119	291	124
117	2281	118	306	125
117	2284	118	314	123
118	2286	119	314	124
118	2229	119	312	124
117	2236	119	312	123
117	2251	119	314	124
117	2268	119	316	125
117	2258	120	286	124
117	2262	119	289	125
117	2203	119	307	124
118	2160	119	307	123
118	2133	119	306	125
118	2127	120	291	124
118	2131	120	292	125
118	2132	120	292	125
118	2112	120	279	125
119	2109	120	264	125

113	137
115	136
115	135
115	136
115	135
115	135

113	2782	113	2782	114
115	2723	115	2723	116
114	2799	114	2799	115
114	2785	114	2785	119
115	2637	115	2637	119
115	2632	115	2632	120

119	2060	120	222	125
118	2056	121	221	126
119	2049	120	222	124
119	2049	121	230	125
119	2043	121	227	124
119	2039	119	300	124

6 medida ( fondo a fondo de clase)

7 medida persona

8º medida persona lejos

TFMP	TFMP (lumi)	TFM	TFM(lumi)	Garming
784	355	787	131	792
783	361	787	131	794
783	361	787	130	792
783	359	786	130	793
784	362	787	130	795
785	356	787	129	794
783	362	787	129	792
783	360	787	129	795
784	364	787	129	797
784	357	787	128	787
786	354	787	128	789
786	353	787	128	789
786	354	787	128	790
785	360	787	126	793
783	351	787	127	790
783	349	787	127	789
783	364	787	127	789
783	353	787	126	790
785	353	787	126	790
782	350	788	126	792
782	350	788	125	791
784	351	787	125	788
784	351	787	125	789
784	355	787	124	790
784	349	787	125	794
781	347	787	124	789
782	352	788	124	789
784	351	788	124	789
782	352	787	123	789
784	354	787	124	788
785	356	787	123	790
785	344	787	124	791
783	345	787	123	788
782	347	787	123	789
783	351	787	122	788
783	344	787	123	791
784	348	787	122	790
783	348	787	122	790
784	343	787	122	790
784	343	787	122	789
786	351	788	122	790
783	338	787	121	793
785	341	787	121	791
784	345	787	120	789
783	352	787	120	790

TFMP	TFMP (lumi)	TFM	TFM(lumi)	Garming
49	8895	54	161	47
49	8916	54	161	44
49	8930	53	162	45
49	8946	54	162	47
49	8958	52	178	52
49	8965	52	176	52
49	8981	52	176	52
49	9000	52	175	52
47	9010	52	175	51
48	8828	53	163	52
47	9088	51	169	51
47	9070	51	167	51
47	8930	51	168	51
46	8782	52	168	51
46	8889	51	168	48
46	8949	50	191	47
46	8958	50	189	47
46	8958	50	189	47
47	8959	50	190	47
47	8948	50	190	48
47	8503	50	191	48
46	8631	12889	49920	48
47	8821	50	181	48
47	8829	51	193	50
47	8379	51	204	51
47	8335	51	203	52
47	8333	51	187	52
47	8331	52	187	52
47	8163	52	202	52
48	7760	51	202	52
49	7633	51	201	51
49	8007	52	115	51
50	7263	51	201	52
50	7285	51	205	52
50	7442	51	209	52
49	7516	51	197	52
49	7381	51	197	51
49	7390	51	197	51
49	7401	51	197	52
49	7408	51	197	51
49	7453	51	197	51
50	7443	52	192	51
50	7522	52	197	52
50	7855	51	198	51
50	7817	51	198	51

TFMP	TFMP (lumi)	TFM
250	2124	304
249	2138	605
249	2134	606
249	2133	606
250	2135	570
250	2140	572
250	2144	575
251	2143	284
257	2112	275
253	2148	267
251	2117	267
252	2157	256
247	2232	254
247	2201	253
246	2127	253
246	2107	253
245	2133	254
245	2066	252
245	2134	251
245	2078	252
245	2097	252
244	2255	252
243	2333	252
242	2379	252
242	2382	252
242	2382	252
242	2375	252
242	2387	252
242	2391	252
242	2395	252
242	2395	252
242	2405	251
243	2361	251
243	2336	251
243	2330	251
243	2223	251
245	2029	254
247	1979	256
247	1993	255
251	2020	255
254	1851	254
253	2004	254
253	2072	254
256	1966	254
249	1997	256

782	345	787	120	788
783	344			
784	346	787	121	793
783	339	787	120	795
784	340	788	118	793
785	348	788	118	789
783	341	788	118	789
782	338	788	118	791
782	334	788	121	792
781	342	788	121	791
781	342	788	120	789
782	341	787	120	788
784	342	788	120	788
783	343	788	118	789
783	344	788	119	789
783	334	788	119	792
785	337	788	119	792
784	332	788	118	789
784	338	788	118	787
782	341	788	119	789
781	333	788	118	790
783	334	788	118	793
783	328	788	118	788
782	332	788	118	790
784	342	788	118	791
786	333	788	118	794
782	342	788	117	793
783	336	788	117	792
784	333	788	117	791
782	328	788	117	791
785	341	788	117	793
787	331	788	116	794
782	328	788	116	791
784	332	788	117	791
783	336	788	116	792
783	328	788	116	787
784	333	788	116	789
783	332	788	116	791
783	332	788	116	787
782	335	788	116	789
783	334	788	115	789
783	331	788	115	790
781	332	788	115	789
782	332	788	115	788
784	332	788	115	789
781	335	788	115	789
784	329	788	114	788
781	333	788	114	788
782	337	788	115	789
782	332	788	114	790

49	7860	51	199	50
50	7882	51	199	51
50	7870	51	199	51
50	7638	51	203	50
50	7456	51	202	50
50	7441	50	216	49
49	7474	49	218	50
50	7462	49	218	51
49	7475	49	218	50
49	7510	49	218	50
48	7477	49	218	50
48	7483	49	219	51
48	7487	50	217	50
48	7513	50	216	51
49	7538	50	215	50
48	7490	50	211	50
49	7457	51	185	50
49	7544	51	185	50
50	7395	51	184	50
49	7287	51	185	51
49	7352	51	190	52
49	7797	51	197	51
48	8295	51	189	50
49	8436	51	189	51
48	8610	51	191	51
48	8511	51	190	50
48	8468	49	217	49
49	8163	49	220	50
48	7984	49	219	50
48	7633	49	219	49
48	7429	49	220	49
48	7459	48	210	50
48	7584	49	208	49
47	7659	49	209	50
47	7660	49	208	50
47	8123	49	217	50
46	8453	49	214	51
47	8350	49	211	50
47	8344	49	212	52
47	8267	48	218	51

250	1995	257
250	1963	257
254	1842	257
254	1813	257
253	1806	257
253	1812	257
253	1810	257
255	1757	255
255	1766	255
253	1812	256
253	1782	276
252	1877	276
251	1971	276
251	1907	276
255	1743	278
275	1404	284
267	1494	286
296	1139	281
301	1092	284
283	1279	336
295	1148	348
266	1508	513
294	1152	513
361	775	582
381	716	599
387	703	520
548	567	516
561	569	424
557	564	425
530	562	356
457	599	367
519	565	383
370	742	376
425	638	483
424	633	479
424	631	473
547	566	471
548	559	468
546	565	391
467	597	385
497	574	384
497	570	560
438	620	569
487	579	573
486	573	576
566	564	594
583	573	597
584	574	597
587	576	597
576	557	264



783	332	789	114	787
781	328	789	115	788
781	330	789	114	789
782	334	789	113	791
782	336	788	114	790
781	330	789	114	788

578	556	264
265	1696	385
264	1737	392
255	1800	400
259	1837	407
259	1824	413

9ºmedida(escalera)

TFM(lumi)	Garming
344	246
202	251
202	252
201	252
191	248
191	246
190	244
399	246
437	247
476	244
469	243
786	243
538	243
553	243
553	244
552	247
551	243
683	242
657	242
663	242
669	244
702	243
704	243
700	242
703	243
701	243
701	243
701	246
699	251
701	247
698	245
651	245
649	249
648	252
648	257
647	251
660	253
659	252
618	587
665	255
666	552
664	258
664	592
665	591
674	589

TFMP	TFMP (lumi)	TFM	TFM(lumi)	Garming
207	1122	248	273	186
207	1116	250	267	183
207	1117	250	267	184
205	1115	250	268	184
207	1111	250	268	183
206	1111	249	269	186
207	1109	249	269	182
208	1095	250	270	181
207	1112	250	270	180
207	1092	250	270	178
207	1099	250	268	180
206	1127	250	267	181
207	1112	250	267	185
206	1092	251	263	184
206	1166	252	264	182
206	1167	243	277	182
206	1167	246	269	179
206	1178	245	274	180
207	1116	245	274	181
206	1192	239	300	183
206	1173	239	300	181
204	1205	238	303	179
205	1223	238	303	179
201	1236	236	320	182
202	1249	236	320	183
202	1245	236	319	181
201	1246	234	323	176
201	1245	234	323	177
202	1246	234	324	177
201	1242	234	324	177
199	1257	234	324	178
200	1247	232	325	180
201	1243	228	326	178
199	1257	232	323	177
202	1224	233	320	179
187	1382	234	320	182
194	1303	236	308	179
196	1261	235	312	176
201	1227	235	312	178
202	1221	235	311	176
201	1229	234	313	176
200	1231	235	304	179
200	1223	235	303	181
201	1231	236	297	176
201	1235	236	300	175

10º medida(cristal)

TFMP	TFMP (lumi)	TFM	TFM(lumi)	Garming
0	26	65535	16	1
0	25	65535	16	1
0	30	65535	19	1
0	21	65535	18	1
0	31	65535	18	1
0	28	65535	18	406
0	19	65535	19	181
0	31	65535	17	1
0	24	65535	17	393
0	26	65535	17	1
0	34	65535	16	1
0	19	65535	15	220
0	18	65535	16	198
0	22	65535	15	1
0	23	65535	15	198
0	21	65535	15	1
0	29	65535	14	1
0	28	65535	14	1
0	23	65535	12	1
0	28	65535	12	171
0	21	65535	12	210
0	19	65535	12	1
0	22	65535	12	1
0	26	65535	12	1
0	18	65535	13	1
0	17	65535	12	189
0	21	65535	13	1
0	20	65535	12	219
0	14	65535	12	1
0	21	65535	14	1
0	15	65535	14	216
0	22	65535	14	229
0	18			
0	-1	97	218	155
0	-1	98	215	156
0	-1	98	213	154
0	-1	98	212	153
0	-1	99	211	150
0	-1	99	212	151
0	-1	89	499	155
0	-1	89	502	152
0	-1	89	499	153
88	4283	89	488	150

11ºmedida(prueba movil)

TFMP
232
234
236
237
237
238
239
256
246
228
210
187
187
194
193
178
172
174
173
159
161
150
154
146
151
154
155
148
145
147
149
155
154
149
153
150
146
146
145
150
146
149
156
155
155

677	591
672	588
671	587
672	592
674	252
672	248
672	582
660	589
671	589
672	588
509	587
511	588
517	588
524	591
512	591
467	590
493	587
525	587
472	584
340	585
313	589
187	592
187	593
194	593
198	584
188	592
189	586
234	579
230	583
297	586
281	586
279	590
296	586
197	590
199	581
203	581
205	593
205	585
279	581
268	582
277	582
185	590
188	592
190	593
189	592
193	591
195	592
195	591
195	254
473	262

199	1241	217	332	176
201	1242	215	338	173
197	1248	215	339	176
178	1430	215	339	176
184	1379	215	338	174
184	1376	215	339	173
184	1372	216	333	173
184	1370	219	329	173
184	1369	219	331	177
184	1368	221	326	178
185	1368	223	322	174
179	1412	222	323	170
180	1419	216	328	170
183	1390	210	338	169
182	1387	209	339	170
186	1376	214	330	169
179	1423	215	330	170
179	1433	215	329	173
178	1456	215	329	176
176	1482	215	328	176
177	1470	215	327	175
177	1477	215	331	177
178	1455			
65535	65535	176		
180	1417	224	315	179
183	1397	223	317	180
186	1383	223	318	177
186	1379	223	317	177
193	1281	223	316	177
191	1322	222	316	179
189	1350	229	308	181
186	1375	224	317	180
185	1382	218	321	176
187	1351	218	320	176
186	1369	221	318	176
191	1311	221	320	176
183	1372	221	319	176
185	1362	221	318	175
185	1367	221	317	178
187	1363	221	316	178
186	1363	222	316	177
187	1351	233	300	178
186	1352	233	299	177
181	1392	233	300	175
182	1373	233	300	177
190	1276	233	301	182
201	1195	233	301	182
194	1245	230	306	178

89	3697	91	387	152
92	2929	91	384	150
92	2919	91	386	150
92	2897	91	397	151
92	2879	92	345	151
91	3234	95	311	150
89	3845	95	308	152
86	5174	95	307	151
91	3230	95	308	158
92	2813	95	312	160
91	2913	95	317	160
92	2945	95	322	159
91	3480	90	336	160
92	2185	84	196	162
92	2194	87	239	161
92	2213	87	265	161
92	2021	86	466	159
93	1717	83	367	159
93	1710	85	146	157
93	1719	85	152	158
93	1713	78	169	162
92	1897	73	205	162
93	1447	85	314	160
93	1748	84	326	160
93	1504	84	322	156
94	4494	75	294	160
93	4628	76	234	160
93	1545	76	231	162
94	1545	76	231	172
93	1537	76	238	170
93	1271	76	240	164
94	1345			
89	2091	112	100	117
90	2026	111	97	117
90	1971	111	120	118
90	1925	111	120	117
90	1897	103	206	118
90	1861	102	208	119
91	1828	102	212	150
92	1767	102	214	119
91	1904	103	354	172
97	1720	103	364	172
102	1560	103	391	177
104	1445	103	397	178
105	1318	97	764	175
105	1373	97	785	178
105	1422	93	619	178
106	4850	94	932	134
103	1333	92	47448	156
109	4011	131	708	169

167
155
149
147
154
151
150
152
147
147
144
146
146
147
147
146
146
146
145
144
147
170
172
161
164
161
156
157
150
157
156
165
160
151
145
135
133
135
138
140
136
136
132
137
138
131
134
129
124
124

470	258
129	250
126	252
125	255
123	262
122	263

194	1245	232	302	179
200	1223	234	290	178
201	1220	236	279	179
201	1216	236	279	179
201	1219	236	279	178
204	1177	236	278	180

106	4357	132	793	167
106	3330	137	935	157
99	3368	139	1163	165
103	4622	140	1157	166
103	1239	139	831	146
101	1467	138	861	147

125
128
126
124
124
124

1º medida (prueba movil)

12 medida (prueba movil baston movimiento)

TFMP (lumi)	TFM	TFM(lumi)	Garming
810	277	176	222
795	279	174	238
781	289	167	226
769	290	163	204
756	315	125	203
745	296	154	177
743	296	154	170
609	260	239	171
690	215	363	161
856	197	439	165
1066	197	438	161
1485	196	431	155
1475	196	432	148
1372	189	489	149
1365	174	588	143
1719	166	630	147
1890	166	623	141
1827	171	370	141
1835	171	353	144
2295	174	356	147
2175	174	357	145
2769	174	356	140
2475	174	362	140
2046	160	443	142
1467	162	448	144
1462	165	414	143
1409	171	387	146
1610	171	387	142
1787	168	389	141
1695	168	388	136
1666	168	386	134
1489	168	384	136
1528	168	382	142
1702	160	441	138
1500	160	440	141
1599	161	441	143
1658	161	441	146
1777	161	444	152
1789	185	342	152
1614	185	342	144
1775	184	341	144
1674	164	445	140
1508	164	446	145
1475	164	442	143
1339	165	431	143

TFMP	TFMP (lumi)	TFM	TFM(lumi)	Garming
156	2529	173	612	149
156	2541	173	613	146
156	2542	173	615	140
156	2546	173	618	144
156	2553	173	617	136
156	2553	173	617	138
155	2555	160	754	136
155	2570	155	842	141
151	2835	155	849	138
146	3123	155	852	134
151	2876	154	854	133
144	3279	154	853	130
146	3193	153	824	135
141	3398	154	819	132
145	3232	154	813	133
144	3283	154	810	135
135	3899	153	853	136
139	3554	145	997	126
135	3900	145	994	128
139	3631	145	993	116
134	3841	145	992	123
136	3706	145	992	128
139	3423	145	990	132
129	4252	145	1016	133
129	4323	150	884	134
131	4159	150	879	129
137	3795	150	883	132
137	3802	150	882	137
137	3817	39001	23040	138
137	3828	156	813	138
136	3828	156	810	143
138	3674	157	771	148
133	3991	163	708	153
136	3822	163	707	148
142	3432	163	709	142
140	3570	163	711	142
148	3059	167	679	146
150	3001	167	673	138
152	2838	157	778	155
147	3122	173	586	167
154	2656	193	467	170
146	3143	194	452	167
156	2586	206	422	161
177	1817	197	451	159
176	1844	184	444	168

1283	165	430	145
1527	165	679	145
1748	163	700	144
1700	166	630	140
1516	160	701	137
2780	159	707	136
2883	158	708	136
2571	158	711	140
2836	158	712	141
2830	158	709	141
3035	156	749	139
2888	160	653	139
2883	161	652	136
2861	161	651	137
2842	161	649	158
2915	191	448	161
2861	191	474	153
2877	184	508	153
2928	184	506	150
2912	184	503	148
2791	182	497	148
1914	172	574	150
1883	171	577	145
2215	174	312	146
2106	173	567	153
2126	173	570	148
2370	176	563	148
2320	175	564	144
2568	168	594	130
2336	151	826	126
2340	147	894	129
2032	147	887	135
2191	147	863	137
2631	150	812	135
2930	150	814	130
3504	150	816	126
3602	154	768	128
3504	151	801	135
3383	147	856	126
3202	148	848	128
3478	148	846	122
3451	145	915	123
3668	145	915	119
3380	145	914	119
3296	145	916	118
3805	145	916	124
3567	144	972	122
3845	144	972	121
4383	144	966	119
4397	144	967	120

174	1874	184	429	164
175	1905	185	444	163
190	1461	187	464	167
175	1846	191	454	163
166	2196	192	447	165
170	2019	192	471	160
172	1970	183	495	161
175	1867	185	471	166
176	1845	187	463	158
170	2008	185	507	156
170	2020	191	496	159
172	1964	190	505	163
169	2045	187	523	167
170	2037	187	524	169
169	2050	186	520	189
179	1803	222	314	222
176	1816	263	330	214
184	1644	260	321	192
185	1636	216	395	169
232	858	175	475	167
232	856	175	459	164
182	1842	176	453	167
163	2411	177	448	152
162	2320	158	560	153
184	1615	179	398	156
184	1634	179	397	149
183	1652	179	401	142
159	2389	179	407	144
164	2127	177	415	141
165	2065	154	522	137
143	1969	149	519	158
143	1968	185	342	197
137	2105	184	351	228
166	1203	180	382	317
256	404	243	163	399
255	416	301	94	409
0	61	481	27	360
0	58	482	27	319
0	71	65535	11	361
0	65	505	25	332
0	82	65535	4	305
0	88	65535	4	311
422	102	449	31	309
426	127	451	30	247
353	172	529	20	261
353	178	363	56	260
355	174	354	47	227
356	171	293	112	193
242	473	292	113	194
244	470	207	288	172

4202	143	969	122
3977	142	1027	121
4104	142	1024	122
4271	142	986	122
4307	145	926	131
4337	144	932	128

208	723	209	296	178
208	726	209	298	179
208	735	210	299	184
209	735	210	298	241
198	1067	247	553	257
198	1075	247	524	234

NOTA: MEDIDAS DE LOS SENSORES EN DISTANCIA SON EN CENTIMETROS

1 medida: techo ( sin enfocar directamente a la luz)

TFMP	TFMP (lumi)	TFM	TFM(lumi)	Garming
255	2747	256	103	254
254	2747	256	103	255
254	2750	257	104	254
254	2753	257	104	254
255	2752	257	103	254
254	2749	257	104	254
254	2748	256	103	254
255	2747	256	103	254
255	2748	256	103	254
254	2742	256	104	255
255	2751	257	104	255
255	2747	257	104	255
255	2746	257	103	255
255	2751	257	104	255
255	2747	257	104	255
255	2747	256	103	255
254	2743	256	104	255
254	2746	257	104	255
254	2752	257	104	256
255	2750	256	103	256
255	2746	256	104	255
255	2750	256	103	255
254	2750	256	104	255
254	2745	256	104	256
254	2750	256	103	256
254	2747	256	103	256
255	2749	256	103	255
255	2745	257	104	256
255	2744	256	104	254
254	2742	256	103	255
254	2741	256	103	254
255	2741	256	104	256
255	2749	256	103	255
255	2749	256	103	256
255	2748	256	104	256
255	2744	256	103	255
254	2741	256	104	256
255	2750	256	104	255
255	2742	257	103	255
254	2747	256	104	254
255	2753	256	103	254
255	2751	256	103	255
254	2744	256	103	255
254	2746	256	103	255
255	2748	257	104	254
255	2737	256	104	254
255	2743	256	104	254
255	2747	256	103	254

TFMP (dist)		
Xi	Fi	Distr Norm
254	58	0,59469439904
255	37	0,373616321313
n	95	
Media	254,4	
Moda	254	
Varianza	0,237783933518006	
desviacion ti	0,49	

TFMP(lumi)		
Xi	Fi	Distr Norm
2730	1	0,003894072499
2731	2	0,005986421844
2732	1	0,008895362132
2733	2	0,012775943459
2734	2	0,017735986982
2735	0	0,02379856515
2736	3	0,03086591941
2737	3	0,038693738679
2738	4	0,046885138442
2739	4	0,054911428671
2740	8	0,062161761935
2741	8	0,068016913488
2742	4	0,071935548108
2743	6	0,073536545743
2744	7	0,072660089175
2745	4	0,069393958074
2746	5	0,064059039749
2747	9	0,057157367889
2748	5	0,049294339317
2749	4	0,041091775931
2750	6	0,033108980222
2751	3	0,025785154003
2752	2	0,019410051461
2753	2	0,014122665607
n	95	
media	2743,14736842105	
moda	2747	
Varianza	29,4098614958449	
Desviación ti	5,42308597533221	

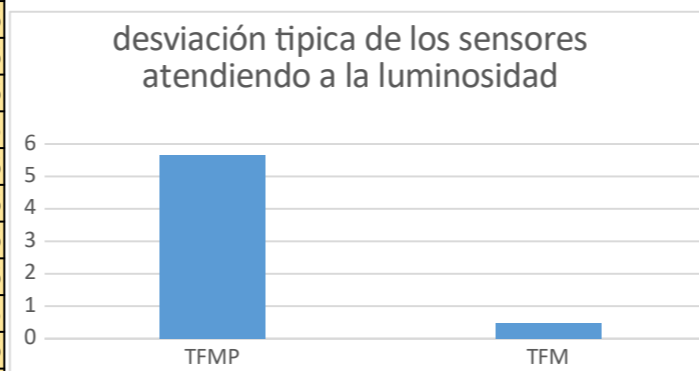
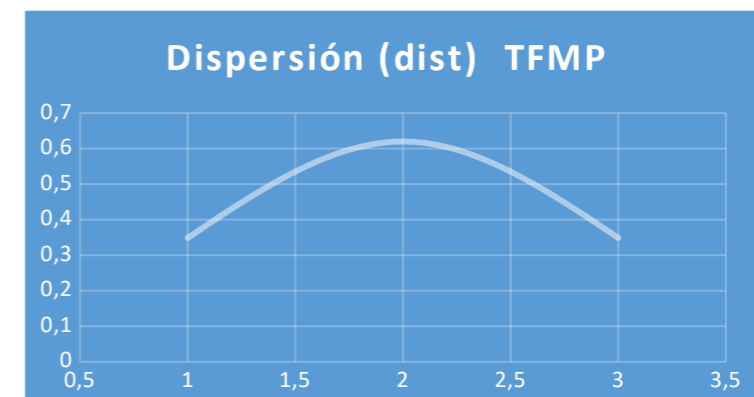
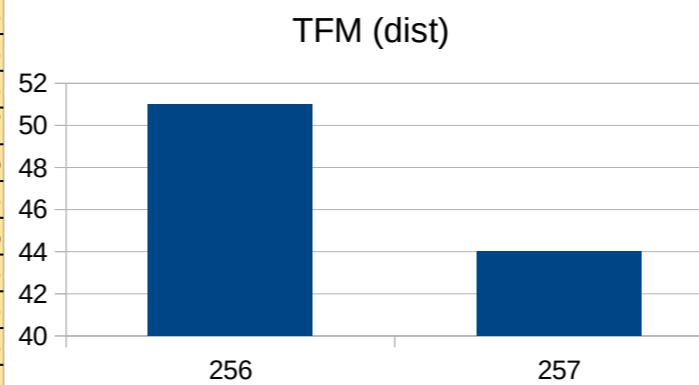
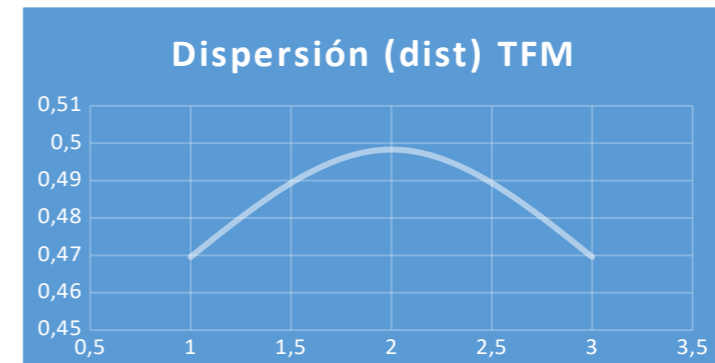
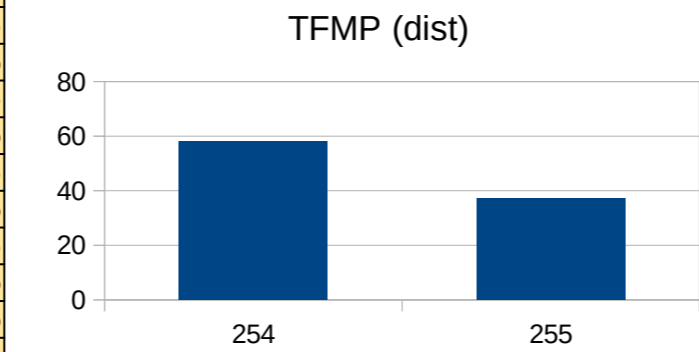
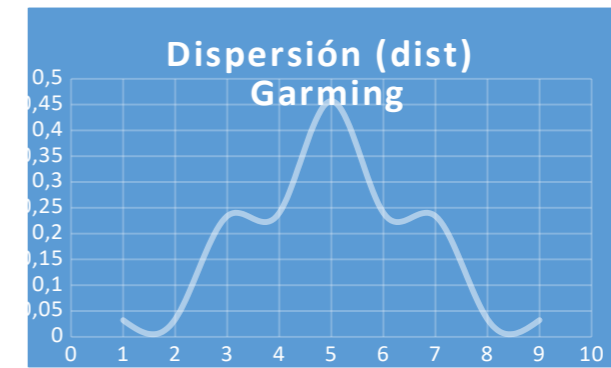
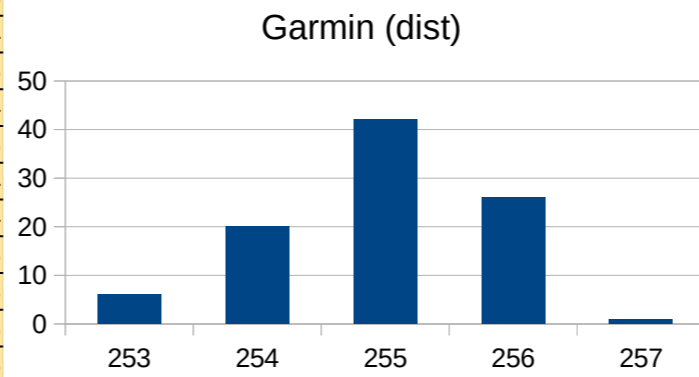
TFM(Dist)		
Xi	Fi	Distr Norm
256	51	0,51973208
257	44	0,44815563
n	95	
Media	256,463157894737	
Moda	256	
Varianza	0,24864265927978	
desviacion tipica	0,50	

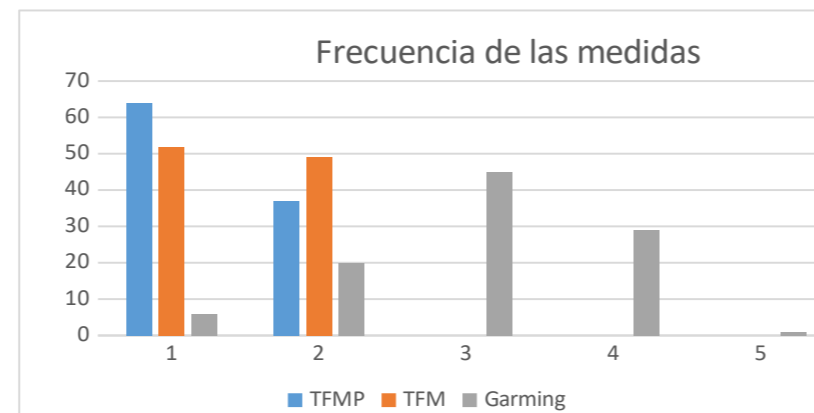
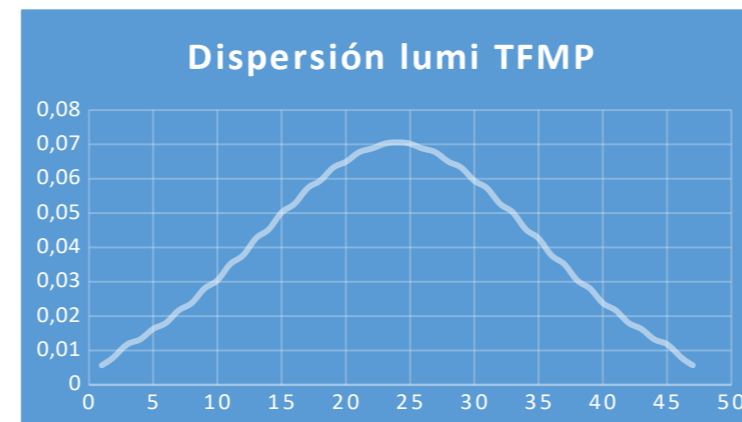
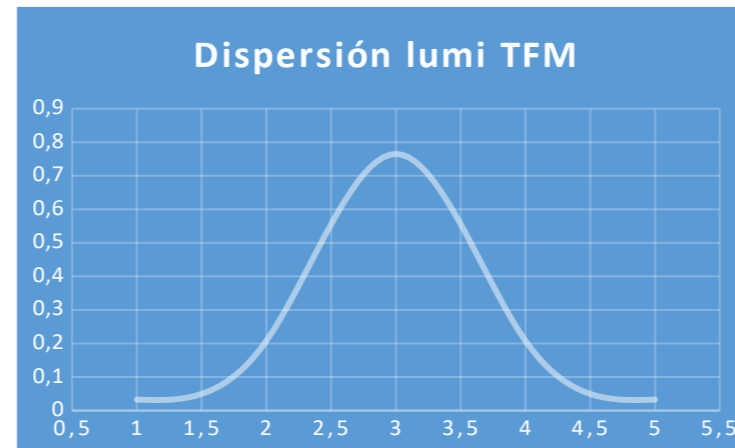
TFM(lumi)		
Xi	Fi	Distr norm
102	1	0,02030583
103	70	0,7643476
104	24	0,21662948
n	95	
media	103,242105263158	
Varianza	0,20454293628809	
desviacion tipica	0,45226423281981	

Garming(dist)		
Xi	Fi	Distr Norm
253	6	0,03842282
254	20	0,2507716
255	42	0,4520177
256	26	0,22501967
257	1	0,03093666
n	95	
Media	254,957894736842	
Moda	255	
Varianza	0,77717451523546	
desviacion tipica	0,8815750196299	



254	2744	256	103	255
254	2738	256	103	254
255	2746	256	103	253
254	2745	256	103	254
254	2744	256	103	253
254	2743	257	103	254
254	2744	256	103	254
254	2748	257	103	253
254	2742	256	103	253
254	2738	257	103	253
255	2743	257	103	253
255	2744	256	103	255
254	2739	257	103	255
255	2740	257	103	256
255	2739	256	103	255
255	2741	257	103	256
254	2740	256	103	255
254	2740	256	103	256
254	2740	256	103	255
254	2743	256	102	256
254	2741	257	103	256
254	2741	257	103	255
254	2740	257	103	255
255	2736	257	103	255
254	2740	257	103	255
254	2736	256	103	255
254	2731	256	103	257
254	2739	257	103	256
255	2741	257	103	255
254	2740	256	103	256
254	2738	257	103	255
254	2740	257	103	255
254	2733	257	103	255
254	2739	257	103	255
254	2734	257	103	255
254	2738	257	103	256
254	2736	257	103	256
254	2733	257	103	256
254	2734	257	103	256
254	2737	257	103	255
254	2741	256	103	256
254	2731	257	103	256
254	2737	257	103	256
254	2745	257	103	256
254	2730	257	103	255
254	2743	257	103	256
254	2732	257	103	255





2 medida: techo (enfocando a la luz)

TFMP	TFMP (lumi)	TFM	TFM(lumi)	Garming
0	-1	232	302	252
248	6234	233	303	253
0	-1	233	302	253
0	-1	233	304	252
0	-1	240	304	253
0	-1	242	305	253
0	-1	245	305	253
0	-1	247	307	252
0	-1	247	306	253
0	-1	247	306	254
0	-1	247	307	253
0	-1	247	306	254
0	-1	254	310	254
0	-1	256	311	254
248	6791	259	312	254
0	-1	260	313	254
248	6224	261	313	254
248	6225	263	313	254
0	-1	262	313	254
0	-1	262	312	253
0	-1	231	264	252
0	-1	231	264	251
0	-1	231	264	251
0	-1	230	264	251
247	7334	230	265	251
248	6365	233	268	251
248	6277	233	267	251
0	-1	233	267	251
247	5894	233	268	251
0	-1	233	267	254
247	7055	232	267	255
247	7083	232	266	254
0	-1	233	267	253
0	-1	233	266	254
0	-1	233	266	255
247	6562	233	266	255
247	5939	230	264	254
247	5919	230	264	255
0	-1	230	265	255
247	7194	230	265	255
246	5894	230	265	256
0	-1	230	264	256
247	6537	230	264	255
0	-1	230	263	256
0	-1	230	264	255
0	-1	230	263	255
248	7062	231	263	256
248	8306	231	263	255
0	-1	231	263	254
248	7036	231	263	255
0	-1	231	263	255

0	-1	232	264	255
0	-1	232	263	255
0	-1	232	263	255
248	7631	232	263	254
0	-1	231	262	254
248	7477	231	263	254
0	-1	231	263	254
249	8690	236	249	251
249	8663	236	248	252
249	8647	236	248	252
0	-1	244	258	252
0	-1	245	258	252
0	-1	245	258	252
248	9609	245	258	253
248	9108	245	259	252
0	-1	247	4	252
248	7983	247	261	253
248	7910	261	277	252
248	8851	261	277	253
248	7669	261	277	254
247	6493	260	277	254
0	-1	237	247	253
0	-1	237	246	253
247	7830	237	245	253
248	8548	237	250	253
248	8413	237	249	252
0	-1	236	247	255
248	8690	236	247	256
248	9558	236	246	255
248	8763	236	247	255
248	8807	236	247	255
248	8822	236	246	256
0	-1	236	246	255
0	-1	236	246	255
248	9945	236	246	257
248	8857	236	246	255
248	8787	236	246	255
248	8785	236	246	256
0	-1	236	246	255
248	8739	236	246	255
248	8877	236	246	255
0	-1	235	245	255
248	8833	236	246	256
248	8824	236	245	255
248	9406	235	245	255
248	8860	235	245	255
248	8872	235	245	255

TFMP(Dist)

xi	Fi	Distr Norm
0	48	0,00191309
246	1	0,00202118
247	11	0,00200543
248	35	0,00198967
249	3	0,0019739
n	98	
media	126,428571	
Varianza	15344,9796	
desviacion ti	123,874855	
Moda	0	

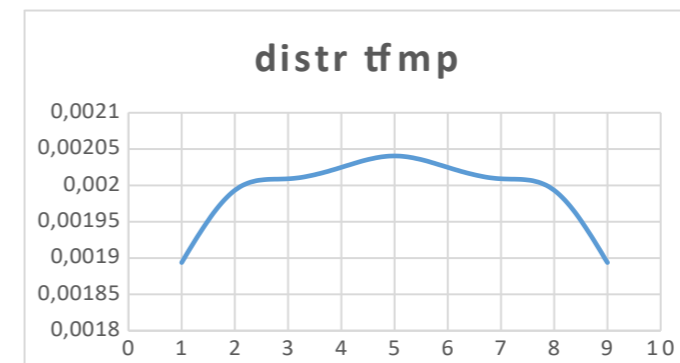
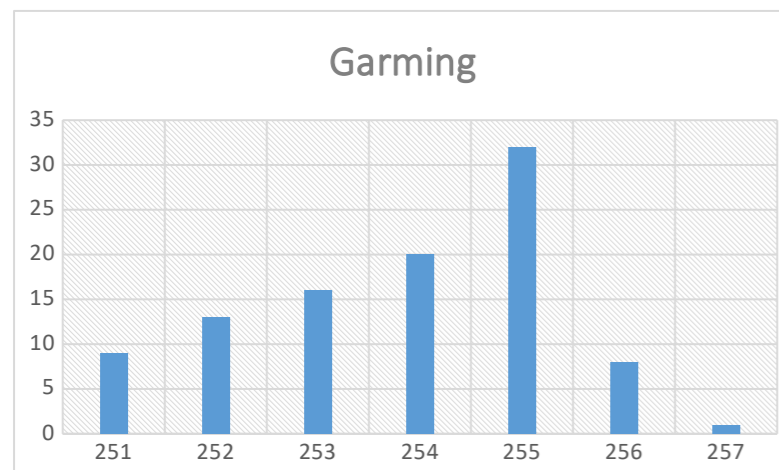
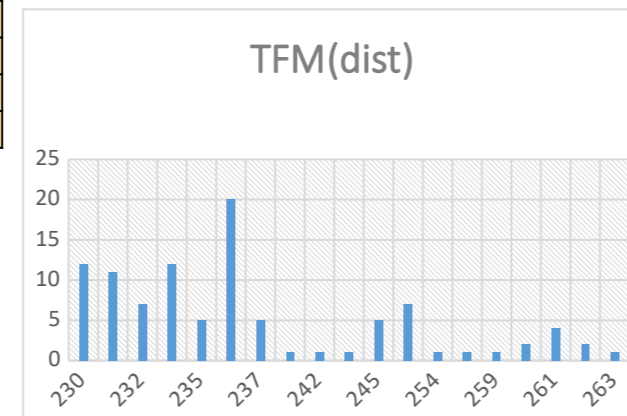
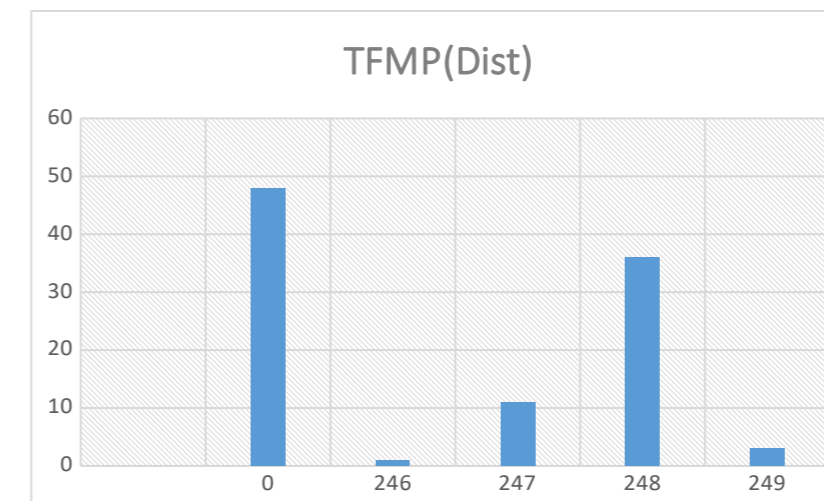
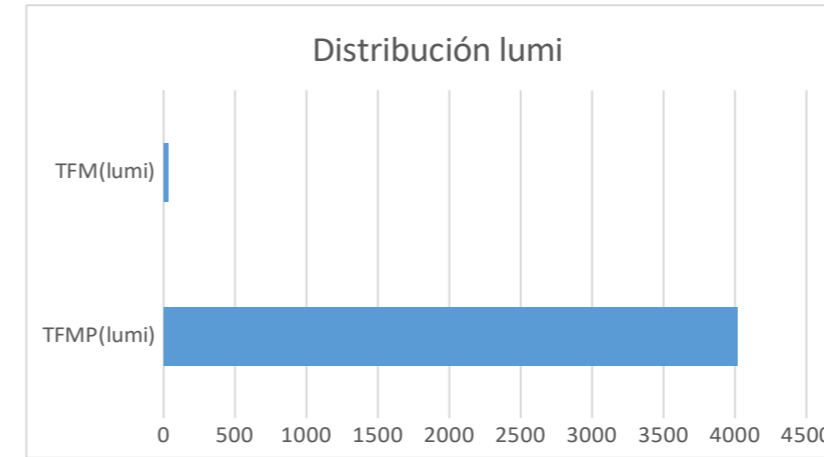
TFM(dist)

xi	Fi	Distr Norm
230	12	0,028375
231	11	0,03102197
232	7	0,03353649
233	12	0,03584929
235	4	0,03960504
236	20	0,04093148
237	5	0,04182916
240	1	0,04172845
242	1	0,03938291
244	1	0,03553384
245	5	0,03318801
247	7	0,02799005
254	1	0,01081919
256	1	0,00745214
259	1	0,00391536
260	2	0,00308909
261	4	0,00240993
262	2	0,00185906
263	1	0,00141807

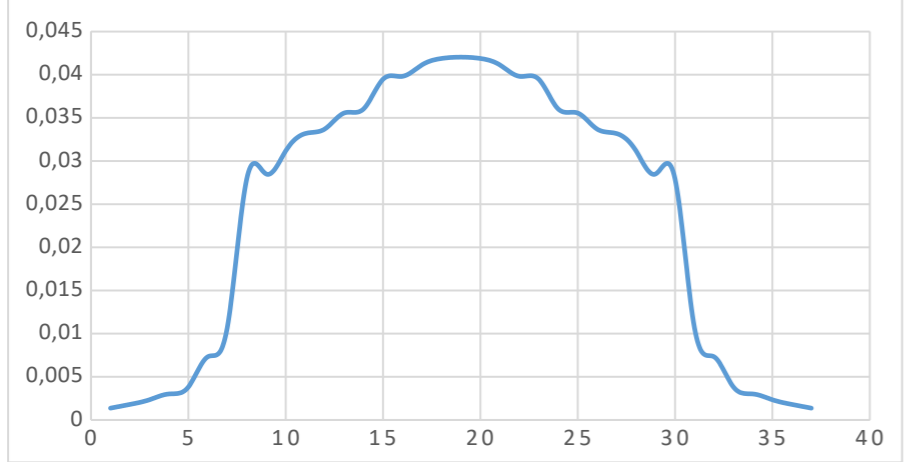
Garming(dist)

xi	Fi	Distr Norm
251	9	0,04538305
252	13	0,12839319
253	16	0,23138905
254	20	0,26564162
255	31	0,1942683
256	8	0,09050243
257	1	0,02685784

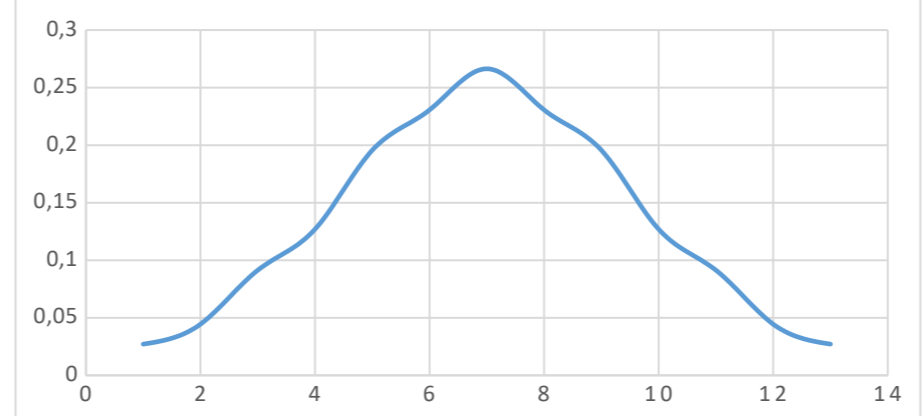
	Desviación	xi	Fi	Distr Norm
TFMP(lumi)	4015,55536	254	1	0,01081919
TFM(lumi)	34,3791123	256	1	0,00745214
		259	1	0,00391536
		260	2	0,00308909
		261	4	0,00240993
		262	2	0,00185906
		263	1	0,00141807
		n	98	
		media	238,428571	
		Varianza	88,8979592	
		desviacion ti	9,42857143	
		Moda	236	



**Distr tfm**



**DISTR GARMING**



4 medida ( suelo )

TFMP	TFMP (lumi)	TFM	TFM(lumi)	Garming
114	3057	114	3057	113
113	3066	113	3066	113
113	3083	113	3083	115
113	3091	113	3091	115
114	3113	114	3113	113
114	3128	114	3128	117
114	3140	114	3140	117
114	3179	114	3179	119
114	3214	114	3214	118
114	3508	114	3508	118
114	3455	114	3455	117
113	3469	113	3469	117
113	3432	113	3432	116
113	3608	113	3608	119
113	3621	113	3621	119
113	3626	113	3626	113
113	3638	113	3638	113
112	4090	112	4090	113
113	5091	113	5091	115
113	5065	113	5065	114
113	4808	113	4808	115
115	5524	115	5524	115
115	5646	115	5646	113
114	5281	114	5281	115
114	5293	114	5293	114
113	4972	113	4972	116
113	4962	113	4962	115
114	5103	114	5103	116
114	5122	114	5122	116
115	6025	115	6025	116
115	6138	115	6138	117
115	5655	115	5655	116
114	4691	114	4691	117
114	5037	114	5037	114
115	5118	115	5118	116
115	5143	115	5143	114
115	5166	115	5166	114
115	5184	115	5184	113
115	5262	115	5262	114
115	5485	115	5485	114
115	5020	115	5020	115
115	4976	115	4976	112
115	5091	115	5091	114
115	5282	115	5282	114
115	5270	115	5270	113
115	5165	115	5165	117
115	5139	115	5139	114
114	5088	114	5088	117
114	5040	114	5040	117
114	5061	114	5061	117
115	4971	115	4971	117

TFMP(dist)

Xi	Fi	distr Norm
113	18	0,15869253
114	45	0,50881858
115	36	0,29274326
116	1	0,03022236
n	100	
media	114,17821782	
Varianza	0,5820997941	
desviacion ti	0,7629546475	
Moda	114	

TFM(dist)

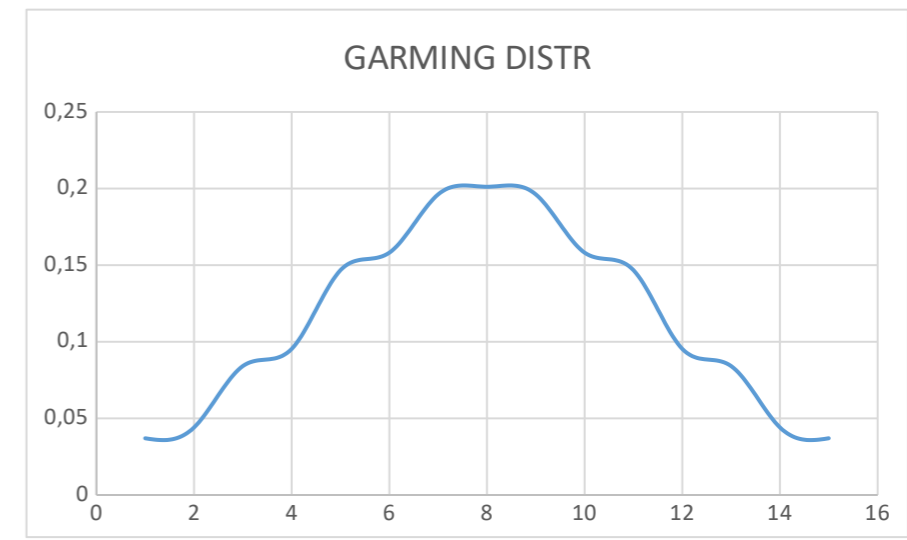
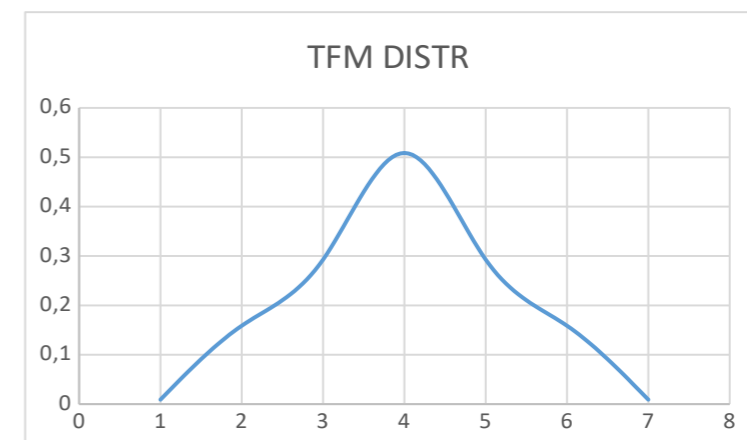
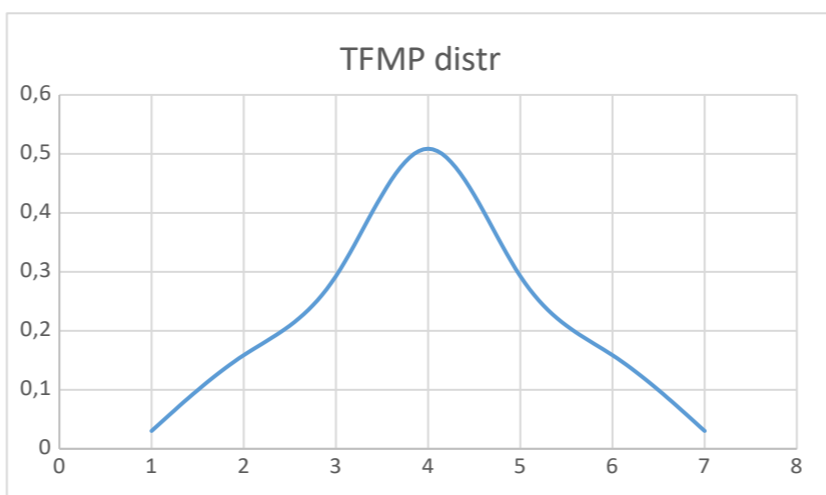
Xi	Fi	Distr Norm
112	1	0,00888112
113	18	0,15869253
114	45	0,50881858
115	36	0,29274326
n	100	
media	114,178218	
Varianza	0,58209979	
desviacion ti	0,76295465	
Moda	114	

Garming

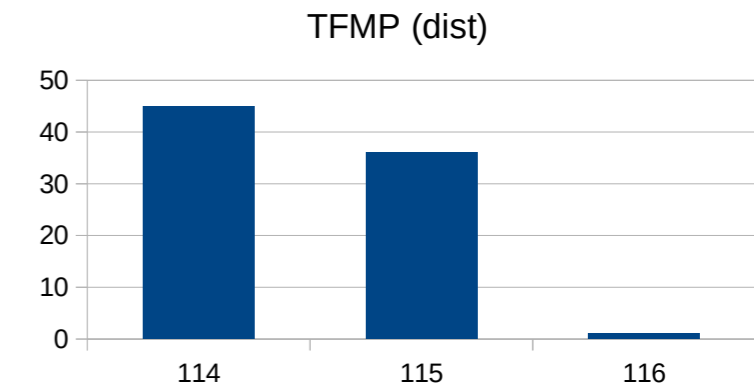
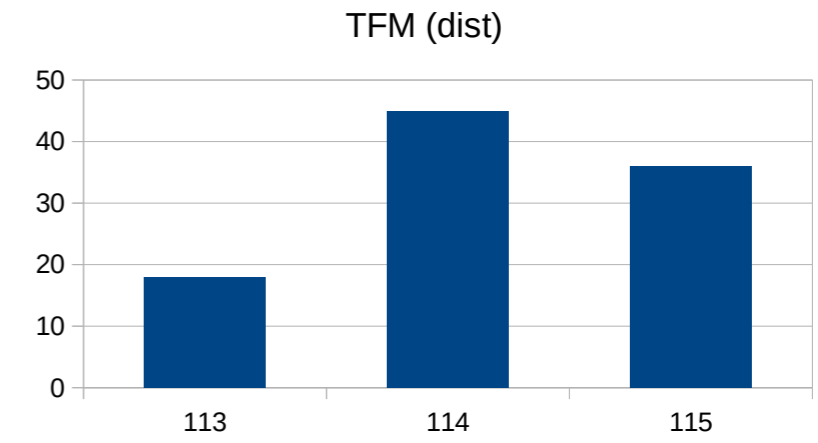
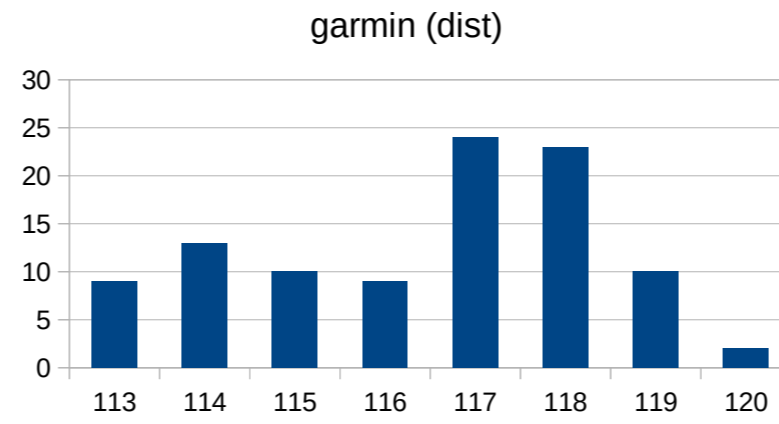
Xi	Fi	Distr Norm
113	9	0,04406347
114	13	0,09532343
115	10	0,15812405
116	9	0,20112844
117	24	0,19616715
118	23	0,14670887
119	10	0,08413249
120	2	0,03699545
n	100	
media	116,405941	
Varianza	3,7659053	
desviacion ti	1,94059406	
Moda	117	

TFM(lumi)

media	Moda	Desviación
3803,0594059	2782	1083,9847266



114	4831	114	4831	118
114	4451	114	4451	118
114	4211	114	4211	118
114	4073	114	4073	119
114	3633	114	3633	118
114	3457	114	3457	118
113	3472	113	3472	117
114	3638	114	3638	118
114	3389	114	3389	119
114	3541	114	3541	118
114	3387	114	3387	117
113	3588	113	3588	118
114	3450	114	3450	118
114	3773	114	3773	119
114	3616	114	3616	118
114	3142	114	3142	119
114	3240	114	3240	117
114	3091	114	3091	117
114	2869	114	2869	117
114	2790	114	2790	117
115	2519	115	2519	117
115	2370	115	2370	115
115	2345	115	2345	118
115	2361	115	2361	118
115	2358	115	2358	118
115	2372	115	2372	118
115	2357	115	2357	118
115	2378	115	2378	118
115	2442	115	2442	118
114	2845	114	2845	118
114	2783	114	2783	120
114	2773	114	2773	117
114	2731	114	2731	118
114	2697	114	2697	114
113	2813	113	2813	114
114	2829	114	2829	117
114	2782	114	2782	116
115	2774	115	2774	118
114	2788	114	2788	119
115	2782	115	2782	117
115	2789	115	2789	117
115	3064	115	3064	117
115	3062	115	3062	117
116	2703	116	2703	118
113	2782	113	2782	114
115	2723	115	2723	116
114	2799	114	2799	115
114	2785	114	2785	119
115	2637	115	2637	119
115	2632	115	2632	120



7 medida PERSONAi (cerca>)

TFMP	TFMP (lumi)	TFM	TFM(lumi)	Garming
49	8895	54	161	47
49	8916	54	161	44
49	8930	53	162	45
49	8946	54	162	47
49	8958	52	178	52
49	8965	52	176	52
49	8981	52	176	52
49	9000	52	175	52
47	9010	52	175	51
48	8828	53	163	52
47	9088	51	169	51
47	9070	51	167	51
47	8930	51	168	51
46	8782	52	168	51
46	8889	51	168	48
46	8949	50	191	47
46	8958	50	189	47
46	8958	50	189	47
47	8959	50	190	47
47	8948	50	190	48
47	8503	50	191	48
47	8821	50	181	48
47	8829	51	193	50
47	8379	51	204	51
47	8335	51	203	52
47	8333	51	187	52
47	8331	52	187	52
47	8163	52	202	52
48	7760	51	202	52
49	7633	51	201	51
49	8007	52	115	51
50	7263	51	201	52
50	7285	51	205	52
50	7442	51	209	52
49	7516	51	197	52
49	7381	51	197	51
49	7390	51	197	51
49	7401	51	197	52
49	7408	51	197	51
49	7453	51	197	51

TFMP(Dist)

XI	Fi	Distr.norm
46	6	0,05429429
47	20	0,1872841
48	16	0,32293079
49	28	0,27834271
50	14	0,11992565
n	84	
media	48,2857143	
Varianza	1,44217687	
desviacion ti	1,20090669	
Moda	49	

TFM

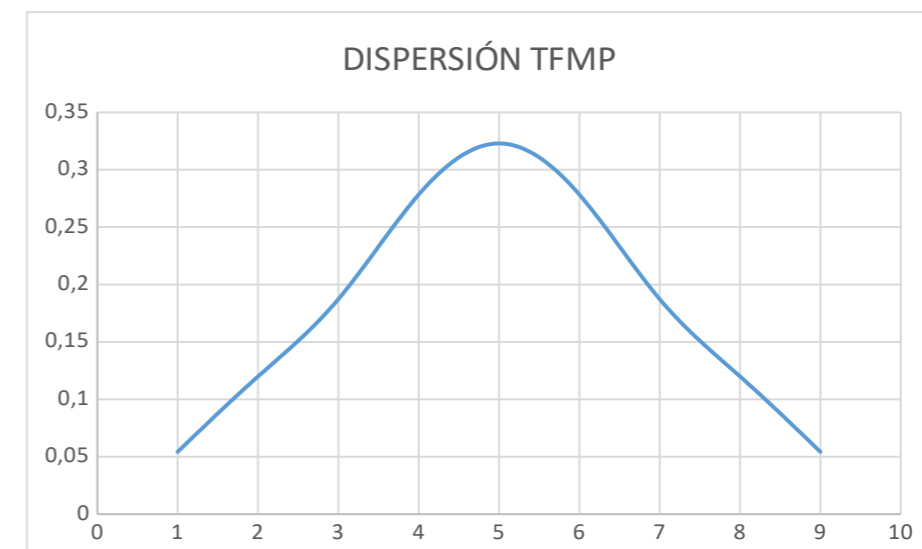
XI	Fi	Distr.norm
48	2	0,02088869
49	18	0,0210142
50	12	0,02108145
51	36	0,02108987
52	11	0,02103939
53	2	0,02093044
54	3	0,02076392
n	84	
media	50,6428571	
Varianza	1,63435374	
desviacion ti	18,9129278	
Moda	51	

TFMP(LUMI)

media	8077,92857	
Varianza	379701,757	
desviacion ti	616,199446	
Moda	8958	3

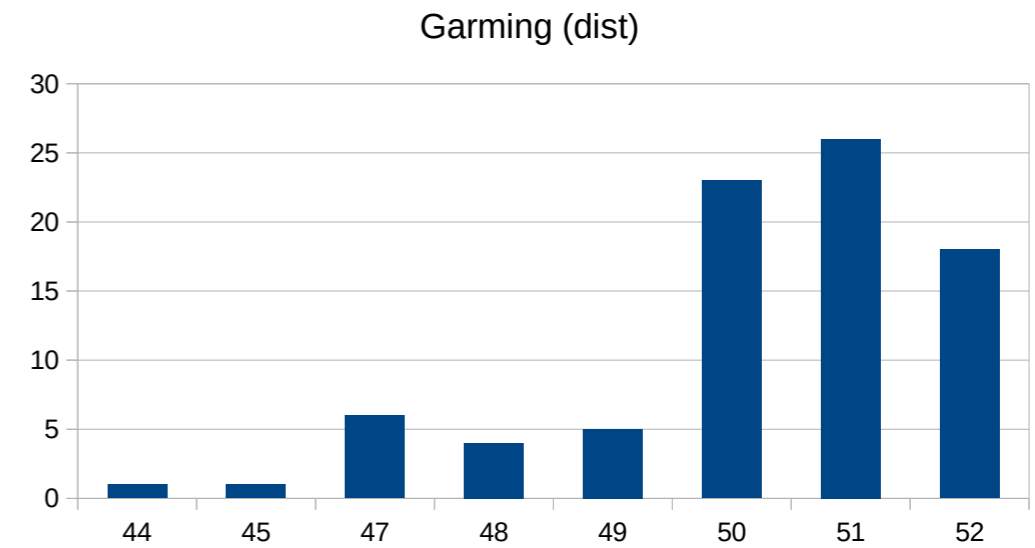
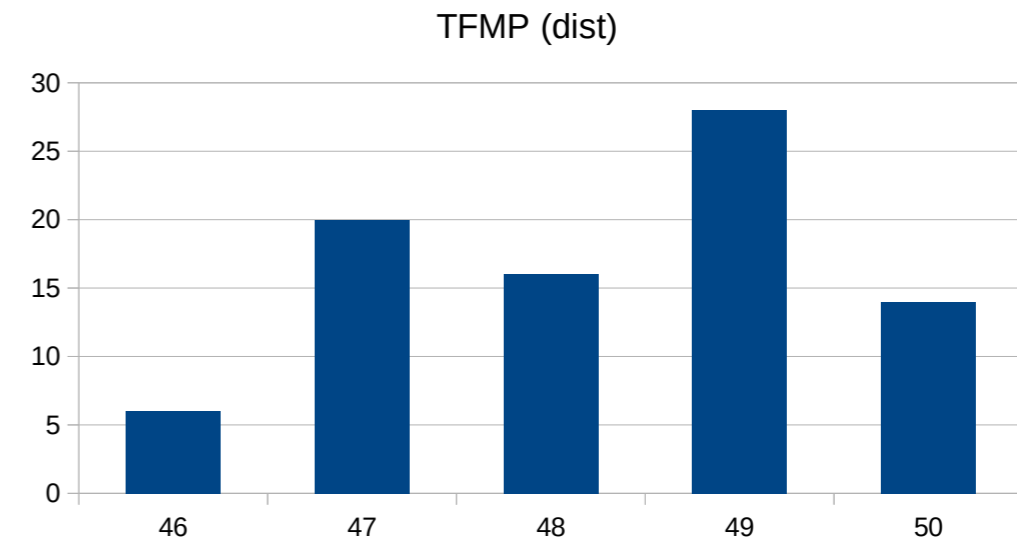
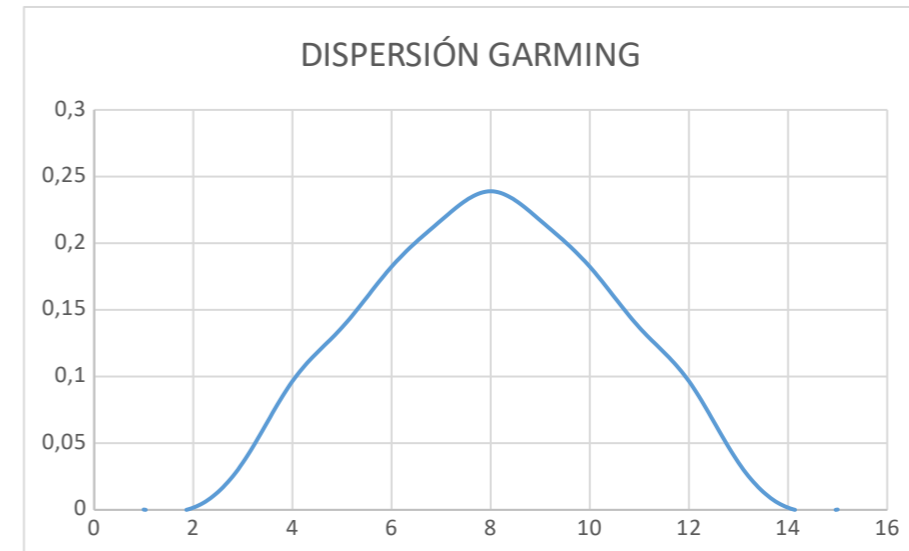
TFM(lumi)

media	195,22619	
Varianza	357,698838	
desviacion ti	18,9129278	
Moda	197	8



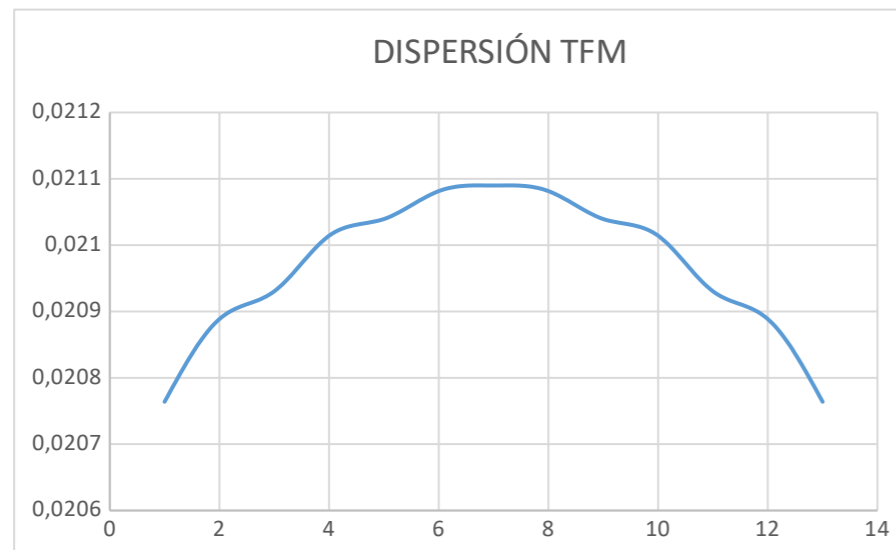


50	7443	52	192	51
50	7522	52	197	52
50	7855	51	198	51
50	7817	51	198	51
49	7860	51	199	50
50	7882	51	199	51
50	7870	51	199	51
50	7638	51	203	50
50	7456	51	202	50
50	7441	50	216	49
49	7474	49	218	50
50	7462	49	218	51
49	7475	49	218	50
49	7510	49	218	50
48	7477	49	218	50
48	7483	49	219	51
48	7487	50	217	50
48	7513	50	216	51
49	7538	50	215	50
48	7490	50	211	50
49	7457	51	185	50
49	7544	51	185	50
50	7395	51	184	50
49	7287	51	185	51
49	7352	51	190	52
49	7797	51	197	51
48	8295	51	189	50
49	8436	51	189	51
48	8610	51	191	51
48	8511	51	190	50
48	8468	49	217	49
49	8163	49	220	50
48	7984	49	219	50
48	7633	49	219	49
48	7429	49	220	49
48	7459	48	210	50
48	7584	49	208	49
47	7659	49	209	50
47	7660	49	208	50
47	8123	49	217	50
46	8453	49	214	51
47	8350	49	211	50
47	8344	49	212	52
47	8267	48	218	51

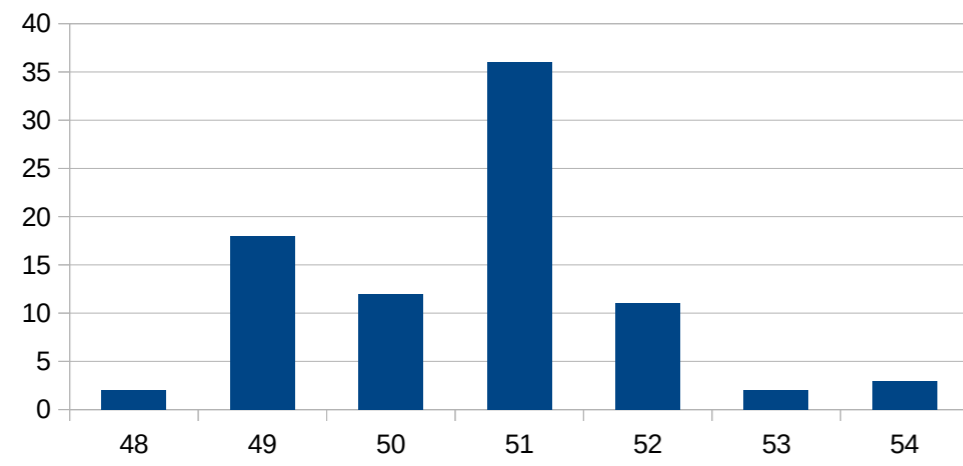


Garming

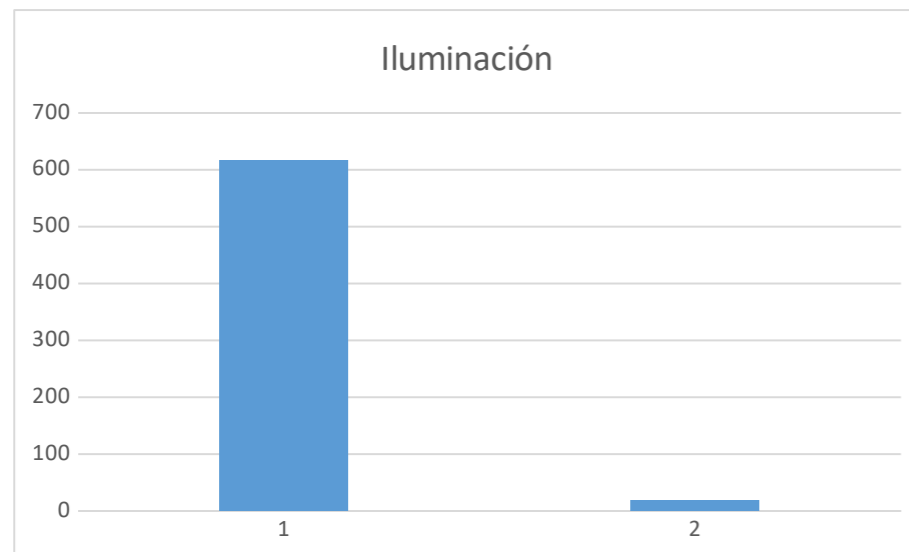
XI	Fi	Distr.norm
44	1	0,00019344
45	1	0,00158382
47	6	0,03536706
48	4	0,09645771
49	5	0,1823626
50	23	0,23899872
51	26	0,21712823
52	18	0,13674075
n	84	
media	50,2380952	
Varianza	2,72902494	
desviacion ti	1,65197607	
Moda	51	

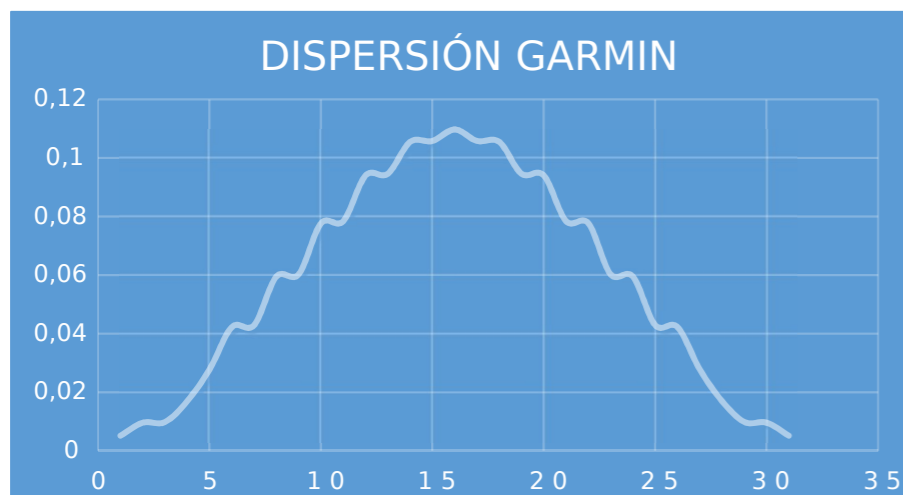
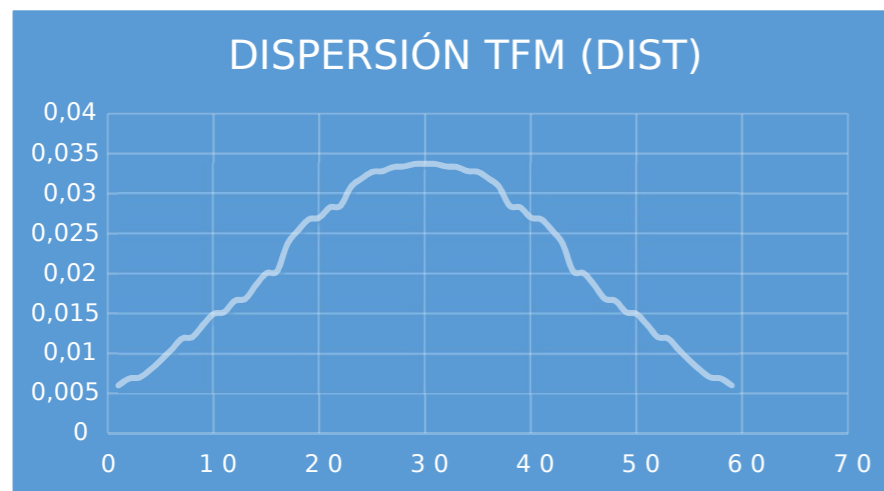
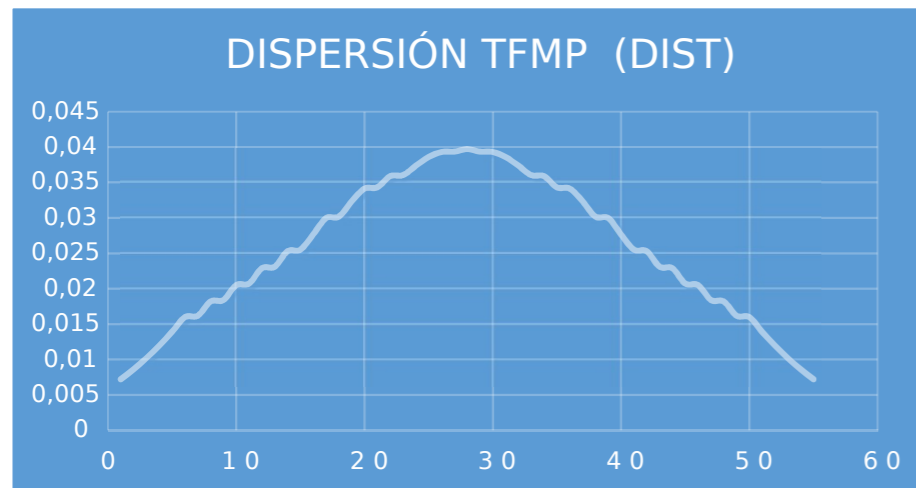


TFM (dist)

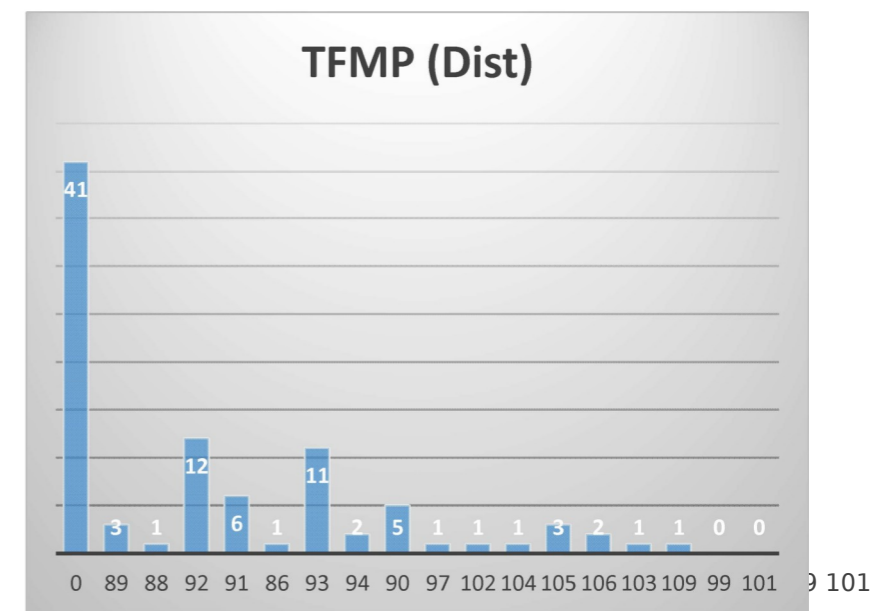


Iluminación



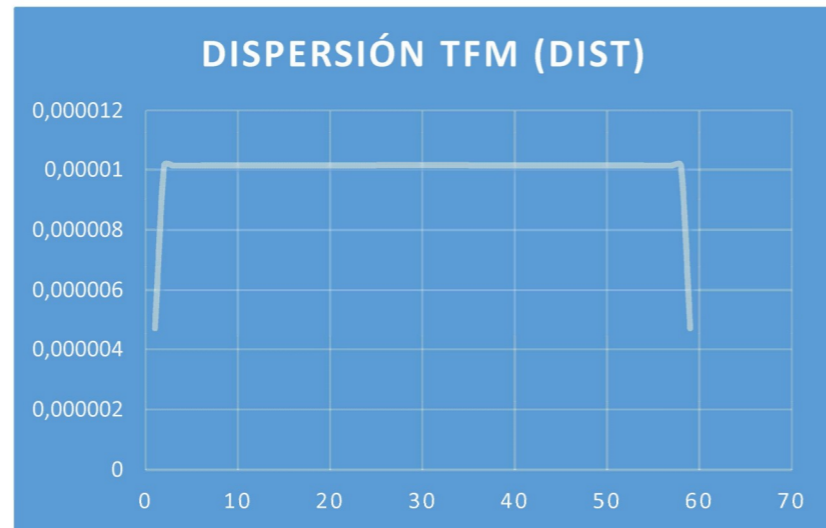
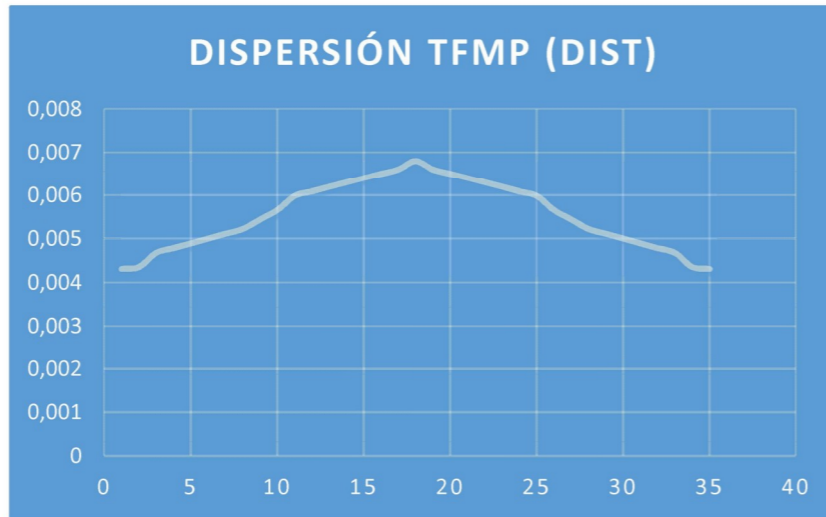
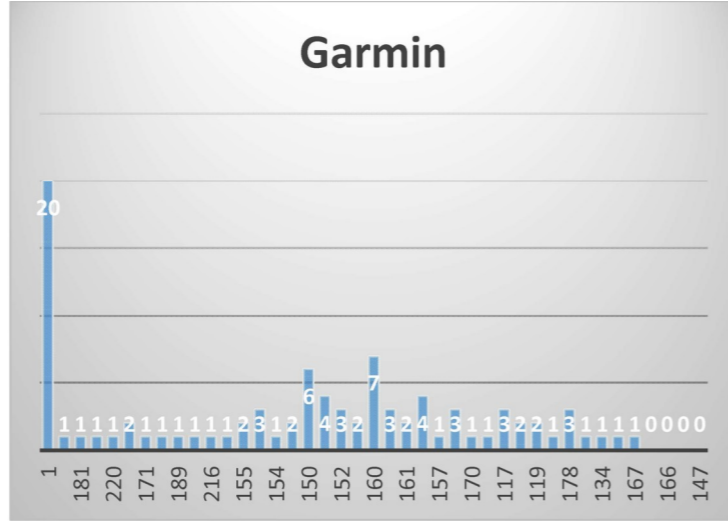


92	2897	91	397	151	150	6	0,00487205
92	2879	92	345	151	151	4	0,0048577
91	3234	95	311	150	152	3	0,00484262
89	3845	95	308	152	158	2	0,0047375
86	5174	95	307	151	160	7	0,00469706
91	3230	95	308	158	159	3	0,00471761
92	2813	95	312	160	161	2	0,00467587
91	2913	95	317	160	162	4	0,00465404
92	2945	95	322	159	157	1	0,00475673
91	3480	90	336	160	172	3	0,00440304
92	2185	84	196	162	170	1	0,00445773
92	2194	87	239	161	164	1	0,00460851
92	2213	87	265	161	117	3	0,00491703
92	2021	86	466	159	118	2	0,00492804
93	1717	83	367	159	119	2	0,00493829
93	1710	85	146	157	177	1	0,0042575
93	1719	85	152	158	178	3	0,00422698
93	1713	78	169	162	175	1	0,00431716
92	1897	73	205	162	134	1	0,00499954
93	1447	85	314	160	169	1	0,00448428
93	1748	84	326	160	167	1	0,0045357
93	1504	84	322	156	165	0	0,00458483
94	4494	75	294	160	166	0	0,00456056
93	4628	76	234	160	146	0	0,00492215
93	1545	76	231	162	147	0	0,00491073
94	1545	76	231	172		92	
93	1537	76	238	170			
93	1271	76	240	164			
89	2091	112	100	117			
90	2026	111	97	117			
90	1971	111	120	118			
90	1925	111	120	117			
90	1897	103	206	118			
90	1861	102	208	119			
91	1828	102	212	150			
92	1767	102	214	119			
91	1904	103	354	172			
97	1720	103	364	172			
102	1560	103	391	177			
104	1445	103	397	178			
105	1318	97	764	175			
105	1373	97	785	178			
105	1422	93	619	178			
106	4850	94	932	134			
103	1333	92	47448	156			
109	4011	131	708	169			
106	4357	132	793	167			



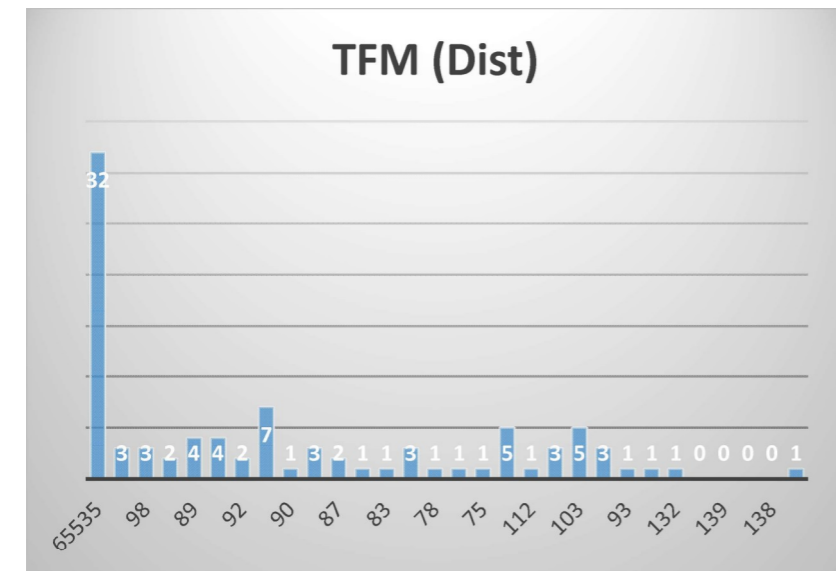
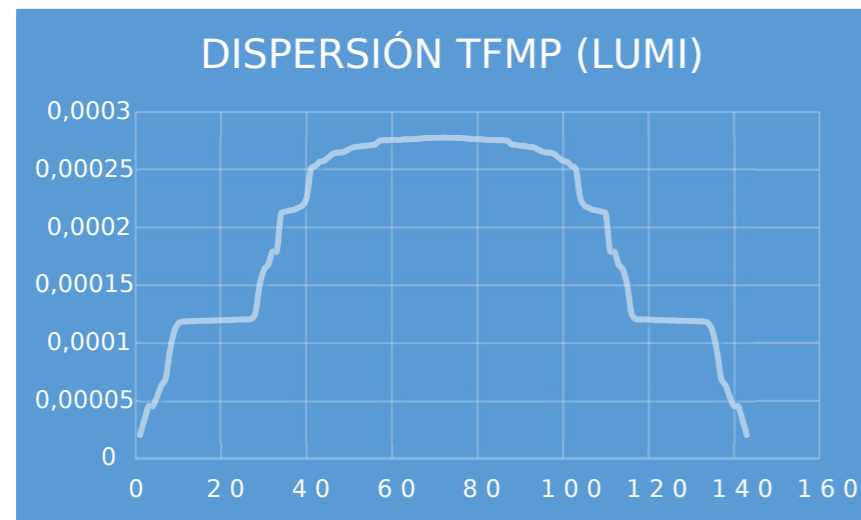
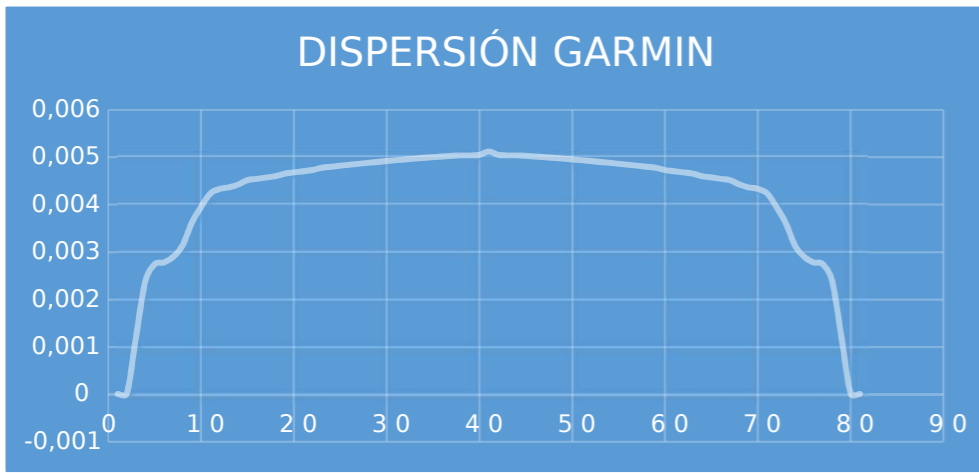
TFM	Cuentas	Distr. Normal
65535	32	5,0124E-06
97	3	9,8043E-06
98	3	9,8046E-06
99	2	9,8048E-06
89	4	9,8025E-06
91	4	9,8029E-06
92	2	9,8032E-06
95	7	9,8039E-06
90	1	9,8027E-06
84	3	9,8013E-06
87	2	9,802E-06
86	1	9,8018E-06
83	1	9,8011E-06
85	3	9,8016E-06
78	1	9,8E-06
73	1	9,7988E-06
75	1	9,7993E-06
76	5	9,7995E-06
112	1	9,8078E-06
111	3	9,8075E-06
103	5	9,8057E-06
102	3	9,8055E-06
93	1	9,8034E-06
131	1	9,8121E-06
132	1	9,8124E-06
137	0	9,8135E-06
139	0	9,814E-06
140	0	9,8142E-06
138	0	9,8137E-06
94	1	9,8036E-06

92



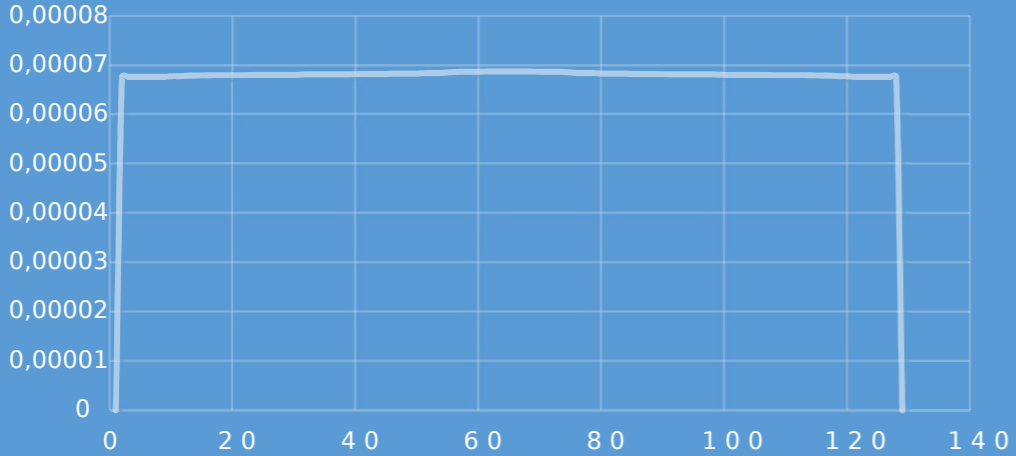
12 medida (prueba movil baston movimiento)

TFMP	TFMP (lumi)	TFM	TFM(lumi)	Garming
156	2529	173	612	149
156	2541	173	613	146
156	2542	173	615	140
156	2546	173	618	144
156	2553	173	617	136
156	2553	173	617	138
155	2555	160	754	136
155	2570	155	842	141
151	2835	155	849	138
146	3123	155	852	134
151	2876	154	854	133
144	3279	154	853	130
146	3193	153	824	135
141	3398	154	819	132
145	3232	154	813	133
144	3283	154	810	135
135	3899	153	853	136
139	3554	145	997	126
135	3900	145	994	128
139	3631	145	993	116
134	3841	145	992	123
136	3706	145	992	128
139	3423	145	990	132
129	4252	145	1016	133
129	4323	150	884	134
131	4159	150	879	129
137	3795	150	883	132
137	3802	150	882	137
137	3817	39001	23040	138
137	3828	156	813	138
136	3828	156	810	143
138	3674	157	771	148
133	3991	163	708	153
136	3822	163	707	148
142	3432	163	709	142
140	3570	163	711	142
148	3059	167	679	146
150	3001	167	673	138
152	2838	157	778	155
147	3122	173	586	167
154	2656	193	467	170
146	3143	194	452	167
156	2586	206	422	161
177	1817	197	451	159



176	1844	184	444	168
174	1874	184	429	164
175	1905	185	444	163
190	1461	187	464	167
175	1846	191	454	163
166	2196	192	447	165
170	2019	192	471	160
172	1970	183	495	161
175	1867	185	471	166
176	1845	187	463	158
170	2008	185	507	156
170	2020	191	496	159
172	1964	190	505	163
169	2045	187	523	167
170	2037	187	524	169
169	2050	186	520	189
179	1803	222	314	222
176	1816	263	330	214
184	1644	260	321	192
185	1636	216	395	169
232	858	175	475	167
232	856	175	459	164
182	1842	176	453	167
163	2411	177	448	152
162	2320	158	560	153

# DISPERSIÓN TFM (LUMI)



	TFMP	TFM	Garmin
Media	156,91304	13735,47826	1150,826087
Moda	156	173	167
Varianza	431,87649	721533655	5,4387,129175
D. típica	20,781638	44640,43698	19,6755985

TFMP (lumi)	Cuentas	Distr. Normal
-1	9	0,00011694
14	1	0,00011855
15	1	0,00011866
17	1	0,00011888
18	2	0,00011898
19	3	0,00011909
20	1	0,0001192
21	5	0,00011931
22	3	0,00011942
23	2	0,00011952
24	1	0,00011963
25	1	0,00011974
26	3	0,00011985
28	3	0,00012007
29	1	0,00012017
30	1	0,00012028
31	2	0,00012039
34	1	0,00012072
1239	1	0,00025073
1271	1	0,0002532
1318	1	0,00025665
1333	1	0,0002577
1373	1	0,00026039
1422	1	0,00026344
1445	1	0,00026478
1447	1	0,0002649
1467	1	0,00026601
1504	1	0,00026793
1537	1	0,00026951
1545	2	0,00026988
1560	1	0,00027054
1710	1	0,00027557
1713	1	0,00027564
1717	1	0,00027573
1719	1	0,00027577
1720	1	0,0002758
1748	1	0,00027638
1767	1	0,00027671

TFMP	Cuentas	Distr. Normal	TFM	Cuentas	Distr. Normal	TFMP (lumi)	Cuentas	Distr. Normal
156	7	0,01917834	173	7	8,5342E-05	58	1	3,21766E-06
155	2	0,0191157	160	1	8,5312E-05	61	1	3,25344E-06
151	2	0,01843531	155	3	8,5301E-05	65	1	3,3017E-06
146	3	0,01672436	154	5	8,5299E-05	71	1	3,37529E-06
144	2	0,01582669	153	2	8,5296E-05	82	1	3,51405E-06
141	1	0,01431888	145	7	8,5278E-05	88	1	3,59188E-06
145	1	0,01628818	150	4	8,5289E-05	102	1	3,77953E-06
135	2	0,0110102	39001	1	1,4748E-19	127	1	4,13657E-06
139	3	0,01324017	156	2	8,5303E-05	171	1	4,83878E-06
134	1	0,01045338	157	2	8,5305E-05	172	1	4,8559E-06
136	3	0,01156986	163	4	8,5319E-05	174	1	4,89031E-06
129	2	0,00778897	167	2	8,5328E-05	178	1	4,95979E-06
131	1	0,00882282	193	1	8,5385E-05	404	1	1,06214E-05
137	4	0,01212985	194	1	8,5388E-05	416	1	1,10381E-05
138	1	0,01268754	206	1	8,5413E-05	470	1	1,30931E-05
142	1	0,01483912	197	1	8,5394E-05	473	1	1,32163E-05
140	1	0,01378491	184	2	8,5366E-05	723	1	2,76312E-05
148	1	0,01751002	185	3	8,5368E-05	726	1	2,78623E-05
150	1	0,01816358	187	4	8,5372E-05	735	2	2,85654E-05
152	1	0,01866782	191	2	8,5381E-05	856	1	3,95073E-05
147	1	0,01713251	192	2	8,5383E-05	858	1	3,97129E-05
154	1	0,01900919	183	1	8,5364E-05	1067	1	6,62951E-05
177	1	0,01203255	190	1	8,5379E-05	1075	1	6,75282E-05
176	3	0,01259083	186	1	8,537E-05	1203	1	8,96139E-05
175	3	0,01314454	222	1	8,5446E-05	1461	1	0,00014809
174	1	0,01369087	263	1	8,5526E-05	1615	1	0,000191386
190	1	0,00540496	260	1	8,5521E-05	1634	1	0,000197096
166	1	0,01744668	216	1	8,5434E-05	1636	1	0,000197701
170	4	0,01574406	175	2	8,5346E-05	1644	1	0,00020013
172	2	0,01474976	176	1	8,5348E-05	1652	1	0,00020257
169	2	0,01620967	177	1	8,535E-05	1803	1	0,000250501
179	1	0,01091309	158	1	8,5308E-05	1816	1	0,000254752
184	1	0,00820965	179	0	8,5355E-05	1817	1	0,000255079
185	1	0,00770164	149	0	8,5287E-05	1842	1	0,000263289
232	2	2,8082E-05	180	0	8,5357E-05	1844	1	0,000263947
182	1	0,00926383	243	0	8,5488E-05	1845	1	0,000264276
163	1	0,01839082	301	0	8,5595E-05	1846	1	0,000264606
162	1	0,01863028	481	0	8,5842E-05	1867	1	0,000271531
183	0	0,00873093	482	0	8,5843E-05	1874	1	0,000273842
164	0	0,01811245	65535	0	3,9039E-47	1905	1	0,00028409
165	0	0,01779704	505	0	8,5865E-05	1964	1	0,000303561
143	0	0,01534271	449	0	8,5807E-05	1968	1	0,000304876
256	0	2,2214E-07	451	0	8,5809E-05	1969	1	0,000305204
255	0	2,7911E-07	529	0	8,5886E-05	1970	1	0,000305533
0	0	8,0067E-15	363	0	8,5694E-05	2008	1	0,000317959



1828	1	0,00027745
1861	1	0,00027765
1897	2	0,00027769
1904	1	0,00027768
1925	1	0,00027761
1971	1	0,00027724
2021	1	0,00027652
2026	1	0,00027643
2091	1	0,00027495
2185	1	0,00027184
2194	1	0,00027149
2213	1	0,0002707
2813	1	0,00022575
2879	1	0,00021894
2897	1	0,00021704
2913	1	0,00021534
2919	1	0,00021469
2929	1	0,00021362
2945	1	0,00021189
3230	1	0,00017955
3234	1	0,00017909
3330	1	0,00016785
3368	1	0,00016339
3480	1	0,00015033
3697	1	0,00012572
3845	1	0,00010984
4011	1	9,3224E-05
4283	1	6,9223E-05
4357	1	6,3443E-05
4494	1	5,3609E-05
4622	1	4,5429E-05
4628	1	4,5069E-05
4850	1	3,3167E-05
5174	1	2,0312E-05
<b>N</b>	97	
<b>Media</b>	1888,38889	
<b>Moda</b>	-1	
<b>Varianza</b>	2063826,21	
<b>Desv. Típica</b>	1436,60231	

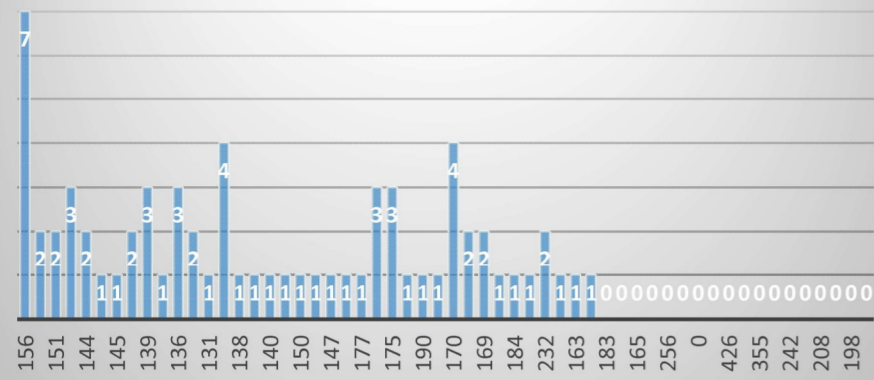
422	0	8,9324E-38	354	0	8,5681E-05	2019	1	0,000321532
426	0	7,5273E-39	293	0	8,5581E-05	2020	1	0,000321856
353	0	8,9237E-22	292	0	8,5579E-05	2037	1	0,000327347
355	0	3,5823E-22	207	0	8,5415E-05	2045	1	0,000329918
356	0	2,2619E-22	209	0	8,5419E-05	2050	1	0,000331521
242	0	4,3961E-06	210	0	8,5421E-05	2065	1	0,000336307
244	0	2,9507E-06	247	0	8,5496E-05	2105	1	0,000348884
208	0	0,00093537		69		2127	1	0,00035567
209	0	0,00083006				2196	1	0,000376202
198	0	0,00271916				2320	1	0,000409377
159	0	0,01910031				2389	1	0,000425201

68

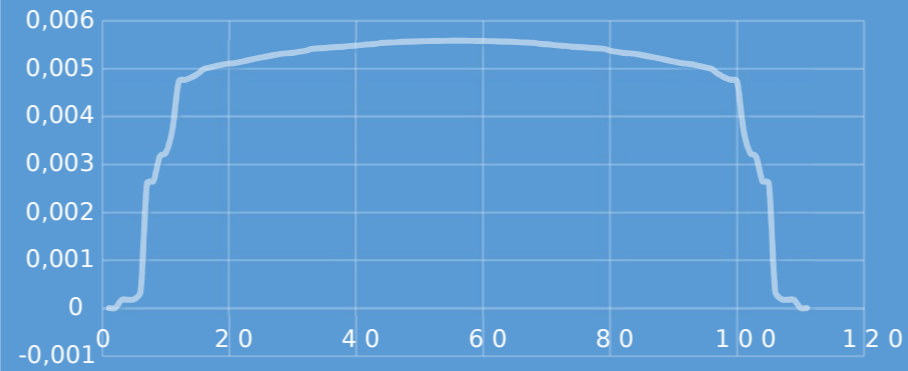
2411	1	0,000429786
2529	1	0,000450123
2541	1	0,000451763
2542	1	0,000451896
2546	1	0,000452421
2553	2	0,000453319
2555	1	0,00045357
2570	1	0,00045538
2586	1	0,000457163
2656	1	0,000463137
2835	1	0,00046441
2838	1	0,000464258
2876	1	0,000461847
3001	1	0,000447727
3059	1	0,000438134
3122	1	0,000425723
3123	1	0,00042551
3143	1	0,000421157
3193	1	0,000409487
3232	1	0,00039966
3279	1	0,00038706
3283	1	0,000385952
3398	1	0,00035212
3423	1	0,000344343
3432	1	0,000341514
3554	1	0,000302064
3570	1	0,000296792
3631	1	0,000276634
3674	1	0,00026245
3706	1	0,000251954
3795	1	0,00022327
3802	1	0,000221056
3817	1	0,000216337
3822	1	0,000214772
3828	2	0,000212899
3841	1	0,000208862

3899	1	0,000191222
3900	1	0,000190924
3991	1	0,000164686
4159	1	0,00012168
4252	1	0,000101218
4323	1	8,72481E-05
N	101	
Media	2756,72464	
Moda	2553	
Varianza	731780,171	
Desv. Típica	855,441506	

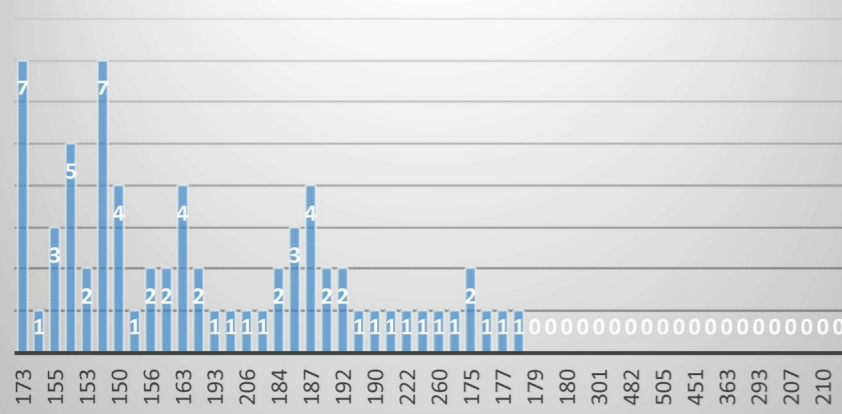
### TFMP (Dist)



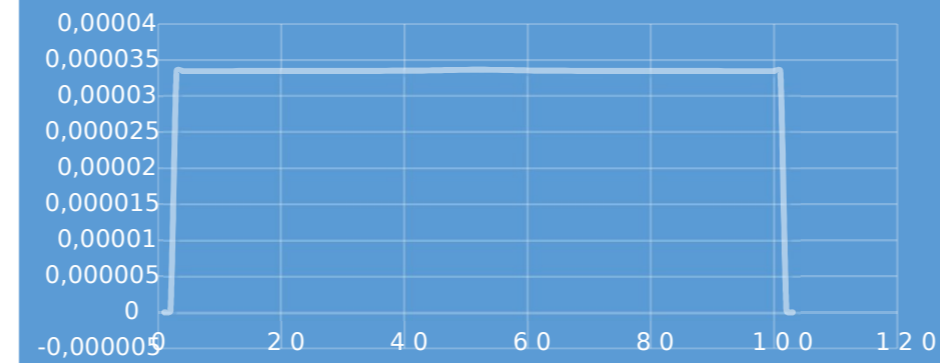
### DISPERSIÓN TFMP (DIST)



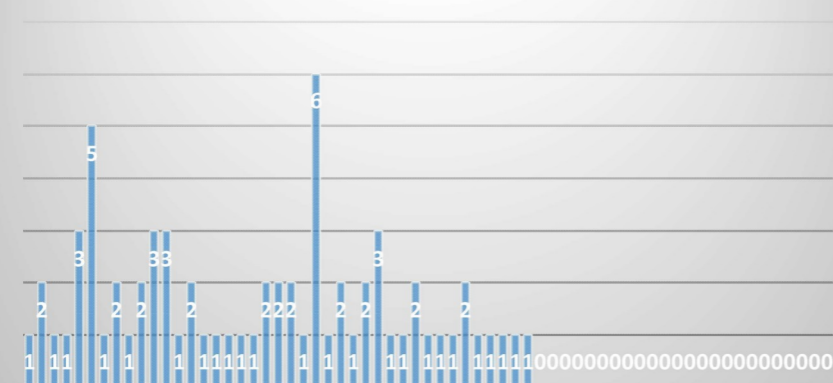
### TFM (Dist)



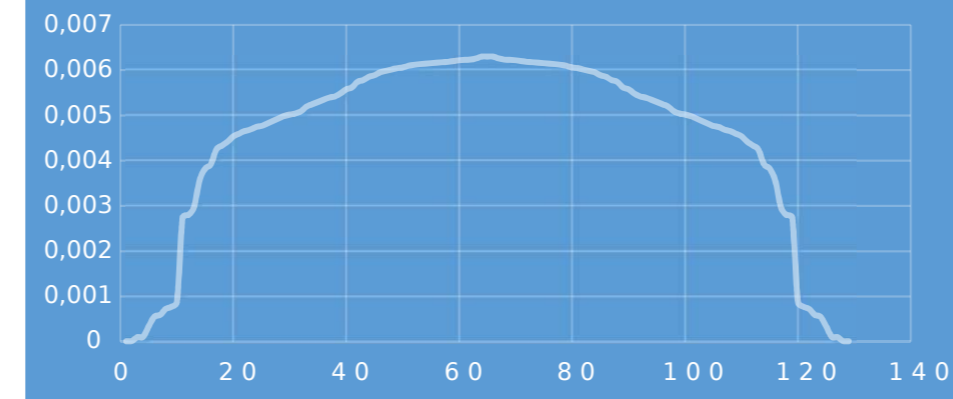
### DISPERSIÓN TFM (DIST)



### Garmin



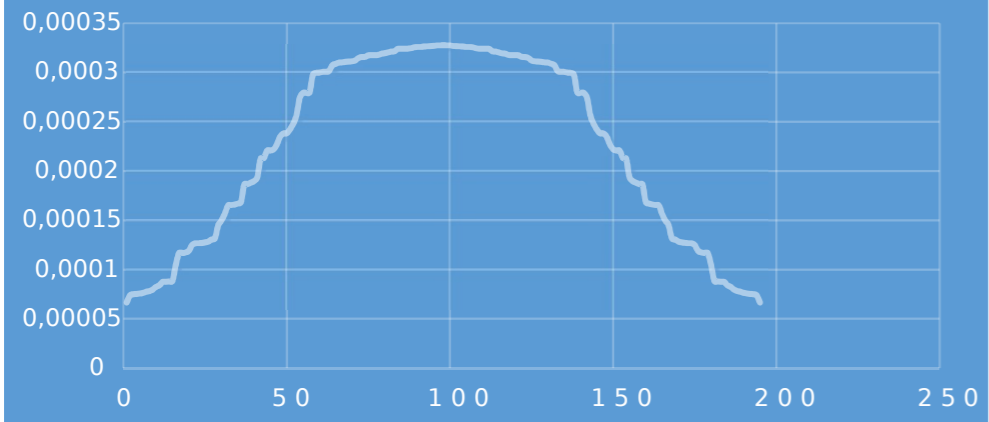
### DISPERSIÓN GARMIN



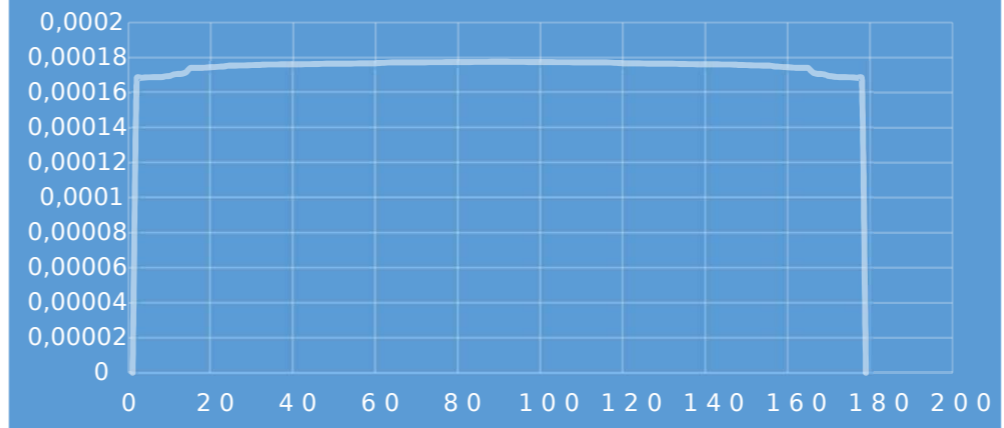
149144141135126123143142170164160158189192228409361311261193178257

1193178257

DISPERSIÓN TFMP (LUMI)



DISPERSIÓN TFM (LUMI)





Medidas ultrasonidos: Con luz

Distancias

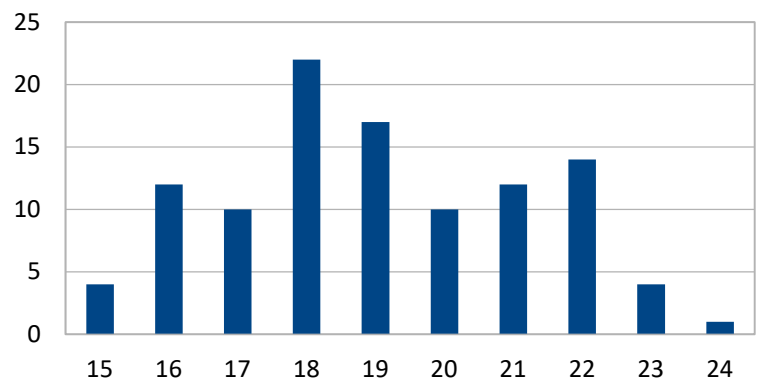
1	23
2	22
3	23
4	22
5	22
6	23
7	23
8	24
9	22
10	22
11	22
12	22
13	22
14	21
15	22
16	22
17	22
18	22
19	20
20	20
21	20
22	21
23	21
24	21
25	22
26	22
27	21
28	21
29	20
30	20
31	21
32	20
33	20
34	21
35	21
36	21
37	20
38	20
39	19
40	19
41	21
42	19
43	19
44	19
45	18
46	17
47	18
48	17
49	15
50	15
51	15

Media

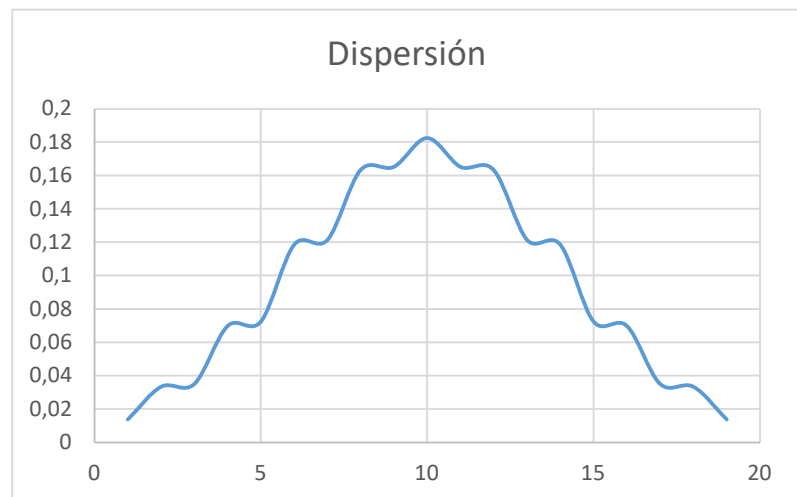
Media	Moda	Desviación típica
19,0283	18	2,186828267

xi	yi	Distribución normal
15	4	0,033439713
16	12	0,069933189
17	10	0,118655993
18	22	0,16333587
19	17	0,182414357
20	10	0,16528065
21	12	0,1214984
22	14	0,072461055
23	4	0,035061
24	1	0,013763519
n	106	

Frecuencia de los datos



Dispersión



**ANEXO IV:**  
**CÓDIGOS EMPLEADOS EN ARDUINO**

# CÓDIGO SENSOR LIDAR-LITE V3



```
/*-----  
-----  
// Autores: Carlos Armando Rondón Almonte y Enrique Gil García  
  
// Universidad de La Laguna  
  
LIDARLite Arduino Library  
v3/GetDistanceI2c  
This example shows how to initialize, configure, and read  
distance from a  
LIDAR-Lite connected over the I2C interface.  
Connections:  
LIDAR-Lite 5 Vdc (red) to Arduino 5v  
LIDAR-Lite I2C SCL (green) to Arduino SCL  
LIDAR-Lite I2C SDA (blue) to Arduino SDA  
LIDAR-Lite Ground (black) to Arduino GND  
(Capacitor recommended to mitigate inrush current when device is  
enabled)  
680uF capacitor (+) to Arduino 5v  
680uF capacitor (-) to Arduino GND  
See the Operation Manual for wiring diagrams and more  
information:  
  
http://static.garmin.com/pumac/LIDAR\_Lite\_v3\_Operation\_Manual\_and\_Technical\_Specifications.pdf  
-----  
-----*/  
  
#include <Wire.h>  
#include <LIDARLite.h>  
  
LIDARLite myLidarLite;  
  
void setup()  
{  
  Serial.begin(115200); // Initialize serial connection to display  
  distance readings  
  
  /*  
    begin(int configuration, bool fasti2c, char lidarLiteAddress)  
    Starts the sensor and I2C.  
    Parameters  
  
-----  
-----  
    configuration: Default 0. Selects one of several preset  
  configurations.  
    fasti2c: Default 100 kHz. I2C base frequency.
```

```
    If true I2C frequency is set to 400kHz.
    lidarliteAddress: Default 0x62. Fill in new address here if
changed. See
    operating manual for instructions.
*/
myLidarLite.begin(0, true); // Set configuration to default and
I2C to 400 kHz

/*
    configure(int configuration, char lidarliteAddress)
    Selects one of several preset configurations.
    Parameters
-----
-----
    configuration: Default 0.
        0: Default mode, balanced performance.
        1: Short range, high speed. Uses 0x1d maximum acquisition
count.
        2: Default range, higher speed short range. Turns on quick
termination
            detection for faster measurements at short range (with
decreased
            accuracy)
        3: Maximum range. Uses 0xff maximum acquisition count.
        4: High sensitivity detection. Overrides default valid
measurement detection
            algorithm, and uses a threshold value for high
sensitivity and noise.
        5: Low sensitivity detection. Overrides default valid
measurement detection
            algorithm, and uses a threshold value for low
sensitivity and noise.
    lidarliteAddress: Default 0x62. Fill in new address here if
changed. See
    operating manual for instructions.
*/
myLidarLite.configure(1); // Change this number to try out
alternate configurations
}

void loop()
{
    /*
    distance(bool biasCorrection, char lidarliteAddress)
    Take a distance measurement and read the result.
    Parameters
```

```
-----  
-----  
    biasCorrection: Default true. Take aquisition with receiver  
bias  
    correction. If set to false measurements will be faster.  
Receiver bias  
    correction must be performed periodically. (e.g. 1 out of  
every 100  
    readings).  
    lidarliteAddress: Default 0x62. Fill in new address here if  
changed. See  
    operating manual for instructions.  
*/  
  
// Take a measurement with receiver bias correction and print to  
serial terminal  
Serial.println(myLidarLite.distance());  
  
// Take 99 measurements without receiver bias correction and  
print to serial terminal  
for(int i = 0; i < 99; i++)  
{  
    Serial.println(myLidarLite.distance(true));  
}  
}
```

**CÓDIGO TF MINI Y TF MINI PLUS**

```
//Autores: Carlos Armando Rondón Almonte y Enrique Gil García

// Universidad de La Laguna

/* this program is the interpretation routine of standard output
protocol of TFmini product on Arduino.
For details, refer to Product Specifications.
For Arduino boards with only one serial port like UNO board, the
function of software visual serial port is
to be used.
*/
#include<SoftwareSerial.h>//header file of software serial port
SoftwareSerial Serial1(2,3); //define software serial port name as
Serial1 and define pin2 as RX and pin3
/* For Arduinoboards with multiple serial ports like DUEboard,
interpret above two pieces of code and
directly use Serial1 serial port*/
int dist;//actual distance measurements of LiDAR
int strength;//signal strength of LiDAR
int check;//save check value
int i;
int uart[9];//save data measured by LiDAR
const int HEADER=0x59;//frame header of data package
void setup()
{
  Serial.begin(9600);//set bit rate of serial port connecting
  Arduino with computer
  Serial1.begin(115200);//set bit rate of serial port connecting
  LiDAR with Arduino
}
void loop()
{
  if (Serial1.available())//check if serial port has data input
  {
    if(Serial1.read()==HEADER)//assess data package frame header
0x59
    {
      uart[0]=HEADER;
      if(Serial1.read()==HEADER)//assess data package frame header
0x59
      {
        uart[1]=HEADER;
        for(i=2;i<9;i++)//save data in array
        {
          uart[i]=Serial1.read();
        }
      }
    }
  }
}
```

```
check=uart[0]+uart[1]+uart[2]+uart[3]+uart[4]+uart[5]+uart[6]+uart
[7];
    if(uart[8]==(check&0xff))//verify the received data as per
protocol
    {
        dist=uart[2]+uart[3]*256;//calculate distance value
        strength=uart[4]+uart[5]*256;//calculate signal strength
value
        Serial.print("dist = ");
        Serial.print(dist);//output measure distance value of
LiDAR
        Serial.print('\t');
        Serial.print("strength = ");
        Serial.print(strength);//output signal strength value
        Serial.print('\n');
        delay(200);
    }
}
```

# CÓDIGO CONJUNTO SENSORES ÓPTICOS

```
//Autores: Carlos Armando Rondón Almonte y Enrique Gil García

//Universidad de La Laguna

/* this program is the interpretation routine of standard output
protocol of TFmini product on Arduino.

For details, refer to Product Specifications.

For Arduino boards with only one serial port like UNO board, the
function of software visual serial port is

to be used.*/

#include<SoftwareSerial.h>

#include "TFMini.h" //header file of software serial port

#include <Wire.h>

#include <LIDARLite.h>

LIDARLite myLidarLite; SoftwareSerial miserial(10,11);

TFMini tfmini;

/* For Arduinoboard with multiple serial ports like DUEboard,
interpret above two pieces of code and directly use Serial1 serial
port*/

int dist;//actual distance measurements of LiDAR

int strength;//signal strength of LiDAR

int check;//save check value

int i;

int uart[9];//save data measured by LiDAR

const int HEADER=0x59;//frame header of data package

void setup() {

    Serial.begin(115200);//set bit rate of serial port connecting
Arduino with computer

    Serial1.begin(115200);//set bit rate of serial port connecting
LiDAR with Arduino

    miserial.begin(115200);
```



```
Serial.println("Inicializando");
tfmini.begin(&miserial);

delay(100);
tfmini.setSingleScanMode();

myLidarLite.begin(0, true); // Set configuration to default and
I2C to 400 kHz

}

int lectura = 0;

void loop() {

    lectura = 0;

    while (lectura == 0) {

        if (Serial1.available())//check if serial port has data input {

            if(Serial1.read()==HEADER)//assess data package frame header
            0x59 {

                uart[0]=HEADER;

                if(Serial1.read()==HEADER)//assess data package frame
                header 0x59 {

                    uart[1]=HEADER;

                    for(i=2;i<9;i++)//save data in array {

                        uart[i]=Serial1.read();

                    }

                    check=uart[0]+uart[1]+uart[2]+uart[3]+uart[4]+uart
                    [5]+uart [6]+uart[7];

                    if(uart[8]==(check&0xff))//verify the received
                    data as per protocol {

                        dist=uart[2]+uart[3]*256;//calculate distance
                        value strength=uart[4]+uart[5]*256;//calculate
                        signal strength value

                        Serial.print("Tfmp,");
                        Serial.print(dist);//output measure distance value
                        of LiDAR
```

```
        Serial.print(',');
        Serial.print(strength);//output signal strength
    value
        Serial.print(',');
        lectura = 1;
    }
    }
}
}

tfmini.externalTrigger();
delay(60);

uint16_t dist = tfmini.getDistance();

uint16_t strength = tfmini.getRecentSignalStrength();

// Display the measurement Serial.print("Tfmini,");

Serial.print(dist);
Serial.print(",");

Serial.print(strength);

Serial.print(",garmin,");
Serial.println(myLidarLite.distance());

delay(500);

}

/* Arduino driver for Benewake TFMini time-of-flight distance
sensor.

by Peter Jansen (December 11/2017)

This code is open source software in the public domain.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED 'AS IS' AND ANY EXPRESS OR IMPLIED
WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED
WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR
PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE AUTHOR(S) BE
LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY,
OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO,
PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES;

LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER
CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT,
```

```
STRICT LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE)
ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF
ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE. The names of the
contributors may not be used to endorse or promote products
derived from this software without specific prior written
permission. */

#include "TFMini.h" // Constructor

TFMini::TFMini() {

    // Empty constructor

}

boolean TFMini::begin(Stream* _streamPtr) { // Store reference to
stream/serial object

    streamPtr = _streamPtr;

    // Clear state

    distance = -1;

    strength = -1;

    state = READY;

    // Set standard output mode

    setStandardOutputMode();

return true;

}

// Public: The main function to measure distance. uint16_t
TFMini::getDistance() {

    int numMeasurementAttempts = 0; while (takeMeasurement() !=
0) {

        numMeasurementAttempts += 1;

        if (numMeasurementAttempts >
TFMINI_MAX_MEASUREMENT_ATTEMPTS) {

            Serial.println ("TF Mini error: too many
measurement attempts");

            Serial.println ("Last error:");
```

```
if (state == ERROR_SERIAL_NOHEADER) {  
    Serial.println("ERROR_SERIAL_NOHEADER");  
    if (state == ERROR_SERIAL_BADCHECKSUM){  
        Serial.println("ERROR_SERIAL_BADCHECKSUM  
");  
        if (state == ERROR_SERIAL_TOOMANYTRIES){  
            Serial.println("ERROR_SERIAL_TOOMA  
NYTRIES");  
            state = ERROR_SERIAL_TOOMANYTRIES;  
            distance = -1;  
            strength = -1;  
            return -1;  
        }  
    }  
    if (state == MEASUREMENT_OK) {  
        return distance;  
    } else {  
        return -1;  
    }  
}  
  
// Public: Return the most recent signal strength  
measuremenet from the TF Mini  
uint16_t TFMini::getRecentSignalStrength() {  
    return strength;  
}  
  
// Private: Set the TF Mini into the correct  
measurement mode  
void TFMini::setStandardOutputMode() {
```



```
// Send external trigger

void TFMini::externalTrigger() {

    setConfigMode(); // send trigger

    streamPtr->write((uint8_t)0x42);
    streamPtr->write((uint8_t)0x57);
    streamPtr->write((uint8_t)0x02);
    streamPtr->write((uint8_t)0x00);
    streamPtr->write((uint8_t)0x00);
    streamPtr->write((uint8_t)0x00);
    streamPtr->write((uint8_t)0x00);
    streamPtr->write((uint8_t)0x41);

}

// Private: Handles the low-level bits of
communicating with the TFMini, and detecting
some communication errors.

int TFMini::takeMeasurement() {

    int numCharsRead = 0;

    uint8_t lastChar = 0x00;

    // Step 1: Read the serial stream until we see
the beginning of the TF Mini header, or we
timeout reading too many characters.

    while (1){

        if (streamPtr->available()) {

            uint8_t curChar = streamPtr->read();

            if ((lastChar == 0x59) && (curChar ==
0x59)) { // Break to begin frame

                break;

            } else {

                // We have not seen two 0x59's in
a row -- store the current character
and continue reading.

                lastChar = curChar;

                numCharsRead += 1;

            }

        }

    }

}
```

```
    }  
  
    }  
  
    // Error detection: If we read more than X  
    // characters without finding a frame header,  
    // then it's likely there is an issue with  
  
    // the Serial connection, and we should  
    // timeout and throw an error.  
  
    if (numCharsRead >  
        TFMINI_MAXBYTESBEFOREHEADER) {  
  
        state = ERROR_SERIAL_NOHEADER;  
  
        distance = -1;  
  
        strength = -1;  
  
        if (TFMINI_DEBUGMODE == 1)  
  
            Serial.println("ERROR: no header");  
  
        return -1;  
  
    }  
  
    }  
  
    // Step 2: Read one frame from the TFMini  
  
    uint8_t frame[TFMINI_FRAME_SIZE];  
  
    uint8_t checksum = 0x59 + 0x59;  
  
    for (int i=0; i<TFMINI_FRAME_SIZE; i++) {  
  
        // Read one character  
  
        while (!streamPtr->available()) {  
  
            // wait for a character to become  
            // available  
  
        }  
  
        frame[i] = streamPtr->read();  
  
        // Store running checksum  
  
        if (i < TFMINI_FRAME_SIZE-2) {
```

```
        checksum += frame[i];

    }

}

// Step 2A: Compare checksum

// Last byte in the frame is an 8-bit
checksum

uint8_t checksumByte =
frame[TFMINI_FRAME_SIZE-1];

if (checksum != checksumByte) {

    state = ERROR_SERIAL_BADCHECKSUM;

    distance = -1;

    strength = -1;

    if (TFMINI_DEBUGMODE == 1)

        Serial.println("ERROR: bad
checksum");

        return -1;

    }

// Step 3: Interpret frame

    uint16_t dist = (frame[1] << 8) +
frame[0];

    uint16_t st = (frame[3] << 8) +
frame[2];

    uint8_t reserved = frame[4];

    uint8_t originalSignalQuality =
frame[5];

// Step 4: Store values distance = dist;
strength = st;

    state = MEASUREMENT_OK;

// Return success
```



```
        return 0;
    }

/* Arduino driver for Benewake TFMini time-of-flight distance sensor.
by Peter Jansen (December 11/2017)

This code is open source software in the public domain.

THIS SOFTWARE IS PROVIDED 'AS IS' AND ANY EXPRESS OR IMPLIED
WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF
MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED.
IN NO EVENT SHALL THE AUTHOR(S) BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT,
INCIDENTAL, SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING,
BUT NOT LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES;
LOSS OF USE, DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER
CAUSED AND ON ANY THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT
LIABILITY, OR TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY
WAY OUT OF THE USE OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE
POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE. The names of the contributors may not be
used to endorse or promote product derived from this software without
specific prior written permission. */

#if (ARDUINO >= 100)

#include "Arduino.h"

#else

#include "WProgram.h"

#endif

// Defines

#define TFMINI_BAUDRATE 115200

#define TFMINI_DEBUGMODE 0

// The frame size is nominally 9 characters, but we don't include the
first two 0x59's marking the start of the frame

#define TFMINI_FRAME_SIZE 7

// Timeouts

#define TFMINI_MAXBYTESBEFOREHEADER 30

#define TFMINI_MAX_MEASUREMENT_ATTEMPTS 10
```

```
// States

#define READY 0

#define ERROR_SERIAL_NOHEADER 1

#define ERROR_SERIAL_BADCHECKSUM 2

#define ERROR_SERIAL_TOOMANYTRIES 3

#define MEASUREMENT_OK 10

// Driver Class Definition

class TFMini {

    public:
        TFMini(void);

        // Configuration

        boolean begin(Stream* _streamPtr);

        void setSingleScanMode();

        // Data collection uint16_t getDistance();

        uint16_t getRecentSignalStrength();

        void externalTrigger();

private:

    Stream* streamPtr;

    int state;

    uint16_t distance;

    uint16_t strength;

    // Low-level communication

    void setStandardOutputMode();

    void setConfigMode();

    int takeMeasurement();

};
```

**CÓDIGO SENSOR ULTRASONIDOS: HC-SR04**

```
//Autores: Carlos Armando Rondón Almonte y Enrique Gil García
//Universidad de La Laguna

//Define las constantes para los pines donde hayas conectado el
pin Echo y Trigger
const int EchoPin = 8;
const int TriggerPin = 9;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(TriggerPin, OUTPUT);
  pinMode(EchoPin, INPUT);
}

//Aquí la muestra de las mediciones
void loop() {
  int cm = ping(TriggerPin, EchoPin);
  Serial.print("Distancia medida: ");
  Serial.println(cm);
  delay(500);
}

//Cálculo para la distancia
int ping(int TriggerPin, int EchoPin) {
  long duration, distanceCm;

  digitalWrite(TriggerPin, LOW); //para generar un pulso limpio
  ponemos a LOW 4us
  delayMicroseconds(4);
  digitalWrite(TriggerPin, HIGH); //generamos Trigger (disparo)
  de 10us
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(TriggerPin, LOW);

  duration = pulseIn(EchoPin, HIGH); //medimos el tiempo entre
  pulsos, en microsegundos

  distanceCm = duration * 10 / 292 / 2; //convertimos a
  distancia, en cm
  return distanceCm;
}
```

**CÓDIGO SENSOR TF MINI PLUS Y HC-SR04**

```
//Autores: Carlos Armando Rondón Almonte y Enrique Gil García
//Universidad de La Laguna

/* this program is the interpretation routine of standard output
protocol of TFmini product on Arduino.
For details, refer to Product Specifications.
For Arduino boards with only one serial port like UNO board, the
function of software visual serial port is to be used. */

#include<SoftwareSerial.h> //header file of software serial port
SoftwareSerial Serial1(2,3); //define software serial port name as
Serial1 and define pin2 as RX and pin3
/* For Arduinoboards with multiple serial ports like DUEboard,
interpret above two pieces of code and directly use Serial1 serial
port*/
int dist; //actual distance measurements of LiDAR
int strength; //signal strength of LiDAR
int check; //save check value
int i;
int uart[9]; //save data measured by LiDAR
const int HEADER=0x59; //frame header of data package

//Define las constantes para los pines donde hayas conectado el pin
Echo y Trigger
const int EchoPin = 8;
const int TriggerPin = 9;

void setup() {

    Serial.begin(9600); //set bit rate of serial port connecting
Arduino with computer
    Serial1.begin(115200); //set bit rate of serial port connecting
LiDAR with Arduino

    pinMode(TriggerPin, OUTPUT);
    pinMode(EchoPin, INPUT);

}

void loop() {

    if (Serial1.available())/*check if serial port has data input*/ {
        if(Serial1.read()==HEADER)/*assess data package frame header
0x59*/ {
            uart[0]=HEADER;
            if(Serial1.read()==HEADER)/*assess data package frame
header 0x59*/ {
                uart[1]=HEADER;
```

```
for(i=2;i<9;i++)/*save data in array*/ {
    uart[i]=Serial1.read();
}

check=uart[0]+uart[1]+uart[2]+uart[3]+uart[4]+uart
[5]+uart[6]+uart[7];
if(uart[8]==(check&0xff))/*verify the received
data as per protocol*/ {
    dist=uart[2]+uart[3]*256; //calculate
distance value
    strength=uart[4]+uart[5]*256; //calculate
signal strength value
    Serial.print("TFMP: ");
    Serial.print('\t');
    Serial.print("dist = ");
    Serial.print(dist); //output measure
distance value of LiDAR
    Serial.print('\t');
    Serial.print("strength = ");
    Serial.print(strength);//output signal
strength value
    Serial.print('\n');
    delay(100);

    if(dist <= 10) {
        int cm = ping(TriggerPin, EchoPin);

        Serial.print("\n");
        Serial.print("Entramos en modo
peligro");

        Serial.print("\n");
        Serial.print("Dist ultrasonidos: ");
        Serial.println(cm);
        delay(500);

        if(cm <= 10){
            Serial.print("\n");
            Serial.print("Detenemos
movimiento");

            Serial.print("\n");
            Serial.print("\n");
            delay(5000);
        }
    }
}
}
```

```
}

//Cálculo para la distancia
int ping(int TriggerPin, int EchoPin) {
    long duration, distanceCm;

    digitalWrite(TriggerPin, LOW); //para generar un pulso limpio
    ponemos a LOW 4us
    delayMicroseconds(4);
    digitalWrite(TriggerPin, HIGH); //generamos Trigger (disparo) de
10us
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TriggerPin, LOW);

    duration = pulseIn(EchoPin, HIGH); //medimos el tiempo entre
pulsos, en microsegundos

    distanceCm = duration * 10 / 292 / 2; //convertimos a distancia,
en cm
    return distanceCm;
}
```



**CÓDIGO FINAL**

```
//Autores: Carlos Armando Rondón Almonte y Enrique Gil García

//Universidad de La Laguna

//programa cálculo de distancias del basto´n

//incluimos las librerias

#include <TimerOne.h>

#include<SoftwareSerial.h>

#include <EasyBuzzer.h>

//definimos los pines

#define PinZumbador 5

#define PinVibrador 6

#define ANALOGPIN 1

SoftwareSerial Serial1(2,3); //define software serial port name as
Serial1 and define pin2 as RX and pin3

//declaracio´n de los parametros para las vibraciones

unsigned long TiempoOn, TiempoOff, PWMZumb;

unsigned long tiempoCiclo;

int count = 0;

// declaración de los parámetros utilizados para el TFMP

int dist; //actual distance measurements of LiDAR

int strength; //signal strength of LiDAR

int check; //save check value

int i;

int uart[9]; //save data measured by LiDAR

const int HEADER=0x59; //frame header of data package

//declaración para los pines del ultrasonidos

const int EchoPin = 8;

const int TriggerPin = 9;
```

```
//se declara para el registro de distancias
int ultimaDistancia = -1;

int valorPWM;

//declaración de variables para el medidor de batería
int analogValor = 0;

float voltaje = 0;

float maximo = 4.2 ;

float medio = 3.9 ;

float minimo = 3.6 ;

//declaración de variables para los tiempos de pitidos
unsigned long TiempoPitidomedio;
unsigned long TiempoPitidominimo;
unsigned long TiempoPitidoultra;
unsigned long TiempoPitidoError;

void setup() {

    EasyBuzzer.setPin(PinVibrador); //Inicializamos el vibrador

    Serial.begin( 9600 );          //set bit rate of serial port connecting
    Arduino with computer

    Serial1.begin( 115200 );      //set bit rate of serial port connecting
    LiDAR with Arduino

    pinMode(TriggerPin, OUTPUT);

    pinMode(EchoPin, INPUT);

    pinMode(PinZumbador, OUTPUT);

    pinMode(PinVibrador , OUTPUT);

    Timer1.initialize(1000); // 1 ms se mide los sensores

    Timer1.attachInterrupt(Temporizador);

    //medidor de batería en el momento //
```

```
VoltajeBateria();

if (voltaje < maximo && voltaje >= medio) {

    analogWrite(PinVibrador, 20);

    delay(500);

    analogWrite(PinVibrador, 0);

    delay (200);

}

if ( voltaje < medio && voltaje >= minimo ) {

    analogWrite(PinVibrador, 20);

    delay(300);

    analogWrite(PinVibrador, 0);

    delay(200);

    analogWrite(PinVibrador, 20);

    delay(300);

    analogWrite(PinVibrador, 0);

    delay(200);

}

}

void loop() {

    //Funcio´n sacada para medir el nivel de bateria

    VoltajeBateria();

    //Trataremos de ver el porcentaje de descarga de la bateri´a

    if ( (millis() - TiempoPitidominimo > 6500) && (voltaje < medio &&
voltaje >= minimo) ) {

        Serial.println("Pita con poca bateri´a");

        TiempoPitidominimo = millis();

        delay(800);
```

```
    analogWrite(PinVibrador, 20);

    delay(300);

    analogWrite(PinVibrador, 0);

    delay(200);

    analogWrite(PinVibrador, 20);

    delay(300);

    analogWrite(PinVibrador, 0);

    delay(200);
}

if ( (millis() - TiempoPitidomedio > 10000) && (voltaje < maximo
&& voltaje == medio) ) {

    Serial.println("Pitando dentro de rango normal");

    TiempoPitidomedio = millis();

    delay(1100);

    analogWrite(PinVibrador, 20);

    delay(500);

    analogWrite(PinVibrador, 0);

    delay(200);
}

//Se realiza el cálculo de la distancia con el sensor TF Mini Plus
if (Serial1.available()) /*check if serial port has data input*/ {

    if( Serial1.read() == HEADER ) /*assess data package frame
header 0x59*/ {

        uart[0] = HEADER;

        if ( Serial1.read() == HEADER ) /*assess data
package frame header 0x59*/ {

            uart[1]=HEADER;

            for (i=2;i<9;i++) /*save data in array*/ {
```

```
    uart[i]=Serial1.read();
}

    check = uart[0] + uart[1] + uart[2] + uart[3] +
    uart[4] + uart[5] + uart[6] + uart[7];

    if ( uart[8] == (check&0xff) )/*verify the
    received data as per protocol*/ {

        dist = uart[2]+uart[3]*256; //calculate
        distance value

        strength = uart[4]+uart[5]*256; //calculate
        signal strength value

        Serial.print("TFMP: ");

        Serial.print('\t');

        Serial.print("dist = ");

        Serial.print(dist); //output measure distance
        value of LiDAR

        Serial.print('\t');

        Serial.print("strength = ");

        Serial.print(strength); //output signal
        strength value

        Serial.print('\n');

        delay(100);

        //Una vez calculadas las distancias se
        procede a indicarlasm mediante vibraciones (datos
        en cm)

        //CASOS GENERICO //MODO ERROR

        if( (millis() - TiempoPitidoError > 4000) &&
        (dist > 1200 || dist == 0) ) {

            Serial.print("Entramos en error de la
            medida");

            Serial.print("\n");

            TiempoPitidoError = millis();
```

```
        analogWrite(PinVibrador, 200);

        delay(500);

        analogWrite(PinVibrador, 0);

        delay(300);
    }

//MODO SEGURO

if(dist > 600 && dist < 1200) {

    Serial.print("Cambiando distancia
600-1200 ");

    Serial.print(count);

    Serial.print(" ");

    TiempoOn = 3000;

    TiempoOff = 1000;

    PWMZumb = 100;

}

//MODO ESTÁNDAR

if(dist > 300 && dist <= 600) {

    Serial.print("Cambiando distancia
300-600 ");

    Serial.print(count);

    Serial.print(" ");

    TiempoOn = 2000;

    TiempoOff = 1000;

    PWMZumb = 150;

}

//MODO PELIGRO

if(dist > 150 && dist <= 300) {
```

```
        Serial.print("Cambiando distancia
150-300 ");

        Serial.print(count);

        Serial.print(" ");

        TiempoOn = 1000;

        TiempoOff = 1000;

        PWMZumb = 200;

    }

    //A partir de aquí usamos el sensor de
    ultrasonidos

    if(dist <= 150 && dist > 0) {

        int cm = ping(TriiggerPin, EchoPin);

        Serial.print("\n");

        Serial.print("Entramos en modo
        peligro");

        Serial.print("\n");

        Serial.print("Dist ultrasonidos: ");

        Serial.println(cm);

        delay(500);

        if( (millis() - TiempoPitidoultra >
        5000) && (cm <= 150) ) {

            TiempoPitidoultra = millis();

            Serial.print("Cambiando distancia
            menor de 150: ");

            Serial.print(count);

            Serial.print(" ");

            delay(1000);

            analogWrite(PinVibrador, 120);

            delay(300);
```



```
        analogWrite(PinVibrador, 0);  
        delay(200);  
        analogWrite(PinVibrador, 120);  
        delay(300);  
        analogWrite(PinVibrador, 0);  
        delay(200);  
        analogWrite(PinVibrador, 120);  
        delay(300);  
        analogWrite(PinVibrador, 0);  
        delay(200);  
        TiempoOn = 1000;  
        TiempoOff = 500;  
        PWMZumb = 255;  
    }  
}  
}  
}  
}  
}  
}  
}  
  
//A continuacion se muestran las funciones utilizadas durante el  
código  
  
//Cálculo para la distancia del sensor HC-SR04 int ping( int  
TriggerPin, int EchoPin ) {  
    long duration, distanceCm;  
    digitalWrite(TriggerPin, LOW); //para generar un pulso limpio  
    ponemos a LOW 4us  
    delayMicroseconds(4);
```

```
    digitalWrite(TriiggerPin, HIGH); //generamos Trigger (disparo) de
10us

    delayMicroseconds(10);

    digitalWrite(TriiggerPin, LOW);

    duration = pulseIn(EchoPin, HIGH); //medimos el tiempo entre
pulsos, en microsegundos

    distanceCm = duration * 10 / 292/ 2; //distancia, en cm

    return distanceCm;
}

//Ca´lculo del temporizador
void Temporizador(void) {

    count ++;

    if ((millis() - tiempoCiclo) > TiempoOn + TiempoOff)

        tiempoCiclo = millis();

    if (( millis() - tiempoCiclo) < TiempoOn) {

        analogWrite(PinZumbador, PWMZumb);

    }

    if ((millis() - tiempoCiclo) > TiempoOn) {

        analogWrite(PinZumbador, 0);

    }

}

//Ca´lculo de la baterí´a
void VoltajeBateria() {

    analogValor = analogRead(ANALOGPIN);

    voltaje = 5.0*(float)analogValor/1024.0;

    //Serial.print ( " Voltaje: " );
```

```
//Serial.print ( voltaje );  
    // Serial.print ( '\n' );  
}
```

**ANEXO V:  
DATASHEETS**



# Lidar Lite v3 Operation Manual and Technical Specifications

## Laser Safety

### ⚠ WARNING

This device requires no regular maintenance. In the event that the device becomes damaged or is inoperable, repair or service must be handled by authorized, factory-trained technicians only. Attempting to repair or service the unit on your own can result in direct exposure to laser radiation and the risk of permanent eye damage. For repair or service, contact your dealer or Garmin® for more information. This device should not be modified or operated without its housing or optics. Operating this device without a housing and optics, or operating this device with modified housing or optics that expose the laser source, may result in direct exposure to laser radiation and the risk of permanent eye damage. Removal or modification of the diffuser in front of the laser optic may result in the risk of permanent eye damage.

Use of controls or adjustments or performance of procedures other than those specified in this documentation may result in hazardous radiation exposure. Garmin is not responsible for injuries caused through the improper use or operation of this product.

### ⚠ CAUTION

This device emits laser radiation. This Laser Product is designated Class 1 during all procedures of operation. This designation means that the laser is safe to look at with the unaided eye, however it is advisable to avoid looking into the beam when operating the device and to turn off the module when not in use.

## Documentation Revision Information

Rev	Date	Changes
0A	09/2016	Initial release

## Table of Contents

- Lidar Lite v3 Operation Manual and Technical Specifications ..... 1**
- Laser Safety ..... 1
- Documentation Revision Information..... 1
- Specifications ..... 2**
- Physical ..... 2
- Electrical ..... 2
- Performance ..... 2
- Interface..... 2
- Laser..... 2
- Connections ..... 2**
- Wiring Harness ..... 2
- Connector ..... 2
  - Connector Port Identification ..... 2
- I2C Connection Diagrams ..... 3
  - Standard I2C Wiring ..... 3
  - Standard Arduino I2C Wiring ..... 3
  - PWM Wiring..... 3
  - PWM Arduino Wiring..... 3
- Operational Information ..... 4**
- Technology ..... 4
- Theory of Operation..... 4
- Interface..... 4
  - Initialization ..... 4
  - Power Enable Pin ..... 4
  - I2C Interface ..... 4
  - Mode Control Pin..... 4
  - Settings..... 4
- I2C Protocol Information..... 6**
- I2C Protocol Operation ..... 7
- Register Definitions ..... 7
  - Control Register List ..... 7
  - Detailed Control Register Definitions..... 8
- Frequently Asked Questions ..... 12**
- Must the device run on 5 Vdc? Can it run on 3.3 Vdc instead?..... 12
- What is the spread of the laser beam?..... 12
- How do distance, target size, aspect, and reflectivity effect returned signal strength?..... 12
- How does the device work with reflective surfaces? ..... 12
  - Diffuse Reflective Surfaces..... 12
  - Specular Surfaces ..... 12
- How does liquid affect the signal? ..... 13

# Specifications

## Physical

Specification	Measurement
Size (LxWxH)	20 × 48 × 40 mm (0.8 × 1.9 × 1.6 in.)
Weight	22 g (0.78 oz.)
Operating temperature	-20 to 60°C (-4 to 140°F)

## Electrical

Specification	Measurement
Power	5 Vdc nominal 4.5 Vdc min., 5.5 Vdc max.
Current consumption	105 mA idle 135 mA continuous operation

## Performance

Specification	Measurement
Range (70% reflective target)	40 m (131 ft)
Resolution	+/- 1 cm (0.4 in.)
Accuracy < 5 m	±2.5 cm (1 in.) typical*
Accuracy ≥ 5 m	±10 cm (3.9 in.) typical Mean ±1% of distance maximum Ripple ±1% of distance maximum
Update rate (70% Reflective Target)	270 Hz typical 650 Hz fast mode** >1000 Hz short range only
Repetition rate	~50 Hz default 500 Hz max

\*Nonlinearity present below 1 m (39.4 in.)

\*\*Reduced sensitivity

## Interface

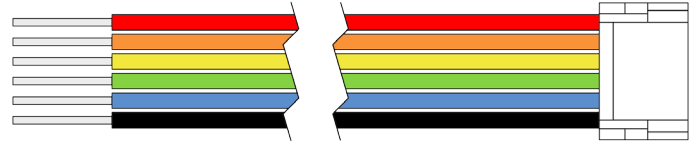
Specification	Measurement
User interface	I2C PWM External trigger
I2C interface	Fast-mode (400 kbit/s) Default 7-bit address 0x62 Internal register access & control
PWM interface	External trigger input PWM output proportional to distance at 10 µs/cm

## Laser

Specification	Measurement
Wavelength	905 nm (nominal)
Total laser power (peak)	1.3 W
Mode of operation	Pulsed (256 pulse max. pulse train)
Pulse width	0.5 µs (50% duty Cycle)
Pulse train repetition frequency	10-20 KHz nominal
Energy per pulse	<280 nJ
Beam diameter at laser aperture	12 × 2 mm (0.47 × 0.08 in.)
Divergence	8 mRadian

# Connections

## Wiring Harness



Wire Color	Function
Red	5 Vdc (+)
Orange	Power enable (internal pull-up)
Yellow	Mode control
Green	I2C SCL
Blue	I2C SDA
Black	Ground (-)

There are two basic configurations for this device:

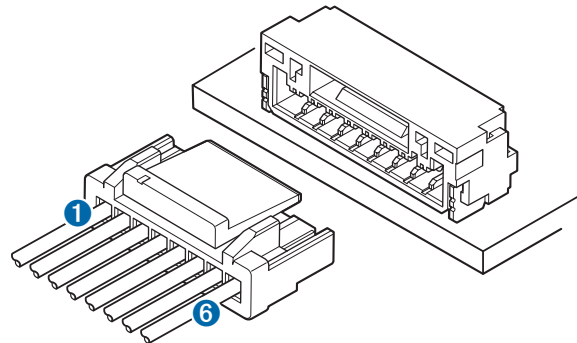
- **I2C (Inter-Integrated Circuit)**—a serial computer bus used to communicate between this device and a microcontroller, such as an Arduino board (“I2C Interface”, page 4).
- **PWM (Pulse Width Modulation)**—a bi-directional signal transfer method that triggers acquisitions and returns distance measurements using the mode-control pin (“Mode Control Pin”, page 4).

## Connector

You can create your own wiring harness if needed for your project or application. The needed components are readily available from many suppliers.

Part	Description	Manufacturer	Part Number
Connector housing	6-position, rectangular housing, latch-lock connector receptacle with a 1.25 mm (0.049 in.) pitch.	JST	GHR-06V-S
Connector terminal	26-30 AWG crimp socket connector terminal (up to 6)	JST	SSHL-002T-P0.2
Wire	UL 1061 26 AWG stranded copper	N/A	N/A

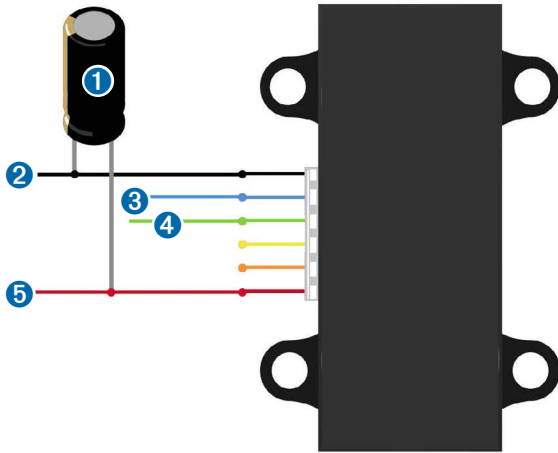
## Connector Port Identification



Item	Pin	Function
1	1	5 Vdc (+)
	2	Power enable (internal pull-up)
	3	Mode control
	4	I2C SCL
	5	I2C SDA
6	6	Ground (-)

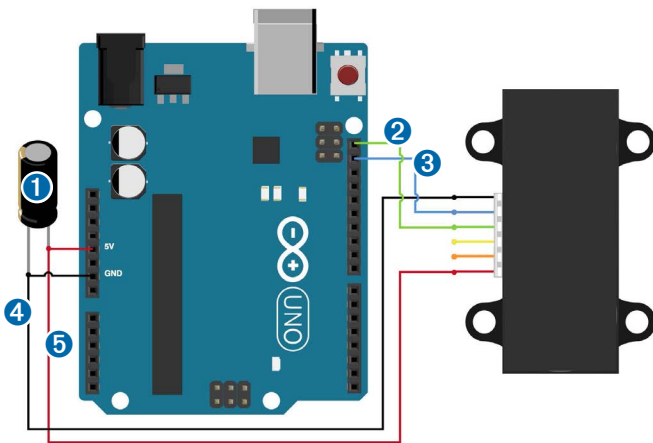
## I2C Connection Diagrams

### Standard I2C Wiring



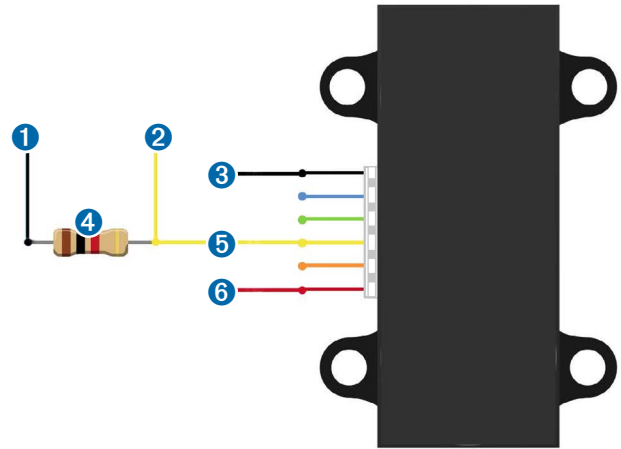
Item	Description	Notes
1	680µF electrolytic capacitor	You must observe the correct polarity when installing the capacitor.
2	Power ground (-) connection	Black wire
3	I2C SDA connection	Blue wire
4	I2C SCA connection	Green wire
5	5 Vdc power (+) connection	Red wire The sensor operates at 4.75 through 5.5 Vdc, with a max. of 6 Vdc.

### Standard Arduino I2C Wiring



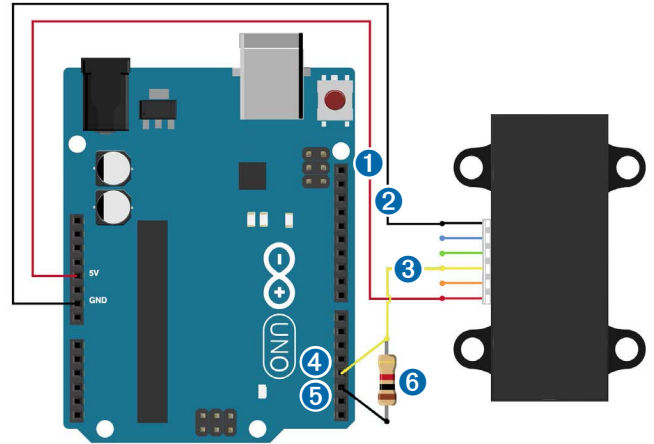
Item	Description	Notes
1	680µF electrolytic capacitor	You must observe the correct polarity when installing the capacitor.
2	I2C SCA connection	Green wire
3	I2C SDA connection	Blue wire
4	Power ground (-) connection	Black wire
5	5 Vdc power (+) connection	Red wire The sensor operates at 4.75 through 5.5 Vdc, with a max. of 6 Vdc.

### PWM Wiring



Item	Description	Notes
1	Trigger pin on microcontroller	Connect the other side of the resistor to the trigger pin on your microcontroller.
2	Monitor pin on microcontroller	Connect one side of the resistor to the mode-control connection on the device, and to a monitoring pin on your microcontroller.
3	Power ground (-) connection	Black Wire
4	1kΩ resistor	
5	Mode-control connection	Yellow wire
6	5 Vdc power (+) connection	Red wire The sensor operates at 4.75 through 5.5 Vdc, with a max. of 6 Vdc.

### PWM Arduino Wiring



Item	Description	Notes
1	5 Vdc power (+) connection	Red wire The sensor operates at 4.75 through 5.5 Vdc, with a max. of 6 Vdc.
2	Power ground (-) connection	Black Wire
3	Mode-control connection	Yellow wire
4	Monitor pin on microcontroller	Connect one side of the resistor to the mode-control connection on the device, and to a monitoring pin on your microcontroller.
5	Trigger pin on microcontroller	Connect the other side of the resistor to the trigger pin on your microcontroller.
6	1kΩ resistor	

# Operational Information

## Technology

This device measures distance by calculating the time delay between the transmission of a Near-Infrared laser signal and its reception after reflecting off of a target. This translates into distance using the known speed of light. Our unique signal processing approach transmits a coded signature and looks for that signature in the return, which allows for highly effective detection with eye-safe laser power levels. Proprietary signal processing techniques are used to achieve high sensitivity, speed, and accuracy in a small, low-power, and low-cost system

## Theory of Operation

To take a measurement, this device first performs a receiver bias correction routine, correcting for changing ambient light levels and allowing maximum sensitivity.

Then the device sends a reference signal directly from the transmitter to the receiver. It stores the transmit signature, sets the time delay for “zero” distance, and recalculates this delay periodically after several measurements.

Next, the device initiates a measurement by performing a series of acquisitions. Each acquisition is a transmission of the main laser signal while recording the return signal at the receiver. If there is a signal match, the result is stored in memory as a correlation record. The next acquisition is summed with the previous result. When an object at a certain distance reflects the laser signal back to the device, these repeated acquisitions cause a peak to emerge, out of the noise, at the corresponding distance location in the correlation record.

The device integrates acquisitions until the signal peak in the correlation record reaches a maximum value. If the returned signal is not strong enough for this to occur, the device stops at a predetermined maximum acquisition count.

Signal strength is calculated from the magnitude of the signal record peak and a valid signal threshold is calculated from the noise floor. If the peak is above this threshold the measurement is considered valid and the device will calculate the distance, otherwise it will report 1 cm. When beginning the next measurement, the device clears the signal record and starts the sequence again.

## Interface

### Initialization

On power-up or reset, the device performs a self-test sequence and initializes all registers with default values. After roughly 22 ms distance measurements can be taken with the I2C interface or the Mode Control Pin.

### Power Enable Pin

The enable pin uses an internal pullup resistor, and can be driven low to shut off power to the device.

### I2C Interface

This device has a 2-wire, I2C-compatible serial interface (refer to I2C-Bus Specification, Version 2.1, January 2000, available from Philips Semiconductor). It can be connected to an I2C bus as a slave device, under the control of an I2C master device. It supports 400 kHz Fast Mode data transfer.

The I2C bus operates internally at 3.3 Vdc. An internal level shifter allows the bus to run at a maximum of 5 Vdc. Internal 3k ohm pullup resistors ensure this functionality and allow for a simple connection to the I2C host.

The device has a 7-bit slave address with a default value of 0x62. The effective 8-bit I2C address is 0xC4 write and 0xC5 read. The device will not respond to a general call. Support is not provided for 10-bit addressing.

Setting the most significant bit of the I2C address byte to one triggers automatic incrementing of the register address with successive reads or writes within an I2C block transfer. This is commonly used to read the two bytes of a 16-bit value within one transfer and is used in the following example.

The simplest method of obtaining measurement results from the I2C interface is as follows:

- 1 Write 0x04 to register 0x00.
- 2 Read register 0x01. Repeat until bit 0 (LSB) goes low.
- 3 Read two bytes from 0x8f (High byte 0x0f then low byte 0x10) to obtain the 16-bit measured distance in centimeters.

A list of all available control registers is available on [page 7](#).

For more information about the I2C protocol, see [I2C Protocol Operation \(page 7\)](#).

### Mode Control Pin

The mode control pin provides a means to trigger acquisitions and return the measured distance via Pulse Width Modulation (PWM) without having to use the I2C interface.

The idle state of the mode control pin is high impedance (High-Z). Pulling the mode control pin low will trigger a single measurement, and the device will respond by driving the line high with a pulse width proportional to the measured distance at 10  $\mu$ s/cm. A 1k ohm termination resistance is required to prevent bus contention.

The device drives the mode control pin high at 3.3 Vdc. Diode isolation allows the pin to tolerate a maximum of 5 Vdc.

As shown in the diagram [PWM Arduino Wiring \(page 3\)](#), a simple triggering method uses a 1k ohm resistor in series with a host output pin to pull the mode control pin low to initiate a measurement, and a host input pin connected directly to monitor the low-to-high output pulse width.

If the mode control pin is held low, the acquisition process will repeat indefinitely, producing a variable frequency output proportional to distance.

The mode control pin behavior can be modified with the ACQ\_CONFIG\_REG (0x04) I2C register as detailed in [0x04 \(page 8\)](#).

### Settings

The device can be configured with alternate parameters for the distance measurement algorithm. This can be used to customize performance by enabling configurations that allow choosing between speed, range and sensitivity. Other useful features are also detailed in this section. See the full register map ([Control Register List \(page 7\)](#)) for additional settings not mentioned here.

### Receiver Bias Correction

Address	Name	Description	Initial Value
0x00	ACQ_COMMAND	Device command	--

- Write 0x00: Reset device, all registers return to default values
- Write 0x03: Take distance measurement without receiver bias correction
- Write 0x04: Take distance measurement with receiver bias correction

Faster distance measurements can be performed by omitting the receiver bias correction routine. Measurement accuracy and sensitivity are adversely affected if conditions change (e.g. target distance, device temperature, and optical noise). To achieve good performance at high measurement rates receiver bias correction must be performed periodically. The recommended method is to do so at the beginning of every 100 sequential measurement commands.

### Maximum Acquisition Count

Address	Name	Description	Initial Value
0x02	SIG_COUNT_VAL	Maximum acquisition count	0x80

The maximum acquisition count limits the number of times the device will integrate acquisitions to find a correlation record peak (from a returned signal), which occurs at long range or with low target reflectivity. This controls the minimum measurement rate and maximum range. The unit-less relationship is roughly as follows: rate = 1/n and range = n^(1/4), where n is the number of acquisitions.



### Measurement Quick Termination Detection

Address	Name	Description	Initial Value
0x04	ACQ_CONFIG_REG	Acquisition mode control	0x08

You can enable quick-termination detection by clearing bit 3 in this register. The device will terminate a distance measurement early if it anticipates that the signal peak in the correlation record will reach maximum value. This allows for faster and slightly less accurate operation at strong signal strengths without sacrificing long range performance.

### Detection Sensitivity

Address	Name	Description	Initial Value
0x1c	THRESHOLD_BYPASS	Peak detection threshold bypass	0x00

The default valid measurement detection algorithm is based on the peak value, signal strength, and noise in the correlation record. This can be overridden to become a simple threshold criterion by setting a non-zero value. Recommended non-default values are 0x20 for higher sensitivity with more frequent erroneous measurements, and 0x60 for reduced sensitivity and fewer erroneous measurements.

### Burst Measurements and Free Running Mode

Address	Name	Description	Initial Value
0x04	ACQ_CONFIG_REG	Acquisition mode control	0x08
0x11	OUTER_LOOP_COUNT	Burst measurement count control	0x00
0x45	MEASURE_DELAY	Delay between automatic measurements	0x14

The device can be configured to take multiple measurements for each measurement command or repeat indefinitely for free running mode.

OUTER\_LOOP\_COUNT (0x11) controls the number of times the device will retrigger itself. Values 0x00 or 0x01 result in the default one measurement per command. Values 0x02 to 0xfe directly set the repetition count. Value 0xff will enable free running mode after the host device sends an initial measurement command.

The default delay between automatic measurements corresponds to a 10 Hz repetition rate. Set bit 5 in ACQ\_CONFIG\_REG (0x04) to use the delay value in MEASURE\_DELAY (0x45) instead. A delay value of 0x14 roughly corresponds to 100Hz.

The delay is timed from the completion of each measurement. The means that measurement duration, which varies with returned signal strength, will affect the repetition rate. At low repetition rates (high delay) this effect is small, but for lower delay values it is recommended to limit the maximum acquisition count if consistent frequency is desired.

### Velocity

Address	Name	Description	Initial Value
0x09	VELOCITY	Velocity measurement output	--

The velocity measurement is the difference between the current measurement and the previous one, resulting in a signed (2's complement) 8-bit number in cm. Positive velocity is away from the device. This can be combined with free running mode for a constant measurement frequency. The default free running frequency of 10 Hz therefore results in a velocity measurement in .1 m/s.

### Configurable I2C Address

Address	Name	Description	Initial Value
0x16	UNIT_ID_HIGH	Serial number high byte	Unique
0x17	UNIT_ID_LOW	Serial number low byte	Unique
0x18	I2C_ID_HIGH	Write serial number high byte for I2C address unlock	--
0x19	I2C_ID_LOW	Write serial number low byte for I2C address unlock	--
0x1a	I2C_SEC_ADDR	Write new I2C address after unlock	--
0x1e	I2C_CONFIG	Default address response control	0x00

The I2C address can be changed from its default value. Available addresses are 7-bit values with a '0' in the least significant bit (even hexadecimal numbers).

To change the I2C address, the unique serial number of the unit must be read then written back to the device before setting the new address. The process is as follows:

- 1 Read the two byte serial number from 0x96 (High byte 0x16 and low byte 0x17).
- 2 Write the serial number high byte to 0x18.
- 3 Write the serial number low byte to 0x19.
- 4 Write the desired new I2C address to 0x1a.
- 5 Write 0x08 to 0x1e to disable the default address.

This can be used to run multiple devices on a single bus, by enabling one, changing its address, then enabling the next device and repeating the process.

The I2C address will be restored to default after a power cycle.

### Power Control

Address	Name	Description	Initial Value
0x65	POWER_CONTROL	Power state control	0x80

**NOTE:** The most effective way to control power usage is to utilize the enable pin to deactivate the device when not in use.

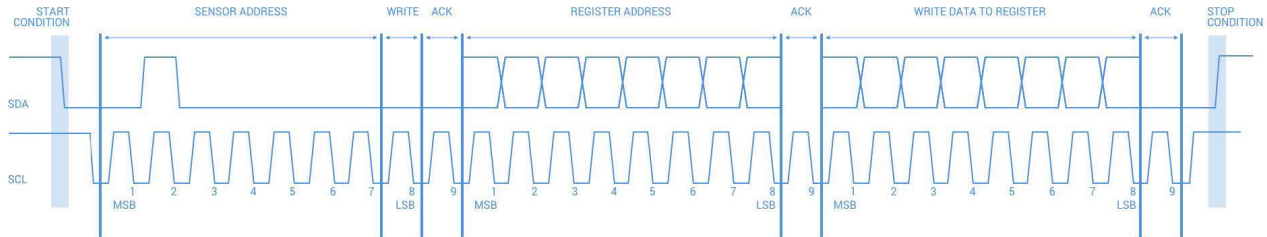
Another option is to set bit 0 in this register which disables the receiver circuit, saving roughly 40mA. After being re-enabled, the receiver circuit stabilizes by the time a measurement can be performed. Setting bit 2 puts the device in sleep mode until the next I2C transaction, saving 20mA. **Since the wake-up time is only around 2 m/s shorter than the full power-on time, and both will reset all registers, it is recommended to use the enable pin instead.**

## I2C Protocol Information

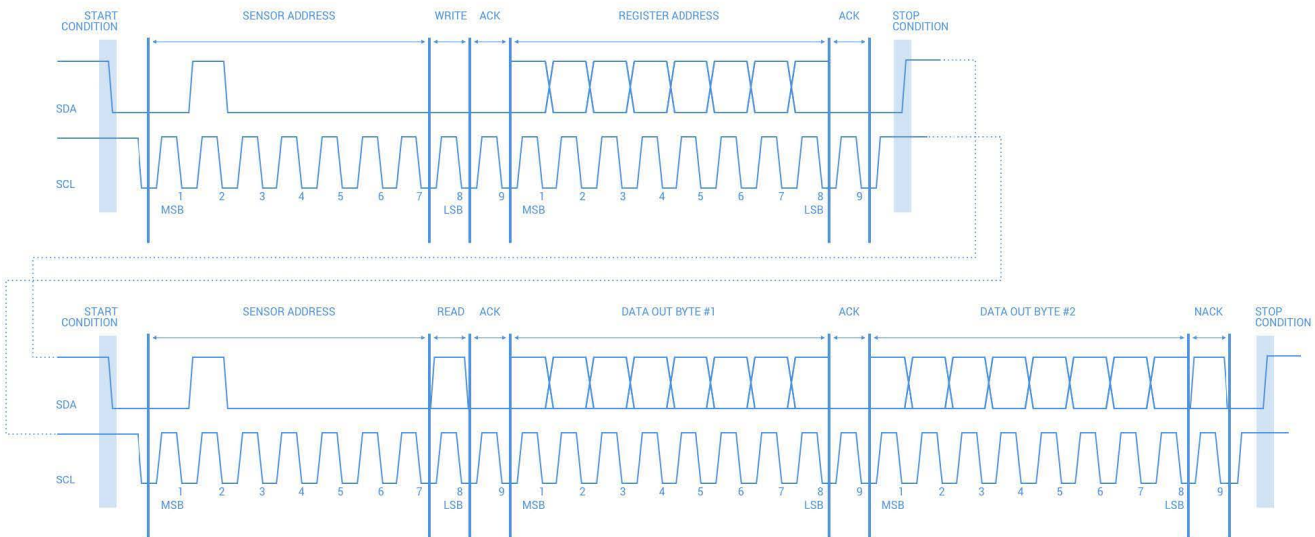
This device has a 2-wire, I2C-compatible serial interface (refer to I2C-Bus Specification, Version 2.1, January 2000, available from Philips Semiconductor). It can be connected to an I2C bus as a slave device, under the control of an I2C master device. It supports standard 400 kHz data transfer mode. Support is not provided for 10-bit addressing.

The Sensor module has a 7-bit slave address with a default value of 0x62 in hexadecimal notation. The effective 8 bit I2C address is: 0xC4 write, 0xC5 read. The device will not presently respond to a general call.

### Write



### Read



#### Notes:

- This device does not work with repeated START conditions. It must first receive a STOP condition before a new START condition.
- The ACK and NACK items are responses from the master device to the slave device.
- The last NACK in the read is technically optional, but the formal I2C protocol states that the master shall not acknowledge the last byte.

## I2C Protocol Operation

The I2C serial bus protocol operates as follows:

- 1 The master initiates data transfer by establishing a start condition, which is when a high-to-low transition on the SDA line occurs while SCL is high. The following byte is the address byte, which consists of the 7-bit slave address followed by a read/write bit with a zero state indicating a write request. A write operation is used as the initial stage of both read and write transfers. If the slave address corresponds to the module's address the unit responds by pulling SDA low during the ninth clock pulse (this is termed the acknowledge bit). At this stage, all other devices on the bus remain idle while the selected device waits for data to be written to or read from its shift register.
- 2 Data is transmitted over the serial bus in sequences of nine clock pulses (eight data bits followed by an acknowledge bit). The transitions on the SDA line must occur during the low period of SCL and remain stable during the high period of SCL.
- 3 An 8 bit data byte following the address loads the I2C control register with the address of the first control register to be read along with flags indicating if auto increment of the addressed control register is desired with successive reads or writes; and if access to the internal micro or external correlation processor register space is requested. Bit locations 5:0 contain the control register address while bit 7 enables the automatic incrementing of control register with successive data blocks. Bit position 6 selects correlation memory external to the microcontroller if set. (Presently an advanced feature)
- 4 If a read operation is requested, a stop bit is issued by the master at the completion of the first data frame followed by the initiation of a new start condition, slave address with the read bit set (one state). The new address byte is followed by the reading of one or more data bytes succession. After the slave has acknowledged receipt of a valid address, data read operations proceed by the master releasing the I2C data line SDA with continuing clocking of SCL. At the completion of the receipt of a data byte, the master must strobe the acknowledge bit before continuing the read cycle.
- 5 For a write operation to proceed, Step 3 is followed by one or more 8 bit data blocks with acknowledges provided by the slave at the completion of each successful transfer. At the completion of the transfer cycle a stop condition is issued by the master terminating operation.

## Register Definitions

### Control Register List

Address	R/W	Name	Description	Initial Value	Details
0x00	W	ACQ_COMMAND	Device command	--	<a href="#">page 8</a>
0x01	R	STATUS	System status	--	<a href="#">page 8</a>
0x02	R/W	SIG_COUNT_VAL	Maximum acquisition count	0x80	<a href="#">page 8</a>
0x04	R/W	ACQ_CONFIG_REG	Acquisition mode control	0x08	<a href="#">page 8</a>
0x09	R	VELOCITY	Velocity measurement output	--	<a href="#">page 8</a>
0x0c	R	PEAK_CORR	Peak value in correlation record	--	<a href="#">page 8</a>
0x0d	R	NOISE_PEAK	Correlation record noise floor	--	<a href="#">page 8</a>
0x0e	R	SIGNAL_STRENGTH	Received signal strength	--	<a href="#">page 9</a>
0x0f	R	FULL_DELAY_HIGH	Distance measurement high byte	--	<a href="#">page 9</a>
0x10	R	FULL_DELAY_LOW	Distance measurement low byte	--	<a href="#">page 9</a>
0x11	R/W	OUTER_LOOP_COUNT	Burst measurement count control	0x01	<a href="#">page 9</a>
0x12	R/W	REF_COUNT_VAL	Reference acquisition count	0x05	<a href="#">page 9</a>
0x14	R	LAST_DELAY_HIGH	Previous distance measurement high byte	--	<a href="#">page 9</a>
0x15	R	LAST_DELAY_LOW	Previous distance measurement low byte	--	<a href="#">page 9</a>
0x16	R	UNIT_ID_HIGH	Serial number high byte	Unique	<a href="#">page 9</a>
0x17	R	UNIT_ID_LOW	Serial number low byte	Unique	<a href="#">page 9</a>
0x18	W	I2C_ID_HIGH	Write serial number high byte for I2C address unlock	--	<a href="#">page 9</a>
0x19	W	I2C_ID_LOW	Write serial number low byte for I2C address unlock	--	<a href="#">page 9</a>
0x1a	R/W	I2C_SEC_ADDR	Write new I2C address after unlock	--	<a href="#">page 9</a>
0x1c	R/W	THRESHOLD_BYPASS	Peak detection threshold bypass	0x00	<a href="#">page 9</a>
0x1e	R/W	I2C_CONFIG	Default address response control	0x00	<a href="#">page 9</a>
0x40	R/W	COMMAND	State command	--	<a href="#">page 10</a>
0x45	R/W	MEASURE_DELAY	Delay between automatic measurements	0x14	<a href="#">page 10</a>
0x4c	R	PEAK_BCK	Second largest peak value in correlation record	--	<a href="#">page 10</a>
0x52	R	CORR_DATA	Correlation record data low byte	--	<a href="#">page 10</a>
0x53	R	CORR_DATA_SIGN	Correlation record data high byte	--	<a href="#">page 10</a>
0x5d	R/W	ACQ_SETTINGS	Correlation record memory bank select	--	<a href="#">page 10</a>
0x65	R/W	POWER_CONTROL	Power state control	0x80	<a href="#">page 10</a>

## Detailed Control Register Definitions

**NOTE:** Unless otherwise noted, all registers contain one byte and are read and write.

### 0x00

R/W	Name	Description	Initial Value
W	ACQ_COMMAND	Device command	--

Bit	Function
7:0	Write 0x00: Reset FPGA, all registers return to default values Write 0x03: Take distance measurement without receiver bias correction Write 0x04: Take distance measurement with receiver bias correction

### 0x01

R/W	Name	Description	Initial Value
R	STATUS	System status	--

Bit	Function
6	Process Error Flag 0: No error detected 1: System error detected during measurement
5	Health Flag 0: Error detected 1: Reference and receiver bias are operational
4	Secondary Return Flag 0: No secondary return detected 1: Secondary return detected in correlation record
3	Invalid Signal Flag 0: Peak detected 1: Peak not detected in correlation record, measurement is invalid
2	Signal Overflow Flag 0: Signal data has not overflowed 1: Signal data in correlation record has reached the maximum value before overflow. This occurs with a strong received signal strength
1	Reference Overflow Flag 0: Reference data has not overflowed 1: Reference data in correlation record has reached the maximum value before overflow. This occurs periodically
0	Busy Flag 0: Device is ready for new command 1: Device is busy taking a measurement

### 0x02

R/W	Name	Description	Initial Value
R/W	SIG_COUNT_VAL	Maximum acquisition count	0x80

Bit	Function
7:0	Maximum number of acquisitions during measurement

### 0x04

R/W	Name	Description	Initial Value
R/W	ACQ_CONFIG_REG	Acquisition mode control	0x08

Bit	Function
6	0: Enable reference process during measurement 1: Disable reference process during measurement
5	0: Use default delay for burst and free running mode 1: Use delay from MEASURE_DELAY (0x45) for burst and free running mode
4	0: Enable reference filter, averages 8 reference measurements for increased consistency 1: Disable reference filter
3	0: Enable measurement quick termination. Device will terminate distance measurement early if it anticipates that the signal peak in the correlation record will reach maximum value. 1: Disable measurement quick termination.
2	0: Use default reference acquisition count of 5. 1: Use reference acquisition count from REF_COUNT_VAL (0x12).
1:0	Mode Select Pin Function Control 00: Default PWM mode. Pull pin low to trigger measurement, device will respond with an active high output with a duration of 10us/cm. 01: Status output mode. Device will drive pin active high while busy. Can be used to interrupt host device. 10: Fixed delay PWM mode. Pulling pin low will not trigger a measurement. 11: Oscillator output mode. Nominal 31.25 kHz output. The accuracy of the silicon oscillator in the device is generally within 1% of nominal. This affects distance measurements proportionally and can be measured to apply a compensation factor.

### 0x09

R/W	Name	Description	Initial Value
R	VELOCITY	Velocity measurement output	--

Bit	Function
7:0	Velocity measurement output. The difference between the current measurement and the previous one, signed (2's complement) value in centimeters.

### 0x0c

R/W	Name	Description	Initial Value
R	PEAK_CORR	Peak value in correlation record	--

Bit	Function
7:0	The value of the highest peak in the correlation record.

### 0x0d

R/W	Name	Description	Initial Value
R	NOISE_PEAK	Correlation record noise floor	--

Bit	Function
7:0	A measure of the noise in the correlation record. Will be slightly above the third highest peak.

**0x0e**

R/W	Name	Description	Initial Value
R	SIGNAL_STRENGTH	Received signal strength	--

Bit	Function
7:0	Received signal strength calculated from the value of the highest peak in the correlation record and how many acquisitions were performed.

**0x0f**

R/W	Name	Description	Initial Value
R	FULL_DELAY_HIGH	Distance measurement high byte	--

Bit	Function
7:0	Distance measurement result in centimeters, high byte.

**0x10**

R/W	Name	Description	Initial Value
R	FULL_DELAY_LOW	Distance measurement low byte	--

Bit	Function
7:0	Distance measurement result in centimeters, low byte.

**0x11**

R/W	Name	Description	Initial Value
R/W	OUTER_LOOP_COUNT	Burst measurement count control	0x01

Bit	Function
7:0	0x00-0x01: One measurement per distance measurement command. 0x02-0xfe: Repetition count per distance measurement command. 0xff: Indefinite repetitions after initial distance measurement command. See ACQ_CONFIG_REG (0x04) and MEASURE_DELAY (0x45) for non-default automatic repetition delays.

**0x12**

R/W	Name	Description	Initial Value
R/W	REF_COUNT_VAL	Reference acquisition count	0x05

Bit	Function
7:0	Non-default number of reference acquisitions during measurement. ACQ_CONFIG_REG (0x04) bit 2 must be set.

**0x14**

R/W	Name	Description	Initial Value
R	LAST_DELAY_HIGH	Previous distance measurement high byte	--

Bit	Function
7:0	Previous distance measurement result in centimeters, high byte.

**0x15**

R/W	Name	Description	Initial Value
R	LAST_DELAY_LOW	Previous distance measurement low byte	--

Bit	Function
7:0	Previous distance measurement result in centimeters, low byte.

**0x16**

R/W	Name	Description	Initial Value
R	UNIT_ID_HIGH	Serial number high byte	Unique

Bit	Function
7:0	Unique serial number of device, high byte.

**0x17**

R/W	Name	Description	Initial Value
R	UNIT_ID_LOW	Serial number low byte	Unique

Bit	Function
7:0	Unique serial number of device, high byte.

**0x18**

R/W	Name	Description	Initial Value
W	I2C_ID_HIGH	Write serial number high byte for I2C address unlock	--

Bit	Function
7:0	Write the value in UNIT_ID_HIGH (0x16) here as part of enabling a non-default I2C address. See I2C_ID_LOW (0x19) and I2C_SEC_ADDR (0x1a).

**0x19**

R/W	Name	Description	Initial Value
W	I2C_ID_LOW	Write serial number low byte for I2C address unlock	--

Bit	Function
7:0	Write the value in UNIT_ID_LOW (0x17) here as part of enabling a non-default I2C address. See I2C_ID_HIGH (0x18) and I2C_SEC_ADDR (0x1a).

**0x1a**

R/W	Name	Description	Initial Value
R/W	I2C_SEC_ADDR	Write new I2C address after unlock	--

Bit	Function
7:0	Non-default I2C address. Available addresses are 7-bit values with a '0' in the least significant bit (even hexadecimal numbers). I2C_ID_HIGH (0x18) and I2C_ID_LOW (0x19) must have the correct value for the device to respond to the non-default I2C address.

**0x1c**

R/W	Name	Description	Initial Value
R/W	THRESHOLD_BYPASS	Peak detection threshold bypass	0x00

Bit	Function
7:0	0x00: Use default valid measurement detection algorithm based on the peak value, signal strength, and noise in the correlation record. 0x01-0xff: Set simple threshold for valid measurement detection. Values 0x20-0x60 generally perform well.

**0x1e**

R/W	Name	Description	Initial Value
R/W	I2C_CONFIG	Default address response control	0x00

Bit	Function
-----	----------

3	0: Device will respond to I2C address 0x62. Device will also respond to non-default address if configured successfully. See I2C_ID_HIGH (0x18), I2C_ID_LOW (0x19), and I2C_SEC_ADDR (0x1a). 1: Device will only respond to non-default I2C address. It is recommended to configure the non-default address first, then use the non-default address to write to this register, ensuring success.
---	--

#### 0x40

R/W	Name	Description	Initial Value
R/W	COMMAND	State command	--

Bit	Function
2:0	000: Test mode disable, resume normal operation 111: Test mode enable, allows download of correlation record Select correlation memory bank in ACQ_SETTINGS (0x5d) prior to enabling test mode. Once test mode is enabled, read CORR_DATA (0x52) and CORR_DATA_SIGN (0x53) in one transaction (read from 0xd2). The memory index is incremented automatically and successive reads produce sequential data.

#### 0x45

R/W	Name	Description	Initial Value
R/W	MEASURE_DELAY	Delay between automatic measurements	0x14

Bit	Function
7:0	Non-default delay after completion of measurement before automatic retrigger, in burst and continuous modes. ACQ_CONFIG_REG (0x04) bit 5 must be set. Value 0xc8 corresponds to 10 Hz repetition rate and 0x14 to roughly 100 Hz.

#### 0x4c

R/W	Name	Description	Initial Value
R	PEAK_BCK	Second largest peak value in correlation record	--

Bit	Function
7:0	The value of the second highest peak in the correlation record.

#### 0x52

R/W	Name	Description	Initial Value
R	CORR_DATA	Correlation record data low byte	--

Bit	Function
7:0	Correlation record data low byte. See CORR_DATA_SIGN (0x53), ACQ_SETTINGS (0x5d), and COMMAND (0x40).

#### 0x53

R/W	Name	Description	Initial Value
R	CORR_DATA_SIGN	Correlation record data high byte	--

Bit	Function
7:0	Correlation record data high byte. Correlation record data is a 2's complement 9-bit value, and must be sign extended to be formatted as a 16-bit 2's complement value. Thus when repacking the two bytes obtained for the I2C transaction, set the high byte to 0xff if the LSB of the high byte is one.

#### 0x5d

R/W	Name	Description	Initial Value
R/W	ACQ_SETTINGS	Correlation record memory bank select	--

Bit	Function
7:6	11: Access correlation memory bank. Write prior to test mode enable, see COMMAND (0x40).

#### 0x65

R/W	Name	Description	Initial Value
R/W	POWER_CONTROL	Power state control	0x80

Bit	Function
2	1: Device Sleep, wakes upon I2C transaction. Registers are reinitialized, wakeup time similar to full reset using enable pin. 0: Device awake
0	1: Disable receiver circuit 0: Enable receiver circuit. Receiver circuit stabilizes by the time a measurement can be performed.



## Frequently Asked Questions

### Must the device run on 5 Vdc? Can it run on 3.3 Vdc instead?

The device requires 5 Vdc to run properly, so this specification is recommended and supported.

### What is the spread of the laser beam?

At very close distances (less than 1 m) the beam diameter is about the size of the aperture (lens). For distances greater than 1 m, you can estimate the beam diameter using this equation:

Distance/100 = beam diameter at that distance (in whatever units you measured the distance).

The actual spread is ~8 milli-radians or ~1/2 degree.

### How do distance, target size, aspect, and reflectivity effect returned signal strength?

The device transmits a focused infrared beam that reflects off of a target, and a portion of that reflected signal returns to the receiver. The distance is calculated by taking the difference between the moment of signal transmission to the moment of signal reception. Successfully receiving a reflected signal is heavily influenced by several factors. These factors include:

- Target Distance

The relationship of distance (D) to returned signal strength is an inverse square. So, with increase in distance, returned signal strength decreases by  $1/D^2$  or the square root of the distance.

- Target Size

The relationship of a target's Cross Section (C) to returned signal strength is an inverse power of four. The device transmits a focused near-infrared laser beam that spreads at a rate of approximately  $0.5^\circ$  as distance increases. Up to 1 m it is approximately the size of the lens. Beyond 1 m, the approximate beam spread in degrees can be estimated by dividing the distance by 100, or ~8 milliradians. When the beam overfills (is larger than) the target, the signal returned decreases by  $1/C^4$  or the fourth root of the target's cross section.

- Aspect

The aspect of the target, or its orientation to the sensor, affects the observable cross section and, therefore, the amount of returned signal decreases as the aspect of the target varies from the normal.

- Reflectivity

Reflectivity characteristics of the target's surface also affect the amount of returned signal. In this case, we concern ourselves with reflectivity of near infrared wavelengths ("[How does the device work with reflective surfaces?](#)", page 12).

In summary, a small target can be very difficult to detect if it is distant, poorly reflective, and its aspect is away from the normal. In such cases, the returned signal strength may be improved by attaching infrared reflectors to the target, increasing the size of the target, modifying its aspect, or reducing distance from the sensor.

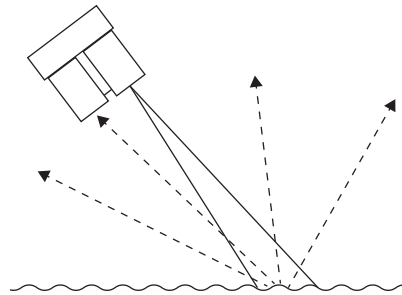
### How does the device work with reflective surfaces?

Reflective characteristics of an object's surface can be divided into three categories (in the real world, a combination of characteristics is typically present):

- Diffuse Reflective
- Specular
- Retro-reflective

#### Diffuse Reflective Surfaces

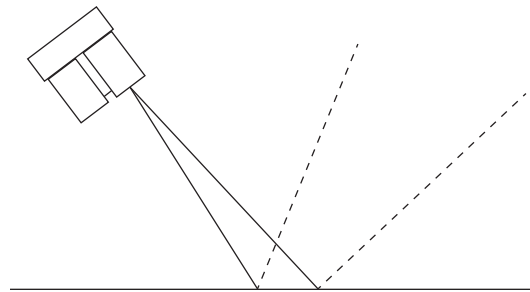
Purely diffuse surfaces are found on materials that have a textured quality that causes reflected energy to disperse uniformly. This tendency results in a relatively predictable percentage of the dispersed laser energy finding its way back to the device. As a result, these materials tend to read very well.



Materials that fall into this category are paper, matte walls, and granite. It is important to note that materials that fit into this category due to observed reflection at visible light wavelengths may exhibit unexpected results in other wavelengths. The near infrared range used by the device may detect them as nearly identical. For example, a black sheet of paper may reflect a nearly identical percentage of the infrared signal back to the receiver as a white sheet.

#### Specular Surfaces

Specular surfaces, are found on materials that have a smooth quality that reflect energy instead of dispersing it. It is difficult or impossible for the device to recognize the distance of many specular surfaces. Reflections off of specular surfaces tend to reflect with little dispersion which causes the reflected beam to remain small and, if not reflected directly back to the receiver, to miss the receiver altogether. The device may fail to detect a specular object in front of it unless viewed from the normal.



Examples of specular surfaces are mirrors and glass viewed off-axis.



## How does liquid affect the signal?

There are a few considerations to take into account if your application requires measuring distances to, or within, liquid:

- Reflectivity and other characteristics of the liquid itself
- Reflectivity characteristics of particles suspended in the liquid
- Turbidity
- Refractive characteristics of the liquid

Reflectivity of the liquid is important when measuring distance to the surface of a liquid or if measuring through liquid to the bottom of a container (“[How does the device work with reflective surfaces?](#)”, page 12).

It is important to note that measuring distance with the device depends on reflected energy from the transmitted signal being detected by the receiver in the sensor. For that reason, the surface condition of the liquid may play an important role in the overall reflectivity and detectability of the liquid. In the case of a flat, highly reflective liquid surface, the laser’s reflected energy may not disperse adequately to allow detection unless viewed from the normal. By contrast, small surface ripples may create enough dispersion of the reflected energy to allow detection of the liquid without the need to position the sensor so that the transmitted beam strikes the liquid’s surface from the normal.

Reflectivity of suspended particles is a characteristic that may help or hinder depending on the application.

Turbidity, or the clarity of a liquid created by the presence or absence of suspended particles, can similarly help or hinder measurement efforts. If the application requires detecting the surface of the liquid, then suspended particles may help by reflecting more of the transmitted beam back to the receiver, increasing detectability and permitting measurements to be taken.

It is important to note that, attempting to measure through suspended particles in a liquid will only be successful if the transmitted beam is allowed to reflect off of the desired target without first being absorbed or reflected by the suspended particles.

When the near infrared energy transmitted by the device transitions from the atmosphere to a liquid, the energy may be bent, or refracted, and absorbed in addition to being dispersed. The degree to which the transmitted beam is refracted and absorbed is defined by its refraction index. That being said, the most important criteria impacting successful measurement through a liquid is the amount of dispersion of the transmitted beam and whether any of the dispersed beam makes its way back to the receiver on the device.

Remember that electromagnetic energy travels slower through a liquid and may affect accuracy of the final measurement output.

For the latest free software updates (excluding map data) throughout the life of your Garmin products, visit the Garmin Web site at [www.garmin.com](http://www.garmin.com).



© 2016 Garmin Ltd. or its subsidiaries

Garmin International, Inc.  
1200 East 151<sup>st</sup> Street, Olathe, Kansas 66062, USA

Garmin (Europe) Ltd.  
Liberty House, Hounslow Business Park, Southampton, Hampshire, SO40 9LR UK

Garmin Corporation  
No. 68, Zhangshu 2<sup>nd</sup> Road, Xizhi Dist., New Taipei City, 221, Taiwan (R.O.C.)

[www.garmin.com](http://www.garmin.com)

# Product Manual of TFmini



**Mini LiDAR Module**

[www.benewake.com](http://www.benewake.com)  
Benewake (Beijing) Co., Ltd.

## Specified Product

Product model: TFmini

Product name: Mini LiDAR Module

## Manufacturer

Company name: Benewake (Beijing) Co. Ltd.

Address: No.28, Xinxu Road, Haidian District, Beijing, PRC

## Copyright

The Copyright of this document is protected. All the rights involved herein belong to Benewake (Beijing) Co. Ltd. Any copy activity of this document, no matter in whole or in part, should be in conformity of the Copyright Law. The actives of Modification, omission or translation of this document are not allowed unless a written permission from Benewake (Beijing) Co. Ltd.

All rights reserved © Benewake (Beijing) Co. Ltd.

## Product Certification



## Foreword

Dear users,

Thanks for choosing Benewake products, and it's our pleasure to help you to solve any technical question.

In the purpose of offering a better operation experience to you, we hereby write this manual for an easier and simpler operation of our product, hoping to better solve the common problems you maybe meet.

This operation manual covers the product operation introduction and common problem solutions, but it is really hard to covers all the problems you maybe meet. So if you have any further questions or problems, please feel free to consult our technical support service (support@benewake.com). We will do our best to solve any problem related to the product. If you have any other good advice or suggestion, welcome to visit our official website and offer us your feedback there (<http://benewake.com/en/mfeedback.html>), and we are looking forwards to your participation.

The various application development routines for this product can be found at <https://github.com/TFmini>. If the development routines on this page do not meet your needs, you can contact us at support@benewake.com, we will improve the development routine as soon as possible.

We are Benewake who dedicated to making the best “Robotic Eyes” worldwide!

# Table of Contents

<b>1 ATTENTIONS</b>	<b>6</b>
1.1 ABOUT THIS DOCUMENT	6
1.2 USAGE OF PRODUCT	6
1.3 CONDITIONS WITH POTENTIAL PRODUCT FAILURE	6
<b>2 FUNCTIONS AND KEY PARAMETERS</b>	<b>6</b>
2.1 PRODUCT FUNCTIONS	6
2.2 PRINCIPLE OF DISTANCE MEASUREMENT	7
2.3 KEY CHARACTERISTIC PARAMETERS	7
2.4 DISTANCE MEASUREMENT CHARACTERISTICS	7
<b>3 APPEARANCE AND STRUCTURE</b>	<b>9</b>
3.1 PRODUCT APPEARANCE	9
3.2 PRODUCTION STRUCTURE	10
<b>4 ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b>	<b>10</b>
<b>5 LINE SEQUENCE AND DATA COMMUNICATION PROTOCOL</b>	<b>10</b>
5.1 DESCRIPTION ABOUT LINE SEQUENCE AND CONNECTION	10
5.2 DATA COMMUNICATION PROTOCOL	11
5.3 DATA OUTPUT FORMAT AND CODE	11
5.4 DESCRIPTIONS OF DEFAULT OUTPUT DATA	12
<b>6 QUICK TEST PROCEDURES</b>	<b>13</b>
6.1 REQUIRED TOOLS OF PRODUCT TEST	13
6.2 TEST PROCEDURES	13
<b>7 DESCRIPTIONS ON USER-DEFINED PARAMETER CONFIGURATION</b>	<b>15</b>
7.1 FUNCTION OVERVIEW	15
7.2 CODE FORMAT OF CONFIGURATION INSTRUCTION	15

7.3	GENERAL PARAMETER CONFIGURATION AND DESCRIPTION.....	15
7.4	SPECIAL PARAMETER CONFIGURATION PROCEDURES AND DESCRIPTION .....	18
<b>8</b>	<b>REMOTE UPGRADING.....</b>	<b>18</b>
<b>9</b>	<b>FAULTS: CAUSES AND TROUBLESHOOTING .....</b>	<b>19</b>
<b>10</b>	<b>QA .....</b>	<b>21</b>
	<b>ATTACHMENT 1:SPECIFICATIONS OF TF SERIES PC SOFTWARE.....</b>	<b>22</b>
	<b>ATTACHMENT 2: DEVELOPMENT ROUTINE OF TFMINI IN ARDUINO.....</b>	<b>24</b>
	STEP 1: HARDWARE CONNECTION .....	24
	STEP 2: PROGRAM COMPILATION.....	25
	STEP 3: VIEWING OF DATA.....	26
	<b>ATTACHMENT 3: APPLICATION OF TFMINI IN PIXHAWK .....</b>	<b>28</b>
	A) TFMINI FOR MISSION PLANNER CONFIGURATION DESCRIPTION FOR PIXHAWK IN ALTITUDE HOLD MODE .....	28
	B) TFMINI FOR MISSION PLANNER CONFIGURATION INSTRUCTIONS FOR PIXHAWK IN OBSTACLE AVOIDANCE MODE .....	29
	✧ CONNECTION WITH SERIAL4/5 INTERFACE OF PIXHAWK .....	30

## 1 Attentions

### 1.1 About this Document

- This manual provides all the essential information during the usage of this product.
- Please carefully read this manual and make sure that you fully understand everything herein.

### 1.2 Usage of Product

- The maintenance work of this product is limited to the professional technician, and the product can only work with the factory spare part for ensuring the performance and safety thereof.
- This product itself has no polarity and over-voltage protection. Please properly connect and supply power as per the manuals herein.
- Operating temperature of this product is between 0°C and 60°C. Do not use it beyond this temperature range to avoid risk.
- Storage temperature of this product is between -20°C and 75°C. Do not store it beyond this temperature range to avoid risk.
- For ensuring the product performance, do not open the product shell or do any assembly or maintenance that not listed in this manual.

### 1.3 Conditions with Potential Product Failure

- The product will be subject to risk of failure if the detecting object has high reflectivity, such as the mirror or the smooth floor tile.
- The product will be subject to risk of failure if there is any transparent object between it and the detecting object, such as glass or water.
- The product will be subject to risk of failure if its transmitting or receiving lens is covered by the dust. Please keep the lens clean.
- Please do not directly touch circuit board of the product by hand as it is exposed. Please wear antistatic wrist strap or glove if necessary; Otherwise, the product will be subject to risk of failure, which is shown by failure of normal operation, and even it will be broken.

## 2 Functions and Key Parameters

### 2.1 Product Functions

TFmini is a mini LiDAR module. It is mainly capable of the function of real-time and contactless distance measurement and is featured by accurate, stable and high-speed distance measurement.





## 2.2 Principle of Distance Measurement

TFmini is based on TOF, namely, Time of Flight principle. To be specific, the product transmits modulation wave of near infrared ray on a periodic basis, which wave will reflect after contacting object. The product obtains time of flight by measuring round-trip phase difference and then calculates relative range between the product and the detection object, as shown in Figure 1.

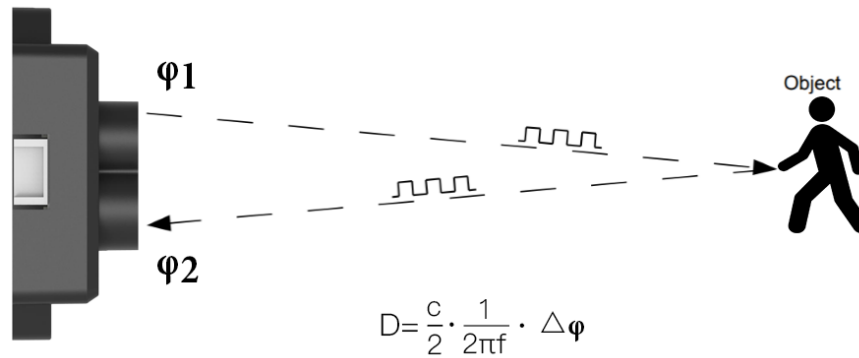


Figure 1 Schematics of TOF Principle

## 2.3 Key Characteristic Parameters

Table 1 Key Characteristic Parameters of TFmini

Description	Parameter value
Operating Range(Indoor)	0.3m~12m <sup>①</sup>
Measurement accuracy	±4cm@ (0.3-6m) <sup>②</sup>
	±6cm@ (6m-12m)
Default unit of distance	cm
Range resolution	5mm
Receiving half angle	1.15°
Transmitting half angle	1.5°
Frequency	100Hz

① Operating Range reachable under indoor standard white board condition (with reflectivity of 90%);

② A few points may be subject to an error of ±6cm due to switchover of distance measurement position within 0.3-2m.

## 2.4 Distance Measurement Characteristics

With optimization of light path and algorithm, TFmini has minimized influence from external environment on distance measurement performance. Despite that, the range of distance measurement may still be affected by the environment illumination intensity and the reflectivity of detection object. As shown in Figure 2:

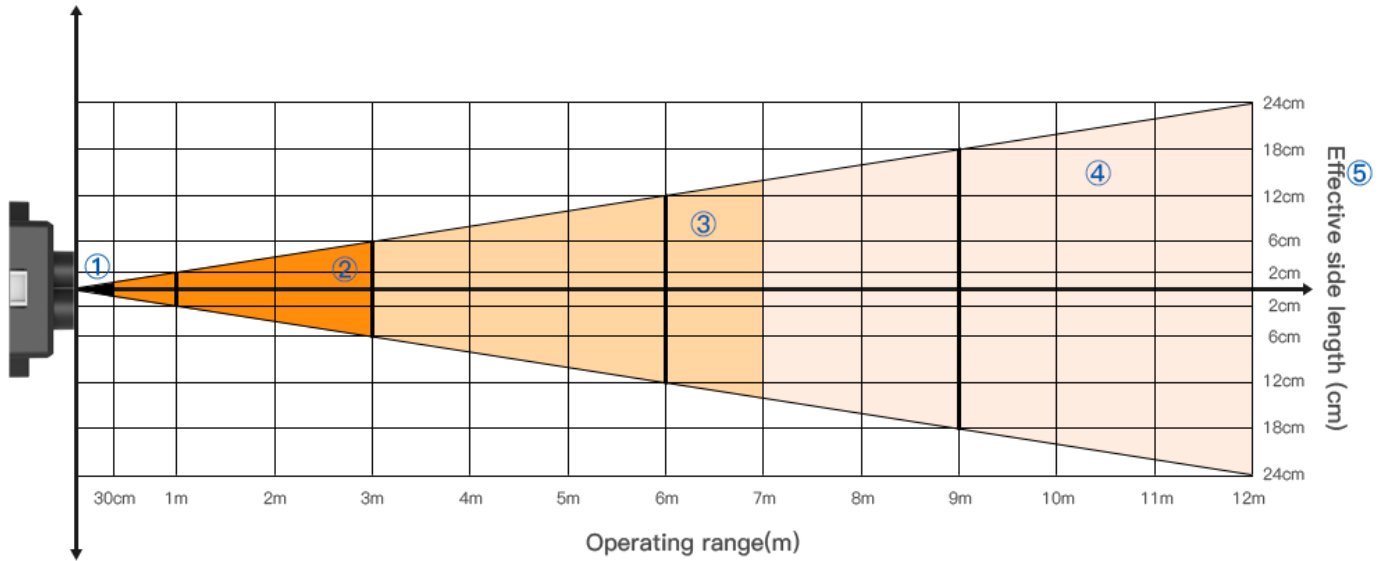


Figure 2 Schematics of Range of distance measurement and Effectiveness of the Product

- ①: Represents the detection blind area of TFmini, 0-30cm, within which the data is unreliable.
- ②: Represents the operating range of TFmini under extreme condition, which generally is 0.3-3m. Extreme condition refers to the outdoor glare (of which illumination intensity is around 100klux outdoors at noon in summer) and detection of black target (with reflectivity of 10%).
- ③: Represents the operating range of TFmini for white target under normal sunshine condition (with illumination intensity of around 70klux), which covers the range of ② and is 0.3-7m.
- ④: Represents the operating range of TFmini at the indoor environment or considerably weak ambient light environment, which is 0.3-12m.
- ⑤: Represents the Minimum side length of effective detection for TFmini at the different distances. The data will not be stable and reliable unless “the side length of detection object” is equal to or more than the Minimum side length. The Minimum side length of effective detection depends on the FOV of TFmini (the term of FOV generally refers to the smaller value between the receiving angle and the transmitting angle), which is calculated as follows:

$$d = 2 \cdot D \cdot \tan\beta$$

In the above formula,  $d$  is the Minimum side length of effective detection;  $D$  is detecting range;  $\beta$  is the half of the value of the receiving angle of TFmini,  $1.15^\circ$ . Correspondence between the Minimum side length of effective detection and detecting range in general is given in Table 2.

Table 2 the Minimum side length of effective detection corresponding to Detecting Range

Detecting range	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m
Minimum side length	4cm	8cm	12cm	16cm	20cm	24cm	28cm	32cm	36cm	40cm	44cm	48cm



If the detection object cannot reach the Minimum side length of effective detection, as shown in Figure 3, the output (Dist) from TFmini will be a value between the actual distance values of the two objects. For a high accuracy requirements in practice, the above situation should be noticed to avoid the measurement error .

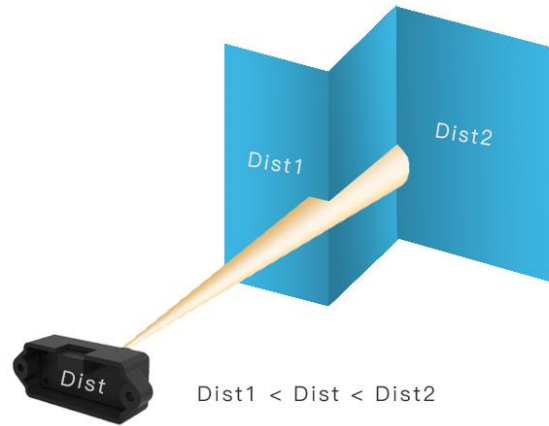


Figure 3 Distance Measurement in the case of Two Objects in Different Distances

### 3 Appearance and Structure

#### 3.1 Product Appearance

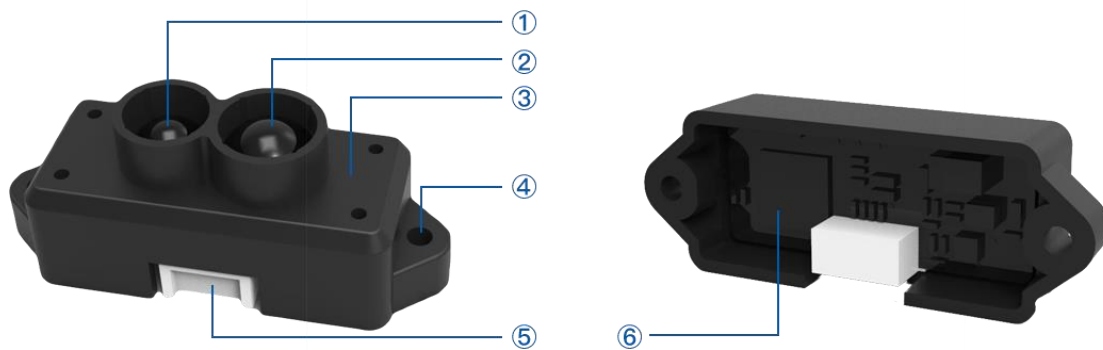


Figure 4: TFmini Product Appearance

- ① Transmitting lens
- ② Receiving lens
- ③ Enclosure, made of ABS+PC
- ④ Mounting hole is 2.35mm through hole. ST2.9 self-tapping screw is recommended for mounting and fixing.
- ⑤ Connecting terminal, GH1.25-4p SMT type; And along with the product there is a 10cm long connecting wire.
- ⑥ Circuit board, without covering enclosure at the rear of product.



### 3.2 Production Structure

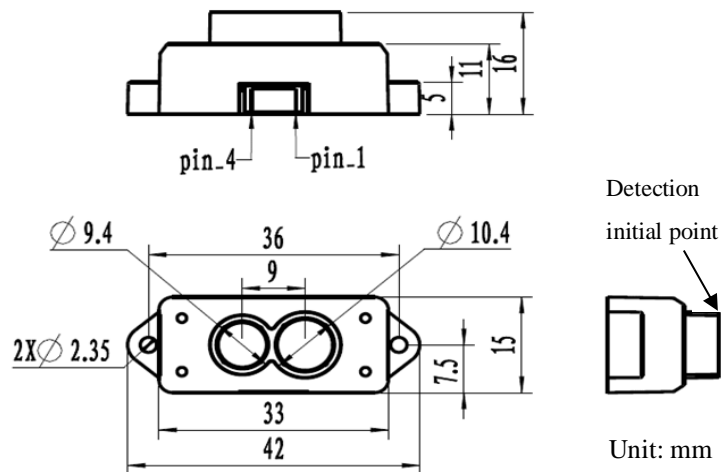


Figure 5 Constructional Drawing of TFmini

## 4 Electrical Characteristics

Table 3: Major Electrical Parameters of TFmini

Description	Parameter value
Power supply voltage	5V
Average current	≤120mA
Peak current	800mA
Average power	≤0.6W
Communication level	LVTTL (3.3V)

This product has no overvoltage nor polarity protection, so please make sure that connection and power supply are normal. The fluctuation of the power supply voltage in a range of  $\pm 0.1V$  is allowable.

Average current varies along with the operating modes of the product in two patterns, more specifically, its current is around 70mA under short distance mode and it is around 120mA under long distance mode. Please make sure that the power supply current meets the peak current of 800mA. In case of insufficient power supply current, the product maybe can't work normally.

## 5 Line Sequence and Data Communication Protocol

### 5.1 Description about Line Sequence and Connection

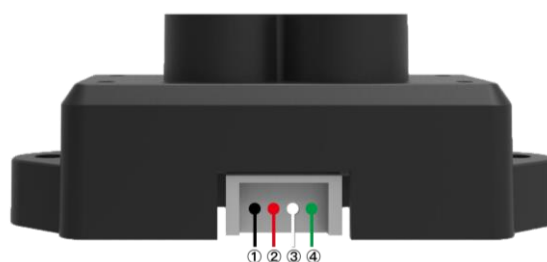




Table 4: The Function and Connection Description of each pin

No.	Pin	Function	Corresponding connection item
①	GND	Power supply	Power Ground
②	+5V	Power supply	Positive pole of power supply
③	RXD	Receiving	TXD
④	TXD	Transmitting	RXD

Type of connecting terminal: GH1.25-4P. The product includes a 10cm long connecting wire, the other end of which is a conventional 1.25-4p terminal (Molex510210400). The user may extend this wire as he/she needs. In order to ensure effective data transmission, it is recommended that the length of the connecting wire welded by the user should be less than 1m.

## 5.2 Data Communication Protocol

TFmini adopts the serial port data communication protocol, as given in Table 5.

Table 5 Data Communication Protocol of TFmini

Communication interface	UART
Default baud rate	115200
Data bit	8
Stop bit	1
Parity check	None

## 5.3 Data Output Format and Code

TFmini is available with two formats of data output, namely, the standard data output format and the Pixhawk data format, both of which can be mutually switchable via the instruction command.

- **Standard data output format (default):**

Data structure: each data package is 9 Byte, including the distance information (Dist), signal strength information (Strength), distance mode (Mode) and data check byte (Checksum), etc. Data format is hexadecimal (HEX). Data codes are detailed in Table 6

Table 6 Data Format and Code Explanation

Byte0 -1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
0x59 59	Dist_L	Dist_H	Strength_L	Strength_H	Mode	0x00	Checksum
Data code explanation							
Byte0	0x59, frame header, same for each frame						

Byte1	0x59, frame header, same for each frame
Byte2	Dist_L distance value lower by 8 bits
Byte3	Dist_L distance value higher by 8 bits
Byte4	Strength_L low 8 bits
Byte5	Strength_L high 8 bits
Byte6	Mode, distance mode, represented respectively by 02 (short distance) and 07 (long distance), automatically switchable by default.
Byte7	Spare byte, 00 by default
Byte8	Checksum is the low 8 bits of the cumulative sum of the numbers of the first 8 bytes.

- **Serial port Pixhawk data format**

The data output is in the format of character string and its unit is m(meter). For example, if the measurement distance is 1.21m, the string 1.21 will be output, followed by the escape character `\r\n`.

#### 5.4 Descriptions of default Output Data

**Dist:** Represents the output of the distance value detected by TFmini, with the unit in cm by default. This value is interpreted into the decimal value in the range of 0-1200. In the practice, if the signal strength value- $Strength < 20$  (which is settable), the value of Dist will be deemed as unreliable and FFFF will be output by default (-1 in case of Pixhawk data format). If  $Strength \geq 20$  and actual distance  $> 12m$ , the default output value of Dist will be 1,200(cm).







**Strength:** Represents the signal strength with the default value in the range of 0-3,000. After the distance mode is set, the longer the distance measurement distance is, the lower the signal strength will be; the lower the reflectivity is, the lower the signal strength will be. It is recommended that the value of Dist be deemed reliable if Strength is within the range of 20-2,000, which is adjustable by the user at his/her own discretion depending upon the scenarios of application.

**Mode:** The parameter used to indicate distance mode of the product. For this parameter, there will be some differences between different firmware versions, for 15X version of the firmware there are two modes, namely, 02 and 07, which is short-distance and long-distance operating mode respectively. The default automatic switchover logic is as the follows: if the value of signal strength is less than a certain value (generally being 70-120) under 02 distance mode, then the distance mode is switched to 07 automatically, in which case the value of Strength will be significantly increased; if the value of signal strength is more than a certain value (generally being 1,200-1,600) under 07 distance mode, the distance mode is switched to 02, in which case the value of Strength will be significantly decreased. For the 16X version, there are 3 modes 00, 03, and 07. 00 is a short distance mode, 03 is a middle distance mode, and 07 is a long distance mode. The switchover conditions for the 3 modes are similar to the 2 modes conditions described above.



## 6 Quick Test Procedures

### 6.1 Required Tools of Product Test

					
TFmini	Data wire	TTL - USB converter	USB cable	PC	PC software

### 6.2 Test Procedures

#### ① Download the PC software

Please download the PC software of TFmini at our official website (<http://www.benewake.com/en/down.html>).

Caution: please shut down any anti-virus software before uncompressing the PC software. Otherwise, maybe the software is deleted as virus. The software is only runnable under Windows environment for the time being. Please refer to Attachment 1 - Product manual of TF PC software.

#### ② Connection of the hardware

Connect “TFmini”, “data wire”, “TTL - USB board” and “USB cable” as shown in Figure 6. Make sure there is no loose connection. Then connect “USB cable” with “PC”.



Figure 6 Schematic Diagram of Correct Connection

#### ③ Connection to the PC software and data output

Open the PC software and select “①Benewake TFmini” and select automatically recognized occupied serial port (here it is “②COM9”), as shown in Figure 7

Then click “CONNECT”. Upon successful connection, The continuous images of the output data will be



displayed in area “④ TIME LINE CHART” on the right. Besides, the real-time data of the Current measure distance (Dist), effective data points per second (Effective Points) and signal strength (Strength) will be displayed in area “⑥ REAL TIME DATA” below.

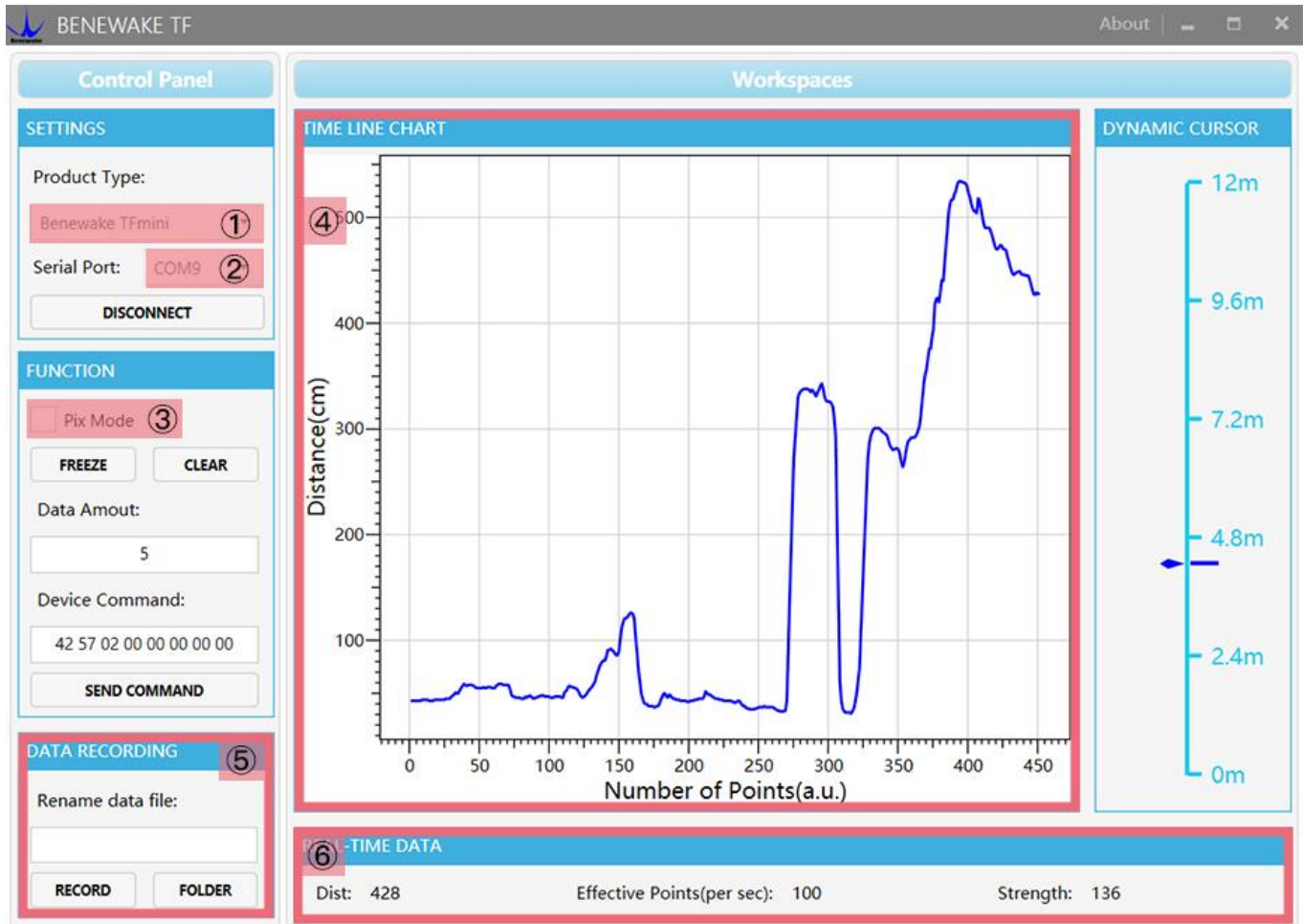


Figure 7 PC software Interface and Display

Notes:

- If no data is available in area “④TIME LINE CHART”, please check the line connection and line sequence. When TFmini is successfully powered on, there will be a red indicator light inside transmitting lens viewing from the front.
- If the user want the TFmini output in the Pixhawk format, please select “③Pix Mode” at first, otherwise area “④TIME LINE CHART” will not output the right data image normally. After Pix Mode is checked, the unit of distance will be changed into m automatically.
- The value of distance output Dist may vary with the output unit, which is cm by default. If the unit of distance is changed to the unit-mm via an instruction, and the PC software will be unable to identify it, and so the unit of “④TIME LINE CHART” will still be cm. For example, the actual TFmini measurement is 1m, the distance value of TFmini is 1000 in mm, the value read by the PC software also is 1000, but the unit will not change and still display cm.



## 7 Descriptions on User-defined Parameter Configuration

### 7.1 Function Overview

The function of user-defined configuration of product parameters is hereby enabled for more flexible settlement of your problems by TFmini. User may modify original parameters by sending relevant instructions, such as output data format and output cycle, etc. Upon successful configuration, the configured parameters will be saved in Flash without the need of reconfiguration for reboot in the event of power failure.

Please modify product configuration depending upon your actual demands. Do not frequently try irrelevant instructions so as to prevent incorrect sending of instruction which many cause unnecessary loss. Please make sure to make the configuration as per the instructions listed herein. Do not send unstated instruction.

### 7.2 Code Format of Configuration Instruction

Caution: All configuration instructions are sent as hexadecimal digits (HEX).

Table 7 Format and Details of Instruction Code

Byte0	Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7
0x42	0x57	0x02	DD	EE	FF	GG	HH
Instruction code explanation							
Byte0-1	0x42 0x57, frame header, same for each frame						
Byte2	0x02 by default						
Byte3	The instructions are 0x00 by default during sending Upon the completion of sending instruction, there will be an echo, of which 0x01 represents success; 0xff represents error instruction; 0x0f represents error input parameter						
Byte4-5	EE FF double byte parameter, EE is low 8 bit; FF is high 8 bits						
Byte6	GG single byte parameter						
Byte7	HH instruction code						

### 7.3 General Parameter Configuration and Description

Before setting the relevant parameters of TFmini, user needs to establish the connection between TFmini and PC at first. About the connection details, refer to the test connection given in [6.2](#). User can send the relevant configuration-related instructions to the product via TFmini PC software or other serial port debugging software. The user may also send relevant instruction by himself via his upper computer.



- a) Enter configuration mode by the command: 42 57 02 00 00 00 01 02

Echo: 42 57 02 01 00 00 01 02, indicating successful sending;

- b) Configure product parameters by the command: 42 57 02 00 EE FF GG HH (Table 8)

Echo: 42 57 02 01 00 00 01 02, indicating successful sending;

- c) Exit configuration mode by the command: 42 57 02 00 00 00 00 02

Echo: 42 57 02 01 00 00 00 02, indicating the successful input of the command;

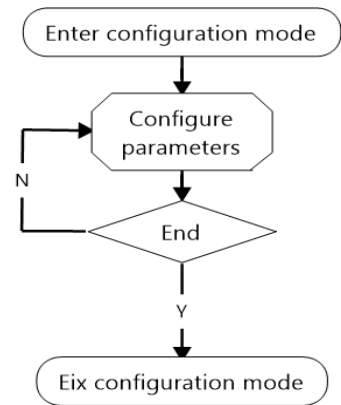


Figure 8 Flow Chart of General

Table 8 General Parameter Configuration and Description

S.N.	Configurable items	List of commands	Description	Default
①	Output data format	42 57 02 00 00 00 01 06	Standard format, as show in in Table 6	√
		42 57 02 00 00 00 04 06	“Pixhawk” data format	/
②	Data output cycle	42 57 02 00 EE FF 00 07	EE FF: setting of output cycle (ms) it must be the integral multiple of 10ms	10ms/ 100Hz
③	Unit of distance	42 57 02 00 00 00 00 1A	Output unit of distance data is mm	/
		42 57 02 00 00 00 01 1A	Output unit of distance data is cm	√
④	Detection pattern	42 57 02 00 00 00 00 14	Automatic detection pattern	√
		42 57 02 00 00 00 01 14	Fix detection pattern	
	Distance mode	42 57 02 00 00 00 00 11	Short distance mode, applicable for 0-2m(16X firmware)	/
		42 57 02 00 00 00 03 11	Middle distance mode, applicable for 0.5-5m(16X firmware)	
		42 57 02 00 00 00 02 11	Short distance mode, applicable for 0-5m(15X firmware)	
42 57 02 00 00 00 07 11	Long distance mode, applicable for 1-12m			
⑤	Setting of range limit	42 57 02 00 00 00 00 19	Range limit disabled	/
		42 57 02 00 EE FF 01 19	Range limit enabled EE FF: threshold of ranging limit (mm)	Range limit: 12m
⑥	lower limit of signal strength threshold	42 57 02 00 EE 00 00 20	EE: setting of the lower limit of signal strength threshold. If the real signal is lower than the set threshold, “FF FF” will be output as the distance value which means invalid.	minimum threshold 20(DEC)
⑦	upper limit of signal strength threshold	42 57 02 00 EE FF GG 21	EE FF: setting of the maximum signal strength threshold GG: output distance value (cm)	/

### Explanation:

- ① The standard data output format is given in Table 6. “Pixhawk” data format is mainly used for the connection of Pixhawk, under which the data output is decimal string.
- ② This configuration is mainly used for the adjustment of the output frequency of product. Note that the value of EE FF must be integral multiple of 10; otherwise the command will be invalid. The output frequency is 100Hz (one output per 10 ms ) at max, and the minimum frequency is one output per 65530 ms. This configuration will not affect the real detection frequency of the hardware, but it only represents the frequency of data output. So the goal of power saving can’t be achieved by the means of such instruction.
- ③ The unit of distance output generally is cm by default and can be modified into mm. With the unit modified into mm, the distance change at level of mm is available, allowing the product to be applicable for the scenario with a single detection object and high accuracy requirement.
- ④ TFmini is built in with two distance modes which are automatically switchable by default. As there is a larger error during the automatic switchover of the two modes, the user may choose fixed detection pattern if there are high accuracy requirement within the limited measurement range. During the usage, please input the command for the fixed detection pattern at first and then send configuration instruction of the distance mode. The long/short distance mode configuration will become invalid once the TFmini starts the automatic switchover of distance modes. Note that for different versions of the firmware (15X means firmware whose firmware version number ends with 15X such as 152, 156, etc; 16X means firmware whose firmware version number ends with 16X such as 160, 162, etc.), and the mode configuration commands are different.
- ⑤ The range output limit is 12 meters and it is enabled by default. When the limit is disabled, the measurement data in the range of 0-15m can be output. However, the data above 12m is fitting data with significant error. So the range limit are modifiable by the user depending upon the demands. Upon the modification, the set threshold will be output if the measurement data more than such threshold
- ⑥ The setting of minimum signal strength threshold will be valid only if ⑤ is enabled, and it is 20 by default, which means that the distance value will output FF FF if the Strength is less than 20. The user may increase such threshold in order to improve reliability of the distance measurement value. But note that the maximum threshold should be no more than 80; otherwise the LiDAR may not operate normally. Correspondingly the threshold may be decreased in order to improve the measurement range of TFmini.
- ⑦ The setting of the maximum signal strength threshold will be valid only if ⑤ is enabled. Such function is used when the user wants to set a fixed value for the near distance object detection. For e.g.:If the user has to use the TFmini within its blind area, this command can be input and then the output value of the blind area will be set to a fixed value in order to maintain a stable data.



## 7.4 Special Parameter Configuration Procedures and Description

The procedures of special parameter configuration are same as the general parameter configuration, without the need of sending the instruction for exiting configuration. The procedures are as follows:

a) Enter the configuration mode to send: 42 57 02 00 00 00 01 02

Echo: 42 57 02 01 00 00 01 02, indicating successful sending;

b) Send configuration instruction, sending: 42 57 02 00 EE FF GG HH (for detailed instruction, refer to Table 9)

Echo: 42 57 02 01 EE FF GG HH with the detailed value corresponding to the sent instruction

Table 9 Special Parameter Configuration and Description

S.N.	Configurable items	List of instructions	Description	Default
⑧	Setting of baud rate	42 57 02 00 00 00 GG 08	The baud rate corresponding to GG is shown in Table 10	115200
⑨	Setting of trigger source	42 57 02 00 00 00 01 40	Internal trigger, 100Hz by default	√
		42 57 02 00 00 00 00 40	External trigger	/
	Externally trigger setting	42 57 02 00 00 00 00 41	command for one single measurement	
⑩	Reset	42 57 02 00 FF FF FF FF	All settings are reset to the default	/

### Explanation:

- ⑧ Setting of baud rate. The user may configure it upon his own communication demand.
- ⑨ There are two trigger modes for the measurement of TFmini. The default one is the internal trigger by the timer with one measurement per 10ms. The user may modify this mode into the external trigger mode which allows the TFmini to start the distance measurement by an external trigger instruction . Please note that the trigger frequency of TFmini should in no way be more than 80Hz as the maximum.
- ⑩ Reset of default configuration. By sending such instruction, all adjustable configurations will be reset back to the default configurations. Please use it with caution.

Table 10 Corresponding List of Baud Rate Settings

<b>GG</b>	0x00	0x01	0x02	0x03	0x04	0x05	0x06
<b>Baud rate</b>	9600	14400	19200	38400	56000	57600	115200
<b>GG</b>	0x07	0x08	0x09	0x0a	0x0b	0x0c	/
<b>Baud rate</b>	128000	230400	256000	460800	500000	512000	/

## 8 Remote Upgrading

TFmini supports the remote upgrade. When the user's product cannot satisfy the current application requirements and Benewake website has relevant firmware upgrades, the user may upgrade the product



firmware via remotely upgrading the PC software .

The PC software may obtain the program version number and the product serial number by remote upgrade, and it assess whether the product needs to be upgraded. The firmware for the upgrade is contained in the zip file, and the PC software can automatically select the relative firmware for upgrade.

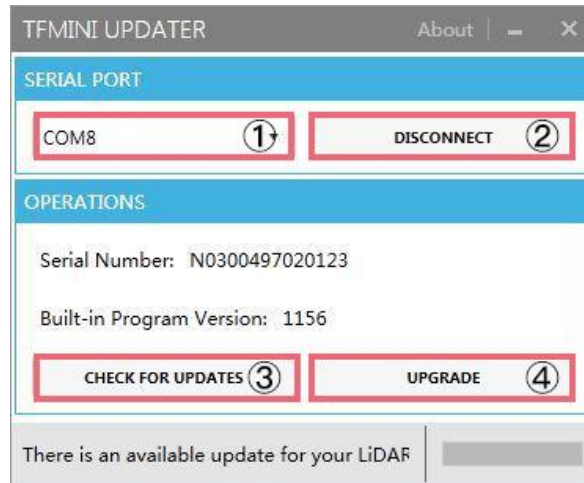


Figure 8 Firmware Upgrade PC software of TFmini

The tools for the firmware upgrade of TFmini are mostly the same as the [Quick Test Procedures](#) , which requires one TTL-USB board to connect the TFmini with PC.

Upon successful connection, open the PC software for the remote upgrade. Select appropriate port. Here it is “①COM8”. Click “② CONNECT” to connect the TFmini with the PC software. Click “③ CHECK FOR UPDATES”. The software window will show the product number and firmware version of this product, and besides it will give an upgrade prompt . However, in case of some old versions of this product, the software maybe can’t show the product number and version information, but it still supports the function of firmware upgrade. Then click “④UPGRADE” to complete upgrade.

**Caution:** please confirm that the communication bit rate of this product is 115200 before the firmware upgrade, as TFmini will be unable to upgrade at other bit rates.

## 9 Faults: Causes and Troubleshooting

**(1) Distance value occasionally will abruptly change into a fixed value beyond the range during normal operation.**

**Cause:** The different test environments (reflectivity of detected object, disturbance of ambient light, etc.) will affect the signal strength of TFmini. For a reliable and stable measurement data, the algorithm elimination is internally used for TFmini. In case of the insufficient signal strength, TFmini will feedback an extreme range, 12m, as a special symbol under the default condition. This value is not measurement data

of TFmini, which is only used to prompt the user that such data is unreliable.

**Troubleshooting:** please use such value as the trigger signal of some unreliable data, and it will ensure that your system can use other reliable data for further assessment and decision-making if there are some unreliable data.

## (2) Significant error between the output distant value of LiDAR and actual distance

**Cause ①:** Incorrect interpretation of the data communication protocol of TFmini.

**Troubleshooting:** check data communication interpretation means. In case of such error, please check the data format to adjust interpretation means.

**Cause ②:** Due to the physical principles of TFmini, the above phenomenon is likely to occur if the detection object is the material with high reflectivity (such as mirror, smooth floor tile, etc.) or transparent substance (such as glass and water, etc.)

**Troubleshooting:** Please avoid use of this product under such circumstance in practice.

**Cause ③:** Lens of the product are covered by the foreign matter.

**Troubleshooting:** please use dry dust-free cloth to gently remove the foreign matter

## (3) TFmini fails to output data

**Cause:** The product will be strictly inspected before leaving our factory, ensuring that all the shipped products can work normally. However, some abnormal working matters maybe still occur because of incidents during the transportation or use.

**Troubleshooting:** Check whether the power supply is normal; check whether the voltage is within rated voltage range. If power supply is normal, there will be a red light inside the transmitting lens of TFmini.

Check TFmini with correct connection sequence and reliable connection.

Check whether the data interpretation is correct. Please carry out the interpretation as per the data format specified herein.

If the problem persists, please contact our technical support.

## (4) There is no data output when LiDAR is connected to PC software.

**Cause ①:** The PC software only supports the Windows operation system for the time being

**Troubleshooting:** Use the PC supporting Windows operation system.

**Cause ②:** TTL - USB board is poorly connected.

**Troubleshooting:** Check the TTL -USB board with the correct and reliable connection with TFmini and PC.

**Cause** ③: Driver of serial port is not correctly installed.

**Troubleshooting:** Plug and unplug USB cable again. Try to reinstall the driver or directly download and install a driver from the internet.

If the PC software still work abnormally, please contact our technical support.

## 10 QA

Q1: Is TFmini available with 3.3V or other power supply voltage?

A1: Sorry, it is not available for the time being. The Standard power supply of TFmini is 5V. If you have any further requirement, please contact our sales person to consult a customization design matter.

Q2: TFmini will heat up after operating for a while. Is it broken?

A2: This is the normal operating condition of the product. The temperature of the chip and circuit board will slightly up after a continuous operation, which is a normal case.

Q3: Can TFmini be connected with Arduino or Raspberry Pi for use?

A3: Yes, it can. TFmini adopts serial communication protocol so that it can connect to any control board supporting serial port communication.

## Contact

### Headquart

Tel: 0086 010-57456983

Email: bw@benewake.com

### Sales contact:

Email: sales@benewake.com

### Technical support:

Email: support@benewake.com



## Attachment 1: Specifications of TF Series PC software

This PC software only supports the Windows operating system for the time being, and besides it is applicable to any TF series products of Benewake but the output of those products is limited to the serial port communication protocol. Detailed operations are as below.

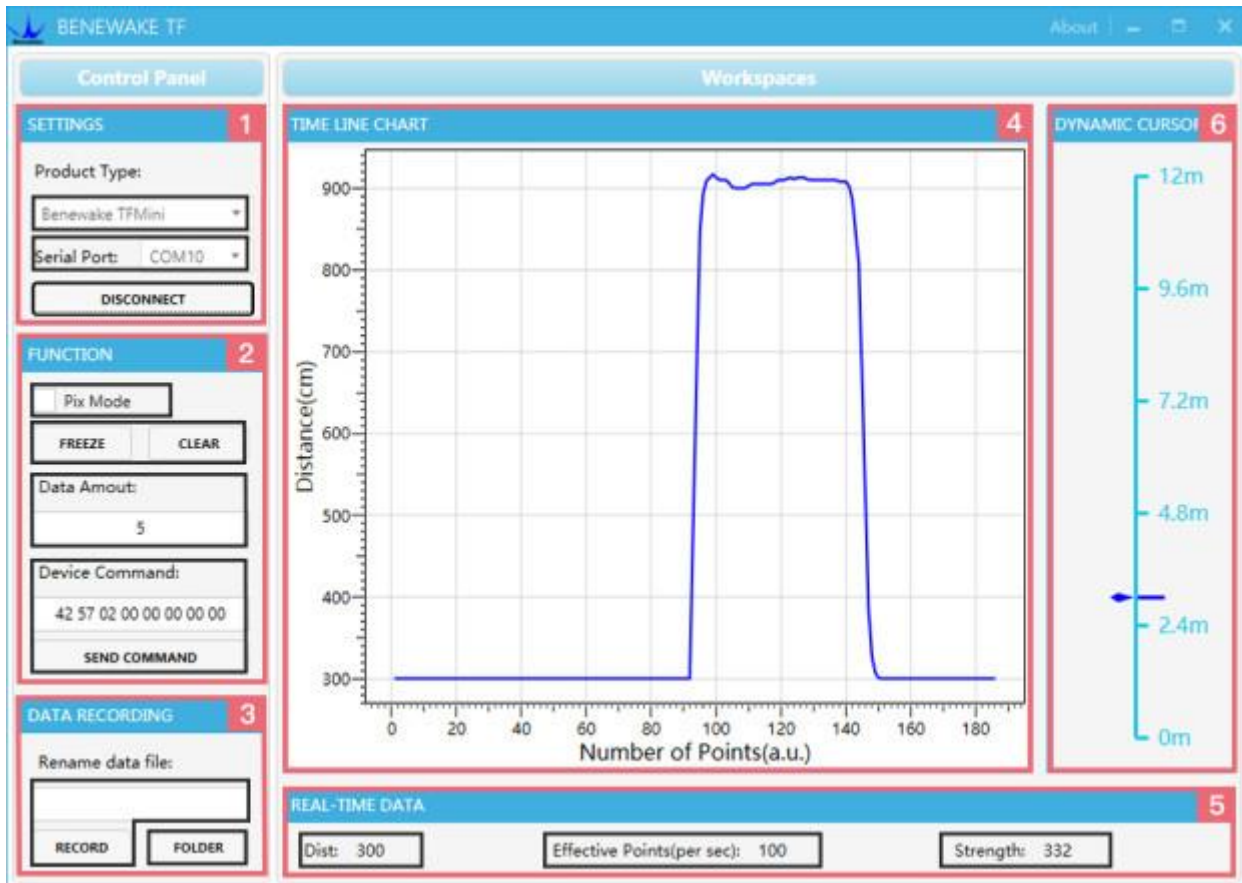


Figure 1: Interface of TF Series PC software

### 1 Product Type/Serial Port Control Zone [SETTINGS]

Product Type Selection: connect the LiDAR via TTL-USB board to the PC. As shown in the figure, we use our TFmini product and just select 'Benewake TFMini'.

Serial port communication: in the PC select the right serial port number corresponding to the LiDAR.

CONNECT/DISCONNECT: Click [CONNECT] button to establish the connection with LiDAR. Click [DISCONNECT] button to terminate the connection.

### 2 Function Zone [FUNCTION]

Pix Mode selection: in case of Pixhawk version, PIX mode will be enabled after selecting. It is default output format if no selecting PIX mode.

FREEZE/CLEAR PAUSE/CLEAR button: After clicking [FREEZE], the PC software will be paused to



make it easier to analyze the curve in [4]; after clicking [CLEAR], the plotted curve in [4] will be cleared and the plotting will be restarted.

Data Amount, 5 by default, e.g.: upon receipt of every five data, the PC software will output one averaged data of the 5 data. The number of the data can be modified depending upon the actual requirement (the value is preferable to be  $\geq 5$  to prevent the PC software from lagging). After entering the value, send a command by pressing “Enter” key on the keyboard.

Device Command, the text box for the configuration instruction: The instructions of hexadecimal serial port can be sent to TFmini via this window. It should be noted that the “Enter” key should be clicked after inputting the command, and then click the [SEND COMMAND] in the below.

### **3 Data Recording Zone [DATA RECORDING]**

Record data toolbar: name the data file which needs to be saved in this text window and then press “Enter” key after naming, and then press [RECORD] button. The data will be saved in the file. Click the [FINISHED] button if the user want to the terminate data recording.

[FOLDER] , open the folder where the data file is saved.

### **4 Data Curve Display Zone [TIME LINE CHART]**

The PC software will draw the continuous distance measurement curves based on the received data, where y-coordinates represent the current distance data while x-coordinates represent those effective data.

### **5 Real-time Data Display Zone [REAL-TIME DATA]**

Dist Distance measurement value: expressed in cm by default.

Effective data (per sec): indicates effective data refreshed by TF per each second.

Strength Signal strength: under pix mode, Strength is 0 by default in the absence of strength input.

### **6 Range Cursor [DYNAMIC CURSOR]**

Distance values are displayed in real-time way depending upon the current product type.



## Attachment 2: Development Routine of TFmini in Arduino

In this routine, UNO and DUE board is taken as example, which is mainly for the user to quickly familiarize himself with our LiDAR and thus save the time of the product development.

For detailed introduction and tutorial of Arduino, please refer to following two websites:

Chinese website: <http://www.arduino.cn/>

English official website: <https://www.arduino.cc/>

### Step 1: Hardware Connection

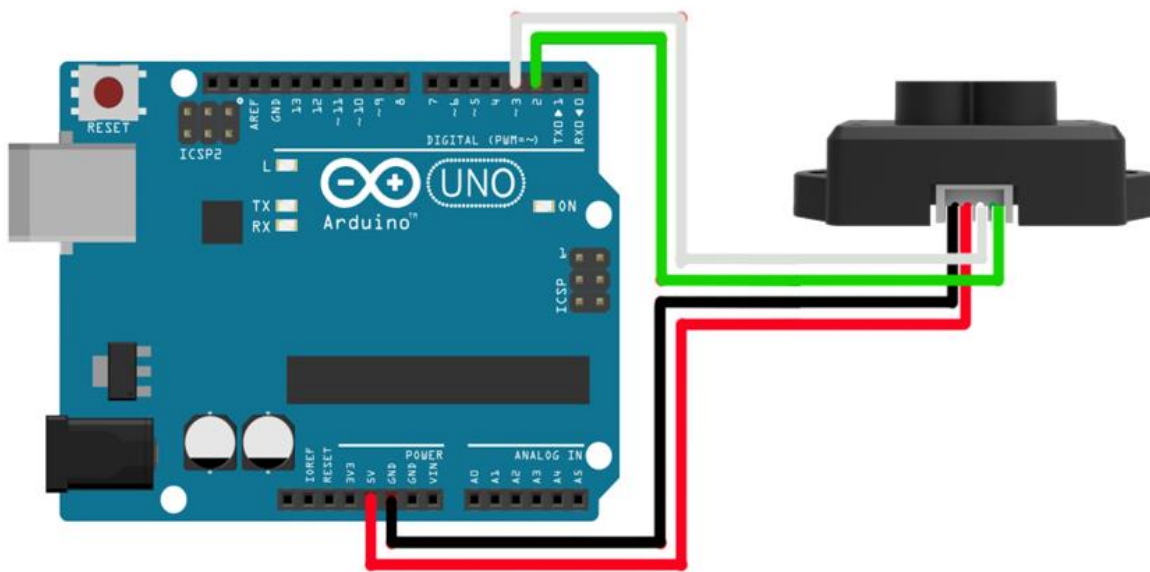


Figure 1: Schematic Diagram of Connection between TFmini and UNO Board

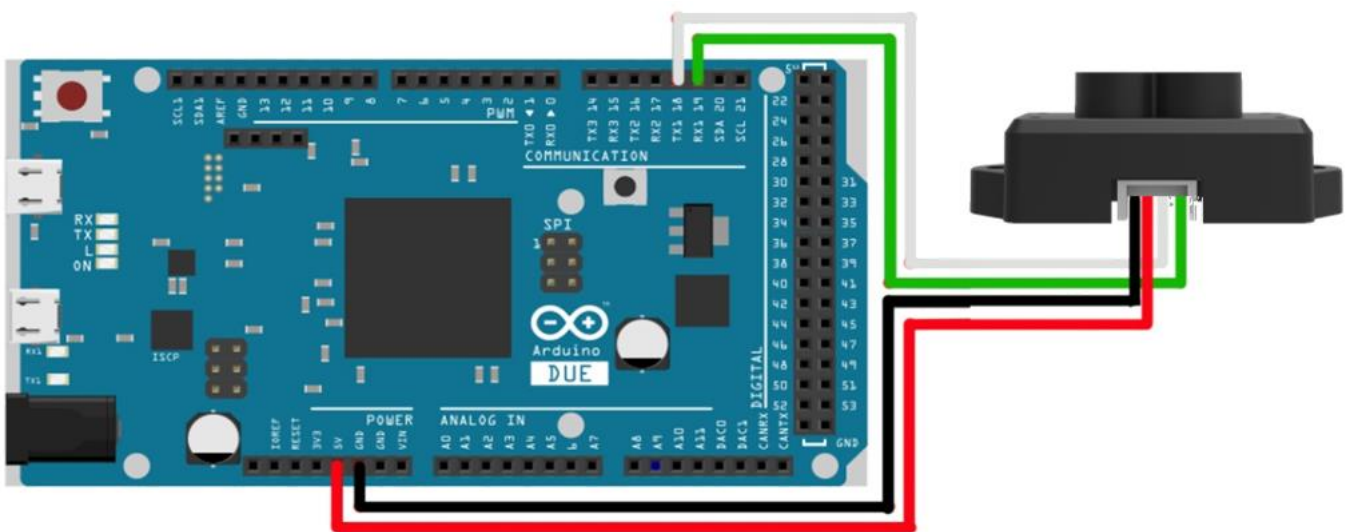


Figure 2: Schematic Diagram of Connection between TFmini and DUE Board

## Step 2: Program Compilation

At least two serial ports of Arduino are required for achievement of this routine function with one for receiving data of LiDAR and the other for outputting data to PC for display. The user may either copy following code and paste it in the IDE program editing window or directly open relevant enclosed file.

/\* this program is the interpretation routine of standard output protocol of TFmini product on Arduino.  
For details, refer to Product Specifications.

For Arduino boards with only one serial port like UNO board, the function of software visual serial port is to be used.

```
*/  
  
#include<SoftwareSerial.h>//header file of software serial port  
  
SoftwareSerial Serial1(2,3); //define software serial port name as Serial1 and define pin2 as RX and pin3  
as TX  
  
/* For Arduinoboard with multiple serial ports like DUEboard, interpret above two pieces of code and  
directly use Serial1 serial port*/  
  
int dist;//actual distance measurements of LiDAR  
  
int strength;//signal strength of LiDAR  
  
int check;//save check value  
  
int i;  
  
int uart[9];//save data measured by LiDAR  
  
const int HEADER=0x59;//frame header of data package  
  
void setup()  
{  
  Serial.begin(9600);//set bit rate of serial port connecting Arduino with computer  
  Serial1.begin(115200);//set bit rate of serial port connecting LiDAR with Arduino  
}  
  
void loop()  
{  
  if (Serial1.available())//check if serial port has data input  
  {  
    if(Serial1.read()==HEADER)//assess data package frame header 0x59
```

```
{  
uart[0]=HEADER;  
if(Serial1.read()==HEADER)//assess data package frame header 0x59  
{  
uart[1]=HEADER;  
for(i=2;i<9;i++)//save data in array  
{  
uart[i]=Serial1.read();  
}  
check=uart[0]+uart[1]+uart[2]+uart[3]+uart[4]+uart[5]+uart[6]+uart[7];  
if(uart[8]==(check&0xff))//verify the received data as per protocol  
{  
dist=uart[2]+uart[3]*256;//calculate distance value  
strength=uart[4]+uart[5]*256;//calculate signal strength value  
Serial.print("dist = ");  
Serial.print(dist);//output measure distance value of LiDAR  
Serial.print('\t');  
Serial.print("strength = ");  
Serial.print(strength);//output signal strength value  
Serial.print('\n');  
}  
}  
}  
}  
}
```

### Step 3: Viewing of Data

Download the program into Arduino board and open the monitor for the serial port. Then real-time distance values as well as the the corresponding signal strength can be viewed, as shown in Figure 3.

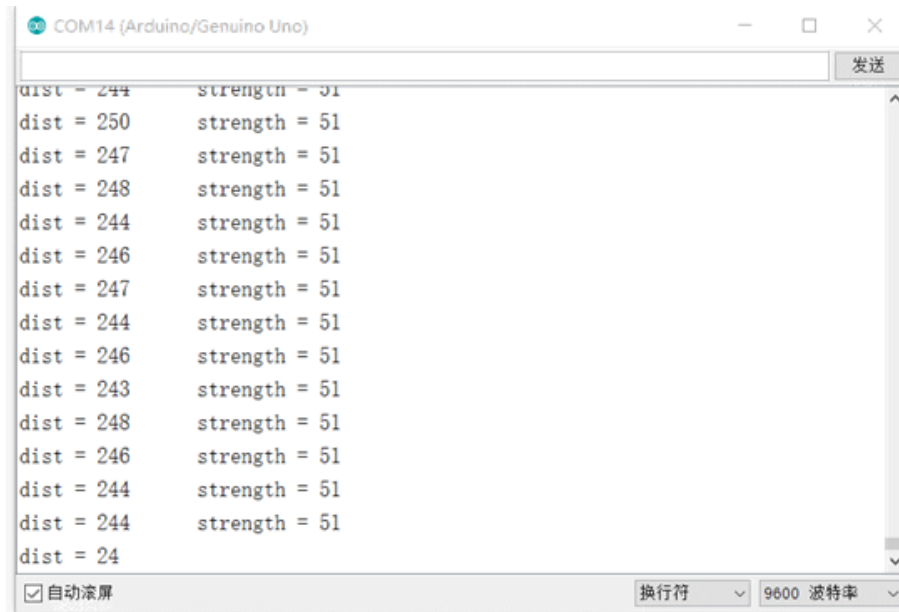


Figure 3 Display of LiDAR's Data on Monitor for Serial Port

In addition, data curve can be viewed in the curve plotter for serial port , however, the above code regarding the printing of serial port (Serial.print) should be modified:

```
// Serial.print("dist = ");
Serial.print(dist);//output measure distance value of LiDAR
Serial.print(' ');
// Serial.print("strength = ");
Serial.print(strength);//output signal strength value
Serial.print('\n');
```

Reinterpret and download the program into Arduino board and open the curve plotter. Then two curves including the dist and strength can be viewed, as shown in Figure 4.

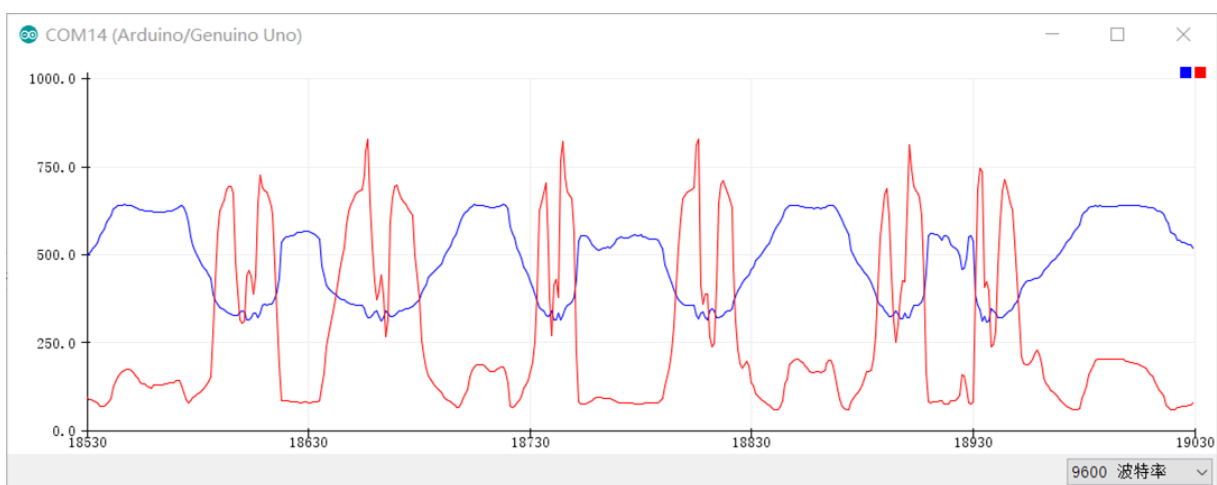


Figure 4 Curves of LiDAR's Data on Curve Plotter for Serial Port

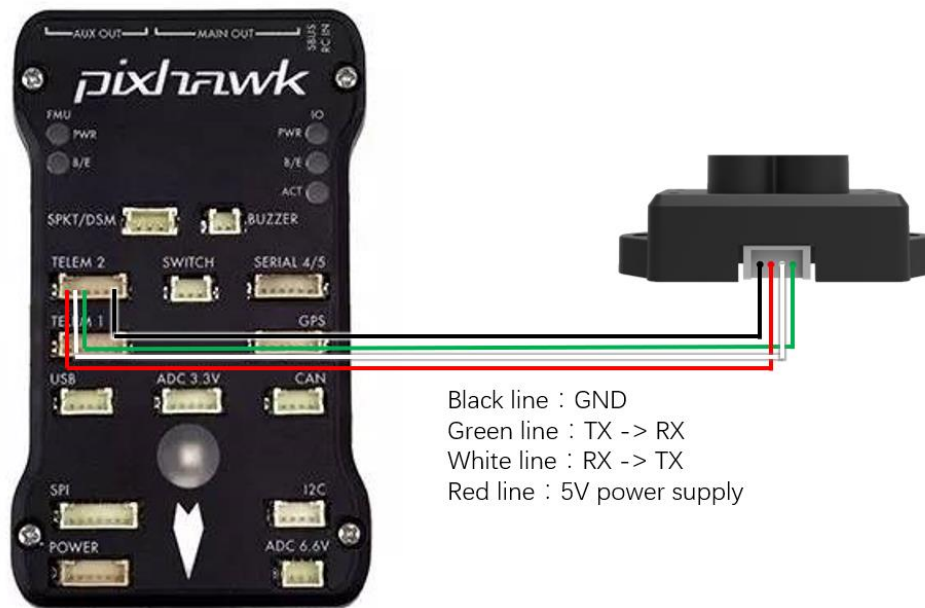


## Attachment 3: Application of TFmini in Pixhawk

Pixhawk is the upgrade of APM and PX4, of which APM uses conventional 8-bit SCM with limited arithmetic capability. While the PX4 is a transitional product starting to use STM32F4. Pixhawk is more refined and reliable flight control system developed from PX4. For the details of this series of the open source flight control system, refer to <http://ardupilot.org/>. This website reliably introduces Pixhawk in details, and thus it is much helpful for the user to learn and familiarize himself with the flight control system.

TFmini can be connected with Pixhawk for use. By selecting Pixhawk data output format, the TFmini can directly be connected with the serial port of Pixhawk, and also it can connect with other communication interfaces (e.g. I<sup>2</sup>C) of Pixhawk via appropriate adaptors. TFmini can be used in flight device for altitude holding. It is recommended that Pixhawk adopts ArduCopter V3.4.9-V3.5.5 firmware.

Example for connecting Pixhawk:



### a) TFmini for Mission Planner configuration description for pixhawk in altitude hold mode

Connect the flight control board to MP, Select [Full Parameter List] in the left from the below bar-[CONFIG/TUNING] . Find and modify the following parameters:

AVOID\_MARGIN=2

SERIAL2\_PROTOCOL = 9 (Lidar)

SERIAL2\_BAUD = 115

RNGFND\_TYPE = 8 (LightWareSerial)

RNGFND\_SCALING = 1

RNGFND\_MIN\_CM = 30

RNGFND\_MAX\_CM = 1200

RNGFND\_GNDCLEAR = 15 (expressed in cm, depending upon mounting height of the module)

RNGFND\_ORIENF=25

PRX\_TYPE=0

PRX\_YAW\_CORE=22

Upon setting of these parameters, click [Write Params] on the right of the software to finish.

If the error message “**Bad Lidar Health**” appears, please check if the connection is correct and the power supply is normal.

#### **b) TFmini for Mission Planner Configuration Instructions for Pixhawk in Obstacle Avoidance Mode**

Connect the flight control board to MP, Select [Full Parameter List] in the left from the below bar-[CONFIG/TUNING] . Find and modify the following parameters:

AVOID\_MARGIN=3 (Unit: m, set obstacle avoidance distance as required)

SERIAL2\_PROTOCOL = 9 (Lidar)

SERIAL2\_BAUD = 115

RNGFND\_TYPE = 8 (LightWareSerial)

RNGFND\_SCALING = 1

RNGFND\_MIN\_CM = 30

RNGFND\_MAX\_CM = 600 (Unit: cm, can be set according to the needs of measuring distance, outdoor TFmini recommended setting distance  $\leq 600$ )

RNGFND\_GNDCLEAR = 15 (Unit: cm, depending upon mounting height of the module)

RNGFND\_GAIN=0.8

RNGFND\_ORIENF=0

PRX\_TYPE=4

PRX\_YAW\_CORE=0

Upon setting of these parameters, click [Write Params] on the right of the software to finish.



If the error message “**Bad Lidar Health**” appears, please check if the connection is correct and the power supply is normal.

✧ **Connection with SERIAL4/5 interface of Pixhawk**

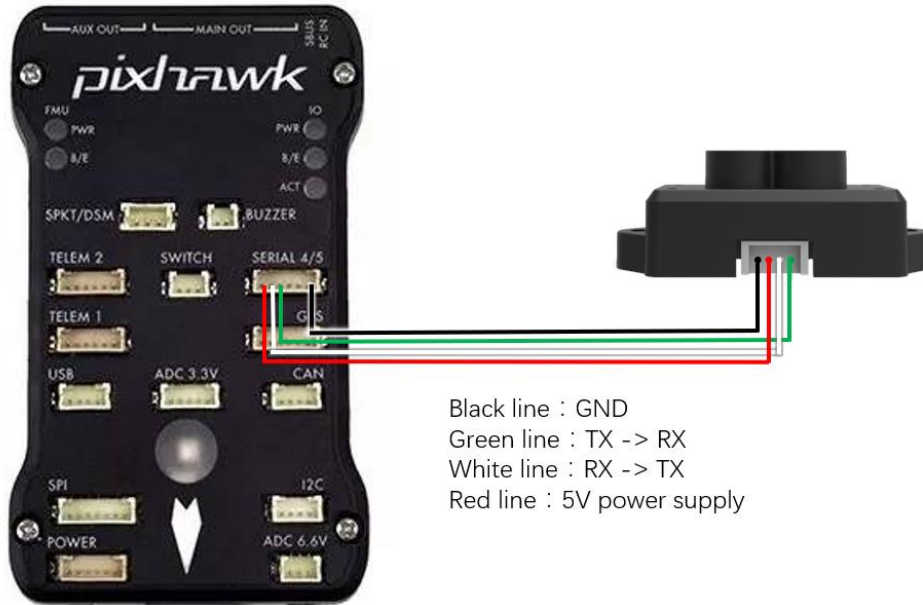


Figure 2 Schematic Diagram of Connecting TFmini with SERIAL4/5 Interface (Serial Port 4/5) of Pixhawk

**Configuration Descriptions of Mission Planner**

Connect flight control board to MP, Select [Full Parameter List] in the left from the below bar [CONFIG/TUNING] . Find and modify following parameters:

SERIAL4\_PROTOCOL = 9 (Lidar)

SERIAL4\_BAUD = 115

Upon setting of these parameters, click [Write Params] on the right of the software to finish.



# **Product Manual of TFmini Plus**



**TFmini Plus LiDAR Module**

[www.benewake.com](http://www.benewake.com)  
Benewake (Beijing) Co., Ltd.



## Specified Product

Product model: TFmini Plus

Product name: TFmini Plus LiDAR Module

## Manufacturer

Company name: Benewake (Beijing) Co. Ltd.

Address: No.28, Xinxu Road, Haidian District, Beijing, PRC

## Copyright

The Copyright of this document is protected. All the rights involved herein belong to Benewake (Beijing) Co. Ltd. Any copy activity of this document, no matter in whole or in part, should be in conformity of the Copyright Law. The actives of Modification, omission or translation of this document are not allowed unless a written permission from Benewake (Beijing) Co. Ltd.

All rights reserved © Benewake (Beijing) Co. Ltd.

## Product Certification





## Foreword

Dear users,

Thanks for choosing Benewake products, and it's our pleasure to help you to solve any technical question.

In the purpose of offering a better operation experience to you, we hereby write this manual for an easier and simpler operation of our product, hoping to better solve the common problems you maybe meet.

This operation manual covers the product operation introduction and common problem solutions, but it is really hard to covers all the problems you maybe meet. So, if you have any further questions or problems, please feel free to consult our technical support service (support@benewake.com). We will do our best to solve any problem related to the product. If you have any other good advice or suggestion, welcome to visit our official website and offer us your feedback there (<http://benewake.com/en/mfeedback.html>), and we are looking forwards to your participation.

We are Benewake who dedicated to making the best “Robotic Eyes” worldwide!



# Table of Contents

<b>1 ATTENTIONS .....</b>	<b>6</b>
1.1 ABOUT THIS MANUAL .....	6
1.2 USAGE OF PRODUCT .....	6
1.3 CONDITIONS WITH POTENTIAL MALFUNCTION .....	6
<b>2 DESCRIPTION.....</b>	<b>7</b>
2.1 PRODUCT DESCRIPTION.....	7
2.2 PRINCIPLE OF DISTANCE MEASUREMENT.....	7
2.3 KEY CHARACTERISTIC PARAMETERS .....	7
2.4 REPEATABILITY.....	8
2.5 DISTANCE MEASUREMENT CHARACTERISTICS.....	9
<b>3 APPEARANCE AND STRUCTURE.....</b>	<b>10</b>
3.1 PRODUCT STRUCTURE .....	10
<b>4 ELECTRICAL CHARACTERISTICS .....</b>	<b>11</b>
<b>5 LINE SEQUENCE AND DATA COMMUNICATION PROTOCOL .....</b>	<b>11</b>
5.1 DESCRIPTION ABOUT LINE SEQUENCE AND CONNECTION.....	11
5.2 DATA COMMUNICATION PROTOCOL .....	12
5.3 DATA OUTPUT FORMAT.....	12
5.4 DESCRIPTIONS OF DEFAULT OUTPUT DATA .....	13
<b>6 QUICK TEST.....</b>	<b>13</b>
6.1 REQUIRED TOOLS OF PRODUCT TEST.....	13
6.2 TEST PROCEDURES .....	13
<b>7 DESCRIPTIONS ON USER-DEFINED PARAMETER CONFIGURATION .....</b>	<b>16</b>
7.1 FUNCTION OVERVIEW.....	16
7.2 COMMAND CONVENTION.....	16



7.3	COMMAND FRAME DEFINITION .....	16
7.4	GENERAL PARAMETER CONFIGURATION AND DESCRIPTION.....	16
<b>8</b>	<b>REMOTE UPGRADING .....</b>	<b>18</b>
<b>9</b>	<b>MALFUNCTION: CAUSES AND TROUBLESHOOTING.....</b>	<b>18</b>
<b>10</b>	<b>Q&amp;A .....</b>	<b>20</b>
	<b>ATTACHMENT 1: INTRODUCTION OF TF SERIES PC SOFTWARE .....</b>	<b>21</b>



## 1 Attentions

### 1.1 About this Manual

- This manual provides all the essential information during the usage of this product.
- Please carefully read this manual and make sure that you fully understand everything herein.

### 1.2 Usage of Product

- The maintenance of this product should be done by the professional technician, and the product can only work with the factory spare part for ensuring the performance and safety.
- This product itself has no polarity and over-voltage protection. Please properly connect and supply power as described in this manual.
- Operating temperature of this product is between  $-20^{\circ}\text{C}$  and  $60^{\circ}\text{C}$ . Do not use it beyond this temperature range to prevent malfunction.
- Storage temperature of this product is between  $-20^{\circ}\text{C}$  and  $75^{\circ}\text{C}$ . Do not store it beyond this temperature range to prevent malfunction.
- For ensuring the product performance, do not open the product shell or remove the IR-pass filter.

### 1.3 Conditions with Potential Malfunction

- Detecting object with high reflectivity, such as the mirror or the smooth floor tile, may cause a system malfunction.
- The product will malfunction if there is any transparent object between it and the detecting object, such as glass or water.
- The product will malfunction if its emitting or receiving IR-pass filter is covered by the dust. Please keep the IR-pass filters clean.
- Please do not spread ethyl alcohol on the IR-pass filters, which are made of acrylic, IR-pass filters will be damaged.
- Please do not pull the fine wire, the wire may be damaged.



## 2 Description

### 2.1 Product description

TFmini Plus is a milestone of Benewake in the process of promoting the cost-effective -LiDAR. Apart from low-cost, small-size and low-power-consumption, TFmini Plus also improves the frame rate, introduces IP65 enclosures and optimizes various compensation algorithms. These new characters greatly expand the application fields and scenarios of TFmini Plus.

### 2.2 Principle of Distance Measurement

TFmini Plus is based on TOF, namely, Time of Flight principle. To be specific, the product emits modulation wave of near infrared ray on a periodic basis, which will be reflected after contacting object. The product obtains the time of flight by measuring round-trip phase difference and then calculates relative range between the product and the detection object, as shown in Figure1.

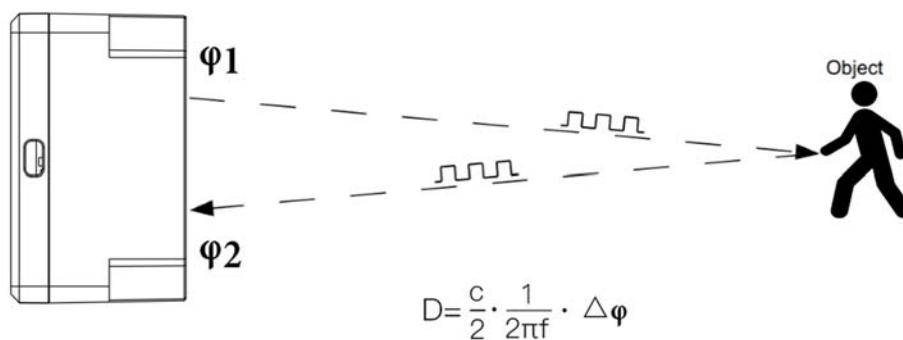


Figure 1 Schematics of TOF Principle

### 2.3 Key Characteristic Parameters

Table 1 Key Characteristic Parameters of TFmini

Description	Parameter value
Operating range	0.1m~12m <sup>①</sup>
Accuracy	±5cm@ ( 0.1-6m ) <sup>②</sup>
	±1%@ ( 6m-12m )
Measurement unit	cm
Range resolution	5mm
FOV	3.6° <sup>③</sup>
Frame rate	1~1000Hz ( adjustable ) <sup>④</sup>



- ① Operating range based on a standard whiteboard with reflectivity 90% in indoor condition
- ② The distance measurement here is absolute accuracy, and the specific repeat accuracy will be described in the next section 2.4.
- ③ 3.6° is the theoretical value, from which the actual value will be different. The theoretical divergence angle is 6°
- ④ Only frame rates meet the formula  $1000/n$  (n is positive integer) can be set. The default frame rate is 100Hz.

## 2.4 Repeatability

The TFmini Plus's range repeat accuracy is directly related to the intensity value measured and the output frame rate (frequency). The ranging repeat accuracy is characterized by the standard deviation of ranging. The average ranging accuracy of the TFmini Plus can be estimated by the following formula:

$$\boxed{\text{Distance\_STD[cm]} = p00 + p10 * x + p01 * y + p20 * x^2 + p11 * x * y}$$

In the formula, x is  $\log_{10} \text{Strength}$ , y is  $\log_{10} \text{Frequency[Hz]}$ , p00, p01, p10, p20 and p11 are constant coefficients, and the values are as follows:

$$p00 = 0.9758$$

$$p01 = 1.175$$

$$p10 = -0.6072$$

$$p20 = 0.09501$$

$$p11 = -0.2904$$

The above formula only calculates the average reference value. There are some differences in actual results due to differences in each product.

For your convenience, add a simple statistics table for this query, as shown below:

AMP \ Freq	120	200	500	1000	5000	10000
25	1.1	1.2	0.7	0.3	0.1	0.0
50	0.6	1.3	0.9	0.5	0.2	0.0
100	0.9	1.3	0.9	0.6	0.5	0.0
125	1.0	1.1	1.0	0.7	0.5	0.0
250	1.4	0.9	1.0	0.7	0.5	0.0
500	1.8	1.3	0.9	0.7	0.5	0.2
1000	2.6	1.8	0.7	0.7	0.5	0.0





## 2.5 Distance Measurement Characteristics

With optimization of light path and algorithm, TFmini Plus has minimized influence from external environment on distance measurement performance. Despite that, the range of distance measurement may still be affected by the environment illumination intensity and the reflectivity of detection object. As shown

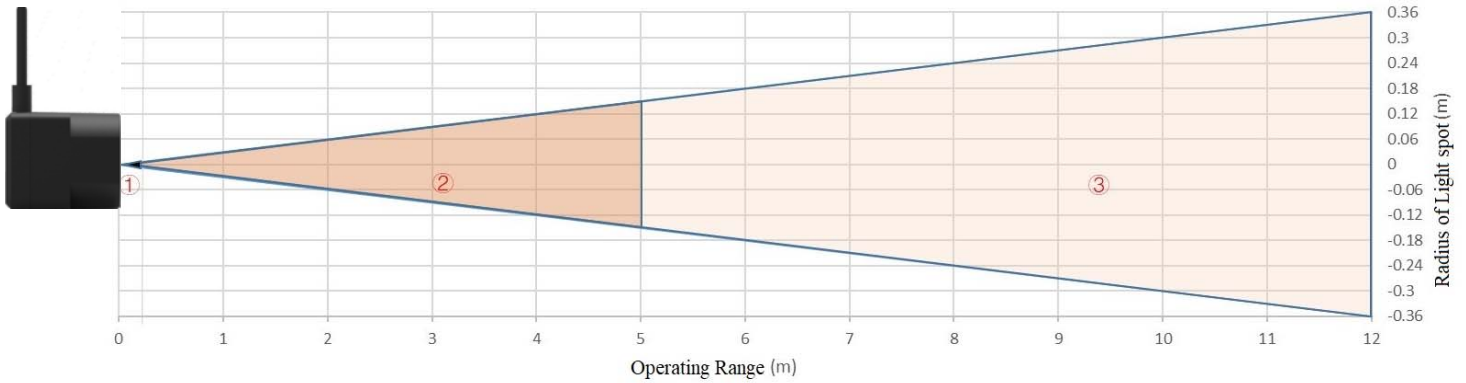


Figure 2 Schematic diagram of size of light spot

in Figure 2:

- ① Represents the detection blind zone of TFmini Plus, 0-10cm, within which the output data is unreliable.
- ② Represents the operating range of TFmini Plus detecting black target with 10% reflectivity, 0.1-5m.
- ③ Represents the operating range of TFmini Plus detecting white target with 90% reflectivity, 0.1-12m.

Vertical Coordinates: Represents the radius of light spot for TFmini Plus at the different distances. The diameter of light spot depends on the FOV of TFmini Plus (the term of FOV generally refers to the smaller value between the receiving angle and the transmitting angle), which is calculated as follows:

$$d = D \cdot \tan\beta$$

In the formula above, d is the diameter of light spot; D is detecting range;  $\beta$  is the the value of the receiving angle of TFmini Plus,  $3.6^\circ$ . Correspondence between the diameter of light spot and detecting range is given in Table 2.

Table 2 the Minimum side length of effective detection corresponding to Detecting Range

Detecting range	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m
Minimum side length	6cm	12cm	18cm	24cm	30cm	36cm	42cm	48cm	54cm	60cm	66cm	72cm



If the light spot reaches two objects with different distances, as shown in Figure 3, the output distance value will be a value between the actual distance values of the two objects. For a high accuracy requirement in practice, the above situation should be noticed to avoid the measurement error.

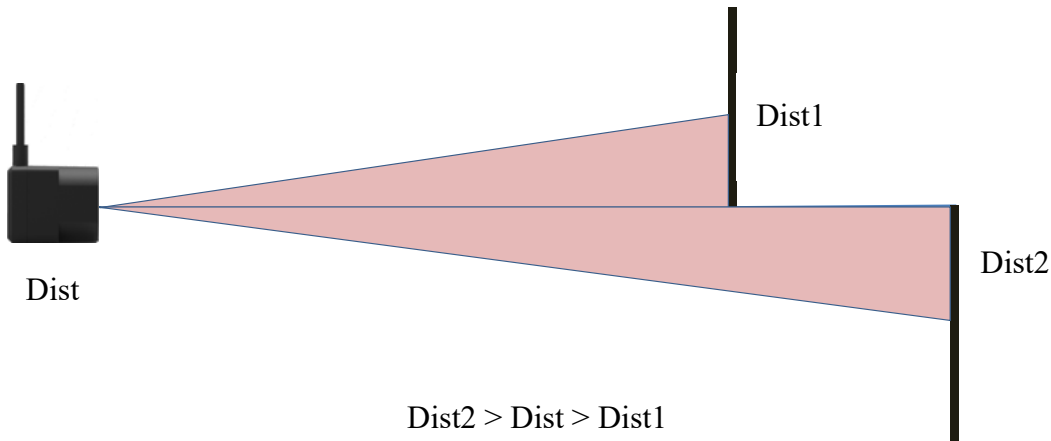


Figure 3 Distance Measurement in the case of Two Objects of Different Distances

### 3 Appearance and Structure

#### 3.1 Product Structure

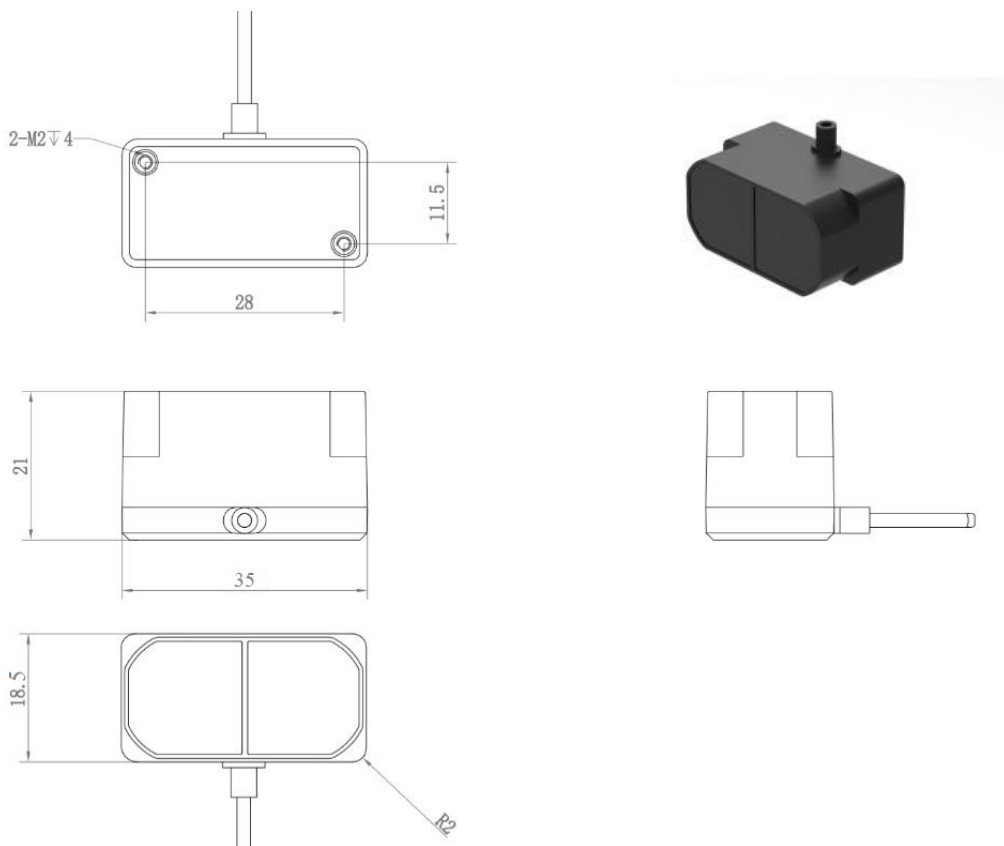


Figure 4: Constructional Drawing of TFmini Plus

M2 positioning screw was recommended, and please choose an appropriate length according to installation requirements.





## 4 Electrical Characteristics

Table 3: Major Electrical Parameters of TFmini Plus

Description	Parameter value
Supply voltage	5V±0.5V
Average current	≤110mA
Peak current	500mA
Average power	500mW
Communication level	LVTTL ( 3.3V )

This product has no overvoltage nor polarity protection, so please make sure that connection and power supply are normal. The fluctuation of the power supply voltage in a range of ±0.5V is allowable.

Average current varies along with the operating modes of the product in two patterns, more specifically, its current is around 50mA under short distance mode and it is around 180mA under long distance mode. Please make sure that the power supply current meets the peak current of 500mA. In case of insufficient power supply current, the product maybe can't work properly.

## 5 Line Sequence and Data Communication Protocol

### 5.1 Description about Line Sequence and Connection

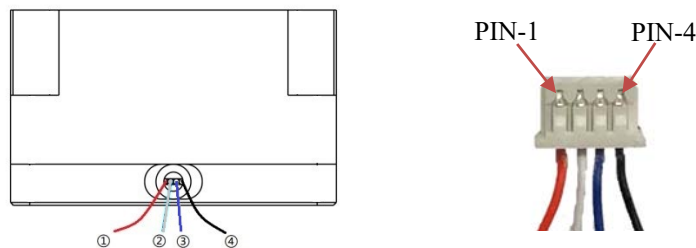


Table 4: The Function and Connection Description of each pin

No.	Color	Pin	Function	Corresponding PIN
①	Red	+5V	Power supply	PIN-1
②	White	RXD	Receiving	PIN-2
③	Blue	TXD	Transmitting	PIN-3
④	Black	GND	Ground	PIN-4

TFmini Plus has a 30cm long connecting wire with a GH1.25-4P (Molex51021-0400) connector. The connecting wire can be extended as needs. To ensure effective data transmission, the length of connecting wire should be short than 1m.



## 5.2 Data Communication Protocol

TFmini Plus adopts the serial port data communication protocol, as given in Table 5.

*Table 5 Data Communication Protocol of TFmini Plus*

Communication interface	UART
Default baud rate	115200
Data bit	8
Stop bit	1
Parity check	None

## 5.3 Data Output Format

TFmini Plus is available with two formats of data output, namely, the standard data output format and the Pixhawk data format, both of which are switchable with command.

- **Standard data output format (default):**

Data structure: each data frame contains 9 bytes, including the distance value, signal strength, temperature of chip and data check byte (Checksum), etc. Data format is hexadecimal (HEX). Data codes are detailed in Table 6

*Table 6 Data Format and Code Explanation*

Byte0 -1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
0x59 59	Dist_L	Dist_H	Strength_L	Strength_H	Temp_L	Temp_H	Checksum
<b>Data code explanation</b>							
Byte0	0x59, frame header, same for each frame						
Byte1	0x59, frame header, same for each frame						
Byte2	Dist_L distance value lower by 8 bits						
Byte3	Dist_L distance value higher by 8 bits						
Byte4	Strength_L low 8 bits						
Byte5	Strength_L high 8 bits						
Byte6	Temp_L low 8 bits (suit for version later than V1.3.0)						
Byte7	Temp_H high 8 bits (suit for version later than V1.3.0)						
Byte8	Checksum is the lower 8 bits of the cumulative sum of the numbers of the first 8 bytes.						



- **Serial port Pixhawk data format**

The data output is in the format of character string and its unit is m(meter). For example, if the measurement distance is 1.21m, the string 1.21 will be output, followed by the escape character `\r\n`.

#### 5.4 Descriptions of default Output Data




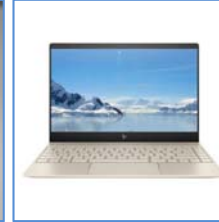

**Dist(Distance):** Represents the output of the distance value detected by TFmini Plus, with the unit in cm by default. This value is interpreted into the decimal value in the range of 0-1200. When the signal strength is lower than 100 or equal to 65535, the detection is unreliable, TFmini Plus will set distance value to 0.

**Strength :** Represents the signal strength with the default value in the range of 0-65535. After the distance mode is set, the longer the measurement distance is, the lower the signal strength will be; the lower the reflectivity is, the lower the signal strength will be. When the signal strength is lower than 100 or equal to 65535, the detection is unreliable, TFmini Plus will set distance value to 0.

**Temp(Temperature):** Represents the chip temperature of TFmini Plus. Degree centigrade =  $\text{Temp} / 8 - 256$

## 6 Quick Test

### 6.1 Required Tools of Product Test

				
TFmini Plus	TTL - USB converter	USB cable	PC	Test software

### 6.2 Test Procedures

① Download the Test software

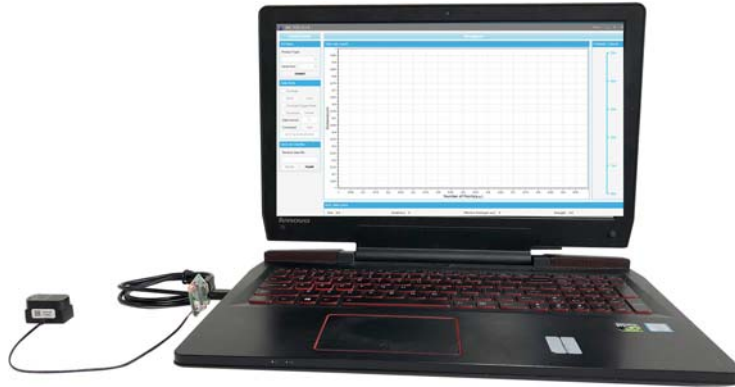
Please download the Test software of TFmini Plus at our official website (<http://www.benewake.com/en/down.html>).

Caution: please shut down any anti-virus software before uncompressing the PC software. Otherwise, maybe the software is deleted as virus. The software is only runnable under Windows environment for the time being. Please refer to Attachment 1 - Product manual of TF Test software.



## ② Connection of the hardware

Connect “TFmini Plus”, “TTL - USB board” and “USB cable” as shown in Figure 6. Make sure there is no



loose connection. Then connect “USB cable” with “PC”.

*Figure 5 Schematic Diagram of Correct Connection*

## ③ Connection to the Test software and data output

Open the PC software and select “① TFmini Plus” and select automatically recognized occupied serial port (here it is “② COM57”), as shown in Figure 6.

Then click “CONNECT”. Upon successful connection, The continuous images of the output data will be displayed in area “④ TIME LINE CHART” on the right. Besides, the real-time data of the Current measure distance (Dist), effective data points per second (Effective Points) and signal strength (Strength) will be displayed in area “⑥ REAL TIME DATA” below.



Figure 6 PC software Interface and Display

Notes:

- If no data is available in area “④TIME LINE CHART”, please check the line connection and line sequence. When TFmini Plus is successfully powered on, there will be a red indicator light inside transmitting lens viewing from the front.
- If the user want the TFmini Plus output in the Pixhawk format, please select “③Pix Mode” at first, otherwise area “④TIME LINE CHART” will not output the right data image normally. After Pix Mode is checked, the unit of distance will be changed into m automatically.
- The value of distance output Dist may vary with the output unit, which is cm by default. If the unit of distance is changed to the unit-mm with specific command, and the PC software will be unable to identify it, and so the unit of “④TIME LINE CHART” will still be cm. For example, the actual TFmini Plus measurement is 1m, the distance value of TFmini Plus is 1000 in mm, the value read by the PC software also is 1000, but the unit will not change and still display cm.



## 7 Descriptions on User-defined Parameter Configuration

### 7.1 Function Overview

The function of user-defined configuration of product parameters is hereby enabled for more flexible settlement of your problems by TFmini Plus. User may modify original parameters by sending relevant commands, such as output data format and frame rate, etc. Upon successful configuration, the configured parameters will be saved in Flash without the need of reconfiguration for reboot in the event of power failure.

Please modify product configuration depending upon your actual demands. Do not frequently try irrelevant commands to prevent incorrect sending of command which many cause unnecessary loss. Please make sure to make the configuration as the commands listed herein. Do not send unstated command.

### 7.2 Command Convention

Multi-bytes data or command frame is transmitted in **little endian format**.

For example, decimal number 1000 can be transferred to 0x03E8 in hexadecimal. Then it will be saved in the data or command frame as:

0x5A 0x06 0x03 0xE8 0x03 0x4E

### 7.3 Command Frame Definition

Caution: All configuration commands are sent as hexadecimal digits (HEX).

Table 7 Command frame definition

Byte0	Byte1	Byte2	Byte3 ~ ByteN-2	ByteN-1
Head	Len	ID	Payload	Checksum
Remarks				
Byte0	Head: frame header ( 0x5A )			
Byte1	Len: the total length of the frame ( include Head and Checksum , unit: byte )			
Byte2	ID: identifier code of command			
Byte3-N-2	Data: data segment. Little endian format			
ByteN-1	Checksum: sum of all bytes from Head to payload. Lower 8 bits			

### 7.4 General Parameter Configuration and Description

Before setting the relevant parameters of TFmini Plus, user needs to establish the connection between TFmini Plus and PC at first. About the connection details, refer to the test connection given in [6.2](#). User





can send the relevant configuration-related instructions to the product via TFmini Plus PC software or other serial port debugging software. **Important: After setting parameters, the ‘Save setting’ command needs to be sent.**

Table 8 General Parameter Configuration and Description

Parameters	Command	Response	Remark	Default setting
Obtain firmware version	5A 04 01 5F	5A 07 01 V1 V2 V3 SU	Version V3.V2.V1	
System reset	5A 04 02 60	5A 05 02 00 60	Succeeded	
		5A 05 02 01 61	Failed	
Frame rate	5A 06 03 LL HH SU	5A 06 03 LL HH SU	1-1000Hz <sup>①</sup>	100Hz
Trigger detection	5A 04 04 62	Data frame	After setting the frame rate to 0 ,detection can be triggered with this command	
Output format	5A 05 05 01 65	5A 05 05 01 65	Standard 9 bytes(cm)	√
	5A 05 05 02 66	5A 05 05 02 66	Pixhawk <sup>②</sup>	/
	5A 05 05 06 6A	5A 05 05 06 6A	Standard 9 bytes(mm)	/
Baud rate	5A 08 06 H1 H2 H3 H4 SU	5A 08 06 H1 H2 H3 H4 SU	Set baud rate <sup>③</sup>	115200
Enable/Disable output	5A 05 07 00 66	5A 05 07 00 66	Disable data output	/
		5A 05 07 01 67	5A 05 07 01 67	Enable data output
Restore factory settings	5A 04 10 6E	5A 05 10 00 6E	Succeeded	
		5A 05 10 01 6F	Failed	
Save settings <sup>④</sup>	5A 04 11 6F	5A 05 11 00 6F	Succeeded	
		5A 05 11 01 70	Failed	

Note:Bytes with yellow undertone represents checksum. Bytes with blue undertone represents data segment.

- ① The default update rate is 100Hz. The customized update rate should be calculated by the formula: 1000/n (n is positive integer). Increasing frame rate will decrease the data stability.
- ② In Pixhawk mode, the default output data is decimal string.
- ③ Only standard baud rates are supported. When setting a high update rate, a high baud rate is recommended to ensure data security.
- ④ Please always send the command of save settings when try to modify parameters of TFmini Plus, otherwise the settings will not take effect.



## 8 Remote Upgrading

TFmini Plus supports the remote upgrade. When the user's product cannot satisfy the current application requirements and Benewake official website has relevant firmware upgrades, the user may upgrade the product firmware via remotely upgrading the PC software. Please contact us to get the Updater

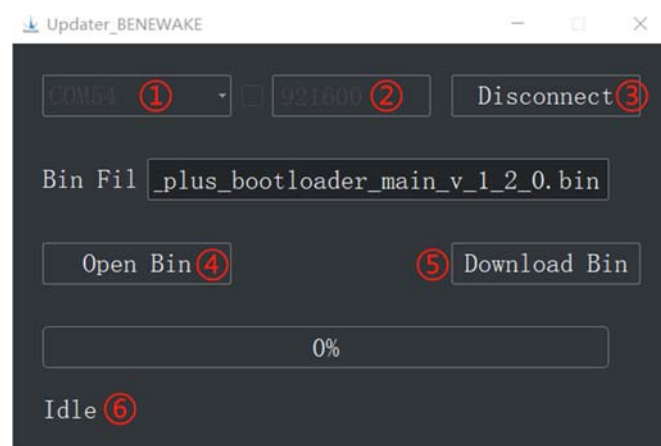


Figure 7 Firmware Upgrade PC software of TFmini Plus

The tools for the firmware upgrade of TFmini Plus are mostly the same as the [Quick Test](#), which requires one TTL-USB board to connect the TFmini Plus with PC.

Upon successful connection, open the Updater.exe. Select right port, here is “①COM8”. Input the right baud rate in “② 115200” and click “③ CONNECT” to connect the TFmini Plus with the Updater. Click “④ Open Bin” to choose the updating firmware, whose directory will be showed in the textbox above. Then click “⑤ Download Bin” to start upgrading. The information of upgrading will be showed in “⑥”.

**Caution:** please confirm that the communication bit rate of this product is 115200 before the firmware upgrade, as TFmini will be unable to upgrade at other bit rates.

## 9 Malfunction: Causes and Troubleshooting

(1) Distance value occasionally will abruptly change into 0 beyond the range during normal operation.

**Cause:** The different test environments (reflectivity of detected object, disturbance of ambient light, etc.) will affect the signal strength of TFmini Plus. For a reliable and stable measurement data, the algorithm elimination is internally used for TFmini Plus. In case of the insufficient signal strength, TFmini Plus will output 0. This value is not measurement data of TFmini Plus, which is only used to remind the user that such data is unreliable.

**Troubleshooting:** please use such value as the trigger signal of some unreliable data, and it will ensure that your system can use other reliable data for further assessment and decision-making if there are some unreliable data.



## **(2) Significant error between the output distant value of LiDAR and actual distance**

**Cause ①:** Incorrect interpretation of the data communication protocol of TFmini Plus.

**Troubleshooting:** check data communication interpretation means. In case of such error, please check the data format to adjust interpretation means.

**Cause ② :** Due to the physical principles of TFmini Plus, the above phenomenon is likely to occur if the detection object is the material with high reflectivity (such as mirror, smooth floor tile, etc.) or transparent substance (such as glass and water, etc.)

**Troubleshooting:** Please avoid use of this product under such circumstance in practice.

**Cause ③:** The IR-pass filters are blocked.

**Troubleshooting:** please use dry dust-free cloth to gently remove the foreign matter

## **(3) No data output**

**Cause:** The product will be strictly inspected before leaving our factory, ensuring that all the shipped products can work normally. However, some abnormal working matters maybe still occur because of incidents during the transportation or use.

**Troubleshooting:** Check whether the power supply is normal; check whether the voltage is within rated voltage range. If power supply is normal, there will be a red light inside the transmitting lens of TFmini Plus.

Check TFmini Plus with correct connection sequence and reliable connection.

Check whether the data interpretation is correct. Please carry out the interpretation as per the data format specified herein.

If the problem persists, please contact our technical support.

## **(4) There is no data output when LiDAR is connected to PC software.**

**Cause ①:** The PC software only supports the Windows operation system for the time being

**Troubleshooting:** Use the PC supporting Windows operation system.

**Cause ②:** TTL - USB board is poorly connected.

**Troubleshooting:** Check the TTL -USB board with the correct and reliable connection with TFmini and PC.

**Cause ③:** Driver of serial port is not correctly installed.



**Troubleshooting:** Plug and unplug USB cable again. Try to reinstall the driver or directly download and install a driver from the internet.

If the PC software still work abnormally, please contact our technical support.

## 10 Q&A

Q1: Is TFmini Plus available with 3.3V or other power supply voltage?

A1: Sorry, it is not available for the time being. The Standard power supply of TFmini Plus is  $5V \pm 0.5V$ . If you have any further requirement, please contact our sales person to consult a customization design matter.

Q2: TFmini Plus will heat up after operating for a while. Is it broken?

A2: This is the normal operating condition of the product. The temperature of the chip and circuit board will slightly up after a continuous operation, which is a normal case.

Q3: Can TFmini Plus be connected with Arduino or Raspberry Pi for use?

A3: Yes, it can. TFmini Plus adopts serial communication protocol so that it can connect to any control board supporting serial port communication.





## Attachment 1: Introduction of TF Series PC software

This PC software only supports the Windows operating system. It is suitable for any products of TF series, but the output of those products is limited to the serial port communication protocol. Detailed operations are as below.



Figure 1: Interface of TF Series PC software

### 1 Product Type/Serial Port Control Zone [SETTINGS]

Product Type: connect the LiDAR via TTL-USB board to the PC. As shown in the figure, select 'TFmini Plus'.

Serial port (COM): select the right serial port number corresponding to the LiDAR. Baud rate is set to 115200 as default.

CONNECT/DISCONNECT: Click [CONNECT] button to establish the connection with LiDAR. Click [DISCONNECT] button to terminate the connection.

### 2 Function Zone [FUNCTION]

Pix Mode: check the checkbox to enable Pix mode. Uncheck the checkbox will set TFmini Plus to default output format. **In Pix mode, the frame rate (Effective Points) calculated by test software is unreliable.**

FREEZE/CLEAR: After clicking [FREEZE], time-line chart in zone [4] will stop updating. On clicking



[CLEAR], the plotted curve in [4] will be cleared.

Frame Rate: choose frame rate from the drop box, setting will be made immediately.

Drawing/Pt: upon receipt of every N frames, the PC software will draw one point on the chart [4] the average of the N data. N can be modified depending upon the actual requirement (the value is preferable to be  $\geq 10$  to prevent the PC software from lagging). After entering the value, press “Enter” key on the keyboard to enable the setting.

Command: Input the commands in hexadecimal format in the text box and click the [SEND] button above to send the command.

### 3 Data Recording Zone [DATA RECORDING]

Input the name of data file in the textbox. Press [RECORD] button to start recording data and click the [FINISHED] button to stop recording. Click [FOLDER] button to open the folder where the data file is saved.

**Note: when the frame rate of LiDAR is too high, like 1000Hz, the time stamp will be asymmetric due to the massive data stream.**

### 4 Time Line Chart Zone [TIME LINE CHART]

The PC software will draw the continuous distance measurement curves based on the received data, where y-coordinates represent the current distance data while x-coordinates represent effective data.

### 5 Real-time Data Display Zone [REAL-TIME DATA]

Dist: Distance, cm by default.

Dist(Echo): parameter of TF03. With TFmini Plus, the default value is 0.

Effective Points (per sec): indicates effective points refreshed by TF per second (equals to frame rate).

Strength (Signal strength): in pix mode, TFmini Plus will not output strength value, so the Strength is 0 by default.

### 6 Operating Environment and Precautions

Operating Environment: this software can only run on Windows system, Win7 and above. The .Net Framework 4.5.2 is needed to use this software.

**Precautions: Please do not directly connect the product with frame rate more than 500Hz to test software, which will make the UI unresponsive.**



## Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

### Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The modules includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
- (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
- (3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.

Test distance = (high level time×velocity of sound (340M/S) / 2,

### Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

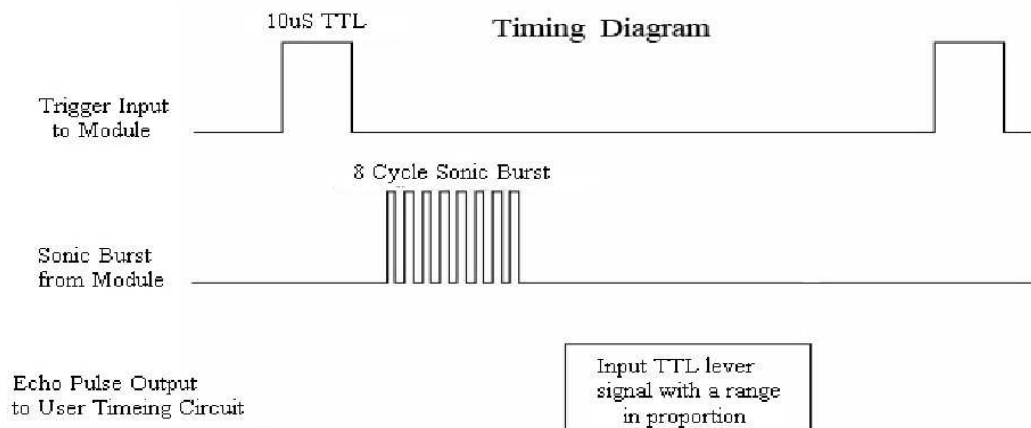
### Electric Parameter

Working Voltage	DC 5 V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
MeasuringAngle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm



## Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10uS pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion. You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula:  $\mu\text{S} / 58 = \text{centimeters}$  or  $\mu\text{S} / 148 = \text{inch}$ ; or: the range = high level time \* velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.





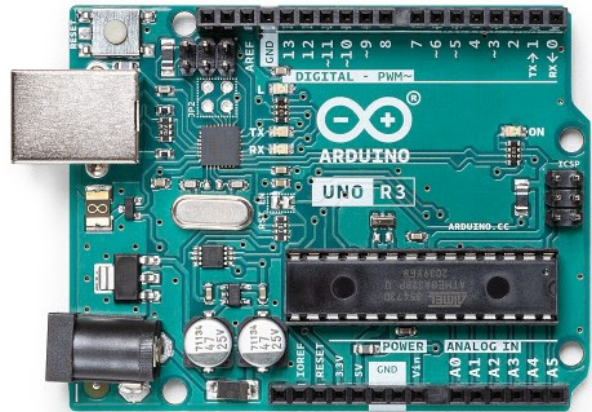
---

## **Attention:**

- The module is not suggested to connect directly to electric, if connected electric, the GND terminal should be connected the module first, otherwise, it will affect the normal work of the module.
- When tested objects, the range of area is not less than 0.5 square meters and the plane requests as smooth as possible, otherwise ,it will affect the results of measuring.

**[www.ElecFreaks.com](http://www.ElecFreaks.com)**





## Description

The Arduino UNO R3 is the perfect board to get familiar with electronics and coding. This versatile microcontroller is equipped with the well-known ATmega328P and the ATmega 16U2 Processor.

This board will give you a great first experience within the world of Arduino.

## Target areas:

Maker, introduction, industries



## Features

- **ATMega328P Processor**
  - **Memory**
    - AVR CPU at up to 16 MHz
    - 32KB Flash
    - 2KB SRAM
    - 1KB EEPROM
  - **Security**
    - Power On Reset (POR)
    - Brown Out Detection (BOD)
  - **Peripherals**
    - 2x 8-bit Timer/Counter with a dedicated period register and compare channels
    - 1x 16-bit Timer/Counter with a dedicated period register, input capture and compare channels
    - 1x USART with fractional baud rate generator and start-of-frame detection
    - 1x controller/peripheral Serial Peripheral Interface (SPI)
    - 1x Dual mode controller/peripheral I2C
    - 1x Analog Comparator (AC) with a scalable reference input
    - Watchdog Timer with separate on-chip oscillator
    - Six PWM channels
    - Interrupt and wake-up on pin change
- **ATMega16U2 Processor**
  - 8-bit AVR® RISC-based microcontroller
- **Memory**
  - 16 KB ISP Flash
  - 512B EEPROM
  - 512B SRAM
  - debugWIRE interface for on-chip debugging and programming
- **Power**
  - 2.7-5.5 volts



# CONTENTS

<b>1 The Board</b>	<b>4</b>
1.1 Application Examples	4
1.2 Related Products	4
<b>2 Ratings</b>	<b>4</b>
2.1 Recommended Operating Conditions	4
2.2 Power Consumption	5
<b>3 Functional Overview</b>	<b>5</b>
3.1 Board Topology	5
3.2 Processor	6
3.3 Power Tree	6
<b>4 Board Operation</b>	<b>7</b>
4.1 Getting Started - IDE	7
4.2 Getting Started - Arduino Web Editor	7
4.3 Getting Started - Arduino IoT Cloud	7
4.4 Sample Sketches	7
4.5 Online Resources	7
4.6 Board Recovery	8
<b>5 Connector Pinouts</b>	<b>8</b>
5.1 JANALOG	9
5.2 JDIGITAL	9
5.3 Mechanical Information	10
5.4 Board Outline & Mounting Holes	10
<b>6 Certifications</b>	<b>11</b>
6.1 Declaration of Conformity CE DoC (EU)	11
6.2 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021	11
6.3 Conflict Minerals Declaration	12
<b>7 FCC Caution</b>	<b>12</b>
<b>8 Company Information</b>	<b>13</b>
<b>9 Reference Documentation</b>	<b>13</b>
<b>10 Revision History</b>	<b>13</b>



## 1 The Board

### 1.1 Application Examples

The UNO board is the flagship product of Arduino. Regardless if you are new to the world of electronics or will use the UNO as a tool for education purposes or industry-related tasks.

**First entry to electronics:** If this is your first project within coding and electronics, get started with our most used and documented board; Arduino UNO. It is equipped with the well-known ATmega328P processor, 14 digital input/output pins, 6 analog inputs, USB connections, ICSP header and reset button. This board includes everything you will need for a great first experience with Arduino.

**Industry-standard development board:** Using the Arduino UNO board in industries, there are a range of companies using the UNO board as the brain for their PLC's.

**Education purposes:** Although the UNO board has been with us for about ten years, it is still widely used for various education purposes and scientific projects. The board's high standard and top quality performance makes it a great resource to capture real time from sensors and to trigger complex laboratory equipment to mention a few examples.

### 1.2 Related Products

- Starter Kit
- Tinkerkit Braccio Robot
- Example

## 2 Ratings

### 2.1 Recommended Operating Conditions

Symbol	Description	Min	Max
	Conservative thermal limits for the whole board:	-40 °C (-40°F)	85 °C ( 185°F)

**NOTE:** In extreme temperatures, EEPROM, voltage regulator, and the crystal oscillator, might not work as expected due to the extreme temperature conditions



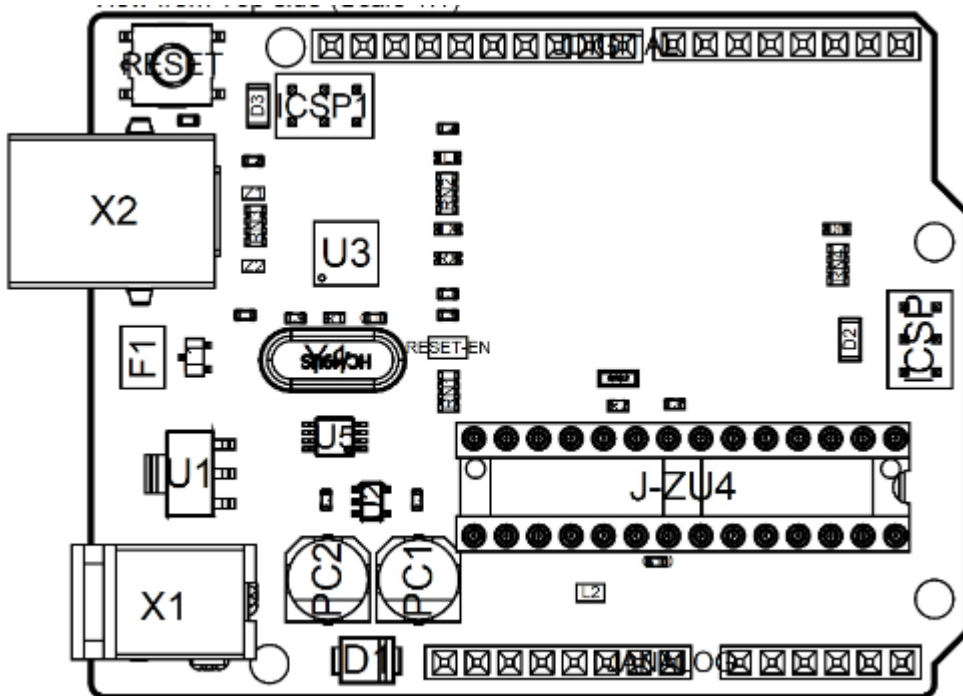
### 2.2 Power Consumption

Symbol	Description	Min	Typ	Max	Unit
VINMax	Maximum input voltage from VIN pad	6	-	20	V
VUSBMax	Maximum input voltage from USB connector		-	5.5	V
PMax	Maximum Power Consumption	-	-	xx	mA

## 3 Functional Overview

### 3.1 Board Topology

Top view



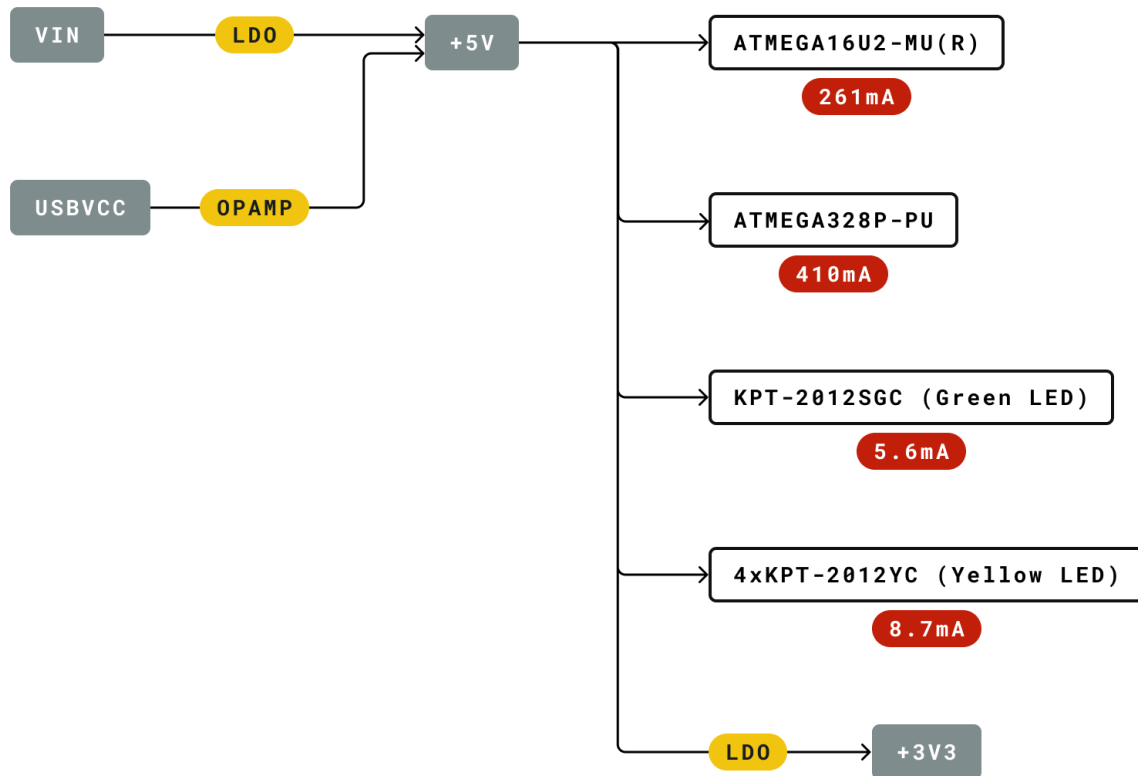
Board topology

Ref.	Description	Ref.	Description
X1	Power jack 2.1x5.5mm	U1	SPX1117M3-L-5 Regulator
X2	USB B Connector	U3	ATMEGA16U2 Module
PC1	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	U5	LMV358LIST-A.9 IC
PC2	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	F1	Chip Capacitor, High Density
D1	CGRA4007-G Rectifier	ICSP	Pin header connector (through hole 6)
J-ZU4	ATMEGA328P Module	ICSP1	Pin header connector (through hole 6)
Y1	ECS-160-20-4X-DU Oscillator		

### 3.2 Processor

The Main Processor is a ATmega328P running at up to 20 MHz. Most of its pins are connected to the external headers, however some are reserved for internal communication with the USB Bridge coprocessor.

### 3.3 Power Tree



**Legend:**

- Component
- Power I/O
- Conversion Type
- Max Current
- Voltage Range

Power tree



## 4 Board Operation

### 4.1 Getting Started - IDE

If you want to program your Arduino UNO while offline you need to install the Arduino Desktop IDE [1] To connect the Arduino UNO to your computer, you'll need a Micro-B USB cable. This also provides power to the board, as indicated by the LED.

### 4.2 Getting Started - Arduino Web Editor

All Arduino boards, including this one, work out-of-the-box on the Arduino Web Editor [2], by just installing a simple plugin.

The Arduino Web Editor is hosted online, therefore it will always be up-to-date with the latest features and support for all boards. Follow [3] to start coding on the browser and upload your sketches onto your board.

### 4.3 Getting Started - Arduino IoT Cloud

All Arduino IoT enabled products are supported on Arduino IoT Cloud which allows you to Log, graph and analyze sensor data, trigger events, and automate your home or business.

### 4.4 Sample Sketches

Sample sketches for the Arduino XXX can be found either in the "Examples" menu in the Arduino IDE or in the "Documentation" section of the Arduino Pro website [4]

### 4.5 Online Resources

Now that you have gone through the basics of what you can do with the board you can explore the endless possibilities it provides by checking exciting projects on ProjectHub [5], the Arduino Library Reference [6] and the online store [7] where you will be able to complement your board with sensors, actuators and more

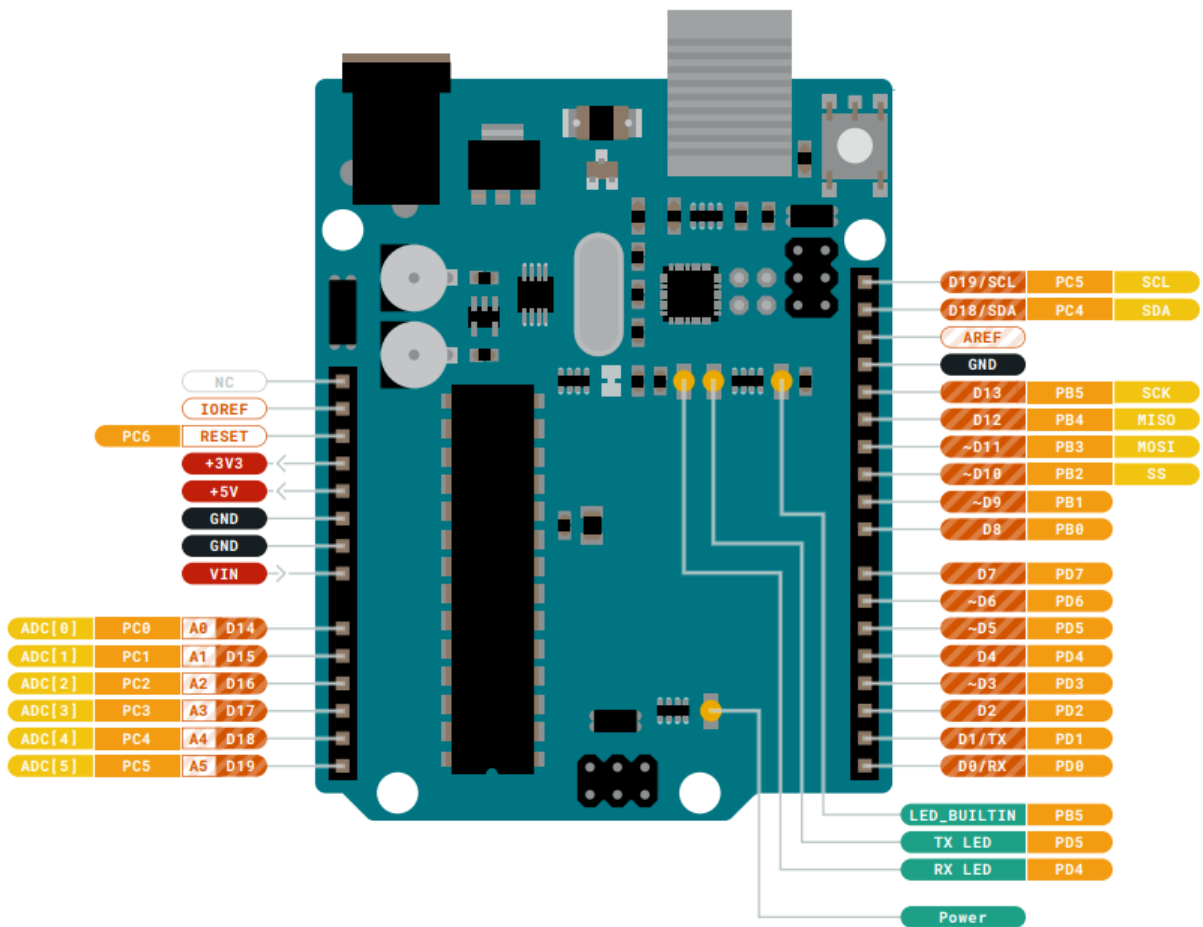




### 4.6 Board Recovery

All Arduino boards have a built-in bootloader which allows flashing the board via USB. In case a sketch locks up the processor and the board is not reachable anymore via USB it is possible to enter bootloader mode by double-tapping the reset button right after power up.

## 5 Connector Pinouts



Pinout



## 5.1 JANALOG

Pin	Function	Type	Description
1	NC	NC	Not connected
2	IOREF	IOREF	Reference for digital logic V - connected to 5V
3	Reset	Reset	Reset
4	+3V3	Power	+3V3 Power Rail
5	+5V	Power	+5V Power Rail
6	GND	Power	Ground
7	GND	Power	Ground
8	VIN	Power	Voltage Input
9	A0	Analog/GPIO	Analog input 0 /GPIO
10	A1	Analog/GPIO	Analog input 1 /GPIO
11	A2	Analog/GPIO	Analog input 2 /GPIO
12	A3	Analog/GPIO	Analog input 3 /GPIO
13	A4/SDA	Analog input/I2C	Analog input 4/I2C Data line
14	A5/SCL	Analog input/I2C	Analog input 5/I2C Clock line

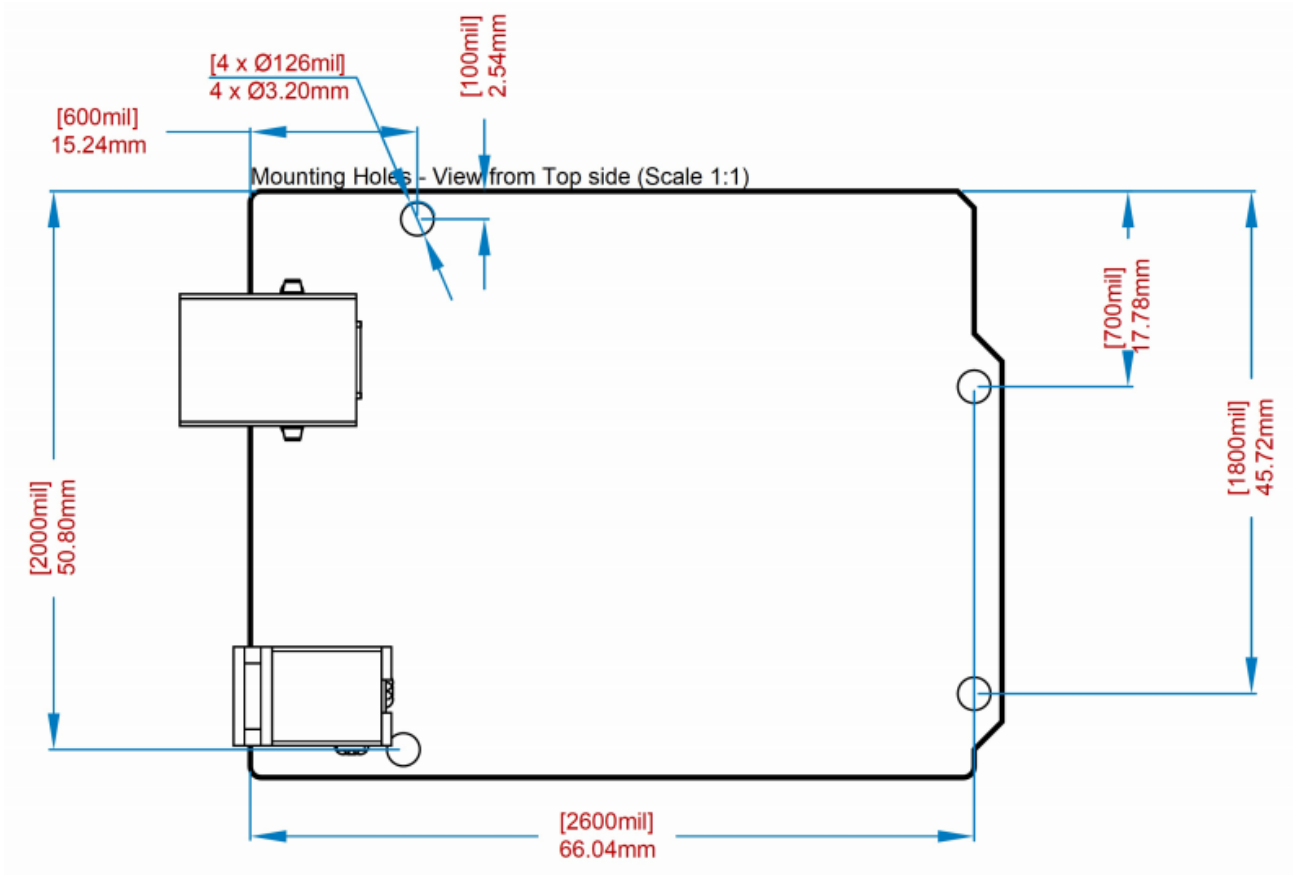
## 5.2 JDIGITAL

Pin	Function	Type	Description
1	D0	Digital/GPIO	Digital pin 0/GPIO
2	D1	Digital/GPIO	Digital pin 1/GPIO
3	D2	Digital/GPIO	Digital pin 2/GPIO
4	D3	Digital/GPIO	Digital pin 3/GPIO
5	D4	Digital/GPIO	Digital pin 4/GPIO
6	D5	Digital/GPIO	Digital pin 5/GPIO
7	D6	Digital/GPIO	Digital pin 6/GPIO
8	D7	Digital/GPIO	Digital pin 7/GPIO
9	D8	Digital/GPIO	Digital pin 8/GPIO
10	D9	Digital/GPIO	Digital pin 9/GPIO
11	SS	Digital	SPI Chip Select
12	MOSI	Digital	SPI1 Main Out Secondary In
13	MISO	Digital	SPI Main In Secondary Out
14	SCK	Digital	SPI serial clock output
15	GND	Power	Ground
16	AREF	Digital	Analog reference voltage
17	A4/SD4	Digital	Analog input 4/I2C Data line (duplicated)
18	A5/SD5	Digital	Analog input 5/I2C Clock line (duplicated)



### 5.3 Mechanical Information

### 5.4 Board Outline & Mounting Holes



Board outline



## 6 Certifications

### 6.1 Declaration of Conformity CE DoC (EU)

We declare under our sole responsibility that the products above are in conformity with the essential requirements of the following EU Directives and therefore qualify for free movement within markets comprising the European Union (EU) and European Economic Area (EEA).

<b>ROHS 2 Directive 2011/65/EU</b>	
Conforms to:	EN50581:2012
<b>Directive 2014/35/EU. (LVD)</b>	
Conforms to:	EN 60950-1:2006/A11:2009/A1:2010/A12:2011/AC:2011
<b>Directive 2004/40/EC &amp; 2008/46/EC &amp; 2013/35/EU, EMF</b>	
Conforms to:	EN 62311:2008

### 6.2 Declaration of Conformity to EU RoHS & REACH 211 01/19/2021

Arduino boards are in compliance with RoHS 2 Directive 2011/65/EU of the European Parliament and RoHS 3 Directive 2015/863/EU of the Council of 4 June 2015 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.

Substance	Maximum limit (ppm)
Lead (Pb)	1000
Cadmium (Cd)	100
Mercury (Hg)	1000
Hexavalent Chromium (Cr6+)	1000
Poly Brominated Biphenyls (PBB)	1000
Poly Brominated Diphenyl ethers (PBDE)	1000
Bis(2-Ethylhexyl} phthalate (DEHP)	1000
Benzyl butyl phthalate (BBP)	1000
Dibutyl phthalate (DBP)	1000
Diisobutyl phthalate (DIBP)	1000

Exemptions: No exemptions are claimed.

Arduino Boards are fully compliant with the related requirements of European Union Regulation (EC) 1907 /2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH). We declare none of the SVHCs (<https://echa.europa.eu/web/guest/candidate-list-table>), the Candidate List of Substances of Very High Concern for authorization currently released by ECHA, is present in all products (and also package) in quantities totaling in a concentration equal or above 0.1%. To the best of our knowledge, we also declare that our products do not contain any of the substances listed on the "Authorization List" (Annex XIV of the REACH regulations) and Substances of Very High Concern (SVHC) in any significant amounts as specified by the Annex XVII of Candidate list published by ECHA (European Chemical Agency) 1907 /2006/EC.



### 6.3 Conflict Minerals Declaration

As a global supplier of electronic and electrical components, Arduino is aware of our obligations with regards to laws and regulations regarding Conflict Minerals, specifically the Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act, Section 1502. Arduino does not directly source or process conflict minerals such as Tin, Tantalum, Tungsten, or Gold. Conflict minerals are contained in our products in the form of solder, or as a component in metal alloys. As part of our reasonable due diligence Arduino has contacted component suppliers within our supply chain to verify their continued compliance with the regulations. Based on the information received thus far we declare that our products contain Conflict Minerals sourced from conflict-free areas.

## 7 FCC Caution

Any Changes or modifications not expressly approved by the party responsible for compliance could void the user's authority to operate the equipment.

This device complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions:

- (1) This device may not cause harmful interference
- (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

#### **FCC RF Radiation Exposure Statement:**

1. This Transmitter must not be co-located or operating in conjunction with any other antenna or transmitter.
2. This equipment complies with RF radiation exposure limits set forth for an uncontrolled environment.
3. This equipment should be installed and operated with minimum distance 20cm between the radiator & your body.

English: User manuals for license-exempt radio apparatus shall contain the following or equivalent notice in a conspicuous location in the user manual or alternatively on the device or both. This device complies with Industry Canada license-exempt RSS standard(s). Operation is subject to the following two conditions:

- (1) this device may not cause interference
- (2) this device must accept any interference, including interference that may cause undesired operation of the device.

French: Le présent appareil est conforme aux CNR d'Industrie Canada applicables aux appareils radio exempts de licence. L'exploitation est autorisée aux deux conditions suivantes :

- (1) l'appareil n' doit pas produire de brouillage
- (2) l'utilisateur de l'appareil doit accepter tout brouillage radioélectrique subi, même si le brouillage est susceptible d'en compromettre le fonctionnement.

#### **IC SAR Warning:**

English This equipment should be installed and operated with minimum distance 20 cm between the radiator and your body.

French: Lors de l' installation et de l' exploitation de ce dispositif, la distance entre le radiateur et le corps est d' au moins 20 cm.



**Important:** The operating temperature of the EUT can't exceed 85°C and shouldn't be lower than -40°C.

Hereby, Arduino S.r.l. declares that this product is in compliance with essential requirements and other relevant provisions of Directive 2014/53/EU. This product is allowed to be used in all EU member states.

## 8 Company Information

<b>Company name</b>	<b>Arduino S.r.l</b>
Company Address	Via Andrea Appiani 25 20900 MONZA Italy

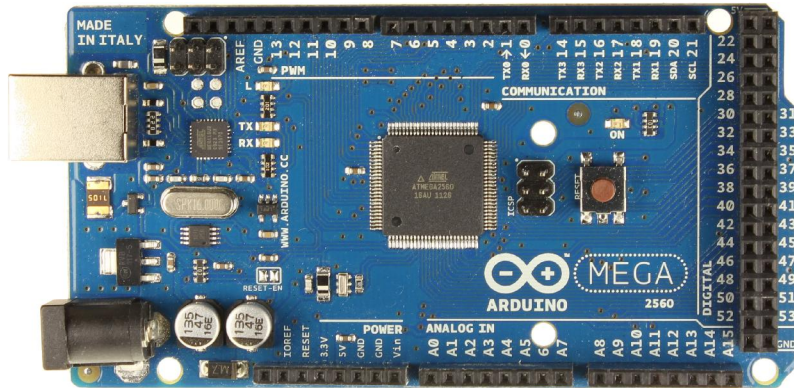
## 9 Reference Documentation

Reference	Link
Arduino IDE (Desktop)	<a href="https://www.arduino.cc/en/Main/Software">https://www.arduino.cc/en/Main/Software</a>
Arduino IDE (Cloud)	<a href="https://create.arduino.cc/editor">https://create.arduino.cc/editor</a>
Cloud IDE Getting Started	<a href="https://create.arduino.cc/projecthub/Arduino_Genuino/getting-started-with-arduino-web-editor-4b3e4a">https://create.arduino.cc/projecthub/Arduino_Genuino/getting-started-with-arduino-web-editor-4b3e4a</a>
Arduino Pro Website	<a href="https://www.arduino.cc/pro">https://www.arduino.cc/pro</a>
Project Hub	<a href="https://create.arduino.cc/projecthub?by=part&amp;part_id=11332&amp;sort=trending">https://create.arduino.cc/projecthub?by=part&amp;part_id=11332&amp;sort=trending</a>
Library Reference	<a href="https://www.arduino.cc/reference/en/">https://www.arduino.cc/reference/en/</a>
Online Store	<a href="https://store.arduino.cc/">https://store.arduino.cc/</a>

## 10 Revision History

Date	Revision	Changes
xx/06/2021	1	Datasheet release

# MB0014: OEM ARDUINO MEGA 2560



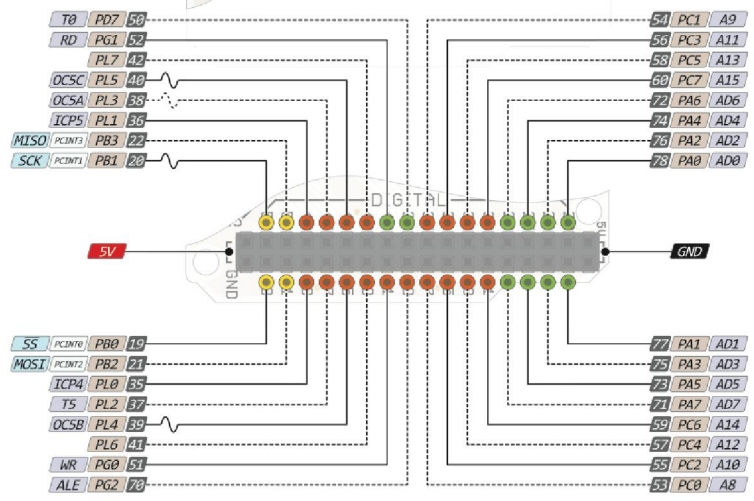
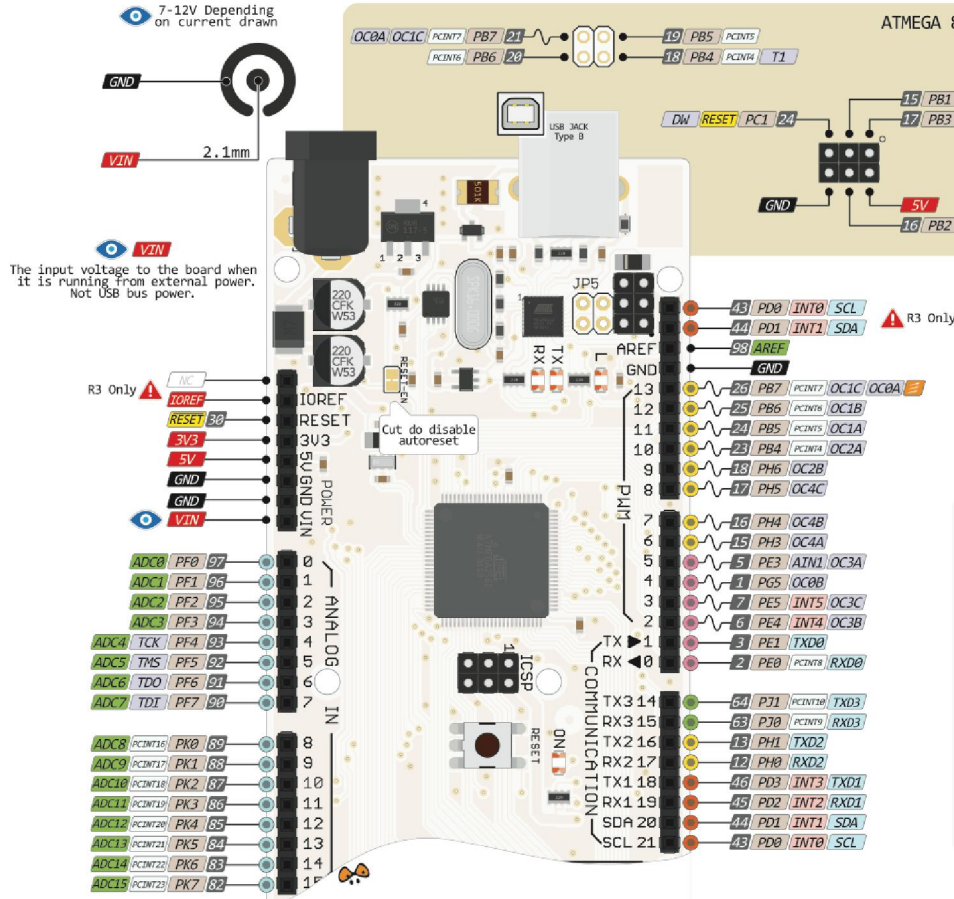
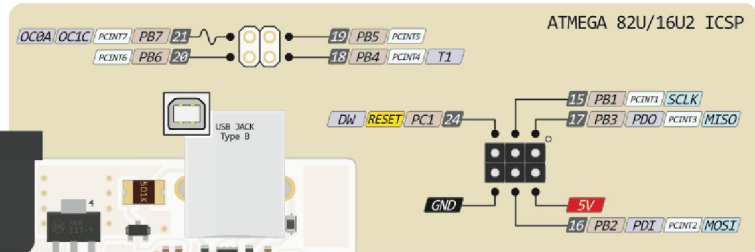
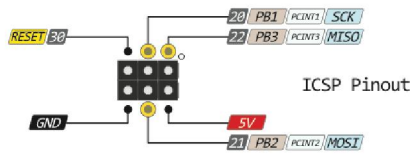
## Descripción:

El Arduino Mega es probablemente el microcontrolador más capaz de la familia Arduino. Posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reset y una entrada para la alimentación de la placa.

La comunicación entre la computadora y Arduino se produce a través del puerto serie, sin embargo posee un convertidor USB-SERIE, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB como el que utilizan las impresoras.

# Distribución de Pines

## MEGA PINOUT



⚠ The power sum for each pin's group should not exceed 100mA

⚠ Absolute MAX per pin 20mA recommended 10mA

⚠ Absolute MAX 200mA for entire package





## Características

Microcontrolador: ATmega2560.

Voltaje Operativo: 5V.

Voltaje de Entrada: 7-12V.

Voltaje de Entrada (límites): 6-20V.

Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM).

Pines análogos de entrada: 16.

Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA.

Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA.

Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader).

SRAM: 8KB.

EEPROM: 4KB.

Clock Speed: 16 MHz.

## Primeros Pasos

Para cargar el primer sketch debe tener instalado el IDE de Arduino en su computadora, que se debe descargar de la siguiente página:

<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

Una vez instalado el software, diríjase a la pestaña:

Archivo ->Ejemplos-> Basics

Deberá elegir Blink

Posteriormente deberá elegir la placa en:

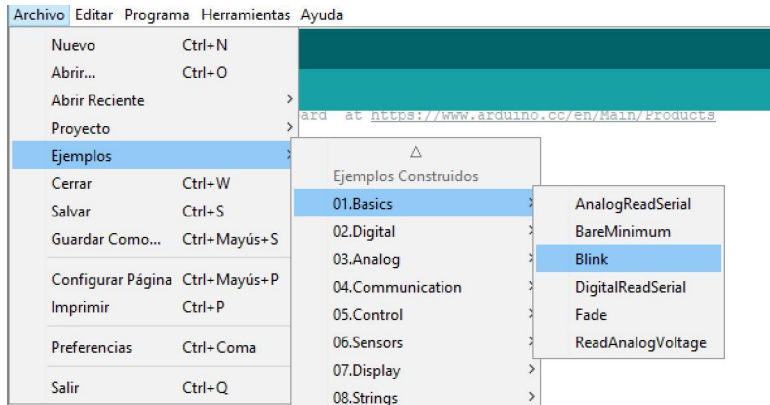
Herramientas-> Placa -> Arduino/Genuino Mega or Mega2560

Conecte su placa y a continuación vaya a:

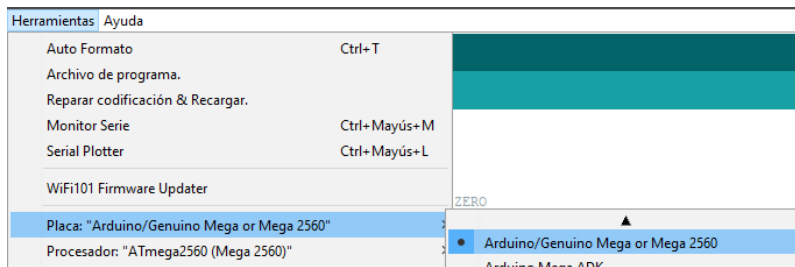
Herramientas->Puerto

Elija el puerto COM que su PC asigna a su placa.

## Elección del ejemplo



## Elección de placa y puerto



## Código de ejemplo

```
// void setup() {  
  // inicializa como pin digital LED_BUILTIN y lo declara  
  // como salida.  
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);  
}  
  
//el ciclo loop que indica que las funciones que estén dentro  
//de el se realizaran indefinidamente.  
void loop() {  
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // enciende el LED  
  delay(1000); // lo deja un segundo encendido  
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // apaga el LED  
  delay(1000); // lo apaga por un segundo  
}
```

Para Finalizar debe Compilar y Cargar el programa. En la flecha que indica subir:



AG Electrónica S.A. de C.V.  
República del Salvador N° 20  
Segundo Piso  
Teléfono: 5130 - 7210

<http://agelectronica.com/AG/>

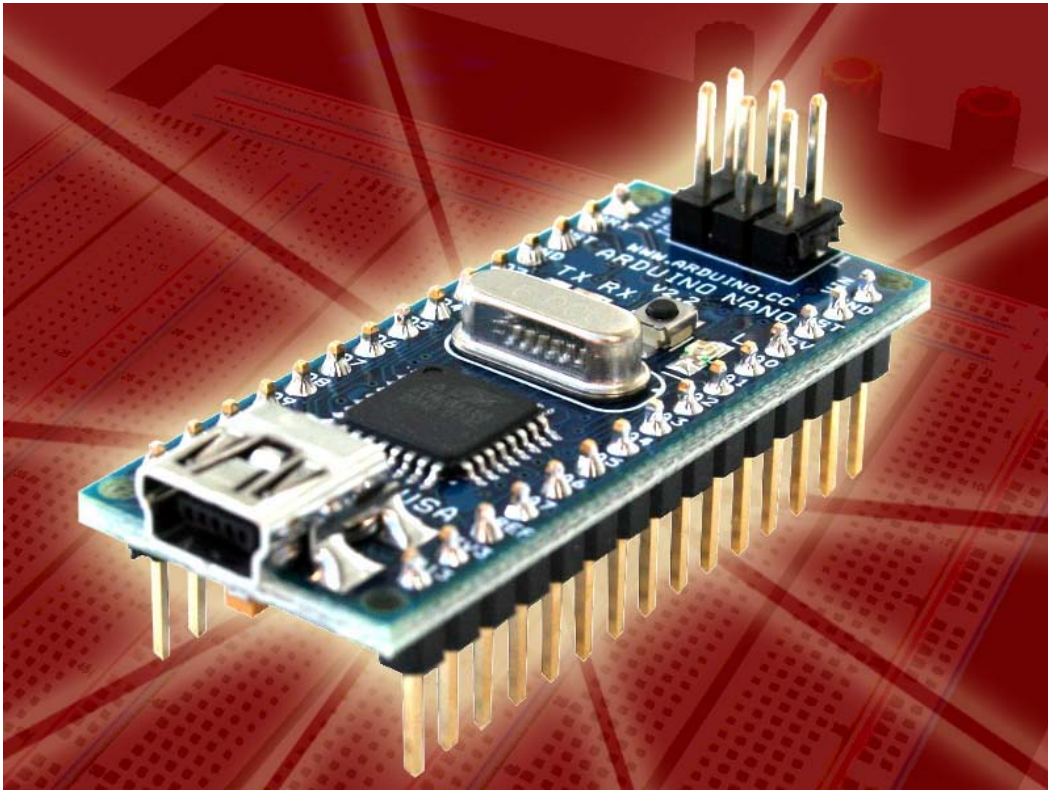
Rev 1. RMG

Fecha: 20/10/2017

Rev 2. BMF

# *Arduino Nano (V2.3)*

## *User Manual*



Released under the Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5 License

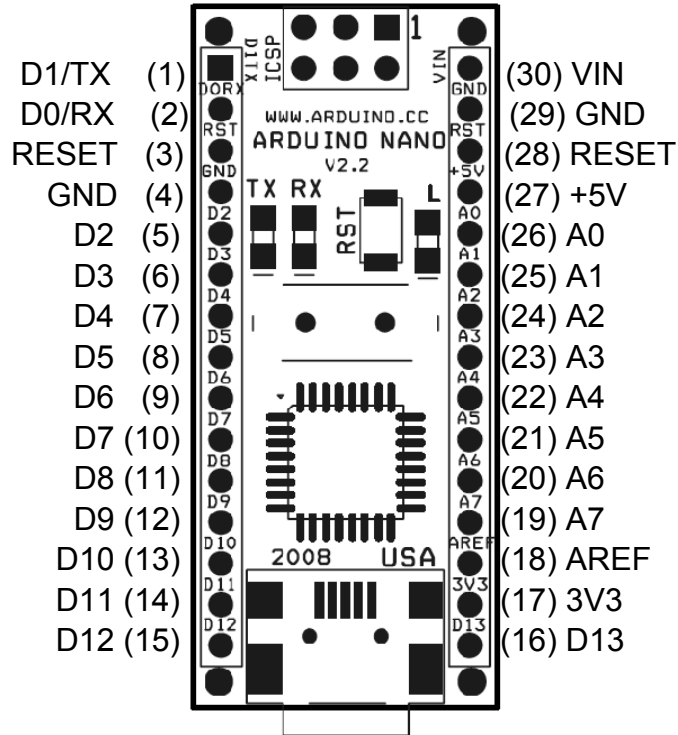
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/>

More information:

[www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

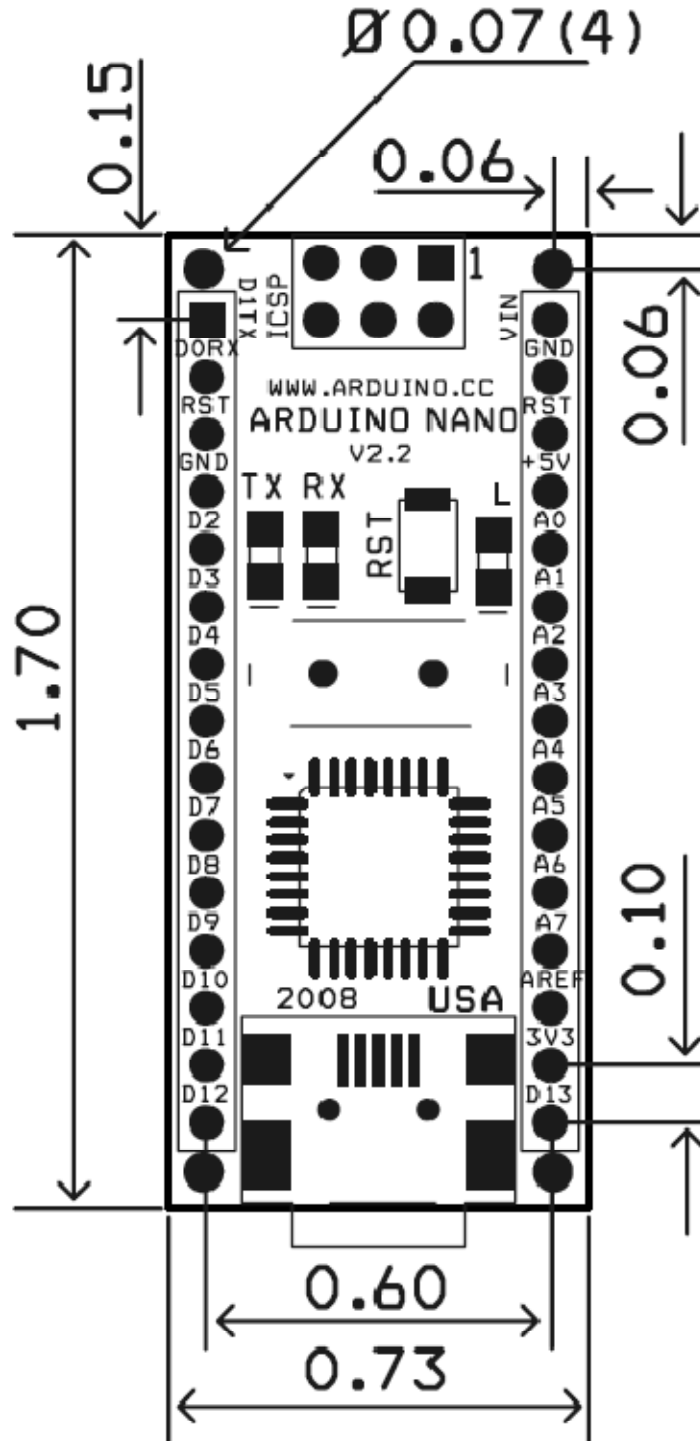
Rev. 2.3

## Arduino Nano Pin Layout



Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A7-A0	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

Arduino Nano Mechanical Drawing



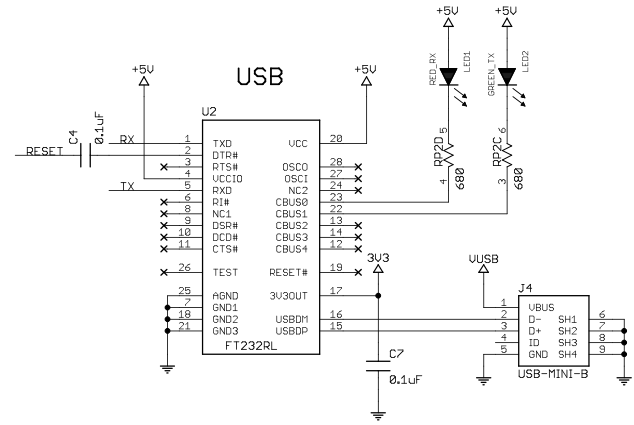
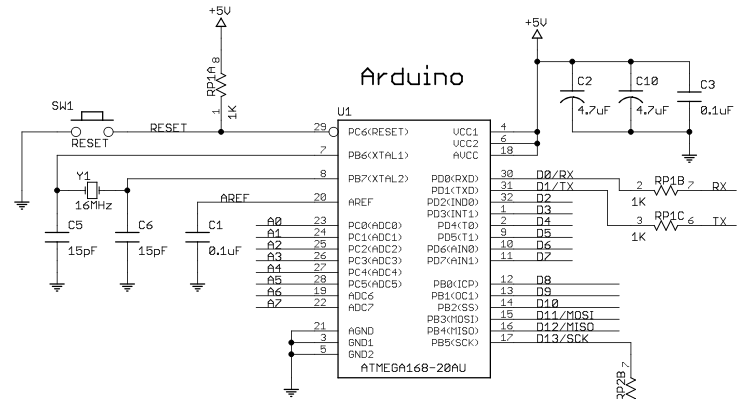
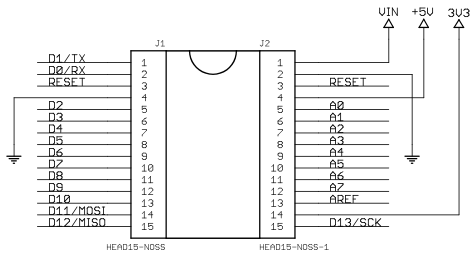
ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES

### Arduino Nano Bill of Material

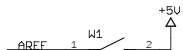
Item Number	Qty.	Ref. Dest.	Description	Mfg. P/N	MFG	Vendor P/N	Vendor
1	5	C1,C3,C4,C7,C9	Capacitor, 0.1uF 50V 10% Ceramic X7R 0805	C0805C104K5RACTU	Kemet	80-C0805C104K5R	Mouser
2	3	C2,C8,C10	Capacitor, 4.7uF 10V 10% Tantalum Case A	T491A475K010AT	Kemet	80-T491A475K010	Mouser
3	2	C5,C6	Capacitor, 18pF 50V 5% Ceramic NOP/COG 0805	C0805C180J5GACTU	Kemet	80-C0805C180J5G	Mouser
4	1	D1	Diode, Schottky 0.5A 20V	MBR0520LT1G	ONsemi	863-MBR0520LT1G	Mouser
5	1	J1,J2	Headers, 36PS 1 Row	68000-136HLF	FCI	649-68000-136HLF	Mouser
6	1	J4	Connector, Mini-B Recept Rt. Angle	67503-1020	Molex	538-67503-1020	Mouser
7	1	J5	Headers, 72PS 2 Rows	67996-272HLF	FCI	649-67996-272HLF	Mouser
8	1	LD1	LED, Super Bright RED 100mcd 640nm 120degree 0805	APT2012SRCPRV	Kingbright	604-APT2012SRCPRV	Mouser
9	1	LD2	LED, Super Bright GREEN 50mcd 570nm 110degree 0805	APHCM2012CGCK-F01	Kingbright	604-APHCM2012CGCK	Mouser
10	1	LD3	LED, Super Bright ORANGE 160mcd 601nm 110degree 0805	APHCM2012SECK-F01	Kingbright	04-APHCM2012SECK	Mouser
11	1	LD4	LED, Super Bright BLUE 80mcd 470nm 110degree 0805	LTST-C170TBKT	Lite-On Inc	160-1579-1-ND	Digikey
12	1	R1	Resistor Pack, 1K +/-5% 62.5mW 4RES SMD	YC164-JR-071KL	Yageo	YC164J-1.0KCT-ND	Digikey
13	1	R2	Resistor Pack, 680 +/-5% 62.5mW 4RES SMD	YC164-JR-07680RL	Yageo	YC164J-680CT-ND	Digikey
14	1	SW1	Switch, Momentary Tact SPST 150gf 3.0x2.5mm	B3U-1000P	Omron	SW1020CT-ND	Digikey
15	1	U1	IC, Microcontroller RISC 16kB Flash, 0.5kB EEPROM, 23 I/O Pins	ATmega168-20AU	Atmel	556-ATMEGA168-20AU	Mouser
16	1	U2	IC, USB to SERIAL UART 28 Pins SSOP	FT232RL	FTDI	895-FT232RL	Mouser
17	1	U3	IC, Voltage regulator 5V, 500mA SOT-223	UA78M05CDCYRG3	TI	595-UA78M05CDCYRG3	Mouser
18	1	Y1	Cystal, 16MHz +/-20ppm HC-49/US Low Profile	ABL-16.000MHZ-B2	Abracon	815-ABL-16-B2	Mouser

# Arduino Nano Schematic

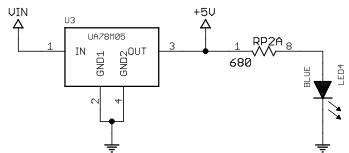
Copyright 2008 under the Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5 License  
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/>



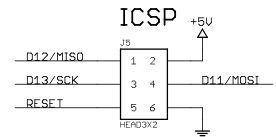
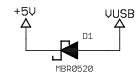
## +5V AREF OPTION



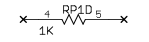
## +5V REG



## +5V AUTO SELECTOR



## NOT USED



v2.3 - Modify FT232RL to use +5V

TITLE: Arduino Nano	
Document Number:	REV: 2.3
Date: 6/26/2008 8:35:54 PM	Sheet: 1/1



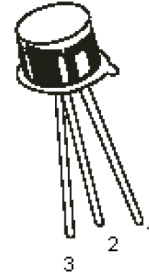
# NPN Silicon Planar Transistors

## BC107 / BC108 Series

**multicomp** PRO

Low Noise General Purpose Audio Amplifiers

**RoHS  
Compliant**



### Pin Configuration

1. Emitter
2. Base
3. Collector

### Absolute Maximum Ratings

Description	Symbol	BC107	BC108	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	45	25	V
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	50	30	
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	6	5	
Collector Current Continuous	$I_C$	200		mA
Power Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate Above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	300		mW mW / $^\circ\text{C}$
Power Dissipation at $T_c = 25^\circ\text{C}$ Derate Above $25^\circ\text{C}$		1.72		
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{STG}$	-65 to +200		$^\circ\text{C}$
<b>Thermal Characteristics</b>				
Junction to Ambient in free air	$R_{th(j-a)}$	583		$^\circ\text{C} / \text{W}$
Junction to Case	$R_{th(j-c)}$	233		

### Electrical Characteristics ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Description	Symbol	Test Condition	BC107	BC108	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	$I_C = 2 \text{ mA}, I_B = 0$	>45	>25	V
Collector-Base Voltage	$V_{EBO}$	$I_E = 10 \mu\text{A}, I_C = 0$	>6	>5	
Collector-Cut off Current	$I_{CBO}$	$V_{CB} = 45\text{V}, I_E = 0$	<15	<15	nA
		$V_{CB} = 25\text{V}, I_E = 0$ $V_{CB} = 45\text{V}, I_E = 0, T_A = 125^\circ\text{C}$ $V_{CB} = 25\text{V}, I_E = 0, T_A = 125^\circ\text{C}$	<4	<4	$\mu\text{A}$
DC Current	$h_{FE}$	$I_C = 10 \mu\text{A}, V_{CE} = 5\text{V}$	-		-
		B Group	40		
		C Group	100		
		BC107	110-450		
		BC108	110-800		
A Group	110-220				
B Group	200-450				
C Group	420-800				

Newark.com/multicomp-pro  
Farnell.com/multicomp-pro  
Element14.com/multicomp-pro

**multicomp** PRO

# NPN Silicon Planar Transistors

## BC107 / BC108 Series

**multicomp** PRO

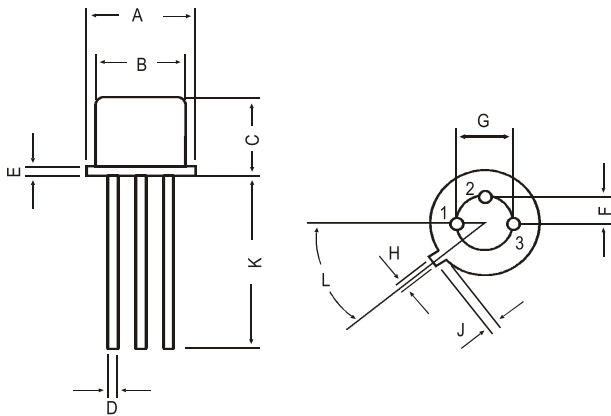
### Electrical Characteristics (TA=25°C unless specified otherwise)

Description	Symbol	Test Condition	Min.	Max.	Unit
Collector Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$ $I_C=100mA, I_B=5mA$		0.25 0.6	V
Base Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$ $I_C=100mA, I_B=5mA$		0.83 1.05	V
Base Emitter on Voltage	$V_{BE(on)}$	$I_C=2mA, V_{CE}=5V$ $I_C=10mA, V_{CE}=5V$	0.55	0.7 0.77	V
Collector Knee Voltage	$V_{CE(K)}$	$I_C=10mA, I_B=$ the value for which $I_C=11mA @ V_{CE}=1V$		0.6	V
Transition Frequency	$f_T$	$I_C=10mA, V_{CE}=5V, f=100MHz$	150		MHz
Output Capacitance	$C_{obo}$	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$		4.5	pF
Noise Figure	NF	$I_C=0.2mA, V_{CE}=5V, R_g=2k\Omega$		10	dB

### Small Signal Characteristics

Description	Symbol	Test Condition	Min.	Max.	Unit
Small Signal Current Gain	$h_{fe}$	$I_C=2mA, V_{CE}=5V, f=1kHz$			
		BC107	125	500	
		BC108	125	900	
		A Group	125	260	
Input Impedance	$h_{ie}$	$I_C=2mA, V_{CE}=5V, f=1kHz$			
		A Group	1.6	4.5	k $\Omega$
		B Group	3.2	8.5	
Output Admittance	$h_{oe}$	$I_C=2mA, V_{CE}=5V, f=1kHz$			
		A Group		30	$\mu\Omega$
		B Group		60	
		C Group		110	

### TO-18 Metal Can Package



Dim.	Min.	Max.
A	5.24	5.84
B	4.52	4.97
C	4.31	5.33
D	0.4	0.53
E	-	0.76
F	-	1.27

Dim.	Min.	Max.
G	-	2.97
H	0.91	1.17
J	0.71	1.21
K	12.7	-
L	45°	

Dimensions : Millimetres

Newark.com/multicomp-pro  
Farnell.com/multicomp-pro  
Element14.com/multicomp-pro

**multicomp** PRO

# NPN Silicon Planar Transistors

## BC107 / BC108 Series

**multicomp** PRO

### Part Number Table

Description	Part Number
NPN Silicon Planar Transistors, NPN, 45V, 150MHz, 600mW, 100mA, 110h <sub>FE</sub>	BC107
NPN Silicon Planar Transistors, NPN, 45V, 150MHz, 600mW, 100mA, 110h <sub>FE</sub>	BC107A
NPN Silicon Planar Transistors, NPN, 45V, 150MHz, 600mW, 100mA, 200h <sub>FE</sub>	BC107B
NPN Silicon Planar Transistors, NPN, 25V, 150MHz, 600mW, 200mA, 110h <sub>FE</sub>	BC108
NPN Silicon Planar Transistors, NPN, 25V, 150MHz, 600mW, 200mA, 200h <sub>FE</sub>	BC108B
NPN Silicon Planar Transistors, NPN, 25V, 150MHz, 600mW, 200mA, 420h <sub>FE</sub>	BC108C

**Important Notice :** This data sheet and its contents (the "Information") belong to the members of the AVNET group of companies (the "Group") or are licensed to it. No licence is granted for the use of it other than for information purposes in connection with the products to which it relates. No licence of any intellectual property rights is granted. The Information is subject to change without notice and replaces all data sheets previously supplied. The Information supplied is believed to be accurate but the Group assumes no responsibility for its accuracy or completeness, any error in or omission from it or for any use made of it. Users of this data sheet should check for themselves the Information and the suitability of the products for their purpose and not make any assumptions based on information included or omitted. Liability for loss or damage resulting from any reliance on the Information or use of it (including liability resulting from negligence or where the Group was aware of the possibility of such loss or damage arising) is excluded. This will not operate to limit or restrict the Group's liability for death or personal injury resulting from its negligence. Multicomp Pro is the registered trademark of Premier Farnell Limited 2019.

Newark.com/multicomp-pro  
Farnell.com/multicomp-pro  
Element14.com/multicomp-pro

**multicomp** PRO

# Buzzer Activo

(Versión 2-10-18)



Este componente contiene un Zumbador o Buzzer Activo, el cual posee su propia frecuencia de oscilación que permite generar un tono o pitido cuando es alimentado (5v), el buzzer se activa emitiendo un pitido constante, y cuando está en bajo 0 v (sin alimentar), no genera sonido alguno. *(La diferencia con un buzzer pasivo es que al pasivo le tenemos que colocar la señal con la frecuencia sonora deseada, es básicamente un pequeño parlante pero de impedancia alta).*

**Respete la polaridad si desea que emita sonido. El positivo (+) viene indicado en la estampilla o en sobre relieve.**

**No necesita resistencia limitadora porque presenta una impedancia alta en general, o sea podemos conectarlo directamente a Arduino.**

Es ampliamente utilizado en ordenadores, Impresoras, Fotocopiadoras, Alarma, Juguetes electrónicos, Electrónica automotriz, Teléfonos, Temporizador y otros productos electrónicos. Muy útil para alertar sonoramente acciones o alarmas en sus circuitos.

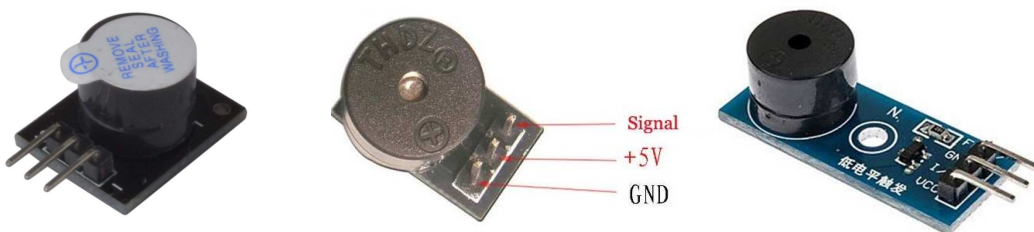
## **NOTA:**

En ocasiones nos encontramos este dispositivo en modulo Keyes, el cual resulta útil a la hora de las conexiones.

Este módulo permitirá generar de forma fácil, rápida y precisa sonidos, posee un sensor vibrador que oscila a una frecuencia determinada , este módulo es compatible con Arduino o con cualquier Microcontrolador que posea un pin de 5 Volts.

Este módulo contiene un Zumbador o Buzzer Activo, el cual posee su propia frecuencia de oscilación que permite generar un tono o pitido cuando es alimentado (cuando el pin de señal S se pone en alto), el buzzer se activa emitiendo un pitido constante, y cuando está en bajo, no genera sonido alguno.

Sin embargo algunos módulos vienen marcados de forma errónea y traen marcados los pines de "S" salida y el "-" o GND invertidos recuerda guíate por la imagen que dejamos arriba en la descripción y siempre te funcionara correctamente.

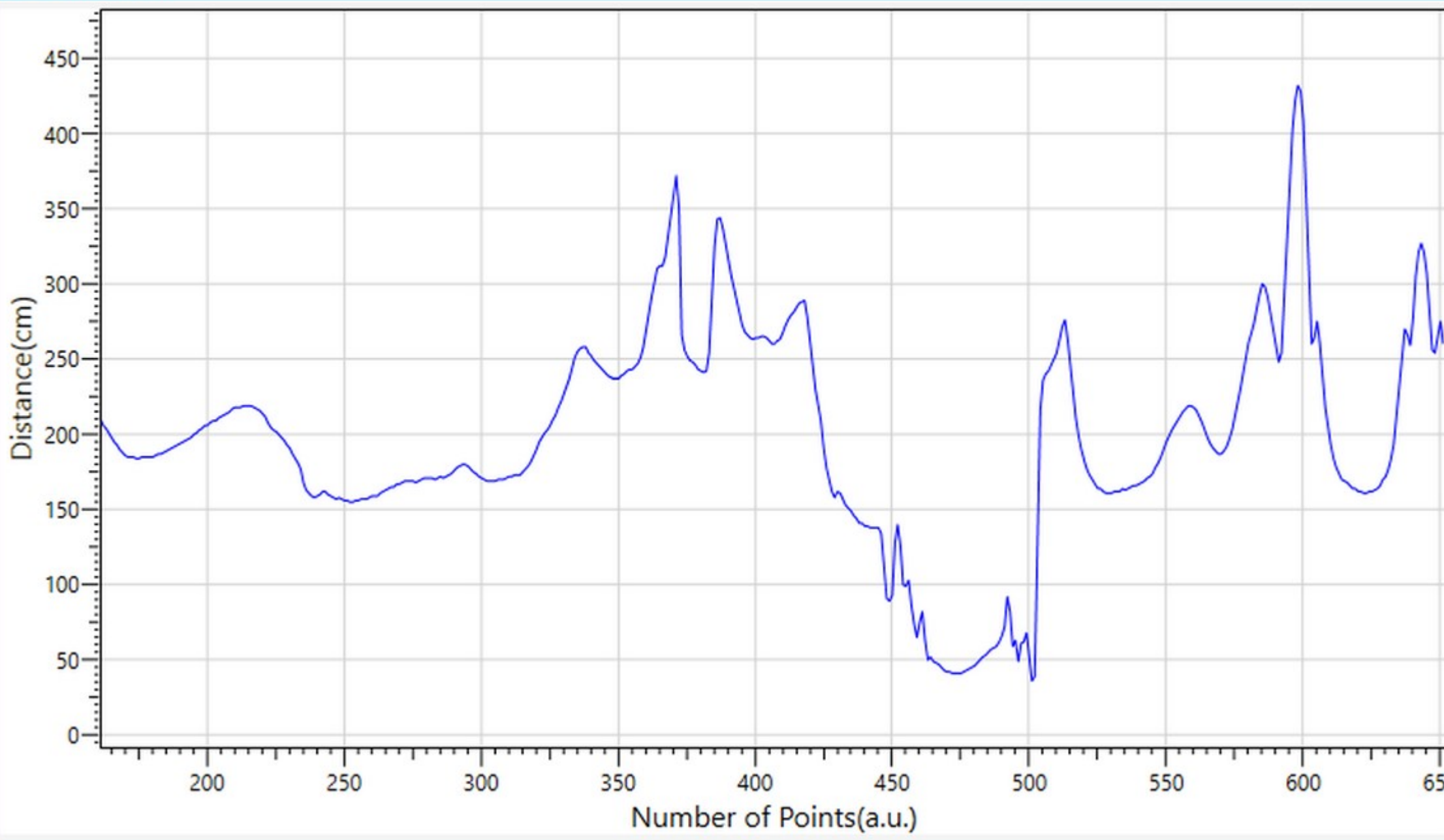


## **Características Técnicas:**

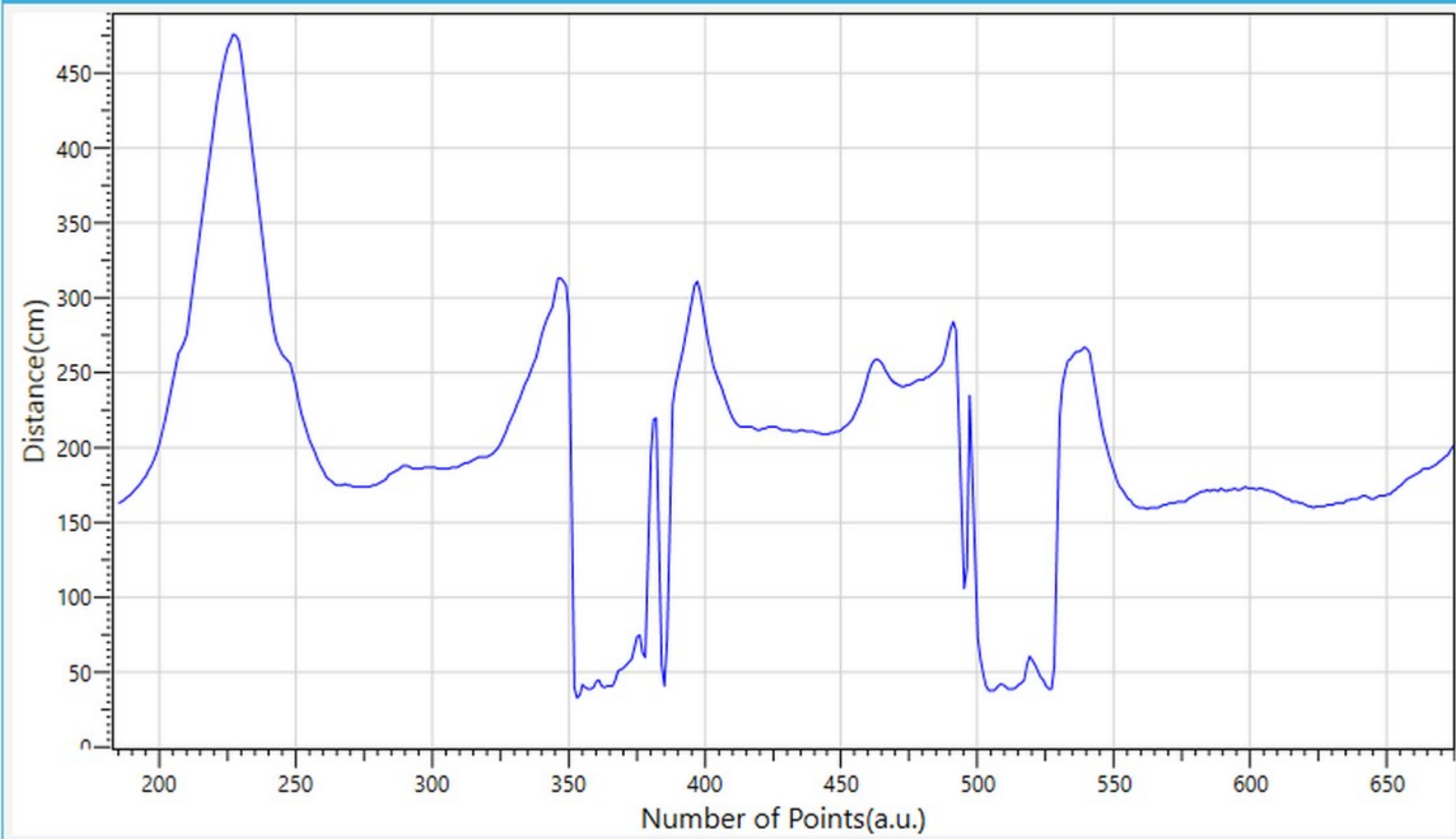
- Voltaje de funcionamiento: 3.3V ~ 5V
- Corriente de operación: <25mA
- Salida de sonido min a 10 cm: 85 dB
- Frecuencia emitida: 2300 ± 500 Hz
- Material: PCB
- Temperatura de funcionamiento: -27 a 70°C
- Temperatura de almacenamiento: -30 a 105°C
- Dimensiones: 1.9x1.5x1.2cm
- Peso: 3g

**ANEXO VI:  
GRÁFICAS DE CALIBRACIÓN**

TIME LINE CHART



# TIME LINE CHART



TIME LINE CHART

