



Universidad  
de La Laguna

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA,  
SECCIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**“Diseño de una tabla de surf eléctrica con activación del movimiento  
mediante sensores de presión”**

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

**Autor:** Ismael Arias Díaz

**Tutor:** Jonay Tomás Toledo Carrillo

**Curso:** 2015/2016



## ÍNDICE GENERAL

|   |    |
|---|----|
| 1. Introducción.....  | 8  |
| 1.1. Objetivos.....   | 8  |
| 1.1.1. Resumen.....   | 8  |
| 1.1.2. Abstract.....  | 9  |
| 1.2. Surf y Actividades acuáticas.....                        | 9  |
| 1.2.1. Surf tradicional.....                                  | 9  |
| 1.2.2. Actividades acuáticas a motor.....                     | 11 |
| 2. Diseño y Modelado de la tabla.....                         | 14 |
| 2.1. Anatomía y tipos de tablas.....                          | 14 |
| 2.2. Características de nuestra tabla.....                    | 19 |
| 2.2.1. Principales Características.....                       | 19 |
| 2.2.2. Conclusiones.....                                      | 21 |
| 2.2.3. Modelado por ordenador.....                            | 22 |
| 3. Materia Prima para la fabricación de la tabla.....         | 24 |
| 3.1. Materias primas usadas generalmente.....                 | 24 |
| 3.1.1. Foam.....  | 25 |
| 3.1.2. Fibra de Vidrio.....                                   | 26 |
| 3.1.3. Resina.....  | 26 |
| 3.1.4. Catalizador.....                                       | 26 |
| 3.2. Materias primas a utilizar.....                          | 27 |
| 4. Sistema de Propulsión.....                                 | 31 |
| 4.1. Sistema de propulsión por chorro de agua “Waterjet”..... | 32 |

|   |    |
|---|----|
| 4.1.1. Elementos del sistema waterjet.....                  | 32 |
| 4.1.2. Formulación hidrodinámica del sistema waterjet.....  | 36 |
| 4.2. Aplicación del sistema “WaterJet” a nuestra tabla..... | 41 |
| 4.2.1. Waterjets comerciales.....                           | 41 |
| 4.2.2. Requisitos.....                                      | 44 |
| 4.2.3. Conclusión.....                                      | 48 |
| 5. Sistema Electrónico.....                                 | 49 |
| 5.1. Introducción.....                                      | 49 |
| 5.2. Descripción del sistema.....                           | 49 |
| 5.2.1. Sensores de presión y fuerza.....                    | 50 |
| 5.2.1.1. Obtención de los valores.....                      | 52 |
| 5.2.2. Controlador.....                                     | 54 |
| 5.2.3. Circuito de control de motores.....                  | 59 |
| 5.2.4. Resultado final.....                                 | 61 |
| 6. Protección contra la penetración de agua.....            | 63 |
| 6.1. Protección del sistema de propulsión.....              | 63 |
| 6.2. Protección circuitos electrónicos y alimentación.....  | 65 |
| 7. Ubicación de los componentes y diseño final.....         | 67 |
| 7.1. Ubicación de los componentes.....                      | 67 |
| 7.1.1. Ubicación del sistema de propulsión.....             | 67 |
| 7.1.2. Ubicación del circuito de control.....               | 67 |
| 7.1.3. Ubicación de los sensores.....                       | 68 |
| 7.1.4. Ubicación de la caja de baterías.....                | 69 |
| 7.1.5. Ubicación de la botonera.....                        | 69 |
| 7.1.6. Conclusión.....                                      | 70 |

|   |    |
|---|----|
| 7.2. Diseño final de la tabla.....              | 70 |
| 8. Conclusión del Trabajo Realizado.....        | 72 |
| 8.1. Conclusión .....                           | 72 |
| 8.2. Conclusion (Inglés).....                   | 73 |
| 9. Referencias Bibliográficas.....              | 74 |
| 10. Anexos.....                                 | 76 |
| - Anexo 1. Componentes de la tabla.             |    |
| • Anexo 1.1. Tabla sin componentes              |    |
| ○ Planos  |    |
| ○ Modelo 3D                                     |    |
| • Anexo 1.2. Sistema de propulsión              |    |
| ○ Planos  |    |
| ○ Modelos 3D                                    |    |
| • Anexo 1.3. Sistema contra penetración de agua |    |
| ○ Planos  |    |
| ○ Modelos 3D                                    |    |
| • Anexo 1.4. Botonera                           |    |
| ○ Planos  |    |
| ○ Modelo 3D                                     |    |
| - Anexo 2. Tabla finalizada.                    |    |
| • Planos  |    |
| • Modelo 3D                                     |    |
| - Anexo 3. Esquemático sistema electrónico      |    |
| - Anexo 4. Datasheet FSR                        |    |

## ÍNDICE FIGURAS

### 1. Introducción

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Representación Primeros surfistas ..... | 10 |
| Figura 2. Moto Acuática.....                      | 11 |
| Figura 3. Flyboard.....                           | 12 |
| Figura 4. Aqua Hoverboard.....                    | 13 |

### 2. Diseño y modelado de la tabla

|  |    |
|--|----|
| Figura 5. Longitud tablas de surf.....   | 14 |
| Figura 6. Ancho tablas de surf.....      | 15 |
| Figura 7. Grosor tablas de surf.....     | 15 |
| Figura 8. Rocker.....                    | 16 |
| Figura 9. Tipos de cantos.....           | 16 |
| Figura 10. Tipos de cola o Tail.....     | 17 |
| Figura 11. Fondo tabla de surf.....      | 17 |
| Figura 12. Tipos de tablas.....          | 18 |
| Figura 13. Diseño final de la tabla..... | 22 |
| Figura 14. Programa Shape 3Dx.....       | 23 |
| Figura 15. Modelo 3D de la tabla.....    | 24 |

### 3. Materias primas para la fabricación de la tabla

|   |    |
|---|----|
| Figura 16. Bloques de FOAM EPS.....     | 25 |
| Figura 17. Bloques moldeados de PU..... | 25 |
| Figura 18. Núcleos reciclables.....     | 27 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 19. Proceso de fabricación del foam EPS.....                 | 28 |
| Figura 20. Resina Super SAP de Entropy Resins.....                  | 29 |
| Figura 21. Capa de fibra de vidrio.....                             | 30 |
| Figura 22. Disposición de los materiales.....                       | 30 |
| 4. Sistema de propulsión  |    |
| Figura 23. Partes del sistema de propulsión por chorro de agua..... | 32 |
| Figura 24. Conducto y toma tipo flush.....                          | 33 |
| Figura 25. Conducto y toma tipo ram.....                            | 33 |
| Figura 26. Tipos de bombas de aspiración.....                       | 34 |
| Figura 27. Tipos de tobera Paralelopíeda.....                       | 34 |
| Figura 28. Tipos de tobera Pelton.....                              | 34 |
| Figura 29. Eficiencia de la tobera en función de su geometría.....  | 35 |
| Figura 30. WaterJet modelo Jet52.....                               | 48 |
| 5. Sistema Electrónico  |    |
| Figura 31. Esquema sistema electrónico.....                         | 50 |
| Figura 32. FSR utilizados.....                                      | 50 |
| Figura 33. Capas del FSR.....                                       | 51 |
| Figura 34. Tabla de características generales FSR.....              | 52 |
| Figura 35. Representación fuerza vs resistencia.....                | 53 |
| Figura 36. Situación de los sensores.....                           | 55 |
| Figura 37. Giro en función del modo.....                            | 56 |
| Figura 38. Circuito control motores.....                            | 60 |
| Figura 39. Desarrollo del código con electrónica.....               | 61 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 40. Elaboración de la placa.....  | 62 |
| Figura 41. Ejemplo con los leds.....   | 62 |
| Figura 42. Lado izquierdo del montaje.....   | 63 |
| 6. Protección contra la penetración de agua  |    |
| Figura 43. Caja protectora contra penetración de agua en el sistema de propulsión..... | 64 |
| Figura 44. Junta de unión con el cableado.....   | 64 |
| Figura 45. Caja protectora circuito de control.....                                    | 65 |
| Figura 46. Protección sensores.....  | 66 |
| Figura 47. Protección baterías.....  | 66 |
| 7. Ubicación de los componentes  |    |
| Figura 48. Ubicación del sistema de propulsión.....                                    | 67 |
| Figura 49. Ubicación circuito de control.....  | 68 |
| Figura 50. Ubicación de los sensores.....  | 68 |
| Figura 51. Ubicación caja de baterías.....   | 69 |
| Figura 52. Ubicación botonera.....   | 69 |
| Figura 53. Ubicación final de todos los componentes.....                               | 70 |
| Figura 54. Componentes antideslizantes.....  | 71 |
| Figura 55. Modelo tabla de surf eléctrica.....   | 71 |



# 1. Introducción

## 1.1. Objetivos

El principal objetivo de este trabajo consiste en aportar cada una de las partes implicadas en el proceso de diseño de una tabla de surf eléctrica con elementos innovadores. Con el objetivo de ampliar líneas de investigación en el sector del entretenimiento acuático.

El diseño de la tabla tendrá las características adecuadas para ofrecer al usuario las mejores condiciones, tales como la flotabilidad, estabilidad y velocidad.

Por otra parte, un requisito muy importante que se llevará a cabo en las siguientes líneas, es la fabricación de una tabla cuya materias primas sean reciclables y no perjudiciales para el medio ambiente.

### 1.1.1. Resumen

En este Trabajo de Fin de Grado se realiza el diseño de una tabla de surf eléctrica cuyo movimiento y velocidad varía en función de la activación de unos sensores de presión colocados bajo las fijaciones de la tabla.

En el desarrollo de este trabajo, se utiliza la herramienta *Shape 3D X* para el diseño de la estructura de la tabla. Por otra parte, se emplea el uso del programa *Autodesk Inventor* para el modelado de las diferentes piezas y partes implicadas en la tabla. Finalmente, para la elaboración de presentaciones se utilizó la herramienta *Blender*.

Para el desarrollo de la parte electrónica del proyecto, se ha empleado un microcontrolador Arduino UNO, el cual recibe la información aportada por los diferentes sensores de presión y activará los motores que activan el sistema de propulsión de la tabla.

En este documento se incluye por tanto, el proceso detallado para el diseño de una tabla de surf eléctrica, añadiendo cada uno de los puntos mencionados.

### **1.1.2. Abstract**

In this Final Degree Project it is designed an electric surfboard whose movement and speed vary depending on the activation of pressure sensors placed under the bindings of the surfboard.

In the development of this work, it is used the tool *Shape 3D X* for the surfboard's structure designing. Besides, it is used the program *Autodesk Inventor* for the modelling of the different pieces and parts involved in the surfboard. Finally, for the elaboration of presentations it is used the tool *Blender*.

For the development of the electronic part of the project, it is use dan Arduino UNO microcontroller, which receives the information provided by the different pressure sensors and will turn on the motors that activate the propulsion system of the surfboard.

Therefore, this document includes the detailed design process of an electric surfboard, adding each and every point mentioned before.

## **1.2. Surf y Actividades Acuáticas**

### **1.2.1. Surf tradicional**

El surf tradicional o simplemente surf, es una actividad o deporte que consiste en deslizarse por el mar manteniéndose de pie sobre una tabla empujada por las olas.

En la actualidad son pocas las personas que no conocen este deporte, ya sea por que un familiar o amigo lo practica o por que lo ha visto en medios de comunicación, pero prácticamente todos conocemos este deporte.

Esto no ha sido siempre así, desde sus inicios y a lo largo de la historia, esta tradición convertida en deporte ha tenido que superar bastantes dificultades.

Los primeros escritos sobre el surf datan del año 1778 cuando una expedición británica al mando del Capitán James Cook, se encontró con las Islas Hawái (Nombre por el que se conoce

al Archipiélago en la actualidad y atribuido por el descubridor de las Islas, el navegante polinesio Hawai'iloa). Tras la muerte de James Cook a mano de los indígenas, James King se queda al mando de la expedición, escribiendo en el diario de abordo las experiencias vividas en las Islas. Entre ellas, escribió sobre las tradiciones y entretenimientos de los isleños, hablando sobre uno de sus entretenimientos el cual consistía en “sortear las olas subidos en una plancha”, siendo este el deporte que actualmente conocemos como surf.



*Figura 1: Representación primeros surfistas.*

El surf era muy importante para la cultura Hawaiana, pero no es aquí de donde surge este deporte. Se piensa que se originó en la Polinesia, lugar donde se practicaba este deporte, pero con algunas variantes, como por ejemplo que no se ponían de pie, solo cogían las olas tumbados o de rodillas. Fueron los emigrantes los que lo llevaron a Hawai y fueron modificándolo y adaptándolo a su cultura.

Desde entonces, el surf ha ido creciendo poco a poco y superando diferentes barreras y dificultades, tal y como he comentado en párrafos anteriores. Entre las peores etapas por las que ha pasado este deporte, se destaca la desaparición de la cultura Hawaiana tras la llegada de los Europeos en 1778, y en 1820, tras la llegada de los misionarios calvinistas. Situaciones que se vieron forzadas a cambiar tras la llegada en 1840 de periodistas y escritores, los cuales denunciaron al mundo lo que había ocurrido en el archipiélago. Finalmente, en 1898, un grupo de empresarios junto a los marines americanos lograron abolir a la monarquía hawaiana, convirtiéndose estas en territorio de Estados Unidos y resurgiendo la cultura de las Islas.

Tras convertirse el Archipiélago en territorio Norte Americano y superando la Segunda Guerra Mundial, el surf ha ido creciendo de manera considerable a lo largo del tiempo, colocándose en la actualidad entre los deportes acuáticos más practicados a nivel internacional.

### 1.2.2. Actividades acuáticas a motor

A lo largo de las últimas décadas, las actividades acuáticas a motor han avanzado a pasos agigantados, dando lugar a una infinidad de productos innovadores, los cuales ofrecen a los usuarios las mejores experiencias.

A continuación, se realiza un análisis de los productos con mayor éxito dentro del sector de las actividades acuáticas a motor.

*Jet Ski o Moto Acuática* se encuentra entre los productos acuáticos para el ocio más utilizados. Consiste en una embarcación de tipo ligera cuyo sistema de funcionamiento es similar al de un ciclomotor o motocicleta convencional, de ahí su nombre. El sistema de propulsión está basado en el denominado empuje por chorro de agua o “Waterjet”. Puede alcanzar altas velocidades y su manejo no es difícil, es por esto que lo convierte en un producto muy atractivo para el público que busca diversión y velocidad.



Figura 2: Moto acuática. Fuente [www.fondear.com](http://www.fondear.com)

Las principales marcas que fabrican este tipo de embarcación, podemos destacar a la conocida Yamaha, pero además empresas como Kawasaki, Honda y Polaris. Empresas conocidas sobre todo por la calidad de sus ciclomotores.

Otra de las actividades que en la actualidad están destacando por su innovación y por las oportunidades de diversión que ofrece, es el *Flyboard*. Esta actividad se realiza mediante una pequeña tabla colocada en los pies y la cual tiene dos potentes chorros de agua cuya presión es variada por un operario, y permite “volar” por el aire o sumergirse, simulando los saltos de un delfín.

El funcionamiento del Flyboard es muy sencillo. Una moto de agua absorbe el agua mediante sus sistema de propulsión y esa es elevada por una manguera hasta las dos salidas que se encuentran en la tabla. Este mecanismo permite un gran empuje hacia donde dirija el chorro mediante la articulación de las piernas.



Figura 3: Persona disfrutando de una Flyboard. Fuente: [www.nexustours.com](http://www.nexustours.com)

Otra alternativa que existe para divertirse en el agua son las *Aqua Hoverboards*, consiste en una tabla que a diferencia de las Flyboards mencionadas, la propulsión se encuentra en la parte trasera de la misma, lo que permite una mayor posibilidad de aceleración (hasta 40 km/h) y una elevación de hasta cinco metros.

Su funcionamiento es el mismo que el de la otra tabla mencionada. En la superficie del agua se encuentra una moto que mediante una manguera le proporciona el agua a una presión necesaria para conseguir esas velocidades y alturas.



*Figura 4: Aqua Hoverboard. Fuente: estacionautica.com*

Otras actividades más conocidas son las actividades que necesitan de una embarcación no ligera para su desarrollo. Tales como el Ski acuático, la famosa “Banana” o el Donut. No se exponen en este documento puesto que no entran dentro del tipo de actividad similar al trabajo que se está realizando.

## 2. Diseño y Modelado de la tabla

### 2.1. Anatomía y Tipos de tablas

A lo largo de la historia, las formas de las tablas de surf no han sido muy modificadas, es decir, si observamos una tabla antigua, veremos que guarda mucha similitud en cuanto a forma con las tablas utilizadas en la actualidad.

Por otra parte, los aspectos que si han ido modificándose a lo largo de los años son los materiales con los que estas se fabrican. Por comodidad, flotabilidad y otros aspectos relevantes dentro de la práctica de este deporte, se han dejado atrás aquellas tablas de madera para dar paso a nuevos materiales como el poliestireno, resinas epoxy, entre otros materiales.

A la hora de elegir una tabla debemos conocer su anatomía, cada una de sus partes y las características que el conjunto de estas le ofrece. A continuación se detallará cada una de ellas.

En primer lugar, una de las características más importantes a la hora de seleccionar una tabla es la longitud (Figura 5). Cuanto mayor sea la tabla más estabilidad y flotabilidad ofrecerá puesto que tiene un mayor contacto con la superficie, en cambio cuanto menor sea esta medida, mayor facilidad tendremos de girar y realizar maniobras más complicadas.

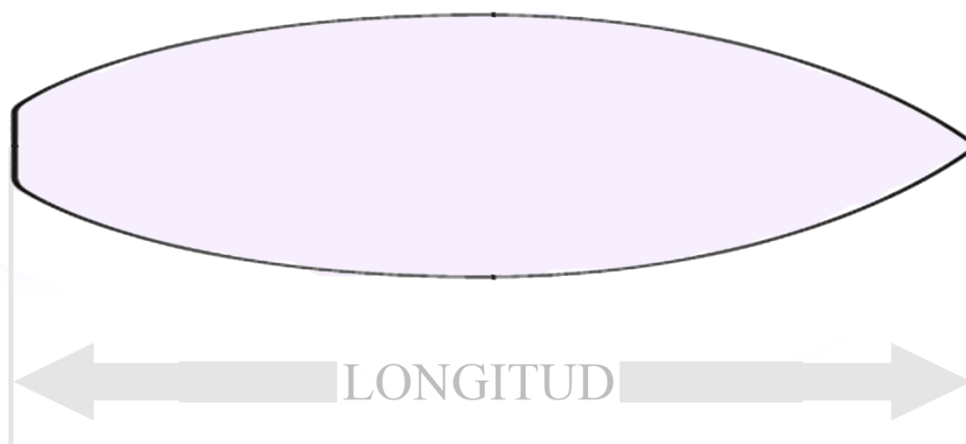


Figura 5: Longitud tablas de surf

Otra de las características principales es el ancho (Figura 6). Esta representa la medida de un lado al otro de la parte más ancha de la tabla. Cuanto más ancha sea la tabla mayor estabilidad se tendrá pero esto ofrecerá una mayor dificultad de maniobra.

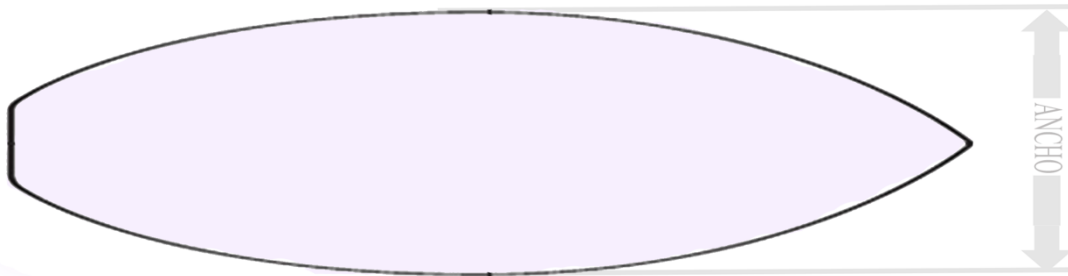


Figura 6: Ancho de las tablas de surf

Un aspecto muy importante a la hora del diseño de este proyecto es el grosor (Figura 7). Esta característica aportará a la tabla mayor o menor flotabilidad. Al igual que las otras características, no todo es bueno, esto significa que a mayor grosor menor maniobrabilidad lo que hará que cuando más experiencia se tenga, menor deberá ser la tabla.

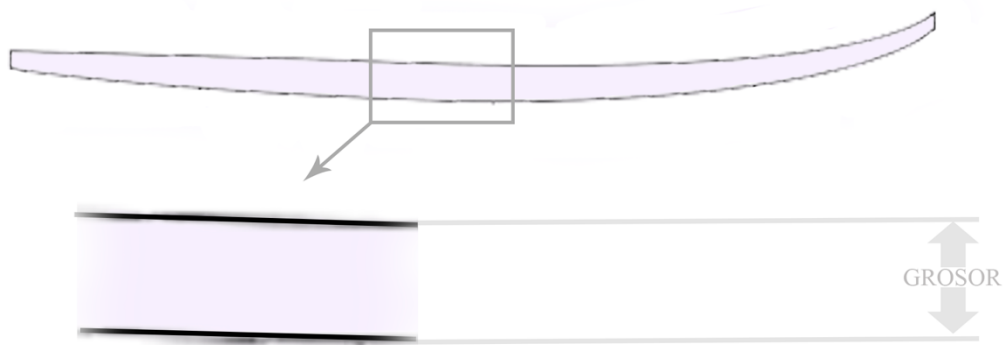


Figura 7: Grosor tablas de surf

Otra característica que tal vez no se conozca tanto como las otras es el Rocker (Figura 8). El Rocker es la curvatura que presenta la tabla desde la cola hasta la punta. Por lo general, esta es mayor en la punta que en la cola. Cuanto mayor sea el rocker mayor facilidad se tendrá para



girar, pero será más lenta puesto que esta ofrecerá mayor resistencia al avance. Si se pretende surfear olas potentes y bacheadas es aconsejable un mayor rocker, si no es así, es mejor adaptarlo a las medidas generales o una tabla plana.

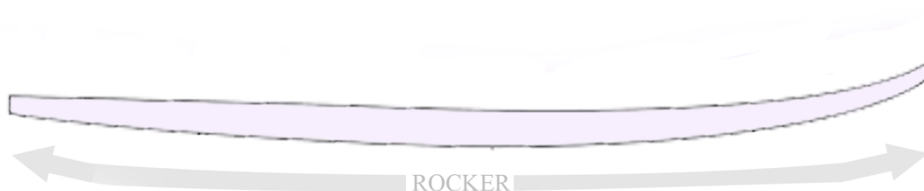


Figura 8: Rocker

Las partes de la tabla que más se encuentran en contacto con las olas son los cantos. Existen diferentes tipos de cantos en función de la forma, la dureza y la altura (Figura 9). En función de estas características le aportarán a la tabla un mayor o menor agarre a las olas. En cuanto a velocidad, las tablas con cantos bajos y duros son más rápidos puesto que proporcionan una superficie más plana para fluir sobre el agua. En cuanto a maniobrabilidad, los cantos cónicos más finos penetrarán mejor en la cara de la ola.



Figura 9: Tipos de Cantos

Otra de las características importantes es la cola o también denominada en inglés Tail. Es la parte inferior de la tabla y puede disponer muchas formas (Figura 10). En función de la maniobrabilidad, el agarre y el tamaño, podemos encontrar los siguientes tipos de colas.

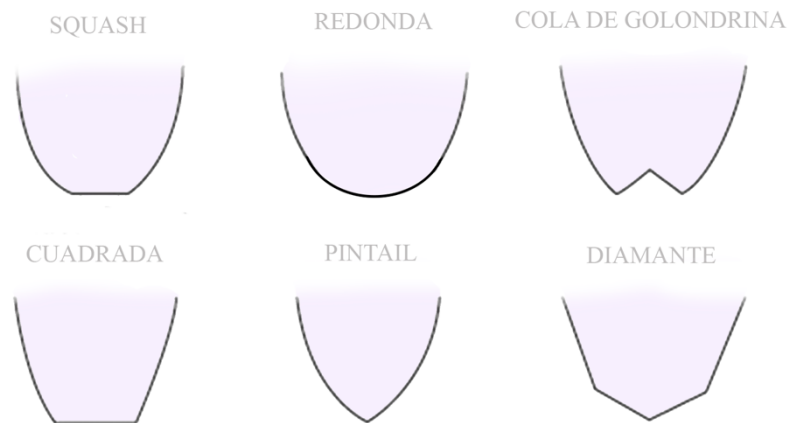


Figura 10: Tipos de Cola o Tail

Cada tipo tiene una característica diferente. En primer lugar la cola Squash, muy similar a la cola cuadrada pero algo más redondeada, consigue obtener una mayor estabilidad en la cola. En segundo lugar la cola Redonda, ofrece un buen agarre a olas medianas y grandes. A continuación, las tablas con cola de Golondrina ofrecen buena maniobrabilidad y agarre con olas pequeñas. Por otra parte, las colas Pintail o de Pico, son de uso exclusivo para olas grandes, ofreciendo buen agarre pero poca maniobrabilidad. Las tablas cuadradas suelen utilizarse con olas pequeñas puesto que restan estabilidad y finalmente las de tipo diamante, ofrecen suavidad y agarre pero no son muy aconsejables, es por eso que estas no han tenido mucho éxito.

Finalmente, analizando las características de debajo de la tabla, encontramos el Fondo y las llamadas Quillas. El fondo (Figura 11) suele tener generalmente canales o tener una pequeña concavidad, con esto se obtiene un mejor agarre a la pared de la ola y a la superficie del agua. Por otra parte las quillas son las pequeñas aletas que podemos ver en todo tipo de tablas de surf. Con ellas se consigue que la tabla se agarre a la ola y no se deslice.

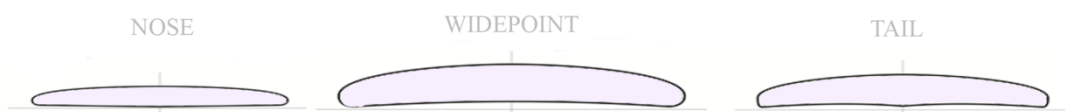


Figura 11: Fondo tabla de surf (Formas en diferentes partes de la tabla)

Una vez conocemos cada una de las partes de las tablas de surf y lo que estas implican, a la hora de adquirir o realizar un estudio para la elaboración de un proyecto, es necesario saber el tipo de tabla que necesitamos. Cada tabla (Figura 12) ofrece unas posibilidades y llevan un uso diferente, constituidas por las partes mencionadas en los párrafos anteriores.

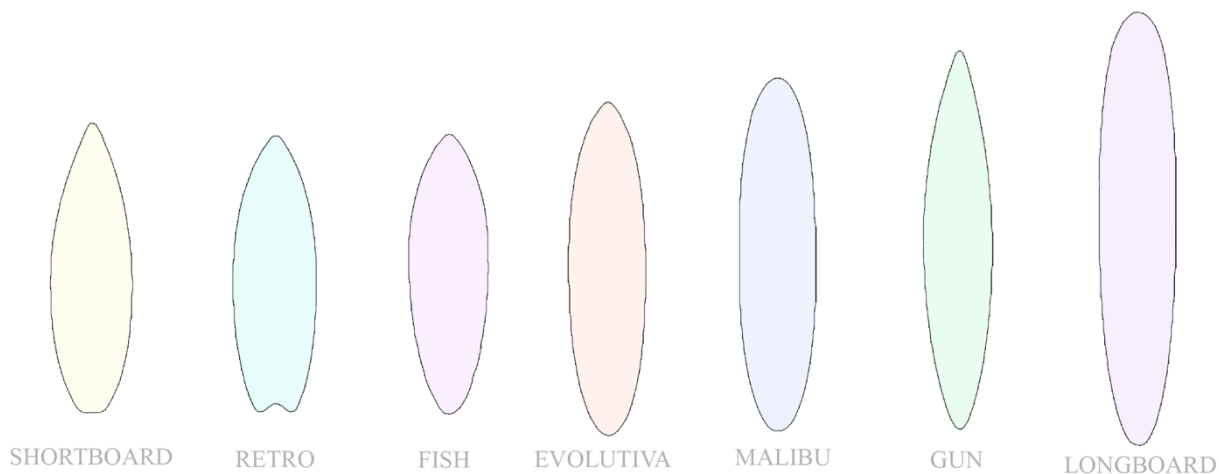


Figura 12: Tipos de Tablas

**Tablas *Shortboard*.** Este tipo de tablas se caracteriza por ser el más usado y con un diseño muy moderno. Las principales características de este tipo de tablas de surf son que ofrecen buen equilibrio y maniobrabilidad, además de ser versátiles. Sirven para cualquier tipo de olas, pero son muy técnicas, por lo que requieren de mayor experiencia.

Por otra parte encontramos las tablas *Fish*. Estas se caracterizan por ser diseñadas para pequeñas olas o cuando no hay mucho oleaje. Son tablas más anchas que las demás, característica que le ofrece mayor facilidad para planear, además de ser tablas muy maniobrables debido a que son más cortas y tienen cola de golondrina. Este tipo de tablas no son adecuadas para olas grandes.

Otro tipo de tablas son las denominadas *Retro*. Estas tablas son muy similares a las explicadas en el párrafo anterior (tablas *Fish*). Están inspiradas en los diseños de los años 70, de ahí su nombre. Son tablas gruesas y con mucha superficie de alante, poca curva y bastante cortas, se pueden encontrar con cola de golondrina o pon y con bastantes quillas. Es necesario un nivel avanzado para disfrutar completamente.

En cuarto lugar, las tablas llamadas *Evolutiva*, son las mejores tablas si nuestro fin es iniciarnos en la práctica de este deporte. Son tablas grandes y gruesas, con la punta ligeramente redondeada, lo que le aporta una mayor flotabilidad y estabilidad, además de una ligera maniobrabilidad.

Las tablas Malibú ofrecen una buena flotabilidad y estabilidad con remada fácil. Estas son tablas grandes con punta redonda. Al igual que las tablas *Evolutiva*, son una buena opción para iniciarse en este deporte en zonas donde hay un menor oleaje.

Finalmente podemos encontrar dos tipos de tablas más, en primer lugar las tablas *Gun*, se caracterizan por tener punta y cola afiladas, son muy eficaces en olas grandes. Por otra parte las tablas tipo *Longboard*, caracterizadas por ser grandes y tener una punta redondeada. Son ideales para olas pequeñas o medianas. Se usan para un tipo de surf con maniobras características y especiales.

## **2.2. Características de nuestra tabla**

### **2.2.1. Principales Características**

Para el diseño de una tabla de surf en primer lugar se debe conocer cuales son nuestros fines u objetivos. Como se ha mencionado al inicio de este documento, nuestro objetivo es diseñar una tabla de surf que tenga autopropulsión, es decir, cuyo movimiento no sea producido por olas sino por motores incorporados en el cuerpo de la misma.

Es por esto que la tabla debe cumplir las siguientes características:

- Debe ser muy estable.
- La flotabilidad es muy importante.
- Se diseñará para pequeñas olas o mar de plato.
- Debe tener buen agarre a la superficie del agua.
- Se debe conseguir una buena maniobrabilidad.
- Se debe ofrecer la menor resistencia al avance.

Por otra parte, a la hora de seleccionar las características de una tabla, se deben tener en cuenta tres aspectos importantes, que son la altura, el peso y la experiencia del usuario. Puesto que el usuario final de nuestras tablas puede ser cualquier persona, atenderemos a las siguientes características estándar. En primer lugar será una persona de 1.80 m de altura, con un peso medio de 80 Kg y sin experiencia.

A continuación, teniendo estos requisitos en cuenta y analizando las diferentes características de las tablas de surf, podemos proceder a la selección del tipo de tabla.

El tipo de tabla que mas se adapta a nuestros requisitos es el tipo Evolutiva o tipo mini Longboard, puesto que ofrecen mucha maniobrabilidad y estabilidad cuando hay poco oleaje.

Una vez tenemos el tipo de tabla debemos tener en cuenta los aspectos anatómicos que mejorarían el cumplimiento de nuestros requisitos.

En primer lugar, la longitud de la tabla debe ser un factor muy importante a tener en cuenta, sabemos que una tabla con mayor longitud tendrá mayor estabilidad y flotabilidad pero menor maniobrabilidad. Por ello seleccionaremos una tabla lo mayor posible sin perder mucha maniobrabilidad.

Para las características medias de nuestro usuario se aconseja utilizar una tabla de 8 pies, lo que se traduce como 244 cm aproximadamente (exactamente 243,84 cm). Por lo tanto, obedeciendo a estos consejos, adaptaremos nuestra tabla a una longitud de 245 cm.

Otro punto a tener en cuenta es la anchura de la tabla. Al igual que en la longitud, a mayor anchura mayor estabilidad y flotabilidad, pero menor maniobrabilidad. La anchura recomendada para nuestro usuario medio y la que finalmente utilizaremos, es una anchura de 70 cm (Figura 13).

Por otra parte, el grosor de la tabla es un aspecto en el que no solo debemos tener en cuenta al usuario, en este caso debemos tener en cuenta el fin del diseño de esta tabla. Esto es que la tabla incluirá componentes tales como motores, circuitería electrónica, entre otros. Es por ello que

necesitamos una tabla lo suficientemente ancha para que quepan todos los componentes sin problema y además se tenga la máxima flotabilidad.

Por lo tanto concluimos con que el grosor adecuado para cumplir con estas necesidades es de 12 cm en su punto más grueso. En la Figura 13 se observará el grosor en cada parte de la tabla.

La curvatura de la tabla (rocker) será de tipo plano, con esto intentaremos disminuir todo lo que podamos la resistencia al avance. Además, los cantos de la tabla serán altos y duros en las partes con más contacto a la superficie, con esto se obtendrá mayor velocidad. En las partes con menos contacto, es decir, en las zonas cercanas a la punta, los cantos serán cónicos y finos, para que penetren más fácil en los posibles baches o pequeñas olas que se encuentre la tabla.

Por otra parte, la cola de la tabla será cuadrada. Con esto conseguiremos estabilidad con olas pequeñas y además, necesitamos una cola plana puesto que ahí se dispondrán de los propulsores, de los cuales se hablarán en los próximos apartados de este documento.

Finalmente el fondo de la tabla será totalmente plano para conseguir un mayor contacto con la superficie del agua y así obtener mayor velocidad y por otra parte no se hará uso de quillas puesto que, como ya se ha comentado, el fin de nuestra tabla no es coger grandes olas y no necesitamos el agarre que estas aportan.

### 2.2.2. Conclusiones

Una vez hemos seleccionado el tipo de tabla a utilizar y sus características, a continuación se muestran el resultado final de nuestra tabla sin el resto de componentes mecánicos y electrónicos.

| Tipo de tabla | Evolutiva / Mini Longboard      |
|---------------|---------------------------------|
| Longitud      | 245 cm (aprox. 8')              |
| Anchura       | 70 cm                           |
| Grosor        | 10 – 12 cm                      |
| Rocker        | Plano                           |
| Cantos        | 75% Alto Duro – 25% Cónico Fino |

|         |          |
|---------|----------|
| Cola    | Cuadrada |
| Fondo   | Plano    |
| Quillas | -        |

Con estos datos, el resultado final de nuestra tabla es el mostrado a continuación en la figura 13.

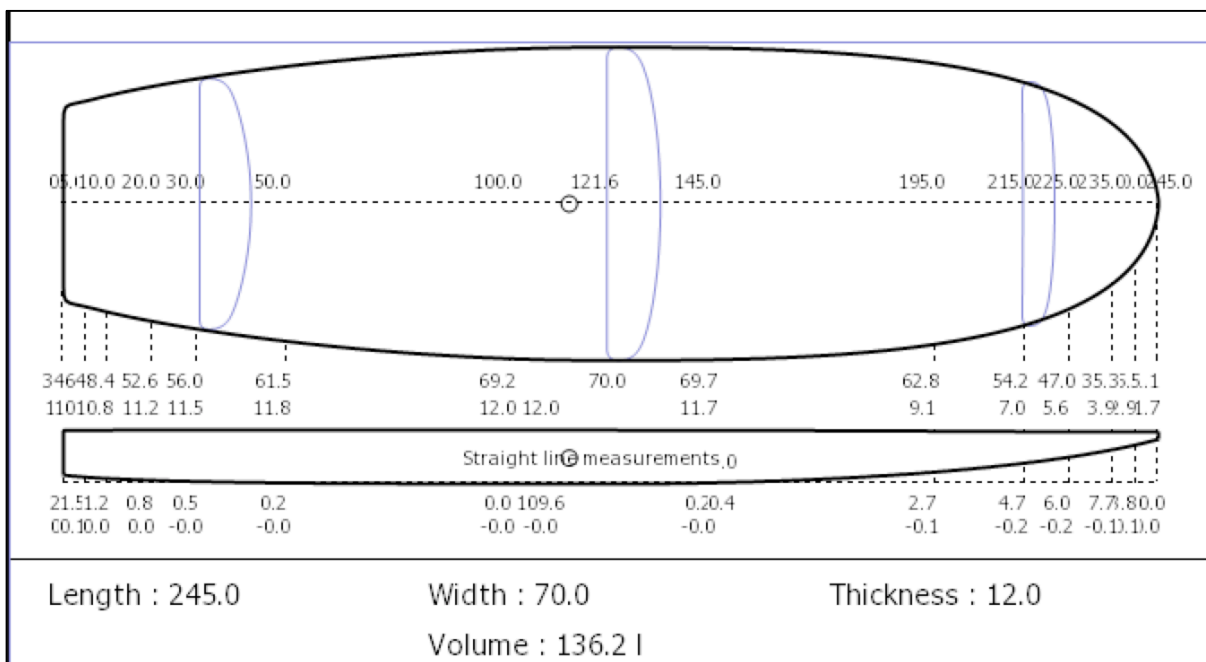


Figura 13: Diseño final de la tabla

### 2.2.3. Modelado por ordenador

Para el diseño y modelado de la tabla se ha utilizado una herramienta software de diseño de tabla de surf denominada Shape 3Dx (Figura 14).

Shape 3Dx, es una herramienta con múltiples posibilidades de diseño, desde el boceto en 2D (Figura 13) desde cero, hasta un resultado completo en 3D. Entre otras ventajas, el equipo de Shape 3D trabaja con múltiples máquinas CNC, por lo que podemos mandar nuestro diseño directamente a fabricación.

Por otra parte, su manejo no se complica excesivamente, su diseño se basa en las curvas estándares para definir la geometría de las tablas de surf. Además, Shape 3D está abierto a archivos exportados de CAD así como a importación de nubes de puntos.

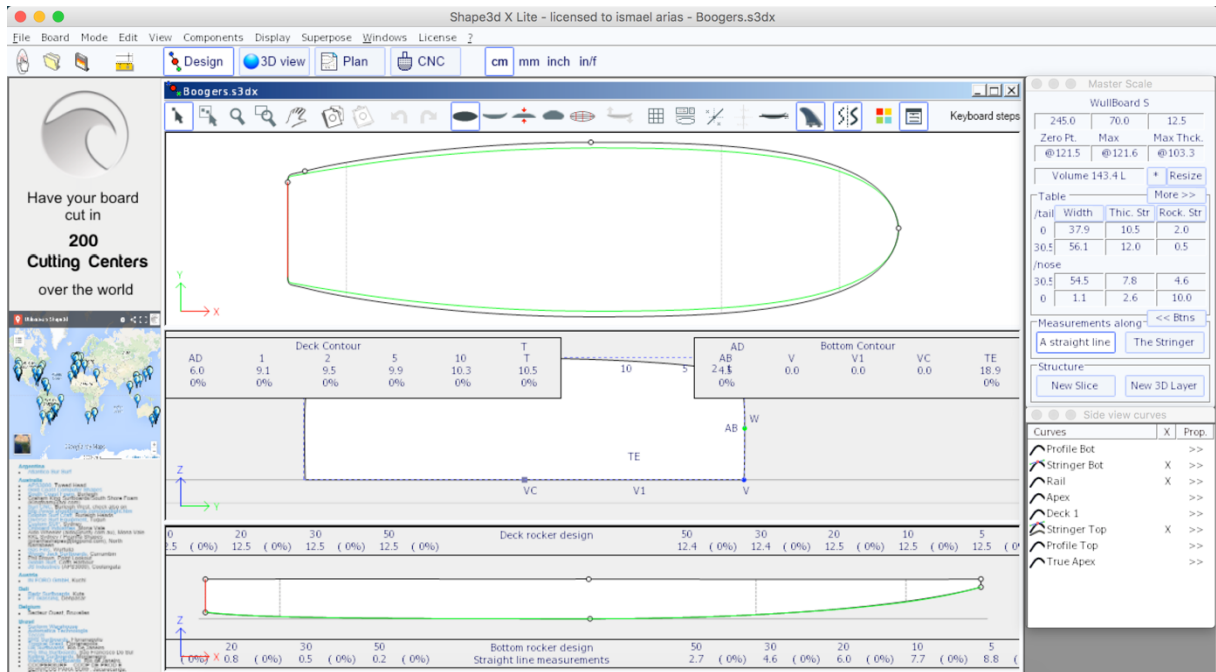


Figura 14: Programa Shape 3Dx y proceso de diseño de nuestra tabla

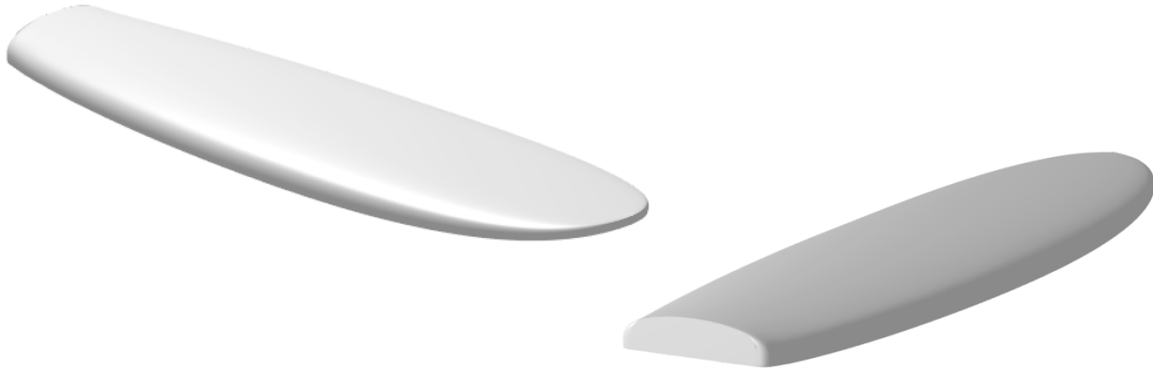
El único inconveniente de esta herramienta es que para acceder a más utilidades se debe comprar una licencia y los precios rondan los 150 € al año. Por ello se ha accedido a la versión Lite. Esta versión ofrece la posibilidad de crear nuestra tabla y tiene las siguientes características:

- Diseño de contorno, larguero y corte por donde se desee.
- Múltiples radios de curvatura.
- Directrices de medición en cualquier posición.
- Tablero de Ghost (contorno, perfil y cortes)
- Quillas prediseñadas.
- Protección de archivos
- Vista 3D

Finalmente se podrán exportar los archivos a formato .s3dx (propio de la empresa) y .s3d. Y se podrán importar archivos .srf, .kms, .phb y .brb.



El resultado del modelado 3D obtenido tras el diseño de la tabla y aun sin añadir los componentes mecánicos y electrónicos se muestra en la figura 15.



*Figura 15: Modelo 3D de nuestra tabla*

Finalmente, se debe mencionar que mediante este programa es imposible exportar archivos de modelos 3D en formatos modificables con otros programas de modelado. Es por ello que se hará uso de la herramienta Autodesk Inventor 2015 para la realización del modelado tanto de la tabla como del resto de componentes.

### **3. Materias primas para la fabricación de la tabla**

La materia prima utilizada es otro aspecto muy importante a la hora de fabricar nuestra tabla, de ella dependen la flotabilidad, la estabilidad, el peso de la misma entre otros aspectos que se mencionarán a continuación.

Como se ha mencionado en el primer apartado de este documento, uno de los requisitos principales de la fabricación de nuestra tabla es que se realice con materiales reciclables y que no sean dañinos para el medio ambiente.

#### **3.1. Materias primas usadas generalmente**

A continuación se muestra un breve análisis de las diferentes materias primas con las que se fabrican las tablas de surf en la actualidad.

### 3.1.1. Foam

En primer lugar como núcleo de la tabla se encuentra el *Foam*. En la actualidad existen varios tipos de Foam. Por una parte encontramos el poliestireno expandido (EPS) y por otra parte la espuma de poliuretano (PU).

El poliestireno expandido o EPS, es un material plástico espumado. La fabricación del material se realiza partiendo compuestos de poliestireno en forma de perlititas que contienen un agente expansor (pentano). Después de una pre-expansión, las perlititas se mantienen en silos de reposo y posteriormente son conducidas a una máquina de moldeo. En esta máquina se le aplica calor al material, lo que produce que se expandan las perlititas y a su vez, el polímero se plastifica (Figura 16).

Las principales ventajas que podemos destacar de este material, es que es económico, reciclable y aporta mucha flotabilidad.

Por otra parte, el poliuretano (PU) o espuma de poliuretano, es un plástico poroso formado por agregación de burbujas. Se forma básicamente por la reacción química de dos compuestos, un polioliol y un isocianato. Para la elaboración de la tabla, se inyecta poliuretano líquido en moldes, se hincha y ocupa la forma deseada (Figura 17).

Las ventajas de este material son en primer lugar que es poco pesado y fácil de formar. Por otra parte la desventaja frente al EPS es que aporta menos flotabilidad y con el paso del tiempo se pone amarillo.



Figura 16: Bloques de Foam EPS (Fuente: mundo-surf.com)



Figura 17: Bloques moldeados de PU

### 3.1.2. Fibra de vidrio

La fibra de vidrio es un componente que junto a la resina, le añade fuerza y resistencia a la tabla. Existen muchos tipos de tela de fibra de vidrio y de muchos grosores, formas de cruzar la fibra, etcétera.

La fibra más usada es la fibra E-Glass, puesto que es una fibra de buena calidad a un precio bajo, pero cuando se desean mejores resultados y durabilidad, se emplean otras fibras como la S-Glass, que permite a los fabricantes usar menos fibra para conseguir la misma resistencia, pero el precio es del doble que la fibra E-Glass.

### 3.1.3. Resina

La resina es un material gelatinoso que en contacto con el catalizador se endurece, formando una capa resistente sobre la fibra de vidrio.

Actualmente se utilizan dos tipos de resina, por una parte la resina poliéster y por otra la resina epoxi. Ambas tienen el mismo fin y uso pero no las mismas propiedades. En especial, la resina poliéster no es compatible con las tablas fabricadas con foam EPS, pero sin embargo, esta es la más utilizada debido a sus bajos precios en comparación con las resinas epoxi.

Las resinas poliéster pueden usar catalizador líquido tipo P MEC (peróxido metil etil cetona), o bien catalizador ultra violeta, que hace que la resina se endurezca con los rayos del sol. Para las resinas epoxi se suelen utilizar catalizadores SA 300.

### 3.1.4. Catalizador

El catalizador es utilizado, como se mencionó en el apartado anterior, junto con la resina para que endurezca con la acción del calor.

Se suele utilizar con una proporción diferente en función de la resina que se utilice. Aproximadamente un 2% con resina poliéster, 40% con resina epoxi. Estos porcentajes variarán según los deseos del fabricante o por factores como la temperatura, humedad, etc.

### 3.2. Materias primas a utilizar

Una vez hemos estudiado las materias primas utilizadas para la fabricación de tablas de surf, debemos seleccionar cuales de ellas utilizaremos para la fabricación de nuestra tabla. Recordando lo mencionado al inicio de este documento, debemos utilizar materiales reciclables y que no afecten al medio ambiente.

Actualmente hay empresas que se dedican a fabricar tablas de surf reciclables y las cuales no afectan al medio ambiente (ninguno de sus materiales).

Una de estas empresas se llama Marko Foam Blanks (Figura 18). Marko Foam, es una empresa con sede en California (EEUU) cuya misión es ofrecer un amplio catálogo de núcleos de tablas de surf 100% reciclables. Además, el cliente puede enviarles las dimensiones de su tabla y estos le fabrican el núcleo con los materiales que utilizan.



Figura 18: Núcleos reciclables fabricados por Marko Foam Blanks

En Marko utilizan material EPS, al ser muy utilizado para todo tipo de protección en embalajes. El proceso de reciclado es muy sencillo. En primer lugar introducen el material a reciclar en una máquina que lo tritura y lo mezclan con otros componentes el cual se conforma en una especie de masa espesa. Para la fabricación de la tabla, calientan calderas con agua para producir vapor, este se utiliza para expandir las perlas de plástico y fusionarlas en moldes (Figura 19). Este proceso tiene un impacto muy bajo sobre el medio ambiente debido a que las

emisiones a la atmósferas son muy bajas. Además, se utiliza poca cantidad de agua y esa cantidad es reutilizable.

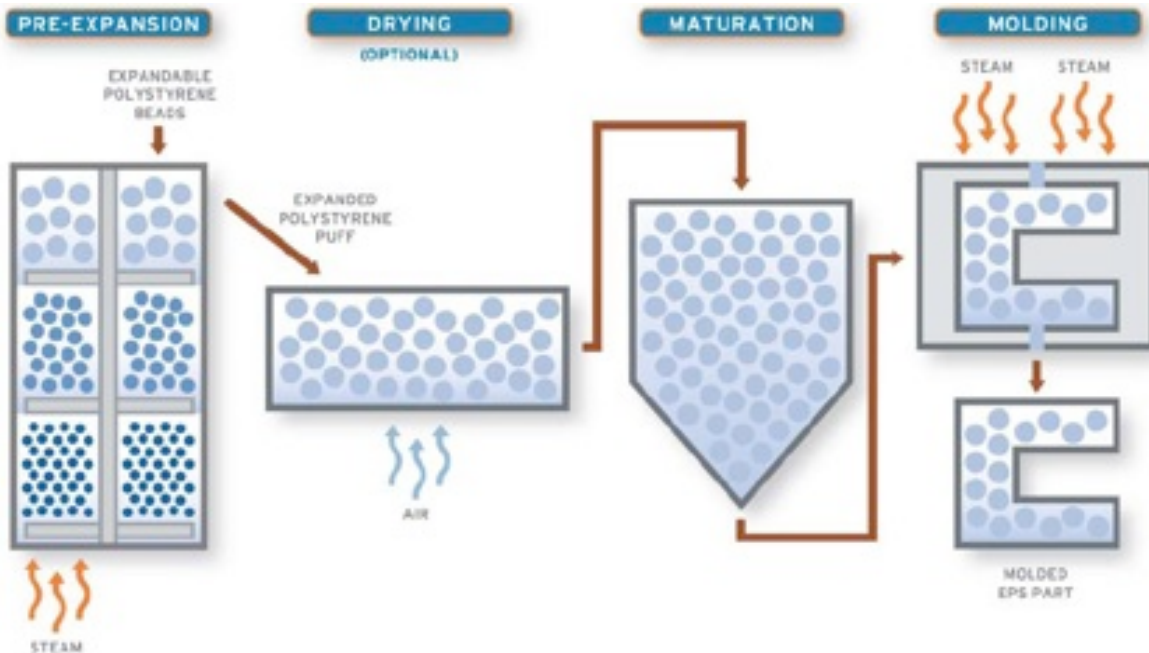


Figura 19: Proceso de fabricación del Foam EPS en Markos

El moldeado de EPS no es tóxico y es completamente inerte. Su composición química consiste en carbono, hidrógeno y oxígeno. Por otra parte, el material no daña a la capa de Ozono puesto que no utiliza CFC (clorofluorocarbono) o HCFC (Hidroclorofluorocarbono) en el proceso de fabricación.

Por otra parte, existe una empresa que fabrica resinas totalmente sostenibles. Esta empresa se llama Entropy resins y a través de su página web, pone a disposición de los fabricantes de tablas toda una gama de resinas que no afectan al medio ambiente.

La empresa ha conseguido estas fórmulas reemplazando el carbono a base de petróleo utilizado para la fabricación de las resinas, por carbono de origen vegetal renovable. Las materias primas que utilizan son residuos reciclados de otros procesos.

Para tablas de surf, Entropy Resins vende un diseño Do-It- Yourself (Hazlo tu mismo) (Figura 20). Fabrica dos productos para nuestro uso, ellos son:

Super Sap 100/1000, tiene una baja viscosidad y es versátil, sistema de resina epoxi líquida para compuestos, recubrimientos y aplicaciones adhesivas.

Súper Sap CLR, tiene una baja viscosidad, es transparente y el sistema de resina UV sirve para compuestos, recubrimientos y aplicaciones adhesivas. Ofrecen tres sistemas para diferentes necesidades de trabajo: Endurecedor extra rápido (CLX), Endurecedor rápido (CLF) y endurecedor lento (CLS).



Figura 20: Resina Super SAP de Entropy Resins

Por último, la fibra de vidrio, como se comentó anteriormente, es un elemento que junto a la resina, da resistencia a la tabla. Para nuestra tabla, necesitaremos usar una capa de fibra de vidrio de 40z en el bottom y una capa de 60z en el deck, para obtener una mayor resistencia e inercia en la tabla. Además, se pondrá una maya de refuerzo en zonas de la tabla donde se dispondrán los componentes mecánicos y electrónicos. Se usará una maya S-Glass, que aun que sea más cara es de mejor calidad.

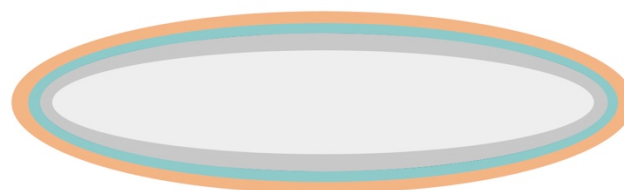


Figura 21: Capa de fibra de vidrio (Fuente: viral-surf.com)

A modo de resumen, en la siguiente tabla se muestran los materiales a utilizar para la fabricación de nuestra tabla.

|                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| Foam                      | Núcleo EPS Reciclado   |
| Resina                    | Super Sap CLR          |
| Catalizador (Endurecedor) | Endurecedor Rápido CLF |
| Fibra de Vidrio           | 40z + 60z              |

Finalmente, la disposición de cada uno de los elementos en nuestra tabla será la mostrada en la figura 22.



- Núcleo EPS
- Dibujos y Logos
- Fibra de Vidrio
- Resina + Endurecedor

Figura 22: Disposición de los materiales

## 4. Sistema de propulsión

En la actualidad existen diferentes tipos de sistemas de propulsión para embarcaciones u otras aplicaciones como las mostradas en los primeros apartados de este documento. Estos sistemas de propulsión más comunes son los siguientes.

En primer lugar encontramos las Hélices de paso fijo o paso constante, lo que quiere decir que el paso en la superficie del aspa no cambia. Este tipo es el más común en embarcaciones comerciales y remolcadores, entre otros.

Otro tipo de propulsión es mediante el llamado Hélices de paso variable en las que, a diferencia del anterior, el paso puede variar en cada radio, siendo más común encontrarse aquellas donde usualmente se reduce el paso cerca de las puntas para reducir la presión de las aspas y la posibilidad de cavitación. Por otra parte, las hélices de paso controlable, permiten al operador ajustar el paso a voluntad dependiendo del tipo de operación, esto debido al mecanismo hidráulico o simplemente mecánico que permite que las aspas giren sobre su propio eje. Ofrecen una gran ventaja en cuanto al costo de operación, pero son considerablemente más caras que las sólidas.

Por otra parte, otro tipo utilizado es el sistema de tobera. En este sistema, las hélices están rodeadas por un perfil hidrodinámico, este sistema aumenta el empuje entorno a un 40%. Existen diferentes tipos de perfiles que reducen la velocidad, pero ya hay nuevos diseños que la aumentan. Este tipo de propulsión está limitado para embarcaciones de baja velocidad (velocidad inferior a 14 nudos).

En cuanto a maniobrabilidad, la opción más avanzada es mediante el sistema llamado Azimutales. Este sistema es muy eficaz para las operaciones del barco puesto que giran 360° y ofrece un empuje en cualquier dirección. Existen con o sin tobera y su aplicación es para embarcaciones comerciales con velocidades reducidas.

Por último, para embarcaciones y botes de alta velocidad tales como patrulla o motos de agua (entre otras aplicaciones), existe el denominado sistema por propulsión mediante chorros de



agua, waterjet o hidrojete. Trabajan como una bomba de succión y puede conseguir velocidades de hasta 50 nudos.

#### 4.1. Sistema de propulsión por chorro de agua “Waterjet”

Como se mencionó en el punto anterior, los sistemas de propulsión por chorro de agua se utilizan para embarcaciones cuya actividad requieren de altas velocidades. Para ello, utilizan una boba de succión, mediante la cual se recoge agua de la parte inferior y la expulsa por la parte superior aportando el empuje que mediante la tercera ley de Newton de acción y reacción y el principio de conservación de la cantidad de movimiento, se produce el desplazamiento.

##### 4.1.1. Elementos del sistema Waterjet

Los elementos propios de este sistema y necesarios para originar la propulsión deseada (Figura 23), son la toma de agua, el conducto de aspiración, la bomba de aspiración y la tobera de aceleración por la cual sale el chorro de agua.

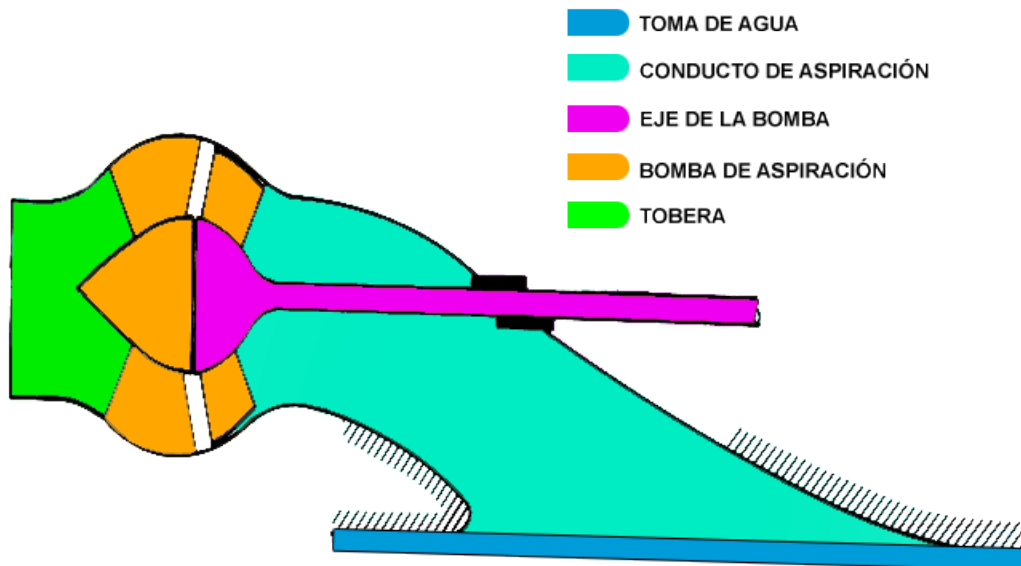


Figura 23: Partes del sistema de propulsión por chorro de agua

Las diferentes características que le aporta cada uno de los elementos del sistema a la propulsión de la embarcación en función de los diferentes tipos, se muestran a continuación.

### -Toma de agua y Conducto de aspiración.

La toma de agua junto con el conducto de aspiración forman el punto principal en este tipo de sistema de propulsión. En su diseño se debe tener en cuenta las pérdidas de energía, por lo que el diseño debe ser realizado cuidadosamente. Y otras características como pueden ser la cantidad de agua embarcada y la distorsión del flujo que se genere. Se deben tener en cuenta estas tres características de forma conjunta puesto que la mejora de una conlleva el empeoro de otra.

Los diferentes tipos de conducto de aspiración y toma de entrada que se suelen utilizar son los Flush Inlet (Figura 24) y Ram Inlet (Figura 25).

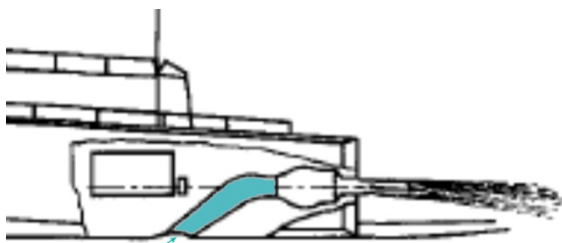


Figura 24: Conducto y toma tipo Flush

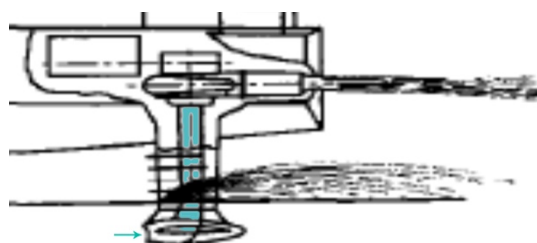


Figura 25: Conducto y toma tipo Ram

El Flush Inlet es el sistema más utilizado. La toma de agua está dispuesta a ras del casco, esto provoca que se incremente la resistencia del barco pero aumenta las posibilidades de que entre aire debido a los movimientos excesivos de la embarcación producidos por las altas velocidades.

Por otra parte, el tipo de entrada Ram Inlet suele usarse en embarcaciones tipo hidroalas. La toma de agua se sitúa en un apéndice. Esto genera una resistencia extra a la embarcación.

### -Bomba de aspiración.

Otro elemento muy importante es la bomba de aspiración. Las más adecuadas son aquellas que tienen una baja altura manométrica y ofrecen un alto caudal, todo ello con el mayor rendimiento posible. Además son necesarias altas revoluciones por minuto para minimizar el agua en el

conducto, minimizar el peso y tamaño de la bomba y finalmente reducir o suprimir el peso de los reductores que suele ser necesario intercalar entre los motores principales y el impulsor.

Se debe determinar de que tipo deben ser, de flujo mixto o flujo axial. Los diferentes tipos de bomba que generalmente se utilizan teniendo en cuenta las elevadas revoluciones que conseguirán tanto con axiales como con mixtas se muestran en la figura 26.

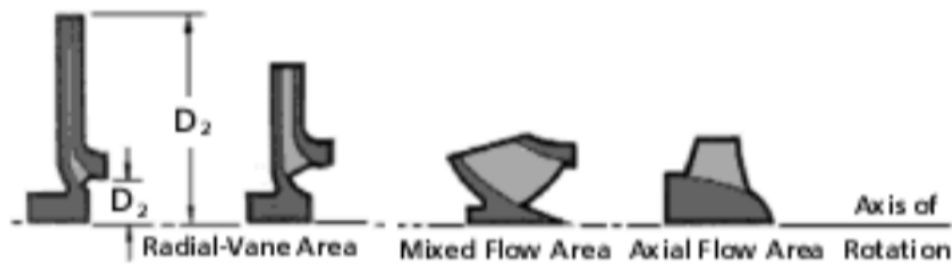


Figura 26: Diferentes tipos de bomba de aspiración

Uno de los principales problemas que debemos reducir o eliminar es la cavitación, puesto que provoca deterioro del material, ruidos y vibraciones. En caso de que con un diseño determinado no se pueda reducir la cavitación, se podrá disponer de un difusor colocado antes del impulsor principal, esto ayudará a reducir la cavitación y proteger al rotor de erosiones.

-Tobera.

La tobera es la encargada de convertir la energía potencial suministrada por el impulsor en energía cinética que es la que ocasiona el empuje de la embarcación. Existen dos tipos de toberas. En primer lugar encontramos las toberas *Paralelopípedas* (Figura 27), el chorro de agua alcanza su contracción máxima en el extremo de la tobera. Y por otra parte encontramos el tipo *Pelton* (Figura 28), en las que el chorro de agua alcanza su contracción máxima fuera de la tobera (donde la presión es igual a la atmosférica).

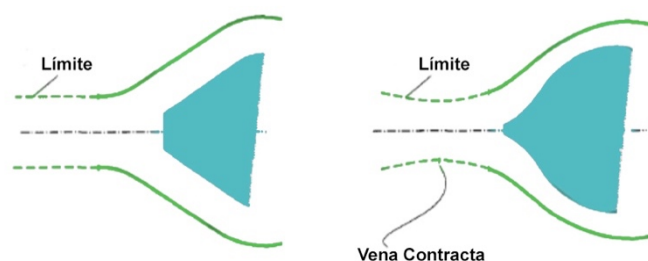


Figura 27 y 28: Tipos de tobera Paralelopípeda y Pelton

El tamaño de la tobera para tener un sistema con un buen rendimiento y un caudal adecuado para evitar la cavitación se escogerá en función de su aplicación y el tipo de rotor del que disponga.

En función del tipo de tobera que se utilice y su geometría, se tiene una eficiencia mayor o peor. Suele ocurrir que cuanto más suavizada y gradual sea la reducción del diámetro mayor es el rendimiento. Esto lo verificamos con la figura mostrada a continuación (Figura 29).

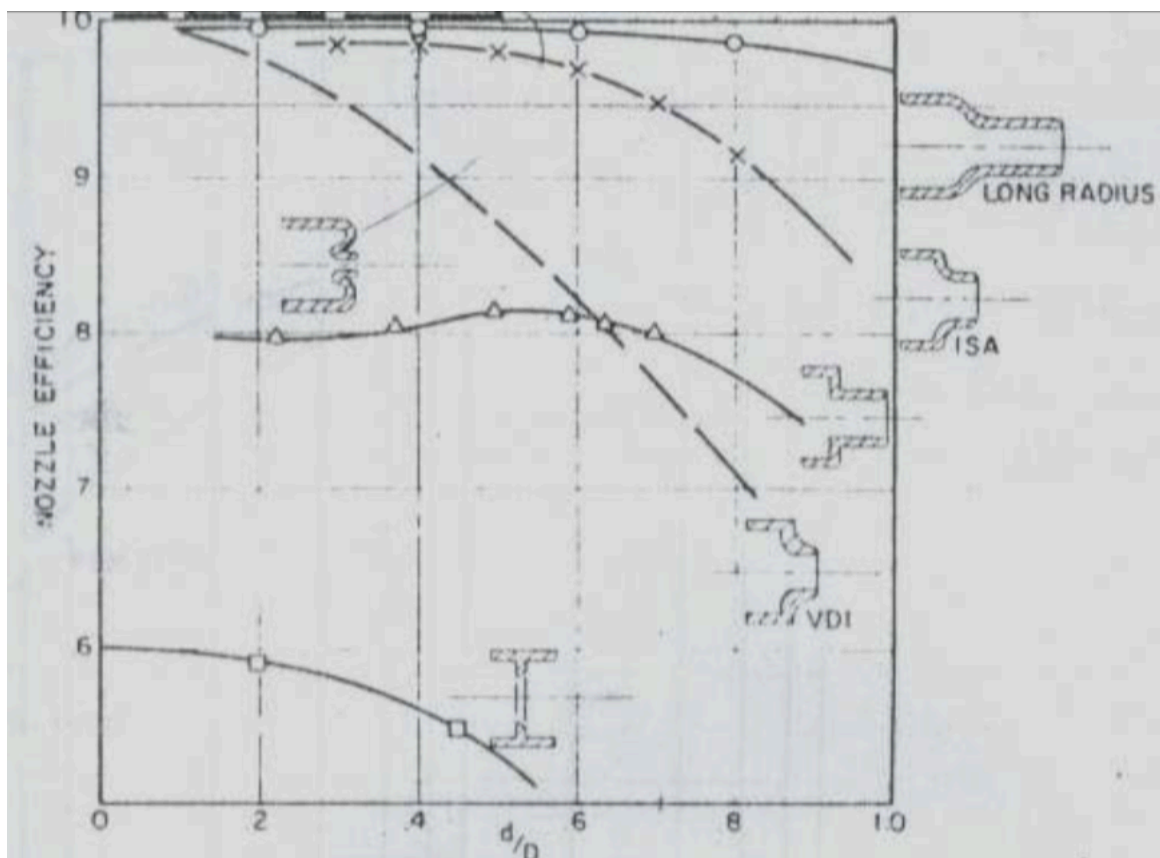


Figura 29: Eficiencia de la tobera en función de su geometría

Existen otros elementos participantes en el sistema de propulsión por chorro de agua, tales como el sistema de gobierno, el cual dirige el chorro de agua hacia algún lado en función del movimiento que se desee realizar. Este elemento va colocado después de la tobera. No se incluye en este trabajo puesto que no se utilizará.

#### 4.1.2. Formulación hidrodinámica del sistema waterjet

A lo largo de las siguientes líneas se muestra el planteamiento de los principales aspectos de la formulación hidrodinámica necesarios para la elaboración de nuestro producto.

En primer concepto que se tiene en cuenta cuando se estudia un sistema de propulsión por chorro de agua, es el empuje bruto. Dado únicamente en el punto externo del sistema, siendo la fuerza experimentada por el propulsor debida al empuje generado por el flujo en su salida por la tobera.

Las variables implicadas en el cálculo del empuje bruto son las siguientes:

**T<sub>g</sub>**: Empuje Bruto

$\frac{dm_j}{dt}$  : Caudal másico en la tobera

**V<sub>j</sub>**: Velocidad del chorro de agua

Por lo tanto, suponiendo la velocidad del chorro de agua constante, en una teoría unidimensional simple, el empuje bruto será:

$$T_g = \frac{dm_j}{dt}$$

*Expresión 1: Empuje bruto*

La expresión 1 muestra el empuje bruto, lo que quiere decir que no es el empuje efectivo. Es por ello que se debe tener en cuenta que existe un empuje neto.

Por lo tanto, debemos saber que en la entrada el agua es absorbida al interior de la embarcación, pasando de una velocidad inicial a la velocidad de la misma. Ese nuevo contenido con diferente estado inercial, se acelera hacia el equilibrio con la embarcación, generando un arrastre a éste, provocando su desaceleración.

Esto se puede representar a través de una expresión muy sencilla y se le denomina, resistencia de momento ( $Dm$ ).

$$Dm = \frac{dmi}{dt} * Vs * (1 - w)$$

*Expresión 2: Resistencia del momento*

Donde cada una de sus variables representa:

**Dm:** Resistencia del momento

$\frac{dmi}{dt}$  : Caudal másico en la toma de agua

$V_s$ : Velocidad de la embarcación

**(1-w):** Factor de corrección

A partir de las expresiones anteriores podremos obtener el empuje neto, siendo este la diferencia entre ambas.

$$T = Tg - Dm = \frac{dmj}{dt} Vj - \frac{dmi}{dt} * Vs * (1 - w)$$

*Expresión 3: Empuje neto*

Puesto que existe conservación de la masa a que toda el agua que entra sale (idealmente), el caudal másico es constante, por lo que  $mi$  y  $mj$  serán iguales, quedando la expresión anterior con la siguiente forma:

$$T = \frac{dmi}{dt} (Vj - Vs * (1 - w))$$

*Expresión 4: Expresión reducida empuje neto*

Una vez hemos obtenido la expresión del empuje neto, podemos obtener el trabajo o potencia útil, dando como resultado el mostrado a continuación.

$$P_u = T * V_s = \frac{dm_i}{dt} (V_j - V_s * (1 - w)) * V_s$$

*Expresión 5: Potencia útil del sistema*

Para lograr la potencia útil mostrada en la expresión anterior, la bomba debe ser capaz de suministrar energía suficiente al agua por unidad de tiempo, para elevarla desde el fondo del buque hasta la altura del rotor.

En primer lugar sabemos que la energía potencial en el centro de la tobera viene dado por:

$$E_p = \frac{dm}{dt} * g * H_j$$

*Expresión 6: Energía potencial eje tobera*

Donde:

**E<sub>p</sub>**: Energía potencial

**g**: Aceleración de la gravedad

**H<sub>j</sub>**: Altura del rotor

Por otra parte, la energía cinética en el punto que se encuentra a la salida de la tobera, viene dado por la siguiente expresión:

$$E_{c_j} = \frac{1}{2} * \frac{dm}{dt} * V_j^2 * (1 - \zeta)$$

*Expresión 7: Energía Cinética salida de la tobera*

El término  $\zeta$  hace referencia a la fracción de energía cinética en la tobera, que se pierde a causa de la fricción.

Por otra parte, para calcular la energía en el sistema completo debemos calcular la energía cinética que le llega a la bomba, es decir, la energía inicial. Siendo esta la siguiente:

$$E_{ci} = \frac{1}{2} * \frac{dm}{dt} * (Vs(1 - w))^2 * (1 - \Psi)$$

*Expresión 8: Energía cinética que llega a la bomba*

El nuevo término  $\Psi$  representa la fracción de energía cinética que no se recupera de la entrada de agua.

Finalmente, teniendo las expresiones anteriores podremos proceder a la obtención del incremento de energía del agua por unidad de tiempo.

$$\Delta E = E_{cj} + E_p - E_{ci}$$

$$\Delta E = \frac{dm}{dt} (g * H_j + \frac{1}{2} ((V_j^2 * (1 - \zeta)) - ((Vs(1 - w))^2 * (1 - \Psi)))$$

*Expresión 9: Incremento de energía por unidad de tiempo*

Si suponemos que las pérdidas ocasionadas en el sistema son nulas, despreciamos la altura  $H_j$  y aplicando la conservación de la masa, la expresión reducida tendrá la siguiente forma:

$$\Delta E = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} * (V_j^2 - V_s^2)$$

*Expresión 10: Expresión [9] reducida*

Una vez hemos calculado el incremento de energía calcularemos la eficiencia propulsiva. Para este caso dicha eficiencia viene dada por la relación entre el trabajo efectivo dado a la embarcación y el trabajo efectivo dado al impulsor. Dicho rendimiento viene definido de la siguiente manera:



$$\eta_j = \frac{PU}{\Delta E} = \frac{(V_j - V_s * (1 - w)) * V_s}{g * H_j + \frac{1}{2} ((V_j^2 * (1 - \zeta)) - (V_s(1 - w))^2 * (1 - \Psi))}$$

*Expresión 11: Rendimiento del propulsor*

Otra característica que debemos tener en cuenta y que es importante de los sistemas de propulsión por chorro de agua, es la relación entre la velocidad de la embarcación y la velocidad del chorro. Para ello y a modo de simplificación, tenemos que:

$$\mu = \frac{V_s}{V_j} * (1 - w)$$

*Expresión 12: Relación de Velocidades*

Por lo tanto sustituyendo la anterior en la expresión [11] y suponiendo que las pérdidas son nulas y que el eje de flotación está a nivel del agua, el rendimiento ideal viene dado como:

$$\eta_j = \frac{2(\mu - \mu^2)}{1 - \mu^2}$$

*Expresión 13: Rendimiento ideal*

El coeficiente de empuje es una característica que se calcula igual que el resto de sistemas de propulsión (empuje) de embarcaciones. Esta característica se debe disminuir para mejorar el rendimiento del sistema de propulsión. Dicho coeficiente se obtiene de la siguiente expresión:

$$C_t = \frac{T}{\frac{1}{2} * \rho * A_j * V_s^2}$$

*Expresión 14: Coeficiente de empuje*

Los nuevos términos que aparecen en la expresión anterior son:

**Ct**: Coeficiente de empuje

$\rho$ : Densidad del agua

**Aj** : Área perpendicular al chorro en la vena contracta (área de la tobera)

Finalmente, la expresión que relaciona el rendimiento ideal con el coeficiente de empuje será:

$$\eta_{ji} = \frac{4}{3 + \sqrt{1 + 2 * Ct}}$$

*Expresión 15: Rendimiento ideal en función del coeficiente de empuje,*

Otros factores que influyen en el comportamiento de un sistema de propulsión por chorro de agua son el funcionamiento de la bomba, la cavitación y un estudio intensivo de las pérdidas en el sistema. Debido a su complejidad y a que muchas de las variables se deben a la propia construcción del propulsor, no se añadirán en este documento.

## **4.2. Aplicación del sistema “Waterjet” a nuestra tabla**

### **4.2.1. Waterjets comerciales**

En la actualidad, muchas empresas dedicadas al sector de embarcaciones de radio control, han visto que el número de personas que se comienzan a elaborar sus propias tablas de surf con este sistema de propulsión. Por ello, han empezado a comercializar estos sistemas ya totalmente contruidos y adaptables para tablas de surf. Algunos de estos waterjets son los mostrados a continuación:

- Jet 80

Según su fabricante MHZ jets, el Jet 80 es la versión más avanzada de todos sus productos. Debido a sus grandes dimensiones, es la mejor opción para embarcaciones tripuladas pequeñas,

como las que podemos encontrar en las playas que tienen un tobogán y van a pedales. Está elaborado con aluminio de alta calidad a través de una máquina por control numérico (CNC). Es recomendable para embarcaciones mayores de 3 metros. Las características técnica son las siguientes:

|                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| <b>Longitud</b>     | 320 mm               |
| <b>Ancho</b>        | 121 mm               |
| <b>Grosor Eje</b>   | 12 mm                |
| <b>Grosor Rotor</b> | 79 mm                |
| <b>Peso</b>         | 1995 g               |
| <b>Empuje Est.</b>  | Max. 500 N           |
| <b>RPM Requerid</b> | Max. 12.000 – 14.000 |
| <b>Potencia</b>     | 12 kW – 16 kW        |

#### - Jet 64

Debido a sus dimensiones y a su construcción, la empresa ha diseñado este waterjet para ser utilizado en tablas de surf motorizadas. Al igual que el anterior, está fabricado con aluminio de alta calidad a partir de una máquina CNC. En este caso la tobera se puede solicitar como el cliente desee, en función del uso que le quiera dar. Las características técnicas del Jet 64 se muestran a continuación:

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| <b>Longitud</b>     | 250 mm       |
| <b>Ancho</b>        | 96 mm        |
| <b>Grosor Eje</b>   | 9 mm         |
| <b>Grosor Rotor</b> | 64 mm        |
| <b>Peso</b>         | 940 g        |
| <b>Empuje Est.</b>  | Max. 400 N   |
| <b>RPM Requerid</b> | Max. 16.000  |
| <b>Potencia</b>     | 9 kW – 12 kW |

## - Jet 52

Fabricado, al igual que los anteriores, por la empresa MHZ Powerboats. La tubería de entrada del agua, la boquilla y el módulo de control están elaborados con aluminio de alta calidad en una máquina CNC. Su boquilla es ajustable para adaptarlo a varias condiciones del agua. Tiene un sistema de empuje vectorial y está preparado para motores eléctricos, tales como el Scorpion 40-50er o el Leopardo 5693. Es resto de detalles técnicos se muestran a continuación:

|                     |                 |
|---------------------|-----------------|
| <b>Longitud</b>     | 210 mm          |
| <b>Ancho</b>        | 81 mm           |
| <b>Grosor Eje</b>   | 8 mm            |
| <b>Grosor Rotor</b> | 53 mm           |
| <b>Peso</b>         | 670 g           |
| <b>Empuje Est.</b>  | Max. 120 -240 N |
| <b>RPM Requerid</b> | 16.000          |
| <b>Potencia</b>     | 3,3 kW          |

## - Jet 80-Booster

Este modelo es el más grande de los fabricados por la empresa previamente dicha. Al igual que el resto de unidades, está fabricado con aluminio de alta calidad, donde el impulsor, el estator y el propulsor están fabricados por una CNC. Al igual que su hermano, el jet 80, este modelo es recomendado para embarcaciones mayores de 3 metros. Sus características técnicas son las siguientes:

|                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| <b>Longitud</b>     | 320 mm               |
| <b>Ancho</b>        | 121 mm               |
| <b>Grosor Eje</b>   | 12 mm                |
| <b>Grosor Rotor</b> | 79 mm                |
| <b>Peso</b>         | 1995 g               |
| <b>Empuje Est.</b>  | Max. 500 N           |
| <b>RPM Requerid</b> | Max. 12.000 – 14.000 |
| <b>Potencia</b>     | 12 kW – 16 kW        |

## - Jet 4

Por último, el jet 4 es una miniatura del famoso Jet fabricado por Riva Calzoni. La tubería de absorción y la boquilla están hechas de una aleación de aluminio. Al igual que el Jet52, funcionan perfectamente con motores eléctricos Escorpión 5035/760 o motores a combustión de 23cc.

|                     |        |
|---------------------|--------|
| <b>Longitud</b>     | 240 mm |
| <b>Ancho</b>        | 85 mm  |
| <b>Grosor Eje</b>   | 7 mm   |
| <b>Grosor Rotor</b> | 49 mm  |
| <b>Peso</b>         | 606 g  |
| <b>Empuje Est.</b>  | 140 N  |
| <b>RPM Requerid</b> | 17.000 |
| <b>Potencia</b>     | 750 W  |

#### 4.2.2. Requisitos

Tal y como se añadió en el primer apartado de este documento, el objetivo de este proyecto es diseñar todas las partes implicadas en la elaboración de una tabla de surf eléctrica que pueda ser utilizada por todo el público en general, con diferente peso y altura. Para ello hemos tomado como referencia un adulto medio, de 80 kg de peso y 1,80 m de altura.

En cuanto a la elección del sistema de propulsión, hay varios aspectos a tener en cuenta. En primer lugar la velocidad media a la que queremos que circule nuestra tabla (siempre teniendo en cuenta que en el agua ningún valor es constante) será de  $6 \text{ m/s}$ , siendo una velocidad adecuada para el disfrute de este deporte sin ocasionar situaciones de peligro.

Por otra parte, otro aspecto muy importante a la hora de seleccionar un sistema de propulsión, son los diámetros de entrada y salida, en nuestro caso, debemos tener en cuenta que el grosor

de la tabla en la zona donde se dispondrán los propulsores, es de 10 cm, por lo que para evitar problemas fijaremos un diámetro de entrada máximo del propulsor de 6cm.

Debido a las dimensiones del diámetro fijadas como requisitos y analizando los datos de los waterjets comerciales añadidos en el apartado anterior, podemos concluir que los modelos Jet 64, Jet 52 y el Jet 4, son los únicos modelos que cumplen los requisitos de diámetro del rotor, ya que el resto superan los 60 milímetros.

Para seleccionar uno de los componentes de forma correcta atendiendo a las especificaciones anteriores han de realizarse una serie de ensayos con los productos en situaciones similares a la realidad.

Debido a que no pudimos tener acceso a estos elementos a la hora del desarrollo del producto, tras una investigación encontramos que dichos ensayos han sido realizados previamente en [7] para el jet 4 y el jet 52. En estas pruebas se ha utilizado un variador de frecuencia para variar la velocidad del motor, en este caso utilizando el motor aconsejado por el fabricante del waterjet (Scorpion 4020-12). El resto de componentes fueron, un banco de pruebas (una tabla de surf y un recipiente con agua) y como fuente de alimentación se utilizó una batería de Li-Po de 6 celdas con un voltaje de 22,2V.

En la siguiente tabla se muestra el empuje bruto y las revoluciones por minuto obtenidas a una intensidad determinada.

- Jet 4

| <b>Intensidad (A)</b> | <b>RPM</b> | <b>Empuje Bruto (N)</b> |
|-----------------------|------------|-------------------------|
| 12                    | 5567       | 25,36                   |
| 25                    | 6667       | 41,35                   |
| 45                    | 8287       | 67,86                   |
| 60                    | 9677       | 88,05                   |

*Datos obtenidos en [7]*

- Jet 52

| Intensidad (A) | RPM  | Empuje Bruto (N) |
|----------------|------|------------------|
| 12             | 5117 | 29,4             |
| 25             | 6445 | 47,0             |
| 45             | 8163 | 75,5             |
| 60             | 9119 | 94,3             |

*Datos obtenidos en [7]*

En cuanto al Jet 64, no se han realizado los ensayos mostrados para los otros componentes. Se deberá hacer una estimación de los resultados.

Por otra parte, analizando los resultados obtenidos, se puede observar que el Jet 52 ofrecerá un mayor empuje bruto. Esto es debido a que el diámetro del impulsor es mayor, por lo que lleva a suponer que el jet 64 ofrecerá un mayor empuje, pero debemos tener en cuenta otros factores.

Entre estos factores decisivos para la elección del propulsor más adecuado se encuentra el empuje neto, la energía que utiliza el sistema y el rango en el que opera el waterjet.

En primer lugar, se deben tener en cuenta las características físicas de los diferentes sistemas. El diámetro de entrada, de salida, entre otros. Son datos que aporta el fabricante de los mismos. Estos datos se muestran en la siguiente tabla.

|        | Diámetro Entrada<br>(m) | Diámetro salida<br>(m) | Relación de<br>diámetros |
|--------|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| Jet 4  | 0.06                    | 0.037                  | 0.61                     |
| Jet 52 | 0.055                   | 0.0326                 | 0.62                     |

*Datos obtenidos en [7]*

Para el cálculo del empuje neto utilizaremos la expresión siguiente:

$$T = Tg - \rho Q Vs$$

*Expresión 16: Cálculo del empuje bruto*

Donde  $T_g$  es el empuje bruto obtenido en las pruebas añadidas anteriormente.  $Q$  (caudal) y  $V_s$  (velocidad de salida) son datos que obtenemos a partir de las siguientes expresiones.

$$T_g = \rho Q V_j$$

Expresión 17: Caudal y Velocidad de salida

Por lo tanto, el caudal para cada caso será:

|               | Intensidad<br>(A) | Caudal<br>(m <sup>3</sup> /s) |
|---------------|-------------------|-------------------------------|
| <b>Jet 4</b>  | 12                | 0.0052                        |
|               | 20                | 0.006586                      |
|               | 40                | 0.008437                      |
|               | 60                | 0.009608                      |
| <b>Jet 52</b> | 12                | 0.00489                       |
|               | 20                | 0.00618                       |
|               | 40                | 0.00784                       |
|               | 60                | 0.00876                       |

*Datos obtenidos en [7]*

Con esto ya podemos proceder al cálculo del empuje neto a través de la expresión previamente añadida. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

|              | Intensidad | $V_j$ | $V_s$ | Empuje Neto |
|--------------|------------|-------|-------|-------------|
| <b>Jet 4</b> | 12         | 4.79  | 1.82  | 15.7        |
|              | 20         | 6.12  | 2.32  | 26.6        |



|               |    |       |      |       |
|---------------|----|-------|------|-------|
|               | 40 | 7.84  | 2.98 | 42    |
|               | 60 | 8.93  | 3.39 | 54.5  |
|               |    |       |      |       |
| <b>Jet 52</b> | 12 | 5.86  | 2.05 | 19.07 |
|               | 20 | 7.41  | 2.6  | 30.48 |
|               | 40 | 9.39  | 3.3  | 48.97 |
|               | 60 | 10.49 | 3.68 | 10.49 |

*Datos obtenidos en [7]*

Con estos cálculos ya podemos tomar una decisión de qué modelo de waterjet cumple más nuestros requisitos o se adapta mejor a lo que buscamos. No es necesario realizar un estudio analítico extenso pues estos los realiza la empresa a la que solicitamos dichos componentes.

#### 4.2.3. Conclusiones

Como se menciona al final del apartado anterior, ya podemos tomar una decisión con respecto al modelo de waterjet que utilizaremos para nuestra tabla.

Analizando los resultados obtenidos se puede apreciar que el modelo Jet 52 ofrece un mayor empuje y mayores velocidades. Podemos estimar que el Jet 64, el cual no fue estudiado en el documento añadido, ofrecerá una mejora en dichos aspectos, lo cual no podemos confirmar porque dependemos de las pruebas o ensayos convenientes. Es por ello que el modelo que se utilizará para el diseño de la tabla de este proyecto será el Jet 52.



*Figura 30: Waterjet Modelo Jet 52 (MHZ Poweboats)*

## **5. Sistema Electrónico**

### **5.1. Introducción**

El sistema electrónico es una de las partes de la tabla en la que debemos hacer más hincapié debido a que es la forma que tenemos de interactuar con la ella.

En los siguientes apartados se añade una introducción a cada uno de los componentes utilizados en el sistema electrónico de la tabla, a modo de realizar una prueba de concepto, a través de la cual se podrá explicar de forma visual, los métodos para producir el movimiento a través de los sensores de presión y el controlador.

### **5.2. Descripción del sistema**

El sistema electrónico está constituido por una serie de módulos que desempeñan una labor determinante para cumplir los objetivos deseados, cada una de ellas se mostrará a continuación.

En primer lugar se encuentran los sensores de presión (FSR), a través de los cuales obtendremos la información aportada por el usuario (aumento o disminución de la velocidad, parada, ...).

Una vez el usuario ha tomado una decisión y ha realizado la acción que ha sido detectada por los sensores y amplificada, es necesario un controlador a través del cual recibimos dicha información y decidimos que hacer con la misma (tratamiento de la señal, activación de actuadores, etc..). Para ello se utiliza una placa Arduino UNO, en la que se escribirá el código con las especificaciones deseadas.

El objetivo final de la parte electrónica es mover unos motores situados en el sistema de propulsión. Para ello se ha utilizado un circuito de control mediante un transistor NPN, el cual veremos en los siguientes apartados.

Una vez añadidos los elementos anteriores y se ha implementado el sistema de alimentación, los diferentes módulos estarán expuestos tal y como se muestra en la siguiente figura.

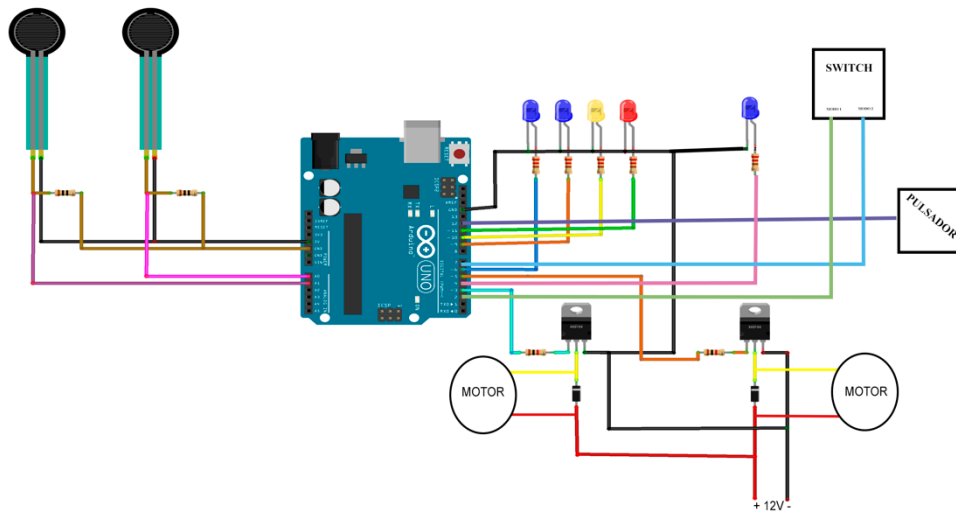


Figura 31: Esquema sistema electrónico

### 5.2.1. Sensores de presión y fuerza

Los sensores de presión o fuerza que se han utilizado para el diseño del circuito son los denominados FSR (Force-sensing Resistor) o sensor de fuerza resistivo, a través de los cuales se obtiene una variación de la resistencia en función de la presión aplicada tal y como se muestra en su nombre.

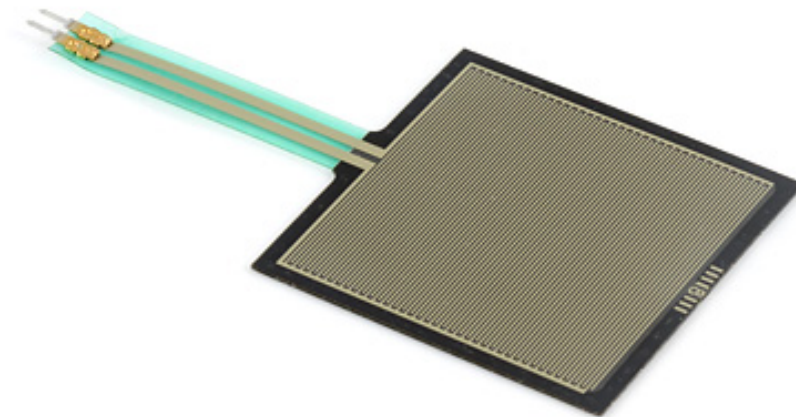
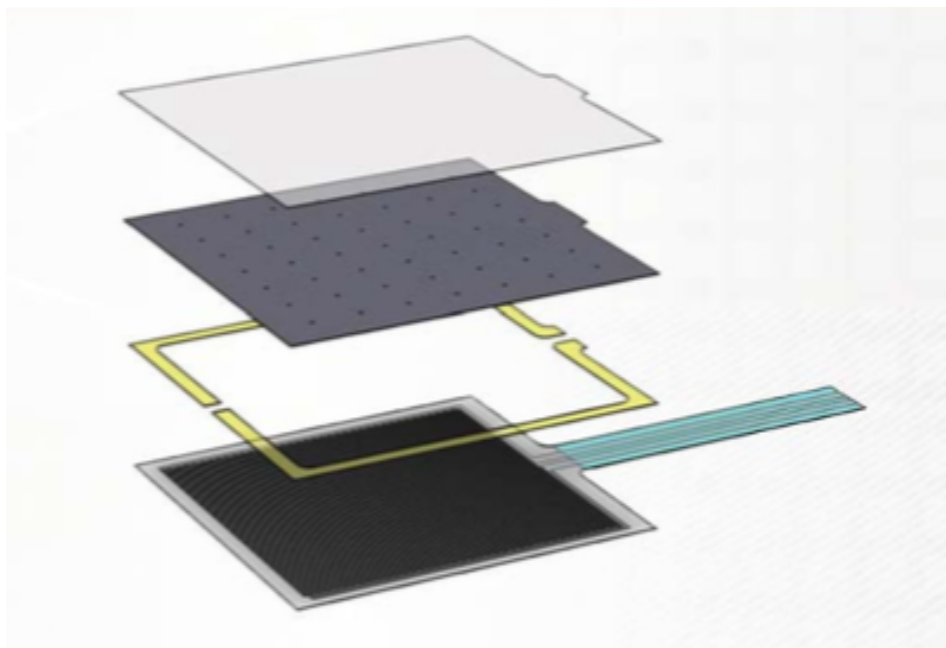


Figura 32: FSR Utilizado

Las ventajas de estos sensores es su bajo costo y su facilidad de usar. Además, ofrecen una interfaz relativamente simple, obteniendo de igual manera, un resultado correcto. Por el contrario, ofrecen una baja precisión si lo comparamos con otros tipos de sensores de fuerza.

Los FSR contienen una película de polímero que presenta disminución de la resistencia cuando se aumenta la fuerza aplicada en la superficie activa. Su capa inferior está formada por un sustrato flexible que contiene impreso los electrodos. La última capa está formada por un sustrato flexible que contiene el semiconductor, separada de la primera a través de un espaciador adhesivo, tal y como se observa en la siguiente figura.



*Figura 33: Capas del FSR utilizado*

A la hora de adquirir un sensor FSR se deben tener en cuenta algunos aspectos importantes para el uso que les vayamos a dar. Entre ellos podemos encontrar el rango de peso, el rango de presión, la sensibilidad, etc. A continuación, se muestra la tabla de características generales que aporta el fabricante en la hoja de datos para los FSR.

| PARAMETER                               | VALUE  | NOTES                                |
|---|--|--------------------------------------|
| <b>Size Range</b>                       | Max = 20" x 24" (51 x 61 cm)<br>Min = 0.2" x 0.2" (0.5 x 0.5 cm)                 | Any shape                            |
| <b>Device thickness</b>                 | 0.008" to 0.050" (0.20 to 1.25 mm)   | Dependent on materials               |
| <b>Force Sensitivity Range</b>          | < 100 g to > 10 kg   | Dependent on mechanics               |
| <b>Pressure Sensitivity Range</b>       | < 1.5 psi to > 150 psi<br>(< 0.1 kg/cm <sup>2</sup> to > 10 kg/cm <sup>2</sup> ) | Dependent on mechanics               |
| <b>Part-to-Part Force Repeatability</b> | ± 15% to ± 25% of established nominal resistance                                 | With a repeatable actuation system   |
| <b>Single Part Force Repeatability</b>  | ± 2% to ± 5% of established nominal resistance                                   | With a repeatable actuation system   |
| <b>Force Resolution</b>                 | Better than 0.5% full scale  |                                      |
| <b>Break Force (Turn-on Force)</b>      | 20 g to 100 g (0.7 oz to 3.5 oz)   | Dependent on mechanics and FSR build |
| <b>Stand-Off Resistance</b>             | > 1MΩ  | Unloaded, unbent                     |
| <b>Switch Characteristic</b>            | Essentially zero travel  |                                      |
| <b>Device Rise Time</b>                 | 1-2 msec (mechanical)  |                                      |
| <b>Lifetime</b>                         | > 10 million actuations  |                                      |
| <b>Temperature Range</b>                | -30°C to +70°C   | Dependent on materials               |
| <b>Maximum Current</b>                  | 1 mA/cm <sup>2</sup> of applied force  |                                      |
| <b>Sensitivity to Noise/Vibration</b>   | Not significantly affected   |                                      |
| <b>EMI / ESD</b>                        | Passive device   |                                      |
| <b>Lead Attachment</b>                  | Standard flex circuit techniques   |                                      |

Figura 34: Tabla de características generales FSR

#### 1.2.1.1 Obtención de los valores

Para obtener los valores a través del sensor, hay que tener en cuenta que, como se ha mencionado anteriormente y como su nombre indica, lo que obtenemos con los FSR es una variación de la resistencia.

En la *figura 33*, se muestra la representación de la resistencia en función de la fuerza aplicada en su área activa. Se observa el comportamiento típico de un FSR, a valores pequeños o nulos de fuerza se obtienen resistencias altas (1Mohms), disminuyendo la misma cuando vamos aplicando fuerza.

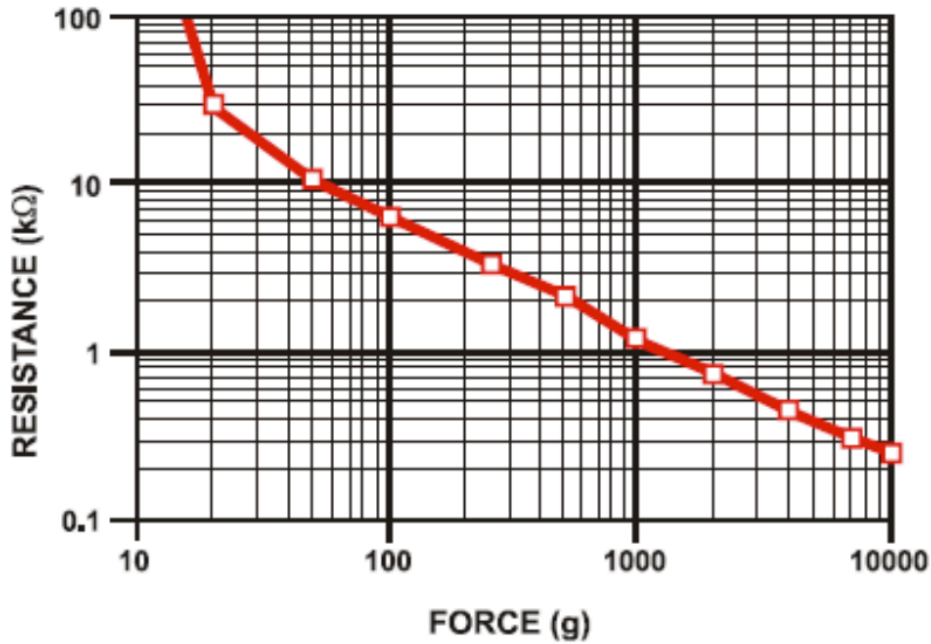
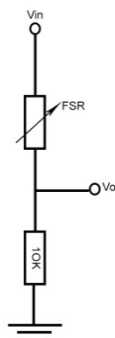


Figura 35: Representación Fuerza vs Resistencia

Para obtener valores deseados para nuestra tabla, utilizamos un partidor de tensión a través del cual variamos la tensión de salida del partidor en función de la presión que hagamos en el sensor. Dicho partidor vendrá expuesto de la siguiente forma:



$$V_o = V_{in} \frac{R(10K)}{R(10K) + R(FSR)}$$

Como se puede observar, a medida que aumentamos la presión, disminuirá la resistencia aproximándose cada vez más a que la salida sea igual a la entrada (aumenta la tensión en la salida al aumentar la presión). Vo es lo que conectaremos a la entrada analógica de nuestra placa arduino.

### 5.2.2. Controlador

Como se ha comentado anteriormente, para el control del sistema se utiliza una placa arduino. Estas placas contienen un microcontrolador, puertos digitales y analógicos de entrada y salida, los cuales se conectan con sensores, actuadores u otras placas de expansión. Por otra parte, estos controladores contienen una conexión USB a través de la cual se le pasa el programa realizado a través del software.

Por otra parte, el software consiste en un entorno de desarrollo basado en el entorno Processing (lenguaje de programación y entorno de desarrollo basado en java) y lenguaje de programación basado en Wiring, además del cargador de arranque que es ejecutado en la placa.

Esta información es la que podemos encontrar en cualquier página de búsquedas o de electrónica. Podríamos extendernos debido a la cantidad de información que se puede encontrar en la red. Por ello, se aporta una breve introducción para, a continuación, proceder a aplicarlo en este proyecto.

Como se comentó en apartados anteriores, en la placa arduino nosotros recogemos la información que nos aportan los sensores FSR a través de las entradas analógicas de la misma.

A través de la entrada analógica convertimos la señal en digital, para ello, debido a que la placa arduino UNO tiene 10 bits de resolución obtendremos  $2^{10}$  niveles digitales, es decir, obtendremos 1024 niveles digitales. Por ejemplo, si le entran 2,27V (sabiendo que el valor máximo es 5 en el cual estaremos en el máximo nivel) obtendremos un valor digital de  $2,27 \cdot (1024/5)$ , de dicha cuenta obtendremos un nivel digital de 465, que será el valor que se utilizará para la aplicación deseada.

En nuestro caso disponemos de un partidor de tensión alimentado por 5 voltios, por lo tanto obtendremos a la salida del mismo una tensión entre 0 y 5 en función de la variación de la resistencia causada por la presión del sensor.

Una vez entendido el funcionamiento de la entrada analógica, se procede a explicar el funcionamiento a través del cual nosotros cumpliremos con nuestros objetivos. El código

realizado cumplirá los siguientes requerimientos para el funcionamiento de la tabla de surf eléctrica:

- Interacción usuario-máquina. Inicialmente el usuario encenderá la tabla a través de un interruptor.
- Calibrado del peso del usuario.
- El funcionamiento de la tabla estará determinado en función del modo que elija el usuario. Sabiendo que los sensores están dispuestos bajo el amarre más próximo a la punta (figura 35), se seguirán las siguientes especificaciones:



*Figura 36: Situación de los sensores*

#### MODO 1:

Al seleccionar el modo 1, el usuario podrá aumentar o disminuir el giro de los motores, y por ello, la velocidad de la tabla de surf, ejerciendo mayor o menor presión en los sensores.

#### MODO 2:

Al seleccionar el modo 2, el usuario deberá ejercer mayor presión sobre el sensor colocado en el lado al que quiere girar. A continuación, se activará el motor que se encuentra al otro lado, facilitando de esta forma el giro (tal y como se muestra en la figura 36). Este modo es utilizado cuando el oleaje es mayor y se desean giros rápidos.



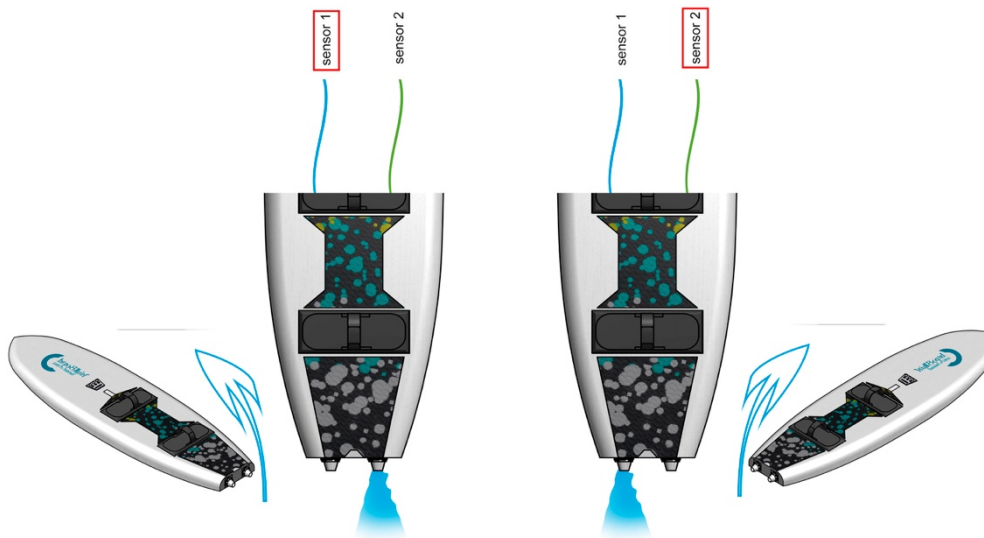


Figura 27: Giro en función del modo.

Para cumplir con dichos requerimientos previamente dichos, se ha realizado el siguiente código:

Inicialmente declaramos las variables a utilizar en el programa y los pins que pertenecen a cada una de las entradas y salidas.

```

12 int fsrAPin = 0; // Sensor 1 conectado al pin analogico 0
13 int fsrAPin2 = 1; //Sensor 2 conectado al pin analogico 1
14 int fsrLectura1; // Lectura del sensor 1
15 int fsrLectura2; // Lectura del sensor 2
16 int pesomax [5];
17 int calibrado=1000; //Es el valor de la media entre las 5 medidas tomadas al usuario (valor referencia 1000)
18 int calibPin=12; //Variable de calibración (PULSADOR)
19 int pinmodo1=2; //Pin selector modo (Si está a 1 (high) es modo 1 y si está a 0 (low) es modo 2)
20 int pinmodo2=7;
21 int modo1;
22 int modo2;
23 int peso;
24 //A continuación declaramos las variables de salida (Actuadores):
25 int motorder=3;
26 int motorizq=5;
27 int led1=6;
28 int led2=9;
29 int led3=10;
30 int led4=11;
31 int ledcalib=4; //LED de calibración
--

```

A continuación, definimos el tipo de cada pin (entrada o salida) dentro de la función setup().

```

33 void setup(void) {
34   Serial.begin(9600);
35   pinMode(calibPin, INPUT);
36   pinMode(pinmodo1, INPUT);
37   pinMode(pinmodo2, INPUT);
38   pinMode(motorder, OUTPUT);
39   pinMode(motorizq, OUTPUT);
40   pinMode(led1, OUTPUT);
41   pinMode(led2, OUTPUT);
42   pinMode(led3, OUTPUT);
43   pinMode(led4, OUTPUT);
44   pinMode(ledcalib, OUTPUT);
45 }

```

A continuación, iniciamos el proceso cíclico a través del cual definimos el código de control del circuito.

En primer lugar aplicamos a las variables declaradas inicialmente, el valor de la lectura de los sensores. Además declaramos 3 variables más que representan la presión realizada frente a la calibración del sistema.

```

46 void loop(void) {
47 |
48   fsrLectura1 = analogRead(fsrAPin); //Lectura sensor 1
49   fsrLectura2 = analogRead(fsrAPin2); //Lectura sensor 2
50   peso=(fsrLectura1+fsrLectura2)/2; //Calculo de la presión ejercida en los sensores (media)
51   modo1=digitalRead(pinmodo1); //Estado del selector en modo 1
52   modo2=digitalRead(pinmodo2); //Estado del selector en modo2
53   int bajo=calibrado/4; //Nivel de presión con respecto al calibrado (estados bajo, medio y alto)
54   int medio=calibrado/2;
55   int alto=calibrado;

```

En segundo lugar se muestra la parte del código a través de la cual calibramos el sistema en función del peso máximo del usuario. Para tras pulsar un botón comenzará a obtener valores de los sensores y se lo suma al valor anterior para finalmente realizar la media entre las 5 medidas y los dos sensores.

```

56
57 //CODIGO DE CALIBRADO
58
59 if(digitalRead(calibPin)==LOW){ //Declaramos la función para obtener el valor de calibración
60   for(int i=0;i<=4;i++){
61     pesomax[i]=(fsrLectura1 + fsrLectura2) + pesomax[i-1];
62     delay(1000);
63     if(i==4){
64       analogWrite(ledcalib,254);
65       delay(1000);
66       analogWrite(ledcalib,0);
67     }
68   }
69   calibrado=pesomax[4]/10;
70   Serial.println("Valor calibrado: ");
71   Serial.println(calibrado);
72 }
73

```

Una vez el usuario ha calibrado la tabla con su peso, el siguiente paso será elegir el modo de uso. Como se comentó anteriormente, la tabla dispone de dos modos de uso, en primer lugar, el usuario modificará la velocidad de los motores de los diferentes propulsores aplicando presión sobre el amarre del pie más próximos a la punta de la tabla, amarre donde se encuentran los sensores. Este modo, al que se ha denominado “Modo 1” viene descrito mediante el siguiente código:

```

74 // MODO DE USO 1:
75 if (modo1 == HIGH){
76   if(peso<=(1)){
77     analogWrite(led1,0);
78     analogWrite(led4,0);
79   }
80   if(peso>(1) && peso<=(bajo)){
81     analogWrite(motorder,64); //Valor máximo de la señal PWM por el porcentaje 0,25
82     analogWrite(motorizq,64);
83     analogWrite(led1,254);
84     analogWrite(led2,0);
85     analogWrite(led3,0);
86     analogWrite(led4,0);
87   }
88   if(peso>=(bajo) && peso<=(medio)){
89     analogWrite(motorder,130); //Valor máximo de la señal PWM por el porcentaje 0,5
90     analogWrite(motorizq,130);
91     analogWrite(led1,254);
92     analogWrite(led2,254);
93     analogWrite(led3,0);
94     analogWrite(led4,0);
95   }
96   if(peso>=(medio) && peso<=(alto)){
97     analogWrite(motorder,190); //Valor máximo de la señal PWM por el porcentaje 0,75
98     analogWrite(motorizq,190);
99     analogWrite(led1,254);
100    analogWrite(led2,254);
101    analogWrite(led3,254);
102    analogWrite(led4,0);
103  }
104  if(peso>(alto)){
105    analogWrite(motorder,254);
106    analogWrite(motorizq,254);
107    analogWrite(led1,254);
108    analogWrite(led2,254);
109    analogWrite(led3,254);
110    analogWrite(led4,254);
111  }
112 }

```

Se puede observar que utilizando las variables anteriormente declaradas (que representan una presión determinada en función del peso máximo o calibrado del usuario) y la presión (llamada peso) que ejerza el usuario, se obtendrá una velocidad determinada (nivel de salida de la señal PWM), y aumentará el número de leds encendidos.

A continuación, se muestra el código para el “Modo 2”.

```

114 // MODO DE USO 2:
115
116 //Se debe tener en cuenta que para que gire a la derecha se debe activar el motor de la izquierda y para girar a la izquierda se debe activar el motor de la derecha
117
118 if(modos == HIGH){
119   if(fsrLectura1>fsrLectura2){ //El usuario desea girar a la derecha
120     if(fsrLectura1<(medio)){
121       analogWrite(motorDer, 0);
122       analogWrite(motorIzq, 127); //A media velocidad
123       analogWrite(Led1, 50); //Encenderemos el led 1 se se va hacia la izquierda lado o el led 4 si se va hacia la derecha
124       analogWrite(Led4, 0);
125     }
126     else if(fsrLectura1>(medio)){
127       analogWrite(motorDer, 0); //A alta velocidad
128       analogWrite(motorIzq, 254);
129       analogWrite(Led1, 254);
130       analogWrite(Led4, 0);
131     }
132   }
133   if(fsrLectura2>fsrLectura1){ //El usuario desea ir a la izquierda
134     if(fsrLectura2<(medio)){
135       analogWrite(motorDer, 127);
136       analogWrite(motorIzq, 0);
137       analogWrite(Led4, 50);
138       analogWrite(Led1, 0);
139     }
140     else if(fsrLectura2>(medio)){
141       analogWrite(motorDer, 254);
142       analogWrite(motorIzq, 0);
143       analogWrite(Led4, 254);
144     }
145   }
146   if(fsrLectura1==0 && fsrLectura2==0){ //Cuando no hay peso no se encienden ningún led y se paran los motores
147     analogWrite(Led4, 0);
148     analogWrite(Led1, 0);
149     analogWrite(motorDer, 0);
150     analogWrite(motorIzq, 0);
151   }
152 }
153
154 }
155 }

```

En este caso se observa que se han disminuido los niveles de velocidad a los que se pueden controlar los motores. En cambio, en función de en cual sensor haga presión el usuario, podrá activar un motor u otro, lo que le permitirá girar con mayor facilidad.

### 5.2.3. Circuito de control de motores

Para la demostración del funcionamiento de nuestra tabla, utilizaremos motores de 12V. Debido a que la placa arduino aporta hasta 5v, no obtendríamos la velocidad máxima deseada, por lo que no se apreciarían los cambios debido a la presión de los sensores. Por todo esto y además, en caso de que se utilicen otros motores que consuman más corriente de la que permite la placa y la quememos, se ha aplicado un circuito de control a partir de transistores NPN.

Por lo tanto, a través del transistor se permite controlar un circuito con una corriente y una tensión más elevada que la permitida por la arduino. Su funcionamiento es muy sencillo pues

funciona como un interruptor, cuando el transistor da una corriente de base ( $I_b$ ) superior de cero, funciona como un circuito cerrado y permite que circule la corriente del colector al emisor.

Para nuestra aplicación, hemos utilizado un transistor NPN TIP122, es un transistor tipo Darlington de potencia que puede conmutar hasta 100V y 5A.

Por otra parte, en la figura 37 se observa que se ha utilizado un diodo paralelo al motor. Esto se ha utilizado para eliminar el pico de tensión de retorno que se produce cuando la alimentación del motor cae o sube muy rápido, consiguiendo así proteger el motor.

El montaje de nuestro circuito para el control de los motores viene dado tal y como se muestra en la siguiente figura:

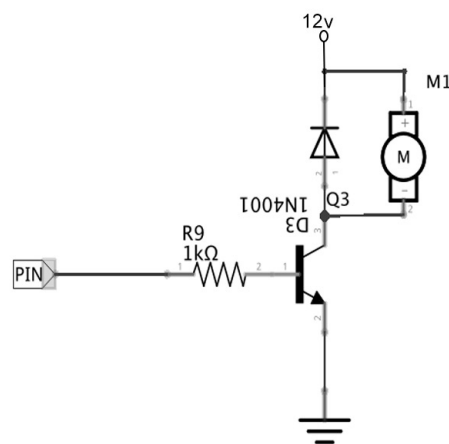


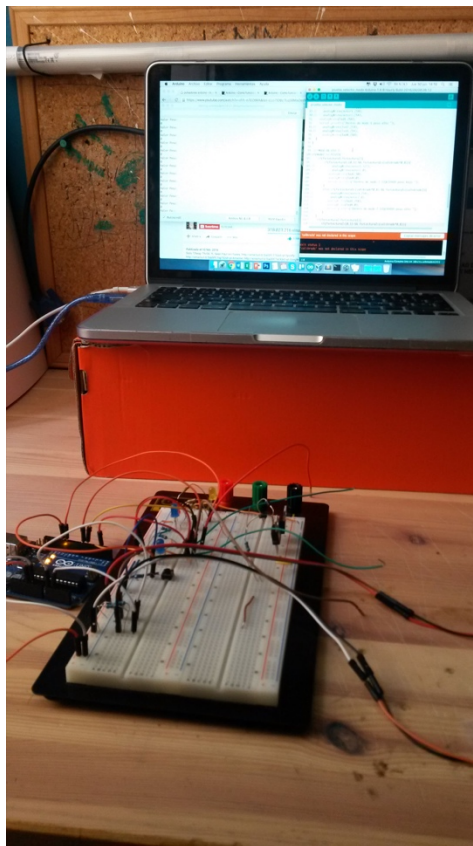
Figura 38: Circuito control motores

Como se puede observar en la figura anterior, el circuito de control va conectado a uno de los pines de salida PWM de la placa arduino. Con esto permitimos variar la velocidad en función de la presión realizada, y finalmente cumplir nuestros objetivos, los cuales se muestran en el siguiente apartado.

#### 5.2.4. Resultado final

El resultado final se representa en un modelo para mostrar como funcionarían los sensores dentro del control, los modos que incluyen y finalmente una especie de contacto con el que sería el producto final (parte electrónica).

Para ello inicialmente se realizaron las medidas oportunas y se desarrollaron los códigos para que todo vaya correctamente (los códigos mostrados en apartados anteriores).



*Figura 39: Desarrollo del código con la electrónica*

Una vez teníamos el código y en una placa protoboard el circuito funcionaba correctamente, se procedió a realizar el circuito en una placa de baquelita tipo topo (con agujeros ya realizados), tal y como se muestra en la figura 39.

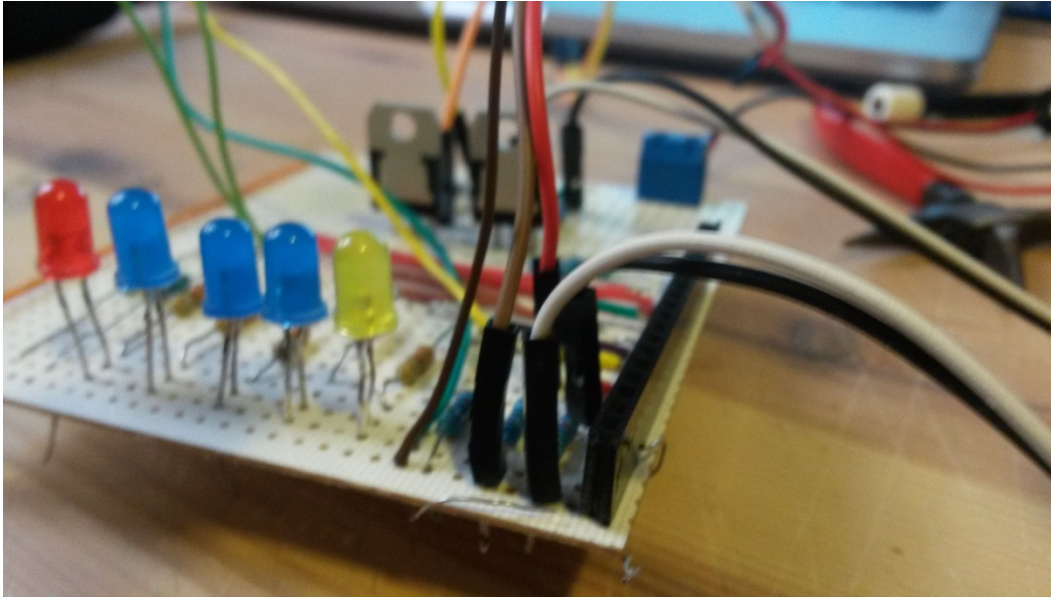


Figura 40: Elaboración de la placa

Finalmente se realizó el montaje en una superficie adecuada para mostrar el resultado y, como se muestra a continuación, así quedó el resultado final.



Figura 41: Ejemplo con los leds.

Dentro de la caja se incluye toda la electrónica. En los exteriores, se han realizado agujeros para permitir el paso de los interruptores, pulsadores y alimentación.

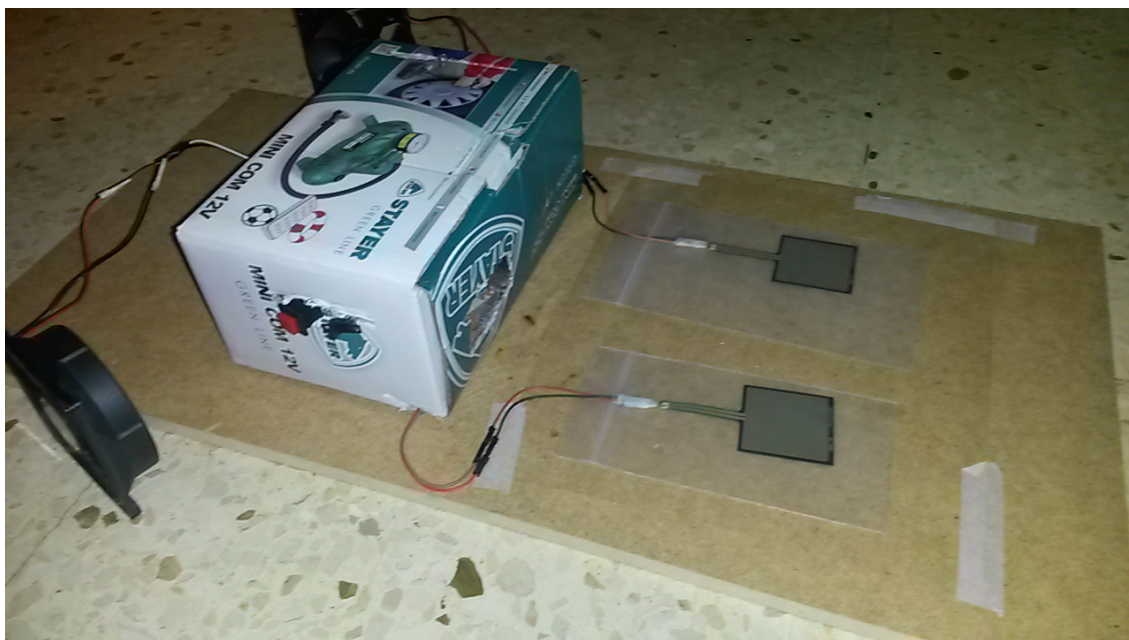


Figura 42: Lado izquierdo del montaje.

## 6. Protección contra la penetración de agua

A la hora de diseñar embarcaciones u objetos que estarán sumergidos total o parcialmente en líquidos conductores (en nuestro caso el agua), y que en su interior disponen de circuitos electrónicos. Una de las preguntas que más se repiten es como hacer que el agua no penetre en el interior y produzca cortocircuitos. A esta cualidad se la denomina *Estanqueidad*. Por su definición en el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (RAE), la estanqueidad es la cualidad de lo que es estanco, cerrado o incomunicado. En embarcaciones o sistemas acuáticos la estanqueidad es la cualidad que asegura que el agua no penetre en el interior del barco.

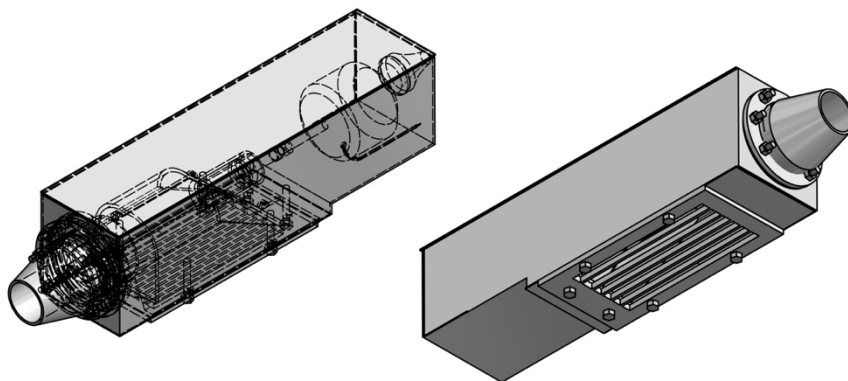
Esta cualidad es muy importante y podríamos decir que la más importante de la construcción de nuestra tabla. En los siguientes apartados se muestra como se protegerán los diferentes elementos que la forman.

### 6.1. Protección del sistema de propulsión

El sistema de propulsión presenta un motor por el cual pasan altas intensidades y que, en caso de que le entre agua y por ello cause un cortocircuito podría producir daños a la tabla y en niveles extremos, al propio usuario.



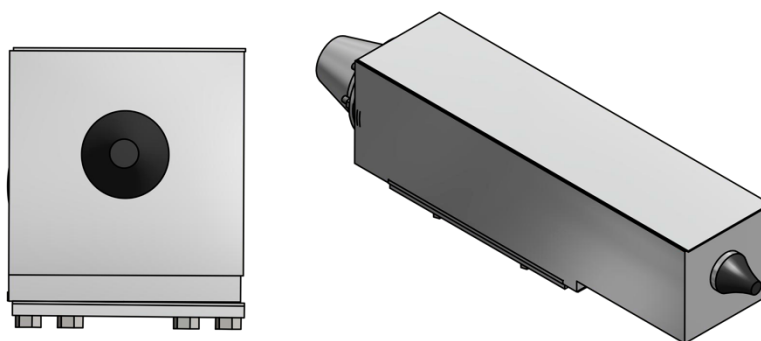
Para su protección, se utilizará una caja adaptada a la ergonomía del propio sistema y de la tabla (Figura 42).



*Figura 43: Caja protección contra la penetración de agua en el sistema de propulsión*

Dicha caja se construirá a partir de láminas de aluminio debido a su gran resistencia a la corrosión y al agua de mar, además de de ser un metal poco pesado.

Por otra parte, el conducto que lleva los cables hacia el resto de circuitos (Figura 43). Incorpora juntas de goma unidas al resto del conjunto, para evitar que entre agua tanto en el conducto de cables como en el propio sistema de propulsión.



*Figura 44: Junta de unión con el cableado*

Esta caja irá incrustada en la parte trasera de nuestra tabla, pegada de tal forma que soporte las vibraciones de la tabla en movimiento y otros agentes que pueden, en cierto modo, perjudicarlo.

## 6.2. Protección del sistema electrónico y alimentación

Tras ver la protección del sistema de propulsión, no cabe duda de la importancia que tiene adecuar y proteger el sistema electrónico. Por ello, se ha seguido el método de protección contra la penetración de agua utilizada para el sistema anterior.

En primer lugar el “cerebro” o controlador de la tabla estará introducido en una caja de aluminio en la cual uno de sus caras podrá ser separada para tener acceso a su interior y arreglar los componentes en caso de rotura o mal funcionamiento (Figura 44). Incluye, al igual que el anterior, unas juntas protectoras que conectan con el conducto para el cableado, para evitar que entre el agua por esos conductos.

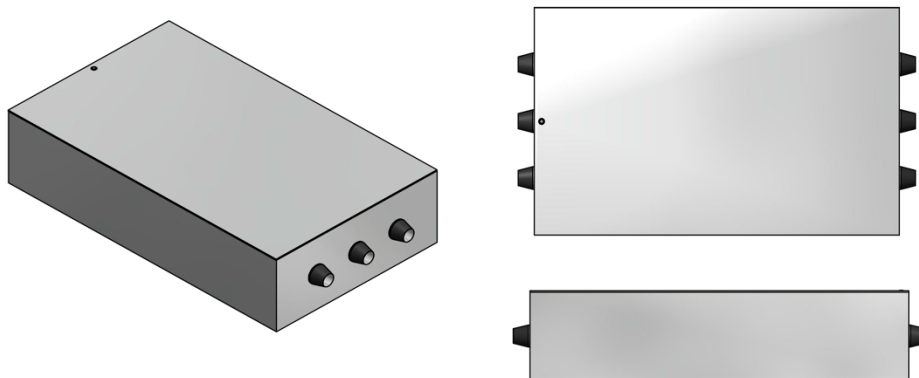


Figura 45: Caja protectora circuito de control

Por otra parte, para la protección de los sensores se ha dispuesto de un conjunto que incluye los amarres para los pies y bajo ellos una caja totalmente protegida contra la penetración de agua, así como el conducto por el que salen los cables, que al igual que los anteriores, irán protegidos por unas juntas de goma especiales (Figura 45).

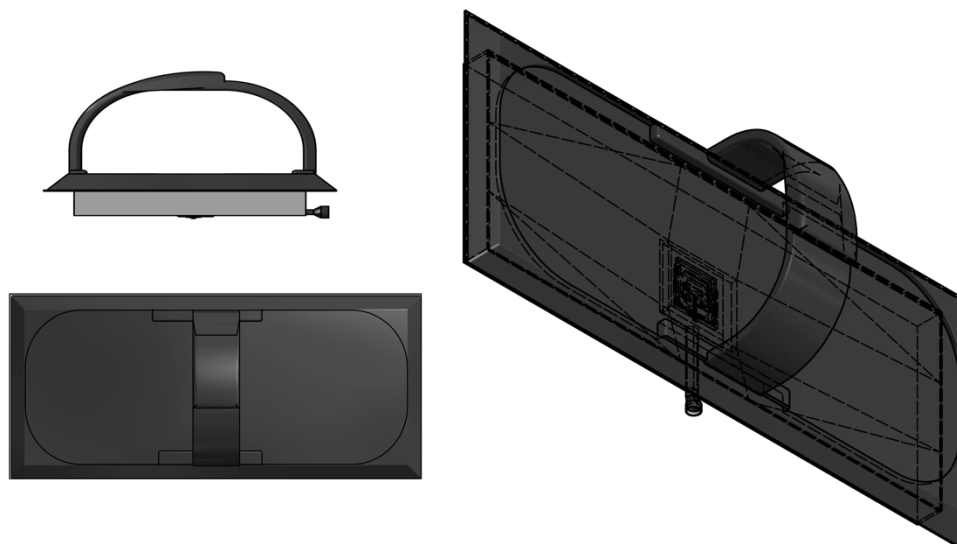


Figura 46: Protección contra penetración del agua, sensores.

Finalmente, otra de las partes más importantes del sistema electrónico es el sistema de alimentación. Para este caso se busca que sea de fácil acceso e intercambiables. Es por ello que uno de los principales requisitos es que se encuentre en la superficie de la tabla y que bajo ningún concepto pueda entrar agua. Utilizando para ello el mismo método que para proteger el circuito de control.

La caja vendrá dada de la siguiente manera:

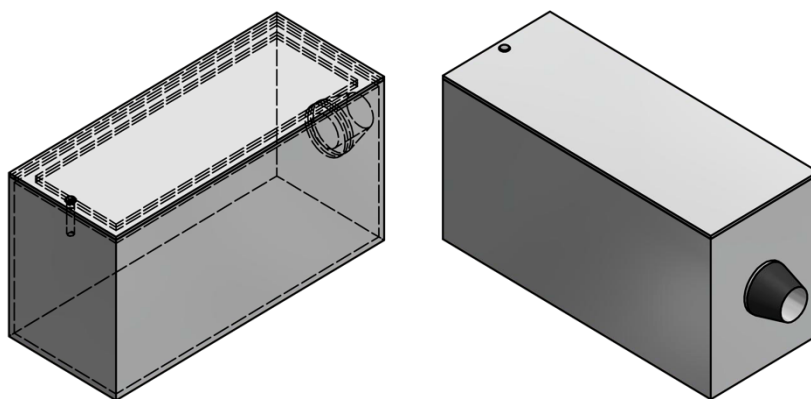


Figura 47: Protección contra penetración de agua, baterías

Todas las figuras anteriormente añadidas pertenecen al modelo virtual de los componentes de la tabla. En el apartado de anexos se observarán con mayor detalle.

## 7. Ubicación de los componentes y Diseño Final

### 7.1. Ubicación de los componentes

La ubicación de los componentes debe decidirse cuidadosamente debido a la flexibilidad del material del que estará fabricada la tabla de surf. Además, se debe intentar no alterar algunos factores como pueden ser la flotabilidad o la estabilidad.

#### 7.1.1. Ubicación del sistema de propulsión

Como se ha mencionado en apartados anteriores de este mismo documento, se utilizarán dos propulsores por lo que la situación de ambos debe ser simétrica para evitar desequilibrios. En la figura 47 se muestra la ubicación de estos componentes:

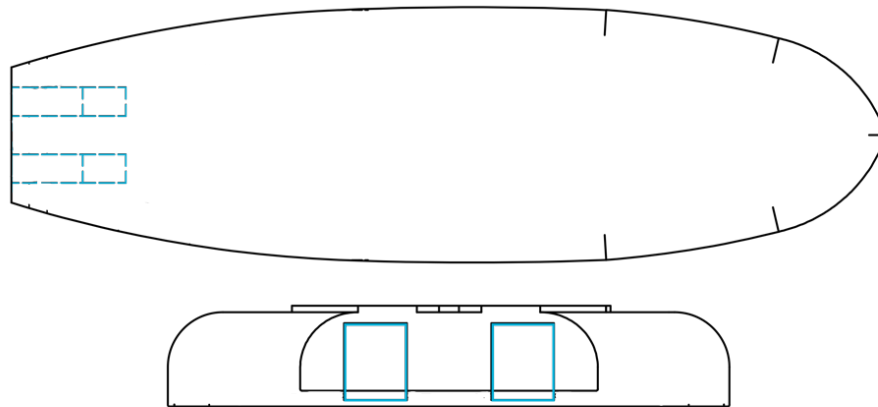


Figura 48: Ubicación del sistemas de propulsión

#### 7.1.2. Ubicación del circuito de control

Este componente de la tabla es uno de los componentes más sensibles y el cual su ruptura lleva a la inutilización por completo de la tabla. Es por ello que debe ser situado en una posición que esté totalmente protegida y que, en caso de que la tabla choche contra otro objeto, no se de la

posibilidad de que esta se desprenda. Por otra parte, puesto que todos los componentes de la tabla se llegan a esta parte, debe estar situado en un punto central donde no intervenga con otros componentes. A continuación se observa su ubicación:

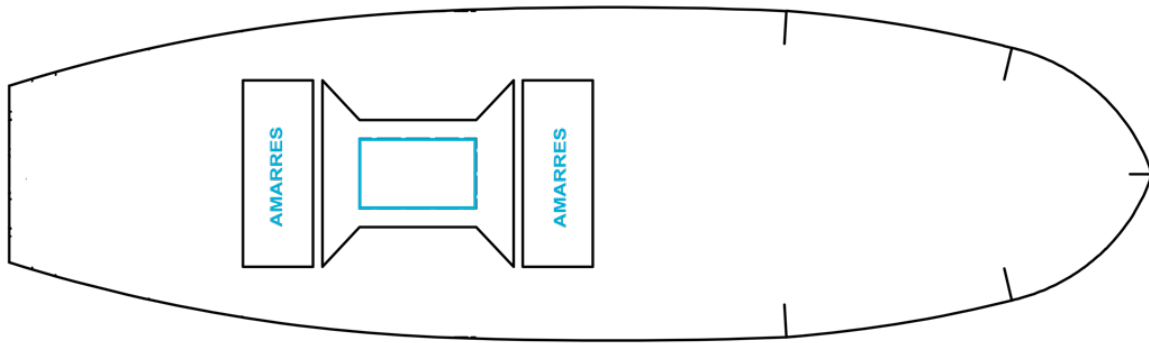


Figura 49: Ubicación circuito de control

### 7.1.3. Ubicación de los sensores

El objetivo principal de los sensores, como se ha mencionado en apartados anteriores, es detectar la variación de la presión ejercida por el usuario para que se realice el movimiento. Es por ello que estos deben ir colocados en la zona donde se muestra a continuación, es decir, justo debajo del amarre tal y como muestra la figura 49.

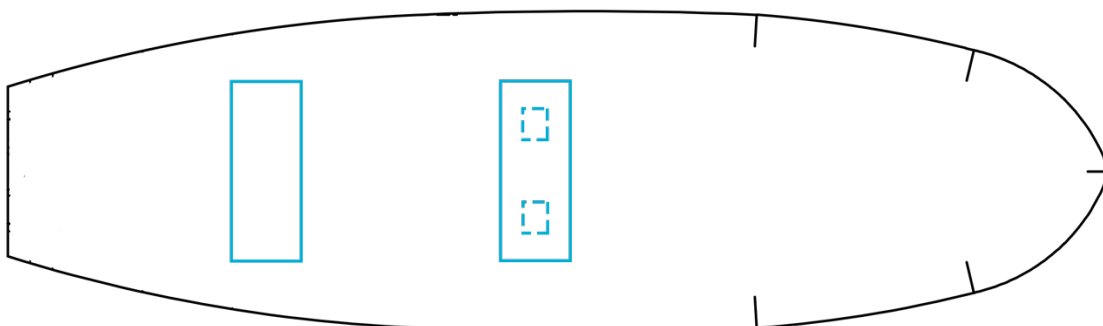


Figura 50: Ubicación sensores de presión

#### 7.1.4. Ubicación caja de baterías

Este componente, al igual que el circuito de control, es un parte muy sensible de la tabla por lo que deberá ir situado en una zona céntrica de la tabla donde no haya otro componente.

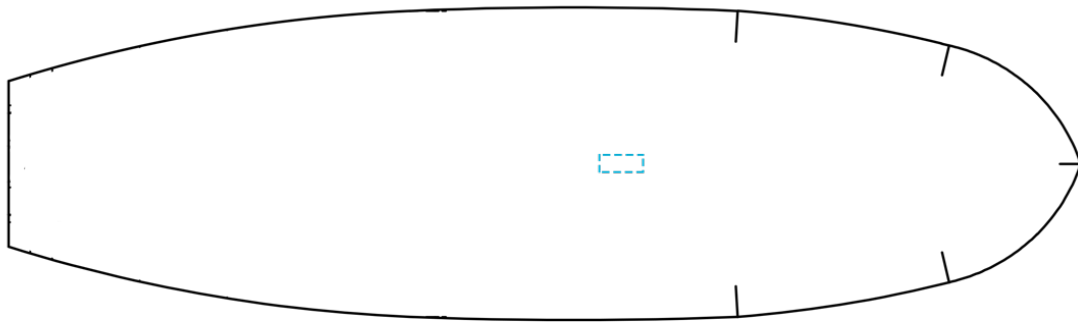


Figura 51: Ubicación caja de baterías

#### 7.1.5. Botonera

A través de la botonera el usuario podrá encender, o calibrar los sensores, por lo tanto deberá estar situada en una zona donde llegue el usuario desde su posición normal. Y además, no deberá entorpecer el camino de otros componentes. Con esto, este componente se colocará como se muestra en la figura 51.

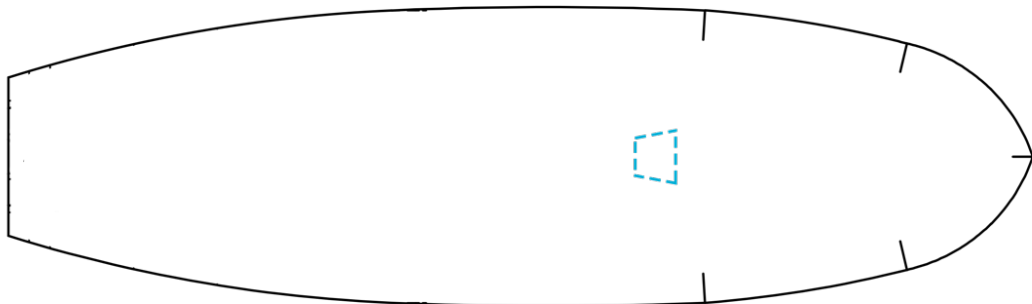
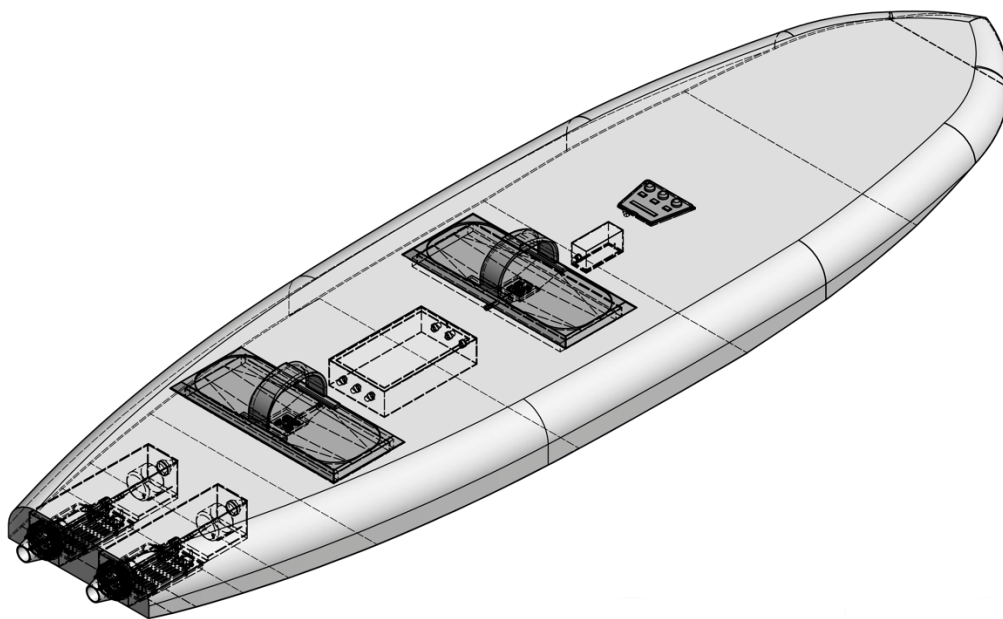


Figura 52: Ubicación de la botonera

### 7.1.6. Conclusión

Una vez tenemos situados todos los componentes se procede a mostrar la colocación final de cada uno de los componentes en la tabla. Como se ha comentado anteriormente, en el apartado *ANEXOS* se mostrará la tabla de forma más detallada.

El resultado con todos los componentes situados se muestra a continuación en la figura 52.



*Figura 53: Ubicación final de todos los componentes*

## 7.2. Diseño final

Decimos que es el diseño final al conjunto de la tabla que finalmente compone cada uno de los componentes previamente dichos, pasando de ser un boceto a un modelo en 3D completamente diseñado.

Previamente añadimos algunos elementos que se dispondrán en la tabla a modo de embellecedor y estos son una serie de gomas antideslizantes pegadas a la tabla, tal y como se muestra en la siguiente figura:

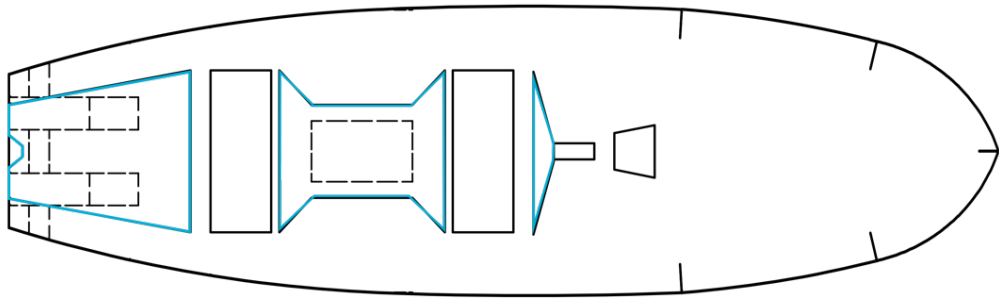


Figura 54: Componentes antideslizantes decorativos de la tabla

Una vez añadidos todos los componentes tanto necesarios como decorativos. Se mostrará a continuación el diseño final de la tabla de diferentes modelos, la cual posteriormente (en el apartado anexos) se observará con mayor detalle.



Figura 55: Modelo tabla de surf eléctrica



## **8. Conclusión del trabajo realizado**

### **8.1. Conclusión**

Tras la realización de este Trabajo de Fin de Grado, a través del cual se ha diseñado una tabla de surf eléctrica con sensores de presión para activar el movimiento, personalmente, he tenido la posibilidad de acercarme al ámbito profesional de la ingeniería, desarrollando actividades centradas en la investigación, la mejora continua y la innovación. Además, algunas de ellas, en las que se encuentran el diseño y modelado de la tabla, la búsqueda y contraste de información, la realización de circuitos electrónicos y muchas más, han sido una gran forma de aplicar conocimientos adquiridos en la titulación de una forma práctica.

Algunos de los conocimientos aplicados a lo largo del desarrollo del proyecto se muestran a continuación.

En primer lugar, la capacidad de investigación ha sido clave a la hora del desarrollo del trabajo, desde la búsqueda inicial de la información, contrastarla y aplicarla a cada una de las partes implicadas en el mismo, como pueden ser la ergonomía de la tabla, el estudio hidrodinámico de los propulsores, el diseño de los componentes, etc.

Por otra parte, el diseño de cada uno de los elementos que intervienen en la tabla de surf, tales como los propulsores, sensores, etcétera, han sido modelados con el Autodesk Inventor, programa utilizado en una asignatura de la titulación y el cual fue clave para mostrar de forma visual el resultado final.

Otros conocimientos aplicados durante el desarrollo del trabajo y que han sido dados en asignaturas de la titulación, han sido los cálculos electrónicos, programación de microcontroladores y cálculos hidrodinámicos.

En conclusión, el desarrollo de este trabajo ha sido una forma excelente para mejorar las competencias adquiridas al lo largo de la carrera y estar más preparado para un futuro profesional.

## 8.2. Conclusion (inglés)

Through the realization of this Final Degree Project, which consists in the design of an electric surfboard with pressure sensors to activate the movement, I have had the opportunity to approach the professional field of engineering, developing activities focused on research, continuous improvement and innovation. Moreover, some of them have been a great way to apply all the knowledge acquired in the degree, such as the design and modelling of the surfboard, the information search and contrast, the realization of electronic circuits and more.

Some of the knowledge applied throughout the project development are shown below.

On the one hand, the research capacity has been key in the development of the work, from the initial information search and contrast to its application to each one of the parts involved in it, such as the ergonomics of the surfboard, the hydrodynamic study of the drive motors, the design of the components, etc.

On the other hand, the design of each one of the elements which take part in the surfboard (waterjet, sensors, etc.) have been modeled with Autodesk Inventor, the program used in a subject of the degree, which was key to visually show the final result.

Other aspects involving different subjects of the degree which have been also applied during the development of the project are the electronic calculations, microcontroller programming and hydrodynamic calculations.

In conclusion, the development of this work has been an excellent way to improve the skills acquired throughout the career and to be more prepared for a professional future.

## 9. Referencias Bibliográficas

[1] Antonio Quereda Laviña, “El rendimiento en el sistema propulsivo por chorro de agua”, Madrid, 1998.

[2] Base Surf Camp, *Elección altura tabla*.

<http://www.basesurfcamp.com/2013/09/20/elegir-tu-tabla-de-surf-correctamente/>

[3] Finmarpropulsionnaval, 24 de enero del 2016. *Métodos de propulsión de embarcaciones*.

<http://finmarpropulsionnaval.blogspot.com.es/>

[4] Manual programación Arduino, *Zona Makers*. Libre licencia, 2015.

[5] Martín Zawilla, *Enciclopedia del surf*.

<https://surfn soul.com/es/presse/lexikon.shtml>

[6] Mundo-surf. Materiales para la fabricación de tablas de surf.

<http://www.mundo-surf.com/es/module/csblog/post/21-4-los-materiales-para-hacer-una-tabla-de-surf.html>

[7] Oriol Castaño Miquel y Julio García Espinosa, “*Diseño y construcción de un sistema wáter jet para tabla de surf*”, Universidad Politécnica de Cataluña 2013.

[8] Ripadores 2015. *Fundamentos y tipologías de tablas de surf*.

<http://www.ripadores.com/escoger-tabla-de-surf-cantos/>

[9] RobotiClab. *Force sensor*. Fundamentos sensores de fuerza.

<http://home.roboticlab.eu/en/examples/sensor/force>

[10] Santiago Ferrer Mur, *Blog Atmosferis*, 2 de Febrero de 2012. *Fundamentos Hidrodinámicos del sistema de propulsión por chorro de agua*.

<http://www.atmosferis.com/propulsion-a-chorro-marina-waterjet-introduccion/>

[11] Shape 3D. *Diseño de tablas de surf*.

<http://www.shape3d.com/>

[12] Shape 3D X, *Manual del Usuario* 2015.

[13] TodoSurf Magazine. *Desde la Polinesia con amor... Una historia de pasión entre el océano, la tabla y el hombre*; La historia del Surf.

<http://www.todosurf.com/magazine/surfologia/historia-del-surf-surf-2168.htm>

[14] TodoSurf Magazine. *Tipos de tablas de surf*.

<http://www.todosurf.com/magazine/surfologia/tipos-de-tablas-de-surf-surf-2165.htm>



**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA,  
SECCIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**ANEXOS**

“Diseño de una tabla de surf eléctrica con activación del movimiento mediante sensores de presión”

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

**Autor:** Ismael Arias Díaz

**Tutor:** Jonay Tomás Toledo Carrillo

**Curso:** 2015/2016

# **ANEXO 1**

## **COMPONENTES DE LA TABLA**

# **ANEXO 1.1**

## **TABLA SIN COMPONENTES “PLANOS”**

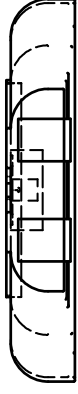
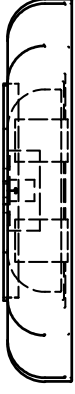
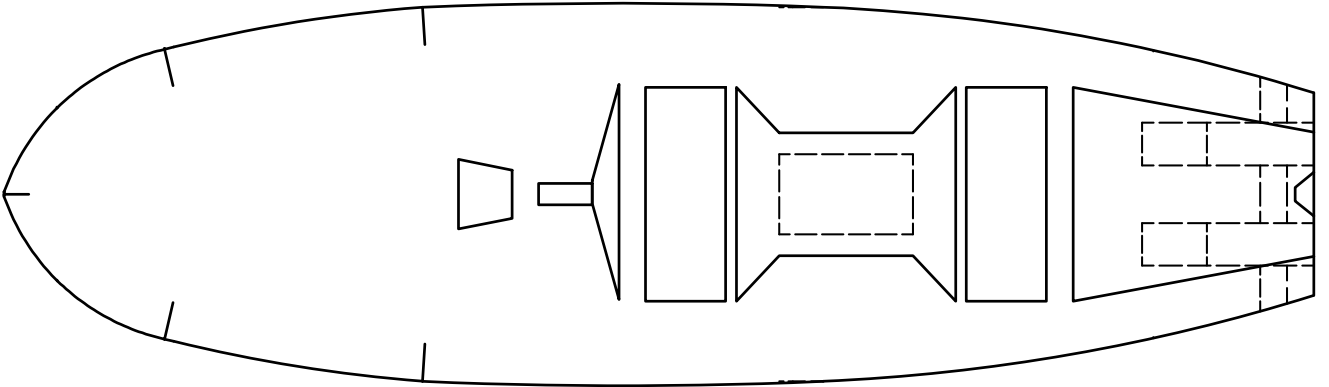
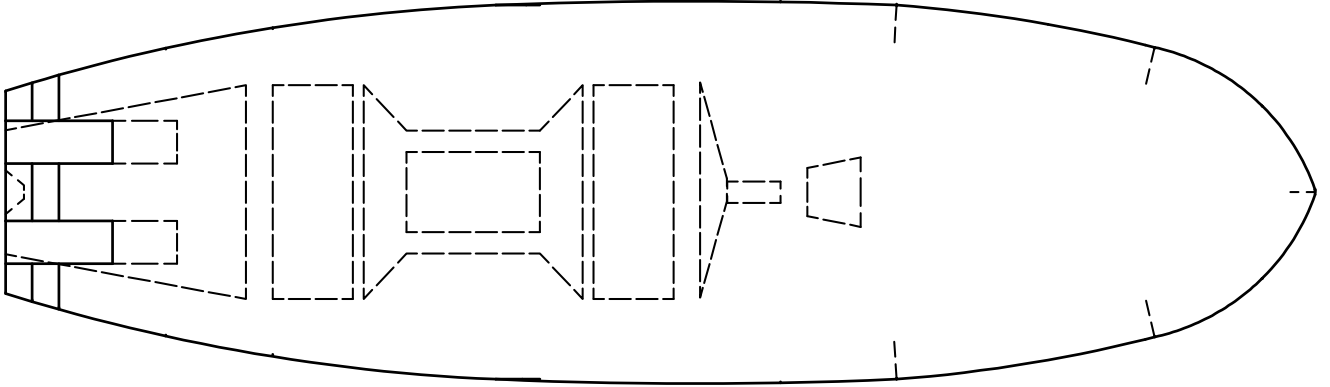



TABLA DE SURF ELÉCTRICA

|               |         |            |  |
|---------------|---------|------------|--|
| Dibujado      | Fecha   | Autor      | <br><b>ULL</b><br>Universidad<br>de La Laguna |
| Comprobado    | 12-2015 | Ismael     |  |
| Id. s. normas | 6-2016  | Arias Díaz |  |
| UNE-EN-DIN    |         |            |  |

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
 Ingeniería Electrónica Industrial y Automática  
 Universidad de La Laguna

|         |                       |                     |
|---------|-----------------------|---------------------|
| ESCALA: | TABLA SIN COMPONENTES | Nº P.:              |
| 1:10    |                       | Nom-Arch: tabla.ipt |



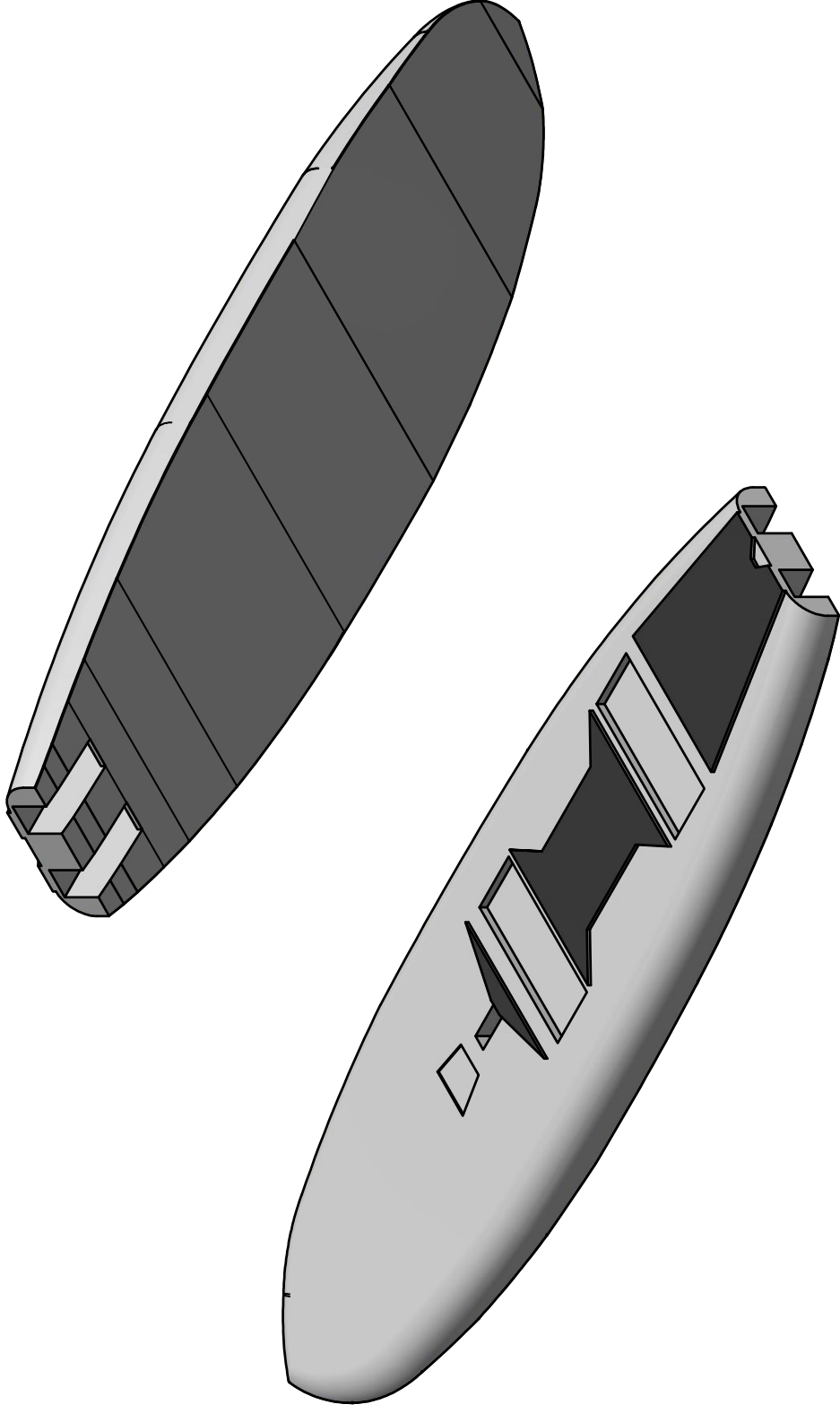



TABLA DE SURF ELÉCTRICA

|   |                          |   |  |
|---|--------------------------|---|--|
|  |                          | <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA</b><br>Ingeniería Electrónica Industrial y Automática<br>Universidad de La Laguna |  |
| Dibujado  | Fecha                    | Autor   |  |
| Comprobado  | 12-2015                  | Ismael  |  |
| Id. s. normas   | 6-2016                   | Arias Díaz  |  |
|   |                          | UNE-EN-DIN  |  |
| ESCALA:   | TABLA 3D SIN COMPONENTES |   |  |
| 1:10  | Nº P.:                   |   |  |
|   | Nom-Arch: tabla.ipt      |   |  |

## **ANEXO 1.2**

### **SISTEMA DE PROPULSIÓN “PLANOS”**

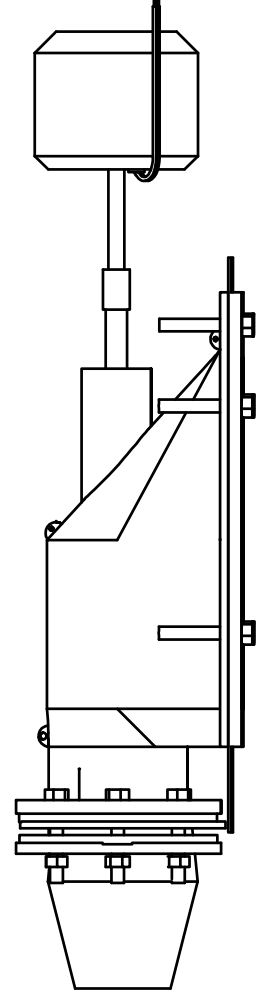
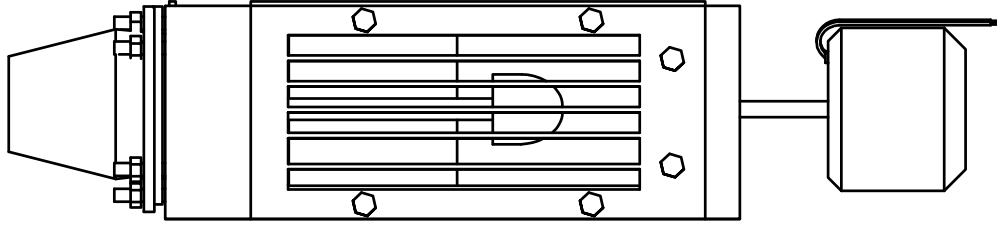
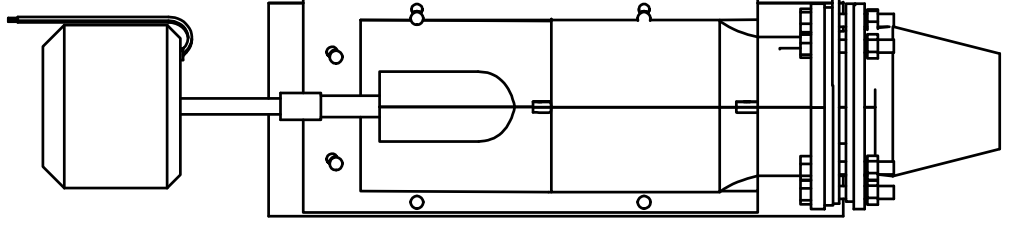


TABLA DE SURF ELÉCTRICA

|               |            |                       |        |   |   |
|---------------|------------|-----------------------|--------|---|---|
| Dibujado      | 12-2015    | Autor                 | Ismael | <br><b>ULL</b><br>Universidad<br>de La Laguna | <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA</b><br>Ingeniería Electrónica Industrial y Automática<br>Universidad de La Laguna |
| Comprobado    | 6-2016     | Arias Díaz            |        |   |   |
| Id. s. normas | UNE-EN-DIN |                       |        |   |   |
| ESCALA:       | 1:2        | SISTEMA DE PROPULSIÓN |        | Nº P.:  |   |
|               |            |                       |        | Nom.Arch:                                     | ENSAMBLAJE_PIEZAS_sinPROTECTOR.iam  |

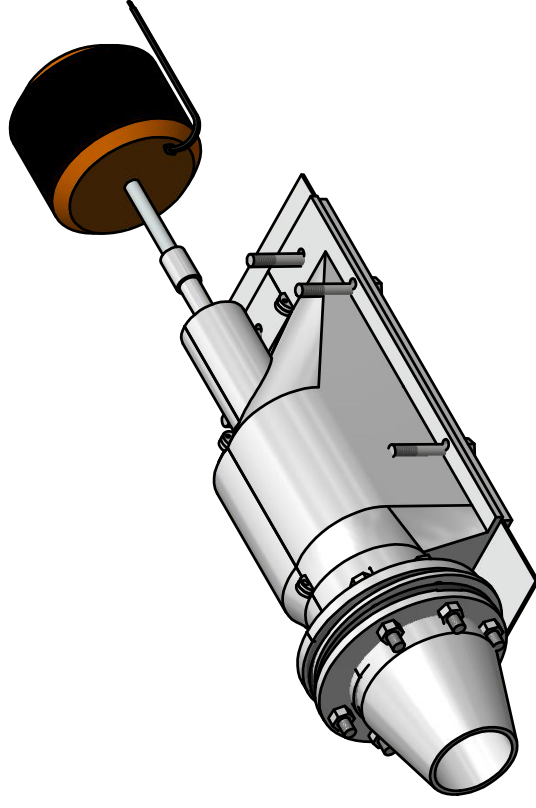
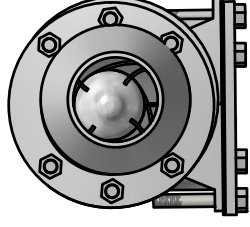
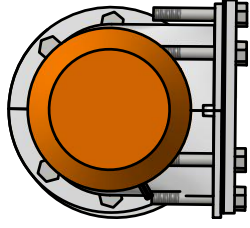
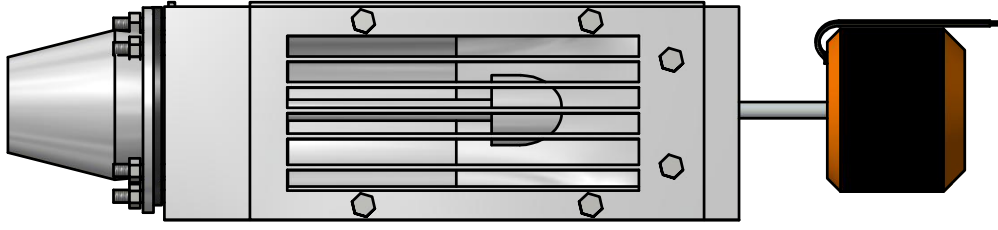
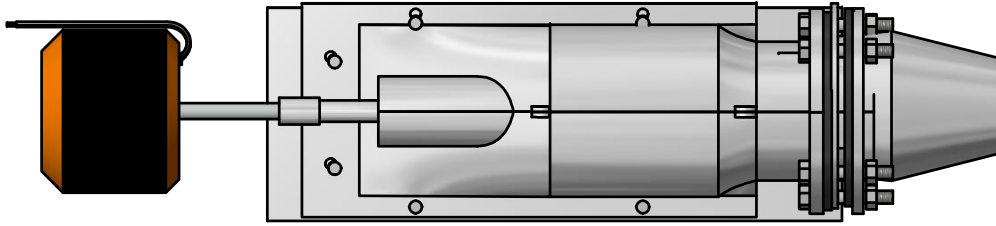



TABLA DE SURF ELÉCTRICA

|                |            |                          |        |  |
|----------------|------------|--------------------------|--------|--|
| Dibujado:      | 12-2015    | Autor:                   | Ismael |  ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Ingeniería Electrónica Industrial y Automática<br>Universidad de La Laguna |
| Comprobado:    | 6-2016     | Arias Díaz               |        |  |
| Id. s. normas: | UNE-EN-DIN |                          |        |  |
| ESCALA:        | 1:2        | SISTEMA DE PROPULSIÓN 3D |        | Nº P.:<br>Nom.Arch:<br>ENSAMBLAJE_PIEZAS_sinPROTECTOR.iam  |

## **ANEXO 1.3**

### **SISTEMA CONTRA PENETRACIÓN DE AGUA “PLANOS”**

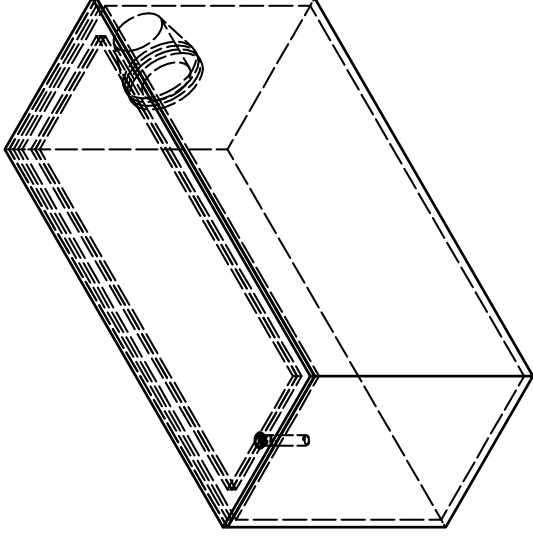
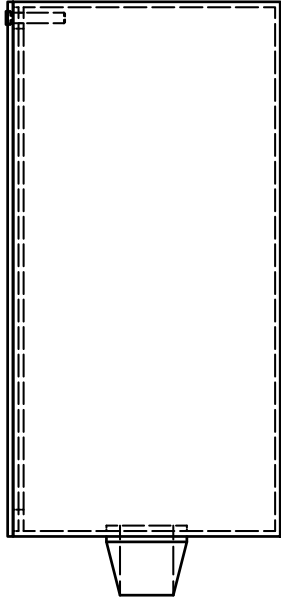
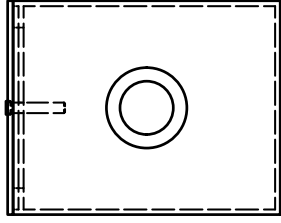


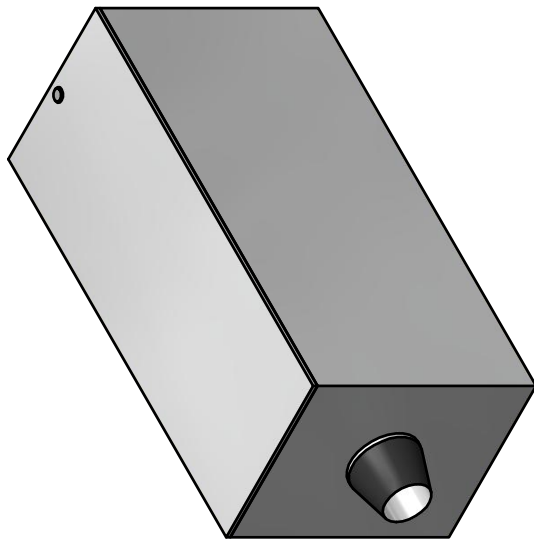
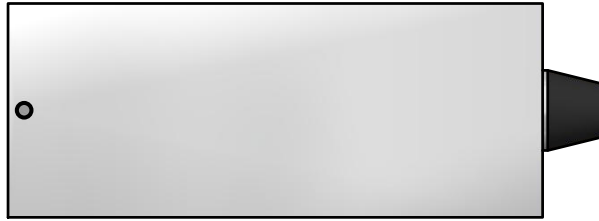
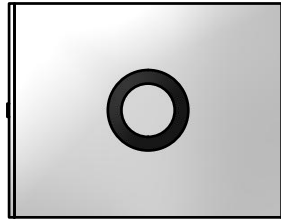
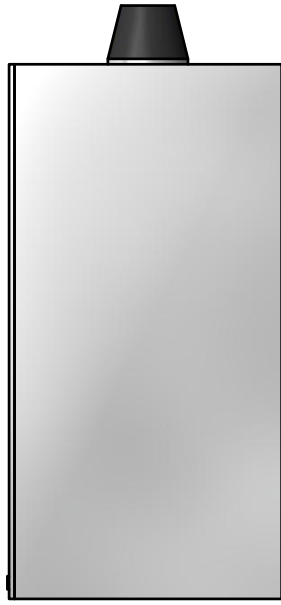
TABLA DE SURF ELÉCTRICA

|                |            |                                       |                          |
|----------------|------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Dibujado:      | 12-2015    | Autor:                                | Ismael                   |
| Comprobado:    | 6-2016     | Arias Díaz                            |                          |
| Id. s. normas: | UNE-EN-DIN |                                       |                          |
| ESCALA:        | 1:2        | PROTECTOR PENETRACIÓN AGUA - BATERÍAS |                          |
|                |            |                                       | Nº P.:                   |
|                |            |                                       | Nom-Arch: En_BATERIA.lam |



Universidad de La Laguna

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
Ingeniería Electrónica Industrial y Automática  
Universidad de La Laguna



### TABLA DE SURF ELÉCTRICA

| Fecha                                    |            | Autor      |                |
|--|------------|------------|----------------|
| Dibujado                                 | 12-2015    | Ismael     |                |
| Comprobado                               | 6-2016     | Arias Díaz |                |
| Id. s. normas                            | UNE-EN-DIN |            |                |
| ESCALA:                                  | 1:2        |            |                |
| PROTECTOR PENETRACIÓN AGUA - BATERÍAS 3D |            | Nº P.:     | En_BATERIA.lam |
|  |            | Nom.Archt: |                |



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
Ingeniería Electrónica Industrial y Automática  
Universidad de La Laguna

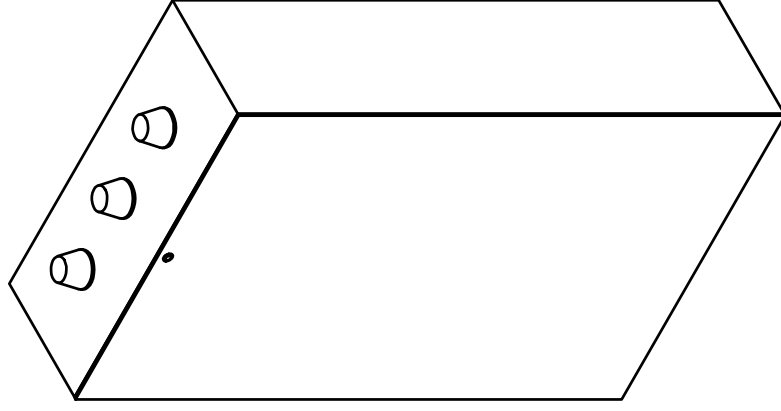
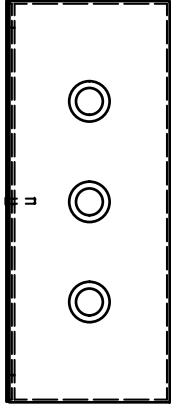



TABLA DE SURF ELÉCTRICA

|   |            |            |                  |
|---|------------|------------|------------------|
| Dibujado  | 12-2015    | Autor      | Ismael           |
| Comprobado  | 6-2016     | Arias Díaz |                  |
| Id. s. normas   | UNE-EN-DIN |            |                  |
|    |            |            |                  |
| <b>ESQUELA TECNICA SUPERIOR INGENIERIA Y TECNOLOGIA</b><br>Ingeniería Electrónica Industrial y Automática<br>Universidad de La Laguna |            |            |                  |
| ESCALA:   | 1:2        | Nº P.:     |                  |
| PROTECTOR PENETRACIÓN AGUA - CONTROL  |            | Nom-Arch:  | En_CIRCUITOS.iam |



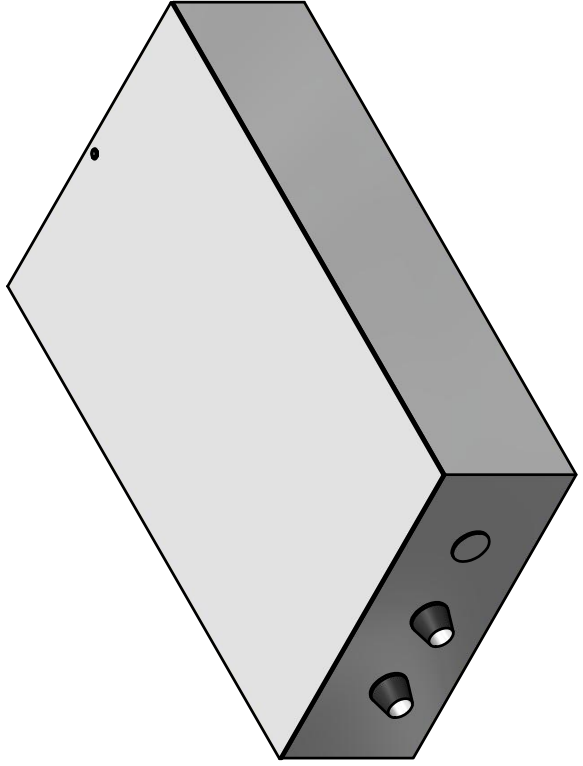



TABLA DE SURF ELÉCTRICA

| Dibujado                                | Fecha   | Autor      | <br>Universidad de La Laguna |
|---|---------|------------|---|
| Comprobado                              | 12-2015 | Ismael     |   |
| Id. s. normas                           | 6-2016  | Arias Díaz |   |
| UNE-EN-DIN                              |         |            |   |
| ESCALA:                                 | 1:2     |            | Nº P.:  |
| PROTECTOR PENETRACIÓN AGUA - CONTROL 3D |         |            | Nom-Arch: En_CIRCUITOS.iam  |

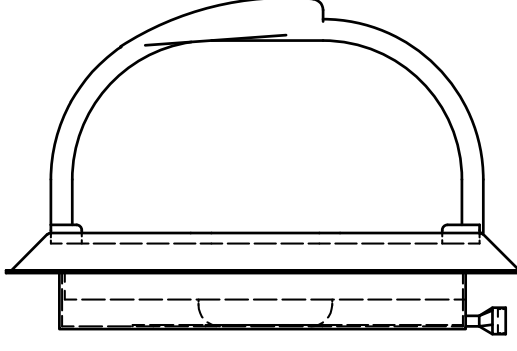
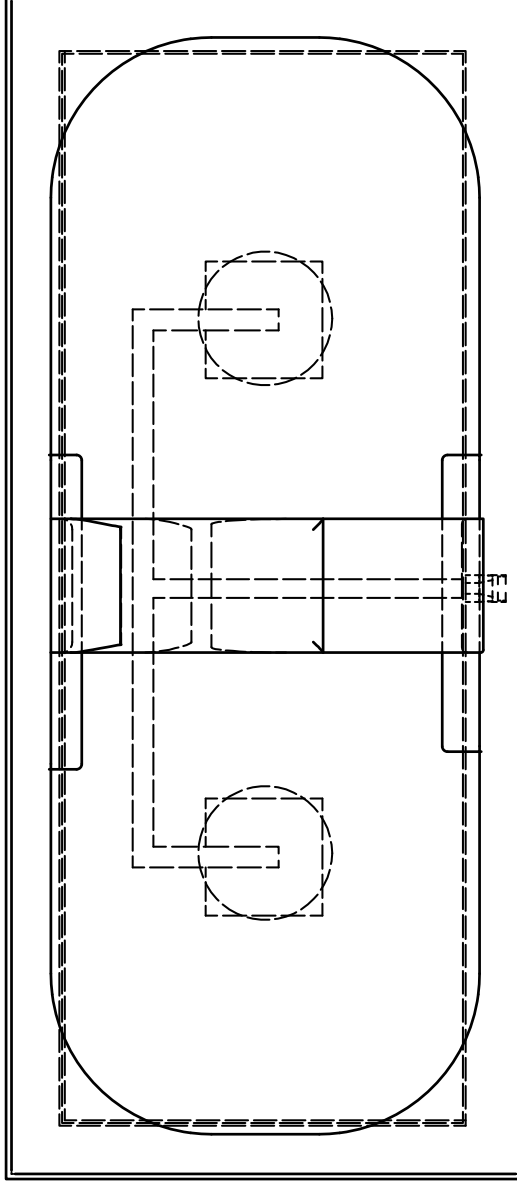
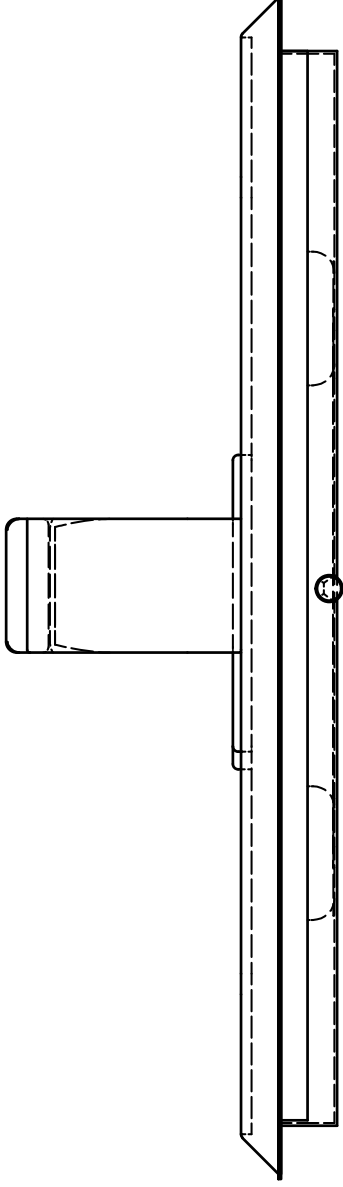


TABLA DE SURF ELÉCTRICA

| Fecha                        |            | Autor                      |  |
|------------------------------|------------|----------------------------|--|
| Dibujado                     | 12-2015    | Ismael                     |  |
| Comprobado                   | 6-2016     | Arias Díaz                 |  |
| Id. s. normas                | UNE-EN-DIN |                            |  |
| ESCALA:                      | 1:2        |                            |  |
| Amarre con sensor de presión |            | Nº P.:                     |  |
|                              |            | Nom.Archt: En_Sensores.iam |  |



Universidad de La Laguna

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
Ingeniería Electrónica Industrial y Automática  
Universidad de La Laguna

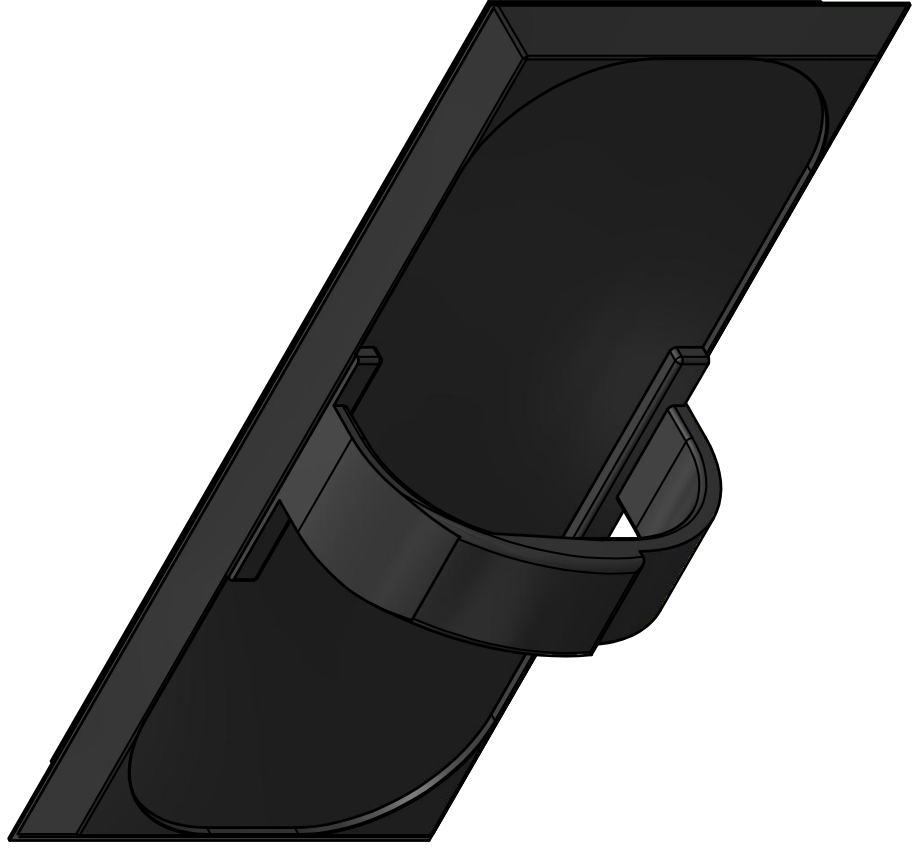
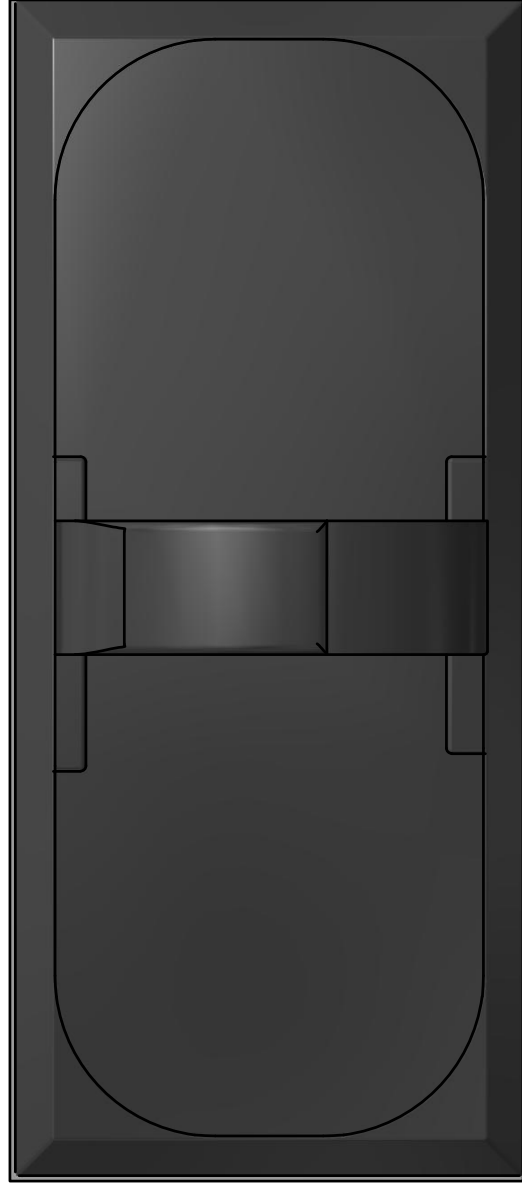
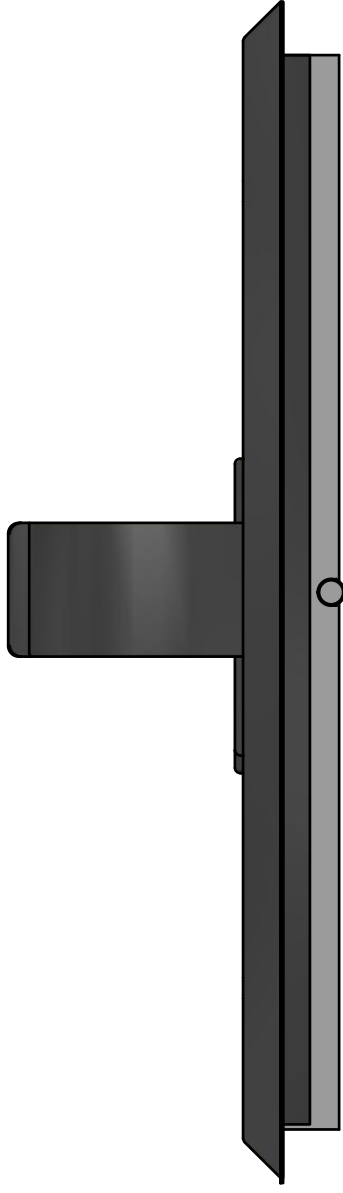

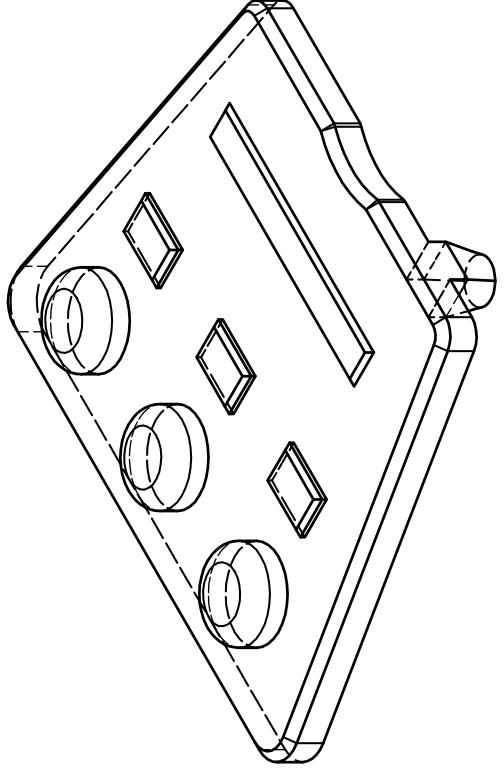
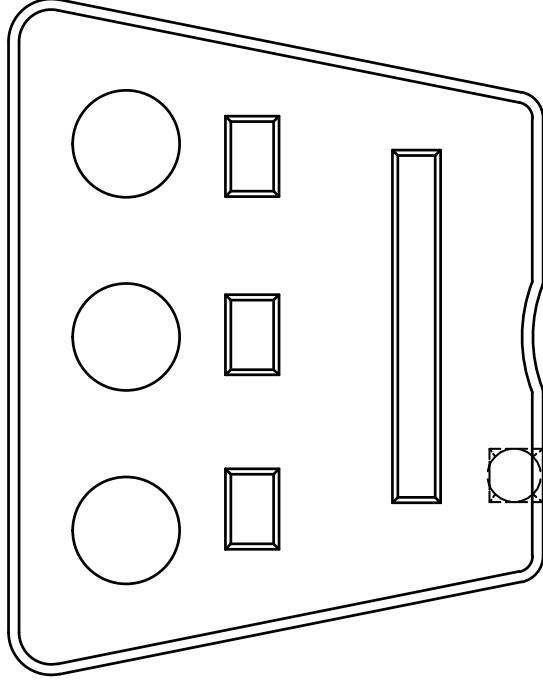
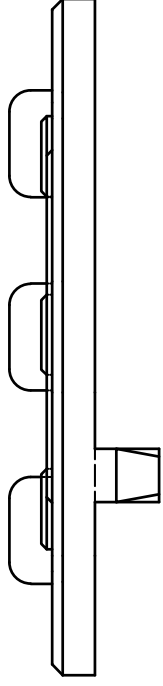


TABLA DE SURF ELÉCTRICA


|               |                                 |            |  |   |
|---------------|---------------------------------|------------|--|---|
| Dibujado      | Fecha                           | Autor      | <br><b>ULL</b><br>Universidad<br>de La Laguna | <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA</b><br>Ingeniería Electrónica Industrial y Automática<br>Universidad de La Laguna |
| Comprobado    | 12-2015                         | Ismael     |  |   |
| Id. s. normas | 6-2016                          | Arias Díaz |  |   |
| ESCALA:       | UNE-EN-DIN                      |            | Nº P.:   |   |
| 1:2           | Amarre con sensor de presión 3D |            | Nom.Archt:   | En_Sensores.lam   |

## **ANEXO 1.4**

### **BOTONERA “PLANOS”**



### TABLA DE SURF ELÉCTRICA

|               |            |            |  |  |
|---------------|------------|------------|--|--|
| Dibujado      | Fecha      | Autor      | <br><b>Universidad de La Laguna</b> | ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Ingeniería Electrónica Industrial y Automática<br>Universidad de La Laguna |
| Comprobado    | 12-2015    | Ismael     |  |  |
| Id. s. normas | 6-2016     | Arias Díaz |  |  |
| ESCALA:       | UNE-EN-DIN |            |  | Nº P.:   |
| 1:1           | BOTONERA   |            |  | Nom-Arch: Pieza_BOTONERA-1.iam   |

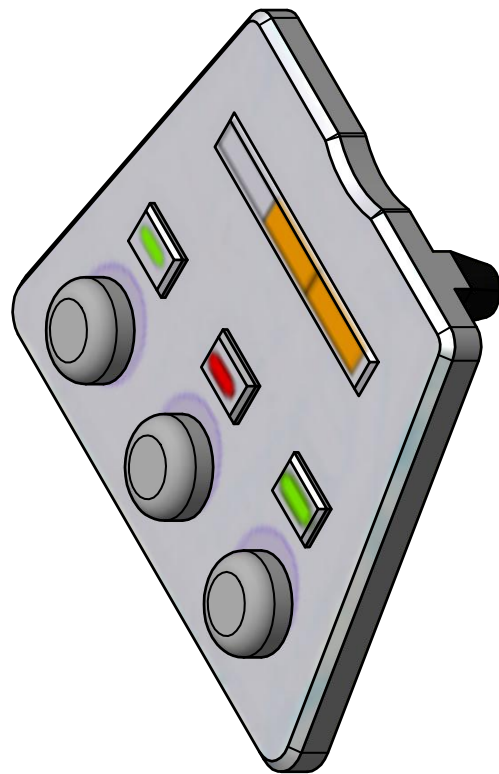
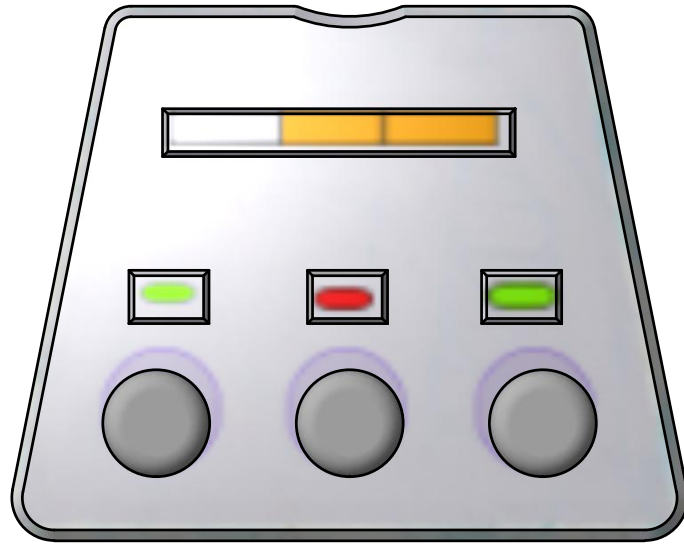
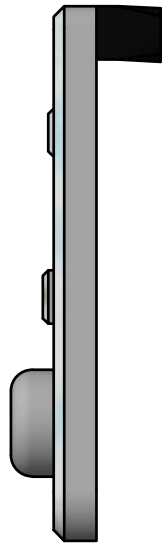


TABLA DE SURF ELÉCTRICA

|               |         |                                |  |
|---------------|---------|--------------------------------|--|
| Fecha         |         | Autor                          |  |
| Dibujado      | 12-2015 | Ismael                         |  |
| Comprobado    | 6-2016  | Arias Díaz                     |  |
| Id. s. normas |         | UNE-EN-DIN                     |  |
| ESCALA:       |         | BOTONERA 3D                    |  |
| 1:1           |         | Nº P.:                         |  |
|               |         | Nom-Arch: Pieza_BOTONERA-1.iam |  |



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
Ingeniería Electrónica Industrial y Automática  
Universidad de La Laguna

## **ANEXO 2**

### **TABLA FINALIZADA**

**“Planos y 3D”**

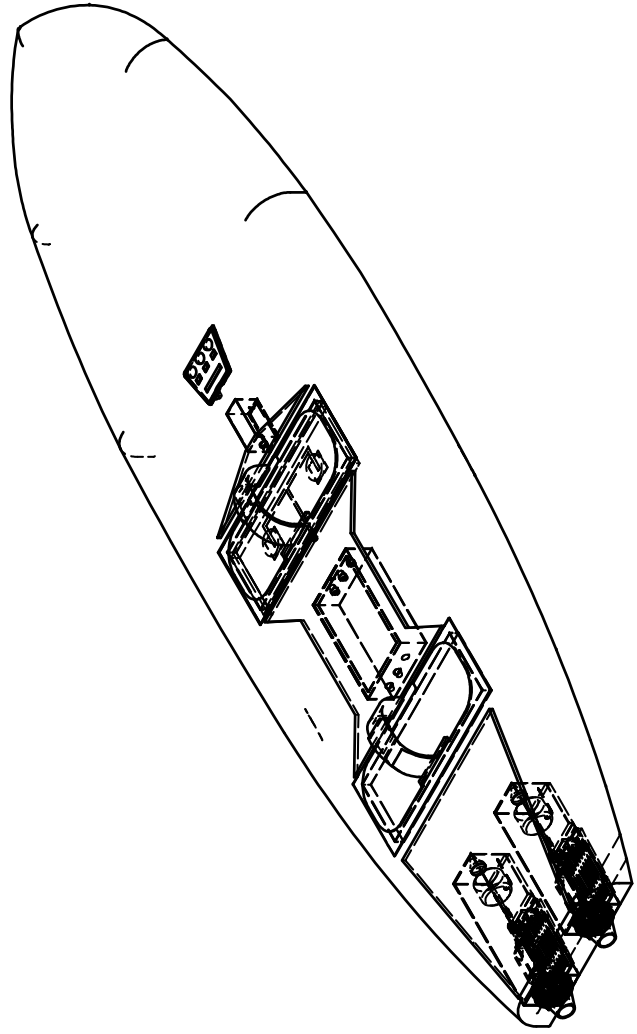
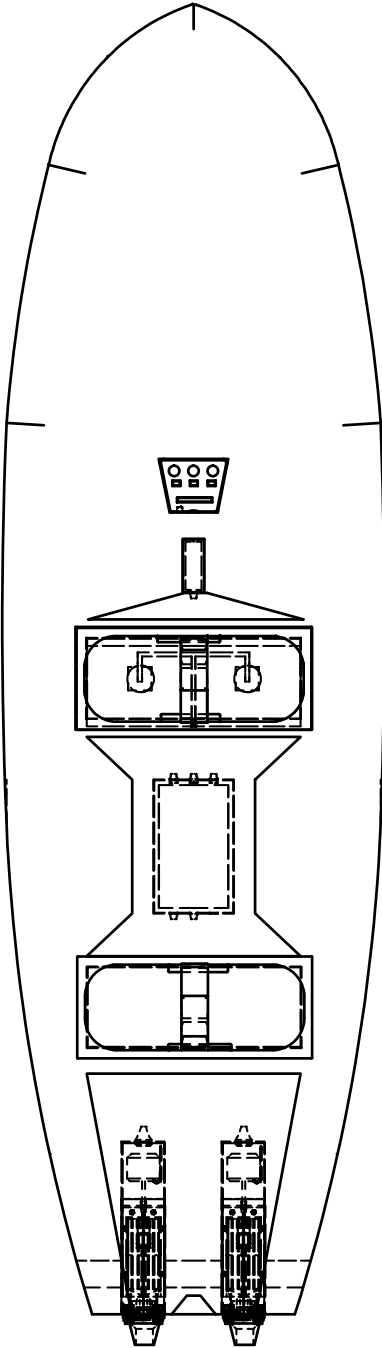
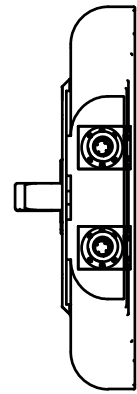
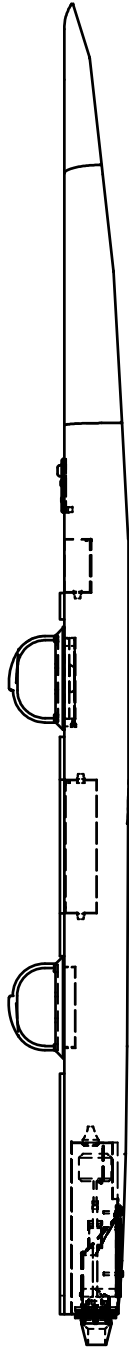



TABLA DE SURF ELÉCTRICA

|  |                            |   |  |
|--|----------------------------|---|--|
| <br><b>Universidad de La Laguna</b> |                            | <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA</b><br>Ingeniería Electrónica Industrial y Automática<br>Universidad de La Laguna |  |
| Dibujado:  | Fecha:                     | Autor:  |  |
| Comprobado:  | 12-2015                    | Ismael  |  |
| Id. s. normas:   | 6-2016                     | Arias Díaz  |  |
|  |                            | UNE-EN-DIN  |  |
| ESCALA:  | TABLA COMPLETA             |   |  |
| 1:10   | Nº P.:                     |   |  |
|  | Nom-Arch: ENSAMBLAJE_FINAL |   |  |



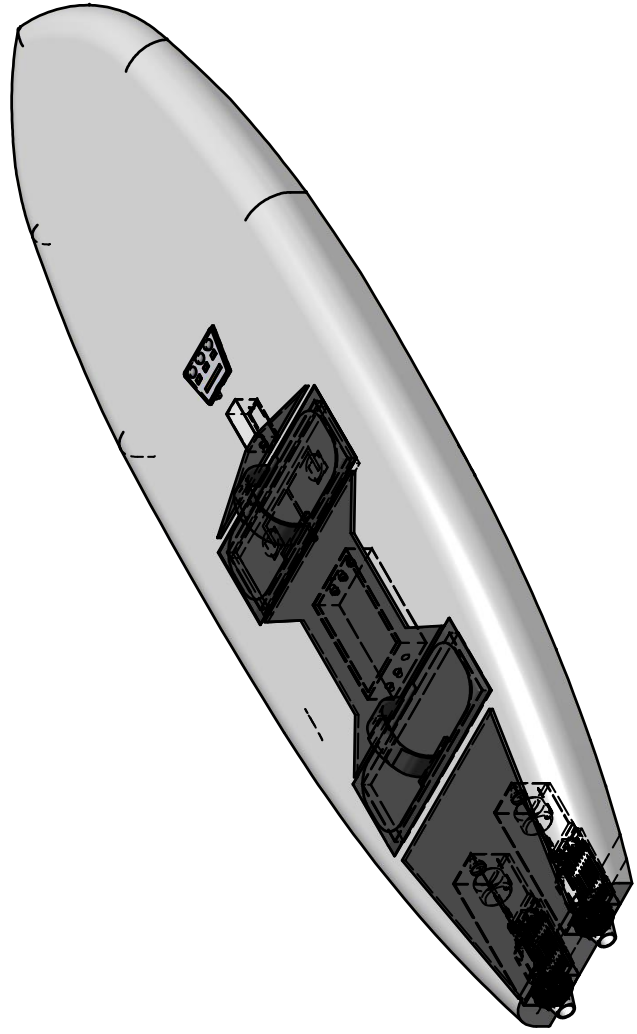
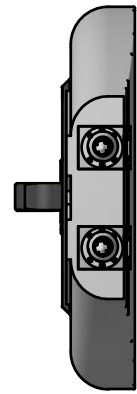



TABLA DE SURF ELÉCTRICA

|                |                   |        |            |   |
|----------------|-------------------|--------|------------|---|
| Dibujado:      | 12-2015           | Autor: | Ismael     | <br>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA<br>Ingeniería Electrónica Industrial y Automática<br>Universidad de La Laguna |
| Comprobado:    | 6-2016            |        | Arias Díaz |   |
| Id. s. normas: |                   |        | UNE-EN-DIN |   |
| ESCALA:        | TABLA COMPLETA 3D |        |            | Nº P.:  |
|                | 1:10              |        |            | Nom.Archt: ENSAMBLAJE_FINAL   |

## **ANEXO 3**

### **ESQUEMÁTICO SISTEMA ELECTRÓNICO**

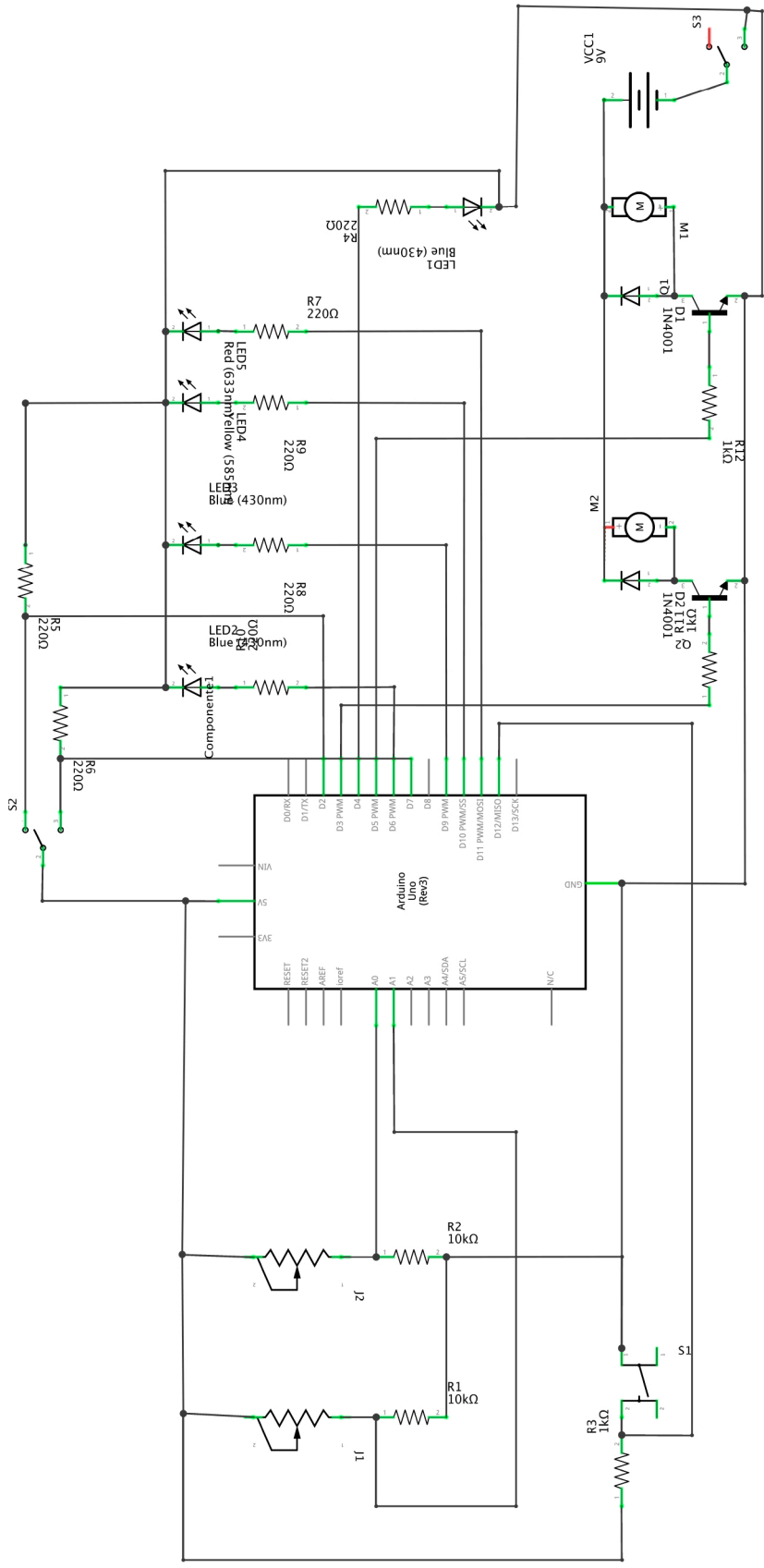


TABLA DE SURF ELÉCTRICA

| ESQUEMÁTICO   |            | ESQUEMÁTICO_TFG.fzz                              |  |
|---------------|------------|--|--|
| Dibujado      | Fecha      | Autor  |  |
| Comprobado    | 12-2015    | Ismael   |  |
| Id. s. normas | 6-2016     | Arias Dfoz                                       |  |
| ESCALA:       | UNE-EN-DIN |  |  |
| S/E           |            |  |  |
| Nº P. :       |            | Escuela Técnica Superior Ingeniería y Tecnología |  |
|               |            | Ingeniería Electrónica Industrial y Automática   |  |
|               |            | Universidad de La Laguna                         |  |
|               |            | Nom.Arch: ESQUEMÁTICO_TFG.fzz                    |  |

# **ANEXO 4**

## **DATASHEET FSR**

# FSR® 400 Series Data Sheet

Force Sensing Resistors®

## Features and Benefits

- Actuation force as low as 0.2N and sensitivity range to 20N
- Cost effective
- Ultra thin
- Robust; up to 10M actuations
- Simple and easy to integrate

## Description

Interlink Electronics FSR 400 Series is part of the single zone Force Sensing Resistor family. Force Sensing Resistors, or FSR's, are robust polymer thick film (PTF) devices that exhibit a decrease in resistance with increase in force applied to the surface of the sensor. This force sensitivity is optimized for use in human touch control of electronics devices such as automotive electronics, medical systems, industrial and robotics applications.

The FSR 400 Series sensors come in six different models with four different connecting options. A battery operated demo is available. Call us for more information at +1 805-484-8855



FSR® 400 Short  
5mm Circle x 20mm



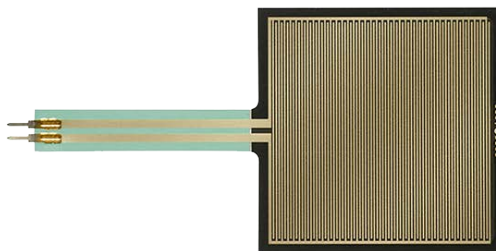
FSR® 400  
5mm Circle x 38mm



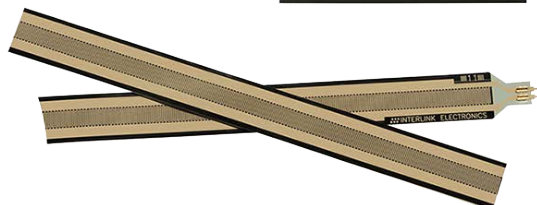
FSR® 402 Short  
13mm Circle x 25mm



FSR® 402  
13mm Circle x 56mm



FSR® 406  
38mm Square x 83mm



FSR® 408  
10mm Square x 622mm strip

## Device Characteristics

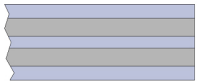
|   |   |
|---|---|
| Actuation Force*  | ~0.2N min   |
| Force Sensitivity Range*  | ~0.2N – 20N   |
| Force Resolution  | Continuous (analog)   |
| Force Repeatability Single Part   | +/- 2%  |
| Force Repeatability Part to Part  | +/- 6% (Single Batch)   |
| Non-Actuated Resistance   | >10 Mohms   |
| Hysteresis  | +10% Average (RF+ - RF-)/RF+  |
| Device Rise Time  | < 3 Microseconds  |
| Long Term Drift<br>1kg load, 35 days  | < 5% log10(time)  |
| Operating Temperature Performance<br>Cold: -40°C after 1 hour<br>Hot: +85°C after 1 hour<br>Hot Humid: +85°C 95RH after 1 hour        | -5% average resistance change<br>-15% average resistance change<br>+10% average resistance change |
| Storage Temperature Performance<br>Cold: -25°C after 120 hours<br>Hot: +85°C after 120 hours<br>Hot Humid: +85°C 95RH after 240 hours | -10% average resistance change<br>-5% average resistance change<br>+30% average resistance change |
| Tap Durability<br>Tested to 10 Million actuations, 1kg, 4Hz   | -10% average resistance change  |
| Standing Load Durability<br>2.5kg for 24 hours  | -5% average resistance change   |
| EMI   | Generates no EMI  |
| ESD   | Not ESD Sensitive   |
| UL  | All materials UL grade 94 V-1 or better   |
| RoHS  | Compliant   |

# FSR® 400 Series Data Sheet

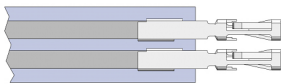
Force Sensing Resistor®

## Connector Information

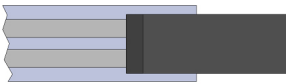
Bare Tail



Female Tin Contacts  
PN: TE 2-487406-4



Female Tin Contacts with 2 Pin Housing  
PN: TE 2-487406-4  
PN: TE 487378-1



Solder Tabs  
PN: TE 1-88997-2



**Other Available Part Numbers:**  
Hardware Development Kit, PN 54-76247

## Application Information

For specific application needs please contact Interlink Electronics support team. An Integration Guide and Hardware Development Kit (HDK) are also available. FSR's are two-wire devices with a resistance that depends on applied force. Below is a force vs. resistance graph that illustrates a typical FSR response characteristic. Please note that the graph values are reference only and actual values are dependent upon actuation system mechanics and sensor geometry.

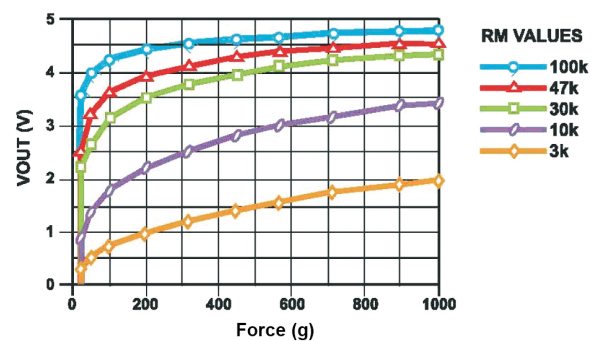
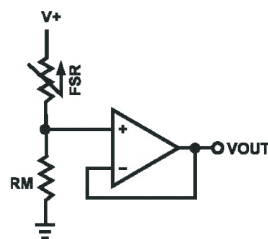
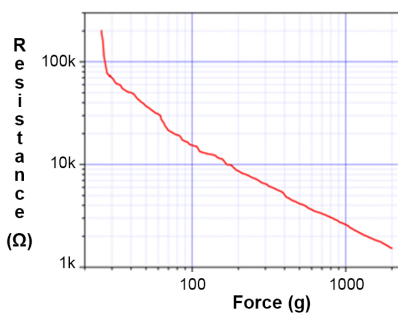
For simple force-to-voltage conversion, the FSR device is tied to a measuring resistor in a voltage divider (see figure below) and the output is described by the following equation.

$$V_{OUT} = \frac{R_M V_+}{(R_M + R_{FSR})}$$

In the shown configuration, the output voltage increases with increasing force. If RFSR and RM are swapped, the output swing will decrease with increasing force. The measuring resistor, RM, is chosen to maximize the desired force sensitivity range and to limit current. Depending on the impedance requirements of the measuring circuit, the voltage divider could be followed by an op-amp.

A family of force vs. VOUT curves is shown on the graph below for a standard FSR in a voltage divider configuration with various RM resistors. A V+ of 5V was used for these examples. Please note that the graph values are for reference only and will vary between different sensors and applications.

Refer to the FSR Integration Guide for more integration methods and techniques.



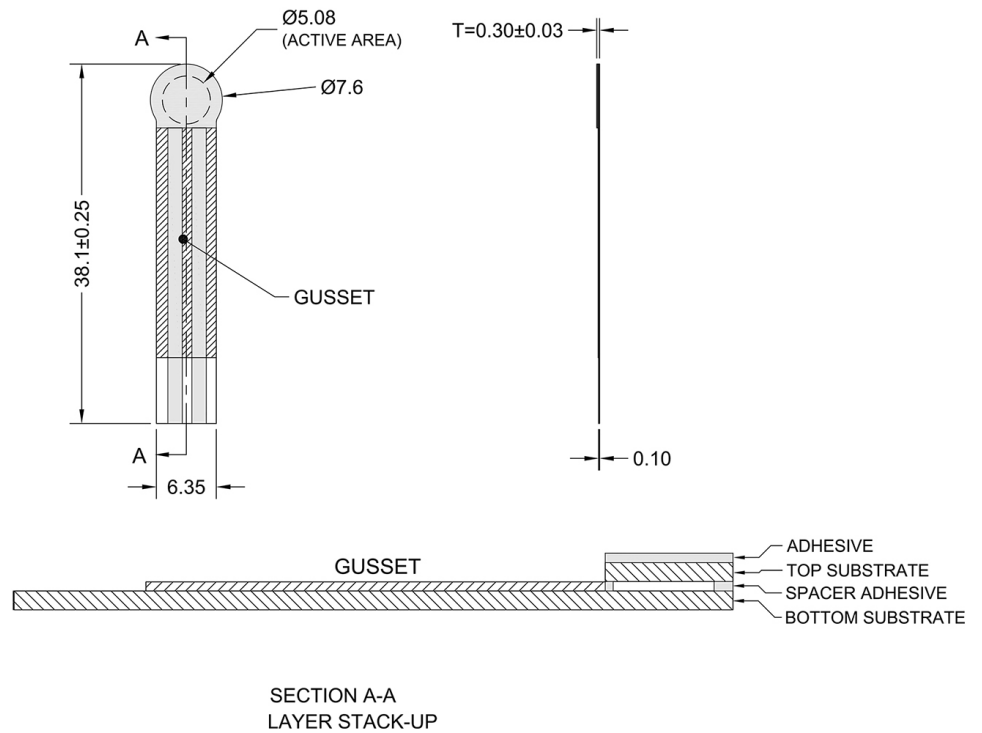
**Model 400:**

Active Area:  $\varnothing 5.08\text{mm}$   
Nominal Thickness:  $0.30\text{mm}$   
Switch Travel:  $0.05\text{mm}$

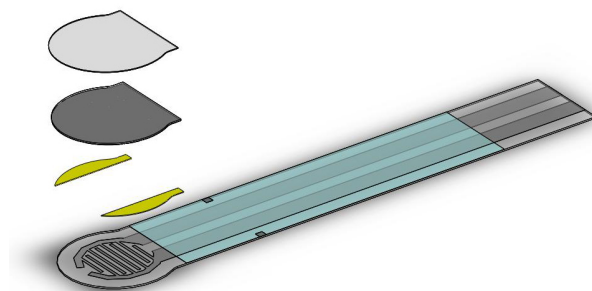
**Sensor Mechanical Data**

**Available Part Numbers:**

- PN: 34-00007 Model 400  
- No contacts or solder tabs
- PN: 34-00011 Model 400  
- with female contacts
- PN: 34-44001 Model 400  
- with female contacts and housing
- PN: 30-49649 Model 400  
- with solder tabs



**Exploded View**





# FSR® Model 400 Short Tail

Force Sensing Resistor®

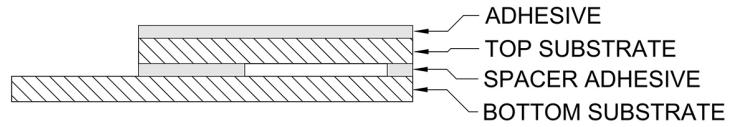
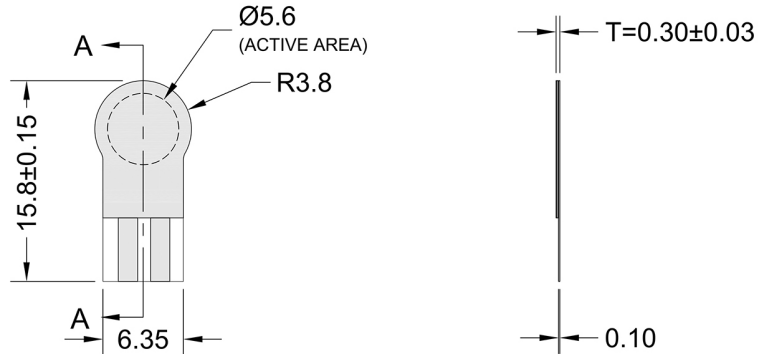
## Model 400 Short Tail:

Active Area:  $\text{Ø}5.62\text{mm}$   
Nominal Thickness:  $0.30\text{mm}$   
Switch Travel:  $0.05\text{mm}$

## Available Part Numbers:

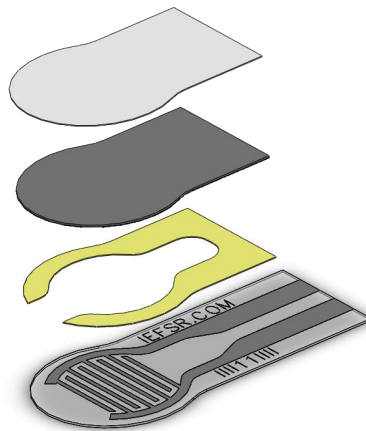
- PN: 34-47021 Model 400 Short Tail  
- No contacts or solder tabs
- PN: 34-00005 Model 400 Short Tail  
- with female contacts
- PN: 34-00006 Model 400 Short Tail  
- with female contacts and housing
- PN: 34-00004 Model 400 Short Tail  
- with solder tabs

## Sensor Mechanical Data



SECTION A-A  
LAYER STACK-UP

## Exploded View



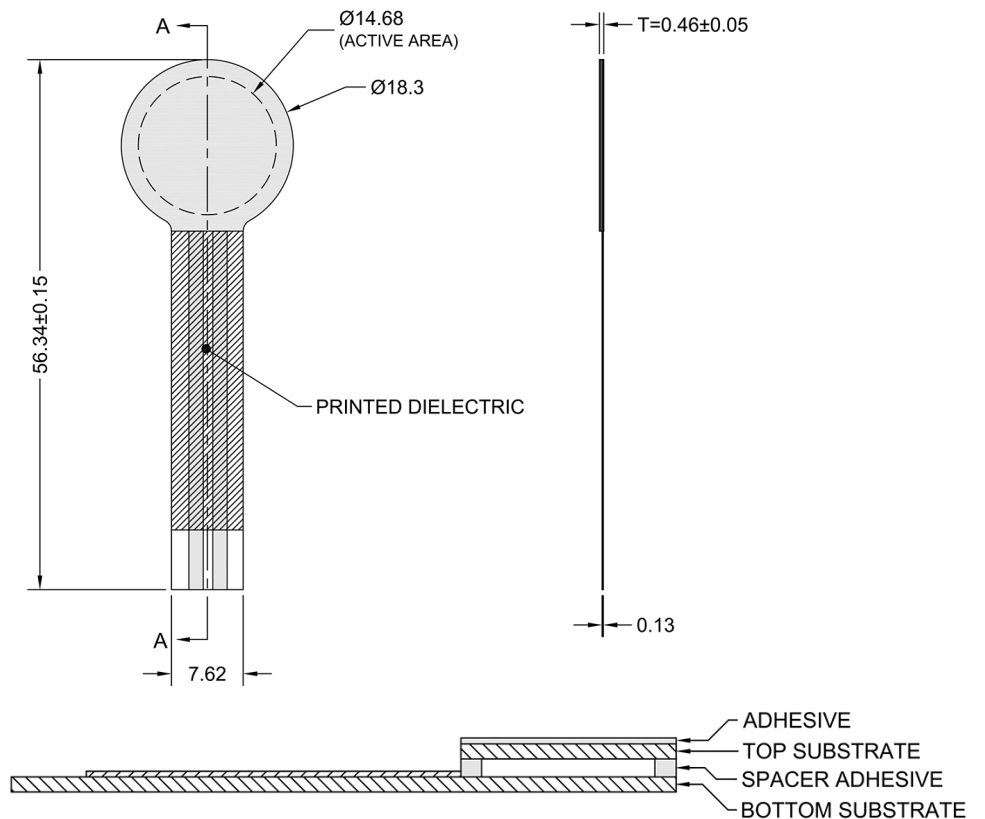
**Model 402:**

Active Area:  $\varnothing 14.68\text{mm}$   
 Nominal Thickness: 0.46mm  
 Switch Travel: 0.15mm

**Available Part Numbers:**

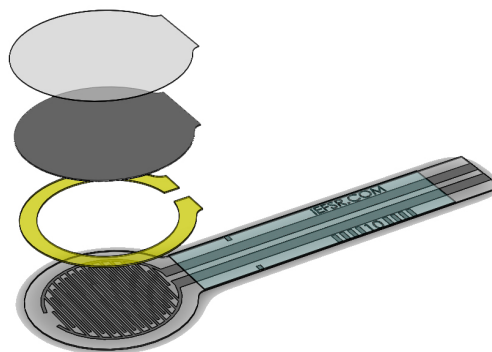
- PN: 44-29103 Model 402  
- No contacts or solder tabs
- PN: 34-00012 Model 402  
- with female contacts
- PN: 34-00001 Model 402  
- with female contacts and housing
- PN: 30-81794 Model 402  
- with solder tabs

**Sensor Mechanical Data**



SECTION A-A  
LAYER STACK-UP

**Exploded View**



# FSR® Model 402 Short Tail

Force Sensing Resistor®

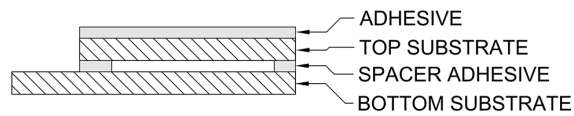
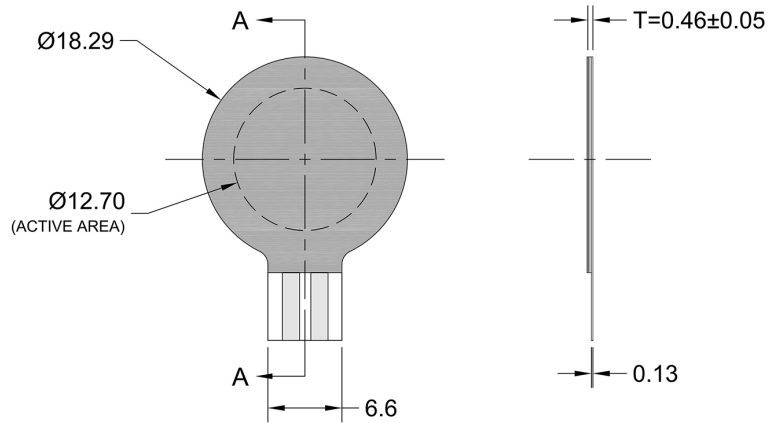
## Model 402 Short Tail:

Active Area: Ø12.70mm  
Nominal Thickness: 0.46mm  
Switch Travel: 0.15mm

## Available Part Numbers:

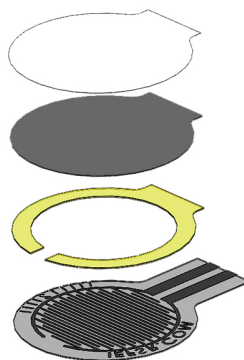
- PN: 34-00016 Model 402 Short Tail  
- No contacts or solder tabs
- PN: 34-00017 Model 402 Short Tail  
- with female contacts
- PN: 34-00018 Model 402 Short Tail  
- with female contacts and housing
- PN: 34-00015 Model 402 Short Tail  
- with solder tabs

## Sensor Mechanical Data



SECTION A-A  
LAYER STACK-UP

## Exploded View



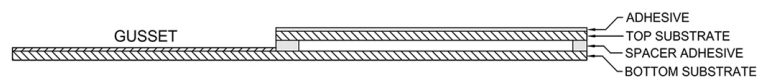
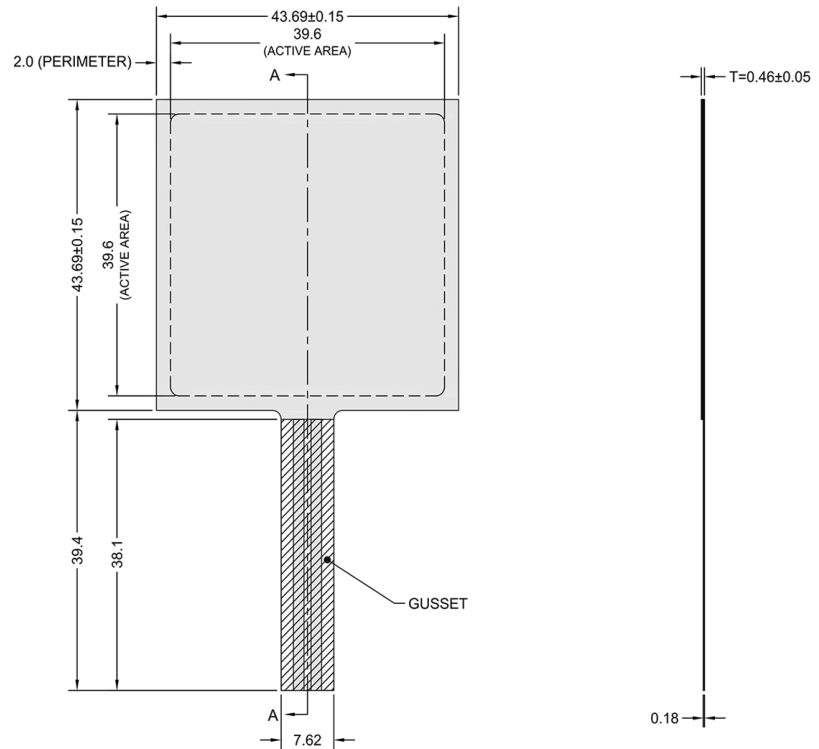
**Model 406:**

Active Area: 39.6mm x 39.6mm  
Nominal Thickness: 0.46mm  
Switch Travel: 0.15mm

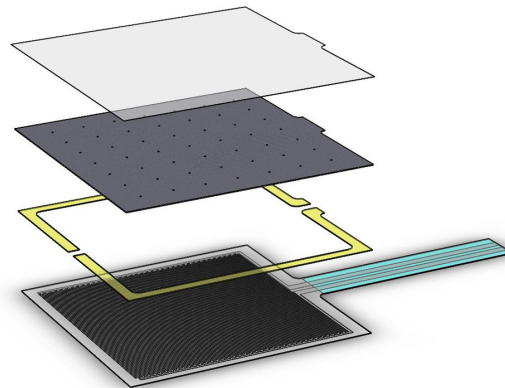
**Available Part Numbers:**

- PN: 34-00009 Model 406  
- No contacts or solder tabs
- PN: 34-00013 Model 406  
- with female contacts
- PN: 34-61152 Model 406  
- with female contacts and housing
- PN: 30-73258 Model 406  
- with solder tabs

**Sensor Mechanical Data**



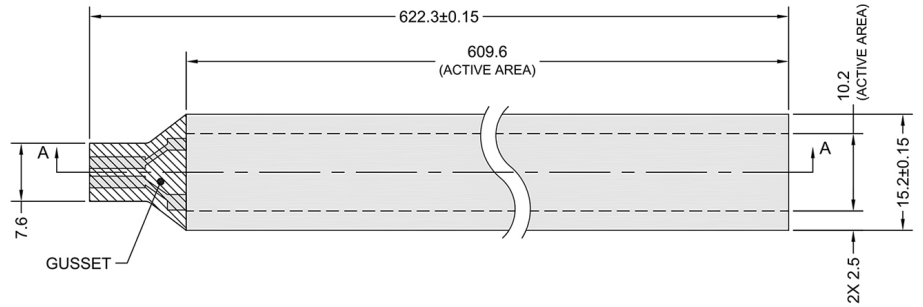
**Exploded View**



## Model 408:

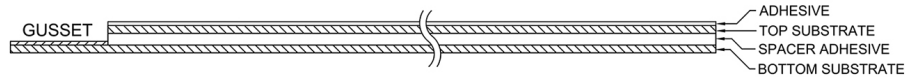
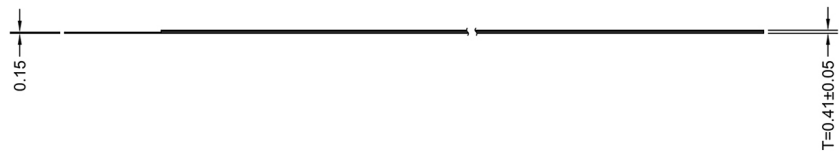
Active Area: 609.6mm x 10.2mm  
Nominal Thickness: 0.41mm  
Switch Travel: 0.15mm

## Sensor Mechanical Data



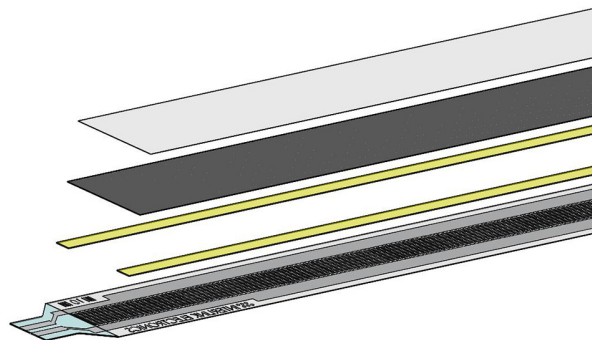
## Available Part Numbers:

- PN: 34-00010 Model 408
  - No contacts or solder tabs
- PN: 34-75319 Model 408
  - with female contacts
- PN: 34-23845 Model 408
  - with female contacts and housing
- PN: 30-61710 Model 408
  - with solder tabs



SECTION A-A  
LAYER STACK-UP

## Exploded View



## Contact Us

**United States Corporate Office**  
Interlink Electronics, Inc.  
31248 Oak Crest Drive  
Suite 110  
Westlake Village, CA 91361 USA  
Phone: +1 (805) 484-8855  
Fax: +1 (805) 484-9457  
www.interlinkelectronics.com  
Sales & Support: sales@iefsr.com