

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**DISEÑO DE UNA ÓRTESIS ACTIVA DE MANO PARA EL REMADO DE
CANOAS POLINESIAS.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECATRÓNICO**

AUTOR:

Francesco Toso Chini

ASESOR:

César Antonio Lengua Huertas

Lima, octubre, 2020

RESUMEN

Las discapacidades motoras en el Perú ascienden a cerca del 60% de las discapacidades totales en el país. Este tipo de discapacidad limita las actividades cotidianas de las personas a las que afecta, creando la necesidad de que estas sean asistidas por otras personas o máquinas. Estas limitaciones, se extienden también a actividades deportivas de su agrado.

Actualmente, leyes y reglamentos vigentes, han permitido que se inicie la práctica de deportes paralímpicos en el Perú a través de la Asociación Nacional Paralímpica del Perú (ANPP), lo cual ha permitido que las personas con discapacidades motoras, cumplan sus sueños y objetivos. Esta tesis está basada en el Para Va'a, el cual es la adaptación del Va'a o canoas polinesias, un nuevo deporte, de rápido crecimiento que, según el caso aplicado, no es considerado paralímpico, pero es practicado de manera recreativa y competitiva a nivel mundial.

Al investigar distintas posibles soluciones, se observó que estas no eran útiles para la práctica del deporte y otras no permitían el dinamismo y naturalidad requerida. Esta tesis presenta el diseño de una órtesis activa de mano, la cual permite la práctica del Para Va'a a un atleta con discapacidad motora. Este sistema, hace posible al atleta realizar el deporte con naturalidad, ergonomía y le permite alcanzar su mayor desempeño con la seguridad que requiere.

El diseño de la órtesis, se realizó mediante la metodología de diseño alemana VDI2206. Este también abarcó, el diseño mecánico, electrónico y de control del sistema integrado, que permite a las órtesis funcionar con total normalidad. Asimismo, con la finalidad de demostrar la ergonomía de la órtesis al practicar el deporte, se realizó el estudio de la forma de esta y la posición de la muñeca del atleta al remar. Finalmente, se obtuvo un costo de fabricación menor a los S/3,200 nuevos soles, el cual permite que este sistema sea accesible.

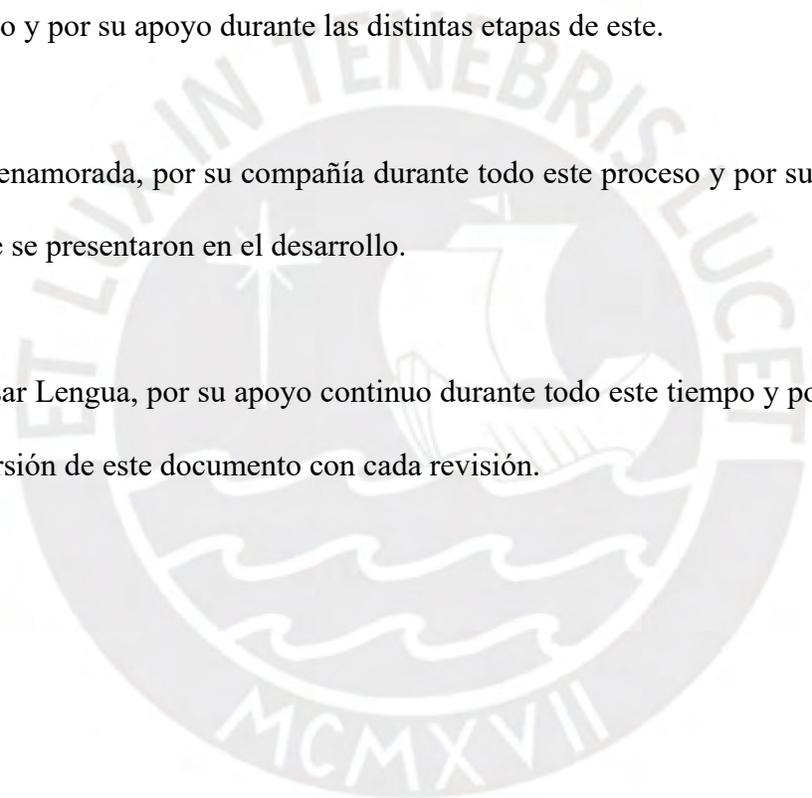
AGRADECIMIENTOS

A mi familia, quienes día a día me motivan a alcanzar mis metas y me brindan su confianza desde siempre. En especial a mis padres, que gracias a su esfuerzo y amor logré tener una excelente educación, tanto en desarrollo intelectual como moral.

A mi hermana, a mis tíos Ezzio y Rosa María que supieron mantenerme motivado durante todo mi proceso educativo y por su apoyo durante las distintas etapas de este.

A Florencia, mi enamorada, por su compañía durante todo este proceso y por su apoyo frente las adversidades que se presentaron en el desarrollo.

A mi asesor, Cesar Lengua, por su apoyo continuo durante todo este tiempo y por lograr sacar de mí una mejor versión de este documento con cada revisión.



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	4
1.1. Marco Teórico.....	4
1.2. Estado del Arte.....	11
CAPÍTULO 2: DISEÑO CONCEPTUAL	18
2.1. Requerimientos del Sistema	18
2.2. Estructura de Funciones	21
2.3. Matrices Morfológicas por Dominios	23
2.4. Conceptos de Solución.....	27
2.5. Evaluación Económica y Técnica de los Conceptos de Solución	30
CAPÍTULO 3: DOMINIO MECÁNICO	34
3.1. Consideraciones previas	34
3.2. Cálculos mecánicos	35
3.3. Selección del electroimán permanente.....	45
3.4. Comprobación del dimensionamiento y diseño de la órtesis	46
3.5. Remo y soporte de remo	48
3.6. Selección de velcros.....	50
3.7. Selección de los guantes.....	51
CAPÍTULO 4: DOMINIO ELECTRÓNICO Y DE CONTROL	52
4.1. Diagrama de funcionamiento del sistema	52
4.2. Dominio de control del sistema.....	54
4.3. Dominio electrónico del sistema	60
4.4. Selección de componentes	63
4.5. Ubicación de componentes	73
CAPÍTULO 5: INTEGRACIÓN, ESTIMACIÓN DE COSTOS Y PLANOS	77
5.1. Integración del sistema.....	77
5.2. Planos.....	79
5.3. Estimación de costos.....	80
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFÍA.....	86
ANEXOS.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Comparación de órtesis para manos	14
Tabla 2.1 Matriz morfológica del dominio mecánico.....	24
Tabla 2.2 Matriz morfológica del dominio de control.....	25
Tabla 2.3 Matriz morfológica del dominio electrónico	26
Tabla 2.4 Evaluación económica de los conceptos de solución	31
Tabla 2.5 Evaluación técnica de los conceptos de solución	32
Tabla 3.1 Características técnicas del electroimán permanente de ø32mm.....	45
Tabla 4.1 Especificaciones técnicas del medidor de batería.....	64
Tabla 4.2 Especificaciones técnicas del sensor de humedad DHT11.....	66
Tabla 4.3 Especificaciones técnicas de la luz posterior de batería baja seleccionada.....	67
Tabla 4.4 Especificaciones técnicas del Arduino Nano V.3.....	68
Tabla 4.5 Especificaciones técnicas del regulador de 5V.....	69
Tabla 4.7 Consumo de corriente en mA de los componentes electrónicos.....	69
Tabla 4.7 Especificaciones técnicas del BMS 4S de 4A.....	72
Tabla 5.1 Índice de planos	79
Tabla 5.2 Costo de compras.....	81
Tabla 5.3 Costo de fabricación de los componentes del sistema.....	82
Tabla 5.4 Costo total.....	82
Tabla 5.1 Índice de planos	79
Tabla 5.2 Costo de compras.....	81
Tabla 5.3 Costo de fabricación de los componentes del sistema.....	82
Tabla 5.4 Costo total.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Práctica del Va'a en playa Los Yuyos, Barranco-Lima	6
Figura 1.2 Estructura de la canoa polinesia V6 con sus nombres originales. (Babineau, 2004)....	7
Figura 1.3 Partes del remo de Va'a.	7
Figura 1.4 Ejemplificación de postura de remado (Silvester, 2020).....	8
Figura 1.5 Antropometría de la mano. (Estrucplan, 2002).....	9
Figura 1.6 A la izquierda, sujeción tipo prensa mano-remo en.....	9
Figura 1.7 Movimientos de rotación de la mano. (Melo, 2002).....	10
Figura 1.8 <i>Festo HexoHand</i> . (FESTO, 2012).....	11
Figura 1.9 Prototipo EMMRA-1. (COLCIENCIAS, 2015).....	12
Figura 1.10 Proyecto SCRIPT. SPO Figura 1.10 a. (primera versión) y.....	13
Figura 1.11 <i>PowerGrip</i> de <i>Broadened Horizons</i>	13
Figura 1.12 Adaptación de plástico ABS para remo de canoa. (Zeller, 2009)	15
Figura 1.13 Adaptación de cámara de una llanta de bicicleta. (Zeller, 2009)	15
Figura 1.14 <i>Human grasp assist device with exoskeleton</i>	16
Figura 1.15 <i>Strengthening glove</i>	17
Figura 1.16 <i>Mechanics magnetic glove</i> . (US3636568 A, 1972).....	17
Figura 2.1 <i>Black box</i> del proyecto.....	21
Figura 2.2 Estructura de funciones del proyecto con división por dominios	23
Figura 2.3 Boceto de remo con incrustaciones metálicas	27
Figura 2.4 Boceto del primer concepto de solución.	28
Figura 2.5 Boceto del segundo concepto de solución.....	29
Figura 2.6 Boceto del tercer concepto de solución.....	30
Figura 2.7 Gráfico valor económico vs valor técnico según VDI 2225.	33
Figura 3.1 Dimensiones del mango y asta del remo.	35
Figura 3.2 Experimento para hallar la fuerza máxima de remado de manera	36
Figura 3.3 Identificación de los huesos de la mano.....	37

Figura 3.4 Análisis ergonómico de la órtesis.	38
Figura 3.5 Secuencia de imágenes de la simulación de remado.	39
Figura 3.6 Desviación radial máxima durante el remado.....	39
Figura 3.7 Vista isométrica de la órtesis izquierda.....	40
Figura 3.8 Descripción del proceso de desunión órtesis-remo.....	40
Figura 3.9 Identificación de puntos con alta demanda mecánica la órtesis.....	41
Figura 3.10 Análisis de resistencia de la intersección entre el reposo de palma y dedos.....	41
Figura 3.11 Dimensiones de la argolla de sujeción.....	43
Figura 3.12 DCL del remo y órtesis al momento de retirar el remo del agua.....	43
Figura 3.13 Sujeción órtesis y remo en asta y mango.....	43
Figura 3.14 Foto del electroimán seleccionado.	45
Figura 3.15 Dimensiones del electroimán permanente.....	45
Figura 3.16 Fuerzas y restricciones para la simulación por elementos finitos de la órtesis.....	46
Figura 3.17 Enmallado del modelo a simular.....	47
Figura 3.18 Distribución de esfuerzos en la órtesis.....	47
Figura 3.19 Distribución del factor de seguridad en la órtesis.....	48
Figura 3.20 Vista isométrica del remo en su soporte.....	49
Figura 3.21 Detalle del botón impermeable en el soporte.....	49
Figura 3.22 Cintas para coser marca velcro.....	50
Figura 3.23 Cinta adhesiva marca velcro.....	50
Figura 3.24 Guantes <i>Quicksilver</i> de velcro syncro de 3mm de espesor.....	51
Figura 4.1 Diagrama de funcionamiento del sistema.....	53
Figura 4.2 Arquitectura de control del sistema.....	54
Figura 4.3 Diagrama de flujo principal del sistema de control.....	56
Figura 4.4 Diagrama de flujo del sistema de seguridad.....	57
Figura 4.5 Diagrama de flujo del sistema de detección del remo en el soporte.	58
Figura 4.6 Diagrama de flujo del sistema de emergencia (batería baja).....	59

Figura 4.7 Diagrama de bloques del sistema electrónico.	61
Figura 4.8 Diagrama esquemático de la placa electrónica.....	62
Figura 4.9 <i>Board</i> de la tarjeta electrónica.	63
Figura 4.10 Medidor de batería BaiWay TH01 V6.	64
Figura 4.11 Pulsador CT126-LS-B a prueba de agua.	65
Figura 4.12 Dimensiones del pulsador en pulgadas.....	65
Figura 4.13 Sensor de humedad DHT11.....	66
Figura 4.14 Luz posterior de batería baja seleccionada.....	66
Figura 4.15 Arduino Nano V.3.	67
Figura 4.16 Regulador de 5V Pololu <i>step-down</i> D24V3F5.....	69
Figura 4.17 Baterías Li-Po de 1200mAh con cargador universal.	71
Figura 4.18 BMS 4S de 4A de operación.	72
Figura 4.19 Chaleco salvavidas <i>KickBack II</i>	72
Figura 4.20 Vista isométrica de la órtesis izquierda.....	73
Figura 4.21 Vista isométrica del chaleco salvavidas.....	74
Figura 4.22 Carcasa de componentes electrónicos y de control.....	75
Figura 4.23 Ensamble de carcasa.....	76
Figura 5.1 Vista isométrica del concepto de solución.....	78
Figura 5.2 Pasos para la correcta colocación de la órtesis.....	78
Figura 5.3 Ensamble mano-órtesis-remo.....	79

INTRODUCCIÓN

En el Perú, el Instituto Nacional de Estadística e Informática, indica que en el 2015 el 5.2% de la población posee alguna discapacidad (INEI, 2015). El mismo estudio determinó que el 59.2% de esta población, está afectada por una discapacidad motora. En consecuencia, estas personas están limitadas a realizar sus actividades diarias sin asistencia, así como actividades deportivas de su agrado.

Actualmente, leyes y reglamentos vigentes, así como el legado de los Juegos Parapanamericanos de Lima 2019, han permitido aumentar el interés por diferentes deportes paralímpicos en el Perú. A través de la Asociación Nacional Paralímpica del Perú (ANPP), personas con discapacidades físicas, pueden practicar distintas disciplinas deportivas y así cumplir con sus sueños y objetivos. Asimismo, en la actualidad, existen diversos clubes e instituciones deportivas que apoyan directamente a los atletas con discapacidades.

La presente tesis se basa en el caso de Francisco “Pancho” Arbulú, quien a partir de este momento será denominado como “el atleta”, es un competidor peruano de Para Surf, una versión de Surf adaptado a personas con discapacidades. En el 2006, el atleta, sufrió un accidente de tránsito que le provocó una grave lesión medular alta. A partir de esta lesión, perdió la movilidad de las extremidades inferiores y superiores.

Pudo recuperar la movilidad de las últimas tras nueve meses de terapia intensiva en La Habana, Cuba. A pesar de haber recuperado la movilidad en sus brazos, no pudo recuperar la de sus manos (Teletón Perú, 2016). Su gran fanatismo hacia los deportes acuáticos y su afán por superarse a sí

mismo, hicieron que se acerque al ex equipo de Va'a¹ "Goal-Pro Sharks" a quienes mostró interés en practicar el Para Va'a y manifestó estar de acuerdo con su participación en el presente estudio en la reunión de trabajo que se tuvo. Cesar Lengua, investigador, ex miembro del equipo y coordinador del proyecto "Rememos Todos", trasladó dicha problemática a la presente tesis.

Por lo tanto, se propone diseñar un sistema mecatrónico, que permita la práctica del Para Va'a a personas con lesión medular alta, con funcionamiento de brazos, mas no de manos. Con el fin de lograr este objetivo se elaborará el estado del arte actual de órtesis con características similares a las deseadas, y se estudiarán las características antropométricas del atleta. Asimismo, se desarrollará el diseño conceptual según la metodología de diseño alemana VDI2206, tomando en cuenta el desempeño y la ergonomía del atleta. Posterior a ello, se realizará la ingeniería de detalle del sistema, la cual involucrará cálculos para dimensionamiento, definición y elección de componentes, simulaciones de elementos finitos (con el fin de asegurar que no falle en su uso), elaboración de planos mecánicos, y diagramas electrónicos y de control. Finalmente, se estimarán los costos de diseño y fabricación del sistema.

La presente tesis comprende el diseño de un sistema de remado, utilizando como embarcación una canoa de seis personas (V6), así como el sistema de seguridad capaz de liberar las órtesis del remo. Sistema que es necesario ante una volcadura de canoa. El sistema incluye; dos órtesis, una para cada mano del atleta; un soporte para el remo, que servirá como base para el cambio de lado de remado; accesorios para el remo y un chaleco salvavidas, que contendrá parte del sistema de control y electrónico. El sistema estará dirigido a personas adultas con lesión modular alta y movilidad de brazos, que cuenten con una estatura entre 1.65 m y 1.75 m con largo de mano entre

¹ Se entiende cómo Va'a a la práctica del canotaje en canoas polinesias. En el país los modelos de mayor uso son las V1 y V6, para uno y seis remadores respectivamente.

15 y 25 cm. Asimismo, la persona debe de contar con la capacidad de flotar y no debe de tenerle miedo al agua.

Este trabajo no abarca el estudio de la adaptación del asiento, así como el arnés de fácil soltura que deberá sujetar al atleta a la canoa. Asimismo, la presente tesis no estipula la ubicación en la canoa del atleta, ya que este podría ubicarse entre cualquier posición de una canoa V6, salvo la sexta que está reservada para el timonel, quien requiere de habilidades adicionales.



CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

En el presente capítulo, se presentará un resumen del marco teórico que abarcará la descripción del deporte, así como los elementos que conforman la práctica del mismo. Además, se detallará la revisión del estado del arte de algunos productos comerciales y experimentales, así como patentes que podrían ser parte de la tecnología y técnica para el desarrollo de la presente tesis.

1.1. Marco Teórico

A continuación, se expondrá el contexto de estudio del presente trabajo de tesis para que el lector pueda comprender las bases de este estudio.

1.1.1. Sobre el deporte

El Va'a o también llamado canoa polinesia, es un deporte que consiste de una embarcación ancestral creada como un medio de transporte entre islas, al pasar los años la embarcación ha sido

adaptada al deporte. En 1981, se crea la Federación Internacional de Va'a o IVF por sus siglas en inglés, dicha federación es la encargada de la difusión del deporte a lo largo del mundo y de la organización de los campeonatos internacionales, como el mundial. Asimismo, en 2008 se incluyó por primera vez en un campeonato la participación de competidores con discapacidades, dando origen al Para Va'a ².

La IVF en conjunto con la Federación Internacional de Canotaje (ICF), desarrollaron la clasificación del Para Va'a en tres categorías para discapacidades motoras. Estas categorías hacen paralímpico al deporte en el uso de canoas individuales o V1. Sin embargo, el IVF contempla una cuarta clasificación, denominada VL4, solo válida en esta federación, la cual contempla el caso estudiado en la presente tesis en canoas individuales o grupales de manera recreativa y competitiva a nivel mundial.

En el Perú el Va'a es promovido por el empresario Rafael Belmont y por Flavia Chávez-Tafur, quienes ya practicaba el deporte desde su estadía en las Islas Polinesias. Los dos fascinados por el deporte, decidieron iniciar la construcción de la primera canoa totalmente fabricada en el Perú y fundaron en 2010, Club Inkanoa Va'a Perú ³.

Actualmente, el deporte se practica todos los días desde la madrugada, en la playa Los Yuyos (Barranco, Lima) y Pescadores (Chorrillos, Lima). Además de Inkanoa, existen otros clubes de Va'a en Lima, que brindan los sábados la posibilidad de practicarlo, con el objetivo de fomentar su práctica a nivel nacional. En la Figura 1.1 se pueden observar varios equipos compitiendo en canoas de fabricación nacional.

² IVF. *About the IVF*. Recuperado el 01 de septiembre de 2017, de <http://www.ivfv.org/about-the-ivf.html>

³ Inkanoa. *¿Quiénes somos?* Recuperado el 01 de septiembre de 2017, de <https://www.inkanoa.com>



Figura 1.1 Práctica del Va'a en playa Los Yuyos, Barranco-Lima ⁴.

Desde hace algunos años en el país ya se organizan Campeonatos Nacionales de Va'a, habiéndose celebrado el primer Sudamericano en el 2017. El Perú también cuenta con participaciones en los Mundiales de Va'a del 2015 y 2016, en los cuales participan los mejores equipos del Campeonato Nacional.

Dado que la categoría VL4 no es considerada paralímpica, el apoyo de ciertas organizaciones como la ANPP se encuentra limitado, a esto se suma la ausencia de una Federación Nacional de Va'a que permita un apoyo efectivo a los atletas. Sin embargo, se podría generar un vínculo importante con diversas instituciones que pueden apoyar a los atletas con discapacidad, a través de los diversos clubes nacionales de Va'a.

Canoa: Fabricada normalmente de fibra de vidrio y madera, los modelos de canoa de mayor uso son los V1 y V6, para uno y seis remadores respectivamente. Como se aprecia en la Figura 1.2, la estructura de la canoa, se mantiene similar sin importar su tamaño, solo variando la cantidad de asientos con los que cuenta. Toda canoa cuenta con un Ama o balancín, ubicado al lado izquierdo de los remadores, el cual se encarga de otorgarle estabilidad a esta, evitando una posible volcadura hacia dicho lado.

⁴ Inkanoa. ¿Quiénes somos? Recuperado el 01 de septiembre de 2017, de <https://www.inkanoa.com>

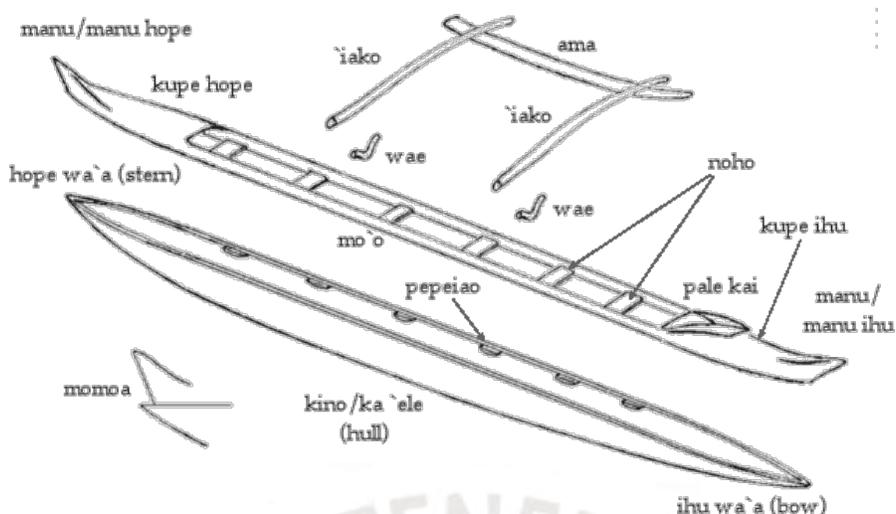


Figura 1.2 Estructura de la canoa polinesia V6 con sus nombres originales. (Babineau, 2004)

Remo: Cada remador cuenta con un solo remo para practicar el deporte, el cual deberán alternar de lado al momento de practicar el deporte. En la Figura 1.3 se describen las partes que lo conforman.



Figura 1.3 Partes del remo de Va'a.⁵

Como se puede observar, el remo cuenta con un mango y asta en los cuales el atleta coloca cada una de sus manos y con cierta frecuencia las intercambia de lugar al momento de alternar el lado de remado. Los remos cuentan con tamaños variables, así como ángulos de golpeo de 0°, 5°, 10° y 12° los cuales varían según la antropometría del atleta.

⁵ StandUpPaddle, *StandUpPaddle*. Obtenido de standuppaddle.online: <https://standuppaddle.online/remos-fijos/>

Asimismo, como se aprecia en la Figura 1.4, la pala del remo deberá ser utilizada por su lado recto para empujar el agua, esta deberá mantenerse perpendicular al mar para poder otorgar la mayor fuerza posible.



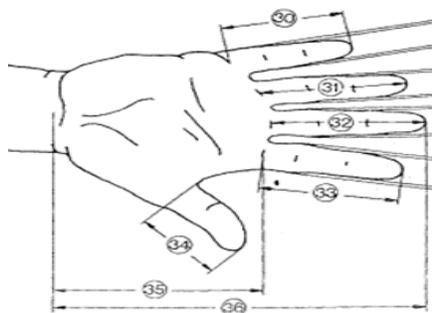
Figura 1.4 Ejemplificación de postura de remado (Silvester, 2020)

1.1.2. Sobre la antropometría y biomecánica de la mano

La antropometría es el estudio de las proporciones y de las dimensiones del cuerpo humano, así como el análisis de las características físicas de este. Para ello, se utilizan métodos e instrumentación especializada con los que se obtienen longitudes, volúmenes, anchos, espesores, centros de gravedad y la masa de distintas partes del cuerpo.⁶

Dicho estudio, es de suma importancia en el diseño de máquinas o herramientas que tienen contacto humano. Por lo que el diseño de estas, debe ser realizado bajo las capacidades máximas y mínimas, en las que pueda trabajar de manera ergonómica el usuario. Es decir, sin causarle al usuario fatiga, estrés, desórdenes músculo-esqueléticos, entre otros (Cubillos, 2010). Por ejemplo, en la Figura 1.5, se puede observar la antropometría de una mano.

⁶ Rivera, A. S. *Ergonomía Sánchez Rivera Anayelit*. Recuperado el 05 de septiembre de 2017, de <https://sites.google.com/site/ergonomiasanchezriveraanayelit/1-2-definicion-de-antropometria>



Dimensiones En cm.	PERCENTIL					
	Hombres			Mujeres		
	5 %	50 %	95 %	5 %	50 %	95 %
30 Largo del dedo meñique	5,6	6,2	7,0	5,2	5,8	6,6
31 Largo del dedo anular	7,0	7,7	8,6	6,5	7,3	8,0
32 Largo del dedo mayor	7,5	8,3	9,2	6,9	7,7	8,5
33 Largo del dedo índice	6,8	7,5	8,3	6,2	6,9	7,6
34 Largo del dedo pulgar	6,0	6,7	7,6	5,2	6,0	6,9
35 Largo de la palma de la mano	10,1	10,9	11,7	9,1	10,0	10,8
36 Largo total de la mano	17,0	18,6	20,1	15,9	17,4	19,0

Figura 1.5 Antropometría de la mano. (Estrucplan, 2002)

Por otro lado, se define biomecánica como un área interdisciplinada que estudia el movimiento del ser humano, así como la fuerza que este realiza para originarlo y las reacciones que tiene el movimiento sobre su organismo (Rebollo, 2014). La mano en este caso es un órgano sensitivo diseñado para la sujeción, de este acto y dependiendo del tipo de agarre varía el uso y combinación entre dedos y palma. Existen agarres del tipo pinza, en los que se utiliza únicamente los dedos para dar mayor precisión y los agarres, de la Figura 1.6, del tipo prensa en los que predomina la fuerza.



Figura 1.6 A la izquierda, sujeción tipo prensa mano-remo en asta y a la derecha sujeción prensa en mango.

En el caso del presente trabajo de tesis, la sujeción a replicar será la del tipo prensa, mostrada en la figura anterior. La sujeción a su vez deberá permitir que el usuario realice los movimientos de rotación de la mano ejemplificados en la Figura 1.7. Este tipo de sujeción es el óptimo para una correcta sujeción del remo dada la estructura del mango y asta mostradas anteriormente en la Figura 1.3. Además, dicha sujeción permite transmitir correctamente la fuerza ejercida por el usuario hacia el agua. Asimismo, las órtesis permitirán que el usuario logre un cambio de lado de remado perdiendo como máximo una remada al ritmo de sus compañeros, dicho tiempo de cambio podrá disminuir con la práctica del usuario.

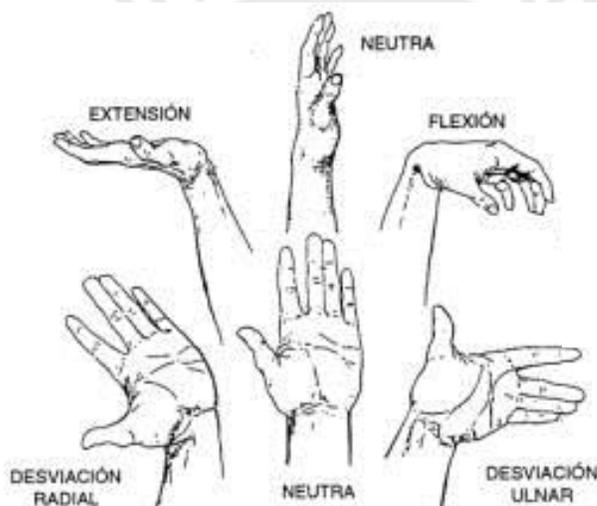


Figura 1.7 Movimientos de rotación de la mano. (Melo, 2002)

1.2. Estado del Arte

A continuación, se detallarán algunos productos comerciales y experimentales, así como patentes que podrían ser parte de la tecnología y técnica para el desarrollo de la presente tesis. Cabe aclarar que en el presente subcapítulo al referirse a una órtesis o exoesqueleto de mano, se describe a una estructura artificial que recubre dicho miembro, que potencia sus capacidades o permite al usuario realizar actividades que sin ellas no le sería posible.

1.2.1. Prototipos y productos

La *ExoHand*, desarrollada por Festo (2012), permite replicar los movimientos de una mano hacia un brazo robótico. Asimismo, se puede utilizar en la rehabilitación de la mano de pacientes con parálisis y para preveer la fatiga de trabajadores industriales con trabajo repetitivo. Enfocada en su función rehabilitadora, la *ExoHand* es una órtesis activa que permite el movimiento de todos los dedos mediante pistones neumáticos controlados por una interfaz cerebro-computadora. Como se muestra en la Figura 1.8, esta órtesis permite al paciente entrenar su cerebro y músculos para retomar el control sobre el movimiento de estos; además cuenta con sensores de fuerza que permiten al paciente sentir el objeto y la fuerza que se actúa sobre él.



Figura 1.8 Festo HexoHand. (FESTO, 2012)

El prototipo **EMMRA-1** o Exoesqueleto de Mano y Muñeca con Aplicaciones de Rehabilitación y Asistencia por sus siglas, fue desarrollado por COLCIENCIAS (2015), Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia. Este exoesqueleto, mostrado en la Figura 1.9, fue diseñado con el fin de ayudar en la rehabilitación de pacientes con daños medulares por accidentes y pacientes con degeneración del Sistema Nervioso Central. Dicho prototipo permite ejercitar la flexión y extensión tanto de la muñeca como de la mano del paciente, esto se logra a partir del reconocimiento de voz y sensores de electromiografía. La órtesis cuenta con 7 GDL para la mano y 2 GDL para la muñeca, además, el movimiento de esta es logrado a partir de servomotores de 20kg/cm de torque y sensores de fuerza resistivos.



Figura 1.9 Prototipo EMMRA-1. (COLCIENCIAS, 2015)

El proyecto **SCRIPT**, es una órtesis de mano diseñada para la rehabilitación de pacientes post-infarto. La órtesis cuenta con sensores que interpretan el uso de los músculos del antebrazo para provocar movimiento en la mano y muñeca del paciente. Esta ha sido diseñada para ser utilizada fuera de los centros de rehabilitación o clínicas, por lo cual cuenta con una interfaz totalmente amigable para el uso del paciente en su casa. Se ha diseñado con mecanismos y electrónica segura, de tal manera que no sea necesaria la supervisión del paciente por ningún especialista. Asimismo, la órtesis permite fuerzas de hasta 10N en las puntas de los dedos y un torque máximo de 1.5N.m

para la flexión de la muñeca (Serdar Ates, 2016). Los cambios entre el primer y último prototipo se ilustran en la Figura 1.10.

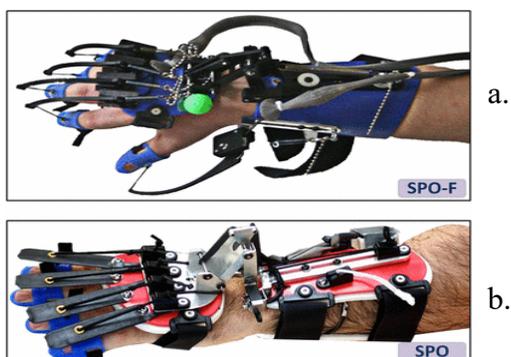


Figura 1.10 Proyecto SCRIPT. SPO Figura 1.10 a. (primera versión) y SPO-F Figura 1.10 b. (última versión). (Serdar Ates, 2016)

El **PowerGrip**, fabricada por *Broadened Horizons*⁷, es una órtesis activa dinámica en venta para el público en general. Cuenta con un actuador lineal que activa un mecanismo capaz de abrir y cerrar los dedos anular y medio del paciente, manteniendo en una posición restringida el pulgar y la muñeca, tal como se puede observar en la Figura 1.11. La órtesis viene acompañada de sensores EMG para controlar el movimiento de esta a partir del movimiento de los músculos del ante brazo. El precio de esta junto con los aparatos de entrenamiento y evaluación, es de aproximadamente \$2600 por cada órtesis.



Figura 1.11 *PowerGrip* de *Broadened Horizons*⁷.

⁷ Fuente: http://www.quiksilver.es/3mm-syncro-guantes-de-surf-de-5-dedos-3613372113444.html#cgid=men_surf_neo-accessories&start=13&hitcount=16

En la Tabla 1.1 Comparación de órtesis para manos, se compararán algunas de las distintas características de las órtesis anteriormente expuestas.

Tabla 1.1 Comparación de órtesis para manos

	<i>EMMRA-1</i>	<i>ExoHand</i>	<i>SCRIPT</i>	<i>PowerGrip</i>
Grados de Libertad	7GDL en la mano y 2GDL en la muñeca	No especifica “Casi todos los de una mano”	No especifica	1GDL en la mano
Material Principal	Acrílico	Polímero	Polímero	Aluminio
Control	Reconocimiento de voz y electromiografía	Interfaz cerebro-computadora	Sensores EMG en el antebrazo	Sensores EMG en el antebrazo
Precio	Prototipo	Prototipo	Prototipo	\$2600
Alimentación	Switching Power Supply de 12V	No especifica	No especifica	Batería recargable de 12V ión-litio
Movimiento	Movimiento individual de dedos y muñeca	Movimiento individual de dedos y muñeca	Movimiento individual de dedos y muñeca	Movimiento único del dedo índice y medio
Lugar de Uso	En casa	Centros de rehabilitación o clínicas	En casa	En casa
Motivo de Uso	Rehabilitación	Rehabilitación	Rehabilitación	Rehabilitación
Peso	No especifica	No especifica	650g	No especifica
Resistencia al agua	No	No	No	No

Existen también otros prototipos o diseños totalmente mecánicos, los cuales permiten su reproducción gratuita, debido a que no están patentados. A continuación, se presentarán dos de estos diseños, los cuales fueron encontrados en el libro “Canoeing and kayaking for people with disabilities” de Janet Zeller (2009).

El primer diseño consta de dos piezas de plástico ABS que se unen al mango y asa del remo mediante abrazaderas tal como se muestra en la Figura 1.12. Estas abrazaderas están diseñadas

para que el usuario ingrese sus manos entre las piezas y el remo, de tal manera que queden aseguradas.

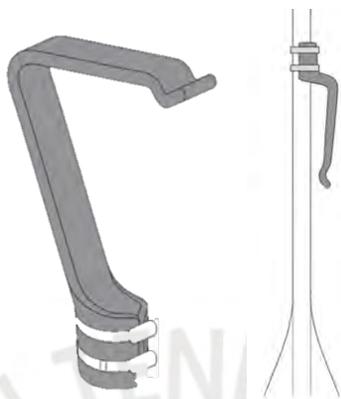


Figura 1.12 Adaptación de plástico ABS para remo de canoa. (Zeller, 2009)

El segundo diseño, ilustrado en la Figura 1.13, está conformado por la cámara de la llanta de una bicicleta sujeta en sus extremos al remo mediante velcro o amarracables. El usuario introduce su mano entre la cámara y el remo aprovechando la elasticidad de esta para la sujeción.

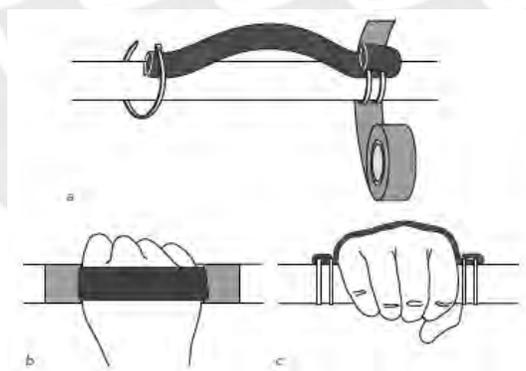


Figura 1.13 Adaptación de cámara de una llanta de bicicleta. (Zeller, 2009)

Ambos diseños son versátiles y de fácil fabricación, lamentablemente es necesario que el usuario tenga algún manejo de sus manos, así como fuerza en esta, ya que ambas soluciones solo mejoran la sujeción, pero no la aseguran totalmente.

1.2.2. Patentes

a) *Hand and wrist exoskeleton rehabilitation training device* (CN202537871U, 2012) Es un exoesqueleto diseñado para el entrenamiento y rehabilitación de muñeca y mano, consta de un motor que al activar un tornillo sin fin le da movimiento a los dedos pulgar, índice, medio y anular del paciente. El equipo permite al paciente movilizar los dedos en varios grados de libertad permitiendo que el paciente realice numerosos ejercicios de rehabilitación.

b) *Human grasp assist device with exoskeleton* (US20130219585A1, 2012) El sistema representado en la Figura 1.14, cuenta con una serie de anillos que son colocados en lugares específicos de los dedos, estos están conectados por tendones artificiales y a un exoesqueleto. El otro extremo del tendón es conectado al actuador de tal manera que al activarse este permita el movimiento de los dedos. Existen sensores de fuerza colocados en el guante, con los que se controla el nivel de fuerza que debe ser ejercida por el actuador.

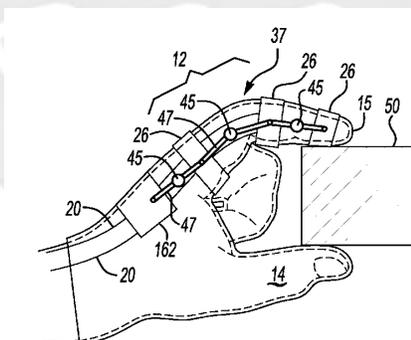


Figura 1.14 *Human grasp assist device with exoskeleton*.
(US20130219585A1, 2012)

c) *Strengthening glove* (US8029414B2, 2006) Es un guante en el que se pueden adaptar tendones artificiales a uno o más dedos. Tal como se puede observar en la Figura 1.15, dichos tendones van

sujetos en uno de sus extremos a la punta de cada dedo y en el otro extremo al actuador. Este jala el tendón enrollándolo de tal manera que el dedo se doble hasta sujetar lo que el usuario desee. La fuerza ejercida por el actuador es medida por sensores de tal manera que el actuador no supere la fuerza necesaria.

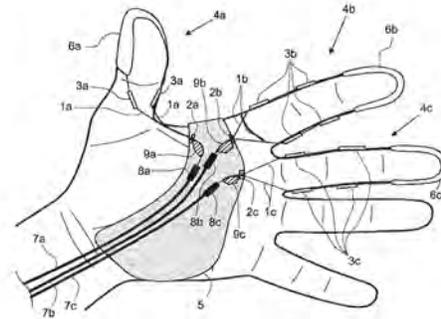


Figura 1.15 *Strengthening glove.*
(US8029414B2, 2006)

d) *Mechanics Magnetic Glove* (US3636568 A, 1972) Es un guante flexible que cuenta con incrustaciones de imanes permanentes a lo largo de los dedos y palma, tal como se muestra en la Figura 1.16. Dichos imanes permiten que piezas de metal, como tornillos, tuercas y arandelas, se sujeten al guante evitando que estos se puedan caer en lugares delicados y de difícil acceso.

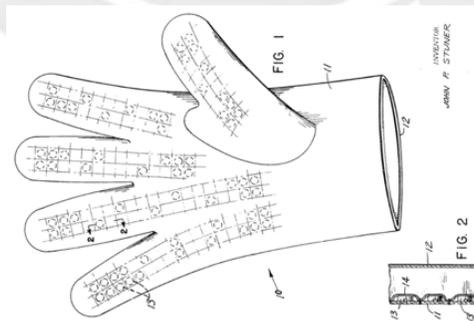


Figura 1.16 *Mechanics magnetic glove.*
(US3636568 A, 1972)

CAPÍTULO 2

DISEÑO CONCEPTUAL

En el presente capítulo se expondrán los requerimientos del sistema y el diseño conceptual del sistema. Así como la estructura de funciones del sistema, los distintos conceptos solución planteados y el análisis realizado para escoger el concepto final. Para el desarrollo del diseño se emplea la norma de diseño alemana VDI2206.

2.1. Requerimientos del Sistema

A continuación, se expondrán todos los requerimientos con los que deberá cumplir el sistema para satisfacer las necesidades del atleta y los objetivos planteados en la presente tesis.

Cinemática:

La órtesis deberá permitir que la mano del usuario realice los movimientos de desviación radial y ulnar de la mano, ejemplificados en la Figura 1.7 del capítulo anterior. Mientras el atleta realiza el remado, dichos movimientos no deberán de exceder los 20° (Ergonomía vol.3”, 2001).

Seguridad:

Todos los componentes electrónicos del sistema deberán estar completamente aislados para evitar contacto con el medio y el usuario. Además, en caso de volcadura de canoa, el sistema deberá apagarse y soltar el remo. Asimismo, el sistema electrónico deberá contar con grado de protección IP67 (ANSI 60529, 2018), de manera que los componentes estén protegidos si el atleta cae al agua.

Ergonomía:

La órtesis deberá permitir la adaptabilidad de la mano al remo de manera natural, así como evitar en lo posible la formación de ampollas por uso en las manos del usuario.

Geometría:

Las dimensiones de la órtesis deberán de ser no mayores a las de la mano del usuario.

Ancho Máximo: 100 mm

Largo Máximo: 250 mm

Espesor Máximo: 60 mm

Materiales:

La órtesis debe incluir en su diseño materiales resistentes al trabajo mecánico y a la corrosión. Asimismo, como estará en contacto con la piel del usuario se deberá incluir materiales confortables, que aseguren una buena sujeción sin causar daños por fricción en la mano del atleta. De preferencia, los materiales con los que será diseñada la órtesis deberán comercializarse dentro del país.

Transporte:

La órtesis mientras no sea utilizada, debe ser transportada sin problemas por una persona, en un maletín de mano común, con un peso máximo de 10 kg.

Fuerzas:

La órtesis estará sometida a las fuerzas de remado; fuerza distribuida en la pala del remo y las fuerzas de agarre y arrastre en el asta y mango.

Energía:

Las baterías deberán ser capaces de otorgar entre dos a tres horas de autonomía a la órtesis, ya que los recorridos en canoa por lo general tienen una duración máxima de dos horas.

Electrónica:

Los componentes electrónicos podrán ser tanto digitales como analógicos. Deberán de ser, de preferencia en su mayoría, resistentes al agua para asegurar la durabilidad de la órtesis.

Señales:

La órtesis contará con tres señales de entrada y tres de salida. Las señales de entrada serán; nivel de carga de batería, señal de estado de emergencia y señal de accionamiento. Asimismo, las señales de salida serán tres indicadores luminosos. El primero, informará al usuario si el sistema está prendido o apagado. El segundo, informará si la sujeción de la órtesis está activada o desactivada. El último, indicará si la batería debe ser recargada.

Mantenimiento:

Ya que el ambiente para el cual será diseñada la órtesis es altamente húmedo, el mantenimiento de esta deberá incluir la aplicación de anticorrosivos y la protección de las conexiones electrónicas.

Compras y Fabricación:

Los componentes de la órtesis deberán poder ser fabricados o comprados fácilmente en el territorio nacional, de lo contrario importados en un plazo menor a 30 días útiles.

Costo:

El costo del producto debe ser ascender como máximo a los 3200 nuevos soles, con la finalidad de permitir que sea accesible para quien desee realizar el deporte. Asimismo, podría ser solventado por algún club, asociación deportiva o una futura Federación Peruana de Va'a.

2.2. Estructura de Funciones

La órtesis, para efectos prácticos, será definida en la Figura 2.1, como una caja negra (Black Box) en la que se definirán las distintas entradas y salidas con las que contará el sistema.

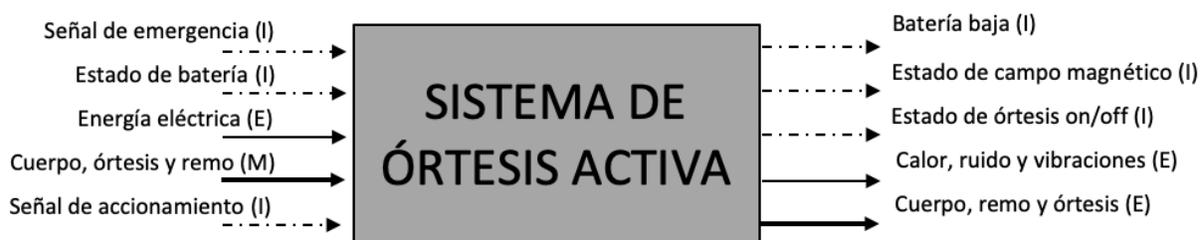


Figura 2.1 *Black box* del proyecto

A continuación, en la Figura 2.2, se explicará cada uno de los dominios en los que se ha dividido el funcionamiento de la órtesis; dominio mecánico, control y electrónico.

2.2.1. Dominio Mecánico

- **Sostener componentes mecánicos:** es la función encargada de sostener los componentes mecánicos de la órtesis.
- **Sujetar mano - órtesis:** es la función encargada de unir la órtesis a la mano.
- **Adaptar mano - órtesis:** es la función que permite que los dedos del usuario se acomoden a la posición de remado.

- **Sujetar órtesis - remo:** es la función encargada de permitir una correcta sujeción entre el remo y la órtesis, que permita al usuario remar sin dificultades.
- **Soltar órtesis - remo:** es la función que permitirá el cambio de manos entre el asta y mango del remo para realizar el cambio de lado de remado, así como soltar de manera definitiva el remo cuando se finalice la práctica del deporte u ocurra una emergencia.
- **Sostener componentes electrónicos y control:** es la función encargada de sostener los componentes electrónicos y de control del sistema.
- **Sostener remo para cambio de mano:** es la función encargada de sostener el remo para realizar el cambio de lado de remado.

2.2.2. Dominio de Control

- **Controlar proceso:** función encargada de emitir señales de control mediante el uso de un micro controlador. Dichas señales de control permitirán el accionamiento/desenganche del sistema de sujeción según fuera necesario siguiendo la lógica de control.
- **Enviar y recibir señales:** función encargada de enviar y recibir las señales de control, así como los registros de los sensores del sistema.

2.2.3. Dominio Electrónico

- **Almacenar energía:** es la función encargada de suministrar la energía eléctrica al sistema.
- **Detectar batería baja:** función encargada de informar al usuario la necesidad de recargar la batería de la órtesis.
- **Accionar sujeción:** es la función encargada de enviar los impulsos eléctricos necesarios para accionar dicho sistema. Además, es la encargada de detener la sujeción del remo en caso de emergencia o volcadura de la canoa.

- **Mostrar estado de batería y campo magnético:** función encargada de informar al usuario si el sistema de sujeción está encendido o apagado y el estado de la batería.
- **Detectar emergencia:** es la función encargada de determinar si ha ocurrido una emergencia o volcadura de canoa.
- **Regular energía:** función encargada de regular el voltaje de alimentación.

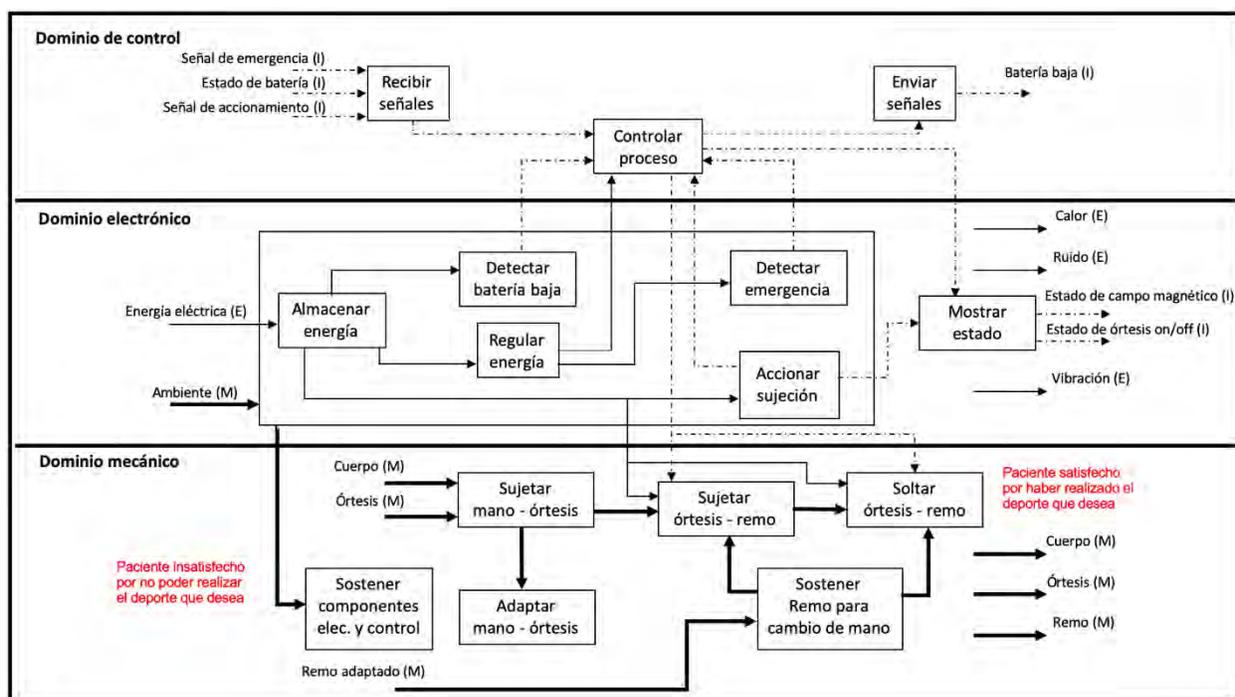


Figura 2.2 Estructura de funciones del proyecto con división por dominios

2.3. Matrices Morfológicas por Dominios

A continuación, se mostrará el desarrollo de las matrices morfológicas del sistema. Para ello, se han desarrollado tres tablas, una por cada dominio; mecánico, Tabla 2.1; control, Tabla 2.2; y electrónico, Tabla 2.3. En estas tablas, se ilustran distintas alternativas posibles para satisfacer cada función del sistema. A partir de estas, se generan posibles conceptos solución, los cuales serán evaluados para seleccionar el más óptimo.

Tabla 2.1 Matriz morfológica del dominio mecánico

Dominio Mecánico				
Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Sujetar mano- órtesis	 Velcro	 Guante	 Correas	
Adaptar mano- órtesis	 Imán Permanente	 Velcro		
Sujetar órtesis- remo	 Electroimán permanente	 Electroimán	 Sujeción por forma	 Imán permanente
Soltar órtesis- remo	 Actuador lineal			
Sujetar componentes elec. y control	 Chaleco	 Casco		
Sostener remo para cambio de mano.	 Soporte	Sin soporte		


Solución 4


Solución 2


Solución 1

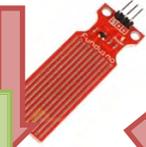
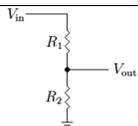

Solución 3

Cabe recalcar que para los casos de sujeción por electroimanes (permanentes y no permanentes) y sujeción mecánica por forma, no se ha considerado un componente extra que cumpla con la función de soltar la órtesis del remo. Esto se debe a que dichas alternativas pueden cumplir ambas funciones. En el caso del imán permanente queda claro que cumple sin problemas la función de sujeción, pero para permitir que este suelte el remo se debe provocar una fuerza contraria que aleje el imán del remo, dicha fuerza podría ser provocada por un actuador lineal como se señala en la solución 4.

Tabla 2.2 Matriz morfológica del dominio de control

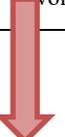
Dominio de Control					
Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Controlar proceso	 Arduino Mega	 Arduino Nano	 Tiva Launchpad	 Raspberry Pi Zero	
Enviar y recibir señales	 Bluetooth	 NFC	 Cables	 WIFI	 ZigBee
	Solución 2	Solución 1	Solución 4	Solución 3	Solución 5

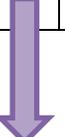
Tabla 2.3 Matriz morfológica del dominio electrónico

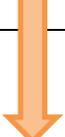
Dominio Electrónico					
Funciones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Detectar batería baja	 Voltímetro	 Medidor de batería			
Mostrar estado de batería y campo magnético	 LED	 Display segmentos			
Accionar sujeción	 Switch	 Botón	 EEG	 Sensores EMG	 Pulsador
Detectar emergencia	 Sensor de agua	 Sensor de fuerza	 Giroscopio		
Almacenar energía	 Batería de iones de litio	 Batería de Níquel-Cadmio	 Batería de plomo ácido		
Regular energía	 Divisor de voltaje	 Regulador de voltaje	Nada		


 Solución 1


 Solución 3


 Solución 2


 Solución 4


 Solución 5

Ya que el remo puede ser fabricado de madera, fibra de carbono o un híbrido de ambos. Se ha previsto, para todas las soluciones planteadas con imanes y electroimanes, el uso de incrustaciones metálicas. Estas, serían colocadas en los puntos de sujeción de la órtesis, tal como se puede observar en la Figura 2.3.

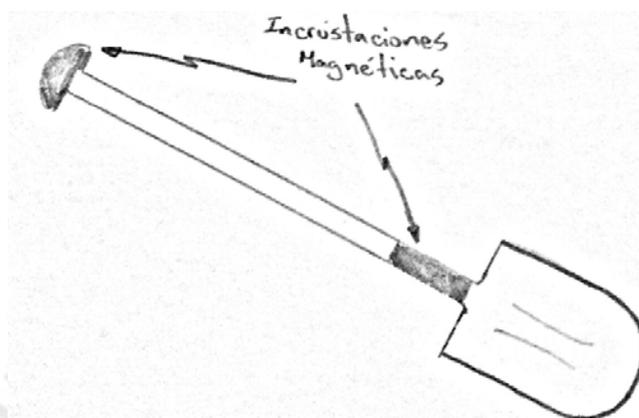


Figura 2.3 Boceto de remo con incrustaciones metálicas

2.4. Conceptos de solución

Los siguientes conceptos de solución ilustran únicamente una órtesis, esto se debe a que el diseño de estas, no varía según la mano en la que sean utilizadas.

- **Primer concepto de solución:** Es la integración de la solución 2 mecánica, solución 1 de control y solución 1 electrónica, ilustrado en la Figura 2.4. Fabricada en acero inoxidable, con sujeción a la mano del usuario a través de un guante con imanes permanentes en los dedos para la adaptabilidad de los mismos. La solución utilizaría un electroimán para permitir la sujeción del remo, dicho electroimán estaría alimentado por una batería de iones de litio. Se utilizaría un microcontrolador Tiva Launchpad para el control de los procesos, este se comunicaría vía Bluetooth con las órtesis. El usuario sería capaz de activar y desactivar la sujeción mediante impulsos nerviosos captados por sensores de electroencefalografía. Además, un giroscopio,

ubicado en la canoa, detectaría una posible volcadura de esta para desactivar la sujeción del remo. Asimismo, el usuario podría observar el estado de carga de batería y el estado de la órtesis mediante un display de siete segmentos. Finalmente, se contaría con un soporte en el cual se introducirá el remo para soltarlo y realizar el cambio de lado de remado.

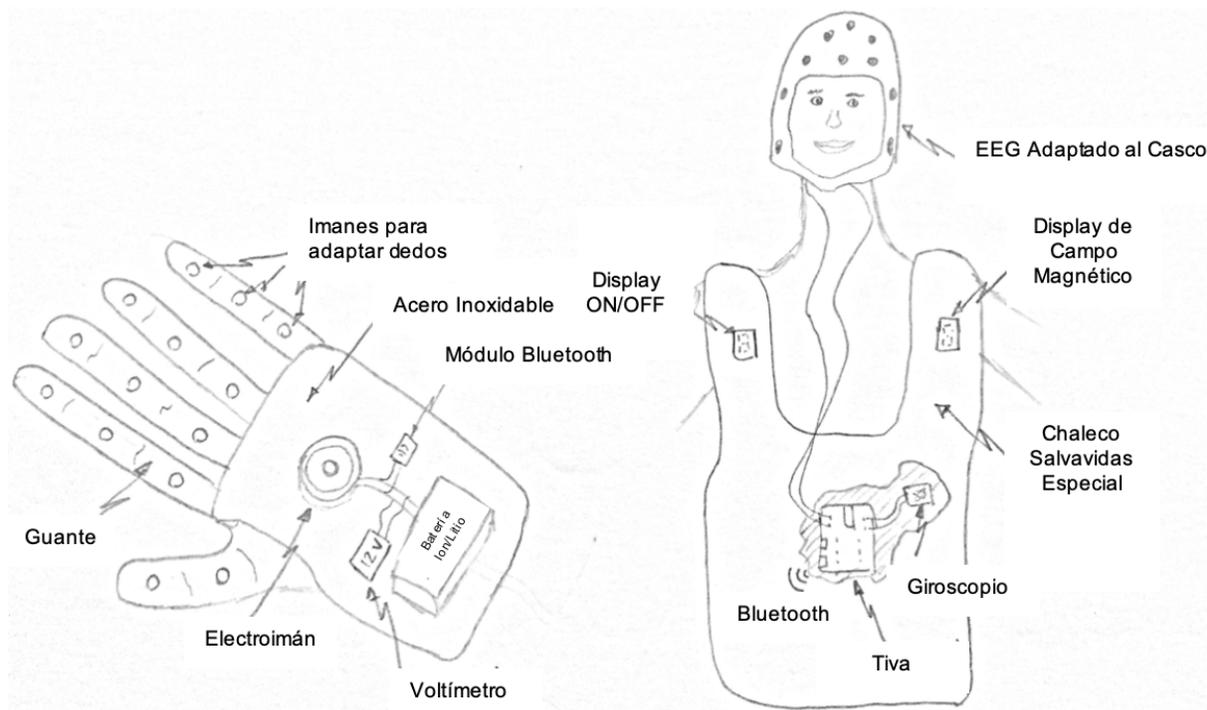


Figura 2.4 Boceto del primer concepto de solución.

- **Segundo concepto de solución:** Es la integración de la solución 1 mecánica, solución 2 de control y solución 2 electrónica, ilustrado en la Figura 2.5. Fabricada en base a un polímero impreso en 3D y con sujeción a la mano del usuario con velcro. Esta solución incluiría un electroimán permanente como medio de sujeción del remo, este estaría alimentado por una batería de Níquel-Cadmio. Para el control de los procesos se utilizaría un microcontrolador Arduino Mega, el cual se comunicaría por un módulo bluetooth con las órtesis. Un switch será el que permitiría al usuario activar y desactivar la sujeción del remo y un sensor de agua será el

encargado de detectar una posible volcadura de canoa y liberar el remo. Asimismo, se podría observar el estado de la órtesis mediante LED's y el nivel de la batería por un voltímetro. Por último, se contaría con un soporte como en el concepto de solución anterior.

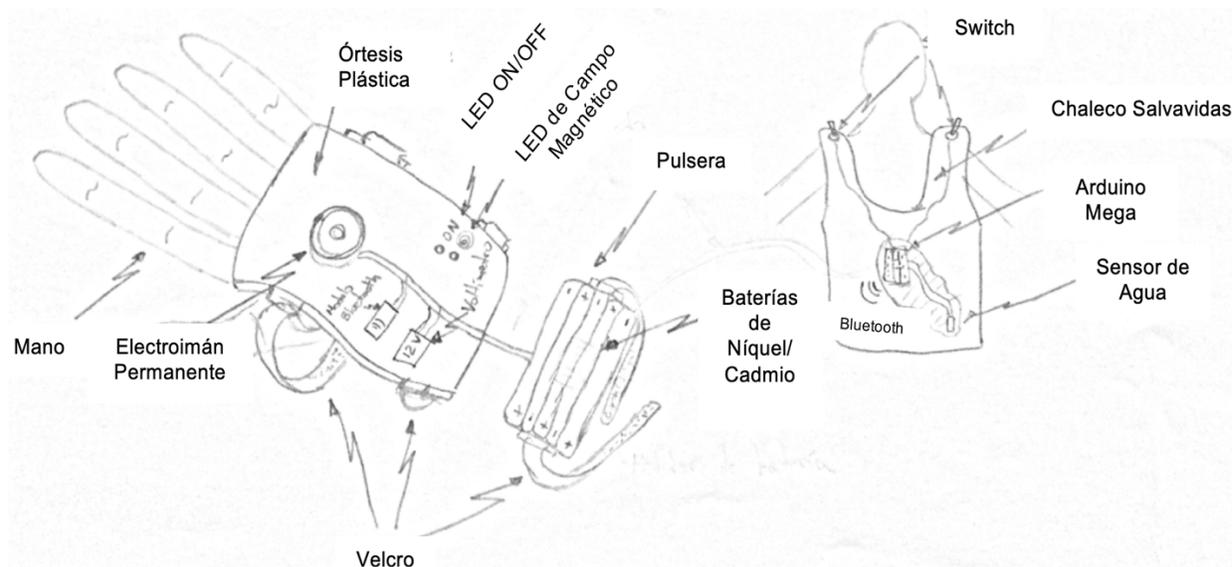


Figura 2.5 Boceto del segundo concepto de solución.

- **Tercer concepto de solución:** Es la integración de la solución 1 mecánica, solución 4 de control y solución 3 electrónica, ilustrado en la Figura 2.6. Fabricada en base a un polímero impreso en 3D, con sujeción a la mano del usuario con velcro y adaptación de los dedos por forma. Como en el concepto anterior, incluiría un electroimán permanente como medio de sujeción del remo, el cual estaría alimentado por una batería de Ion de Litio. Para controlar los procesos se utilizaría un Arduino Nano con conexiones cableadas. El usuario podría activar y desactivar la sujeción del remo mediante pulsadores y un sensor de agua sería el encargado de detectar una posible volcadura de canoa y liberar el remo. Asimismo, se podría observar el estado de la órtesis mediante LED's y el nivel de la batería por un medidor de batería. Finalmente, se contaría con un soporte como en el primer concepto de solución.

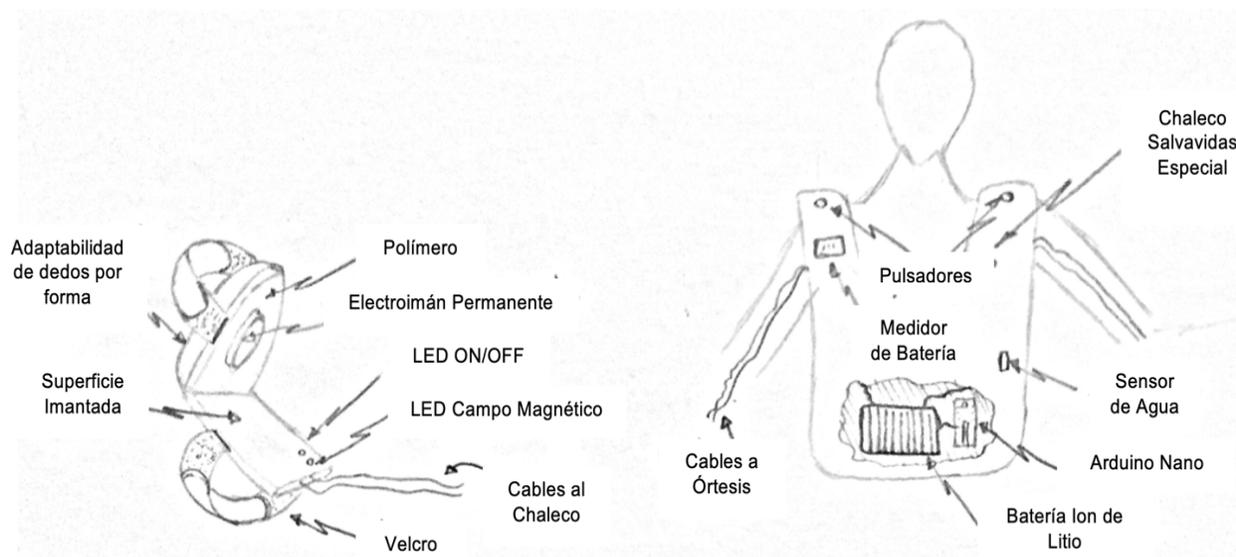


Figura 2.6 Boceto del tercer concepto de solución

2.5. Evaluación Económica y Técnica de los Conceptos de Solución

A continuación, mediante asignación de puntaje, se realizará el análisis Técnico-Económico de los tres conceptos de solución expuestos anteriormente.

a) Evaluación Económica: En esta evaluación se consideraron los siguientes aspectos:

- Fácil adquisición de materiales: rapidez con la que se adquieren los componentes dentro o fuera del país, así como su facilidad y costo de importación de ser requerido.
- Pocos desperdicios: disminución de pérdida por desperdicios de materiales o insumos.
- Costo de tecnología: costo de la tecnología a utilizar.
- Facilidad de montaje: ensamblaje y montaje del sistema es sencillo.
- Facilidad de mantenimiento: los mantenimientos se pueden realizar en el país de forma sencilla y con repuestos nacionales.
- Costo de operación: el uso del sistema representa un bajo costo operativo.

En la Tabla 2.4, se presentan los resultados de la evaluación económica de los conceptos de solución.

Tabla 2.4 Evaluación económica de los conceptos de solución

Aspectos económicos		Solución 1		Solución 2		Solución 3		Ideal	
Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
Fácil adquisición de materiales	2	2	4	4	8	4	8	4	8
Pocos desperdicios	1	3	3	4	4	4	4	4	4
Costo de tecnología	2	2	4	4	8	3	6	4	8
Facilidad de montaje	1	2	2	4	4	4	4	4	4
Facilidad de mantenimiento	1	3	3	3	3	3	3	4	4
Costo de operación	2	4	8	2	4	4	8	4	8
Total aspectos económicos		16	24	21	31	22	33	24	36
Valor económico		0.667	0.667	0.875	0.861	0.917	0.917	1	1

b) Evaluación Técnica: En esta evaluación se consideraron los siguientes aspectos:

- Buen uso de energía o fuerza: el sistema consume la menor cantidad de energía posible, optimizando la duración de las baterías.
- Seguridad: el sistema le brinda al usuario un entorno de seguridad.
- Rapidez: el sistema funciona rápidamente y sin latencia.
- Ergonomía: el sistema colabora con la ergonomía del usuario.
- Rigidez: los elementos del sistema cuentan con la rigidez necesaria para su buen funcionamiento.
- Manipulación: el sistema es de fácil manipulación por el usuario.
- Confiabilidad: el sistema cumple con sus funciones en todo momento.

- Facilidad de manejo: sistema de uso intuitivo por el usuario.
- Transportabilidad: es sistema se puede transportar de forma sencilla.
- Complejidad: los componentes del sistema son sencillos de manejar y ensamblar.
- Lista de exigencias: el sistema cumple con la lista de exigencias descrita al inicio del presente capítulo.
- Posibilidad de automatización: el sistema posee la posibilidad de automatizar aún más sus procesos y mejorar su funcionalidad.

Asimismo, en la Tabla 2.5, se presentan los resultados de la evaluación técnica de los conceptos de solución.

Tabla 2.5 Evaluación técnica de los conceptos de solución

Aspectos económicos		Solución 1		Solución 2		Solución 3		Ideal	
Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
Buen uso de energía o fuerza	2	4	8	1	2	4	8	4	8
Seguridad	3	3	9	3	9	3	9	4	12
Rapidez	2	1	2	3	6	3	6	4	8
Ergonomía	2	4	8	3	6	4	8	4	8
Rigidez	2	4	8	2	4	3	6	4	8
Manipulación	1	1	1	4	4	4	4	4	4
Confiabilidad	2	4	8	3	6	3	6	4	8
Facilidad de manejo	2	2	4	4	8	4	8	4	8
Transportabilidad	1	2	2	4	4	4	4	4	4
Complejidad	1	4	4	3	3	3	3	4	4
Lista de exigencias	3	1	3	4	12	4	12	4	12
Posibilidad de automatización	3	1	3	4	12	4	12	4	12
Total aspectos económicos		31	60	38	76	43	86	48	96
Valor económico		0.646	0.625	0.792	0.792	0.896	0.896	1	1

Con los resultados obtenidos del análisis anterior, se realiza el gráfico comparativo, de la Figura 2.7. En este, se marcan las coordenadas del Valor Económico vs Valor Técnico para cada concepto de solución y se traza la línea de equilibrio.

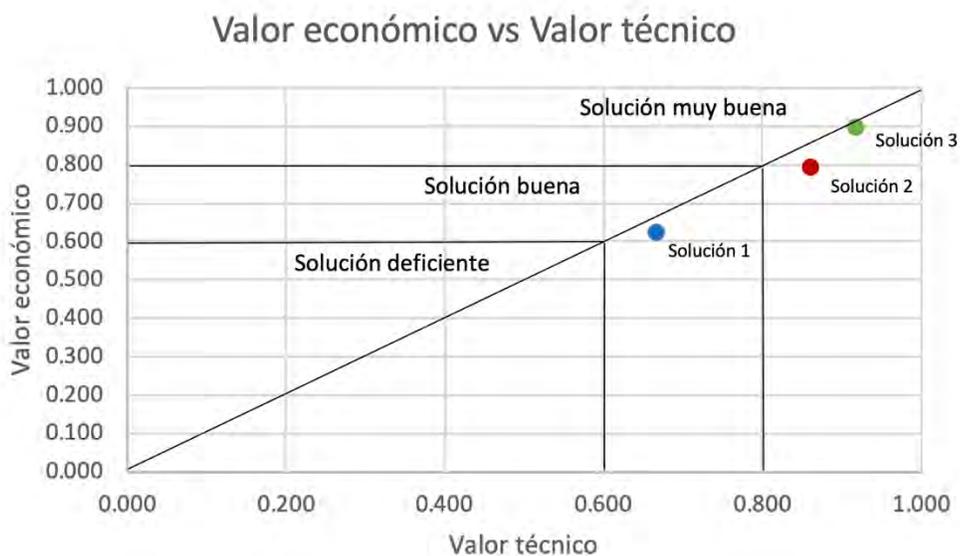


Figura 2.7 Gráfico valor económico vs valor técnico según VDI 2225.

De la gráfica anterior se puede observar que la solución 1 estaría categorizada como una solución buena, pero la solución 2 y solución 3 estarían categorizadas como muy buenas. A pesar de ello, se puede concluir que el concepto solución óptimo que debe emplearse para el proyecto, es el concepto de solución 3, esto se debe a que al graficarlo este es el que se encuentra más lejano al eje de coordenadas y más cercano a la línea de equilibrio.

CAPÍTULO 3

DOMINIO MECÁNICO

En el presente capítulo se expondrán los distintas consideraciones y cálculos que se tomaron para el diseño, dimensionamiento y selección de componentes del sistema mecánico.

3.1. Consideraciones previas

A continuación, se presentarán algunas consideraciones previas sobre las cuales se realizará el diseño de las órtesis y accesorios del remo.

Las órtesis: Serán diseñadas simétricas para cada mano y para que el usuario mantenga la mano en una posición similar a la que se tiene al sujetar un remo de manera natural. La unión entre la mano y la órtesis será mediante velcro que permitirá una buena sujeción y adaptabilidad al tamaño y grosor de la mano del usuario. A pesar de que la órtesis contará con una capa de neopreno en la parte que estará en contacto con la mano, es recomendable el uso de guantes del mismo material por parte del usuario para evitar daños por fricción.

El remo: Se tomó en consideración para el presente estudio, un remo de madera y fabricación peruana. Las dimensiones a medir son importantes para seleccionar los injertos metálicos que se colocarán en el remo del usuario. Para ello se procedió a realizar las mediciones con un vernier o pie de rey, obteniendo los resultados mostrados en la Figura 3.1.

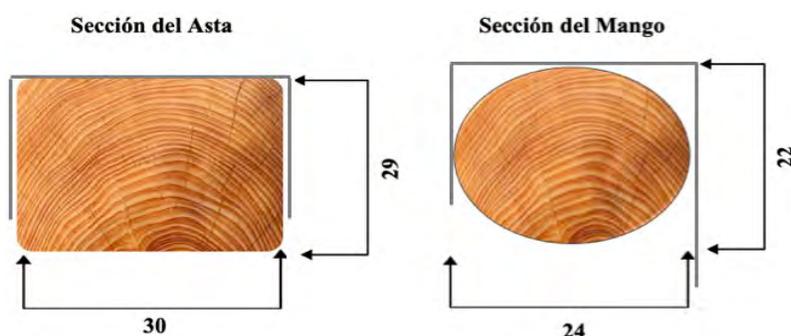


Figura 3.1 Dimensiones del mango y asta del remo.

Se debe contemplar que el contacto del electroimán se realizará por el lado de 30mm para el asta y 22mm para el mango, en las posiciones indicadas en la Figura 2.3 del capítulo anterior. De esta manera se aprovecharía la mayor superficie posible del electroimán, a la vez que se mantiene el contacto extra con la superficie magnética, la cual evitaría grados de libertad rotacionales no deseados en el remo. Asimismo, se define que el diseño de los injertos metálicos del remo sea en forma de U y de medidas 23x32x23mm para el asta y 20x24x30mm para el mango, posicionados según la líneas grises de la Figura 3.1. Cabe recalcar que los injertos deberán ser de acero inoxidable ferrítico o martensítico, de tal manera que cuenten con propiedades magnéticas y a su vez no sean propensos a corroerse por el medio marino.

3.2. Cálculos mecánicos

En el presente subcapítulo, se realizarán los cálculos necesarios para dimensionar las órtesis y seleccionar el material de las mismas, así como el electroimán que sujetará el remo a estas.

3.2.1. Fuerza de remado

El primer parámetro a tomar en cuenta debe ser la fuerza que aplica una persona al remar. Según el estudio realizado por Staton (1999), un remador profesional realiza una fuerza promedio, en el asta del remo, de 243.9N al remar. Tradicionalmente, el agarre en el asta se realiza a un puño de distancia de la pala. Se puede observar la posición del injerto del asta en la Figura 2.3.

Asimismo, se realizó un experimento en el que mediante una balanza de mano se obtuvo la fuerza máxima, en kg, que realizaba un remador novato al remar. Como se puede observar en la Figura 3.2, para dicho experimento se colocó la balanza de mano en el punto donde el remador sujetaría el remo y con la ayuda de una cámara de video, se registraron las fuerzas medidas por la balanza durante cinco minutos de remado. Durante estos minutos, se realizó el experimento siguiendo la técnica de remado. Una vez finalizado, se procedió a revisar la grabación y se encontró que el valor de la fuerza máxima registrada ascendía a 9.95 kg o 97.8N. Cabe recalcar, que en este experimento, se utilizó un remo estándar de 10° de ángulo de golpeo.



Figura 3.2 Experimento para hallar la fuerza máxima de remado de manera práctica y DCL del sistema en remado.

Por ello para el dispositivo se ha seleccionado el uso de una fuerza $F=180\text{N}$, fuerza promedio entre la que realiza un remador novato y un remador profesional. Debido a que el dispositivo está orientado a una persona con cuadriplejía, la cual probablemente realice una menor fuerza que un remador principiante y reme como máximo a 60 paladas por minuto. Además, debido a que solo puede remar con brazos y hombros mas no utilizar las lumbares y abdominales, dicha fuerza de 180N ya estaría abarcando un factor de seguridad de 1.8. para un remador que llegue a los 100N.

3.2.2. Diseño de la órtesis

En el presente apartado, se realizará el estudio para comprobar si la forma pensada de la órtesis cumplirá con el requerimiento de ergonomía. Según un estudio realizado por Universidad de Casino, Italia (2014), las medidas promedio de las falanges del dedo medio son las siguientes: Falange I, 26.94mm; Falange II, 21.54mm; Falange III, 25.06mm (ver Figura 3.3 para distinguir la ubicación de cada una).

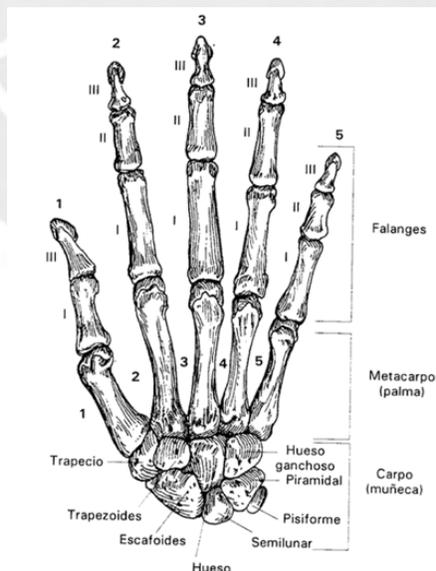


Figura 3.3 Identificación de los huesos de la mano.⁸

⁸ Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos90/manual-osteologia-antropologica/manual-osteologia-antropologica.shtml>

Tomando en cuenta las dimensiones anteriores, en la Figura 3.4, se procede a realizar el análisis ergonómico de la órtesis y obtener los ángulos formados por los dedos.

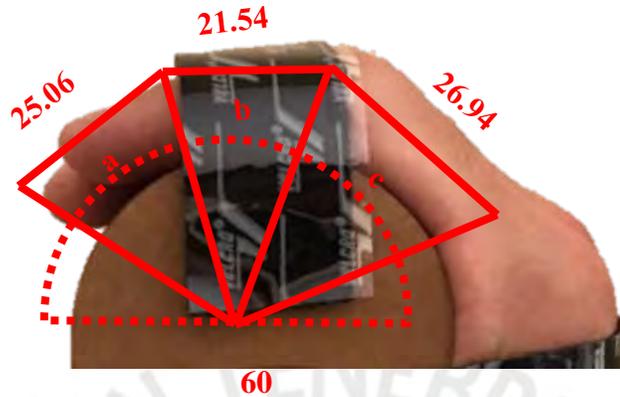


Figura 3.4 Análisis ergonómico de la órtesis.

Se plantea la Ecuación 3.1 para hallar los ángulos señalados en la Figura 3.4,

$$\alpha = 2\arctan\left(\frac{d/2}{r}\right), \quad (3.1)$$

donde α es el ángulo a hallar (sexagesimales), d es la dimensión de la falange (mm) y r es el radio de la circunferencia de la base de la órtesis (mm).

Reemplazando las dimensiones de las falanges de la Figura 3.4 en la Ecuación 3.1, se obtiene

$$a = 2\arctan\left(\frac{26.94/2}{30}\right) = 48.36^\circ,$$

$$b = 2\arctan\left(\frac{21.54/2}{30}\right) = 39.50^\circ,$$

$$c = 2\arctan\left(\frac{25.06/2}{30}\right) = 45.34^\circ.$$

Ergonómicamente, el ángulo máximo de flexión es de 90° (DiMSAT, 2004), el cual es mayor a los ángulos hallados. Por ello, se puede concluir que el diseño planteado es ergonómico para los dedos.

Del mismo modo, para demostrar que la forma de la órtesis también es ergonómica para la muñeca, se realizó la simulación de remado, aplicando la técnica aprendida en las clases de Va'a y utilizando un prototipo 3D de las órtesis. A partir de secuencia de imágenes de la Figura 3.5, se obtuvo la posición más comprometedora de la muñeca, ilustrada en la Figura 3.6. Esta posición fue identificada en la posición 12 de la Figura 3.5.



Figura 3.5 Secuencia de imágenes de la simulación de remado.



Figura 3.6 Desviación radial máxima durante el remado.

Con la finalidad de hallar el ángulo de aducción máximo X, se procedió a imprimir la Figura 3.6 y medir dicho ángulo con un transportador. Al realizar lo anterior, se halló que dicho ángulo era de $15^\circ \pm 0.5^\circ$. Asimismo, según (Ergonomía vol.3", 2001), el límite ergonómico de dicho ángulo de aducción es de 20° , por lo que se podría concluir que el diseño de la órtesis es ergonómico para la muñeca y por ello en su totalidad.

Finalmente, se plantea el diseño de la Figura 3.7 para la órtesis. En los siguientes apartados, se realizarán los cálculos necesarios para el dimensionamiento de cada parte crítica de esta.

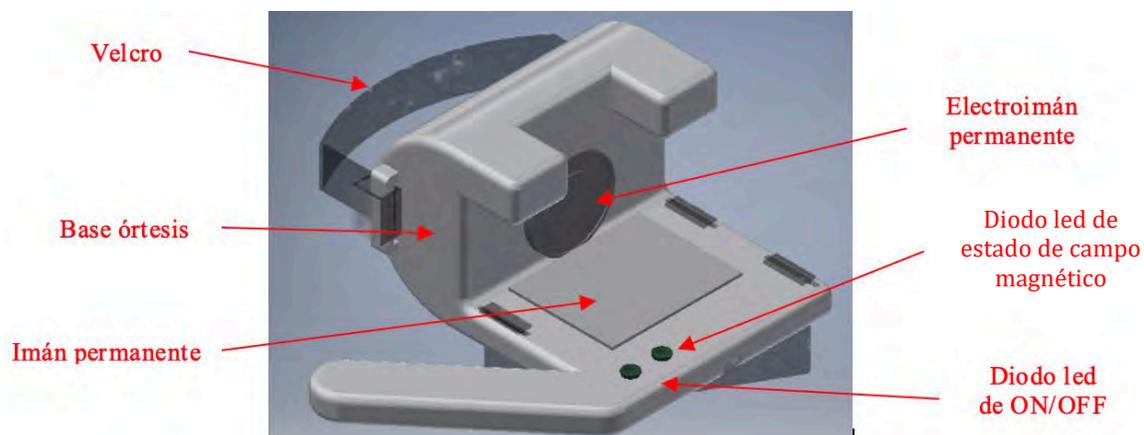


Figura 3.7 Vista isométrica de la órtesis izquierda.

Con la finalidad de evitar que el remo cuente con un grado de libertad rotatorio, se ha colocado una capa de imán permanente de 50x40x1mm. Esta permitirá que el remo sea sujetado bajo dos planos de contacto, lo cual, además de restringir totalmente el movimiento del remo aumentará la fuerza de sujeción de este. La sujeción del imán permanente debe permitir ser vencida sin mayor esfuerzo por el usuario al generar una fuerza paralela al plano del imán, tal como se puede observar en la Figura 3.8.

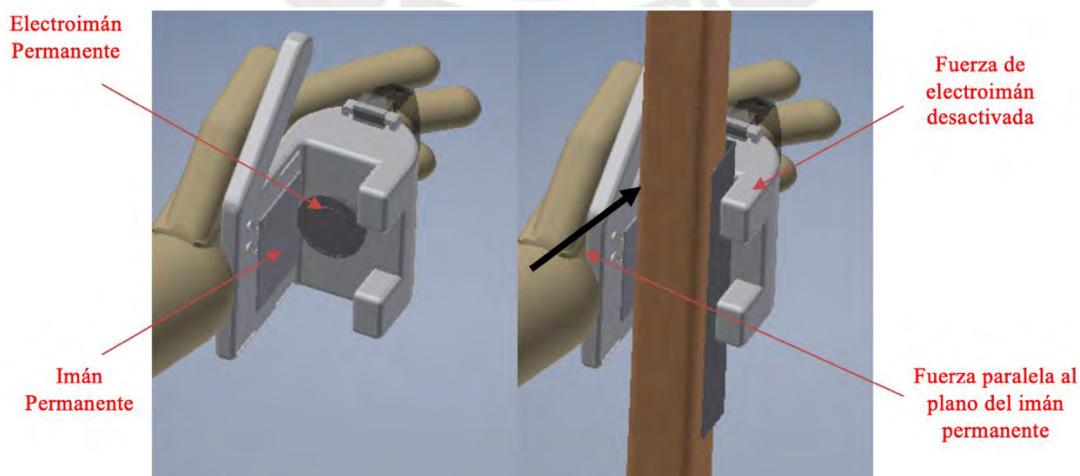


Figura 3.8 Descripción del proceso de desunión órtesis-remo

3.2.3. Dimensionamiento de la órtesis

En el diseño mecánico de la órtesis se ha verificado la presencia de tres puntos con alta demanda mecánica al momento del remado, ilustrados en la Figura 3.9. Por ello se realizarán los cálculos para el dimensionamiento del diseño propuesto.

Se utilizará impresión 3D en polímero ABS para la fabricación de la pieza, el cual tiene como esfuerzo a la rotura mínimo $\sigma = 33\text{MPa}$. Joseph Vidosic recomienda en la tabla “Factores de seguridad para la construcción de maquinaria” de su libro “Machine Design Projects” (1957), “Para materiales poco experimentados o frágiles, en condiciones promedio de medio ambiente, carga y esfuerzo” un F.S. de entre 2.5 y 3. Por ello, se selecciona un F.S. = 2.5 para toda la pieza.

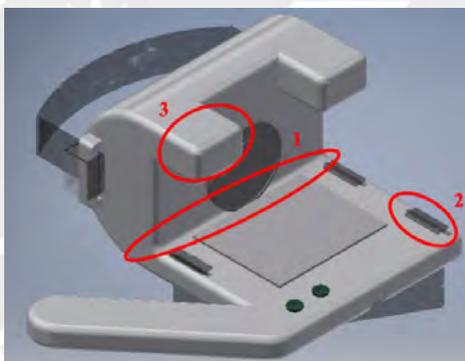


Figura 3.9 Identificación de puntos con alta demanda mecánica la órtesis.

En la Figura 3.10., se puede observar la distribución de las fuerzas para el primer punto de alta demanda mecánica. Este punto se identifica en la órtesis que sujeta el asta del remo, cuando el atleta se encuentra remando.

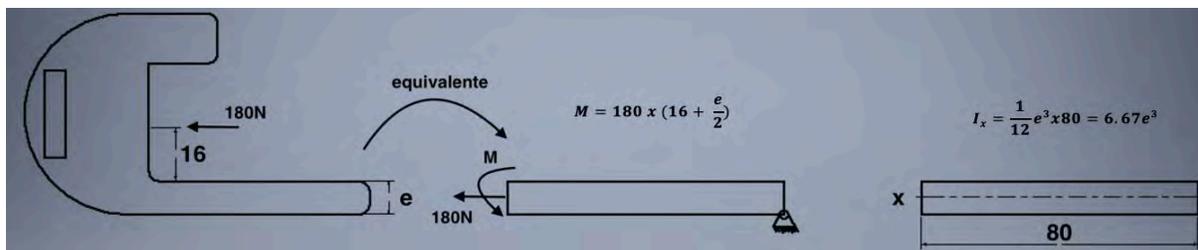


Figura 3.10 Análisis de resistencia de la intersección entre el reposo de palma y dedos.

En este caso, al analizar el sector deseado se produce un momento por el traslado de la fuerza, dicho momento obtiene el valor de

$$M = 180 \times (16 + e/2)N.mm. \quad . \quad (3.2)$$

Asimismo, se observa la presencia de dos esfuerzos normales, el primero causado por el momento flector y el otro provocado por la fuerza $F=180N$, de ello se obtiene

$$\sigma_{eq} = \frac{F}{A} + \frac{M}{I_x} \times \frac{e}{2} \quad . \quad (3.3)$$

donde M es el momento flector (N.mm.), I_x el momento de inercia del sólido en el eje x (N.mm.), e el espesor de la base de la órtesis (mm), F es la fuerza aplicada en la órtesis (N) y A es el área transversal de la órtesis, afectada por F (mm²).

Con el objetivo de hallar el espesor e mínimo, se reemplaza el momento M de la Ecuación 3.2 y la fuerza de remado F , en la Ecuación 3.3.

$$\sigma_{eq} = \frac{180}{80e} + \frac{180(16+e/2)}{6.67e^3} \times \frac{e}{2} = \frac{33MPa}{F.S.} = 13.2 \quad . \quad (3.4)$$

De la Ecuación 3.4 se halla que $e > 4.4mm$. A partir de ello se define la dimensión de e a 10 mm, por factores técnicos y de ubicación de componentes, mas no por razones de resistencia.

En el segundo punto a tomar en cuenta, argollas de sujeción de la palma, se decidió comprobar las dimensiones atribuidas a esta en la simulación por elementos finitos realizada en el apartado “Comprobación del diseño de la órtesis”. De esta forma, se podría verificar directamente si el factor de seguridad de estas es igual o mayor al F.S. 2.5 seleccionado. Las dimensiones que competen a esta sección pueden ser observadas en la Figura 3.11.

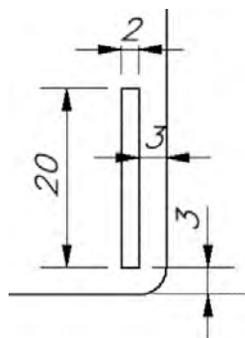


Figura 3.11 Dimensiones de la argolla de sujeción.
referencia: Plano PD01

Finalmente, para dimensionar el tercer punto, se ejemplificó en la Figura 3.12. la sujeción de la órtesis en el asta y mango del remo durante el remado. Con ello, se realizó el DCL del remo y de la órtesis al momento en el que el deportista retira el remo del agua, ilustrados en la Figura 3.13.

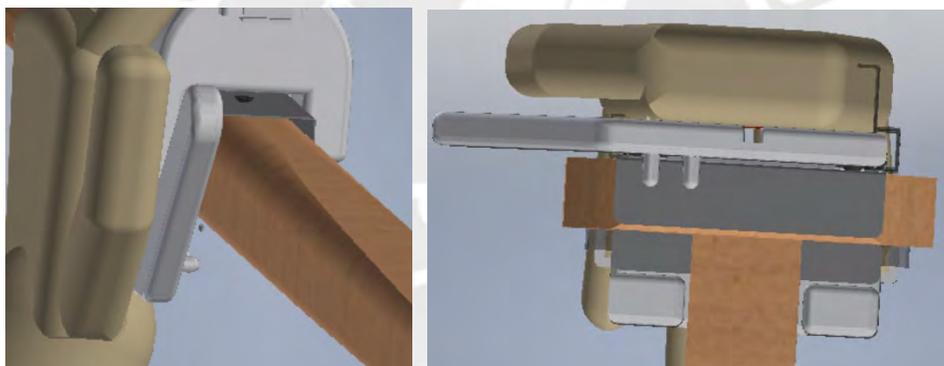


Figura 3.12 Sujeción órtesis y remo en asta y mango

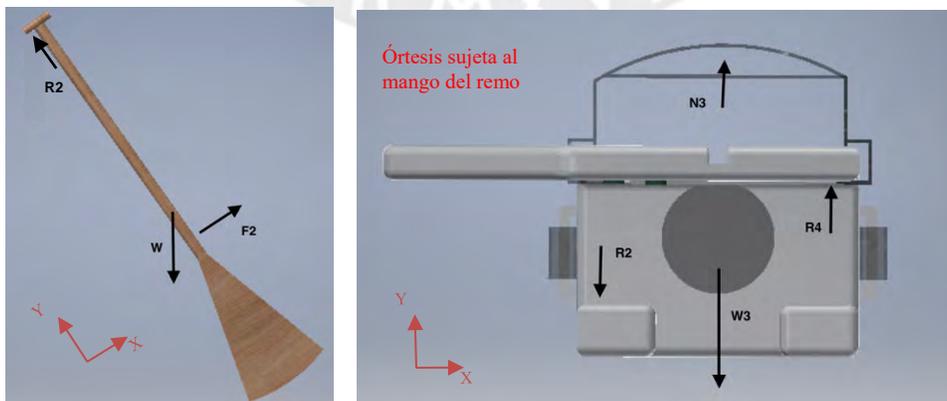


Figura 3.13 DCL del remo y órtesis al momento de retirar el remo del agua

A partir de ambos DCL, se describen las siguientes incógnitas: W , peso del remo; $F2$ fuerza ejercida en el asta del remo para retirar el remo del agua; $R2$, reacción de W y $F2$ sobre la órtesis sujeta al mango del remo; $W3$, peso de la órtesis; $N3$, reacción del peso sobre los velcros de sujeción en la mano del atleta y $R4$, segunda reacción de W y $F2$ sobre la órtesis.

Ya que no se puede medir la fuerza $R2$ de forma experimental, se asumirá que $R2 = F$ en un caso extremo y con esta base se realizará el dimensionamiento. Luego,

$$\sigma_{eq} = \frac{R_2}{A_1} \quad (3.5)$$

donde R_2 es la fuerza de remado aplicada en el sólido en el asta del remo (N) y A_1 es el área transversal del sólido (mm^2).

Se reemplaza en la Ecuación 3.5 los valores conocidos de σ_{eq} y F , con la finalidad de hallar el valor mínimo del área transversal.

$$\sigma_{eq} = \frac{33MPa}{F.S.} = \frac{33MPa}{2.5} = 13.2 MPa = \frac{180}{A_1} \quad (3.6)$$

$$A \geq \frac{180}{13.2}$$

De la Ecuación 3.6, se halla que $A_1 > 13.64 mm^2$. Por ello, se tomó para el diseño, un rectángulo de base 22.5 mm y altura 15 mm, cuya área es igual a $337.5 mm^2$. Como se puede observar en la Figura 3.13, estas dimensiones se eligieron para asegurar al remo de cualquier movimiento rotativo, así como la resistencia de la órtesis ante cualquier fuerza a la que pudiera ser sometida durante su uso.

3.3. Selección del electroimán permanente

Debido a que se ha considerado una fuerza de 180N para la sujeción del remo, se debe seleccionar un electroimán permanente con al menos dicha fuerza. Por dicho motivo se ha seleccionado el electroimán permanente estándar de 32mm de diámetro de la Figura 3.14, el cual otorga una fuerza de 180N como se puede observar en Tabla 3.1.



Figura 3.14 Foto del electroimán seleccionado.⁹

Tabla 3.1 Características técnicas del electroimán permanente de $\varnothing 32$ mm.⁹

Masa	135g
Potencia	7.5W
Voltaje	12VDC
Amperaje	625mA
Fuerza de sujeción	180N

Asimismo, se considerará el plano de la Figura 3.15, para el diseño del agujero donde reposará el electroimán en la órtesis.

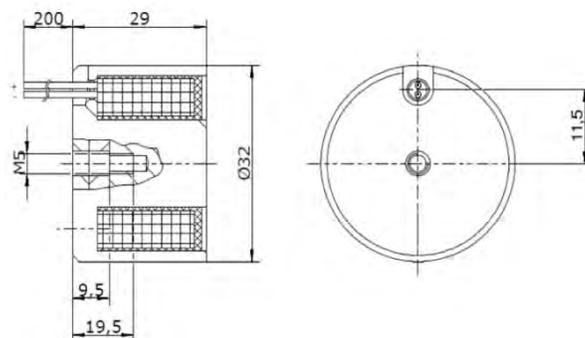


Figura 3.15 Dimensiones del electroimán permanente.⁹

⁹ Fuente: <https://apwelectromagnets.com/eml32mm-12.html>

3.4. Comprobación del dimensionamiento y diseño de la órtesis

Con la finalidad de comprobar el correcto funcionamiento y resistencia mecánica de la órtesis, se realizó la simulación de esta mediante el método de elementos finitos en el programa Autodesk Inventor, en el que se consideraron elementos tetraédricos debido a la deformación en tres planos a la que está sometida la órtesis.

Como se puede observar en la Figura 3.16, se colocó un esfuerzo o carga distribuida P de 0.224MPa, la cual se obtiene de calcular el esfuerzo que realiza la fuerza de remado F de 180N, definida anteriormente, sobre la superficie del electroimán permanente de $\phi 32\text{mm}$. Asimismo, se colocaron las debidas restricciones a la órtesis, en este caso, en los agujeros por donde se coloca el velcro de sujeción a la mano.

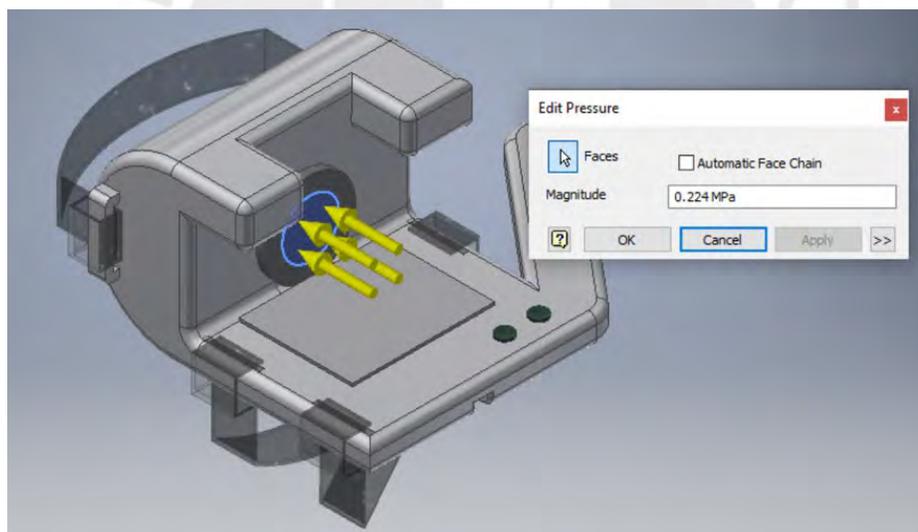


Figura 3.16 Fuerzas y restricciones para la simulación por elementos finitos de la órtesis.

Una vez que se definieron la fuerza y las restricciones se prosiguió a realizar el enmallado y modificar sus elementos, hasta obtener elementos más finos cerca de los puntos de interés, tal como se puede comprobar en la Figura 3.17.

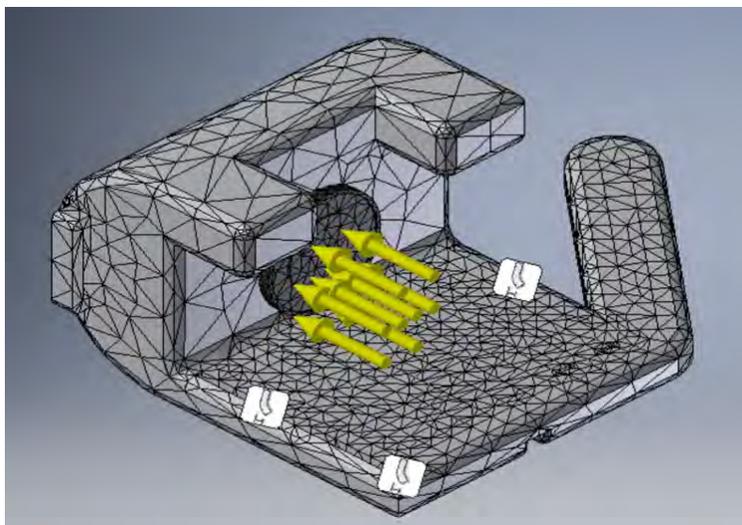


Figura 3.17 Enmallado del modelo a simular.

Luego de generar la malla, se realizó la simulación de la órtesis obteniendo los resultados observables en las Figuras 3.18 y 3.19. Como se puede ver en estas, el mayor esfuerzo mecánico (5.3MPa) está ubicado en la zona de sujeción del velcro. Asimismo, para este valor de esfuerzo, resulta un F.S. ≥ 4 , asumiendo como referencia el esfuerzo máximo a la elasticidad del material de 33MPa.

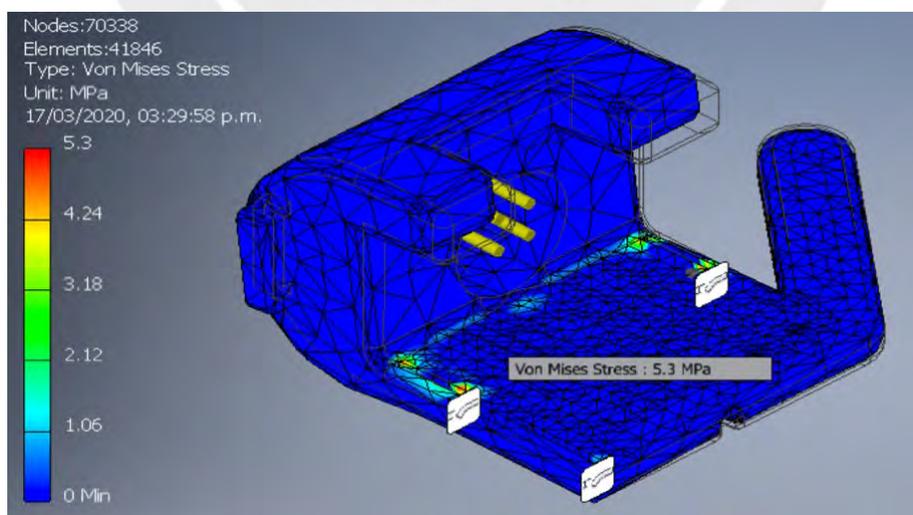


Figura 3.18 Distribución de esfuerzos en la órtesis.

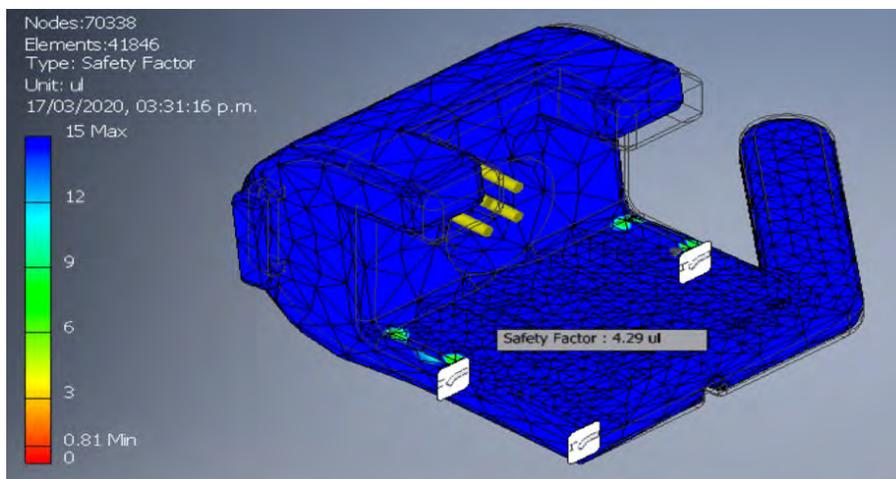


Figura 3.19 Distribución del factor de seguridad en la órtesis.

Como se puede observar, el $F.S._{min\text{pieza}} = 4.29 \geq F.S._{min\text{diseño}} = 2.5$, de lo anterior se puede concluir que la pieza cumple con los requerimientos de resistencia y diseño mecánico. Cabe recalcar que no es necesario confirmar el diseño de las argollas de sujeción superiores, ya que la única fuerza a la que están sometidas es la fuerza de ajuste del velcro con los dedos.

3.5. Remo y soporte de remo

De modo que las órtesis logren adherirse magnéticamente al remo, el cual comúnmente es fabricado a base de madera, se idearon unos injertos metálicos para este. Dichos accesorios serán fabricados en base a láminas de 0.5 mm de espesor de acero inoxidable ferrítico (AISI 430), para evitar su oxidación, pero asegurando la capacidad magnética. Estos, como puede observarse en la Figura 3.20, están colocados en el mango y asta del remo.

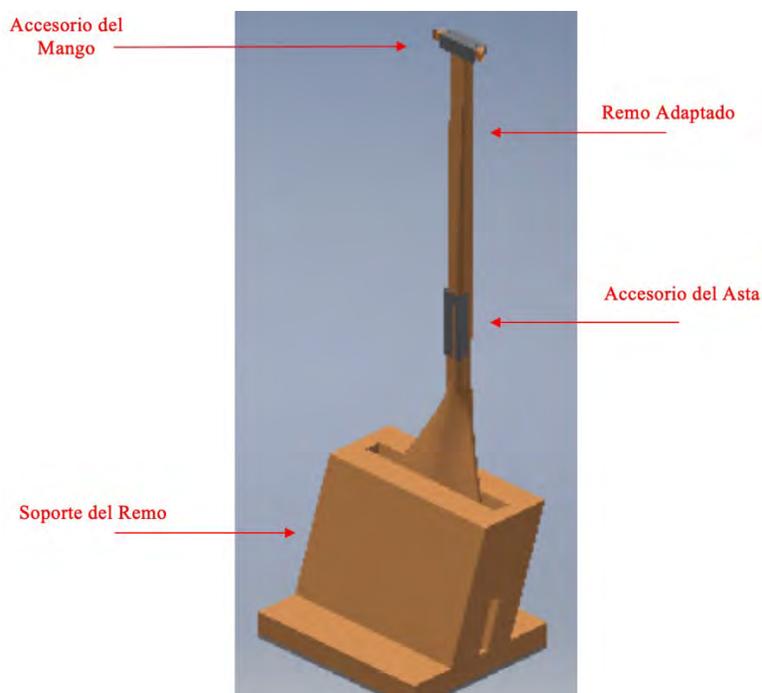


Figura 3.20 Vista isométrica del remo en su soporte.

Asimismo, se diseñó un soporte para el remo, en el cual el usuario podrá colocar el remo para realizar sin ningún inconveniente el cambio de lado de remado. Finalmente, como se puede ver en la Figura 3.21, el soporte cuenta en la parte inferior con un botón impermeable el cual interrumpirá el campo magnético de las órtesis y permitirá que el usuario suelte el remo para realizar el cambio de posición de manos y así cambiar el lado de remado.

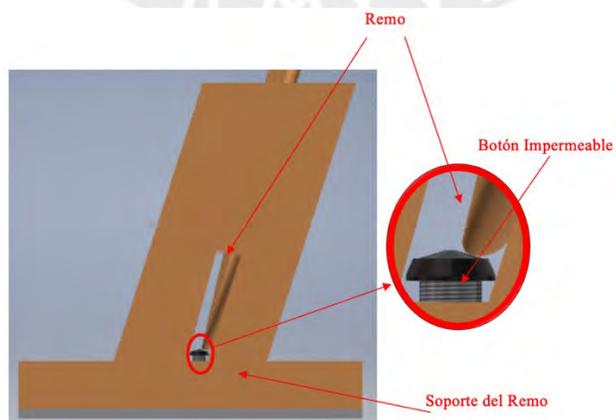


Figura 3.21 Detalle del botón impermeable en el soporte.

3.6. Selección de velcros

Sujeción mano - órtesis: La sujeción de las órtesis con la mano será mediante tres cintas de tela de 20mm de ancho. Estas llevarán pedazos de velcro (macho/hembra) cocidos en ella, de tal manera que estas cintas puedan ajustar y sostener la mano a la órtesis. Por ello, para esta función se decidió seleccionar la cinta para coser de velcro de también 20mm de ancho de la Figura 3.22.



Figura 3.22 Cintas para coser marca Velcro. ¹⁰

Sujeción soporte del remo – canoa: Para la sujeción del soporte del remo se decidió utilizar la cinta adhesiva marca Velcro, ilustrada en la Figura 3.23, ya que permite que el usuario ajuste la distancia del soporte a la que desee. Asimismo, ya que las canoas no son propias, los aditamentos colocados en estas deben de poder retirarse rápidamente. Esta cinta, posee un fuerte pegamento en su parte posterior y velcro en su contracara.



Figura 3.23 Cinta adhesiva marca Velcro. ¹¹

¹⁰ Fuente: <https://www.generaladhesivos.com/PEGAMENTOS-ADHESIVOS/VELCRO/>

¹¹ Fuente: <https://www.generaladhesivos.com/PEGAMENTOS-ADHESIVOS/VELCRO/>

Se observó los diferentes anchos de esta cinta y se decidió seleccionar la de 50mm de ancho, de tal forma que se coloquen en el piso de la canoa a lo largo del eje en el que se desee fijar el soporte.

3.7. Selección de los guantes

Se recomienda que el usuario lleve colocados guantes de neopreno antes de colocarse las órtesis, esto para evitar la formación de ampollas o llagas por el rozamiento entre la mano y la órtesis. Es elección del usuario decidir el guante a utilizar, pero se recomienda que utilice por lo menos unos de 3 mm de espesor, como por ejemplo el modelo Syncro de la Figura 3.24, producido por la marca Quiksilver.



Figura 3.24 Guantes *Quiksilver* de neopreno *Syncro* de 3mm de espesor. ¹²

¹² Fuente: http://www.quiksilver.es/3mm-syncro-guantes-de-surf-de-5-dedos-3613372113444.html#cgid=men_surf_neo-accessories&start=13&hitcount=16

CAPÍTULO 4

DOMINIO ELECTRÓNICO Y DE CONTROL

En el presente capítulo, se presenta el diagrama de funcionamiento del sistema. Luego, se presenta el dominio de control, en el que se muestra su arquitectura de control y los diagramas de flujo necesarios para el control del sistema. Asimismo, se presenta el dominio electrónico, en el que se detalla el diagrama de bloques y esquemático del sistema, así como la selección de todos los componentes electrónicos. Finalmente, se define la ubicación de estos componentes en el sistema.

4.1. Diagrama de funcionamiento del sistema

A continuación, en la Figura 4.1, se presentará el diagrama de funcionamiento del sistema, en el cual se podrán observar las interacciones entre los sistemas mecánico, electrónico y de control con el usuario. A partir de este diagrama, se define la arquitectura de control presentada a continuación.

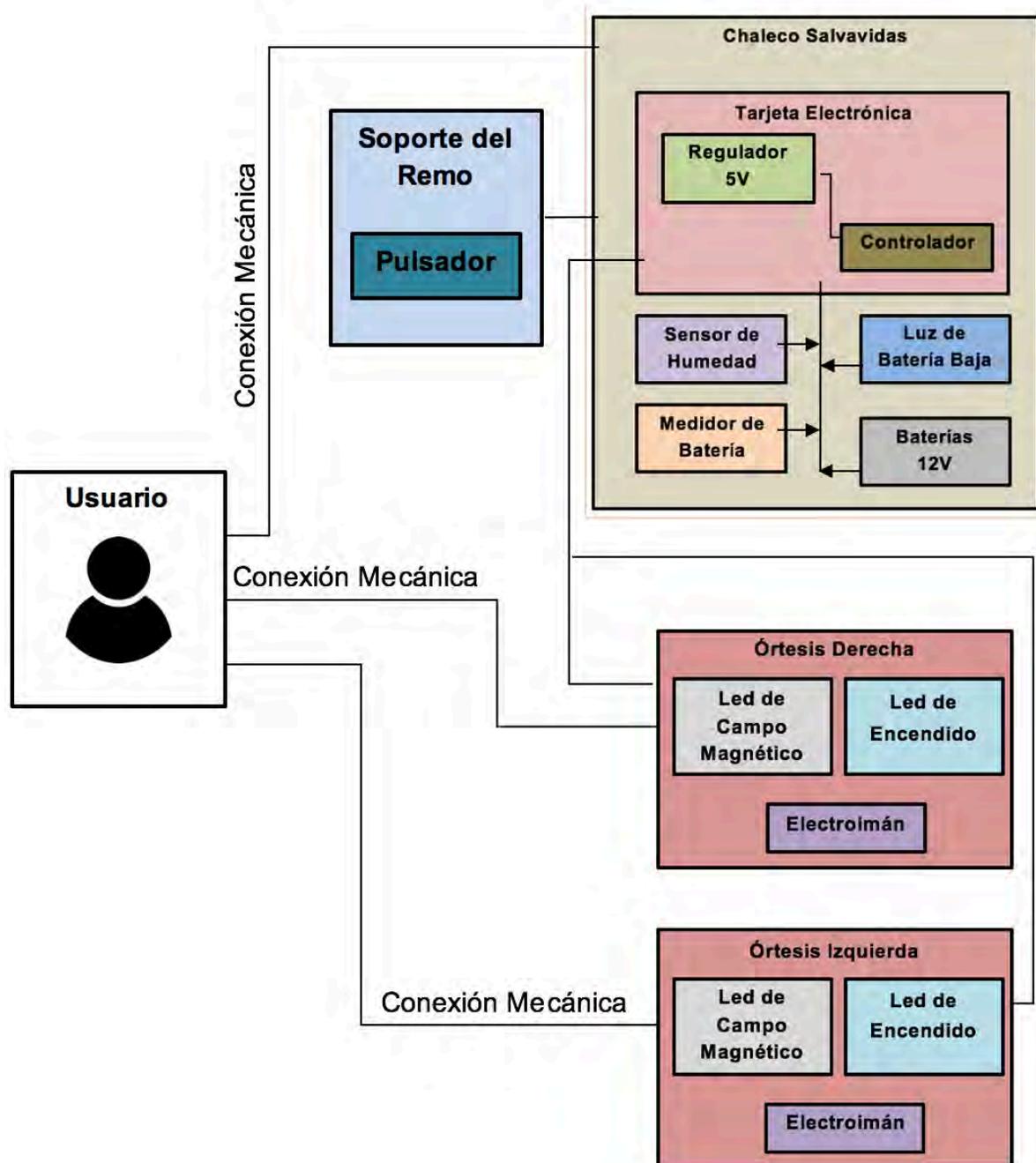


Figura 4.1 Diagrama de funcionamiento del sistema.

Como se puede observar en la imagen anterior, el sistema cuenta con dos órtesis, las cuales albergan a un electroimán y dos leds para mostrar el estado del campo magnético y el estado del sistema. Estas, están conectadas a la tarjeta electrónica del sistema, la cual alberga el

microcontrolador y un regulador de 12V a 5V. Asimismo, a la tarjeta se conectan las baterías, la luz de emergencia de batería baja, sensor de humedad, medidor de batería y el pulsador del soporte del remo.

4.2. Dominio de control del sistema

En el presente subcapítulo, se detallará la arquitectura de control del sistema. Así como los diagramas de flujo que regirán al sistema.

4.2.1. Arquitectura de control

A continuación, en la Figura 4.2, se muestra la arquitectura de control del presente proyecto. En este, se detalla la interacción y comunicación entre cada uno de los componentes del sistema.

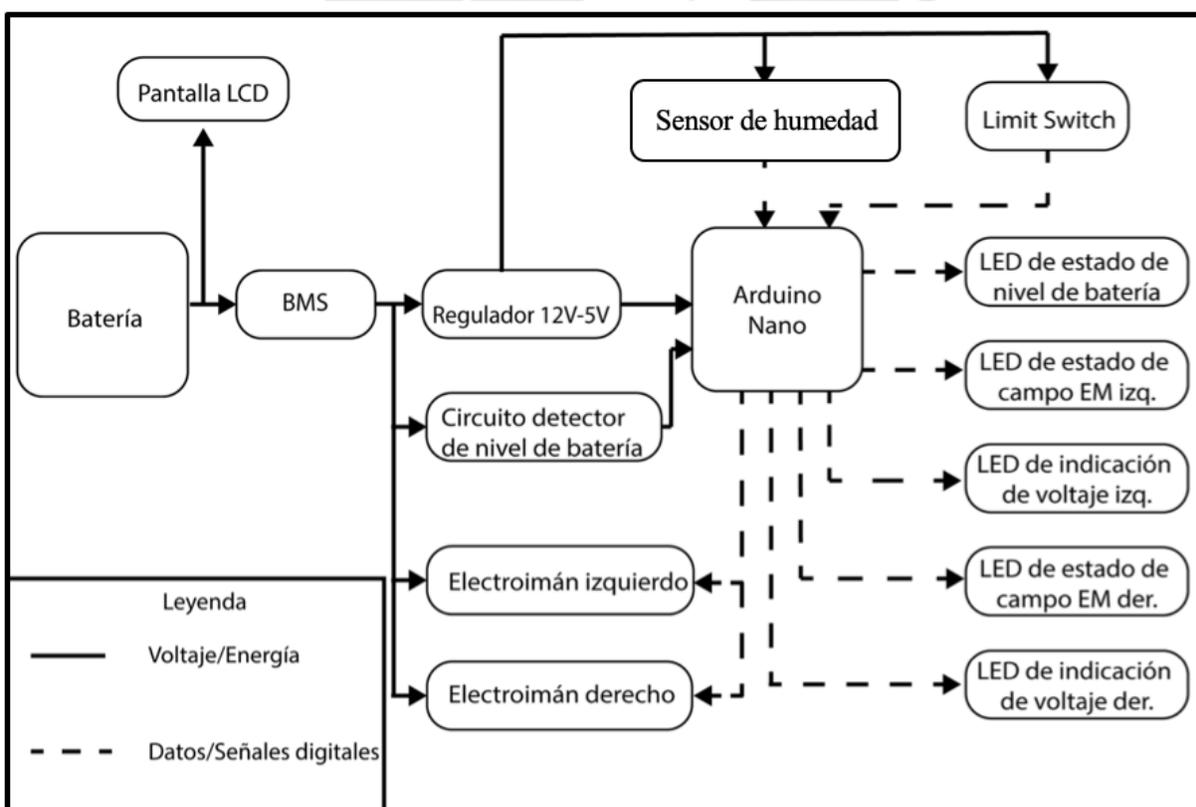


Figura 4.2 Arquitectura de control del sistema.

El Arduino Nano, utilizará siete de sus salidas digitales las cuales conectarán con los leds de estado de campo, estado de sistema y electroimanes de cada órtesis, así como a la luz de alerta de batería baja. Asimismo, se utilizarán tres entradas; una analógica para el circuito medidor de nivel de batería y las otras dos digitales para el sensor de humedad y el limit switch o pulsador del soporte del remo. El microcontrolador estará alimentado a 5V por el regulador de voltaje que a su vez se alimenta de la salida de 12V del BMS de las baterías del sistema. Finalmente, la pantalla LCD que muestra el voltaje del sistema, se alimentará directamente de las baterías de 12V.

4.2.2. Diagramas de flujo del sistema

En el presente apartado, se mostrarán los cuatro diagramas de flujo que gobernarán el sistema.

Diagrama de Flujo Principal: se presenta en la Figura 4.3, el diagrama de flujo principal del sistema de control. El microcontrolador recibirá señales del pulsador del soporte del remo, sensor de agua y la señal analógica causada por el divisor de voltaje para encender la luz posterior de batería baja (estado de nivel de batería). Asimismo, se ha considerado que basta desconectar la sujeción de las órtesis por cinco segundos para que el usuario retire el contacto con el remo.

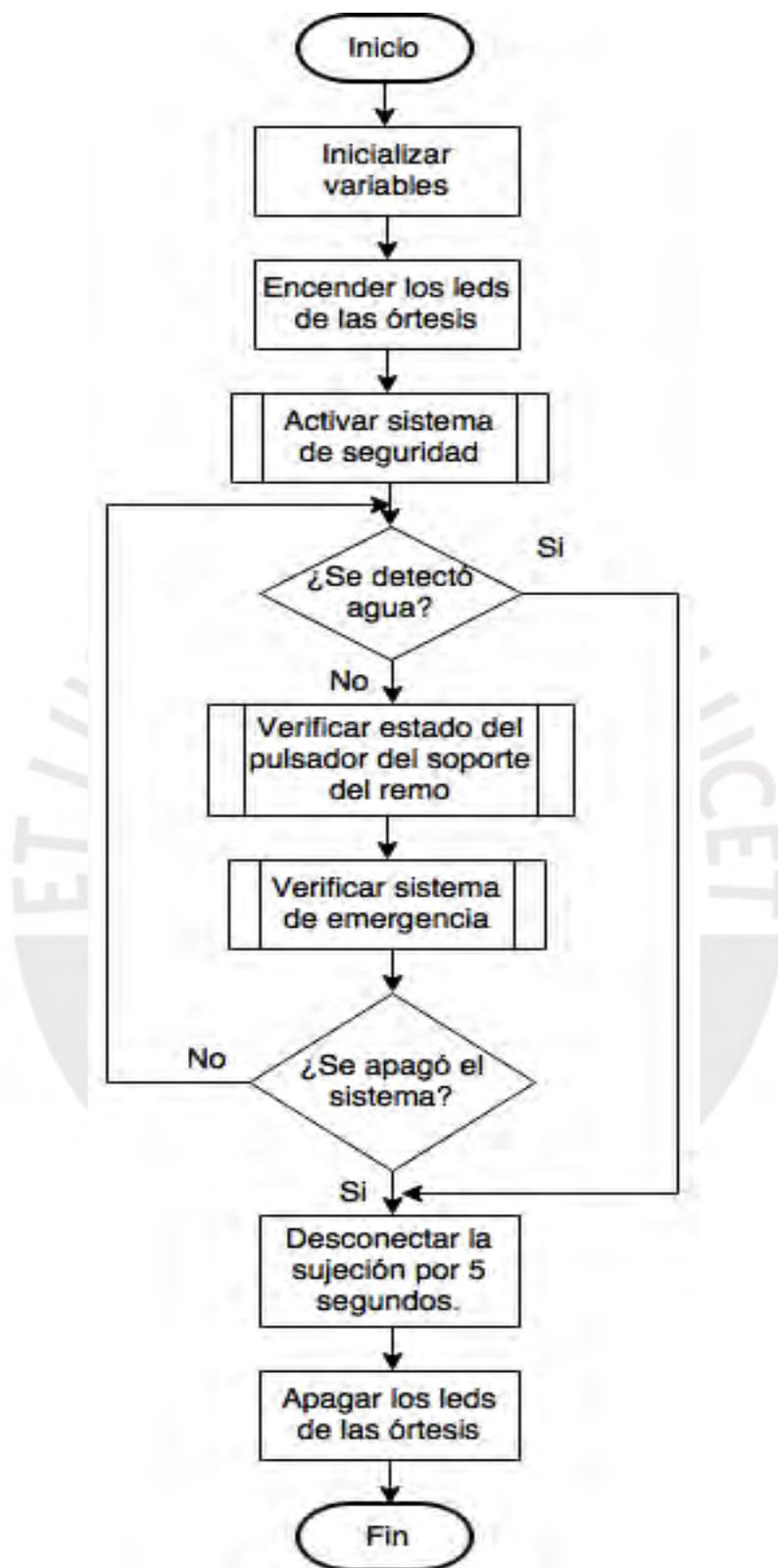


Figura 4.3 Diagrama de flujo principal del sistema de control.

Diagrama de flujo del sistema de seguridad: el sistema de seguridad, se muestra en la Figura 4.4 y consta de realizar un muestreo con el sensor de humedad. Una vez el microcontrolador recibe el valor de humedad, este se compara para ver si es igual o mayor a 90%, lo que significaría contacto con agua (saturación del sensor). Si este es el caso, el controlador crea una alerta para desactivar el sistema de sujeción en el diagrama de flujo principal. Si el valor de humedad es menor a 90% finaliza la ejecución del subprograma.

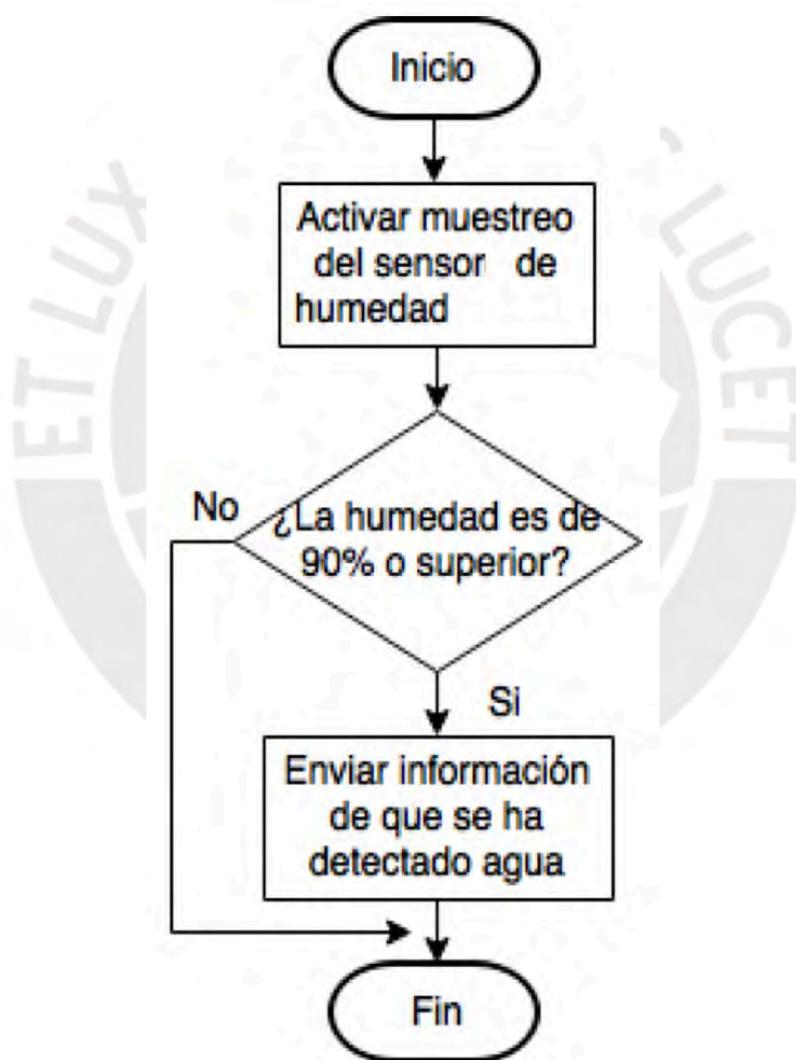


Figura 4.4 Diagrama de flujo del sistema de seguridad.

Diagrama de flujo del sistema de detección del remo: ilustrado en la Figura 4.5, el sistema de detección del remo en el soporte, consta de analizar si el estado del pulsador ha variado, de ocurrir esto significaría que el usuario ha colocado el remo dentro del soporte. Esto provocaría que el controlador cortara el campo magnético de los electroimanes por dos segundos, los cuales han sido considerados suficientes, para que el usuario retire el contacto con el remo y pueda realizar el cambio de lado de remado o descanse. Asimismo, apagará los leds de las órtesis que indican la presencia de campo magnético. Una vez transcurridos los dos segundos o en caso el pulsador nunca fuera presionado, se finaliza el subprograma.

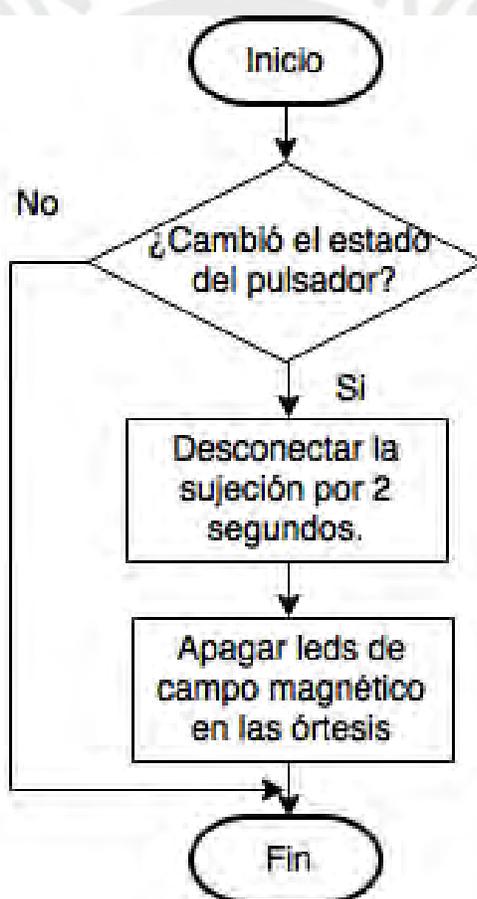


Figura 4.5 Diagrama de flujo del sistema de detección del remo en el soporte.

Diagrama de flujo del sistema de emergencia (batería baja): el sistema de emergencia o de batería baja, ilustrado en la Figura 4.6, asegura que el controlador analice la señal análoga, provocada mediante un divisor de voltaje de la batería del sistema. Dicha señal será recibida mediante un pin analógico y comparada con un valor estándar para determinar si la carga de esta es menor al 10% nominal de la batería. Si este fuera el caso, el controlador activará la luz de batería baja de la parte posterior del chaleco salvavidas para que el remador que se encuentre detrás del usuario se percate de la situación.

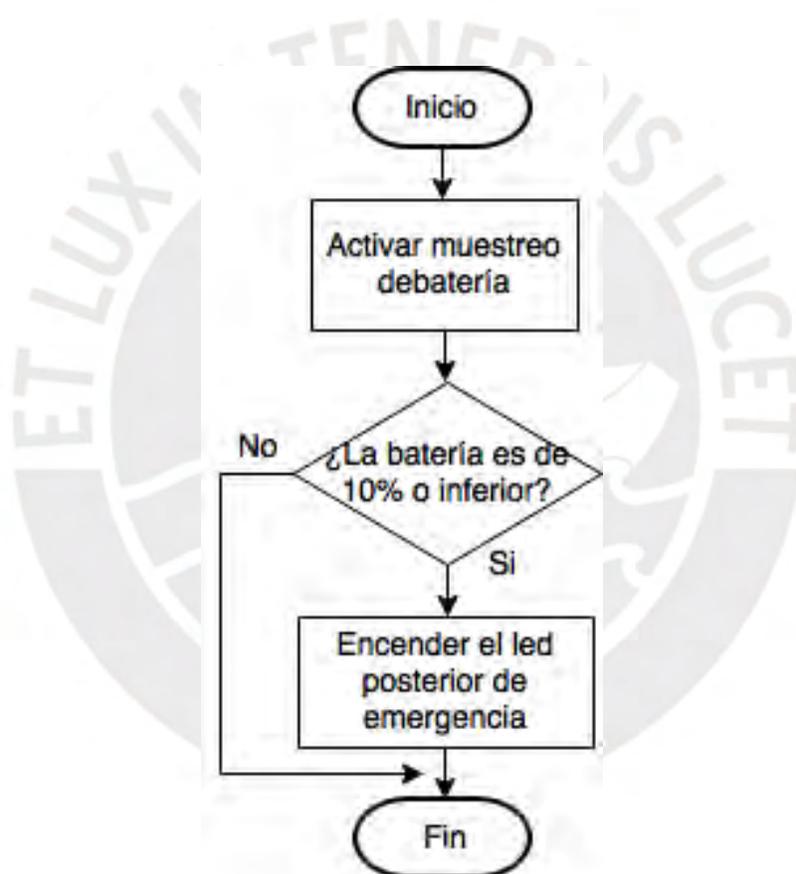


Figura 4.6 Diagrama de flujo del sistema de emergencia (batería baja).

Cabe recalcar que esta es una medida cautelar extra, que servirá en caso el propio usuario no se percate de que las baterías están bajas con el medidor de batería que se encuentra en la parte frontal del chaleco.

4.3. Dominio electrónico del sistema

A continuación, se mostrarán los distintos diagramas electrónicos del sistema mecatrónico.

4.3.1. Diagrama de Bloques

Como se puede observar en la Figura 4.7, el sistema electrónico consta de siete bloques principales, los cuales están interconectados a través de borneras a la placa electrónica.

- **Pantalla LCD:** con la finalidad de que el usuario pueda estar al tanto del nivel de carga de las baterías.
- **Compartimiento de baterías:** compuesto por baterías LiPo y el BMS.
- **Placa Electrónica:** compuesta por el microcontrolador, el regulador de voltaje de 12V a 5V, dos transistores BJT y dos relays, los cuales se encargarán de activar y desactivar los electroimanes.
- **Sensor de humedad:** con la finalidad de detectar si el atleta cae de la canoa al agua.
- **Soporte del remo:** poseerá un botón impermeable, el cual se encuentra en la parte inferior media del soporte del remo (como se presentó en el capítulo anterior). Este estará sujeto al soporte mediante tornillos autorroscables pequeños.
- **Órtesis derecha e izquierda:** compuestas de un electroimán permanente y dos diodos led. Estas se unen a la tarjeta electrónica a través de un tubo flexible con cuatro cables en su interior, este pasará por los brazos del usuario, por debajo del *wetsuit* o traje de neopreno.

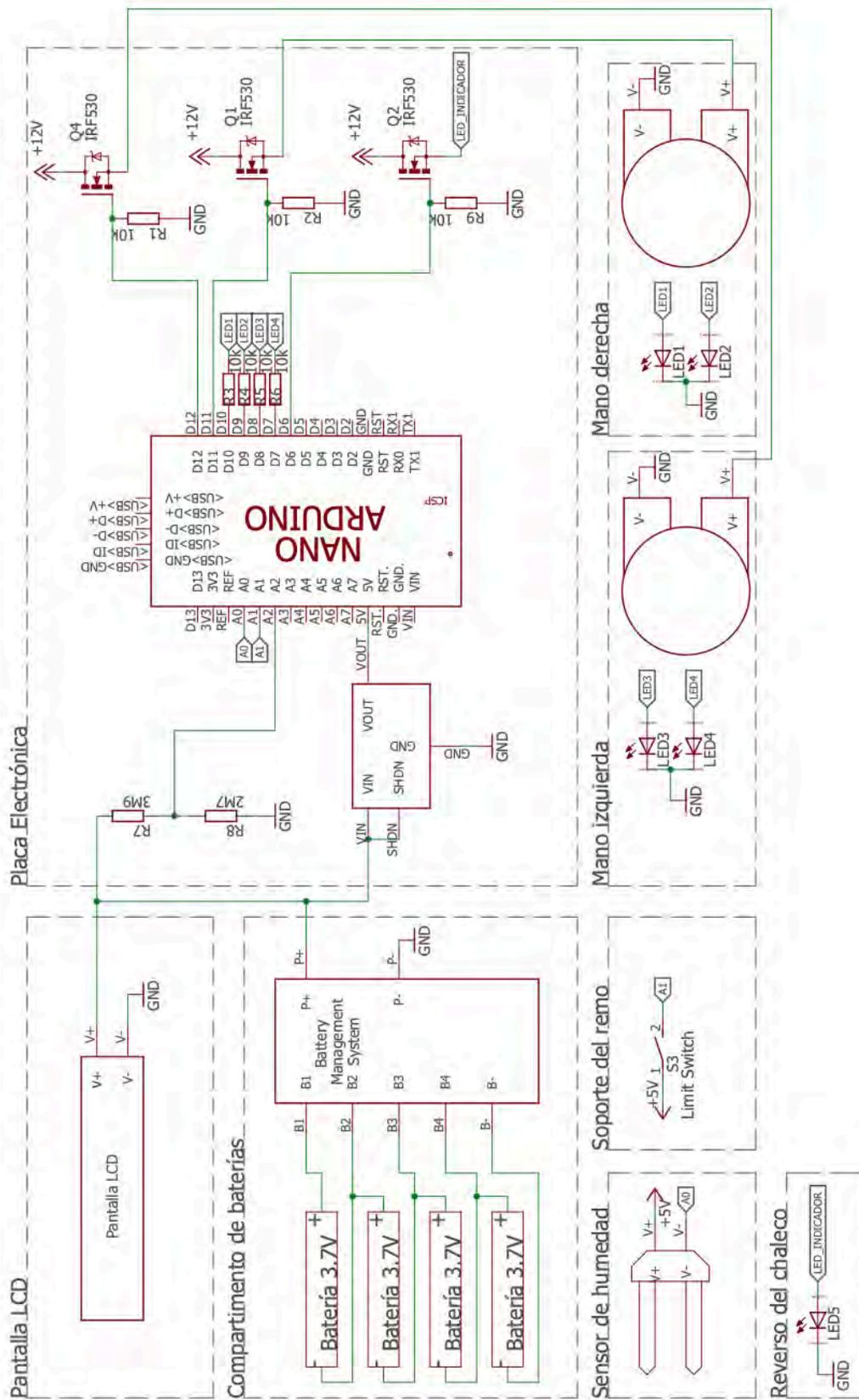


Figura 4.7 Diagrama de bloques del sistema electrónico.

4.3.2. Diagrama esquemático de la placa electrónica

A continuación, en la Figura 4.8, se presenta el diagrama esquemático de la placa electrónica con todos los componentes que esta incluye.

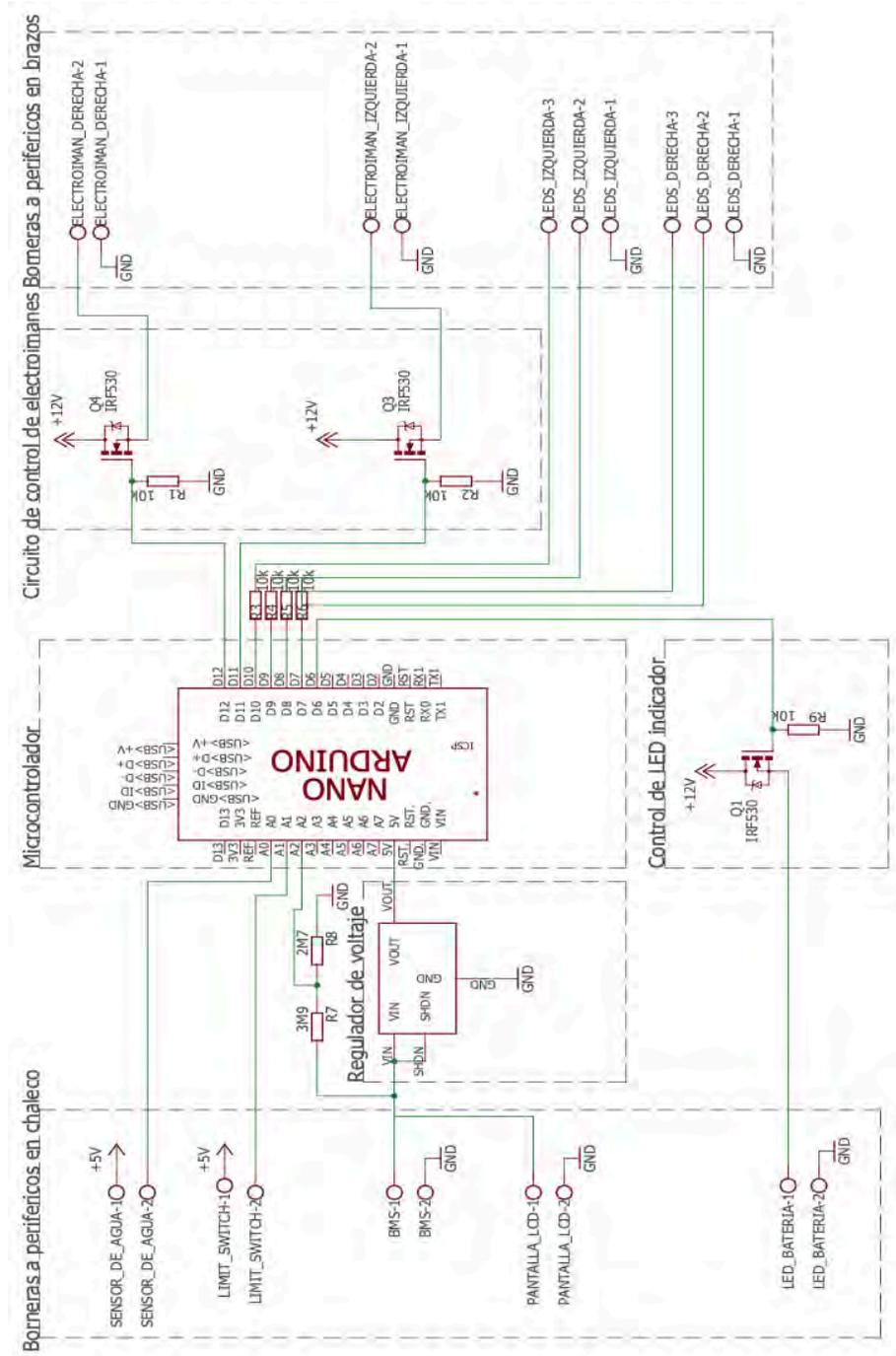


Figura 4.8 Diagrama esquemático de la placa electrónica.

Asimismo, en la Figura 4.9, se puede observar el *Board* de la tarjeta electrónica, a partir de la cual se puede proceder a cotizar e imprimir.

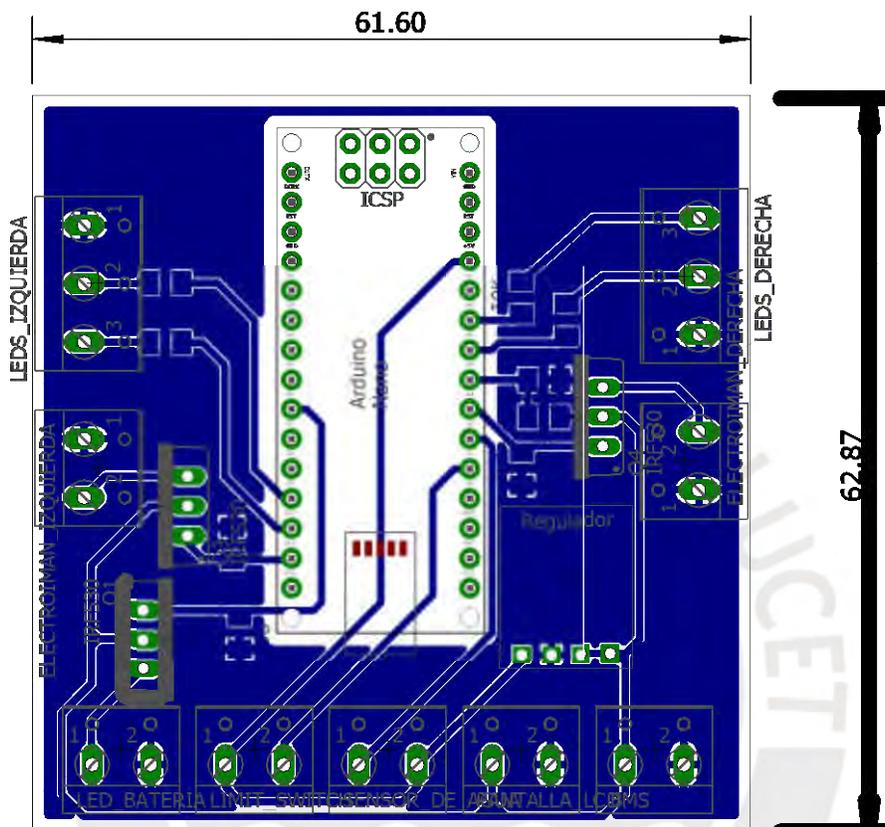


Figura 4.9 *Board* de la tarjeta electrónica.

4.4. Selección de componentes

En el presente subcapítulo, se presentará la selección de cada componente del dominio electrónico y de control.

4.4.1. Selección del medidor de batería

De forma que el usuario tenga una mejor visualización de cuanto carga le queda al equipo, se decidió seleccionar un medidor de batería con pantalla LCD incluida. Por ello, se seleccionó el

medidor de batería BaiWay TH01 V6, de la Figura 4.10, el cual además cuenta con resistencia al agua. Este permite que el usuario observe en porcentaje la cantidad de batería que le queda.



Figura 4.10 Medidor de batería BaiWay TH01 V6.¹³

En la Tabla 4.1, se puede observar las especificaciones técnicas del medidor de batería seleccionado.

Tabla 4.1 Especificaciones Técnicas del Medidor de Batería.

Parámetro	Descripción
Voltaje de Operación	12V
Voltaje Máximo de Operación	63V
Voltaje Mínimo de Operación	8V
Corriente de Operación	4mA
Dimensiones del Producto	48x25x10mm
Dimensiones de la Pantalla	36x12mm
Protección	IP65

4.4.2. Selección del pulsador para el soporte del remo

Se seleccionó el pulsador CT126-LS-B de la marca *Core Tools*, ilustrado en la Figura 4.11, ya que es el único que se halló que cuenta con resistencia al agua y las dimensiones necesarias para agregarlo al soporte de remo, las cuales se pueden observar en la Figura 4.12. Dicho pulsador trabaja a un voltaje de 12V y cuenta con una capucha protectora contra los golpes que provocará el remo al caer sobre él. El pulsador se conectará al microcontrolador mediante un empalme termoretractil a un cable 18 AWG.

¹³Fuente:<https://www.aliexpress.com/item/Digital-Waterproof-Practical-12V-24V-Lead-Acid-Lithium-LiPo-Battery-LCD-Meter-Indicator-Batteries-Capacity-Tester/32582089724.html?spm=a2g0s.13010208.99999999.270.ZCa6Uu>



Figura 4.11 Pulsador CT126-LS-B a prueba de agua.¹⁴

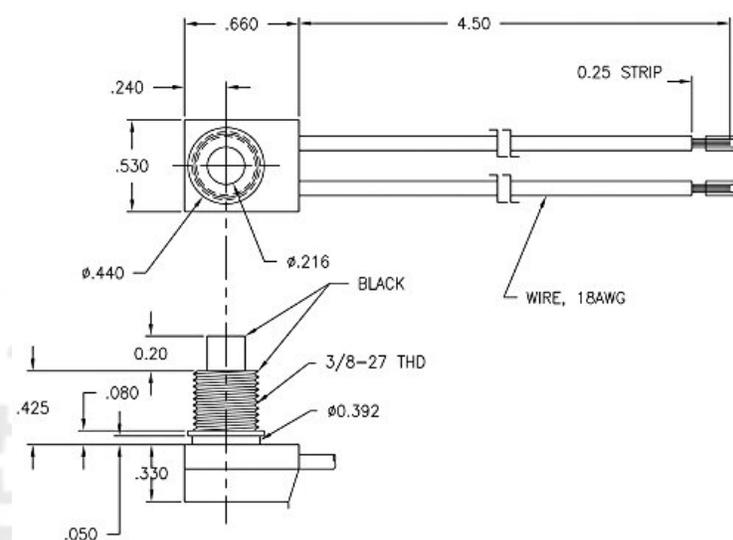


Figura 4.12 Dimensiones del pulsador en pulgadas.¹⁴

4.4.3. Selección del sensor de humedad

Se seleccionó el sensor de humedad DHT11, ilustrado en la Figura 4.13, debido a su alta disponibilidad en el mercado local. Asimismo, debido a que es un sensor de humedad y no de agua se programará el controlador de tal manera que se asuma que existe contacto con el agua cuando el sensor se sature y la humedad llegue al 90%.

¹⁴Fuente:<https://www.aliexpress.com/item/For-1Pc-12V-Waterproof-Push-Button-On-Off-Switch-With-4-Leads-Motorcycle-Car-Boat/32756878290.html?spm=a2g0s.13010208.99999999.277.ZCa6Uu>



Figura 4.13 Sensor de humedad DHT11.¹⁵

Las especificaciones técnicas del sensor seleccionado, se pueden observar en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Especificaciones Técnicas del Sensor de Humedad DHT11.

Parámetro	Descripción
Voltaje de Operación	3-5.5V
Corriente de Operación	2.5mA
Intervalo Mínimo entre Muestras	1s
Temperatura de Operación	0-50°C
Humedad de Operación	20-90%

4.4.4. Selección de LED de batería baja

Debido a que este componente va a estar descubierto, se decidió seleccionar una luz LED con resistencia al agua IP65, tal como se indica en la Tabla 4.3. Además, se decidió que la luz debía ser roja y contener una alarma, como la ilustrada en la Figura 4.14, ya que esta alerta el peligro de que el usuario se quede sin batería.



Figura 4.14 Luz posterior de batería baja seleccionada.¹⁶

¹⁵ Fuente: <http://electrotec.pe/tienda/sensor-de-humedad-y-temperatura-dht11>

¹⁶ Fuente: https://www.banggood.com/12V-19mm-Waterproof-LED-Panel-Dash-Warning-Indicator-Light-Signal-Lamp-p-1199257.html?rmms=search&cur_warehouse=CN

Tabla 4.3 Especificaciones técnicas de la luz posterior de batería baja seleccionada.

Parámetro	Descripción
Voltaje de Operación	12V
Corriente de Operación	5.2mA
Potencia	60mW
Vida Útil	100,000 horas
Protección	IP65
Diámetro	19mm

4.4.5. Selección del microcontrolador

- Se requiere de dos pines de entrada digitales para la adquisición de señales del pulsador a prueba de agua y del sensor de humedad.
- Se requiere de siete pines de salida digitales para el control de los electroimanes e indicadores led de ON/OFF, estado de campo magnético y LED de batería baja.
- Se requiere de un pin análogo para el circuito detector de batería baja.

Por ello, se seleccionó como controlador el Arduino Nano V.3 de la Figura 4.15, ya que como se puede observar en la Tabla 4.4, cuenta con 14 pines digitales y 8 análogos.

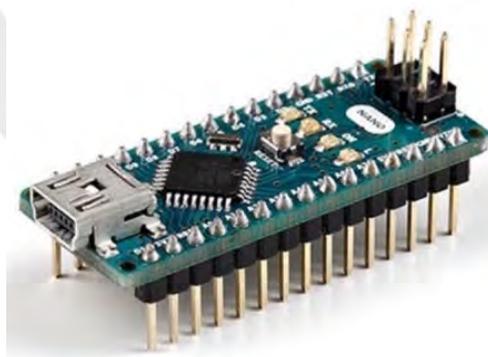


Figura 4.15 Arduino Nano V.3.¹⁷

¹⁷ Fuente: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>

Tabla 4.4 Especificaciones técnicas del Arduino Nano V.3.

Parámetro	Descripción
Microcontrolador	ATMega328
Voltaje Operativo (Salida)	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7-12V
Voltaje de Entrada (Límite)	6-20V
Pines Digitales I/O	14 (6 soportan PWM)
Pines Analógicos de Entrada	8
Corriente por Máxima por Pin	40mA
Corriente de Operación	19mA
Memoria Flash	32KB
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Velocidad del Reloj	16MHz

4.4.6. Selección del regulador de voltaje de 5V

Como se pudo observar en la Tabla 4.4, el consumo de corriente de operación del Arduino Nano V.3. es de 19 mA y el sensor de agua 20mA. Ya que ambos son los únicos componentes que deben ser alimentados por 5V, se utiliza la Ecuación 4.1 para calcular la cantidad de corriente que debe ingresar al regulador.

$$\frac{I_{Entrada}}{I_{Salida}} = \frac{V_{Salida}}{V_{Entrada}} \quad (4.1)$$

De reemplazar $V_{Salida} = 5V$ y $V_{Entrada} = 12V$ en la Ecuación 4.1 anterior, se calcula;

$$\frac{5V}{12V} \times (19mA + 20mA) = 16.25 mA$$

Debido a la mínima corriente que atraviesa por el regulador, se selecciona el regulador Pololu Step-Down D24V3F5 de la Figura 4.16, que cuenta con especificaciones de amperaje mínimas. Tal como se puede observar en la Tabla 4.5, soporta hasta 300mA. Cabe recalcar que se utiliza un regulador Step-Down por su alto rendimiento. Por ello y por la baja corriente que atraviesa por este no es necesaria la inclusión de un disipador de calor en el sistema.



Figura 4.16 Regulador de 5V Pololu *step-down* D24V3F5.¹⁸

Tabla 4.5 Especificaciones técnicas del regulador de 5V.

Parámetro	Descripción
Voltaje de Operación Máximo	42V
Voltaje de Salida	5V
Corriente de Salida Máxima	300mA
Dimensiones	13x10x3mm
Protección	Temperatura y Voltaje Inverso
Eficiencia	90%

4.4.7. Selección de las Baterías

Una vez seleccionados los principales componentes electrónicos del sistema, se registró en la Tabla 4.7, la cantidad de corriente que consume cada uno en mA. Como efecto práctico se omitió el consumo de elementos electrónicos básicos como resistencias, leds, transistores, etc. Esto debido a que el consumo de energía de estos es mínimo para este sistema.

Tabla 4.6 Consumo de corriente en mA de los componentes electrónicos.

Componente	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Potencia (mW)
Arduino nano	5	19	95
Sensor de humedad	5	20	100
Medidor de batería LCD	12	4	48
Luz posterior	12	5.2	62.4
Electroimán	12	625	7500

¹⁸ Fuente: <https://www.pololu.com/product/2098>

Una vez obtenido el valor total de la corriente que consumen los componentes electrónicos del sistema por hora, se realiza el cálculo de la corriente a consumir por las tres horas que se requiere funcione el sistema como máximo.

Cabe recalcar que, dado que los electroimanes son de campo magnético permanente, estos solo consumirán corriente al momento que el usuario desee dejar de sostener el remo o realizar un cambio de lado. Ya que la órtesis está dirigida a un remador novato, se puede afirmar que remará a un máximo de 60 paladas por minuto, asumiendo 10 paladas por lado, obtenemos que realizará seis cambios de lado en un minuto, lo que equivale a 1440 cambios de lado las cuatro horas de funcionamiento. Ya que el usuario va a demorar dos segundos como máximo en retirar el contacto de las órtesis con el remo, se obtiene que ambos electroimanes solo deberán funcionar por 48 minutos, es decir solo trabajan el 20% del tiempo de uso.

Se procede a calcular la capacidad de la batería necesaria;

$$I_{Arduino} + I_{Sensor\ H2O} + 2 \times \frac{1}{5} I_{electroimán} + I_{Luz\ Posterior} + I_{LCD} = I_{Sistema} \quad . \quad (4.2)$$

Se reemplaza los datos de la Tabla 4.7 en la Ecuación 4.2 para hallar la corriente consumida por el sistema en una hora de trabajo

$$19mA + 20mA + \frac{2}{5} \times 625mA + 5.2mA + 4mA = 298.2mA$$

El sistema requiere de 298.2 mA para funcionar por una hora, por lo que requiere de 894.6 mAh para funcionar por tres horas consecutivas.

De los cálculos anteriores, se ha decidido utilizar baterías recargables de ion de litio 18650 de 3.7V y 1200mAh, con capacidad de alimentar al sistema por cuatro horas. Las cuales estarán ubicadas

en un rack de cuatro baterías colocadas en serie. Las cuales para ser recargadas deberán retirarse de este rack y ser introducidas en un cargador universal de pared, tal como se puede observar en la Figura 4.17.



Figura 4.17 Baterías Li-Po de 1200mAh con cargador universal.¹⁹

4.4.8. Selección del Sistema de Gestión de Baterías (BMS)

El BMS permite aumentar la vida de las baterías, debido a que maneja la descarga de estas de manera equitativa al mismo tiempo que cuida de que no lleguen a una carga mínima. Se seleccionó uno con configuración 4S (cuatro baterías 18650 en serie)

El BMS seleccionado, que puede ser observado en la Figura 4.18, posee la capacidad de operar con hasta 4A según las especificaciones técnicas descritas en la Tabla 4.7. Se escoge este al no existir en el mercado uno de menor amperaje, ya que por las baterías a utilizar solo sería necesario uno de 2A.

¹⁹ Fuente: Banggood



Figura 4.18 BMS 4S de 4A de operación. ²⁰

Tabla 4.7 Especificaciones técnicas del BMS 4S de 4A.

Protección de Carga Mínima de Batería	2.30V
Protección de Carga Mínima de Batería	2.30V
Protección de Carga Máxima de Batería	4.35V
Voltaje Máximo de Operación	16.8V
Corriente Máximo de Operación	4A
Protección ante Pico de Corriente	9A
Protección de Cortocircuito	10A

4.4.9. Selección del Chaleco Salvavidas

El usuario podrá utilizar cualquier chaleco salvavidas que cuente con bolsillos con cierre en la parte delantera, pero se recomienda en uso del chaleco salvavidas *KickBack II* de la marca *Harmony*, ilustrado en la Figura 4.19. Este modelo cuenta con un diseño propicio para que el atleta pueda remar con un asiento especial con respaldar, debido a que no ocupa la espalda media y baja.



Figura 4.19 Chaleco salvavidas *KickBack II*. ²¹

²⁰ Fuente: <https://www.aliexpress.com/item/Green-board-4-string-18650-battery-lithium-battery-protection-board-polymer-protection-board-14-8V-16/32780338167.html?spm=a2g0s.13010208.99999999.263.ZCa6Uu>

²¹ Fuente: <https://www.harmonygear.com/products/17519/Harmony-Kickback-II-Life-Jacket-PFD.html>

4.5. Ubicación de componentes

A continuación, se presentará algunas consideraciones sobre las cuales se ha definido la ubicación de los elementos electrónicos y de control a lo largo del sistema.

Órtesis: Las órtesis son las más propensas a entrar en contacto con el agua de mar, por ello para su diseño se pensó en colocar la mayor cantidad de elementos electrónicos en el chaleco salvavidas, dejando en ellas únicamente el electroimán y dos diodos led como indicadores, tal como se aprecia en la Figura 3.7 del capítulo anterior.

Asimismo, para la protección de los componentes electrónicos en general, se ha decidido cubrirlos con una capa de 1mm de espesor del compuesto *NeverWet* de la empresa *Rust-Oleum*, el cual provoca que, al aplicarse, la superficie se convierta en hidrofóbica evitando que bajo cualquier circunstancia la superficie a la que se aplicó esté en contacto con el agua. Este compuesto puede ser utilizado en cualquier tipo de material, incluyendo componentes electrónicos a los que se le otorgaría un grado de protección IP67.

Chaleco Salvavidas: Debido al medio marino en el que va a ser utilizado el sistema y aprovechando que para la práctica del deporte es necesario utilizar un chaleco salvavidas, se decidió incluir en este gran parte de los implementos del dominio electrónico y de control. Para ello, se tendrá que realizar algunas modificaciones en el chaleco, las cuales pueden ser observadas en la Figura 4.20.

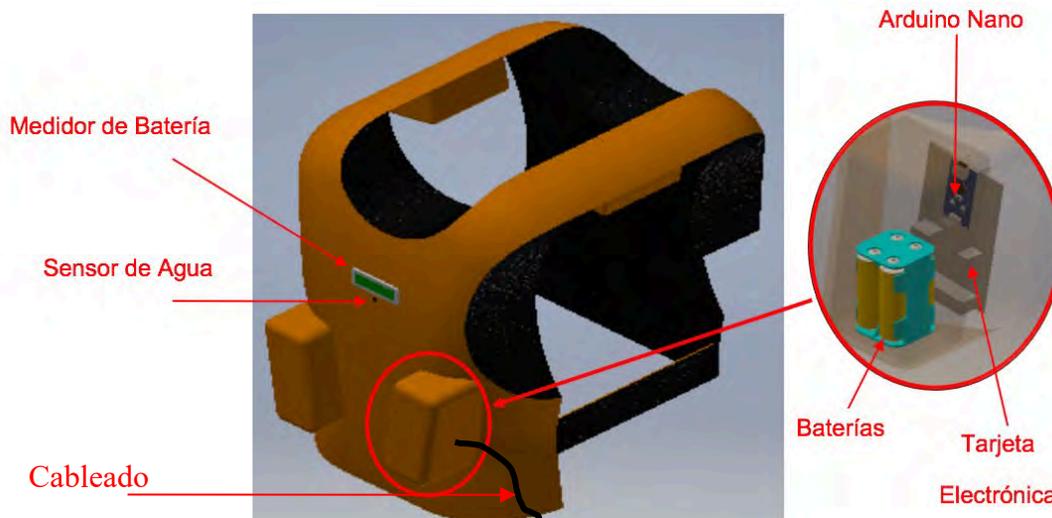


Figura 4.20 Vista isométrica del chaleco salvavidas.

Las modificaciones constan de realizar un agujero en la primera capa del chaleco a la altura del pecho y otro agujero en la misma capa en la parte interna del bolsillo izquierdo. A través del primer agujero se realizarán las conexiones entre el sensor de humedad y el medidor de batería con la tarjeta electrónica, dicho sensor y medidor, serán cocidos a la superficie del chaleco salvavidas.

Asimismo, los terminales del sensor será roceados con el compuesto NeverWet de Rust Oleum, el cual evita que sea afectado por el agua. Las baterías, tarjeta electrónica y microcontrolador serán roceados también con NeverWet. Asimismo, se almacenarán en una carcasa, la cual será colocada dentro de una bolsa hermética dentro del bolsillo izquierdo del chaleco salvavidas.

Cabe recordar que tanto el medidor de batería, el sensor de agua y luz de alerta de batería baja seleccionados son resistentes al agua. El cableado perteneciente a las baterías y controladores, saldrán del chaleco por el pequeño agujero generado en el bolsillo y llegarán a las órtesis a través de los brazos y el wetsuit del atleta.

Finalmente, la luz de alerta, la cual también cuenta con un sonido de alarma, se encuentra en la parte posterior del chaleco a la altura de las cervicales. Esta se sujeta al chaleco a través de un

agujero que se realizará en la superficie de este y la tuerca con la que cuenta el led. El cableado de este led, pasará por el hombro del chaleco hasta llegar al bolsillo izquierdo hasta ser conectado al microprocesador. Cabe recalcar que el cableado atravesará la bolsa hermética a través de cuatro prensaestopas. Se utilizarán uno por conjunto de cableado para cada órtesis, uno para el conjunto formado por el cableado de sensor de agua, medidor de batería y luz de batería baja, y el último prensaestopa para el cableado del pulsador del soporte de remo.

Carcasa de componentes electrónicos y de control: Tal como se mencionó en el apartado anterior, esta carcasa tiene la finalidad de proteger y asegurar la sujeción de las baterías, microcontrolador y tarjeta electrónica. Su diseño es presentado en la Figura 4.22, para lo cual se ha contemplado sea impresa en 3D en polímero PLA. La tarjeta electrónica se fijará a la carcasa a través de pernos M2 que la sujetarán a unos pines roscados, lo mismo ocurrirá para sujetar la tapa de la carcasa a esta.

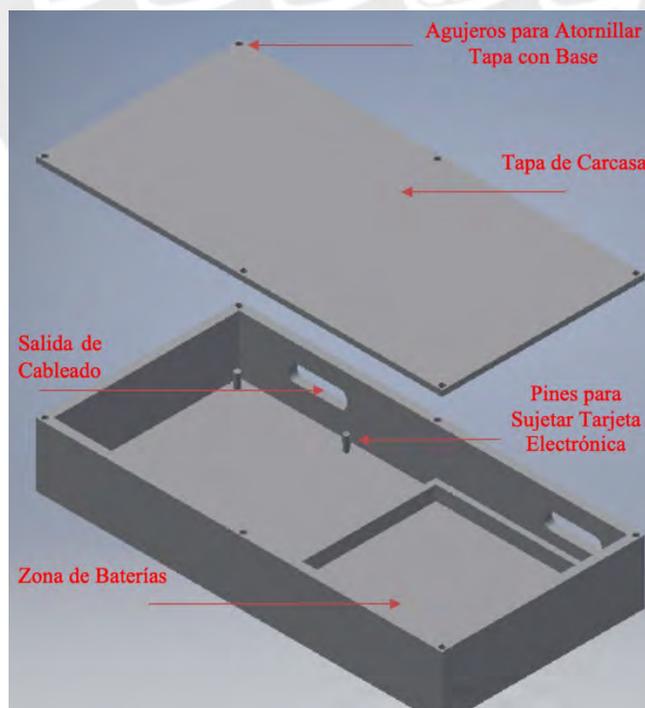


Figura 4.21 Carcasa de componentes electrónicos y de control

Se ha considerado en el diseño de la carcasa dos agujeros, los cuales tienen la finalidad de poder retirar el cableado hacia los periféricos. Finalmente, se ha definido que los compartimientos de baterías se sujetarán a la base mediante silicona líquida, ya que se cuenta con un perímetro plástico que evitaría el movimiento lateral de estas. El ensamble de la carcasa sin tapa, puede ser observado en la Figura 4.23.

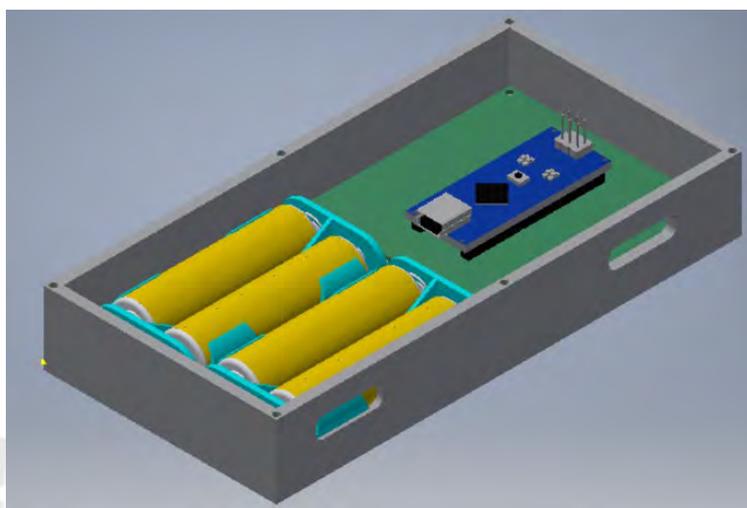


Figura 4.22 Ensamble de carcasa

CAPÍTULO 5

INTEGRACIÓN, PLANOS Y ESTIMACIÓN DE COSTOS

En el presente capítulo, se presenta la integración del sistema con el atleta y la canoa. Asimismo, se detalla el listado de planos de despiece y ensamble realizados en la presente tesis. Finalmente, se muestra la estimación de los distintos costos de diseño, compra de componentes y fabricación del sistema.

5.1. Integración del sistema

A continuación, en la Figura 5.1, se ilustra en una representación 3D, la integración del sistema final sobre el atleta y la canoa .

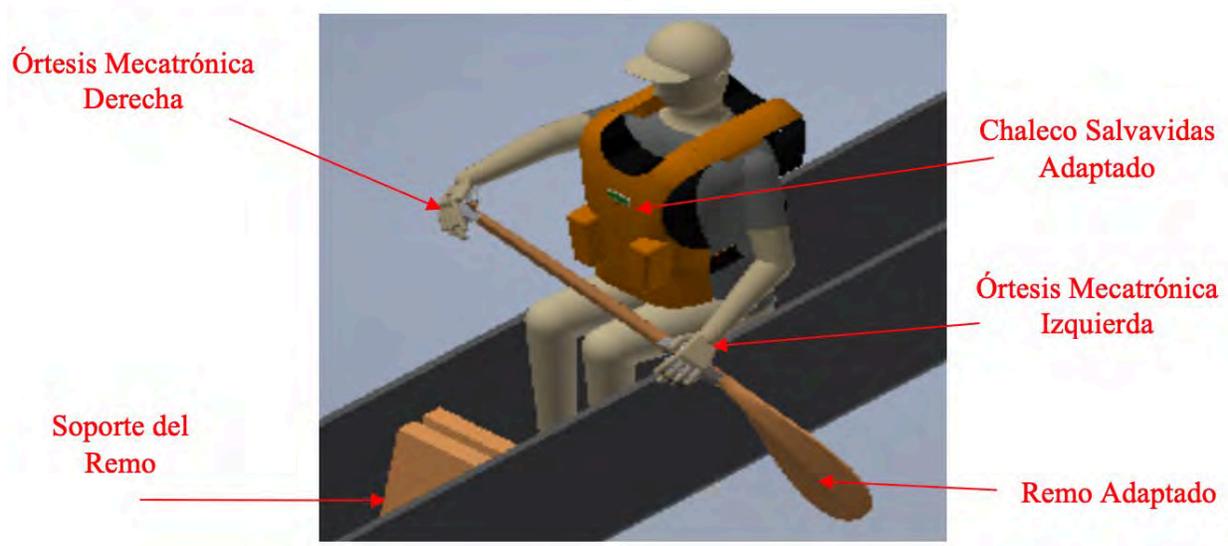


Figura 5.1 Vista isométrica del concepto de solución.

Integración Mano-Órtesis: para mostrar la integración, se realizó un prototipo de la órtesis, en el que se ignoró algunos componentes con fin de facilitar la producción de dicho prototipo. En la Figura 5.2, se presenta la secuencia de pasos para colocar correctamente la órtesis y asegurar una buena sujeción entre la mano y esta. Cabe recalcar que, con la finalidad de ilustrar mejor la configuración de la mano y de los dedos, en estas imágenes no se ha utilizado guantes.

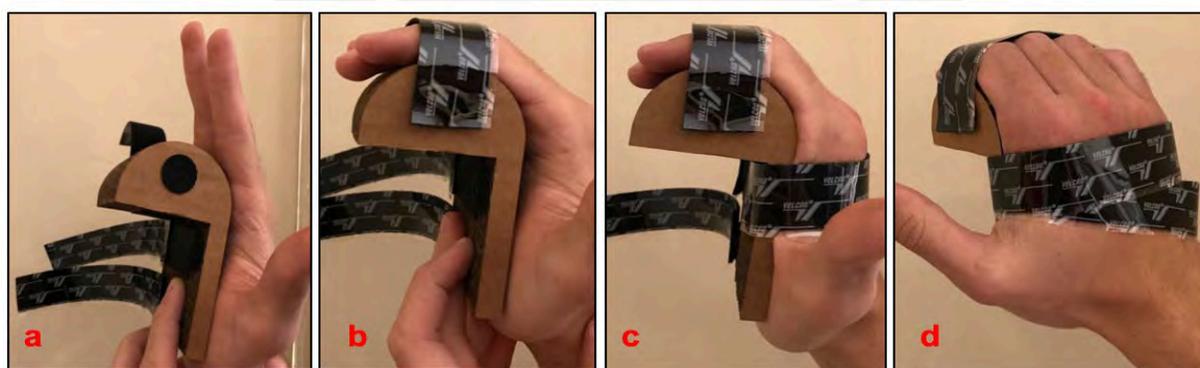


Figura 5.2 Pasos para la correcta colocación de la órtesis.

Integración Órtesis-Remo: del mismo modo, en la Figura 5.3, se muestra la integración órtesis-remo.

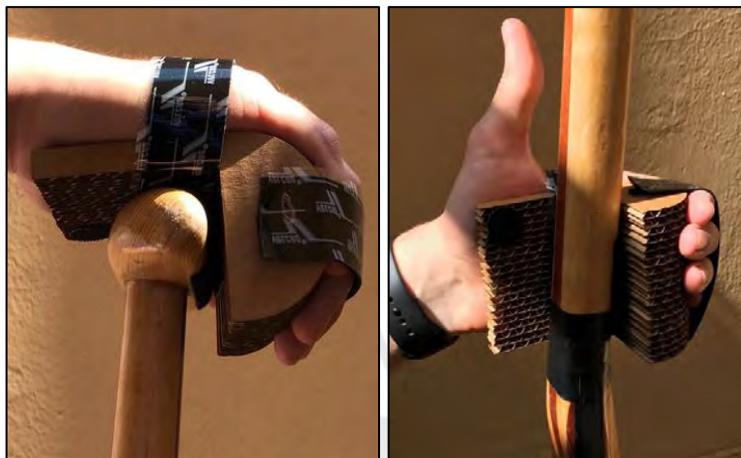


Figura 5.3 Ensamble mano-órtesis-remo.

5.2. Planos

En el presente subcapítulo, se presentará el índice de planos del presente trabajo de tesis, los cuales son detallados en la Tabla 5.1 e incluyen ensamble y despiece de todos los accesorios del proyecto. Estos mismos, han sido adjuntados al trabajo en el Anexo A.

Tabla 5.1 Índice de planos

Código	Nombre del Plano
A1-20120402-PE01	Ensamble General
A3-20120402-PE02	Sub-Ensamble Órtesis Derecha
A3-20120402-PE03	Sub-Ensamble Órtesis Izquierda
A3-20120402-PE04	Sub-Ensamble chaleco Salvavidas
A3-20120402-PE05	Sub-Ensamble del Remo
A3-20120402-PE06	Sub-Ensamble de Carcasa de Componentes
A3-20120402-PD01	Despiece Base Órtesis Derecha
A3-20120402-PD02	Despiece Base Órtesis Izquierda
A3-20120402-PD03	Despiece Injertos del Remo
A4-20120402-PD04	Despiece Soporte del Remo
A3-20120402-PD05	Despiece del Remo
A3-20120402-PD06	Despiece de Carcasa de Componentes

5.3. Estimación de costos

En este subcapítulo, se detalla la estimación de los costos de diseño, compras, fabricación e integración del sistema. Dicha estimación, se realiza a partir de distintas cotizaciones de compras y servicios, las cuales se encuentran documentadas en el Anexo C.

5.3.1. Costo de diseño

En el costo de diseño se toma como referencia un salario de S/. 1,200 nuevos soles, el cual es un promedio del sueldo de un practicante pre profesional de la PUCP. Un practicante pre profesional trabaja 120 horas al mes, por lo que este salario representa un ingreso de S/. 10 por hora. Finalmente, para completar el diseño de este sistema, se invirtió un total de 360 horas, las cuales representarían un costo de diseño de S/. 3,600 nuevos soles.

5.3.2. Costo de integración

A partir del salario por hora calculado anteriormente para un practicante pre profesional de la PUCP y asumiendo que la integración y pruebas del sistema tardaría un aproximado de ocho horas. Se calcula que el costo de integración del sistema asciende a S/. 80 nuevos soles.

5.3.3. Costo de compras

A continuación, se presenta en la Tabla 5.2, el costo de compras, cabe recalcar que se ha realizado la conversión de Dólares Americanos a Nuevos Soles al tipo de cambio oficial según la SUNAT para el 20 de agosto del 2020, el cual fue de S/. 3.573 nuevos soles por dólar estadounidense.

Tabla 5.2 Costo de compras.

Producto	Cantidad	Mercado	Tienda	Precio Unitario	Envío	Subtotal Producto
4 Baterías de LiPo 1200mAh con cargador de pares	1	Internacional	Aliexpress	S/ 37.73	S/ 15.01	S/ 52.74
Rack para 4 Baterías LiPo	1	Internacional	Aliexpress	S/ 4.75	S/ -	S/ 4.75
Medidor de Batería	1	Internacional	Aliexpress	S/ 16.58	S/ 8.40	S/ 24.98
BMS 4S de 4A	1	Internacional	Aliexpress	S/ 6.75	S/ -	S/ 6.75
Pulsador para el Soporte del Remo	1	Internacional	Aliexpress	S/ 4.00	S/ 6.25	S/ 10.25
Luz Posterior de Batería Baja	1	Internacional	Banggood	S/ 10.68	S/ 5.29	S/ 15.97
Regulador 5V Pololu	1	Internacional	Pololu	S/ 14.11	S/ 65.92	S/ 80.04
Arduino Nano 3.0	1	Nacional	Electrotec	S/ 25.00	S/ 7.00	S/ 47.50
Sensor DHT11	1	Nacional	Electrotec	S/ 12.00		
Docena de Leds	1	Nacional	Electrotec	S/ 3.50		
Velcro Adhesivo 50mm de Ancho	1	Internacional	TiendaMIA	S/ 55.04	S/210.24	S/ 646.13
Velcro para Coser 20mm de Ancho	1	Internacional	TiendaMIA	S/ 23.12		
NeverWet Spray	1	Internacional	TiendaMIA	S/ 69.35		
Chaleco Salvavidas KickBack II	1	Internacional	TiendaMIA	S/ 288.39		
Electroimán Permanente ø32mm	2	Internacional	APW	S/ 330.15	S/110.58	S/ 770.87
Remo	1	Nacional	Artesanal	S/ 300.00	S/ -	S/ 300.00
Bolsa Hermética	1	Nacional	Linio	S/ 16.00	S/ 7.00	S/ 23.00
Consumibles y cableado	1	Nacional	-	20% del Subtotal	0	S/450.00
Total				S/1,667.2	S/435.7	S/2,433.0

5.3.4. Costo de fabricación

A continuación, en la Tabla 5.3, se presentan los costos totales por materiales y fabricación de los componentes del sistema.

Tabla 5.3 Costo de fabricación de los componentes del sistema.

Producto	Cantidad	Empresa	Costo Material	Costo de Producción	Subtotal
Soporte del Remo	1	Producción Propia	S/29.90	S/80.00	S/109.90
Accesorios del Remo	1	MA&DI EIRL	S/64.92		S/64.92
Impresión 3D órtesis	2	Sala Veo	S/98.20		S/196.40
Impresión 3D carcasa	1	3DPrint Peru	S/171.85		S/171.85
Tarjeta Electrónica	1	JOBARECI	S/20.00		S/20.00
				Total	S/563.07

5.3.5. Costo total del sistema

Como se puede observar en la Tabla 5.4, el costo total de diseño asciende a S/3,600 mientras que el costo del producto; el cual comprende, compras, fabricación y pruebas, asciende a S/3,026.07 obteniendo un total S/6,626.07 como costo final.

Tabla 5.4 Costo total.

Tipo de Costo	Descripción	Costo Total
Diseño	Costo de diseño	S/3,600.00
Producto	Consto de compras	S/2,433.00
	Costo de fabricación	S/563.07
	Costo de integración	S/80.00
Costo Total		S/6,676.07

CONCLUSIONES

- A partir de los estudios y cálculos realizados, se puede concluir que se logró con éxito el objetivo principal de la presente tesis. Se concretó el diseño mecánico, electrónico y de control de una órtesis activa para el remado de canoas polinesias.
- A partir de los estudios realizados en el estado del arte, se puede verificar que actualmente no existe en el mercado, ningún producto que permita a una persona discapacitada remar de una manera natural. Es por ello que, en la actualidad, la presente tesis se presentaría como la única alternativa para que personas con discapacidad de manos pero no de brazos, puedan realizar el deporte del Para Va'a de la manera más natural.
- A través de las distintas simulaciones de remado realizadas y el análisis sobre estas, en los que se comparó el movimiento de las manos frente a los límites ergonómicos, se puede concluir que el usuario no sufrirá lesiones ni molestias al momento de realizar el deporte mientras utiliza las órtesis. Asimismo, el atleta podrá realizar los movimientos sin ninguna restricción permitiendo que la cinemática sea lo más natural posible.
- A través de los cálculos electrónicos y las baterías seleccionadas, se puede concluir que la órtesis podrá superar con éxito el tiempo de funcionamiento solicitado de tres horas, pudiendo funcionar por cuatro horas consecutivas.
- A partir de los cálculos de esfuerzos y simulaciones, se puede asegurar que la órtesis resistirá toda fuerza a la que pudiera ser sometida sin tener deformación que influya en el funcionamiento o rotura alguna.
- A partir de las consideraciones de seguridad del sistema, se puede concluir que el atleta se mantendrá protegido en caso de volcadura de canoa, ya que el sistema liberará

automáticamente el remo. Asimismo, los componentes electrónicos contarán con el grado de protección IP67 y se encontrarán impermeabilizados a través del compuesto *NeverWet*.

- A través del análisis de costos realizado, se logró determinar que el costo de fabricar el sistema (costo total menos costo de diseño) sería de S/3,026.07 nuevos soles, costo menor al requerido de S/3,200.



RECOMENDACIONES

- En una siguiente versión del sistema, se podría diseñar un traje de neopreno especial que cuente con canales por los que atravesaría el cableado, lo que facilitaría el montaje del sistema y contribuiría a la comodidad del usuario.
- En un siguiente estudio, se recomienda realizar la comprobación de la resistencia a la fatiga por flexión del cableado que atraviesa entre el traje de neopreno y los brazos del atleta. Esto ya que el cableado podría romperse luego de cierta cantidad de ciclos de remado.
- A pesar que el sistema fue diseñado para la práctica del Para Va'a, se ha observado que el sistema podría ser utilizado también para la vida diaria del usuario. Esto podría ser posible, aplicando injertos metálicos a los objetos que el usuario desea sujetar.
- Siguiendo los lineamientos de la recomendación anterior, para que se pueda habilitar dicha función se debería de contemplar un mejor medio de sujeción de los componentes electrónicos como las baterías y controladores. Asimismo, se deberá de cambiar la posición del pulsador para desactivar los electroimanes o cambiar el método en el que estos se desactivan.

BIBLIOGRAFÍA

(FESTO,2015) FESTO. (28 de agosto de 2015). Tecnología que ayuda a sanar. Recuperado el 27 de agosto de 2017, de https://www.festo.com/cms/es_corp/14457.htm

(FESTO, 2012) FESTO. (abril de 2012). New scope for interaction between humans and machines. Recuperado el 27 de agosto de 2017, de https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/156734/Brosch_FC_ExoHand_EN_lo_L.pdf

(OMS, 2011) OMS. (2011). Informe mundial sobre la discapacidad. Recuperado el 23 de agosto de 2017, de http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/accessible_es.pdf?ua=1

(OMS, 2013) OMS. (2013). *International Perspectives on Spinal Cord Injury*. Recuperado el 24 de agosto de 2017, de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/94190/1/9789241564663_eng.pdf

(Teletón Perú, 2016) Teletón Perú. (01 de octubre de 2016). *Pancho Arbulú - Historia de Vida*. Recuperado el 29 de agosto de 2017, de <https://www.youtube.com/watch?v=XdWdng5GeYI>

(COLCIENCIAS, 2015) COLCIENCIAS. (2015). *PROTOTIPO EMMRA-1*. Recuperado el 23 de agosto de 2017, de <http://ciberr-m317.com/archivosyvideos/PONENCIA%20IBERDISCAP%202015.pdf>

(Ates, 2016) Serdar Ates, C. J. (12 de julio de 2016). *SCRIPT passive orthosis: design of interactive hand and wrist exoskeleton for rehabilitation at home after stroke*. Recuperado el 25 de agosto de 2017, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10514-016-9589-6>

(Bridgwater, 2012) Bridgwater, B. J. (29 de febrero de 2012). *Estados Unidos Patente n° US20130219585A1*.

(Wikander, 2006) Wikander, r. J. (01 de septiembre de 2006). *Estados Unidos Patente n° US8029414B2*.

(Estrucplan, 2002) Estrucplan. (09 de agosto de 2002). Recuperado el 05 de septiembre de 2017, de <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=64>

(Rebollo, 2014) Rebollo, V. M. (09 de mayo de 2014). *¿Qué es la biomecánica?* Recuperado el 05 de septiembre de 2017, de <http://biomecanicamartinez.com/que-es-la-biomecanica/>

(INEI, 2015) INEI. (marzo de 2015). *INEI*. Recuperado el 4 de Octubre de 2017, de http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1209/Libro.pdf

(Arimond, 2012) Arimond, G. (31 de enero de 2012). *Piragis Paddles*. Recuperado el 4 de Octubre de 2017, de [http://www.piragispaddles.com/paddlestrokes.html\[1/31/2012](http://www.piragispaddles.com/paddlestrokes.html[1/31/2012)

(Stuner, 1972) Stuner, J. P. (1 de abril de 1972). *USA Patente n° US3636568 A*.

(Canyon, 2016) Canyon, D. V. (10 de junio de 2016). A Systematic Review of Research on Outrigger Canoe Paddling and Racing. *SciMedCentral*, 3(5).

(Staton, 1999) Staton, R. (abril de 1999). Strength Training for Outrigger Canoe Paddlers. *Strength & Conditioning Journal*, 21(28), 10.

(Zeller, 2009) Zeller, J. (2009). *Canoeing and kayaking for people with disabilities*. USA: American Canoe Association.

(DiMSAT, 2004) DiMSAT-Università degli Studi di Cassino. (15 de junio de 2004). *Diseño y experimentación de un dedo articulado antropomorfo con un grado de libertad*. (DiMSAT-Università degli Studi di Cassino) Recuperado el 11 de noviembre de 2017, de <http://www.interempresas.net/Robotica/Articulos/8366-Diseno-y-experimentacion-de-un-dedo-articulado-antropomorfo-con-un-grado-de-libertad.html>

(Cubillos, 2010) Cubillos Mariangel, N., & Medina Silva, O. (2010). *Estudio Piloto De Medidas Antropométricas De La Mano Y Fuerzas De Presión, Aplicables Al Diseño De Herramientas Manuales*. Recuperado el 05 de septiembre de 2017, de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117152/Tesis.pdf?sequence=1>

(Melo, 2002) Melo, J. (16 de agosto de 2002). *EstrucPlan*. Obtenido de estrucplan.com.ar: <https://estrucplan.com.ar/ergonomia-aplicada-a-las-herramientas-02o-parte/>

(ANSI 60529, 2018) ANSI 60529. (25 de abril de 2018). *UNE NORMALIZACIÓN ESPAÑOLA*. Obtenido de UNE NORMALIZACIÓN ESPAÑOLA: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060015>

(Rodriguez, 2009) Rodriguez Hernandez, J. A. (2009). *Resistencia de Materiales 2*. Lima: PUCP.

(Deng Xuelei, 2012) Deng Xuelei, Z. Z. (28 de febrero de 2012). *China Patente n° CN202537871U*.

(Silvester, 2020) Silvester, C. (08 de mayo de 2020). *Lanakila Outrigger Canoe Club*. Obtenido de Lanakila Outrigger Canoe Club: <http://lanakila.com>

(Barriga, 2014) Barriga Gamarra, B. (2014). *Métodos de Diseño en Ingeniería Mecatrónica*. Lima: PUCP.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**DISEÑO DE UNA ÓRTESIS ACTIVA DE MANO PARA EL REMADO
DE CANOAS POLINESIAS.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECATRÓNICO**

AUTOR:

Francesco Toso Chini

ASESOR:

César Antonio Lengua Huertas

Lima, octubre, 2020

ANEXOS

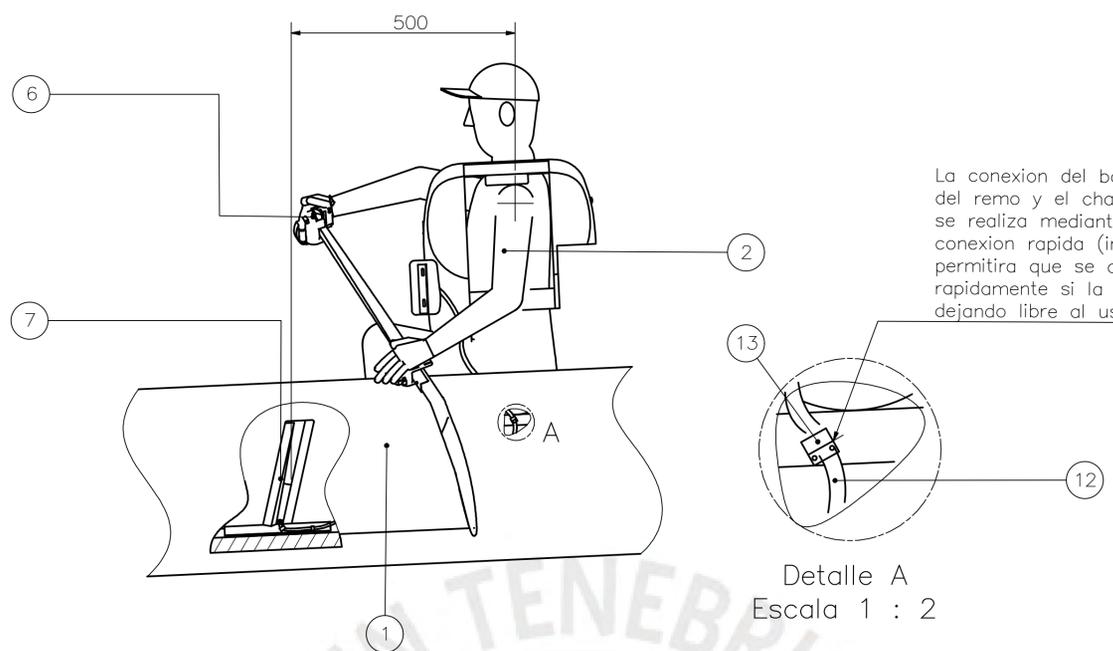
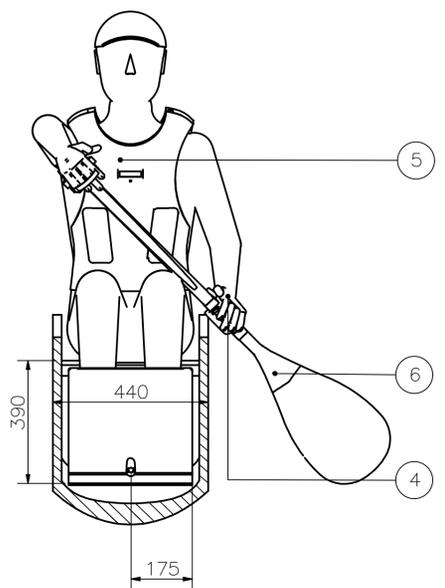
- ANEXO A: PLANOS MECÁNICOS DEL SISTEMA
- ANEXO B: INDICACIONES PARA COLOCAR EL EQUIPAMIENTO
- ANEXO C: COTIZACIONES
- ANEXO D: HOJAS DE DATOS DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS



ANEXO A

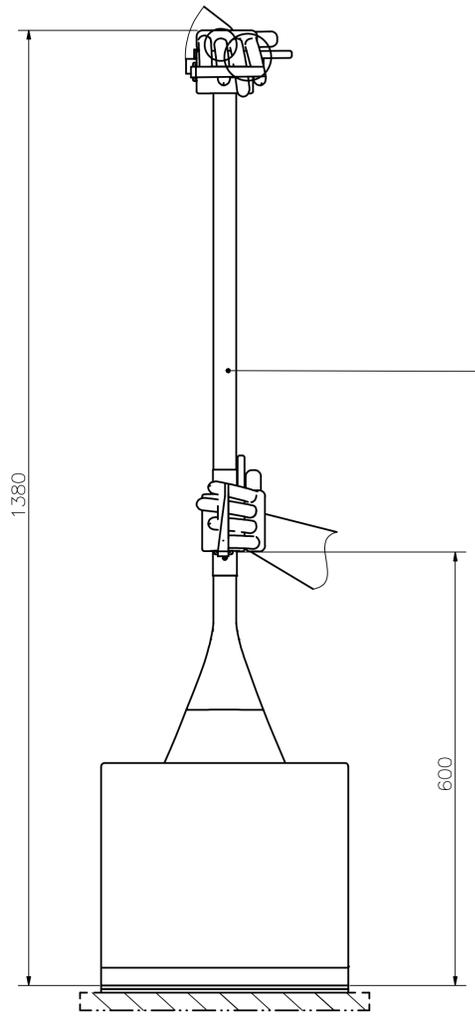
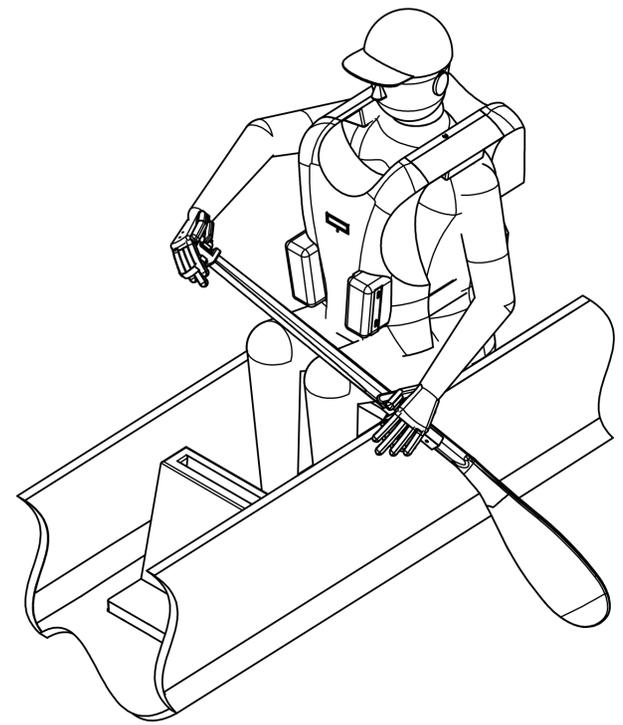
PLANOS MECÁNICOS DEL SISTEMA



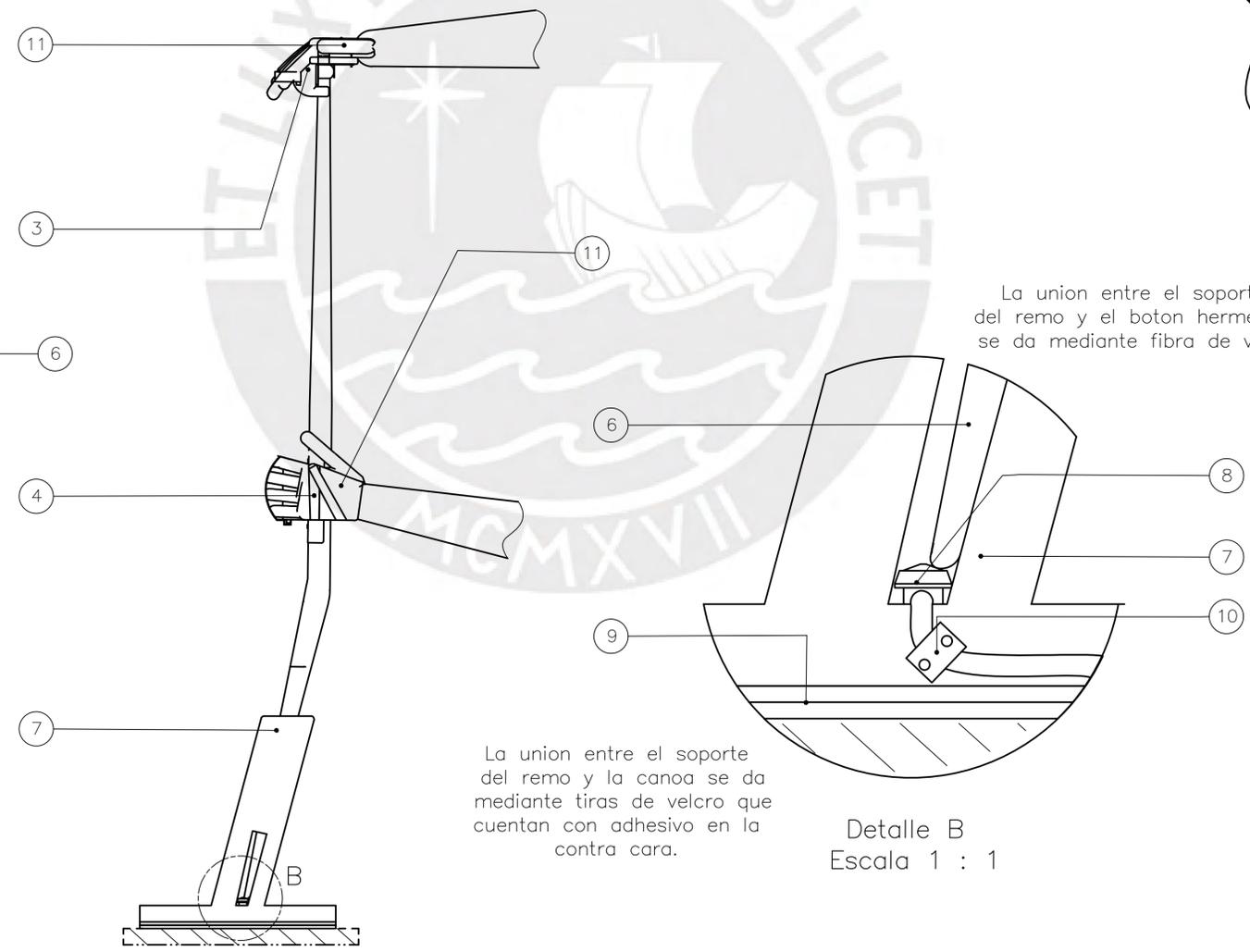


La conexión del botón del soporte del remo y el chaleco salvavidas se realiza mediante borneras de conexión rápida (incluidas), lo que permitirá que se desconecte rápidamente si la canoa se voltea dejando libre al usuario.

Detalle A
Escala 1 : 2



Detalle de la sujeción y reposo del remo
Escala 1 : 5



La unión entre el soporte del remo y el botón hermetico se da mediante fibra de vidrio.

La unión entre el soporte del remo y la canoa se da mediante tiras de velcro que cuentan con adhesivo en la contra cara.

Detalle B
Escala 1 : 1

PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
13	20	Bornera de Conexión Rapida			Para Cable 18 AWG
12	1	Cable Doble para Conexiones	18 AWG		4.5 metros
11	1	Par de Guantes Quicksilver		Neopreno	Mod. Synco 3mm
10	6	Grapas para Cable con Fijadores		Plastico	Cable de 6mm
9	1	Rollo de Velcro de ancho 50mm		Velcro	Adhesivo posterior
8	1	Pulsador Hermetico Core Tools			Mod. CT126-LS-B
7	1	Soporte del Remo		Madera	VER PD04
6	1	Sub-Ensamble del Remo			VER PE05
5	1	Sub-Ensamble Chaleco Salvavidas			VER PE04
4	1	Sub-Ensamble Ortesis Izquierda			VER PE03
3	1	Sub-Ensamble Ortesis Derecha			VER PE02
2	1	Usuario			
1	1	Canoa			CANOA V6

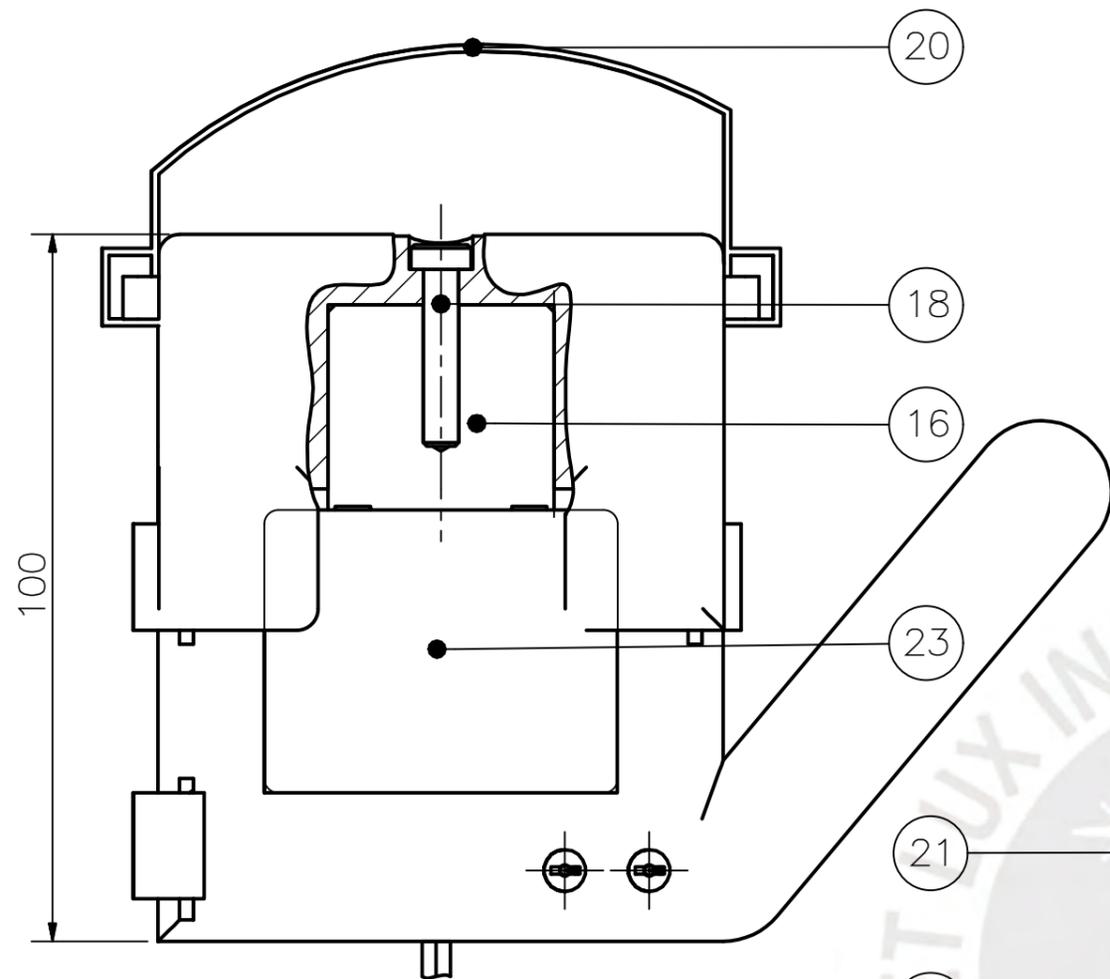
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN: ESCALA: 1:10

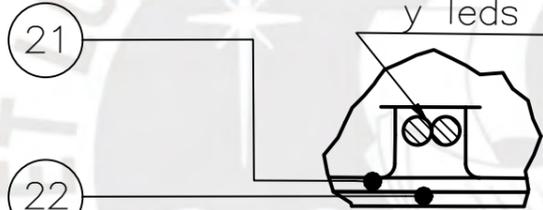
ENSAMBLE GENERAL

FECHA: 2020.08.26

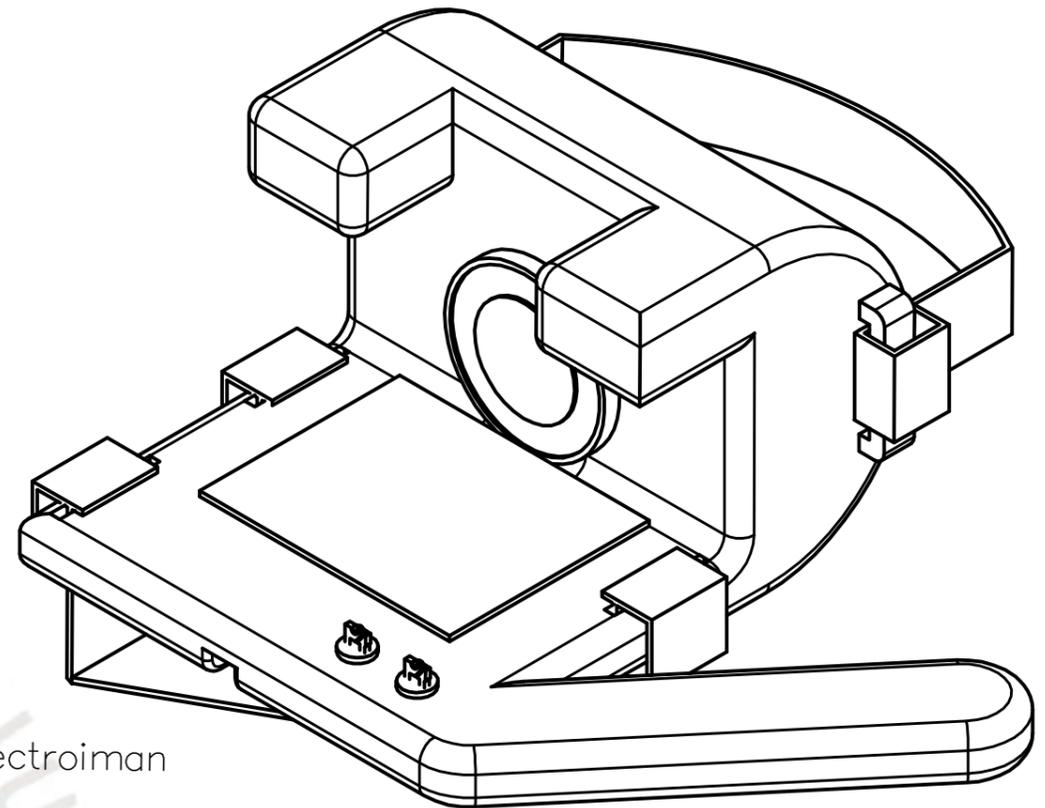
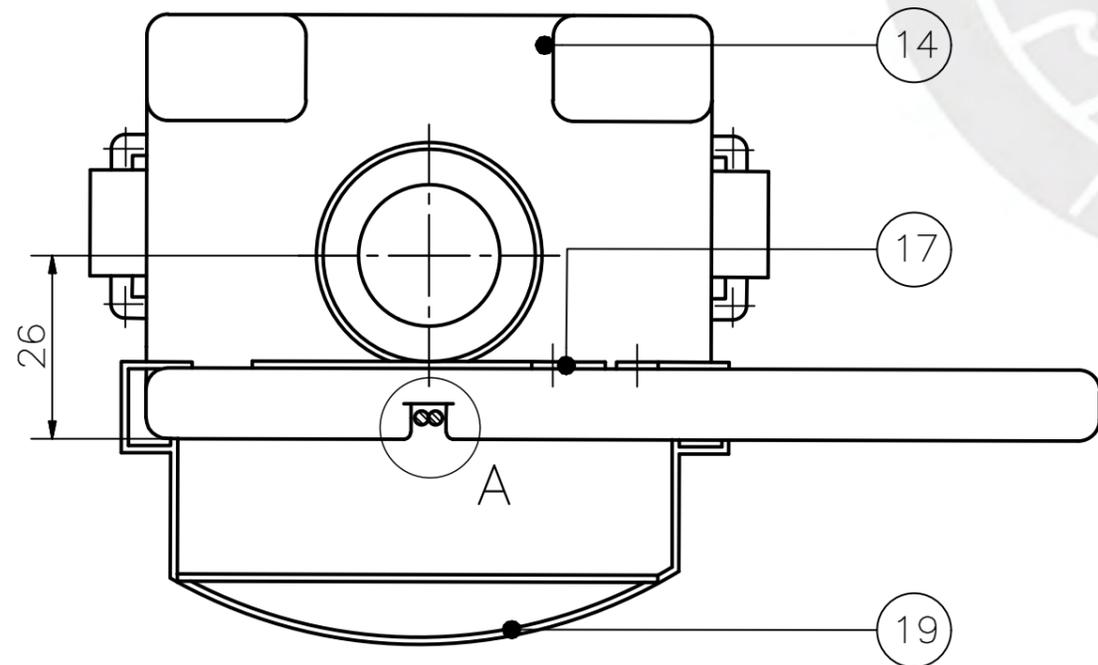
20120402 TOSO CHINI, FRANCESCO PLANO: A1 - PE01



Cables del electroiman y leds

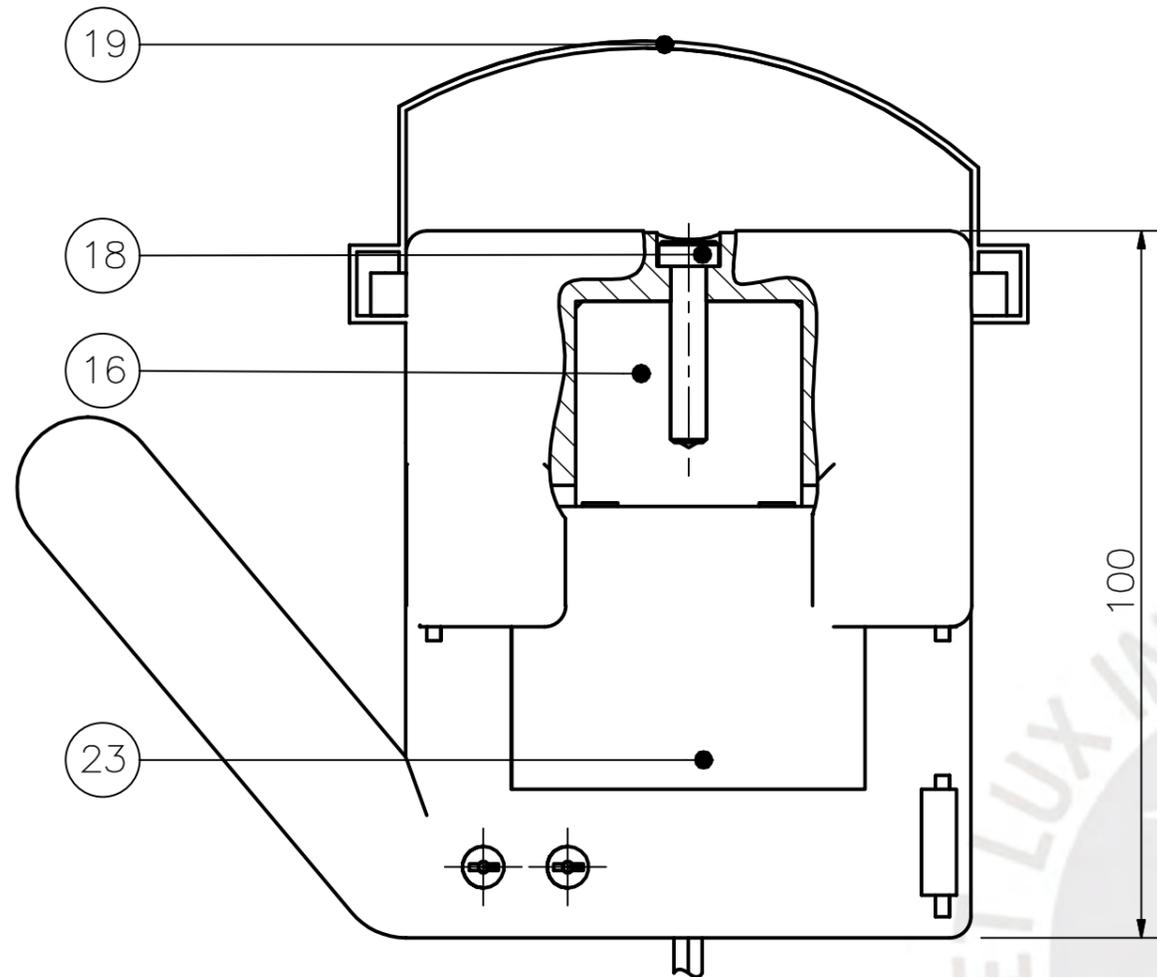


Detalle A
Escala 2:1

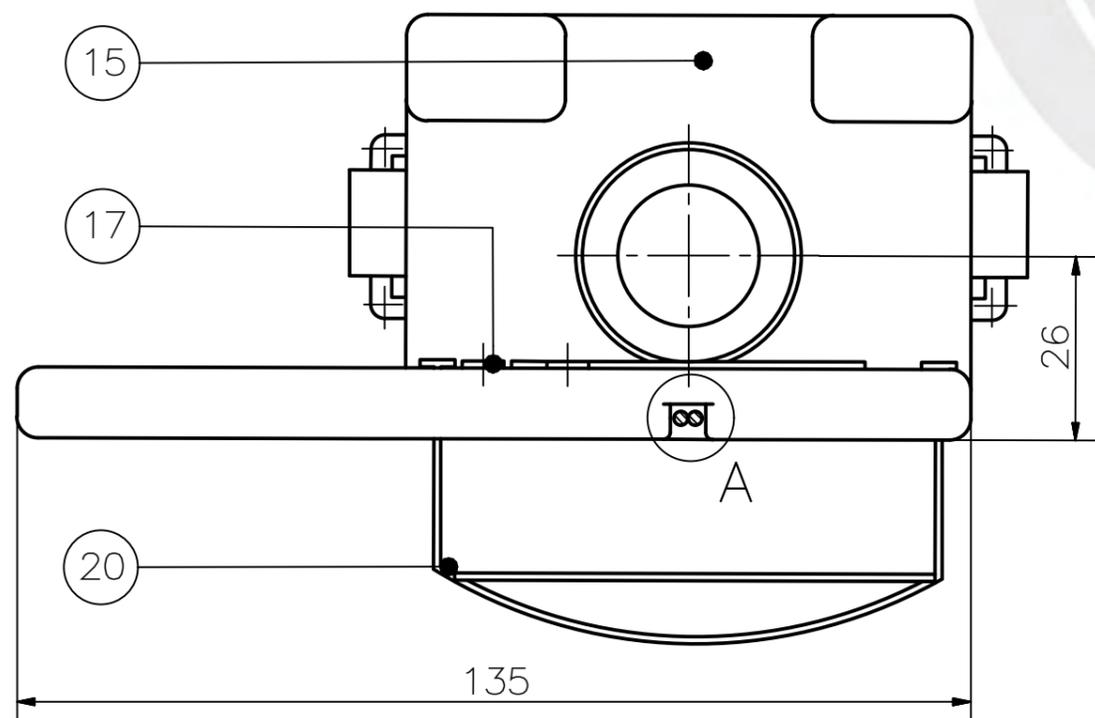
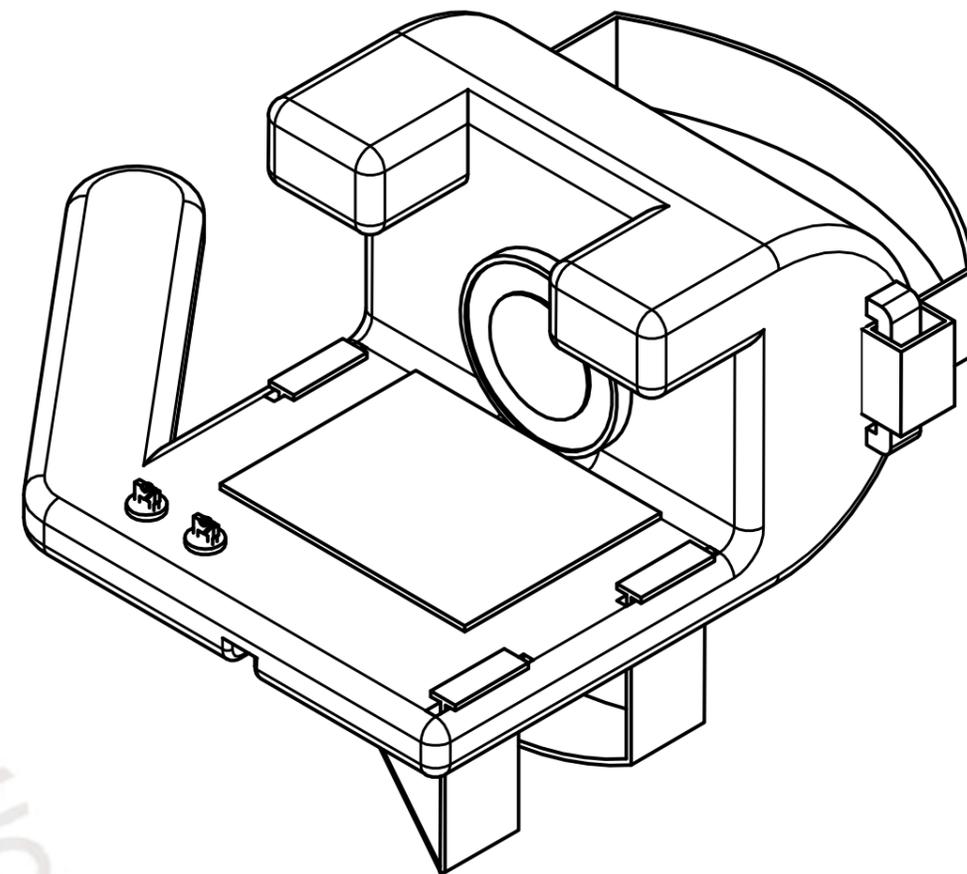


PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
23	1	Placa de Iman Autoadhesiva			50x40x1mm
22	1	Capa de Neopreno		Neopreno	ESPESOR 2mm
21	1	Capa de Aislante Electrico		XLPE	ESPESOR 1mm
20	1	Velcro Superior		Velcro	ESPESOR 20mm
19	1	Velcro Inferior		Velcro	ESPESOR 20mm
18	1	Tornillo Hexagonal M5 x 25	DIN 6912	8.8	ZINCADO
17	2	Diodo LED Plano Ø5mm			
16	1	Electroiman Permanente Ø32mm		EML32MM-12	APW COMPANY
14	1	Base Ortesis Derecha		ABS	VER PLANO PD01

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA ÓRTESIS ACTIVA DE MANO PARA EL REMADO DE CANOAS POLINESIAS SUB ENSAMBLE ÓRTESIS DERECHA	ESCALA 1:1 FECHA: 2020.08.26
20120402	TOSO CHINI, FRANCESCO	PLANO: A3 – PE02



Cables del electroiman
y leds

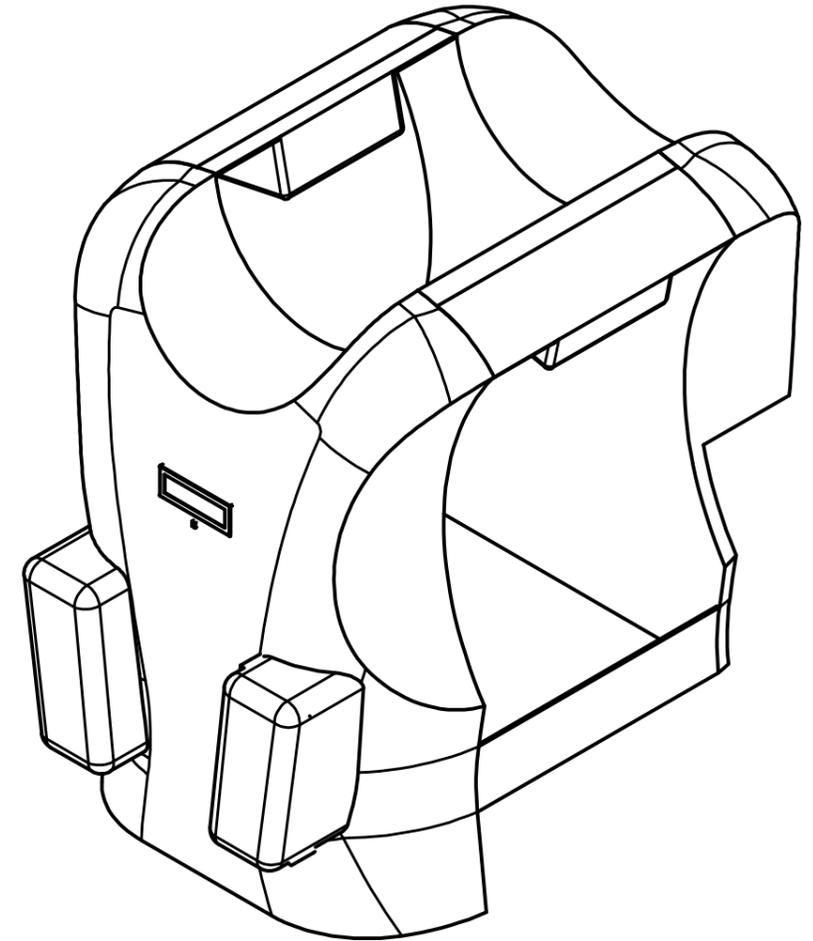
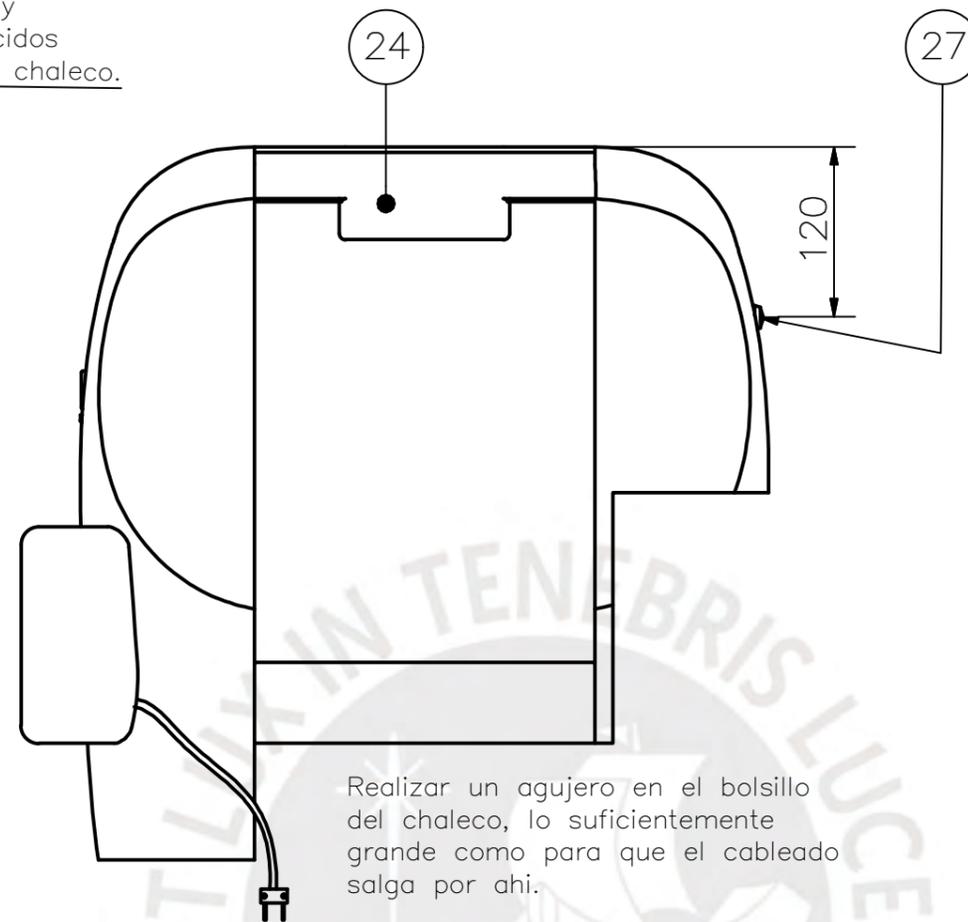
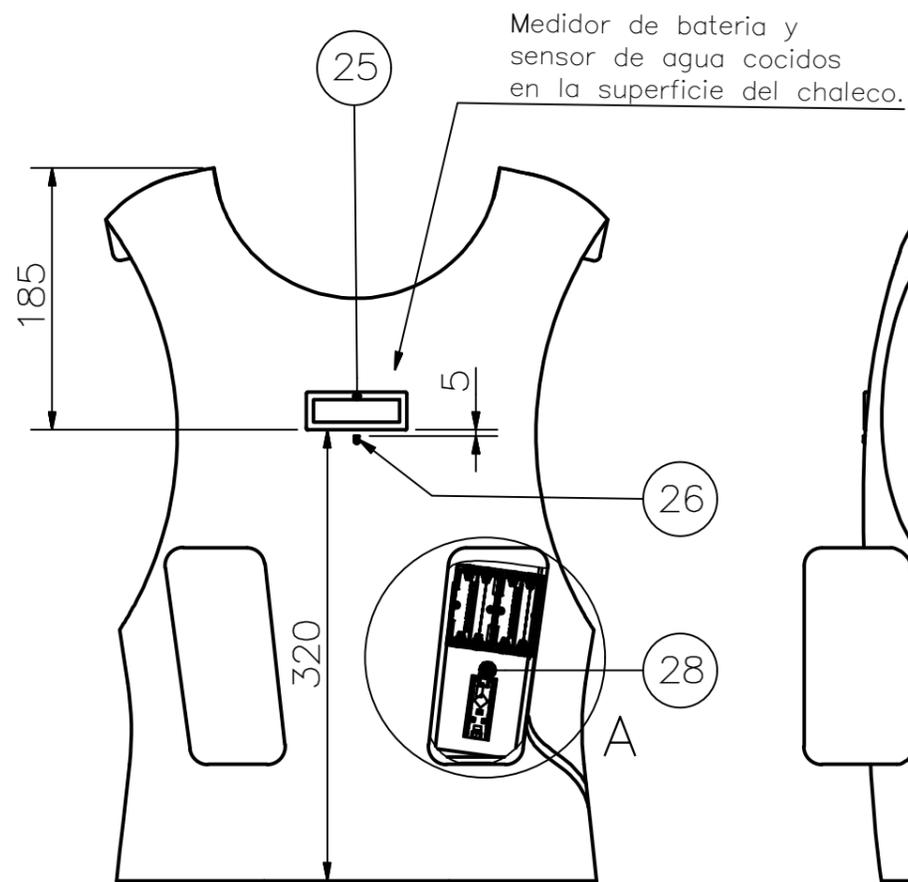


PARTS LIST

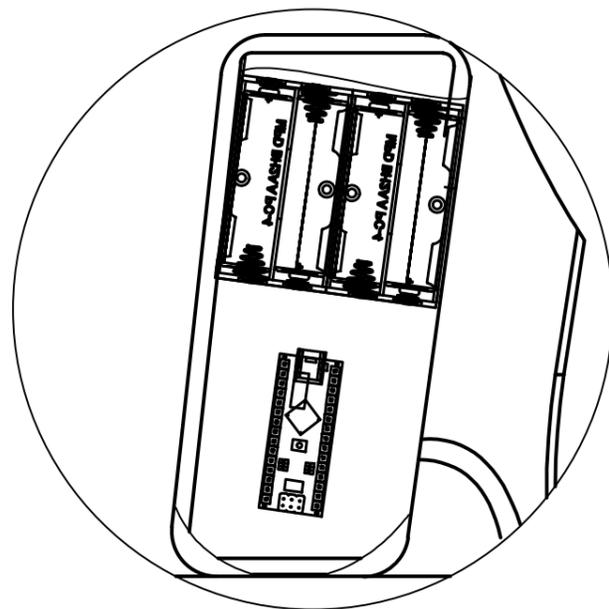
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
23	1	Placa de Iman Autoadhesiva			50x40x1mm
22	1	Capa Ergonomica		Neopreno	ESPESOR 2mm
21	1	Aislante Electrico		XLPE	ESPESOR 1mm
20	1	Velcro Inferior		Velcro	ESPESOR 20mm
19	1	Velcro Superior		Velcro	ESPESOR 20mm
18	1	Tornillo Hexagonal M5 x 25	DIN 6912	8.8	ZINCADO
17	2	Diodo LED Ø5mm			
16	1	Electroiman Permanente Ø32mm			APW COMPANY
15	1	Base Ortesis Izquierda		ABS	VER PLANO PD02

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO DE UNA ÓRTESIS ACTIVA DE MANO PARA EL REMADO DE CANOAS POLINESIAS	ESCALA
	SUB ENSAMBLE ÓRTESIS IZQUIERDA	1:1
20120402	TOSO CHINI, FRANCESCO	FECHA: 2020.08.26
		PLANO: A3 – PE03



Detalle A
Escala 1:2

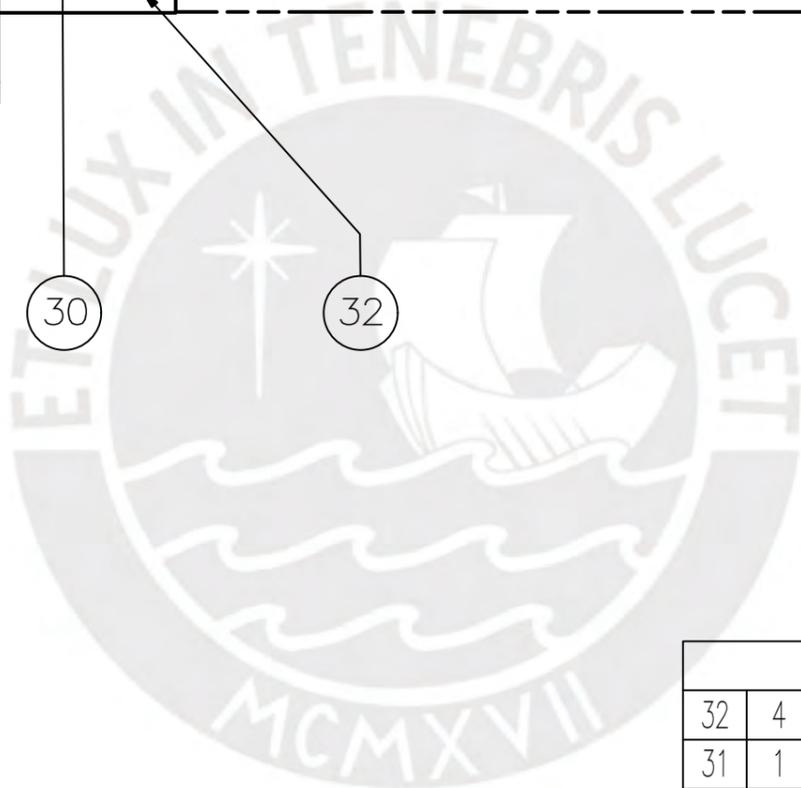
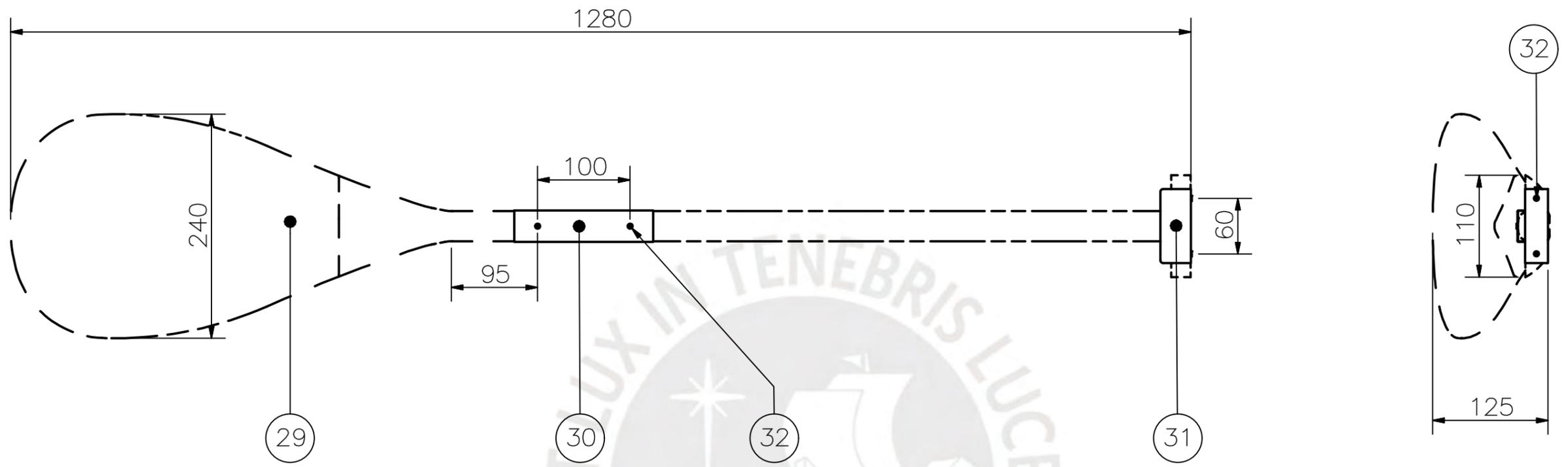


Los componentes se encuentran dentro de una bolsa hermetica. El cableado ingresa y sale de esta a traves de cuatro prensastopas.

PARTS LIST					
28	1	Encamble Carcasa			VER PLANO PE06
27	1	LED Rojo Resistente al Agua			Bangood 19mm
26	1	Sensor de Agua			D-Robotics DHT11
25	1	Medidor de Batería			Bay Way-LY5
24	1	Chaleco Salvavidas			Harmony Kickbackll
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

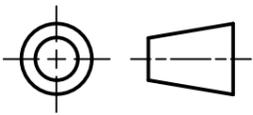
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA

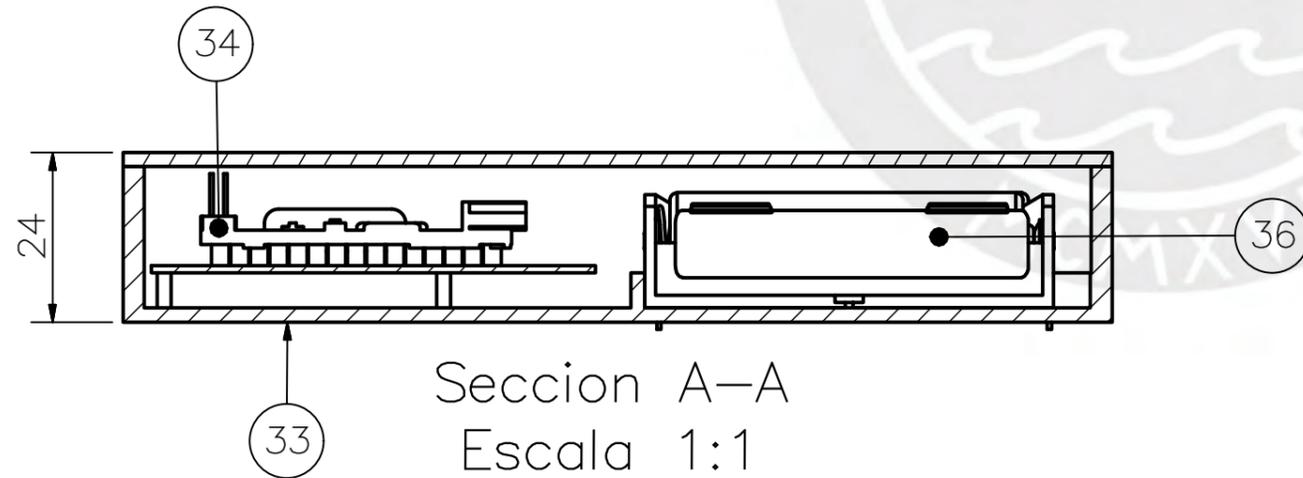
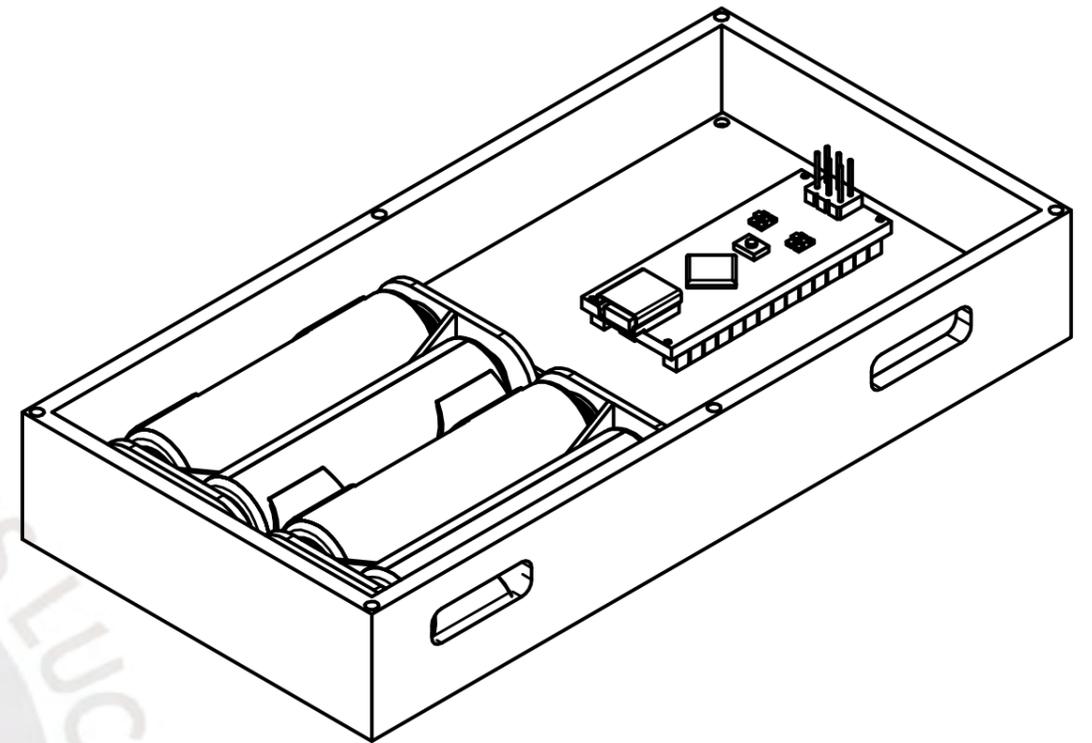
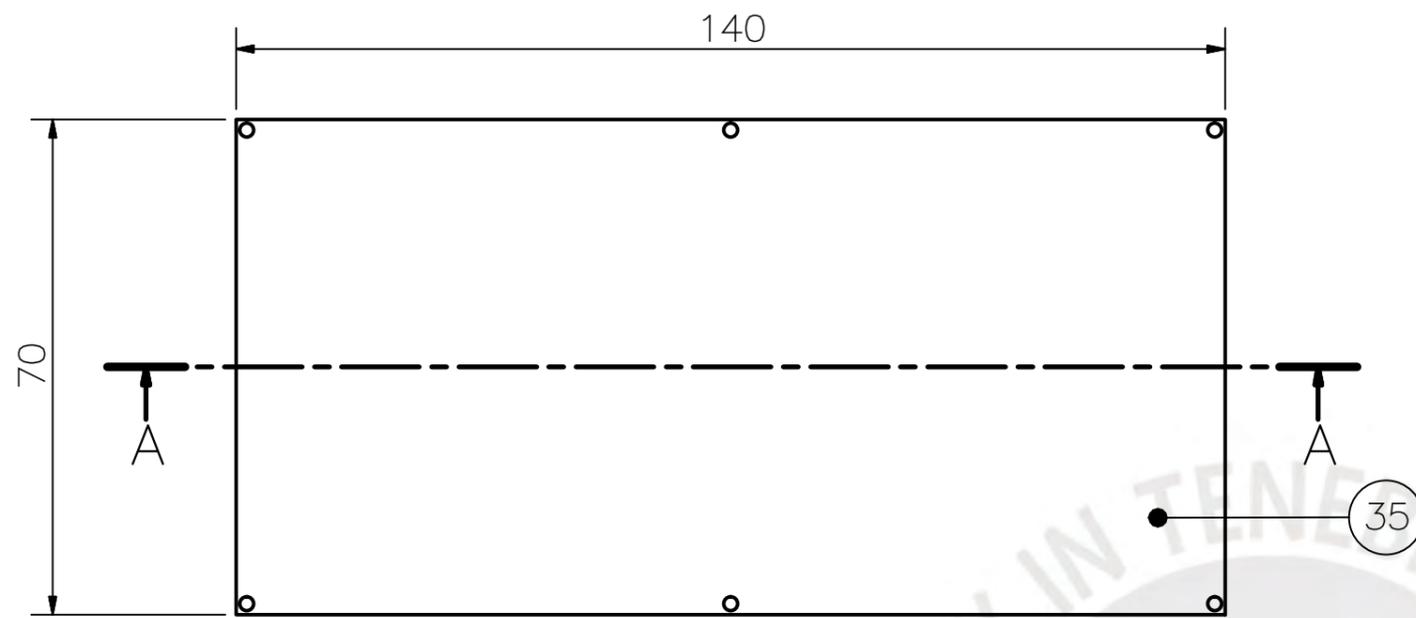
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO DE UNA ÓRTESIS ACTIVA DE MANO PARA EL REMADO DE CANOAS POLINESIAS	ESCALA
	SUB ENSAMBLE CHALECO SALVAVIDAS	1:5
		FECHA: 2020.08.26
20120402	TOSO CHINI, FRANCESCO	PLANO: A3 – PE04



PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
32	4	Tornillo Autorroscante $\varnothing 3 \times 6 \text{mm}$	ISO-7050	8.8	INOXIDABLE
31	1	Accesorio Superior Remo			VER PLANO PD05
30	1	Accesorio Inferior Remo			VER PLANO PD05
29	1	Remo		Madera	COMPRA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA

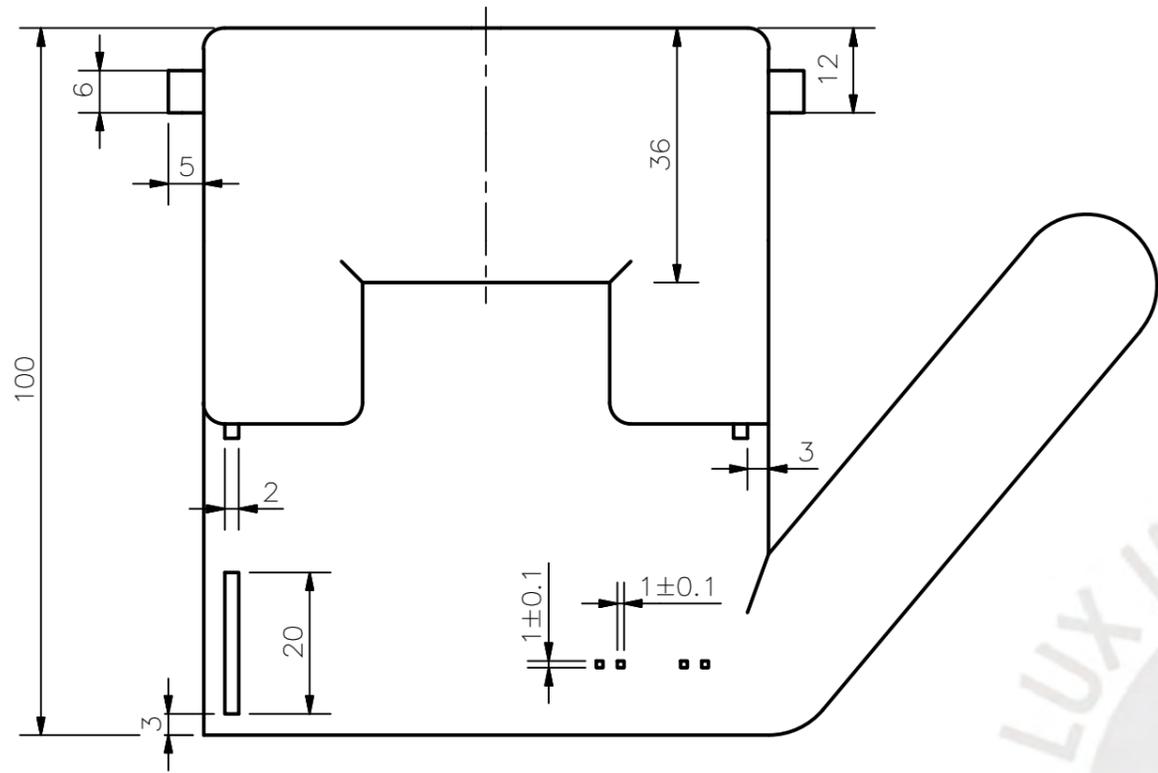
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO DE UNA ÓRTESIS ACTIVA DE MANO PARA EL REMADO DE CANOAS POLINESIAS	ESCALA
	SUB ENSAMBLE DEL REMO	1:5
		FECHA: 2020.08.26
20120402	TOSO CHINI, FRANCESCO	PLANO: A3 – PE05



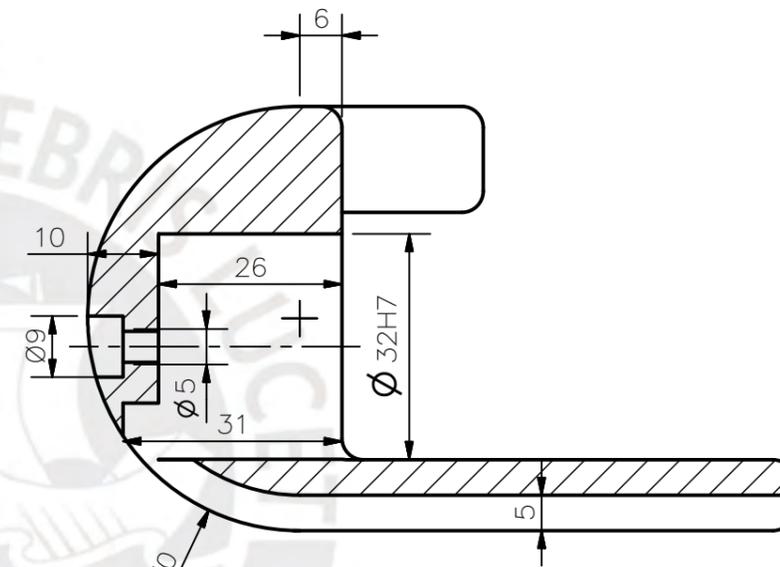
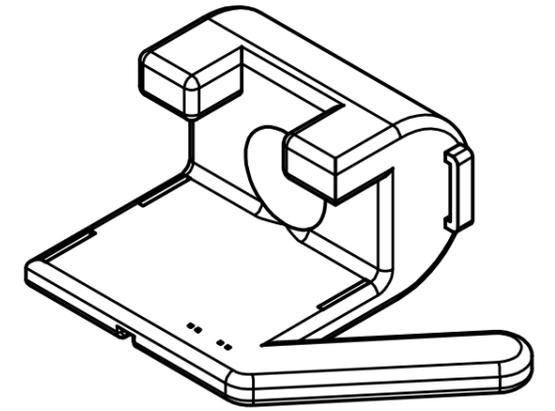
Seccion A-A
Escala 1:1

PARTS LIST					
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
36	2	Compartimiento de Baterias		ABS	
35	1	Tapa Carcasa		PLA	VER PLANO PD06
34	1	Arduino Nano		Generic	
33	1	Base Carcasa		PLA	VER PLANO PD06

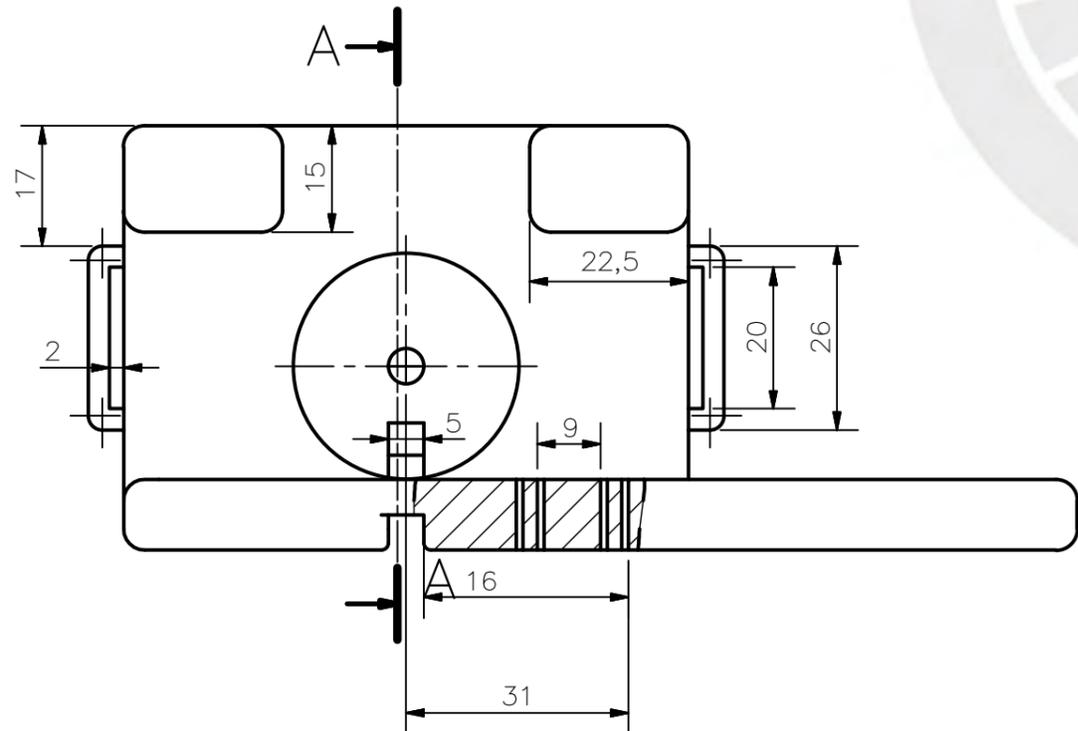
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO DE UNA ÓRTESIS ACTIVA DE MANO PARA EL REMADO DE CANOAS POLINESIAS	ESCALA
	SUB ENSAMBLE DE CARCASA	1:1
		FECHA: 2020.08.26
20120402	TOSO CHINI, FRANCESCO	PLANO: A3 – PE06



Redondeos no mostrados R2



Seccion A-A
Escala 1:1

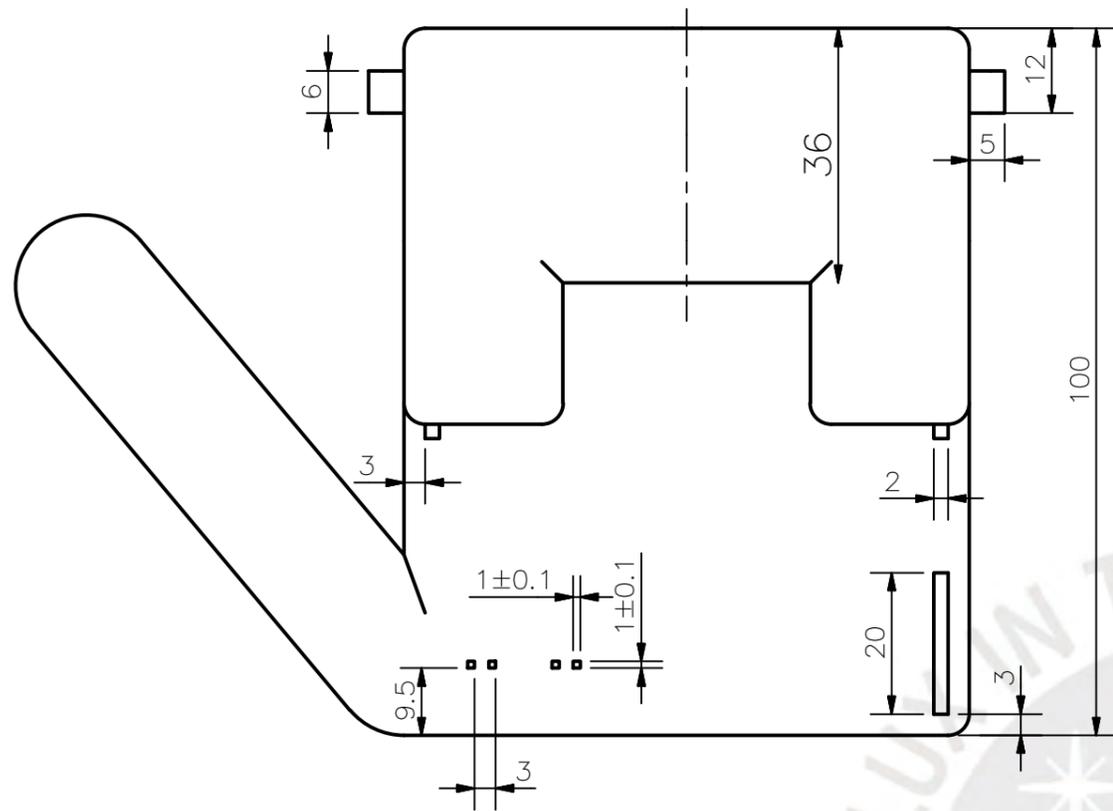


ACABADO SUPERFICIAL 5/√	TOLERANCIA GENERAL ±0.5	MATERIAL ABS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA ÓRTESIS ACTIVA DE MANO PARA EL REMADO DE CANOAS POLINESIAS	ESCALA 1:1
	BASE ÓRTESIS DERECHA	FECHA: 2020.08.26
		PLANO: A3 – PD01

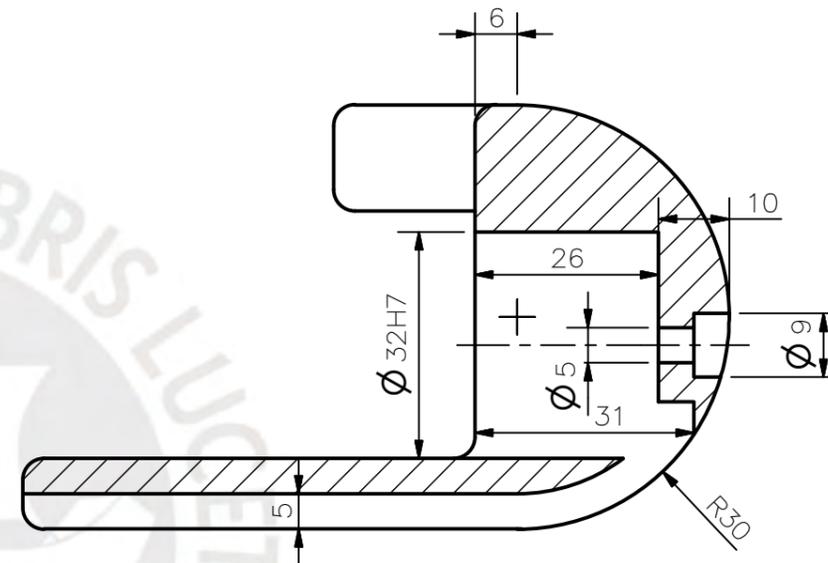
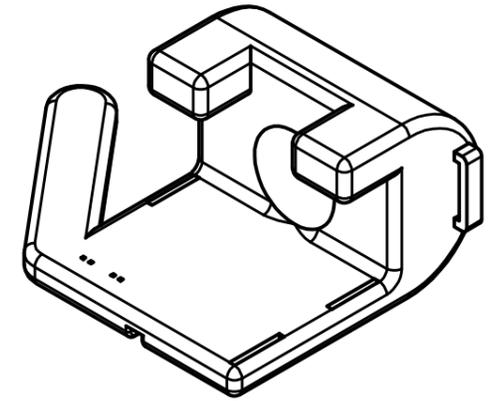
32	32,025	32,000
COTA NOMINAL	COTA MÀXIMA	COTA MÍNIMA

20120402

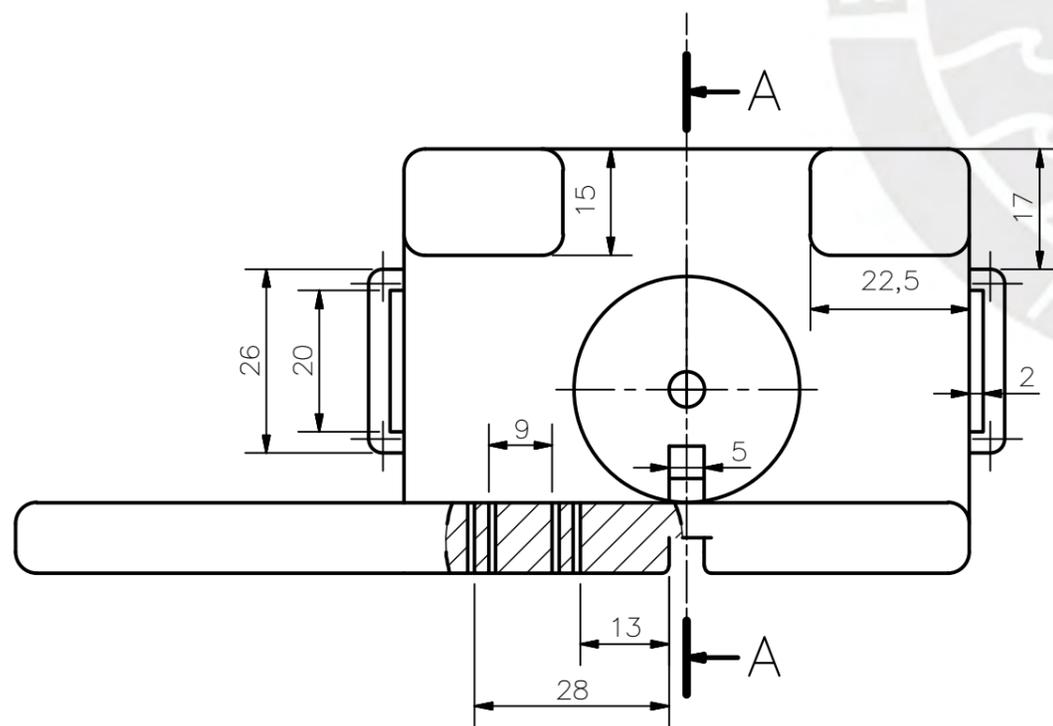
TOSO CHINI, FRANCESCO



Redondeos no mostrados R2



Sección A-A
Escala 1:1

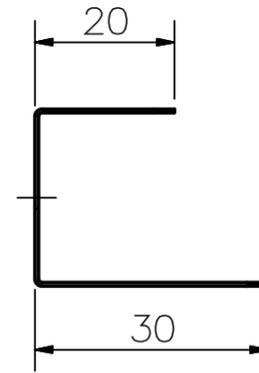
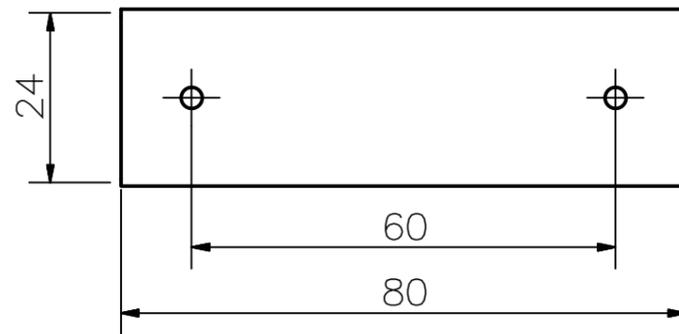


ACABADO SUPERFICIAL 5/√	TOLERANCIA GENERAL ±0.5	MATERIAL ABS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA ÓRTESIS ACTIVA DE MANO PARA EL REMADO DE CANOAS POLINESIAS	ESCALA 1:1
	BASE ÓRTESIS IZQUIERDA	FECHA: 2020.08.26
		PLANO: A3 – PD02

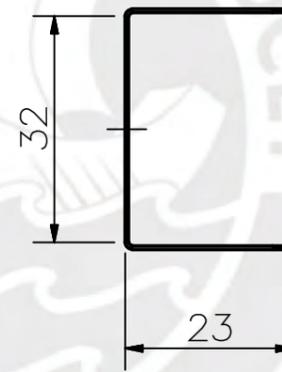
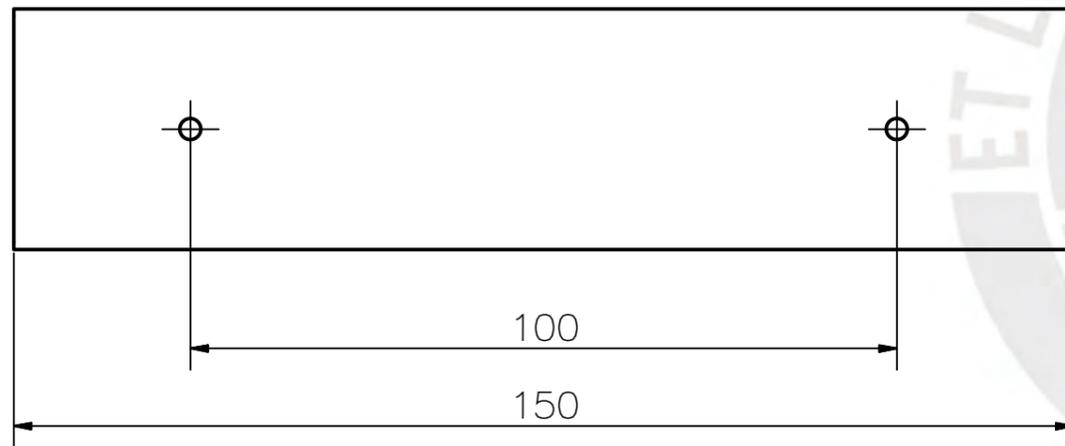
32	32,025	32,000
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

20120402

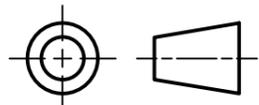
TOSO CHINI, FRANCESCO

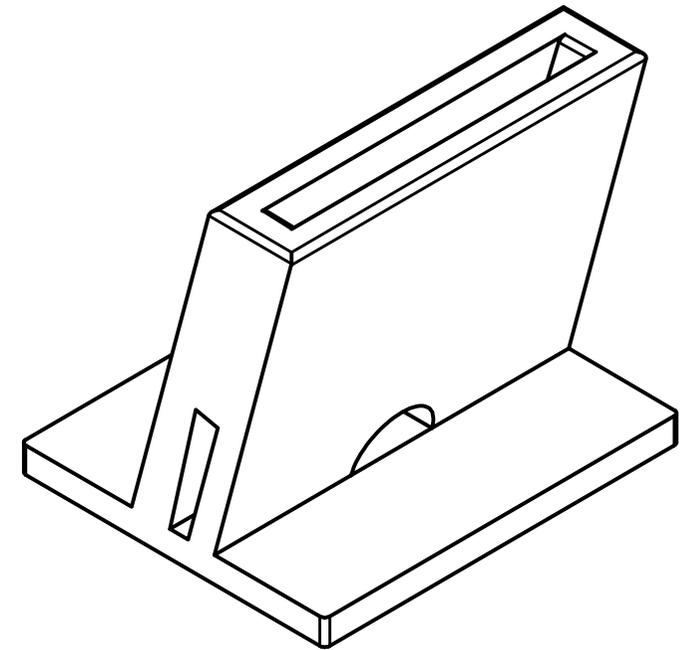
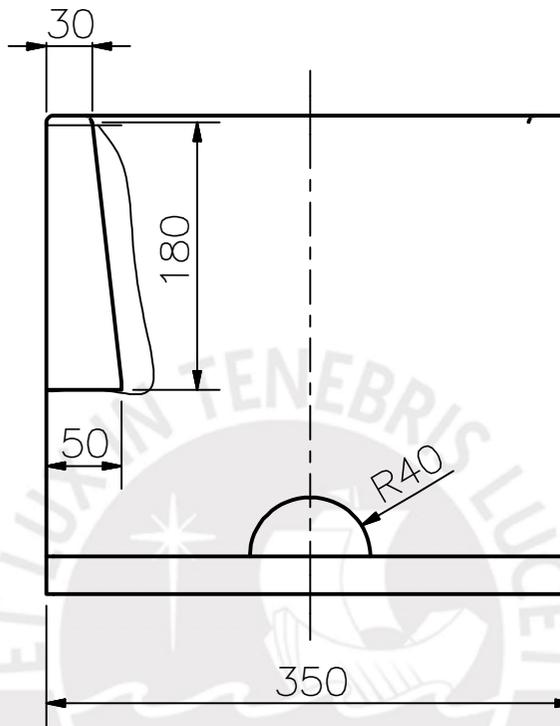
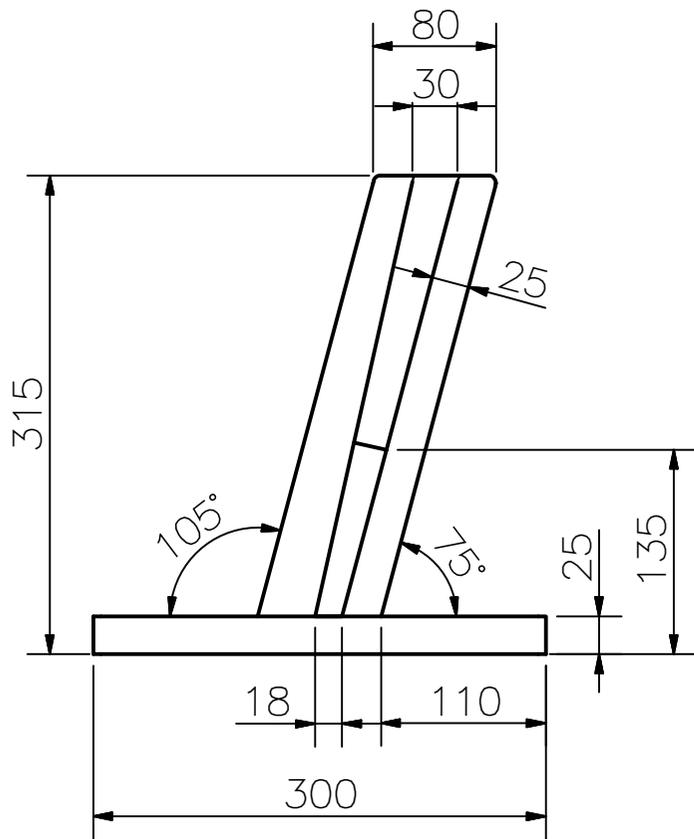


NOMBRE: ACCESORIO SUPERIOR DE REMO
 POSICIÓN: 31
 CANTIDAD: 1
 ESCALA: 1:1
 MATERIAL: ASTM A304
 TOLERANCIA GENERAL: +0.5
 ACABADO SUPERFICIAL: $\sqrt{6}$
 ESPESOR: 0.5mm
 REDONDEO DE DOBLECES: 1mm
 REDONDEO DE ARISTAS: 3mm
 AGUJEROS: 5mm



NOMBRE: ACCESORIO INFERIOR DE REMO
 POSICIÓN: 30
 CANTIDAD: 1
 ESCALA: 1:1
 MATERIAL: ASTM A304
 TOLERANCIA GENERAL: +0.5
 ACABADO SUPERFICIAL: $\sqrt{6}$
 ESPESOR: 0.5mm
 REDONDEO DE DOBLECES: 1mm
 REDONDEO DE ARISTAS: 3mm
 AGUJEROS: 5mm

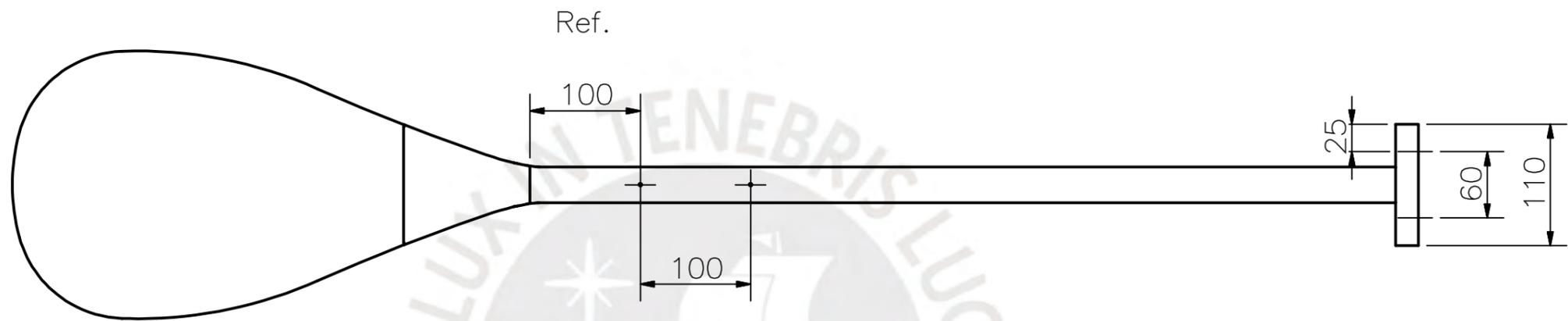
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA ÓRTESIS ACTIVA DE MANO PARA EL REMADO DE CANOAS POLINESIAS ACCESORIO SUPERIOR E INFERIOR DE REMO	ESCALA 1:1 FECHA: 2020.08.26
20120402	TOSO CHINI, FRANCESCO	PLANO: A3 – PD03



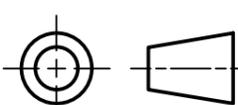
Observación: Se recomienda usar un listón de madera de 25x75x3200mm para su fabricación.

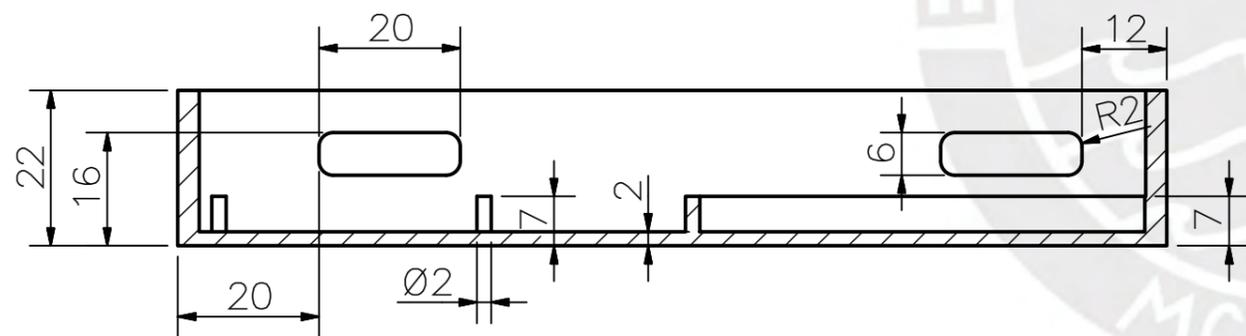
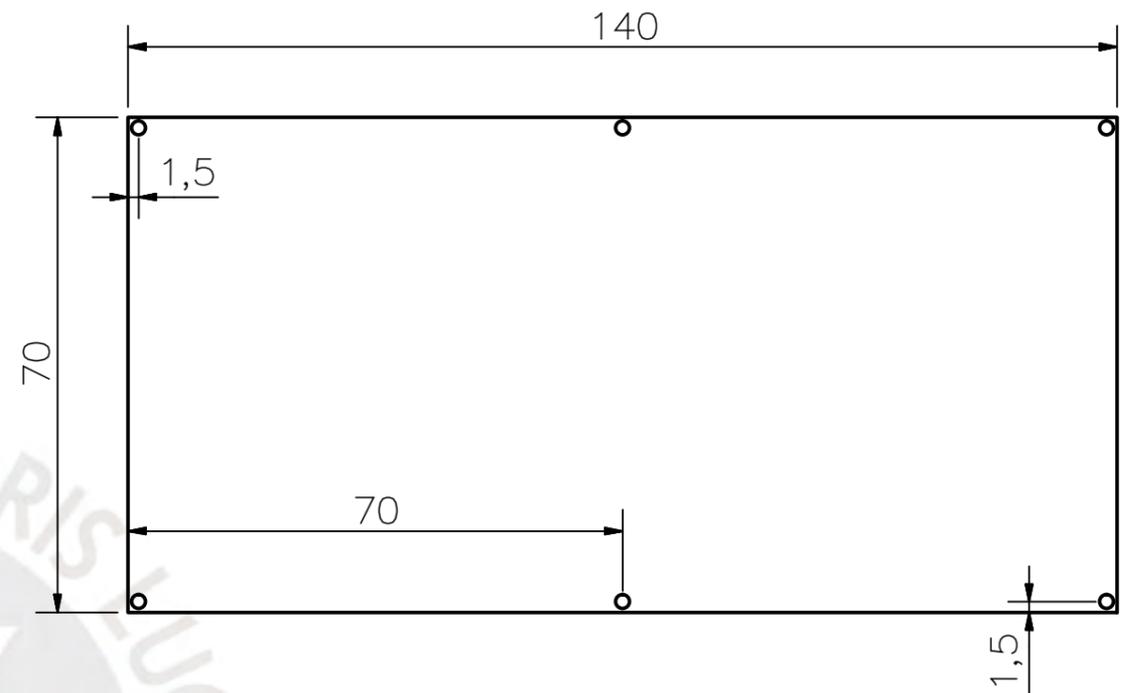
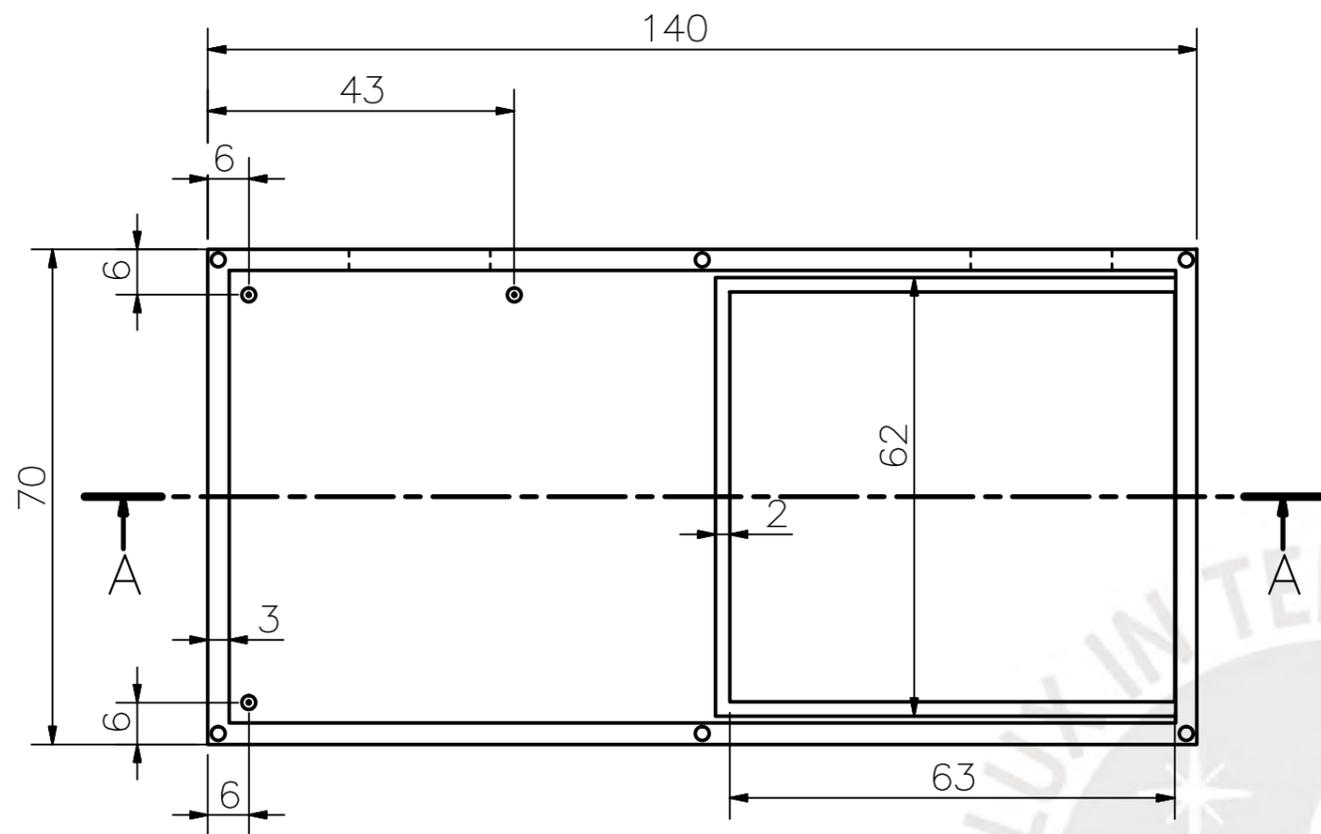
Redondeos no mostrados de 5mm.

ACABADO SUPERFICIAL 5/√	TOLERANCIA GENERAL ±1	MATERIAL MADERA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA ÓRTESIS ACTIVA DE MANO PARA EL REMADO DE CANOAS POLINESIAS	ESCALA 1:5
	SOPORTE DEL REMO	FECHA: 2020.08.26
20120402	TOSO CHINI, FRANCESCO	PLANO: A3 – PD04



Nota: Los 4 agujeros deberan ser realizados por una broca de 1mm a una profundidad de entre 4mm y 6mm para facilitar el paso de los tornillos autorroscantes

ACABADO SUPERFICIAL 0.8	TOLERANCIA GENERAL ±0.2	MATERIAL MADERA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	DISEÑO DE UNA ÓRTESIS ACTIVA DE MANO PARA EL REMADO DE CANOAS POLINESIAS REMO	ESCALA 1:5
20120402	TOSO CHINI, FRANCESCO	FECHA: 2020.08.26
		PLANO: A3 – PD05



Seccion A-A
Escala 1:1

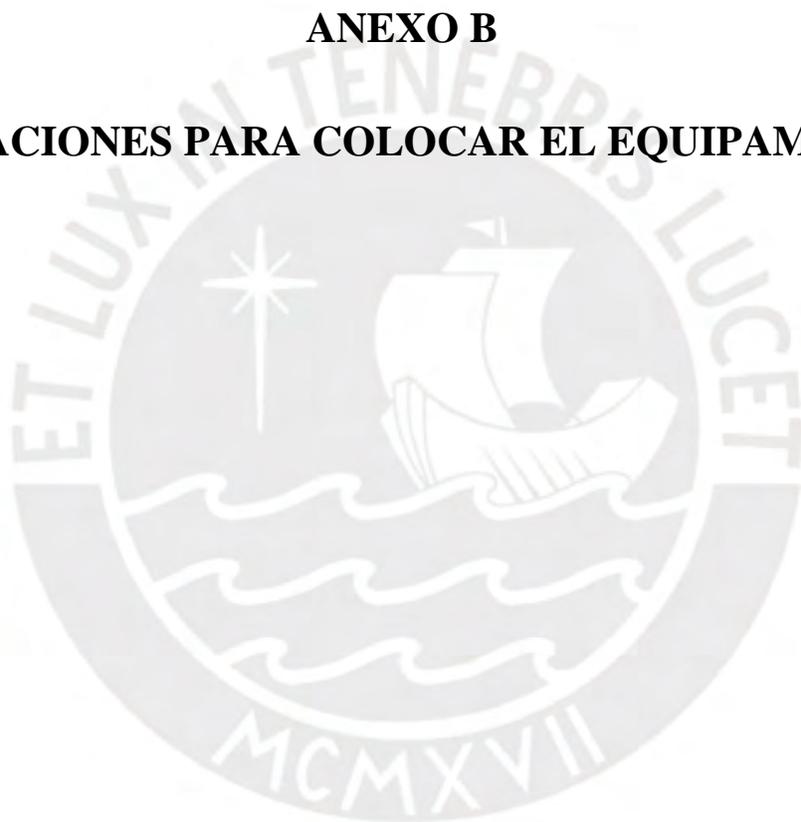
NOMBRE: TAPA CARCASA DE COMPONENTES
 POSICIÓN: 35
 CANTIDAD: 1
 ESCALA: 1:1
 MATERIAL: PLA
 ESPESOR: 2mm
 TOLERANCIA GENERAL: ± 0.2
 ACABADO SUPERFICIAL: $\sqrt{5}$
 AGUJEROS NO ACOTADOS: $\varnothing 2$ mm PASANTES

NOMBRE: BASE CARCASA DE COMPONENTES
 POSICIÓN: 33
 CANTIDAD: 1
 ESCALA: 1:1
 MATERIAL: PLA
 TOLERANCIA GENERAL: ± 0.2
 ACABADO SUPERFICIAL: $\sqrt{5}$
 AGUJEROS NO ACOTADOS: $\varnothing 2$ mm x 10mm

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	DISEÑO DE UNA ÓRTESIS ACTIVA DE MANO PARA EL REMADO DE CANOAS POLINESIAS BASE Y TAPA DE CARCASA DE COMPONENTES	ESCALA 1:1
		FECHA: 2020.08.26
20120402	TOSO CHINI, FRANCESCO	PLANO: A3 – PD06

ANEXO B

INDICACIONES PARA COLOCAR EL EQUIPAMIENTO



A continuación, se establecerán algunas indicaciones complementarias al plano de Ensamble General (20120402 – PE01) que indicarán cómo realizar el ensamblaje e instalación del equipamiento. Antes de iniciar, el atleta ya deberá vestir el wetsuit o traje de neopreno y los guantes del mismo material.

1. Colocar ambas órtesis y ajustarlas a sus manos con las tiras de velcro.
2. Tomar los cables de conexión de las órtesis e introducirlos a través de las mangas del traje de neopreno para evitar jalones o roturas durante el movimiento de los brazos.
3. Colocar el chaleco salvavidas por encima de la cabeza sin ajustar las cintas laterales.
4. Colocar ambos cables de las órtesis a las entradas correspondientes en las bolsas herméticas que se encuentran dentro del chaleco salvavidas.
5. Colocar el soporte del remo dentro de la canoa y sujetarlo con la cinta de velcro. Conectar el cable del pulsador hermético a la entrada correspondiente en la bolsa hermética dentro del chaleco.
6. Asegurar el cable del pulsador hermético al soporte mediante grapas de madera para ordenar su recorrido (observar detalle B del plano).
7. Encender el sistema y cerrar el bolsillo del chaleco salvavidas. Ajustar las cintas laterales del chaleco a comodidad del atleta.
8. Colocar el remo ya ensamblado con los injertos en el soporte para que el usuario pueda tomarlo.

Realizar pruebas con las funciones del sistema para verificar su correcto funcionamiento antes que el atleta ingrese al agua.

ANEXO C
COTIZACIONES



C.1. Cotización Pololu

Esta cotización incluye costo y envío del regulador de voltaje D24V3F5.

Pololu
Robotics & Electronics

Shopping Cart

Product	Quantity	Price	Total Price
#2098 Pololu 5V, 300mA Step-Down Voltage Regulator D24V3F5	1	\$3.95	\$3.95
Subtotal			\$3.95

Add \$56.05 of active Pololu items or any free shipping item to qualify for free shipping in the USA.

Update cart

Check out

Estimate shipping...

For shipping the 1 item in your cart to a residential Peru address, postal code L18:

Shipping service	Price (USD)
USPS First-Class International	18.95
FedEx International Priority	36.95
FedEx International Economy	39.95
USPS Priority Mail International	46.95
USPS Priority Mail Express International	58.95

Update your shipping information for a new estimate:

Country: Peru
Zip/Postal code: L18

C.2. Cotización Banggood

Esta cotización incluye el costo y envío de la luz led resistente al agua que indica batería baja.

Shipment Details

Warehouse/Direct mail: CN_HZ (1 Items)	Price	Quantity	Total
 12V 19mm Waterproof LED Panel Dash W... Color: Red	US\$2.99	1	US\$2.99
Your preferred shipping method: Standard Shipping (US\$0.18 & 7-35 business days)			US\$1.48
Tracking number: US\$1.30			
Add Shipping Insurance to your order: US\$0.06			US\$0.06
Total:			US\$4.53

C.3. Cotización de Aliexpress

Esta cotización incluye costo y envío de los siguientes componentes; botón para el soporte del remo, BMS, medidor de batería a prueba de agua, cuatro baterías de LiPo 1200mAh con cargador de pared y rack para cuatro baterías.

shoppingcart.aliexpress.com

Inicio7 TLS PUCP Apple Google Maps YouTube Wikipedia Apple Bing Google Yahoo

12V 18mm Water... Tracking: UPS Waterproof Push... Core Tools CT12... Pololu - Shoppin... Electrotec - Elect... Wholesale

Seller: Goldseller Market Store

Product Name & Details

 1Pc 12V Waterproof Push-Button On-Off Switch With 4 " Leads Motorcycle Car Boat On Sale #G205M# Best Quality piece * US \$1.12 China Post Ordinary Small Packet Plus

US \$1.75
Delivery Time: 55-60 days

Leave a message for this seller:

You can leave a message for the seller.

Max. 1,000 English characters or Arabic numerals only. No HTML codes.

Subtotal: US \$1.12
Shipping: US \$1.75
Total: **US \$2.87**

Seller: FYD Open Source Hardware

Product Name & Details

 1pcs 4S 4A 6A 14.8V 16.8V Li-ion Lithium Battery Charger PCB BMS Protection Board with automatic recovery Size: 48*15*3MM piece * US \$1.89 China Post Ordinary Small Packet Plus

Free shipping
Delivery Time: 55-60 days

Leave a message for this seller:

You can leave a message for the seller.

Max. 1,000 English characters or Arabic numerals only. No HTML codes.

Subtotal: US \$1.89
Shipping: US \$0.00
Total: **US \$1.89**

Seller: EVA LIN Electronics Store

Product Name & Details

 WS16 Digital Waterproof Practical 12V 24V Lead Acid Lithium LiPo Battery LCD Meter Indicator Batteries Capacity Tester Voltmeter piece * US \$4.64 China Post Registered Air Mail

US \$2.35
Delivery Time: 45-60 days

Leave a message for this seller:

You can leave a message for the seller.

Max. 1,000 English characters or Arabic numerals only. No HTML codes.

Subtotal: US \$4.64
Shipping: US \$2.35
Total: **US \$6.99**

Seller: Shenzhen 3C Store
Product Name & Details



3.7V-14.8V Plastic 18650 Battery Holder Power Bank DIY Battery Case Cover 18650 Power Bank Box

1 piece × US \$1.33

China Post Ordinary Small Packet Plus

Free shipping
Delivery Time: 55-60 days

Leave a message for this seller:

You can leave a message for the seller.

Max. 1,000 English characters or Arabic numerals only. No HTML codes.

Subtotal:	US \$1.33
Shipping:	US \$0.00
Total:	US \$1.33

Seller: Battery Charger Store
Product Name & Details



GTF 4pcs 18650 3.7V 12000mAh Rechargeable Li-ion Battery +EU Plug Charger

1 piece × US \$10.56

Nominal Voltage: 3.7V
Color: White

Seller's Shipping Method

US \$4.20
Delivery Time: 49-60 days

Leave a message for this seller:

You can leave a message for the seller.

Max. 1,000 English characters or Arabic numerals only. No HTML codes.

Subtotal:	US \$10.56
Shipping:	US \$4.20
Total:	US \$14.76

3. Payment method

Use a new card 

Card number

Expiry date Security code

MM / YY

Security code

Cardholder name

First name

Last name

Save this card
You can remove this card at anytime in My AliPay

Done

Cancel

[Return to Shopping Cart](#)

Apply AliExpress Coupon: You don't have any coupons - US \$0.00

 **Buyer Protection**

Full Refund if you don't receive your order

Full or Partial Refund, if the item is not as described

[Learn More](#) ▶

All Total: US \$27.84

Confirm & Pay

C.4. Cotización de TiendaMIA

TiendaMIA es una empresa peruana con oficinas en Lima y Miami, esta empresa se encarga de comprar e importar al país los objetos que se deseen. Esta cotización incluye el costo y envío del spray NeverWet, Velcro de 50mm de ancho con adhesivo y Velcro de 20mm de ancho para coser.

TiendaMIA
De USA, sin sorpresas.

Encuentra aquí + de 1000 millones de productos

Mi carrito de compras • Haz click en "Finalizar compra" para ingresar tus datos.

Producto	Cantidad	Eliminar	Valor Unitario	Valor Total
RUST-OLEUM NEVERWET MULTI-PURPOSE SPRAY KIT Peso: 0.485 kg Tiempo de entrega: 20-25 días hábiles, para toda la orden	1		S/. 63	S/. 63
50mm Velcro Stick On Hook & Loop Tape 50cm Black - per pack Peso: 0.485 kg Tiempo de entrega: 20-25 días hábiles, para toda la orden	1		S/. 50	S/. 50
Velcro VEL-EC60299 20mm x 1m Brand Sew on Tape - Black Peso: 0.295 kg Tiempo de entrega: 20-25 días hábiles, para toda la orden	1		S/. 21	S/. 21

Si tienes un cupón de descuento, ingresa el código aquí: Aplicar cupón

Envío a Miami: Gratis
Subtotal en USA: S/. 134
 Tarifa de Procesamiento: S/. 13
 Envío a Peru (1,265 kg): S/. 91
Subtotal: S/. 238

Finalizar compra

C.5. Cotización APW Company

Dicha cotización incluye el costo y envío de los dos electroimanes permanentes $\varnothing 32$ mm.

APW COMPANY
ELECTROMAGNETS, DRIVER CIRCUITS
Toll Free US: 877.827.0644 or 973.827.0643

Electromagnets
Permanent Electromagnets
Driver Circuits
Standard & Custom Coils
& Accessories

Sign in Register

Checkout

Shipping / Payment info

1 Shipping address

First name: Francisco
 Last name: Toso
 Company:
 Address: 1000 Example Street

2 Billing address

The same as shipping

3 Delivery methods

UPS Worldwide ExpeditedSM \$151.71
 U.S.P.S. Priority Mail International® Small Flat Rate Box \$30.95
 U.S.P.S. Priority Mail® International \$41.50
 U.S.P.S. Priority Mail® International Medium Flat Rate Box \$66.95

2 items in cart \$92.40
 Shipping cost: \$30.95
Total: \$123.35

Customer note:

PLACE ORDER: \$123.35

C.6. Cotización ElectroTec Perú

Esta cotización incluye el costo y envío del Arduino Nano V.3., sensor de humedad DHT11 y los diodos led para las órtesis.

PRODUCTO	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL	ELIMINAR
 Arduino NANO 3.0	S/. 25	1	S/. 25	X
 Sensor de humedad y temperatura DHT11	S/. 12	1	S/. 12	X
 DOCENA DE Led ultrabrillante 5mm	S/. 3.5	1	S/. 3.5	X
Envío a Lima	S/. 7.00	1	S/. 7.00	
			SUMA TOTAL: S/. 47.50	

C.7. Cotización Maestro

Incluye el costo de la madera y fibra de vidrio para la fabricación del soporte del remo, el cual se ha considerado como fabricación propia, por lo que solo se considera el costo de los materiales.



**Tabla madera pino radiata
1"x6" "x10.5' "**

Made Pino Radiata 1x6x10.5

Ver precio y stock por Tienda:
Lima Surquillo

S/ 18.00

SKU: 1437011
Stock: 565

Precios y stock actualizados el 14/11/2017 7:15am
Precios referenciales y sujetos a variaciones.
Stock sujeto a disponibilidad de cada tienda. Consultar precio y stock en tienda.
Imágenes referenciales, los productos no incluyen accesorios excepto lo indicado en la descripción del producto.



**Cinta Fibra De Vidrio
50mmx90m**

Ver precio y stock por Tienda:
Lima Callao

S/ 11.90

sku: 1359282
Stock: 48

Precios y stock actualizados el 12/11/2017 7:15am
Precios referenciales y sujetos a variaciones.
Stock sujeto a disponibilidad de cada tienda. Consultar precio y stock en tienda.
Imágenes referenciales, los productos no incluyen accesorios excepto lo indicado en la descripción del producto.

C.8. Cotización Sala Veo PUCP

Esta cotización incluye el costo de producción de una de las bases de la órtesis en plástico ABS mediante impresión 3D.

El 10 nov. 2017, a las 6:28 p. m., Sala de Manufactura Digital-VEO 3D <veo3d@pucp.pe> escribió:

Estimado Francesco,

Reciba un cordial saludo, el motivo de la presente es para informarle que el costo por el servicio de impresión 3D de la pieza enviada sería de: **S/. 98.20 nuevo soles.**

Quedo atento a su confirmación para proceder con la programación del servicio solicitado.

Cordialmente,

Alexis Aliaga Rojas
Sala de Manufactura Digital VEO 3D
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Teléfono: (+511) 626 2000 anexo 3945

Facebook: [Sala VEO PUCP](#)
Instagram: [Sala VEO PUCP](#)



PUCP



VICERRECTORADO
ADMINISTRATIVO
SALA DE MANUFACTURA
DIGITAL VEO 3D

El 10 de noviembre de 2017, 9:16, FRANCESCO TOSO CHINI <ftoso@pucp.pe> escribió:
Buenos días,

Soy alumno de la especialidad de Ingeniería Mecatrónica de la universidad.

Quisiera recibir una cotización de impresión 3D en ABS para la pieza que he adjuntado.

Muchísimas gracias por su gestión y quedo a la espera de su respuesta,

Francesco Toso



Base_Ortesis_Derecha.
stl

C.9. Cotización JOBARECI

Dicha cotización incluye la fabricación de la tarjeta electrónica.

De: JOBARECI EIRL <jobareci@hotmail.com>
Asunto: Re: Cotización impresión de tarjeta
Fecha: 13 de noviembre de 2017, 8:44:52 a. m. PET
Para: FRANCESCO TOSO CHINI <ftoso@pucp.pe>

BUENOS DÍAS FRANCESCO , EL COSTO DE SU TARJETA ES DE 20.00 SOLES SI ES DE UNA CARA , YA QUE HAY UN PAR DE COMPONENTES EN LA CARA DE ARRIBA LE AGRADECERIA SI ACEPTA LA COTIZACION ME VUELVA A ENVIAR EL ARCHIVO , YA QUE SOLO TOMO COMO REFERENCIA EL PDF LA PUEDO TENER PARA MAÑANA A PARTIR DE LAS 4 PM , EL PAGO LO HACE AL RECOGERLA NUESTRO LOCAL , jr vista alegre mz a lt 2 los parrales surco

https://www.google.com.pe/search?q=JOBARECI&rlz=1C1AOHY_esPE771PE771&oq=JOBARECI&aqs=chrome.69l59.3771j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8

SALUDOS JOSE BAZAN

De: FRANCESCO TOSO CHINI <ftoso@pucp.pe>
Enviado: lunes, 13 de noviembre de 2017 12:01 a.m.
Para: jobareci@hotmail.com
Asunto: Cotización impresión de tarjeta

Buenas tardes,

Quisiera que por favor, me cotizaran el imprimir la tarjeta electrónica que adjunto a continuación.

Gracias por su gestión y quedo a la espera de su respuesta,

Francisco Toso

 Placa-electrónica.brd
 88 KB

 Placa-electrónica-board.pdf
 66 KB

C.10 Cotización MA&DI EIRL

Cotización que incluye los materiales y la fabricación de los accesorios del remo.

El 17 nov. 2017, a las 12:41 p. m., Miguel Angel Vargas Escudero <miguelvargas.madi@gmail.com> escribió:

okey cada planchas en acero inoxidable calidad 304 de 05mm de espesor sale cada una \$ 10.00 dólares
 Miguel Angel Vargas Escudero

Gerente General MA&DI EIRL
 email: miguelvargas.madi@gmail.com
 cel: 998582855
 fijo: 4778455

El día 16 de noviembre de 2017, 22:04, FRANCESCO TOSO CHINI <ftoso@pucp.pe> escribió:

Buenas noches,

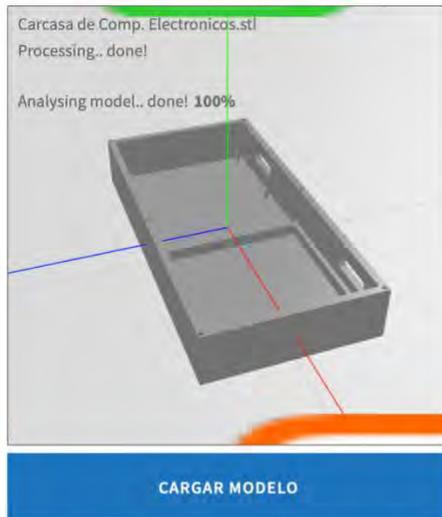
Quisiera me proporcionen una cotización para realizar el trabajo en chapa de acero inoxidable que se puede apreciar en el plano que adjunto. Por favor cotizar el material a utilizar y el trabajo a realizar.

Gracias por su gestión y quedo a la espera de su respuesta,

Francisco Toso

C.11 Cotización 3DPrint Perú

Esta cotización incluye los costos de fabricación y material de la base y tapa de la carcasa de componentes electrónicos y de control.



Unidad de archivo: mm pulgada
Escala: 1000 %
L x W x H: X: 14.00 Y: 7.00 Z: 2.20 cm

Servicio de impresión 3D

Material

Impresora

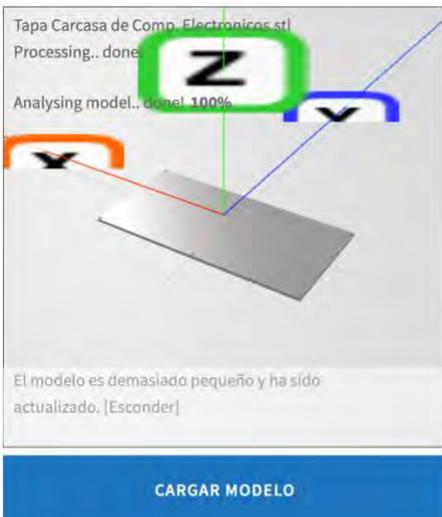
Finalize

Quando estás conforme con tu modelo, pulsa en el botón «Añadir al carrito», cuando hayas acabado de subir tus modelos, pulsa «Carrito» en el menú y finaliza el pedido, haz el pago online y recibe el producto en tu domicilio en 48H + tiempo de transporte

S/123.71

1 Añadir al carrito

BACK



Unidad de archivo: mm pulgada
Escala: 2999 %
L x W x H: X: 14.12 Y: 7.06 Z: 0.202 cm

Servicio de impresión 3D

Material

Impresora

Finalize

Quando estás conforme con tu modelo, pulsa en el botón «Añadir al carrito», cuando hayas acabado de subir tus modelos, pulsa «Carrito» en el menú y finaliza el pedido, haz el pago online y recibe el producto en tu domicilio en 48H + tiempo de transporte

S/48.14

1 Añadir al carrito

BACK

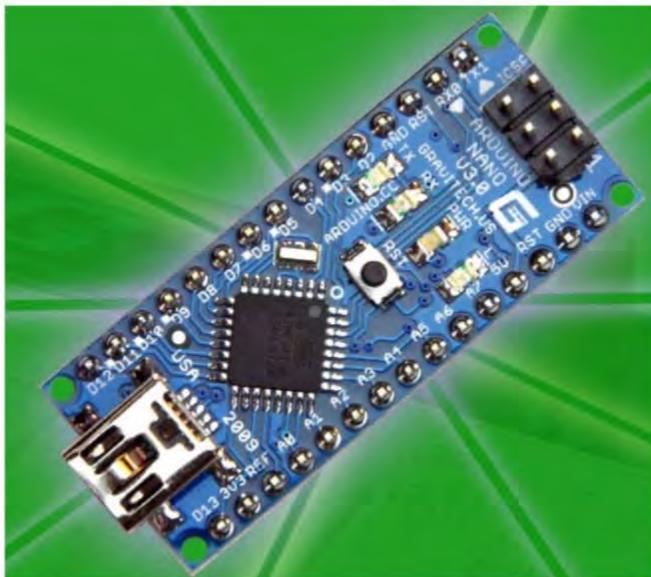
ANEXO D

HOJAS DE DATOS DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS



Arduino Nano (V3.0)

User Manual



Released under the Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5 License

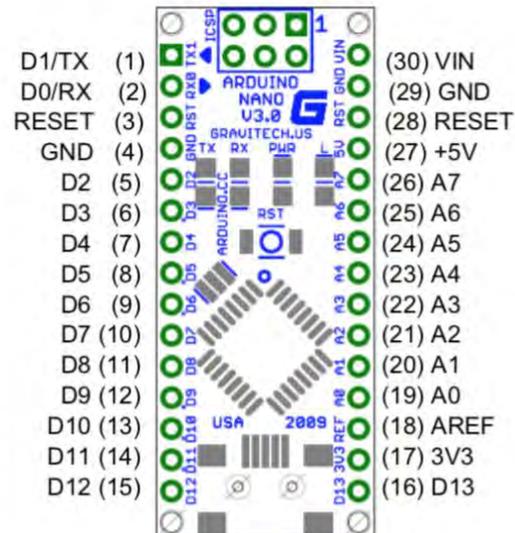
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/>

More information:

www.arduino.cc

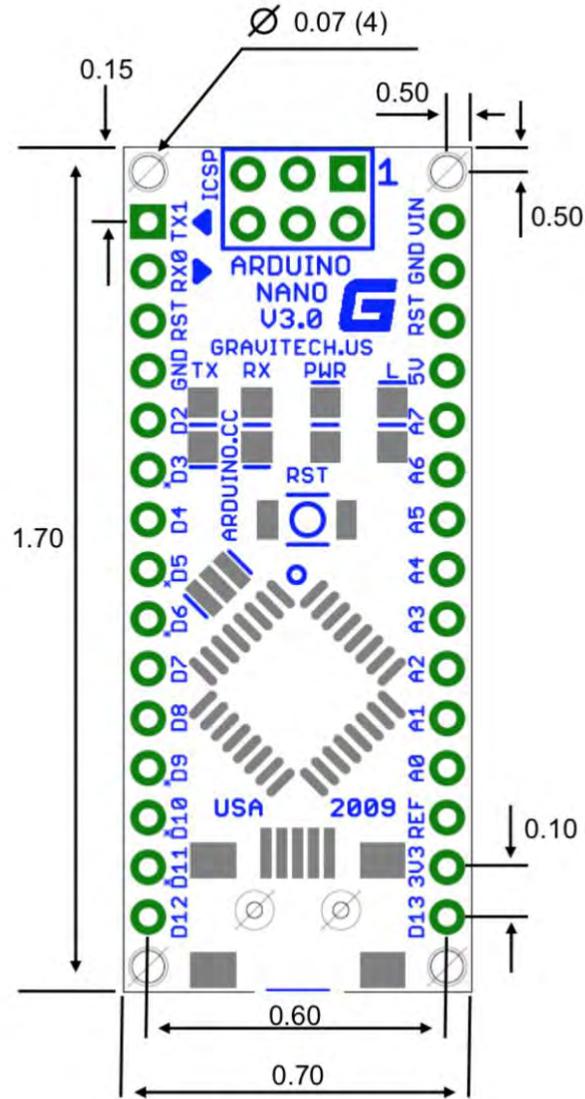
Rev 3.0

Arduino Nano Pin Layout



Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A0-A7	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

Arduino Nano Mechanical Drawing



Battery BMS Protection PCB Board For 3-4 Pack 18650 Li-ion Lithium Battery Cell

Description:

3 series lithium battery protection board high current 11.1V 12.6V 14.8V 16.8V 4A operating current

Function:

over charge protection, over-discharge protection, short circuit protection, overcurrent protection.

Single discharge Minimum protection voltage: 2.30V

Single discharge Maximum protection voltage: 4.35V

Protection board continuous operating current: 2.5A

Protection board overcurrent protection current: 9.0A

Protection board Short-circuit current: 10.0A

3-4 lithium battery protection board, using 1414 management integrated circuits, just need to change the wiring then can be used on 4-connected lithium battery.

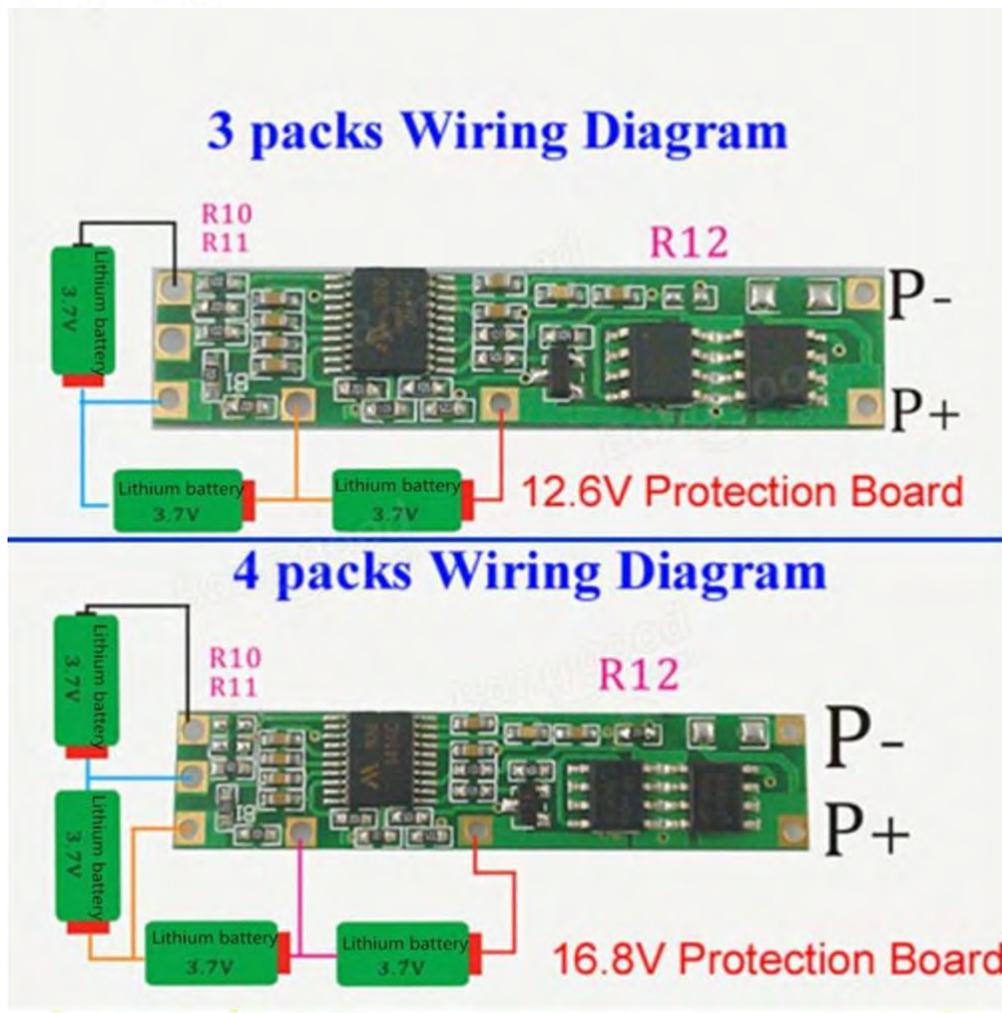
Battery charger selection tips:

3 series Optional charger is 12.6V / 2A (2A current within available)

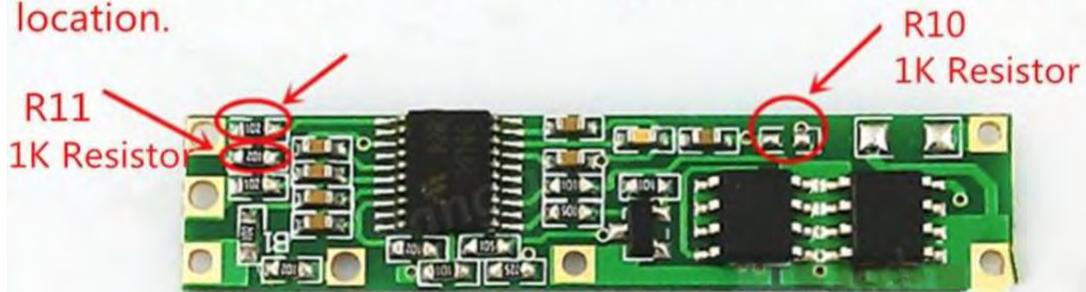
4 string Optional charger is 16.8V / 2A (2A current within available)

Package included:

1 x Battery BMS Protection PCB Board



Protection board default shipping is 3 series circuit board.
If you need 4 series circuit board, please rechange a resistor location.



3 series circuit board

Change 4 series circuit board method:

Change 4 series circuit board method

The 1K resistor of R10 welding to R12 position

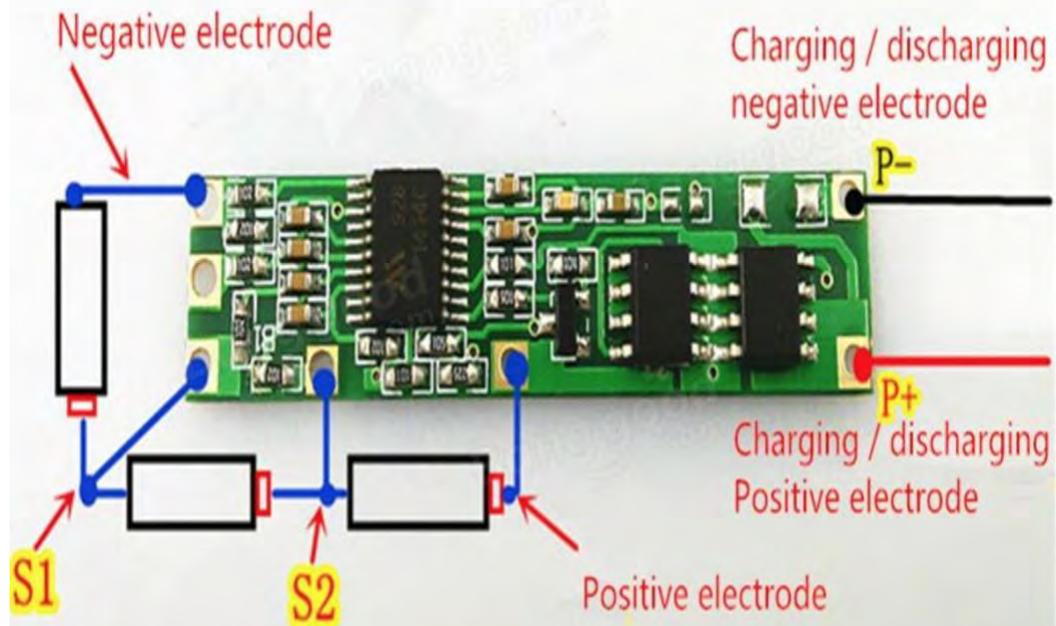
Removed R11 of 1K Resistor, can change the 4 series protection board



4 series circuit board

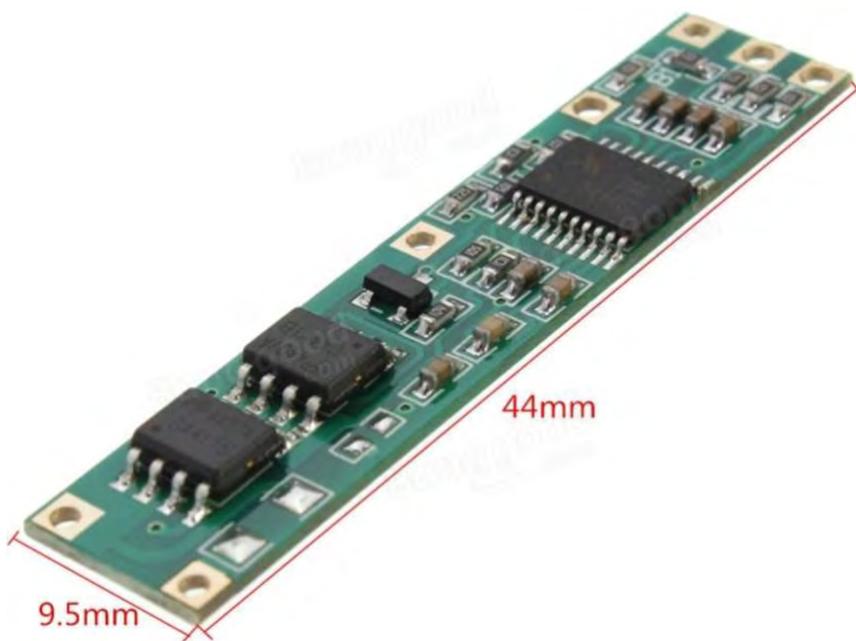
MCMXVII

3 series lithium battery protection board welding Figure:

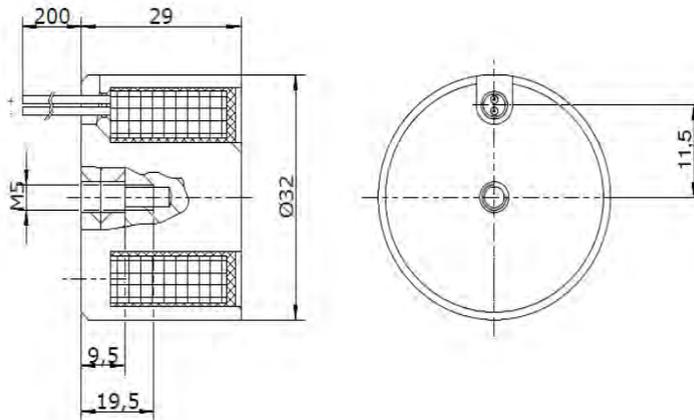


The battery pack Welding sequence:

First welding, negative electrode -S1-S2, Positive electrode final welding



Permanent electromagnet Ø32 (EML32mm)



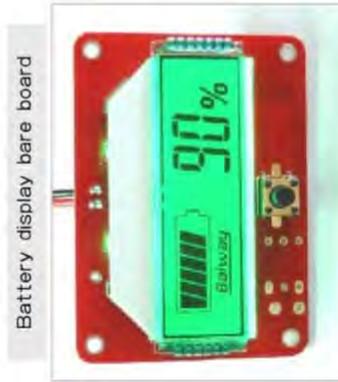
Weight	135g (.297 lbs)	
Power	7.5W	
Permanent holding	180N (40 lbs)	
Duty cycles	10%	
Voltage	Item EML32mm-12	12VDC
	Item EML32mm-24	24VDC

Options to customized design

- *Different voltages / duty cycles*
- *Magnetic stainless steel housing*
- *Stainless steel protection plate*
- *Tailor made cable and connectors*

I. Overview:

The LY5 is a universal residual capacity display module for the rechargeable battery, suitable for rapid battery capacity detection of the lithium battery, lead-acid battery on various instruments, measuring equipment, mobile equipment, cleaning machine, the balance car, the battery car and so on. The battery symbol displays intuitively and the percent accurately displays. A high contrast LCD screen is used and can display for a long time in the dark or bright light. The size is fully compatible with LYLCD.



Battery display bare board



The look with the panel

II. Function features:

- ★ can set the battery specifications and functions;
- ★ can set the automatic turn-off backlight;
- ★ can choose the sleep function with the ultra low power consumption;
- ★ automatically turn on the backlight when the voltage changes;
- ★ press the key to activate display;
- ★ the input voltage range is wide;
- ★ buzzer alarm function (optional function, default no);
- ★ turn off the output signal when undervoltage(optional function, default no);

Note: This product has been set as the default battery specification in factory: lead 12V or lithium 3 strings 12V, please indicate the battery specifications before ordering. The user can modify it to other specifications, please see overleaf advanced settings. The default configuration has no the front keys, please indicate the height of the key if needed.

Special note: The lithium iron phosphate battery does not recommend to use this capacity display module, please use our company's TY5 or TF01N coulometer coulometer.

<http://item.taobao.com/item.htm?id=17349165707>

III. Applicable battery specifications (Table 1)

Support the battery of the following nominal voltage specifications:

Code	plumbic acid	Nominal voltage	Code	Nominal voltage	
Pb1	plumbic acid	12V	Pb3	plumbic acid	
Pb2	plumbic acid	24V	Pb4	plumbic acid	
Code	Lithium battery strings	Nominal voltage	Code	Lithium battery strings	Nominal voltage
Li2	2	7.2V/7.4V/8.4V	Li9	9	33V
Li3	3	10.8V/11.1V/12V	LiA	10	36V
Li4	4	14.4V/14.8V/15V	LiB	11	41V
Li5	5	18V/19V/20V	LiC	12	45V
Li6	6	21.6V/22V	LiD	13	48V
Li7	7	24V/25.2V	LiE	14	52V
Li8	8	29.6V/30V	LiF	15	56V

Note:

1. The numbers in the nominal voltage is the general name of the voltage by users, the same battery strings, may have different names.
2. The lithium battery is the general three elements or soft package/polymer lithium ion battery, not including phosphate (iron-lithium) battery.
3. "Code" means the the corresponding English character displayed on the LCD screen when selecting the specifications.

IV. Electrical parameter (Table 2)

Parameter	Min	Typ	Max	Unit
Working voltage range of 1 (conventional)	8.0	12.0	63.0	VDC
Working voltage range of 2 (low)	5.0	7.2	12.0	VDC
Working power consumption (the backlight is on and the LCD displays)	/	4.0	5.0	mA
Standby power consumption (the backlight is off and the LCD displays)	/	100	120	µA
Sleep power consumption (the backlight is off and the LCD doesn't display)	/	10	20	uA
Voltage accuracy		±1.0	±2.0	%
Backlight trigger voltage (F2 mode enable)		100	300	mV
Using ambient temperature range	10	25	+40	℃



V. Voltage parameters: (Table 3)

	12V plumbic acid	24V plumbic acid	36V plumbic acid	Lithium battery 3 strings	Lithium battery 4 strings	Lithium battery 7 strings	The LCD display contents	specification
	10.5V	21.0V	31.5V	10.2V	13.6V	23.8V	 0%	Low voltage
	10.9V	21.7V	32.6V	10.5V	14.0V	24.5V	 13%	13% remained
	11.2V	22.4V	33.6V	10.8V	14.4V	25.2V	 26%	26% remained
	11.6V	23.1V	34.7V	11.1V	14.8V	25.8V	 39%	39% remained
	11.9V	23.8V	35.7V	11.4V	15.2V	26.5V	 52%	52% remained
	12.3V	24.5V	36.8V	11.7V	15.6V	27.2V	 65%	65% remained
	12.6V	25.2V	37.8V	12.0V	15.9V	27.9V	 78%	78% remained
	13.0V	25.9V	38.9V	12.2V	16.3V	28.6V	 91%	91% remained
	13.2V	26.4V	39.6V	12.5V	16.6V	29.1V	 100%	full

- The input voltage parameters are the theoretical value, the actual product may have a bias, the absolute deviation maximum range: $\pm 2.0\%$, the relative deviation range between gears: 0.5% ;
- Customized special battery specifications is available for the large quantities of users , please provide the charging and discharging characteristic curves of battery or the correspondence table of the battery voltage and the percentage.

VI. Instructions for use:

- Solder the attached two-core cable (the red and black wires) to the positive and negative electrode of the battery, the red is connected to the positive end, and the black is connected to the negative; note: the connection shall not be reversed, the reverse voltage above 15V may burn the electricity board!
- The back of the electricity display module has a two-core socket, insert the white terminal of the two-core cable into the socket, pay attention to the socket direction; the electricity display module should work normally, the backlight keeps on. If it cannot display, you should immediately cut off the power and check to exclude the problem; if the electricity is always 0% or 100%, please confirm whether the specification of battery and the electricity display module match.
- The seven battery icons on the left of the electricity display module LCD screen represents the battery capacity from low to high; at the same time the percentage shows on the right;
- When the voltage is lower than the minimum value, the percentage is 0%, while the backlight off, enter the power-saving low consumption state;
- The buzzer alarm function, when the battery is less than 5%, the buzzer on the back of module will produce a beep in interval, and the lower the percentage is, the more pressing the sound is, the backlight turns off when the battery is less than 0% , the buzzer stops alarm. (this function is optional);
- The output turns off when undervoltage, when the battery >10%, it outputs signals, but when the battery is less than 0%, there's no output signal. The output signal should be connected to the electrical relay or other power devices to achieve power expansion. (this function is optional)
- To display the capacity accurately, read the data under the no-load state. If the charging and discharging current is large or the battery internal resistance is large, the residual capacity displayed by the electricity meter may be inconsistent with the actual capacity. If the electricity display module cannot correctly display, please use the TY5 or TF01N coulometer ([http://item.taobao.com/item.htm? Id=22831228556](http://item.taobao.com/item.htm?Id=22831228556)).
- Under the always being on conditions, there is some current power consumption, when the battery capacity is less than 30Ah, or the equipment has requirements for the turn-off power consumption current and the standby power consumption, it's not recommended to power the electricity display module for the long term, you can use the keys on this product to view function, e.g., to press the front key to display the electricity capacity, see F1/F2 function.
- When the nominal voltage is above 30V, if the electric display module is powered on for a long time, the back heat is a normal phenomenon. If an ignition or fire occurs while using, power it off and identify the cause of the problem.
- To prevent components on the PCB board from the equipment leakage damage , special attention is payed to the instrument or metal casing which is not exposed to any metal part of the PCB board, including the liquid crystal pin. In addition, the back of the electricity display module should not touch any metal parts in case of short circuit; try not to touch the PCB board element with bare hands.

VII. Advanced settings:**A. Press keys instructions**

1. The front key on the electricity module is the "OK" key, used for lighting backlight or waking up. Note the height of the key is different, if the panels has been installed, the key should be 2mm higher. The default configuration is without the switch.
2. The back of the electricity display module has two white keys, ↑Kup and ↓Kdn are used to select battery types.

B. Type selection:

1. First power off the electricity display module, press and hold the Kdn key on the back, then power on the electricity display module, release the Kdn key, the English sign: "Pbx" or "Lix" is shown on the right (Pbx stands for lead-acid, Li for the lithium battery, X for the battery string number), press the Kup or Kdn key to sequentially display the following types:

- Pb1: Pb12V lead-acid battery
- Pb2: Pb24V lead-acid battery
- Pb3: Pb36V lead-acid battery
- Pb4: Pb48V lead-acid battery
- Li2: 2 strings of lithium battery
- Li3: 3 strings of lithium battery
- Li4: 4 strings of lithium battery
- Li5: 5 strings of lithium battery
- Li6: 6 strings of lithium battery
- ...
- Li9: 9 strings of lithium battery
- LiA: 10 strings of lithium battery
- LiB: 11 strings of lithium battery
- LiC: 12 strings of lithium battery
- LiD: 13 strings of lithium battery
- LiE: 14 strings of lithium battery
- LiF: 15 strings of lithium battery

2. Power off the electricity module after finding the corresponding type, re-power it and it can function normally.

C. Function settings:

1. Use the pointed iron (20W) to connect the corresponding F1-F6 connection points in the function setting, you should operate in power-off condition, and make the adjusting effective after re-powering.
2. The back is not connected in the factory default, functions: the backlight keeping on, the percentage display, no sleep state, no self-inspection, no Logo.
3. The following is the connected F1-F6 points function: (See Pic3)

F1: the backlight delay turn-off function; enter the low-power state (100uA) after displaying 10 seconds, the LCD displays but the backlight turns off. Press the OK key and the backlight turns off again after 10 seconds' lighting. This mode needs the OK key.

F2: the backlight voltage trigger function; enter the low-power state (100uA) after displaying 10 seconds, the LCD displays but the backlight turns off. When the voltage changes, the backlight automatically lights on for 10 seconds, or press the OK key and the backlight turns off again after 10 seconds' lighting. This mode needs the OK key.

F3: sleep function; enter the ultra low-power state (~2uA) after displaying 10 seconds, the LCD and the backlight turns off. Press the OK key and the backlight turns off again after 10 seconds' lighting. This mode needs the OK key.

F4: power-on self-inspection; every time the electricity module is powered on, the LCD displays strokes for 2 seconds, and then displays the selected battery type for 1 second, finally displays the electricity capacity.

F5: voltage display; the current battery voltage is displayed only on the right, the battery symbol on the left is still in accordance with the selected type.

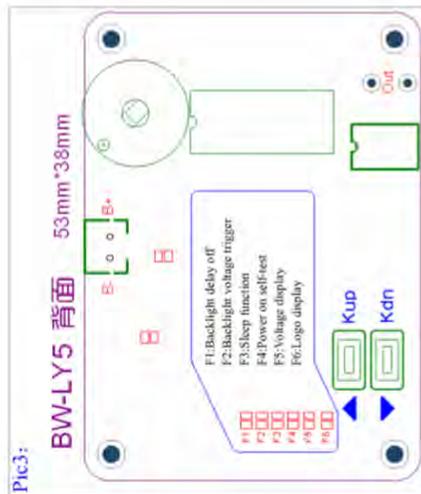
F6: the LCD shows the Logo on the lower left.

Note:

1. The F1-F3 functions need the front key, the default is without this key.
2. If there's no OK key on the front, the positive and negative electricity pole should be connected to the back of the equipment switch, it always works after you switch on the equipment;
3. If there's a OK key on the front, the positive and negative electricity poles should be directly connected to battery poles, then choose F1/F2 or F3 function on the back to realize the automatic backlight off function or auto sleep function.

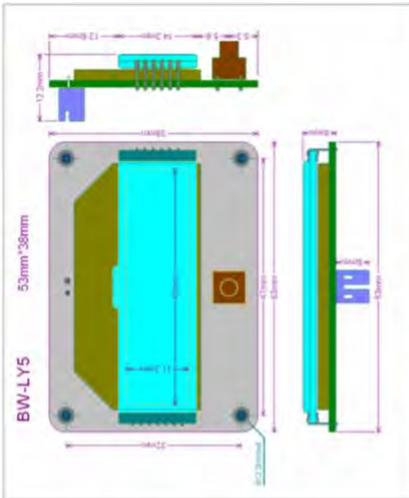
VIII. Notes:

1. The LCD screen surface has a protective cover, which should be torn off before being fixed, so as not to affect the LCD contrast and beauty;
2. The LCD screen surface is made of glass, which is fragile, so it shall not be subject to sharp shock!
3. The LCD screen is sensitive to ultraviolet light, so it can not be exposed in the sun for a long time or in the environment with large amounts of ultraviolet radiation (such as electric welding machine, argon arc welding), otherwise it will shorten the life of LCD.
4. The electricity display module can not be exposed in the sun for a long time or in the environment with large amounts of ultraviolet radiation when using or storing, particular in winter (-20℃) and summer (>60℃), otherwise it will shorten the life of LCD.
5. The LCD screen changes significantly with the environmental temperature, the contrast may reduce and the the display may be lighter at low temperature (<10℃), the display may be darker at high temperature (>50℃), but the display recovers itself at normal temperature.



IX. The size of the electricity board

1. The size of the PCB: (mm)
2. The height between the LCD and the PCB: 6.0mm
3. The front total thickness when the panel is not installed: 9mm
4. The total thickness when the panel is installed: 13mm

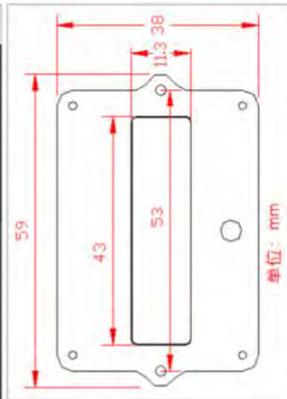


X. Optional: organic glass panel

1. This panel is optional, we provide the following parts for the client to install:
One panel
Four screws
Four copper cylinder
2. The panel bracket shape is on the right, the size is as the right bottom figure;



3. The intermediate part of 43*11.3mm is the protuberant transparent window, when it is installed on the panel of the equipment, cut out the opening according to this size, and expose the transparent display window.



4. The panel bracket is made of organic glass, both sides are covered with the protective paper cover, remove the transparent window and the black box of flat side of the protective cover, put the protuberant transparent surface of the middle of the panel bracket on the desktop; put the four screws (2.0mm) through the holes on the four sides of the electricity display module board, screw on the copper nut; (note that do not tighten);

5. Note that you should assemble the key first before the panel is installed if you need the front key.

6. Put the electricity board with the screws and the copper nuts tightened upside down on the panel bracket uncovered, align the screw holes with four angles, using a screwdriver to tighten the screws, if it is not tight, please turn the copper nut and tighten;

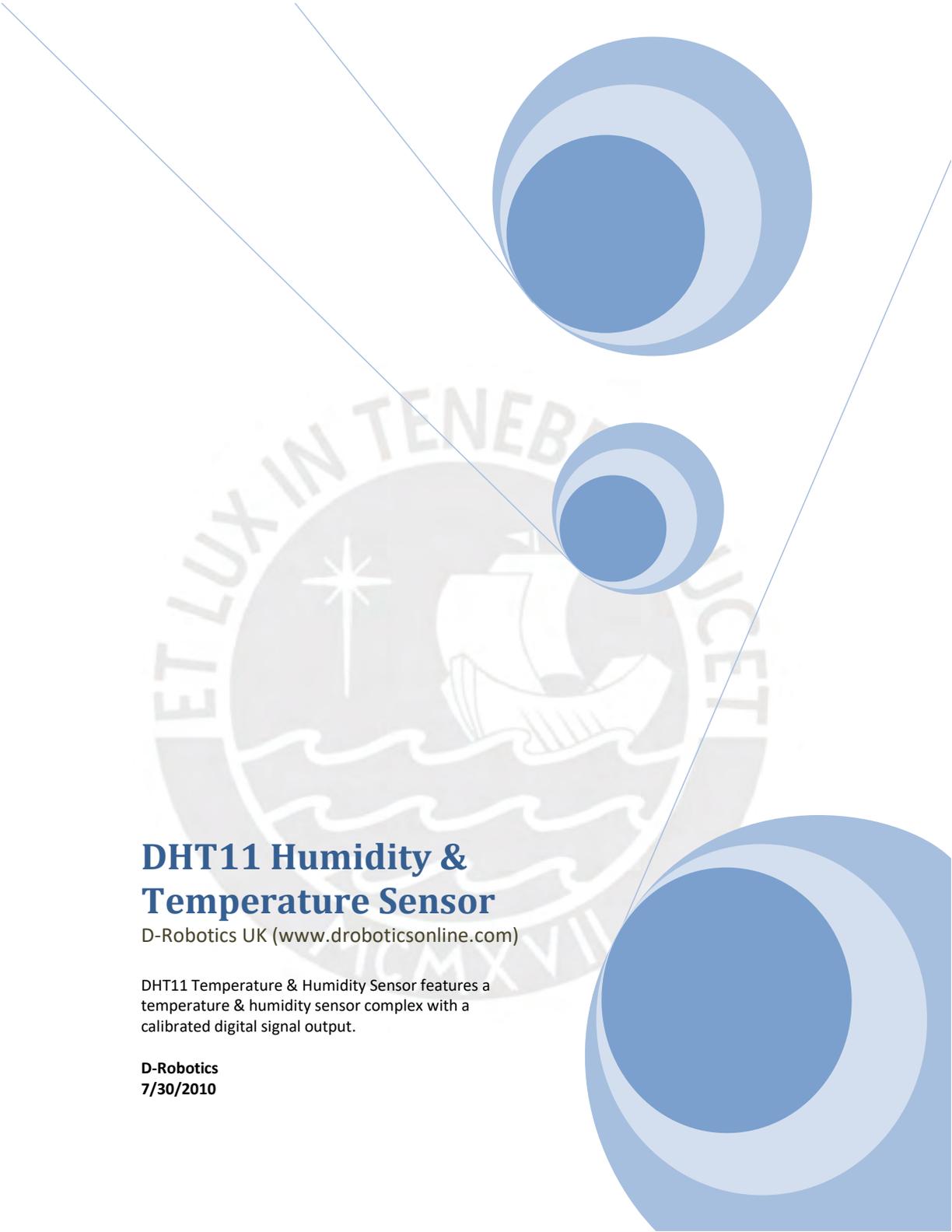
The look with a panel: (total thickness after installation: 13mm)

The height of the key is slightly higher than the panel, if it needs to protrude from the panel, select the suitable height keys.



XI. The fixing between the electricity panel and the equipment panel

1. The glue fixation: use the glue to fix the panel bracket and the equipment panel ;
2. The screw fixation: there are two 5.3mm spacings fixed holes on the panel bracket, the diameter is 2.2 mm, you can use the 2.5mm self-tapping screws to fix, and pay attention to the length of the screw; if you screw the 3mm screws, use the 2.4-2.7mm drill reaming before installation;



DHT11 Humidity & Temperature Sensor

D-Robotics UK (www.droboticsonline.com)

DHT11 Temperature & Humidity Sensor features a temperature & humidity sensor complex with a calibrated digital signal output.

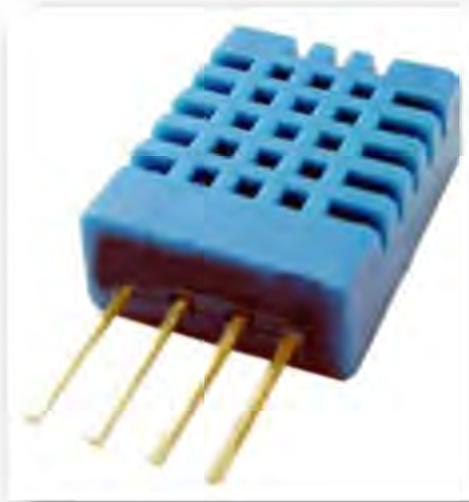
D-Robotics
7/30/2010

DHT 11 Humidity & Temperature Sensor



1. Introduction

This DFRobot DHT11 Temperature & Humidity Sensor features a temperature & humidity sensor complex with a calibrated digital signal output. By using the exclusive digital-signal-acquisition technique and temperature & humidity sensing technology, it ensures high reliability and excellent long-term stability. This sensor includes a resistive-type humidity measurement component and an NTC temperature measurement component, and connects to a high-performance 8-bit microcontroller, offering excellent quality, fast response, anti-interference ability and cost-effectiveness.



Each DHT11 element is strictly calibrated in the laboratory that is extremely accurate on humidity calibration. The calibration coefficients are stored as programmes in the OTP memory, which are used by the sensor's internal signal detecting process. The single-wire serial interface makes system integration quick and easy. Its small size, low power consumption and up-to-20 meter signal transmission making it the best choice for various applications, including those most demanding ones. The component is 4-pin single row pin package. It is convenient to connect and special packages can be provided according to users' request.

2. Technical Specifications:

Overview:

Item	Measurement Range	Humidity Accuracy	Temperature Accuracy	Resolution	Package
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	±5% RH	±2°C	1	4 Pin Single Row

Detailed Specifications:

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Humidity				
Resolution		1%RH	1%RH	1%RH
			8 Bit	
Repeatability			± 1%RH	
Accuracy	25°C		± 4%RH	
	0-50°C			± 5%RH
Interchangeability	Fully Interchangeable			
Measurement Range	0°C	30%RH		90%RH
	25°C	20%RH		90%RH
	50°C	20%RH		80%RH
Response Time (Seconds)	1/e(63%)25°C , 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
Hysteresis			± 1%RH	
Long-Term Stability	Typical		± 1%RH/year	
Temperature				
Resolution		1°C	1°C	1°C
		8 Bit	8 Bit	8 Bit
Repeatability			± 1°C	
Accuracy		± 1°C		± 2°C
Measurement Range		0°C		50°C
Response Time (Seconds)	1/e(63%)	6 S		30 S

3. Typical Application (Figure 1)

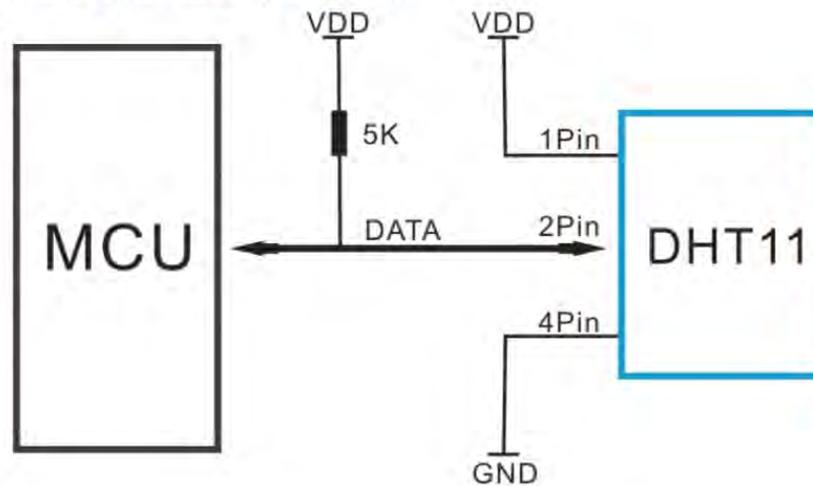


Figure 1 Typical Application

Note: 3Pin – Null; MCU = Micro-computer Unit or single chip Computer

When the connecting cable is shorter than 20 metres, a 5K pull-up resistor is recommended; when the connecting cable is longer than 20 metres, choose an appropriate pull-up resistor as needed.

4. Power and Pin

DHT11's power supply is 3-5.5V DC. When power is supplied to the sensor, do not send any instruction to the sensor within one second in order to pass the unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for power filtering.

5. Communication Process: Serial Interface (Single-Wire Two-Way)

Single-bus data format is used for communication and synchronization between MCU and DHT11 sensor. One communication process is about 4ms.

Data consists of decimal and integral parts. A complete data transmission is **40bit**, and the sensor sends **higher data bit** first.

Data format: 8bit integral RH data + 8bit decimal RH data + 8bit integral T data + 8bit decimal T data + 8bit check sum. If the data transmission is right, the check-sum should be the last 8bit of "8bit integral RH data + 8bit decimal RH data + 8bit integral T data + 8bit decimal T data".

5.1 Overall Communication Process (Figure 2, below)

When MCU sends a start signal, DHT11 changes from the low-power-consumption mode to the running-mode, waiting for MCU completing the start signal. Once it is completed, DHT11 sends a response signal of 40-bit data that include the relative humidity and temperature information to MCU. Users can choose to collect (read) some data. Without the start signal from MCU, DHT11 will not give the response signal to MCU. Once data is collected, DHT11 will change to the low-power-consumption mode until it receives a start signal from MCU again.

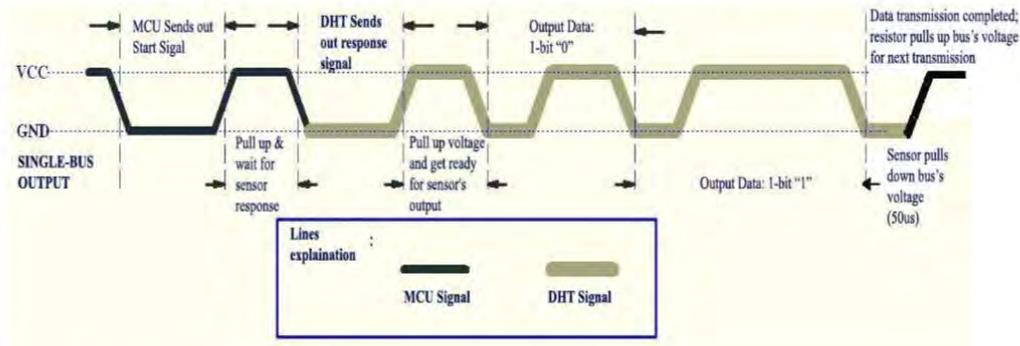


Figure 2 Overall Communication Process

5.2 MCU Sends out Start Signal to DHT (Figure 3, below)

Data Single-bus free status is at high voltage level. When the communication between MCU and DHT11 begins, the programme of MCU will set Data Single-bus voltage level from high to low and this process must take at least 18ms to ensure DHT's detection of MCU's signal, then MCU will pull up voltage and wait 20-40us for DHT's response.

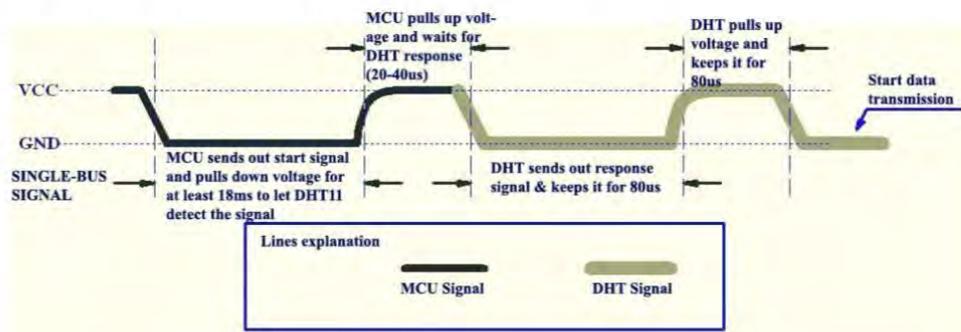


Figure 3 MCU Sends out Start Signal & DHT Responses

5.3 DHT Responses to MCU (Figure 3, above)

Once DHT detects the start signal, it will send out a low-voltage-level response signal, which lasts 80 μ s. Then the programme of DHT sets Data Single-bus voltage level from low to high and keeps it for 80 μ s for DHT's preparation for sending data.

When DATA Single-Bus is at the low voltage level, this means that DHT is sending the response signal. Once DHT sent out the response signal, it pulls up voltage and keeps it for 80 μ s and prepares for data transmission.

When DHT is sending data to MCU, every bit of data begins with the 50 μ s low-voltage-level and the length of the following high-voltage-level signal determines whether data bit is "0" or "1" (see Figures 4 and 5 below).

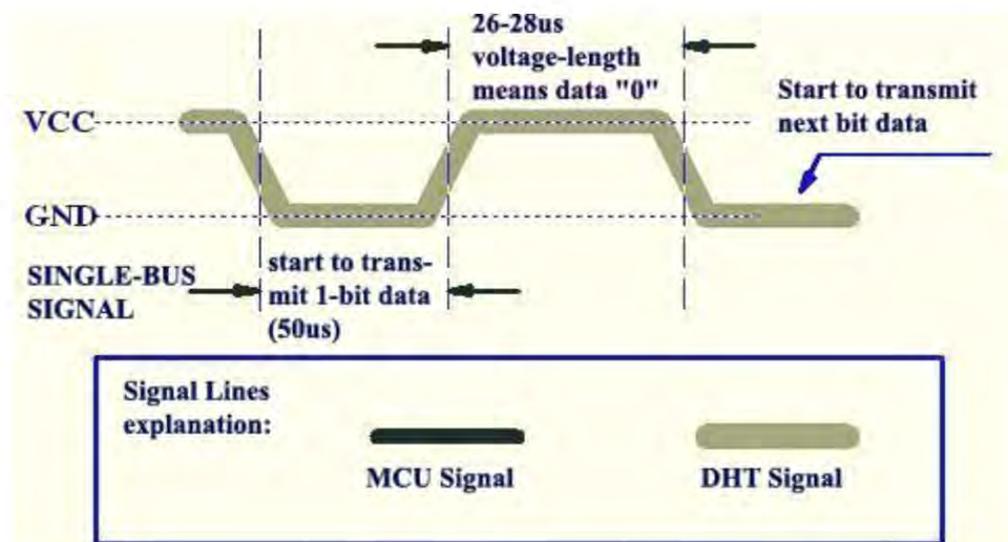


Figure 4 Data "0" Indication

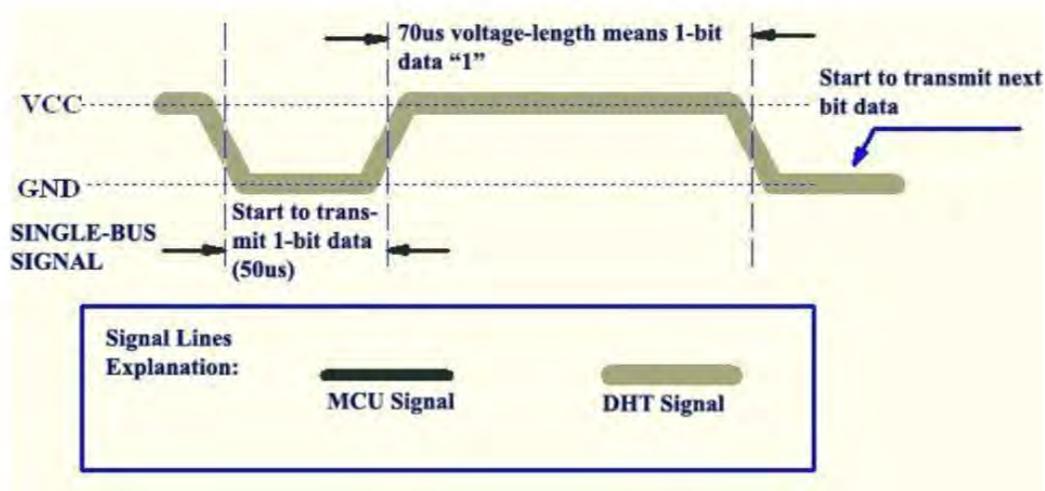


Figure 5 Data "1" Indication

If the response signal from DHT is always at high-voltage-level, it suggests that DHT is not responding properly and please check the connection. When the last bit data is transmitted, DHT11 pulls down the voltage level and keeps it for 50us. Then the Single-Bus voltage will be pulled up by the resistor to set it back to the free status.

6. Electrical Characteristics

VDD=5V, T = 25°C (unless otherwise stated)

	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Power Supply	DC	3V	5V	5.5V
Current Supply	Measuring	0.5mA		2.5mA
	Average	0.2mA		1mA
	Standby	100uA		150uA
Sampling period	Second	1		

Note: Sampling period at intervals should be no less than 1 second.

7. Attentions of application

(1) Operating conditions

Applying the DHT11 sensor beyond its working range stated in this datasheet can result in 3%RH signal shift/discrepancy. The DHT11 sensor can recover to the calibrated status gradually when it gets back to the normal operating condition and works within its range. Please refer to (3) of

this section to accelerate its recovery. Please be aware that operating the DHT11 sensor in the non-normal working conditions will accelerate sensor's aging process.

(2) Attention to chemical materials

Vapor from chemical materials may interfere with DHT's sensitive-elements and debase its sensitivity. A high degree of chemical contamination can permanently damage the sensor.

(3) Restoration process when (1) & (2) happen

Step one: Keep the DHT sensor at the condition of Temperature 50~60Celsius, humidity <10%RH for 2 hours;

Step two:K keep the DHT sensor at the condition of Temperature 20~30Celsius, humidity >70%RH for 5 hours.

(4) Temperature Affect

Relative humidity largely depends on temperature. Although temperature compensation technology is used to ensure accurate measurement of RH, it is still strongly advised to keep the humidity and temperature sensors working under the same temperature. DHT11 should be mounted at the place as far as possible from parts that may generate heat.

(5) Light Affect

Long time exposure to strong sunlight and ultraviolet may debase DHT's performance.

(6) Connection wires

The quality of connection wires will affect the quality and distance of communication and high quality shielding-wire is recommended.

(7) Other attentions

* Welding temperature should be bellow 260Celsius and contact should take less than 10 seconds.

* Avoid using the sensor under dew condition.

* Do not use this product in safety or emergency stop devices or any other occasion that failure of DHT11 may cause personal injury.

* Storage: Keep the sensor at temperature 10-40°C, humidity <60%RH.

Declaim:

This datasheet is a translated version of the manufacturer's datasheet. Although the due care has been taken during the translation, D-Robotics is not responsible for the accuracy of the information contained in this document. Copyright © D-Robotics.

D-Robotics: www.droboticsonline.com

Email contact: d_robotics@hotmail.co.uk