

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**Facultad de Ciencias e Ingeniería**



**PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**

**DISEÑO DE ACOPLÉ MECATRÓNICO PARA  
AUTOMATIZACIÓN DE SILLAS DE RUEDAS  
CONVENCIONALES**

Tesis para optar el Título de Ingeniera Mecatrónica, que presenta el bachiller:

**Kiara Jesenia Campos Verdi**

**ASESOR: MEng. Roberto Sumiyoshi Furukawa Fukuda**

Lima, noviembre del 2016



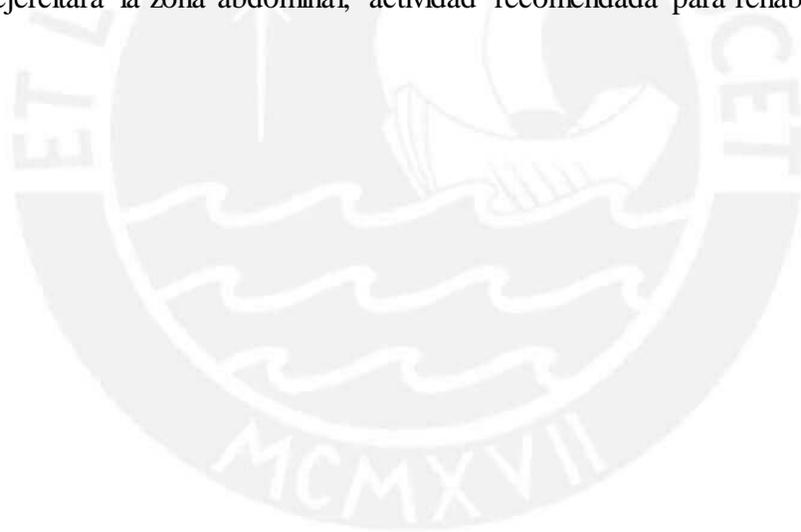
## RESUMEN

En la actualidad se estima que 73 millones de discapacitados necesitan el uso de una silla de ruedas. Además, el 80% de ellos viven en países de bajos recursos, por lo cual les es más difícil conseguir una silla de ruedas eléctrica cuyo precio en el mercado es de \$1000 en adelante, aproximadamente 12 veces el costo de una convencional.

A pesar de su precio económico, las sillas de ruedas manuales poseen desventajas de eficiencia de impulso aprovechado para el movimiento y sobre exige los músculos del pecho y hombro para lograr el movimiento.

Es por lo anterior que este trabajo tiene como objetivo el diseño de un acople mecatrónico para sillas de ruedas convencionales con el fin de automatizarlas. Además, contará con un mando adicional cuyo uso podrá ser alternado con el del joystick para tener una mayor libertad en las manos. De esta forma, el usuario podrá tener una silla de ruedas eléctrica a un costo menor lo cual es conveniente sobre todo en los sectores económicos B y C.

El mando adicional mencionado será una banda que sujetará el celular del usuario la cual se pondrá a la altura del abdomen del usuario. El celular enviará la inclinación que posee respecto a los ejes x, y, z por Bluetooth al microcontrolador la cual se traducirá en instrucciones para el movimiento de la silla de ruedas. Al controlarse de esa forma, el usuario ejercitará la zona abdominal, actividad recomendada para rehabilitación.



## INDICE DE CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN .....	i
INDICE DE TABLAS .....	v
INDICE DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE SÍMBOLOS .....	viii
INTRODUCCIÓN .....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
ESTADO DEL ARTE.....	4
2.1    Silla de ruedas estándar y sus partes.....	4
2.1.1    Elección de una silla de ruedas .....	4
2.1.2    Composición básica de una silla de ruedas estándar.....	4
2.2    Análisis del público objetivo .....	5
2.3    Productos comerciales .....	6
2.3.2    Handbike eléctrica lomo litio .....	6
2.3.3    Ogo .....	7
2.3.4    Kits de llantas con motores para sillas de ruedas .....	7
2.4    Investigaciones y proyectos relacionados .....	8
2.4.2    Silla de ruedas eléctrica controlada por ondas cerebrales .....	8
2.4.3    Hybri-Voz.....	9
2.4.4    Kit universal para sillas de ruedas manuales.....	10
2.5    Comparativa de los productos actuales .....	10
2.6    Recursos tecnológicos .....	12
2.6.2    Sensores en un Smartphone.....	12
2.6.3    SmartBands .....	13
2.6.4    Silla de ruedas controlada por MP4 .....	13
OBJETIVOS Y REQUERIMIENTOS.....	14
3.1    Objetivos.....	14
3.2    Requerimientos .....	14
3.2.1    Mecánicos.....	14
3.2.2    Eléctrico-electrónicos .....	15
3.2.3    Control.....	15

CONCEPTO .....	16
4.1 Estructura de funciones .....	16
4.2 Concepto de solución óptimo .....	17
4.3 Sistema mecatrónico .....	25
COMPONENTES .....	26
5.1 Microcontrolador .....	26
5.2 Joystick .....	27
5.3 Sensor ultrasónico .....	27
5.4 Módulo Bluetooth.....	28
5.5 Motor .....	29
5.6 Rueda.....	31
5.7 Controlador de Motor .....	32
5.8 Batería.....	33
5.9 Regulador de voltaje.....	34
5.10 Indicador de estado de la batería .....	34
PLANOS MECÁNICOS.....	36
6.1 Ensamble del acople .....	36
6.1.1 Ensamble superior .....	38
6.1.2 Estructura inferior .....	41
6.1.3 Ensamble inferior .....	42
6.1.3.1 Acople motor rueda.....	44
6.2 Ensamble del mando.....	45
6.2.1 Acople mando 1 .....	47
6.2.2 Acople mando 2 .....	48
6.2.3 Estructura del mando.....	49
6.2.4 Carcasa superior .....	50
6.2.5 Carcasa inferior .....	51
6.3 Ensamble soporte electrónico.....	53
6.3.1 Soporte electrónico.....	55
6.3.2 Soporte ultrasónico.....	57
ESQUEMÁTICOS .....	58
7.1 Conexiones del microcontrolador.....	58

7.2	Conexión de los LED's RGB .....	59
7.3	Conexión eléctrica .....	60
DIAGRAMAS DE FLUJO .....		62
8.1	Lógica de funcionamiento .....	62
8.2	Diagrama de flujo del sistema .....	62
8.3	Interrupción ante desnivel .....	64
8.4	Interrupción ante botón de parada .....	64
PRESUPUESTO .....		65
9.1	Componentes mecánicos .....	65
9.2	Componentes electrónicos .....	66
9.3	Costo de ingeniería .....	66
CONCLUSIONES .....		67
BIBLIOGRAFÍA.....		68

## ANEXOS

ANEXO 1: Reporte de visita a una clínica

ANEXO 2: Matriz morfológica

ANEXO 3: Conceptos de solución

ANEXO 4: Evaluación técnica y económica

ANEXO 5: Cálculo del motor y ruedas

ANEXO 6: Cálculo para la batería

ANEXO 7: Cálculo del tornillo de la barra telescópica

ANEXO 8: Cálculo de los tornillos del acople en contacto con la silla de ruedas

ANEXO 9: Comprobación de diámetro de la clavija

ANEXO 10: Simulaciones

ANEXO 11: Cotizaciones

ANEXO 12: Hojas de datos

ANEXO 13: Planos de despiece y ensamble

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de pisos de interiores usados en sectores socioeconómicos B y C .....	6
Tabla 2: Comparación de los distintos productos en función a la silla de ruedas .....	11
Tabla 3: Especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560 Rev 3 .....	26
Tabla 4: Especificaciones técnicas del HC-06 FC-114.....	28
Tabla 5: Especificaciones técnicas del ZYJ08 .....	30
Tabla 6: Especificaciones técnicas del Am-0970.....	31
Tabla 7: Especificaciones técnicas del SaberTooth 2x25 .....	33
Tabla 8: Especificaciones técnicas de Yuasa 52515 .....	33
Tabla 9: Especificaciones técnicas del Polou 7.5V 2.5A Step-Down.....	34
Tabla 10: Encendido de cada LED y color mostrado respecto al voltaje .....	35
Tabla 11: Especificaciones técnicas del RL-BI003.....	35
Tabla 12: Lista de componentes para el ensamble del acople.....	37
Tabla 13: Lista de componentes para el ensamble inferior .....	43
Tabla 14: Lista de componentes para el ensamble del mando .....	46
Tabla 15: Lista de componentes para el ensamble soporte electrónico .....	53
Tabla 16: Presupuesto de los componentes mecánicos para el ensamble del acople .....	65
Tabla 17: Presupuesto de los componentes mecánicos para el ensamble del mando .....	65
Tabla 18: Presupuesto de los componentes mecánicos para el ensamble del soporte para electrónica .....	66
Tabla 19: Presupuesto de los componentes electrónicos .....	66
Tabla 20: Costo de ingeniería.....	66

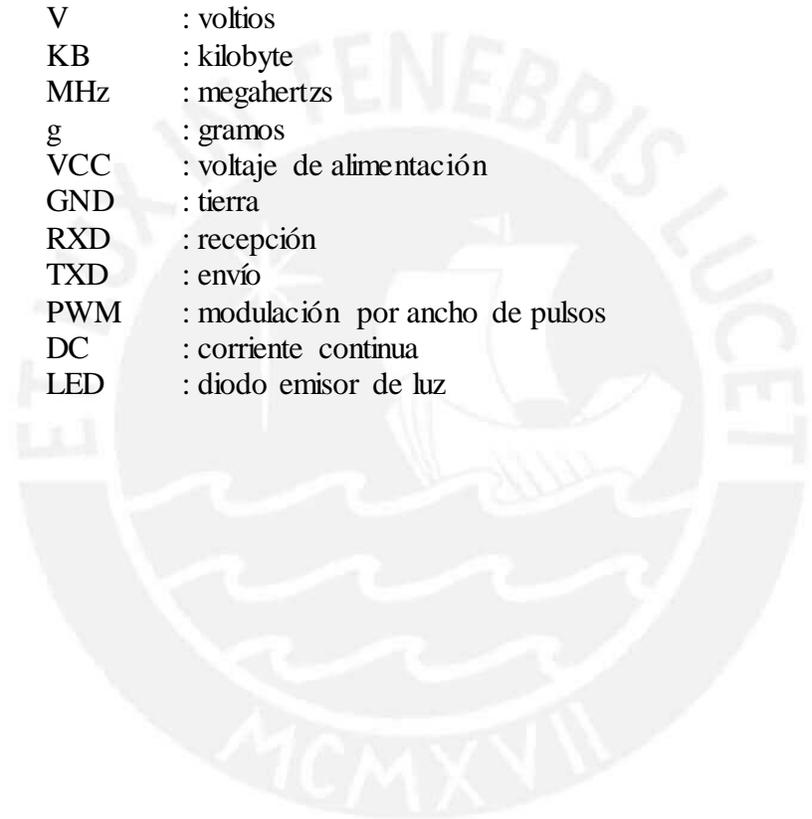
## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.1: Partes de una silla de ruedas .....	4
Figura 2.1.2: Silla de ruedas diseñada para ser impulsada por alguien externo .....	5
Figura 2.3.1: Handbike lomo litio .....	7
Figura 2.3.2: Silla de ruedas Ogo .....	7
Figura 2.3.3: Kits de aro 8" (izquierda) y 24" (derecha).....	8
Figura 2.4.1: Silla de ruedas de Toyota contralada por redes neuronales .....	9
Figura 2.4.2: Proyecto "Hybri-Voz" desarrollado por alumnos de la UABCS.....	9
Figura 2.4.3: Proyecto de acople para sillas de ruedas desarrollado por alumno de la UJAT .....	10
Figura 2.6.1: Simulación del movimiento de un brazo usando 3 celulares Galaxy S3 ....	12
Figura 2.6.2: Pulsera Xiaomi Mi Band con Bluetooth y acelerómetro .....	13
Figura 4.1.1: Estructura de funciones del proyecto .....	16
Figura 4.2.1: Esbozo del concepto de solución óptimo .....	18
Figura 4.2.2: Vista isométrica del acople con la parte posterior de una silla de ruedas (en turquesa) .....	19
Figura 4.2.3: Vista isométrica del acople desde atrás con la parte posterior de una silla de ruedas .....	19
Figura 4.2.4: Vista lateral del acople con la parte posterior de una silla de ruedas (en turquesa) .....	20
Figura 4.2.5: Elevación de 25mm del acople .....	21
Figura 4.2.6: Vista isométrica del mando con el reposabrazos de una silla de ruedas ....	21
Figura 4.2.7: Mando acoplado a un reposabrazos de ángulo recto .....	22
Figura 4.2.8: Mando acoplado a un reposabrazos con 120° de ángulo de rolado .....	22
Figura 4.2.9: Soporte para componentes electrónicos .....	23
Figura 4.2.10: Silla de ruedas con el acople mecatrónico diseñado .....	23
Figura 4.2.11: Silla de ruedas con el acople mecatrónico diseñado, soporte para electrónica y mando (Se obvia el acople derecho para una mejor visualización) .....	24
Figura 4.2.12: Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico .....	25
Figura 5.1.1: Vista superior del Arduino Mega 2560 Rev 3 .....	26
Figura 5.2.1: Joystick KY-023 XY .....	27
Figura 5.3.1: Vista frontal del HC-SR04.....	27
Figura 5.3.2: Sensado de piso hacia adelante, el sistema sigue avanzando .....	28
Figura 5.3.3: Sensado de un desnivel mayor al permitido, el sistema se detiene .....	28
Figura 5.4.1: Vista superior del HC-06 FC-114.....	29
Figura 5.4.2: Conexión del HC-06 FC-114 con un Arduino UNO .....	29
Figura 5.5.1: Vista frontal del ZYJ08 .....	30
Figura 5.6.1: Rueda neumática 8" .....	31
Figura 5.7.1: Vista superior del SaberTooth 2x25 .....	32
Figura 5.7.2: Conexión con el microcontrolador recomendada por el fabricante .....	32
Figura 5.8.1: Batería Yuasa 525 15 .....	33
Figura 5.9.1: Pololu 7.5V 2.5A Step-Down.....	34

Figura 5.10.1: Vista frontal del RL-BI003 .....	35
Figura 6.1.1: Plano de ensamble superior .....	38
Figura 6.1.2: Plano de despiece de la pinza .....	39
Figura 6.1.3: Plano de despiece de la estructura superior .....	40
Figura 6.1.4: Plano de despiece de la estructura inferior .....	41
Figura 6.1.5: Plano del ensamble inferior .....	42
Figura 6.1.6: Isométrico del ensamble inferior .....	43
Figura 6.1.7: Plano de despiece del acople motor-rueda.....	44
Figura 6.2.1: Plano de ensamble del mando.....	45
Figura 6.2.2: Vista isométrica del ensamble del mando .....	46
Figura 6.2.3: Plano de despiece del acople mando 1 .....	47
Figura 6.2.4: Plano de despiece del acople mando 2 .....	48
Figura 6.2.5: Plano de despiece de la estructura del mando .....	49
Figura 6.2.6: Parte del plano de despiece de la carcasa superior .....	50
Figura 6.2.7: Vista isométrica de la carcasa superior.....	51
Figura 6.2.8: Vista isométrica de la carcasa inferior .....	51
Figura 6.2.9: Parte del plano de despiece de la carcasa inferior .....	52
Figura 6.3.1: Plano del ensamble soporte electrónico.....	53
Figura 6.3.2: Vista isométrica del ensamble soporte electrónico .....	54
Figura 6.3.3: Parte del plano de despiece del soporte electrónico .....	55
Figura 6.3.4: Vista isométrica del soporte electrónico.....	56
Figura 6.3.5: Plano de despiece del soporte ultrasónico .....	57
Figura 7.1.1: Parte del esquemático general correspondiente al Arduino Mega y sus conexiones.....	59
Figura 7.3.1: Parte del esquemático general correspondiente a la conexión eléctrica .....	60
Figura 7.3.2: Esquemático general del sistema .....	61
Figura 8.1.1: Diagrama de control lazo abierto del sistema.....	62
Figura 8.2.1: Diagrama de flujo del sistema .....	63
Figura 8.3.1: Diagrama de flujo de interrupción ante desnivel.....	64
Figura 8.4.1: Diagrama de flujo de interrupción de botón de parada.....	64

## LISTA DE SÍMBOLOS

\$	: dólares americanos
ISO	: Organización Internacional de Normalización
NSE	: nivel socioeconómico
“	: pulgadas
mm	: milímetros
S/	: soles
km	: kilómetros
Ah	: amperio-hora
km/h	: kilómetros por hora
MP4	: MPEG Part 14
m/s	: metros por segundo
V	: voltios
KB	: kilobyte
MHz	: megahertz
g	: gramos
VCC	: voltaje de alimentación
GND	: tierra
RXD	: recepción
TXD	: envío
PWM	: modulación por ancho de pulsos
DC	: corriente continua
LED	: diodo emisor de luz



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo muestra el diseño de un acople mecatrónico para automatización de sillas de ruedas convencionales desde el estado del arte hasta los planos y presupuesto. Esto se desglosa en las siguientes partes:

En el capítulo 1 se presenta la problemática asociada a las personas discapacitadas especialmente las que necesitan de una silla de ruedas como instrumento para movilizarse.

En el capítulo 2 se muestra el estado del arte en acoples para sillas de ruedas desde productos comerciales hasta proyectos hechos por estudiantes universitarios, además, de conceptos básicos de sillas de ruedas entre otros.

En el capítulo 3 se presentan los objetivos y requerimientos para el diseño del sistema.

En el capítulo 4 se muestra el concepto óptimo esbozado y modelado además del sistema mecatrónico con la interacción entre sus diversos componentes.

En el capítulo 5 se describen brevemente los componentes que se usan en el sistema.

En el capítulo 6 se presentan los planos mecánicos de ensamble y despiece.

En el capítulo 7 se muestra el esquemático del sistema.

En el capítulo 8 se presentan los diagramas de flujo.

En el capítulo 9 se muestra el presupuesto para el proyecto.

En el capítulo 10 se presentan las conclusiones con respecto a este trabajo.

## CAPÍTULO 1

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el término ‘discapacidad’ se aplica cuando una persona presenta deficiencias, limitaciones de la actividad y restricciones a la participación [1]. Además, se diferencian 5 grupos de discapacidad, entre los cuales se encuentra la discapacidad motriz (Grupo 2); esta última se divide en 3 subgrupos de los cuales uno de ellos es la discapacidad de las extremidades inferiores, tronco, cuello y cabeza (Subgrupo 210) [2]. Las personas que se encuentran en este subgrupo generalmente necesitan ayuda de alguien o algún instrumento para movilizarse como lo es la silla de ruedas.

Una de las barreras que una persona discapacitada debe afrontar es la económica ya que el 80% de ellas viven en países de bajos recursos [3]. Teniendo este panorama, sería muy difícil para la mayoría de discapacitados obtener una silla de ruedas eléctrica por su elevado precio de \$1000 en adelante, aproximadamente 12 veces el precio de una silla de ruedas convencional. Es por esta razón que las sillas de ruedas manuales aún son más comunes en el mundo que las eléctricas; sin embargo, las primeras presentan problemas de eficiencia de movimiento, ya que, se logra de forma ineficiente: aprovecha entre el 5%-8%(armazón plegable) y 15%-20%(armazón rígido) del impulso que se da en las ruedas traseras [4]. Esto conlleva a una gran exigencia en los músculos del pecho y hombro para conseguir el desplazamiento dejando inactivos los músculos de la zona lumbar lo cual ocasiona su debilitamiento progresivo.

El 1% de la población mundial necesita sillas de ruedas, es decir, aproximadamente 73 millones de personas; entonces, el mercado de este implemento aún sigue ampliando su variedad. Por ejemplo, sillas de ruedas eléctricas motorizadas, scooters eléctricos para discapacitados, acoples motorizados entre otros. Estos modelos generalmente limitan el desplazamiento del usuario al simple movimiento de un joystick situado en uno de los reposabrazos lo cual, en comparación con las sillas tradicionales, son definitivamente más cómodas. Pero este tipo de mando no llega a ser completamente versátil por la necesidad de usar una mano como mínimo durante todo el movimiento de la silla.

El presente trabajo se enfoca en el desarrollo conceptual y diseño de un kit capaz de acoplarse a la mayoría de sillas de ruedas manuales con la finalidad de convertirlas en eléctricas, además que brinde un control alternativo al uso exclusivo de joystick con el fin de tener una mayor libertad en las extremidades superiores. El desarrollo se centrará en tres aspectos principales: universalidad, costo y experiencia del usuario. La universalidad del diseño permitirá acoplar el kit a la gran mayoría de sillas de ruedas manuales que se puedan encontrar en el mercado; el costo deberá ser más económico en comparación con una silla de ruedas eléctrica; y la experiencia de usuario debe ser tal que permita al discapacitado tener mayor libertad de sus extremidades superiores para realizar una mayor variedad de actividades con comodidad.



## CAPÍTULO 2

### ESTADO DEL ARTE

#### 2.1 Silla de ruedas estándar y sus partes

##### 2.1.1 Elección de una silla de ruedas

Cada persona posee diferentes proporciones de miembros en su cuerpo, es por esto que una silla de ruedas correcta para alguien debe ser ajustada dependiendo de sus medidas, peso y además del tipo de terreno en el cual transitará. De no realizarse esto, el paciente puede resultar afectado a largo plazo por problemas de ergonomía [5]. La OMS recomienda, en una publicación acerca del suministro de sillas de ruedas, basarse en la norma ISO 7176 y en sus adaptaciones que cada país realiza según su realidad [3].

##### 2.1.2 Composición básica de una silla de ruedas estándar

Es necesario saber algunas partes que presentan las sillas de ruedas en su mayoría para su futuro análisis y diseño de algún acople para ellas:

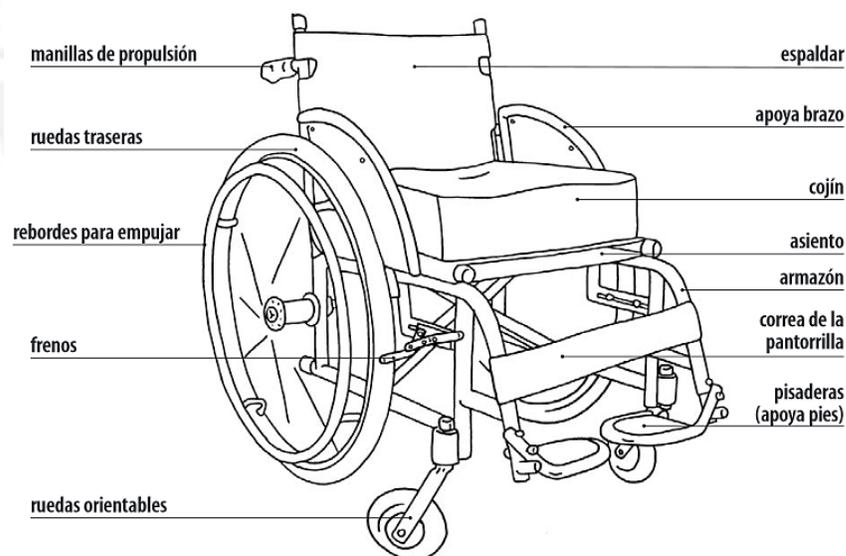


Figura 2.1.1: Partes de una silla de ruedas

Fuente: OMS

Las ruedas traseras pueden variar dependiendo del usuario: si la persona puede impulsarse mediante sus brazos, las ruedas son grandes y con un rin de propulsión (reborde para empujar) al costado; el tamaño del aro para este caso es usualmente de 24", 22" para niños

y 26” para personas altas. En cambio, si la persona necesita siempre de un ayudante para moverse, las ruedas que se eligen son de 12” sin el rin de propulsión [4].



Figura 2.1.2: Silla de ruedas diseñada para ser impulsada por alguien externo  
Fuente: Ortosoluciones

En el caso de las ruedas delanteras pueden ser de 75, 125, 150 o 200mm considerando que la más grande es más útil en terrenos accidentados y la más pequeña ayuda a tener una mayor facilidad de giro.

## 2.2 Análisis del público objetivo

Tomando en cuenta el estudio del 2015 realizado por la Apeim (Asociación peruana de empresas de investigación de mercados) basado en la Encuesta Nacional de Hogares (ENAH) realizada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) [6], los sectores socioeconómicos que no podrían costear una silla de ruedas eléctrica pero sí un kit de un valor de S/800 - S/1000 son los sectores B y C los cuales cuentan con S/1000 en promedio de ingreso neto mensual. Para los sectores mencionados, la distribución porcentual del tipo de piso interior en la vivienda que presentan son:

Tabla 1: Tipos de pisos de interiores usados en sectores socioeconómicos B y C

Pisos de interiores	NSE B	NSE C
Parquet o madera pulida	24.7%	3.6%
Láminas asfálticas, vinílicos o similares	17.3%	5.2%
Losetas, terrazos o similares	38.8%	27.1%
Madera (entablados)	1.3%	2.3%
Cemento	17.8%	60.9%
Tierra	.0%	.7%
Otros	.0%	.1%

Fuente: Apeim

De los datos de la tabla se puede deducir que los pisos más usados son el parquet o madera pulida, cemento, losetas, terrazos o similares y láminas asfálticas, vinílicos o similares. Esto es importante para desarrollar un acople capaz de motorizar una silla de ruedas en esas condiciones de piso.

### 2.3 Productos comerciales

En la actualidad, existen diferentes alternativas de sillas de ruedas eléctricas en el mercado tanto en su control de mando como en el diseño. A continuación, se muestran los modelos más destacados:

#### 2.3.2 Handbike eléctrica lomo litio

Son similares a una bicicleta partida por la mitad, esto les ayuda a acoplarse a la silla de ruedas mediante pinzas ajustables y simular un triciclo eléctrico. En el caso de este modelo de la marca Rodem, se logran 25km de autonomía (1h 40min) con una batería de 6.75Ah lo cual puede duplicarse a 70km llevando dos baterías al mismo tiempo. Entre otras especificaciones, llega a una velocidad máxima de 15km/h y sube pendientes de 14% como máximo [7].



Figura 2.3.1: Handbike lomo litio  
Fuente: Rodem

### 2.3.3 Ogo

Ogo cuenta con un diseño innovador ya que usa sólo dos ruedas durante el movimiento y 4 extras desplegadas en el momento de parada; además el movimiento es controlado mediante la inclinación del tronco de la persona lo cual le ayuda a ejercitar sus músculos del tronco. Este modelo es muy versátil al no necesitar el accionar de las manos siempre y cuando se tenga un completo control del equilibrio propio. Entre sus especificaciones, posee 30km de autonomía con una velocidad máxima de 20km/h, es decir, 1h y 30 min de duración. Se estima un precio de lanzamiento entre \$10 000 a \$20 000 (dólares americanos) [8].

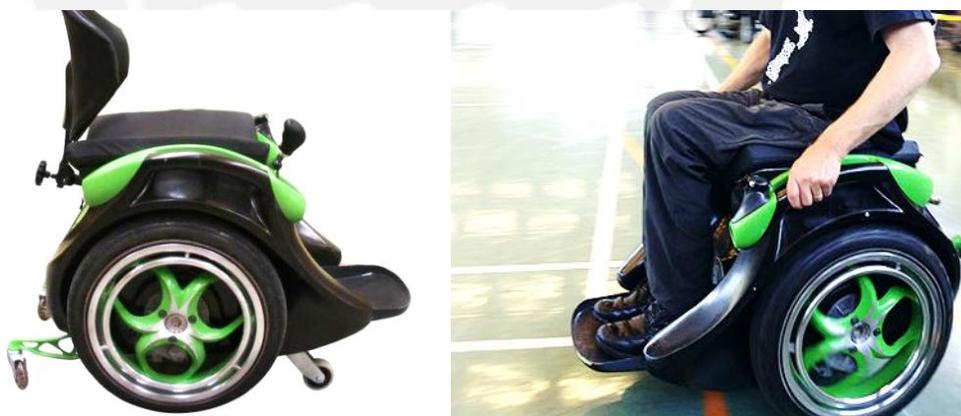


Figura 2.3.2: Silla de ruedas Ogo  
Fuente: Ogo

### 2.3.4 Kits de llantas con motores para sillas de ruedas

En el mercado se puede encontrar diversas ruedas acopladas a motores brushless, de 180W de potencia en promedio, que se insertan en cualquier silla de ruedas como reemplazo de

sus ruedas normales. Éstas se compran dependiendo del aro de la rueda trasera, es así que estos kits vienen en diferentes tamaños (8", 12" y 24"). Además, incluyen un joystick y un controlador [9, 10]. Cabe resaltar que estos kits no incluyen batería.

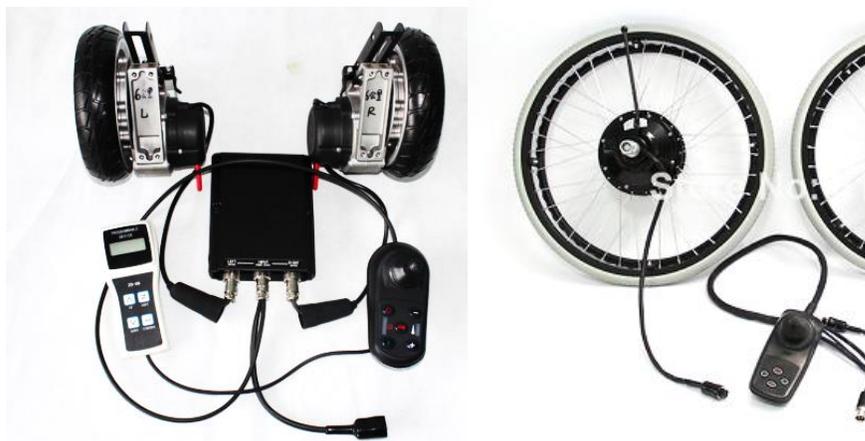


Figura 2.3.3: Kits de aro 8" (izquierda) y 24" (derecha)  
Fuente: Hallomotor

## 2.4 Investigaciones y proyectos relacionados

### 2.4.2 Silla de ruedas eléctrica controlada por ondas cerebrales

Toyota ha desarrollado en conjunto con RIKEN una silla de ruedas capaz de dirigirse mediante el análisis de ondas cerebrales. Para su uso es necesario colocarse un casco con electrodos que detectarán los potenciales eléctricos en el cerebro; además se suele usar una laptop en el regazo para procesar las señales y transmitir las órdenes a los actuadores. Su sistema es capaz de aprender indicaciones para el comando de movimiento hacia adelante, izquierda y derecha independientemente de las características de cada usuario. Este modelo posee un tiempo de respuesta de 125 milisegundos y una exactitud del 95%. Hasta la fecha, no existen planes de lanzarlo al mercado [11].



Figura 2.4.1: Silla de ruedas de Toyota controlada por redes neuronales  
Fuente: Gizmag

### 2.4.3 Hybri-Voz

Estudiantes mexicanos de la Universidad Autónoma de Baja California Sur han creado una silla de ruedas eléctrica capaz de dirigirse mediante la inclinación de la cabeza del usuario, el cual debe usar un auricular con un acelerómetro incorporado. Además reconoce comandos de voz como ‘avanza’, ‘para’, ‘atrás’, ‘izquierda’, ‘derecha’ mediante una aplicación móvil conectada por bluetooth al sistema. Para evitar choques o caídas, posee dos sensores de proximidad en la parte delantera y trasera [12].



Figura 2.4.2: Proyecto "Hybri-Voz" desarrollado por alumnos de la UABCS  
Fuente: Telam

#### 2.4.4 Kit universal para sillas de ruedas manuales

Este kit es capaz de acoplarse a la mayoría de sillas tradicionales, fue desarrollado por un estudiante de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Consta de un motor con una pequeña rueda por lado la cual ejerce fricción a cada rueda trasera, además usa un panel solar para cargar la batería. El peso máximo que puede aceptar es de 130 kg [13].



Figura 2.4.3: Proyecto de acople para sillas de ruedas desarrollado por alumno de la UJAT  
Fuente: Hechos TV

#### 2.5 Comparativa de los productos actuales

A continuación, se muestra una tabla en la que se comparan las especificaciones de los modelos mostrados anteriormente en productos comerciales e investigaciones y proyectos relacionados:

Tabla 2: Comparación de los distintos productos en función a la silla de ruedas

	Tipo de mando	Autonomía	Requerimientos adicionales	Número de ruedas involucradas en el modelo	Peso máximo del usuario	Precio
<b>Handbike lomo litio</b>	Timón	25km	Silla de ruedas en buen estado	1 rueda delantera	120kg	\$4679 (€4230)
<b>Ogo</b>	Inclinación del tronco	30km	Buen control de equilibrio	2 principales y 4 de apoyo	-	\$10000 - \$20000
<b>Kit de llantas con motores</b>	Joystick		Ninguno	2 ruedas de reemplazo	-	\$500- \$700
<b>Silla de Toyota y RIKEN</b>	Ondas cerebrales	-	Laptop disponible	4 (silla de ruedas)	-	-
<b>Hybrid-Voz</b>	Inclinación de la cabeza y comandos de voz	-	Ninguno	4 (silla de ruedas)	-	-
<b>Kit UJAT</b>	Joystick	-	Ninguno	2 ruedas pequeñas	130kg	-

Fuente: Propia

Como se puede observar, el kit de llantas con sensores cuesta aproximadamente la veintésima parte del Handbike lomo litio y la centésima parte del diseño Ogo. Esto se debe al costo adicional que supone el diseño de las estructuras para lograr con tecnologías nuevas con investigación por adelante en comparación al kit que se acopla a la silla sin

modificar su forma presentando un acabado menos pulido y con un diseño más orientado a lo funcional y económico.

Por lo anterior se puede inferir que usar tecnologías actuales que han sido investigadas, desarrolladas e implementadas varios años atrás (joystick, comandos de voz, acelerómetro, giroscopio) es menos costoso que usar las más recientes. Sin embargo, esto no desestima las tecnologías antiguas ya que aún se siguen encontrando diferentes aplicaciones en su uso con grandes resultados y con mayor factibilidad en el mercado por su precio accesible.

## 2.6 Recursos tecnológicos

Los recursos tecnológicos actuales con aplicaciones en este campo son:

### 2.6.2 Sensores en un Smartphone

Los celulares actuales son usados en diversos proyectos como concentradores de datos ya que incorporan cámaras, sensores de presión, termómetros, sensores de luz, acelerómetros, giroscopios y magnetómetros en su hardware. Es así que se han realizado diversos estudios y proyectos involucrando al celular ya que es un dispositivo accesible y versátil.

Uno de ellos es la captura del movimiento de una persona mediante Smartphones adheridos de forma estratégica a sus extremidades, esta investigación usa el acelerómetro, magnetómetro y giroscopio incorporados en los celulares Samsung Galaxy S3. En la figura se puede observar la configuración de los celulares en el cuerpo y la simulación generada por la computadora [14]:



Figura 2.6.1: Simulación del movimiento de un brazo usando 3 celulares Galaxy S3  
Fuente: Motion capture and activity tracking using Smartphone-driven body sensor networks (IEEE)

### 2.6.3 SmartBands

En el mercado también se pueden encontrar pulseras inteligentes que cuentan con conexión Bluetooth y diversos sensores, entre los más habituales están: acelerómetro, sensor de frecuencia cardíaca, respiración, temperatura, etc. El precio para este dispositivo se encuentra desde 50 nuevos soles.



Figura 2.6.2: Pulsera Xiaomi Mi Band con Bluetooth y acelerómetro  
Fuente: Xiaomi

### 2.6.4 Silla de ruedas controlada por MP4

Existe una patente del 2009 referida al uso de un MP4 (gadget popular en esos momentos) como dispositivo de control para una silla de ruedas eléctrica. La pantalla del MP4 serviría de display gráfico y de speaker, así mismo, estaría conectado a la misma fuente de energía que la silla de ruedas [16].

## CAPÍTULO 3

### OBJETIVOS Y REQUERIMIENTOS

#### 3.1 Objetivos

El diseño del acople mecatrónico tiene como principales objetivos:

- Diseño de un kit ‘universal’ acoplable al mayor porcentaje posible de sillas de ruedas existentes en el mercado.
- El costo total del diseño deberá ser menor al de una silla de ruedas eléctrica convencional (\$1800 en promedio).
- La elección del tipo de mando que se use debe enfocarse a evitar el uso exclusivo del joystick para direccionar a la silla con el fin de darle mayor versatilidad al usuario.

#### 3.2 Requerimientos

##### 3.2.1 Mecánicos

Los requerimientos mecánicos a cumplir en el diseño son los siguientes:

- Acople sin reemplazo de piezas originales de la silla de ruedas manual
- Modificaciones mínimas a la silla de ruedas para su acople
- Peso máximo del usuario de 80kg
- Capaz de trabajar en pendientes máximas de 12% (pendiente máxima de rampas definida por el reglamento nacional de edificaciones [17])
- El control de mando debe ser ergonómico si entra en contacto con el cuerpo del usuario para su uso.
- Debe movilizarse con un rango de velocidades correspondientes a la rapidez humana al caminar (1.3m/s) [18] y a la mitad de ésta (0.6m/s).
- El volumen ocupado por el sistema debe ser ubicado en la zona libre inferior delimitado por las ruedas traseras y delanteras con la base del asiento.
- El sistema será diseñado para su uso en espacios interiores.

### 3.2.2 Eléctrico-electrónicos

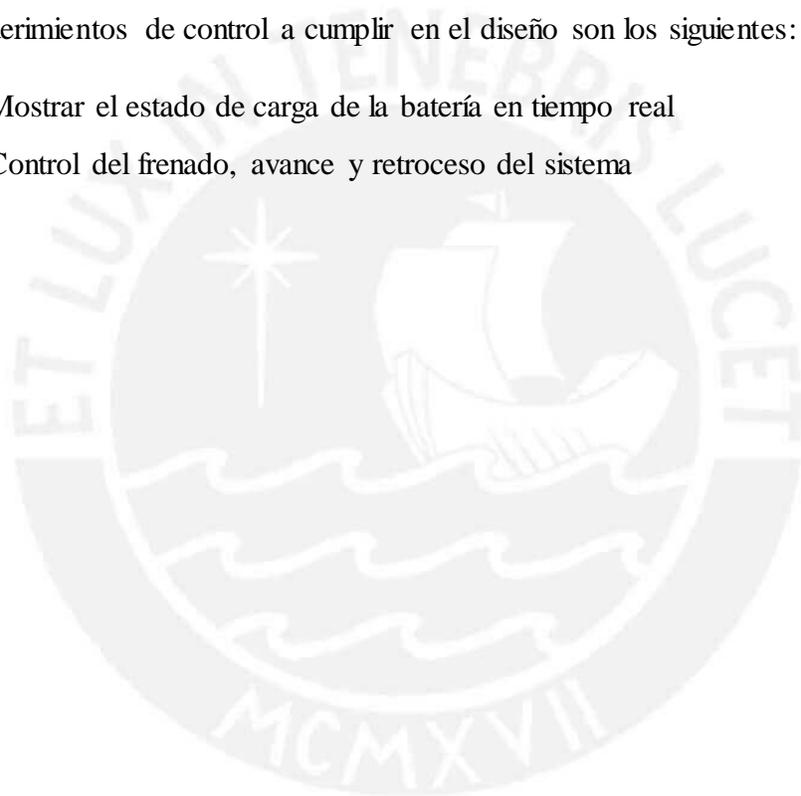
Los requerimientos eléctrico-electrónicos a cumplir en el diseño son los siguientes:

- Mínima autonomía de la batería de 5km
- 2 motores para el avance y giro de la silla
- Sensor para detectar piso con el fin de detener o retroceder unos centímetros la silla en el caso de detectarse un desnivel
- Botón de emergencia (paro del avance)

### 3.2.3 Control

Los requerimientos de control a cumplir en el diseño son los siguientes:

- Mostrar el estado de carga de la batería en tiempo real
- Control del frenado, avance y retroceso del sistema



## CAPÍTULO 4

### CONCEPTO

#### 4.1 Estructura de funciones

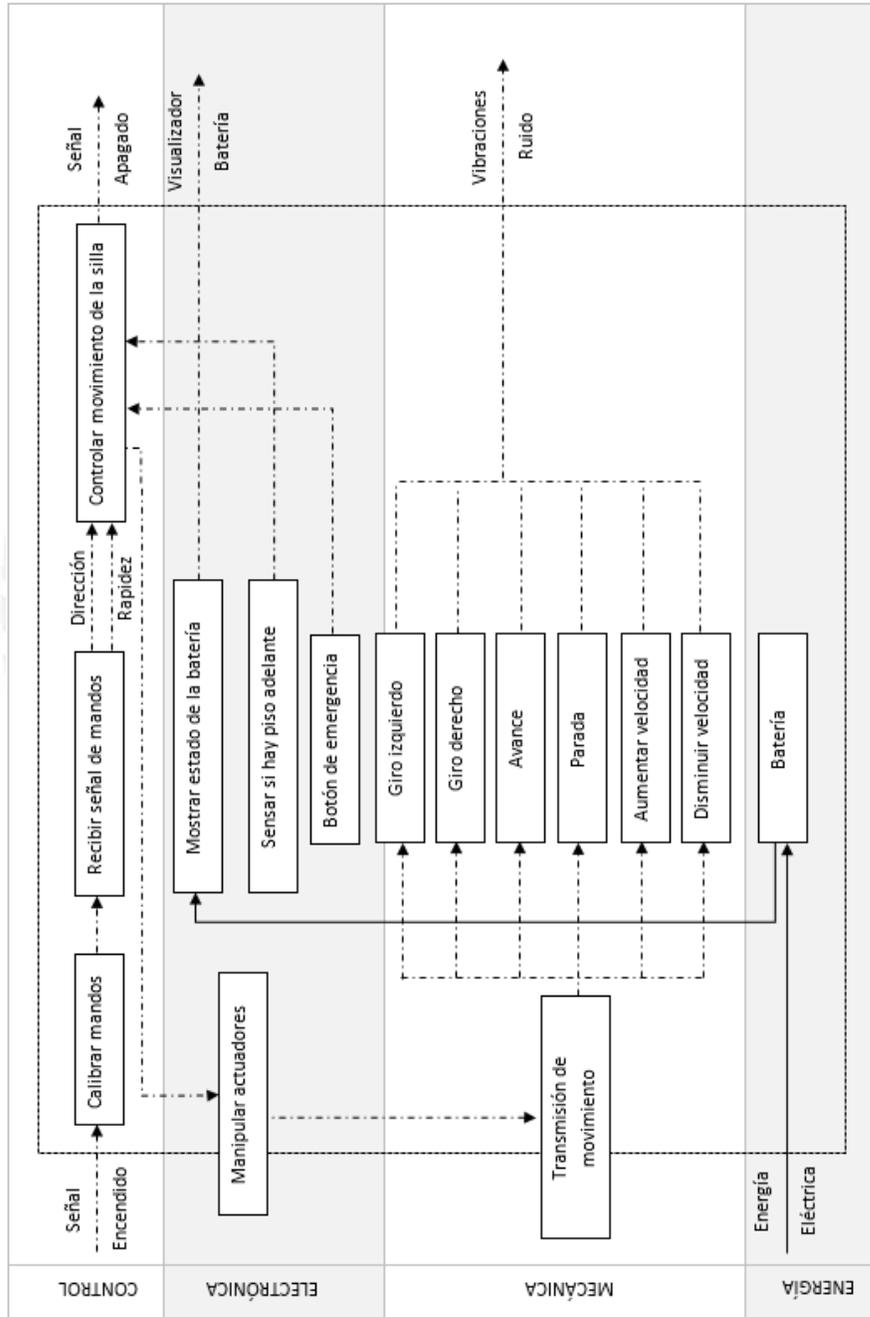


Figura 4.1.1: Estructura de funciones del proyecto  
Fuente: Propia

#### 4.2 Concepto de solución óptimo

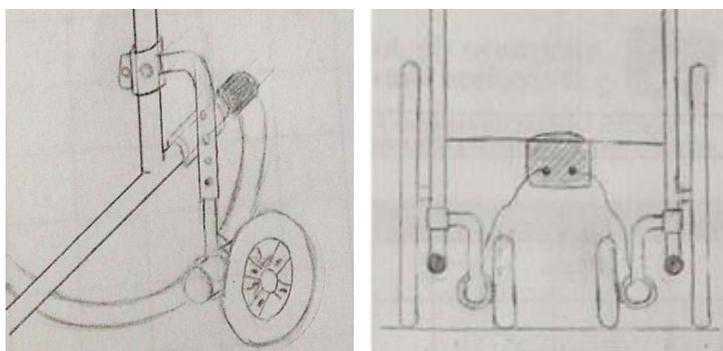
El concepto de solución óptimo se compone de tres ensambles: acoples, mando y soporte electrónico.

Cada acople posee una rueda de goma de 8" y un motorreductor con engranajes cónicos. Los acoples se colocarán en la estructura que se conecta al eje de las ruedas traseras (Figura 4.2.2) su movimiento será restringido por la fricción existente entre las placas de acero y la estructura de la silla de ruedas. Además, se podrá elevar 25mm la rueda y motor si se desea prescindir del sistema sin desacoplarlo; esto se logra cambiando de posición el tornillo que une los dos tubos de su estructura (Figura 4.2.5).

El mando se acoplará al reposabrazos silla de ruedas el cual puede tener un dobléz recto (Figura 4.2.7) o de ángulo obtuso de 120° (Figura 4.2.8). En su tablero, se ubicará el joystick; un interruptor para cambiar el tipo de control y otro para variar la velocidad, un botón para detener el avance; un visualizador del estado de la batería; y dos leds RGB (Figura 4.2.6).

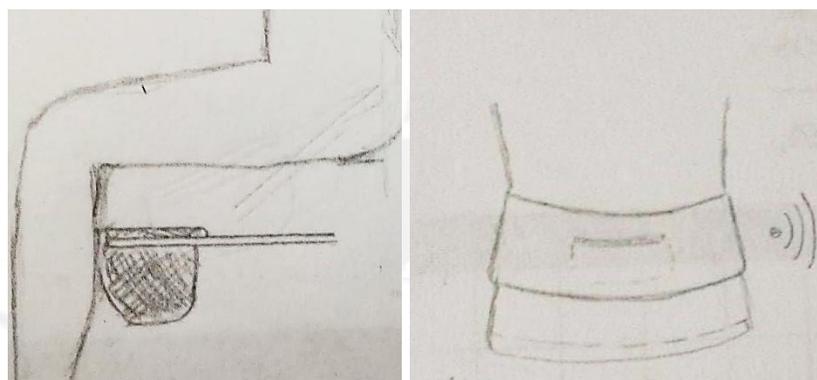
El soporte electrónico consta de una caja de aluminio de 2mm de paredes de 2mm de espesor (Figura 4.2.9). En él se colocan las baterías de ácido-plomo, el microcontrolador Arduino y demás componentes electrónicos. El soporte se acoplará a la lona de la silla de ruedas mediante una ranura que posee y a los marcos laterales mediante dos correas a ambos lados (Figura 4.2.11).

La principal ventaja de este concepto de solución es que sólo necesita ser acoplado una vez con mínimas modificaciones, ya que, puede elevarse el acople si es que se quiere prescindir de él.



(a)

(b)



(c)

(d)

Figura 4.2.1: Esbozo del concepto de solución óptimo

(a) Vista del acople de la rueda a la silla de ruedas

(b) Vista posterior de la silla de ruedas, se aprecia la batería y acople

(c) Vista lateral de la batería colocada en la parte anterior del asiento

(d) Banda abdominal con bolsillo para celular

Fuente: Propia

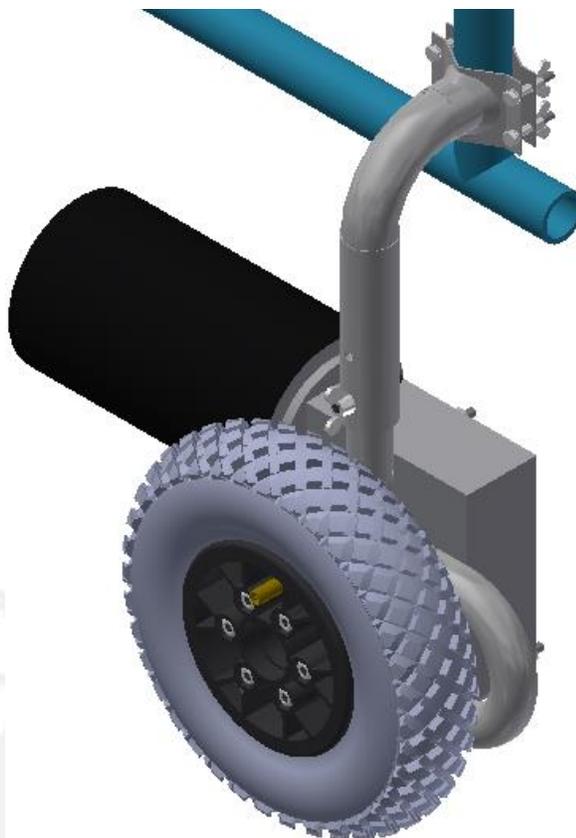


Figura 4.2.2: Vista isométrica del acople con la parte posterior de una silla de ruedas (en turquesa)  
Fuente: Propia

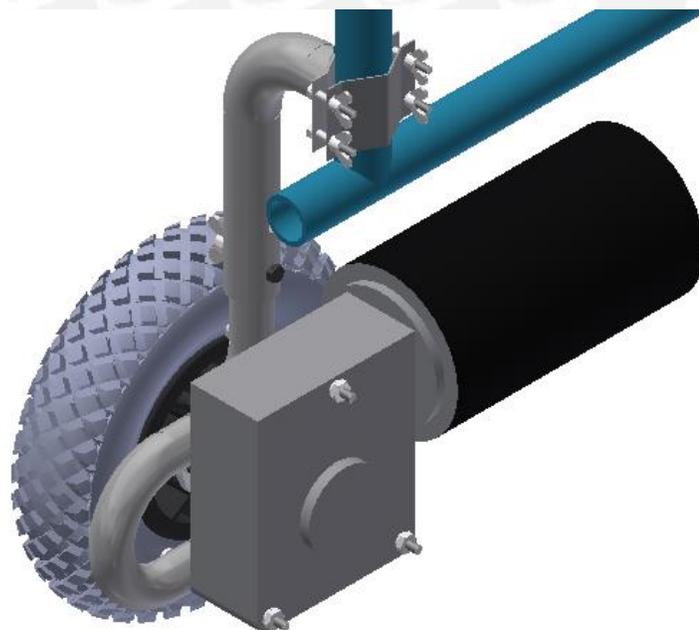


Figura 4.2.3: Vista isométrica del acople desde atrás con la parte posterior de una silla de ruedas  
Fuente: Propia

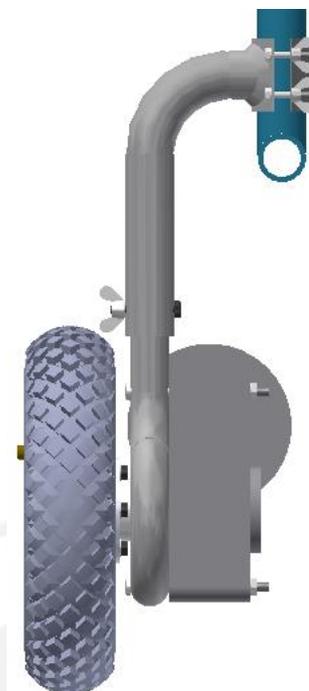


Figura 4.2.4: Vista lateral del acople con la parte posterior de una silla de ruedas (en turquesa)  
Fuente: Propia





Figura 4.2.5: Elevación de 25mm del acople  
Fuente: Propia

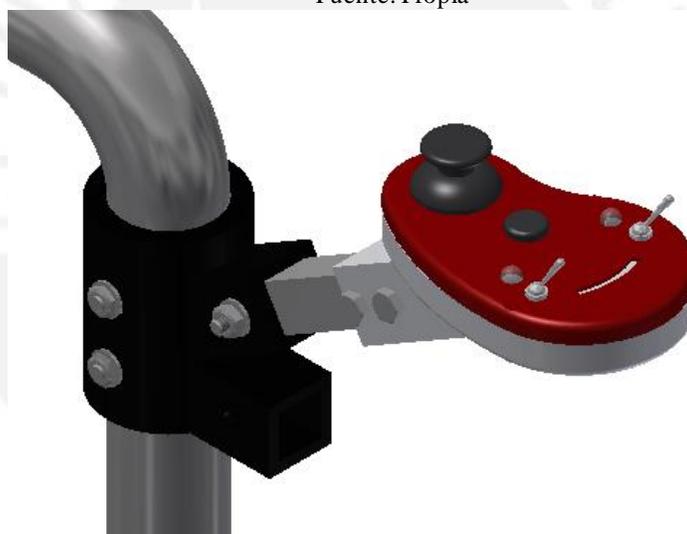


Figura 4.2.6: Vista isométrica del mando con el reposabrazos de una silla de ruedas  
Fuente: Propia

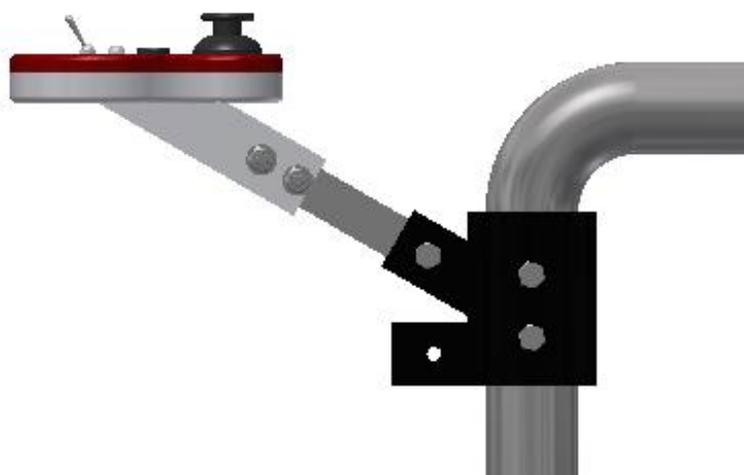


Figura 4.2.7: Mando acoplado a un reposabrazos de ángulo recto  
Fuente: Propia

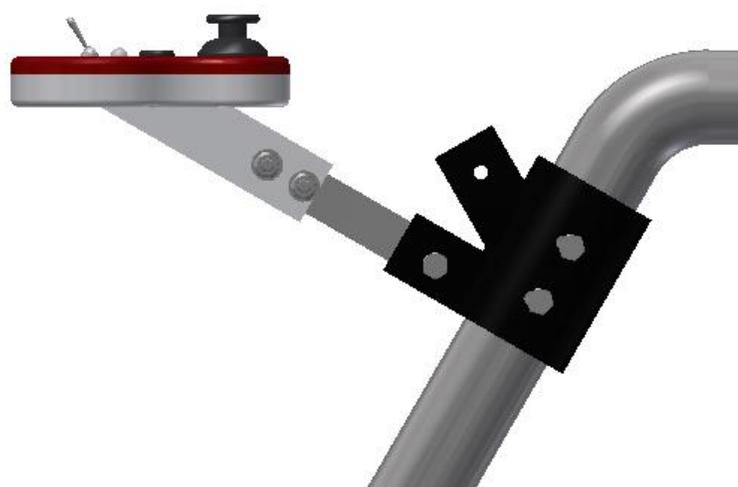


Figura 4.2.8: Mando acoplado a un reposabrazos con 120° de ángulo de rolado  
Fuente: Propia

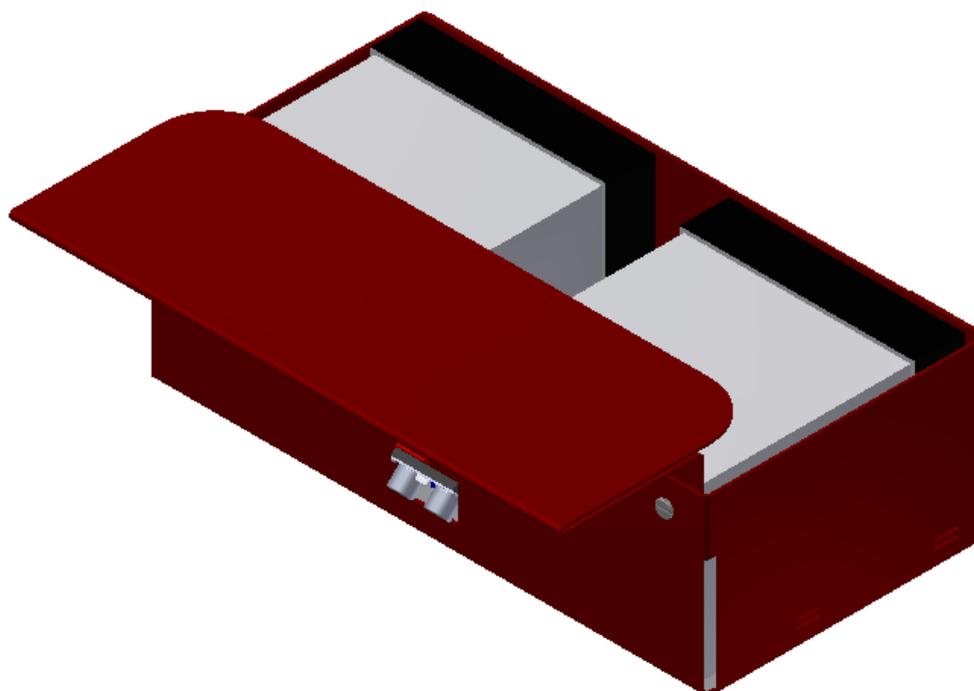


Figura 4.2.9: Soporte para componentes electrónicos  
Fuente: Propia



Figura 4.2.10: Silla de ruedas con el acople mecatrónico diseñado  
Fuente: Propia



Figura 4.2.11: Silla de ruedas con el acople mecatrónico diseñado, soporte para electrónica y mando (Se obvia el acople derecho para una mejor visualización)

Fuente: Propia

### 4.3 Sistema mecatrónico

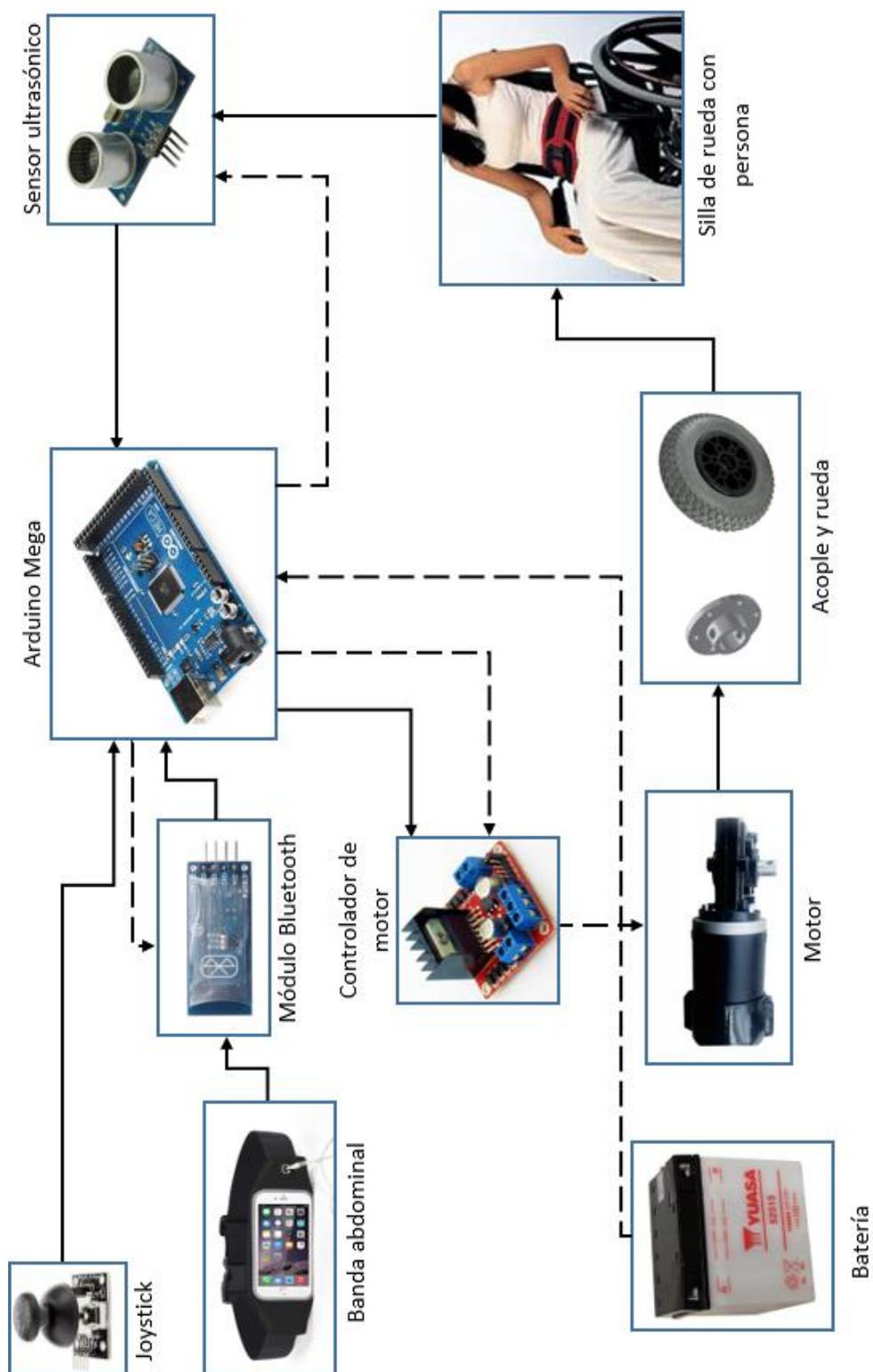


Figura 4.2.12: Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico  
Fuente: Propia

## CAPÍTULO 5

### COMPONENTES

#### 5.1 Microcontrolador

Se usará un Arduino Mega 2560 Rev 3 ya que dispone de pines suficientes para la conexión de los demás componentes además de ser versátil.

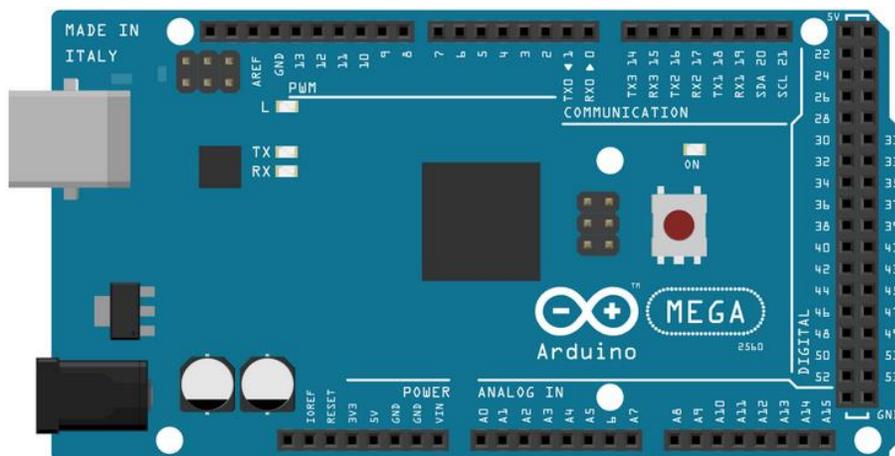


Figura 5.1.1: Vista superior del Arduino Mega 2560 Rev 3  
Fuente: PatagoniaTec

Entre sus características más importantes se tiene:

Tabla 3: Especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560 Rev 3

<b>Arduino Mega 2560 Rev 3</b>	
<b>Voltaje de alimentación</b>	5V
<b>Pines digitales</b>	54
<b>Memoria flash</b>	256KB
<b>SRAM</b>	8KB
<b>EEPROM</b>	4KB
<b>Reloj</b>	16MHz
<b>Alimentación para otros circuitos</b>	5V/3.3V
<b>Peso</b>	37g

Fuente: Hoja de datos del componente

## 5.2 Joystick

La dirección del movimiento se podrá intercambiar entre el uso de la banda abdominal con el celular o el joystick. Para éste último, se usará el modelo KY-023 XY

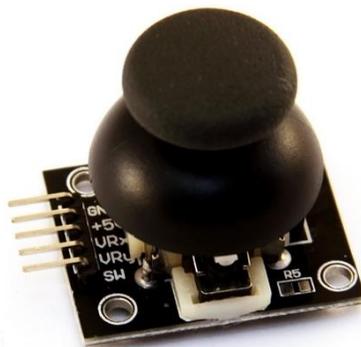


Figura 5.2.1: Joystick KY-023 XY  
Fuente: Embed4fun

Cuenta con dos pines de salida para el movimiento en el eje x (VRx) y en el y (VRy).

## 5.3 Sensor ultrasónico

Se usará un sensor de ultrasonido con el fin de detectar si hay piso adelante. Es decir, si existe un desnivel alto como el inicio de una escalera de bajada. El propósito principal será de evitar accidentes, ya que, al medir una distancia al piso mayor de la estimada, el sistema se detendrá y retrocederá por 2 segundos.

El modelo usado será el HC-SR04; éste cuenta con 2 pines de alimentación (VCC, GND) uno para el disparo del sensor (Trig) y otro para enviar el tiempo que toma el envío y recepción de la onda ultrasónica (Echo).



Figura 5.3.1: Vista frontal del HC-SR04  
Fuente: MicroController Electronics

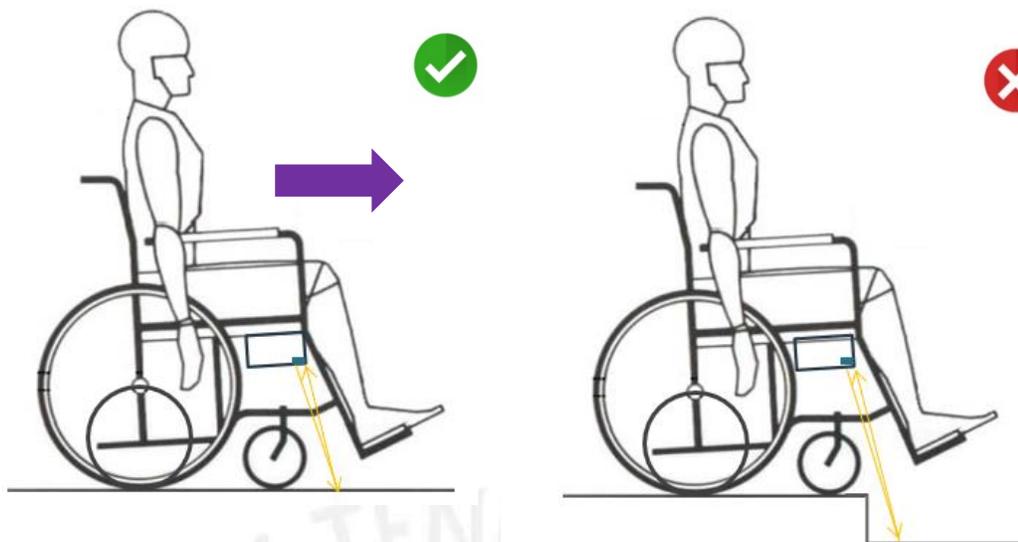


Figura 5.3.2: Sensado de piso hacia adelante, el sistema sigue avanzando  
Fuente: Propia

Figura 5.3.3: Sensado de un desnivel mayor al permitido, el sistema se detiene  
Fuente: Propia

Tabla 4: Especificaciones técnicas del HC-06 FC-114

HC-06 FC-114	
<b>Voltaje de trabajo</b>	5V
<b>Corriente de trabajo</b>	15mA
<b>Rango máximo</b>	4m
<b>Rango mínimo</b>	2cm
<b>Ángulo de medición</b>	15°
<b>Dimensiones</b>	45mmx20mmx15mm

Fuente: Hoja de datos del componente

#### 5.4 Módulo Bluetooth

El módulo Bluetooth permitirá la conexión del celular con el Arduino. Recibirá los valores procesados de la dirección (adelante, izquierda, derecha) para el movimiento de la silla de ruedas.

Se usará el modelo HC-06 FC-114 el cual sólo cumple la función de esclavo en vez de maestro-esclavo como en el caso del HC-05 FC-114. El módulo posee 2 pines de

alimentación (GND, VCC), uno para recibir los datos del Arduino que se enviarán al celular (RXD) y otro para recibir los datos del celular al Arduino (TXD).



Figura 5.4.1: Vista superior del HC-06 FC-114  
Fuente: Forum Arduino

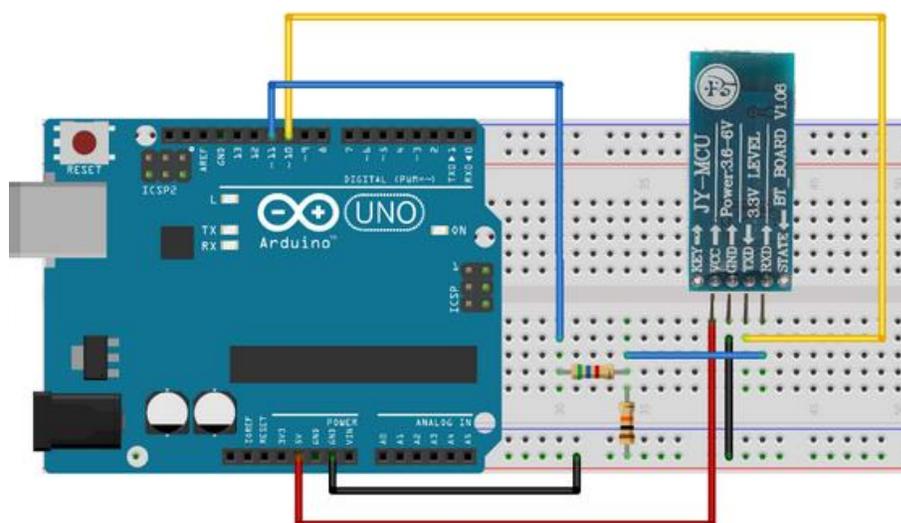


Figura 5.4.2: Conexión del HC-06 FC-114 con un Arduino UNO  
Fuente: DIYMakers

## 5.5 Motor

Se usarán dos motor-reductores con engranajes cónicos debido a que la proporción entre el torque y velocidad angular deseadas es alta. Los motores ZYJ08 de 350W se acoplarán a una rueda cada uno con el fin de lograr el desplazamiento de la silla de ruedas.



Figura 5.5.1: Vista frontal del ZYJ08

Fuente: Dakemotor

Entre sus características técnicas se tiene:

Tabla 5: Especificaciones técnicas del ZYJ08

<b>ZYJ08</b>	
<b>Voltaje nominal</b>	24V
<b>Corriente sin carga</b>	3A
<b>Peso</b>	3.5kg
<b>Reducción</b>	25:1
<b>Velocidad máxima (rpm)</b>	120
<b>Torque máximo (kg-cm)</b>	240
<b>Dimensiones</b>	267mmx122mmx90mm

Fuente: Hoja de datos del componente

## 5.6 Rueda

Se usará una rueda neumática de 8" cuyo modelo se suele usar en sillas de ruedas eléctricas.



Figura 5.6.1: Rueda neumática 8"  
Fuente: AndyMark

Entre sus especificaciones técnicas se tienen:

Tabla 6: Especificaciones técnicas del Am-0970

<b>Am-0970</b>	
<b>Peso</b>	0.51 kg
<b>Capacidad de carga</b>	54.55 kg
<b>Material del exterior</b>	Goma
<b>Material del cuerpo</b>	Policarbonato

Fuente: Hoja de datos del componente

## 5.7 Controlador de Motor

El modelo que se usará es el SaberTooth 2x25 ya que puede aceptar corrientes mayores a 10A y se puede alimentar de 24V que es el voltaje que consumen los motores.

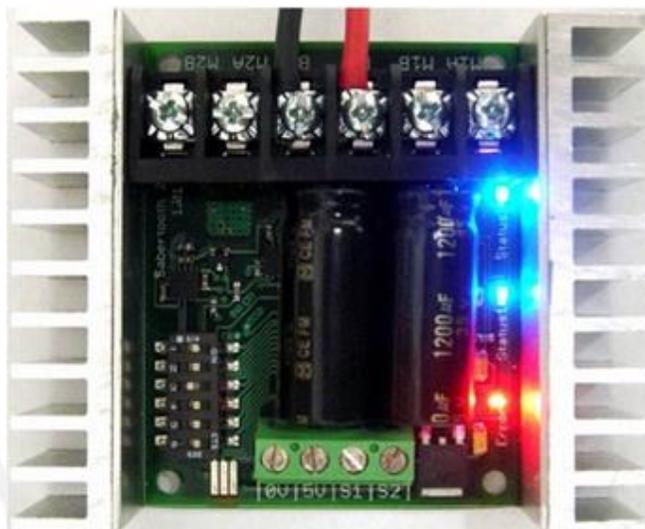


Figura 5.7.1: Vista superior del SaberTooth 2x25  
Fuente: AndyMark

A su vez, puede controlar dos motores (2 pines de alimentación y uno para la señal PWM por motor) y alimentar circuitos de 5V.

Filtro pasa-bajo para PWM en modo analógico

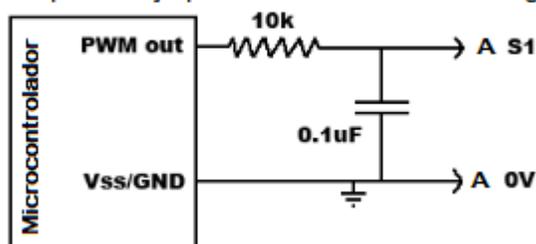


Figura 5.7.2: Conexión con el microcontrolador recomendada por el fabricante  
Fuente: Hoja de datos del componente

Entre sus características técnicas se tienen:

Tabla 7: Especificaciones técnicas del SaberTooth 2x25

SaberTooth 2x25	
<b>Voltaje de entrada</b>	6-24V
<b>Corriente de salida</b>	Más de 25A DC por canal
<b>Peso</b>	96g
<b>Dimensiones</b>	65mmx80mmx20mm

Fuente: Hoja de datos del componente

### 5.8 Batería

Como se halló en los cálculos, se necesita una batería de capacidad mayor a 22.88 Ah con voltaje de 24V. Para cumplir estas condiciones se usarán dos baterías en serie de ácido-plomo Yuasa 52515. La autonomía será de 1 hora.



Figura 5.8.1: Batería Yuasa 52515

Fuente: Yuasa

Entre sus características técnicas se tiene:

Tabla 8: Especificaciones técnicas de Yuasa 52515

Yuasa 52515	
<b>Voltaje</b>	12V
<b>Corriente</b>	25Ah
<b>Corriente de carga</b>	2.5A
<b>Dimensiones</b>	186mmx130mmx171 mm
<b>Peso</b>	8.4kg

Fuente: Hoja de datos del componente

### 5.9 Regulador de voltaje

El regulador de voltaje se conectará en paralelo a las baterías en serie para alimentar al microcontrolador con un voltaje de 7.5V y amperaje de 2.5A.



Figura 5.9.1: Pololu 7.5V 2.5A Step-Down  
Fuente: Pololu

Entre sus principales características técnicas se tienen:

Tabla 9: Especificaciones técnicas del Pololu 7.5V 2.5A Step-Down  
Polou 7.5V 2.5A Step-Down

Polou 7.5V 2.5A Step-Down	
<b>Voltaje de entrada</b>	4.5-38V
<b>Voltaje de salida</b>	7.5V (4% de precisión)
<b>Máxima corriente de salida</b>	2.5A
<b>Adicionales</b>	Protección integrada ante voltaje invertido, corrientes altas entre otros.

Fuente: Hoja de datos del componente

### 5.10 Indicador de estado de la batería

El modelo RL-BI003 se usará ya que puede soportar el voltaje de las baterías. Éste se ubicará en el mando de modo que el usuario pueda visualizar constantemente el estado de la batería con el fin de darle un buen mantenimiento ya que se trata de ácido-plomo.

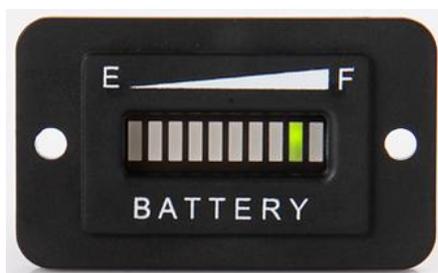


Figura 5.10.1: Vista frontal del RL-BI003  
Fuente: Runleader

Tabla 10: Encendido de cada LED y color mostrado respecto al voltaje

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Voltaje</b>	20.76	21.18	21.6	22.02	22.44	22.86	23.28	23.7	24.6	$\geq 24.6$
<b>Colores</b>	Rojo	Amarillo		Verde						

Fuente: Hoja de datos del componente

Tabla 11: Especificaciones técnicas del RL-BI003

<b>RL-BI003</b>	
<b>Voltaje</b>	24V
<b>Corriente de operación</b>	20mA
<b>Pantalla</b>	10 barras gráficas LED
<b>Dimensiones</b>	53mmx32mmx24mm
<b>Peso</b>	45g

Fuente: Hoja de datos del componente

## CAPÍTULO 6

### PLANOS MECÁNICOS

#### 6.1 Ensamble del acople

En la figura 6.1 se puede apreciar el ensamble del acople con la parte trasera de una silla de ruedas. Consta de un ensamble superior conformado por una pinza soldada a un tubo circular el cual se atornilla con otra pinza para acoplar el sistema a la silla de ruedas; adicionalmente, la estructura inferior sujetará el motor y éste al acople y rueda.

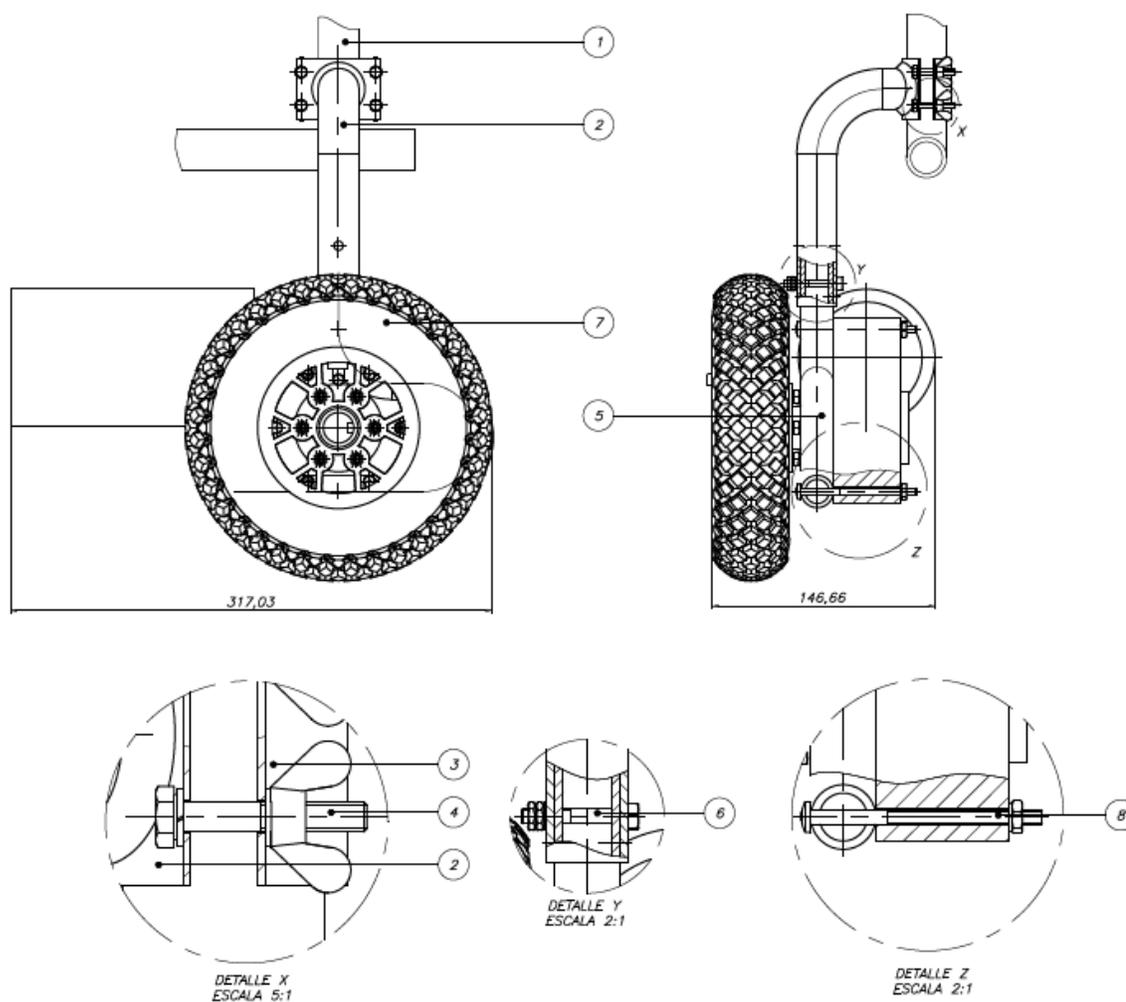


Figura 6.1: Plano de ensamble del acople

Fuente: Propia

La distancia entre estas estructuras mencionadas se puede variar quitando el tornillo que los une y colocándolo en el otro agujero de la estructura superior. De esta forma se tendrán

dos posiciones: una para usar el sistema acoplado (la rueda acoplada hace contacto con el piso) y otra para prescindir de éste (se eleva el sistema de forma que se pueda usar la silla en modo convencional).

Tabla 12: Lista de componentes para el ensamble del acople

8	3	TUERCA 10-32	ASME B18.6.3	St	
8	3	ARANDELA A 5.3	DIN 125	St	
8	3	TORNILLO 10x3	ANSI B18.6.3	St	
7	1	ENSAMBLE INFERIOR			01-03
6	2	TUERCA M5	DIN 240.35	St	
6	1	ARANDELA A 5	DIN 128	St	
6	1	TORNILLO HEXAGONAL M5x35	ISO 4016	St	
5	1	ESTRUCTURA INFERIOR	01-02		01-02
4	4	TUERCA M4	DIN 315	St	
4	8	ARANDELA A 4	DIN 128	St	
4	4	TORNILLO HEXAGONAL M4x25	ISO 4014	St	
3	1	PINZA			01-01-01
2	1	ENSAMBLE SUPERIOR			01-01
1	1	SILLA DE RUEDAS			
POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

Fuente: Propia

### 6.1.1 Ensamble superior

El ensamble superior mostrado en la figura 6.1.1 se conforma de dos piezas de acero: una pinza (componente 1) y un tubo estructural (componente 2) soldadas entre sí.

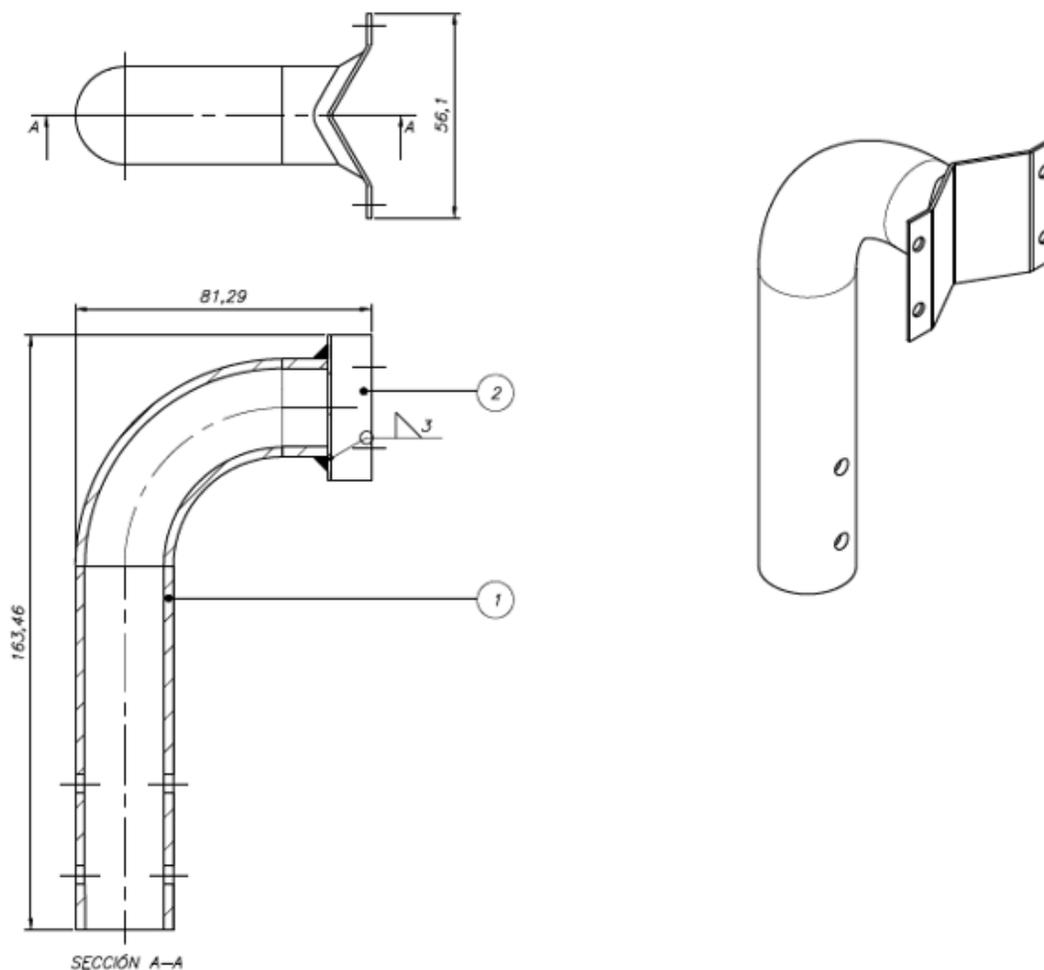


Figura 6.1.1: Plano de ensamble superior

Fuente: Propia

### 6.1.1.1 Pinza

La pinza del ensamble superior mostrada en la figura 6.1.2 servirá para el acople del sistema a la silla de ruedas. Para la correcta sujeción se usarán dos tornillos pasantes a cada lado.

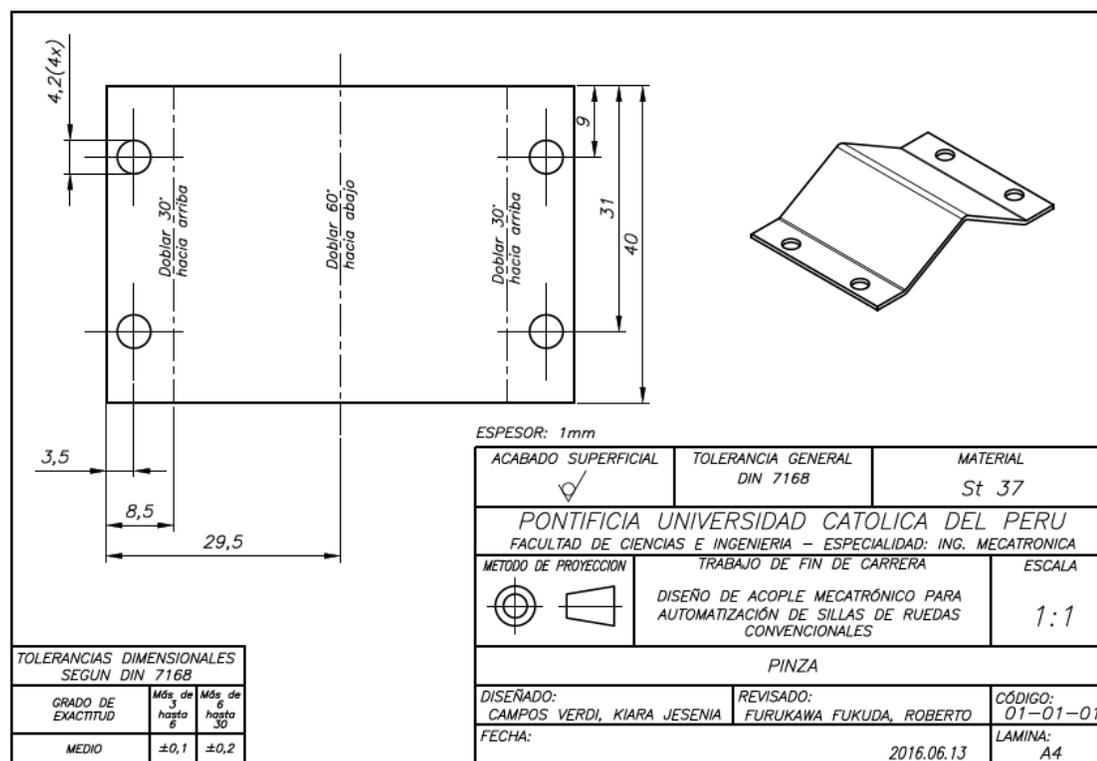


Figura 6.1.2: Plano de despiece de la pinza  
Fuente: Propia

### 6.1.1.2 Estructura superior

La estructura superior mostrada en la figura 6.1.3 consiste en un tubo de acero estructural de  $\frac{3}{4}$ " con un corte en V para poder colocar la pinza.

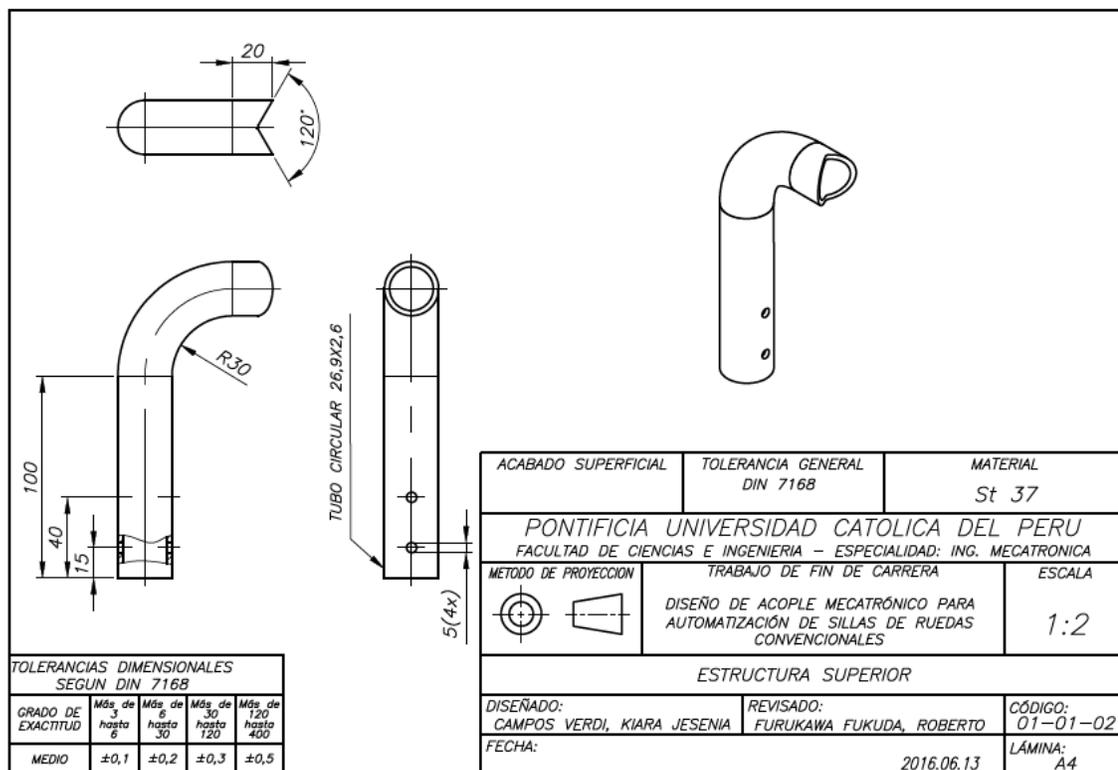


Figura 6.1.3: Plano de despiece de la estructura superior  
Fuente: Propia

### 6.1.2 Estructura inferior

La estructura inferior en la figura 6.1.4 sirve para sujetar al motor y además se conecta a la estructura superior mediante un tornillo. Al ser dos tubos concéntricos con radios similares, simulan el movimiento de una vara telescópica.

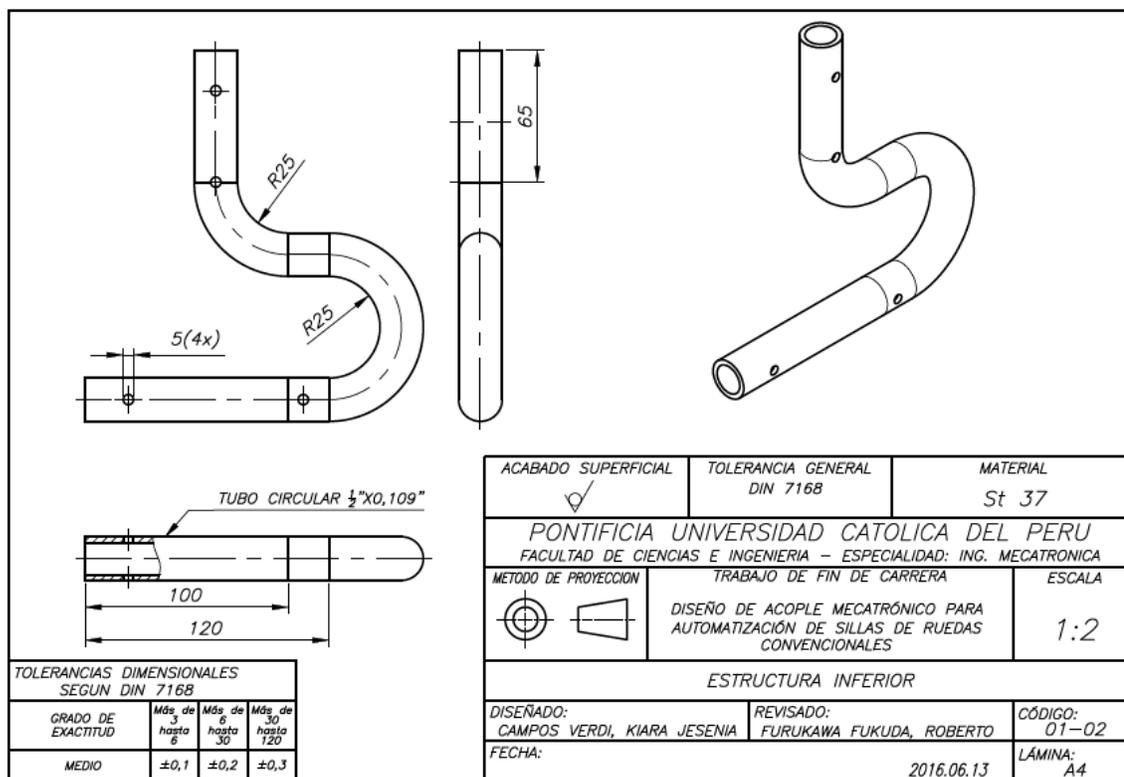


Figura 6.1.4: Plano de despiece de la estructura inferior  
Fuente: Propia

### 6.1.3 Ensamble inferior

El ensamble inferior se refiere a la unión del motor con la rueda la cual se hace mediante un acople y una clavija transversal.

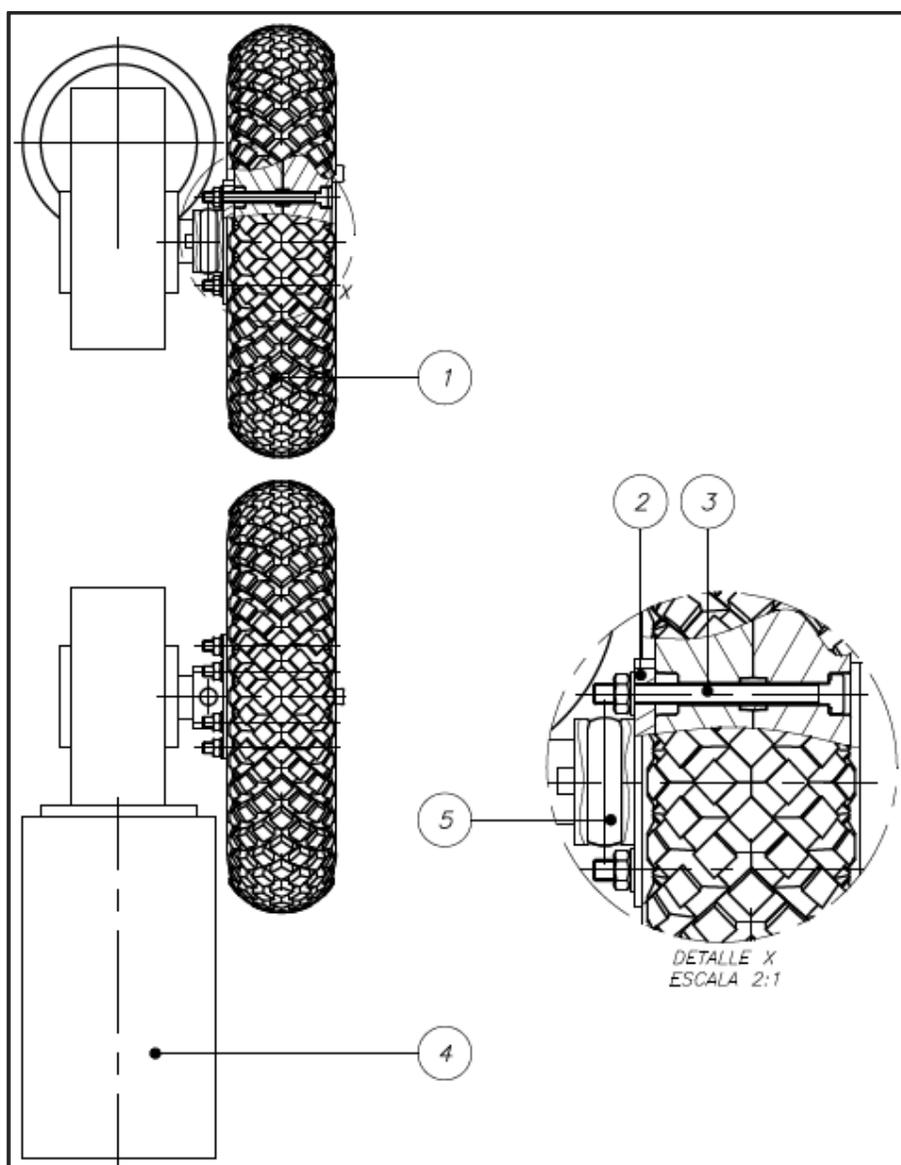


Figura 6.1.5: Plano del ensamble inferior  
Fuente: Propia

Tabla 13: Lista de componentes para el ensamble inferior

5	1	PIN A 8x30	ISO 8734	St	
4	1	MOTOR 350W			DAKEMOTOR
3	6	TUERCA M5	DIN 555	St	
3	6	ARANDELA A 5.3	DIN 125	St	
3	6	TORNILLO HEXAGONAL M5x55	DIN 24017	St	
2	1	ACOPLE MOTOR-RUEDA		AA 6061	01-03-01
1	1	RUEDA 8"			ANDYMARK
POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

Fuente: Propia

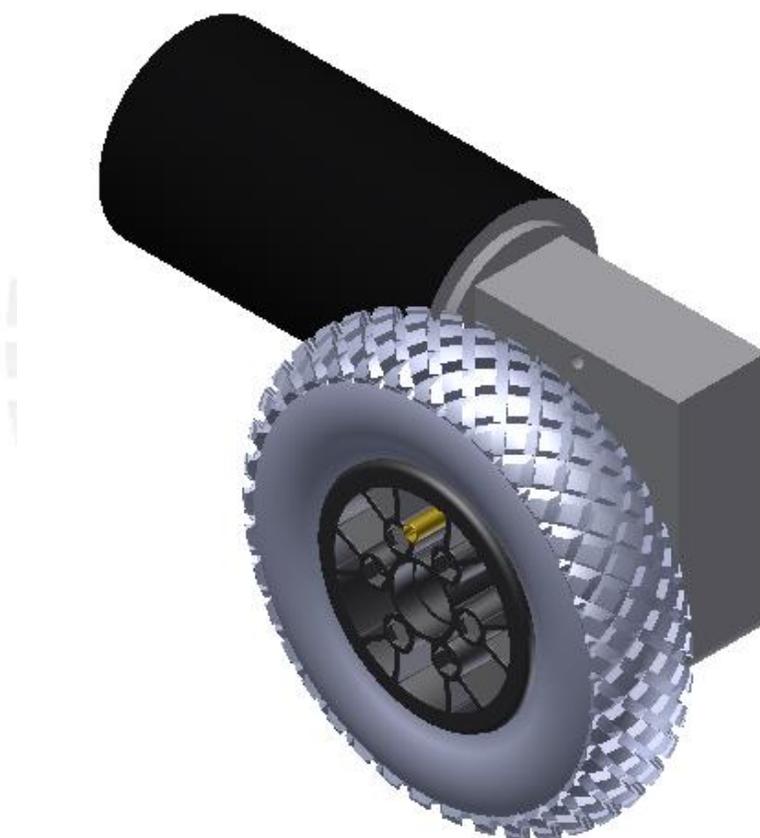


Figura 6.1.6: Isométrico del ensamble inferior

Fuente: Propia

### 6.1.3.1 Acople motor rueda

El acople motor-rueda en la figura 6.1.7 conectará el motor reductor con la rueda de 8".

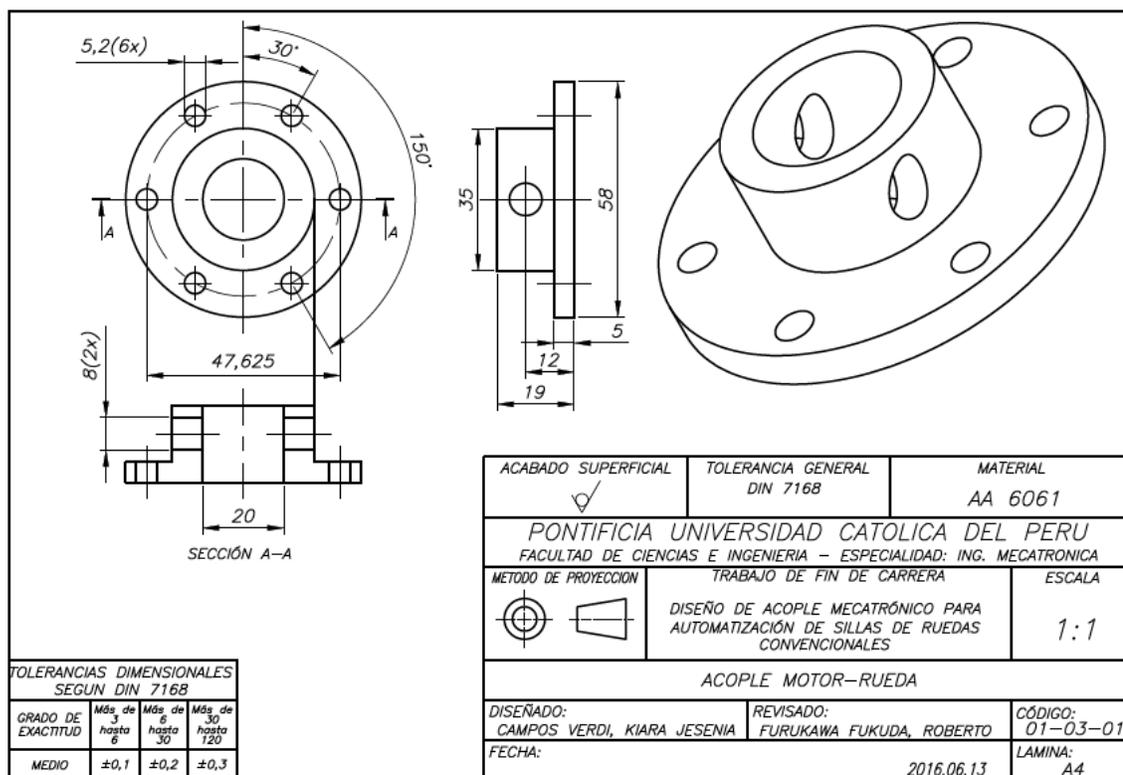


Figura 6.1.7: Plano de despiece del acople motor-rueda  
Fuente: Propia

## 6.2 Ensamble del mando

El mando se podrá acoplar a reposabrazos con base inclinada o recta cambiando la posición al colocar la estructura del mando en su acople como se muestra en la figura 6.2.1.

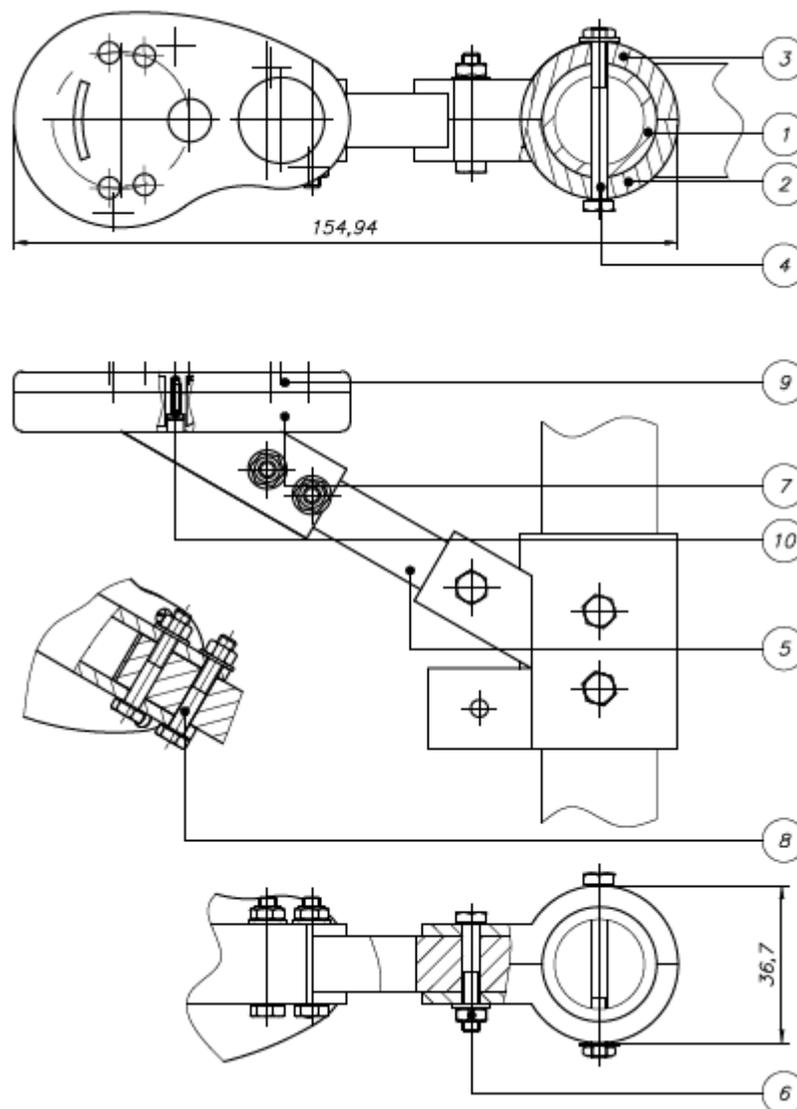
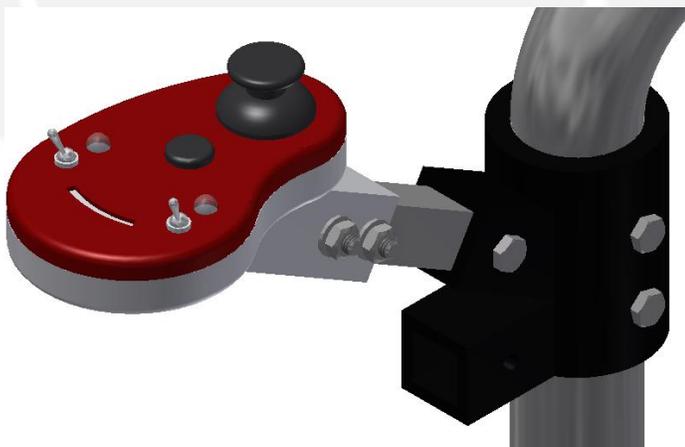


Figura 6.2.1: Plano de ensamble del mando  
Fuente: Propia

Tabla 14: Lista de componentes para el ensamble del mando

10	4	TORNILLO M2x8	ISO 1207	St	
9	1	CARCASA SUPERIOR		ABS	
8	2	TUERCA M4	DIN 24035	St	
8	2	ARANDELA A 4.3	DIN 125	St	
8	2	TORNILLO HEXAGONAL M4x25	DIN 24014	St	
7	1	CARCASA INFERIOR		ABS	
6	1	TUERCA M4	DIN 24032	St	
6	1	ARANDELA A 4.3	DIN 125	St	
6	1	TORNILLO HEXAGONAL M4x25	DIN 24014	St	
5	1	ESTRUCTURA DEL MANDO		AA 6061	02-03
4	2	TUERCA M4	DIN 24035	St	
4	2	ARANDELA A 4.3	DIN 125	St	
4	2	TORNILLO HEXAGONAL M4x40	DIN 24014	St	
3	1	ACOPLE MANDO 2		ABS	02-02
2	1	ACOPLE MANDO 1		ABS	02-01
1	1	REPOSABRAZO DE SILLA DE RUEDAS			
POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

Fuente: Propia

Figura 6.2.2: Vista isométrica del ensamble del mando  
Fuente: Propia

### 6.2.1 Acople mando 1

El acople mando 1 es la mitad izquierda del acople mando 2 para el reposabrazos como se puede observar en la figura 6.2.3

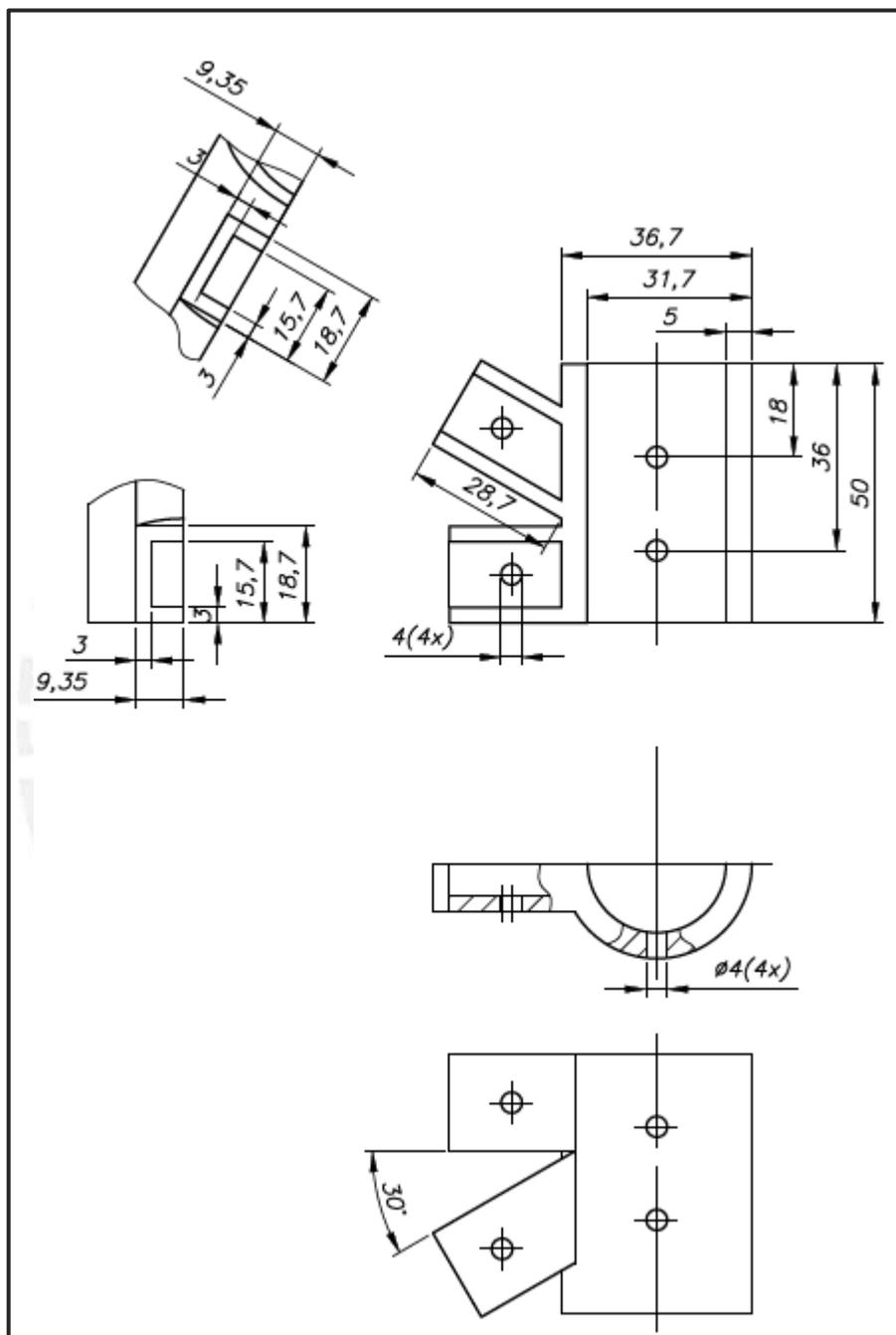


Figura 6.2.3: Plano de despiece del acople mando 1  
Fuente: Propia

### 6.2.2 Acople mando 2

El acople mando 1 es la mitad derecha del acople para el reposabrazos como se puede observar en la figura 6.2.4

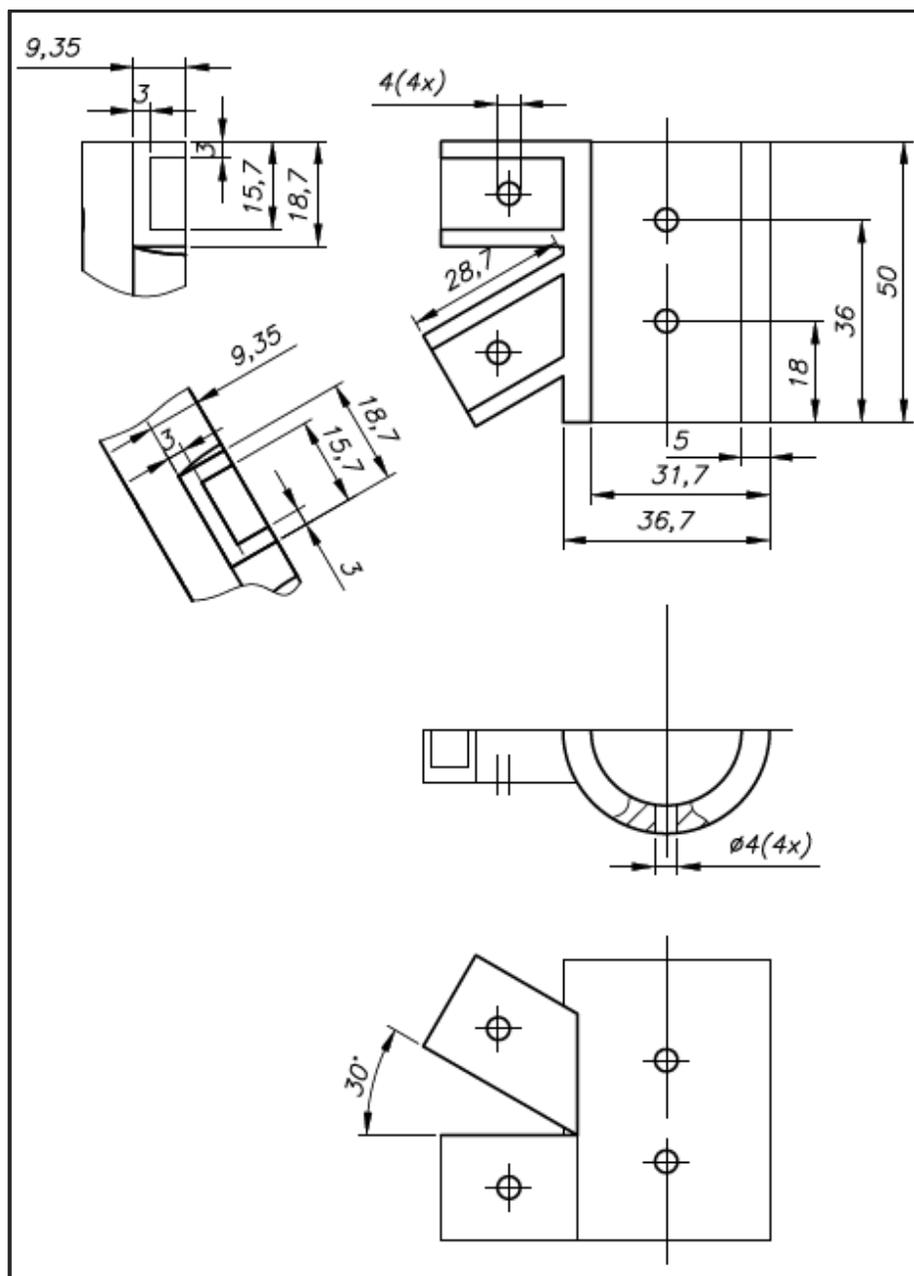


Figura 6.2.4: Plano de despiece del acople mando 2

Fuente: Propia

### 6.2.3 Estructura del mando

La estructura del mando mostrado en la figura 6.2.4 será un perfil estructural de aluminio el cual se colocará entre el mando y el acople para el reposabrazos.

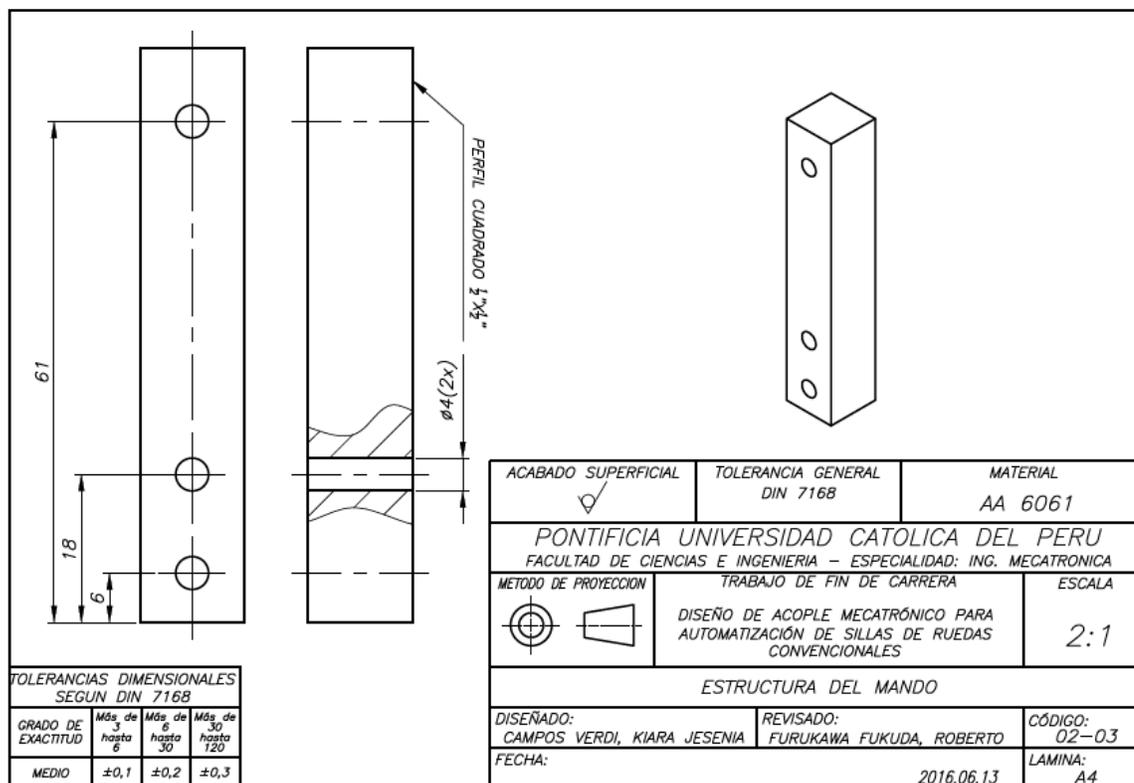


Figura 6.2.5: Plano de despiece de la estructura del mando

Fuente: Propia

### 6.2.4 Carcasa superior

El mando superior junto con el inferior contendrá los botones, switches y el display de carga para la batería como se puede observar en la figura 6.2.6

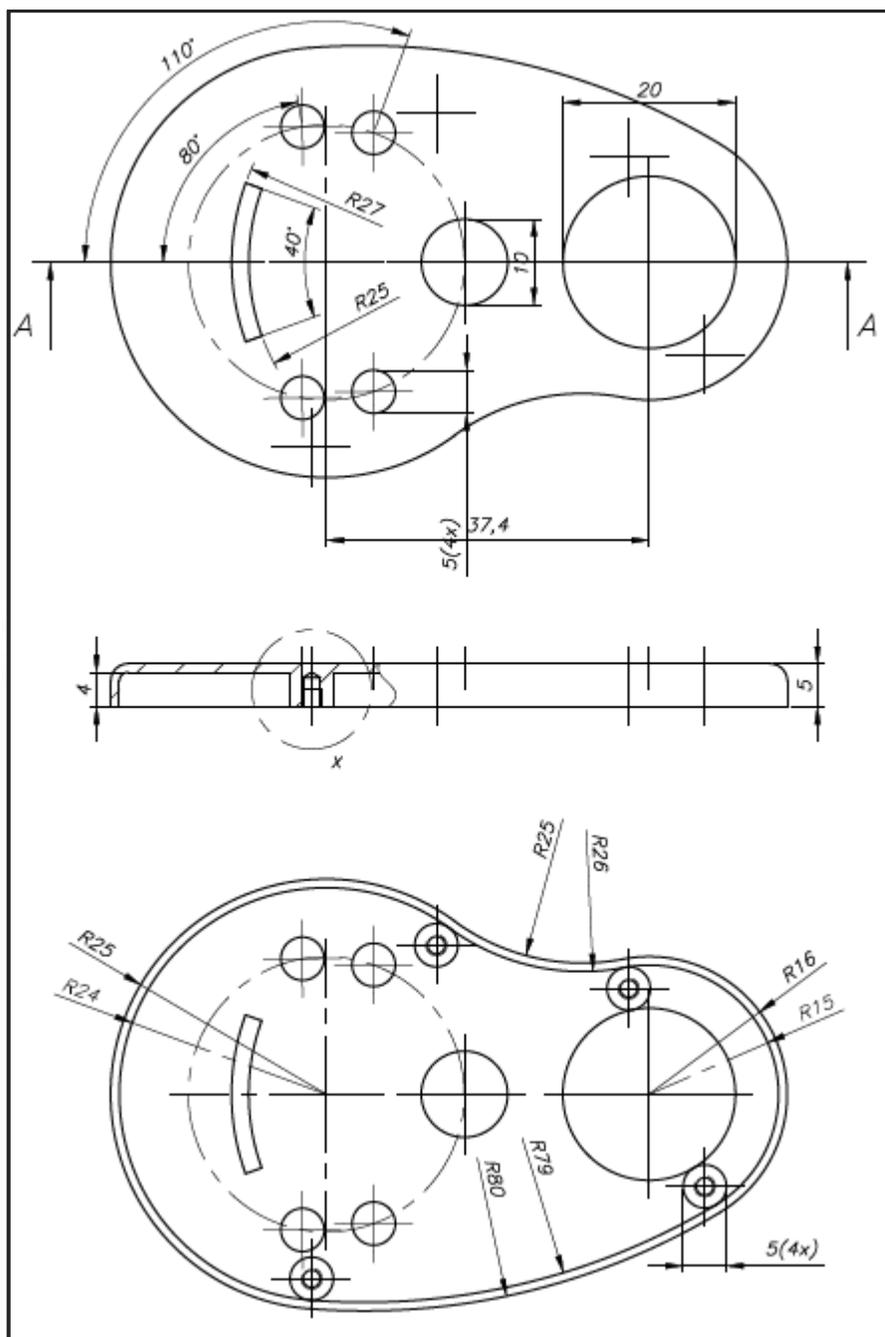


Figura 6.2.6: Parte del plano de despiece de la carcasa superior  
Fuente: Propia



Figura 6.2.7: Vista isométrica de la carcasa superior  
Fuente: Propia

### 6.2.5 Carcasa inferior

El mando inferior, como se puede observar en la figura 6.2.6, servirá de base para el mando además de poseer un agujero para colocar la estructura del mando.



Figura 6.2.8: Vista isométrica de la carcasa inferior  
Fuente: Propia

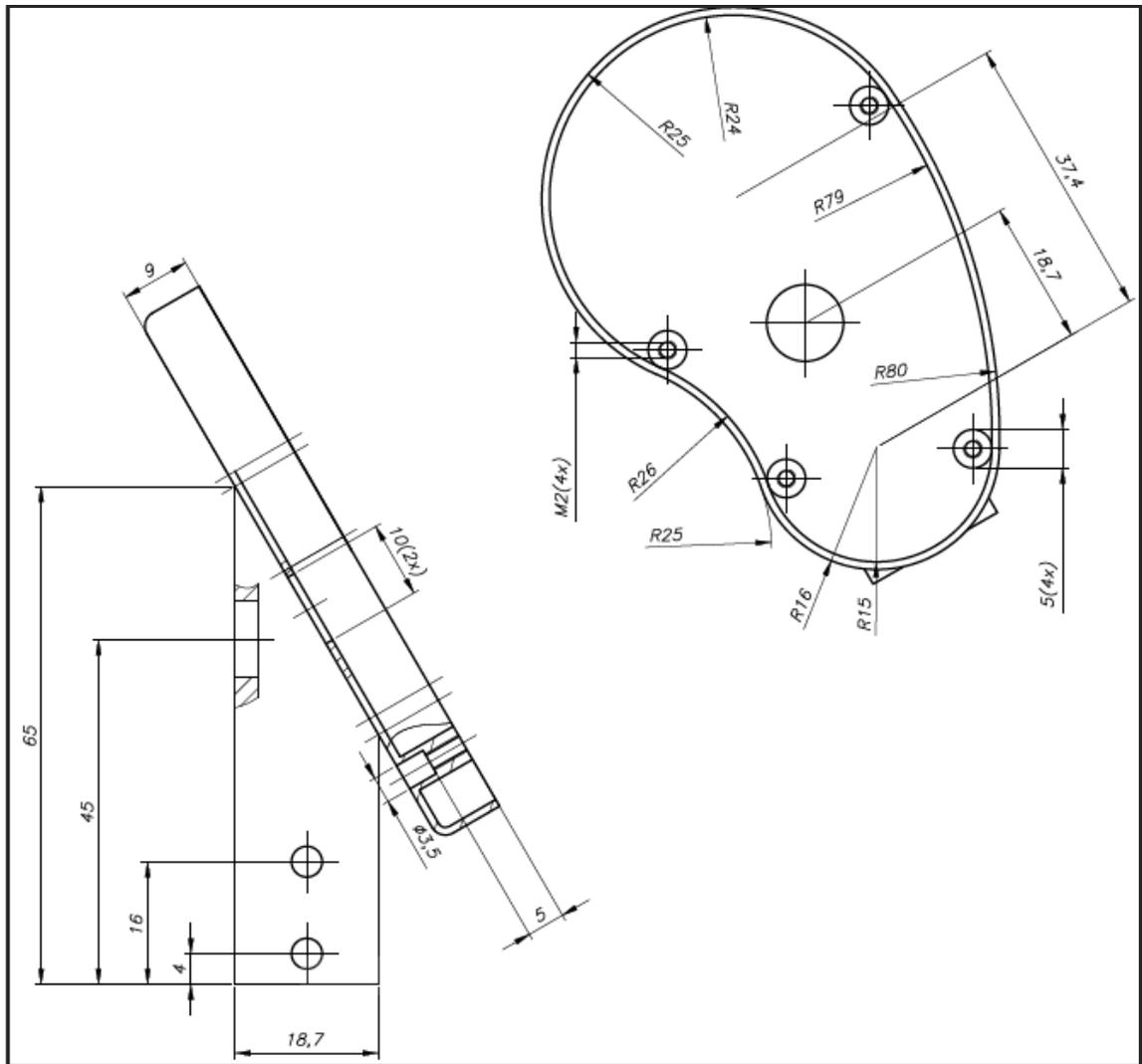


Figura 6.2.9: Parte del plano de despiece de la carcasa inferior  
Fuente: Propia

### 6.3 Ensamble soporte electrónico

El ensamble del soporte para la parte electrónica mostrado en la figura 6.3.1 contendrá a las dos baterías, el microcontrolador, el sensor ultrasónico, el controlador de los motores, el botón de encendido entre otros.

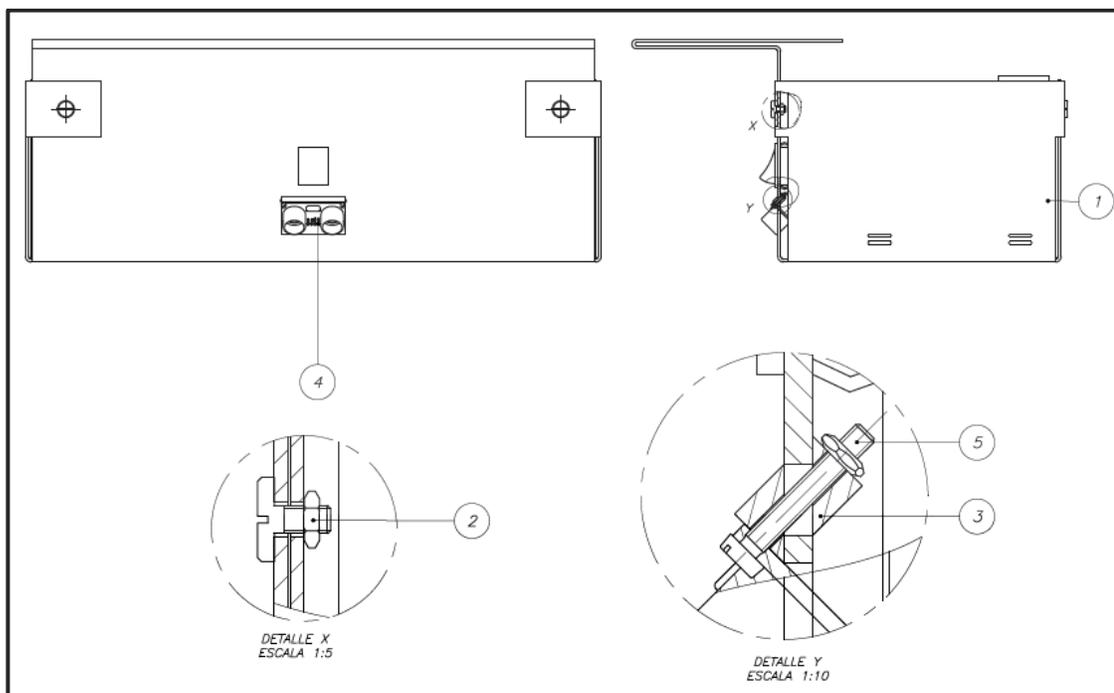


Figura 6.3.1: Plano del ensamble soporte electrónico  
Fuente: Propia

Tabla 15: Lista de componentes para el ensamble soporte electrónico

5	2	TUERCA M1.8	DIN 439-2	St	
5	2	TORNILLO M1.8x12	DIN 84	St	
4	1	SENSOR ULTRASÓNICO			ELECFREAKS
3	2	SOPORTE ULTRASÓNICO			03-02
2	4	TUERCA M4	ISO 4035	St	
2	4	TORNILLO M4x8	DIN 921	St	
1	1	SOPORTE ELECTRÓNICO			03-01
POS.	CANT.	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

Fuente: Propia

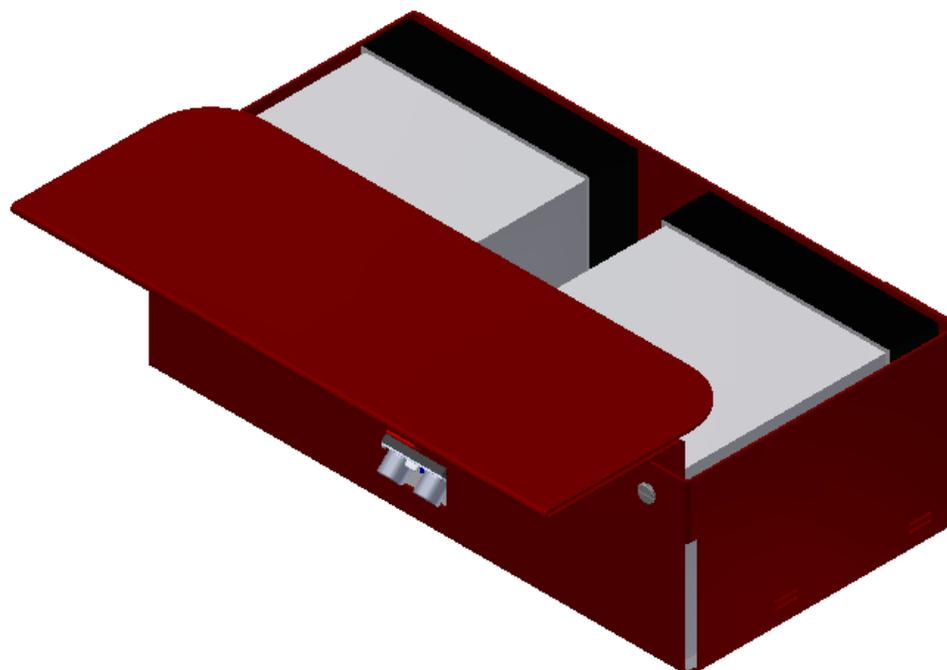
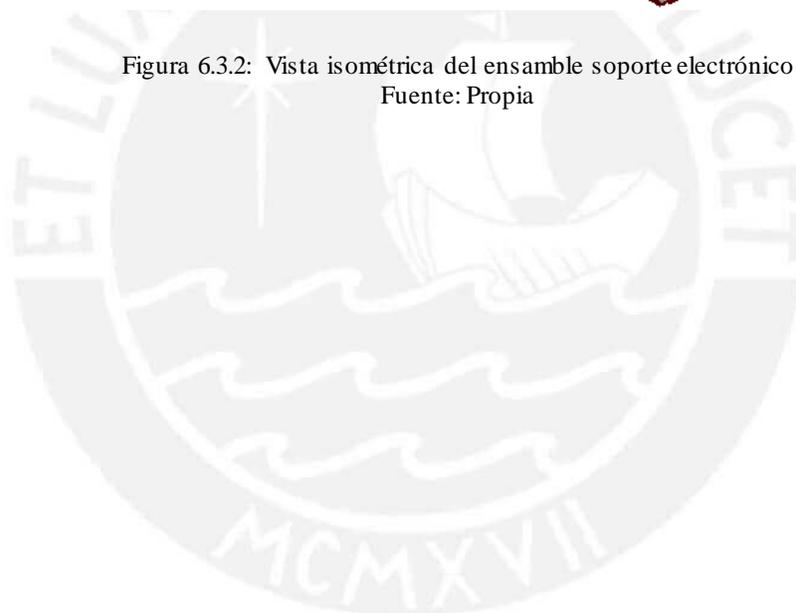


Figura 6.3.2: Vista isométrica del ensamble soporte electrónico  
Fuente: Propia



### 6.3.1 Soporte electrónico

El soporte para la parte electrónica constará de una plancha de aluminio de 2mm de espesor la cual se doblará para formar una 'caja'.

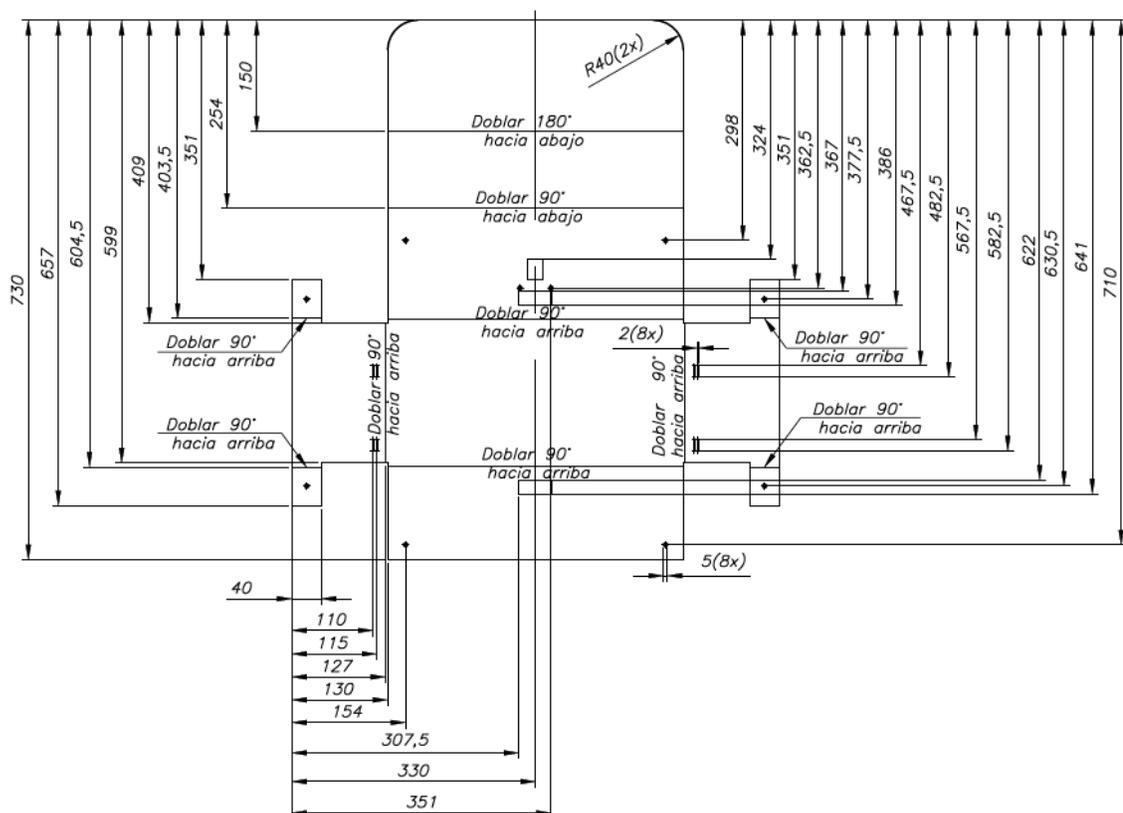


Figura 6.3.3: Parte del plano de despiece del soporte electrónico  
Fuente: Propia

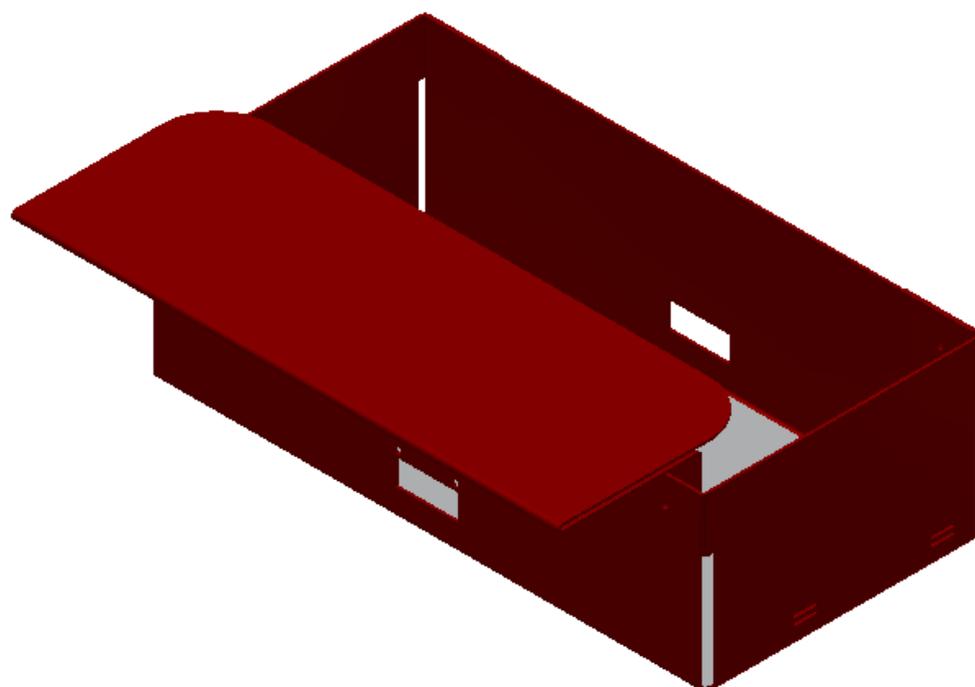


Figura 6.3.4: Vista isométrica del soporte electrónico  
Fuente: Propia

### 6.3.2 Soporte ultrasónico

El soporte para el sensor ultrasónico servirá para darle una inclinación con el fin de medir la distancia en diagonal y poder ‘percibir’ si existe un desnivel.

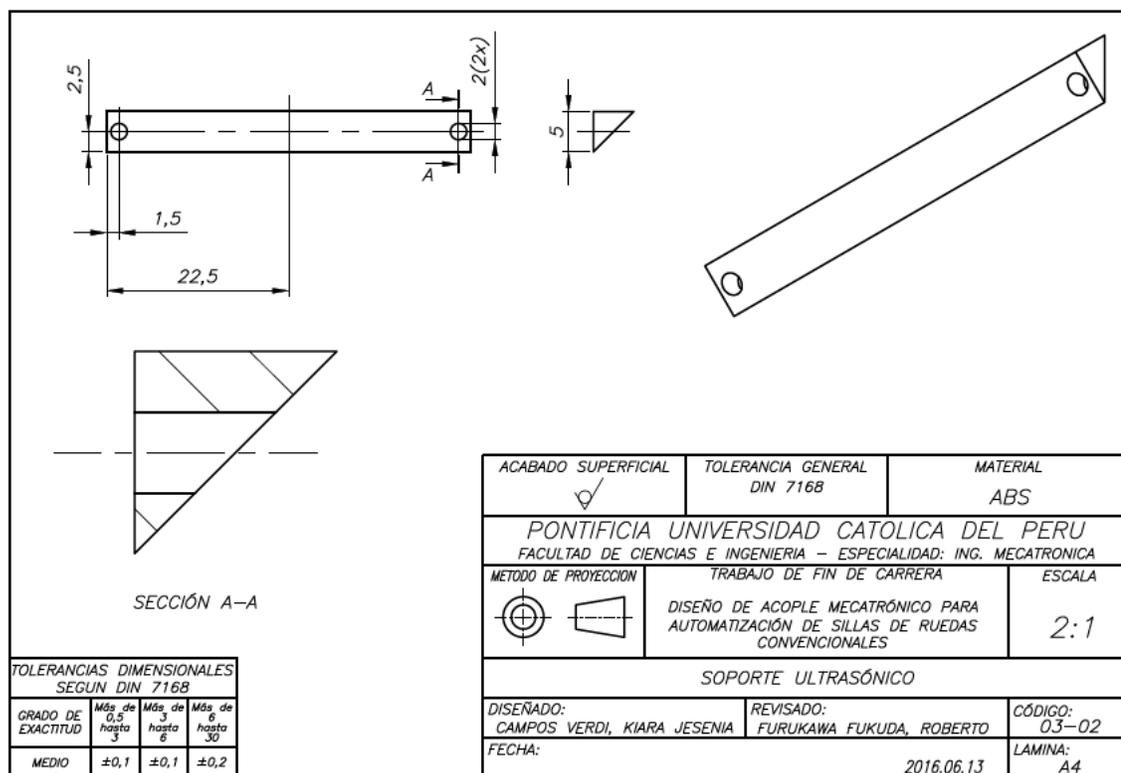


Figura 6.3.5: Plano de despiece del soporte ultrasónico  
Fuente: Propia

## CAPITULO 7

### ESQUEMÁTICOS

#### 7.1 Conexiones del microcontrolador

El Arduino Mega se conectará a los componentes:

- Sensor de ultrasonido (HC-SR04)
- Controlador de motores (Sabertooth 2x25)
- Módulo Bluetooth (HC-06 FC-114)
- Joystick (KY-023 XY)
- 2 LED's RGB (Para visualizar la velocidad y el modo del sistema)
- 1 Pulsador (Botón de parada)
- 2 Toggle switches (Cambiar la velocidad y modo del sistema)

El microcontrolador no se alimentará directamente de las baterías sino de un regulador de voltaje (POLOLU 7.5V 2.5A) que tendrá a su salida 7.5V, valor aceptable para la energización de éste. En la figura 7.1.1, se puede observar la etiqueta de dicho voltaje en el pin VIN.

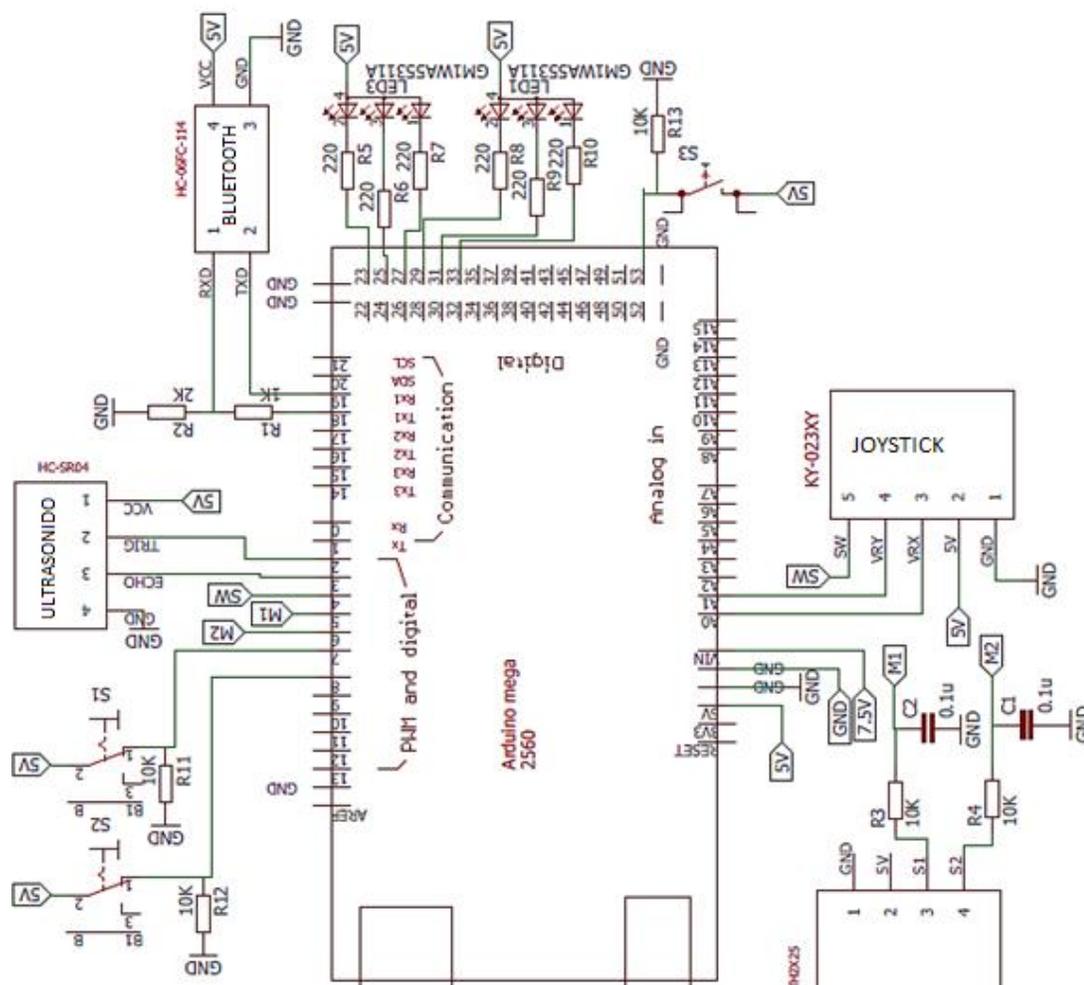


Figura 7.1.1: Parte del esquemático general correspondiente al Arduino Mega y sus conexiones  
Fuente: Propia

## 7.2 Conexión de los LED's RGB

Como los LED's usados son del tipo ánodo común (+), se conectan a 5V, esto se puede observar en la figura 7.1.1; en este caso, no se conectarán a la salida de PWM del Arduino sino a las digitales ya que se manejarán solamente 4 colores: azul (0, 0, 255), verde (0, 255, 0), rojo (255, 0, 0) y amarillo (255, 255, 0).

### 7.3 Conexión eléctrica

Las 2 baterías de ácido plomo (Yuasa52515) se conectarán en serie y a su vez a los siguientes componentes:

- Controlador de motores (Sabertooth 2x25)
- Regulador de voltaje (POLOLU 7.5V 2.5A)
- Indicador de estado de batería (RL-BI003)

En la figura 7.3.1 se puede observar el arreglo en serie de las baterías el cual se conecta en paralelo con los elementos mencionados; además se pueden distinguir las etiquetas 7.5V y GND las cuales van directo al microcontrolador para su alimentación.

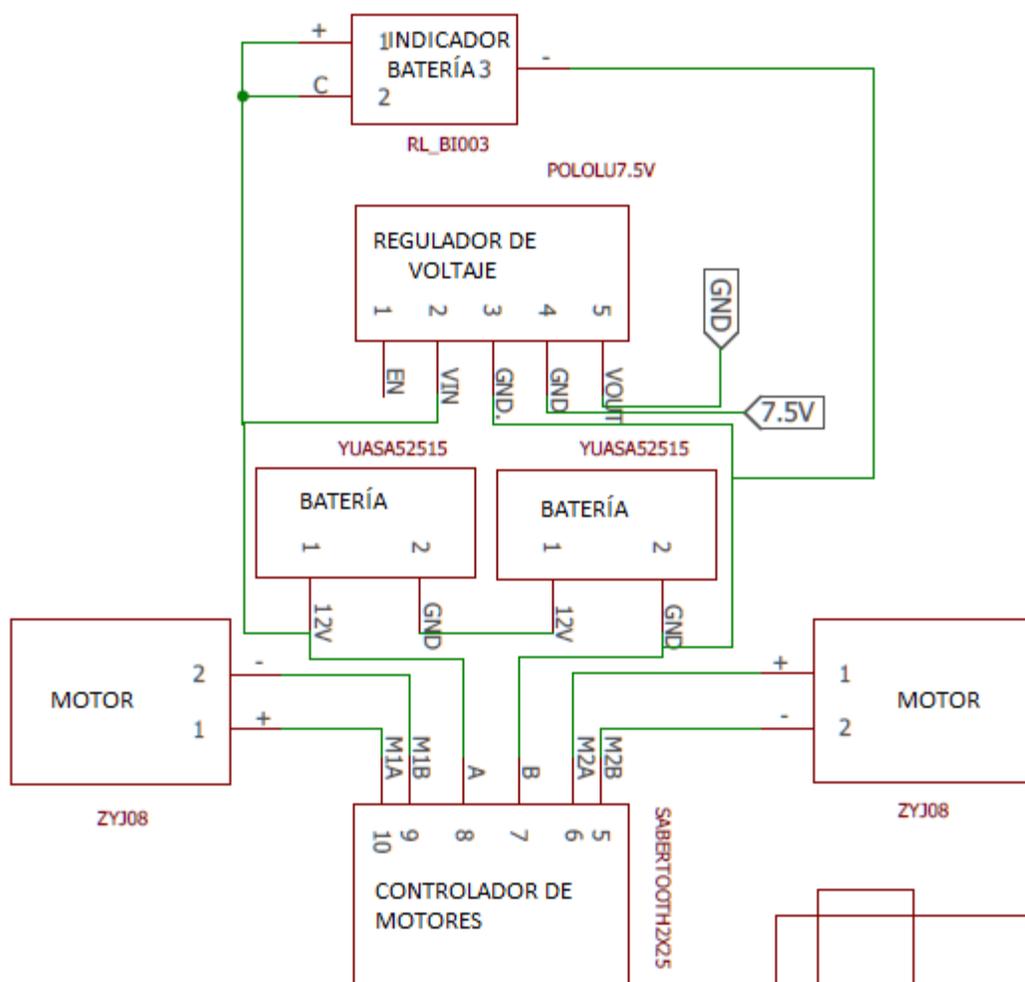


Figura 7.3.1: Parte del esquemático general correspondiente a la conexión eléctrica  
Fuente: Propia



## CAPÍTULO 8

### DIAGRAMAS DE FLUJO

#### 8.1 Lógica de funcionamiento

La inclinación será medida a través del smartphone ubicado en la banda abdominal. Éste traducirá esa información en direcciones para el movimiento del sistema las cuales se enviarán vía bluetooth al microcontrolador. El estado del interruptor de palanca determinará dos tipos de velocidades (1.3m/s y 0.6m/s).



Figura 8.1.1: Diagrama de control lazo abierto del sistema  
Fuente: Propia

#### 8.2 Diagrama de flujo del sistema

El sistema tendrá 3 modos importantes: 'Joystick', 'Calibración' y 'Banda'. En el primero se leerá la velocidad (1.3m/s o 0.6m/s) que se asignará con un toggle switch, luego leerá la posición x e y del joystick para determinar la dirección de movimiento. En el modo 'Calibración' se configurará y realizará en el mismo celular mediante una aplicación móvil; ésta rutina tendrá como paso principal el colocar el celular en una superficie plana y sensor esa posición (método usado en la calibración de mandos de videojuegos). Como último, en 'Banda' verificará que exista una conexión entre el Arduino Mega y el celular del usuario, leerá la velocidad mediante la posición del toggle switch y recibirá la inclinación del celular lo cual servirá para direccionar el movimiento del sistema. En éste último caso no se podrá retroceder.

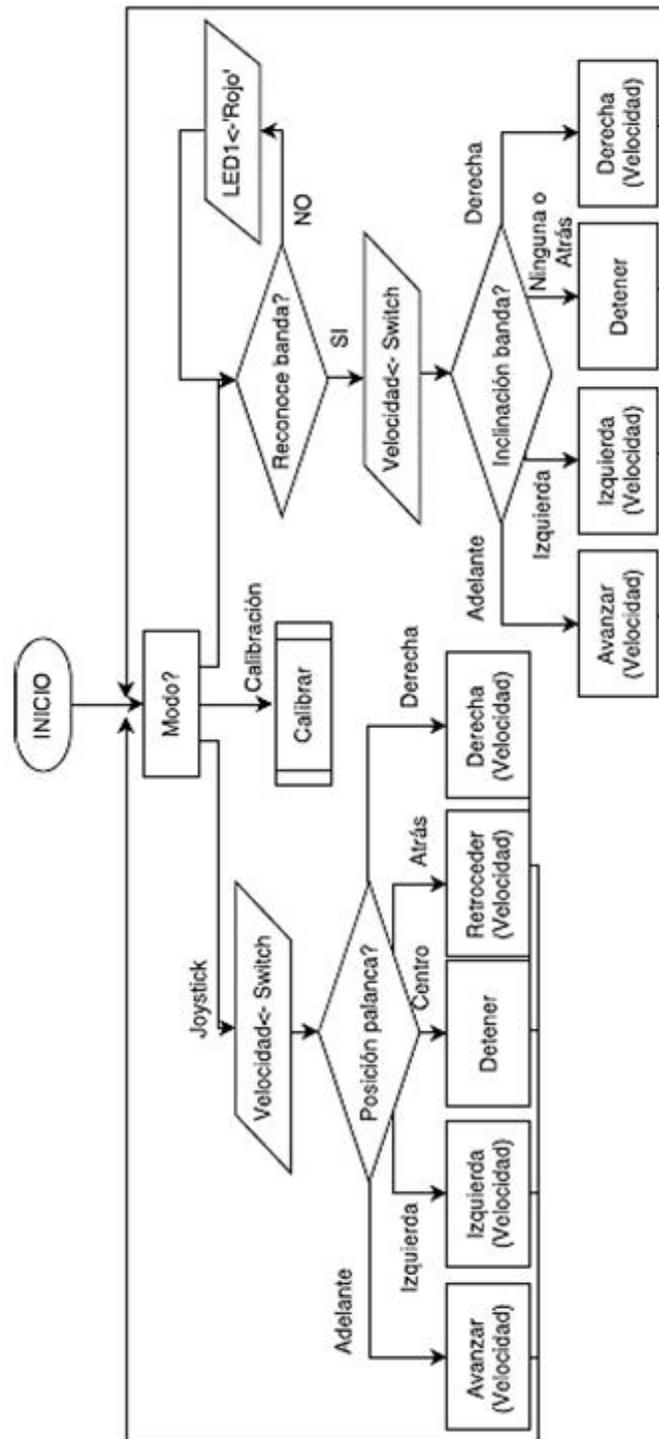


Figura 8.2.1: Diagrama de flujo del sistema  
Fuente: Propia

### 8.3 Interrupción ante desnivel

Cuando se sensa una distancia al piso mayor a la esperada, el sistema se detendrá y el color del LED asignado para mostrar la velocidad actual se cambiará a rojo para que el usuario pueda identificar la razón de la interrupción. Luego, se retrocederá durante 2000ms para que el usuario tenga espacio suficiente para girar y evitar el desnivel.

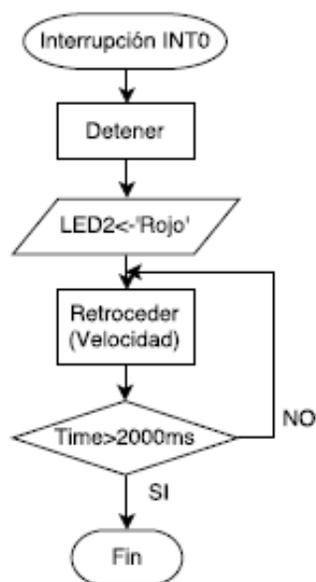


Figura 8.3.1: Diagrama de flujo de interrupción ante desnivel  
Fuente: Propia

### 8.4 Interrupción ante botón de parada

En el mando se colocará un botón para detener el avance se forma inmediata sin importar lo que está haciendo el sistema en ese momento. La interrupción continuará mientras no se suelte ése botón.

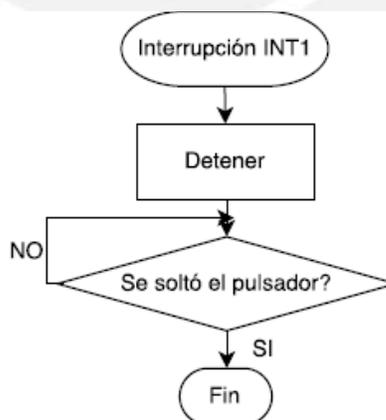


Figura 8.4.1: Diagrama de flujo de interrupción de botón de parada  
Fuente: Propia

## CAPÍTULO 9

### PRESUPUESTO

#### 9.1 Componentes mecánicos

Tabla 16: Presupuesto de los componentes mecánicos para el ensamble del acople

Componente	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Motor	2	232.22	464.44
Rueda	2	122.16	244.32
Acople	2	14.50	29.00
Pinza	4	22.75	91.00
Estructura superior	2	32.50	65.00
Estructura inferior	2	35.50	35.50
TORNILLO HEXAGONAL M6X35	4	0.80	3.20
ARANDELA A 6	4	0.70	3.20
TUERCA M6	8	0.80	6.40
TORNILLO HEXAGONAL M5x35	2	0.80	1.60
ARANDELA A5	2	0.70	1.40
TUERCA M5	4	0.80	3.20
TORNILLO 10x3	6	1.00	6.00
ARANDELA A 5.3	6	0.70	4.30
TUERCA 10-32	6	1.00	6.00
PIN A 8x30	2	2.00	4.00
TORNILLO HEXAGONAL M5X55	12	0.80	9.60
ARANDELA A 5.3	12	0.70	8.40
TUERCA M5	12	0.80	9.60
		Total (S/)	996.16

Fuente: Propia

Tabla 17: Presupuesto de los componentes mecánicos para el ensamble del mando

Componente	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Acople mando 1	1	21.24	21.24
Acople mando 2	1	21.24	21.24
Estructura del mando	1	12.50	25.00
Carcasa inferior	1	15.93	15.93
Carcasa superior	1	26.55	26.55
TORNILLO HEXAGONAL M4x40	2	0.50	1.00
ARANDELA A 4.3	2	0.50	1.00
TUERCA M4	2	0.50	1.00
TORNILLO HEXAGONAL M4x25	3	0.50	1.50
ARANDELA A 4.3	3	0.50	1.50
TUERCA M4	3	0.50	1.50
TORNILLO 2x8	4	0.20	0.80
		Total (S/)	118.26

Fuente: Propia

Tabla 18: Presupuesto de los componentes mecánicos para el ensamble del soporte para electrónica

Componente	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Soporte electrónico	1	23.00	23.00
Soporte ultrasónico	1	3.54	3.54
TORNILLO M4x8	4	0.50	2.00
TUERCA M4	4	0.50	2.00
Total (S/)			30.54

Fuente: Propia

## 9.2 Componentes electrónicos

Tabla 19: Presupuesto de los componentes electrónicos

Componente	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Arduino Mega 2560 Rev 3	1	130	130
Joystick KY-023 XY	1	5.25	5.25
Sensor ultrasónico HC-SR04	1	4.26	4.26
Módulo Bluetooth HC-06 FC-114	1	26.38	26.38
Controlador de motor SaberTooth 2x25	1	432.46	432.46
Regulador de voltaje Pololu 7.5V 2.5A	1	36.32	36.32
Indicador de estado de batería RL-BI003	1	59.39	59.39
Toggle switch	2	2.50	5.00
Botón pulsador	1	5.00	5.00
LED RGB	2	0.30	0.60
Resistencia 10k $\Omega$	5	0.10	0.50
Resistencia 1k $\Omega$	1	0.10	0.10
Resistencia 2k $\Omega$	1	0.10	0.10
Resistencia 220 $\Omega$	6	0.10	0.60
Capacitancia 0.1 $\mu$ F	2	0.90	1.80
Total (S/)			707.76

Fuente: Propia

## 9.3 Costo de ingeniería

Tabla 20: Costo de ingeniería

Componente	P. Total
Diseño mecánico	2700
Diseño electrónico	2300
Programación	2300
Implementación del sistema	1000
8300	

Fuente: Propia

El costo total de los componentes mecánicos y electrónicos sería de S/ 1852.72

## CAPÍTULO 10

### CONCLUSIONES

- Se concluye que el diseño del acople mecatrónico propuesto es capaz de adaptarse con una gran variedad de sillas de ruedas, porque se fija en lugares que no cambian de forma entre los diferentes modelos como lo son: el tubo perpendicular al finalizar el asiento, la lona del asiento, y el reposabrazos.
- La estructura mecánica ha sido diseñada especialmente para marcos de tubos de  $\frac{3}{4}$ " (acople del mando 1 y 2) la cual es la medida más común en sillas de ruedas presentes en mercado, sin embargo, se concluye que se puede acoplar a otros tamaños de tubos solamente modificando el diámetro de las 2 piezas mencionadas anteriormente.
- El sistema permite un mando adicional al joystick el cual se logra con un celular incluido en una banda abdominal lo cual dota de mayor libertad a usuario sobre todo en las manos.
- El costo estimado para este proyecto es de S/1852.72 el cual es menor al costo promedio de una silla de ruedas eléctrica (\$1800) señalado en el capítulo de objetivos y requerimientos. Además, se podría asumir que este costo es asequible para las personas del sector socioeconómico B y C.
- El sistema diseñado no sólo se restringe al acople en sillas de ruedas, también podría tener otras aplicaciones en un coche de bebé, carrito de compras, racks con ruedas entre otros. La versatilidad en el uso de un celular de forma inalámbrica dota de un control remoto casi universal con o sin el uso de la banda abdominal que sirve para fijar el celular al cuerpo del usuario.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] OMS (2016). “Discapacidades”.

<http://www.who.int/topics/disabilities/es/>

[2] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRÁFICA E INFORMÁTICA (S/F). “Clasificación de tipo de discapacidad”.

[http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/aspectosmetodologicos/clasificadoresycatalogos/doc/clasificacion\\_de\\_tipo\\_de\\_discapacidad.pdf](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/aspectosmetodologicos/clasificadoresycatalogos/doc/clasificacion_de_tipo_de_discapacidad.pdf)

[3] OMS (S/F). “Pautas para el suministro de sillas de ruedas manuales en entornos de menores recursos”.

[http://www.who.int/disabilities/publications/technology/wheelchairguidelines\\_sp\\_finalforweb.pdf](http://www.who.int/disabilities/publications/technology/wheelchairguidelines_sp_finalforweb.pdf)

[4] IMAGINA (2016). “Biomecánica de una silla de ruedas”.

[http://www.imagina.org/files/Biomecanica\\_de\\_una\\_silla\\_de\\_ruedas.pdf](http://www.imagina.org/files/Biomecanica_de_una_silla_de_ruedas.pdf)

[5] LOH MEDICAL (2015). “¿Tu país cuenta con los pasos básicos para suministro de sillas de ruedas?”.

<http://www.lohmedical.com/es/noticias/tu-pa%C3%ADs-cumple-con-los-pasos-b%C3%A1sicos-para-suministro-de-sillas-de-ruedas-de-la-oms>

[6] APEIM (2015). “Niveles socioeconómicos 2015”.

<http://www.apeim.com.pe/wp-content/themes/apecim/docs/nse/APEIM-NSE-2015.pdf>

[7] RODEM (S/F). “Lomo litio”.

<http://www.rodem.es/index.php/productos/handbikes/e%C3%A9ctricas/lomo-litio-detalle>

[8] OGO TECHNOLOGY (2015). “Want to get your hands on an Ogo?”.

<http://ogotechnology.com/gallery.html>

[9] HALLOMOTOR (2016). “24V 180W 8” Brushless Electric Wheelchair Conversion Kits with Electric Magnet Braking”.

<http://www.hallomotor.com/24v-180w-8-inch-brushless-electric-wheelchair-conversion-kits-with-electric-magnet-braking.html>

[10] HALLOMOTOR (2016). “24V 180W 24” Brushless electric Wheelchair Conversion Kits with Electric Magnet Braking”.

<http://www.hallomotor.com/24v-180w-24-inch-brushless-electric-wheelchair-conversion-kits-with-electric-magnet-braking.html>

[11] GIZMAG (2009). “Toyota makes a wheelchair steered by brain waves”.

<http://www.gizmag.com/toyota-wheelchair-powered-brain-waves/12121/>

[12] TELAM (2014). “Estudiantes desarrollan una silla de ruedas que se conduce con la voz o inclinando la cabeza”.

<http://www.telam.com.ar/notas/201406/68954-estudiantes-desarrollan-una-silla-de-ruedas-que-se-conduce-con-la-voz-o-inclinando-la-cabeza.html>

[13] HECHOS\_TV (2009). “Crea estudiante de Tabasco silla de ruedas”.

<https://www.youtube.com/watch?v=5hStTeCj7sU>

[14] IEEE (2016). “Motion capture and activity tracking using Smartphone-driven body sensor networks”.

<http://ieeexplore.ieee.org.ezproxybib.pucp.edu.pe:2048/xpls/icp.jsp?arnumber=6653712>

[15] MI (2015). “Mi Band”.

<http://www.mi.com/en/miband/#01>

[16] GOOGLE PATENTS (2009). “Electric wheel-chair control device with MP4”.

<https://patents.google.com/patent/CN201227369Y/en?q=wheelchair&q=control&page=1>

[17] MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO (S/F). “Norma A.010 Condiciones Generales de Diseño”.

[http://www.vivienda.gob.pe/documentos/documentos\\_ds\\_010/2/NORMA\\_FINAL.pdf](http://www.vivienda.gob.pe/documentos/documentos_ds_010/2/NORMA_FINAL.pdf)

[18] THE STRUCTURAL ENGINEER (S/F). “Frequency and velocity of people walking”.

<https://www.istructe.org/journal/volumes/volume-83-%28published-in-2005%29/issues/issue-3/articles/frequency-and-velocity-of-people-walking>