

ABSTRACT

El presente informe trata sobre el diseño y la implementación de un prototipo de bipedestador motorizado (BIMO), en el marco de la asignatura 31.58 Proyecto Mecatrónico, de la Universidad Tecnológica de Buenos Aires.

El BIMO ha sido concebido para prestar asistencia motriz a personas con paraplejia. El objetivo es que los usuarios ganen independencia al poder sentarse y erguirse libremente, y a la vez trasladarse en un único dispositivo. Paralelamente se logra la ejercitación y movilidad de piernas, necesarias para el usuario.

La implementación del prototipo ha demostrado el gran potencial y la utilidad del BIMO. A través de la cooperación con especialistas y potenciales usuarios se han detectado virtudes y defectos del diseño, sembrando el terreno para un diseño final del dispositivo que aporte gran valor a la sociedad y calidad de vida a personas discapacitadas.

ÍNDICE

1. CONCEPCIÓN	6
1.1. PRESENTACIÓN INICIAL DEL PROYECTO.....	6
1.2. SOLUCIONES DISPONIBLES EN EL MERCADO	7
1.3. CONSULTA A ESPECIALISTAS EN REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON DISCAPACIDADES FÍSICAS.....	9
1.3.1. <i>Dispositivos existentes en centros de rehabilitación</i>	9
1.3.2. <i>Resultados de la consulta a especialistas</i>	10
1.4. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	10
1.5. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO.....	10
2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	11
2.1. USUARIO POTENCIAL	11
2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DISPOSITIVO	11
2.3. ESTRUCTURA MECÁNICA.....	11
2.3.1. <i>Mecanismo de elevación</i>	11
2.3.2. <i>Sujeción del usuario</i>	12
2.4. MÓDULO DE TRACCIÓN.....	13
2.5. MÓDULO DE FUENTE DE ENERGÍA.....	13
2.6. MÓDULO DE CONTROL DE MOVIMIENTO.....	13
2.7. ELEMENTOS DE SEGURIDAD E HIGIENE	13
3. DISEÑO	14
3.1. DISEÑO PRELIMINAR.....	14
3.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA.....	16
3.2.1. <i>Estructura superior y mecanismo de barras paralelas</i>	16
3.2.1.1. Análisis de las dimensiones antropométricas en adultos	16
3.2.1.2. Diseño de la estructura superior y del mecanismo de barras paralelas	18
3.2.1.3. Cálculo de las cargas aplicadas a los elementos	21
3.2.1.4. Dimensionamiento de los elementos	25
3.2.1.5. Dimensionamiento de las uniones.....	32
3.2.2. <i>Elemento de asistencia para la elevación del usuario: resorte a gas</i>	33
3.2.2.1. Selección del tipo de actuador utilizado	33
3.2.2.2. Investigación de mercado sobre resortes a gas	34
3.2.2.3. Cálculo de fuerzas y ubicación del resorte en el dispositivo	35

3.2.2.4. Resorte utilizado	36
3.2.3. Estructura inferior: Base del dispositivo.....	37
3.2.3.1. Diseño del tren delantero	37
3.2.3.2. Diseño de la estructura central de la base	38
3.2.3.3. Diseño de los apoyos para los pies	41
3.2.3.4. Diseño del tren trasero	43
3.2.3.5. Diseño de las ruedas	43
3.2.3.6. Dimensionamiento de los perfiles de la base	45
3.2.3.7. Dimensionamiento de las ruedas	49
3.2.4. Sujeción del usuario	52
3.2.4.1. Arnés de sujeción y sistema de ajuste	52
3.2.4.2. Pechera	53
3.2.4.3. Contención de las rodillas	53
3.2.4.4. Contención de los talones.....	53
3.3. DISEÑO DEL MÓDULO DE TRACCIÓN	55
3.3.1. Tren delantero.....	55
3.3.2. Motores.....	56
3.3.2.1. Introducción.....	56
3.3.2.2. Parámetros de los motores.....	57
3.3.2.3. Consumo de corriente	57
3.3.3. Drivers de los motores.....	59
3.3.3.1. Requerimientos de los drivers	59
3.3.3.2. Selección de los drivers.....	59
3.3.3.3. Placa electrónica de los Drivers	61
3.3.4. Modulación PWM para control de potencia de los motores	68
3.4. DISEÑO DEL MÓDULO DE FUENTE DE ENERGÍA	70
3.4.1. Introducción	70
3.4.2. Selección de las baterías	71
3.4.3. Carga de las baterías	74
3.4.4. Indicación de estado de carga de baterías.....	74
3.5. DISEÑO DE MÓDULO DE CONTROL DE MOVIMIENTO	75
3.5.1. Hardware	75
3.5.1.1. Resumen de hardware	75
3.5.1.2. Encendido/apagado del dispositivo	76
3.5.1.3. Indicadores luminosos del dispositivo	76
3.5.1.4. Placa Madre	77
3.5.1.5. Joystick.....	85

3.5.1.6. Fines de carrera	88
3.5.1.7. Control remoto	88
3.5.2. Software	88
3.6. DISEÑO DE ELEMENTOS DE SEGURIDAD E HIGIENE	91
3.6.1. Freno mecánico	91
3.6.2. Freno electrónico	91
3.6.3. Parada de emergencia	92
3.6.4. Desmontabilidad de partes en contacto con el usuario	92
4. IMPLEMENTACIÓN	93
4.1. CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO EN MADERA	93
4.1.1. Objetivo	93
4.1.2. Lineamientos	93
4.1.3. Implementación del prototipo de madera	94
4.2. IMPLEMENTACIÓN LA ESTRUCTURA MECÁNICA	95
4.2.1. Estructura superior y mecanismo de barras paralelas	95
4.2.1.1. Conjunto apoyo tibial	95
4.2.1.2. Conjunto columna	96
4.2.1.3. Mecanismo	97
4.2.1.4. Manijas	97
4.2.1.5. Pechera	98
4.2.2. Elemento de asistencia para la elevación del usuario	98
4.2.3. Estructura inferior: Base del dispositivo	99
4.2.3.1. Tren delantero	99
4.2.3.2. Estructura central de la base	101
4.2.3.3. Apoyos para los pies	102
4.2.3.4. Tren trasero	102
4.2.3.5. Ruedas	103
4.2.4. Sujeción del usuario	103
4.2.4.1. Arnés de sujeción y sistema de ajuste	103
4.2.4.2. Pechera	104
4.2.4.3. Contención de las rodillas	104
4.2.4.4. Contención de los talones	105
4.3. IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE TRACCIÓN	106
4.3.1. Motores	106
4.3.2. Drivers de los motores	106
5. PRUEBAS	109

5.1. PRUEBAS CON EL PROTOTIPO DE MADERA	109
5.2. PRUEBAS DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA.....	109
5.3. PRUEBAS DEL MÓDULO DE TRACCIÓN.....	112
6. CONCLUSIONES	113
6.1. CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS CON EL PROTOTIPO EN MADERA	113
6.2. CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA	114
6.3. CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS DEL MÓDULO DE TRACCIÓN	116
7. GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	117

1. CONCEPCIÓN

1.1. Presentación inicial del proyecto

Inquietud:

- Las personas con parálisis de los miembros inferiores pierden calidad de vida e independencia.
- La inactividad lleva a que los músculos, aún funcionales, se atrofien.

Objetivos:

- Impulsar una idea que se comenzó a desarrollar recientemente y todavía no se encuentra afianzada en el mercado.
- Enfocar el proyecto con el fin de ayudar al usuario a mejorar varios aspectos que las sillas de ruedas convencionales no solucionan.
- Vincular aspectos tecnológicos con la medicina.

Ventajas:

- El proyecto cuenta con un gran apoyo de profesionales (médicos y psicólogos)
- A nivel nacional es una idea completamente nueva, lo cual implica un importante desafío y podría alcanzar una gran repercusión.

1.2. Soluciones disponibles en el mercado

Exoesqueleto REX

Rex es un exoesqueleto que podría permitir que los discapacitados prescindieran de las sillas de ruedas en un futuro no muy lejano. Rex soporta el peso de una persona y se maneja con un sencillo joystick que ayudará a sus usuarios a desplazarse paso a paso. Lleva siete años de desarrollo.

Lo positivo de esta solución, es que ya se lanzó en Nueva Zelanda y que próximamente estará disponible en otros países.

El inconveniente es que no puede estar al alcance de todas las personas ya que cuesta aproximadamente 150.000 dólares



Fig. 1-1 Exoesqueleto Rex

ReWalk



Fig. 1-2 Pantalón robótico Re Walk

ReWalk es una especie de pantalón robótico que permite que las personas parapléjicas puedan volver a caminar, incluso subir escaleras. El invento fue hecho por Amit Goffer, un israelí que comenzó a trabajar en la creación de los pantalones, luego de haber sufrido un accidente en 1997 que lo dejó en silla de ruedas.

El invento pesa 15 kilogramos y utiliza sensores de movimientos y articulaciones motorizadas permitiendo que cambios sutiles en el movimiento de la parte superior del cuerpo, se trasladen al movimiento de las piernas.

La duración de la batería es muy baja y solo permite 3 horas y media de uso. Se espera que sea de gran utilidad para las personas que no pueden caminar y necesitan ayuda para desplazarse, ya que cuenta con muletas que proporcionan mayor estabilidad.

Plataforma móvil: The Charriot

The Charriot se mueve en respuesta a cambios en el torso. Funciona a baterías, puede ir a una velocidad de 12m/h y competir con cualquier silla todo terreno.

Ejecutivos de la compañía dicen que la versión final permitirá a las personas colocarse dentro del dispositivo desde una posición sentada.

El costo de fabricación es de 35.000 dólares. Pero su creador Ian Herrington espera que cuando sea lanzado al mercado sea con un precio mucho más bajo, entre de 1500 a 2500 dólares.



Fig. 1-3 Plataforma The Charriot

Bipedestador Struzzo

El Struzzo es un dispositivo que permite el levantamiento hasta la postura vertical, para la transferencia y el movimiento sin restricciones.

Resulta idóneo para una utilización independiente por parte del usuario en todos los ambientes domésticos.

La incorporación se produce mediante un motor eléctrico, alimentado por baterías recargables y mediante un mando. La operación está también

respaldada por el desplazamiento del soporte torácico. Está equipado además con un joystick y dos motores, que permiten efectuar cómodas transferencias con total independencia. Se ha previsto una amplia posibilidad de regulaciones para adaptar el aparato a las medidas del usuario, en particular es adaptable a usuarios con alturas comprendidas entre los 150 y 190



Fig. 1-4 Bipedestador Struzzo

cm. El aparato puede plegarse parcialmente o desmontarse para facilitar su transporte en coche o guardado.

1.3. Consulta a especialistas en rehabilitación de pacientes con discapacidades físicas

1.3.1. Dispositivos existentes en centros de rehabilitación

El propósito de la reunión fue establecer un primer contacto y recolectar información básica para comenzar a trabajar en el proyecto de fin de carrera consistente en la fabricación de un bipedestador motorizado.

En el gimnasio de rehabilitación se pudo ver y probar un bipedestador fijo, consistente en un mecanismo de cuatro barras impulsado por un motor eléctrico con cremallera (ver Fig. 1-5). Esta máquina se usa para que los pacientes pasen un determinado tiempo por día en posición vertical. El centro cuenta con tres de estas máquinas, dos nacionales y una importada.



Fig. 1-5 Dispositivos existentes en centros de rehabilitación

1.3.2. Resultados de la consulta a especialistas

Los especialistas han explicado que el objetivo de la rehabilitación es exigir al máximo los grupos musculares aun funcionales, para no perder su funcionalidad. Por esto, si bien puede parecer más cómodo, una silla motorizada controlada por un joystick terminaría atrofiando el torso del usuario.

El desafío estará en reducir el tamaño y peso con el fin de que pueda trasladarse por sus propios medios.

1.4. Planificación del proyecto

Se utilizó para la planificación del proyecto la herramienta Diagrama de Gantt a través del software Microsoft Project (ver **Anexo 1**).

1.5. Análisis de costos del proyecto

Antes de comenzar el proyecto se analizaron los costos para evaluar si éste se ajustaba al presupuesto disponible para un Proyecto Mecatrónico. Para ello, se determinaron los materiales necesarios para la realización de las tareas planteadas en la planificación del proyecto y se investigó el precio de mercado de dichos materiales. Así, se concluyó que el Bipedestador Motorizado tendría un costo aproximado de \$15.040. La matriz de costos detallada puede verse en el **Anexo 2**.

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

2.1. Usuario potencial

El bipedestador se diseñó teniendo en cuenta a los usuarios con las siguientes características:

- Tipo de discapacidad: Paraplejia (el control de torso es necesario para que el usuario pueda mantenerse erguido y no corra riesgo de caer durante el traslado)
- Edad: 18 a 45 años.
- Peso: hasta 120kg (límite de diseño para la mayoría de dispositivos disponibles en el mercado).

2.2. Características generales del dispositivo

-Tamaño: 60cm x 60cm. Al estar pensado para desplazarse por interiores, se buscará lograr un tamaño similar a una silla de ruedas.

- Materiales: Acero, Materiales textiles, Gomas, Goma espuma
- Ambiente de uso: interiores con un desnivel de suelo máximo de 2cm.
- Máxima pendiente: 5°
- Piezas intercambiables para adaptarse a cuatro grupos de usuarios divididos según su altura.
- Velocidad de desplazamiento: hasta 6 km/h

2.3. Estructura mecánica

2.3.1. Mecanismo de elevación

La elevación del usuario se realizará mediante el trabajo muscular de los brazos, asistido por un resorte a gas. La fuerza se transferirá a través de un mecanismo de cuatro barras que a su vez marcará el recorrido permitido desde la posición de sentado hasta la posición vertical.

El mecanismo permitirá al usuario frenar el desplazamiento a mitad del recorrido en caso de ser necesario.

2.3.2. Sujeción del usuario

Habrán cuatro puntos de contacto entre el usuario y el dispositivo. Estos son:

Asiento rodeando los glúteos /arnés

Este elemento será el encargado de transferir la fuerza del dispositivo al usuario para levantarlo. Será también el principal punto de sujeción. Se buscará que la silla tenga libertad de pivotar respecto del mecanismo de elevación para permitir una trayectoria natural de la cadera en la bipedestación.

Pechera / Espaldera

El objetivo de este elemento es mantener el tronco del usuario en posición, restringiendo su movilidad. Debe ser acolchado para evitar lesiones.

Apoyo de rodillas

Consistirá en dos superficies acolchadas en forma de trapecio que impedirán el movimiento de las piernas hacia adelante y hacia los costados. Esto funcionará como punto de apoyo durante la bipedestación, e impedirá que las piernas se desplacen lateralmente.

La posición de estos apoyos deberá ser regulable en posición para adaptarse a usuarios con distintas alturas.

Trabas de sujeción de talones

Estos elementos fijarán la posición de los pies en el dispositivo, para evitar desplazamientos hacia adelante o atrás. Su posición será regulable para distintos usuarios.

Manijas de agarre

Permitirán al usuario agarrarse para hacer la fuerza necesaria para la bipedestación. Deberán estar ubicadas a una altura alcanzable, y tener un agarre cómodo y que no lastime las manos.

2.4. Módulo de Tracción

La tracción estará dada por las dos ruedas delanteras del dispositivo. Las ruedas traseras girarán libremente. Accionando independientemente las ruedas delanteras se podrá girar. Para esto cada rueda delantera estará conectada a un motor de corriente continua.

2.5. Módulo de Fuente de Energía

Para el almacenamiento de energía se utilizarán dos baterías de 12V, recargables mediante la conexión a la red de 220v/50Hz.

2.6. Módulo de Control de Movimiento

El BIMO se manejará mediante un Joystick ubicado en una posición cómoda para su uso. Con éste se controlará la velocidad y dirección del dispositivo. Tendrá un freno electrónico y un freno mecánico.

2.7. Elementos de Seguridad e Higiene

- Todas las partes en contacto con el usuario deberán ser desmontables para su limpieza.
- El desplazamiento solo será posible cuando el usuario se encuentre completamente erguido.
- El dispositivo contará con 2 paradas de emergencia que deben bloquear los motores en caso de ser oprimidas. Un pulsador será portado por el usuario y el otro por el terapeuta.

3. DISEÑO

3.1. Diseño preliminar

Tomando como referencia el equipo observado en el centro de rehabilitación, la necesidad de satisfacer las especificaciones técnicas y las necesidades del paciente, se realizó una tormenta de ideas que dio como resultado la primer propuesta de prototipo (Fig. 3-1), en el cual se puede observar:

- Pechera con laterales de contención,
- Sistema de barras paralelas que aseguran el desplazamiento de la pechera en todo el recorrido,
- Asiento para sujetar a la persona,
- Apoyos tibiales con profundidad regulable,
- Pistón para asistir al usuario durante su elevación y descenso,
- Manija para poder ejercer la fuerza de empuje para pasar a posición vertical,
- Motores,
- Baterías de alimentación,
- Ruedas locas traseras para conformar el conjunto de cuatro ruedas que brinda estabilidad a la base,
- Topes de talón con posición regulable.
- Columna.

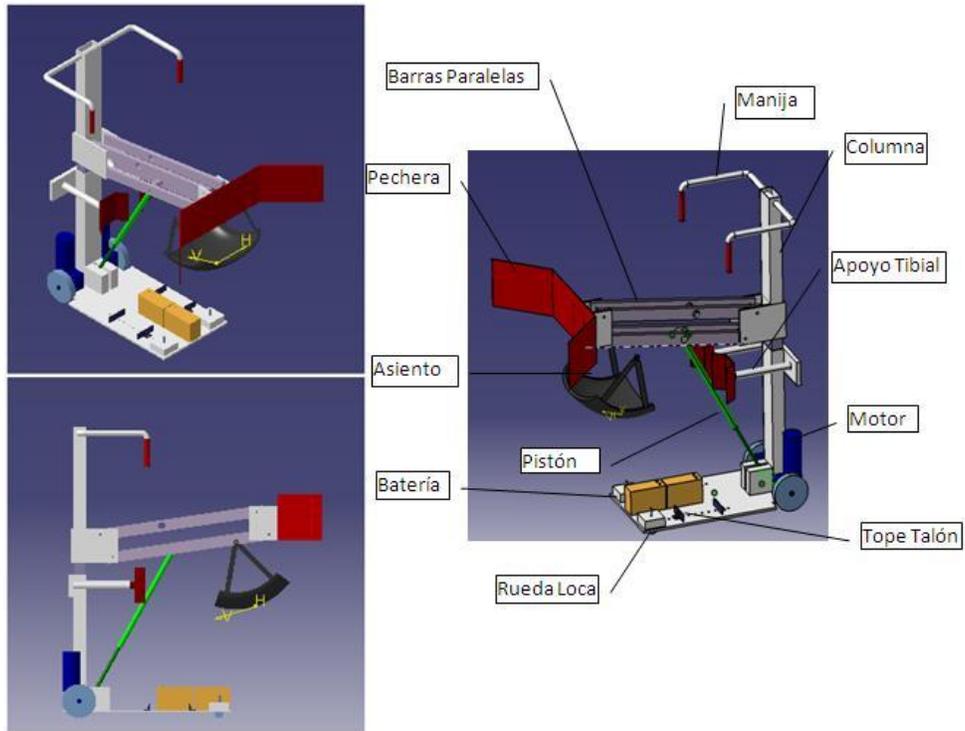


Fig. 3-1: CAD del diseño preliminar del dispositivo.

3.2. Diseño de la Estructura Mecánica

3.2.1. Estructura superior y mecanismo de barras paralelas

3.2.1.1. Análisis de las dimensiones antropométricas en adultos

Para proceder con el estudio de las dimensiones antropométricas, se representa la población a estudiar mediante un diagrama de barras, con las articulaciones humanas de interés representadas por nodos (Fig. 3-2).

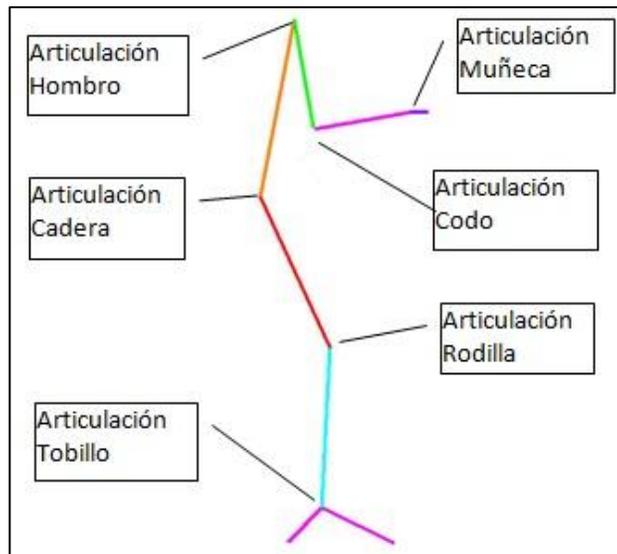


Fig. 3-2 Articulaciones de interés para el diseño del mecanismo

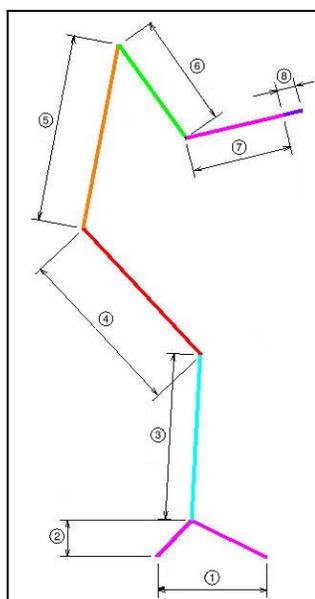


Fig. 3-3 Partes del cuerpo cuya longitud interesa para el diseño del mecanismo.

Para homogeneizar la estructura se agrupa la población masculina y femenina en tres percentiles cada una (2,5til – 50til – 97,5til)^[1] (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). En esta agrupación se consideran las longitudes de las partes corporales que vinculan las articulaciones de interés indicadas en la Fig. 3-3.

Tabla 3-1 Longitud de las partes corporales de interés.

Distancia N°	Denominación	Datos antropométricos					
		Hombre Adulto de Pie [cm]			Mujer Adulta de Pie [cm]		
		2,5% til	50% til	97,5% til	2,5% til	50% til	97,5% til
1	Longitud Pie	24,5	26,7	29	22	24,5	26,5
2	Altura Pie	7,6	8,2	9,7	7	7,6	8,2
3	Pierna	38,6	40	44,3	34,8	37,6	40,5
4	Muslo	39,8	41,5	46	35	39	42
5	Tronco	41,8	43,5	50	40	42,5	45,5
6	Brazo	27	28,5	30,5	23	26	28
7	Antebrazo	24	25	26,8	20,5	23	25
8	Mano ¹	7	7,6	8,2	6	7	7,5

¹ La longitud de la mano se considera desde la articulación de la muñeca hasta la palma debido a que interesa la longitud de la mano cerrada.

Debido a la semejanza entre el 50til femenino y el 2,5til masculino, se agrupan sendos grupos como “Hombre Bajo – Mujer Mediana”. Lo mismo se realiza con el 97.5til femenino y el 50til masculino, conformando el grupo “Hombre Mediano – Mujer Alta”. Con este criterio, se dividió a la población en cuatro grupos representativos (**Fig. 3-4**).

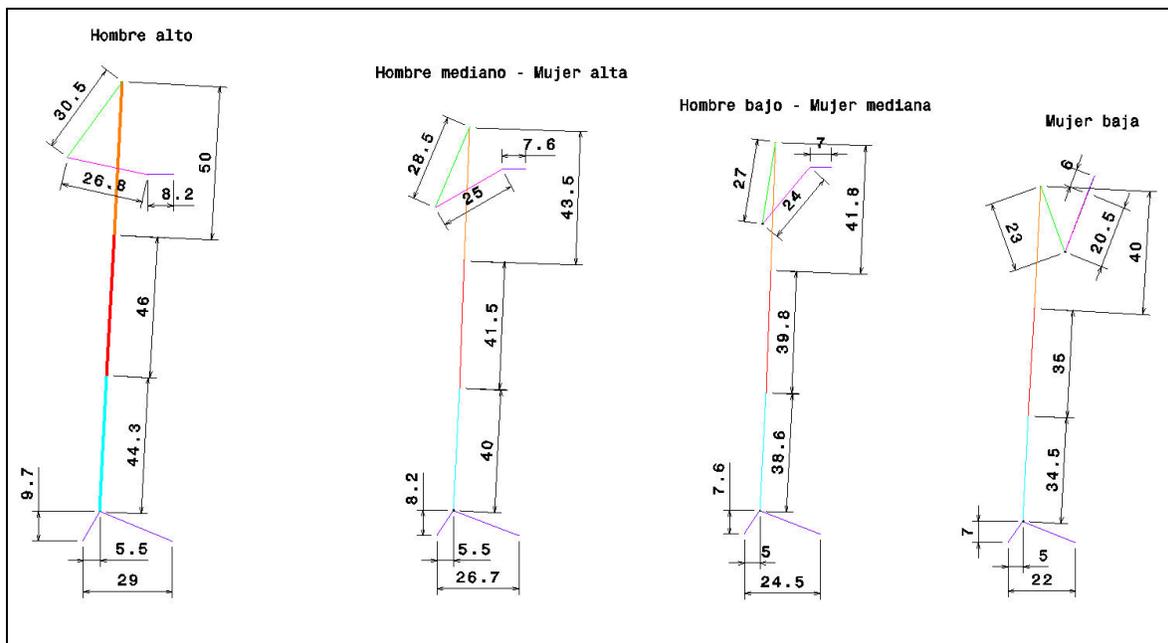


Fig. 3-4 Medidas representativas de los cuatro grupos en que se dividió la población para el proyecto.

3.2.1.2. Diseño de la estructura superior y del mecanismo de barras paralelas

Se decidió conjuntamente con representantes del FLENI, probar el mecanismo con un paciente en particular, cuya altura es 1.82m. Luego, se prosiguió con el estudio del grupo “Hombre Alto”.

Para estas dimensiones se planteó un mecanismo ideal, compuesto por una Columna, un Apoyo Tibial, una Pechera, un Pivote, un Mecanismo de Barras y una Base (Fig. 3-5).

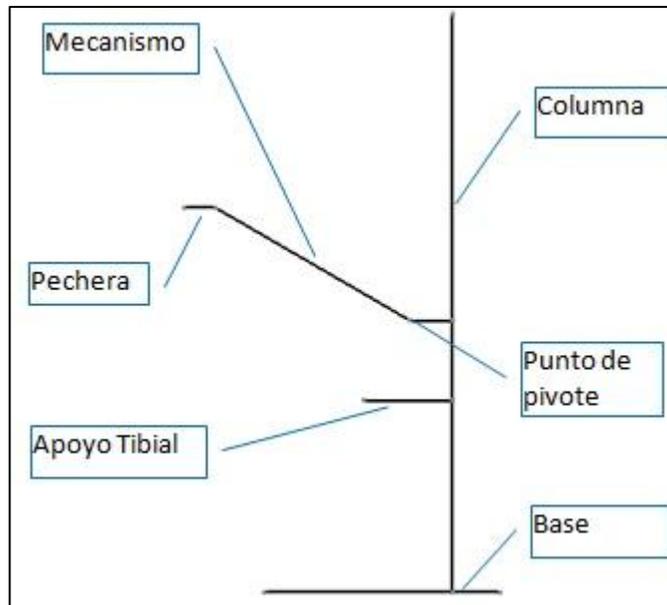


Fig. 3-5 Partes que componen el mecanismo ideal.

Usando el software CATIA se dibujó el mecanismo ideal y el cuerpo del “hombre alto”, en 4 posiciones desde la posición bípeda hasta la posición sentada. Esto se repitió con distintas configuraciones del mecanismo ideal, variando los siguientes parámetros, con objetivos específicos (**Anexo 3**):

Longitud columna.

- Debe poder alcanzarse por el usuario sentado.
- Debe permitir al usuario ver su entorno sin estorbar.
- No debe interferir con los codos del usuario.
- Debe dar la posibilidad de brindar una posición cómoda para colocar el tablero de mando.

Separación del pivote de las barras del mecanismo con respecto a la columna.

- Regulando su profundidad, debe permitir, junto con la pechera, lograr que las barras del mecanismo finalicen su recorrido en posición vertical y que el usuario pueda alcanzar la posición bípeda.
- Regulando su altura, junto con la longitud de las barras del mecanismo, debe permitir que el mecanismo siga el recorrido del usuario para brindar asistencia en la elevación.

Profundidad de la pechera.

- Debe permitir al usuario estar cerca de la columna, disminuyendo el momento causante de un posible vuelco.
- Debe poseer cierta profundidad de modo que puedan colocarse los pivotes de las dos barras del mecanismo.

Longitud de barras del mecanismo.

- Determinará el radio de rotación del mecanismo.
- Regula la posición de la cual parte el usuario cuando pasa de posición sentado a bípeda.

Altura de apoyos tibiales

- Deben ofrecer apoyo en la zona tibial del usuario sin interferir con las barras del mecanismo.

Profundidad de apoyos tibiales.

- Determina la posición de las piernas al estar el usuario en posición sentada o vertical.

Separación de punta de pie del usuario con la columna.

- Determina la cercanía del usuario a la columna.

Posición de manijas de sujeción.

- Las manijas podrán estar alineadas con la columna o sobresalir para un correcto alcance del usuario cuando se encuentre en posición bípeda.

A partir de este análisis, se realizaron las siguientes observaciones:

- La Articulación Cadera se desplaza sobre un arco con centro en la Articulación Rodilla.
- La Pierna permanece estática junto con el pie.
- El Tronco empuja la pechera y genera el desplazamiento del mecanismo.
- La pechera se desplaza/desliza a lo largo del Tronco.
- Deben modificarse las distancias del usuario con respecto a la Columna para lograr que el mecanismo finalice su recorrido en posición paralela con la misma.
- La Articulación Codo no debe contactar la pechera y debe finalizar detrás del tronco.

- Se busca que el usuario finalice en posición bípeda para que su peso sea soportado enteramente por sus piernas.
- La pechera debe contener el abdomen del usuario en la posición parada a modo de envolver el centro de gravedad del mismo.

3.2.1.3. Cálculo de las cargas aplicadas a los elementos

Se plantea el análisis de cargas aplicadas al mecanismo como punto de partida para el diseño del pistón de asistencia y la estructura de la base. Dadas las posiciones óptimas del anclaje del pistón y debido al desconocimiento de la fuerza ejercida por el pistón en esta etapa, se lo considera como una barra sometida a la compresión, la cual entrega la fuerza necesaria para mantener al mecanismo en una posición estática.

Para acortar la longitud de la base se colocan los pies del usuario en los laterales de la columna. Esto permite acercar al usuario al dispositivo disminuyendo el momento causante de vuelco.

Al dimensionar la columna debe conocerse la fuerza que aplicará el usuario en el extremo libre de la misma a la hora de levantarse. Para ello se consultó con especialistas del Instituto FLENI la fuerza que un paciente normal está en condiciones de ejercer, y se realizaron ensayos en el gimnasio levantando pesos en una postura similar a la del BIMO. La conclusión obtenida en conjunto con el personal del FLENI es que el paciente deberá ejercer una fuerza del 30% de su peso para levantarse. Finalmente, para el dimensionamiento de la columna se supone que el usuario realiza una fuerza equivalente al 50% del peso del usuario, lo cual contempla excesos de carga.

Se estudió el mecanismo en las posiciones extremas y en dos posiciones intermedias para calcular las fuerzas involucradas en el recorrido.

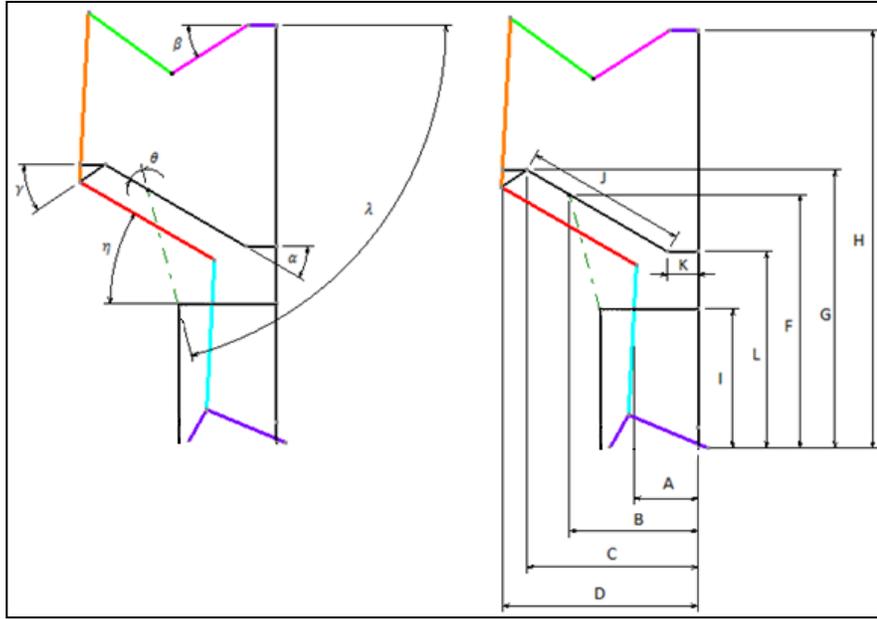


Fig. 3-6 Ángulos y longitudes de interés para el diseño.

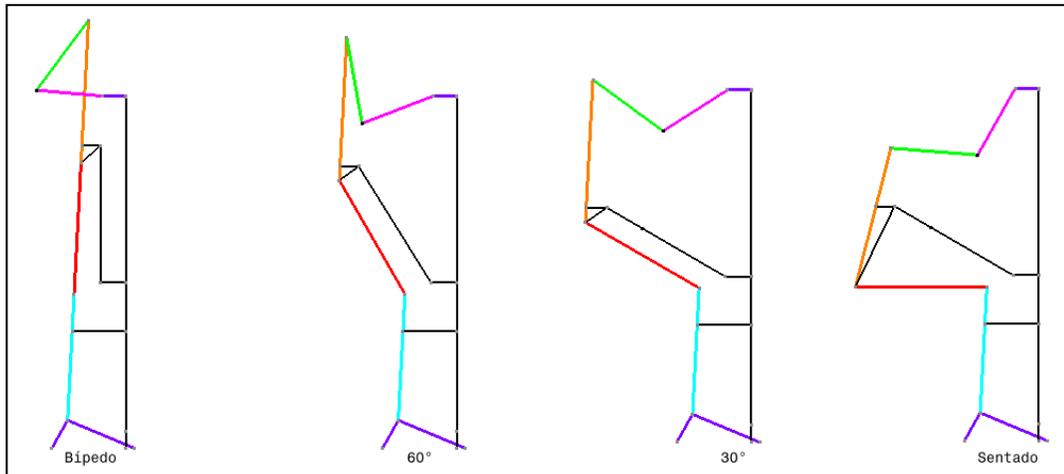


Fig. 3-7 Posiciones consideradas para el diseño del mecanismo.

Tabla 3-2: Distancias medidas en las posiciones de interés.

Posición	Distancias [cm]											Posición Angular [°]					
	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	α	β	γ	η	θ	λ
Bípedo	19,00	9,00	9,00	15,50	91,50	106,00	117,00	41,00	48,00	9,00	58,00	90,00	5,01	41,72	93,00	21,61	111,61
60°		27,81	34,43	40,93	88,11	98,71						58,01	21,09	35,68	60,00	33,44	91,45
30°		37,96	50,50	57,75	74,83	82,12						30,16	32,56	34,12	30,00	45,00	75,16
Sentado		37,96	50,50	57,75	74,83	82,12						30,16	60,51	64,04	0,00	45,00	75,16

A modo de plantear las cargas externas que actúan sobre el mecanismo, se realizan las siguientes consideraciones:

- Las especificaciones básicas del BIMO establecen que el dispositivo debe soportar a un usuario de 120Kg. Se considerará que todo el peso se aplicará al arnés y se transmitirá al mecanismo por el Principio de Prony.
- No se considerará el peso de las piernas ya que el mismo es variable según la enfermedad de cada paciente y el deterioro de su masa muscular. Se considera que el usuario puede no apoyarse correctamente sobre la base.
- La pechera no interfiere en el cálculo de fuerza por ser únicamente la responsable de transmitir el empuje del usuario para desplazar el mecanismo.
- Cuando el usuario se encuentra en posición bípeda, todo su peso es sostenido por sus piernas.
- El usuario ejerce la fuerza máxima sobre la columna únicamente en el instante en que se está levantando de la posición sentada.
- Para el análisis de cargas se tomarán posiciones estáticas determinadas, con el peso del usuario y la fuerza del pistón como cargas externas.

Se calculan las cargas aplicadas por el usuario al mecanismo. Estas cargas son las resultantes de descomponer el peso del usuario aplicado al arnés, a los apoyos tibiales y a la base (ver **Anexo 4**).

Con estas fuerzas se procede al planteo de un diagrama de cuerpo libre (Fig. 3-8) y al cálculo de las reacciones en los apoyos Tabla 3-3: Cargas aplicadas al dispositivo y reacciones resultantes.(Tabla 3-3).

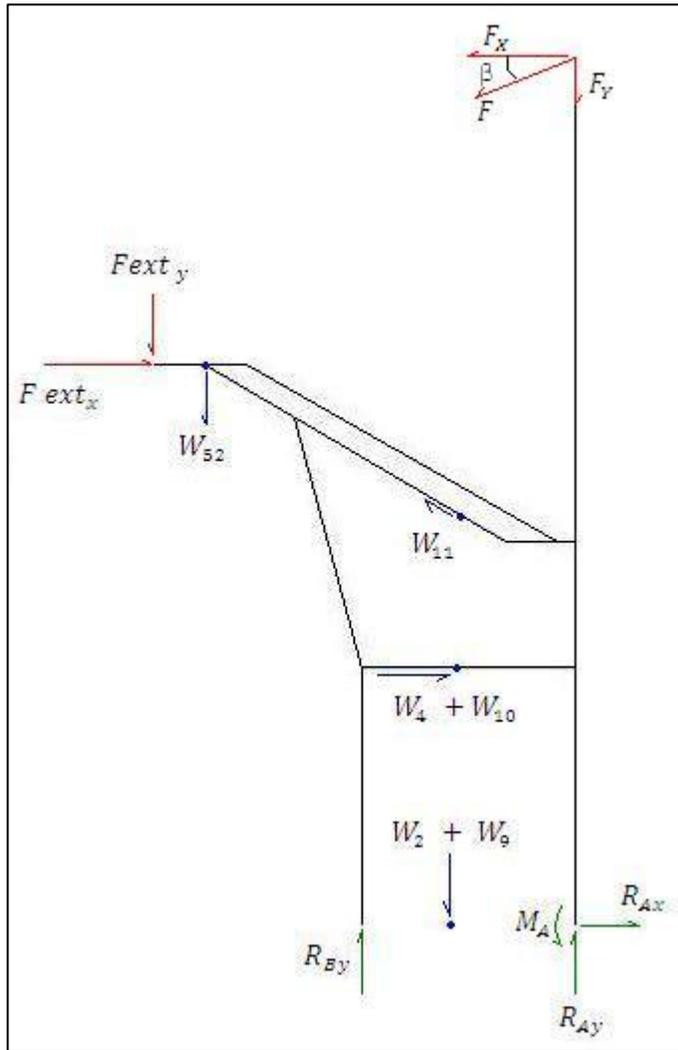


Fig. 3-8 Diagrama de cuerpo libre del mecanismo.

Tabla 3-3: Cargas aplicadas al dispositivo y reacciones resultantes.

Posición	Peso [Kg]	W [N]	w1 [N]	w2 [N]	w3 [N]	w4 [N]	w5 [N]	w6 [N]	w7 [N]	w8 [N]	w9 [N]	w10 [N]	w11 [N]	w12 [N]	w13 [N]	Fext X [N]	Fext Y [N]	Mext [Nm]	R [N]				
																			A X	A Y	B Y		
Bípedo	120	1177	1177	0	1177	0	0	0	0	0	0	0	0	2E-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60°			1019	589	883	510	586	58	6	58	50	29	584	193,3	391	0	0	0	0	-436	237	-9	
30°			589	1019	294	510	917	445	194	400	200	347	826	302,7	524	0	0	0	0	-595	437	-65	
Sentado			0	1177	0	0	1058	515	226	463	0	463	1056	349,3	706	0	0	0	0	-161	-313	843	

A partir del planteo de las cargas externas aplicadas por el usuario en cada elemento y según las fórmulas y el diagrama de cargas incluidos en el **Anexo 5** se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 3-4: Fuerzas internas aplicadas a los elementos del mecanismo.

Posición	Peso [Kg]	W [N]	F [N]																					
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Bípido	120	1177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
60°			0	461	-124	268	576	-779	779	-576	-576	779	139	-542	-436	237	-4	-139	0	9	0	0	0	0
30°			0	1042	-694	740	1478	-1042	1042	-1478	-1478	1042	883	-605	-595	437	251	-883	0	65	0	0	0	0
Sentado			0	1406	261	1057	648	-245	245	-648	-648	245	486	-558	-161	-313	-95	-486	0	-843	0	0	0	0

Tabla 3-5: Momentos internos aplicados a los elementos del mecanismo.

Posición	Peso [Kg]	W [N]	M [Nm]									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bípido	120	1177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60°			86	-86	-219	-40	-179	0	0	0	0	0
30°			633	-633	-500	-256	-244	0	0	0	0	0
Sentado			-178	178	-207	-141	-66	0	0	0	0	0

En la posición sentada se dará la condición de mayor sollicitación de la columna debido a que el usuario deber levantar la totalidad de su peso. A medida que el usuario avanza hacia la posición bípeda, parte de su peso transfiere a sus piernas, por lo que la fuerza ejercida irá en decremento (Tabla 3-III).

La fuerza de tracción máxima ejercida por el usuario traccionando de las manijas hacia sus hombros será de:

$$F = 1177N \times 0,5 = 588,5N$$

Y su descomposición resulta:

Componente de la fuerza perpendicular a la columna: $F_x = F \times \cos(22^\circ) = 546,6N$

Componente de la fuerza paralela a la columna: $F_y = F \times \text{seno}(22^\circ) = 220,5N$

3.2.1.4. Dimensionamiento de los elementos

Se analizaron las piezas del dispositivo cargando los elemento ideales en el programa RISA 3D, con el objetivo de obtener los diagramas de cargas. De estos diagramas

se obtuvieron las solicitaciones máximas en base a la cuales se dimensionó cada elemento (ver **Anexo 5**).

Se adoptó un coeficiente de seguridad de 2, basado en la resistencia a la fluencia para Carga Permanente ^[3]. Este factor se utilizó para suplir el desconocimiento inicial del peso de cada pieza del conjunto. A su vez sirvió para sobredimensionar frente a picos de cargas repentinas y esfuerzos de fatiga.

Debido a disponibilidad en el mercado, bajo costo y disponibilidad de maquinaria para trabajarlo, se decide utilizar acero SAE 1020. Se recurrirá al catálogo de tubos estructurales provisto por Siderar (ver **Anexo 5**).

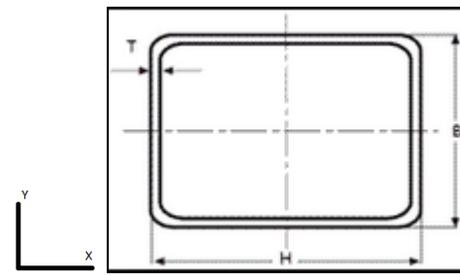


Fig. 3-9 Altura (B), Ancho (H), y Espesor (T) de tubo rectangular.

Manija

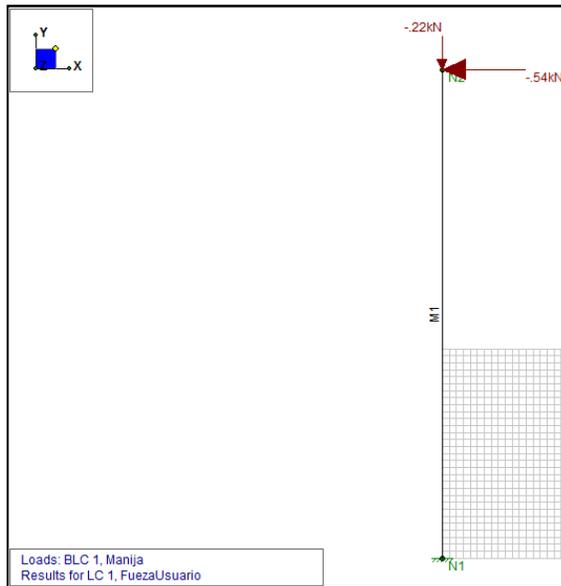


Fig. 3-10 Manija con apoyo empotrado

Para este elemento se utilizará un perfil de 20x20x2mm, de SAE 1020.

Tabla 3-6: Verificación de selección de perfil para manija.

Manija	
M [Nm]	38
Fact Seg	2.0
M [Nm]	7.600E+01
H [mm]	2.000E+01
B [mm]	2.000E+01
t [mm]	2.000E+00
I [mm ³]	7.872E+03
I [m ³]	7.872E-06
S [m ²]	7.872E-07
σ_{fl} [N/m ²]	2.000E+08
% σ_{fl}	1.000E+00
σ_{adm} [N/m ²]	2.000E+08
S calc [m ²]	3.800E-07

Se verifica $S_{calc} < S$. El perfil es apto.

Columna

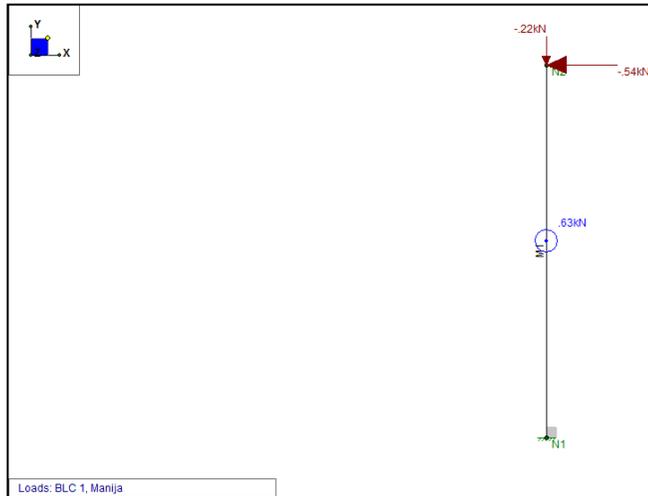


Fig. 3-11 Columna con apoyo empotrado

Para este elemento se utilizará un perfil de 50x50x2mm, de SAE 1020.

Tabla 3-7: Verificación de selección de perfil para columna.

Columna	
M [Nm]	594
Fact Seg	2,0
M [Nm]	1,188E+03
H [mm]	5,000E+01
B [mm]	5,000E+01
t [mm]	2,500E+00
I [mm^3]	1,791E+05
I [m^3]	1,791E-04
S [m^2]	7,165E-06
σ_{fl} [N/m^2]	2,000E+08
% σ_{fl}	1,000E+00
σ_{adm} [N/m^2]	2,000E+08
S calc [m^2]	5,940E-06

Se verifica $S_{calc} < S$. El perfil es apto.

Barra Mecanismo:

Se dimensionó este elemento a la compresión. Para esto se evaluó la máxima carga aplicada y se utilizó como tensión de dimensionamiento la tensión de rotura. Esto se debe a que supera la tensión de fluencia en compresión.

Para esto se considerará la mitad de la carga aplicada. Esto es $\frac{F_2}{2} = 703N$

Tabla 3-8: Verificación de selección de perfil para barras del mecanismo.

Barra Inferior	
N [N]	1.75E+02
H [mm]	2E+01
B [mm]	3E+01
t [mm]	2.5
A [mm ²]	2.250E+02
A [m ²]	2.250E-07
σ_{rot} [N/m ²]	2.500E+08
% σ_{fl}	5.000E+00
σ_{adm} [N/m ²]	1.250E+09
A calc [m ²]	1.396E-07

Se utilizará un perfil de 30x20x2mm, de SAE 1020.

Corredera Frontal de Apoyo Tibial:

Se dimensionó este elemento a la compresión. Para esto se evaluó la máxima carga aplicada y se utilizó como tensión de dimensionamiento la tensión de rotura. Esto se debe a que supera la tensión de fluencia en compresión.

$$w_4 + w_{10} = 510N + 347N = 857N$$

Se utilizará un perfil de 20x20x2mm, de SAE 1020.

Tabla 3-9: Verificación de selección de perfil para corredera frontal de apoyo tibial.

Corredera Frontal	
N [N]	422
Fact Seg	2.0
N [N]	6.05E+02
H [mm]	2E+01
t [mm]	2E+00
A [mm ²]	1.440E+02
A [m ²]	1.440E-07
σ rot [N/m ²]	4.500E+08
% σ fl	3.000E+00
σ adm [N/m ²]	1.350E+09
A calc [m ²]	4.481E-07

Corredera Lateral de Apoyo Tibial:

Para dimensionar este elemento se cargó la barra con las cargas equivalentes a las cargas de contacto entre las piernas y el apoyo tibial.

$$w_4 + w_{10} = 510\text{N} + 347\text{N} = 857\text{N}$$

Se aplicará media carga por cada pierna.

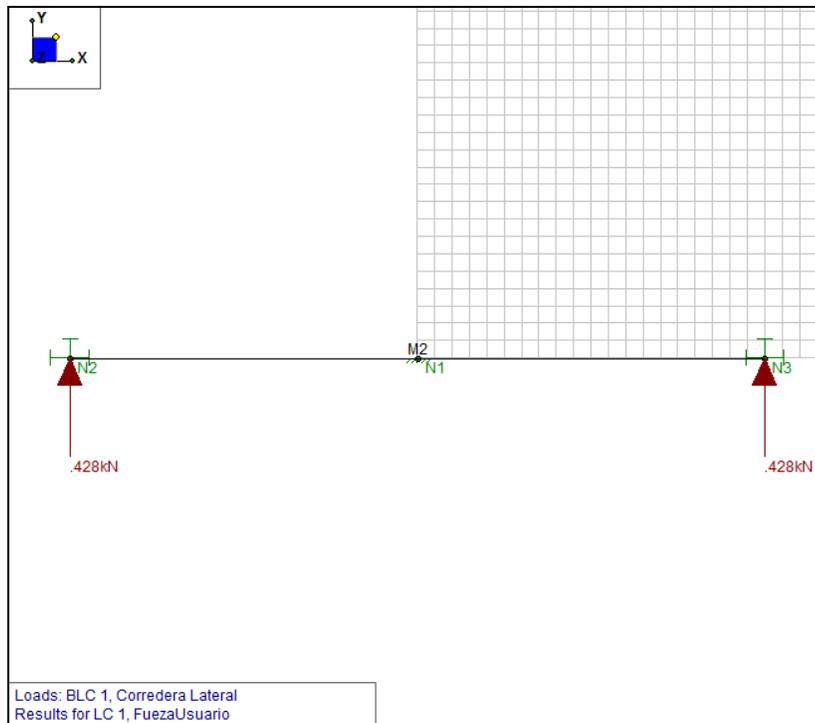


Fig. 3-12 Flexión de corredera lateral del apoyo tibial.

Para este elemento se utilizará un perfil de 20x20x2mm, de SAE 1020.

Tabla 3-10: Verificación de selección de perfil para corredera lateral.

Corredera Lateral	
M [Nm]	6
Fact Seg	2.0
M [Nm]	1.700E+01
H [mm]	2.000E+01
B [mm]	2.000E+01
t [mm]	2.000E+00
I [mm ³]	7.872E+03
I [m ³]	7.872E-06
S [m ²]	7.872E-07
σ_{fl} [N/m ²]	2.000E+08
% σ_{fl}	1.000E+00
σ_{adm} [N/m ²]	2.000E+08
S _{calc} [m ²]	8.500E-08

Se verifica $S_{calc} < S$. El perfil es apto.

Soporte Resorte:

Se dimensionó este elemento a la compresión. Para esto se evaluó la máxima carga aplicada y se utilizó como tensión de dimensionamiento la de rotura. Esto se debe a que supera la tensión de fluencia en compresión.

$$F=843N$$

Tabla 3-11: Verificación de selección de perfil para el soporte del resorte.

Columna Resorte	
N [N]	422
Fact Seg	2,0
N [N]	8,43E+02
H [mm]	4E+01
t [mm]	2E+00
A [mm^2]	3,040E+02
A [m^2]	3,040E-07
σ rot [N/m^2]	3,000E+08
% σ fl	1,000E+00
σ adm [N/m^2]	3,000E+08
A calc [m^2]	2,810E-06

Se verifica $A_{calc} < A$. El perfil es apto.

Para este elemento se utilizará un perfil de 40x40x2mm, de SAE 1020.

3.2.1.5. Dimensionamiento de las uniones

Las uniones de interés deben permitir la rotación relativa de los componentes pero no la traslación [3].

Las correderas de los apoyos tibiales funcionan por fricción entre las partes. Mediante tornillos se regulará la misma.

$$F_{v,Rd} = \frac{n \times 0.5 \times f_{ub} \times A}{\gamma_{M2}}$$

Debe cumplirse $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ que es la resistencia al corte de un tornillo.

Para un único plano de corte se selecciona n=1

f_{ub} : Tensión de Rotura del Acero del tornillo

A: Área del tornillo

Coeficiente de minoración del acero estructural para uniones. $\gamma_{M2} = 1.25$.

Para las uniones de las barras del mecanismo se utilizan tornillos M10 de calidad 8.8, siendo su Resistencia al corte 24KN.

Se deja margen para posibles sobrecargas cíclicas.

Para la sujeción del pivote se utilizan 4 tornillos M8 calidad 8.8, los cuales experimentan una carga de $\frac{M_1}{\frac{0.02m}{4}} = 7915N$. La resistencia al corte de estos tornillos es de 16KN.

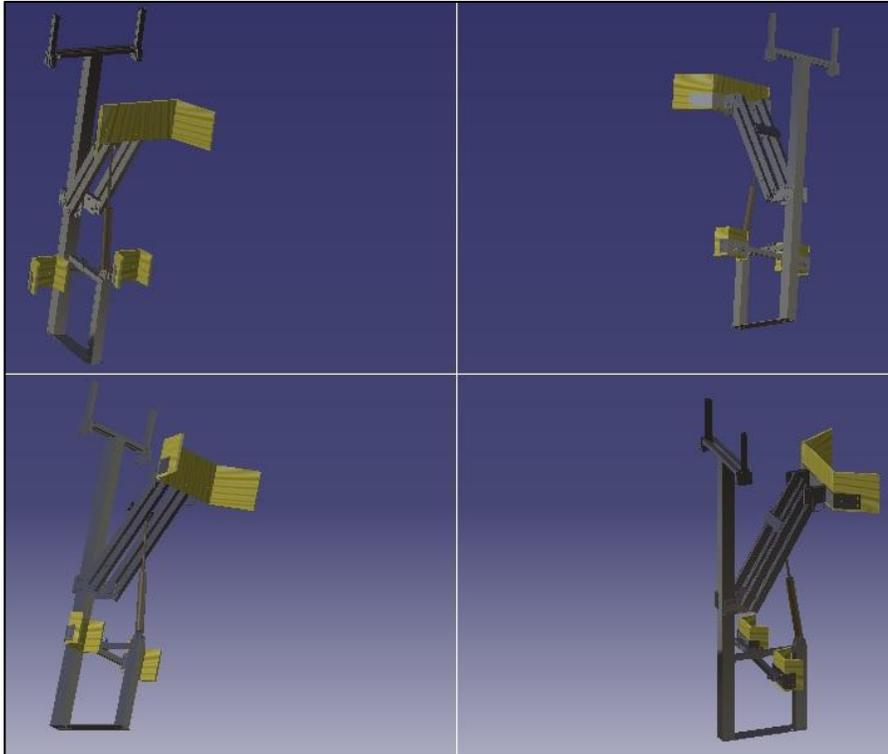


Fig. 3-13 CAD del dispositivo con los perfiles calculados.

3.2.2. Elemento de asistencia para la elevación del usuario: resorte a gas

3.2.2.1. Selección del tipo de actuador utilizado.

Para realizar el trabajo de asistencia al usuario en la bipedestación se decidió usar un resorte a gas. Éste consiste en un cilindro neumático con un vástago móvil, precargado con un presión interna. Al insertarse el vástago en el cilindro se comprime el gas en el interior, realizando una fuerza de empuje hacia afuera, que se mantiene casi constante en todo el recorrido. Los resortes a gas se usan normalmente en la industria automotriz, por

ejemplo para levantar la tapa del baúl de un auto. En esta aplicación el resorte soporta la mayor parte del peso de la tapa, permitiendo que el usuario la levante sin mayor esfuerzo. En el BIMO, el resorte cumple esta misma función; soporta la mayor parte del peso del usuario, permitiendo que éste se levante sin mayor esfuerzo.

La decisión de usar un resorte a gas se tomó luego de descartar otras opciones que no se ajustaban a los requisitos del BIMO. Desde un primer momento se descartó la idea de usar un actuador que ejerza directamente un torque sobre el punto de pivote del mecanismo de elevación, ya que esto provocaría un esfuerzo muy grande en las barras. Este método requeriría también un complejo sistema de reducciones y transmisión de fuerzas. Por esta razón se pensó en utilizar un actuador lineal que transmita su fuerza al mecanismo aprovechando la longitud de éste como brazo de palanca.

El bipedestador que utilizan en el gimnasio del FLENI posee un motor eléctrico lineal conectado a la red de 220V. Esta opción quedó descartada ya que la conexión haría que el BIMO no pueda desplazarse con libertad. A su vez un actuador eléctrico requeriría baterías de alimentación que agregarían peso al dispositivo o, de alimentarse de las baterías de los motores, quitaría autonomía.

Un pistón hidráulico permitiría hacer la fuerza necesaria, desplazándose a velocidades adecuadas y cómodas para el usuario. Sin embargo esta opción fue descartada ya que haría falta agregar un acumulador y una bomba, quitando espacio y agregando mucho peso al dispositivo.

El resorte a gas, además de ser auto-contenido, no requiere de mantenimiento, y su vida útil es de varios años. Por estas razones se decidió utilizarlo para la asistencia en la bipedestación del usuario del BIMO.

3.2.2.2. Investigación de mercado sobre resortes a gas

Los resortes a gas se clasifican en dos grupos según el sentido de desplazamiento en el que trabajan. Los resortes a tracción acumulan energía cuando se los tracciona, y ejercen una fuerza que lleva el vástago hacia adentro del tubo. Los resortes a compresión acumulan la energía al ser comprimidos, y la liberan empujando el vástago hacia afuera. Éstos últimos son los más comúnmente utilizados, y existen con una gran variedad de características,

como son: inoxidables, protegidos contra el polvo, o de acción rápida, entre otras. El diámetro del vástago varía entre 6 y 20mm, y el del tubo entre 15 y 42mm. Se pueden obtener así resortes con una fuerza de hasta 5000N.

Los resortes a gas trabajan normalmente entre posiciones extremas, es decir, o totalmente extendidos o totalmente comprimidos. Existe una variedad denominada de carrera regulable que mediante el accionamiento de una válvula, permiten bloquear el vástago en el punto de la carrera que se desee. Éstos trabajan exclusivamente a la compresión.

Para el BIMO se decidió utilizar un resorte a gas de carrera regulable, para permitir que el usuario se detenga en posiciones intermedias en caso de necesitarlo. Éste tipo de resortes presentan una menor variedad de tamaños y fuerzas. La carrera está limitada a un máximo de 200mm, y la fuerza lo está a 900N. El diámetro del tubo es de 28mm y el del vástago de 10mm.

Para comprar el resorte es necesario especificar los siguientes parámetros:

- Tipo de resorte
- Carrera
- Largo total extendido
- Fuerza en Newton

3.2.2.3. Cálculo de fuerzas y ubicación del resorte en el dispositivo

Para calcular la fuerza que debe realizar el resorte para elevar a la persona se planteó una ecuación de momentos respecto del punto de pivote del mecanismo, con los siguientes parámetros: el peso del usuario, la longitud de la barra del mecanismo, el punto de acción de la fuerza del resorte sobre las barras, y los puntos de sujeción del resorte en el mecanismo, ya que éstos últimos determinan el ángulo de acción de la fuerza. En una planilla de cálculo se cargó esta ecuación y se despejaron las siguientes variables dependientes: las dimensiones del resorte (carrera y longitud total) y la fuerza a realizar por el usuario para erguirse y sentarse. Las restricciones para estas variables son:

- Fuerza máxima del resorte 900N.
- Carrera máxima del resorte: 200mm.

- Fuerza máxima del usuario: 35kg. Se realizaron pruebas en el gimnasio de la universidad levantando pesas en la misma manera que lo haría el usuario del BIMO. Se llegó a la conclusión que una fuerza de 35kg se puede realizar cómodamente, y hasta 40kgf en un impulso.

Según las especificaciones básicas del proyecto, el BIMO debe poder ser utilizado por usuarios adultos con un peso de hasta 120kgf. Inicialmente se buscó la manera de utilizar un solo resorte para todos los usuarios. Sin embargo se comprobó que no se podría realizar de esa manera. El resorte utilizado para levantar a una persona de 60kgf no podría levantar al usuario de 120kgf, y en el caso inverso, el resorte usado para la persona más pesada no permitiría que la persona liviana se vuelva a sentar.

Sabiendo que habría que usar más de un resorte se buscó entonces la manera de resolverlo con la menor cantidad posible, para facilitar el trabajo de adaptación del dispositivo entre pacientes. Tras muchas iteraciones en la planilla de cálculo mediante prueba y error se encontró la manera de abarcar los 4 rangos de altura definidos anteriormente y un peso de entre 40 y 120 kgf.

La solución será usar dos resortes en paralelo. Uno con una fuerza de 750N y otro con una fuerza de 650N. De esta manera se puede abarcar todo el rango de pesos usando uno u otro resorte, o ambos a la vez.

Sabiendo que el prototipo a construir será probado por una persona de 1,83m de altura y 83kgf de peso, se decide comprar el resorte de 750N, según se indica en la tabla.

3.2.2.4. Resorte utilizado

Se compró el resorte a los fabricantes CLEVERs S.R.L. situado en la ciudad de Buenos Aires. El resorte utilizado tiene las siguientes especificaciones:

- Tipo de resorte: Regulable
- Carrera: 200mm
- Largo total extendido: 550mm
- Fuerza: 750N
- Accionamiento de la válvula de bloqueo: a distancia

3.2.3. Estructura inferior: Base del dispositivo

Los objetivos principales de la base en este proyecto son 3:

- Soportar todo el módulo mecánico superior (sistema de elevación)
- Soportar al usuario garantizando la estabilidad de todo el dispositivo durante el uso
- Contar con la capacidad de trasladarse mediante el empuje de 2 motores de corriente continua

3.2.3.1. Diseño del tren delantero

La cátedra nos brindó una silla de ruedas eléctrica utilizada en un proyecto anterior. La silla de rueda contaba con un tren delantero (estructura de acero que soporta los motores eléctricos y las ruedas traccionadas) como se observa en la Fig. 3-14



Fig. 3-14 Silla de ruedas eléctrica de un proyecto anterior que contiene el tren delantero.

El tren delantero fue evaluado y se optó por utilizarlo ya que cumplía con las especificaciones técnicas de nuestro proyecto, a saber:

- Dimensiones. Especialmente el ancho requerido para que el dispositivo pueda pasar por las puertas.
- Material (Acero)
- Correcto soporte de los motores, tanto en rigidez como en posición

El tren delantero fue revisado y restaurado para ponerlo en condiciones de funcionamiento nuevamente. Las operaciones que se le realizaron fueron:

- Se eliminaron partes de la estructura que no eran necesarias
- Se realizaron operaciones de limpieza
- Se realizó un proceso de arenado para eliminar la pintura vieja
- Se le aplicó una capa de antioxidante
- Se volvió a pintar.
- Se realizaron pequeños cambios estructurales para poder adaptarlo a nuestro diseño (Se cambió un perfil tubular por un perfil L)

En la figura siguiente se puede observar un plano del tren delantero

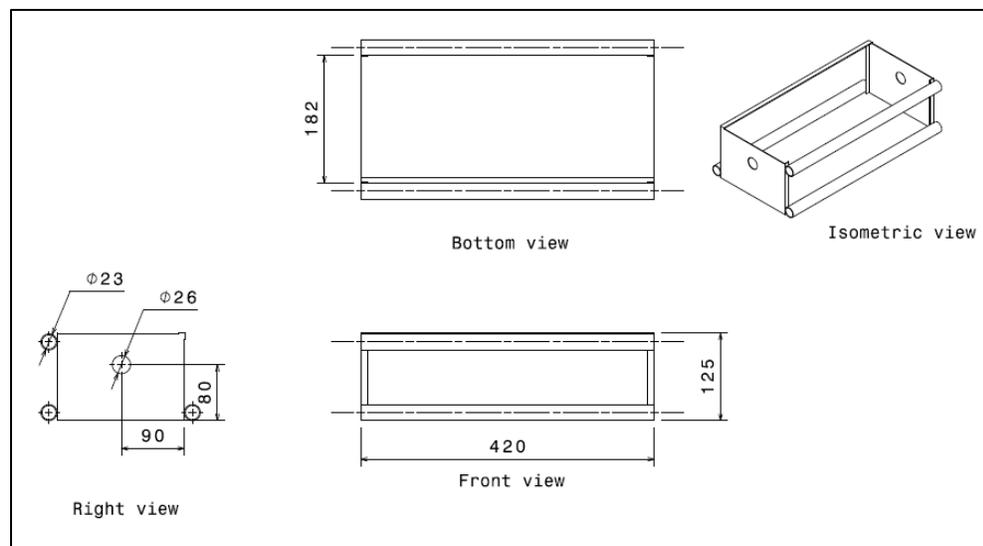


Fig. 3-15 Plano del tren delantero

3.2.3.2. Diseño de la estructura central de la base

Una vez finalizado con la restauración del tren delantero se continuó con el diseño de la estructura central de la base

El primer paso de diseño fue realizar un estudio de fuerzas. En el **Anexo 7** se incluyen los cálculos detallados

Conociendo las cargas que actúan sobre la base se evaluaron los puntos que reciben mayores solicitudes. Se realizó un cálculo de fuerzas y momentos en la posición inicial del usuario (sentado) y en la posición final (erguido) como se observa en los diagramas de cuerpo libre (Fig. 3-16 y Fig. 3-17)

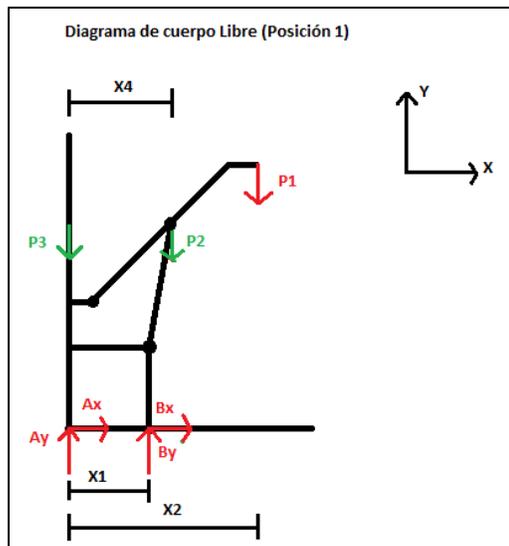


Fig. 3-16: Diagrama de cuerpo libre con reacciones en la base en posición inicial (sentado).

Las reacciones en la base para la posición sentada son:

$$A_y = -1742,84 \text{ N}$$

$$B_y = 2997,54 \text{ N}$$

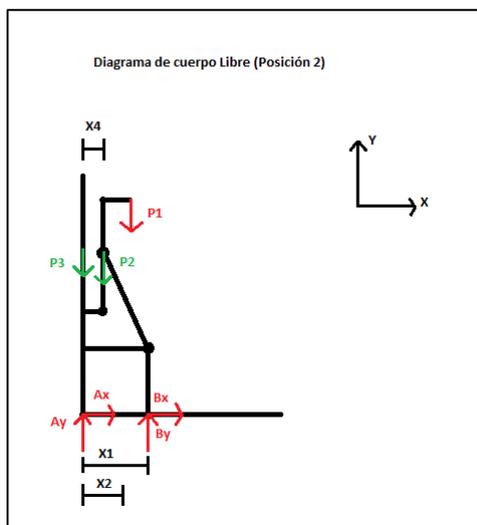


Fig. 3-17: Diagrama de cuerpo libre con reacciones en la base en posición final (erguido).

Las reacciones en la base para la posición erguida son:

$$A_y = 369,98 \text{ N}$$

$$B_y = 884,72 \text{ N}$$

Se concluye entonces que el punto crítico es el punto B en la posición 1, que soporta una carga de 2997,54 N. Con estos resultados se procedió a diseñar soluciones para la base.

Como primera posibilidad de diseño se evaluó construir la base con una chapa cuadrada de acero (Fig. 3-18) debido a que facilita mucho los procesos de construcción. Sin embargo, con los cálculos realizados anteriormente esta opción quedo completamente descartada. La chapa no es capaz de soportar los esfuerzos que se presentan en el punto B.

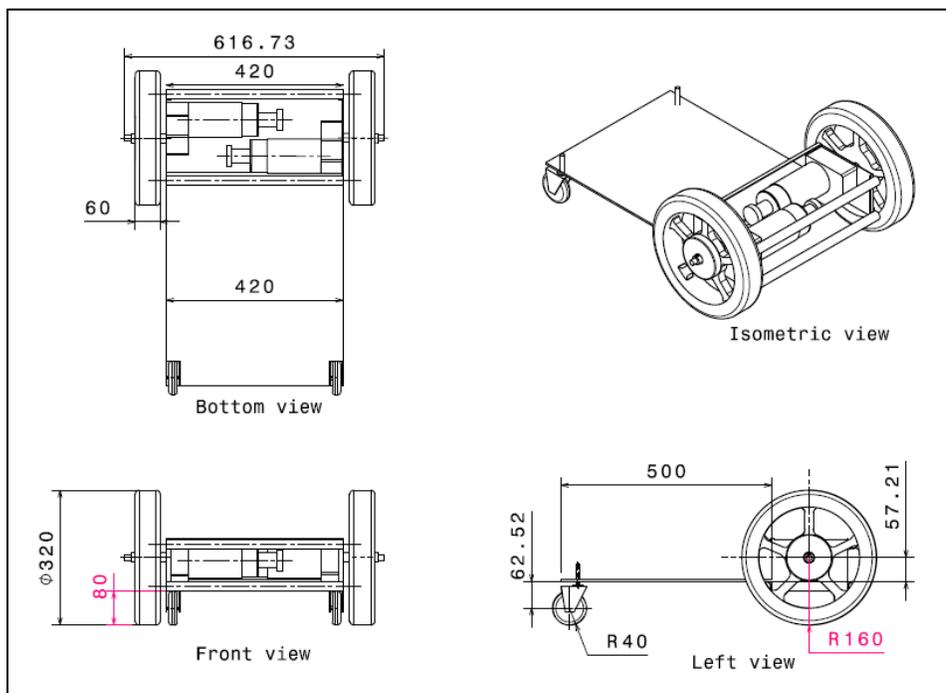


Fig. 3-18: Primer diseño planteado de la base con una chapa de acero

Para poder responder a las solicitudes calculadas y teniendo en cuenta factores como

- reforzar los puntos más solicitados
- el peso
- facilidad de construcción

- futuras modificaciones debido a las pruebas en el FLENI
- adaptación al sistemas regulable de pies y del tren trasero

se rediseñó la base de manera de responder a los requerimientos mencionados anteriormente. El nuevo diseño consiste en 2 perfiles centrales donde se montará la estructura del mecanismo de elevación. Este diseño se adapta perfectamente al tren delantero como se puede observar en la Fig. 3-19, y ha sido aceptado como diseño definitivo.

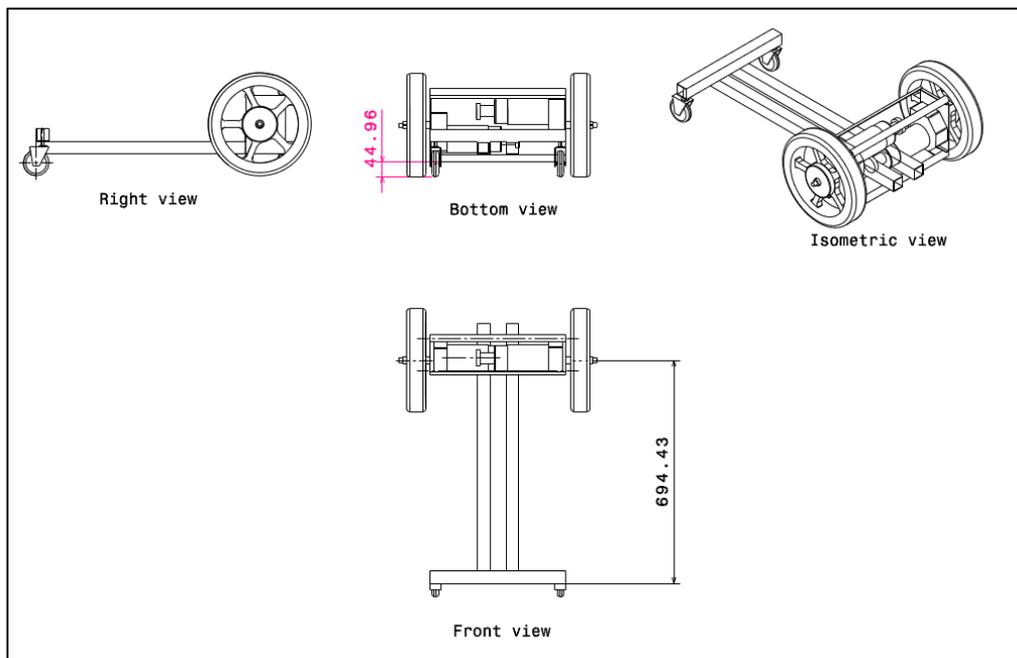


Fig. 3-19: Diseño final de la base

3.2.3.3. Diseño de los apoyos para los pies

En el diseño de los apoyos para los pies se buscó que fueran regulables. La razón principal fue contar con la posibilidad de variar su posición en el mismo momento que se estén realizando las pruebas con el equipo del FLENI. Si bien la posición de los pies queda determinada según los análisis de las dimensiones antropométricas que se realizaron, esto puede variar según cada paciente.

Una vez finalizada las pruebas y teniendo en cuenta las modificaciones que nos recomiendan se soldarán a la base en forma definitiva.

Los sistemas consisten básicamente en 2 perfiles rectangulares sujetos por 4 varillas roscadas, las cuales si fueron dimensionadas. Dichas varillas aprietan los perfiles contra los perfiles centrales de la base. A continuación se muestran imágenes de ambos sistemas regulables:

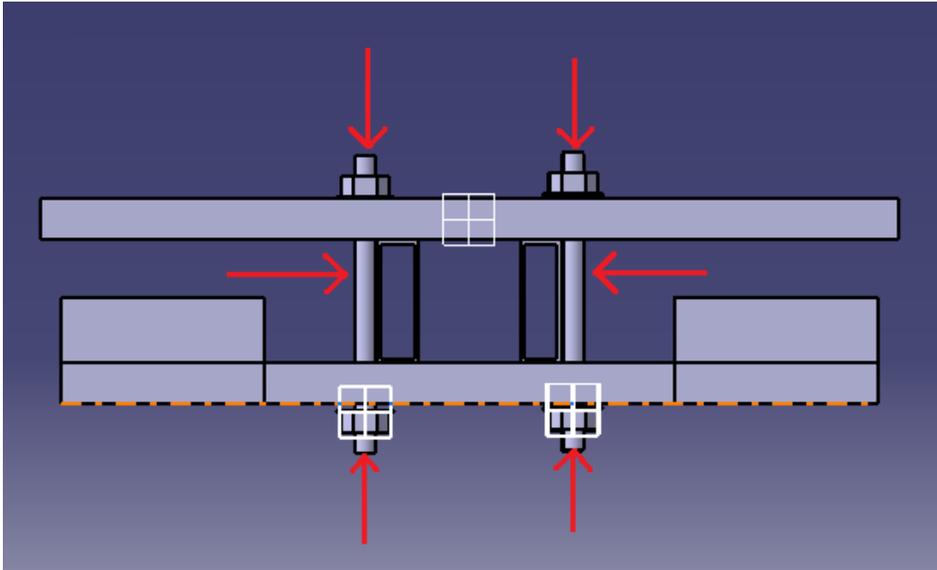


Fig. 3-20: Vista frontal del sistema de regulación de posición de los apoyos

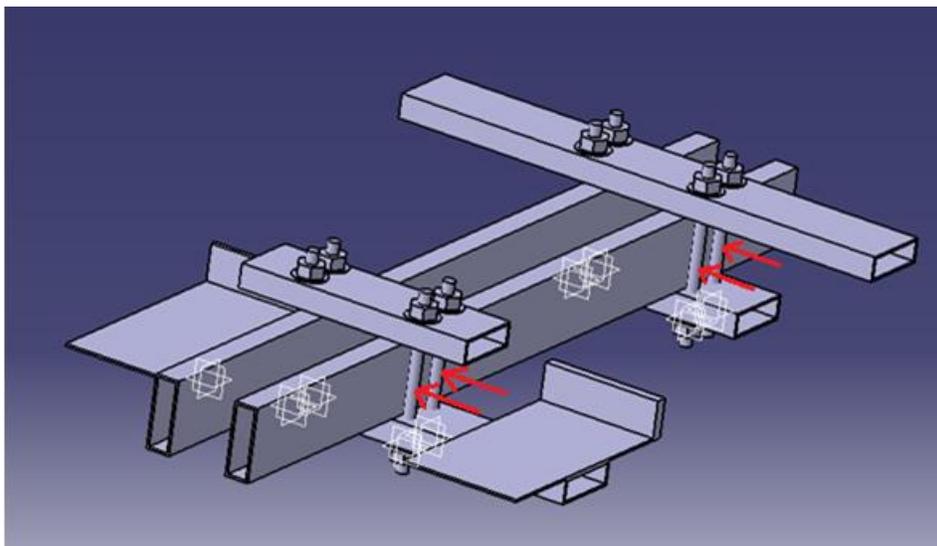


Fig. 3-21: Vista isométrica del sistema de regulación de posición de los apoyos.

3.2.3.4. Diseño del tren trasero

Al igual que los apoya pies, se buscó que el tren trasero sea regulable. La razón principal en este caso fue poder modificar la distancia de apoyo X de las ruedas traseras respecto a las ruedas delanteras como se muestra en la siguiente figura:

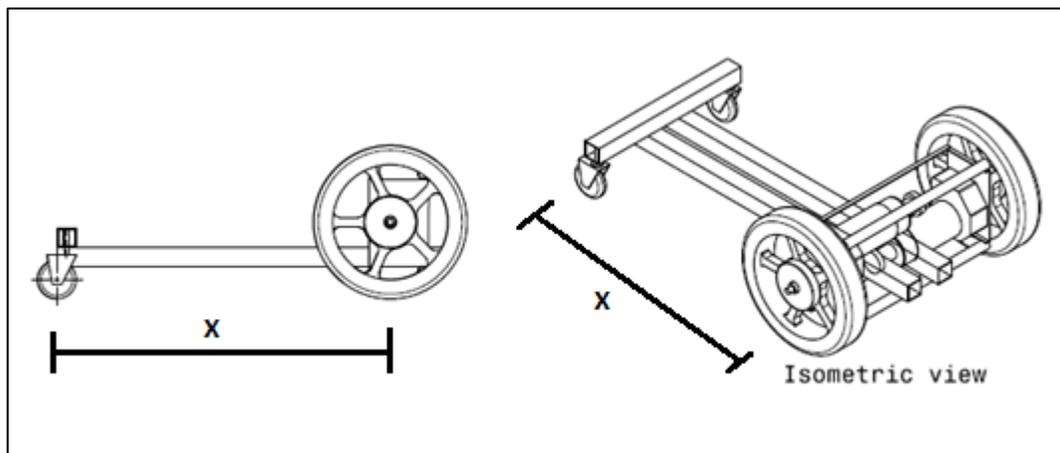


Fig. 3-22: Longitud de la base x

Si bien se realizaron los cálculos necesarios (que se verán más adelante) para calcular la distancia X que garantice la estabilidad del dispositivo, se tomaron factores de seguridad adicionales para poder realizar las pruebas con el FLENI. Al igual que el sistema de apoya pies, una vez finalizada las pruebas, el tren trasero será soldado de forma definitiva a la estructura central de la base.

3.2.3.5. Diseño de las ruedas

Se realizó un estudio de las diferentes ruedas que se utilizan en silla de ruedas eléctricas. A continuación se muestran clasificadas según material y tamaño especificando sus ventajas y desventajas en cada caso.

Ruedas Traseras

Clasificación de ruedas según tamaño:

Cuanto más pequeña sea la rueda trasera mejor radio de giro tendrá el dispositivo siendo más adecuada para interiores pero en exteriores será más difícil salvar obstáculos y terreno bastante irregular.

Por el contrario si nuestra rueda es grande podremos subir bordes más altos y la amortiguación será superior, pero en interiores perderemos maniobrabilidad.

La medida de rueda típica de una silla estándar para interior y exterior es 8x2 (200x50mm), y va subiendo en sillas más orientadas a la calle.

Clasificación de ruedas según material:

La llanta suele ser de aluminio o plástico, y el neumático puede ser macizo, de aire o con inserto sólido.

- **Macizo:** Son un bloque sólido de goma, a medida que se desgasta puede perder pequeños trozos. Nulo mantenimiento, amortiguación baja
- **Inserto Sólido:** Están formados de una cubierta que puede tener distintos dibujos (tacos, lisa, mixta.) en la que se inserta un relleno plástico, sin mantenimiento. Tienen buena adherencia y resistencia, no amortiguan tanto como el aire.
- **De Aire:** El concepto clásico de cubierta con una cámara de aire dentro. Se pueden pinchar pero tienen buena amortiguación



Fig. 3-23: Ruedas traseras de distintos tamaños y materiales.

Ruedas delanteras

La diferencia con las ruedas traseras es que estas son las que convierten la potencia del motor en movimiento, son más grandes, desde unas 12 pulgadas en adelante e igualmente su tamaño influirá en nuestra capacidad de movernos por terrenos más o menos irregulares con comodidad.

Los tipos de cubiertas son los mismos que para las ruedas traseras, siendo las más populares las de inserto sólido por su fiabilidad, ya que aunque se raje la cubierta seguramente podríamos circular unos kilómetros más



Fig. 3-24: Ruedas delanteras de distintos tamaños y materiales.

3.2.3.6. Dimensionamiento de los perfiles de la base

Se utilizó el Programa RISA 3D para dimensionar la sección transversal de los perfiles de sección cuadrada. En el **Anexo 8** se muestran los resultados de la simulación realizada con el programa junto con los perfiles que recomienda el programa dependiendo de la norma. Las diferencias en las dimensiones de la sección transversal sugeridas corresponden a que cada norma utiliza diferentes factores de seguridad

Finalmente se eligió usar un perfil cuadrado de 25,4mm x 76,2mm.

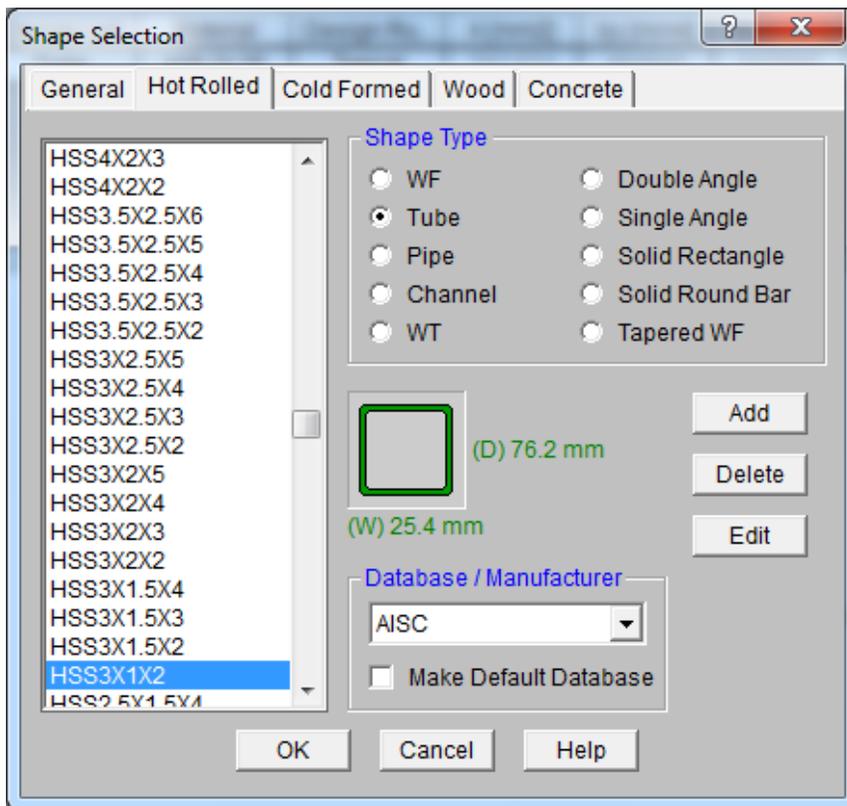


Fig. 3-25: Dimensiones del perfil sugeridas por el RISA

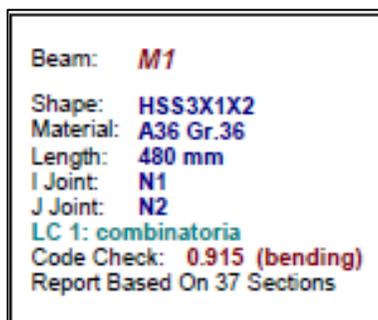


Fig. 3-26: Características del perfil sugerido por el RISA

Cálculo del largo requerido de los perfiles

Conociendo la sección de los perfiles (ancho alto y espesor) se pasó a calcular la longitud de los mismos.

El factor principal tomando en cuenta en este diseño fue garantizar la seguridad del usuario. Esto es, evitar que el usuario se caiga cuando está utilizando el dispositivo.

Los perfiles se dimensionaron de acuerdo a la situación más crítica, cuando el usuario se encuentra sentado y comenzando a levantarse. Es en esta situación cuando se genera el mayor momento y el riesgo a que el mecanismo se caiga hacia atrás se maximiza. A continuación se muestran los dibujos explicativos junto con los cálculos realizados:

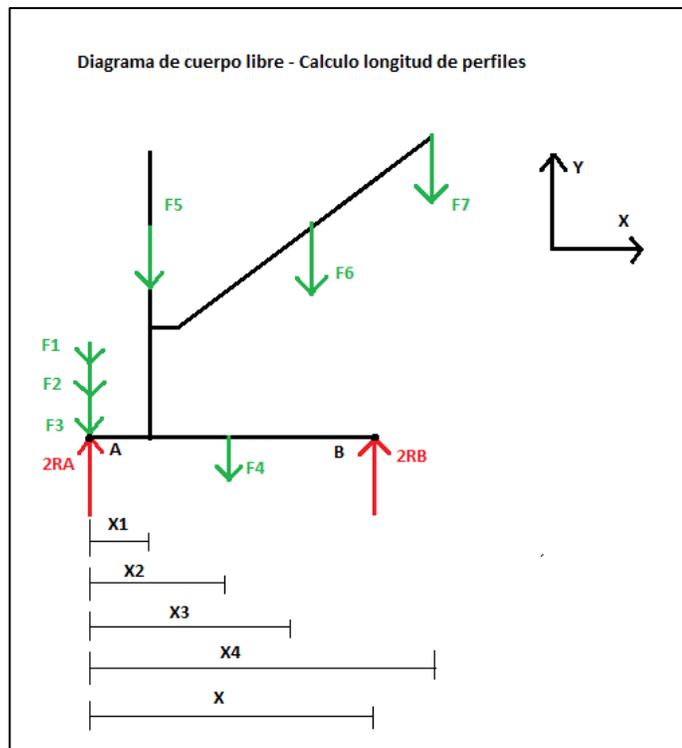


Fig. 3-27: Diagrama de cuerpo libre de la base con las fuerzas que generan momento en el eje z.

Se cargaron las ecuaciones y valores de las fuerzas en una hoja de cálculo para realizar las iteraciones necesarias para encontrar el mínimo valor de x con facilidad. Éste se da cuando la reacción en el punto A es cercana a cero (ver Fig. 3-28)

		BASE CARRO POSICIÓN 1				
FUERZAS	Unidad [kg]	TOTAL	Newton	DISTANCIAS	[mm]	
F1	Peso Baterías x 2	9,53	19,06	186,9786	X1 Distancia apoyo A Columna	40
F2	Peso Tren delantero con ruedas	9		88,29	X2 Distancia apoyo A centro de g de base	282,5
F3	Peso Motores	6,5	13	127,53	X3 Distancia apoyo A centro g barras	398,5
F4	Peso vigas base (iterar con esto)	5		49,05	X4 Distancia apoyo A centro g persona	671,2
F5	Peso Columna	5		49,05	XI Distancia apoyo A fin longitud de la base	485
F6	Peso barras x 4	0,725	2,9	28,449		
F7	Peso Persona + Pechera	125		1226,25		
	verificar valores				LONGITUD BASE	445
	Valor que se puede variar para "jugar"				CON FACTOR DE SEGURIDAD	667,5
Rb	876,5098469					
Ra	1,288953093					

Fig. 3-28 Planilla de cálculo de reacciones en las ruedas para determinar el largo mínimo de la base.

La situación crítica, cuando la ruedas delanteras del dispositivo dejan de apoyar en el piso y por ende el dispositivo comenzaría a volar hacia atrás, corresponde a $R_a = 0$. Se concluye entonces que la base tiene que tener una longitud de al menos **667mm** para trabajar con seguridad de que el dispositivo no se volteará.

Es importante aclarar también que no solo se tomaron factores de seguridad, sino que también se construyeron los perfiles más largos que los resultados que se muestran arriba. La razón principal es poder garantizar la seguridad del paciente que va a realizar las pruebas en todo momento.

Finalizada la fase pruebas y contando con la información suficiente, los perfiles tendrán la longitud correspondiente.

Dimensionamiento de los perfiles del apoya pies

Para construir los sistemas regulables de pies se utilizaron perfiles que habían sido adquiridos para construir el sistema de elevación. Estos perfiles fueron dimensionados para soportar cargas mayores a las que pueden llegar a recibir el sistema de apoya pies.

Recordar que son sistemas provisorios pero al mismo tiempo se debe garantizar la seguridad del paciente a lo largo de todas las fases de pruebas.

Además también se redujeron los costos de construcción.

Dimensionamiento de los perfiles del tren trasero

Al igual que los sistemas regulables de los pies, se utilizaron perfiles que había sido adquiridos para construir el sistemas de elevación y la razones son las mismas que se mencionaron con anterioridad.

3.2.3.7. Dimensionamiento de las ruedas

Ruedas traseras

Los catálogos de ruedas se clasifican por:

- Diámetro
- Material
- Altura total (tiene en cuenta la estructura que soporta a las ruedas que les permite girar)
- Peso que pueden soportar

Selección del diámetro

Altura total del piso al perfil del tren trasero = 125 mm

Peso máximo soportar por cada rueda = $200 \text{ kg}/4 = 50 \text{ kg}$ en cada rueda

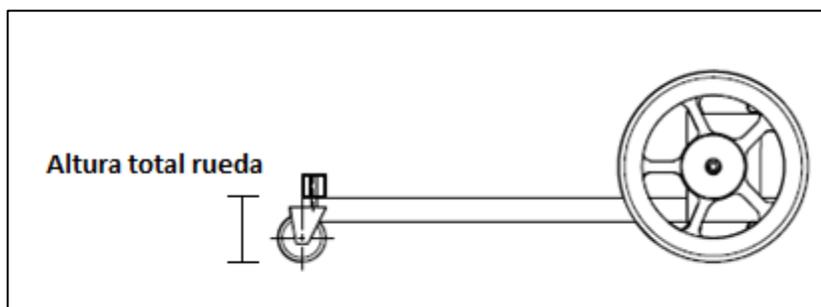


Fig. 3-29 Altura total de la rueda trasera

Selección del material

Si bien el dispositivo está pensado para usar en interiores se prefiere utilizar gomas neumáticas para poder transportarlo sin tener que levantarlo (peso total dispositivo 80 kg) y para poder realizar pruebas en superficies de asfalto.

Tener en cuenta que nuestro dispositivo en un prototipo el cual será sometido a mucha pruebas. Este no solo debe tener poco mantenimiento sino que también debe soportar diferentes superficies y amortiguar lo más posibles los impactos, vibraciones o cambios de superficie así como también pequeños obstáculos

Siguiendo con las especificaciones mencionadas se realizó una investigación de mercado Por contar con una amplia variedad de productos se eligió la marca “Mil ruedas Boedo”². A continuación se muestran las ruedas elegidas según nuestras especificaciones:

Rueda de Chapa y Goma (GEL)



GEL: Giratoria Extraliviana

ARTICULO	∅ mm.	↔ mm.	ALTURA total	BASE	kg.
GEL-7526/8	75	25	94	70 x 58	100
GEL-8526/8	85	25	105	102 x 84	50
GEL-1036/8	100	30	120	102 x 84	60
GEL-1236/8	125	37	147	102 x 84	60
GEL-1646/8	160	40	195	131 x 104	150
GEL-2056/8	200	50	235	131 x 104	190

Su banda de rodado y su rodamiento a rodillos hacen a esta rueda ágil y silenciosa

OPCIÓN PGR - Perno Giratorio Roscado

Fig. 3-30 Opción 1 con base cuadrada giratoria

² Catálogo de productos en http://www.milruedasboedo.com.ar/ruedas_08.html

Rueda de Chapa y Goma (PR)



PR: Perno Roscado

ARTICULO	∅ mm.	↔ mm.	ALTURA h/rosca	LARGO PERNO	DIAMETRO PERNO	kg.
PR-7526/8	75	21	93	30	3/8"	50
PR-1036/8	100	25	122	30	1/2"	70
PR-1236/8	125	32	146	30	1/2"	100
PR-1646/8	160	40	185	30	1/2"	145

Fig. 3-31 Opción 2 con base circular y Perno Roscado

Si bien las dos opciones se adaptan a nuestras especificaciones, se seleccionó la opción 2 (Fig. 3-31) por presentar mayor facilidad para ensamblar a la base.

Ruedas delanteras

Su usarán dos ruedas de silla eléctrica proporcionadas por la cátedra.



Fig. 3-32 Ruedas proporcionadas por la cátedra

3.2.4. Sujeción del usuario

3.2.4.1. Arnés de sujeción y sistema de ajuste

El arnés de sujeción es el componente que transmite la fuerza del resorte al usuario para levantarlo, además de sujetarlo en posición. El arnés debe tener una forma tal que realice una fuerza vertical en la primera parte del recorrido para levantar al usuario que está sentado, y una fuerza horizontal en la parte final para terminar de erguirlo. En una visita al gimnasio de rehabilitación del Instituto FLENI se probaron los bipedestadores existentes y se observaron los arneses utilizados. Éstos consisten en un asiento formado por dos cintas horizontales y dos verticales. Las cintas horizontales pasan por debajo de la cola y por la cintura, y son las que realizan la fuerza vertical y horizontal respectivamente. Las cintas verticales mantienen la forma del asiento.



Fig. 3-33 Arnés de sujeción del bipedestador del FLENI

El arnés del BIMO tendrá la misma estructura básica, una cinta por debajo de la cola y otra por la cintura, pero estará cubierto con gomaespuma y tela, para un mayor confort del usuario.

La sujeción al dispositivo se hará por medio de hebillas de cinturón de seguridad cosidas al arnés, que se ajustaran en las hembras sujetas al mecanismo de elevación. A su

vez, las hembras estarán sujetas a dos cintas ajustables mediante un criquet. De esta manera se facilitará la colocación del arnés, ya que se ajusta una vez puesto.

3.2.4.2. Pechera

La pechera será un punto de apoyo para el usuario, que mantendrá el torso en posición, impidiendo movimientos tanto hacia atrás y adelante como hacia los costados. Ésta consta de tres almohadones dispuestos de manera que formen un trapecio. Con esto se contiene el movimiento hacia adelante y hacia los costados. El lado abierto del trapecio se cerrará con una faja de contención que el usuario se colocará al subirse al dispositivo.

Se diseñó la pechera para que pueda ser utilizada por usuarios de distintos tamaños. El ancho del almohadón corresponde al ancho del torso de una persona grande, mientras que el largo de los almohadones laterales se corresponde con el de una persona pequeña. De esta manera al colocar la faja se podrá sujetar tanto a la persona pequeña como a la más grande.

3.2.4.3. Contención de las rodillas

Estos apoyos serán el punto de pivote de las rodillas del usuario al erguirse. El diseño será similar al de la pechera: tres almohadones dispuestos en forma trapezoidal que impedirán el movimiento en tres direcciones, y una cinta ajustable que cerrará el trapecio trabando la pierna en posición.

Para adaptarse a usuarios con piernas de distintas longitudes estos almohadones estarán montados sobre guías que permitirán regular su posición.

3.2.4.4. Contención de los talones

Los bipedestadores utilizados en el FLENI no hay ningún elemento que trabe los talones para evitar que los pies se vayan para atrás. Con los apoyos para la rodilla y el arnés de elevación se logra mantener al usuario en posición. Por medidas de seguridad se decidió de todos modos colocar una traba física que impida que los pies del usuario se desplacen hacia atrás.

Estos topes serán desplazables, para ajustarse a pies de distintos tamaños.

3.3. Diseño del Módulo de Tracción

3.3.1. Tren delantero

Lo primero que se hizo en el diseño del módulo de tracción fue evaluar los 3 tipos de tracción. Esto es tracción delantera, trasera o central. Cada una de las tracciones se conduce de modo diferente y sus posibilidades de maniobra también difieren bastante. Para esto se buscó información sobre los diferentes modelos de sillas de ruedas eléctricas.

Las de tracción delantera al llevar las ruedas grandes en la parte delantera son buenas salvando de obstáculos pero la maniobrabilidad es algo más compleja.

La tracción trasera es más cómoda de conducir siendo la elegida por la mayoría de usuarios.

Las sillas de tracción central giran sobre si mismas con lo que necesitan menos espacio para maniobrar, habiendo modelos casi exclusivamente para interiores que usan este tipo de tracción en combinación con unas ruedas estabilizadoras.

Si bien la tracción trasera es la más usual, nuestro proyecto contaba con ciertas especificaciones que no tiene una silla de ruedas eléctricas convencional. Se decidió utilizar una tracción delantera por dos razones:

- Siguiendo con los conceptos de seguridad descritos anteriormente respecto a que el dispositivo no puede volcar hacia atrás. Al tener la tracción delantera todo el peso de los motores está en el frente del dispositivo.
- Debido a la forma de montaje de nuestro dispositivo, por la parte de atrás, si la tracción es trasera, al estar las ruedas de tracción atrás (que son más grandes) dificultan el montaje del aparato (Fig. 3-34).



Fig. 3-34: Ingreso de la silla de ruedas por la parte trasera del dispositivo.

3.3.2. Motores

3.3.2.1. Introducción

La cátedra puso a disposición del proyecto BIMO 2 motores de corriente continua que fueron utilizados en un proyecto anterior. A continuación se muestra una imagen de los mismos.



Fig. 3-35 Motores dispuestos por la cátedra para el proyecto BIMO

3.3.2.2. Parámetros de los motores

A continuación se muestran los parámetros de los motores.

Tabla 3-12 Parámetros de los motores

Símbolo	Parámetro	Valor	Unidad
R_a	Resistencia de armadura	1.451	Ω
L_a	Inductancia de armadura	15.57	mH
k_e	Constante de f.e.m.	0.2	V.s
k_t	Constante de torque	0.2	N.m/A
B_f	Constante de torque de rozamiento	0.002	N.m.s
N	Relación de transmisión de la caja	8.44	-
V_a	Tensión de alimentación	24	Vcc

Esta información fue provista por el proyecto anterior que utilizó los motores.

Los ensayos realizados y sus resultados correspondientes (Medición de RPM de los motores y valores de Tensión – Corriente y RPM) se muestran en el **Anexo 10**.

3.3.2.3. Consumo de corriente

A pesar de tener datos suficientes para realizar los cálculos de consumo, se encontraron diferencias notables entre los cálculos preliminares y los consumos reales. Se cree que las diferencias se deben al estado actual de los motores dada su antigüedad.

Por consiguiente, se optó por ensayar empíricamente el consumo de corriente de los motores en función de la carga. Se simularon personas de 60, 80, 100 y 120kg utilizando la silla de ruedas del proyecto anterior (Fig. 3-36 y Fig. 3-37). Los resultados completos del ensayo se muestran en el **Anexo 11**.



Fig. 3-36: Ensayo de consumo de corriente de los motores.



Fig. 3-37: Ensayo de consumo de corriente de motores.

A partir de los ensayos se verificó que, para la carga máxima de 120 kg, los motores consumen, aproximadamente, una corriente continua de 4A y corrientes pico de 8A en el arranque.

3.3.3. Drivers de los motores

3.3.3.1. Requerimientos de los drivers

Se desea controlar los motores de corriente continua seleccionados mediante una señal de PWM proveniente el microprocesador. Para ello se utilizará un puente H implementado en un circuito integrado, para aprovechar sus protecciones internas y reducido tamaño. Dicho circuito tendrá que ser capaz de manejar corrientes continuas (I_o) de 4A y corrientes pico (I_{opk}) de 8A (ver 3.3.2.3 Consumo de corriente).

3.3.3.2. Selección de los drivers

Se analizaron diferentes circuitos integrados disponibles en el mercado, provistos por las por las marcas ST Microelectronics y Texas Instruments, de reconocida calidad. Todos los circuitos considerados cumplen los requerimientos de tensión, frecuencia y modo de funcionamiento, por lo cual se decidió en base a la corriente máxima de salida. En la

Tabla 3-13 se presenta esta información.

Tabla 3-13: Corriente máxima de salida de los drivers disponibles en el mercado.

Marca	Modelo	I_o [A]	$I_{o\text{ pk}}$ [A]
ST Microelectronics	L293D	*	1,2
ST Microelectronics	L298	2	3
ST Microelectronics	L6201	1	5
ST Microelectronics	L6202	1	10
ST Microelectronics	L6203	1	10
ST Microelectronics	L6208N	2,8	7,1
Texas Instruments	DRV8844	2,5	*
Texas Instruments	LMD18200	3	6
Texas Instruments	LMD18201	3	6
Texas Instruments	LMD18245	3	6
Texas Instruments	DRV8432	7	15
Texas Instruments	DRV8412	7	15

Se seleccionó el circuito integrado **DRV8432 de Texas Instruments** por cumplir con todos los requerimientos, su capacidad para manejar altas corrientes, fácil soldabilidad y posibilidad para agregar un disipador en plaquetas planchadas. Además permite su utilización en configuración paralelo, y soportar una corriente continua de 14A y corriente pico de 24A.

3.3.3.3. Placa electrónica de los Drivers

Esquemático

A continuación se muestra el esquemático de la placa electrónica de los drivers:

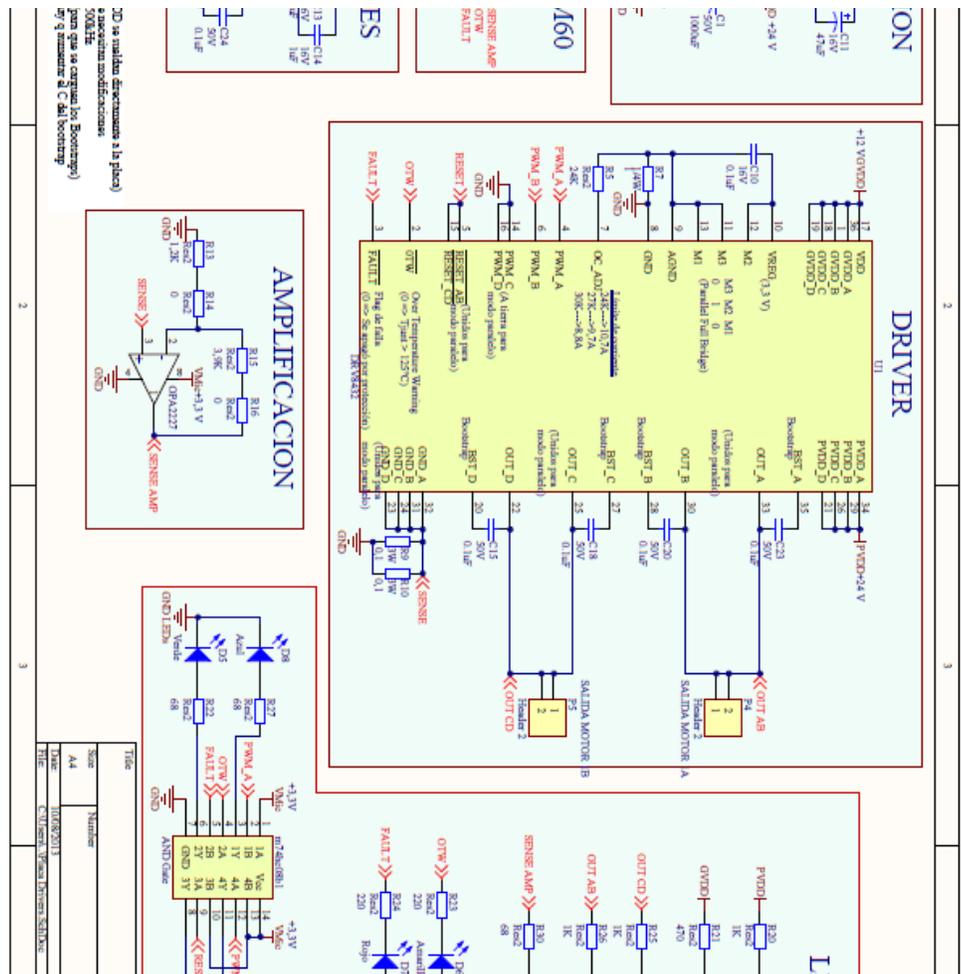


Fig. 3-38: Esquemático del circuito de la placa de drivers.

Alimentación

El driver DRV8432 requiere dos entradas de tensión. La primera es de 12 Vcc, que se reduce internamente a 3,3 Vcc y se utiliza para el circuito de control. La segunda, que permite una entrada de hasta 50Vcc para el circuito de potencia, se alimentará con 24Vcc (tensión nominal de los motores). Ambas tensiones de alimentación se tomarán de la placa madre (ver 3.5.1.4 Placa Madre). Los cables de alimentación de potencia se soldarán directamente a la placa (no se soldará la bornera P2), ya que las borneras no soportan la corriente que circulará por dichos cables.

Modo Paralelo

Se utilizará un driver DRV8432 para cada motor, cada uno en modo paralelo para obtener los más altos límites de corriente (14A con picos de hasta 24A). Para ello se ponen los pines M1 y M3 en 0, y el pin M2 en 1 (M1 y M3 se conectan a AGND y M2 a VREG). Además, se conectan las salidas OUT_A y OUT_B entre sí, y las salidas OUT_C y OUT_D entre sí; y se conectan los pines PWM_C y PWM_D a tierra

Límite de corriente

El dispositivo cuenta con un control de corriente interno, y permite programar la corriente máxima permitida (entre 1,4 A y 10,7 A para modo paralelo) según el valor de resistencia que se coloque en el pin OC_ADJ (ver Tabla 3-14). En este caso se decidió limitar la corriente en 10,7 A, lo que brinda un margen de seguridad de 2,7 A por encima de los 8 A esperados en el arranque de los motores.

Tabla 3-14 Límite de corriente de los drivers en función de la resistencia OC-ADJ

OC-ADJUST RESISTOR VALUES (k Ω)	MAXIMUM CURRENT BEFORE OC OCCURS (A)
22 ⁽¹⁾	11.6
24	10.7
27	9.7
30	8.8
36	7.4
39	6.9
43	6.3
47	5.8
56	4.9
68	4.1
82	3.4
100	2.8
120	2.4
150	1.9
200	1.4
(1) Recommended to use in OC Latching Mode Only	

Señales de advertencia

El driver cuenta con 2 señales de advertencia que son de gran utilidad para obtener información acerca de lo que está ocurriendo con los motores y el circuito. Se colocaron LEDs en la plaqueta para obtener información visual directa, y a su vez se conectó con el microprocesador para poder mostrar la información en un display, o actuar en base a las advertencias.

Las señales se obtienen de los pines OTW (over-temperature-warning) y FAULT (falla), y responden a la siguiente tabla:

Tabla 3-15 Señales de advertencia del driver.

FAULT	OTW	DESCRIPTION
0	0	Overtemperature warning and (overtemperature shut down or overcurrent shut down or undervoltage protection) occurred
0	1	Overcurrent shut-down or GVDD undervoltage protection occurred
1	0	Overtemperature warning
1	1	Device under normal operation

El OTW se activa (se pone en cero) cuando la temperatura de junta del dispositivo supera los 125°C. El FAULT se activa (se pone en cero) cuando el driver se bloquea por seguridad. Esto se puede suceder por 3 razones:

- Protección de sobre temperatura (OTP): Si la temperatura de junta supera los 150°C
- Protección de sobre corriente (OC): Si la corriente supera el límite programado de 10,7 A.
- Protección de bajo voltaje (UVP): Si la alimentación del circuito de control es menor a 9,8 V

Capacitores

Los capacitores de desacople y filtrado se colocaron lo más cerca posible de los pines, por recomendación del fabricante. Por la misma razón, se utilizaron capacitores cerámicos. El datasheet indica que los capacitores del circuito de potencia deben soportar 100 V, porque prevén que se pueda alimentar con 50V. Dado que en esta aplicación la alimentación será de 24 V, alcanza con que los capacitores soporten 50 V.

Se dispuso un capacitor electrolítico de 1000 μ F en paralelo con la alimentación de potencia como acumulador de energía. Éste proveerá la corriente necesaria para cubrir los

picos de demanda del motor, y a su vez protegerá al circuito de los picos generados cuando se corta la alimentación a los motores. Además, al absorber energía cuando el PWM está alto y liberarla cuando está bajo ayuda a regular la tensión sobre los motores.

Por la misma razón se colocaron capacitores electrolíticos en paralelo con la alimentación de control.

Agregado de bobinas

Dado el caso indeseado de que en el motor se genere un cortocircuito la corriente puede aumentar rápidamente, sin dar tiempo a que el sistema lo detecte y bloquee el dispositivo. Para reducir este riesgo, es recomendable colocar una inductancia en serie con cada salida del driver, de manera que disminuya la velocidad de crecimiento de la corriente. El fabricante recomienda un valor de inductancia mayor a $L_{OC} = \frac{PVDD \times 250 \text{ nS}}{15 \text{ A} - I_{Ave}}$, que en esta aplicación corresponde a 0,5 uH.

Este tipo de inductancias de alta potencia no se consiguen en el país, por lo cual no se incluyeron en la placa.

Sensado de corriente

Para sensar la corriente se colocó una resistencia entre el neutro del motor y la tierra. Se buscó que la caída de tensión en la resistencia sea 0,5 V a máxima carga, estableciendo una relación de compromiso entre una tensión fácilmente amplificable para enviar al conversor AD y que no afecte demasiado el circuito de potencia. Suponiendo una corriente máxima de 8 A, la resistencia necesaria resulta de $R = 0,0625 \Omega$. Dado que no se consigue una resistencia tan chica en el mercado, se colocan 2 resistencias de $0,1 \Omega$ en paralelo que equivalen a $0,05 \Omega$. Si circulara la corriente propuesta de 8 A, caerían 0,4 V en las resistencias, lo cual se considera aceptable para la medición.

Estas resistencias deben soportar como mínimo 2,9 W, ya que por cada una pasará la mitad de la corriente que pase por el motor (limitada en 10,7 A).

Acondicionamiento de sensado de corriente

Para amplificar la señal se utilizó el amplificador operacional OPA2227, de bajo ruido y alta precisión, en configuración no inversora. La ganancia que se obtiene es $A = 1 + \frac{R_{feedback}}{R_{Out}}$. Se buscó obtener una tensión de salida de 3,3 V (saturación del ADC) cuando circulen aproximadamente 11 A por el motor, y para ello la ganancia debe ser $A = \frac{3,3 \text{ V}}{0,69 \text{ V}} = 4,8$. Luego, las resistencias serán $R_{feedback} = 3,9 \text{ k}\Omega$ y $R_{Out} = 1,2 \text{ k}\Omega$. Con estas

resistencias, la máxima corriente que se podrá sentir en los motores será de 12,4 A y la resolución de 50mA.

Interfaz con el microprocesador

El Microprocesador se comunicará con el driver a través de un cable plano con los siguientes pines:

- Pin 1. Alimentación (3,3 V)
- Pin 2. Tierra
- Pin 3. PWM_A (envía señal de PWM_A)
- Pin 4. PWM_B (envía señal de PWM_B)
- Pin 5. RESET (envía señal de RESET)
- Pin 6. OTW (recibe señal de advertencia de sobrettemperatura)
- Pin 7. FAULT (recibe señal de falla)
- Pin 8. SENSE AMP (recibe la señal de sensado de corriente amplificada)

Salidas

Cada driver alimentara un motor del BIMO, con lo cual tendrá un cable de salida al vivo del motor, y un cable de salida al neutro del motor. Para cada cable se colocó una bornera de 2 pines, ya que un solo pin no soporta la corriente que circula por cada cable. Por ende, cada cable debe dividirse en dos al alcanzar la placa para conectarse a la bornera de 2 pines.

Identificaciones luminosas

Se colocaron los siguientes LEDs para obtener información del funcionamiento de la placa.

- 2 LEDs verdes que indican que hay alimentación del circuito de potencia (PVDD=+24 V) y/o del circuito de control (GVDD=+12 V)
- 2 LEDs azules que indican que circula corriente por el motor (en un sentido o en el otro)
- 2 LEDs azules que muestran las señales de PWM enviadas por el micro.

- 1 LED violeta que muestra la señal de RESET (cuando esta prendido no se envía señal de RESET, es decir, RESET=1)
- 1 LED naranja que indica que se esta sensando la corriente.
- 1 LED verde que indica que no hay señales de error
- 1 LED amarillo que indica que la temperatura de juntura excede los 125° (OTW)
- 1 LED rojo que indica que se bloqueó el driver por protección (FAULT)

Los LEDs se colocaron con resistencias en serie hagan circular 20mA por cada LED, a excepción del rojo y amarillo. Estos últimos deben prenderse cuando no hay tensión en los pines OTW o FAULT. Para eso, se los colocó al revés, de manera que la corriente circule en sentido hacia el driver. Esta corriente de sink no puede exceder los 9 mA, y por ellos se colocaron resistencias para que la corriente sea de 6 mA (suponiendo que caen 2 V en el LED).

Dado que el micro no puede entregar corriente suficiente para encender los LEDs, se debe colocar un buffer para las señales de PWM y RESET. Para ello se aprovechó el componente con compuertas AND utilizado para las señales OTW y FAULT, colocando, para cada señal, tensión en una de las entradas de la compuerta, y la señal correspondiente en la otra.

Para no derrochar energía, se colocaron jumpers de modo que se puedan desactivar los LEDs cuando no son necesarios, es decir durante el normal funcionamiento del BIMO.

PCB

Se diseñó el PCB siguiendo las recomendaciones del fabricante.

- Los capacitores de desacople se colocaron muy cerca de los pines correspondientes.
- Se colocó un plano de masa grande para reducir la impedancia.
- Las pistas del circuito de potencia se diseñaron con un ancho muy superior al estándar ya que por ellas circularán hasta 8A.
- El layout de los componentes guarda gran similitud con el recomendado.

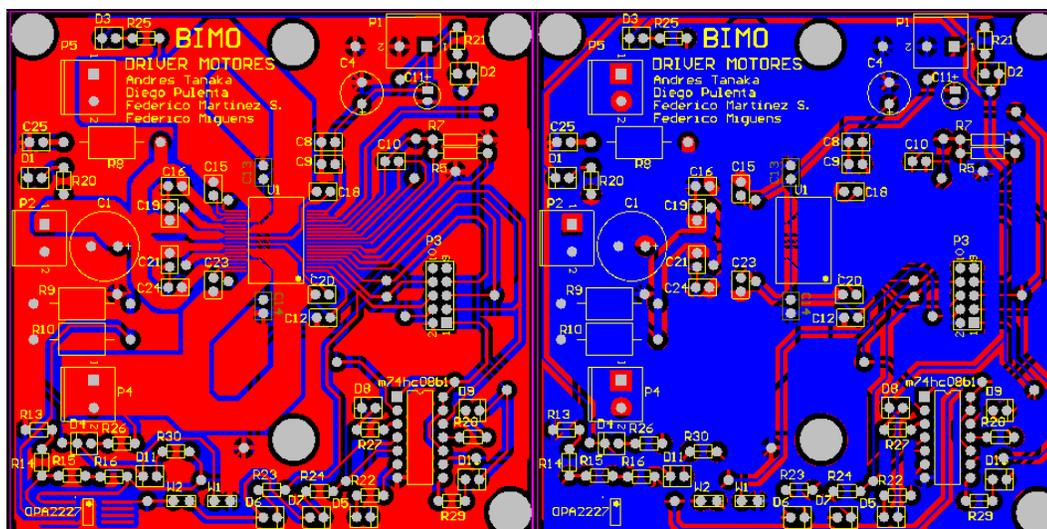


Fig. 3-39 PCB Top Layer (rojo) y PCB Bottom Layer (azul)

Recomendaciones

- Operar con frecuencia de PWM menor que 500kHz para garantizar la precisión de control y la eficiencia del driver
- No utilizar un Duty Cycle de 100%. Asegurarse de que en cada ciclo la salida permanezca baja por lo menos 50nS para que los capacitores de bootstrap alcancen a cargarse y puedan entregar la corriente necesaria al inicio del ciclo siguiente. De no cargarse lo suficiente, se puede activar la protección de bajo voltaje (UVP).
- Si la frecuencia del PWM es menor a 10kHz hay q aumentar la capacidad de los capacitores de bootstrap.
- Poner Reset en 0 (bloquea el dispositivo) mientras se prende y se apaga el driver para evitar un funcionamiento inesperado.

3.3.4. Modulación PWM para control de potencia de los motores

El control de potencia de los motores se realiza por PWM. La señal de PWM oscila entre 0 y 3,3 Vcc, con un duty cycle que se establece en el módulo de CONTROL del software, en base a la información provista por el joystick y otros dispositivos de control. Mientras la señal de PWM se encuentra en 3,3 Vcc, se aplica a los motores la tensión de las

baterías (PVDD). Mientras la señal se encuentra en 0 Vcc, no se aplica tensión sobre los motores. De esta forma, la tensión promedio aplicada a los motores puede controlarse con el microprocesador.

Cada motor es comandado por dos señales de PWM (a través del driver), y cada señal controla la tensión en un borne del motor. Luego, cuando se quiere que el motor gire, una señal de PWM se mantiene en 0 Vcc, y la otra en el duty cycle deseado. Cuando se quiere que el motor gire en el sentido contrario, se invierten las señales de PWM. Por último, el motor se bloquea cuando las dos señales de PWM se encuentran altas (ver 3.6.2. Freno Electrónico).

La frecuencia del PWM se ha establecido en 10kHz en respuesta a las recomendaciones del fabricante del driver DRV8432, que indican que la frecuencia debe ser menor a 500 kHz, pero no menor a 10 kHz. Si se desea utilizar una frecuencia menor a 10 kHz, deben reemplazarse los capacitores de bootstrap por otros de mayor capacidad (ver 3.3.3.3 Placa electrónica de los Drivers).

Además, se evita utilizar un duty cycle cercano al 100% para que los capacitores de bootstrap tengan tiempo suficiente para cargarse (el tiempo durante el cual la señal es 0 Vcc debe ser al menos 50ns).

Para mayor información acerca de la generación del PWM (ver 3.5.2 Software).

3.4. Diseño del Módulo de Fuente de Energía

3.4.1. Introducción

Todo vehículo eléctrico lleva algún tipo de depósito de energía, en el caso de las sillas eléctricas standard llevan 2 baterías de plomo de tipo GEL o AGM. Externamente no se diferencian demasiado de la típica batería de coche, pero a nivel interno son muy distintas. La primera diferencia es que el electrolito no es líquido, sino viscoso. Esto evita fugas y permite colocarlas en distintas posiciones. No tienen mantenimiento, están selladas por unas válvulas de seguridad y apenas emiten gases durante su recarga. Lo más importante es que son baterías diseñadas para descargas continuas, también llamadas baterías de tracción, esto hace que tengan una gran cantidad de ciclos de carga/descarga, según el caso unos 500.

No se recomienda usar baterías de ácido tipo coche en una silla eléctrica, además de ser más peligroso, al no estar preparadas para este tipo de descarga nos duraran solo unos meses. Las baterías de coche, también llamadas "de arranque" están diseñadas para ofrecer una gran cantidad de energía en un periodo muy corto como puede ser el arranque del automóvil, para después ser cargadas por el motor una vez se ha arrancado.



Fig. 3-40: Baterías de gel de distintas marcas y capacidades.

La capacidad de la batería se mide en amperios Hora (Ah), cuanto más amperios hora tengan nuestras baterías, en teoría, más autonomía tendrá nuestra silla. Decimos en teoría porque una silla pequeña con motores pequeños y baterías medianas puede tener la misma autonomía que una silla con motores más potentes y unas baterías más grandes, al tener la segunda un mayor consumo.

Cada 12-18 meses tendremos que sustituir las baterías que irán perdiendo su capacidad con el tiempo.

3.4.2. Selección de las baterías

Para la selección de la batería lo primero que se intentó hacer fue una simulación de uso y consumo de nuestro dispositivo a lo largo de un día normal. Para realizar la simulación se debieron suponer hipótesis como:

- Cantidad de veces que el dispositivo arranca y frena
- Segundos en el cual el dispositivo anda a velocidad crucero
- Uso horario a lo largo del día

Al tener que tomar tantas hipótesis nos dimos cuenta que la simulación podía llegar a tener un alto porcentaje de error. Es por eso que se tomó la decisión de realizar una investigación de mercado y respaldar nuestra elección con dicha investigación

Se buscó conocer que baterías utilizan las sillas de ruedas con capacidades de carga similares a las nuestras. A continuación se muestran los resultados de la investigación:

Silla de Ruedas Eléctrica Plegable IzzyGo



Fig. 3-41 Silla de ruedas eléctrica plegable IzzyGo

- Alcanza una velocidad máxima de 6.4 kilómetros por hora
- Soporta 136 kilos de peso
- Pesa 41.5 kilos sin batería
- Rendimiento de la batería: 32 kilómetros

Con 2 baterías de 12V de **34 Ah** de gel ácido desmontables para facilitar su traslado.

Fuente: http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-418528812-silla-de-ruedas-electrica-plegable-izzy-go-hecha-en-acero-_JM

Silla De Ruedas Eléctrica De Aluminio R2mil-hp8



- Peso sin batería: 41 kilos.
- Peso de batería: 19 kilos.
- Rueda Trasera: 12 pulgadas.
- Capacidad de Carga: 100 kg.
- Velocidad Máxima: 6 km/h
- Baterías de 12V34Ah

Fig. 3-42 Silla de ruedas eléctrica de aluminio R2mil-hp8

Fuente: http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-419211249-silla-de-ruedas-electrica-de-aluminio-r2mil-hp8-_JM

Scooter O Silla De Ruedas Eléctrica IzzyGo De 4 Ruedas



- Ruedas traseras y delanteras de 8 pulgadas con rines de aluminio
- Alcanza una velocidad máxima de 6.4 kilómetros por hora
- Soporta 100 kilos de peso
- Pesa 35 kilos sin batería
- Batería de 10 kilos de peso de 12V/36A

Fuente: http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-419035981-scooter-o-silla-de-ruedas-electrica-izzy-go-de-4-ruedas-_JM

Fig. 3-43 Scooter IzzyGo

Batería seleccionada: Batería de Electrolito Absorbido - Probattery 12 V – 28 Ah

BATERÍAS DE ELECTROLITO ABSORBIDO
Especial para vehículos eléctricos

Probattery

EL EMPORIO DE LAS BATERÍAS

Vehículos eléctricos

PROBATTERY				
BVLA-12220E-CPB	12V/ 22Ah	181 x 76 x 167 MM	6,28 kg	
BVLA-12280E-CPB	12V/ 28Ah	166 x 175 x 125 MM	9,53 kg	
BVLA-12340E-CPB	12V/ 34Ah	216 x 130 x 170 MM	11,10 kg	

BATERÍAS DE ELECTROLITO ABSORBIDO

Para centrales, alarmas, ups, carros de golf, iluminación de emergencia

Especial para vehículos eléctricos

BVLA-12280E-CPB

Datos Técnicos

Voltaje Nominal (V) 12V

Capacidad Nominal
régimen de 20hs (1.4A hasta 10.50V) 28Ah

Dimensiones en mm (inch)

Peso 11.467kg (25.28Lbs.)

Resistencia interna (a 1KHz) 5 mΩ

Aplicaciones

- Herramientas Eléctricas
- Carros de golf eléctricos
- Sillas de ruedas eléctricas
- Aparatos portátiles, luces e instrumentos
- Cortadoras de césped
- Juguetes eléctricos
- Alarmas contra incendios
- Equipos médicos
- Equipos de iluminación

Fig. 3-44 Batería seleccionada

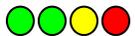
3.4.3. Carga de las baterías

Si bien las baterías se pueden cargar con las fuentes de alimentación que se encuentran en la universidad, se realizó un estudio de mercado de los dispositivos que existen específicamente con este fin. Hay disponible una amplia variedad de modelos y precios. Queda a disposición del usuario la elección del cargador.

3.4.4. Indicación de estado de carga de baterías

El BIMO cuenta con un display de 4 leds que informan el estado de carga de las baterías, según se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3-16: Indicación de estado de carga de baterías

CARGA	LEDS
100%	
75%	
50%	
25%	
0%	

La medición de la carga de las baterías se realiza evaluando las tensiones entre bornes de las baterías. Se decidió utilizar este método por ser económico y simple, y cumplir con las exigencias de la aplicación. Para simplificar el diseño y el display, se medirá la suma de las tensiones que entregan las dos baterías en serie.

Para mayor información acerca del sistema de medición e indicación de carga de las baterías ver la sección 3.5.1.4. Placa Madre.

3.5. Diseño de Módulo de Control de Movimiento

3.5.1. Hardware

3.5.1.1. Resumen de hardware

El módulo de control de movimiento cuenta con las siguientes placas electrónicas:

- 1 Placa madre (Ver 3.5.1.4. Placa Madre.)
- 2 Placas drivers de los motores (Ver 3.3.3.3 Placa electrónica de los Drivers)

Además, se utilizan los siguientes dispositivos de comando y comunicación:

- 1 Selector de encendido/apagado del dispositivo (Ver 3.5.1.2 Encendido/apagado del dispositivo)
- Indicadores luminosos (Ver 3.5.1.3 Indicadores luminosos del dispositivo)
- 1 Joystick (Ver 3.5.1.5 Joystick)
- 1 Fines de carrera (Ver 3.5.1.6 Fines de carrera)
- 1 Parada de emergencia (Ver 3.6.3 Parada de emergencia)

El BIMO emplea, en su módulo de control de movimiento, 3 niveles de tensión eléctrica:

- **PVDD** (+24 Vcc) es el nivel de tensión de la alimentación general del dispositivo, y del circuito de potencia. A partir de PVDD se obtienen los niveles de tensión inferiores, y también se utiliza para alimentar los motores a través de las placas de drivers.
- **GVDD** (+12 Vcc) es el nivel de tensión de la alimentación del circuito de control del integrado DRV8432, corazón de la placa driver de los motores. Además, GVDD se emplea en el circuito de indicación de carga de las baterías.
- **VMic** (+3,3 Vcc) es el nivel de tensión que especificado en el integrado DRV8432 para env́iar y recibir las se~nales de control. Luego, VMic se utiliza para alimentar el microprocesador, el joystick, y los dispositivos periféricos (sensores, botones, selectores, leds indicadores, etc.)

3.5.1.2. Encendido/apagado del dispositivo

Se utilizará un selector de 2 posiciones que permite encender o apagar el dispositivo. En el estado encendido, el dispositivo funciona normalmente. En el estado apagado, el microprocesador pasa a un estado de bajo consumo para ahorrar energía. Todas las funciones del BIMO se anulan hasta que se vuelva a encender.

El selector consiste en un conector de dos cables, que conecta los cables en una posición y los desconecta en la otra. Por uno de los cables se envían 3,3 Vcc, y luego por el otro se reciben 3,3 Vcc o 0 Vcc dependiendo de la posición del selector.

3.5.1.3. Indicadores luminosos del dispositivo

El BIMO cuenta con una serie de leds indicadores para comunicarse con el usuario.

- Advertencias: En caso de que alguno de los drivers de los motores emita una señal de advertencia, se informará al usuario a través de los leds de advertencia. Si se activa una señal de OTW, causada por un exceso de temperatura en el driver, se encenderá un led amarillo. En caso de activarse una señal de FAULT, lo cual implica el bloque de un driver por falla, se encenderá un led rojo. Para mayor información acerca de las señales de advertencia ver la sección 3.3.3.3 Placa electrónica de los Drivers.

Tabla 3-17 Indicadores luminosos de advertencias

ADVERTENCIAS	
	
OTW	FAULT

- Estado del BIMO: El dispositivo puede encontrarse en 3 estados: ON, STOP y OFF. El estado ON implica que el BIMO se encuentra encendido y disponible para trasladarse, es decir que el usuario se encuentra en posición erguida. En este caso se enciende un led verde. El estado STOP implica que el BIMO se encuentra encendido y frenado electrónicamente. Esto ocurre cuando el usuario no se encuentra en

posición erguida, o se ha pulsado el botón de emergencia. En este caso se enciende un led amarillo. El estado OFF se accede cuando el dispositivo se encuentra apagado, y se enciende un led rojo.

Tabla 3-18: Indicadores luminosos del estado del BIMO

ESTADO DEL BIMO		
		
ON	STOP	OFF

3.5.1.4. Placa Madre

Introducción

Se ha diseñado una placa madre con el objetivo de que funcione como “cerebro” del dispositivo. Esta placa incluye el microprocesador que controla y regula todo el funcionamiento del dispositivo, y toda la electrónica asociada y necesaria para que dicho control sea posible. Todo componente electrónico y de control del dispositivo debe comunicarse con el microprocesador, y lo hace a través de la placa madre. Además, en esta placa se regula la alimentación del dispositivo y otros circuitos auxiliares necesarios para el correcto funcionamiento del BIMO.

Esquemático

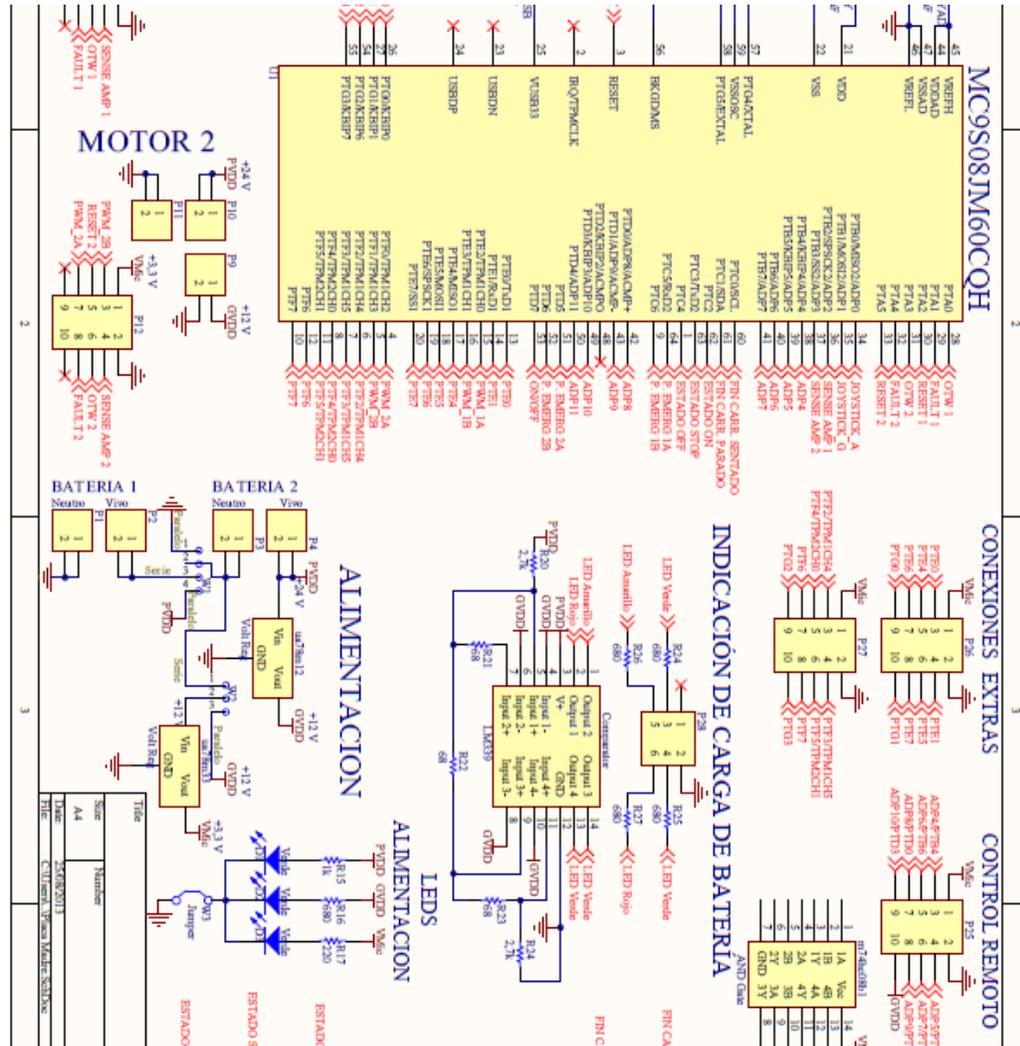


Fig. 3-45: Esquemático de la placa madre

Microprocesador

Se utiliza el microprocesador MC9S08JM60 de Motorola, por ser el microprocesador comúnmente utilizado y estudiado por alumnos y profesores de la cátedra, e incluir todas las características requeridas por el BIMO, a saber:

- Interfaz programable en código C
- Posibilidad de funcionamiento a 3,3 Vcc
- Módulo ADC
- Módulo TPM
- Puertos I/O

- Posibilidad de transición a modo de espera (bajo consumo)

Alimentación de potencia y de control

La placa madre contiene los 3 circuitos que utiliza el BIMO: el circuito de potencia con tensión PVDD (24 Vcc), el circuito de control con tensión GVDD (12Vcc), y el circuito de control con tensión VMic (3,3 Vcc). Para ello se toman 24 Vcc de las baterías, y se obtienen 12 Vcc y 3,3 Vcc a través de reguladores de tensión.

Se utilizan 4 borneras para conectarse con las 2 baterías. Cada cable de las baterías se conecta a una bornera de 2 pines para que las borneras soporten los altos picos de corriente que entregarán las baterías (mayores a 8A).

Como se explica en la sección 3.4.2 Selección de las baterías, se ha optado por emplear dos baterías de 12 Vcc en serie, para obtener 24 Vcc. Sin embargo, la placa madre se ha diseñado para contemplar la posibilidad de la utilización de dos baterías de 24Vcc en paralelo. Esto se puede seleccionar mediante *jumper*s. En ambas configuraciones, la tensión de 24Vcc (PVDD) se toma directo de las baterías.

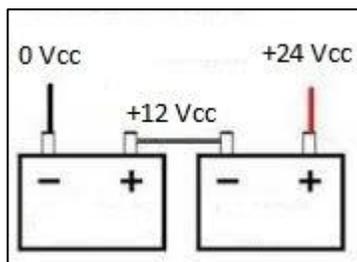


Fig. 3-46 Configuración de baterías de 12 Vcc en serie

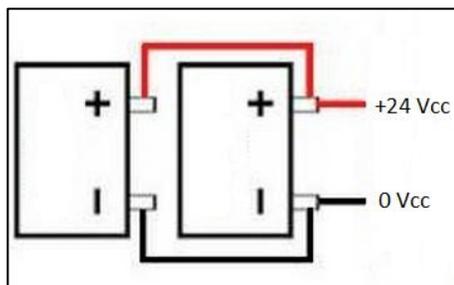


Fig. 3-47 Configuración de baterías de 24 Vcc en paralelo

Se han colocado dos reguladores de tensión para obtener las tensiones de control reguladas que se necesitan en el dispositivo. El circuito integrado **ua78m12**, de Texas Instruments, toma 24 Vcc de las baterías y entrega 12 Vcc (GVDD). El circuito integrado **ua78m33**, de Texas Instruments, toma 12 Vcc y entrega 3,3 Vcc (VMic). Cuando se tiene la configuración paralelo de las baterías, los 12 Vcc deben tomarse de la salida del regulador **ua78m12**. En cambio, cuando se tiene la configuración serie, surge la posibilidad de tomar 12 Vcc de la primer batería (ver figura baterías en serie). Se ha decidido emplear esta segunda opción para evitar sobrecargar, en términos de corriente, el regulador **ua78m12**. Esto significa que la primer batería tendrá más consumo que la segunda, ya que la primer batería será la única que alimentará el circuito de control de 3,3 Vcc. Sin embargo, se considera que dicha diferencia de consumo será despreciable respecto al consumo que ambas baterías tendrán alimentando los motores.

Por otro lado, se colocaron 3 leds verdes con el objetivo de verificar la correcta obtención de las tensiones deseadas en la placa (24 Vcc, 12 Vcc y 3,3 Vcc). Cada una de estas tensiones alimenta uno de los leds, a través de una resistencia calculada para que los leds no se quemen. De esta forma, cada led encendido indica que se tiene la tensión correspondiente a dicho led. Se colocó a su vez un jumper entre las salidas de los leds y la tierra, de modo que se puedan desactivar los leds cuando no se utilizan, y así evitar un gasto innecesario de energía.

Encendido/apagado del dispositivo

La placa madre cuenta con una bornera (P29) que alimenta y recibe la señal del selector on/off del dispositivo. Esta señal se conecta al puerto PTD7, de modo que a través del selector se pueda setear el microprocesador en modo espera mientras no se esté utilizando el dispositivo, y así ahorrar energía.

Conexiones con las placas de driver de los motores

Cada motor se controla a través de una placa de driver, y cada placa de driver se conecta con la placa madre. Las borneras P6, P7, P10 y P11 transmiten los 24 Vcc, utilizando una bornera de dos pines por cada cable para que las borneras soporten los picos

de corriente de hasta 8 A. Las borneras P5 y P9 transmiten la tensión de 12 Vcc requerida por los drivers.

Por otro lado, las borneras P8 y P12 transmiten las señales emitidas y recibidas por el microprocesador a las placas de driver. Las señales que el micro envía a cada placa de driver consisten en dos señales de PWM (una para cada sentido de giro del motor), y la señal de RESET. Las señales de PWM provienen de los canales 0, 1, 2 y 3 del módulo TPM, y para la señal de RESET se utilizan los puertos I/O PTA1 y PTA5.

Las señales que recibe de cada placa de driver, son el sensado de consumo de corriente del motor (ingresan a los canales 2 y 3 del ADC), y las señales de advertencia del driver, OTW y FAULT, que ingresan a los puertos I/O PTA0, PTA1, PTA3 y PTA4.

Conexión con el joystick

La placa madre cuenta con una bornera (P13) para comunicarse con el joystick. De esta forma se alimenta el joystick con 3,3 Vcc y se obtienen las señales de avance y giro, que se ingresan al ADC (canales 0 y 1) para controlar la traslación y dirección del dispositivo.

Conexión con los fines de carrera

Los fines de carrera empleados en el BIMO para sensar la posición del usuario, se comunican con el microprocesador a través de las borneras P16 y P17. De esta forma se alimentan los fines de carrera con 3,3 Vcc, y se recibe la señal a través de los puertos PTC0 y PTC1 del microprocesador.

Conexión con las paradas de emergencia

El BIMO cuenta con dos paradas de emergencia (ver 3.6.3 Parada de emergencia). Cada parada de emergencia utiliza dos señales independientes, por si alguna de ellas deja de funcionar. Por ende, la placa madre cuenta con cuatro borneras (P18, P19, P20 y P21) que alimentan las paradas de emergencia y reciben la señal. Las señales ingresan al microprocesador a través de los puertos PTC5, PTC6, PTD5 y PTD6.

Conexión con los leds indicadores del estado del BIMO

El BIMO cuenta con 3 indicadores luminosos que informan el estado en el que se encuentra el dispositivo (ver sección 3.5.1.3 Indicadores luminosos del dispositivo). La placa madre contiene las borneras (P22, P23, P24) mediante las cuales se envían las señales para que se enciendan los leds. A su vez, contiene las resistencias que limitan la corriente que circula por los leds de manera que los leds no se quemen. Las señales para los estados ON, STOP y OFF se envían a través de los puertos PTC2, PTC3 y PTC4, respectivamente.

Medición e indicación de la carga de las baterías

La placa madre contiene la lógica de medición de la carga de las baterías, y las salidas a los leds que otorgarán dicha información al usuario.

La medición de la carga de las baterías se realiza evaluando las tensiones entre bornes de las baterías. Se decidió utilizar este método por ser económico y simple, y cumplir con las exigencias de la aplicación. Para simplificar el diseño y el display, se medirá la suma de las tensiones que entregan las dos baterías en serie.

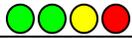
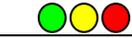
Para poder realizarse una medición adecuada, primero deben ensayarse las baterías para conocer la tensión que entregan a distintos niveles de carga. Para realizar un primer diseño del circuito de medición de carga, se supuso (en base a estudios similares) que las baterías del BIMO en configuración serie responderán a la siguiente tabla:

Tabla 3-19: Tensión entregada por las baterías en configuración serie en función de su carga

CARGA	PVDD
100%	25,4 Vcc
75%	24,9 Vcc
50%	24,4 Vcc
25%	23,9 Vcc
0%	23,4 Vcc

Luego, con el objetivo de que cada uno de estos estados de carga encienda una configuración de leds determinada (ver Tabla 3-20), se diseñó el circuito que se muestra en la Fig. 3-48: Circuito de indicadores de carga de las baterías Fig. 3-48

Tabla 3-20: Indicadores luminosos en función del porcentaje de carga de las baterías

CARGA	LEDS
100%	
75%	
50%	
25%	
0%	

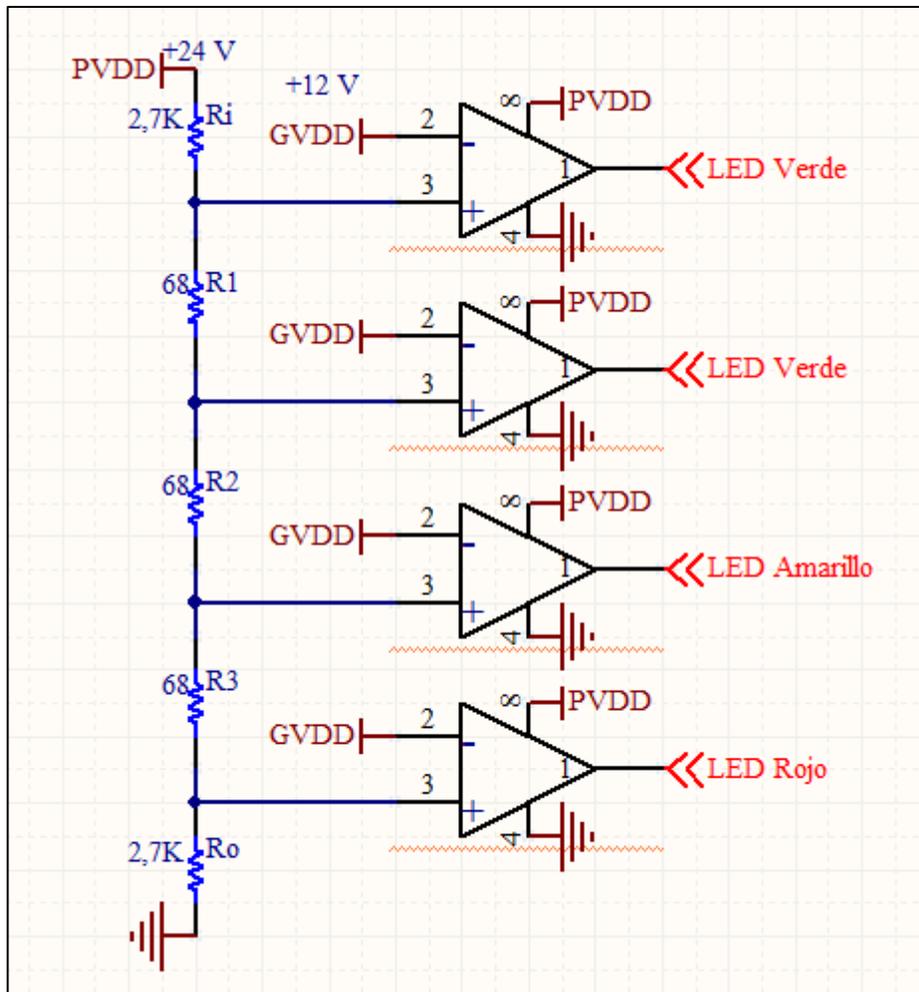


Fig. 3-48: Circuito de indicadores de carga de las baterías

El circuito consiste en tomar la tensión entregada por las baterías y aplicarla sobre una cadena de 3 resistencias en serie, obteniendo 4 escalones de tensión que varían según la carga de las baterías. Luego, estos escalones se comparan con una tensión de referencia ($GVDD = 12\text{ Vcc}$), y sus salidas encienden leds cuando se supera la tensión de referencia. Con una configuración adecuada de resistencias, se consigue que los leds se enciendan en función de la carga, de manera muy similar a la configuración mostrada en la tabla.

Para lograr esta configuración, se requiere que los escalones de tensión sean cercanos a la tensión de referencia, por lo cual se incluyen las resistencias R_i y R_o al inicio y al final de la cadena de resistencias.

Los 4 comparadores de tensión utilizados se concentran dentro del circuito integrado LM339. La serie de resistencias (estándar) que mejor se aproxima a la respuesta deseada se muestra en la Tabla 3-20. La desviación frente al comportamiento ideal de los leds se considera aceptable. Como se puede ver en la Tabla 3-22, los leds encendidos en momentos indeseados lo hacen porque se supera la tensión de referencia por menos de 130mV, lo cual significa que se apagarán cuando la carga en las baterías sea levemente inferior a la deseada.

Tabla 3-21: Valores de resistencias empleadas en el circuito de indicadores de carga de las baterías

R_i	2700 ohm
R_1	68 ohm
R_2	68 ohm
R_3	68 ohm
R_o	2700 ohm

Tabla 3-22: Tensión en la entrada positiva de los comparadores y comportamiento de los leds en función de la carga de las baterías

CARGA	V+ COMP ₁	LED ROJO	V+ COMP ₂	LED AMARILLO	V+ COMP ₃	LED VERDE	V+ COMP ₄	LED VERDE
100%	13,16	ON	12,85	ON	12,55	ON	12,24	ON
75%	12,90	ON	12,60	ON	12,30	ON	12,00	OFF
50%	12,64	ON	12,35	ON	12,05	ON	11,76	OFF
25%	12,39	ON	12,10	ON	11,80	OFF	11,51	OFF
0%	12,13	ON	11,84	OFF	11,56	OFF	11,27	OFF

Conexiones extras

Se han instalado las borneras P26 y P27 en la placa madre, que pueden utilizarse para aplicaciones no previstas. Las conexiones extras se comunican con 12 puertos I/O, y 4 puertos que pueden utilizarse como I/O o como canales del módulo TPM.

3.5.1.5. Joystick

Introducción

El ITBA puso a disposición del proyecto un joystick, que fue estudiado y se concluyó que cumple los requerimientos para ser utilizado.



Fig. 3-49: Joystick de control de silla de ruedas Oliver proporcionado por la cátedra.

Características del joystick

- Marca/ Modelo: Oliver, 7000 Series (versión moderna: 9000 Series)
- Modo de sensado: Inductivo
- Entrada: 4.75V min – 15V max ; 10mA (típ)
- Salida: - Tensión continua, proporcional a la posición
- Una salida horizontal y otra vertical
- Tolerancia de salida: +/- 10%

Ensayo del joystick

Se realizaron las siguientes mediciones para relevar el funcionamiento del joystick:

- **Alimentación:** 5Vcc ; 10mA
- Salida cable **verde**
 - 0v (+/-100mv)
- Salida cable **amarillo**
 - Posición centrada: 2.5V

- Posición adelante: 2.93V
- Posición atrás: 1.97V
- Posiciones laterales: 2.5V
- Variación gradual en posiciones intermedias
- Salida cable **azul**
 - Posición centrada: 2.5V
 - Posición derecha: 2.95V
 - Posición izquierda: 1.95V
 - Posiciones adelante/atras: 2.5V
 - Variación gradual en posiciones intermedia
- Máxima variación de salida verificada: +/-10%

Lectura de señal del joystick con ADC

El joystick cuenta con 2 salidas, para sensar movimientos de avance y giro independientemente.

Dichas salidas varían entre 2V y 3V (respecto de tierra) con los movimientos, y entregan 2,5V en la posición central.

A posteriori de este ensayo, se optó por utilizar un circuito de control de 3,3V en lugar de 5V, por lo cual se infiere que las salidas entregarán 1,65V en la posición central, y variarán entre 1,32V y 1,98V con los movimientos.

El ADC cuenta con 256 niveles, de 0 a 3,3V. Luego, la variación del avance en cualquier dirección (0,33V), será discretizada en 25 valores. Se considera una resolución suficiente para el manejo del dispositivo

El Joystick se alimentará con los mismos 3,3Vcc del micro. Se colocarán pines en la plaqueta del micro para conectar las salidas horizontal y vertical a 2 canales del ADC.

Las salidas se medirán respecto de tierra y no del cable verde para obtener siempre valores positivos de tensión.

3.5.1.6. Fines de carrera

El dispositivo utiliza 2 fines de carrera para sensar la posición del usuario. Uno de ellos detecta cuándo el usuario se encuentra sentado, y el otro detecta cuándo alcanza la posición erguida. Se busca conocer la posición del usuario para aplicar un freno electrónico a los motores siempre que el usuario no se encuentre en la posición erguida (ver 3.6.2 Freno electrónico).

Los sensores utilizados son switches que reciben 3,3 Vcc y, al ser oprimidos, conectan con la salida transmitiendo la misma tensión.

3.5.1.7. Control remoto

Se ha diseñado el BIMO previendo la posibilidad de que se incluya un control remoto para comandar el dispositivo a distancia. Se incluyeron en la placa madre las conexiones que serían necesarias para alimentar y comunicarse con el control remoto (ver 3.5.1.4. Placa Madre).

3.5.2. Software

Se ha programado el microprocesador utilizando lenguaje C, a través del software Freescale CodeWarrior. A continuación se muestra el diagrama de flujo general:

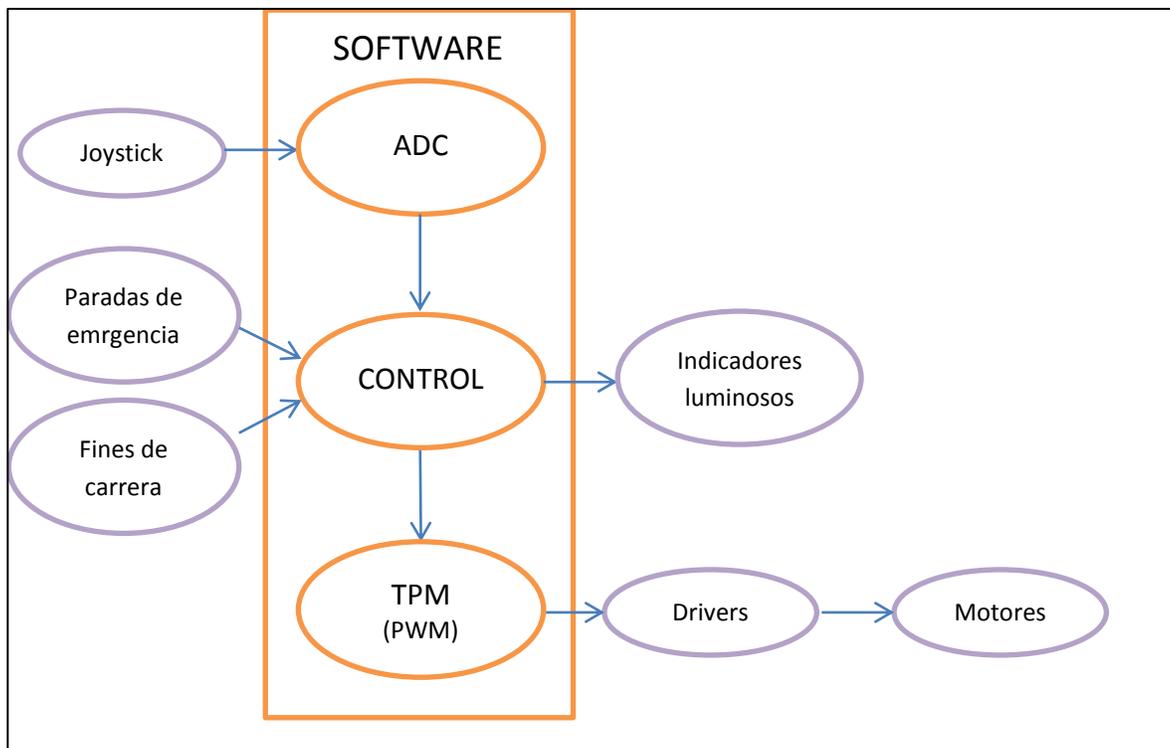


Fig. 3-50: Diagrama de flujo del módulo de control de movimiento

El código fuente (ver **Anexo 12**) consta de los siguientes módulos:

- MAIN
- ADC
- CONTROL
- TPM

El **MAIN** es el módulo principal. Allí se inicializan y configuran los módulos ADC y TPM del microprocesador, así como los puertos de entrada/salida. A su vez, se corre un ciclo infinito donde se llaman las funciones “ADC”, “Control” e “Init_CanalX_TPM”, definidas en los módulos **ADC**, **CONTROL** y **TPM**, respectivamente.

El módulo **ADC** contiene la función ADC, cuyo objetivo es leer y guardar la información recibida por el ADC del microprocesador. Para ello, se leen secuencialmente los 4 canales utilizados, guardando la información recibida por cada canal en una variable. Al finalizar la lectura del último canal, se vuelve a comenzar por el primero, actualizando las variables constantemente.

Se utilizan 8 bits para la conversión, y se emplea un filtro de mediana de 25 muestras para disminuir el error. Además, no se toman en cuenta los resultados de

conversión que sean cero, porque se considera que ese resultado es falso, proveniente de un error en la conversión.

Este módulo contiene a su vez la función `Init_ADC` que es llamada al comienzo del programa para configurar el ADC del microprocesador.

El módulo **CONTROL** contiene la función `CONTROL`, cuyo objetivo es realizar los cálculos necesarios para aplicar la tensión efectiva adecuada a cada motor, en base a la información recibida del ADC (joystick y sensado de corriente) y de los puertos I/O (fines de carrera, parada de emergencia, etc). Los resultados de los cálculos se guardan en las variables `duty_num`, que luego utiliza el módulo **TPM** para establecer el duty cycle

El módulo **TPM** contiene las funciones `Init_CanalX_TPM`, una por cada canal utilizado, donde X es el número de canal. Estas funciones inicializan los canales del TPM, en este caso utilizados para transmitir una señal de PWM. Además, se le asigna a cada canal la variable `duty_num`, que establece el duty cycle del PWM. Por esta razón, estas funciones se llaman cada vez que finaliza la función `CONTROL`, de manera que se actualicen los valores de duty cycle según la información recibida por el micro.

Este módulo contiene a su vez, las funciones `reset_TPM` e `Init_TPM`, que son llamadas al inicio del programa para resetear el contador del TPM y configurar el TPM, respetivamente. Se ha configurado el TPM de manera que la frecuencia de PWM sea de 10kHz, para cumplir con las recomendaciones del fabricante del driver DRV8432.

3.6. Diseño de Elementos de Seguridad e Higiene

3.6.1. Freno mecánico

- Frenos con zapata: Los más comunes son los de montaje alto (se anclan al tubo que queda por debajo del asiento), y pueden ser de dos tipos, según se activen empujando hacia delante o tirando hacia atrás. Estos frenos pueden llevar alargadores para facilitar su uso.
- Frenos de tijera: Más ligeros y que quedan escondidos cuando están en reposo, facilitando las transferencias, normalmente se ven en sillas activas / ultraligeras.
- Frenos de una mano: Para hemipléjicos y usuarios que prefieren esta opción.
- Frenos de Tambor: Normalmente en sillas en las que el acompañante maneja la silla. Se activa el freno desde una maneta tipo freno de bicicleta que va fijada en las empuñaduras del respaldo.



Fig. 3-51 Freno de zapata, freno de zapata con prolongador y freno de tijera (de izquierda a derecha)

El tren delantero original contaba con los frenos con zapata lo cual se tomó la decisión de utilizarlos para contar con un freno manual además del electrónico (bloqueo de motores).

3.6.2. Freno electrónico

El BIMO se ha programado para que el traslado sea permitido únicamente cuando el usuario se encuentra en posición erguida, garantizando la estabilidad y la seguridad del

paciente. Utilizando los sensores de fin de carrera (ver 3.5.1.6 Fines de carrera), se detecta cuándo el usuario no se encuentra en posición erguida y se aplica el freno electrónico. Además, se aplica el freno electrónico cuando se pulsa la parada de emergencia.

El freno electrónico consiste en energizar los dos bornes del motor simultáneamente. Para ello, se establece un duty cycle del 100% en todas las señales de PWM, lo cual equivale a aplicar 24 Vcc en todos los bornes de los motores.

3.6.3. Parada de emergencia

El BIMO cuenta con dos paradas de emergencia una para ser utilizada por el usuario, y otra por el terapeuta. Cuando se oprime la parada de emergencia, se aplica el freno electrónico a los motores de manera que queden bloqueados (ver 3.6.2 Freno electrónico).

Cada parada de emergencia utiliza dos señales independientes, por si alguna de ellas deja de funcionar. Se utilizan contactos normalmente cerrados alimentados con 3,3 Vcc, que entregan una señal de 3,3 Vcc al micro mientras el pulsador no se encuentra pulsado. Cuando se oprime la parada de emergencia, la señal transmitida al micro pasa a ser 0 Vcc. Se optó por contactos normalmente cerrados (NC) en lugar de normalmente abiertos (NA) ya que, si la alimentación fallara, en el caso de los NC se activa la parada de emergencia, y en el caso de los NA el pulsador quede sin efecto.

3.6.4. Desmontabilidad de partes en contacto con el usuario

Las partes que están en contacto con el usuario son las pertenecientes a la pechera, los apoyos tibiales y las manijas de sujeción. Se confeccionarán con una superficie acolchonada para brindar confort al usuario. Para su fácil limpieza se recubrirán con cuerina, la cual permitirá una rápida higienización. A su vez se harán varios paneles desmontables para facilitar el desarmado.

Las manijas serán recubiertas con gomaespuma para brindar mayor confort y mejorar el agarre del usuario.

4. IMPLEMENTACIÓN

4.1. Construcción de prototipo en madera

4.1.1. Objetivo

Construir un prototipo funcional, a escala real, para evaluar la ergonomía del concepto.

4.1.2. Lineamientos

Para poder evaluar la ergonomía y recorrido del mecanismo ideal de barras planteado, se decidió diseñar un modelo tridimensional. Para esto se seleccionó la geometría del “Hombre Mediano – Mujer alta” con el fin de que los integrantes del grupo de trabajo puedan evaluarlo.

Para este fin se utilizó madera por su bajo costo y gran disponibilidad en el mercado. Solo se dimensionó a modo de respetar la ubicación de los puntos de pivote. Debido a que no se evaluará su comportamiento frente a cargas exteriores, no se realizaron cálculos para determinar la sección de los componentes.

Consideraciones:

- Se planteará un mecanismo de barras paralelas para mantener la pechera paralela al usuario en todo el recorrido de elevación.
- Las manijas de sujeción estarán separadas para poder generar un completo agarre.
- Debe colocarse un apoyo tibial para evaluar su función.
- Se colocarán topes para talón para generar la traba de la pierna.
- La pechera contará con laterales para contener lateralmente al usuario.
- Se pondrán dos grupos de barras paralelas para distribuir la carga aplicada y evitar rotaciones por movimientos laterales del usuario.
- Se colocarán topes para talón a modo de evaluar su función.

Las uniones de las partes que deban rotar serán realizadas mediante barras roscadas y tuercas para poder regular la fuerza de ajuste a fin de regular el ajuste entre las mismas.

4.1.3. Implementación del prototipo de madera

A continuación se muestran imágenes del diseño CAD del prototipo de madera (Fig. 4-1) e imágenes el prototipo construido (Fig. 4-2)

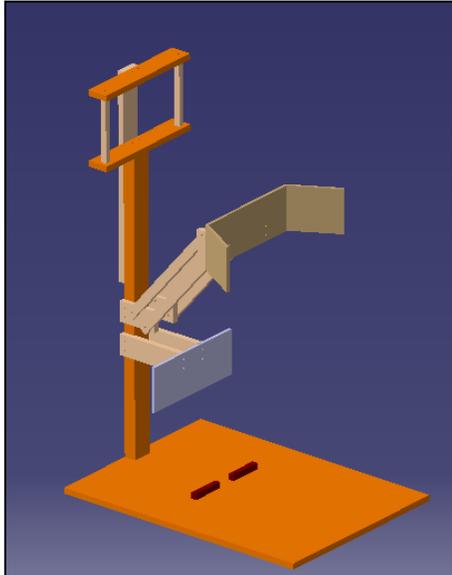


Fig. 4-1 Diseño CAD del prototipo de madera



Fig. 4-2 Prototipo de madera construido

4.2. Implementación la Estructura Mecánica

Se procedió a la construcción de las piezas que compondrán la estructura mecánica.

El conjunto de piezas se presenta en la Fig. 4-3.

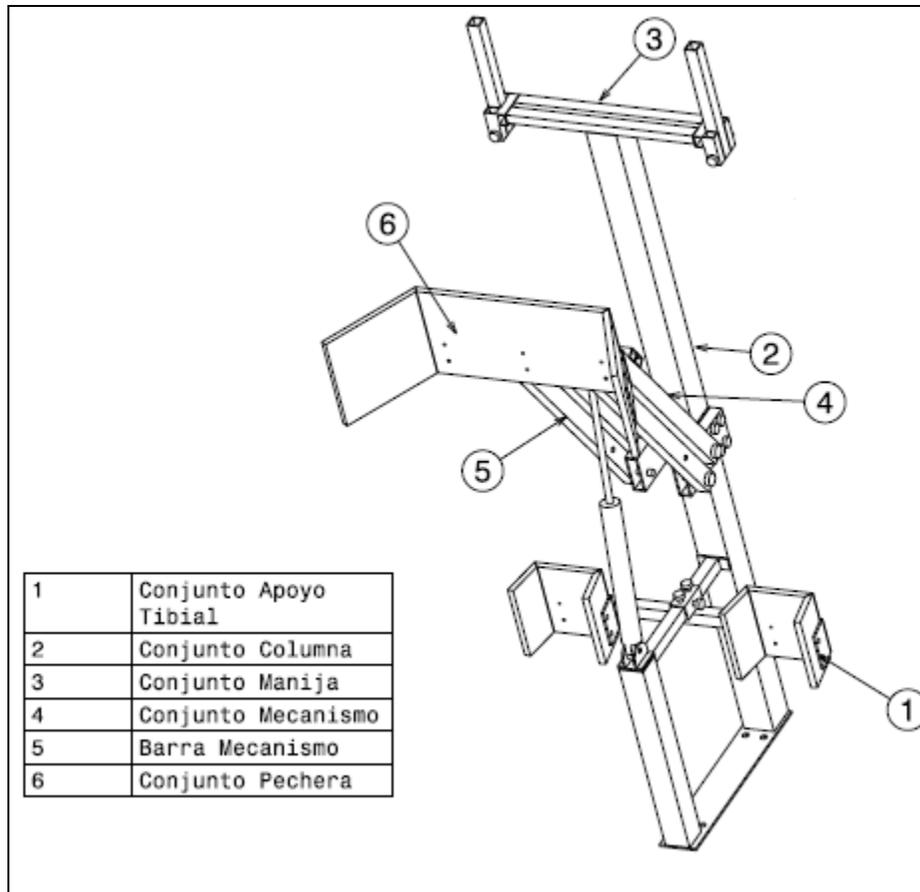


Fig. 4-3: Ensamble de conjuntos del prototipo.

4.2.1. Estructura superior y mecanismo de barras paralelas

4.2.1.1. Conjunto apoyo tibial

El apoyo tibial estará compuesto por placas de madera, las cuales se envolverán en goma-espuma y luego en cuerina.

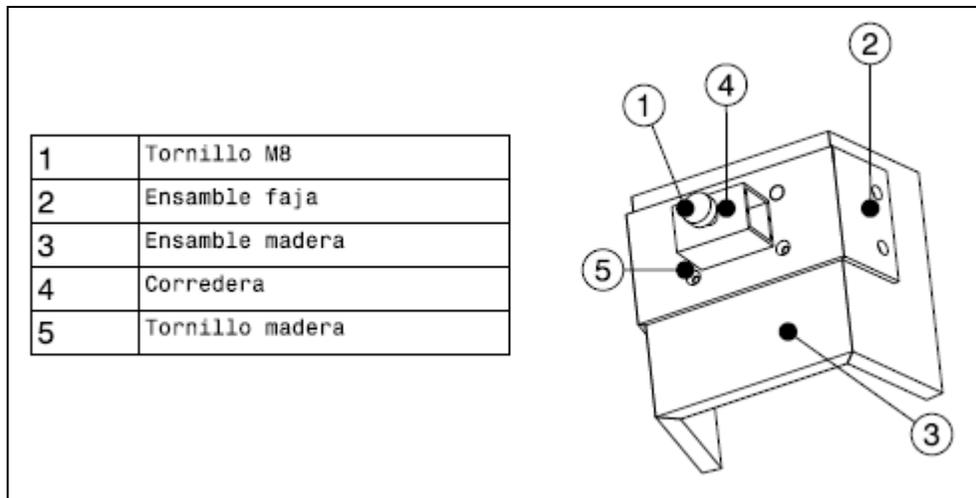


Fig. 4-4: Detalle de componentes del apoyo tibial.

Ver planos 1-8, **Anexo 6**

4.2.1.2. Conjunto columna

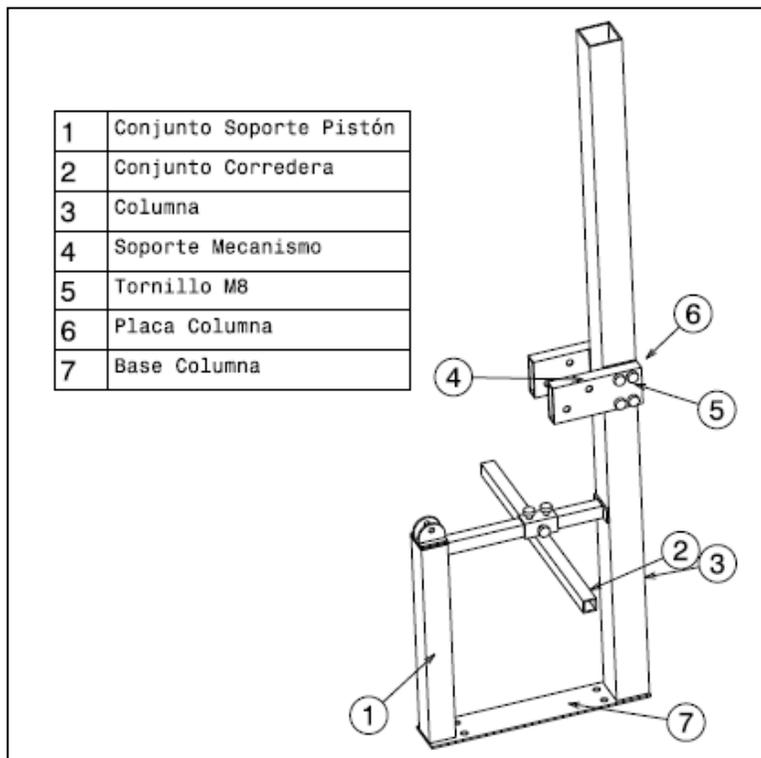


Fig. 4-5: Detalle de componentes de la columna central.

Ver planos 9-20, 30, **Anexo 6**

4.2.1.3. Mecanismo

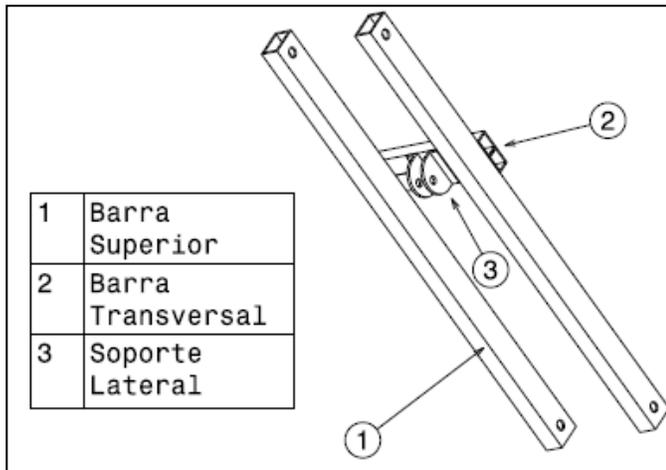


Fig. 4-6: Detalle de componentes del mecanismo de elevación

Ver planos 13,28,33,34, **Anexo 6**

4.2.1.4. Manijas

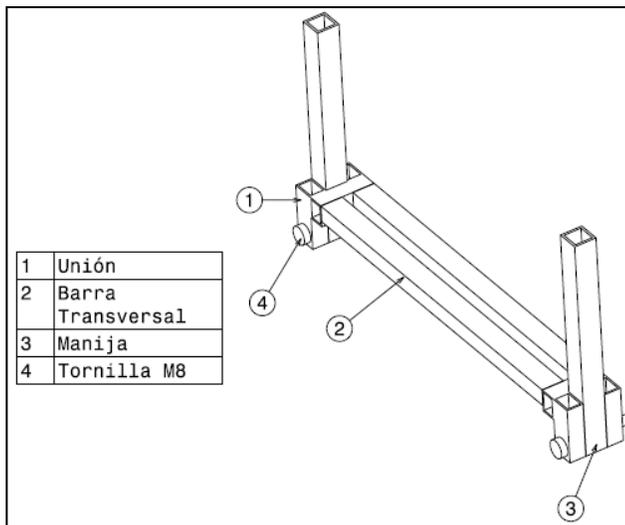


Fig. 4-7: Detalle de componentes de las manijas

Ver planos 35-38, **Anexo 6**

4.2.1.5. Pechera

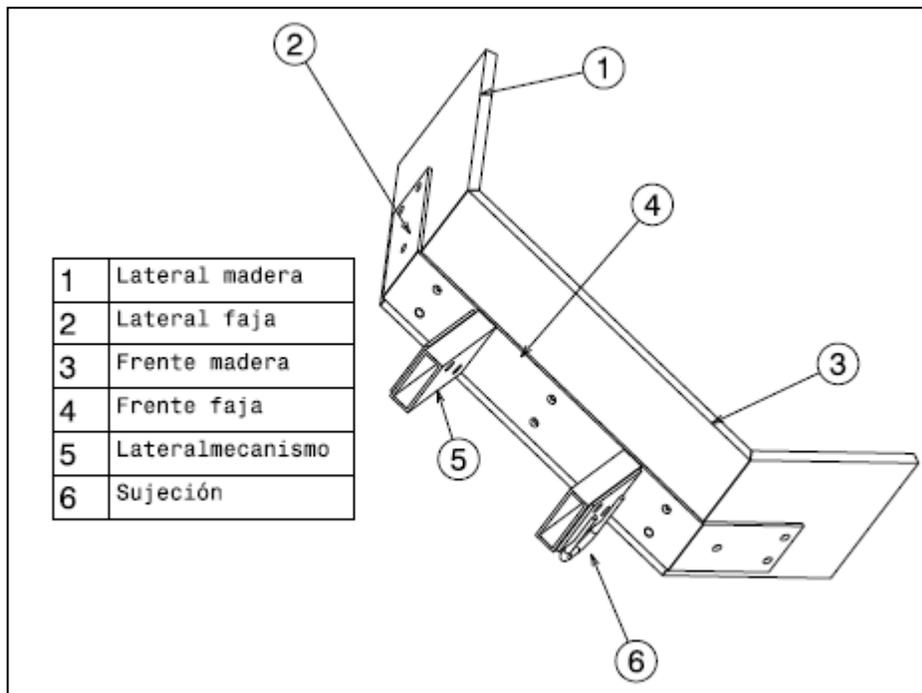


Fig. 4-8: Detalle de componentes de la pechera

Ver planos 21-27, **Anexo 6**

4.2.2. Elemento de asistencia para la elevación del usuario

El resorte comprado se sujetó al dispositivo mediante dos pernos M8. Los soportes donde se fija el resorte se mecanizaron a partir de un perfil en L, y se soldaron al mecanismo.

Para el accionamiento de la válvula del bloqueo se utilizó un freno de bicicleta, sujeto a la manija del mecanismo. De esta manera se puede bloquear o desbloquear el resorte durante movimiento para quedar en una posición intermedia.

4.2.3. Estructura inferior: Base del dispositivo

4.2.3.1. Tren delantero

Como se mencionó anteriormente se utilizó el tren delantero de una silla de ruedas.

El tren delantero fue revisado y restaurado para ponerlo en condiciones de funcionamiento nuevamente. Las operaciones que se le realizaron fueron:

- Se cortaron partes de la estructura que no eran necesarias
- Se realizaron operaciones de limpieza
- Se realizó un proceso de arenado para eliminar la pintura vieja
- Se le aplicó una capa de antioxidante
- Se volvió a pintar.



Fig. 4-9: Silla de ruedas original con el tren delantero



Fig. 4-10: Eliminación de partes indeseadas

A continuación se muestran fotos del proceso de restauración. En el cd adjunto se encuentran videos

En la Fig. 4-9 se puede observar la silla de ruedas del proyecto anterior con el tren delantero que se utilizó.

En la Fig. 4-10 y la Fig. 4-11 se puede observar el inicio de la etapa de eliminación de partes indeseadas.



Fig. 4-11: Proceso de limpieza del tren delantero

Luego de eliminar, limpiar y remover las estructuras de aceros que no eran necesarias se mandó a arenar el tren delantero para eliminar la pintura vieja. En la Fig. 4-12 se puede observar el tren delantero luego del arenado y el inicio de la aplicación de la capa antioxidante.



Fig. 4-12 Tren delantero luego del proceso de arenado (izq) y con la primera capa de antioxidante (der)

Una vez que se aplicó la capa antioxidante y esta secó, se pintó el tren delantero de color negro mate como se puede observar en la Fig. 4-13.



Fig. 4-13: Tren delantero en proceso de pintado

4.2.3.2. Estructura central de la base

Una vez finalizada la etapa de diseño y de dimensionamiento se comenzó con la construcción de los perfiles centrales.

Se cortaron los perfiles y luego se presentaron junto al tren delantero para evaluar el diseño antes de comenzar con los trabajos de soldadura. (Fig. 4-15). Finalizada esta etapa se prosiguió a soldarlos en forma definitiva. En la Fig. 4-14 se pueden observar los perfiles centrales recién soldados al tren delantero.



Fig. 4-15: Estructura central de la base presentada junto con el tren delantero



Fig. 4-14: Estructura central recién soldada

4.2.3.3. Apoyos para los pies

En las figuras siguientes se puede observar la secuencia del proceso de construcción de los apoyos para los pies.



Fig. 4-17: Proceso de corte y amolado



Fig. 4-16: Verificación de las dimensiones



Fig. 4-18: Presentación de los sistemas regulables

4.2.3.4. Tren trasero

Una vez finalizada la etapa de corte se comenzó con el procesos de agujereado de los perfiles para poder ensamblar las ruedas traseras y las varillas roscadas de los sistemas regulables



Fig. 4-19: Procesos de agujereado

4.2.3.5. Ruedas

Luego de que los perfiles fueron amolados y agujereados, se verificaron sus dimensiones y se comenzaron con las operaciones de ensamble



Fig. 4-20: Ensamble final de toda la base

4.2.4. Sujeción del usuario

4.2.4.1. Arnés de sujeción y sistema de ajuste

El arnés de sujeción está hecho con dos tiras de tela de cinturón de seguridad, que forman un asiento, y una hebilla macho en cada extremo. Éste será forrado y acolchonado cuando finalice la etapa de pruebas, para facilitar los ajustes y correcciones en el diseño.

Para el sistema de ajuste se compraron dos criquets de los utilizados para la sujeción de cargas en automóviles. Las hebillas hembra del cinturón se cosieron a una cinta de nylon que permitirá el ajuste del arnés. Ésta pasa por dos ojales especialmente colocados junto a la pechera, y se ajusta en los criquets fijados a las barras inferiores del mecanismo.

Este sistema permite que el usuario se suba y baje del dispositivo con comodidad. Para subir se coloca el arnés debajo de la cola y se abrochan las hebillas. Luego con el criquet se ajustan las cintas hasta que la sujeción sea firme. Para bajar, basta con desabrochar las hebillas del cinturón.

4.2.4.2. Pechera

Para la pechera se fabricaron almohadones de madera terciada de espesor 10mm cubiertos con gomaespuma de 5cm y cuerina negra. Se usaron tres placas de madera, dos de 150mm x 170mm para los laterales, y una de 150mm x 320mm para el apoyo frontal. A continuación se colocó la gomaespuma sobre las placas de madera sujetándola en posición con una engrampadora.

Una vez que los almohadones estuvieron listos se los forró con cuerina negra. Para esto se cortaron rectángulos de cuerina de un ancho tres veces mayor que el de las placas de madera originales y una altura dos veces mayor a la de éstas. Esta sobredimensión permitió compensar el ancho de la gomaespuma. La cuerina se fijó sobre los almohadones con una engrampadora.

Los almohadones se sujetaron al dispositivo con tornillos perforadores de madera. En la parte trasera de los almohadones laterales se colocaron dos cintas de abrojo, donde engancha una faja que brinda más sujeción al usuario.

4.2.4.3. Contención de las rodillas

Para los apoyos frontales de las piernas se fabricaron almohadones de igual manera que los de la pechera.. La madera terciada se cortó en placas de 120x110mm para la parte frontal y dos placas de 120x170mm que formarían los soportes para evitar el desplazamiento lateral de la pierna.

Probando apoyar la pierna contra los almohadones se comprobó que el espesor de la gomaespuma no era suficiente para amortiguar el contacto con la madera, por lo que se decidió agregar una segunda capa, llevando el espesor total a 10cm.

Se agregó también una cinta de abrojo que envuelve la pierna y la fija en posición.

Al realizar una consulta en el Instituto FLENI nos comentaron que los almohadones debían ser más altos, para permitir que apoye la rodilla, parte del muslo y parte de la canilla. Para pacientes con debilidad en los huesos una superficie de apoyo tan pequeña podría llevar a fracturas en los huesos, o a una hiperextensión de la rodilla. Por esta razón se resolvió rehacer los almohadones con la mayor medida posible.

4.2.4.4. Contención de los talones

La contención trasera de los talones se resolvió con un perfil de acero de 10mm de altura, soldado a la plataforma donde apoyan los pies del usuario. El ajuste de posición para distintos tamaños de pie se realiza moviendo la plataforma entera.

4.3. Implementación del Módulo de Tracción

4.3.1. Motores

Dado que los motores han sido dispuestos por la cátedra, la implementación de los motores consistió en verificar su correcto funcionamiento.

4.3.2. Drivers de los motores

La fabricación de las placas electrónicas de los drivers ha sido encargada a la compañía Seeed Studio, ubicada en China. Se les ha enviado el diseño PCB y se recibieron las placas que se muestran a continuación.



Fig. 4-21: Placa de los drivers de los motores (top layer)

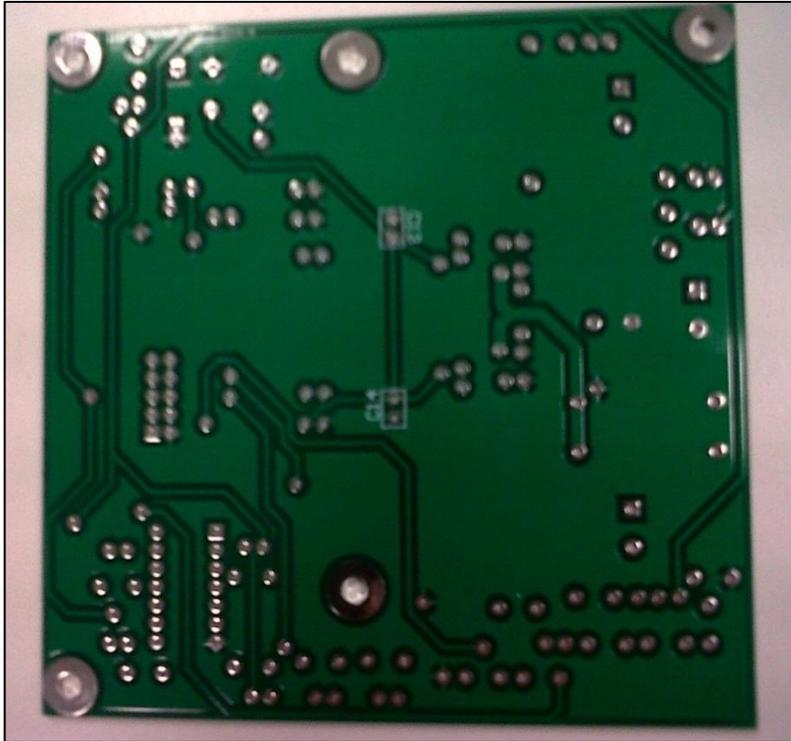


Fig. 4-22: Placa de los drivers de los motores (bottom layer)

Luego se han soldado los componentes y así han quedado las placas terminadas:



Fig. 4-23: Placa de los drivers de los motores con componentes soldados (top layer)

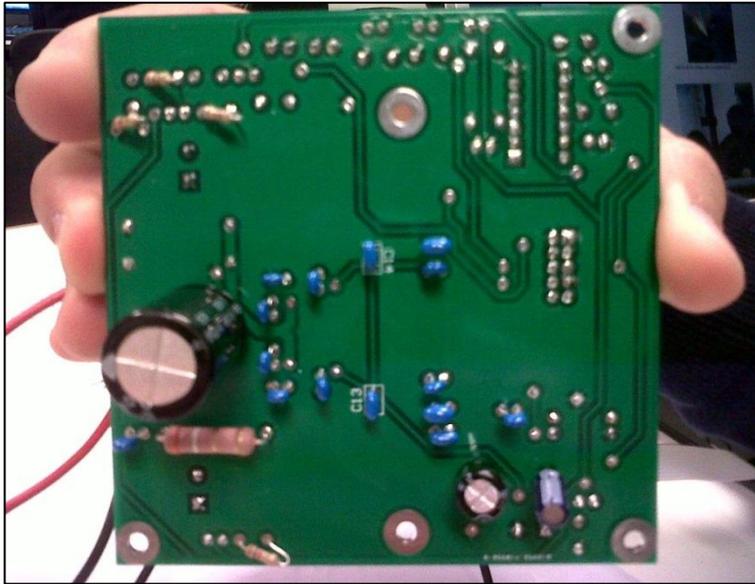


Fig. 4-24: Placa de los drivers de los motores con componentes soldados (bottom layer)

5. PRUEBAS

5.1. Pruebas con el Prototipo de Madera

Se evaluó la ergonomía del mecanismo en las dos posiciones extremas.



Fig. 5-1 Pruebas con el prototipo de madera.

5.2. Pruebas de la Estructura Mecánica

Una vez construido el prototipo se comenzó por realizar pruebas con personas sin discapacidad (Fig. 5-2) con el fin de hacer una primera evaluación sin comprometer la seguridad del usuario.



Fig. 5-2: Prueba de funcionamiento de la estructura mecánica.

Primeras Pruebas con el FLENI

Luego de realizar las primeras pruebas y verificar que el dispositivo funcionaba correctamente, se visitó al equipo del FLENI para evaluar el mecanismo junto con gente especializada en bioingeniería. Contamos con la colaboración de bioingenieros, kinesiólogos y con una persona parapléjica que trabaja en el FLENI.



Fig.5-3: Pruebas del dispositivo en el Instituto FLENI.



Fig. 5-4 Pruebas del dispositivo en el Instituto FLENI.

5.3. Pruebas del Módulo de Tracción

Se han efectuado con éxito las pruebas de modulación PWM para control de los motores. Se han aplicado señales de PWM con diferentes duty cycle, y se verificó con un tester la tensión promedio deseada en los bornes del motor.

Por ejemplo, se verificó que al aplicar un PWM con duty cycle del 100% se obtienen 23,7 Vcc sobre los motores. Al reducir el dutycycle al 50%, la tensión promedio resultante es de 12 Vcc.

En el **Anexo 13** se incluye un video que muestra los motores girando comandados por el microprocesador a través de la placa de drivers.

6. CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones de las pruebas con el prototipo en madera

La prueba del prototipo permitió detectar virtudes y fallas del diseño:

- El mecanismo de barras paralelas funciona como se esperaba, manteniendo la pechera paralela al pecho en todo momento.
- La base flexiona un ángulo inapropiado cuando la persona se para o sienta (la madera posee una bajo módulo de rigidez y gran elasticidad).
- Debió colocarse un refuerzo entre la base y la columna debido a que el gran momento flexor generado mostraba inicio de fisuras.
- Debe prestarse atención a la ubicación de las manijas ya que a una persona alta interfiere el codo contra la pechera al levantarse.
- El tope trasero del pie resultó demasiado bajo. Debe colocarse para asegurar que, junto al apoyo tibial, trabe la pierna del usuario al levantarse.
- Los apoyos tibiales deben estar en contacto con las piernas del usuario en todo momento para que no haya juego entre el dispositivo y el usuario.
- Se deben rediseñar las manijas ya que no son confortables. El soporte superior dificulta el uso del tablero de mando y molesta la visión. Deben estar soportadas desde abajo y poder esconderse para mejorar la visión.
- El momento torsor que se genera cuando la persona se levanta es considerable por lo que debe calcularse la sección de la columna en base a este.
- Se variará la longitud de las barras del mecanismo para aumentar el ángulo de partida desde la posición sentada, y así lograr transmitir mayor componente de la fuerza ejercida por el usuario en sentido de accionamiento del mecanismo (fuerza de empuje). A su vez esto repercute en una mejora en la unión del asiento al mecanismo.
- Los laterales del mecanismo deben ir por fuera de la estructura para otorgar momento resistente al desplazamiento lateral del usuario.

6.2. Conclusiones de las pruebas de la Estructura Mecánica

Pechera

- Se observa un deslizamiento hacia abajo mientras el usuario se levanta.
- Las cintas que sujetan el arnés tocan contra la pechera en los almohadones del medio en la parte inferior.
- Los laterales de la pechera no resistieron con soldadura de punto. Se realizó una soldadura de cordón.
- Si el usuario se apoya completamente sobre los almohadones estos se salen. Los tornillos no aguantan todo el peso del usuario. Evaluar poner tornillos más largos o una chapa más grande que agarre todo el ancho y alto del almohadón para que agarre mejor. Recordar que también los almohadones deben sacarse y ponerse fácil para poder limpiarlos
- En la posición final, el usuario queda curvado, la cola muy para atrás. Realizando otras pruebas se observa que si la cinta que sujeta entre la cintura y el final de la cola la posición final mejora mucho

Agarraderas:

- Las agarraderas tocan las rodillas de usuarios muy altos. Se debe volver a evaluar esto cuando el modulo mecánico superior este sobre la base.
- El sistema es un poco molesto en la preparación para ajustarse y para soltarse

Manijas:

- Están muy sueltas. Ponerle imanes en las posiciones finales
- Las cintas se deshilachan y se ensucian con grasa o pintura. Esto mancha también las manos del usuario.

Apoyo tibial

- El usuario puede no llegar a sujetar los velcros de los apoya tibiales

- En las pruebas realizadas con personas sin discapacidad, los pies no necesitan un apoyo en la punta de los pies. Se debe evaluar esto con personas sin movilidad de piernas

Conclusiones de las pruebas con el Fleni

- Se deben realizar modificaciones para que Alexis, el paciente que va a probar el prototipo, pueda probarlo sin riesgo de sufrir lesiones.
- Los perfiles que sujetan los talones del usuario deben ser más altos. Existe la posibilidad que se levanten los pies.
- Los apoyos tibiales deben ser más grandes de modo de poder sujetar las rodillas y evitar lesiones por hiperextensión
- Se debe modificar el tren trasero para que la silla de ruedas pueda ingresar por la parte de atrás del dispositivo. Ver Fig. 6-1



Fig. 6-1: Se debe modificar la estructura para que ingrese una silla de ruedas.

6.3. Conclusiones de las pruebas del Módulo de Tracción

Las pruebas realizadas de modulación PWM para control de los motores han demostrado el correcto funcionamiento de la placa electrónica de los drivers y del software. Se concluye se pueden utilizar efectivamente para controlar la dirección y velocidad de traslación del BIMO.

7. GLOSARIO DE TÉRMINOS

- Bipedestador: Dispositivo o mecanismo que permite el levantamiento de una persona hasta la postura vertical.
- Paraplejia: Parálisis de la mitad inferior del cuerpo
- Dimensiones antropométricas: Dimensiones del cuerpo humano
- OTW: Advertencia por exceso de temperatura
- FAULT: Advertencia por falla
- Percentil: Valor que divide un conjunto ordenado de datos estadísticos de forma que un porcentaje de tales datos sea inferior a dicho valor. Así, un individuo en el percentil 80 está por encima del 80% del grupo a que pertenece.
- Resorte a gas: Actuador neumático utilizado para la elevación del usuario.
- RPM: Revoluciones por minuto.
- SAE: Society of Automotive Engineering.
- PCB: printed circuit board.