



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO BIPEDESTADOR AUTOMÁTICO PARA  
PERSONAS CON DIVERSIDAD FUNCIONAL EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del**

**Título de Ingeniero en Mecatrónica**

**AUTOR: PABLO ARTURO AGUIRRE BENÍTEZ**

**JOHN BERNARDO BAYAS DOMÍNGUEZ**

**TUTOR: FABIO EDUARDO OBANDO HERRERA**

Quito-Ecuador

2023


**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotros, **Pablo Arturo Aguirre Benítez** con documento de identificación N° 0604599043 y **John Bernardo Bayas Domínguez** con documento de identificación N° 1724159841; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 20 de junio del año 2023

Atentamente,



**Pablo Arturo Aguirre Benítez**

0604599043



**John Bernardo Bayas Domínguez**

1724159841

## CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE

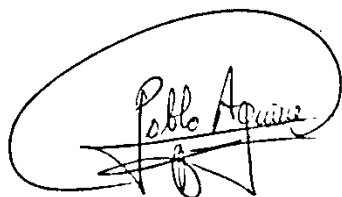
### TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, **Pablo Arturo Aguirre Benítez** con documento de identificación N° 0604599043 y **John Bernardo Bayas Domínguez** con documento de identificación N° 1724159841, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Dispositivo tecnológico: "Diseño y construcción de un prototipo Bipedestador automático para personas con diversidad funcional en sus extremidades inferiores", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 20 de junio del año 2023

Atentamente,



**Pablo Arturo Aguirre Benítez**

0604599043



**John Bernardo Bayas Domínguez**

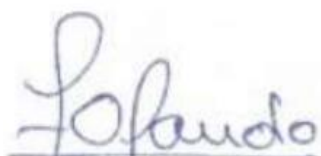
1724159841

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fabio Eduardo Obando Herrera con documento de identificación N° , docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO BIPEDESTADOR AUTOMÁTICO PARA PERSONAS CON DIVERSIDAD FUNCIONAL EN SUS EXTREMIDADES INFERIORES, realizado **Pablo Arturo Aguirre Benítez** con documento de identificación N° 0604599043 y **John Bernardo Bayas Domínguez** con documento de identificación N° 1724159841, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de un Dispositivo tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 20 de junio del año 2023

Atentamente,



**Ing. Fabio Eduardo Obando Herrera MSc.**

1707982169

## DEDICATORIA

La presente Tesis está dedicada a Dios por bendecirme día a día, agradecerle por mantenernos con salud a mis familiares y a mí, también le agradezco por haberme permitido llegar a este punto de mi vida tan anhelado el estar culminando mi carrera de Ingeniería. A mis padres Hernán y Carmita, por ser mis maestros más valiosos en la vida, por cultivar en mí valores muy valiosos los mismos que me han permitido sobresalir en cada paso que doy, por impartirme sus conocimientos de sabiduría y experiencias infinitas las cuales me motivan a querer ser como ellos, por enseñarme a no rendirme ante las dificultades que se me presenten en mi camino y sobre todo por siempre estar ahí a mi lado brindándome su amor, su apoyo y sus consejos, por ser los dos los pilares fundamentales que construyeron y sostienen mi hogar. A mi hermano Hernán Jr. y su esposa Carito, a mis sobrinos queridos Antonella y Hernán Alejandro por brindarme su cariño y por permitirme ser parte de sus vidas, por ser mi compañía en momentos de soledad. A mi hermana Laurita por enseñarme a ser una persona sociable, una persona fuerte y guerrera a no darme por vencido y siempre encontrar una salida a mis problemas. A mis abuelitos Napito, Laurita, Albertito y Blanquita aunque no estén físicamente con nosotros, sé que desde el cielo siempre me cuidan y guían mis pasos. A mi enamorada Mishelle Estefanía por haberme brindado hasta el día de hoy sus palabras de aliento, su fortaleza y su confianza, por apoyarme incondicionalmente en mis momentos bueno y malos.

A la honorable Universidad Politécnica Salesiana por haberme acogido en sus salones de estudio y formar en mí un profesional con ética y valores intactos, lleno de conocimiento.

A mi tutor de mi proyecto de Titulación, MSc. Fabio Obando por habernos impartido su tiempo y sus conocimientos en cada etapa de este trabajo.

A mi compañero Bernardo por haber sido parte de esta lucha, por haber aportado con su conocimiento valioso en la elaboración del presente proyecto.

A los docentes de la universidad por haber llenado en mí conocimiento muy valioso el mismo que me ha permitido sobresalir en la vida laboral.

A mis amigos, compañeros y todas aquellas personas que han sido mi apoyo y mi compañía en esta bonita etapa universitaria, por las anécdotas inolvidables que nos han hecho crecer como personas

**Pablo Arturo Aguirre Benítez**

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, a mis padres que han sido un apoyo incondicional en la parte económica y emocional a lo largo de toda la carrera universitaria, que me enseñaron valores y a forjarme en la persona que soy hoy en día, a mis hermanas Romina y Melissa, ésta última que me extendió la mano en un momento complejo. Todo esto es para ustedes.

A mi enamorada, que me estuvo a mi lado en los momentos más duros, que fue mi compañera y confidente, siempre recibí amor y apoyo.

A mis familiares, mi tía Mónica y mis primos Luis y Carolina, que confiaron en mí, me abrieron las puertas y me dieron una oportunidad para poder culminar este camino.

A la Universidad Politécnica Salesiana por haber sido una guía de mi aprendizaje de calidad.

A mi tutor de proyecto, MSc. Fabio Obando por darnos sus aportes en cada etapa de este trabajo.

A mis docentes, que nos brindaron todo su conocimiento y tiempo para que seamos profesionales de calidad, los llevo con un cariño especial.

A mis compañeros y en especial mi compañero de tesis, por todos los momentos que pasamos y que culminan hoy.

**John Bernardo Bayas Domínguez**

## Índice

Planteamiento Del Problema.....	15
Problema De Estudio.....	15
Justificación.....	16
Grupo Objetivo.....	19
Objetivos.....	19
Objetivo General.....	19
Objetivos Específicos.....	19
Capítulo 1.....	20
1.1 Marco teórico.....	20
1.1.1 Discapacidad.....	20
1.1.2 Diversidad funcional.....	20
1.1.3 Estadísticas proporcionadas por el CONADIS.....	20
1.1.4 Bipedestadora.....	20
1.1.5 Bipedestadora automática.....	21
1.1.6 Bipedestadora eléctrica.....	21
1.1.7 Bipedestador infantil.....	22
1.1.8 Actuador lineal.....	23
1.1.9 Scooter.....	23
1.2 Formulación.....	24
1.2.1 Fuerza.....	24
1.2.2 Esfuerzos.....	24
1.2.3 Esfuerzos en viga.....	25



1.2.4 Factor de seguridad.....	25
1.2.5 Momento de inercia .....	26
1.3 Sistema eléctrico .....	26
1.3.1 Arduino R3 .....	26
1.3.2 Actuador lineal DC .....	27
1.3.3 Modelo de Scooter.....	28
1.3.4 Fuente de energía para Arduino .....	28
1.4 Software utilizado .....	29
1.4.1 Solidworks.....	29
1.4.2 Arduino IDE.....	30
1.4.3 App Inventor.....	30
Capítulo 2 Análisis de alternativas.....	32
2.1 Requerimientos y especificaciones del equipo.....	32
2.1.2 Identificación de necesidades .....	32
2.1.2 Jerarquización de las Necesidades.....	32
2.2 Análisis de las alternativas del mecanismo de movimiento .....	33
2.3 Selección De Alternativas .....	34
2.3.1 Selección de silla Bipedestadora .....	34
2.3.2 Análisis de Materiales.....	34
2.3.3 Acero estructural ASTM-36 .....	35
Capítulo 3 Módulos de diseño .....	36
3.1 Módulos para el diseño.....	36

3.1.1 Módulos de construcción .....	36
3.2 Análisis de cargas en Scooter .....	38
3.2.1 Cálculo de cargas soportadas .....	38
3.3 Cálculo de la silla .....	42
3.3.1 Ancho de cadera (CdCd) .....	42
3.3.2 Altura poplítea (AP).....	43
3.3.3 Distancia sacro poplítea (SP) .....	43
3.3.4 Altura subescapular (AS) .....	43
3.4 Cálculo de cargas en la estructura .....	44
3.5 Cálculo y selección del motor eléctrico .....	45
3.6 Cálculos de resistencia para el perfil ASTM A-36.....	47
3.7 Esfuerzos en la base fija del bipedestador .....	52
3.8 Análisis de bipedestación .....	64
3.8.1 Análisis a 30 grados.....	65
3.8.2 Análisis a 60 grados.....	68
3.8.3 Análisis a 75 grados.....	70
3.9 Simulación estática de la estructura.....	73
3.10 Diseño eléctrico y electrónico.....	75
3.10.1 Cálculos de diseño de la batería .....	75
3.10.2 Conexión Modulo Bluetooth .....	76
3.10.3 Conexión Actuadores lineales.....	76
3.10.4 Cálculos de actuador lineal .....	77

3.10.4.1 Determinación de los parámetros motor de corriente continua DC.....	78
3.11 Diagrama de flujo del proceso de funcionamiento.....	81
Capítulo 4 Integración del Sistema Mecatrónico.....	84
4.1 Manufactura y ensamble.....	84
4.1.1 Secuencia de construcción de silla bipedestadora.....	84
4.1.1.1 Proceso de obtención de materia prima.....	84
4.1.1.2 Corte de perfiles.....	84
4.1.1.3 Soldadura.....	85
4.1.1.4 Perforación.....	85
4.1.1.5 Pulido.....	86
4.1.1.6 Pintura.....	86
4.1.2 Secuencia de montaje en scooter.....	87
4.1.1.1 Montaje mecánico de silla bipedestadora.....	87
4.1.1.2 Montaje soporte policarbonato de silla bipedestadora.....	88
4.1.1.4 Ensamblaje mecánico.....	89
4.1.1.5 Montaje eléctrico de silla bipedestadora.....	90
4.1.1.6 Descripción de armado del circuito eléctrico.....	91
4.1.1.7 Proceso de acabado eléctrico.....	94
4.1.2 Ensamble eléctrico.....	95
4.1.2.1 Conexión con Arduino y Bluetooth.....	95
4.1.2.2 Conexión actuador lineal.....	95
Capítulo 5 Pruebas y resultados.....	96

5.1 Pruebas del equipo estático.....	96
5.2 Velocidad del equipo.....	96
5.3 Prueba velocidad actuador lineal.....	97
5.4 Manual de operación de ensamble y uso de la máquina.....	99
5.4.1 Notas de seguridad.....	99
5.4.2 Uso.....	100
5.5 Mantenimiento de la máquina.....	100
5.5.1 Mantenimiento periódico.....	100
5.5.2 Mantenimiento semestral.....	101
5.6 Análisis económico.....	101
5.7 Valor actual neto (VAN).....	104
5.8 Tasa interna de retorno (TIR).....	105
Capítulo 6 Conclusiones.....	107
Capítulo 7 Recomendaciones.....	108
Anexos.....	113

## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación, se realiza el diseño y construcción de un prototipo bipedestador automático para personas con dificultad funcional en sus extremidades inferiores, este mecanismo se lo construye con la finalidad de que permita a este grupo de personas dentro de la sociedad logren desarrollar una posición bípeda sin tener la necesidad de solicitar ayuda, con esto, también se busca brindar apoyo hacia los distintos problemas de salud que pueden ser causados por permanecer todo el tiempo sentados. Para lograr la posición bípeda se lo hará con un movimiento suave evitando complicaciones para el usuario, este movimiento se ejecutará mediante un actuador lineal como lo es un cilindro eléctrico, con este tipo de actuador se puede realizar el movimiento de posición bípeda y de la misma manera se puede volver a la posición inicial es decir a la posición donde el usuario permanece sentado. Por otro lado, el usuario podrá desplazarse de un sitio a otro usando tecnología de scooter ya que el diseño de la silla bipedestadora estará implementado a un scooter eléctrico, con esto se evitaría la fatiga y el esfuerzo que realiza el usuario empujando una silla de ruedas con sus brazos. Además de esto se contará con una aplicación móvil la cual permitirá lograr las posiciones de bipedestación y sedestación en un tiempo de 19 segundos para ambos casos.

### **Palabras Clave:**

Bipedestador, actuador lineal, scooter eléctrico, aplicación móvil

## **ABSTRACT**

In the present degree work, the design and construction of an automatic stander prototype for people with functional difficulties in their lower extremities is carried out, this mechanism is built with the purpose of allowing this group of people within society to develop a bipedal position without having to ask for help, with this, it is also sought to provide support towards the different health problems that can be caused by sitting all the time. To achieve the bipedal position, it will be done with a smooth movement avoiding complications for the user, this movement will be executed by means of a linear actuator such as an electric cylinder, with this type of actuator the movement of the bipedal position can be carried out in the same way. In this way, it is possible to return to the initial position, that is to say, to the position where the user remains seated. On the other hand, the user will be able to move from one place to another using scooter technology since the design of the standing chair will be implemented in an electric scooter, thus avoiding fatigue and the effort that the user makes pushing a wheelchair. with his arms. In addition to this, there will be a mobile application which will allow the standing and sitting positions to be achieved in a time of 19 seconds for both cases.

### **Keywords:**

Standing prototype, Lineal actuator, electric scooter, mobile aplication.

## **Planteamiento Del Problema**

### ***Problema De Estudio***

En la actualidad, se puede mencionar que no existe algún tipo de proyecto que incorpore distintas funciones en una silla bipedestadora de forma que esta sea automatizada, los pocos mecanismos que se han desarrollado hasta hoy en día en el país sólo tienen un grado limitado de automatización.

Se observa día a día en las calles de la ciudad, que a estas personas les resulta complicado poder realizar movimientos corporales básicos o que utilizan, por ejemplo: sillas de ruedas; el cual requiere que la persona realice un esfuerzo físico con ambos brazos lo que resulta una situación compleja.

Existen también las sillas de ruedas con motor incorporado, este tipo de sillas fue un avance para las personas de este grupo vulnerable, sin embargo, aún mantenía a sus usuarios sentados.

La idea de que exista un mecanismo robusto es que esté enfocado en mejorar la calidad de vida de las personas con diversidad funcional de sus extremidades inferiores: con el fin de que no requieran hacer un esfuerzo físico y que también puedan lograr una posición erguida, de acuerdo a SURA, al permanecer sentado por largos periodos de tiempo afectan a la salud, presentan molestias como incomodidad al estar en una mala posición que afectan a su columna, a su estómago, también pueden presentar casos de sedestación prolongada, en las cervicales, abdominales. Trastornos en la zona lumbar de la espalda y alteraciones del sistema circulatorio y nervioso [1].

Según el estudio realizado por *American Journal of kidney Diseases* [2], las personas que permanecen en sedestación por más de 8 horas al día tienden a desarrollar una enfermedad renal crónica.

Por estas razones se desea diseñar e implementar el prototipo de un bipedestador automático que permita que las personas con limitaciones en sus miembros inferiores reduzcan el esfuerzo en trasladarse y que puedan lograr la bipedestación. De igual forma, se pretende evitar enfermedades.

## **Justificación**

Al realizar una investigación del tema planteado basándose en el Ministerio de Salud Pública del Ecuador, en su informe sobre discapacidad de 2022, presenta un total de 471.205 personas que poseen discapacidad [3].

Según las estadísticas en el Consejo de Discapacidades del gobierno ecuatoriano, la cifra de personas con discapacidad física llega al 45.66% que equivale a 215.152 personas, esto representa aproximadamente la mitad de personas con discapacidad en el territorio ecuatoriano [4].

De esta manera, y analizando lo propuesto por la página web Discapnet, se realiza un enfoque en la bipedestación, en el que se considera como una habilidad propia de los humanos y al no contar con ella se puede llevar una vida con varias alteraciones como: espasmos, escaras, luxaciones de cadera, pérdida de control de la función intestinal y de la vejiga urinaria; por este motivo para las personas con diversidad funcional, se plantea un mecanismo que le ayudará a la corrección de postura en dónde se podrá apreciar la interacción humano-máquina que busca solucionar este problema [5].

Se plantea una solución para el sistema de locomoción en bipedestación, es decir el usuario puede realizar movimientos corporales como el inclinarse en varias direcciones para movilizarse hacia delante, hacia atrás o hacia los lados, con la idea de que la base se debe mantener en equilibrio todo el tiempo, el sistema de control basado en un péndulo invertido sobre ruedas es el encargado de llegar a cumplir con el objetivo de estar en equilibrio. A este tipo de sistema se lo conoce como Segway, este sistema, según su página, no es con un fin



específicamente para personas con problemas de movimientos severos, sino es con un uso habitual, se lo ve como medio para movilizarse; sin embargo, es importante tener un conocimiento más detallado sobre su potencial, este mecanismo ayuda a que la persona con limitaciones en su capacidad física inferior pueda conseguir estar en una posición erguido y a la vez poder regresar a estar sobre dos puntos de apoyo [6].

Por otra parte, la bipedestación de individuos parapléjicos o bien conocidos como personas con diversidad funcional, presentar mayor fuerza en sus extremidades superiores, esto ayuda a tener mayor movilidad de su cuerpo en el momento de ingresar al sistema bipedestador, caso opuesto, a lo que ocurre con los pacientes que presentan otro tipo de padecimientos neuromusculares como la atrofia y distrofia muscular, entre otras.

Según la Organización Panamericana de la Salud, la paraplejía es considerada una enfermedad donde se ve involucrada la parte inferior del cuerpo, esta parte del cuerpo humano puede sufrir una parálisis que puede llegar a provocar problemas multiorgánicos. Con el objetivo de evitar esta clase de problemas en el organismo de este grupo de personas, se requiere la realización de ejercicios fisioterapéuticos, esto con el fin de prevenir complicaciones y potenciar la funcionalidad del cuerpo, a esto se le puede considerar como un tipo de rehabilitación para su cuerpo [7].

Con el presente proyecto de la construcción de un sistema bipedestador automático, se pretende hacer que las personas que han sufrido algún tipo de lesión en su columna vertebral, personas que padecen de paraplejía, personas que hayan nacido con problemas en sus extremidades inferiores, las personas que presenten este tipo de problemas pero que tengan movimiento motriz en sus brazos puedan llegar alcanzar una posición vertical de su cuerpo, esto es posible partiendo desde su posición recta es decir sentado, pase por varias posiciones intermedias y pueda llegar a ponerse de pie con la ayuda de este mecanismo.

El objetivo de este mecanismo es llegar a mover a la persona hasta lograr la postura bípeda; para esto, se debe realizar una investigación minuciosa sobre sistemas mecatrónicos que permitan la bipedestación de personas con diversidad funcional e integrarlo con un sistema transmisor de fuerza, un sistema reajutable para mayor seguridad y sobre todo un sistema de control que sea el encargado de realizar toda esta clase de movimientos. Adicionalmente el bipedestador será automático, estará equipado con ruedas que permitirán mediante un controlador programable cambiar la ubicación del mismo, con esto se busca hacer que el mecanismo se mueva de un lugar a otro a través de una aplicación en el teléfono móvil.

El bipedestador contará con una parte mecánica, diseñada a partir de la realización de cálculos matemáticos donde se ven involucrados valores máximos dentro de un rango de ciertos parámetros antropométricos y demográficos. Estos datos serán tomados de personas adultas con incidencia en esta discapacidad, para llegar a obtener estos valores se debe realizar una investigación de campo; por esto se considera hacer que el mecanismo cuente con un sistema de reajuste, de esta forma puede ser adaptable a la variación geométrica del grupo de personas examinados.

Para el diseño del sistema de elevación del cuerpo se debe tomar en cuenta el peso máximo del usuario, mismo que deberá ser evaluado en una posición inicial o postura recta hasta una posición final correspondiente a la postura bípeda, la posición alcanzada por el sistema será controlada únicamente por el usuario acorde al grado de extensibilidad de sus extremidades inferiores.

El bipedestador dispondrá de un sistema de estabilidad y seguridad, el sistema de reajuste se incorporará a la altura de las rodillas, de igual forma un apoyo al nivel de la zona abdominal que cumplirá dos funciones, actuará como estabilizador para proporcionar una correcta alineación del tronco, aquí se considera cual es el centro de masa de cada usuario, además permitirá transmitir la fuerza de tracción necesaria para elevar el mecanismo y por ende elevar al usuario.

En lo que se refiere a la parte electrónica y de control para el sistema mecatrónico, se pretende implementar interruptores que envíen señales de control, al elemento actuador y al motor de movimiento del bipedestador. Además, todos estos datos se podrán observar en un dispositivo de visualización para crear un ambiente interactivo y más amigable entre humano-máquina.

### **Grupo Objetivo**

Personas de 12 a 60 años de edad con peso máximo de 110 Kg y con grado de discapacidad máxima de 3.

### **Objetivos**

#### ***Objetivo General***

Diseñar y construir un prototipo bipedestador automático para personas con diversidad funcional en sus extremidades inferiores

#### ***Objetivos Específicos***

- Investigar acerca de distintos sistemas de bipedestación para desarrollar un sistema adecuado.
- Diseñar un sistema mecatrónico para personas con diversidad funcional de sus extremidades inferiores hasta grado III obteniendo un medio de transporte mejorando su movilidad.
- Implementar un mecanismo para los usuarios que permita controlar el movimiento del sistema bipedestador
- Programar una app móvil para controlar el sistema mediante la programación de un microcontrolador.

## Capítulo 1

### 1.1 Marco teórico

#### 1.1.1 *Discapacidad*

De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud, una persona discapacitada se define como aquella que tiene carencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales a largo plazo, las cuales de una u otra forma pueden dificultar la participación plena en distintas actividades en igualdad de condiciones que el resto. Y de acuerdo a estudios realizados y publicados en el Informe Mundial sobre la discapacidad, cerca del 15% de la población convive con algún tipo de la misma [8].

#### 1.1.2 *Diversidad funcional*

El término diversidad funcional conforme a lo expuesto por la Universidad de Alicante [9], se define como un distintivo presente en la sociedad, en la cual afectaría a todos sus miembros por igual. Es decir, coexisten personas con capacidades o funcionalidades diversas o que son diferentes entre sí.

#### 1.1.3 *Estadísticas proporcionadas por el CONADIS*

Actualmente, según datos proporcionados en la web del CONADIS [10], existe un total 471.205 personas registradas con algún tipo de discapacidad, sea física, intelectual, auditiva, visual o psicosocial. Dentro de la provincia de Pichincha en la cual se desarrolla el proyecto, se encuentra un grupo en total de 28.316 personas que sufren algún tipo de discapacidad física en distintos grados.

#### 1.1.4 *Bipedestadora*

Tal y como dice su nombre una bipedestadora o silla de ruedas bipedestadora se caracteriza principalmente por permitir a la persona que se encuentre en silla de ruedas ponerse de pie, desplazarse y realizar determinadas tareas en esta posición. Éstas pueden ser usadas en

tratamientos rehabilitadores o incluso como herramientas para la movilidad de personas con discapacidad física en el tren inferior del cuerpo.

### **1.1.5 Bipedestadora automática**

De acuerdo a Campaña y Barreno, en este modelo se implementaron tres mecanismos, los cuales constan de: un actuador lineal, un mecanismo de paralelogramo incluido un eslabonamiento de tijera y como último un juego de cajas reductoras que aumentan el torque de salida de los motores hacia el prototipo como se evidencia en la Figura 1 [11].

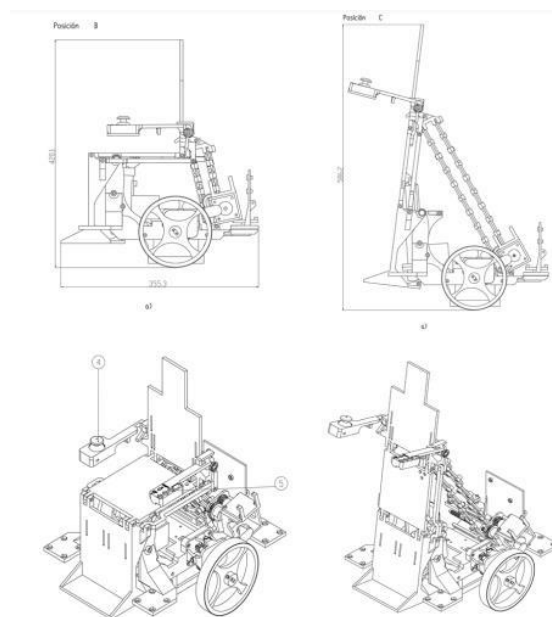


Figura 1. Diseño de bipedestador semiautomático [11].

### **1.1.6 Bipedestadora eléctrica**

De acuerdo a Herrera [12], se realizó la construcción de un bipedestador eléctrico para niños con discapacidad. En el cual se hizo pruebas con tres niños, de este estudio se pudo deducir que mientras se usaba el mecanismo no se presentó signos o síntomas de cansancio o puntos de presión en el cuerpo. Lo que hace que el mecanismo sea aceptable, pero con tendencia a mejorar, debido a que se observó que al activarlo se necesitaba un apoyo extra debido al flejamiento del apoya pies hacia dentro y se observa el prototipo completo en la Figura 2.



Figura 2. Diseño de bipedestador eléctrico [11].

### **1.1.7 Bipedestador infantil**

Concorde al proyecto presentado por Rodríguez y Peña [13], en la Figura 3 se presenta un bipedestador infantil para rehabilitación física acorde a su edad, es notable que el diseño es simple y los materiales no son los adecuados, pues la madera no es un elemento que pueda ser resistente a una fuerza externa de gran capacidad o incluso la lluvia. El mecanismo tampoco posee motores para su movimiento por lo que es necesario la ayuda de otras personas para poder mover hacia distintas posiciones.



Figura 3. Diseño de un bipedestador infantil [13].

### **1.1.8 Actuator lineal**

De acuerdo al fabricante LINAK [14], éstos son un tipo de actuador el cual convierte el movimiento rotativo de los motores en un movimiento como su nombre describe lineal. Este movimiento puede ser de empuje o tracción, pero siempre recto o lineal. La aplicación principal de éstos es en inclinaciones, elevaciones, tracciones o empujes de kilos de fuerza y se muestra un ejemplo en la Figura 4.



Figura 4. Actuator lineal [15].

### **1.1.9 Scooter**

De acuerdo a Renault [16], es un patín propulsado por un motor eléctrico mostrado como ejemplo en la Figura 5, normalmente este medio de transporte debe ser conducido de pie. Es sencillo de transportar ya que su portabilidad te permite acomodarlo en lugares reducidos al contrario de otros medios de transporte.



Figura 5. Ejemplo de Scooter eléctrico [16].

## 1.2 Formulación

### 1.2.1 Fuerza

Según Shigley [17]:

$$F = m * a \quad (1)$$

F= Fuerza (N)

m= masa (kg)

a= aceleración ( $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$ )

### 1.2.2 Esfuerzos

Según Shigley [17]:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

En dónde:

$\sigma$  = Esfuerzo (MPa)

F= Fuerza (N)

A= Área ( $m^2$ )



### 1.2.3 Esfuerzos en viga

Según Shigley [17]:

$$\sigma_x = -\frac{My}{I} \quad (3)$$

Dónde:

$\sigma_x$  = Esfuerzo axial (MPa)

M= Momento (Nm)

y= Distancia desde el eje neutro (m)

I= Momento de inercia ( $m^4$ )

Otra forma de expresar la ecuación es la siguiente:.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{Mc}{I} \quad (4)$$

Dónde:

$\sigma_{max}$  = Esfuerzo máximo (MPa)

M= Momento (Nm)

c= magnitud máxima de y (m)

I= Momento de inercia ( $m^4$ )

### 1.2.4 Factor de seguridad

Según Shigley [17], el factor de seguridad es un valor expresado numéricamente que contempla la carga permitida calculada de la pieza sobre el esfuerzo real de diseño. Cómo se indica en la fórmula 5.

$$Fs = \frac{S_y}{\delta_t} \quad (5)$$

Dónde:

$S_y$  = Límite de fluencia del material

$\delta_t$  = Tensión de Von Mises

### 1.2.5 Momento de inercia

Refleja la repartición de la masa dentro de un cuerpo. En la figura 6 se tiene ejemplos de momentos de inercia de elementos de cuarto de círculo.

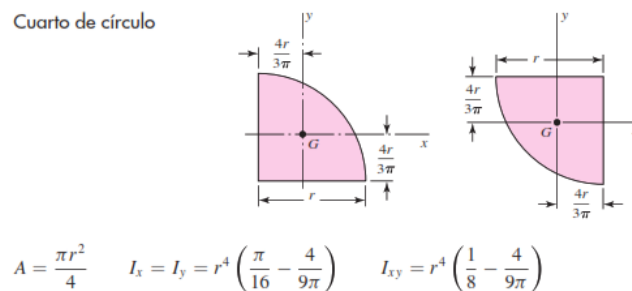


Figura 6. Ejemplo de momentos de inercia [17].

## 1.3 Sistema eléctrico

### 1.3.1 Arduino R3

Según Arduino [18], es una placa apoyada en el microcontrolador ATmega328p. Tiene 14 pines los cuales pueden ser entradas o salidas digitales con salidas PWM, 6 entradas que reciben una señal analógica, un cristal de 16Mhz, conector Jack de alimentación externa de energía, terminales de conexión ICSP y un botón de reseteo. En la Figura 7 se encuentra el diagrama de los distintos puertos

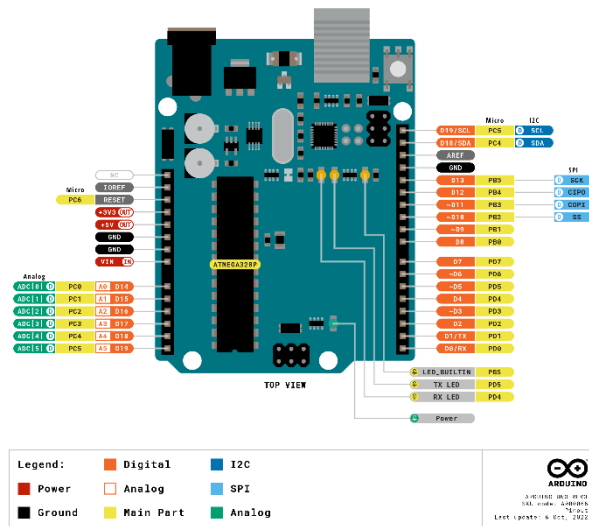


Figura 7. Arduino UNO [18].

### 1.3.2 Actuator lineal DC

El actuador lineal propuesto a utilizar para lograr la bipedestación de la persona o el usuario se encuentra detallado en la Tabla 1 como parte de una opción. Con las principales características con las cuales fue tomada en cuenta, estas características serán validadas con sus respectivos cálculos más adelante.

Tabla 1

Características técnicas del Actuador lineal

Característica	Especificación
Tensión de entrada	12 V
Longitud de carrera	450 mm
Máxima carga empuje	6000 N
Velocidad	4.5 mm/s
Corriente máxima	5 A
Ciclo de trabajo	10%
Tiempo máximo de trabajo	18 min

### 1.3.3 Modelo de Scooter

El Scooter es de la Marca Tomini 100% eléctrico. Las características del mismo se mencionan dentro de la tabla 2.

Tabla 2

Características técnicas del Scooter

Característica	Especificación
Motor	Motor de buje trasero sin escobillas 48V 800 W
Batería	52 Volt 15 Ah
Tiempo de carga	4.5 – 9 horas
Controlador	Onda sinusoidal (FOC) 48V
Cuadro	Aleación de aluminio, Plegable
Llantas	Neumático de aire de 10 pulgadas x2.7
Frenos	Frenos de disco doble y frenos eléctricos dobles
Absorbente de choque	Absorción de choque delantero y trasero
Máxima velocidad	55 Km/h
Carga máxima	120 kg
Gradiente máximo	Control 25°
Tamaño plegable	550*210*1200 mm

### 1.3.4 Fuente de energía para Arduino

Para la fuente de alimentación del microcontrolador Arduino se utiliza un módulo regulador de voltaje basado en LM2596. Las características técnicas se encuentran detalladas a la Tabla 3. La cual también nos servirá como protector y regulador en caso de picos o sobrevoltajes en la entrada del mismo.



### 1.4.2 Arduino IDE

De acuerdo con Arduino [20], las siglas IDE traducidas del inglés el entorno de desarrollo integrado de Arduino, es un software compuesto por un compuesto de herramientas de programación. Tiene la capacidad de utilizarse en varios lenguajes de programación. Es un entorno de programación simplificado como un programa de aplicación, es editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica. Además de incorporar las herramientas para cargar el programa a la memoria flash del dispositivo. Su interfaz se muestra en la figura 9.



Figura 9. Arduino IDE.

### 1.4.3 App Inventor

Según Space Techies [21], App inventor es un entorno de programación el cual permite la creación de aplicaciones para móviles de una manera muy sencilla, por lo que es accesible y fácil de aprender para todo el mundo. Está diseñada para programar aplicaciones sencillas para cualquier dispositivo ya sea Android o iOS. Es un software visual e intuitivo el cual basa su programación en lenguaje por bloques, lo que lo hace bastante útil y fácil de manejar. Su interfaz se muestra en la Figura 10.

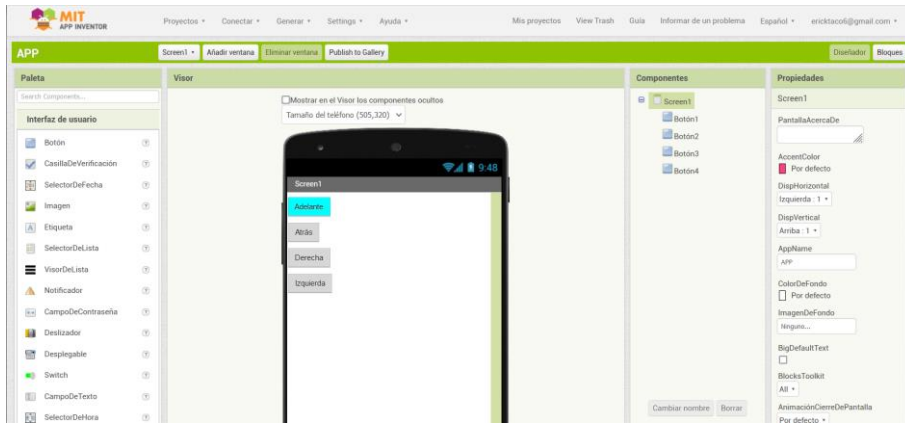


Figura 10. Interfaz App Inventor.

## Capítulo 2 Análisis de alternativas

### 2.1 Requerimientos y especificaciones del equipo

#### 2.1.2 Identificación de necesidades

Para abordar el desarrollo del producto es necesario plantear las necesidades del prototipo para la tarea que va a realizar en la Tabla 4.

Tabla 4

Identificación de necesidades

Necesidades	Interpretación
Conseguir una posición erguida del usuario	Capacidad de bipedestación
Mejorar la movilidad de las personas con diversidad funcional	Diseño con capacidad de movilizarse libremente
Control de movimiento del bipedestador	Control optimizado de sus movimientos
Fácil operación y mantenimiento	Mantenimiento para alargar su vida útil
Seguridad del usuario	Tener en cuenta que su objetivo es para un grupo prioritario

#### 2.1.2 Jerarquización de las Necesidades

Con estas necesidades delimitadas anteriormente, es ineludible jerarquizarlas de acuerdo a su grado de importancia en el proyecto como en la tabla 5.



Tabla 5

Jerarquización de necesidades del proyecto

Necesidad más importante	Necesidad menos importante
1	5

Con estos rangos de clasificación se procede con la Tabla 6, correspondiendo las necesidades de la máquina, a la jerarquía de las mismas.

Tabla 6

Grado de importancia de las necesidades

Grado de importancia	Necesidad
1	Conseguir una posición erguida del usuario
2	Mejorar la movilidad de las personas con diversidad funcional
3	Seguridad del usuario
4	Control de movimiento del bipedestador
5	Fácil operación y mantenimiento

## 2.2 Análisis de las alternativas del mecanismo de movimiento

En base a lo descrito anteriormente con trabajos que ya han sido realizados, se compara la bipedestadora automática y la bipedestadora eléctrica. Bajo los siguientes criterios mostrado en la Tabla 7.

Tabla 7

## Comparación de sistemas

Característica	Bipedestadora eléctrica	Bipedestadora automática	Calificación de cada ítem
Complejidad de la estructura	4	2	5
Sistema de movimiento	4	2	5
Recursos	2	5	5
Costo	3	3	5
Operación	3	5	5
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>25</b>

Bajo éste análisis basado en una calificación del 1 al 5, en dónde 1 es la peor y 5 es la mejor nota. El ganador es la bipedestadora automática, la cual a pesar de tener un sistema un poco más complejo lo justifica en su utilidad y recursos que posee para el uso al que está destinado.

## 2.3 Selección De Alternativas

### 2.3.1 Selección de silla Bipedestadora

Para la selección de la silla bipedestadora es importante tener en cuenta que será adaptada al Scooter elegido, y tuvo que ser fabricada desde cero. Teniendo en cuenta las medidas estándar utilizadas para la fabricación de una silla de ruedas comercial. Y a partir de ahí diseñando los distintos soportes que tendrá y serán explicados en los siguientes capítulos.

### 2.3.2 Análisis de Materiales

Para el material utilizado se seleccionó acero estructural ASTM A-36. Este acero fue seleccionado debido a la disponibilidad que existe dentro del mercado ferretero ecuatoriano.

Al usar dentro del diseño perfiles rectangulares, varilla redonda lisa y placas planas es necesario tomar en cuenta también su resistencia y soldabilidad en estos materiales.

### 2.3.3 Acero estructural ASTM-36

El acero seleccionado debido a sus excelentes propiedades mecánicas y fiabilidad del mismo es el acero ASTM A-36 sus propiedades se detallan a continuación en la tabla 8:

Tabla 8

Propiedades químicas Acero estructural ASTM A-36 [22].

Acero estructural ASTM A-36					
C	S	Mn	S	P	Cu
≤ 0.26	≤ 0.40	~	≤ 0.05	≤ 0.04	≥ 0.20

Tabla 9

Propiedades mecánicas del Acero estructural ASTM A-36 [22].

Acero estructural ASTM A-36		
Límite elástico mínimo, MPa	Límite de resistencia, MPa	Alargamiento relativo mínimo (probeta de 200mm), %
250	400-550	20

## Capítulo 3 Módulos de diseño

### 3.1 Módulos para el diseño

La propuesta planteada es definida como un diseño mecatrónico, por lo que tendrá que ser dividido en módulos, los cuales serán definidos de acuerdo a sus características, sean mecánicas o electrónicas, teniendo como derivación la Tabla 10.

Tabla 10

Módulos para el diseño

Módulo	Característica	Función
1	Silla bipedestadora	Silla con distintas posiciones
2	Sistema de movimiento	Motores a usar o adaptar
3	Control de movimiento	Sistema de movimiento óptimo
4	App Móvil y control remoto	Microcontrolador y comunicación a utilizar

#### 3.1.1 Módulos de construcción

El primer módulo hace referencia a la silla a utilizar y las distintas posiciones a adaptar en el sistema. Las cuales se muestran en la tabla 11, con sus diferentes opciones:

Tabla 11

Módulo 1: Silla a utilizar

Opciones	Complejidad de Fabricación	Vida útil	Orden de selección
Ergonómica	Media	Media	2
Desmontable	Media	Alta	1

El segundo módulo será utilizado para el sistema de movimiento el cual será encargado de mover toda la máquina, se encuentre o no en una posición de bipedestación y que se muestra en la tabla 12.

Tabla 12

Módulo 2: Movimiento de la máquina

Opciones	Apariencia	Costo	Orden de selección
Motor eléctrico	Buena	Bajo	1
Motor a combustión	Buena	Medio	3
Motor híbrido	Buena	Alto	2

Siguiendo el diseño con el módulo 3 se tiene el control del movimiento de la máquina con su microcontrolador comparada en la tabla 13, de acuerdo a distintos aspectos.

Tabla 13

Módulo 3: Control de movimiento

Opciones	Velocidad de transmisión de datos	Fiabilidad	Orden de selección
Arduino	Media	Media	1
STM32	Media	Media	2
Raspberry	Media	Media	3

Y el último módulo de acuerdo a la comunicación que se utilizará con el microcontrolador para su uso con la app móvil en la Tabla 14.

Tabla 14

Módulo 4: App Movil y control remoto

Opciones	Costo	Utilidad	Orden de selección
Bluetooth	Bajo	Alta	1
Wi-fi	Medio	Alta	2
Cable	Bajo	Baja	3

En base a la selección de los cuatro módulos antes mencionados se utilizará un diseño capaz de ser desmontado para poder ocupar el scooter en otra aplicación de ser necesario. Fabricado con perfiles estructurales con acero ASTM-36. Como microcontrolador por su variedad de aplicaciones ha sido seleccionado un Arduino Uno, el cual será encargado de comandar la silla bipedestadora mediante una aplicación móvil la misma que será conectada mediante Bluetooth a cualquier teléfono celular.

### **3.2 Análisis de cargas en Scooter**

#### **3.2.1 Cálculo de cargas soportadas**

Para los siguientes cálculos es necesario el uso de percentiles, según Barbero y Ortega [23] estas son medidas de posición y se ordena empezando desde el 1 hasta el 100. Con esto, se determina la población con la cual va a ser trabajado para la elaboración del diseño. Debido a la antropometría distinta en cada región o país no es posible la utilización de datos estadísticos obtenidos anteriormente en otros documentos. Para los análisis ergonómicos generalmente es usado percentiles entre 5 y 95 proyectado para el 90% de la población.

Las medidas para el cálculo de cargas se han realizado a 5 personas del Centro médico Metromed y a una persona de la Universidad Politécnica Salesiana como se observa en la Figura 12, se utiliza Excel para la realización de percentiles 5 y 95, al obtener estos resultados

se tiene un diseño más generalizado capaz de soportar medidas estándar. Sus edades y demás datos informativos se encuentran la Tabla 15 y Tabla 16.

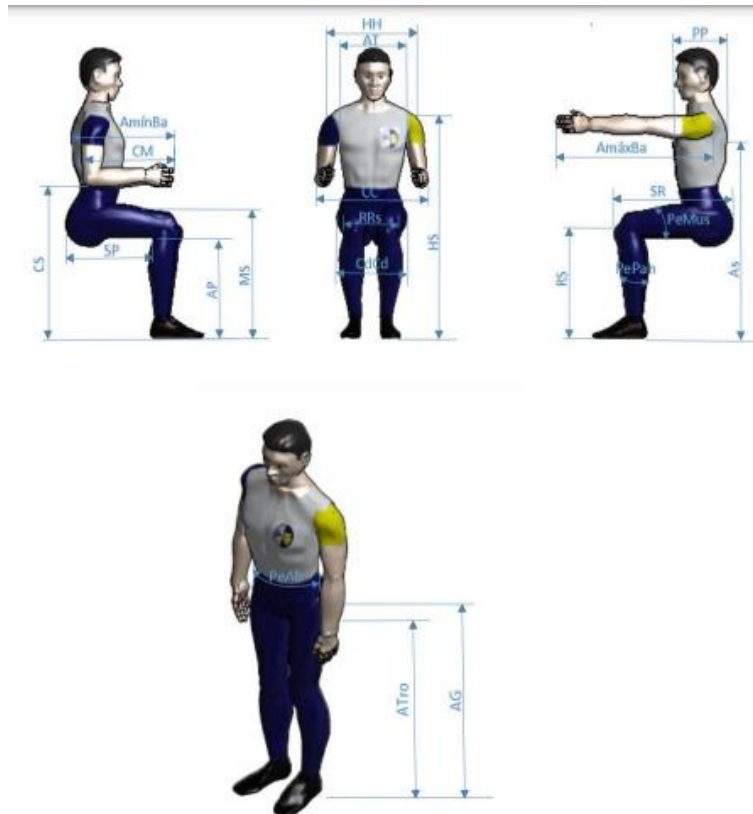


Fig. 30 Representación esquemática de las medidas antropométricas

Figura 12. Medidas antropométricas [24].

Todas las personas a las cuales fue realizada la toma de medidas aceptaron participar en el estudio, ya que es un sistema que permitirá una mejor movilidad como parte del mejoramiento de la calidad de vida y al momento de plantearles el proyecto les pareció interesante que se busque acoplar a la silla bipedestadora un scooter eléctrico que se presenta como una alternativa de movilidad en la actualidad.

Una vez que la población de estudio tenga una respuesta positiva hacia el proyecto, se procede a tomar las respectivas medidas con ayuda de una cinta métrica de acuerdo a las definiciones mostradas anteriormente. En las Figuras 13 y 14 se muestran como ejemplo, y las evidencias restantes se adjuntarán como Anexo al final del documento.



Figura 13. Proceso de toma de medidas.



Figura 14. Proceso de toma de medidas.



Tabla 15

Personas utilizadas en el estudio estadístico.

Personas	Edad [años]
Persona 1	12
Persona 2	45
Persona 3	40
Persona 4	28
Persona 5	36
Persona 6	26

Tabla 16

Estadísticas obtenidas dentro del estudio.

Códigos	Persona 1	Persona 2	Persona 3	Persona 4	Persona 5	Persona 6	Percentil 5	Percentil 95
AP [cm]	37	39	44	40	47	38	37,25	46,25
SP [cm]	35	42	41	37	43	37	35,5	42,75
SR [cm]	46	50	59	53	55	47	46,25	58
MS [cm]	52	57	59	54	58	52	52	58,75
RS [cm]	47	49	52	49	53	47	47	52,75
CS [cm]	63	68	66	65	70	67	63,5	69,5
Amin [cm]	35	38	56	40	55	37	35,5	55,75
CM [cm]	33	35	42	36	45	39	33,5	44,25
Amax [cm]	63	65	70	65	75	65	63,5	73,75
HS [cm]	88	105	102	102	109	90	88,5	108
CdCd [cm]	33	35	39	32	38	34	32,25	38,75

RRs [cm]	24	24	32	24	30	28	24	31,5
AS [cm]	82	84	92	84	94	90	82,5	93,5
CC [cm]	51	52	62	51	63	55	51	62,75
PP [cm]	16	17	25	18	23	16	16	24,5
HH [cm]	42	44	47	45	49	41	41,25	48,5
AT [cm]	28	30	39	30	42	30	28,5	41,25
Pe Mus [cm]	37	40	44	40	46	38	37,25	45,5
Pe Pan [cm]	24	26	31	25	32	25	24,25	31,75
Atro [cm]	60	69	76	70	78	62	60,5	77,5
AG [cm]	71	82	88	80	88	70	70,25	88
PeAb [cm]	79	91	98	93	103	83	80	101,75
Altura [cm]	155	159	171	160	174	165	156	173,25

---

### **3.3 Cálculo de la silla**

De acuerdo a González y Martínez [25], se realiza el cálculo a partir del proceso siguiente:

#### **3.3.1 Ancho de cadera (CdCd)**

Esta medida corresponde al ancho de la silla bipedestadora. Equivale a la máxima anchura de las caderas en posición sentado. Para el ancho del asiento promedio se trabaja con el percentil P95 dejando una holgura de 2.5 adicional del paciente.

$$\text{Ancho Asiento} = CdCd + 2,5 [cm]$$

$$\text{Ancho Asiento} = 38,75 [cm] + 2,5 [cm]$$

$$\text{Ancho Asiento} = 41,25 [cm]$$

### **3.3.2 Altura poplítea (AP)**

Medida correspondiente a la elevación del asiento. Equivalente a la altura tomada desde el suelo hasta la parte anterior de la rodilla en posición sentado. Se trabaja con el percentil P95 el cual es el más bajo, adicionando el asiento del material especial de 10 cm.

$$\textit{Altura Asiento} = AP + 10 \text{ [cm]}$$

$$\textit{Altura Asiento} = 46,5 \text{ [cm]} + 10 \text{ [cm]}$$

$$\textit{Altura Asiento} = 56,5 \text{ [cm]}$$

### **3.3.3 Distancia sacro poplítea (SP)**

Esta medida corresponde a la profundidad del asiento. Tomada desde el reverso hasta al punto poplíteo de la rodilla en posición sentado. Se trabajó con el percentil P95 y una holgura de 3cm:

$$\textit{Profundidad Asiento} = SP - 3 \text{ [cm]}$$

$$\textit{Profundidad Asiento} = 42,75 \text{ [cm]} - 3 \text{ [cm]}$$

$$\textit{Profundidad Asiento} = 39,75 \text{ [cm]}$$

### **3.3.4 Altura subescapular (AS)**

Esta medida se refiere a la altura del revés de la silla. Equivale a la distancia desde el suelo a la parte baja del Omóplato en posición sentado. Se trabaja con el percentil P95, pero restando unos centímetros a esa medida.

$$\textit{Altura Espaldar} = AS - 2 \text{ [cm]}$$

$$\textit{Altura Espaldar} = 93,5 \text{ [cm]} - 2 \text{ [cm]}$$

$$\text{Altura Espaldar} = 91,5 \text{ [cm]}$$

### 3.4 Cálculo de cargas en la estructura

De acuerdo a Pérez [26], en la Tabla 17 se muestra el porcentaje en pesos segmentarios de una persona, dependiendo la extremidad que se esté tomando en cuenta.

Tabla 17

Pesos segmentarios de una persona [26].

Segmento	Porcentaje (%)
Cabeza	7,3
Tronco	50,7
Brazo	2,6
Antebrazo	1,6
Mano	0,7
Extremidad Superior	4,9
Antebrazo y mano	2,3
Muslo	10,3
Pierna	4,3
Pie	1,5
Extremidad inferior	16,1
Pierna y pie	5,8

Se tiene el peso máximo admisible como 110 kg, por lo tanto:

$$W_{max} = 110 \text{ [kgf]} = 1078.73 \text{ [N]}$$

La carga ejercida sobre el asiento es el resultado de la sumatoria del peso del tronco y del muslo, utilizando un peso promedio de acuerdo a la Tabla 16 y como cálculo se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18

Personas utilizadas en el estudio estadístico.

Segmento	Peso total [kg]
Tronco	546,92 [kg]
Muslo	111,11 [kg]

### **3.5 Cálculo y selección del motor eléctrico**

El análisis se realiza en las vigas que soportan el asiento, en dónde se toma el peso total de la persona y se descompone en el porcentual del tórax y de los muslos respectivamente.

Para empezar con estos cálculos nos basamos en la Figura 16. Dónde:

F1 = Peso equivalente al tronco

F2 = Peso equivalente al muslo

F3 = Fuerza requerida por el actuador

$\alpha$  = Ángulo equivalente la posición ubicada del actuador lineal equivalente a 5 grados respecto al eje y

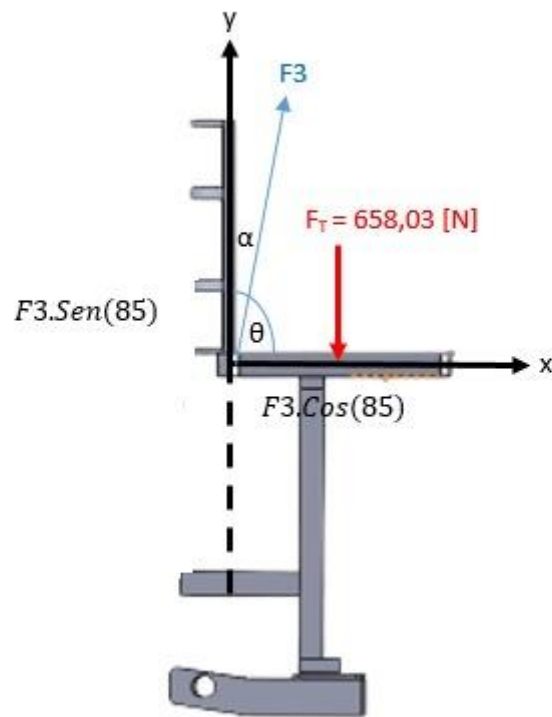
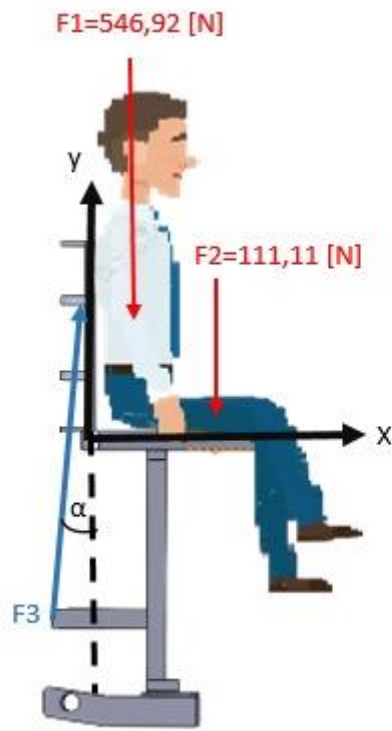


Figura 15. Diagrama estático

$$\sum Fy = 0$$

$$F_3 \text{sen}(\theta) - F_1 - F_2 = 0$$

$$F_3 = \frac{546,92 [N] + 11,11 [N]}{\text{sen}(85)}$$

$$F_3 = 660,54 [N]$$

Por lo tanto, se necesita como mínimo que el actuador lineal soporte 660,54 [N] para elevar el tronco y el muslo de la persona con diversidad funcional en las extremidades inferiores.

Por tal motivo se selecciona el actuador lineal eléctrico SZMWKJ, es versátil y económico para aplicaciones de grado médico. Sus características técnicas se muestran en la tabla 19:

Tabla 19

Características técnicas del Actuador lineal

Característica	Especificación
Tensión de entrada	12 V
Longitud de carrera	450 mm
Máxima carga empuje	6000 N
Velocidad	4.5 mm/s
Corriente máxima	5 A
Ciclo de trabajo	10%
Tiempo máximo de trabajo	18 min

### 3.6 Cálculos de resistencia para el perfil ASTM A-36

Para comprobar si el perfil seleccionado es el adecuado se calcula el momento flector y se compara con la tensión admisible.

La fuerza neta se divide para dos obteniendo 539,36 [N] y una longitud en el asiento de la silla bipedestadora de 388 [mm], además se definió un factor de seguridad (FS) de dos para asegurar que la relación entre la resistencia del perfil y la fuerza aplicada sobre el mismo sea adecuada.

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{FS} \quad (6)$$

Donde la resistencia última a la flexión ( $S_y$ ) del acero estructural es igual a 250 MPa.

$$\sigma_{adm} = \frac{250 \text{ [MPa]}}{2}$$

$$\sigma_{adm} = 125 \text{ [MPa]}$$

En la Figura 16, se muestra el lugar dónde se encontrará la mayor carga en el prototipo.

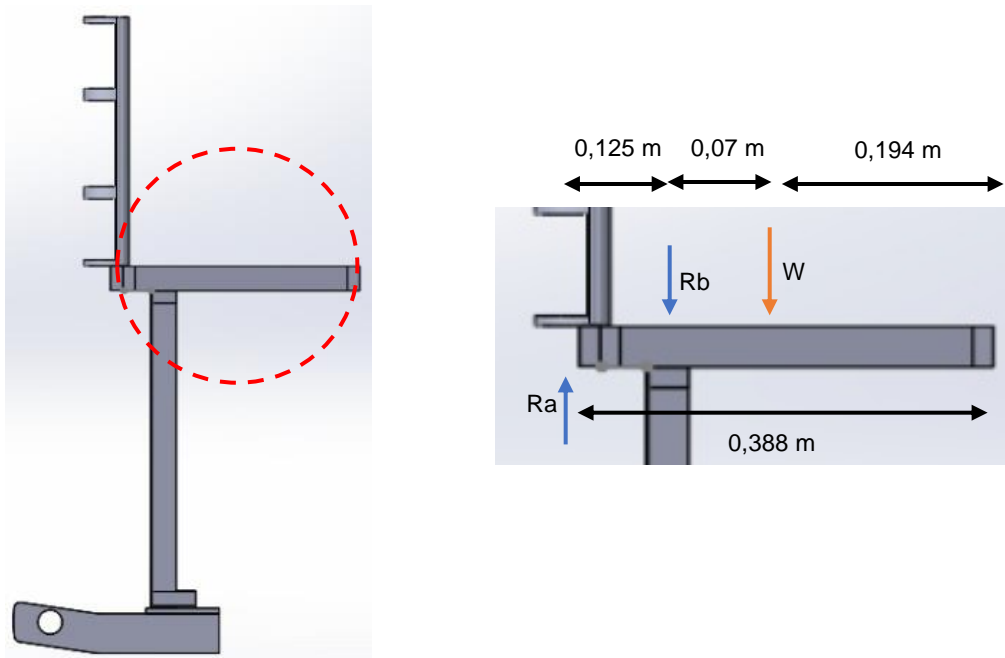


Figura 16. Diagrama estático asiento del prototipo

$$W = W_{persona} + W_{adicional}$$

$$W = 1146,72 \text{ [N]}$$



Este peso se lo divide para las 4 vigas que componen el asiento

$$W = \frac{1146,72 [N]}{4}$$

$$W = 287,19 [N]$$

Sumatoria de fuerzas en Y

$$\sum Fy = 0$$

$$Ry_A + Ry_B - 287,19 [N] = 0$$

$$Ry_A = 287,19 [N] - Ry_B$$

Momentos

$$\sum M = 0 \text{ } \zeta +$$

$$Ry_B(0,125[m]) - 287,19[N] \cdot (0,194[m]) = 0$$

$$Ry_B = 445,72 [Nm]$$

Por lo tanto

$$Ry_A = -158,53 [N]$$

Corte 1: (0 – 0,125)m

$$\sum Fy = 0$$

$$-Ry_A - V = 0$$

$$V = -158,53 [N]$$

$$\sum M = 0 \text{ } \zeta +$$

$$-V(x) + M = 0$$

$$M = -158,53x \text{ [Nm]}$$

Corte 2: (0,125 – 0,194)m

$$\sum Fy = 0$$

$$-Ry_A + Ry_B - V = 0$$

$$V = -87,19 \text{ [N]}$$

$$\sum M = 0 \text{ } \cup +$$

$$Ry_B(0,125[m]) - V(0,125 + x)[m] + M = 0$$

$$-445,72[m] * (0,125[m]) + 287,19[N] * (0,125)[m] + 287,19x[N \cdot m] = M$$

$$M = 287,19x - 19,81 \text{ [Nm]}$$

Corte 3: (0,194 – 0,388)m

$$\sum Fy = 0$$

$$-Ry_A + Ry_B - V - 287,19[N] = 0$$

$$V = 0 \text{ [N]}$$

$$\sum M = 0 \text{ } \cup +$$

$$Ry_B(0,125[m]) - V(0,194 + x)[m] + M - 287,19[N] * (0,194)[m] = 0$$

$$-445,72[m] * (0,125[m]) + 287,19[N] * (0,194)[m] = M$$

$$M = 0 \text{ [Nm]}$$

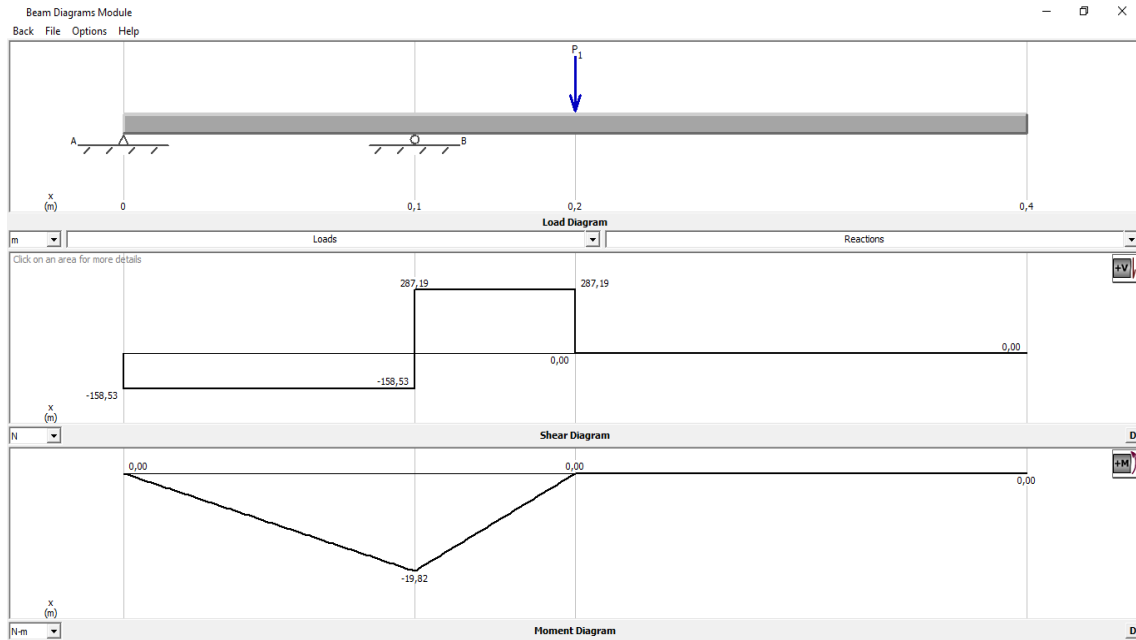


Figura 17. Diagrama momento flector

De acuerdo a los cálculos y Figura 17 en el software MDSolids el momento máximo en esta sección equivale a 19,82 [N.m], con ello y el cálculo de la inercia en x para una sección rectangular se verificará si el perfil es el adecuado para trabajar.

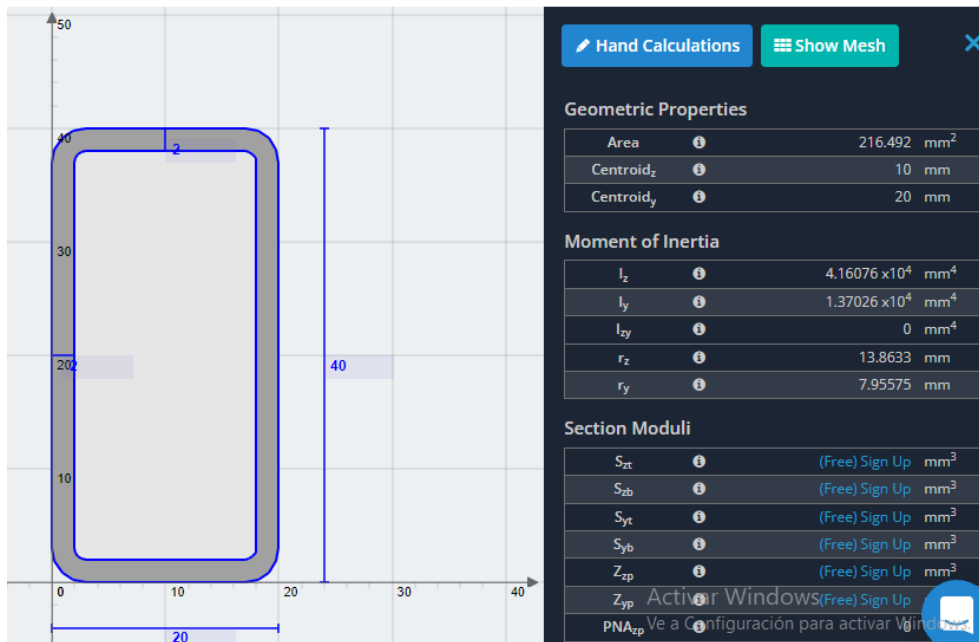


Figura 18. Propiedades del perfil rectangular

$$I_x = \frac{1}{12}(b \cdot h^3) - \frac{1}{12}(b_1 \cdot h_1^3)$$

$$I_x = \frac{1}{12}(20 \text{ mm} \cdot (40\text{mm})^3) - \frac{1}{12}(16 \text{ mm} \cdot (36\text{mm})^3)$$

$$I_x = 4,44 \times 10^4 [\text{mm}^4]$$

Se debe cumplir la siguiente expresión para que el perfil resista:

$$\sigma_{adm} \geq \frac{M_C \cdot Y_{max}}{I_x}$$

Entonces,

$$\sigma_{adm} \geq \frac{19,81 [\text{N} \cdot \text{m}] \cdot 20[\text{mm}]}{4,44 \times 10^4 [\text{mm}^4]} \cdot \left( \frac{1000 [\text{mm}]}{1 [\text{m}]} \right)$$

$$125 [\text{MPa}] \geq 8,92[\text{MPa}]$$

En consecuencia, el perfil rectangular de 20x40x2 cumple con los cálculos de seguridad planteados, al tratarse de personas con diversidad funcional en sus extremidades inferiores queda sobredimensionado por cuestiones de seguridad.

### **3.7 Esfuerzos en la base fija del bipedestador**

A la siguiente sección se analizará como una columna empotrada como se muestra en la Figura 19.

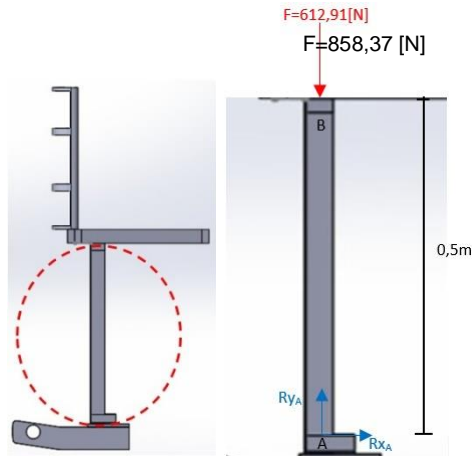


Figura 19. Diagrama estático viga empotrada

Sumatoria de fuerzas en Y

Donde:

$W_p$  = Peso total del paciente

$W_a$  = Peso adicional

$W_{ss}$  = Peso de la silla con espaldar

$$F = W_p + W_{ss}$$

$$F = 1078,73[N] + 147,1[N] + 490,6[N]$$

$$F = 1716,75 [N]$$

$$F = \frac{1716,75 [N]}{2}$$

$$F = 858,37 [N]$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{y_A} - W [N] = 0$$

$$R_{y_A} = 858,37 [N]$$

Según Pérez [27] se calcula el factor de seguridad de la columna de la siguiente forma:

Se procede a calcular la relación de esbeltez, donde se tiene:

$L_e$  = Longitud efectiva

$K = 0,5$

$K$  es una constante de 0,5 al ser una columna empotrada – empotrada

$r$  = Radio de giro, esto se produce por pandeo

$A_t$  = Área de trabajo

$$L_e = K * L$$

$$L_e = 0,5 \text{ m} * 0,5 \text{ m}$$

$$L_e = 0,25 \text{ m}$$

Se calcula la inercia y el área efectiva para poder calcular  $r$

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_x = \frac{(0,02 \text{ m}) * (0,5 \text{ m})^3}{12}$$

$$I_x = 2,083 * 10^{-4} [\text{mm}^4]$$

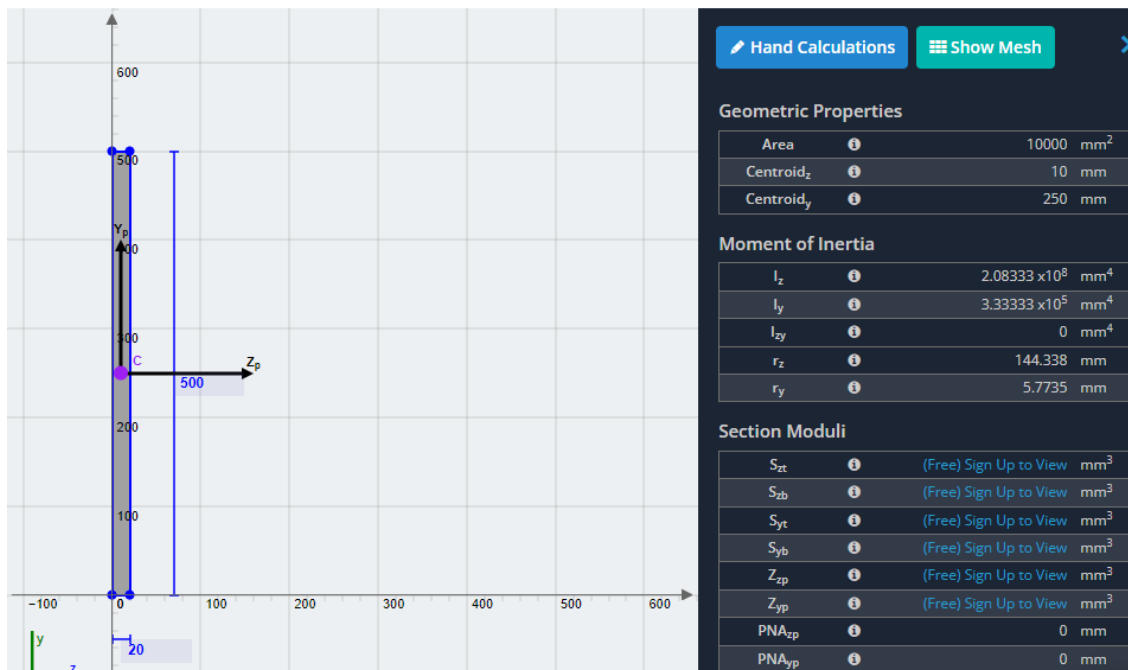


Figura 20. Propiedades viga empotrada

$$A_t = A_1 - A_2$$

$$A_t = (0,04m) * (0,02m) - (0,036m) * (0,016m)$$

$$A_t = 116mm^2$$

$$A_t = 1,16 * 10^{-4}m^2$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A_t}}$$

$$r = \sqrt{\frac{1,43 * 10^{-8}m^4}{1,16 * 10^{-4}m^2}}$$

$$r = 0,011 m$$

$$Esbeltez = \frac{KL}{r}$$

$$Esbeltez = \frac{0,25m}{0,011m}$$

$$Esbeltez = 22,72$$

De acuerdo al libro antes mencionado; Si  $Esbeltez < 30$  se clasifica como columna corta y estas fallan por esfuerzo de fluencia.

Se procede a calcular el esfuerzo crítico, donde se tiene:

$E =$  módulo de elasticidad de acero A-36 = 200 [Gpa]

$$\delta_{critico} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$\delta_{critico} = \frac{\pi^2 * (200 \text{ GPa})}{(22,72)^2}$$

$$\delta_{critico} = 3,82 \text{ [Gpa]}$$

Se procede a calcular el coeficiente de transición (CC)

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 * E}{\delta_{critico}}}$$

$$Cc = 31,95$$

Se calcula entonces el factor de seguridad

$$fs = n = \frac{5}{3} + \frac{3\left(\frac{KL}{r}\right)}{8Cc} - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^3}{8Cc^3}$$

$$fs = n = \frac{5}{3} + \frac{3(22,72)}{8(31,85)} - \frac{(22,72)^3}{8(31,85)^3}$$

$$fs = n = 1,89$$



$$\delta_{admisible} = \left[ 1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{8Cc^2} \right] * \frac{\delta_{critico}}{n}$$

$$\delta_{admisible} = \left[ 1 - \frac{(22,72)^2}{8(31,85)^2} \right] * \frac{3,82 * 10^3}{1,89}$$

$$\delta_{admisible} = 1,50 \text{ [Gpa]}$$

El esfuerzo admisible en las columnas es viable para poder usarla.

En la siguiente sección, se hace el análisis de cargas en la viga inferior que hace base de toda la estructura bipedestadora en forma de viga empotrada.

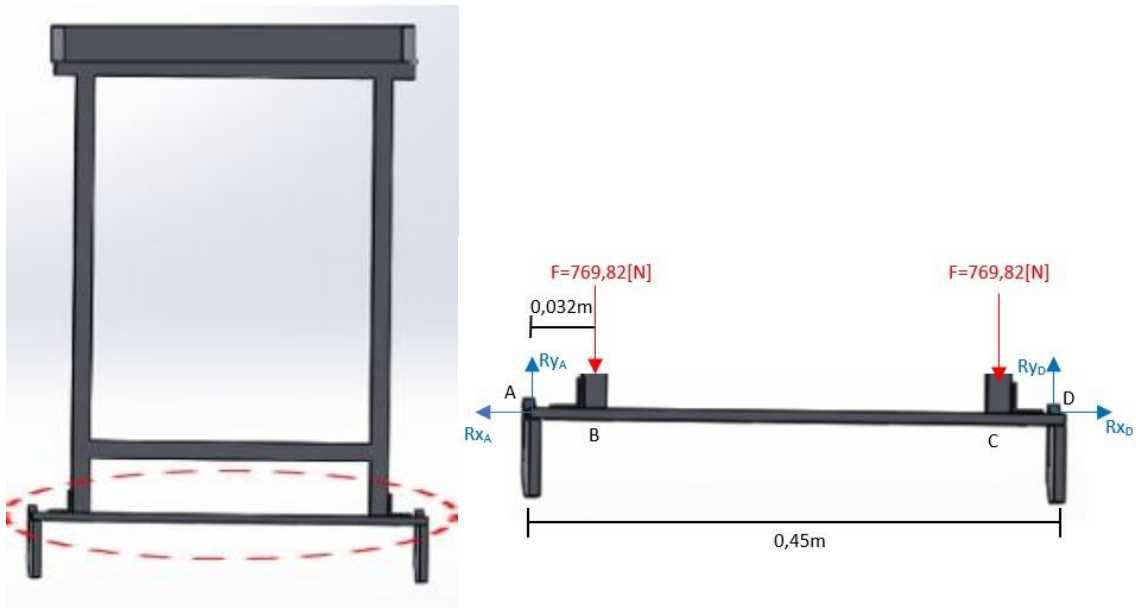


Figura 21. Diagrama estático de la vista frontal de la silla bipedestadora.

Sumatoria de fuerzas en Y

Donde:

Wp = Peso total del paciente

Wss = Peso de la silla con espaldar

Wcol = Peso de columnas y actuador lineal

$$F = Wp + Wss + Wcol$$

$$F = 1078,73[N] + 147,1[N] + 313.81 [N]$$

$$F = 1539,64 [N]$$

La fuerza total se divide para dos, puesto que en la platina cae todo el peso dividido en las dos columnas.

$$F = \frac{1539,64 [N]}{2}$$

$$F = 769,82 [N]$$

$$\sum Fy = 0$$

$$Ry_A - 769,82 [N] = 0$$

$$Ry_A = 769,82 [N]$$

$$Ry_B = 769,82 [N]$$

Se realiza los cortes en la viga con la finalidad de determinar el momento flector y fuerza cortante en cada tramo. En la figura 22 se encuentra el Tramo 1.

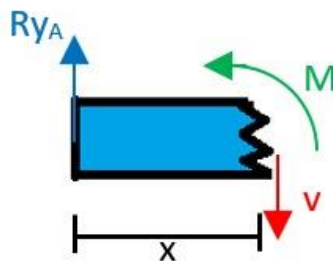


Figura 22. Tramo 1.

$$0 - 0,032 [m]$$

$$\sum Fy = 0$$

$$R_A y - v = 0$$

$$v = 769,82[N]$$

$$\sum M = 0 +$$

$$M - v(x) = 0$$

$$M = 769,82x [N.m]$$

En la figura 23, el Tramo 2.

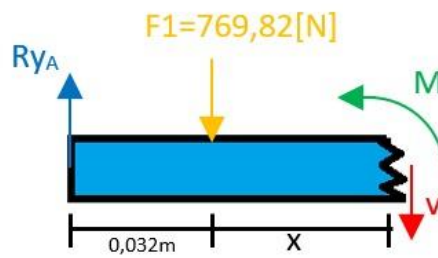


Figura 23. Tramo 2.

$$0,032 - 0,418 [m]$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{yA} - F1 - v = 0$$

$$v = 769,82 [N] - 769,82[N]$$

$$v = 0 [N]$$

$$\sum M = 0 +$$

$$M - F1(0,032) - v(0,032 + x) = 0$$

$$M = 49,26[N.m] + 769,82x [N.m]$$

En la Figura 24, se tiene el Tramo 3

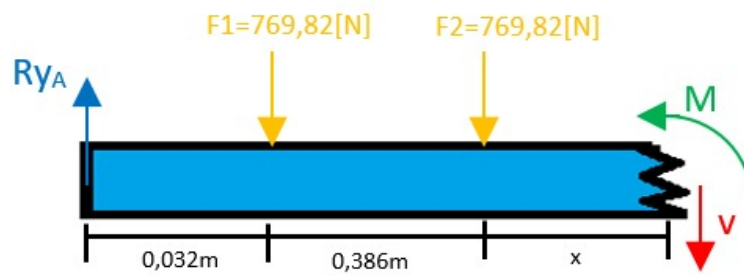


Figura 24. Tramo 3.

$$0,418 - 0,45 \text{ [m]}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$Ry_A - F1 - F2 - v = 0$$

$$v = -769,82 \text{ [N]}$$

$$\sum M = 0 +$$

$$M - F1(0,032) - F2(0,418) - v(0,418 + x) = 0$$

$$M = 668,19 \text{ [N.m]} + 769,82x \text{ [N.m]}$$

En la Figura 25, el Tramo 4.

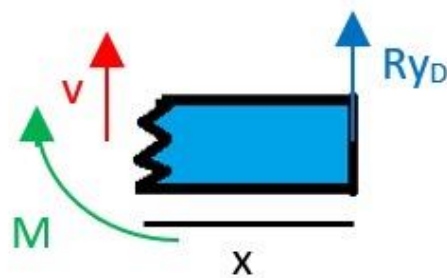


Figura 25. Tramo 4.

$$0 - 0,032 \text{ [m]}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$Ry_B + v = 0$$

$$v = 769,82[N]$$

$$\sum M = 0 +$$

$$M - v(x) = 0$$

$$M = 769,82x [N.m]$$

Reemplazo en tramo 3, y se obtiene el momento.

$$I = \frac{a \cdot b^3}{12}$$

$$I = ((450 \text{ mm})(9^3 \text{ mm}^3))/12$$

$$I = 27337,5 \text{ mm}^4$$

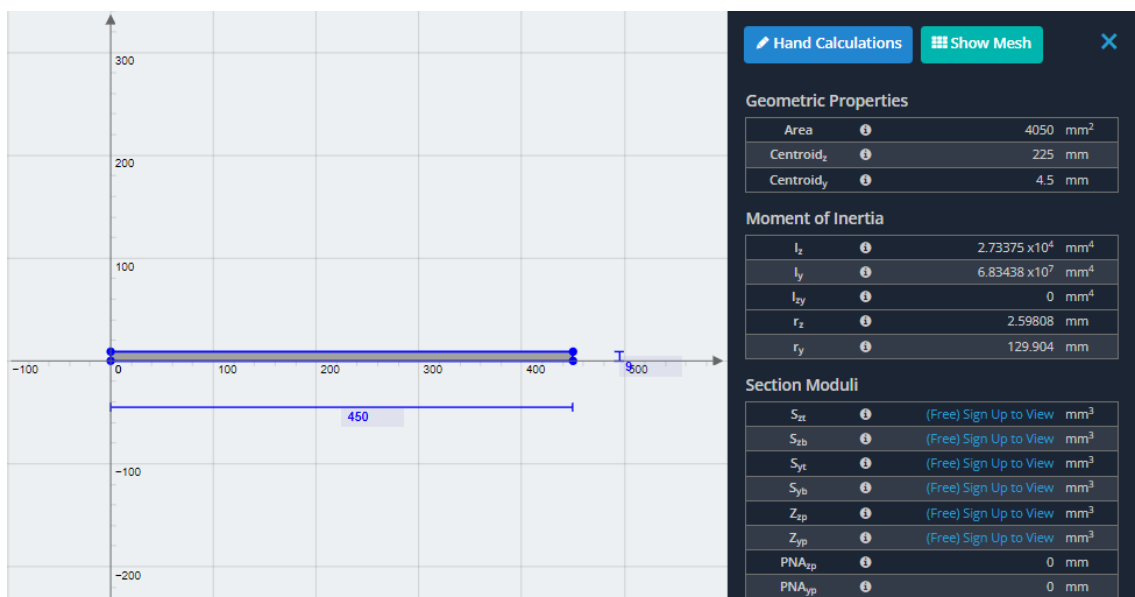


Figura 26. Propiedades de la platina.

Aplicando la ecuación de Navier:

$$\sigma_{adm} = \frac{M_B \cdot Y_{max}}{I_x}$$

Donde:

$\sigma_{adm}$ : tensión o esfuerzo admisible.

$M_B$ : momento flector.

$Y_{max}$ : distancia máxima del eje "x" de la sección hasta la altura máxima de la sección.

$I$ : momento de inercia sección transversal respecto al eje x.

Cálculo de la inercia en x para una sección rectangular:

$$\sigma_{adm} \geq \frac{346,40[Nm] \cdot 4,5[mm]}{27337,5 [mm^4]} \cdot \left( \frac{1000 [mm]}{1 [m]} \right)$$

$$250 [MPa] \geq 57,02[MPa]$$

En consecuencia, la platina de 45x12x0,9 cumple con los requerimientos requeridos.

En las Figura 27, 28 y 29 se muestra el movimiento de la silla bipedestadora con diferentes ángulos de posición, partiendo desde su posición inicial.

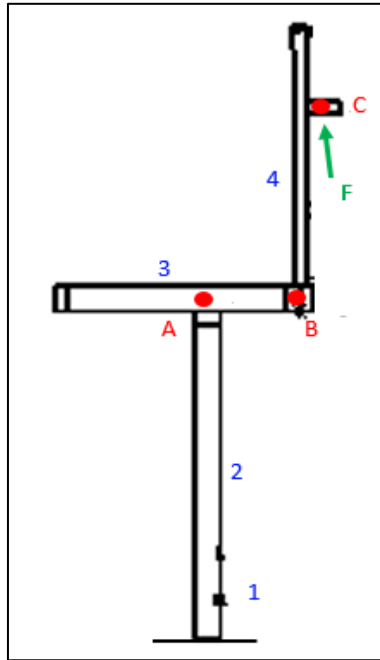


Figura 27. Posición inicial.

A, B y C corresponden a las uniones del mecanismo.

1, 2, 3 y 4 representan en número de eslabones que tiene el mecanismo.

F representa la fuerza de empuje aplicada por el actuador lineal en el espaldar de la silla.

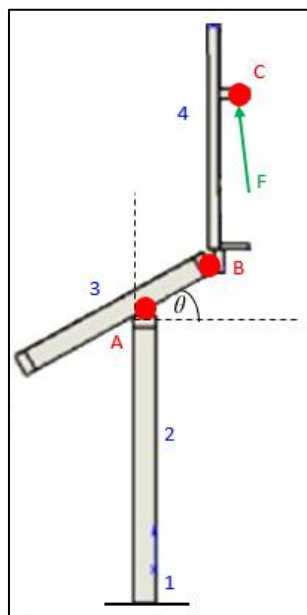


Figura 28. Posición 30 grados.

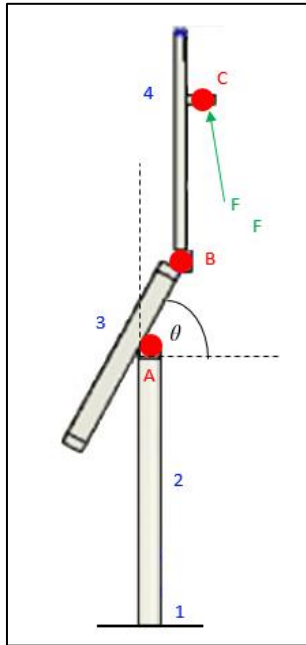


Figura 29. Posición 75 grados

### 3.8 Análisis de bipedestación

Se hará los cálculos para los ángulos de 30, 60 y 75 grados, para ello se deberá descomponer las fuerzas y reacciones dependiendo de los ángulos a analizar mediante la Figura 30.

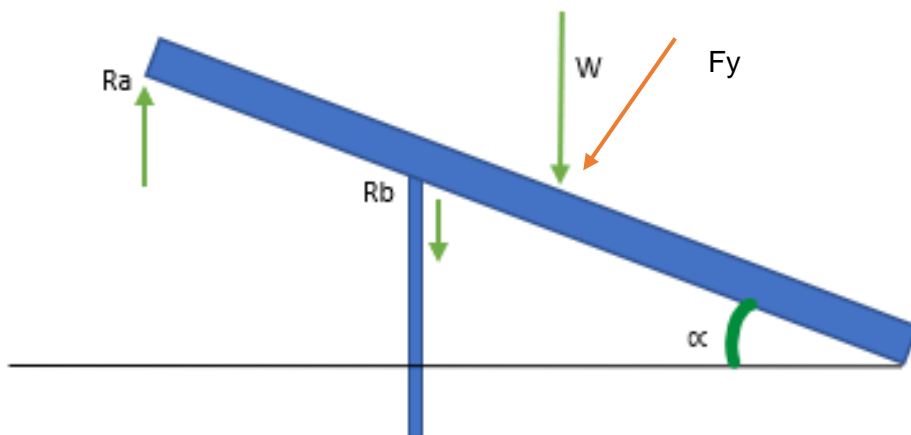


Figura 30. Diagrama estático viga empotrada



Tabla 20

Personas utilizadas en el estudio estadístico.

Grados	Fy [N]	Ray [N]	Rby [N]
0	287,19	-158,53	445,72
30	574,38	-317,06	891,44
60	331,61	-183,05	514,67
75	297,32	-164,12	461,44

Con la tabla 20 se procede a realizar los cálculos de momento flector y fuerza cortante

### 3.8.1 Análisis a 30 grados

Corte 1: (0 – 0,125)m

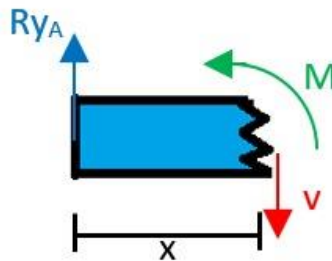


Figura 31. Corte 1 viga empotrada

$$\sum Fy = 0$$

$$-Ry_A - V = 0$$

$$V = -317,06 [N]$$

$$\sum M = 0 \text{ } \cup +$$

$$-V(x) + M = 0$$

$$M = -317,06x \text{ [Nm]}$$

Corte 2: (0,125 – 0,194)m

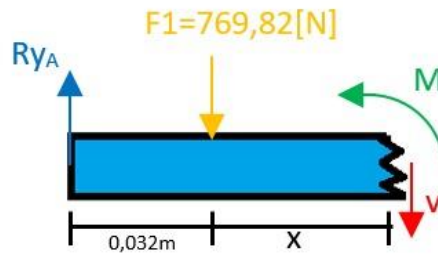


Figura 32. Corte 2 viga empotrada

$$\sum Fy = 0$$

$$-Ry_A + Ry_B - V = 0$$

$$V = 574,38 \text{ [N]}$$

$$\sum M = 0 \text{ } \cup +$$

$$Ry_B(0,125[m]) - V(0,125 + x)[m] + M = 0$$

$$-891,44[m] * (0,125[m]) + 574,38[N] * (0,125)[m] + 574,38x[N.m] = M$$

$$M = 39,64x - 574,38[Nm]$$

Corte 3: (0,194 – 0,388)m

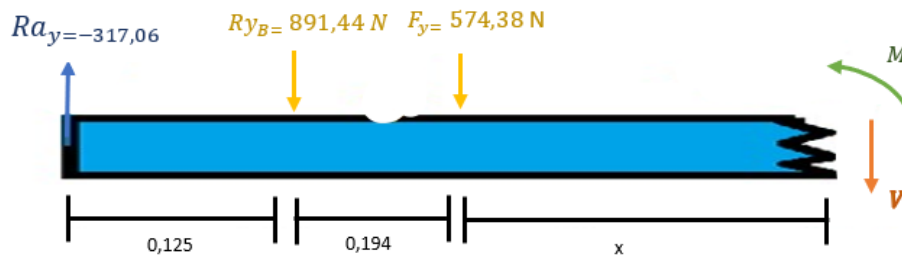


Figura 33. Corte 3 viga empotrada

$$\sum F_y = 0$$

$$-Ry_A + Ry_B - V - 574,38[N] = 0$$

$$V = 0 [N]$$

$$\sum M = 0 \text{ } \cup +$$

$$Ry_B(0,125[m]) - V(0,194 + x)[m] + M - 574,38[N] * (0,194)[m] = 0$$

$$-891,44[m] * (0,125[m]) + 574,38[N] * (0,194)[m] = M$$

$$M = 0 [Nm]$$

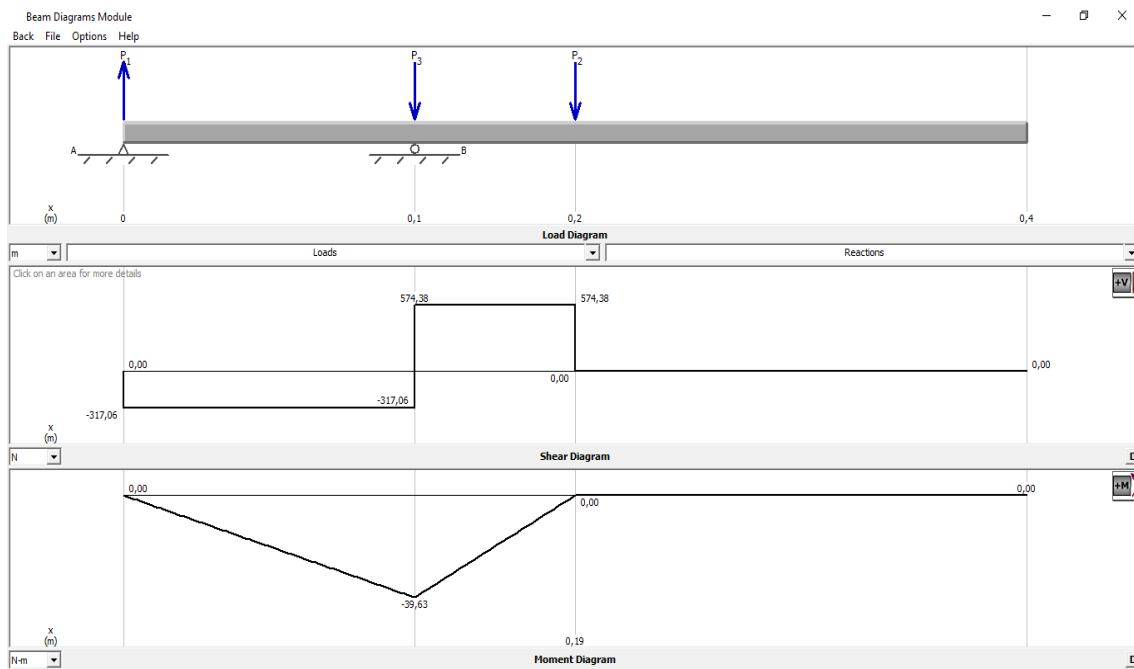


Figura 34. Resultados MDSolids 30 grados

### 3.8.2 Análisis a 60 grados

Corte 1: (0 – 0,125)m

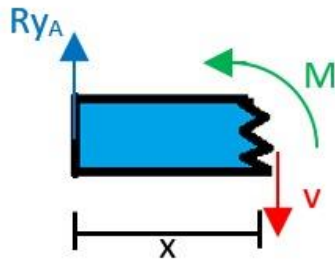


Figura 35. Corte 1 viga empotrada

$$\sum F_y = 0$$

$$-R_{yA} - V = 0$$

$$V = -183,05 \text{ [N]}$$

$$\sum M = 0 \text{ } \cup +$$

$$-V(x) + M = 0$$

$$M = -183,05x \text{ [Nm]}$$

Corte 2: (0,125 – 0,194)m

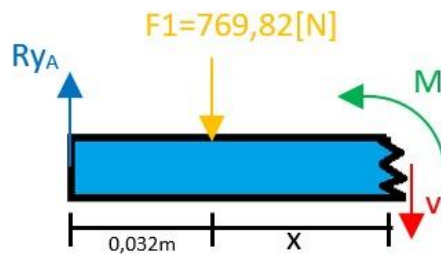


Figura 36. Corte 2 viga empotrada

$$\sum F_y = 0$$

$$-Ry_A + Ry_B - V = 0$$

$$V = 331,62 [N]$$

$$\sum M = 0 \text{ } \curvearrowright +$$

$$Ry_B(0,125[m]) - V(0,125 + x)[m] + M = 0$$

$$-514,67[m] * (0,125[m]) + 331,62[N] * (0,125)[m] + 331,62x[N.m] = M$$

$$M = 41,15x - 22,88[Nm]$$

Corte 3: (0,194 – 0,388)m

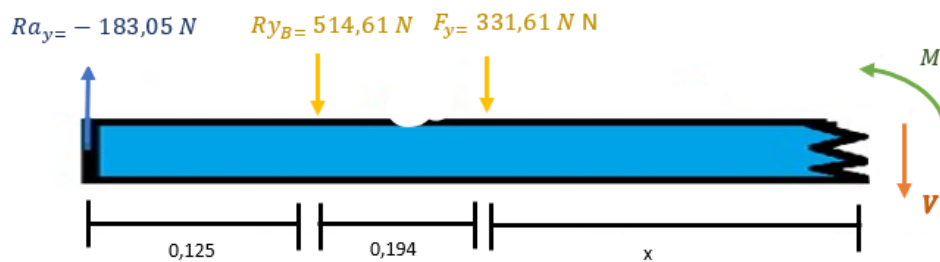


Figura 37. Corte 3 viga empotrada

$$\sum Fy = 0$$

$$-Ry_A + Ry_B - V - 331,61[N] = 0$$

$$V = 0 [N]$$

$$\sum M = 0 \text{ } \curvearrowright +$$

$$Ry_B(0,125[m]) - V(0,194 + x)[m] + M - 331,61[N] * (0,194)[m] = 0$$

$$-514,67[m] * (0,125[m]) + 331,61[N] * (0,194)[m] = M$$

$$M = 0 [Nm]$$

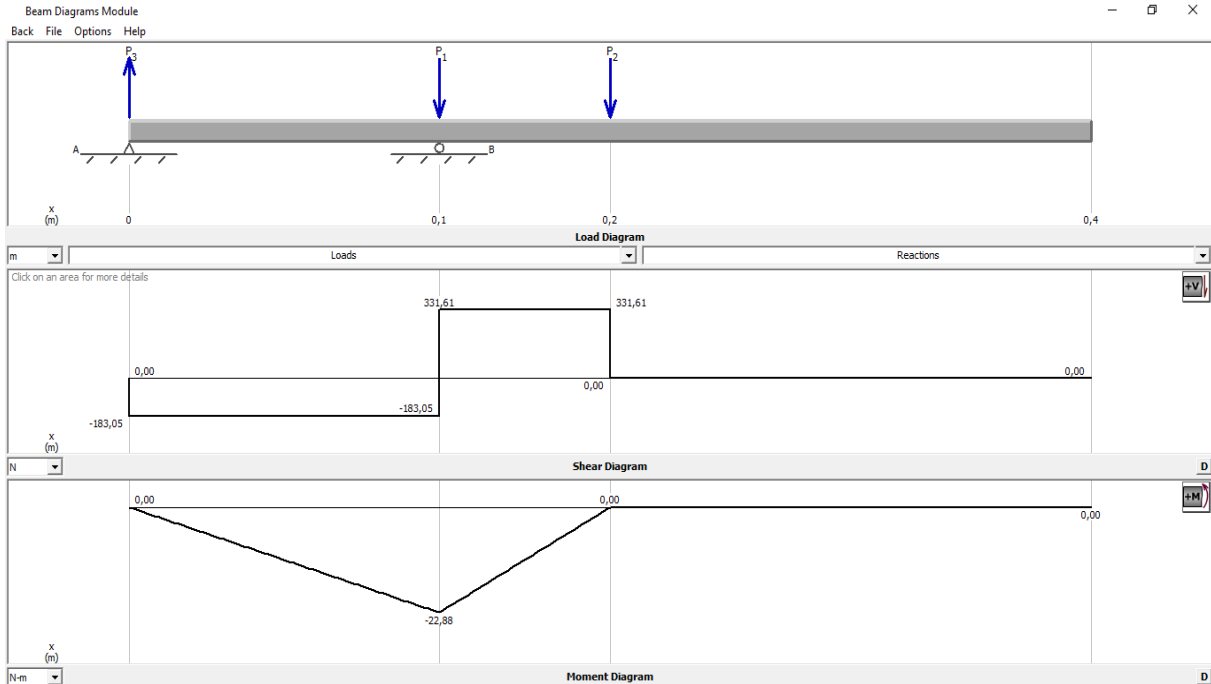


Figura 38. Resultados MDSolids 60 grados

### 3.8.3 Análisis a 75 grados

Corte 1: (0 – 0,125)m

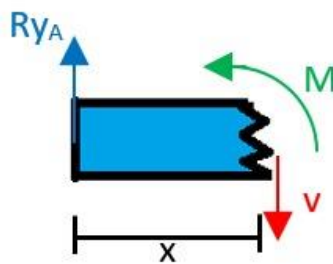


Figura 39. Corte 1 viga empotrada.

$$\sum Fy = 0$$

$$-Ry_A - V = 0$$

$$V = -164,12 [N]$$

$$\sum M = 0 \text{ } \cup +$$

$$-V(x) + M = 0$$

$$M = -164,12x [Nm]$$

Corte 2: (0,125 – 0,194)m

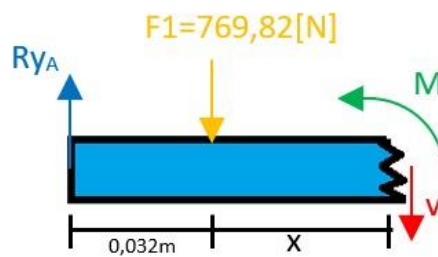


Figura 40. Corte 2 viga empotrada.

$$\sum Fy = 0$$

$$-Ry_A + Ry_B - V = 0$$

$$V = 297,32[N]$$

$$\sum M = 0 \text{ } \cup +$$

$$Ry_B(0,125[m]) - V(0,125 + x)[m] + M = 0$$

$$-461,44[m] * (0,125[m]) + 297,32[N] * (0,125)[m] + 297,32x[N \cdot m] = M$$

$$M = 297,32x - 20,515[Nm]$$

Corte 3: (0,194 – 0,388)m

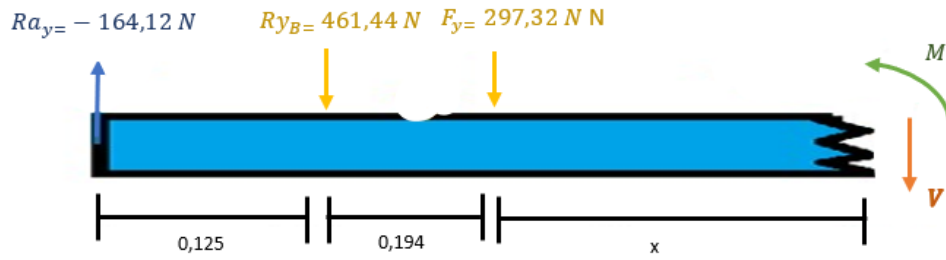


Figura 41. Corte 3 viga empotrada.

$$\sum F_y = 0$$

$$-R_{yA} + R_{yB} - V - 297,32[N] = 0$$

$$V = 0 [N]$$

$$\sum M = 0 \text{ } \zeta +$$

$$R_{yB}(0,125[m]) - V(0,194 + x)[m] + M - 297,32[N] * (0,194)[m] = 0$$

$$-461,44[m] * (0,125[m]) + 297,32[N] * (0,194)[m] = M$$

$$M = 0 [Nm]$$

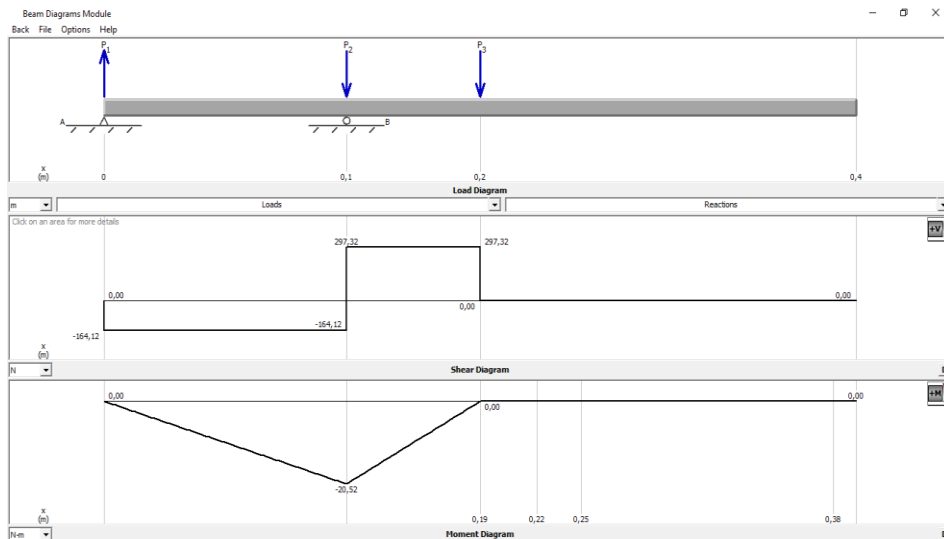


Figura 42. Resultados MDSolids 75 grados



### 3.9 Simulación estática de la estructura

Para simular la estructura completa que será montada en el scooter fue necesario la realización de un ensamble dentro del mismo programa. Con esto, se coloca los soportes fijos y las fuerzas que actúan en el mismo. El resultado del esfuerzo en la estructura se muestra en la Figura 43.

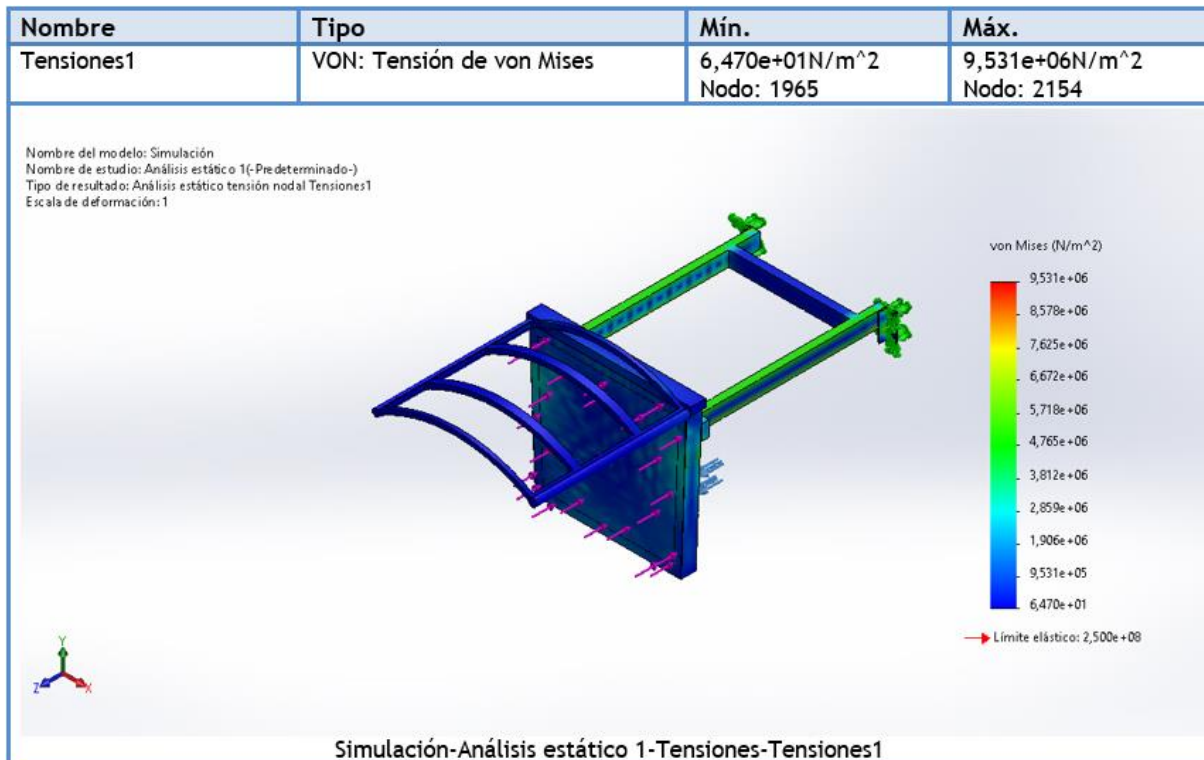


Figura 43. Tensiones en toda la estructura.

Con estos resultados se deduce que el esfuerzo máximo en la estructura es de  $9,531e + 06 \frac{N}{m^2}$  el cual será utilizado también para el cálculo de la deformación y factor de seguridad.

En la Figura 44 se evidencia los desplazamientos o deformaciones que existen en la estructura, teniendo como resultado una deformación menor a 1mm y su parte más crítica es en los dos soportes principales del asiento.

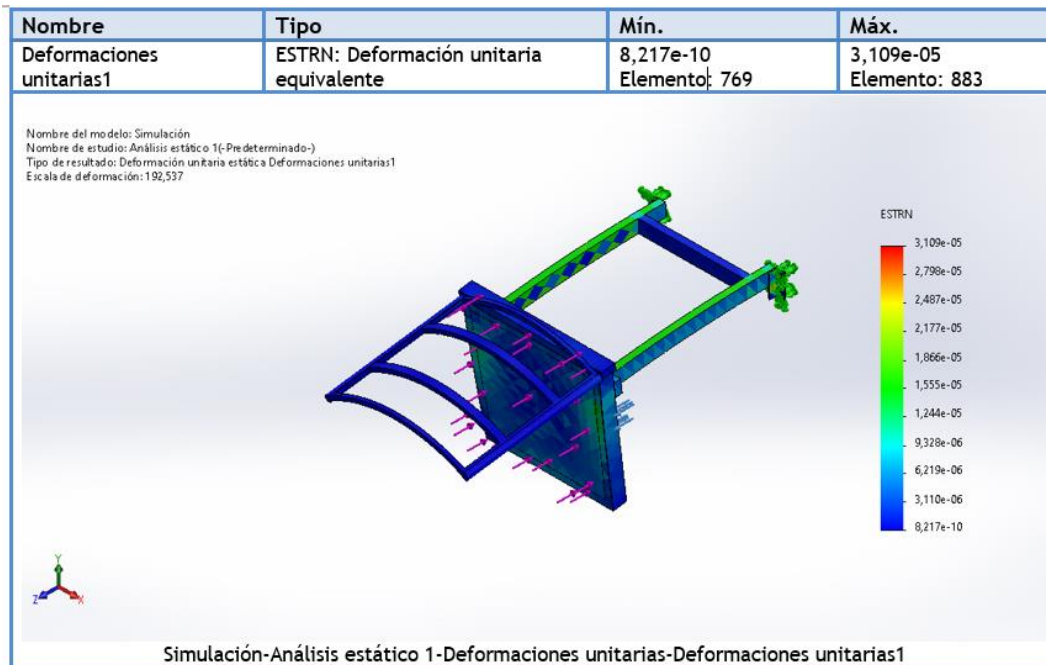


Figura 44. Deformaciones en toda la estructura.

Por último, se ha calculado el factor de seguridad de acuerdo al software y su estudio. Con los mismos soportes fijos y cargas tomadas en cuenta anteriormente. Teniendo un resultado de 26 en su factor de seguridad generalmente en la estructura mostrada en la Figura 45.

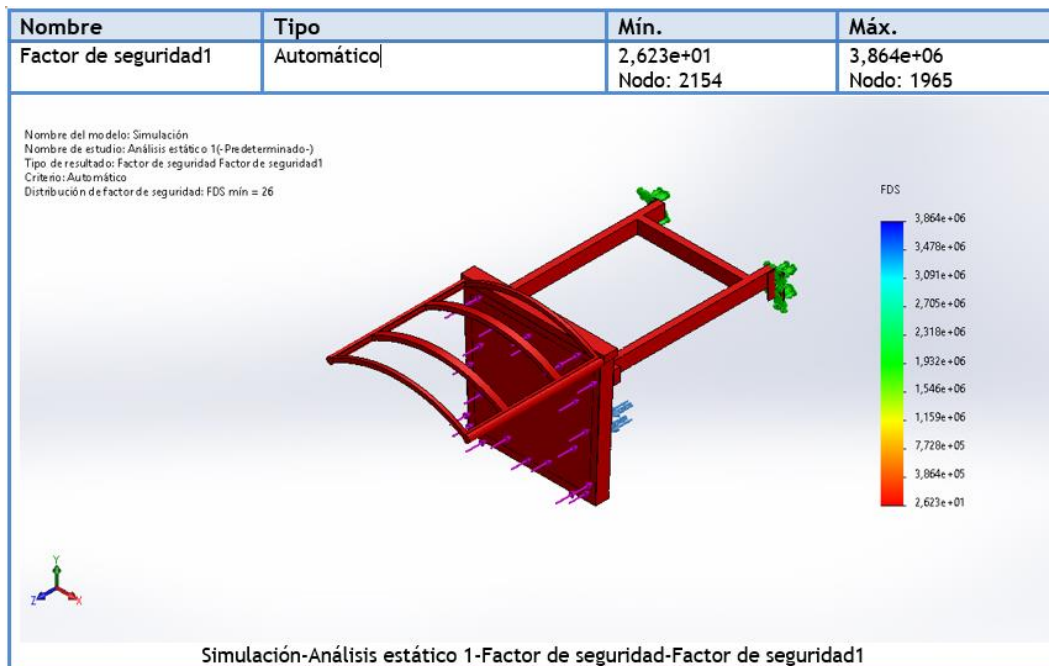


Figura 45. Factor de seguridad en toda la estructura.

### 3.10 Diseño eléctrico y electrónico

Para el diseño electrónico se utiliza diversos elementos y módulos compatibles con el uso del microcontrolador Arduino UNO.

#### 3.10.1 Cálculos de diseño de la batería

El actuador lineal tiene una alimentación de 12V y 5A de corriente. Por lo cual se tiene:

$$P = V * I$$

$$P = 12[v] * 5[A]$$

$$P = 60 [w]$$

El actuador lineal trabaja a una potencia de 60 watts, por lo que se trabajará con una batería de plomo de 12 voltios y 5 Amperios recargable.



Figura 46. Batería recargable [28].

Los relés seleccionados también se activan con una señal digital de 5V y su carga máxima es de 5A para el control del actuador lineal.

### 3.10.2 Conexión Módulo Bluetooth

En la Figura 47, se presenta didácticamente la forma de conexión del módulo Bluetooth con Arduino, en el cual es necesario una alimentación de 3.3V o 5V, GND, Rx y Tx.

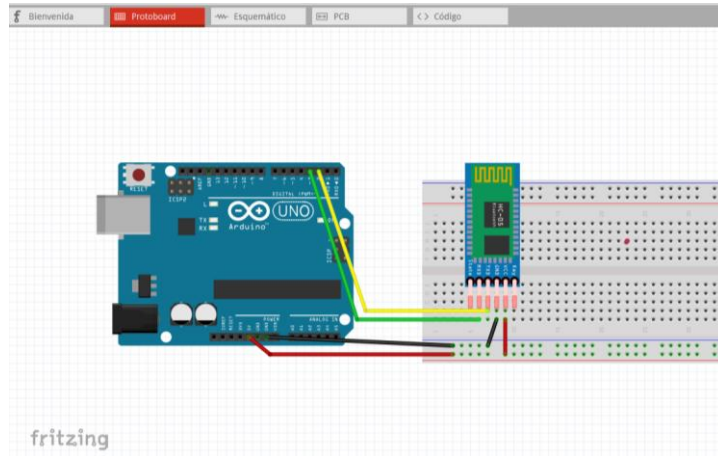


Figura 47. Conexión módulo Bluetooth.

### 3.10.3 Conexión Actuadores lineales

En la Figura 48, se tiene la conexión planificada para controlar el actuador lineal anteriormente mencionado con una fuente de alimentación externa.

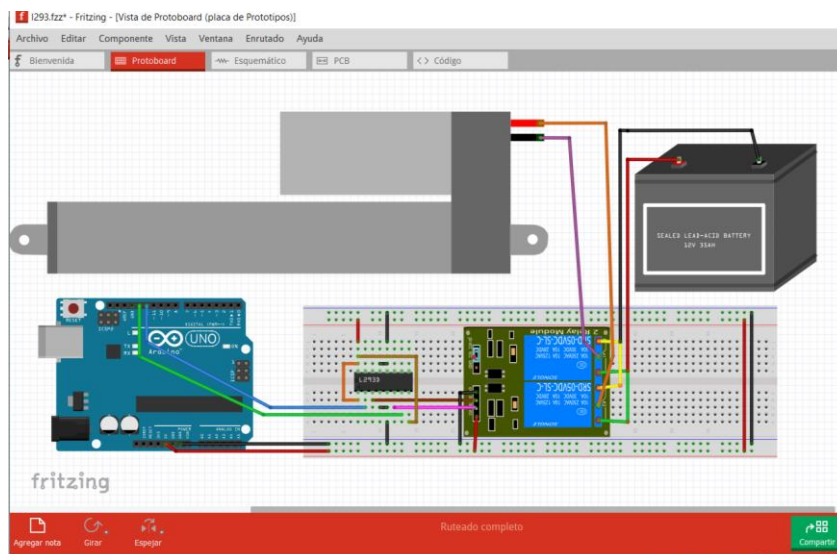


Figura 48. Conexión actuadores lineales.

### 3.10.4 Cálculos de actuador lineal

El voltaje de suministro a la armadura tendrá una caída de la resistencia de la armadura y el resto del voltaje de suministro es contrarrestado por la EMF trasera del motor. Por lo tanto, el voltaje de la ecuación se calcula a partir de la Figura 49, y está dada por:

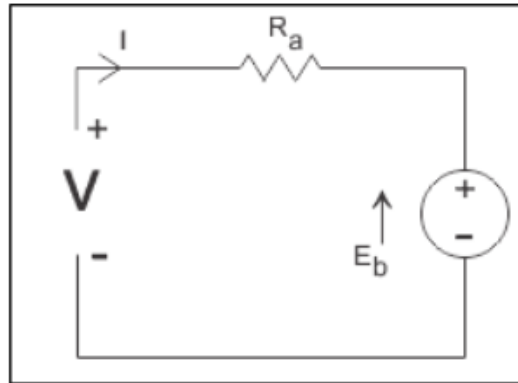


Figura 49. Circuito del motor.

$$V = R_a \cdot I_a + E_b$$

Fuerza contraelectromotriz de subida.

$$E_b = V - R_a \cdot I_{as}$$

$$E_b = (12V) - (1,8\Omega)(1,60A)$$

$$E_b = 9,12 V$$

Fuerza contraelectromotriz de bajada.

$$E_b = V - R_a \cdot I_{ab}$$

$$E_b = (12V) - (1,8\Omega)(0,32A)$$

$$E_b = 11,42 V$$

Dónde,

$I_a$  es la corriente de armadura de subida.

$I_b$  es la corriente de armadura de bajada.

$R_a$  es la resistencia de armadura del motor.

$E_b$  es Fuerza contraelectromotriz

$V$  es el voltaje de suministro.

### 3.10.4.1 Determinación de los parámetros motor de corriente continua DC

Determinación de la constante contraelectromotriz ( $k_e$ ) para el motor DC.

$$k_e = \frac{E_b}{n} = \frac{V}{\omega}$$

$E_b = V =$  Fuerza contraelectromotriz (Voltios)

$n =$  Velocidad en (rpm)

$\omega =$  Velocidad en  $\left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$

- Transformación: m/s a rad/s

$\omega =$  rad/s

$V =$  m/s

$R$  el radio de la trayectoria circular.

$$\omega = \frac{V}{R}$$

$$\omega = \frac{4,5\text{mm/s}}{42,5\text{mm}}$$

$$\omega = 0,1058 \text{ rad/s} = 1,010\text{rpm}$$

$$k_e = \frac{12V}{1,010rpm}$$

$$k_e = 11,88 V/rad - s$$

Cálculo de la Resistencia de Armadura ( $R_a$ ).

Para saber el valor de resistencia de armadura del motor del actuador lineal eléctrico se procedió a medir la resistencia existente con un multímetro entre los dos devanados de salida del motor, así llegando a obtener un valor en ohmios.



Figura 50. Resistencia de la armadura del motor.

Determinación Inductancia de Armadura ( $L_a$ ).

La inductancia es medida en los devanados del motor obteniendo un valor en henrios.

$$L_a = 0,32 mH$$

Constante de tiempo eléctrico ( $t_e$ ).

$$t_e = \frac{L_a}{R_a}$$

$$t_e = \frac{0,32mH}{1,8\Omega}$$

$$t_e = 17,77mS$$

Determinación de la constante de torque (Kt).

Tm es el torque mecánico suministrado por el motor,

$$Tm = F \cdot d$$

$$Tm = (6000N)(4,5 \times 10^{-3}m)$$

$$Tm = 27 [Nm]$$

$$kt = ke$$

$$kt = 11,88[Nm/A]$$

Determinación de la constante de tiempo mecánica (tm).

Para medir este factor se tuvo que hacer uso de un osciloscopio, se conectó el osciloscopio en los terminales de salida del motor y se envió un voltaje nominal del motor que es de 12V. El tiempo requerido para que la señal de salida alcance el 63% del valor final se mide como un dato, al trazar una línea entre voltaje y tiempo se obtiene que el 63,2% de voltaje nominal es 7,58V y llega a un tiempo de 15,3 ms, dicho tiempo corresponde a la constante de tiempo mecánica (tm).

$$t_m(s) = 15,3 \text{ ms}$$

Determinación del momento de inercia (Jm).

$$t_m(s) = \frac{Jm \cdot Ra}{kt \cdot ke}$$

$$Jm = \frac{tm \cdot kt \cdot ke}{Ra}$$

$$Jm = \frac{(15,3 \times 10^{-3} s) \cdot (11,88 Nm/A) \cdot (11,88 V/rad - s)}{1,8 \Omega}$$

$$Jm = 1,20 \text{ kg} - m^2$$



Obtención del torque de fricción y la corriente de arranque del motor DC.

La corriente de arranque del motor es medida por un amperímetro conectándolo en serie a la salida del relé y al polo positivo de la salida del motor del actuador lineal eléctrico, obteniendo una corriente de arranque igual a 1,60 A.

$T_f =$  Torque de fricción.

$K_t =$  Constante de torque.

$I_{arr} =$  Corriente arranque.

$\omega =$  velocidad en rad/s

$$T_f = K_t \cdot I_{arr}$$

$$T_f = (11,88Nm/A) \cdot (1,60A)$$

$$T_f = 19,008 Nm$$

Constante de Fricción de Coulomb.

$$B = \frac{T_m - t_f}{\omega}$$

$$B = \frac{27Nm - 19,008Nm}{0,1058rad/s}$$

$$B = 75,53[Nm \cdot s]$$

### **3.11 Diagrama de flujo del funcionamiento del dispositivo**

A continuación, en la Figura 51 y 52, se evidencia el proceso que debe ser realizado por el usuario para su funcionamiento.

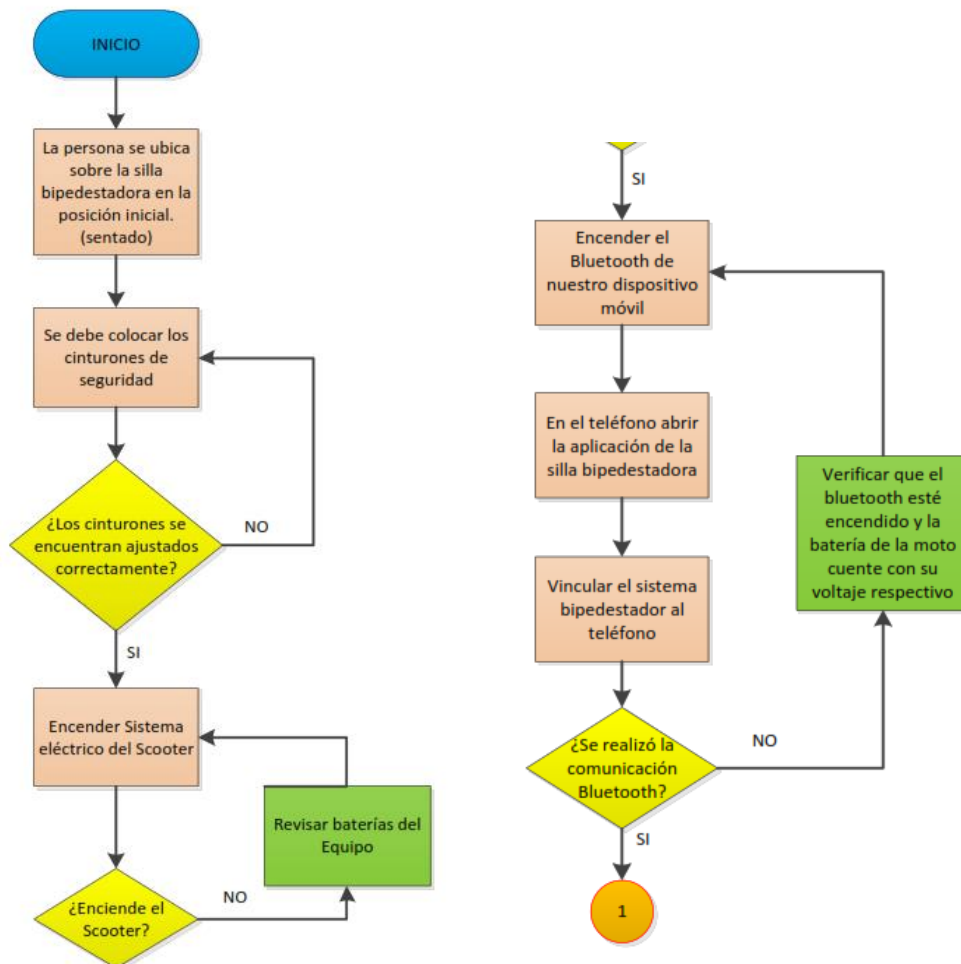


Figura 51. Diagrama de Flujo Parte 1.

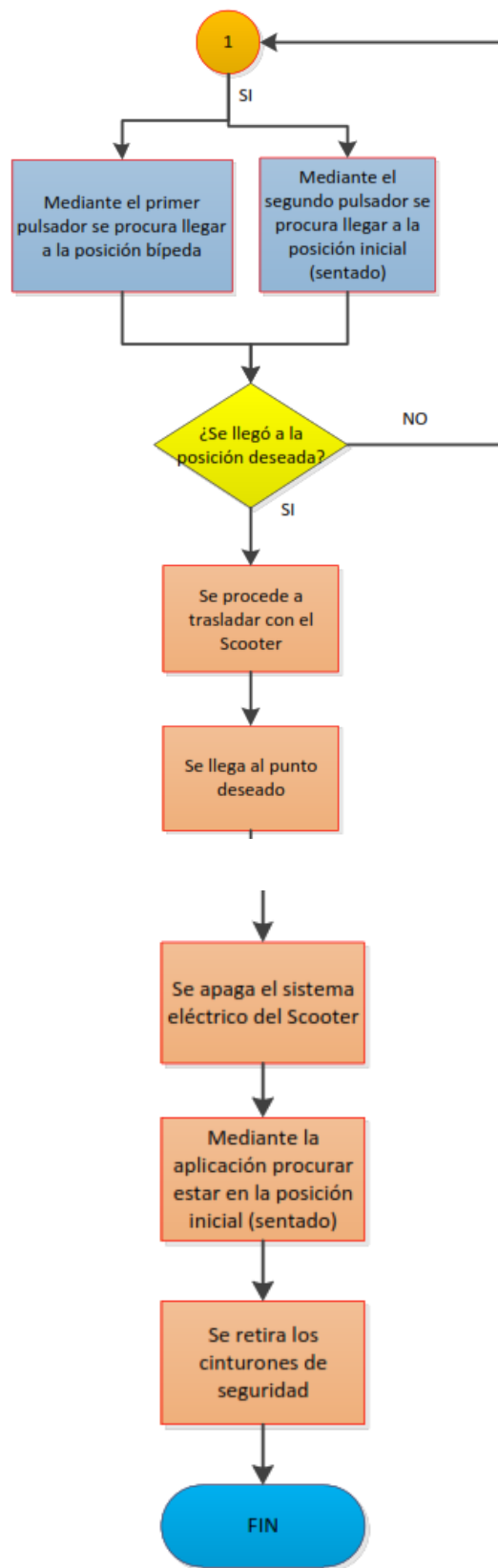


Figura 52. Diagrama de Flujo Parte 2.

## Capítulo 4 Integración del Sistema Mecatrónico

### 4.1 Manufactura y ensamble

#### 4.1.1 Secuencia de construcción de silla bipedestadora

##### 4.1.1.1 Proceso de obtención de materia prima

Como se menciona antes, se utilizó perfiles rectangulares, placas y varillas lisas para el ensamble. Debido a que en los centros ferreteros se encuentran perfiles rectangulares de 6m con uno de éstos fue suficiente para las diferentes piezas que se necesitaba para el ensamble.

##### 4.1.1.2 Corte de perfiles

Como se podrá evidenciar en los planos anexados al documento se cortó el perfil en varias medidas para poder cumplir con las especificaciones para la cual fue diseñada. El proceso se muestra en la Figura 53.



Figura 53. Proceso de corte de perfiles.

#### 4.1.1.3 Soldadura

La soldadura de las piezas, tanto de los perfiles como de las placas fue realizada con una soldadura MIG con un alambre de 0.9mm sin gas. Se muestra en la Figura 54.



Figura 54. Soldadura de perfiles.

#### 4.1.1.4 Perforación

La perforación fue realizada mediante un taladro dependiendo el diámetro del perno o tornillo el cual sea necesitado. Las brocas eran de cobre por lo cual su perforación fue más simple. Se muestra en la Figura 55.



Figura 55. Perforación en la estructura.

#### **4.1.1.5 Pulido**

El proceso de pulido se realizó tanto en las zonas donde existió la soldadura como en las distintas zonas donde fueron realizadas las perforaciones. Como se muestra en la Figura 56, antes de ser pintada en el proceso de acabado de la estructura.



Figura 56. Pulido de la estructura.

#### **4.1.1.6 Pintura**

Para la pintura se seleccionó una pintura de uso automotriz mezclada con Thinner, el color seleccionado es negro en su totalidad y es pintado antes de ser montado como tal en el scooter. Se muestra en la Figura 57.



Figura 57. Pintura de la estructura.

#### **4.1.2 Secuencia de montaje en scooter**

##### **4.1.1.1 Montaje mecánico de silla bipedestadora**

Cómo las medidas ya fueron tomadas anteriormente, el proceso de montaje es más simple y fue sujeto al scooter mediante el uso de pernos y tuercas. Y su producto se muestra en la Figura 58.



Figura 58. Montaje de la estructura.

#### **4.1.1.2 Montaje soporte policarbonato de silla bipedestadora**

Como espaldar y asiento fue colocado Policarbonato para tener un mayor soporte. Con esto el usuario también estará en la libertad de visualizar el estado de los perfiles con los cuales fue construido la estructura. Se muestra en la Figura 59.





Figura 59. Policarbonato en la estructura.

#### 4.1.1.4 Ensamblaje mecánico

Con todo lo anteriormente mencionado colocado y montado en el scooter tenemos el producto final en la Figura 60.



Figura 60. Bipedestador totalmente funcional

#### 4.1.1.5 Montaje eléctrico de silla bipedestadora

Con todos los elementos listos para el montaje se tiene en la Figura 61, la placa principal en la cual se conectará el Arduino y sus demás componentes.



Figura 61. Placa principal

En la Figura 62, se tiene el regulador de voltaje utilizado también como forma de protección hacia el microcontrolador.

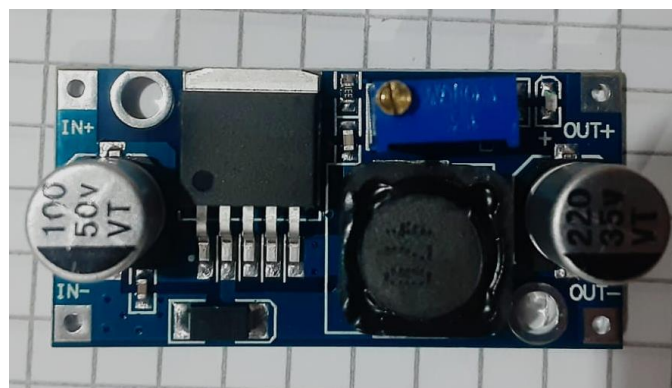


Figura 62. Regulador de voltaje

En la Figura 63, se tiene el módulo Relé de dos canales que controlará el sentido del actuador lineal para su activación.

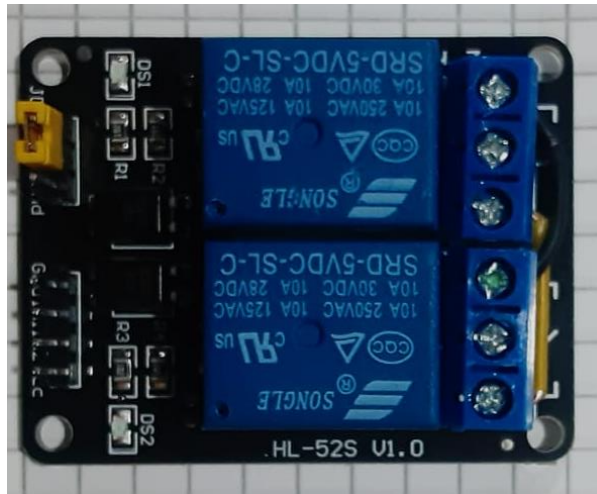


Figura 63. Relé 2 canales

#### 4.1.1.6 Descripción de armado del circuito eléctrico

Para la selección de los componentes eléctricos con los que se trabajó en la fabricación del prototipo bipedestador fue necesario hacer un estudio mostrado anteriormente para luego seleccionar varios de los elementos que son necesarios para obtener el movimiento deseado mostrados en la Figura 64.

Para el circuito creado se cuenta con un microcontrolador Arduino uno, un módulo bluetooth HC-05, un circuito integrado L293D, un módulo de 2 relay, un convertidor de voltaje DC-DC step Down LM2596, una batería de moto y se cuenta con un actuador lineal de 6000[N].



Figura 64. Relé 2 Materiales usados

El microcontrolador Arduino uno es una de las placas que más se utiliza para proyectos estudiantiles por su sistema robusto. Arduino uno tiene su voltaje de trabajo de 5V, es decir a la batería de moto de 12V se le conectó el convertidor de voltaje LM2596 al cual se lo reguló a 5.5 V como voltaje de salida y a este voltaje se le conectó un puerto Jack para poder alimentar directamente a la placa.

El módulo bluetooth trabaja con un voltaje de operación de 5V y con una corriente de 34mA, este dispositivo está conectado en la placa del circuito base por su conexión directa con el microcontrolador y con el sistema integrado L293D.

El sistema integrado/driver puente H L293D es utilizado comúnmente para el control de giro de motores con Arduino. En su interior se puede encontrar un puente de diodos el cual sirve de protección para cuando se conecten varias cargas inductivas como son los motores. Este driver trabaja con un voltaje de entrada de 4.5V y con una corriente de 600mA, en los pines 2 y 7 son pines encargados de enviar la señal en forma de pulsos al módulo de 2 relays para activarlo y hacer girar al motor del actuador lineal para que suba y baje la silla bipedestadora, esta señal llega en pulsos de voltaje de 4.5V.

En un principio se intentó conectar directamente el motor del actuador lineal a la señal de salida del driver L293D, lo cual resultó ser un intento fallido por varios motivos, la primera consideración para tener error era su voltaje, el voltaje de salida del driver L293D es de 4.5V y este voltaje no activa para nada al actuador lineal debido a que su característica técnica menciona que su voltaje de trabajo debe ser de 12V. Otro punto a considerar era su polaridad, al salir el voltaje del driver L293D se obtiene con el pin 2 un voltaje de +4.5V y con el pin 7 se tiene un voltaje contrario de -4.5V, estos voltajes se los puede medir con el multímetro tomando el polo positivo a los pines 2 o 7 y el polo común a una conexión de tierra, esto no permite que el actuador lineal pueda funcionar de la forma deseada. Como último punto a considerar es su corriente la corriente de salida del driver al medir en serie con el multímetro se obtuvo una corriente de 34mA, esta corriente no fue la suficiente para abastecer el

movimiento del actuador lineal, para poder mover el motor del actuador lineal como mínimo se necesita una corriente de 2.5 A según su característica técnica.

Para poder dar solución a los problemas que se presentaron anteriormente se hizo el estudio y se planteó ocupar el módulo de 2 relays, junto a una batería de moto de 12V como una fuente externa.

La Electrónica de potencia es la encargada del estudio de circuitos, dispositivos y procedimientos para controlar voltajes y corrientes de niveles significativos, a su vez transformarlos a voltajes y corrientes mayores que sean necesarios para el funcionamiento que se requiere obtener. Por ello se hace uso del módulo de 2 relays, es el encargado de recibir la señal de los pines 2 y 7 del driver L293D sin importar la polaridad, solo recepta el pulso de señal y enseguida manda activar a los relays respectivamente, a la entrada del módulo se lo alimenta con 5V DC y a la salida de los relays se realiza una conexión junto a la batería de moto de 12V. Al realizar esta conexión se pudo solucionar todos los problemas obteniendo el movimiento deseado que el actuador lineal suba y baje con diferentes señales.

El sistema bipedestador consiste en descargar e instalar en un teléfono celular con sistema operativo Android la aplicación creada en el software online App-Inventor, es aquí donde se pudo realizar una programación en bloques.

Luego se debe conectar al dispositivo Bluetooth el teléfono celular y la placa eléctrica del sistema bipedestador.

Al presionar el primer botón del teléfono la señal se envía al módulo bluetooth, luego el módulo bluetooth envía la señal al microcontrolador, éste también se encarga de enviarla al driver L293D, el mismo que trasmite al módulo de 2 relays activando a uno de ellos haciendo que el actuador lineal ascienda permitiendo cambiar de posición a la silla bipedestadora.

Al presionar el otro botón del teléfono la señal realiza el mismo recorrido cambiando al final en el módulo de 2 relays, activando al otro relay haciendo que el actuador lineal descienda permitiendo que la silla bipedestadora regrese a su posición inicial.

#### 4.1.1.7 Proceso de acabado eléctrico

Estos elementos estarán colocados dentro de una caja protectora, al ser un prototipo se optó por la utilización de madera para una caja contenedora como se evidencia en la Figura 65.



Figura 65. Caja de protección

Y una vez colocados en la caja se realizará su conexión para su funcionamiento como en la Figura 66.

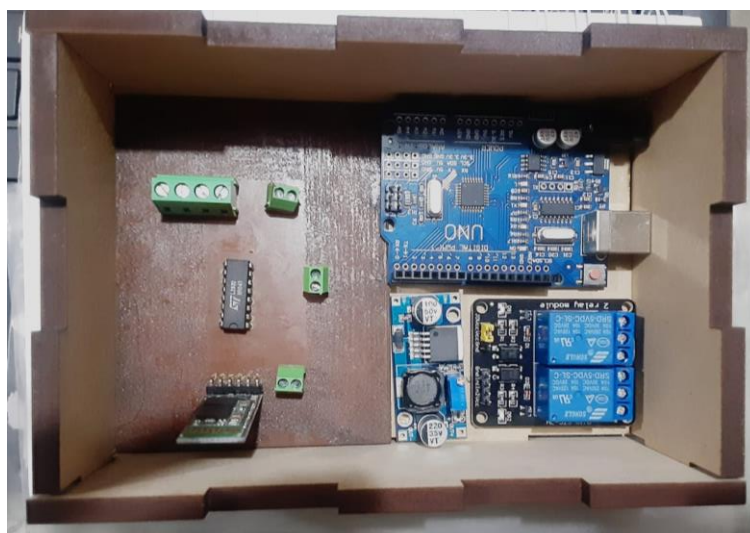


Figura 66. Vista frontal caja de protección

## 4.1.2 Ensamble eléctrico

### 4.1.2.1 Conexión con Arduino y Bluetooth

Como se mostró antes en la Figura 66, se realizó la conexión de la misma forma como se muestra implementada en la Figura 67.

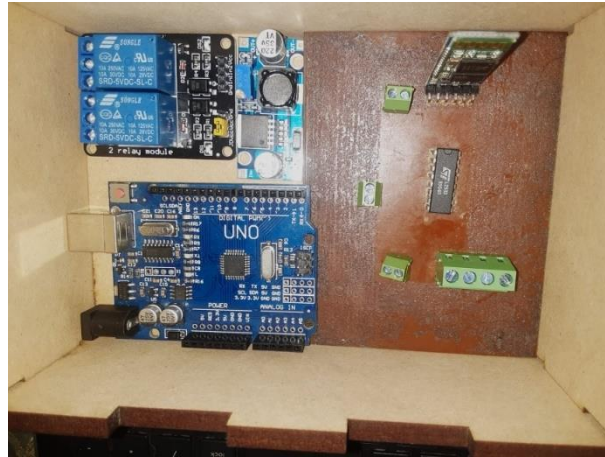


Figura 67. Conexión eléctrica

### 4.1.2.2 Conexión actuador lineal

De igual forma, el actuador lineal está conectado al controlador de motores y módulo Relé e implementados en la Figura 68.

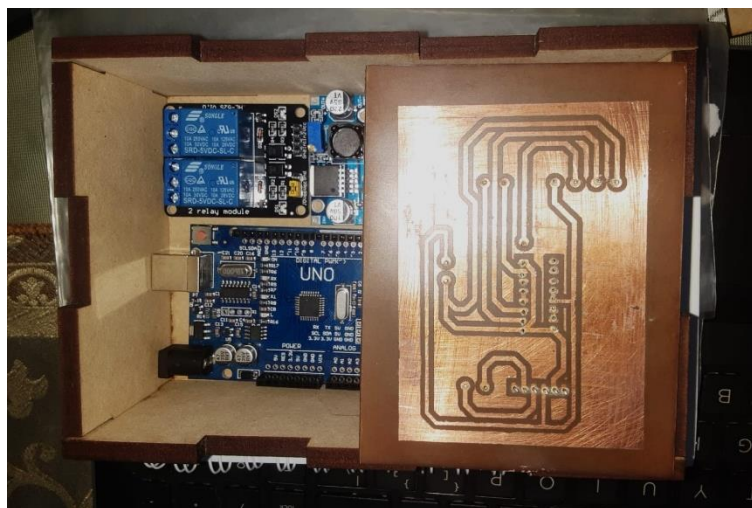


Figura 68. Conexión eléctrica

## Capítulo 5 Pruebas y resultados

### 5.1 Pruebas del equipo estático

Como se puede ver en la Figura 69, se utilizó dos personas de distintos pesos para comprobar su estructura. La primera pesa alrededor de 55 Kg y la segunda persona alrededor de 80 Kg, teniendo un resultado favorable en ambos ya que el equipo era completamente estable también gracias a las ruedas posteriores colocadas.



Figura 69. Pruebas estáticas

### 5.2 Velocidad del equipo

Como se menciona también en el manual de uso, es necesario configurarlo en Modo 1, el cual se encuentra preconfigurado con una velocidad máxima de 10 Km/h. Las pruebas con los dos sujetos antes mencionados fueron exitosas ya que la velocidad máxima no variaba. Esto debido a las características del scooter, el cual fue diseñado y comercializado para una carga máxima de 120 Kg.



### 5.3 Prueba velocidad actuador lineal

Para esta prueba de velocidad del actuador lineal se tomará en cuenta el tiempo que se demora en colocar a la persona en bipedestación. Se tiene dos personas con distintos pesos para estas pruebas y comparar sus velocidades.

La primera persona tiene un peso de aproximadamente 55 Kg, la cual ha sido debidamente abrochada para precautelar su seguridad y se muestra en la Figura 70.



Figura 70. Sujeto de pruebas 55 Kg

Con ayuda de un cronómetro, se tomó en cuenta el tiempo que se demoró en ponerse en bipedestación el equipo como en la Figura 71.



Figura 71. Bipedestación peso 55 Kg

Teniendo como resultado un tiempo aproximado de 19 segundos entre ambas posiciones.

Para demostrar que el actuador lineal también se encuentra bien dimensionado se realizó otra prueba con otra persona con un mayor peso, en este caso aproximado a los 80 Kg con sus respectivas correas de seguridad en la Figura 72.



Figura 72. Sujeto de pruebas 80 Kg

Se realizó la misma prueba de accionamiento del actuador lineal hasta llegar a su bipedestación como en la Figura 73. Obteniendo como resultado los mismos 19 segundos de tiempo de bipedestación, asumiendo así que el actuador lineal es capaz de soportar distintos pesos sin alterar su velocidad.



Figura 73. Bipedestación 90 Kg

## **5.4 Manual de operación de ensamble y uso de la máquina**

### ***5.4.1 Notas de seguridad***

La silla bipedestadora cuenta con scooter lo que permite la movilidad del usuario, se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

- El mecanismo puede ser usado en personas de 15 a 60 años de edad y su peso máximo permitido es de 110 Kg.
- Una vez se ubique en el asiento, colocarse las correas de seguridad y ajustarse de acuerdo a su necesidad.
- No usar el mecanismo en lluvia.
- El mecanismo se lo debe utilizar siempre en modo 1, establecido por el scooter con un máximo de velocidad de 10 km/h.

- Al usar el mecanismo evitar pendientes (ángulo  $>15^\circ$ ), al hacerlo puede provocar un sobrecalentamiento del motor y quedarse sin batería para culminar su recorrido, de igual manera evitar circular por baches, granizo, lodo, arena.

#### **5.4.2 Uso**

- Una vez se haya colocado las correas de seguridad, se encenderá el scooter eléctrico
- Establecer conexión bluetooth con el actuador lineal, mediante el teléfono celular en la aplicación denominada: bipedestador PaBe.
- Con la aplicación móvil se procede a seleccionar la posición en la que se desea movilizar mediante los botones que aparecerán en pantalla, bípeda o sedentaria
- Movilizarse con el mecanismo siempre en el modo uno determinado por el scooter eléctrico, es decir a una velocidad máxima de 10 km/h
- Apagar el scooter eléctrico una vez se haya llegado al destino.
- Mediante la aplicación ubicarse en la posición inicial y desconectar la conexión bluetooth entre el teléfono celular y el actuador lineal.
- Retirarse las correas de seguridad.

### **5.5 Mantenimiento de la máquina**

#### **5.5.1 Mantenimiento periódico**

- Antes de cada uso se debe verificar el estado de los 4 neumáticos que posee el mecanismo, con énfasis en el neumático ubicado en la mitad de la parte trasera, pues es donde alberga el motor eléctrico
- Verificar los frenos del mecanismo
- Verificar que no haya daños en la estructura
- Después de cada recorrido se recomienda cargar la batería del mecanismo, o a su vez no tenerla por menos del 20%.

- Verificar que todos los implementos eléctricos y electrónicos estén funcionando de manera adecuada.

### **5.5.2 Mantenimiento semestral**

- Revisión y limpieza general del mecanismo
- Revisar los neumáticos, comprobar la presión de los mismos.
- Verificar el funcionamiento del cargador del scooter eléctrico.
- Verificar los estados de la batería tanto del scooter eléctrico como la batería del actuador y microcontrolador
- Verificar el estado del actuador lineal y los componentes electrónicos dentro de la caja de control.
- Engrasar los componentes mecánicos necesarios.

### **5.6 Análisis económico**

A continuación, en la Tabla 21 se detallan los valores de los distintos elementos utilizados en el prototipo y su construcción.

Tabla 21

Materiales ferreteros.

Designación	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Perfil rectangular 40*20 mm	1	28	28
Platinas espesor 0.9 mm	1	35	35
Platinas espesor 0.6 mm	1	22	22
Varilla lisa maciza	1	15	15
Policarbonato	2	70	140
Neumático 10 Pulgadas	2	9	18

Amortiguador de puerta	2	2	4
<b>Total</b>			<b>262</b>

Tabla 22

Recursos normalizados.

Designación	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Tornillos autoperforantes M1.8 x 3/4	7	0.10	0.70
Pernos acero negro M8	5	0.50	2.50
Abrazaderas ¾ tipo U	4	2	8
Tuercas M8	5	0.10	0.50
Tuercas 3/4	8	0.15	1.20
Cinturón de seguridad	3 metros	1.15	3.45
Regulador de correa	12	0.35	4.20
Broche de seguridad	3	0.50	1.50
<b>Total</b>			<b>22.05</b>

Tabla 23

Sistema eléctrico.

Designación	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Actuador lineal	1	250	250
Arduino UNO	1	13	13
Modulo Bluetooth HC-05	1	8	8
Driver L293D	1	2.25	2.25
Módulo 2 Relay	1	5	5
Batería 12V	1	30	30
Módulo regulador de voltaje	1	5	5
Cable AWG 22 (m)	1	0.25	0.25
Cable AWG 15 (m)	1	0.7	0.70
Cable AWG 12 (m)	2	0.62	1.24
<b>Total</b>			<b>315.44</b>

Tabla 24

Costos de construcción.

Designación	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Cortes de perfiles	3 horas	23	69
Soldadura	5 horas	12	60
Rollo de alambre	1 hora	43	43
Perforación	3 horas	10	30

Pintura	1 hora	20	20
<b>Total</b>			<b>222</b>

**Tabla 25**

Costos totales.

Designación	Precio (USD)
Materiales ferreteros	262
Recursos normalizados	22.05
Sistema eléctrico	315.44
Costos de construcción	222
Scooter eléctrico	500
Costo de ingeniería	300
<b>Total</b>	<b>1621.49</b>

### 5.7 Valor actual neto (VAN)

La tasa de interés establecida por el Banco Central del Ecuador para consumos es de 16.30%, valor el cual será utilizado para el cálculo en la Tabla 26.



Tabla 26

Flujo de caja.

Periodo	Cantidad (USD)
0	- 15000
1	3980
2	5970
3	7960

Los datos de la Tabla fueron calculados en función de que: se realiza un préstamo de \$15000 para fabricar en el primer año se logre vender 2 unidades a un costo de \$1990 por cada unidad. Este valor fue calculado a partir del costo de producción y una ganancia de aproximadamente 20% del mismo. En el segundo año se logre vender 3 unidades. Y en el tercero 4 unidades.

$$VAN = -10000 + \frac{3980}{1 + 0.16} + \frac{5970}{1 + 0.16} + \frac{7960}{1 + 0.16}$$

$$VAN = \$ 439.65$$

### 5.8 Tasa interna de retorno (TIR)

Este apartado permite evaluar a inversionistas y gestores del proyecto si es viable invertir en este negocio. Se calcula la rentabilidad y pagos de una inversión. Se iguala en VAN a cero en forma de ecuación.

$$VAN = -15000 + \frac{3980}{1 + k} + \frac{5970}{(1 + k)^2} + \frac{7960}{(1 + k)^3} = 0$$

$$TIR = 0.08 * 100\%$$

$$TIR = 8\%$$

Con estos datos, es posible evidenciar que el proyecto es viable y rentable con las probabilidades con las cuales fue calculado.

## Capítulo 6 Conclusiones

Se analizaron las necesidades y requerimientos del prototipo bipedestador en base a estudios posteriores de sistemas bipedestadores, entrevistas y toma de medidas de 5 personas con diversidad funcional en sus extremidades inferiores, a partir de lo cual, se definieron las dimensiones del prototipo y los parámetros esenciales para que otorgue seguridad y comodidad al usuario.

Se diseñó un sistema mecatrónico para personas con diversidad funcional de sus extremidades inferiores hasta grado III, mediante la aplicación de la fuerza por medio de un actuador eléctrico dispuesto a 5 grados con respecto a la base. De esta manera se obtuvo un medio de transporte para entornos abiertos libres de obstáculos.

Se incorporó al diseño del bipedestador el sistema de movilización sustentable el patinete eléctrico, que es de fácil manipulación a los usuarios y abarca una renovación actual con autonomías hasta 50 kilómetros mientras se lo use en terrenos planos, en cuestas de hasta máximo 10 grados y habiendo completado el ciclo de carga.

Se programó mediante App Inventor una aplicación móvil que permite al usuario controlar el actuador lineal y lograr una posición bípeda en aproximadamente 19 segundos con un movimiento suave que es cómodo para el usuario.

## **Capítulo 7 Recomendaciones**

Los bipedestadores tienen escasa comercialización en el mercado nacional y se debe realizar las sillas de acuerdo a las necesidades de la población ecuatoriana

El sistema se lo debe usar en superficies planas, para no causar sobrecalentamiento en el motor eléctrico y la batería pueda cumplir con la autonomía estipulada ocasionando que no falle.

La batería y funcionamiento del celular debe ser óptimo ya que por este medio se controlará las posiciones de uso para el bipedestador.

## Referencias

- [1] SURA, «SURA,» [En línea]. Available: <https://www.arsura.com/index.php/component/content/article/27-prevencion/ergonomia-anterior/846-trabajo-en-posicion-sentado>. [Último acceso: 15 11 2022].
- [2] J. C. Flores, M. Alvo , H. Borja, J. Morales, J. Vega, C. Zuñiga, H. Müller y J. Münzenmayer, «Enfermedad renal crónica: Clasificación, identificación, manejo y complicaciones,» *Revista Médica de Chile*, Vols. %1 de %2137-177, 2009.
- [3] Consejo de discapacidades del Ecuador, «Consejo de discapacidades del Ecuador,» [En línea]. Available: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>. [Último acceso: 02 05 2022].
- [4] Consejo Nacional de Discapacidades, «Consejo Nacional de Discapacidades,» [En línea]. Available: [https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2016/02/estadisticas\\_discapacidad.pdf](https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2016/02/estadisticas_discapacidad.pdf). [Último acceso: 15 11 2022].
- [5] Discapnet, «Discapnet,» [En línea]. Available: <http://salud.discapnet.es/Castellano/Salud/Enfermedades/EnfermedadesDiscapacitantes/L/LesiondelaMedulaEspinal/Paginas/coverlesion.aspx>. [Último acceso: 02 01 2022].
- [6] Segway, «Segway,» [En línea]. Available: <https://www.segway.com/>. [Último acceso: 15 11 2022].
- [7] I. Murua Arabaolaza, *Lesión medular. Tratamiento*, 2015.

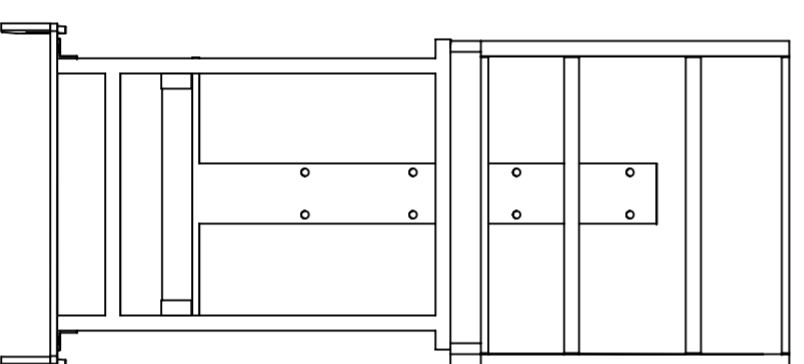
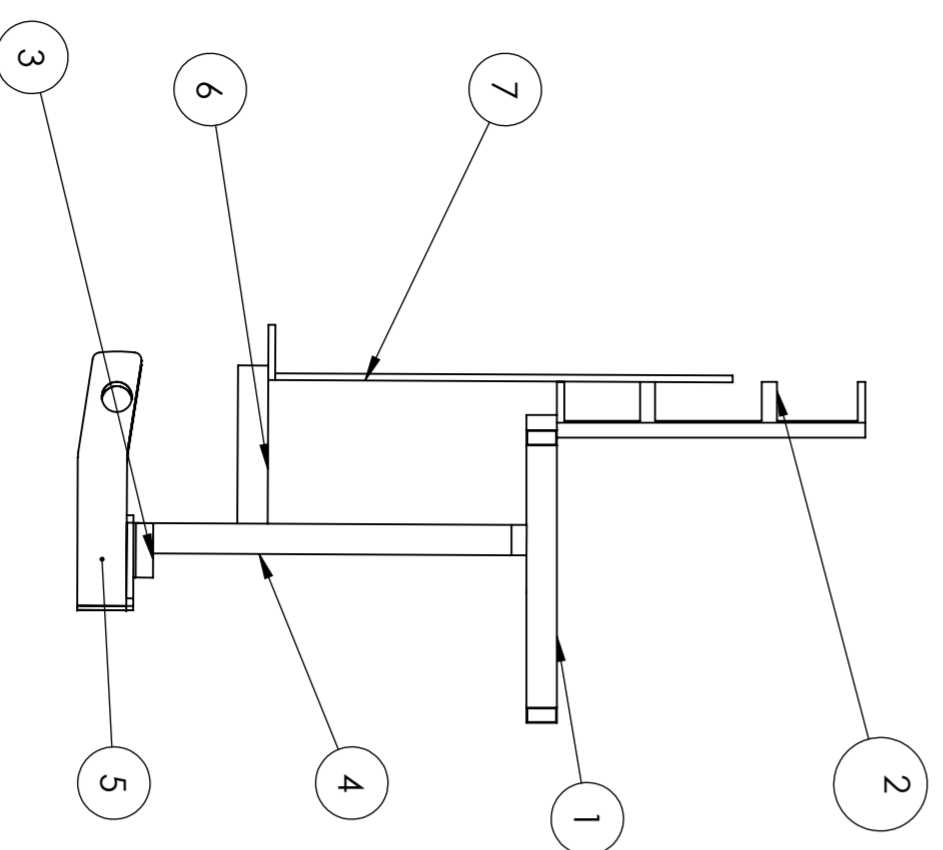
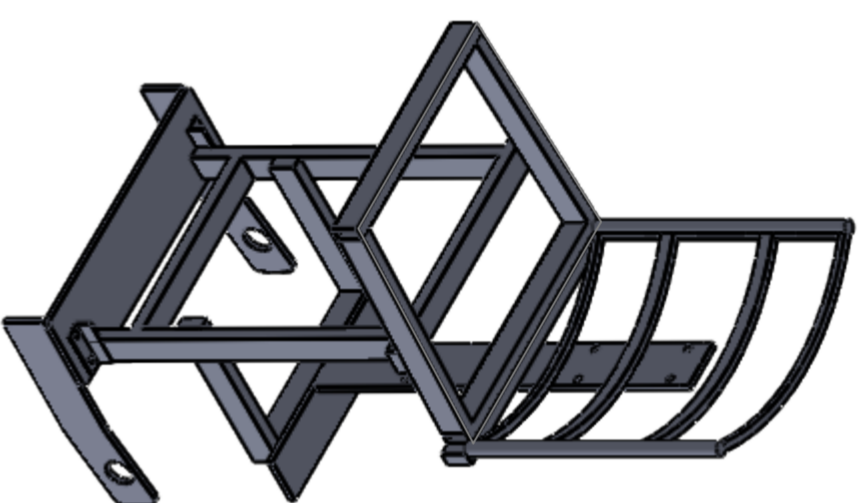
- [8] Organización Panamericana de la Salud, «Organización Panamericana de la Salud,» [En línea]. Available: <https://www.paho.org/es/temas/discapacidad>. [Último acceso: 30 11 2022].
- [9] Univerisdad de Alicante, «Unidad de Accesibilidad Digital,» [En línea]. Available: <https://web.ua.es/es/accesibilidad/diversidad-funcional.html>. [Último acceso: 30 11 2022].
- [10] CONADIS, «Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades,» [En línea]. Available: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>. [Último acceso: 30 11 2022].
- [11] M. D. L. Á. Campaña Olmos y J. M. Barreno Oñate, *Investigación para el diseño y construcción de un bipedestador semiautomático reajutable para personas con Paraplejia*, Latacunga: Universidad De Las Fuerzas Armadas, 2017.
- [12] A. Herrera Ruiz, *Diseño y Construcción de un bipedestador eléctrico para niños con Discapacidad*, Bogotá: Universidad de los Andes - Facultad de Ingeniería, 2018.
- [13] C. Rodriguez y J. Peña, *Diseño y construcción de un bipedestador infantil*, Nguanagua: Universidad de Carabobo, 2012.
- [14] LINAK, «LINAK,» [En línea]. Available: <https://www.linak-latinamerica.com/productos/actuadores-lineales/>. [Último acceso: 06 01 2023].
- [15] LINAK, «LINAK,» [En línea]. Available: <https://www.linak-latinamerica.com/productos/actuadores-lineales/la10/>. [Último acceso: 06 01 2023].
- [16] RENAULT, «RENAULT,» 26 11 2021. [En línea]. Available: <https://www.renault.com.mx/blog/renault/beneficios-scooter-electrico.html>. [Último acceso: 06 01 2023].

- [17] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, México D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2008.
- [18] Arduino, «Arduino,» [En línea]. Available: <https://arduino.cl/arduino-uno/>. [Último acceso: 06 01 2023].
- [19] SOLIDBI, «SOLIDBI,» [En línea]. Available: <https://solid-bi.es/solidworks/>. [Último acceso: 06 01 2023].
- [20] Aprendiendo Arduino, «Aprendiendo Arduino,» [En línea]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/11/ide-arduino/>. [Último acceso: 06 01 2023].
- [21] Space Techies, «Space Techies,» [En línea]. Available: <https://www.spacetechies.com/que-es-app-inventor-y-para-que-sirve/>. [Último acceso: 10 01 2023].
- [22] ASTM INTERNATIONAL, *Standard Specification for Carbon Structural Steel. Designation: A36/A36M -14*, West Conshohock: ASTM INTERNATIONAL, 2014.
- [23] Instituto Nacional de seguridad e Higiene en el Trabajo, *Antropometría*.
- [24] J. I. Barbero Palacios y L. A. Ortega Bustamante, *Diseño y construcción de una silla bipedestadora para personas con movilidad restringida grado IV en las extremidades inferiores con una capacidad de carga de 100 Kg*, Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [25] P. R. Mondelo, E. G. Torada, J. Busquets y P. Bombardó, *Diseño de puestos y espacios de trabajo*, Barcelona: Alfaomega, 2000.


- [26] A. Gonzalez Polo y E. Martínez Barranco, «Semantic Scholar,» 01 05 2014. [En línea]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Silla-para-asistencia-en-la-higiene-de-personas-con-Polo-Barranco/646e9f4d0507730bf1cb0abe10409771ccf6c2e0>. [Último acceso: 10 01 2023].
- [27] J. Pérez, *Mecánica de Materiales II*.
- [28] Velasco Store, *Bateria seca 12V 5A*.
- [29] Arduino, «Arduino,» [En línea]. Available: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>. [Último acceso: 06 01 2023].
- [30] «UTP,» [En línea]. Available: [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.academia.utp.ac.pa%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fdocente%2F72%2Fclase\\_1\\_introduccion\\_a\\_los\\_mecanismos\\_y\\_a\\_la\\_cinematica.pdf&psig=AOvVaw2MVbeZEr1qePhSYHzgqiQw&ust=1674265427208000&source=images&cd=vfe&ved](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.academia.utp.ac.pa%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fdocente%2F72%2Fclase_1_introduccion_a_los_mecanismos_y_a_la_cinematica.pdf&psig=AOvVaw2MVbeZEr1qePhSYHzgqiQw&ust=1674265427208000&source=images&cd=vfe&ved). [Último acceso: 10 01 2023].

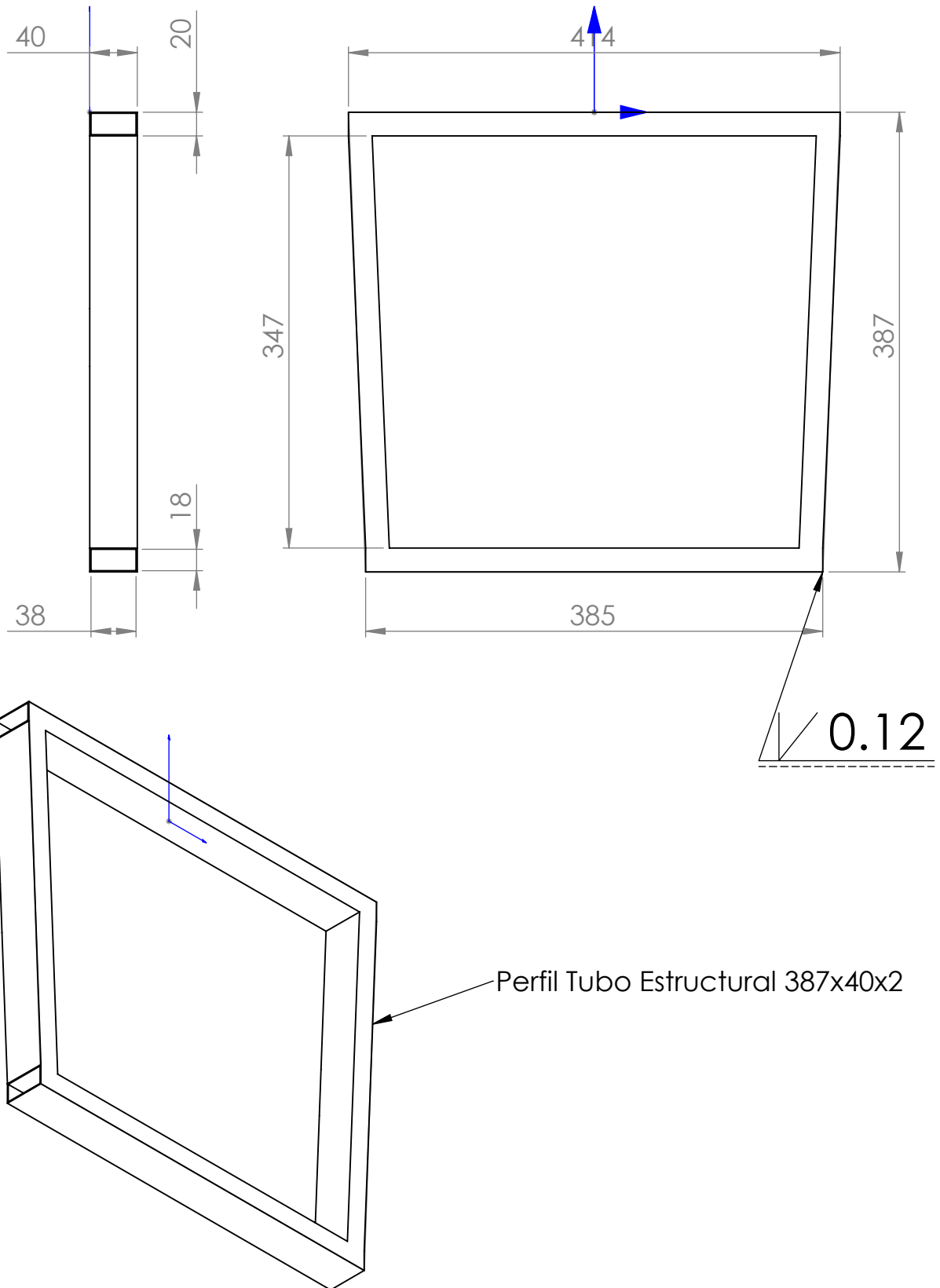


# **Anexos**




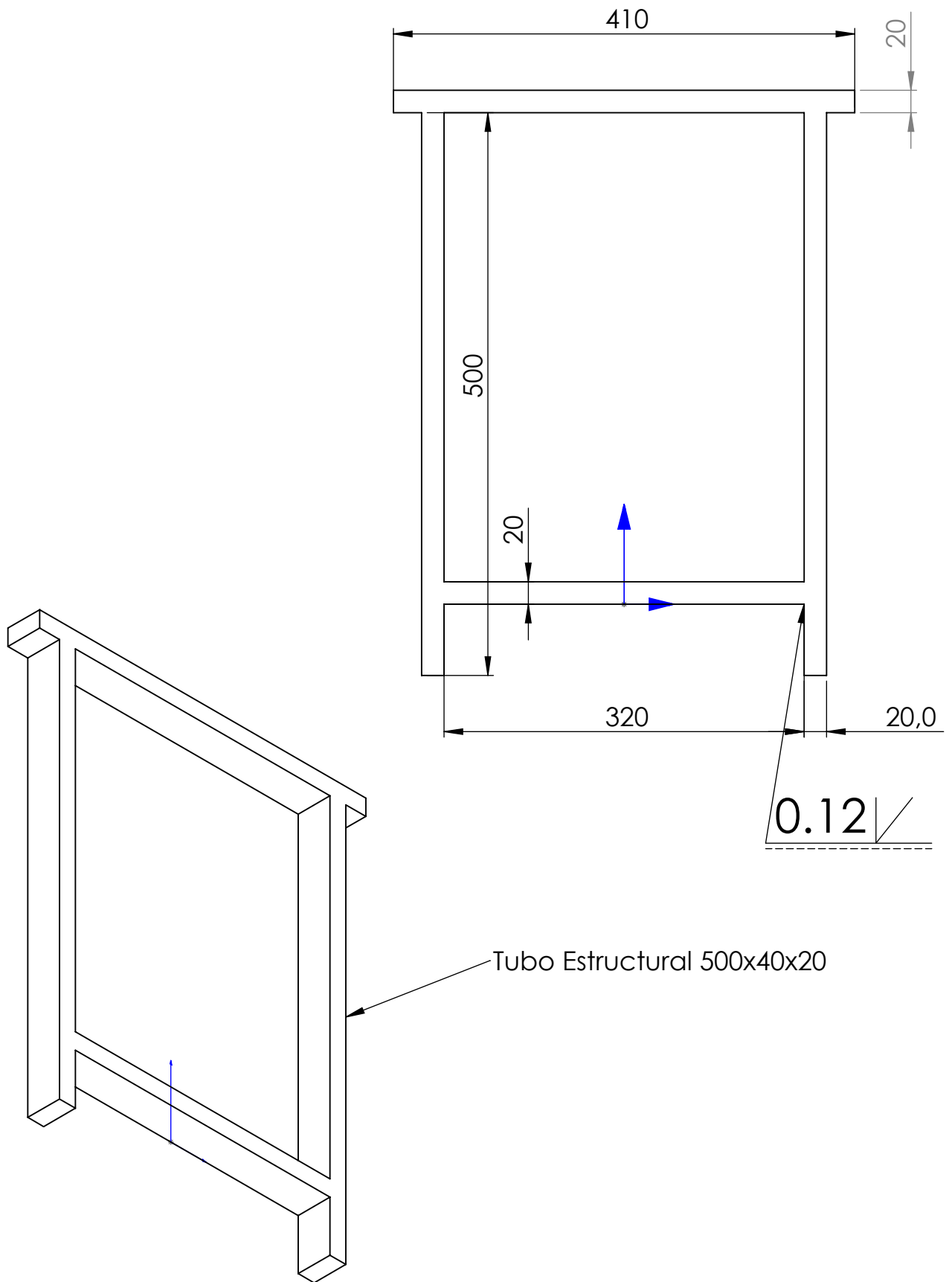
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Pieza asiento	Tubo estructural A36 41 4x387x4	1
4	Base Silla	Placas platinada 41 4x2	1
3	Enganche L	Placa platinada 72x29x3	2
4	Pieza Base	Placa platinada 450x120x9	1
5	Acople llanta	Placa platinada 334x65x9	2
6	Base actuador tubo estructural	Tubo estructural 320x249x4	2
7	Base del actuador	Placa platinada 360x314x9	1


Esponsor:	NA	Materia:	NA	Dim. brutos:	NA
Recubrimiento:	Pintura automotiz				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA				Diseño: Aguirre, Boyas Dibujo: Aguirre, Boyas Revisó: Ing. Fabio Obando. Escala: 1:10 Código:	
Plano de conjunto				2023-04-10 2023-04-10 2023-04-10 Tol. Gral.: ±0.1	

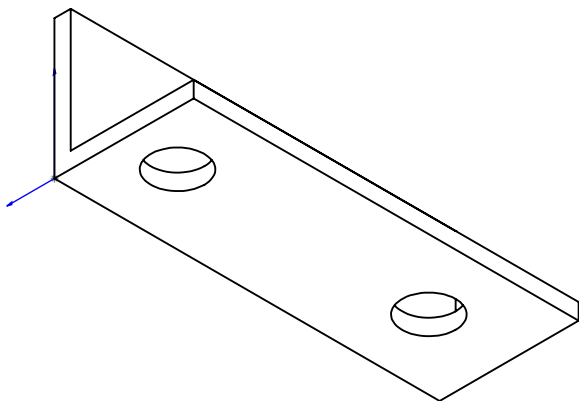
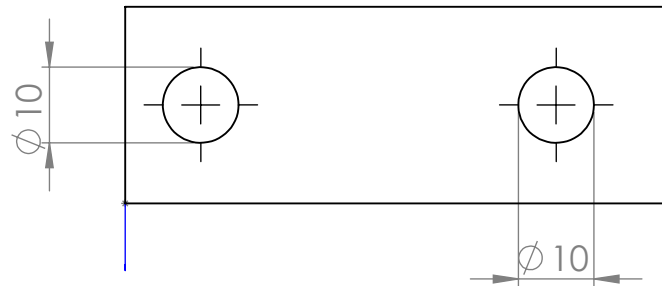
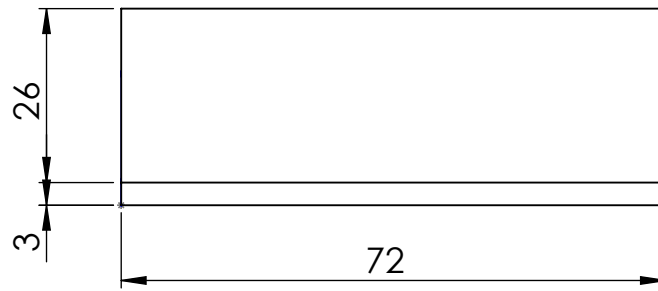



Perfil Tubo Estructural 387x40x2

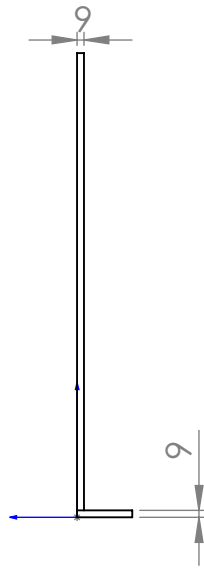
Espeor:	1 mm	Material:	A36	Dim. brutas:	NA
Recubrimiento:	Pintura automotriz				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseño:	Bayas John	2023-01-23	
		Dibujó:	Bayas John	2023-01-23	
		Revisó:	Ing. Fabio Obando	2023-01-24	
Asiento	Escala: 1:5	Código:	02.0000.00	Tol. Gral.:	± 0.1



Espeor:	1 mm	Material:	A36	Dim. brutas:	NA
Recubrimiento:	Pintura automotriz				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseño:	Bayas John	2023-01-23	
		Dibujó:	Bayas John	2023-01-23	
		Revisó:	Ing. Fabio Obando	2023-01-24	
Base silla	Escala: 1:5	Código:	02.0000.00	Tol. Gral.:	± 0.1

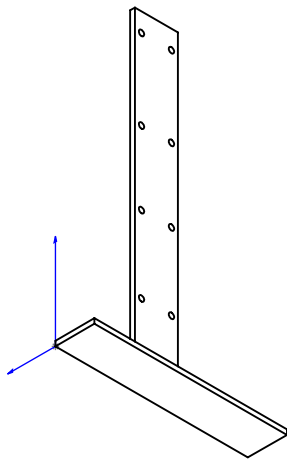
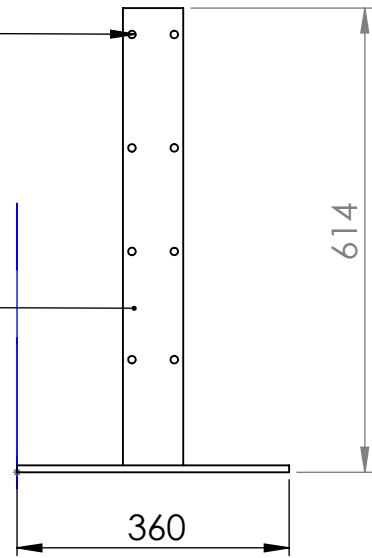



Esesor:	9 mm	Material:	A36	Dim. brutas:	NA
Recubrimiento:	Pintura automotriz				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseño:	Bayas John	2023-01-23	
		Dibujó:	Bayas John	2023-01-23	
		Revisó:	Ing. Fabio Obando	2023-01-24	
Platina Base	Escala: 1:1	Código:	02.0000.00	Tol. Gral.:	± 0.1

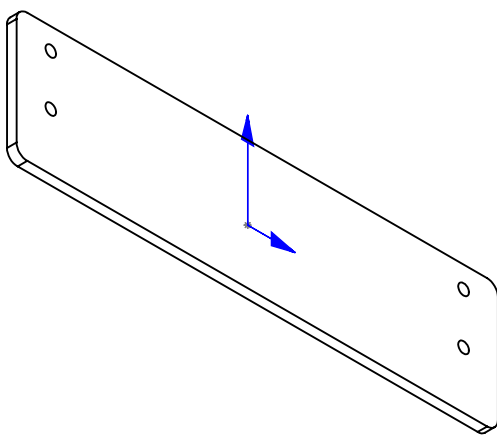
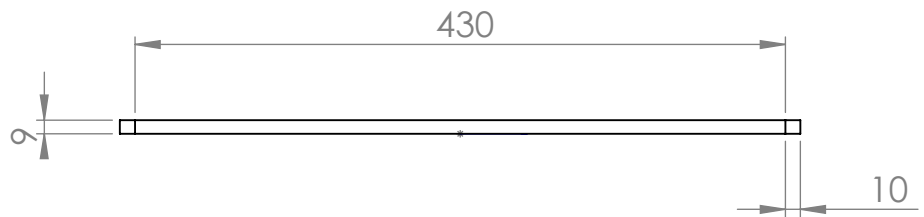
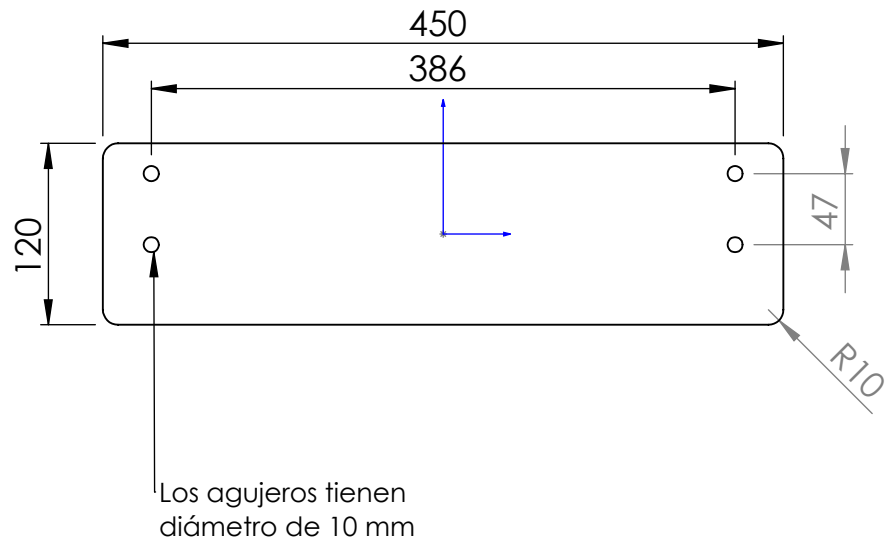



Todos los agujeros tienen el diametro de 10 mm

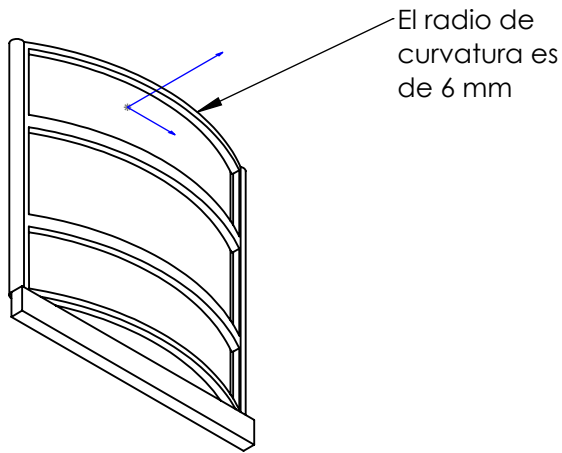
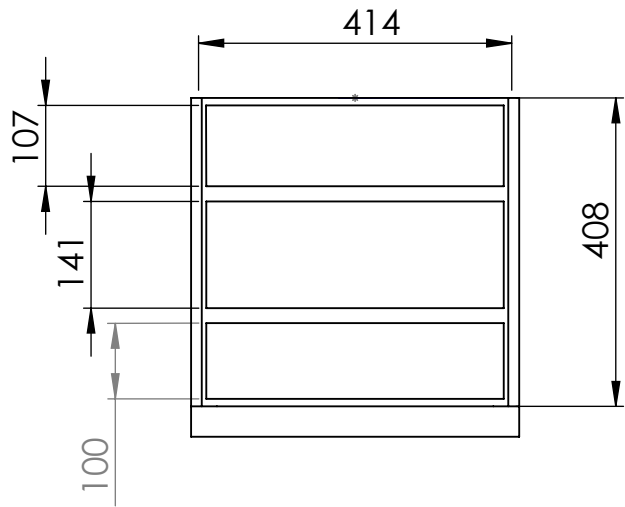
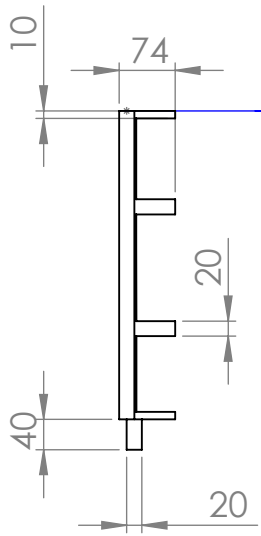
La distancia entre agujeros es de 137 mm




Esesor:	6 mm	Material:	A36	Dim. brutas:	NA
Recubrimiento:	Pintura automotriz				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseño:	Bayas John	2023-01-23	
		Dibujó:	Bayas John	2023-01-23	
		Revisó:	Ing. Fabio Obando	2023-01-24	
Base Actuador	Escala: 1:10	Código:	02.0000.00	Tol. Gral.: ± 0.1	

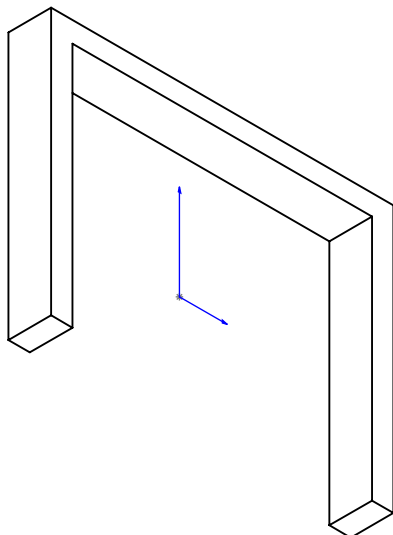
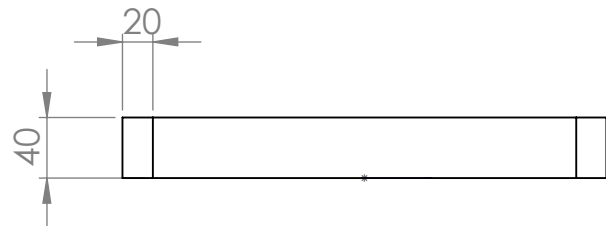
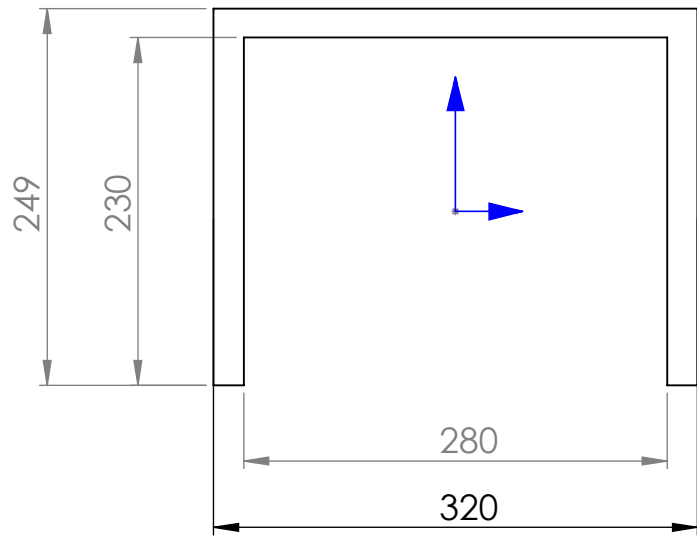



Esesor:	9 mm	Material:	A36	Dim. brutas:	NA
Recubrimiento:	Pintura automotriz				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseño:	Bayas John	2023-01-23	
		Dibujó:	Bayas John	2023-01-23	
		Revisó:	Ing. Fabio Obando	2023-01-24	
Platina Base	Escala: 1:5	Código:	02.0000.00	Tol. Gral.:	± 0.1

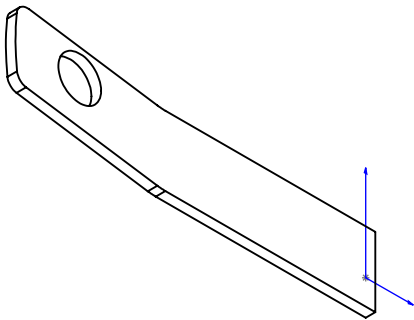
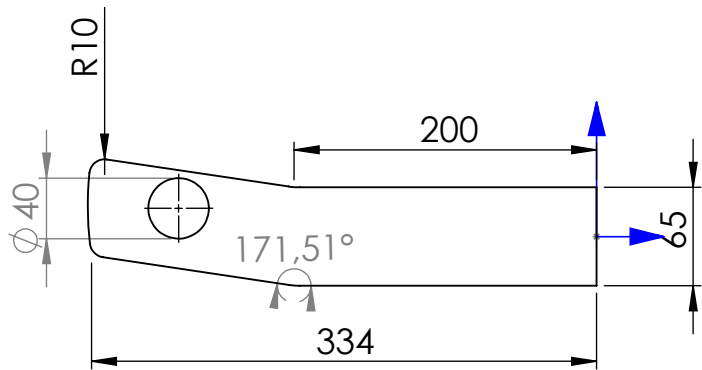



Espeor:	1 mm	Material:	A36	Dim. brutas:	NA
Recubrimiento:	Pintura automotriz				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseño:	Bayas John	2023-01-23	
		Dibujó:	Bayas John	2023-01-23	
		Revisó:	Ing. Fabio Obando	2023-01-24	
Espaldar	Escala: 1:10	Código:	02.0000.00	Tol. Gral.:	± 0.1





Espeor:	1 mm	Material:	A36	Dim. brutas:	NA
Recubrimiento:	Pintura automotriz				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseño:	Bayas John	2023-01-23	
		Dibujó:	Bayas John	2023-01-23	
		Revisó:	Ing. Fabio Obando	2023-01-24	
Base Para Actuador	Escala: 1:5	Código:	02.0000.00	Tol. Gral.:	± 0.1



Espeor:	9 mm	Material:	A36	Dim. brutas:	NA
Recubrimiento:	Pintura automotriz				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		Diseño:	Bayas John	2023-01-23	
		Dibujó:	Bayas John	2023-01-23	
		Revisó:	Ing. Fabio Obando	2023-01-24	
Soporte Neumáticos	Escala: 1:5	Código:	02.0000.00	Tol. Gral.: $\pm 0.1$	