



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E  
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL INGRESO DE PERSONAS  
CON DISCAPACIDAD DE SUS MIEMBROS INFERIORES AL  
AUTOMÓVIL**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO MECATRÓNICA**

**ZURITA ESPINOZA DIEGO ANDRES**

**DIRECTOR: ING. GUILLERMO MOSQUERA CANCHINGRE MSC.**

**Quito, septiembre, 2017**

© Universidad Tecnológica Equinoccial 2017.  
Reservados todos los derechos de reproducción

**FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**  
**PROYECTO DE TITULACIÓN**

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1726968579
APELLIDO Y NOMBRES:	Zurita Espinoza Diego Andres
DIRECCIÓN:	Colinas de Norte Sector La Planada N74-54
EMAIL:	diego_97z@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	2490954
TELÉFONO MOVIL:	0995516722

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Diseño de un sistema para el ingreso de personas con discapacidad de sus miembros inferiores al automóvil
AUTOR O AUTORES:	Zurita Espinoza Diego Andres
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	14 de septiembre del 2017
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	MOSQUERA CANCHINGRE GUILLERMO ALFREDO
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Mecatrónico
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>En el siguiente proyecto se presenta el diseño, modelado y simulación de un sistema para ayudar a las personas con discapacidad en sus extremidades inferiores a ingresar dentro de un automóvil tipo hatchback, controlado mediante una aplicación de celular, para lo que se realizó mediciones en el interior del automóvil, análisis de cargas estáticas, análisis de sistema eléctrico del automóvil, diseño de elementos mecánicos y diseño de sistema de control.</p> <p>Se realizó el diseño del sistema mecánico mediante un programa CAD para asegurar los movimientos requeridos, al mismo tiempo</p>

	<p>se diseñó una aplicación para celulares Android a manera de control del sistema, se vinculó la aplicación, la placa de control y modelo CAD en el ambiente de simulink donde se pudo verificar que el asiento gira 90 grados y se mueve horizontalmente hasta el borde de la puerta del automóvil en el tiempo planteado y que se tiene una comunicación en tiempo real entre la órdenes enviadas desde el celular y las acciones realizadas en simulación además que en todo momento el usuario tiene la opción de detener el movimiento o regresar el sistema a la posición inicial.</p>
<p><b>PALABRAS CLAVES:</b></p>	<p><b>Discapacidad, Sistema de ayuda, Celular, Modelado CAD, Simulación por computadora.</b></p>
<p><b>ABSTRACT:</b></p>	<p>The development purpose of this project includes, the design, modeling and simulation of a system capable of providing physical assistance for people with disability in their lower limbs to enter into a hatchback car model, controlled by a smartphone application. To achieve this, measurements inside the vehicle, static loads analysis, electric system analysis of the car, mechanical system design and the design of the control system were performed.</p> <p>The mechanical system was designed with a CAD software to assure the movements required, at the same time an application was designed for Android smartphones, The smartphone application, control board and CAD model were linked in the Simulink environment. It was verified that the seat rotates 90 degrees and moves horizontally to the edge of the car door in the necessary time, real time communication is indispensable between the actions in the</p>

	smartphone and the simulation giving the user the possibility of activate an emergency stop or restart the system to the initial position
<b>KEYWORDS</b>	Disability, Help system, smart phone, CAD modeling, Computer simulation

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f:  \_\_\_\_\_

ZURITA ESPINOZA DIEGO ANDRES

1726968579

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **ZURITA ESPINOSA DIEGO ANDRES**, CI 1726968579 autor/a del proyecto titulado: **diseño de un sistema para el ingreso de personas con discapacidad de sus miembros inferiores al automóvil** previo a la obtención del título de **INGENIERO MECATRÓNICO** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 14 de septiembre del 2017

f: \_\_\_\_\_

ZURITA ESPINOZA DIEGO ANDRES

1726968579

## DECLARACIÓN

Yo **DIEGO ANDRES ZURITA ESPINOZA**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

ZURITA ESPINOZA DIEGO ANDRES

C.I. 1726968579

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título "**Diseño de un sistema para el ingreso de personas con discapacidad de sus miembros inferiores al automóvil**", que, para aspirar al título de **Ingeniero Mecatrónico** fue desarrollado por **Diego Andres Zurita Espinoza**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.



Guillermo Mosquera Canchingre

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

C.I. 0802613059



## DEDICATORIA

A mis padres, por haber sido el apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida académica además de brindarme su amor y consejo en todos los aspectos de mi vida.

A mis amigos, que a lo largo de todo este tiempo me mostraron confianza y ayuda en las tareas que tuve que realizar y que sin su apoyo y ayuda abrían sido imposibles de cumplir.

A mi director de tesis Ing. Guillermo Mosquera, que con su tiempo y consejos me guio durante todo el desarrollo del proyecto.

A mi abuelita, que fue la inspiración para la realización de este proyecto y que ahora ya no se encuentra con nosotros.

A mi universidad y mis maestros, que me brindaron los conocimientos necesarios para realizar mi proyecto y alcanzar una más de mis metas.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>RESUMEN</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. DISCAPACIDAD</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2. FORMAS DE MOVILIDAD</b> .....	<b>2</b>
1.2.1. TRANSPORTE EXCLUSIVO .....	2
1.2.2. VEHICULOS MODIFICADOS.....	3
<b>2. METODOLOGÍA Y DISEÑO</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1. METODOLOGIA</b> .....	<b>9</b>
2.1.1. REQUERIMIENTOS .....	9
2.1.2. DISEÑO MECÁNICO.....	10
2.1.3. DISEÑO ELÉCTRICO.....	10
2.1.4. DISEÑO DE CONTROL.....	10
2.1.5. COMPROBACIÓN DE PROPIEDADES .....	10
<b>2.2. DISEÑO GERENERAL DEL SISTEMA</b> .....	<b>10</b>
2.2.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....	11
<b>2.3. DISEÑO MECÁNICO</b> .....	<b>12</b>
2.3.1. DISEÑO DE LA BASE .....	13
2.3.1.1. DISEÑO DE COLUMNA.....	13
2.3.1.2. DISEÑO DE PLACA METÁLICA .....	15
2.3.2. DISEÑO DE EJE DE POTENCIA .....	17
2.3.2.1. DISEÑO DE TORNILLO DE POTENCIA.....	17
2.3.2.2. DISEÑO DEL ENGRANE .....	21
2.3.3. MODELO EN CAD DEL SISTEMA MECÁNICO .....	24
<b>2.4. DISEÑO ELECTRICÓNICO</b> .....	<b>24</b>
2.4.1. SELECIÓN DE MICROCONTROLADOR .....	25
2.4.2. SELECCIÓN DE COMUCION INALÁMBRICA .....	25
2.4.3. ELECCIÓN DEL MOTOR .....	26
2.4.4. CIRCUITO RECEPTOR.....	28
<b>2.5. DISEÑO DEL CONTROL DEL SISTEMA</b> .....	<b>29</b>
2.5.1. LÓGICA DE CONTROL .....	29
2.5.2. FLUJOGRAMA DE CONTROL.....	29

<b>3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1. COSTO DEL SISTEMA.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2. SIMULACIÓN.....</b>	<b>29</b>
3.2.1. SIMULACIÓN EN MATLAB .....	29
3.2.2. APLICACIÓN DE CELULAR.....	30
<b>3.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA SIMULACIÓN.....</b>	<b>31</b>
3.3.1. CIRCUITO DE CONEXIÓN .....	31
<b>3.4. DIAGRAMA DE CONEXIÓN.....</b>	<b>32</b>
<b>3.5. ANALISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>35</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>36</b>

# INDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
<b>Figura 1.</b> Ejemplos transporte público .....	3
<b>Figura 2.</b> Gráfico de las medidas a considerar .....	3
<b>Figura 3.</b> Modelo rampa ABS .....	4
<b>Figura 4.</b> Modelo rampa RAS-W.....	5
<b>Figura 5.</b> Modelo rampa RLK.....	6
<b>Figura 6.</b> Modelo rampa RRD.....	6
<b>Figura 7.</b> Modelo de elevador hidráulico para silla de ruedas.....	7
<b>Figura 8.</b> Auto para silla de ruedas “Kenguru” .....	8
<b>Figura 9.</b> Modelo en V .....	9
<b>Figura 10.</b> Control de lazo cerrado .....	11
<b>Figura 11.</b> Representación del sistema .....	11
<b>Figura 12.</b> Vista explosionada del sistema mecánico .....	12
<b>Figura 13.</b> Diagrama de cargas sobre la columna .....	13
<b>Figura 14.</b> Diseño de columna.....	14
<b>Figura 15.</b> Factor de seguridad de la columna .....	15
<b>Figura 16.</b> Diagrama de carga sobre la placa metálica.....	15
<b>Figura 17.</b> Diseño de placa metálica.....	16
<b>Figura 18.</b> Factor de seguridad de la base .....	17
<b>Figura 19.</b> Diagrama de cargas sobre el eje.....	17
<b>Figura 20.</b> Análisis de fuerzas sobre un tornillo .....	19
<b>Figura 21.</b> Modelo de tornillo de potencia.....	19
<b>Figura 22.</b> Factor de seguridad del eje de transmisión.....	20
<b>Figura 23.</b> Modelo de engrane.....	23
<b>Figura 24.</b> Vista isométrica del sistema mecánico.....	24
<b>Figura 25.</b> Vista inferior del sistema mecánico .....	24
<b>Figura 26.</b> Arduino MEGA 2560.....	25
<b>Figura 27.</b> Modulo bluetooth HC-06.....	26
<b>Figura 28.</b> Sistema eléctrico automóvil .....	26
<b>Figura 29.</b> Circuito receptor .....	28
<b>Figura 30.</b> Esquema de simulación SimuLink.....	29
<b>Figura 31.</b> Movimientos del asiento en la simulación.....	30
<b>Figura 32.</b> Captura de pantalla de aplicación .....	31
<b>Figura 33.</b> Circuito de conexión para la simulación .....	31

## INDICE DE TABLAS

	PÁGINA
<b>Tabla 1.</b> Catálogo de perfilera IPAC.....	14
<b>Tabla 2.</b> Catalogo de placa metálica.....	16
<b>Tabla 3.</b> Diámetros preferidos para rocas ACME.....	17
<b>Tabla 4.</b> Valores de paso diametral y número .....	21
<b>Tabla 5.</b> Modulos normalizados .....	22
<b>Tabla 6.</b> Características del engrane .....	23
<b>Tabla 7.</b> Comparativa entre modelos de arduino .....	25
<b>Tabla 8.</b> Elementos sistema eléctrico automóvil .....	26
<b>Tabla 9.</b> Costo del sistema.....	28

# INDICE DE ANEXOS

PÁGINA

Anexo 1. Planos de sistema mecánico .....	37
---	----

## RESUMEN

En el siguiente proyecto se presenta el diseño, modelado y simulación de un sistema para ayudar a las personas con discapacidad en sus extremidades inferiores a ingresar dentro de un automóvil tipo hatchback, controlado mediante una aplicación de celular, para lo que se realizó mediciones en el interior del automóvil, análisis de cargas estáticas, análisis de sistema eléctrico del automóvil, diseño de elementos mecánicos y diseño de sistema de control.

Se realizó el diseño del sistema mecánico mediante un programa CAD para asegurar los movimientos requeridos, al mismo tiempo se diseñó una aplicación para celulares Android a manera de control del sistema, se vinculó la aplicación, la placa de control y modelo CAD en el ambiente de simulink donde se pudo verificar que el asiento gira 90 grados y se mueve horizontalmente hasta el borde de la puerta del automóvil en el tiempo planteado y que se tiene una comunicación en tiempo real entre las instrucciones enviadas desde el celular y las acciones realizadas en simulación además que en todo momento el usuario tiene la opción de detener el movimiento o regresar el sistema a la posición inicial.

## **ABSTRACT**

The development purpose of this project includes, the design, modeling and simulation of a system capable of providing physical assistance for people with disability in their lower limbs to enter into a hatchback car model, controlled by a smartphone application. To achieve this, measurements inside the vehicle, static loads analysis, electric system analysis of the car, mechanical system design and the design of the control system were performed.

The mechanical system was designed with a CAD software to assure the movements required, at the same time an application was designed for Android smartphones, the smartphone application, control board and CAD model were linked in the Simulink environment. It was verified that the seat rotates 90 degrees and moves horizontally to the edge of the car door in the necessary time, real time communication is indispensable between the actions in the smartphone and the simulation giving the user the possibility of activate an emergency stop or restart the system to the initial position



## **1. INTRODUCCIÓN**

Las personas que sufren de discapacidades llevan una vida con una serie de restricciones que de una u otra manera se tratan de disminuir por medio de distintos métodos, ya sea modificaciones en el hogar, dispositivos que ayuden en las tareas diarias o en el caso de una discapacidad severa la atención de enfermeras por un periodo de tiempo establecido.

En el caso de los dispositivos de ayuda se puede encontrar una gran variedad de opciones dependiendo de la discapacidad y el ámbito en el que se desarrolle la persona.

Según estadísticas del consejo nacional para la igualdad de discapacidades (CONADIS) en el Ecuador existen 199.284 personas con discapacidad física de las cuales el 50% tienen un grado de discapacidad moderada o superior, con la mayor concentración de estas repartidas entre las principales ciudades de país.

Además, el 52,77% de las personas con discapacidad física se encuentran entre los 30 a 65 años de edad, personas para las que estará diseñado el sistema. (CONADIS, 2017)

En Ecuador, las personas con discapacidades en sus miembros inferiores a menudo tienen muchos conflictos al momento de querer ingresar a un automóvil, estas dificultades por lo general se deben al hecho de que su discapacidad limita su movimiento, el automóvil no está adaptado para el ingreso de personas discapacitadas y no se dispone de apoyos adecuados o puntos de sujeción.

Además, se debe hacer notar el hecho de que los movimientos de los asientos son limitados y en el caso del asiento del conductor el espacio se ve aún más reducido por la disposición del volante, lo que sumado al límite de apertura que tienen las puertas, dan como resultado un gran reto para que las personas con discapacidad en sus miembros inferiores puedan ingresar o salir de un automóvil.

En la actualidad se puede observar que muchas personas con discapacidad en sus miembros inferiores se ven forzadas a realizar esfuerzos físicos que en muchos casos están fuera de sus posibilidades, por ende deben recibir ayuda ya sea de sus familiares, o de terceras personas lo que en muchos casos representa un problema debido que no siempre se podrá contar con dicha ayuda.

El sistema que se propone ayudará a que las personas que tienen estos inconvenientes al momento de ingresar al automóvil puedan superar las dificultades anteriormente expuestas y así mejorar su nivel de vida.

Sistemas similares a este tema se pueden encontrar en distintos países norteamericanos y europeos, como son servicios de transporte para personas con discapacidades , vehículos que han sido especialmente modificados para cumplir con esta función o vehículos diseñados específicamente para ser conducidos por personas en sillas de ruedas, pero que en el país son prácticamente inexistentes, así se plantea una solución práctica y aplicable a vehículos de gama media y baja que son los más comunes en el país.

## **1.1. DISCAPACIDAD**

“La discapacidad es la objetivación de la deficiencia en el sujeto y con una repercusión directa en su capacidad de realizar actividades en los términos considerados normales para cualquier sujeto de sus características (edad, género,...).” (Egea García & Sánchez Sarabia, 2001)

## **1.2. FORMAS DE MOVILIDAD**

A la hora de hablar sobre las formas con las que cuentan las personas con discapacidad para movilizarse se debe hacer notar que en países desarrollados las opciones con las que estas personas cuentan son mucho más variadas de las que se tienen en América Latina, a continuación, se hablara brevemente de dichas formas.

### **1.2.1. TRANSPORTE EXCLUSIVO**

Un servicio de transporte publico exclusivo para mujeres, niños personas de la tercera edad y personas discapacitadas el cual pasa por una serie de puntos a lo largo de la ciudad y cuyas unidades fueron especialmente adaptadas para la utilización de este grupo de personas en específico, como en el ejemplo de la Figura 1.





**Figura 1.** Ejemplos transporte público  
(San Diego Red, 2017)

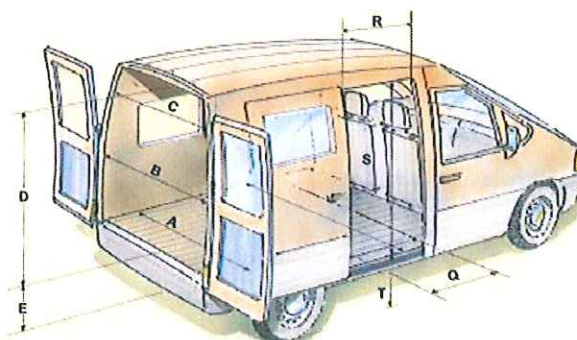
Esto con el fin de garantizar un trato justo a las personas que suelen sufrir de abusos en el día a día a la hora de usar el transporte público y que de una forma práctica mejora el nivel de vida de las personas que hacen uso de este transporte.

## 1.2.2. VEHICULOS MODIFICADOS

En el ámbito del transporte privado se puede encontrar una serie de opciones las cuales en su mayoría resultan siendo útiles para el fin de ayudar a las personas a entrar en los vehículos así pues se mencionará las más usuales de encontrar en el mercado, tomando en cuenta que la gran mayoría están dirigidas a vehículos de tipo VAN los cuales no están al alcance de todas las personas.

### 1.2.2.1. RAMPAS PARA SILLAS DE RUEDAS

Las rampas para sillas de ruedas son una de las soluciones más sencillas de implementar debido a que están pensadas de tal forma en que una estructura metálica removible o fija se coloque en el marco de las puertas haciendo de esta forma posible el ingreso de las personas con sillas de ruedas a los vehículos de tipo van como se muestra en Figura 2.



**Figura 2.** Gráfico de las medidas a considerar  
(WAKU, 2005)

Un aspecto que se debe considerar al momento de elegir esta opción son las dimensiones con las que cuenta el vehículo en el que se las va a utilizar debido a que existen una variedad de modelos y formas de estas rampas.

## Rampas tipo ABS

Las rampas tipo ABS son una alternativa para aquellas personas que cuenten con una gran cantidad de espacio para transportar no solo a la persona en silla de ruedas sino también para llevar las rampas debido a que estas están diseñadas para ser una estructura rígida removible que se apoya en el marco de las puertas, estas cuentan con una superficie antideslizante en su carril interior y unos bordes implementados de tal forma que evite que la silla de ruedas se descarrile y así evitar accidentes, la ventaja de este tipo de rampas es que se adapta a silla de ruedas con diferentes medidas de ejes, en la Figura 3 se muestran los planos de este tipo de rampa.

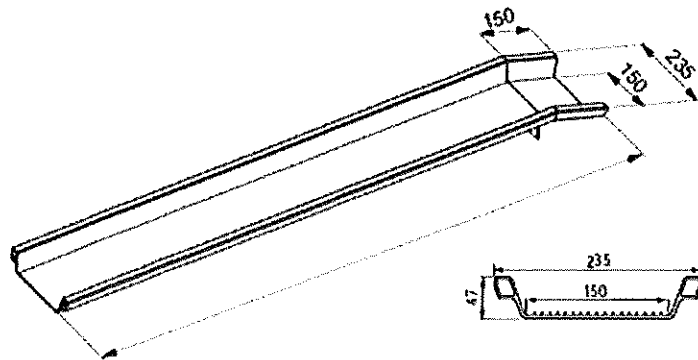


Figura 3. Modelo rampa ABS  
(WAKU, 2005)

A lo anteriormente mostrado se debe hacer notar que existe modelos de rampas tipo ABS los cuales son portátiles debido a que cuentan con bisagras las cuales reducen el tamaño total a guardar así los modelos de rampa tipo ABS-F (1 bisagra) y ABS-Z (2 bisagras) están pensados para los vehículos con poco lugar de almacenamiento reducido, en todos los casos las rampas están fabricadas de un único perfil de extrusión con un acabado en su interior para hacerlo antideslizante.

## Rampas tipo RAS

Las rampas tipo RAS están fabricadas de forma muy parecida a las rampas tipo ABS, poseen una estructura metálica rígida removible apoyada en el perfil de las puertas, con la diferencia de que en su interior de su carril se encuentra revestido con una capa arenosa antideslizante y al igual que las mencionadas anteriormente, el modelo F cuenta con una bisagra que ayuda a su portabilidad y almacenamiento.

Dentro de rampas tipo RAS se debe hacer notar el modelo W el cual ya no es removible, en lugar de eso las rampas se deslizan lateralmente por medio de unos rodamientos a través de un eje que se encuentra instalado en el interior del vehículo; adicional a esto, se cuenta con una bisagra para reducir el espacio de las rampas cuando se las desea guardar, al momento de

transportarlas las rampas se colocan en posición vertical y se las asegura por medio de sogas de sujeción como se muestra en la Figura 4.

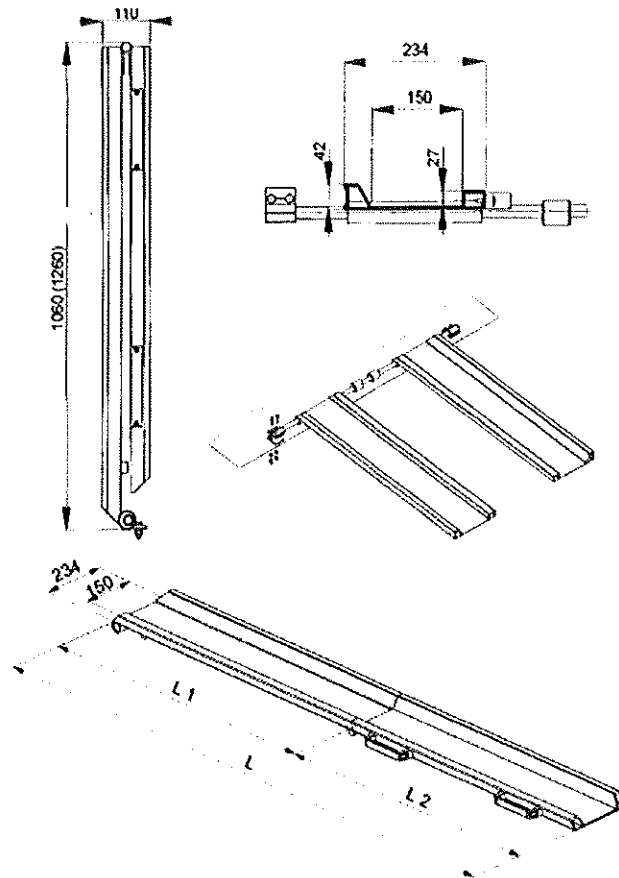


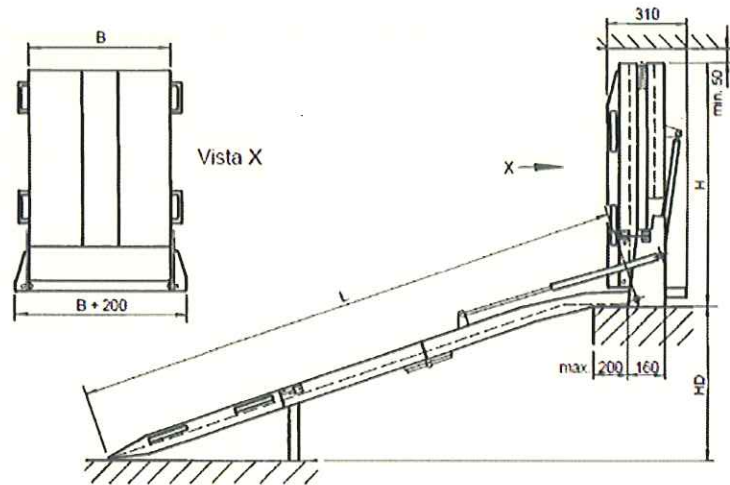
Figura 4. Modelo rampa RAS-W  
(WAKU, 2005)

### Rampas tipo RLK

Las rampas de tipo RLK a diferencia de las anteriormente vistas presentan un ancho mucho mayor, en los otros modelos se colocaban 2 rampas para el ingreso de la silla de ruedas mientras que este modelo se presenta una sola rampa la cual está sujeta a una base en donde también se encuentran apoyados dos amortiguadores a gas los cuales prestan ayuda a la hora de desplegar o recoger la rampa que debido a su tamaño también supone un aumento significativo en el peso.

Otro punto a señalar es que nuevamente el tamaño de la rampa la hace propensa al acumulamiento de polvo y agua que de no limpiarse provocaría accidentes, para esto la rampa cuenta con una serie de orificios los cuales facilitan la remoción de estas sustancias, adicionalmente se cuenta con una bisagra (2 bisagras en el modelo Z) que sirve para doblar la rampa y que así puede volver a entrar en el vehículo.

Finalmente, en el momento en el que el vehículo se encuentre en movimiento se cuenta con que la rampa permanecerá en posición vertical por medio de un sistema de seguros para evitar daños en el vehículo, en la Figura 5 se muestran las posiciones.



**Figura 5.** Modelo rampa RLK  
(WAKU, 2005)

Una variación de las rampas tipo RLK, se las denomina RRD, las cuales además de las características ya mencionadas presentan una base giratoria hacia adentro del vehículo para así en caso de no necesitarla colocarla en posición vertical hacia un costado ajustado por medio de un seguro, obteniendo de esta forma el espacio que antes ocupaba la rampa, así como se muestra en la Figura 6.



**Figura 6.** Modelo rampa RRD  
(WAKU, 2005)

### **Elevadores para sillas de ruedas**

Los elevadores para sillas de ruedas presentan una opción más compleja para el ingreso de las sillas de rueda, debido a que se requiere una gran cantidad de espacio que solo los automóviles tipo minibús pueden ofrecer cosa que no está al alcance de todas las personas.

El sistema implementa una rampa tipo RLK la cual se despliega por medio de pistones hidráulicos a una altura determinada, posterior a esto un brazo hidráulico hace descender a la plataforma al nivel suelo para que la silla de ruedas pueda subir, en este punto se cuenta con un par de puntos de agarre para que la persona pueda sostenerse además del seguro con el que se cuenta para evitar que la silla de ruedas resbale de la rampa. Cuando la persona esté segura el sistema eleva la rampa a la altura inicial y de esta forma la persona en silla de ruedas puede ingresar en el vehículo, todo esto controlador por medio de un control el cual se encuentra a un costado de la rampa.

Estos elevadores se pueden instalar tanto en la puerta lateral como trasera del minibus, y deben contar con un tanque de almacenamiento para el líquido hidráulico lo que supone aún más espacio necesario, en la Figura 7 se muestra las posiciones alcanzadas por el elevador.

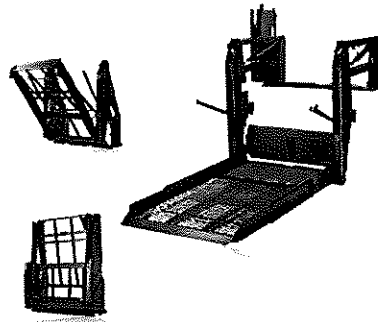


Figura 7. Modelo de elevador hidráulico para silla de ruedas  
(Autoadapt, 2014)

### **Autos para sillas de ruedas**

En la industria de los automóviles se ha manejado una tendencia hacia lo que es la ayuda a las personas en sillas de ruedas las cuales se dirijan a facilitar la conducción de las mismas el resultado más evidente de esto son los automóviles en los cuales las personas en sillas de ruedas pueden ingresar desde la puerta trasera en donde se colocan un par de rampas tipo ABS y dirigirse a un volante especialmente colocado para así poder dirigir su vehículo, cabe mencionar que estos vehículos son para uso de una única persona, en la Figura 8 se muestra un ejemplo de estos autos.





**Figura 8.** Auto para silla de ruedas “Kenguru”  
(Ortega Camila, 2014)

Cabe hacer notar que las personas que opten por este tipo de vehículos deberán cumplir con las normas y leyes impuestas por el organismo regulador que en el Ecuador es el Consejo Nacional para la igualdad de Discapacidades el cual plantea en las Normas Jurídicas en Discapacidad. (CONADIS, 2014)

En base al análisis del estado del arte se plantea el siguiente objetivo general para el proyecto:

- Diseñar un sistema para ayudar a las personas con discapacidad de sus miembros inferiores a ingresar a un automóvil.

Para cumplir con el objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Determinar los parámetros de diseño del sistema.
- Realizar el diseño Mecatrónico que cumpla con las restricciones geométricas y los parámetros de diseño.
- Integrar y validar el prototipo virtual.

## **2. METODOLOGÍA Y DISEÑO**

## 2.1. METODOLOGIA

Para el desarrollo de este capítulo se implementará la metodología del "Modelo en V" para el desarrollo de sistemas Mecatrónicos, como se muestra en la Figura 9.

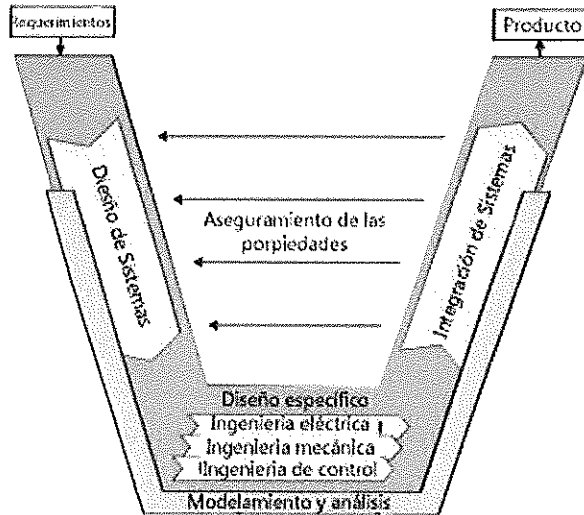


Figura 9. Modelo en V  
(VDI, 2004)

En este modelo se establece primero los requerimientos que deberá satisfacer el sistema como son el tiempo de movimiento horizontal, la carga que soportara y la forma de alimentación, los cuales serán la base sobre lo que se procederá en el diseño del sistema, la cual deberá dar una idea general sobre las características físicas y las condiciones de operación en las que el sistema trabajara, dentro del diseño específico se detallara de forma más concreta la funcionalidad, sistemas eléctricos, sistemas mecánicos, modelos CAD y ambientes de simulación, todos estos subsistemas se los someterá a una evaluación continua tanto de funcionalidad como se comunicación para comprobar que interactúen entre sí de forma adecuada y cumpliendo con los requerimientos planteados.

Posterior a esto se tendrá la etapa de integración en donde se integran todos los sub-sistemas en un modelo preliminar en el cual se asegurará que todas las funciones cumplan con los requerimientos planteados al principio y se corrigen ciertos errores que se podrían presentar para así obtener el producto terminado el cual en su desarrollo cumplirá con cada parte de la metodología.

### 2.1.1. REQUERIMIENTOS

- Sistema de ayuda para el ingreso de personas en el automóvil
- El Sistema deberá ocupar las dimensiones del asiento del copiloto de un automóvil

- El sistema deberá soportar una persona de hasta 100 Kg
- El recorrido del asiento no deberá tardar más de 30 segundos
- La alimentación del sistema deberá ser proporcionada por el sistema eléctrico del automóvil
- El sistema deberá ser controlado mediante una aplicación de celular

### **2.1.2. DISEÑO MECÁNICO**

- Diseñar el modelo en una herramienta CAD
- Realizar el análisis de cargas
- Realizar los cálculos de columnas y tornillo de potencia
- Seleccionar del motor

### **2.1.3. DISEÑO ELÉCTRICO**

El sistema eléctrico del sistema deberá tomar en cuenta las limitaciones de alimentación que tiene el sistema eléctrico del vehículo con lo que se plantean los siguientes puntos:

- Analizar el sistema eléctrico del vehículo a fin de encontrar la mejor opción de alimentación
- El consumo de corriente no debe ser superior al provisto por el sistema eléctrico del automóvil

### **2.1.4. DISEÑO DE CONTROL**

- Diseñar aplicación para celular.
- Diseñar el enlace entre la aplicación móvil, la tarjeta de control del sistema y la simulación que se ejecutara en el ambiente de Simulink.

### **2.1.5. COMPROBACIÓN DE PROPIEDADES**

La forma en la que se validará el sistema es en un ambiente virtual en que se comprobará:

- Comunicación entre los sistemas eléctrico y de control
- Desplazamiento del asiento y giro sobre el eje.
- Tiempo para la realización de los movimientos
- Tiempo de respuesta.

## **2.2. DISEÑO GERENERAL DEL SISTEMA**

El sistema se manejará con el tipo de control de lazo cerrado teniendo en cuenta que se tiene restricciones de movimiento las cuales no se pueden pasar por alto y estarán monitoreadas por sensores, la Figura10 muestra cómo se plantea el sistema.

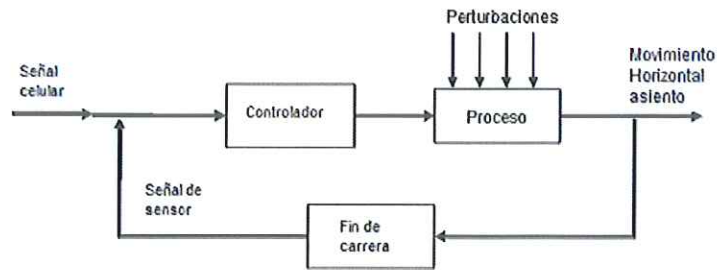


Figura 10. Control de lazo cerrado

De esta manera se tendrá un seguro de que el sistema no vaya más allá de las limitaciones de espacio que se tiende dentro del vehículo y se evitaren posibles daños mecánicos que se presentarían si no se cuenta con el fin de carrera asignado.

### 2.2.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En la Figura 11 se muestra la representación del sistema y los elementos que lo conformaran.

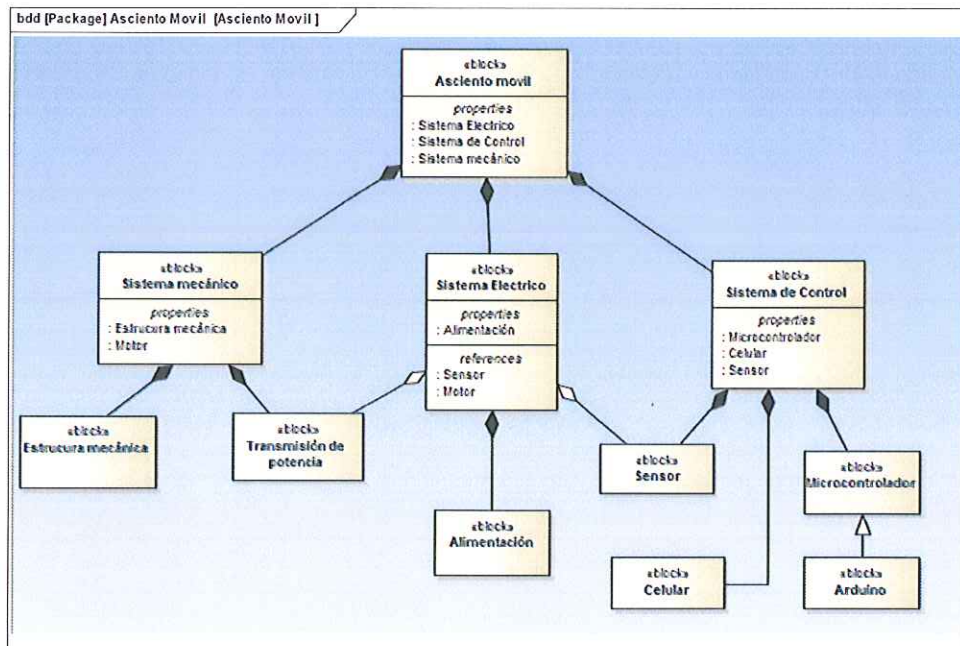


Figura 11. Representación del sistema

**Estructura:** La base soportará todo el peso del sistema y a la persona que lo use, este dato es el que se usará para la elección del material y para determinar la forma que tendrá las columnas que soportarán dicho peso.

**Transmisión de potencia:** El diseño mecánico tendrá como prioridad enfocarse en la suavidad del movimiento debido a que no se puede tener giros bruscos ni efectos de látigo al momento de estar en funcionamiento.

Sensores: Los sensores utilizados serán fines de carrera ubicados en los extremos del movimiento lineal del asiento con lo que se evitaría choques entre la base y sus partes móviles.

Controlador: El microcontrolador se encargará de recibir las señales tanto del celular como la de los sensores y enviar las señales de control al motor.

Alimentación: El mayor consumo eléctrico que presentara el sistema será el del motor con lo que se seleccionara una salida apropiada del sistema eléctrico del vehículo tomando en cuenta las cargas que deberá mover el motor.

En la Figura 11 se muestra la representación del sistema y los elementos que lo conformaran.

### 2.3. DISEÑO MECÁNICO

A continuación, se procederá con el diseño del sistema mecánico el cual se presenta en la Figura 12 como una muestra de la forma final en la que se dispondrán los elementos diseñados como son las columnas, engrane, placas metálicas y rodamientos tipo lazy susan.

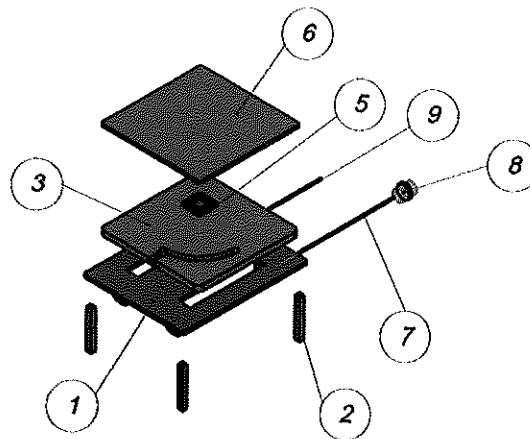


Figura 12. Vista explosionada del sistema mecánico

N°	Nombre	Cantidad
1	Base Fija	1
2	Columna	4
3	Base móvil	1
5	Rodamiento Lazy Susan	1
6	Asiento	1
7	Tornillo de poder	1
8	Engrane	1
9	Tornillo de soporte	1

### 2.3.1. DISEÑO DE LA BASE

Para el diseño de la base se tendrán en cuenta las dimensiones del interior del vehículo y recorrido total del asiento por lo que se tomarán medidas para poder proceder con el diseño tanto de las columnas como de la placa metálica

#### 2.3.1.1. DISEÑO DE COLUMNA

En el cálculo de las columnas que soportarán a todo el sistema se tomarán en cuenta los datos que podemos obtener del espacio en el interior del vehículo, forma en la que se colocará dicha columna y material del que estará hecha, esto último se dará a conocer por los catálogos que se pueden encontrar en el país, en la Figura 13 se muestran las cargas sobre la columna.

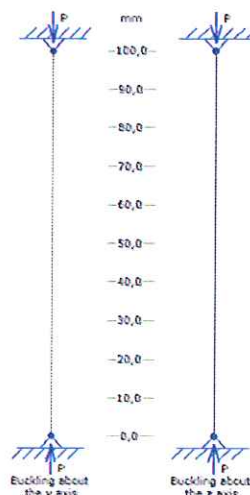


Figura 13. Diagrama de cargas sobre la columna

Datos:

$K=0,65$	Empotrada- empotrada
$L= 10 \text{ cm}$	Longitud de la columna por toma de medidas
$N= 3$	Factor de seguridad
$E= 207 \text{ GPa}$	Módulo de Young de acero ASTM A36
$S_y = 345 \text{ MPa}$	Resistencia a la fluencia de acero ASTM A36
$P_d = 245 \text{ N}$	Carga sobre la columna

**Carga crítica**

$$P_{crit1} = N * P_d \quad [1]$$

$$P_{crit1} = 735 \text{ N}$$

Trabajando como columna corta se seleccionará un tubo de sección cuadrada del catálogo de la empresa IPAC, el cual se muestra en la siguiente tabla

Tabla 1. Catálogo de perfilería IPAC

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estadísticas		
				Eje X-X = Y-Y		
				Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm <sup>2</sup>	Kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm
20	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,74

(IPAC, 2017)

Se elige la primera opción y se procede con los cálculos

$$P_{crit2} = A * S_y * \left[ 1 - \frac{S_y * \left( \frac{K * L}{r_{min}} \right)^2}{4 * \pi^2 * E} \right] \quad [2]$$

$$P_{crit2} = 36197,007 \text{ N}$$

$$P_{crit2} \geq P_{crit1} \text{ (Cumple con la condición de columna corta)}$$

Para este caso se nota que la diferencia entre cargas es notable debido a la longitud de la columna, su material y a que las dimensiones tomadas del catálogo son las más pequeñas disponibles, con estos se tendrá el modelo de columna que se muestra en la Figura 14.

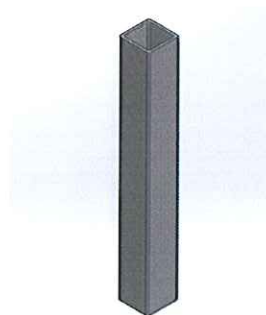


Figura 14. Diseño de columna

En la Figura 15 se muestra el resultado del análisis estático de las columnas en donde se hace notar que el esfuerzo máximo aplicado es de 3,3 MPa y



esta se verá en la base de la columna, la deformación máxima que sufrirá la columna será de  $1,65 \times 10^{-3}$  mm y el factor de diseño es de 74.

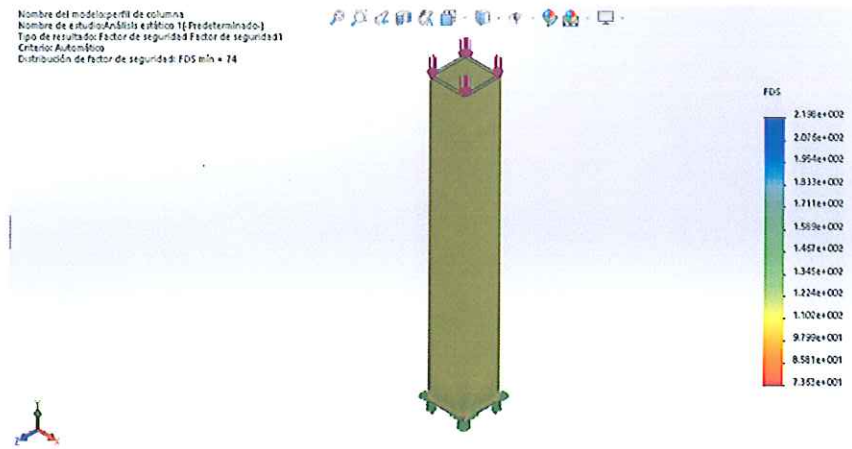


Figura 15. Factor de seguridad de la columna

### 2.3.1.2. DISEÑO DE PLACA METÁLICA

La placa de la base estará sometida a una fuerza cortante entre el peso de la persona y la fuerza de reacción que brindaran las columnas con lo que se seleccionará el espesor de dicha placa del catálogo de la empresa Dipac.



Figura 16. Diagrama de carga sobre la placa metálica

Se calcula el área de corte en términos de fuerza y esfuerzo cortante

$$F = 980 \text{ N}$$

Fuerza sobre la placa

$$\tau_d = 200 \text{ MPa}$$

Resistencia al corte acero A36

$$A_s = \frac{F}{\tau_d} \quad [3]$$

$$A_s = 4,9 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A_s = 4,9 \text{ mm}^2$$

Una vez calculada el área de corte se puede calcular el espesor necesario para la placa tomando en cuenta el perímetro de las perforaciones que se

realizaran que para este caso se trataran de dos rectángulos de 5 x 10 cm como se muestra en la Figura 17.

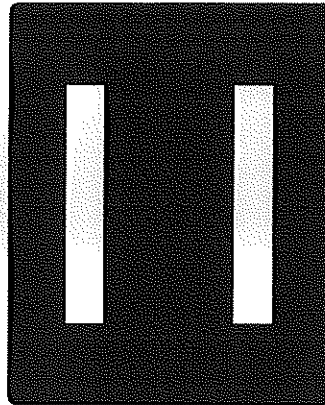


Figura 17. Diseño de placa metálica

$$e = \frac{A_s}{p} \quad [4]$$

$$e = 0,0035 \text{ mm}$$

Por catálogo de la empresa DIPAC se tendrá las siguientes posibilidades de espesor

Tabla 2 Catalogo de placa metálica

Espesores	Ancho de rollos	Planchas
mm	mm	Pies
1,2 a 150	1000	4 x 8
	1220	
	1500	A medida

(DIPAC, 2017)

Por cuestiones de diseño se selecciona el espesor de 10 mm

En la Figura 18 se muestra el resultado del análisis estático sobre la base del sistema mecánico en donde se aprecia que el mayor esfuerzo será de 0,7 Mpa y se dará en el área de los soportes, la mayor deformación se da en la mitad de la placa metálica y será de  $2,03 \times 10^{-5}$  mm y el factor de seguridad es de 3,5

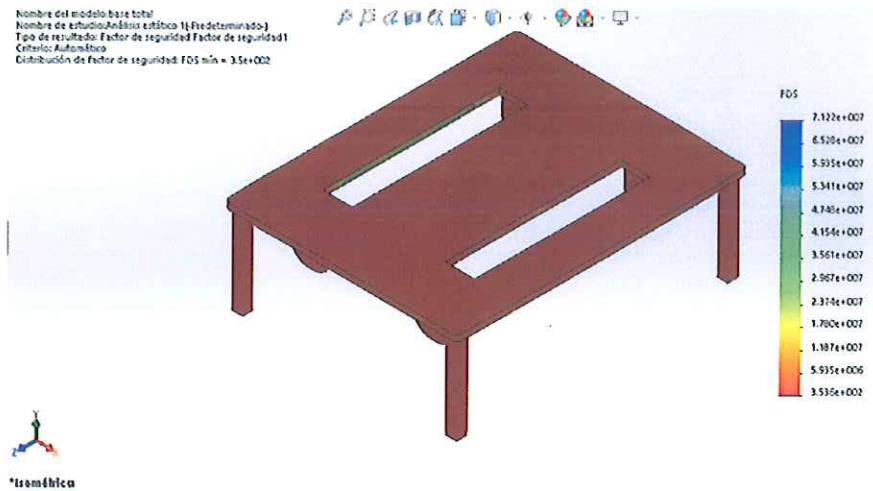


Figura 18. Factor de seguridad de la base

## 2.3.2. DISEÑO DE EJE DE POTENCIA

### 2.3.2.1. DISEÑO DE TORNILLO DE POTENCIA

“El tornillo de potencia se diseña para convertir movimiento rotatorio en movimiento lineal y para ejercer la fuerza necesaria para mover un elemento de maquinaria a lo largo de una trayectoria deseada” (Robert L. Mott, 2002)

En base al concepto mostrado se diseñará el tornillo de potencia con los datos de peso que soportará el sistema y tablas para la elección de dimensiones.

Tabla 3. Diámetros preferidos para rocas ACME

Diámetro mayor nominal, D (pulg)	Roscas por pulg, n	Paso, P= 1/n (pulg)	Diámetro menor mínimo, Df (pulg)	Diámetro mínimo de paso, Dp (pulg)	Área al esfuerzo de tensión Af (pulg <sup>2</sup> )	Área al esfuerzo cortante At (pulg <sup>2</sup> )
1/4	16	0,0625	0,1618	0,2043	0,02632	0,3355
5/16	14	0,0714	0,2140	0,2614	0,04438	0,4344

(Robert L. Mott, 2002)

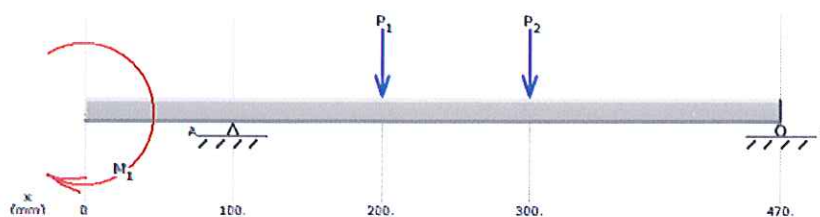


Figura 19. Diagrama de cargas sobre el eje

$$F = 980 \text{ N} = 220,31 \text{ lb}$$

$$\sigma_d = 58000 \text{ psi}$$

Resistencia a la tensión acero A36

$$\tau_d = 29000 \text{ psi}$$

Resistencia al corte acero A36

Se calculará el área de tensión para seleccionar el diámetro que deberá tener el tronillo y se comprobará que esta medida por medio del cálculo del área a cortante

### Área a tensión

$$A_{nt} = \frac{F}{\sigma_d} \quad [5]$$

$$A_t = 0,0037 \text{ pulg}^2$$

$$A_t = 2,387 \text{ mm}^2$$

Por tabla 1 se elige  $A_t = 0,02632 \text{ pulg}^2$

Diámetro mayor nominal  $D = \frac{1}{4} \text{ pulg}$

Roscas por pulgada  $n = 16$

### Área a cortante

$$A_s = \frac{F}{\tau_d}$$

$$A_{s1} = 0,007596 \text{ pulg}^2$$

$$A_{s1} = 4,900 \text{ mm}^2$$

Por tabla 1 se elige  $A_{s2} = 0,3355 \text{ pulg}^2$

### Longitud del yugo

El área de corte coincide con la elección hecha por el cálculo del área a la tensión, con lo que se procede al calcular el espesor el yugo el cual es el encargado de moverse sobre en la trayectoria deseada además de soportar el peso que se aplicara sobre el sistema según se ilustra en la siguiente figura

$$h = A_{s1} * \frac{1}{A_{s2}} \quad [6]$$

$$h = 0,0226 \text{ pulg}$$

Se asumirá un valor de 0,5 pulg por motivos de diseño

## Ángulo de avance

Es el ángulo que forma la tangente a la hélice de la rosca y el plano transversal al eje del tornillo como se muestra en el análisis de fuerzas de la Figura 20.

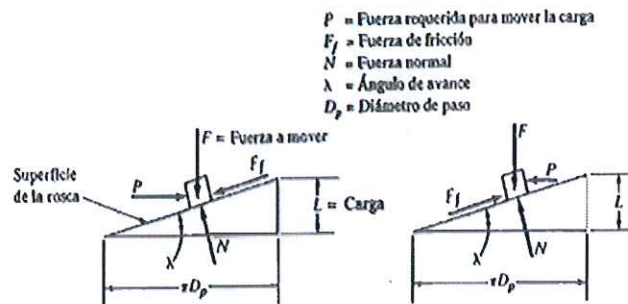


Figura 20. Análisis de fuerzas sobre un tornillo  
(Robert L. Mott, 2002)

Por tabla 1

$$L = 0,0625 \text{ pulg}$$

$$D_p = 0,2043 \text{ pulg}$$

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{L}{\pi D_p} \quad [7]$$

$$\lambda = 6,17^\circ$$

Una vez realizados los cálculos se puede mostrar una vista de como queda el modelo del tornillo que se muestra en la Figura 21.

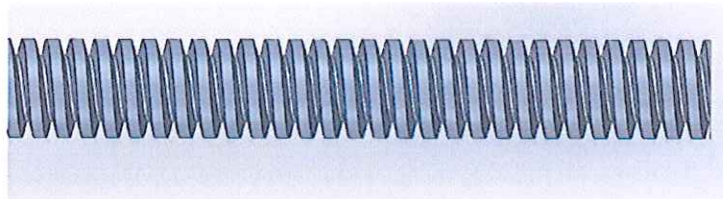


Figura 21. Modelo de tornillo de potencia

## Par de torsión necesario

En los tornillos de potencia uno de los aspectos importantes es el par de torsión que se necesitara para que la carga colocada se mueva a lo largo de la trayectoria deseada, para esto se calculó previamente el ángulo de avance debido a que en se tomara en cuenta ese dato al momento de asumir que el tornillo está moviendo la carga rosca arriba, además de que al tratarse de una rosca ACME se tomara en cuenta otro valor para un ángulo de rosca.

$$\phi = 14,5^\circ$$

Para roscas ACME

$$T_u = \frac{F D_p}{2} * \left[ \frac{\cos \phi * \tan \lambda + f}{\cos \phi - f * \tan \lambda} \right] \quad [8]$$

$$T_u = 5,739 \text{ lb} * \text{pulg}$$

En la Figura 22 se muestran muestra el resultado del análisis estático sobre el eje de transmisión el cual está sometido de fuerzas cortantes y a la torsión proveniente del motor dando como resultado que el mayor esfuerzo es de 940 MPa aplicada sobre los apoyos, la mayor deformación la cual es de 0,92 mm aparcera a la mitad del roscado debido a que en ese punto recae el peso de la persona y el factor de seguridad es de 0,27.

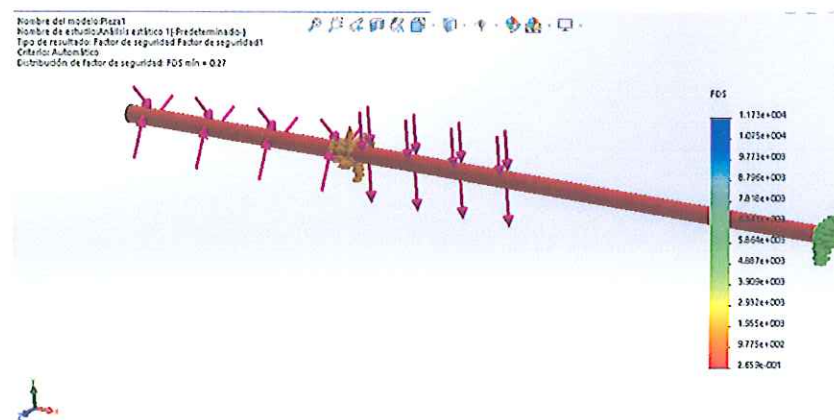


Figura 22. Factor de seguridad del eje de transmisión

## Eficiencia

La eficiencia de la transmisión del tornillo de potencia es la relación que se presenta entre el par de torsión necesario con y sin fricción respectivamente lo que al presentar ecuaciones parecidas se tiene la siguiente formula

$$e = \frac{F L}{2 \pi T_u} \quad [9]$$

$$e = 0,3818$$

$$e_{\%} = 38,18 \%$$

## Potencia

Finalmente se calculará la potencia que deberá tener el motor para la posterior elección del motor, los datos que se requieren se los tomara de cálculos anteriores y requerimientos del sistema

$$l = 200 \text{ mm} = 7,874 \text{ pulg}$$

Distancia a recorrer

$$\text{Roscas por pulgada} = 16$$

tabla 3

$$t = 30 \text{ s}$$

Tiempo de recorrido

$$v = \frac{l}{t} \quad [10]$$

$$v = 0,2624 \frac{\text{pulg}}{\text{s}}$$

El tornillo seleccionado se moverá 1/16 (0,0625) de pulgada en cada revolución

### Velocidad de giro

$$n = 0,2624 \frac{\text{pulg}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ rev}}{0,0625 \text{ pulg}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$n = 251,90 \text{ rpm}$$

$$P = \frac{T_u n}{63000} \quad [11]$$

$$P = 0,021 \text{ HP}$$

### 2.3.2.2. DISEÑO DEL ENGRANE

Para poder tener una transmisión adecuada se diseñará un par de engranes los cuales se colocarán uno sobre el otro con el fin de tener una transmisión de potencia y velocidad de giro necesaria, que se ha calculado previamente en el diseño del tornillo de potencia.

Para los cálculos del engrane se necesitará seleccionar el número de dientes y el paso diametral que deberán tener los engranes,

Tabla 4. Valores de paso diametral y número

Número de calidad AGMA	Paso diametral, Pd	Número de diente del engrane			
		20	40	60	100
Q5	2	0,0260	0,0290	0,0320	0,0350
	8	0,0120	0,0130	0,0140	0,0150

(Robert L. Mott, 2002, p. 375)

En base al espacio disponible y tabla 4 se obtendrán los siguientes datos

N = 40                      Numero de dientes

P<sub>d</sub> = 20                    Paso diametral

φ = 20°                    Angulo de presión

### **Diámetro de paso**

El espacio con el q se cuenta para los engranes es de 10 centímetros con lo que se el paso diametral y el número de dientes en una relación que no debe superar los 5 cm para el diámetro de paso

$$D_p = \frac{N}{P_d} \quad [12]$$

$$D_p = 2 \text{ pulg} = 50,8 \text{ mm}$$

### **Modulo métrico**

Se calculará el módulo métrico como medida base para poder trabajar en el sistema internacional de medidas

$$m = \frac{25,4}{P_d} \quad [13]$$

$$m = 1,27 \text{ mm}$$

Con el valor calculado se recurrea la siguiente tabla para obtener el valor de modulo normalizado teniendo en cuenta el valor del paso diametral seleccionado anteriormente

**Tabla 5.** Modulos normalizados

Modulo (mm)	Pd equivalente	Pd normalizado mas cercano (dientes/pulg)
0,3	84,667	80
0,4	63,500	64
0,5	50,800	48
0,8	31,750	32
1	25,400	24
1,25	20,320	20

(Robert L. Mott, 2002)

Por tabla 5  $m = 1,25 \text{ mm}$

Con el valor del módulo normalizado se usará este para calcular los valores necesarios necesario para el engrane que se muestran en la siguiente tabla.



Tabla 6. Características del engrane

Símbolo	Característica	Fórmula	Resultado
a	Addendum	$1,00 * m$	1,25 mm
b	Dedendum	$1,25 * m$	1,56 mm
c	Clearance	$0,25 * m$	0,31 mm
$D_o$	Diámetro exterior	$m(N + 2)$	52,5 mm
$D_R$	Diámetro raíz	$D_p - 2b$	47,68 mm
$h_t$	Altura total	$a + b$	2,81 mm
$h_k$	Profundidad de trabajo	$2a + c$	2,81 mm
t	Espesor del diente	$\frac{\pi}{2P_d}$	1,99 mm

Con los valores calculados se procede al diseño en la herramienta CAD el cual se muestra en la Figura 23.

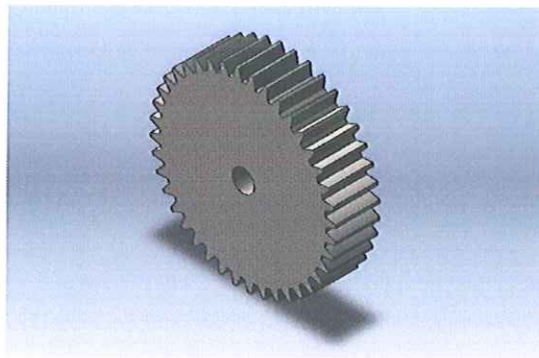


Figura 23. Modelo de engrane

### Diámetro entre centros

Al ser dos engranes iguales se tiene que  $N_G = N_P = N$

$$C = \frac{N_G + N_P}{2P_d} \quad [14]$$

$$C = 2 \text{ pulg} = 50,8 \text{ mm}$$

### 2.3.3. MODELO EN CAD DEL SISTEMA MECÁNICO

Con todos los cálculos realizados y el diseño de piezas individuales hechos, se procede con el ensamble total del sistema el cual cumple con las limitantes de espacio y los movimientos necesarios como se muestra en la Figuras 24 y 25.

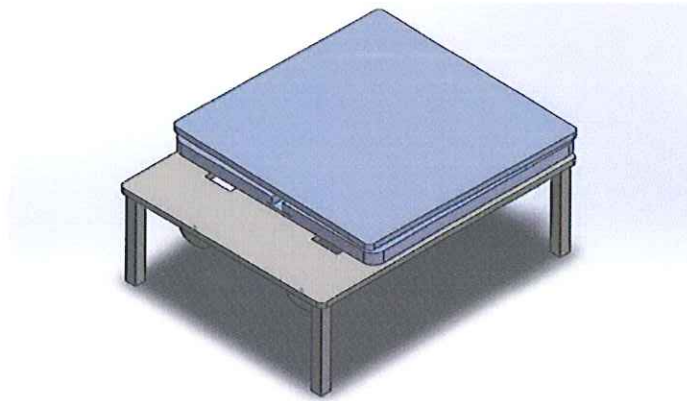


Figura 24. Vista isométrica del sistema mecánico

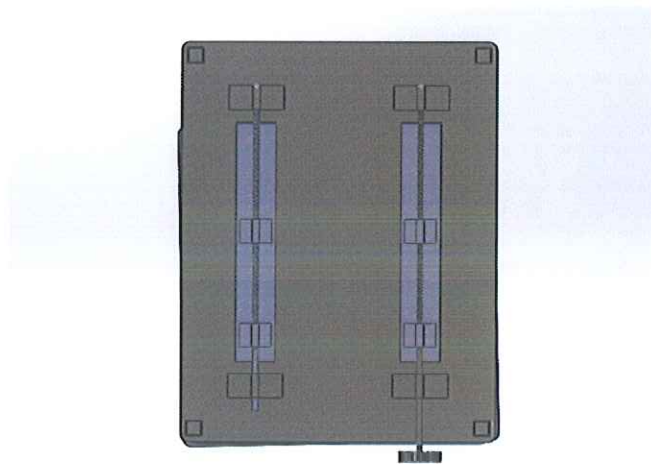


Figura 25. Vista inferior del sistema mecánico

Debido a que en la figura anterior no se muestra todas las características de diseño estas serán más detalladas en los planos que se mostrarán en la sección de anexos

### 2.4. DISEÑO ELECTRICÓNICO

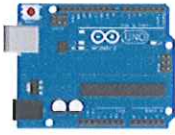


El sistema electrónico del proyecto constara de 2 partes, elección de la fuente de alimentación para el motor con el que se realizara el principal movimiento y la elección de los componentes como son microcontrolador y sistema de comunicación.

### 2.4.1. SELECCION DE MICROCONTROLADOR

Para la elección del micro controlador se deben tener en cuenta las siguientes necesidades:

- Un mínimo de 2 canales de comunicación
- Alimentación
- Costo

Tabla 7 Comparativa entre modelos de arduino

			
Modelo	Arduino UNO	Arduino NANO	Arduino mega 2560
Alimentación	7 – 12 V	7- 12 V	7- 12 V
Canales de comunicación	1	1	4

Con base a los puntos expuestos anteriormente se seleccionará un arduino mega 2560, como el que se muestra en la Figura 26 debido a que no se requiere placas PCB para su utilización, posee 4 canales de comunicación, cuenta con una gran cantidad de librerías para la comunicación y presenta facilidades para la programación en distintos entornos de simulación.

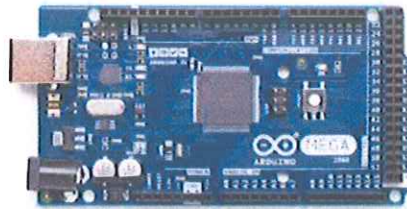


Figura 26. Arduino MEGA 2560  
(ARDUINO, 2017)

### 2.4.2. SELECCIÓN DE COMUNICACION INALÁMBRICA

El método de control para el sistema será a través de un celular con lo cual se plantea la necesidad de establecer una comunicación entre el celular y la placa arduino, para este fin el módulo de comunicación bluetooth es el más adecuado por cuanto a facilidad de utilización y disponibilidad en el mercado y además de que no se requiere la configuración master-slave, por todos los puntos expuestos se llega a la conclusión de que el modelo HC-06 que se muestra en la Figura 27 es la mejor opción.

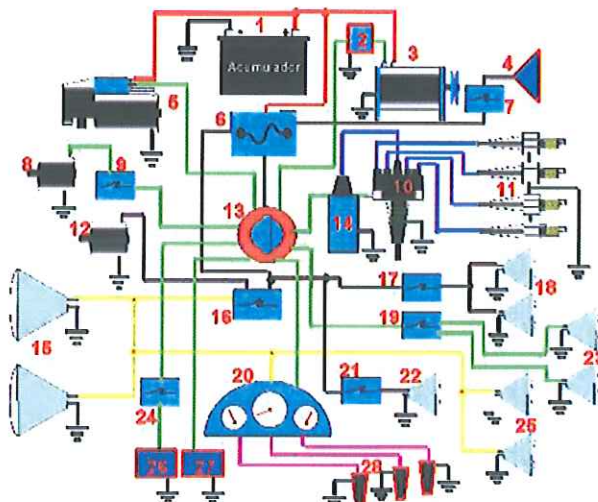


**Figura 27.** Modulo bluetooth HC-06  
(MaxElectrónica, 2017)

### 2.4.3. ELECCIÓN DEL MOTOR

Uno de los aspectos más importantes en el diseño eléctrico es la salida de alimentación con la que constará el sistema y más específicamente el motor el cual al se deberá elegir en función a la carga que deberá mover y la energía necesaria para poder operar de forma óptima.

Con todo lo anteriormente dicho se procederá con la investigación sobre el sistema eléctrico del vehículo, que se muestra en la Figura 28 dando especial atención al cableado del tablero que es el lugar más próximo a donde se ubicara el motor.



**Figura 28.** Sistema eléctrico automóvil  
(S. Becerra, 2017)

**Tabla 8** Elementos sistema eléctrico automóvil

Número	Componente
1	Acumulador
2	Regulador de voltaje
3	Generador
4	Bocina
5	Motor de arranque
6	Caja de fusibles
7	Interruptor de claxon
8	Prestaciones de potencia con el interruptor de encendido conectado

9	Interruptores de las prestaciones
10	Distribuidor
11	Bujías
12	Prestaciones de potencia con el interruptor de encendido desconectado
13	Interruptor de encendido
14	Bobina de encendido
15	Faros de luz delanteros
16	Interruptor de faros delanteros
17	Interruptor de faros de frenos
18	Luces de freno
19	Interruptor luces intermitentes
20	Tablero de instrumentos
21	Interruptor lampara cabina
22	Lampara de cabina
23	Luces intermitentes
24	Interruptor de prestaciones espaciales
25	Luces de carretera traseras
26	Prestaciones espaciales que funcionan con el interruptor de encendido conectado
27	Sistemas de inyección de gasolina
28	Sensores de instrumentos tablero

(S. Becerra, 2017)

Luego del análisis del sistema eléctrico del tablero se presentan 2 posibles fuentes de alimentación las cuales son el encendido del automóvil o una salida que presentan los radios de automóviles la cual está disponible en caso de que se desea instalar altavoces más potentes con la limitante de que puede proporcionar hasta 5 amperios a 12 voltios.

Además del sistema eléctrico, el motor que se seleccione deberá cumplir con los requisitos mecánicos calculados en la sección de tornillo de potencia, y la condición del espacio que se planteó en el diseño de las columnas

Los requisitos para el motor son:

- Una velocidad de 251,90 rpm
- Un par de torsión mínimo de 6,21 kg\*cm
- El tamaño del motor no debe sobrepasar los 10 cm de ancho
- El motor deberá funcionar con corriente continua
- El voltaje de operación deberá ser de 12 V

Luego de todo lo mencionado se llega a la conclusión de que la mejor opción de alimentación es la que se obtiene del radio y una vez hecha la elección de la fuente de alimentación se elige el motor que cuenta con las siguientes características:

- Velocidad de 300 rpm con caja reductora
- Par de torsión de 30 kg\*cm
- Diámetro de 37 mm
- Corriente de carga máxima 7,5 A
- Voltaje de operación 12 V

#### 2.4.4. CIRCUITO RECEPTOR

Debido a que el emisor de la señal de control será un celular solo se armará el circuito receptor que consiste en la conexión del módulo bluetooth a la placa arduino la cual enviará la señal correspondiente a la terminal indicada para controlar la dirección de giro del motor como se muestra en la Figura 29.

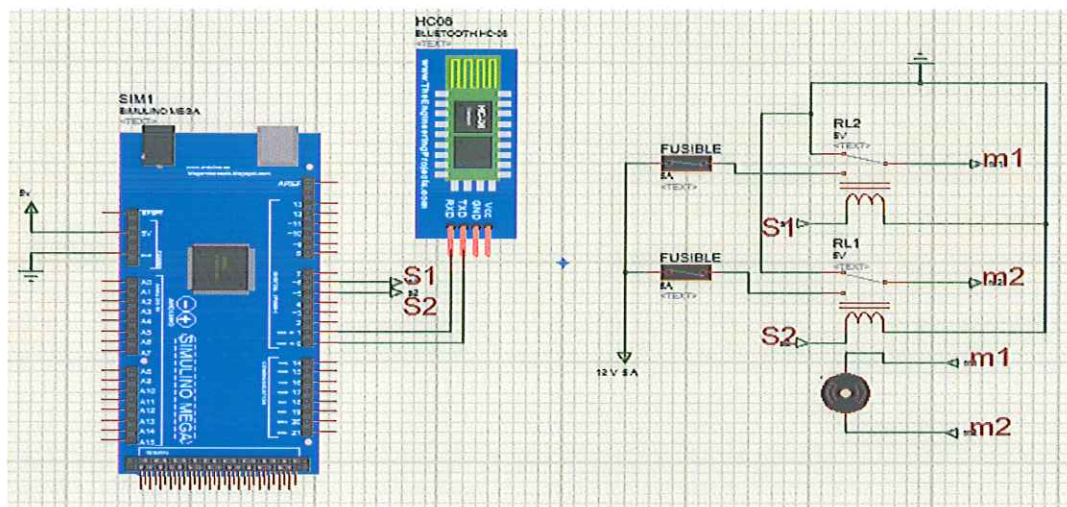


Figura 29. Circuito receptor

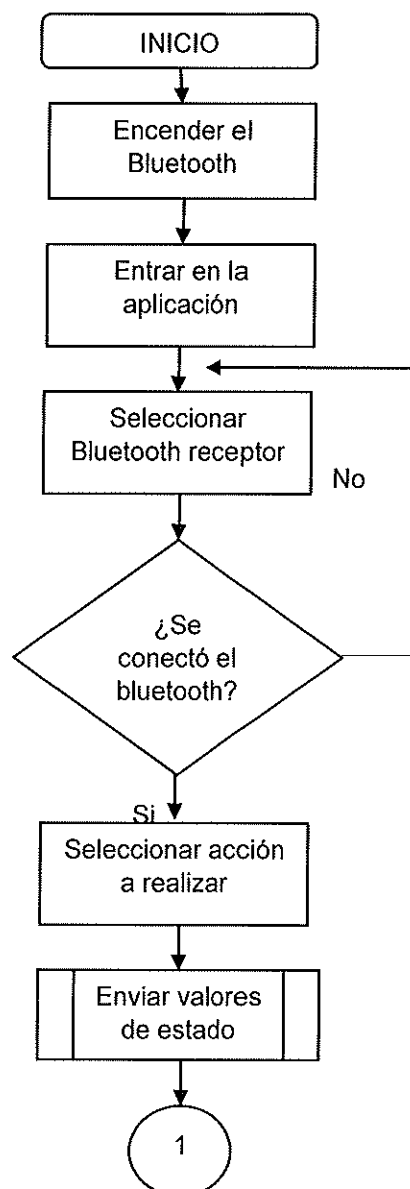
Como la alimentación para el motor resulta ser la provista por el sistema eléctrico del auto se hace uso de relés los cuales se activarán con la señal del arduino y darán paso la corriente necesaria para que el motor gire.

## 2.5. DISEÑO DEL CONTROL DEL SISTEMA

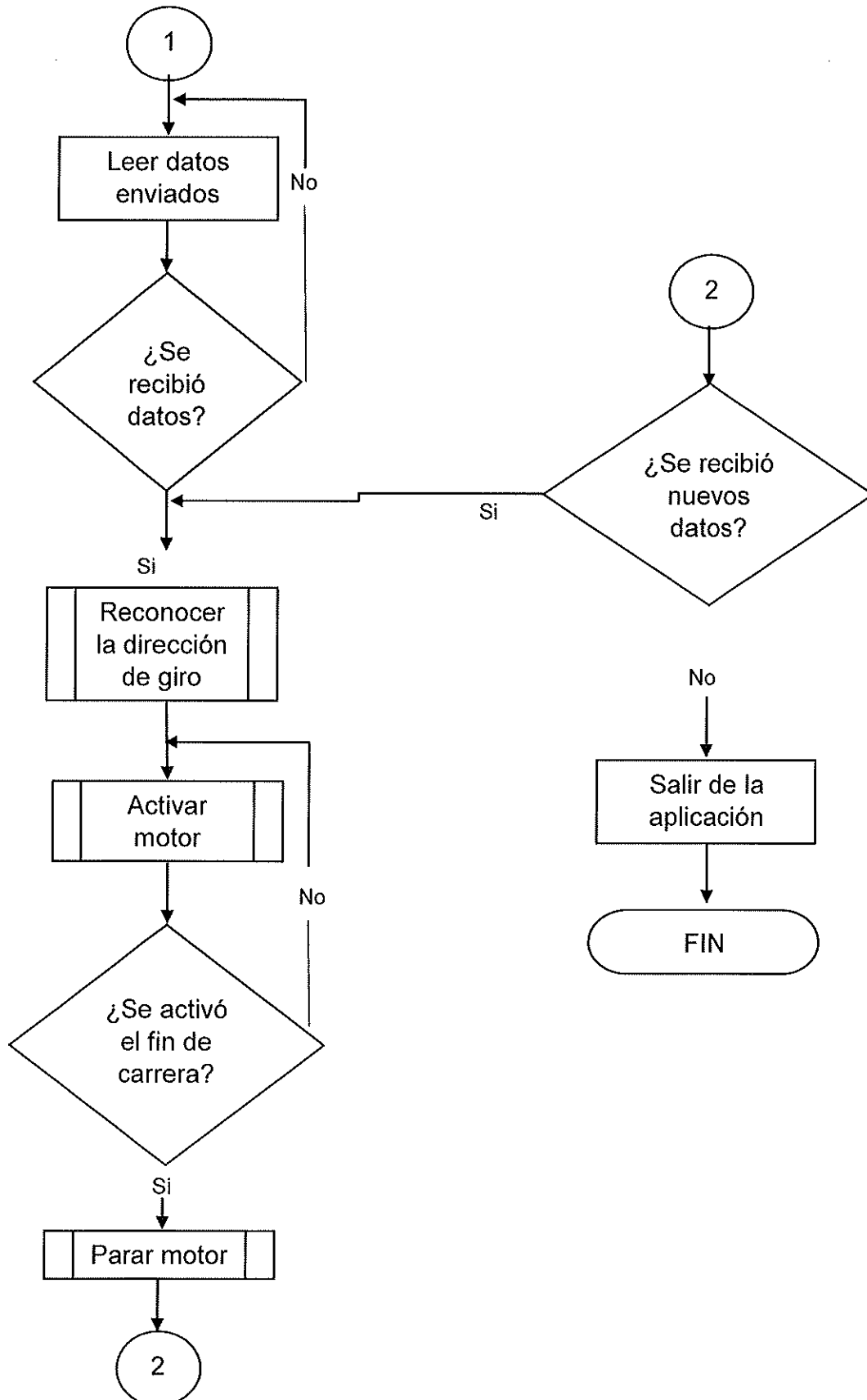
### 2.5.1. LÓGICA DE CONTROL

El sistema de control estará conformado por dos etapas las cuales serán la aplicación de celular que envía la señal que el usuario seleccione y la segunda etapa la que se encuentra en el microcontrolador el cual controlará la dirección de giro del motor y se detendrá si la base móvil toca alguno de los fines de carrera con el fin de evitar choques.

### 2.5.2. FLUJOGRAMA DE CONTROL



En el primer diagrama se detallan las acciones necesarias que deberá realizar el usuario en el celular para poder controlar el sistema como son encender el bluetooth, entrar en la aplicación y seleccionar el bluetooth receptor.





El segundo diagrama se centra en la interacción que llevará a cabo el microcontrolador con el motor y las señales que se estarán recibiendo así se tendrá una retroalimentación continua entre los la posición de la base móvil y la dirección de giro del motor con el fin de evitar choques que podrían dañar la estructura metálica.

### **3. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Una vez realizados los todos los diseños y la integración de todos los sistemas se obtuvo el mecanismo que mueve al asiento del copiloto de un vehículo de tipo hatchback de forma horizontal hasta el borde de la puerta, gira 90°, regresa hasta su posición inicial y soporta a una persona de 100Kg.

Para controlar el sistema se cuenta con una aplicación para celulares con sistema operativo Android la cual se podrá obtener de la tienda de aplicaciones Play Store y mediante esta el usuario puede enviar las órdenes para que el sistema se mueva según lo deseado, todo esto posible por el uso de una placa arduino Mega 2560 la cual por medio de una comunicación bluetooth con el celular que se logra con un módulo HC-06 el cual se puede adquirir en tiendas de electrónica, controla la dirección de giro del motor que es lo suficientemente potente como para realizar todos los movimiento con suavidad y sin sufrir sobre cargas.

Todo el sistema esta alimentado por el propio sistema eléctrico del vehículo con lo que no se requiere la compra de baterías extras o ninguna otra fuente de energía asiendo que el sistema puede funcionar por largo periodos de tiempo, todo lo anteriormente dicho esta validado con la simulación que se realizó en Matlab y en la cual el sistema entero se comportó de la manera deseada

### 3.1. COSTO DEL SISTEMA

Con el fin dar una idea de cuál sería el costo de la elaboración del sistema se presenta la siguiente tabla de los materiales y los costos en el mercado.

Tabla 9. Costo del sistema

N°	Descripción	Cantidad	V. Unitario	V. Total
1	Placa de acero 40x40x1 cm	2	20	40
2	Placa de acero 40x50x1 cm	1	21	21
3	Tubo de sección cuadrada 1 m	1	20	20
4	Engrane	1	50	50
5	Rodamiento Lazy Susan	1	15	15
6	Tornillo de ¼ de pulgada	2	10	20
7	Arduino Mega 2560	1	50	50
8	Modulo bluetooth Hc-06	1	10	10
9	Fines de carrera mecánicos	2	0,20	0,40
10	Cable eléctrico 5 m	1	5	5

11	Motor DC con caja reductora a 300 rpm	1	50	50
12	Driver motor 20A RKI-1340	1	15	15
13	Maquinado	1	30	30
14	Mano de obra	1	60	60
			Total	386,40

El costo total de proyecto asciende a un aproximado de \$386,40 lo que supone una inversión considerable para la modificación del vehículo en el que se desee implementar el sistema

## 3.2. SIMULACIÓN

### 3.2.1. SIMULACIÓN EN MATLAB

Para la realización de la simulación del proyecto se deben llevar a cabo todos los pasos previos que se han expuesto con el fin de obtener un modelo, así al momento de llevarlo al entorno de matlab se obtuvo el sistema en 3 partes como se muestra en la Figura 30.

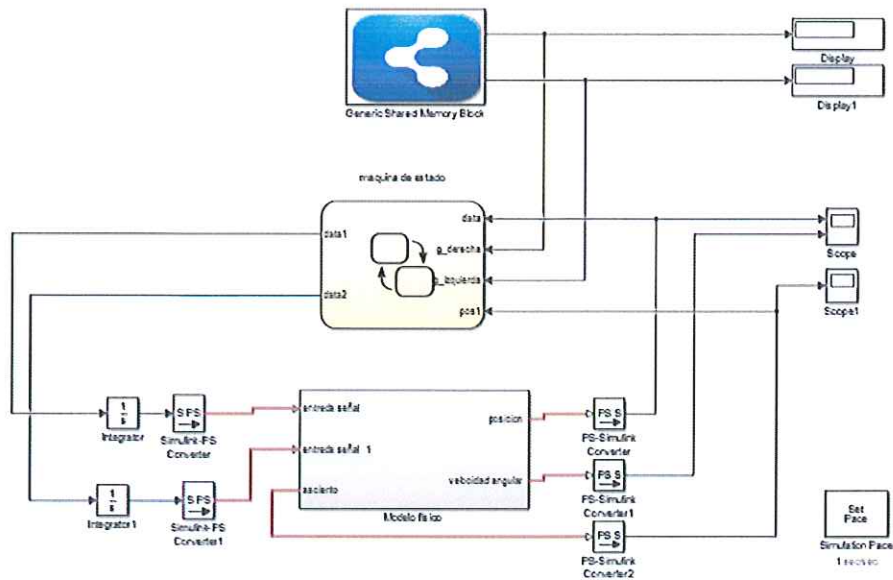


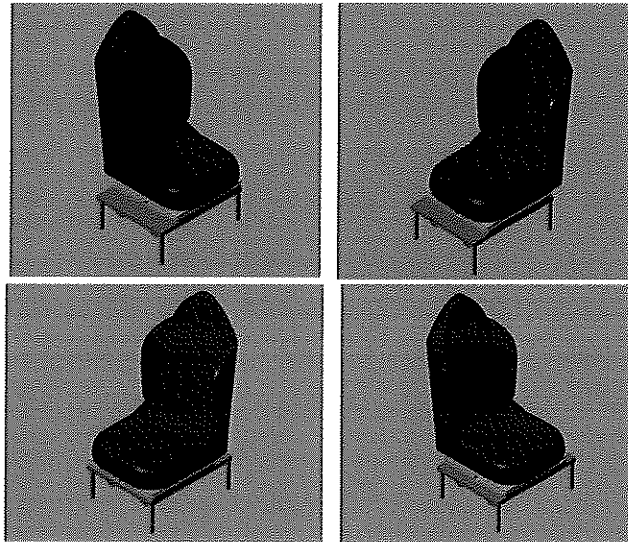
Figura 30. Esquema de simulación SimuLink

El primer bloque que se muestra pertenece a la librería SAS Tools la cual actúa como un bloque de compartición de memoria para la recepción de los datos provenientes de la placa arduino la cual presento problemas de sincronización al momento de enviar datos al entorno de MatLab.

El segundo bloque que se muestra pertenece al sistema de control, teniendo dentro de sí todas las condiciones de funcionamiento como son la distancia máxima de recorrido y la velocidad a la que se deberá mover el motor en el entorno de la simulación, además procesar las señales tanto de entrada como de salida.

El último bloque es el perteneciente al modelo CAD consta de todas las medidas y restricciones de movimiento que se plantearon durante el diseño y en el cual se integran las señales de movimiento que envían el bloque de máquinas de estado.

Así al momento de integrar los 3 bloques se obtiene un modelo el cual está listo para moverse en los límites indicados en el diseño y el cual responderá únicamente a las órdenes enviadas desde el celular llegando a las posiciones deseadas como se muestran en la figura 31.



**Figura 31.** Movimientos del asiento en la simulación

De la simulación obtenemos la posición inicial, el giro de 90° que da el asiento, el recorrido hasta el borde de la puerta a la espera de que la persona se siente y el movimiento de regreso hacia la posición inicial.

### **3.2.2. APLICACIÓN DE CELULAR**

A modo de que se pudiera controlar el sistema de una forma sencilla se diseñó una aplicación para celulares android que debía ser lo suficientemente práctica como para que cualquier persona pudiera usarla siendo un requisito que contara con la menor cantidad de objetos en pantalla como se muestra en la Figura 32.



Figura 32. Captura de pantalla de aplicación

Se obtuvo una aplicación minimalista con solamente los movimientos necesarios que se realizaran y la opción de desplegar la lista de dispositivos bluetooth con los que se pueda vincular dicha aplicación

### 3.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA SIMULACIÓN

Para estas pruebas se llevó a cabo la puesta en funcionamiento de toda la simulación conectando el celular, placa arduino y la computadora para así constatar que no se produzcan fallos de comunicación o pérdida de datos que entren en el ambiente de simulación

#### 3.3.1. CIRCUITO DE CONEXIÓN

El circuito que se armó para la simulación consta del receptor bluetooth, placa arduino y módulo de comunicación serial para él envió de datos hacia la computadora conectados como se muestra en la Figura 33.

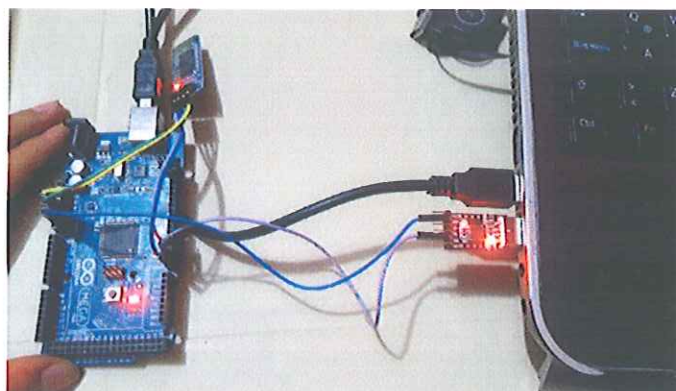
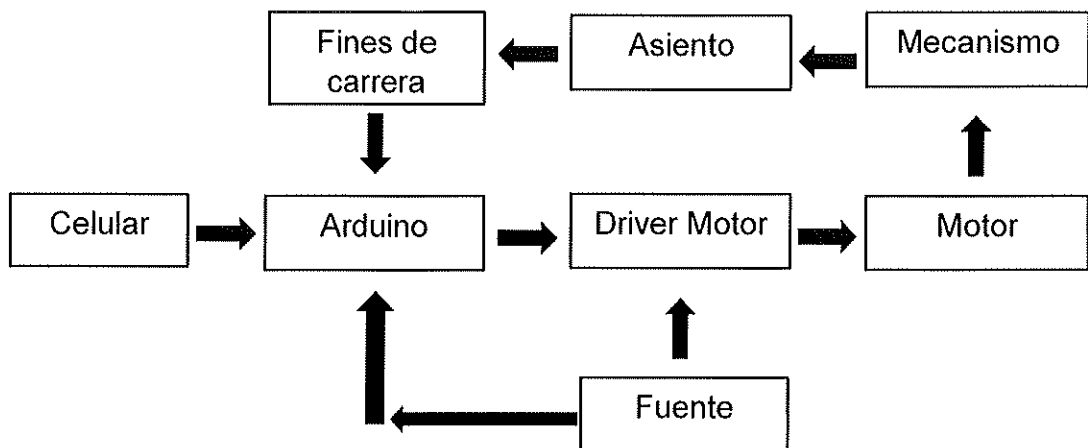


Figura 33. Circuito de conexión para la simulación

### 3.4. DIAGRAMA DE CONEXIÓN



En el diagrama se muestra cómo serán las interacciones de todos los elementos del sistema en donde tendremos que el centro de envío de ordenes es el celular el cual se conecta inalámbricamente a la placa arduino que procesa las señales recibidas y activa las salidas necesarias para que el driver del motor haga girar al motor en la dirección apropiada, este por medio del mecanismo moverá el asiento de forma horizontal hasta que los fines de carrera se activen indicando al arduino que se han alcanzado las posiciones finales, la fuente obtenida que se seleccionó alimentara tanto al arduino como al driver del motor.

### 3.5. ANALISIS DE RESULTADOS

En base a las pruebas realizadas y a las simulaciones obtenidas se obtienen las siguientes características del sistema:

- La simulación presenta un ligero retraso de menos de 1 segundo en el envío de datos desde el celular hasta la ejecución de movimiento.
- Las velocidades de movimiento finales serán superiores a lo calculado debido a que el motor seleccionado tiene una velocidad de giro de 50 rpm mayor a la requerida inicialmente.
- El costo del sistema representa una inversión a considerar para la implementación del sistema.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## CONCLUSIONES

- Las herramientas como SolidWorks, Arduino y Proteus facilitan el diseño de sistemas complejos de forma que se pudo obtener un prototipo que sea lo más parecido a la realidad.
- Se pudo constatar que los materiales seleccionados soportan las cargas a las que se sometió el sistema sin presentar deformaciones que comprometan su funcionamiento.
- Al momento de realizar la comunicación serial entre arduino y simulink se produjeron una serie de dificultades con respecto a la sincronización en el envío de datos lo que se solucionó con la ayuda de librerías de compartición de memoria y la creación de una aplicación específica para la recepción de datos en VisualStudio.
- La simulación final del sistema funcionó dentro de los parámetros establecidos por las restricciones con un retraso de menos de 1 segundo causados por la capacidad de procesamiento de la computadora que se usó para este proyecto.

## RECOMENDACIONES

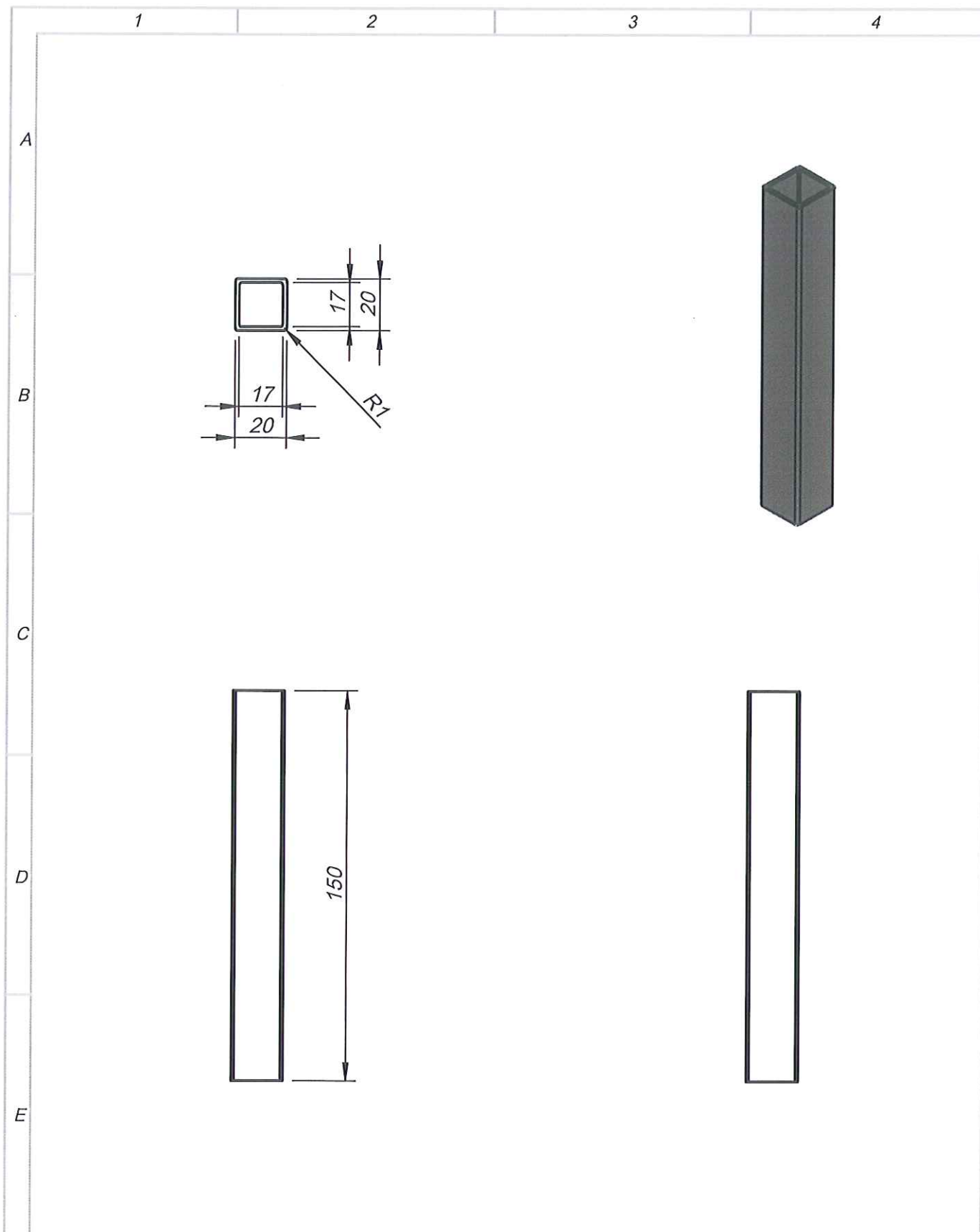
- Para implementar este sistema en otro tipo de automóviles de mayor tamaño se deberá tomar en cuenta las dimensiones del interior del automóvil y el tiempo de recorrido.
- Para personas de mayor peso que el especificado se deberá constatar que el motor seleccionado pueda mover la carga sin presentar esfuerzos que pongan en riesgo su correcto funcionamiento.
- Para poder controlar el sistema en celulares con sistema operativo IOS se deberá diseñar la aplicación en dicha plataforma.
- Si se desea implementar ese sistema dentro de otros dispositivos de control como radios táctiles se deberá verificar que la aplicación es compatible con dichos dispositivos.
- En el caso de que se desee pasar por alto la aplicación de celular se podrá implementar un control manual en el interior del vehículo para enviar las órdenes a la tarjeta de control.

## BIBLIOGRAFÍA

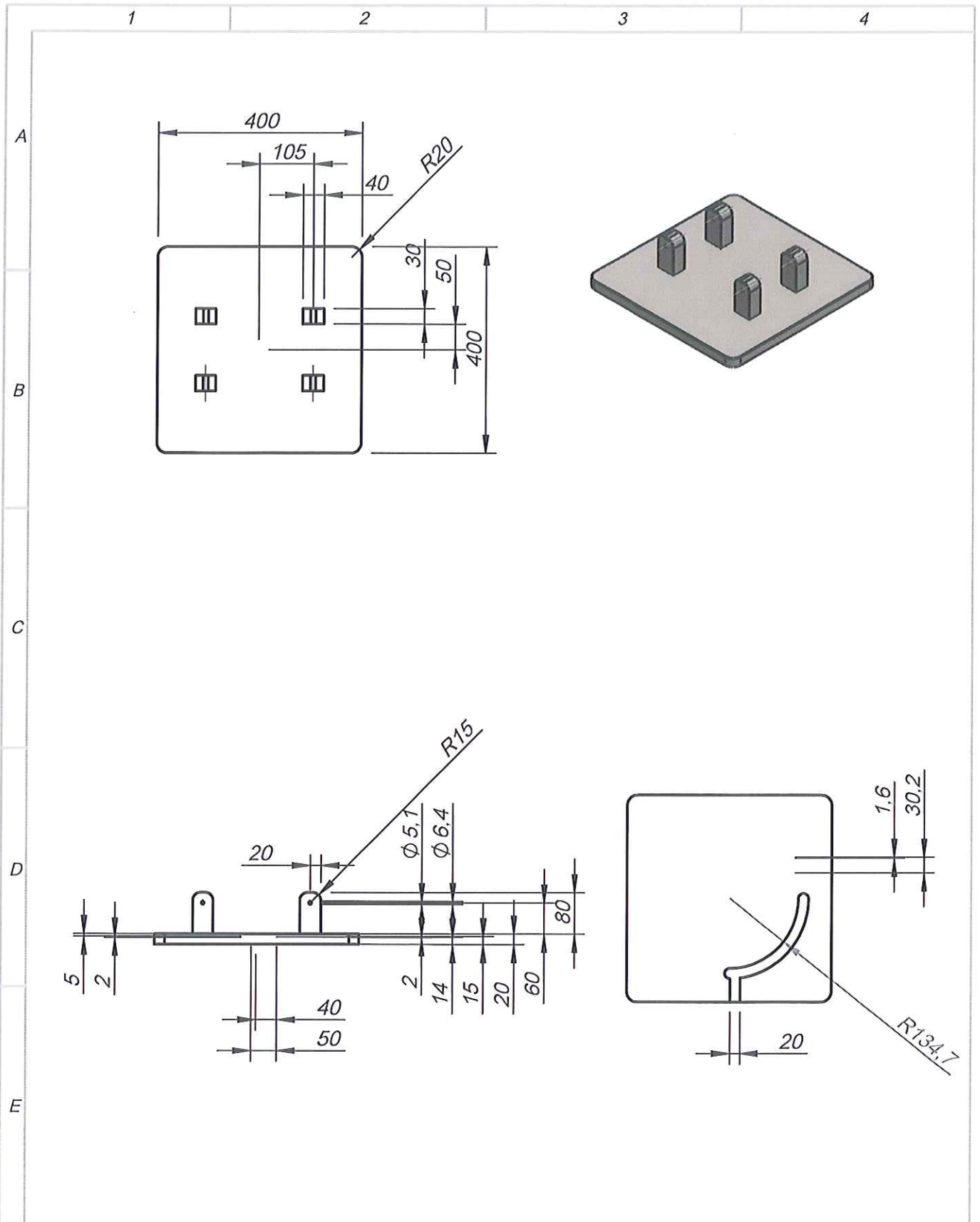
- ARDUINO. (2017). Arduino Mega 2560 Rev3. Retrieved August 16, 2017, from <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>
- Autoadapt. (2014). elevadores para sillas de ruedas.
- CONADIS. (2014). Normas Jurídicas en Discapacidad Ecuador, 359.
- CONADIS. (2017). Estadísticas | CONADIS. Retrieved September 11, 2017, from <http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadistica/index.html>
- DIPAC. (2017). Planchas Laminadas en Caliente. Retrieved September 11, 2017, from <http://www.dipacmanta.com/planchas-de-acero/planchas-laminadas-en-caliente>
- Egea García, C., & Sánchez Sarabia, A. (2001). Clasificaciones de la OMS sobre discapacidad. *Murcia*, 15–30.
- IPAC. (2017). CATALOGO IPAC :: Productos y Servicios :: Retrieved July 27, 2017, from [http://www.ipac-acero.com/revista-digital/IPAC\\_catalogo.html](http://www.ipac-acero.com/revista-digital/IPAC_catalogo.html)
- MaxElectrónica. (2017). Módulo Bluetooth HC-06. Retrieved September 11, 2017, from <http://www.maxelectronica.cl/bluetooth/5-modulo-bluetooth-hc-06.html>
- Ortega Camila. (2014). Kenguru, el primer vehículo para personas discapacitadas Young Marketing. Retrieved September 12, 2017, from <http://www.youngmarketing.co/kenguru-primer-automovil-personas-silla-de-ruedas/>
- Robert L. Mott. (2002). DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINARIA. *Mecánica de Fluidos*, 3 ed., 769. <https://doi.org/10.1109/CDC.2011.6160241>.
- S. Becerra. (2017). Sistema eléctrico del automóvil. Retrieved September 11, 2017, from <http://www.sabelotodo.org/automovil/siselectrico.html>
- San Diego Red. (2017). Crean Línea Rosa de transporte público en Tijuana - Noticias - SanDiegoRed. Retrieved from <http://www.sandiegored.com/noticias/40988/Crean-Linea-Rosa-de-transporte-publico-en-Tijuana/>
- VDI, mechatronic systems. (2004). Systeme Design methodology, (June).
- WAKU. (2005). ayudas de acceso de aluminio para sillas de ruedas El fabricante.

**ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**Planos de sistema mecánico**



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]	MATERIAL:	
				± 0.1	130.70	ASTM A36 Acero	
				Fecha	Nombre	<i>perfil de columna</i>	ESCALA:
			Dibujado	31/08/2017	Diego Zurita		1:2
			Revisado				
			Aprobado				
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
				<b>UTE</b>			A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



		TOLERANCIA:	PESO [Kg]	MATERIAL:	
		± 0.1	27184.07	ASTM A36 Acero	
		Fecha	Nombre	<i>segunda base</i>	ESCALA:
		Dibujado 31/08/2017	Diego Zurita		1:10
		Revisado			
		Aprobado			
		FIRMA / EMPRESA:	DIBUJO N°:		HOJA:
		<b>UTE</b>			A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre		

1

2

3

4

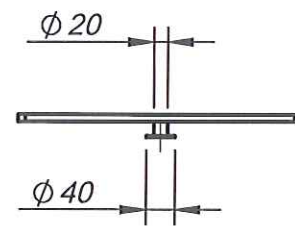
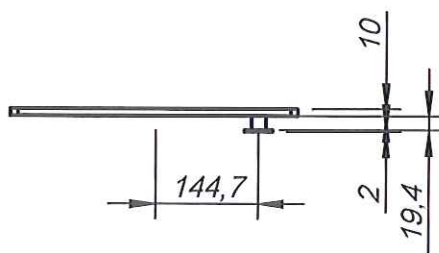
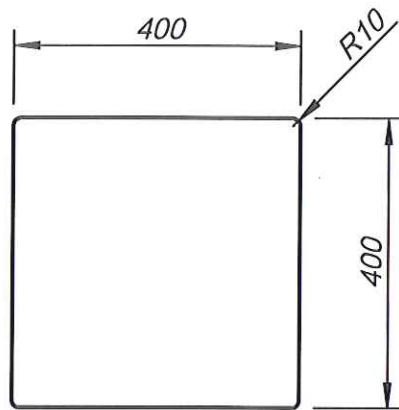
A

B

C

D

E



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]	MATERIAL:		
				$\pm 0.1$	12620.86	ASTM A36 Acero		
				Fecha	Nombre	<i>asiento</i>		ESCALA:
				Dibujado 31/08/2017	Diego Zurita			1:10
				Revisado				
				Aprobado				HOJA:
				FIRMA / EMPRESA:	DIBUJO N°:		A4	
				<b>UTE</b>				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

1

2

3

4

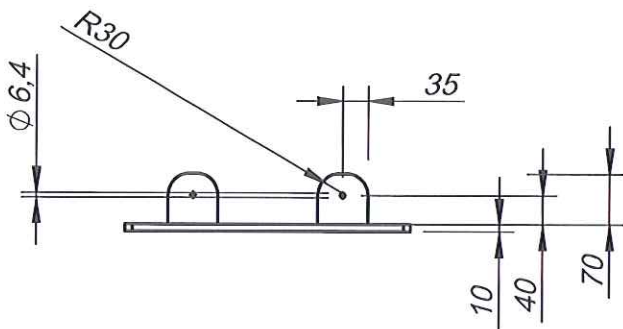
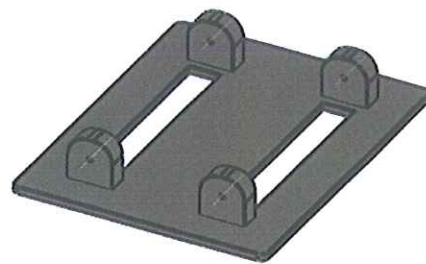
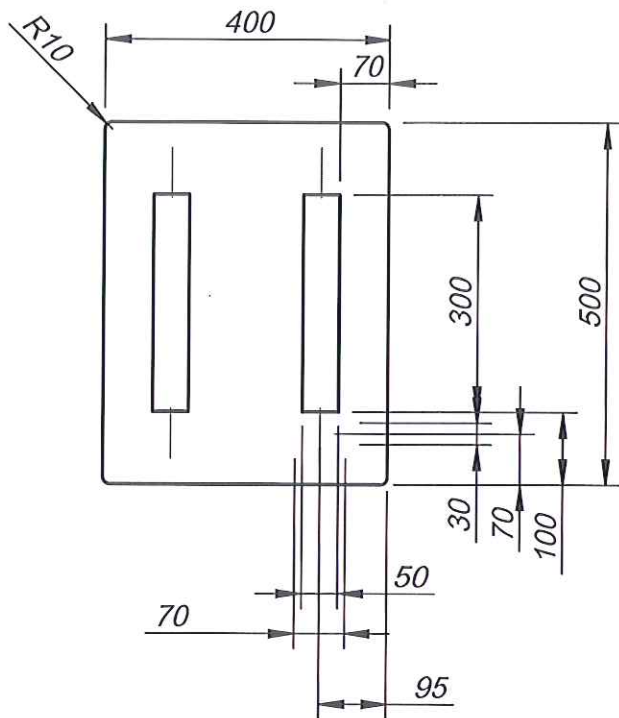
A

B

C

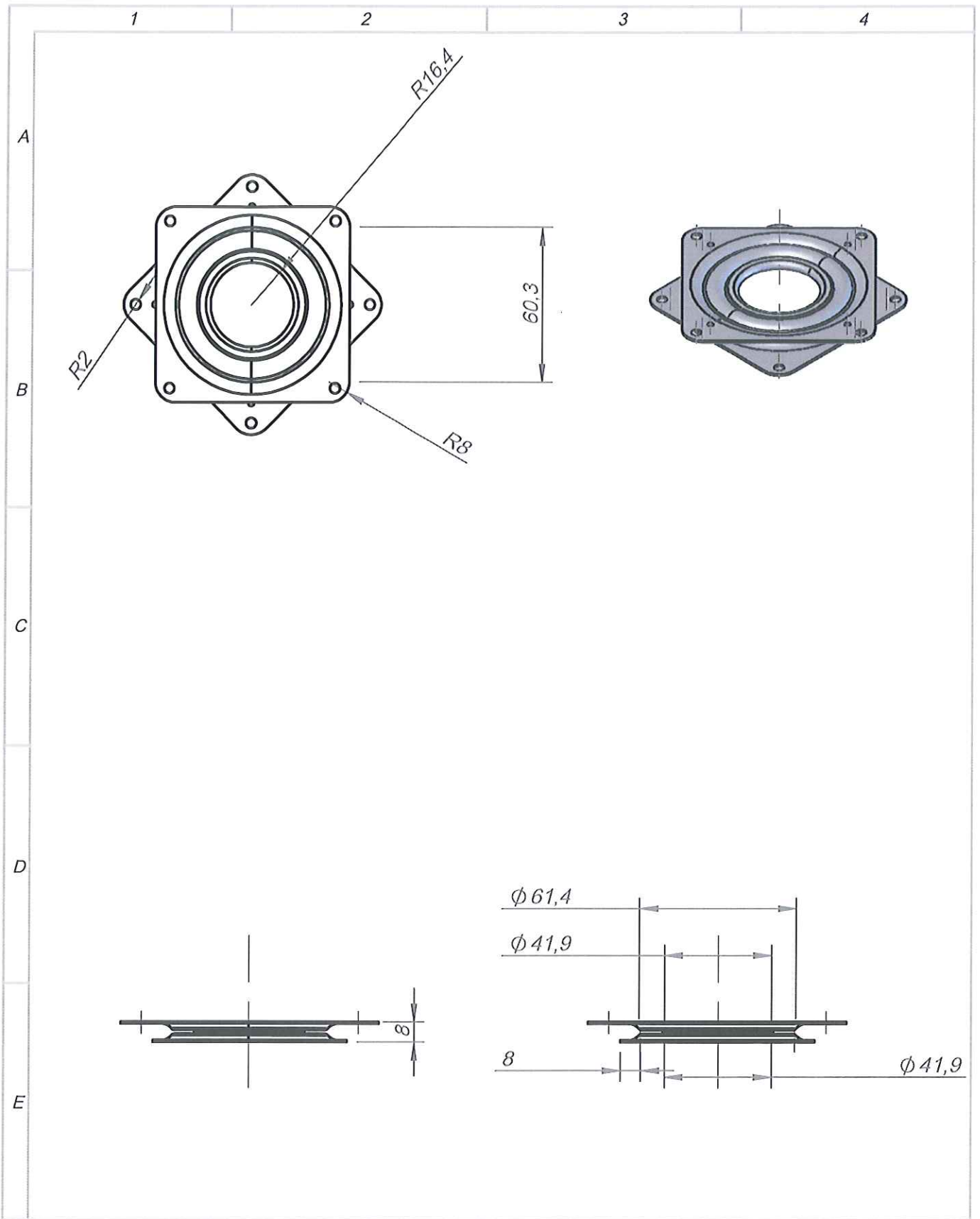
D

E

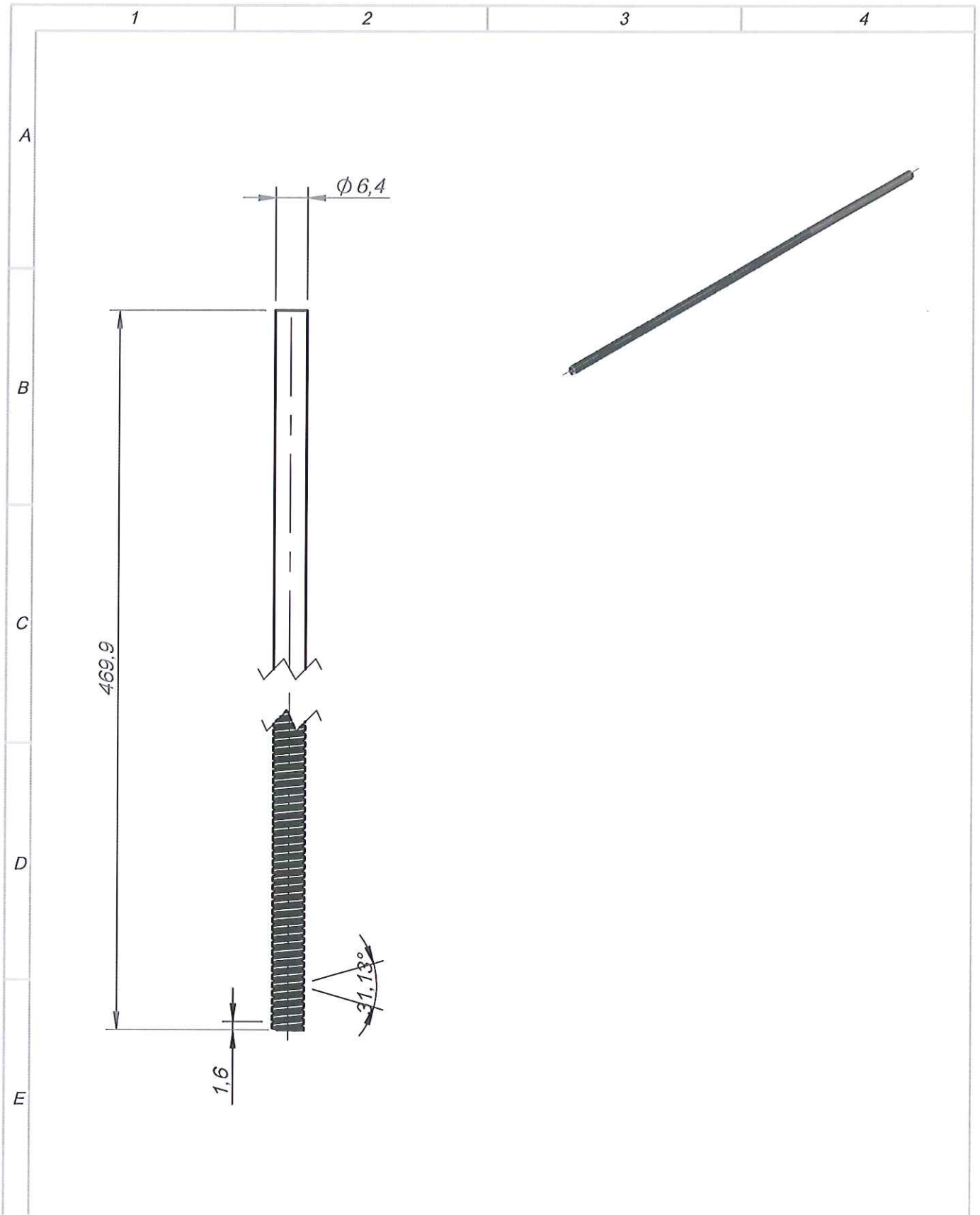


		TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:		
		± 0.1	17560.16	ASTM A36 Acero		
		Fecha	Nombre	<i>base</i>		ESCALA:
		Dibujado 31/03/2017	Diego Zurita			1:10
		Revisado				
		Aprobado				HOJA:
		FIRMA / EMPRESA:	DIBUJO N°:		A4	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

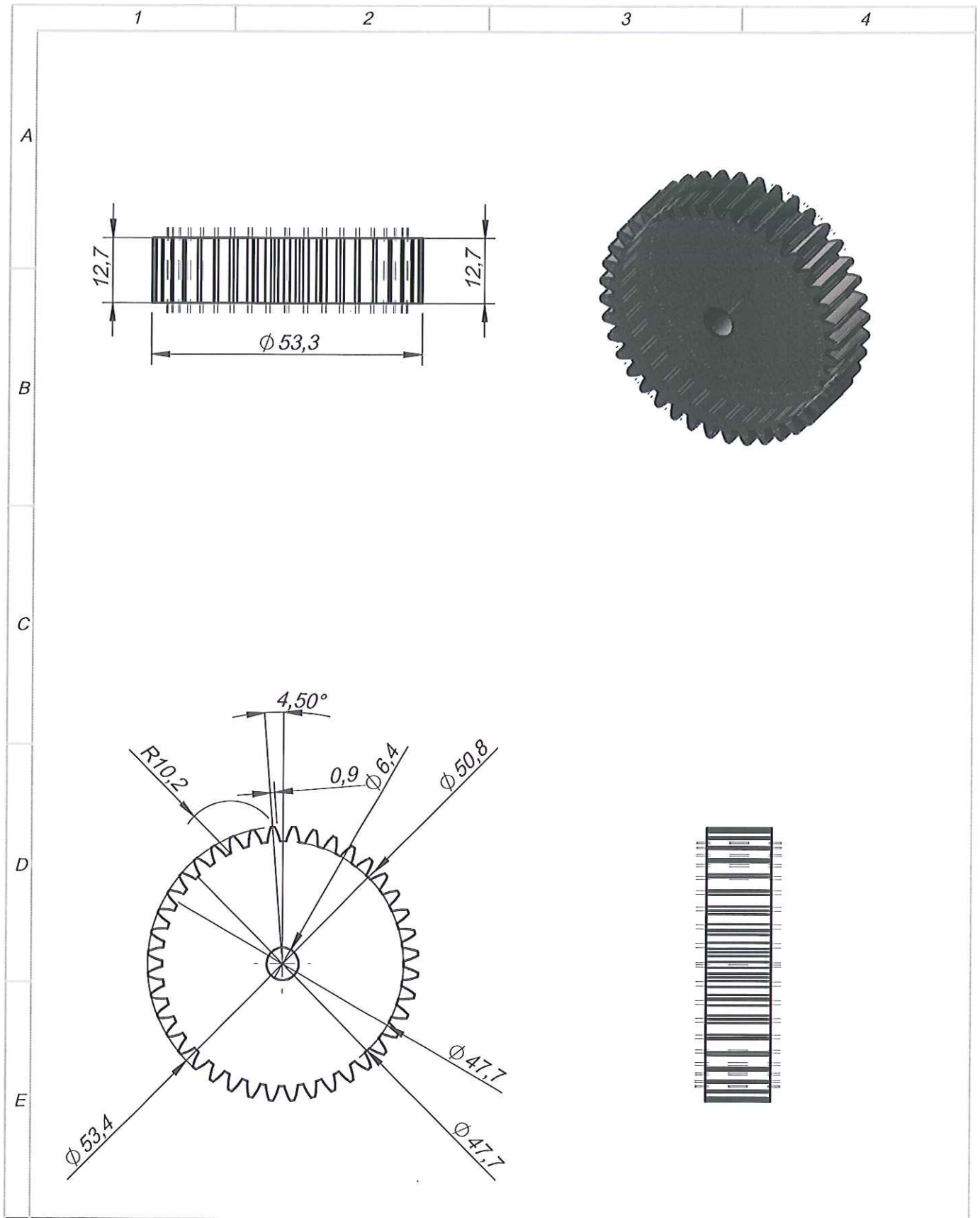




				TOLERANCIA:	PESO [Kg]	MATERIAL:	
				$\pm 0.1$			
				Fecha	Nombre	<h1>Lazy Susan</h1>	
				Dibujado	12/09/2017		
				Revisado			
				Aprobado		ESCALA: 1:2	
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
				<b>UTE</b>			A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



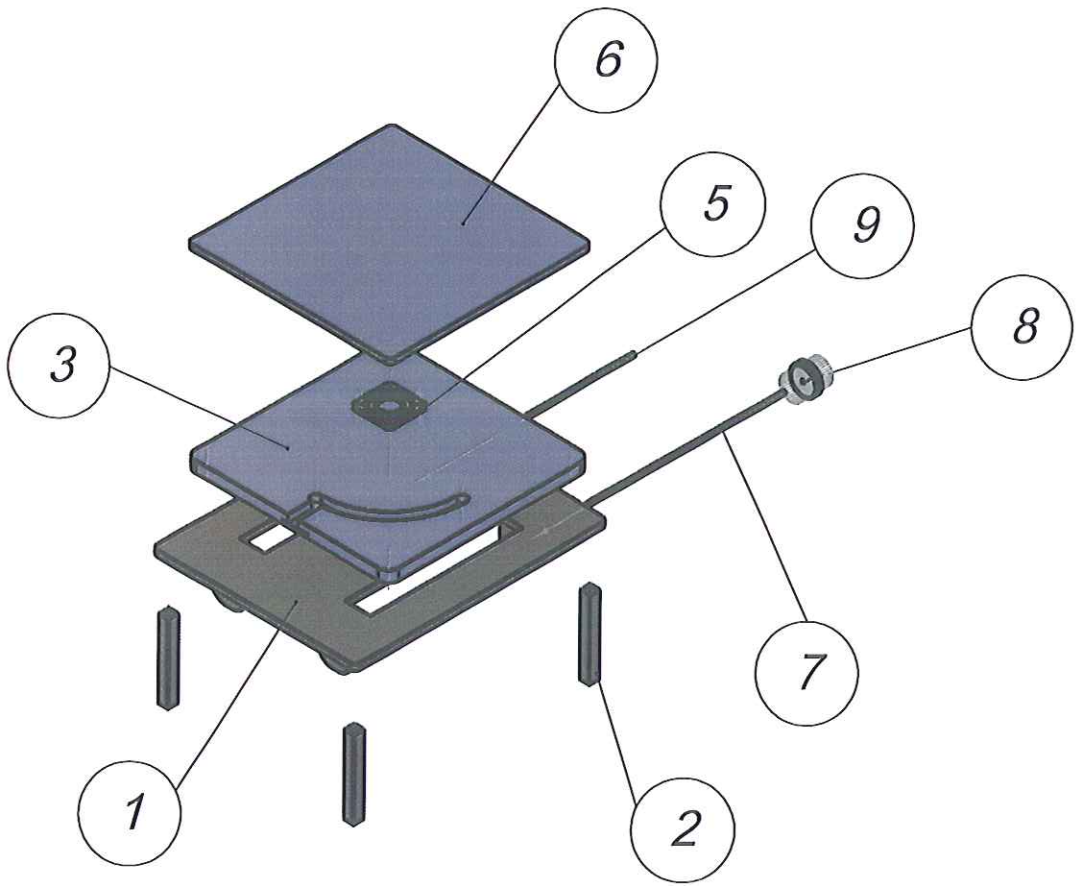
				TOLERANCIA:	PESO [Kg]	MATERIAL:	
				$\pm 0.1$	0.22	ASTM A36 Acero	
				Fecha	Nombre	<i>tornillo de poder</i>	ESCALA:
			Dibujado	31/08/2017	Diego Zurita		1:5
			Revisado				
				Aprobado			
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
				<b>UTE</b>			A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



		TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
		± 0.1	0.4309	ASTM A36 Acero	
		Fecha	Nombre	<i>engrane 1</i>	ESCALA:
		Dibujado 31/08/2017	Diego Zurita		1:1
		Revisado			
		Aprobado			
		FIRMA / EMPRESA:	DIBUJO N°:		HOJA:
		<b>UTE</b>			A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre		



1	2	3	4
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	base		1
2	perfil de columna		4
3	Ensamblaje 1		1
4	Cortar-Revolución 1 [1]		1
5	LS_3		1
6	asiento		1
7	tornillo de poder		1
8	Inch - Spur gear 20DP 40T 20PA 0.5FW --- S40N3.0H2.0L0.25N		1
9	tornillo soporte		1



		TOLERANCIA:	PESO [Kg]	MATERIAL:	
		± 0.1	0.00	<i>Material &lt;sin especificar&gt;</i>	
		Fecha	Nombre	<b>Ensamblaje2</b>	ESCALA:
		Dibujado 31/03/2017	Diego Zurita		1:20
		Revisado			
		Aprobado			
		FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N.º:	HOJA:
		<b>UTE</b>			<b>A4</b>
Edición	Modificación	Fecha	Nombre		