



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

Sistema mecatrónico adaptable a sillas de ruedas  
para desplazarse en escaleras

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECATRÓNICO

P R E S E N T A N:

**Nohemí Elizabeth Álvarez Méndez**  
**Rafael Guillermo Suárez Nájera**

Director de tesis: M.I. Billy Arturo Flores Medero Navarro

FEBRERO 2012

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F.





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

## *Agradecimientos*

---

En este momento quedan estas letras que no son mucho pero es lo que les ofrezco para dar testimonio de mi sentimiento de gratitud, eterna gratitud:

Uno desea muchas cosas en la vida y piensa que tiene las manos vacías.... Pero las manos nunca están vacías porque sólo el que desea puede ver lo que tiene, una luz que ilumina la vida los pasos que damos, la esencia de nuestro ser, un mar de memorias que nos hace ser quienes somos. Y esta luz son todos ustedes amigos, familia, hermanos, padres y amor. Que significan la eternidad de lo que nos convertimos hoy que escribo esta pequeña memoria para recordar su esfuerzo por mi y el fruto que tengo en mi venir. Les doy las gracias porque ustedes son mi todo, son propiamente parte de mi ser y mi esencia, que me convierten en una persona tangible. Que me convierten en una persona pero no cualquier persona si no en un futuro ingeniero.

Para las personas que me acompañan en la vida personas, que me acompañaran en la vida y personas que me acompañaron. Soy hoy el fruto de sus palabras y acciones, de sus consejos y sus críticas, de sus celos y sus sueños. Por eso les demuestro la verdad que soy lo que soy porque ustedes tocaron mi ser, y me enseñaron a caminar.

Un gracias que sale de mis labios con sus voces, un de nada que agradece el favor de la vida por darme en mi camino su presencia fugaz o eterna pero presentes de alguna forma y una mirada a un futuro que me han creado para mí.

Mis padres me dieron un cuerpo sano y fuerte, tal vez no las más bellas pero si útiles para caminar la senda que vislumbran mis ojos, mis hermanos me enseñaron a pelear con los puños y la mente, duramente me enseñaron la verdad de un camino correcto lleno de errores pero siendo correcto el mayor logro. Abuelos míos que el cielo los tiene en la gloria ustedes me dieron espíritu y me dieron historia algo que nadie me va a arrebatar saber quién soy, porque yo orgullosamente soy su nieto, y llevo en la vida sus palabras sus enseñanzas, los amos y los amo de verdad, en su momento no los supe valorar pero para este momento de mi vida los amos más que nunca, porque me hicieron crecer.

A mis amigos que me hicieron sentir la verdad por fría que fuera, están en tan cerca de mí que los llevo al día a día, y en todo momento los veo a mi lado.

A mi maestro y mi eterno amigo, a usted señor las palabras no son lo suficientemente magnificas para demostrar todo mi aprecio, porque usted ha sido mi ángel de la guardia y ha estado tan cerca de mí, que pocos saben lo que usted sabe.

Y por último a mis compañeros de Carrera gracias por todo, buenos, malos momentos y entendidos. Por decirme que estoy mal por hacerme sentir apoyado en los malos momentos les deseo no dinero ni trabajo, sino que cada día sonrían y lleven la felicidad a sus vidas.

Gracias a todos por hacerme quien soy.

Rafael Guillermo Suárez Nájera

---

## *Agradecimientos*

---

Agradezco

...a mi mamá por todo su apoyo incondicional, por los sacrificios que ha hecho por mí para mi bienestar, por ser mi mejor amiga, por siempre creer en mí, por su amor, tus consejos y por estar siempre conmigo;

...a mi papá por todo su apoyo y cariño, porque siempre ha luchado para que no nos falte nada y por siempre ver por mi futuro y mi educación, gracias a él he llegado hasta aquí;

mis padres han sido y seguirán siendo mi mayor motivación para lograr mis metas, a quien les debo principalmente todo lo que soy. Cada día de mi vida agradeceré todo lo que me han dado y agradezco a Dios y la vida por tenerlos a mi lado, no hay palabras ni acciones para agradecerles, de ninguna manera podría retribuir todo lo que han hecho por mí pero viviré haciendo el intento.

...a mi hermana por su cariño, por creer en mí, por su apoyo, por ser mi compañera de vida.

...a Alejandro por motivarme a crecer, por confiar en mí y engrandecer mi espíritu, por todo su cariño y comprensión, por estar a mi lado en todo momento, por ser no sólo mi novio sino también mi amigo.

A mi familia

...a mis abuelos por todo su apoyo, su cariño y sus bendiciones (q.e.p.d)

...a mi tíos maternos, sobre todo a mi tía Cuca, mi tía Chela, mi tía Angélica, mi tío Fran y mi tía Raque

...a mi tíos paternos, sobre todo a mi tío Sergio, mi tía Ana, mi tía Olga, mi tía Ofelia, mi tía Magui, mi tío Rodo y mi tío Miguel (q.e.p.d);

...gracias a todos ustedes por siempre creer en mí, por todo su apoyo y sobre todo su cariño;

...a todos mis primos y sobrinos, sobre todo a Rocí, a María Ruth y a Gustavo, por su apoyo en los momentos más difíciles y por compartir los buenos también, por impulsarme y ayudarme

A mis amigos de la facultad y de la prepa, sobre todo a Lucero, Lore, Tania, Gabriel, Abraham, Marco, César y Arturo.

A mi compañero de tesis y amigo Rafael Guillermo Suárez Nájera, por su apoyo, su amistad, su impulso y esfuerzo mostrado en este trabajo.

A mi director de tesis M. I. Billy Flores Medero Navarro; a mis sinodales, Dr. Adrián Espinosa Bautista, Dr. Leopoldo González González, M. I. Luis César Vázquez Segovia y a la M. I. Silvina Hernández González.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por mi formación académica y por todas las experiencias que me ha brindado.

¡Muchas gracias!

<b>Índice</b>	
Introducción.....	1
Capítulo 1. Antecedentes.....	2
1.1 Análisis del contexto del proyecto.....	2
Capítulo 2. Marco teórico.....	6
2.1 Método genérico de diseño.....	6
2.2 Estado del arte.....	13
2.3 Benchmarking.....	16
2.4 Investigación acerca de las necesidades de usuarios de sillas de ruedas.....	21
2.4.1 Diseño de un cuestionario para conocer las necesidades.....	21
2.5 Dimensiones de sillas de ruedas estándar.....	24
2.6 Dimensiones de escaleras estándar.....	28
Capítulo 3. Diseño conceptual.....	32
3.1 Alcances del proyecto.....	32
3.2 Objetivo.....	32
3.3 Investigación con expertos.....	32
3.4 Análisis de resultados de cuestionario a usuarios de sillas de ruedas.....	33
3.5 Recopilación de requerimientos del cliente.....	35
3.6 Matriz de QFD.....	36
3.7 Definición del concepto a trabajar.....	38
3.8 Diseño a nivel sistema.....	38
3.8.1. Sistemas del dispositivo.....	39
3.8.2. Descripción de cada sistema y subsistema.....	40
3.8.3. Interacción entre los sistemas y subsistemas.....	41
3.9 Solución y selección de los sistemas.....	43
3.9.1 Generación de conceptos de solución para cada sistema y subsistemas.....	43
3.9.2 Fortalezas y debilidades de los conceptos de solución.....	46
3.9.3 Propuestas de solución.....	54
3.9.4 Configuración de los conceptos de solución de las propuestas de solución...	62
3.9.5 Criterios para la selección de la propuesta.....	63
3.9.6 Peso de los criterios de evaluación.....	64
3.9.7 Evaluación y selección de la propuesta de solución.....	65
Capítulo 4. Diseño a Detalle.....	68
4.1. Sistema de tracción.....	68
4.1.1.Cálculos de la oruga como una banda .....	68

4.1.1.1.	Longitud de la oruga.....	68
4.1.1.2.	Análisis para obtener la potencia.....	69
4.2.	Actuador y controlador.....	71
4.2.1.	Selección del actuador.....	71
4.2.2.	Selección del controlador.....	72
4.3.	Selección de baterías.....	73
4.4.	Diseño del sistema de transmisión.....	74
4.4.1.	Cálculos del sistema de transmisión.....	74
4.4.2.	Dimensionamiento de los engranes de transmisión.....	76
4.4.3.	Selección del material de los engranes.....	79
4.4.4.	Selección del material del eje.....	80
4.4.5.	Dimensionamiento de los ejes de transmisión.....	81
4.4.6.	Sujeción de los engranes de transmisión.....	92
4.4.7.	Selección de los rodamientos del sistema de transmisión.....	94
4.5.	Diseño del sistema de compensación de la horizontal.....	97
4.5.1.	Configuración del sistema de compensación de la horizontal.....	98
4.5.2.	Cálculos de sistema encargado de compensar la horizontal.....	99
4.5.3.	Selección del actuador.....	102
4.5.4.	Descripción del sistema .....	103
4.5.5.	Dimensionamiento del sistema .....	109
4.5.6.	Calculo de eje, cuña y rodamientos.....	111
4.6.	Diseño del chasis.....	116
Capítulo 5.	Diseño a detalle: componentes electrónicos.....	120
5.1	Interconexión del microcontrolador y el Controlador Brushless.....	121
5.2	Circuito de control de cada acción.....	123
5.2.1.	Selección del sensor de inclinación.....	123
5.2.2	Diseño del circuito de elección.....	124
5.3	Etapas de potencia del actuador lineal.....	128
5.4	Diseño del filtro pasó bajas.....	130
5.5	PCB's ( <i>Printed Circuit Base</i> ) para el circuito.....	132
5.6	Diseño de interfaz con el usuario.....	135
Capítulo 6.	Prototipo virtual.....	137
6.1	Ensamble del dispositivo.....	137
6.1.1.	Ensamble de componentes de chasis.....	137

6.1.2. Ensamble del sistema de sujeción.....	146
6.2. Prototipo Virtual Terminado.....	150
6.3 Análisis estructural.....	155
6.3.1 Análisis estructural del chasis.....	155
6.3.2 Análisis estructural del soporte base.....	159
6.3.3 Análisis estructural del soporte central para el actuador.....	162
6.3.4 Análisis estructural del soporte para el eje.....	166
6.4 Lista de componentes.....	170
Conclusiones.....	173
Mesografía.....	175

### **Apéndices**

Apéndice A. Resultados de entrevistas a usuarios de sillas de ruedas.

Apéndice B. Código del programa realizado en Arduino.

Apéndice C. Planos de las piezas.

Apéndice D. Formato del cuestionario y formato de evaluación.

Apéndice E. Metodología de ponderación.

# Lista de figuras

<b>TABLA DE FIGURAS</b>	
<b>Capítulo 2. Marco teórico</b>	
Figura 2.1.1 Etapas fundamentales del método general de diseño.	6
Figura 2.1.2. Necesidad de los usuarios de silla de ruedas.	6
Figura 2.1.3. Generando solución para los usuarios de silla de ruedas.	7
Figura 2.1.4. Modelo de caja negra.	8
Figura 2.1.5. El comienzo del diseño conceptual se basa en la generación de ideas.	8
Figura 2.1.6. Detallando.	11
Figura 2.1.7 Experimentando.	12
Figura 2.2.1.a) Esquema de MACbot.	13
Figura 2.2.1. b) Primero, las orugas delanteras libran el obstáculo I) comienzan a rotar para subirlo II)se desplazan sobre el escalón III) las orugas traseras se aproximan al escalón y comienzan a girar para librar el obstáculo.	13
Figura 2.2.2 Robot con tracción reconfigurable.	14
Figura 2.2.3 Secuencia de movimientos del robot con tracción reconfigurable para ascender escaleras.	14
Figura 2.2.4 Se observa como las extremidades se van alternando para lograr subir.	15
Figura 2.2.5 Robot de servicio que logra desplazarse en escaleras mediante cadenas con rodillos, se muestran algunas de sus partes.	15
Figura 2.2.6 Prototipo de silla de ruedas.	15
Figura 2.2.7 Imagen de USGUARD subiendo escaleras.	16
Figura 2.3.1 iBOT 4000.	17
Figura 2.3.2 Challenger 4x4 ST.	18
Figura 2.3.3 OB-EW-001 Silla de Ruedas Eléctrica Universal.	18
Figura 2.3.4 Oruga Dorados Top Chair	18
Figura 2.3.5 Liftkar 2 Sube escaleras.	19
Figura 2.3.6 Oruga sube escaleras LG 2004 Sunrise.	20
Figura 2.3.7 Oruga sube escaleras Sherpa.	20
Figura 2.3.8 Plataforma Salvaescaleras PETR-64.	20
Figura 2.3.9 Silla sube escaleras Mod. STC-F.	21
Figura 2.5.1. a) Dimensiones de sillas de ruedas según el Manual de Recomendaciones de Accesibilidad de la Oficina para la Promoción e Integración Social para Personas con Discapacidad.	24
Figura 2.5.1.b) Dimensiones de sillas de ruedas según el Manual de Recomendaciones de Accesibilidad de la Oficina para la Promoción e Integración Social para Personas con Discapacidad.	25
Figura 2.5.2 Silla de ruedas manual de traslado 9201.	27
Figura 2.5.3 Figura geométrica del espacio de trabajo aproximado que se tiene por debajo de la silla.	28
Figura 2.6.1 Parámetros de escaleras.	29
Figura 2.6.2 Dimensiones de escaleras encontradas en la "NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-STPS-2008, EDIFICIOS, LOCALES, INSTALACIONES Y AREAS EN LOS CENTROS DE TRABAJO-CONDICIONES DE SEGURIDAD.	31
<b>Capítulo 3. Diseño conceptual</b>	
Figura 3.8.1. Mapa mental donde se describen los sistemas del dispositivo.	41
Figura 3.8.2 Relación entre los sistemas así como entradas y salidas que tienen los mismos.	42
Figura 3.9.1.a) Propuestas para el sistema de control de horizontal.	43
Figura 3.9.1.b) Propuestas para el sistema de control de horizontal.	43
Figura 3.9.1.c) Propuestas para el sistema de transmisión.	43
Figura 3.9.1.d) Propuestas para el sistema de tracción.	43
Figura 3.9.1.e) Propuestas para el sistema de control y operación.	43
Figura 3.9.1.f) Propuestas para el sistema de sujeción.	43
Figura 3.9.1.h) Se pueden ver los distintos sistemas y los conceptos de solución para cada uno de ellos.	44
Figura 3.9.2. Solución A.	54



## Lista de figuras

Figura 3.9.3 Propuesta B	55
Figura 3.9.4 Propuesta C	56
Figura 3.9.5 Propuesta D.	57
Figura 3.9.6 Propuesta E.	58
Figura 3.9.7 Propuesta F.	59
Figura 3.9.8 Propuesta G.	60
Figura F3.9.9 Propuesta H.	61
Capítulo 4. Diseño a detalle	
Figura 4.1.1. Forma de la oruga para calcular el diámetro de los engranes.	68
Figura 4.1.2. Paso y los dientes de la banda en el catálogo de orugas de caucho.	69
Figura 4.1.3. Diagrama de cuerpo libre para realizar el cálculo de potencia utilizando la 2ª Ley de Newton.	70
Figura 4.2.1 Diagrama de controlador de aceleración de la familia KEB de Kelly Control.	72
Figura 4.3.1 Optimum Battery.	74
Figura 4.4.1. Tren de engranes para la transmisión.	74
Figura 4.4.2. Parámetros de los dientes de un engrane	76
Figura 4.4.3. En esta imagen se muestran los parámetros del engrane, la circunferencia de adendo, dedendo y la circunferencia primitiva.	77
Figura 4.4.4. Sección transversal del tornillo sinfín.	79
Figura 4.4.5. Curva para determinar el factor de tamaño.	83
Figura 4.4.6.a) Esquema para el conjunto Corona (A) y 10 dientes (B).	83
Figura 4.4.6.b) Fuerzas para el conjunto Corona (A) y 10 dientes (B).	84
Figura 4.4.6.c) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje x.	85
Figura 4.4.6.d) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje y.	85
Figura 4.4.7.a) Esquema para el conjunto 20 dientes (C) y 12 dientes (D).	86
Figura 4.4.7.b) Fuerzas en el conjunto 20 dientes (C) y 12 dientes (D).	86
Figura 4.4.7.c) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje x.	87
Figura 4.4.7.d) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje y.	88
Figura 4.4.8.a) Esquema para el conjunto 28 dientes (E) y 15 dientes (F).	88
Figura 4.4.8.b) Fuerzas para el conjunto 28 dientes (E) y 15 dientes (F).	89
Figura 4.4.8.c) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje x.	89
Figura 4.4.8.d) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje y.	90
Figura 4.4.9.a) Esquema para el engrane (F) 15 dientes.	90
Figura 4.4.9.b) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje x.	91
Figura 4.4.9.c) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje y.	91
Figura 4.4.10. Se observa la imagen transversal de un eje con un cuñero.	92
Figura F4.5.1.a. Bosquejo del sistema de compensación de la horizontal, señalando el triángulo abc.	99
Figura F4.5.1.b. Bosquejo del sistema de compensación de la horizontal, señalando el triángulo kcl.	100
Figura 4.5.2 Diagrama de cuerpo libre, se observa una línea roja la cual hace referencia a dispositivo sobre escaleras y la línea gris es el sistema de sujeción cuando llega a un ángulo máximo para compensar el ángulo que se está inclinado el dispositivo.	101
Figura 4.5.3. Partes principales del sistema para compensar la horizontal.	104
Figura 4.5.4. Se muestran en tono azul el soporte base, éste se compone de dos partes una en cada lado.	104
Figura 4.5.5. Se muestran en tono azul las canaletas sobre las que va montada la silla de ruedas.	105
Figura 4.5.6. Guías de sujeción.	105
Figura 4.5.7.a) Para sujetar la silla se puede desplegar las guías variables hacia afuera o hacia	106

## Lista de figuras

adentro, si es posible. En la imagen se observa como la guía puede desplazarse a través de canal que se encuentra fijo al soporte base.	
Figura 4.5.7.b) Una vez que la silla haya subido por las rampas y esté sobre los canales, se despliegan las guías como ya se dijo anteriormente. En la imagen se observa como la guía se encuentra a la distancia adecuada donde está el tubo que se va a prensar.	106
Figura 4.5.7.c) Se hace esto con ambas guías para sujetar la silla de ambos lados, se colocan los tubos entre las prensas.	106
Figura 4.5.7.d) Se ajusta la cara variable al diámetro del tubo.	106
Figura 4.5.7.e) Finalmente, se coloca el tornillo, de esta manera quedará fija la silla de ruedas.	106
Figura 4.5.8.a) Se muestra con líneas naranjas uno de los rieles y de color azul el del otro lado. Mediante estos rieles se despliega la rampa.	107
Figura 4.5.8.a) Se muestra con líneas naranjas uno de los rieles y de color azul el del otro lado. Mediante estos rieles se despliega la rampa.	108
Figura 4.5.8 b) Vista lateral del sistema de sujeción donde se aprecia en color azul el riel para la rampa.	107
Figura 4.5.8. c) Se muestran en tono azul las rampas desplegadas en ambos lados.	107
Figura 4.5.9.a) Se muestran en color azul las guías, está compuesto por tres guías, una de ellas colocada a la altura del eje y las otras dos unidas a la canaleta haciéndose una sola pieza.	107
Figura 4.5.9.b). Vista superior	107
Figura 4.5.9.c). Para aumentar el ancho del sistema de sujeción para poder ser adaptado a sillas de ruedas de anchos mayores a 430mm, se jalan en la dirección que se muestra en la figura quitando previamente el tornillo.	108
Figura 4.5.9.d). Se muestra las canaletas desplegadas hasta su ancho máximo.	108
Figura 4.5.9.e). Se muestran las guías ajustadas para el ancho mínimo. También se observa el tornillo que permite fijar el ancho.	108
Figura 4.5.9f). Se muestran las guías en ajustadas en su ancho máximo.	108
Figura 4.5.10.a). Se muestra el canal en azul el canal de contacto con el actuador lineal.	109
Figura 4.5.10.b). Se muestran como el actuador lineal está en contacto con la canaleta, también se observa la rueda para que el ángulo entre la canaleta y el actuador pueda cambiar y para que la canaleta se mueva a través del actuador.	109
Figura 4.5.11. Distancia exterior que existe entre las llantas traseras y delanteras	110
Figura 4.5.12. Dimensiones de la canaleta	111
Figura 4.5.13. Diagrama de cuerpo libre para el cálculo del eje.	112
Figura 4.5.14. Diagrama de cuerpo libre para determinar las reacciones en los rodamientos.	112
Figura 4.5.15. Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje y.	113
Figura 4.8.1. Vista superior del chasis donde se observan la secciones de éste.	116
Figura 4.8.2. Vista lateral del chasis con elementos ensamblados.	116
Figura 4.8.3. Se muestran las partes del chasis según los elementos que éste soporta.	117
Figura 4.8.4. Se observa el panel exterior e interior.	117
Figura 4.8.5. Vista superior en donde destacan los segmentos transversales para cada panel exterior.	118
<b>Capítulo 5. Diseño a detalle</b>	
Figura 5.0 Diagrama del circuito.	121
Figura 5.1.1 En esta imagen se muestra como se debe de conectar el controlador para que el motor gire hacia adelante y hacia atrás.	121
Figura 5.1.2. Interconexión para cada motor entre el microcontrolador y el motor brushless.	122
Figura 5.2.1. Sensor de inclinación C-7231.	124
Figura F5.2.2 Entradas y salidas para el circuito encargado de las decisiones.	125
Figura 5.2.3. Circuito simulado en el software Proteus, donde se puede observar el GAL encargado de decodificar las señales de los botones hacia el microcontrolador el cual tiene programadas la rutina para cada acción y finalmente las salidas de microcontrolador.	126

## Lista de figuras

Figura 5.2.4. Se muestra el diagrama de estados para la función subir o bajar escaleras.	127
Figura 5.2.5. Diagrama de flujo de las acciones del dispositivo.	128
Figura 5.3.1.a) Se muestra el flujo de corriente en el puente H para que el actuador vaya hacia arriba.	129
Figura 5.3.1.b) Se muestra el flujo de corriente en el puente H para que el actuador lineal vaya hacia abajo.	129
Figura F5.4.1 Se muestra en la gráfica inferior el primer filtro y en la superior el reasignado, el valor de la señal de PWM manejado en esta primera simulación es del 50% de 5v, por lo que el valor al que deben acercarse es de 2.5 [V].	130
Figura 5.4.2 Circuito para probar el filtro variando el PWM mediante un potenciómetro.	131
Figura 5.4.3. a) 0%(0[V]).	131
Figura 5.4.3 b) 20%(1[V]).	131
Figura 5.4.3 c) 40%(2[V]).	131
Figura 5.4.3 d) 60%(3[V]).	131
Figura 5.4.3 e) 80%(4[V]).	131
Figura 5.4.3 f) 100%(5[V]).	131
Figura 5.5.1 PCB de control.	133
Figura 5.5.2. Botones y regulador de 5[V].	133
Figura 5.5.3. PCB de potencia.	134
Figura F5.5.4. PCB de los botones.	135
Figura 5.6.1 Control manual, vista frontal y vista lateral.	135
Figura 5.6.2 Se observan los compartimientos destinados a cada parte en el control manual.	136
<b>Capítulo 6. Prototipo Virtual</b>	
Figura 6.1.1. En la figura se observa el espacio que existe entre la oruga y el chasis, así como el espacio entre la cara exterior del chasis y la cara exterior de la oruga.	137
Figura 6.1.2. Canal de la oruga en el que se incrusta el engrane conductor y el engrane de arrastre.	138
Figura 6.1.3. Se muestran las baterías ensambladas a la parte a donde están destinadas en el chasis.	138
Figura 6.1.4.a) Ensamble de la primera fase.	139
Figura 6.1.4b) Vista explosionada de la primera fase del ensamble.	139
Figura 6.1.5.a) Vistas de los engranes colocados en el chasis.	140
Figura 6.1.5.b) Se muestra una vista explosionada de los engranes.	140
Figura 6.1.6. Se muestran los ejes colocados para los engranes anteriormente colocados. Los ejes ya tienen ensamblados los seguros y las cuñas.	141
Figura 6.1.7.a) Ensamble de uno de los ejes con las cuñas y seguros e.	141
Figura 6.1.7.b) Se muestra una vista explosionada de uno de los ejes, cuñas y los seguros e.	141
Figura 6.1.8.a) Se muestran los baleros colocados.	142
Figura 6.1.8.b) Se muestra una vista explosionada de los baleros y el soporte de uno de ellos.	142
Figura 6.1.9. Se muestra en la imagen el ensamble de los motores junto con el sinfín y sus soportes.	143
Figura 6.1.10. Se muestran los elementos de la transmisión ensamblados al chasis y las vistas del mismo así como su isométrico.	143
Figura 6.1.11. Se observan los engranes de arrastre ensamblados con sus hijos y las guías para tensionar la banda.	144
Figura 6.1.12. Se muestran los controladores para los motores y la circuitería ensamblados al chasis.	145
Figura 6.1.13. Vista explosionada del conjunto de elementos descritos anteriormente que van ensamblados al chasis.	145
6.1.14.a) Imagen explosionada de los soportes base con el soporte central y la guía.	146
6.1.14.b) Ensamble de los soportes base con el soporte central y la guía.	146
Figura 6.1.15.a) Explosivo del subensamble del canal exterior.	146
Figura 6.1.15.a) Explosivo del subensamble del canal exterior.	146
Figura 6.1.15.b) Subensamble del canal exterior.	146
Figura 6.1.16.a) Se observa una vista lateral, en donde se muestra en azul el soporte base, de éste se observa que no es uniforme en altura ya que se observa como de un lado queda apoyado el canal y	147

## Lista de figuras

<i>del otro lado quedan apoyados los rieles que a su vez están ensamblados en el canal.</i>	
<i>Figura 6.1.16.b) Se observan en azul la estructura donde va soportada la parte trasera del canal.</i>	147
<i>Figura 6.1.16.b) Se observa en azul la parte de la estructura donde van apoyados los rieles.</i>	147
<i>Figura 6.1.17.a) En esta imagen se observa el subensamble junto del canal junto con los soportes base, unidos al soporte central y a la guía.</i>	147
<i>Figura 6.1.17.b) Vistas de el soporte base con los canales ensamblados.</i>	148
<i>Figura 6.1.18.a) Se muestra el explosivo de los soportes para el eje que se unen con la guía.</i>	148
<i>Figura 6.1.18.b) Ensamble de los soportes para el eje que se unen con la guía.</i>	148
<i>Figura 6.1.19.a) Vista explosionada de la guía de sujeción.</i>	148
<i>Figura 6.1.19.b) Ensamble de la guía de sujeción con el canal que está fijo a l soporte base.</i>	148
<i>Figura 6.1.20.a) Subensamble del actuador lineal con la rueda.</i>	149
<i>Figura 6.1.20.b) Actuador lineal ensamblado a la estructura del sistema de sujeción.</i>	149
<i>Figura 6.1.21. Vistas del ensamble del sistema de sujeción.</i>	149
<i>Figura 6.1.22.a) Sistema de sujeción ensamblado a los baleros que se encuentran en el chasis.</i>	150
<i>Figura 6.1.22.b) En esta imagen se observa cómo el actuador lineal está soportado en el chasis.</i>	150
<i>Figura 6.2.1. Vista frontal.</i>	151
<i>Figura 6.2.2. Vista lateral derecha.</i>	151
<i>Figura 6.2.3. Vista superior.</i>	152
<i>Figura 6.2.4. Vista trasera.</i>	152
<i>Figura 6.2.5. Vista lateral izquierda.</i>	153
<i>Figura 6.2.6. Vista inferior.</i>	153
<i>Figura 6.2.7.a). Vista isométrica, en esta vista se pueden ver las rampas desplegadas.</i>	154
<i>Figura 6.2.7.b). Vista isométrica.</i>	154
<i>Figura 6.3.1. Sujeciones del chasis para el análisis estructural.</i>	155
<i>Figura 6.3.2. En morado se aprecian las cargas aplicadas al chasis para el análisis estructural.</i>	156
<i>Figura 6.3.3. Mallado en el chasis.</i>	157
<i>Figura 6.3.4. Resultados de análisis de Von Mises para el chasis.</i>	157
<i>Figura 6.3.5. Resultado de análisis en el desplazamiento en le chasis.</i>	158
<i>Figura 6.3.6. Resultado de análisis de fiabilidad del factor de seguridad.</i>	158
<i>Figura 6.3.7. Soporte base.</i>	159
<i>Figura 6.3.8. En la imagen se muestran las sujeciones en verde y las cargas de morado.</i>	159
<i>Figura 6.3.9. Se observa el mallado en el soporte base.</i>	160
<i>Figura 6.3.10. Resultados de análisis de Von Mises para el soporte base.</i>	161
<i>Figura 6.3.11. Resultado del análisis de desplazamiento en el soporte base.</i>	161
<i>Figura 6.3.12. Resultado para el factor de seguridad del soporte base.</i>	162
<i>Figura 6.3.13. Canal central.</i>	162
<i>Figura 6.3.14. Sujeciones en el soporte base.</i>	163
<i>Figura 6.3.15. Cargas en el soporte base.</i>	163
<i>Figura 6.3.16. Resultados del análisis de Von Mises del soporte central.</i>	164
<i>Figura 6.3.17. Resultados del análisis de desplazamiento del soporte base.</i>	164
<i>Figura 6.3.18. Resultados para el factor de seguridad del soporte base</i>	165
<i>Figura 6.3.19. Soporte para el eje.</i>	166
<i>Figura 6.3.20. Se observan las sujeciones del soporte para el eje además de las cargas.</i>	166
<i>Figura 6.3.21. Se observa donde son aplicadas las cargas.</i>	167
<i>Figura 6.3.22. Mallado del soporte para el eje.</i>	168
<i>Figura 6.3.23. Resultados del análisis de Von Mises del soporte para el eje.</i>	168
<i>Figura 6.3.24. Resultados del análisis de desplazamiento para el soporte del eje.</i>	169
<i>Figura 6.3.25. Resultados para el factor de seguridad del soporte para el eje.</i>	169

En esta ciudad y en el mundo existen personas que tienen la necesidad de utilizar una silla de ruedas por distintas razones, ya sea una discapacidad física provocada por un accidente, por una enfermedad o a causa de la vejez y muchas más razones. Esta situación limita su movilidad, impidiendo desplazarse con libertad por algunos lugares, los cuales presentan obstáculos difíciles de transitar con dicha silla, como son escaleras, escalones o incluso baches. A pesar de que hoy en día se ha tomado en cuenta este tipo de problemática, dando como solución la creación de rampas de acceso, aun así existen espacios en los cuales no se consideraron las necesidades de personas con capacidades diferentes, por lo que carecen de instalaciones adecuadas. Esto también ocurre dentro de los hogares de las familias mexicanas.

Existen productos desarrollados para facilitar esta tarea. Se han creado con diferentes mecanismos y distintos dispositivos los cuales permiten que una silla de ruedas suba y baje escaleras, sin embargo la mayoría son de difícil adquisición y sobre todo son muy poco accesibles económicamente. Esta es una de las principales desventajas de dichos productos, ya que no cualquier persona cuenta con los recursos suficientes para adquirirlo, llegando a condicionar la libertad de movimiento por un alto precio. Existen productos muy sofisticados y de alta tecnología que además de subir y bajar escaleras presentan otras funciones que le permiten al usuario no solamente desplazarse. Tal es el caso de la silla de ruedas *Ibot 4000<sup>[1]</sup>* cuyo complejo sistema se basa en sensores y giroscopios que permiten la tarea de subir escaleras, desplazarse en dos ruedas guardando el equilibrio, cabe aclarar que el sistema de *Ibot 4000* maneja diferentes modos de trabajo donde se pueden usar 4 ó 2 ruedas para el desplazamiento; la gran desventaja de este producto es su alto costo.

Por ello es que se congregó el grupo de trabajo, con el objetivo de desarrollar un dispositivo que ayude con dicha problemática a un precio que sea más accesible, tomando en cuenta los requerimientos del usuario al que está enfocado el dispositivo, así como el entorno en el que será usado.

Toda la planeación del presente trabajo se funda en una metodología posteriormente presentada, y se desarrolla de la siguiente forma; la introducción, que define el contexto del proyecto; así como un marco teórico, que está conformado por la definición de la problemática, investigación tanto de mercado como estado del arte, la búsqueda de requerimientos y necesidades.

Posteriormente se plantea el diseño conceptual, donde se desarrollan las posibles ideas que puedan dar solución al problema; el diseño a detalle que es la parte en la que el modelado de los elementos de la propuesta se presenta para cuantificar sus propiedades; forma, material, y dimensiones; mediante cálculos, normas y demás. Finalmente se llega a la parte de simulación virtual, esta parte presenta el uso de herramientas computacionales para realizar diseños asistidos por computadora y algunas pruebas virtuales.

## Capítulo 1. Antecedentes

### 1.1 Análisis del contexto del proyecto

Para iniciar este proyecto es necesario conocer el contexto en el que se desarrollará, para determinar las necesidades que tienen las personas a las que va dirigido el dispositivo. Desgraciadamente las ciudades no están diseñadas en su totalidad para los usuarios de una silla de ruedas, encontrándose con distintos obstáculos durante su traslado de un lugar a otro. Dentro de las edificaciones y espacios públicos, uno de los obstáculos más comunes para los usuarios de sillas de ruedas son las escaleras.

Para poder comprender y solucionar mejor el problema cabe hacer la distinción entre discapacidad y deficiencia.

La discapacidad es una realidad humana que ha sido percibida de manera diferente a lo largo de la historia y civilizaciones.

La visión que se le ha dado a lo largo del siglo XX estaba relacionada con una condición o función que se considera deteriorada respecto del estándar general de un individuo o de su grupo.

La Organización Mundial de la Salud, define cada una de ellas de la siguiente manera:

**Deficiencia:** Es la pérdida o la anomalía de una estructura o de una función psicológica, fisiológica o anatómica, que puede ser temporal o permanente. Entre las deficiencias se incluye la existencia o aparición de una anomalía, defecto o pérdida producida por un miembro, órgano, tejido o cualquier otra estructura del cuerpo, incluidos los sistemas de la función mental.

**Discapacidad:** Es cualquier restricción o impedimento de la capacidad de realizar una actividad en la forma o dentro del margen que se considera normal para el ser humano. La discapacidad se caracteriza por excesos o insuficiencias en el desempeño de una actividad rutinaria normal, los cuales pueden ser temporales o permanentes, reversibles o surgir como consecuencia directa de la deficiencia o como una respuesta del propio individuo, sobre todo la psicológica.

Las personas con alguna discapacidad, sufren de discriminación y no sólo proviene directamente del trato de las personas, si no que indirectamente se les discrimina al no pensar en que ellos habitan en el mismo lugar que las personas sin discapacidades, transitan por las mismas calles y requieren de los mismos servicios al igual que todo ciudadano de este país; a veces la posibilidad de educación es limitada al igual que su desarrollo profesional; tienen acceso restringido a edificios públicos y transporte debido a sus limitaciones.

La ONU ha luchado por mejorar la vida de las personas con discapacidad. En el decenio de 1970, el concepto de los derechos humanos de las personas con discapacidad ganó más aceptación internacional.

#### **Clasificación de la discapacidad**

Dentro de la gran gama de discapacidades existentes, el Dr. Mario Suárez Jiménez, especialista endocrinólogo Jubilado del IMSS comenta que estas pueden ser catalogadas en los siguientes rubros:

**Discapacidad física:** Esta es la clasificación que cuenta con las alteraciones más frecuentes, las cuales son secuelas de poliomielitis, lesión medular (parapléjico o cuadripléjico) y amputaciones. Estas afectan de manera física el cuerpo humano, dejando su estructura física (ósea, muscular, nerviosa) deformada de alguna manera.

**Discapacidad sensorial:** Comprende a las personas con deficiencias visuales, a los sordos y a quienes presentan problemas en la comunicación y de lenguaje. Como el nombre lo indica esta discapacidad afecta a los sentidos.



# 1. Antecedentes

**Discapacidad intelectual:** Se caracteriza por una disminución de las funciones mentales superiores (inteligencia, lenguaje, aprendizaje, entre otros), así como de las funciones motoras. Esta discapacidad abarca toda una serie de enfermedades y trastornos, dentro de las cuales se encuentran el retraso mental, el síndrome Down y la parálisis cerebral.

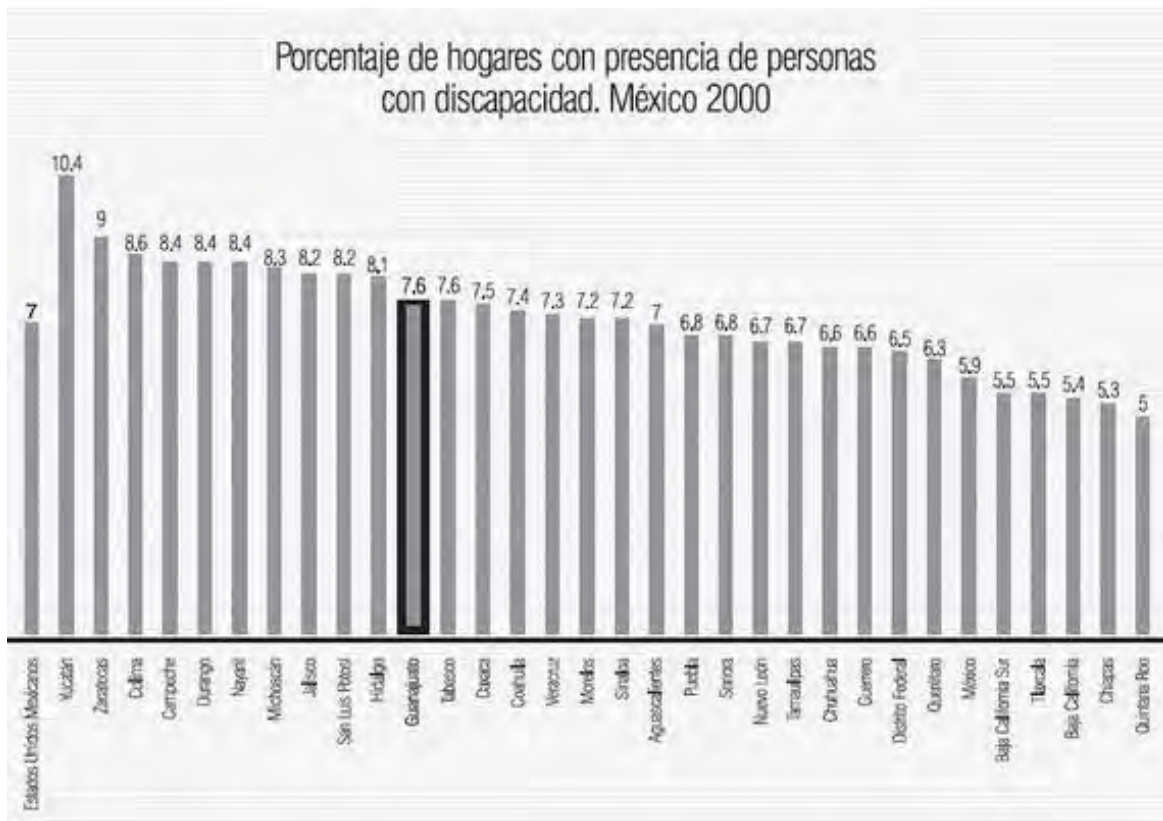
**Discapacidad psíquica:** Las personas sufren alteraciones neurológicas, trastornos cerebrales, y en algunas veces de los nervios periféricos.

En México el análisis de la existencia de personas con discapacidad también es amplio. El INEGI publicó en el 2003:

*Que hay ocho personas con discapacidad motriz por cada mil habitantes en el país; es decir, poco más de 814 mil personas. De ellas, 76.2% vive en localidades urbanas y 23.8% en rurales.*

*Cabe señalar que la mitad de la población con discapacidad motriz (50.4%) es mayor de 60 años, lo que permite suponer que ésta se encuentra asociada al proceso de envejecimiento; por otro lado, 38.5% se concentra en la población en edad de trabajar y 10.1% es menor de 15 años.”*

Lo cual supone que la población con requerimientos especiales es extensa. Sin embargo, surge el siguiente cuestionamiento: ¿cuál es la distribución de estas personas en el país? Esta pregunta se responde con información proporcionada por el INEGI; gráfica 1.1.1.

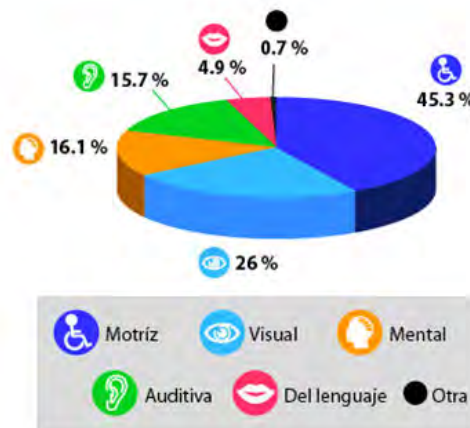


Gráfica 1.1.1 Porcentaje de personas discapacitadas por estado.

Como se puede apreciar el porcentaje promedio de las personas discapacitadas oscila en un 7%, que es la media de la distribución representada. En el caso del D.F. donde es de 6.5% y la cantidad de habitantes para el año 2000 es de 8 720 916 según el INEGI, se estima un número de discapacitados de 566 859 personas, lo cual es un número significativo. De esta cantidad, sólo el 45.3% tiene discapacidades motrices y los demás están distribuidos como se presenta en la figura 1.1.2.

# 1. Antecedentes

Distribución porcentual de la población según tipo de discapacidad (Año 2000).

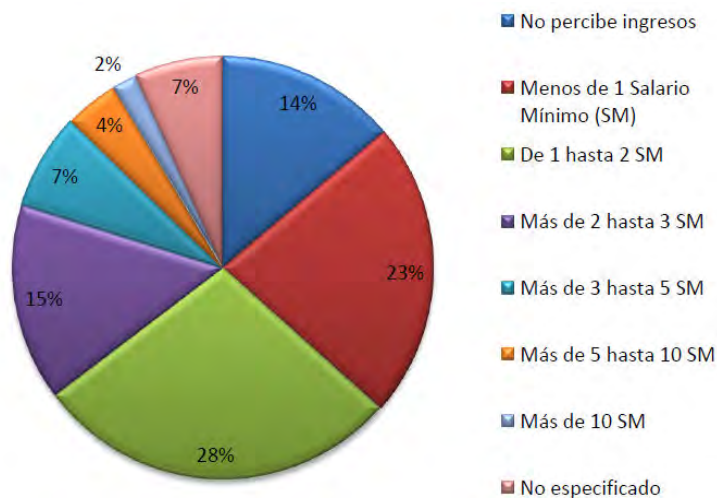


La suma de los porcentajes puede superar 100% porque algunas personas presentan más de una discapacidad.

FUENTE: [INEGI](#) Las personas con discapacidad en México: una visión censal.

Gráfica 1.1.2. Porcentaje de discapacitados por su tipo de discapacidad.

Sin embargo parte del objetivo de este trabajo es desarrollar un dispositivo que sea viable económicamente, dado que poco más de la mitad de la población en México percibe hasta 2 salarios mínimos, este dato se recopila del INEGI en la gráfica 1.1.3.



Gráfica 1.1.3. Ingresos de Discapacitados.

El grueso de la población se encuentra entre 1 y 2 salarios mínimos con un 28% y menos de 1 salario con 23%. Lo cual es un ingreso bajo si se considera que un porcentaje posee algún tipo de discapacidad. Por ello, se busca desarrollar un producto con un costo económico bajo que sea accesible para la mayoría de la población de bajos recursos.

## Definición del usuario

Conociendo la gama de personas existentes, sus padecimientos y otros elementos a los cuales están sujetos estos individuos es posible delimitar al tipo de usuario. Dado que las necesidades para cada tipo de discapacidad son diversas se considera conveniente la definición de un usuario



---

## 1. Antecedentes

---

con características bien definidas que resulte de un análisis previo, para tener mayor seguridad, eficiencia y control sobre el desarrollo del proyecto.

Se requiere que la persona esté consciente de los movimientos y de las operaciones del dispositivo, así como movilidad suficiente en sus extremidades superiores para poder utilizar el mando del sistema. Para que tenga conciencia del punto al que quiere llegar.

Mediante visitas al Instituto Nacional de Rehabilitación (INR), el Dr. Raúl Granados Rentería, especialista del Instituto dio a conocer los principales problemas de marcha (problemas para realizar acciones que les permiten caminar) ya sean temporales o definitivos, y que se pueden clasificar en los siguientes rubros:

*Musculares:* Un problema a muscular puede ir desde una distensión (esguince) muscular a una ruptura de las fibras y tendones, hasta los denominados miositis, que es la inflamación de los músculos. Generalmente está ligado con los tejidos óseos, cartilagosos, articulares y tendinosos.

*Neurológicas:* Pueden llegar desde traumas cerebrales o pueden ser enfermedades de las neuronas motoras, se pueden generalizar en problemas del sistema nervioso central y periférico.

*Encefalomiелitis:* son lesiones provocadas por microorganismos o bacterias y es un estado inflamatorio de las vías de comunicación, o también las lesiones por traumatismos.

*Traumatológicas:* Lesiones ocasionadas por algún trauma, entre ellas fracturas, contusiones, hematomas, etc.

*Ortopédicas:* Asociadas a deformidades, enfermedades y molestias del aparato locomotor. Especialmente las que afectan a los miembros, los huesos, los músculos, las articulaciones y las fascias.

*Tumorales:* Tumor; se define como cualquier masa anormal resultante de la multiplicación celular excesiva, lo que puede generar que la marcha se vea mermada.

*Osteoarticulares:* Se refiere a tejido articular y óseo.

*Lesiones de columna:* Son afección al sistema nervioso central y a los cuerpos vertebrales de la columna, pueden ir desde deslizamiento de los discos medulares hasta la fractura de alguno o más de estos.

Dentro de los padecimientos se tiene la poliomiелitis dado que lesiona las vías motoras en de la médula espinal.

El tener una discapacidad física es algo de lo que no está exenta ninguna persona, sin importar raza, sexo, edad, condición económica; es una dificultad que en cualquier momento puede presentarse. Nadie elige estar en esa situación, es por eso que todas las personas, que tengan una discapacidad o no, deberían de tener igualdad de condiciones para poder desarrollarse en su entorno, lo cual no es así, ya que muchos países (incluyendo México) las calles, los edificios, las casas, etc. no están pensados para que las personas con una discapacidad motriz, que tienen la necesidad de utilizar una silla de ruedas se desplacen libremente con las mínimas dificultades.

### Capítulo 2. Marco Teórico

En el texto siguiente se encuentra una compilación de elementos que sirven para determinar las bases del proyecto en curso. En este se encuentran elementos de desarrollo actual y comercial, así como los conceptos de diseño.

#### 1.2 Método Genérico de diseño

Todo diseñador en la ingeniería y en las diferentes áreas maneja alguna metodología para lograr su propósito de creatividad, esta metodología marca la planeación del desarrollo del proyecto; ya sea con la que mejor se acomode o con la que se identifique. Sin embargo, todas las metodologías parten de cuatro etapas esenciales, como lo menciona el autor George E. Dieter, en su libro *Engineering Design*<sup>[23]</sup>, independientemente si el diseño es lineal o concurrente.

Estas cuatro etapas fundamentales en cualquier diseño, pueden ser vistas como el *método general* o *genérico de diseño* (Figura 2.1.1), las cuales son:



Figura 2.1.1 Etapas fundamentales del método general de diseño

#### Definición del proyecto y especificaciones

Dentro de esta etapa se definen elementos que le dan la forma más básica a lo que se trata de abordar, en la ingeniería es propiamente el problema a solucionar.



Ahora bien los elementos básicos para dar la forma del problema son:

Necesidad: la base para entender el problema es razonar cuál es la necesidad a satisfacer. Para comprender más claramente la necesidad es un elemento faltante y/o requerimiento por un grupo o un cliente. Un ejemplo de lo que es la necesidad, véase la siguiente figura 2.1.2:

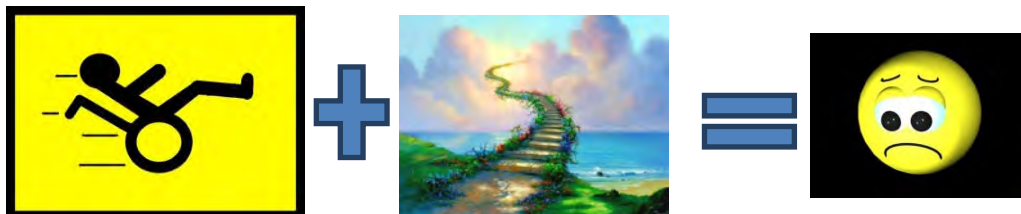


Figura 2.1.2. Necesidad de los usuarios de silla de ruedas.

El ejemplo es tomado del mismo tema central de la presente tesis, existen personas con discapacidad en silla de ruedas y escaleras que generan una necesidad. Esta necesidad es la movilidad, la posibilidad de libertad de desplazamiento.

## 2. Marco teórico

- Problemática: La problemática es la hipótesis de una posible solución al problema, la solución depende de los deseos, alcances, apoyos, tiempo, entre otros (Figura 2.1.3)

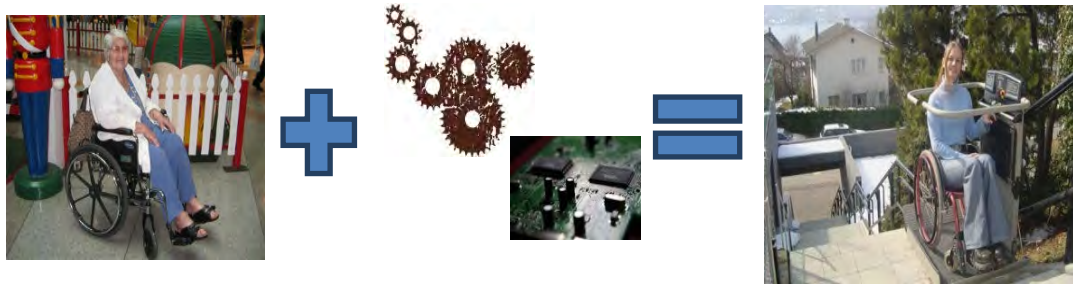


Figura 2.1.3. Generando solución para los usuarios de silla de ruedas.

A un problema existen muchas soluciones, sin embargo, encontrar la adecuada es lo que más concierne a la ingeniería. Como existen muchas tecnologías se debe de buscar la solución más congruente a todo lo que rodea el problema.

- Objetivos: Los objetivos son la solución posible al problema que se pretende solucionar.
- Alcances: Los alcances se refieren a las metas que se debe de llegar a lo largo del proceso de diseño.

Los alcances dependen de fundamentalmente de:

1. Los deseos del sector o cliente.
2. Los recursos con que se cuenta.

Estas son generalmente las dos más grandes limitantes a la hora de definir los alcances a los cuales se tiene que llegar al final del proyecto.

- Requerimientos: Los requerimientos son cualidades que se necesitan o se solicita que tenga la solución de dicho problema, generalmente pueden definirse por medios como:

1. Estudio de mercado.
2. Entrevistas con clientes.
3. Cuestionarios.
4. Por lógica.
5. Por experiencia.
6. Matriz QFD.

Estos elementos pueden ser de la forma, tamaño, funciones que se deseen.

- Especificaciones: Las especificaciones son requerimientos que son cuantificados, ya sean unitarios o rangos.

Pueden existir requerimientos que lleguen a ser difíciles de cuantificar o de poner un rango, analizar el ejemplo de un pastillero de medicamentos portátil que sea rápido de programar. No existe una unidad directa para medir esta necesidad, por lo que en estos casos se usan especificaciones indirectas que puedan demostrar que es rápido de programar; se cuantificando el número de pasos a programar.

## 2. Marco teórico

- Modelos de caja negra: En éste se puede definir la solución como una caja negra la cual no se sabe qué es, lo importante de esto es que se definen tres elementos muy importantes para el diseño: los elementos que entran al sistema, los que salen y los que se desechan, (Figura 2.1.4).



Figura 2.1.4. Modelo de caja negra.

- Funciones: Ya determinada cada una de las especificaciones y requerimientos, se puede determinar qué funciones tiene la solución al problema; estas funciones son muy importantes de definir porque determinan los sistemas y subsistemas que tiene el concepto de solución.
- Diagramas de interrelación: el diagrama de interrelación es un diagrama de flujo del comportamiento básico del sistema y es una primera aproximación a la solución que se tiene en mente.

### Diseño conceptual

El diseño conceptual se basa en el desarrollo de un sin número de soluciones a cada uno de las funciones y su acomodo para lograr los objetivos; esto se basa fundamentalmente en las siguientes etapas:



Figura 2.1.5. El comienzo del diseño conceptual se basa en la generación de ideas.

---

## 2. Marco teórico

---

- Generación de opciones de solución: (2.1.5) esta etapa se basa fundamentalmente en encontrar soluciones a cada una de las funciones designadas (ya sean sistemas o subsistemas), éstas pueden venir de elementos como:

1. Analogías (con la naturaleza, experiencias, simbólicas, fantásticas y otros).
2. Lluvia de ideas.
3. El estado del arte.
4. Estudio de mercado.

- Generación de Alternativas: mediante elementos como matrices morfológicas, arboles de desarrollo, mapas axiomáticos y otros elementos, se hacen combinaciones de las posibles soluciones al problema común, interrelacionando los diferentes conceptos. De aquí nacen las posibles alternativas y para conformarlas se toman elementos tales como lo son los recursos con que se cuenta y las tecnologías de que se dispone; de éstas se seleccionan las mejores y/o las más viables.

- Evaluación de las alternativas: dentro del proceso de concepción del diseño a realizar no se pueden tomar en cuenta más de una solución en el proceso, es realmente raro cuando se realizan dos soluciones en paralelo dentro de un mismo equipo de trabajo; lo más común es enfocarse en una solución. Es por ello que después de la generación de alternativas venga una fase la cual tenga la intención de escoger la más viable, para ello se usan matrices de evaluación, árboles de decisión y otras herramientas para este fin. El objetivo es simple, seleccionar la solución más apropiada para el cliente y para el o los diseñadores que la realizan; dado a que se tiene que ajustar lo más posible a recursos como; dinero, tiempo, habilidad y otros parámetros incluyendo los del cliente.

Para la evaluación de las propuestas se utiliza una escala de evaluación, calificando cada criterio con cierto puntaje según el grado de aceptación que tenga, esto de acuerdo a la escala de evaluación elegida. Usualmente se usan de dos tipos de escalas de evaluación, la de 5 y la de 11 puntos (Tabla 2.1.1 y Tabla 2.1.2 respectivamente).

Tabla 2.1.1 Escala de los 5 puntos.

5 puntos de escala	Descripción
1	Inadecuada
2	Débil
3	Satisfactoria
4	Buena
5	Excelente

---

## 2. Marco teórico

---

11 puntos de escala	Descripción
0	Totalmente inútil
1	Muy inútil
2	Débil
3	Pobre
4	Tolerable
5	Satisfactoria
6	Buena solución con algunos inconvenientes
7	Buena solución
8	Muy buena
9	Excelente
10	Ideal

Las características para manejar uno respecto a otro son las siguientes:

- Se recomienda usar la de 5 puntos, cuando no se conoce a profundidad el tema o cuando se requiere de una evaluación rápida y sencilla.
- Se aconseja usar la de 11 puntos cuando el tema se conoce y la equidad de la selección importa demasiado.

Respecto a la metodología de evaluación para realizar una selección más equitativa se utiliza una metodología que fundamente la selección. Esta metodología consta de los siguientes elementos:

- I. Determinación de los criterios de selección
- II. Determinación de los pesos de cada criterio.
- III. Determinación de la escala de evaluación
- IV. Evaluación de cada propuesta según la escala de evaluación
- V. Sacar el puntaje total para cada propuesta
- VI. Comparar las calificaciones totales.

La metodología usada a lo largo del trabajo es la de ponderación, si se requiere de una mayor información referente a esta ver el Apéndice E.

## 2. Marco teórico

- Configuración de la solución o Arquitectura del producto: Esta parte es de qué manera se han de acomodar los conceptos de solución, para la mayor optimización de espacio, tiempo, energía y recursos. Para ello se realizan diferentes bocetos u otra herramienta que ayude a esta etapa. Ahora bien se realiza una etapa de comunicación de la idea o ideas desarrolladas, las cuales entrarán de nuevo a una etapa de evaluación. Con el fin de determinar la mejor alternativa.

La idea de esta parte tiene el fin de generar una primera aproximación conceptual a la solución, bien o servicio, sea el caso que se establezca anteriormente por el cliente.

### **Diseño a detalle**

El diseño a detalle constituye una parte en la cual entra el concepto a realizar y debe de dar las herramientas para que éste pueda ser constituido, fabricado y ensamblado (Figura 2.1.6). Las fases por las cuales pasa el diseño conceptual en esta etapa son básicamente:



Figura 2.1.6. Detallando

- Fase de cálculo: Dado que sólo se entregan los conceptos; existen, objetos u otros elementos que requieren ser calculados, por ejemplo los motores eléctricos, se debe de analizar cuáles deben de ser sus características para poder hacer la selección posterior. Es decir, entran a un análisis para determinar las características mínimas para su buen funcionamiento, ya sean actuadores, uniones (mecánicas o fijas), perfiles, tubos y demás.
- Desglose de identidades: Esto quiere decir que cada uno de los sistemas debe de ser analizado hasta el punto mínimo de su construcción; esto tiene el objeto de hacerse una primera aproximación de los elementos que lo constituyen, y así determinar cuáles partes deben de fabricarse o seleccionarse.
- Selección de elementos comerciales: En muchos de los casos los diseñadores e ingenieros de diseño se limita lo existente al mercado. Se tiene una gama de objetos, los cuales pueden satisfacer o no sus necesidades; ejemplos de éstos son los actuadores. El objetivo es encontrar elemento comercial que pueda satisfacer de la mejor manera los requerimientos del diseño.
- Selección de material y de proceso: En el caso de que se requieran objetos o elementos que no existan en el mercado o estén fuera de las posibilidades y se llegue a la necesidad de fabricarlos, es necesario someterlo a una selección de material y proceso, el cual se basa en los requerimientos a los cuales debe de satisfacer; dado que también para el caso de los materiales y

## 2. Marco teórico

procesos de manufactura existen una gran cantidad, es difícil de seleccionar, por eso es que nuevamente se entra en una etapa de evaluación para determinar qué es lo mejor y óptimo.

- **Etapa de Dibujo:** Esta etapa es donde se realizan de manera exacta los dibujos de la constitución de los elementos, sistemas, el bien y otras cosas. Puede ser realizado en un software de CAD (Computer Asisted Desing) o por un dibujante técnico; realizando los planos de ensamble, explosión y fabricación.
- **BOM (Bill Of Material):** Esta es una lista de cada uno de los elementos que constituyen la solución, pero ya con su nombre comercial, costo, fabricante, ubicación y cantidad de elementos que deben de existir para una unidad. Esto es muy útil dado que da cuenta de varias cosas entre ellas el costo total del proyecto (prototipo o fabricación según sea el caso).

Al final de esta etapa se debe de entregar todos los documentos que permitan la materialización del proyecto, estos son los planos de diferente índole, lista de materiales y otros que se requieran.

### **Etapa de prototipo**

La frase “la mejor forma de saber si algo funciona es probando” del diseñador industrial Richard Stevens, describe de la mejor manera esta etapa, ya que esta comprueba que la solución, de un sistema o elemento funcione, de la manera adecuada o no, detectando sus fortalezas y sus debilidades (Figura 2.1.7).



Figura 2.1.7 Experimentando.

Existen dos grandes tipos de prototipos:

- **Prototipos físicos:** Los cuales se realizan dependiendo de la necesidad en tamaño real o a escala, siempre respetando las relaciones físicas (a escala si es necesario) para aproximar lo más posible a la realidad. El objeto de esto es asegurar que en la realidad donde pasan acciones generalmente no previstas, se observe el comportamiento para poder dar la aprobación o no. Las pruebas físicas son de muchos tipos:
  1. **De seguridad:** Implican que mediante diferentes métodos el elemento sea seguro.
  2. **De esfuerzo:** Se somete a cargas reales críticas para ver el comportamiento del sistema.
  3. **De energía:** para analizar cuánto tiempo dura energizado el sistema.
  4. **De ambientes:** se lleva a diferentes ambientes para ver su corrosión, funcionamiento y otros parámetros a evaluar.
  5. **De mercado:** Primera aproximación que se tiene del cliente al bien para determinar su potencial mercantil y de satisfacción.



## 2. Marco teórico

Además de éstas existen más pruebas con diferentes naturaleza, todo dependiendo de lo que se deseé analizar.

- Pruebas virtuales: constan de un análisis mediante un software de computadora, el cual predice las posibles resoluciones a ciertos eventos:

1. De esfuerzo: Mediante un software de CAD se realiza un análisis para determinar cómo se comporta el material a dichos esfuerzos.

2. De predicción: Generalmente se realiza en el caso de servicios, dado a que establece el comportamiento de redes de entrega, de fabricación y demás. Para saber cuál será su comportamiento con diferentes restricciones u obstáculos.

3. Animación: se considera prueba virtual dado a que verifica o no que el sistema en movimiento pueda trabajar de manera adecuada, en la interacción de sus partes.

### 2.2 Estado del arte

Este apartado se enfoca no sólo en la búsqueda de sillas de ruedas eléctricas que suban-bajen escaleras sino también a la búsqueda de dispositivos o robots móviles que realicen está función encontrando varios artículos referentes al tema, citando aquí algunos de ellos.

El campo de la robótica móvil también trata el problema de subir y bajar escaleras, ya que es importante la libertad de desplazamiento por lugares de difícil acceso. En la Universidad de Corea se desarrolló un robot móvil capaz de subir escaleras a través de cuatro orugas cuyas bandas se adaptan fácilmente al terreno. Este robot, cuyo nombre es MACbot<sup>[2]</sup> (del inglés *Multi-Active Crawler Robot*), cuenta con un sistema de sensado que logra detectar obstáculos como escaleras, ya que la finalidad de este es que sea autónomo.

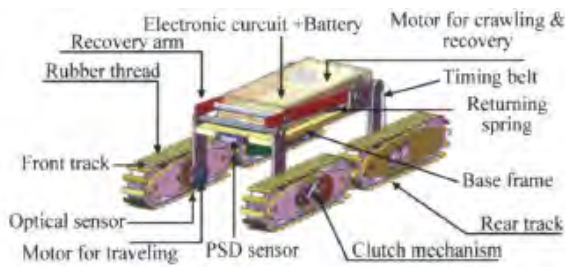


Figura 2.2.1.a) Esquema de MACbot<sup>[2]</sup>

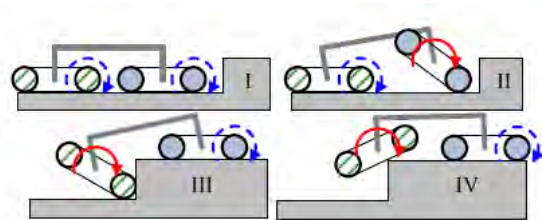


Figura 2.2.1. b) Primero, las orugas delanteras libran el obstáculo I) comienzan a rotar para subirlo II) se desplazan sobre el escalón III) las orugas traseras se aproximan al escalón y comienzan a girar para librar el obstáculo<sup>[2]</sup>.

MACbot (Figura 2.2.1.a) no está enfocado para transportar un pasajero. Se utiliza un control en lazo cerrado para que el sistema se proteja contra posibles volcaduras. Por otro lado este dispositivo consta de 4 actuadores uno en cada oruga, un mecanismo de embrague basado en engranes planetarios habilita cada oruga para que rote con respecto al centro de esta, en cierta secuencia de manera que logre salvar el obstáculo (Figura 2.2.1.b). Este mecanismo de embrague le permite tener dos modos de operación para andar en terreno regular y escaleras.

En el Departamento de Ingeniería Mecánica e Industrial de la Universidad de Toronto desarrolló un robot autónomo que es capaz de subir escaleras con tracción reconfigurable<sup>[3]</sup> (Figura 2.2.2).

## 2. Marco teórico



Figura 2.2.2 Robot con tracción reconfigurable <sup>[3]</sup>.

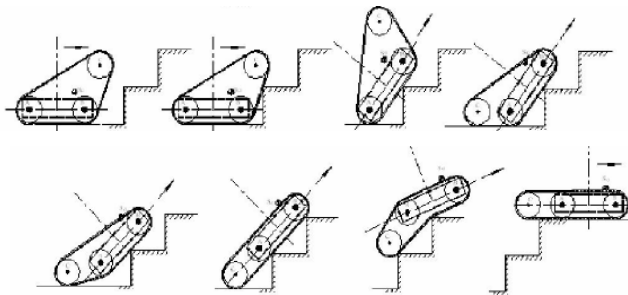


Figura 2.2.3 Secuencia de movimientos del robot con tracción reconfigurable para ascender escaleras <sup>[3]</sup>.

Este sube y baja las escaleras de manera automática ya que es capaz de reconocerlas debido a que cuenta con un sensor que detecta la posición que tiene con respecto a la tierra, logra librarlas mediante un algoritmo que hace que cambie la configuración en la tracción. Está diseñado con una especie de oruga de distancia variable a ambos lados y dos brazos que giran en paralelo a través de una banda flexible, encargados de cambiar su configuración para poder librar los escalones (Figura 2.2.3). La ventaja de este robot radica en que el usuario no tendría que dar la indicación de subir o bajar escaleras, además cuenta con un sistema de seguridad el cual detiene el robot si está en riesgo de volcaduras, esto ahorrará un previo entrenamiento para la persona pero no cuenta con un sistema que mantenga la horizontal. Este dispositivo cuenta con 3 actuadores; uno para cada oruga, lo cual permite que el robot gire mediante diferencia de velocidades; el otro es para los brazos que giran conjuntamente.

En el Departamento de Mecánica y Automatización de la Universidad de Ingeniería de Da-Yeh, en Taiwán fue realizada una mejora a una silla de ruedas robótica capaz de subir escaleras<sup>[4]</sup>, ésta considera la estabilidad del pasajero y compensa la inclinación de las escaleras, logra subir y bajar mediante el giro de sus extremidades esto de manera alternada. Este dispositivo cuenta con 8 actuadores, ya que posee 4 extremidades y cada una de ellas está compuesta por un brazo corto, un brazo largo y un triángulo de apoyo; éste último es un mecanismo híbrido, ya que se consta de una llanta y una especie de oruga. El hecho de contar con tantos actuadores implica mayor complejidad por los grados de libertad del dispositivo, además de que esto repercute directamente en el costo. En piso normal esta silla robótica utiliza las ruedas para desplazarse pero en las escaleras se activan las extremidades (Figura 2.2.4).

## 2. Marco teórico

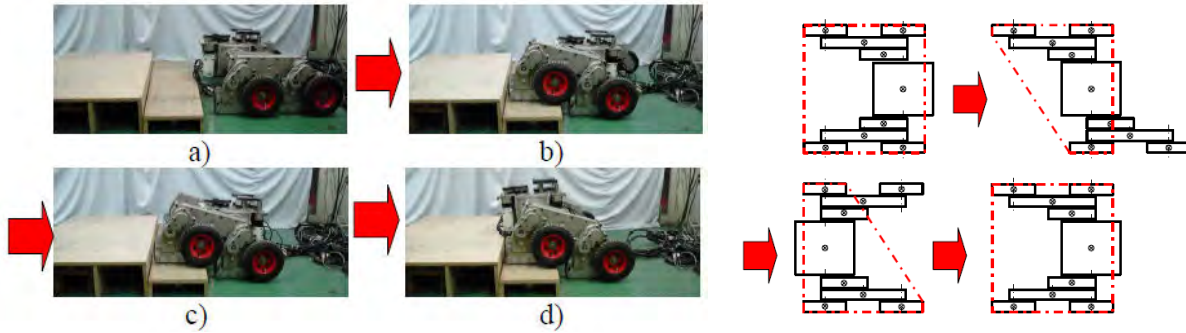


Figura 2.2.4 Se observa como las extremidades se van alternando para lograr subi<sup>[4]</sup>.

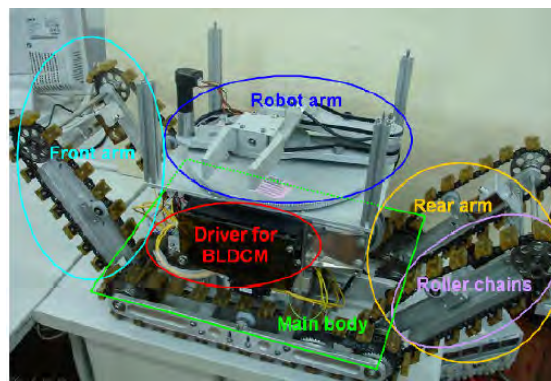


Figura 2.2.5 Robot de servicio que logra desplazarse en escaleras mediante cadenas con rodillos, se muestran algunas de sus partes<sup>[5]</sup>.

Se desarrolló un robot capaz de subir y bajar escaleras utilizando un control mediante lógica difusa (Figura 2.2.5), éste fue realizado por la Universidad del Sureste de Taiwán, por el departamento de Ingeniería Eléctrica<sup>[5]</sup>. Este robot utiliza para su tracción cadenas con rodillos y cuenta con cuatro brazos, dos frontales y dos traseros, los cuales hacen posible que ascienda y descienda escaleras. Este robot está enfocado más bien para auxiliar a ancianos, pero no precisamente para trasladarlos, es más bien un robot de servicio, cuenta con un brazo con una pinza para poder sujetar objetos. Cuenta con 4 actuadores, dos destinados para la tracción en piso normal y los otros dos se encargan de los brazos. El control de este robot se realiza mediante lógica difusa, por lo que no es necesario tener el modelado del sistema, además al usar una especie de oruga hace que se simplifique el problema aproximando las escaleras a un plano inclinado.



Figura 2.2.6 Prototipo de silla de ruedas<sup>[6]</sup>.

---

## 2. Marco teórico

---

En la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Castilla, se desarrolló una silla de ruedas con un movimiento coordinado que le permite subir y bajar escaleras <sup>[6]</sup> con mayor comodidad debido a sus características. Mecanismos desacoplados permiten que se adapte a varios tamaños de escalón debido a los grados de libertad con los que cuenta, además de que compensa la inclinación de la escalera y hace que el usuario sienta un movimiento muy suave mientras transita en ésta. Este garantiza el confort del usuario, esto amplía los usuarios a los cuales puede ser destinado, ya que el hecho de que garantice el confort permitiría que personas con afecciones que les impidan movimientos bruscos puedan usar un dispositivo así. La desventaja que tiene este prototipo es que no toma en cuenta la función de dirección (Figura 2.2.6).



Figura 2.2.7 Imagen de USGUARD subiendo escaleras <sup>[7]</sup>.

ASGUARD (*Advanced Security Guard*)<sup>[7]</sup> es un robot móvil desarrollado en el Centro de Investigaciones Alemán de Inteligencia Artificial. Usado para la investigación, aplicaciones de rescate, mitigación de desastres y búsqueda urbana logra desplazarse en terrenos difíciles así como en escaleras; esto gracias a la utilización de extremidades que rotan, en vez de llantas, la forma de estas extremidades permite que el robot suba y baje escaleras, además del control adaptativo que tiene implementando. Este robot, debido a que no está enfocado para que usuarios de sillas de ruedas, no toma en cuenta ciertos aspectos que le afectarían a los usuarios, por ejemplo los movimientos bruscos que se producen al subir los escalones debido al diseño del dispositivo (Figura 2.2.7).

### 2.3 Benchmarking

En este apartado se menciona un listado de elementos que existen en el mercado enunciando sus principales características y especificaciones. Existen varios tipos de dispositivos que permiten el desplazamiento en escaleras a una silla de ruedas, entre ellos se encuentran las sillas de ruedas motorizadas que están diseñadas no sólo para el desplazamiento en piso regular sino también en escaleras; también existen los dispositivos auxiliares para sillas de ruedas no motorizadas, hay dos tipos de estos, los dispositivos que se adaptan a éstas y los que están fijos a la escalera (elevadores de sillas por ejemplo). A continuación se muestran los elementos encontrados en el mercado ordenados con base a la clasificación mencionada.

#### Sillas de ruedas motorizadas



Figura 2.3.1 iBOT 4000 <sup>[1]</sup>.

La iBOT 4000 (Figura 2.3.1), basa su locomoción en un sistema de movilidad mediante la integración de sensores, giroscopios y múltiples microprocesadores que logran mantener el equilibrio y la vertical de su centro de gravedad, mediante el uso de servomotores controlados por computadoras. Este sistema de balance electrónico adapta el centro de gravedad del usuario para controlar y responder a los cambios sutiles en el movimiento. Mantiene la posición vertical del usuario y estable en todo momento, incluso cuando circulan arriba sobre escaleras o rampas.

Fabricate: [DEKA](#) y [Johnson and Johnson's Independence Technology](#) division

Permite 4 tipos de funcionamiento:

- Modo 4 Wheel. Desplazamiento en 4 ruedas, puede ser a través de arena o grava.
- Modo balance. Se coloca en 2 ruedas, el usuario aumenta su posición con respecto al piso.
- Modo escaleras. Rotando sus dos sistemas de ruedas una sobre a otra puede subir y descender las escaleras que se extienden a partir de 0.1 pulg. a 5.0 pulgadas. Es necesario para subir de forma independiente que el usuario tenga algo de fuerza para al menos agarrarse a un pasamanos.
- Posee un modo de funcionamiento normal que permite utilizar la silla como cualquier otra.

La silla de ruedas iBOT tiene una peso de 127kg y soporta un pasajero de 113kg máximo, sus dimensiones aproximadas son 1060 mm de largo x 670mm ancho x 1260 mm de alto. Alcanza una velocidad máxima de 10.9 km/hr en modo estándar y mínima de 5.1 km/hr en modo balance, su precio aproximado es de 24.000€.

### **Challenger 4x4 ST y 0B-EW-001 Silla de Ruedas Eléctrica Universal**

Estas dos sillas de ruedas son de diferentes fabricantes, pero poseen características similares, la primera creada por Simón Blewett y la segunda de Grupo Dorados.

Tienen la capacidad de subir escaleras de hasta 6 pulgadas con una inclinación de hasta 36°, no necesitan de una tercera persona para que el usuario de la misma logre desplazarse en escaleras.

La Challenger 4x4<sup>[8]</sup> cuenta con un asiento giroscópico con cremallera autonivelable, esto permite que el usuario permanezca en posición vertical en la negociación de las escaleras o en pendientes con una inclinación de hasta 45°. Sube mediante la tracción de sus 4 ruedas motrices ( Figura 2.3.2).



## 2. Marco teórico



Figura 2.3.2 Challenger 4x4 ST<sup>[8]</sup>



Figura 2.3.3 OB-EW-001 Silla de Ruedas Eléctrica Universal<sup>[9]</sup>

Esta silla de ruedas pesa 195kg, soportando un pasajero de 150kg máximo, su velocidad máxima es de 5km/hr, su costo es de US\$15,600.00.

La silla de ruedas eléctrica OB-EW001<sup>[9]</sup> sube escaleras mediante tracción 4x4, puede escalar pendientes de hasta 45° y escaleras con una pendiente de 25° y conserva la horizontal del usuario respecto al piso (Figura 2.3.3).

La OB-EW001 pesa 197kg, soporta una carga de 150kg, su velocidad máxima es de 7.55 km/hr y su costo es de 5,350 €.

Ambas utilizan dos motores de aproximadamente 600W cada uno y un motor de inclinación de 200W, con una batería de 12V a 27A, su tiempo de autonomía es de 3 a 5 horas y cuentan con llantas son de 400mm.

### Top Chair



Figura 2.3.4 Oruga Dorados Top Chair<sup>[10]</sup>

Fabricante: Grupo Dorados

La oruga de Grupo Dorados Top Chair<sup>[10]</sup> se desplaza mediante una oruga en las escaleras y utiliza las llantas para piso normal, cuenta con sensores que detectan el primer y último escalón, permite subir escalones de hasta 20[cm] sin ningún tipo de ayuda y pendientes de 36°(Figura 2.3.4). Adapta el centro de gravedad del cuerpo del usuario para mantenerlo ecualizado con el nivel del

## 2. Marco teórico

terreno. El asiento de la silla siempre se mantiene horizontal, ya que cuenta con dispositivos automáticos que balancean la silla.

El peso del sistema con baterías es de 130kg, la velocidad máxima a la que puede desplazarse es de 9km/hr, sus dimensiones aproximadas son de 1150 mm de largo x 680 mm de ancho x 560 mm de alto con ruedas o 450 mm de alto con orugas, llantas delanteras de 200mm de diámetro y traseras de 350mm, cuenta con 2 motores de 350W y con dos motores de impulsión para las orugas de 400W cada uno, su precio es de 4,700 €.

### Dispositivos adaptables a sillas de ruedas no motorizadas

Para estos dispositivos es necesario de un tercero para auxiliar a la persona a desplazarse en las escaleras.

#### LIFTKAR 2 Sube escaleras electrónico



Figura 2.3.5 Liftkar 2 Sube escaleras<sup>[11]</sup>.

Fabricante: Obea Chair

Universal para todas sillas de ruedas con ruedas de 600 como de 315[mm]. También acogen distintas anchuras de sillas. El Liftkar<sup>[11]</sup> se regula sin herramientas sin poner ni quitar ningún elemento. Con sistema de frenado. Concepción modular ligera, estructura de aluminio. Son desmontables en tres partes. Fácil de desmontar para su transporte (Figura 2.3.5).

El Liftkar pesa 27.6kg, puede soportar una carga de hasta 130kg, puede desplazarse sobre escalones de 205mm a 230mm a una velocidad de 10 a 18 escalones/minuto y tiene un costo de 5,140.00 €.

### ORUGA sube escalera LG 2004 Sunrise y Oruga sube escalera Sherpa

La Oruga Sube Escaleras LG<sup>[12]</sup> (Figura 2.3.6) y la Oruga Sherpa<sup>[13]</sup> (Figura 2.3.7) tienen similares características, además de que ambas utilizan una oruga motorizada para poder auxiliar al usuario.

La primera de LG y la segunda de Grupo Dorados, cuentan con un potente motor que ayuda al acompañante a conducirlos prácticamente sin esfuerzo, se desmontan fácilmente y son compatibles con la mayoría de las sillas de ruedas. La primera cuenta con ruedas adelante y atrás, mientras que la segunda sólo en la parte trasera, estas ruedas le permiten al acompañante girar la oruga 360° y manejarla con mayor facilidad en las superficies planas.

Tienen un peso aproximado de 55kg, soportando una carga máxima de 130kg, logran desplazarse sobre un ángulo de inclinación máximo de 35°, con un peralte máximo de 180mm y una huella mínima de 100mm, con una velocidad máxima de 15 escalones/minuto, el precio de cada una es 4,400.00 € (LG) y 3,672.00€ (Grupo Dorados).

## 2. Marco teórico



Figura 2.3.6 Oruga sube escaleras LG 2004 Sunrise<sup>[12]</sup>.



Figura 2.3.7 Oruga sube escaleras Sherpa<sup>[13]</sup>.

### Dispositivos fijos

#### Plataformas salvaescaleras PETR-64

Fabricante: Grupo Mulsive.

Las plataformas elevadoras permiten la accesibilidad a las personas en sillas de ruedas a cualquier tipo de edificio con escalera recta (Figura 2.3.8).

La plataforma elevadora PERT-64<sup>[14]</sup> se puede instalar a ambos lados de la escalera y se puede personalizar su longitud, esto nos permite garantizar tiempos de entrega muy cortos. Está disponible en varios modelos: Estándar, Large y Extra Large estos modelos varían en función de las dimensiones de la escalera y de las sillas de ruedas. El costo varía según las características de la instalación.

Esta plataforma es para escaleras con pendientes de 0 a 50°, con una anchura mínima de 970mm a 1010mm, con una capacidad de carga de 230kg a una velocidad de 5m/min



Figura 2.3.8 Plataforma Salvaescaleras PETR-64<sup>[14]</sup>.

#### SILLA SUBE ESCALERAS MOD. STC-F





Figura 2.3.9 Silla sube escaleras Mod. STC-F<sup>[15]</sup>.

Fabricante: ECA

Esta silla salvaescaleras<sup>[15]</sup> (Figura 2.3.9) se adapta a escaleras especialmente estrechas y problemáticas. Se puede instalar incluso en escaleras de caracol. Su precio depende de la escalera donde sea instalada.

La velocidad máxima a la que puede ir es de 0.15m/s, con una carga máxima de 125kg a un ángulo máximo de inclinación de 70°.

### 2.4 Investigación acerca de las necesidades de usuarios de sillas de ruedas

#### 2.4.1 Diseño de un cuestionario para conocer las necesidades

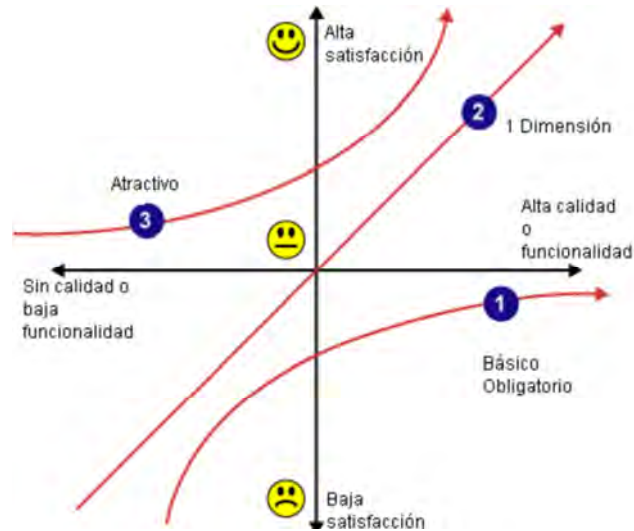
Con un acercamiento previo a las necesidades que se tiene de los usuarios se generó un cuestionario para comprender más acerca de lo que estas personas requieren. Este es el diseño del cuestionario:

La entrevista se basa en una metodología denominada *método Kano*, la cual consta de la determinación de tres tipos de requerimientos que influyen en el cliente. Estos son (Gráfica 2.4.1):

- **Debe de ser:** Si estos requerimientos no son totalmente satisfechos el cliente estará insatisfecho, sin embargo cumplirlos no logra mayor satisfacción en el cliente.
- **Unidimensional:** La satisfacción del cliente es completamente proporcional a lo cumplido por este requerimiento.
- **Atractivos:** Son los requerimientos a los cuales el cliente le hacen sentir mayor satisfacción entre la funcionalidad del requerimiento es mayor.
- **Indiferente:** No afecta el grado de satisfacción se cumple o no con este requerimiento
- **Inverso:** Este caso puede tomarse de dos formas, la primera que entre menos este cumplido un requerimiento el grado de satisfacción es mayor y la segunda es que lo que se piensa que debe de ser lo ideal debe de ser lo contrario para agrado del cliente.

Para determinar esto, el método propone preguntas por parejas que sean inversas, esto quiere decir que mientras una afirma algo la otra lo niega; en el método se le denomina *funcional* a lo que el diseñador cree ideal (afirma o es positivo) y lo *disfuncional* (niega o es negativo) a lo que es lo contrario.

## 2. Marco teórico



Gráfica 2.4.1 En esta gráfica se muestra el grado de aceptación del cliente en relación con los requerimientos.

Para responder las preguntas se le pide al encuestado que describa las sensaciones que le provocan estas, dentro de los siguientes niveles:

- a) Me gusta
- b) Es necesario
- c) Me da igual
- d) No me gusta, pero puedo tolerarlo
- e) No lo tolero

Con estas dos respuestas se determina la aceptación del usuario en función de la siguiente tabla (Tabla 2.4.1):

Tabla 2.4.1 Tabla para determinar la aceptación del encuestado comparando las respuestas, correspondiendo en las columnas la pregunta relativa a la parte funcional y del lado de las filas la parte disfuncional.

Disfuncional		a) Me gusta	b) Es necesario	c) Me da igual	d) No me gusta, ...	e) No lo tolero
Funcional	a) Me gusta	Cuestionable	Atractivo	Atractivo	Atractivo	Unidimensional
	b) Es necesario	Inverso	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Debe de ser
	c) Me da igual	Inverso	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Debe de ser
	d) No me gusta, ...	Inverso	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Debe de ser
	e) No lo tolero	Inverso	Inverso	Inverso	Inverso	Cuestionable

## 2. Marco teórico

Tabla 2.4.2 Tabla de respuestas y evaluación de las mismas.

Requerimiento	Pregunta		Nivel de afinidad					
	Funcional	Disfuncional	Unidimensional	Atractivo	Debe de ser	Indiferente	Inverso	Cuestionable
Sistema adaptable a la silla	1)	32)						
Sin ayuda de otras personas	2)	39)						
Ligero	3)	41)						
Manejo Táctil	4)	28)						
Económico	34)	5)						
Seguro	37)	6)						
Compensación de la inclinación	35)	7)						
Confort al subir la escalera	23)	8)						
Escaleras de diferentes dimensiones	21)	9)						
Silencioso	26)	10)						
Barato en la reparación	36)	11)						
Diferentes tipos de escaleras	38)	12)						
Rápido de reparar	49)	13)						
Desplazarse en planos	14)	29)						
Poca manutención	30)	15)						
Fácil de operar	45)	16)						
Diferentes discapacidades	47)	17)						
Dispositivo pequeño	18)	40)						
Velocidad a la caminata humana	19)	43)						
Permite usar la silla de ruedas	20)	48)						
Indicadores	22)	31)						
Tiempo de autonomía considerable	33)	24)						
Tiempo de activación mínimo	25)	44)						
Tiempo de frenado mínimo	27)	46)						
Velocidad Variable	42)	50)						

## 2. Marco teórico

Donde se hace el cruce de la respuesta funciona con la disfuncional, para poder determinar el nivel de deseo del cliente.

Ahora bien para poder diseñar este tipo de encuestas se tiene que tener un conocimiento previo de lo que se pretende diseñar, para poder saber cuáles requerimientos son los deseados por el cliente o clientes.

Antes de exponer estos requerimientos, se cita que el Apéndice D corresponde a la encuesta, donde se puede consultar las preguntas.

Cada una de las preguntas refleja una especificación que se ha tomado en cuenta, se presenta el cuadro que se realizó para la evacuación de las mismas, donde se relaciona cada una de éstas con el nivel de afinidad que tiene con el cliente (Tabla 2.4.2).

La idea principal de tener esta encuesta es que ya localizadas la mayor parte de los requerimientos básicos, saber el grado de satisfacción del sector al que se apoya; para lograr determinar lo que es necesario y lo que no, y así jerarquizar las funciones que pueda tener el sistema en el posterior desarrollo.

### 2.5 Dimensiones de sillas de ruedas estándar

Para la realización de un dispositivo adaptable para sillas de ruedas es necesario conocer las dimensiones de las mismas para poder saber el espacio de trabajo, ya que de ello dependen las dimensiones del dispositivo adaptable a la misma

Se encontraron las dimensiones de las sillas de ruedas, tomadas del Manual de Recomendaciones de Accesibilidad de la Oficina para la Promoción e Integración Social para Personas con Discapacidad<sup>[16]</sup>, las cuales se ilustran en las figuras 2.5.1.a y b.

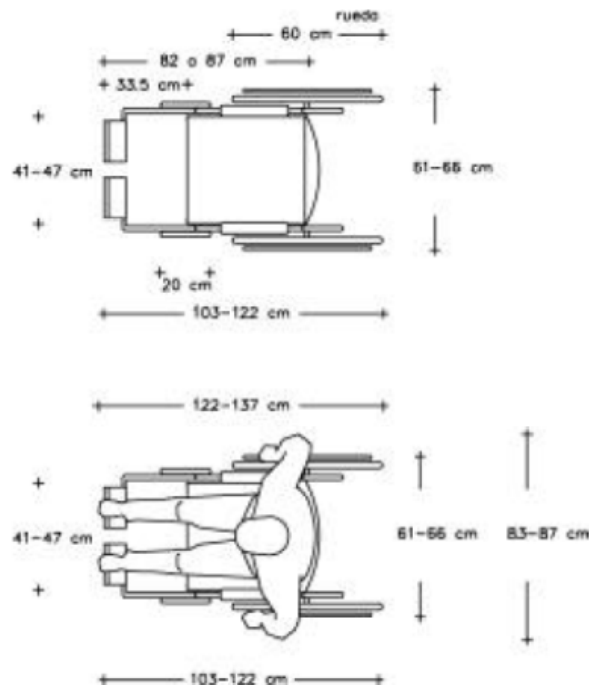


Figura 2.5.1. a) Dimensiones de sillas de ruedas según el Manual de Recomendaciones de Accesibilidad de la Oficina para la Promoción e Integración Social para Personas con Discapacidad.

## 2. Marco teórico

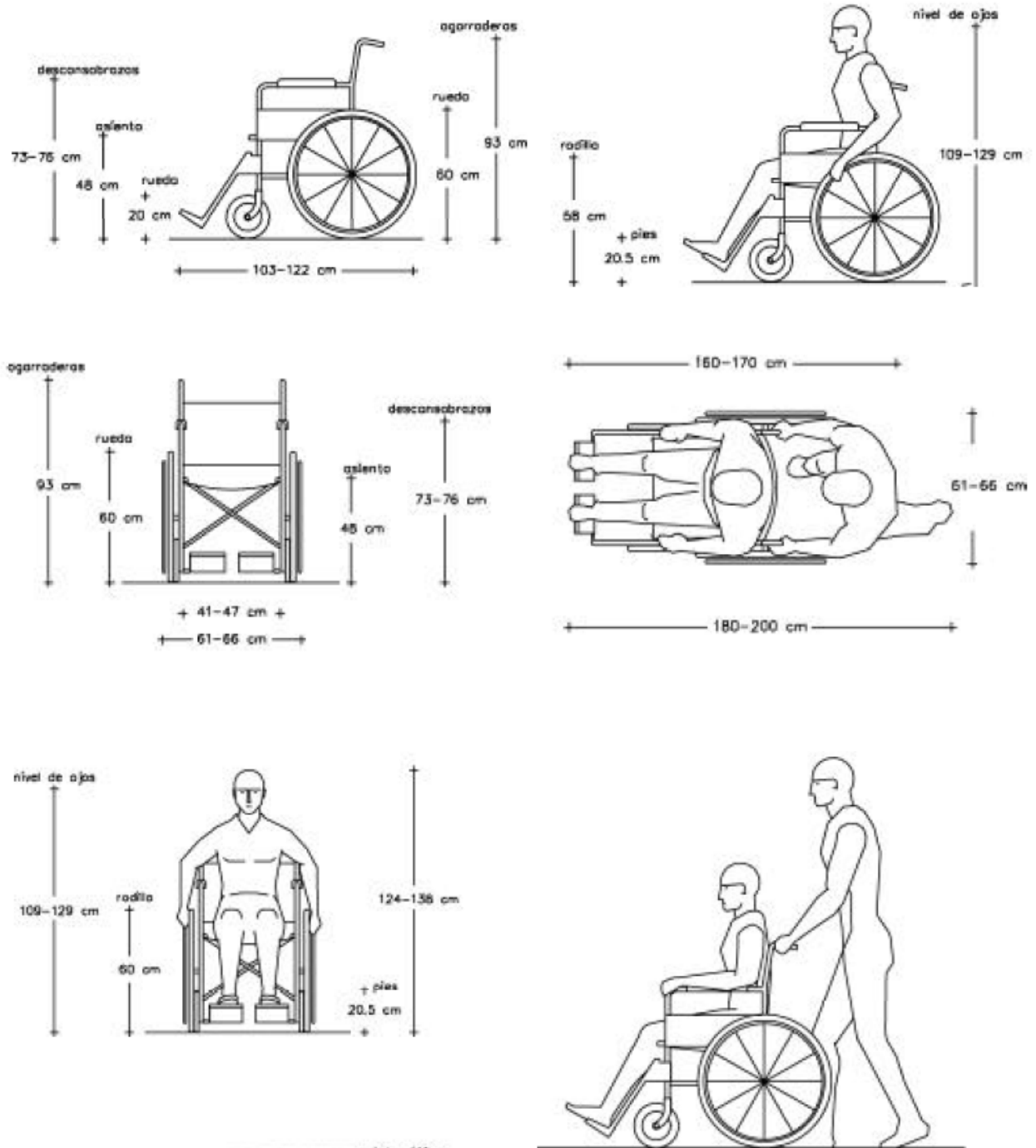


Figura 2.5.1.b) Dimensiones de sillas de ruedas según el Manual de Recomendaciones de Accesibilidad de la Oficina para la Promoción e Integración Social para Personas con Discapacidad

De la tesis de la Ing. Silvia González Salinas<sup>[17]</sup> se consideró importante la tabla que presenta de las dimensiones máximas por lo que es retomada en este escrito las características técnicas máximas de la silla de ruedas y el espacio máximo de desplazamiento de la silla de ruedas con el usuario y una persona externa (Tabla 2.5.1 y Tabla 2.5.2).

## 2. Marco teórico

Tabla 2.5.1

Características Técnicas Máximas de la Silla de Ruedas	
Longitud total de la silla	137cm
Anchura total de la silla	66cm
Altura total de la silla	93cm
Altura de la rueda (trasera)	60cm
Altura de la rueda (delantera)	20cm
Altura descansabrazos	76cm
Atura asiento	45cm

Tabla 2.5.2

Espacio máximo de desplazamiento de la Silla de ruedas con el usuario y una persona externa.	
Espacio giro medio	160cm
Anchura con los brazos del usuario fuera de la silla	87cm
Altura rodilla del usuario	60cm
Altura pie del usuario	20.5cm
Altura del nivel de ojo del usuario	129cm
Alcance del usuario con el brazo extendido (máximo)	160cm
Alcance del usuario con el brazo extendido (mínimo)	30cm
Espacio de circulación con el usuario y una persona externa (largo)	170cm
Espacio de circulación con el usuario y una persona externa (ancho)	66cm

Estas dimensiones pueden variar por eso se realizó la búsqueda de algunas sillas de ruedas y se mencionarán a continuación algunas especificaciones que son de importancia para el dispositivo en cuestión.

Se encontraron algunas sillas de Loh Enterprises <sup>[20]</sup> es un proveedor de Latinoamérica de equipo médico durable, de donde resalta la siguiente:

- Silla de ruedas manual de traslado 9201 Figura 2.5.2 Asientos disponibles de 17"x16", 19"x16" y 21"x16"
- Capacidad de peso 300 libras (136.07 kg.)
- Estructura de aluminio ligero, peso total: 19 kg.
- 8 "ruedas son libres de mantenimiento

---

## 2. Marco teórico

---



Figura 2.5.2 Silla de ruedas manual de traslado 9201

Con las dimensiones que se tienen de las sillas de ruedas se puede definir un espacio de trabajo el cual ocupará el dispositivo a desarrollar. Las dimensiones que son de interés son el área del asiento, la altura que existe entre el piso y el asiento, el ancho total de la silla, el largo total, además de que hay que considerar que la mayoría de las sillas son plegables y en medio de ellas existe un arreglo tubular en cruz el cual reduce el espacio de trabajo.

También es de importancia la masa de las sillas de ruedas convencionales ya que este parámetro se tiene que considerar para la selección de los actuadores concernientes al dispositivo ya que está involucrado en la carga total que el dispositivo va a soportar, además de que también hay que considerar la masa del pasajero.

Según la Ing. Claudia Aidé Soriano Vázquez en su tesis “Diseño mecánico de dispositivo adaptable para impulsar una silla de ruedas” menciona un estudio de 15 modelos de sillas de ruedas manuales para determinar las dimensiones estándar algunos datos importantes para este trabajo, entre los cuales destacan la altura piso al asiento que varía de 45 cm a 50cm según dicho estudio, la masa de la silla que varía de 12kg a 16kg, ancho total que varía de 63cm a 65cm, distancia de aro impulsor a aro impulsor es de 68cm, ancho del asiento en las sillas estándar es de 43 a 48cm y en las bariátricas de 56cm a 61cm, y por último se tiene que la carga máxima que soportan es de 115kg.

Según el Manual de Recomendaciones de Accesibilidad de la Oficina para la Promoción e Integración Social para Personas con Discapacidad el largo total de la silla, tomando en cuenta las ruedas traseras de 60cm, va de 103cm a 122cm y sin contar la parte que ocupa el descanso pies que es de 33.5cm aproximadamente, nos da un largo que va de 69.5cm a 88.5cm que se puede ocupar el dispositivo. En este manual también se encuentra que el ancho del asiento es de 41cm a 47cm, esta dimensión se toma en cuenta ya que es importante ver que el dispositivo no interfiera con las ruedas. La altura del piso a la silla que se encontró en el Manual es de 45cm.

Se encontraron sillas de ruedas de 40.64cm de ancho, como por ejemplo la silla de ruedas manual de traslado 9201, que se menciona en este apartado, cuya masa es de 19kg; ésta excede la masa que mencionó la Ing. Claudia Aidé Soriano Vázquez en su tesis.

Por lo que las dimensiones tentativas del dispositivo son las siguientes:

**Ancho:** 43cm (según el sistema de sujeción a elegir esta distancia puede aumentar para lograr sujetarse con los tubos laterales de la silla). A pesar de que el mínimo es de 41 cm, debido a los elementos utilizados finalmente el ancho es de 43cm.

**Largo:** 88.5cm (podría aumentar considerando que se puede tomar más espacio en la parte de atrás y no en la de adelante para no interferir con el descanso pies)

**Alto:** 42cm

Masa máxima de una silla de ruedas: 19kg

## 2. Marco teórico

Como ya se había comentado anteriormente, hay que tomar en cuenta que en medio de la silla aproximadamente se encuentra el arreglo tubular en cruz, lo cual es importante para el diseño del dispositivo ya que este espacio no es libre de usarse en su totalidad.

Debido a que es difícil determinar a qué distancia se encuentra con respecto al piso el arreglo tubular en cruz, ya que varía según el modelo de las sillas; la distancia mínima a la que se encuentran los tubos estructurales es aproximadamente a 30cm con respecto al piso. El arreglo tubular para fines prácticos, se considerará en medio del asiento, tomando como si la profundidad del asiento fuera máxima.

En la imagen 2.5.3, se puede apreciar una figura aproximada ilustrando el espacio de trabajo disponible. En esta imagen se traducen los parámetros anteriormente mencionados.

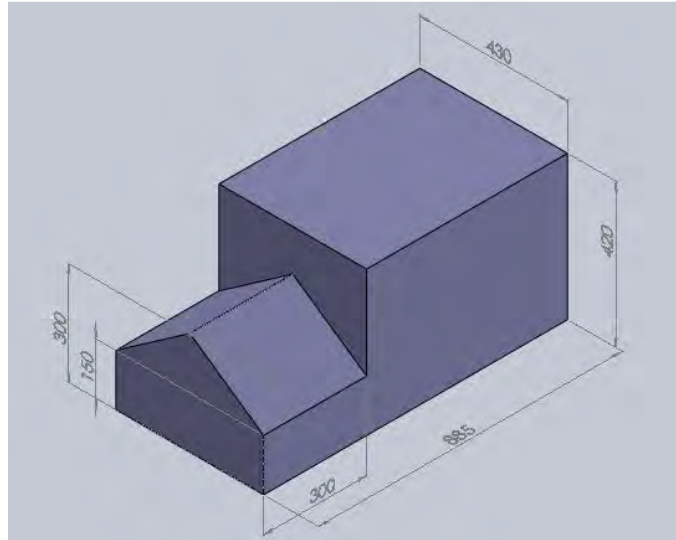


Figura 2.5.3 Figura geométrica del espacio de trabajo aproximado que se tiene por debajo de la silla.

### 2.6 Dimensiones de escaleras estándar

Para determinar el tipo de escaleras logrará subir el dispositivo a desarrollar se hace mención del tipo de escaleras que se encuentran en las edificaciones así como en los hogares, básicamente se clasifican en 3, estas pueden variar en materiales y algunas veces en ciertas dimensiones <sup>[18]</sup>.

- Escaleras Rectas

Dentro de las rectas, hay escaleras sencillas de un solo tramo con o sin descanso intermedio, y otras formadas por varios tramos rectos cambiando la dirección en los descansos intermedios

- Escaleras Curvas

Las escaleras curvas permiten diferentes combinaciones: circulares, ovaladas, elípticas, semicirculares con ojo interior o no.

Las escaleras circulares que definen un círculo completo en su desarrollo y que no poseen ojo central, se denominan escaleras caracol; son escaleras de poco ancho (entre 0,50 y 0,70 m).

- Escaleras Compensadas

Dentro de las escaleras mixtas se debe evitar que en la combinación de los tramos rectos con curvos exista un cambio brusco, para ello se realiza una *compensación* del tramo recto al curvo para lograr un paso gradual al usuario.

Se tomaron las dimensiones de algunas escaleras en casas para determinar las dimensiones aproximadas que existen ya que se tiene el inconveniente de que la mayoría de las escaleras de las casas y edificaciones no están construidas bajo alguna norma y varían en sus dimensiones de



## 2. Marco teórico

unas a otras, También se obtuvieron las dimensiones de las escaleras que están en algunos sitios públicos, como por ejemplo las dimensiones de las escaleras de una de las estaciones del metro.

Es necesario hacer referencia a algunos términos técnicos referentes a las escaleras, solo algunas dimensiones de ellas son de interés ya que no todas afectan al dispositivo en cuestión. Las dimensiones de interés son la del peralte, la de la huella, el ancho de la escalera, las dimensiones del descanso (si es que tiene) y el número de escalones.

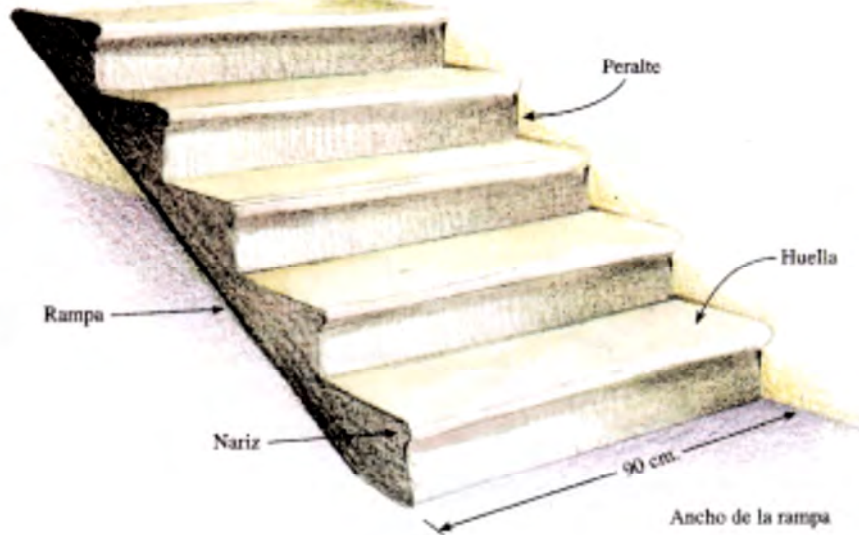


Figura 2.6.1 Parámetros de escaleras<sup>[19]</sup>.

En la figura 2.6.1, se muestra una imagen de una escalera recta donde se pueden observar algunas de las partes antes mencionadas.

En *Manual de autoconstrucción, Manos a la Obra por el Instituto Mexicano del Cemento y Concreto*<sup>[19]</sup> se menciona que el peralte será de 18 cm como máximo, la huella no debe ser menor de 28 cm y el ancho mínimo de la rampa debe ser de 90 cm.

En la tabla 2.6.1 se muestran algunas dimensiones tomadas para 6 casas del Distrito Federal, una estación de metro y condominio, las dimensiones están en mm.

Comparando las dimensiones de la tabla 2.6.1 con las dimensiones establecidas en el Manual de Autoconstrucción, se puede observar que para las dimensiones del peralte solo 3 de las escaleras medidas al azar cumplen con esta especificación, mientras que las 6 cumplen con la especificación de la huella y dos de ellas apenas y cumplen con la especificación del ancho mínimo de la rampa que se puede observar en el descanso. Se toma en cuenta que estas dimensiones se tomaron sin contar el área donde se encuentra el barandal, es decir, sólo se midió el área transitable.

## 2. Marco teórico

Tabla 2.6.1 Se muestran algunas dimensiones tomadas en las escaleras de algunas casas.

	Huella	Peralte	Descanso	No. De escalones entre descanso	Material	Ángulo de inclinación
Casa 1	310	200	930x1265	6	Mosaico	32.8°
Casa 2	300	200	900x900	6	Cemento	33.69°
Casa 3	290	160	990x990	8	Mosaico	28.88°
Casa 4	280	180	920x930	7	Mosaico	32.73°
Casa 5	300	190	900x900	6	Mosaico	32.34°
Casa 6	300	180	910x930	14	Mosaico	30.96°
Metro	300	165		(sin descanso)	Mosaico	28.8°
Condominio	280	175	910x910	14	Loseta	32°

Haciendo contraste con este estudio tenemos que dentro del diario oficial de la nación en su primera sección del día 24 de noviembre del 2008, que corresponde a la "NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-STPS-2008, EDIFICIOS, LOCALES, INSTALACIONES Y AREAS EN LOS CENTROS DE TRABAJO-CONDICIONES DE SEGURIDAD". Dentro de su sección 7.5 Establece lo siguiente:

- Tener un ancho constante de al menos 56 cm en cada tramo recto y, en ese caso, se debe señalar que se prohíbe la circulación simultánea en contraflujo. Las señales deben cumplir con lo establecido en la NOM-026-STPS-1998.
- Todas las huellas de las escaleras rectas deben tener el mismo ancho y todos los peraltes la misma altura, con una variación máxima de  $\pm 0.5$  cm.
- En las escaleras con cambios de dirección o en las denominadas de caracol, el peralte debe ser siempre de la misma altura.
- Las huellas de los escalones en sus tramos rectos deben tener una longitud mínima de 25 cm (área de contacto) y el peralte una altura no mayor a 23 cm. Las orillas de los escalones deben ser redondeadas (sección roma o nariz roma).
- La distancia libre medida desde la huella de cualquier escalón, contemplando los niveles inferior y superior de la escalera y el techo, o cualquier superficie superior, debe ser mayor a 200 cm (Figura 2.6.2),
- Las huellas de los escalones deben contar con materiales antiderrapantes.

Debido al problema que se está tratando se debe de delimitar cuáles serán las características que éstas deben de tener para las que el dispositivo adaptable a sillas de ruedas logre desplazarse sobre ellas. En este caso las escaleras sobre las que podrá desplazarse el dispositivo serán de tipo recto, pueden tener descansos intermedios pero sin que haya un cambio de sentido en la continuidad de la escalera, ya que de ser necesario girar la construcción debe de permitir el giro y

## 2. Marco teórico

por las dimensiones halladas en los descansos se concluye que no se tendría el espacio suficiente. Si se trata de escaleras curvas, como por ejemplo de caracol, se enfrentaría a otro tipo de problema, y que se requiere de un giro de la silla, lo cual puede llevar tanto a una complejidad de diseño como a un punto de peligro para el usuario. Considerando las escaleras de tipo recto se están abarcando la mayoría en las construcciones ya que las escaleras curvas se encuentran en menor cantidad.

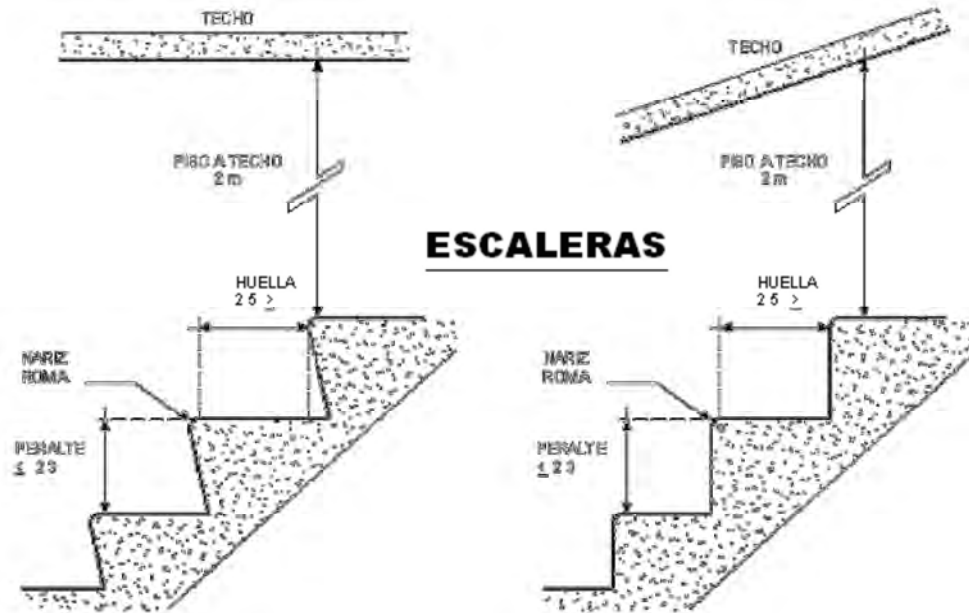


Figura 2.6.2 Dimensiones de escaleras encontradas en la "NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-STPS-2008, EDIFICIOS, LOCALES, INSTALACIONES Y AREAS EN LOS CENTROS DE TRABAJO-CONDICIONES DE SEGURIDAD"

Tomando en cuenta estos dos contrastes se tiene que las dimensiones encontradas en las escaleras dentro de las casas no sobrepasan lo establecido en la "NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-STPS-2008, EDIFICIOS, LOCALES, INSTALACIONES Y AREAS EN LOS CENTROS DE TRABAJO-CONDICIONES DE SEGURIDAD", se propone trabajar con el máximo de altura encontrado en los hogares que corresponde a 200 mm, ya que la norma no especifica el ángulo máximo se calcula el ángulo de trabajo que se logra con los máximos valores encontrados en ella obteniendo que sobrepasa 45°, que es demasiado inclinado es por ello que tomando en cuenta los ángulos obtenidos de las dimensiones tomadas en edificaciones y casas habitación se tomará un ángulo de 33°. Se toma la huella como 280 mm, que está dentro de los parámetros del manual de construcción y por último se definen que las escaleras de trabajo son escaleras tipo recta. Es por ello que las máximas medidas de la escalera quedan enunciadas en la tabla 2.6.2.

Tabla 2.6.2 Dimensiones máximas de trabajo

Parámetros de la escalera	
Peralte Máximo	200 [mm]
Huella Mínimo	280 [mm]
Inclinación Máxima	33°
Tipo de escalera	Escaleras rectas

### Capítulo 3. Diseño Conceptual

#### 3.1. Alcances del proyecto

Dentro de los alcances de este proyecto se tienen en cuenta las siguientes metas para cada etapa:

- *Búsqueda de requerimientos y necesidades:* Obtener el conocimiento requerido para entender la problemática alrededor del tema central, así como comprender las necesidades de los posibles usuarios, lo cual lleve a definir las especificaciones debidas del proyecto.
- *Desarrollo del concepto:* Se trata de detectar las posibles funciones y desarrollar todo un esquema de soluciones a éstas, de manera que se seleccione la mejor de ellas respetando las especificaciones definidas.
- *Desarrollo del detalle:* Realización de los cálculos requeridos para el desarrollo del prototipo y su adecuado funcionamiento, diseñar la estructura base o chasis para soportar el dispositivo, además del diseño a detalle requerido para las funciones a tratar. Generar los planos de las piezas no comerciales; la selección de los materiales adecuados según los cálculos que se requieran y la selección de los elementos comerciales que puedan ser usados.
- *Prototipo:* Generar el modelo en computadora de todos los sistemas, para apoyar que el diseño está bien calculado y cumpla con las especificaciones; además de esto generar pruebas virtuales que apoyen al prototipo virtual.

#### 3.2. Objetivo

Diseñar una propuesta de un dispositivo que se adapte en algunas sillas de ruedas comerciales y permita al usuario la posibilidad de desplazarse y subir-bajar escaleras.

#### 3.3 Investigación con expertos

La investigación con expertos concierne a una recopilación de información con personas que tienen conocimientos de utilidad al tema. Ya que en este caso la existencia de un experto completamente a fin no se tiene por diversas razones, se eligieron las siguientes personas para esta parte:

Información recopilada de la Dra. Cristina León:

Respecto a las dimensiones de las sillas de ruedas mencionó que se tendrían que definir las medidas antropométricas así como el mercado meta ya que existen muchas razones por las que las personas utilizan sillas de ruedas. Comento que la autodetección de la escalera sería un punto interesante debido a que desafortunadamente en el medio se construyen escaleras que no son uniformes, haciendo poco caso de la normatividad. Referente a cuál es la discapacidad de la

### 3. Diseño conceptual

marcha más común según su experiencia, dijo no tener conocimiento y recomendó se consultarán estadísticas del IMSS, ISSSTE y Secretaría de Salud, INEGI.

Información recopilada del Dr. Adrián Espinoza:

El menciona que es de gran importancia principalmente la suavidad de la marcha en especial en las escaleras y la compensación de la inclinación para que el usuario no tenga la sensación de caída. Respecto al auto detección de escaleras considera que puede encarecer el costo del producto. Hace énfasis en cuestiones de seguridad como son: evitar cualquier tipo de caída, evitar saltos en el desplazamiento en escalera y que el dispositivo permita una llegada suave. En cuanto a elementos extras menciona: freno de emergencia, control de velocidad y sistema de alarma.

#### 3.4. Análisis de resultados de cuestionario a usuarios de sillas de ruedas

Después de haber realizado 25 encuestas en diferentes lugares con personas de diferente edad género, estrato social, y actividades se llegó a la siguiente tabla de resultados (Tabla 3.4.1):

Tabla 3.4.1 Recopilación de resultados

	Unidimensional	Atractivo	Debe de ser	Indiferente	Inverso	Cuestionable	Total
Sistema adaptable a la silla	0	12	2	8	2	1	25
Sin ayuda de otras personas	0	4	0	11	9	1	25
Ligero	3	7	5	7	2	1	25
Manejo Táctil	2	4	4	8	4	3	25
Económico	5	3	6	10	1	0	25
Seguro	13	1	8	2	0	1	25
Compensación de la inclinación	6	7	0	10	2	0	25
Confort al subir la escalera	4	6	1	11	1	2	25
Escaleras de diferentes dimensiones	4	6	1	11	0	3	25
Silencioso	4	9	3	9	0	0	25
Barato en la reparación	7	4	2	11	1	0	25
Diferentes tipos de escaleras	3	5	3	10	2	2	25
Rápido de reparar	4	4	4	11	2	0	25
Desplazarse en planos	8	4	3	8	0	2	25
Poca manutención	1	7	3	12	0	2	25
Fácil de operar	2	6	4	12	0	1	25
Diferentes discapacidades	3	3	2	9	2	6	25
Dispositivo pequeño	4	2	3	13	3	0	25

### 3. Diseño conceptual

Velocidad a la caminata humana	2	4	3	5	4	7	25
Permite usar la silla de ruedas	7	5	2	7	2	2	25
Indicadores	1	4	1	16	2	1	25
Tiempo de autonomía considerable	3	4	2	10	3	3	25
Tiempo de activación mínimo	2	4	0	15	2	2	25
Tiempo de frenado mínimo	3	3	4	9	4	2	25
Velocidad Variable	3	8	3	9	1	1	25

Estas encuestas nos revelan el indicativo del nivel de aceptación o de afinidad respecto a los requerimientos preestablecidos. Para observar más fácilmente se usará una gráfica de tipo pastel (Gráficas A-W), para cada uno de los requerimientos, las cuales están en el Apéndice A.

Otros datos que recopilados que pueden ser de ayuda son los siguientes (Tabla 3.4.2):

Tabla 3.4.2 Recopilación de Peso y Edad

Entrevistado	Peso[Kg]	Edad[años]
1	85	59
2	65	66
3	67	59
4	43	16
5	53	66
6	45	66
7	68	72
8	43	13
9	69	28
10	52	49
11	51	108
12	53	53
13	48	38
14	55	52
15	58	72
16	60	80
17	65	55
18	65	47
19	70	65
20	84	54
21	71	36

### 3. Diseño conceptual

22	68	38
23	82	32
24	47	27
25	66	43

Además de esto resultó que de los 25 entrevistados solo 11 realizan una actividad económicamente remunerable.

#### 3.5. Recopilación de requerimientos de los usuarios

Ya determinados los requerimientos con los cuales se va a trabajar, se enuncian a continuación de mayor a menor importancia.

- I. Sistema Adaptable a la Silla. Dado al grado de aceptación tan amplio y que es base de la idea del proyecto, es indiscutible que este requerimiento se queda.
- II. Ligero. Como la mayoría de las personas encuestadas tiene afinidad por este rublo se queda a los requerimientos finales.
- III. Seguro. La integridad el usuario es algo con una importancia inmensa, es por ello que este requerimiento entra a al listado final, sin ser cuestionado.
- IV. Desplazarse en terreno plano. Es indudable que se debe de incluir en los requerimientos finales, por la aceptación, que es mayor de la mitad.
- V. Silencioso. Es tan grande la afinidad por este requerimiento que sin mayor observación entra a los requerimientos finales.
- VI. Económico. Uno de los grandes factores dentro de todo producto es este aspecto y tal como se esperaba los encuestados afirman esto, por ende entra en al listado de los requerimiento finales.
- VII. Compensación de la inclinación. Más de la mitad de los encuestados se inclinan por este aspecto, por ello se incluye.
- VIII. Permite usar la silla de ruedas. Es bastante grande la aceptación, y se resuelve aceptarlo a los puntos finales.
- IX. Velocidad variable. Como la aceptación es mayor y la velocidad humana es variable esta rublo entra en el listado final.
- X. Confort al subir las escaleras. La aceptación y la indiferencia tienen cantidades similares, estas cantidades generan un conflicto, pero con la investigación de mercado se observó que este aspecto no es cuidado como se debe, con la intención de cuidar este aspecto se da la resolución de incluirlo en el listado final.
- XI. Escaleras de diferentes dimensiones. Usualmente las escaleras no son uniformes, se requiere que tenga un grado de adaptabilidad, por esto agregando la aceptación de los encuestados, entra al listado final.
- XII. Tiempo de frenado mínimo. A pesar que la parte negativa es mayor que la positiva, la diferencia no es tan grande, sin embargo para tratar de evitar incidentes se hace hincapié *en este elemento por ello entra en los requerimientos finales.*
- XIII. Velocidad a la caminata humana. La parte negativa de este punto es bastante grande, pero dado a que los usuarios son personas y conviven con otras, y por implicaciones técnicas se decide que este punto se quede para representar una velocidad de referencia.
- XIV. Diferentes discapacidades. La parte que representa lo cuestionable es bastante grande en este rublo y la indiferencias también es grande, solamente de estos dos puntos es casi el 70 por ciento de los encuestados, por ello se saca del listado final.
- XV. Sin ayuda de otras personas. A pesar de que existe mucho escepticismo acerca de este punto, por diferentes circunstancias, se requiere un nivel por mínimo que sea de entender que tanto recae en este requerimiento.

---

## ***3. Diseño conceptual***

---

- XVI. Barato en la reparación. Igual que en el punto 8, la indiferencia y la aceptación es similar, sin embargo se opta por incluir a los elementos finales, con la reserva de no ser de los de mayor importancia.

### **3.6. Matriz de QFD**

Después de determinar los requerimientos se llega al punto de generar la matriz de QFD, la cual queda como se muestra (Tabla 3.6.1).





---

## 3. Diseño conceptual

---

### 3.7. Definición del concepto a trabajar

El concepto el cual se pretende diseñar consiste en un dispositivo que tenga las siguientes capacidades:

- Que sea adaptable a ciertas sillas comerciales estándar, con estándar quiere decir que no contenga más allá de lo básico de una silla de ruedas.
- Permita subir-bajar escaleras rectas, estas escaleras tienen ciertos parámetros máximos o parámetros límite que el sistema puede soportar.
- Tenga la capacidad de poder desplazar al usuario en terrenos planos.
- La persona que está usando la silla tenga la posibilidad de controlar este sistema.

Enunciando todo lo anterior se llega a definir el concepto como:

*Un dispositivo adaptable a sillas de ruedas estándar que controlado por el usuario de la misma silla le permita subir-bajar escaleras y desplazar por terrenos planos.*

De esta manera se puede definir el concepto de trabajo de este texto mediante un enunciando, comprendiendo las cualidades más importantes.

### 3.8. Diseño a nivel sistema

En esta etapa se determinan las funciones que debe de tener el dispositivo para que cumpla con el objetivo propuesto, para cada función se tiene un sistema o un subsistema los cuales están internamente relacionados entre sí para que en su totalidad puedan cumplir con la función principal. En esta sección se enuncian las acciones que debe de realizar el sistema las cuales corresponden a las funciones, cada sistema está encargado de realizar una de éstas; para los cuales se propondrán conceptos de solución en etapas posteriores. Para determinar las funciones del sistema se deben de tomar en cuenta las entradas que tiene el mismo y el objetivo al que se debe de llegar, tomando en cuenta esto se puede saber que acciones debe de realizar y como se relacionan estas acciones o funciones. De esta manera se puede dividir el sistema en los subsistemas por los que debe de estar constituido para lograr la finalidad propuesta de acuerdo a los requerimientos de los usuarios y las características que debe de tener el sistema para cumplir la tarea de desplazarse en escaleras y en piso plano.

## 3. Diseño conceptual

### 3.8.1. Sistemas del dispositivo

El dispositivo en curso tiene que realizar lo que describen los siguientes enunciados de la tabla 3.8.1.

Tabla 3.8.1 Cualidades del dispositivo relacionadas con las funciones.

Enunciados	Funciones
Que el dispositivo pueda subir y bajar escaleras	Subir y Bajar Escaleras
El dispositivo tiene la posibilidad de ser operada por el usuario de la silla de ruedas	Operada por el usuario
El sistema tiene una fuente de alimentación autónoma	Autonomía en el sistema
El dispositivo puede desplazarse por terrenos planos o con pequeño relieves	Desplazarse en terrenos semiplanos
El dispositivo se adapta a sillas de ruedas comerciales estándar	Adaptarse a las sillas de ruedas comerciales estándar
El dispositivo compensa la inclinación del usuario en la silla de ruedas	Compensación de la inclinación
El usuario controla los diferentes formas en que la silla opera	Diferentes formas de operar
El dispositivo realiza una conversión de energía para lograr su impulso	Conversión de energía para el impulso
El impulso mecánico mueve el dispositivo	Moverse así mismo
El dispositivo se fija a la estructura de la silla de ruedas	Sujetarse a la silla de ruedas

Estas cualidades que están definidas en nuestro sistema representan de cierta manera funciones que debe contener el dispositivo, estas mismas funciones detrás de si marcan sistemas con los que se debe de contar para lograr que las cualidades sean veraces. Si se toma en cuenta esta idea se puede determinar las funciones del sistema, véase como se definen algunos de los sistemas en la siguiente tabla 3.8.2.

Tabla 3.8.2 Cualidades realizadas con el sistema.

Cualidades	Sistemas
Subir y Bajar Escaleras	Sistema de Desplazamiento en escalera
Operada por el usuario	Sistema de Control
Autonomía en el sistema	Sistema de Alimentación
Desplazarse en terrenos semiplanos	Sistema de Desplazamiento
Adaptarse a las sillas de ruedas comerciales estándar	Sistema estructural (chasis)
Compensación de la inclinación	Sistema de Compensación de inclinación
Diferentes formas de operar	Sistema de selección y Operación
Conversión de energía para el impulso	Sistema de Transmisión
Moverse así mismo	Sistema de Tracción
Sujetarse a la silla de ruedas	Sistema de sujeción

---

### 3. Diseño conceptual

---

Algunos de los sistemas están relacionados entre sí por lo que puede llegar a cierto nivel de unión de ellos, además de estos sistema se requiere de un cerebro es decir aquel sistema que esté tomando decisiones y recibiendo la información del comportamiento de los demás. Este sistema se ha denominado como de control central, se le da esta connotación porque es el sistema central de control del dispositivo y con la intención de no se confunda con el de operación y control. No se pretende que el dispositivo sea inteligente si no que el sistema de control central lleva eso mismo un control sobre el comportamiento de todos los sistemas, un seguimiento de que todo este marchando correctamente.

Dado a que ya se tienen estos sistemas principales, se puede observar que su función comprende varias acciones para el fin en común. Esto lleva a definir los subsistemas de cada sistema pero esto dependerá del concepto de solución pues cada uno debe de tener sus propias necesidades. La siguiente tabla .3.2.3 enuncia los sistemas a grandes rasgos que conforman el dispositivo.

Tabla 3.8.3 Sistemas.

Sistemas
Sistema de Desplazamiento en escalera
Sistema de Control
Sistema de Alimentación
Sistema de Desplazamiento
Sistema estructural (chasis)
Sistema de Sujeción
Sistema de Compensación de inclinación
Sistema de selección y Operación
Sistema de Transmisión
Sistema de Tracción

#### 3.8.2. Descripción de cada sistema y subsistema

Cada uno de los sistemas tiene un fin en particular, todos estos fines se unen con la intención de generar la funcionalidad del dispositivo. En el mapa mental que se presenta a continuación se definen los sistemas por los que está compuesto el dispositivo (Figura 3.8.1).

### 3. Diseño conceptual



. Figura 3.8.1. Mapa mental donde se describen los sistemas del dispositivo.

#### 3.8.3. Interacción entre los sistemas y subsistemas

En el siguiente diagrama de bloques se muestra la relación que existe entre las entradas y las salidas del sistema con los diferentes subsistemas lo constituyen, así como la relación que existe entre los mismos (Figura 3.8.2).

### 3. Diseño conceptual

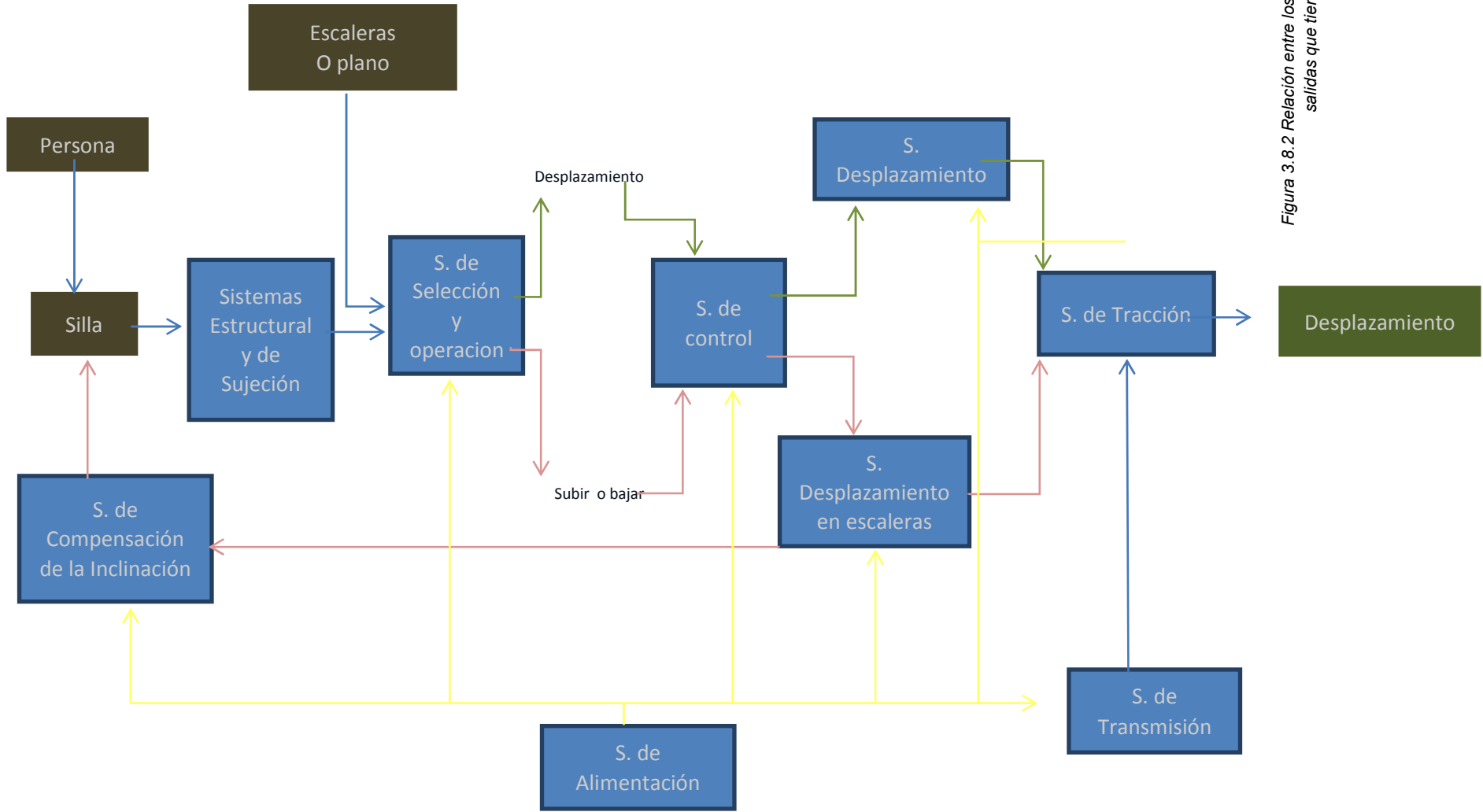


Figura 3.8.2 Relación entre los sistemas así como entradas y salidas que tienen los mismos.

### 3. Diseño conceptual

#### 3.9. Solución y selección de los sistemas

##### 3.9.1. Generación de conceptos de solución para cada sistema y subsistemas

Los conceptos de solución requieren de la inspiración adecuada para llegar a estas posibles soluciones. Es por ello que existen muchas formas de lograr este objetivo en concreto, como se explicó en la parte de metodología general del diseño. Estas son unas de las maneras de generar los conceptos que solucionen un determinado problema u objetivo. Usando este conocimiento en cada uno de los sistemas que se han descrito se tienen los siguientes conceptos solución (Véase también la figura F3.9.1.a-h):

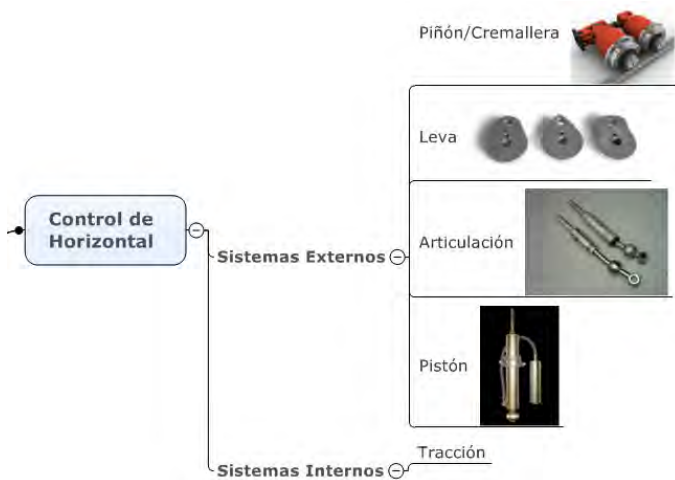


Figura 3.9.1.a) Propuestas para el sistema de control de horizontal

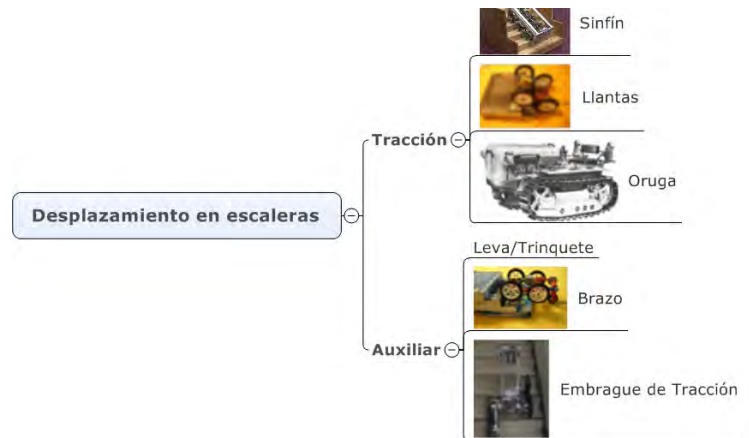


Figura 3.9.1.b) Propuestas para el sistema de control de horizontal

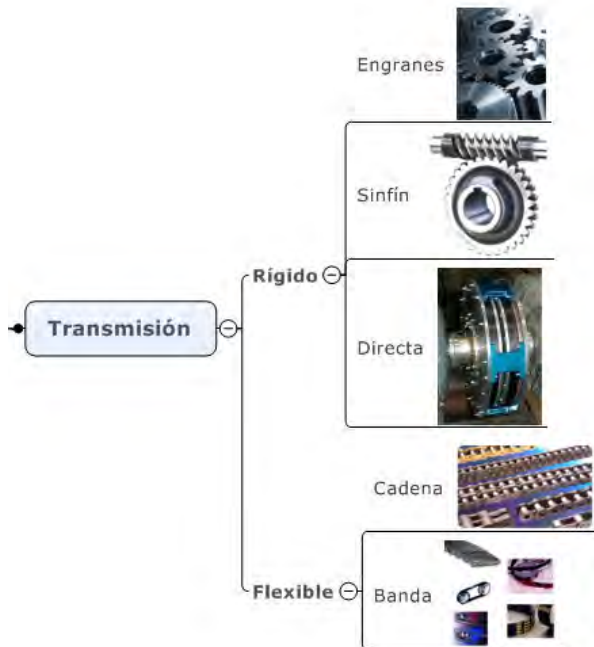


Figura 3.9.1.c) Propuestas para el sistema de transmisión



### 3. Diseño conceptual

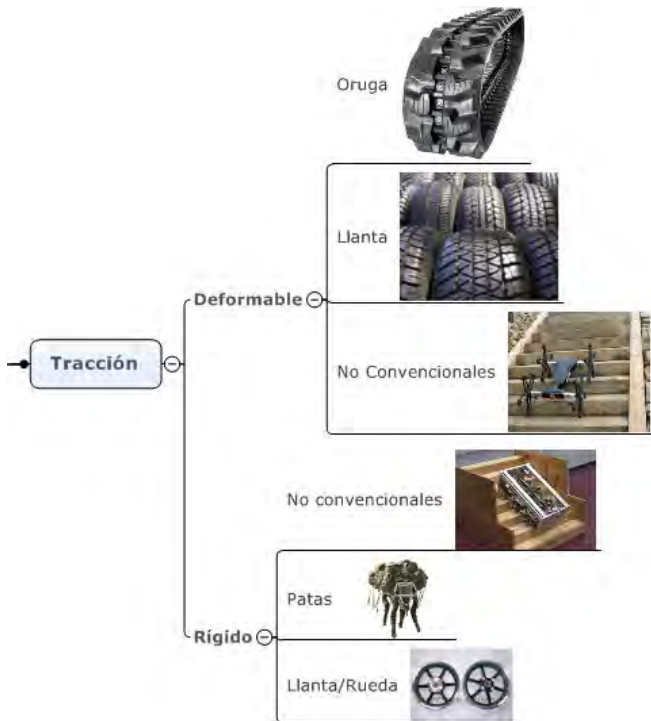


Figura 3.9.1.d) Propuestas para el sistema de tracción

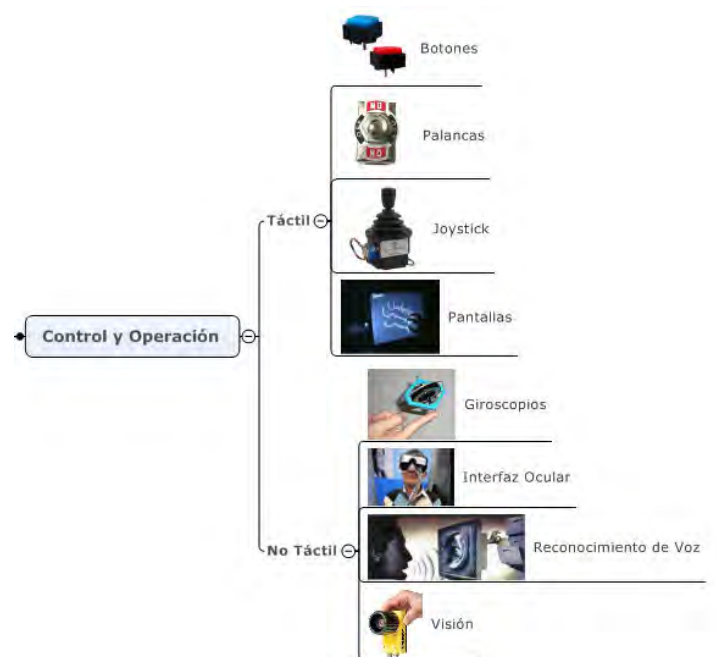


Figura 3.9.1.e) Propuestas para el sistema de control y operación

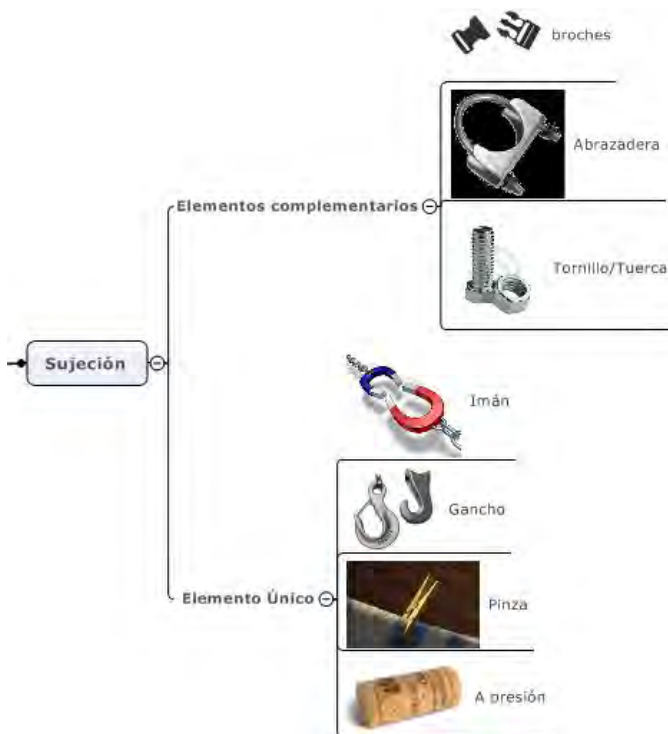


Figura 3.9.1.f) Propuestas para el sistema de sujeción.

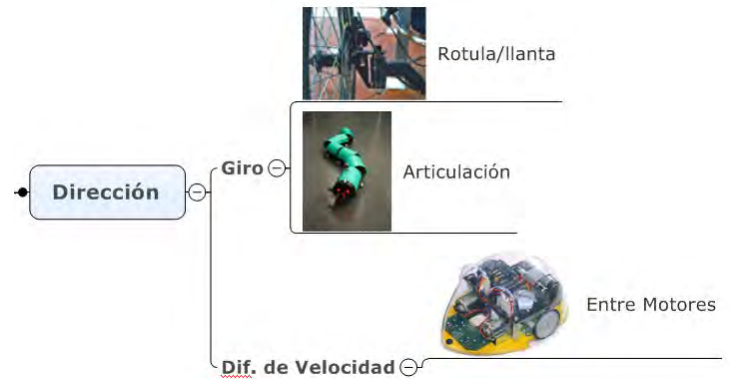


Figura 3.9.1.g) Propuestas para el sistema de control de dirección.



### 3. Diseño conceptual

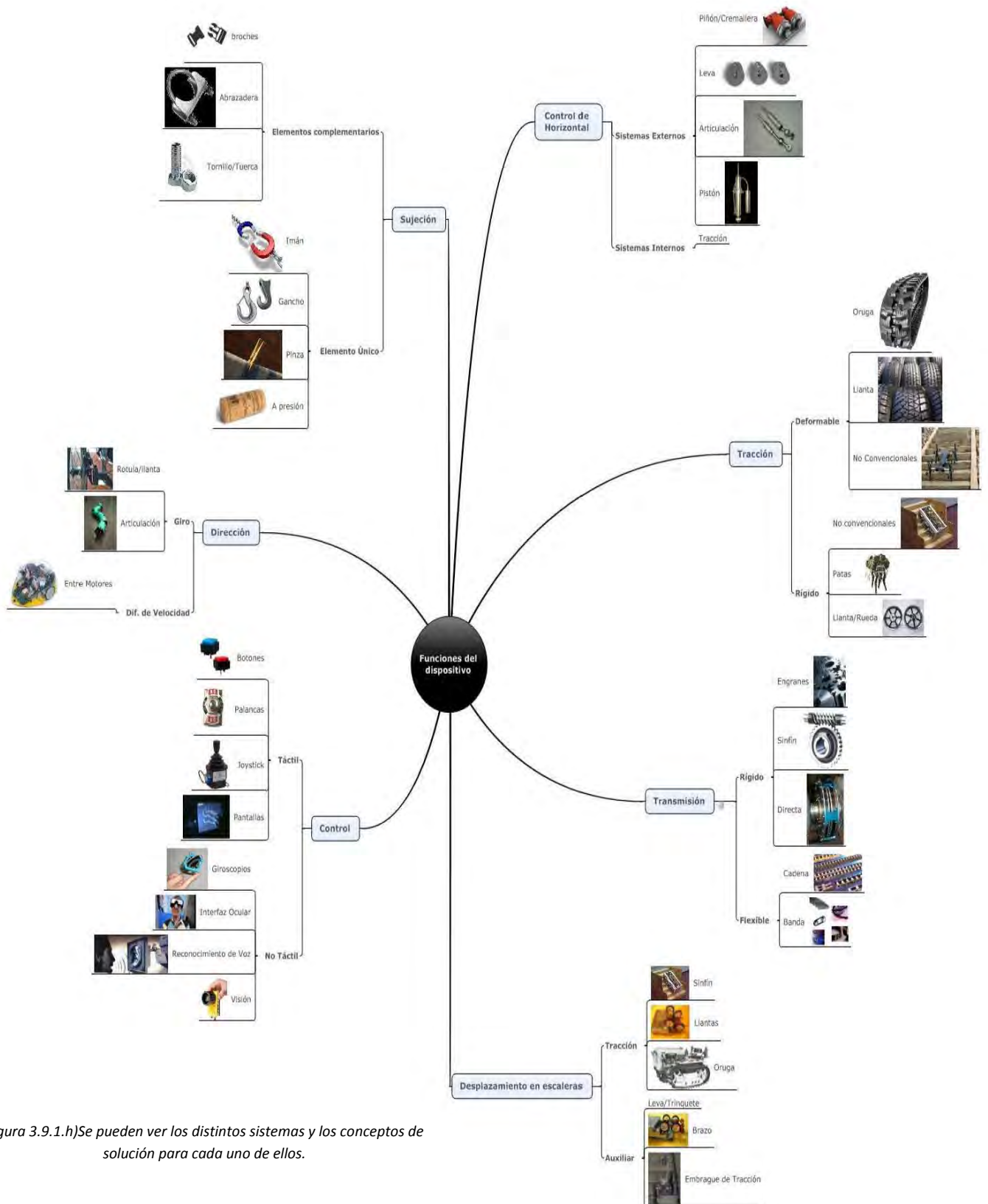

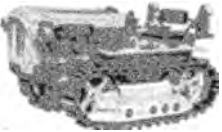


Figura 3.9.1.h) Se pueden ver los distintos sistemas y los conceptos de solución para cada uno de ellos.





## 3. Diseño conceptual

### 3.9.2. Fortaleza y Debilidades de los conceptos de solución






Este punto se enfoca en los conceptos de solución, destacar sus fortalezas y debilidades, esto generando un criterio ante los cuales son las ventajas y desventajas que ofrecen a la hora de diseñar.

Ventajas	Debilidades
<b>Sistema de Desplazamiento en escalera.</b>	
<b>Por Tracción</b>	
<p><b>Llantas</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ofrece la función de desplazamiento en escaleras sin tener que incluir un sistema más.</li> <li>• Dado a su grado de deformación puede amortiguar algunos desniveles.</li> <li>• Es más fácil de encontrar, como refacción.</li> </ul>
<p><b>Orugas</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene la tendencia de concentrar mucha energía en los filos de las escaleras, las cuales son resentidas por el usuario.</li> <li>• Llega a cambiar su dirección en las escaleras, igualmente por la energía condensada.</li> <li>• Es susceptible a poncharse.</li> </ul>
<b>Por sistema auxiliar</b>	
<b>Embrague de tracción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite un uso rudo.</li> <li>• Se adapta hasta cierto grado a la superficie en la que se desplaza.</li> <li>• Ofrece la función de desplazamiento en escaleras sin tener que incluir un sistema más.</li> <li>• Existen en diferentes materiales; nylon, plásticos y aceros.</li> <li>• Permite que el problema de las escaleras se pueda aproximar al de un plano inclinado.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se ladea.</li> <li>• Requiere un espacio</li> </ul>

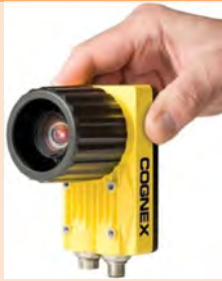
### 3. Diseño conceptual

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gira y se adapta al ángulo del escalón.</li> <li>• No requiere de un sistema para ser activado pues se activa autónomamente al contacto con la escalera por su diseño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sumamente grande para dar el giro .</li> <li>• La complejidad del mecanismo, lo hace algo difícil de implementar.</li> <li>• Puede a pasar que por ciertas imperfecciones del camino se active.</li> <li>• Aumenta los grados de libertad del dispositivo.</li> </ul>
<b>Brazo(s) Auxiliar(es)</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se activan solo al momento de subir escaleras.</li> <li>• Puede ocultarse para no afectar el movimiento normal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de sistema que lo activa, y puede implicar actuadores, sensores y demás.</li> </ul>
<b>Trinquete</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecánica simple.</li> <li>• Ya está estudiado su funcionamiento y materiales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solo permite subir un escalón, requiere de modificación para la aplicación estudiada.</li> </ul>
<h4>Sistema de operación y control</h4>		
<h4>Por elementos Táctiles</h4>		
<b>Botones</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bastante fácil de implementar.</li> <li>• Suficientes piezas en el mercado .</li> <li>• Muchas formas y gustos.</li> <li>• Solo requiere de mantenimiento mínimo</li> <li>• La mayoría de las personas están familiarizadas con ellos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la mayoría de los casos solo tiene dos estados (on y off, alto y bajo, etc.)</li> <li>• En caso de desperfecto lo más conveniente es el remplazo de toda la pieza.</li> <li>• Electrónica sencilla.</li> </ul>
<b>Palancas</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bastante fácil de implementar.</li> <li>• Suficientes piezas en el mercado.</li> <li>• Muchas formas y gustos.</li> <li>• Solo requiere de mantenimiento mínimo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la mayoría de los casos solo tiene dos estados (on y off, alto y bajo, etc.).</li> <li>• En caso de desperfecto lo más conveniente es el remplazo de toda la pieza.</li> <li>• Puede llegar a ser muy dura.</li> <li>• Electrónica simple.</li> </ul>

### 3. Diseño conceptual

<p><b>Joystick</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relativamente fácil de encontrar.</li> <li>• Puede tener sensibilidad analógica.</li> <li>• Múltiples estados.</li> <li>• Ciertamente intuitivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere de una electrónica de adaptación.</li> </ul>
<p><b>Pantallas Táctiles</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bastantes amigables.</li> <li>• Múltiples formas de ser usadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología de alto precio.</li> <li>• Requiere de programación.</li> <li>• La sensibilidad está ligada con el precio.</li> <li>• Sumamente delicadas con el agua.</li> </ul>
<p><b>Por elementos No táctiles</b></p>		
<p><b>Giroscopios</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología amigable.</li> <li>• Sumamente versátil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrónica compleja.</li> <li>• Es de alto precio.</li> <li>• Requiere de programación.</li> </ul>
<p><b>Interfaz Ocular</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de ser usada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere del uso de los ojos y los aleja de lo que se hace.</li> <li>• Puede llegar a cansar.</li> <li>• Requiere de calibración al usuario finito.</li> <li>• Complejidad de implementación.</li> </ul>
<p><b>Reconocimiento de Voz</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De fácil uso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere electrónica y programación.</li> <li>• Requiere de filtro .</li> <li>• Puede a tener incongruencias dependiendo de la contaminación auditiva del medio.</li> </ul>
<p><b>Sistemas de Visión</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mucha Facilidad de ser manejada.</li> <li>• Múltiples posibilidades en el mercado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mucha sensibilidad a la luz del entorno.</li> <li>• El precio es grande.</li> </ul>

### 3. Diseño conceptual



- Requiere de un soporte que contenga las vibraciones.

#### Sistema de desplazamiento

##### Por giro

##### Rotula/llanta



- Bastante comercial .
- Tecnología ya probada.
- Piezas Fáciles de conseguir.
- Tiene un espacio limitado para realizar el giro.

##### Articulación(es)



- Bastante complejo de implementar
- Se desconoce su grado de fiabilidad

#### Por Diferencia de Velocidad

##### Entre Actuadores



- Bastante común.
- Tecnología ya probada.
- Mantiene una buena versatilidad.
- Se utilizan menos elementos para lograr esta función.
- Requiere de dos sistemas.
- Los sistemas tienen que estar sincronizados.

#### Sistema de Sujeción

##### Por elementos complementarios

##### Abrazadera

- Múltiples formas.
- Múltiples materiales.
- Dependen las piezas entre sí para una buena sujeción.

### 3. Diseño conceptual



#### Tornillo y Tuerca



- Múltiples formas.
- Múltiples materiales.
- Dependencia de las piezas entre sí para una buena sujeción.

#### Por elementos Independientes

#### Imán(es)



- Bastante versatilidad.
- Puede usarse en pares o no, depende del gusto y la situación.
- Puede generar ruido electromagnético.
- La sujeción solo es en un sentido, en el otro puede llegar a desplazarse.

#### Gancho(es)



- Tecnología bastante conocida.
- Es confiable.
- Existen muchas presentaciones.
- Requiere de un punto de apoyo para realizar la sujeción.

#### Pinza



- Bastante utilizada.
- Múltiples presentaciones.
- Tiene que tener el ajuste adecuado si no genera juego.

#### A presión



- Requiere de solo una pieza.
- Es bastante fácil de realizar.
- Con el tiempo llega a holgarse.
- Tiene que estar bien realizado el ajuste.






#### Sistema de compensación de inclinación

#### Por Sistemas Externos

#### Piñón y Cremallera





- Es comercial y común.
- La compensación está ligada al paso de la cremallera.

### 3. Diseño conceptual

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Existen diferentes presentaciones y tamaños.</li> </ul>	
<p><b>Leva</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene una compensación continua. No discreta como lo es el caso anterior.</li> <li>Tiene una versatilidad aceptable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requiere de un cálculo certero.</li> <li>Requiere de ser manufacturada para un caso específico.</li> </ul>
<p><b>Articulación</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene bastante libertad para compensar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantiene una libertad que puede ser difícil de controlar.</li> </ul>
<p><b>Pistón</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es bastante común.</li> <li>Existen múltiples presentaciones.</li> <li>Existen muchas distancias de pistón.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La distancia en la cual trabajan no es regulable en la mayoría de los casos.</li> <li>Requieren de un sistema que regule el fluido de trabajo.</li> </ul>
<p><b>Por Sistema Interno</b></p>		
<p><b>Sistema de tracción</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se ahorran espacio de trabajo.</li> <li>Se ahorran actuadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Varias funciones dependen del mismo sistema.</li> <li>Puede hacer que el sistema sea más complejo.</li> </ul>
<p><b>Sistema de Transmisión</b></p>		
<p><b>Por elementos Flexibles</b></p>		
<p><b>Bandas</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene una distancia de transmisión bastante grande.</li> <li>Sus presentaciones son múltiples.</li> <li>Están hechas de muchos materiales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Su distancia no es regulable.</li> <li>En caso de desperfecto se tiene que cambiar la pieza completa.</li> <li>Tiene un desgaste mayor que otros sistemas.</li> <li>La pérdida de potencia es apreciable.</li> </ul>
<p><b>Cadenas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La distancia de transmisión es regulable y es grande.</li> <li>Sus presentaciones son</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene una distancia mínima de trabajo.</li> <li>Las pérdidas de potencia</li> </ul>









### 3. Diseño conceptual

	<p>múltiples.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El material del que está hecho le da bastante carga de trabajo.</li> </ul>	<p>son considerables.</p>
<p><b>Por elementos Rígidos</b></p>		
<p><b>Engranés</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Son comerciales.</li> <li>Tiene muchas presentaciones y materiales.</li> <li>Se puede cambiar el sentido de transmisión mediante sus dientes.</li> <li>Se pueden hacer diferentes cambios a la salida mediante los juegos de engranes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si se rompe la pieza debe cambiarse.</li> <li>El ajuste entre debe ser el adecuado.</li> <li>No debe de existir una tan grande entre ellos pues no se transmite.</li> <li>Pérdidas considerables en el sistema.</li> <li>Generan demasiado ruido lo cual puede ser molesto para el usuario.</li> </ul>
<p><b>Tornillo Sinfin</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es una tecnología conocida.</li> <li>Al finalizar el movimiento elimina mucha de la inercia y para rápidamente la transmisión.</li> <li>Las pérdidas son menores a las de los elementos flexibles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requiere de un engrane.</li> <li>Forzosamente cambia la dirección de transmisión.</li> </ul>
<p><b>Directa (copleé)</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>La transmisión que menos pérdidas tiene.</li> <li>El copleé puede ser flexible o rígido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No cambia la dirección de transmisión.</li> <li>Requiere de un ajuste muy pequeño, pues deben de estar alineados el eje y el actuador.</li> <li>No se podrían realizar modificaciones al las variables del motor, como el par y la velocidad.</li> </ul>
<p><b>Sistema de tracción</b></p>		
<p><b>Por elementos Flexibles</b></p>		
<p><b>Oruga</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bastante conocido.</li> <li>Soporta cargas bastante altas de trabajo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Son caras.</li> <li>Las piezas son comúnmente importadas.</li> </ul>



### 3. Diseño conceptual

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene un grado adaptabilidad al terreno.</li> </ul>	
<p><b>Llantas o neumáticos</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Múltiples presentaciones y tamaños.</li> <li>• Tiene un grado de amortiguación al terreno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tienen la posibilidad de pincharse.</li> <li>• Contiene mucha energía en los filos de escaleras.</li> </ul>
<p><b>Llantas no convencionales</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alcances inimaginables.</li> <li>• Diseños novedosos.</li> <li>• Innovación técnica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de piezas generalmente no comerciales.</li> <li>• Requiere de haber sido probado, para afirmar su funcionalidad.</li> </ul>
<p><b>Por elementos rígidos</b></p>		
<p><b>Patas</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanismos rígidos, usualmente de materiales fuertes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requieren de un estudio adecuado a su movimiento.</li> <li>• El diseño depende mucho de la aplicación.</li> <li>• Puede llegar a fallar dependiendo de la carga.</li> <li>• Complejidad en el modelado.</li> </ul>
<p><b>Llantas O Ruedas</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Convencionales.</li> <li>• Fáciles de implementar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No amortiguan y dejan sentir los impactos en seco.</li> <li>• Es de una sola pieza, se cambia la misma al tener algún desperfecto.</li> </ul>
<p><b>Rígidos no convencionales</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Innovador.</li> <li>• Combina diferentes elementos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requieren de un diseño único.</li> <li>• Muchas veces requieren de elementos no comerciales.</li> <li>• La manufactura puede resultar complicada.</li> </ul>

## 3. Diseño conceptual

### 3.9.3. Propuestas de solución

Usando la información descrita se genera una gama de posibilidades de solución, las cuales tiene combinaciones y diferentes elementos de los anteriormente descritos. Estas propuestas son las siguientes:

Propuesta A)

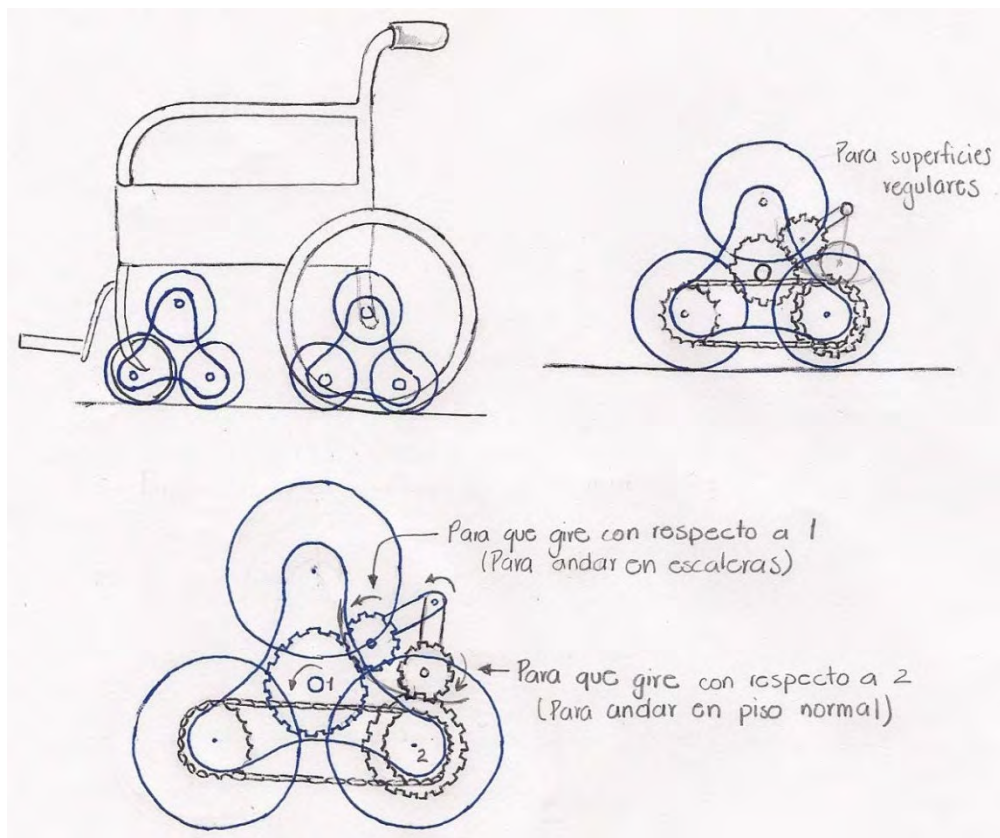


Figura 3.9.2. Solución A.

Esta propuesta retoma un elemento el cual se ha utilizado ya en otras ocasiones, como por ejemplo en la tesis de la Ing. Silvia González Salinas, el cual consiste en tres ruedas unidas entre sí, al tener esta configuración permite subir al girar con respecto al eje donde estas están colocadas. El funcionamiento que se propone es el siguiente: en piso normal se usarán solo dos llantas de cada uno de los arreglos, todas las llantas que estén en contacto con el piso tendrán tracción para que pueda andar en terrenos difíciles por lo que el movimiento será transmitido al engrane con que gira con respecto a 2 que comunica con las catarinas; en escaleras cambia el la transmisión hacia el engrane que gira con respecto a 1 por lo que gira con respecto al eje de las tres ruedas y esto permite que suba. El cambio en la transmisión se puede hacer mediante un elemento manual que sea accionado por el mismo usuario, análogo a una palanca de velocidad de un automóvil, o puede ser mediante un actuador (Figura 3.9.2).

Propuesta B)

### 3. Diseño conceptual

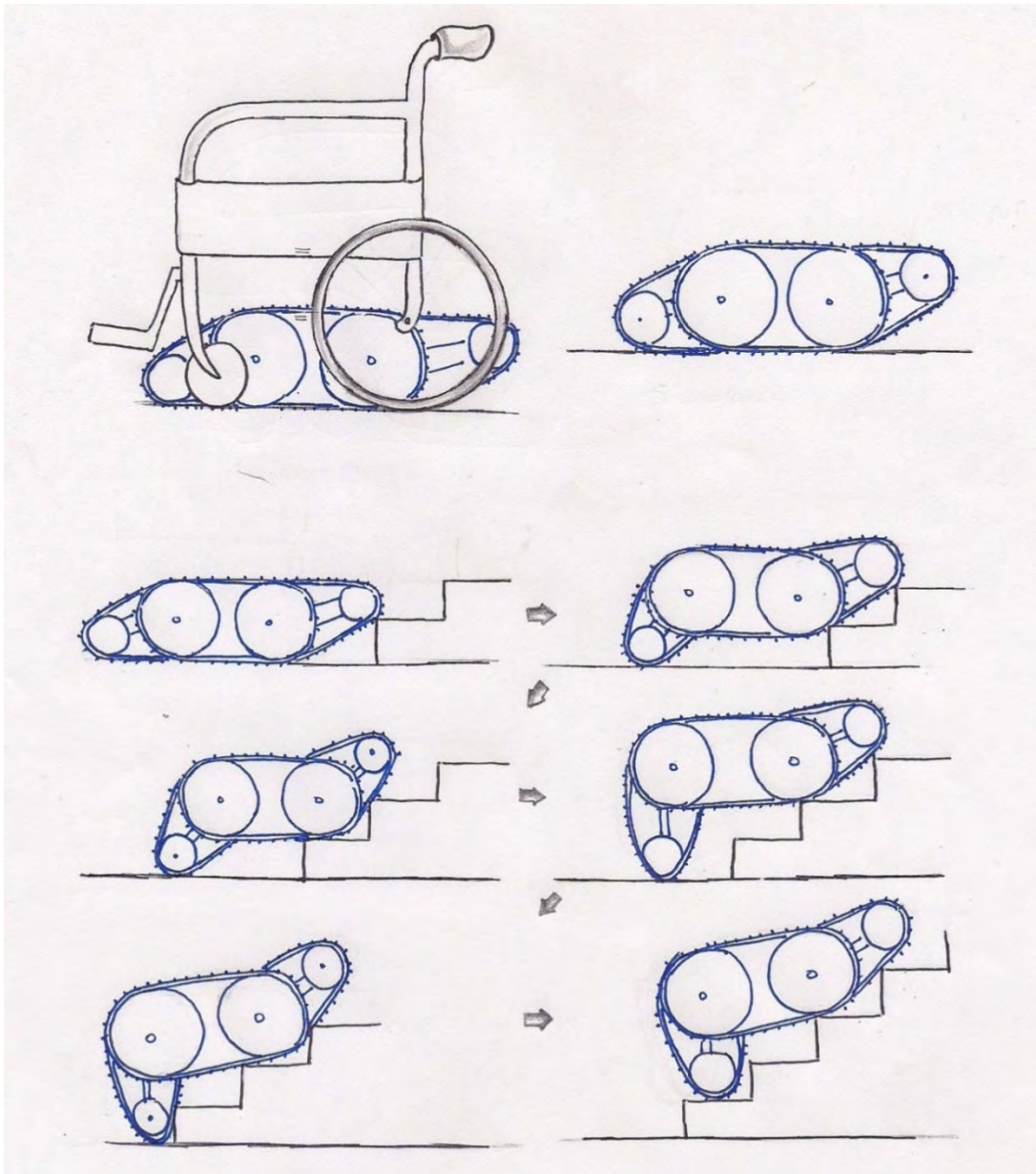


Figura 3.9.3 Propuesta B

Esta propuesta consiste en una especie de oruga, pero ésta cuenta con dos brazos, uno de ellos le ayuda principalmente a subir mientras que el otro ayuda a conservar la horizontal de la parte de en medio que estaría ligada a la silla, por lo que el ángulo que está tenga lo tendrá la silla, procurando que el ángulo de inclinación sea tolerable. Para esta propuesta aparentemente se requieren de 4 motores, uno para cada brazo y uno para cada lado para que sea posible girar mediante diferencia de velocidades en los motores (Figura 3.9.3).

Propuesta C)



### 3. Diseño conceptual

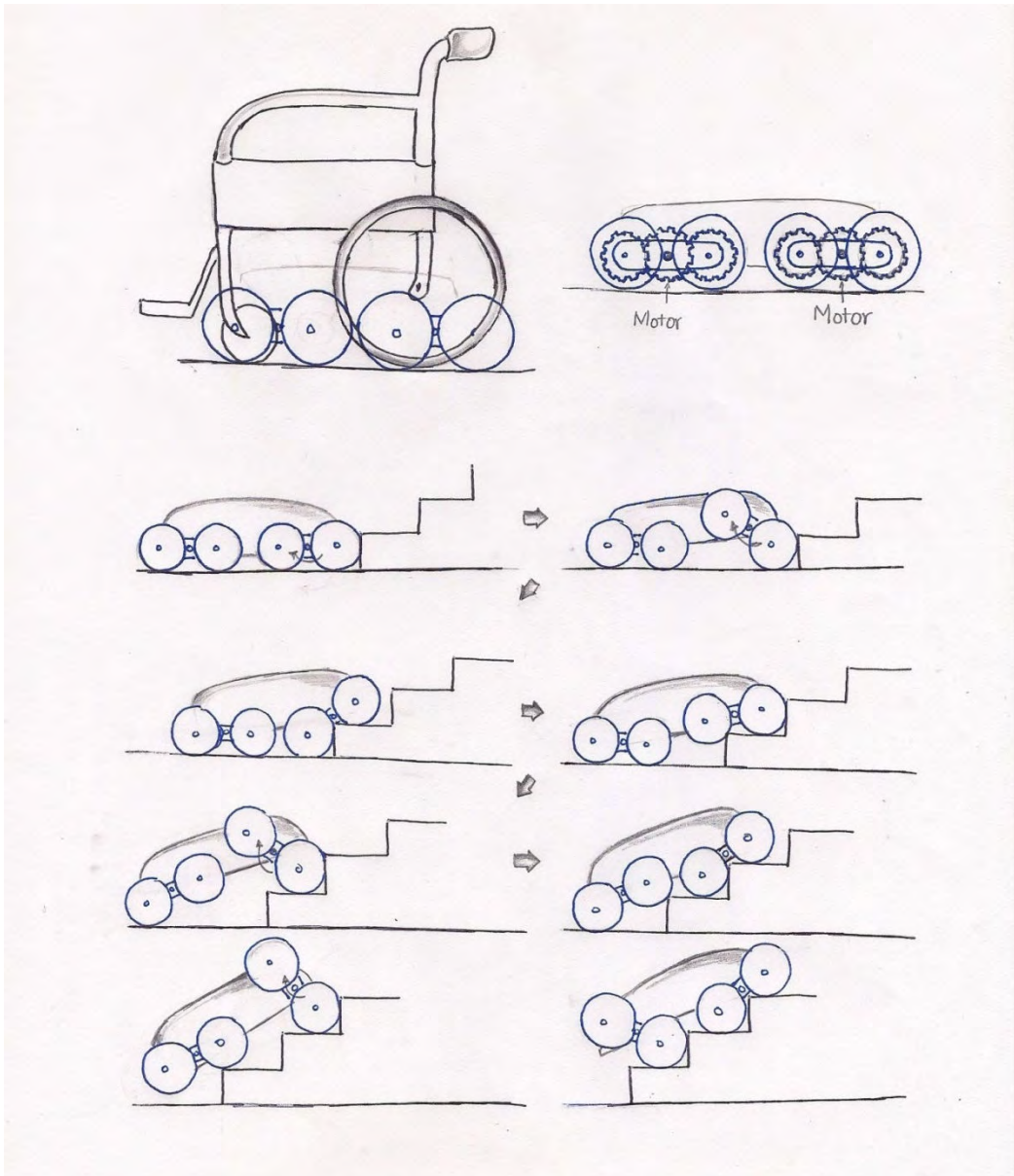


Figura 3.9.4 Propuesta C

Aquí se propone utilizar un elemento que consiste de dos ruedas unidas por un eslabón, ambas tienen tracción, se propone utilizar engranes para la transmisión de movimiento del motor a las ruedas. Se utilizan 4 arreglos en total en el dispositivo, por lo que serán necesarios 4 motores. La manera en que logra subir se observa en la imagen, se pretende realizar algo similar al robot MACbot, pero utilizando distintos elementos y de manera distinta. En piso normal el dispositivo anda en 8 ruedas, cuando se le presenta un escalón o un obstáculo de un tamaño aproximado al de un escalón chocaran las primeras ruedas del dispositivo al no poder seguir girando el engrane que tope esto provocara que los engranes adyacentes giren con respecto al engrane que está topando con el escalón, como si hubiera un embrague en el engrane, por lo gira el eslabón con respecto al centro del arreglo de manera que libra el escalón (Figura 3.9.4).

Propuesta D)

### 3. Diseño conceptual

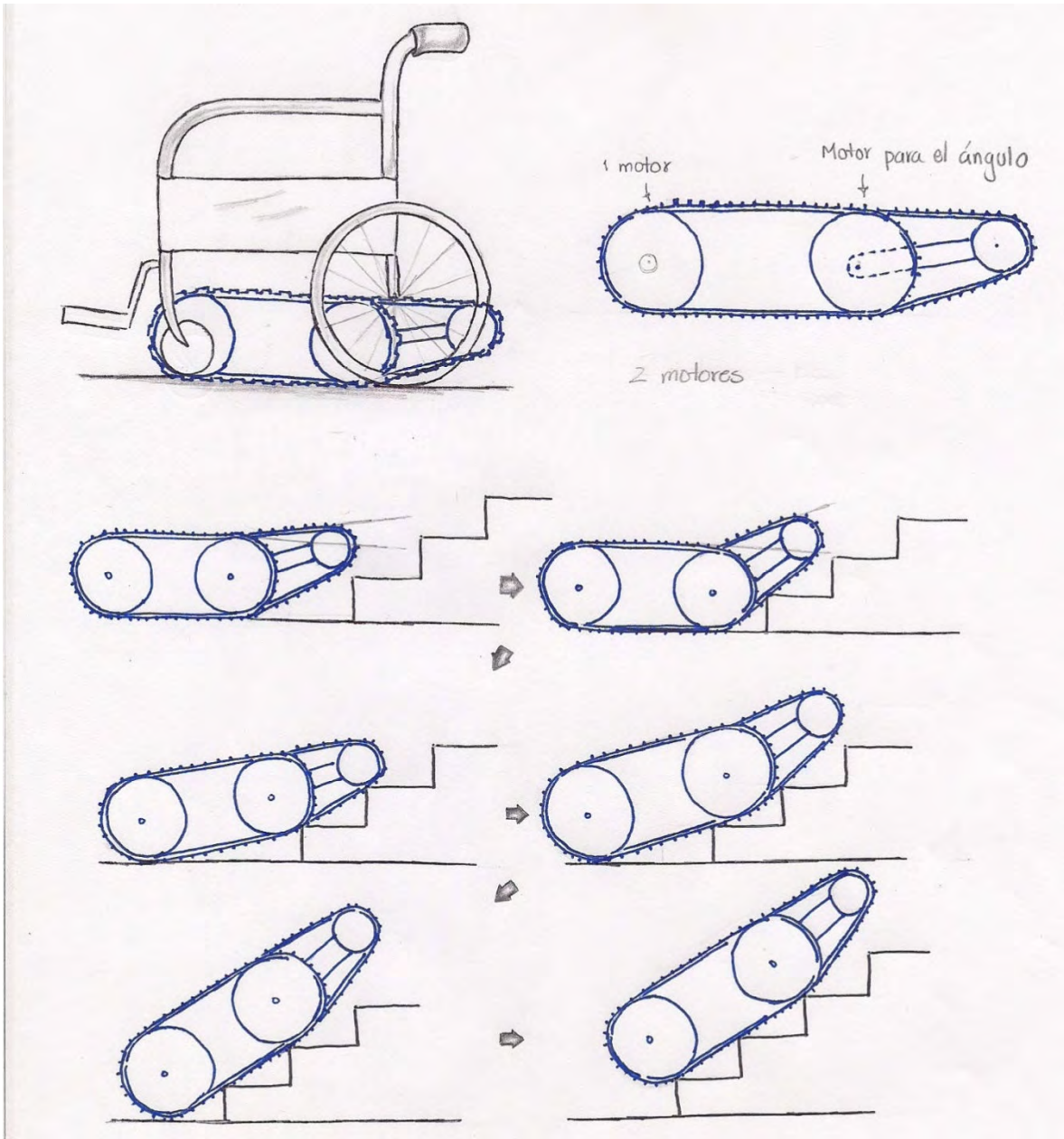


Figura 3.9.5 Propuesta D.

Esta propuesta consiste en una oruga y un brazo auxiliar, el brazo le ayudará al dispositivo principalmente a librar el primer escalón hasta que la oruga alcance se encuentre paralela al ángulo de la escalera y de esta manera pueda subir aproximándose casi a como si subiera por un plano inclinado. Para esta se necesitarían 3 motores, uno para el brazo auxiliar y los otros dos para cada lado de manera que gire por diferencia de velocidades (Figura 3.9.5).

Propuesta E)

### 3. Diseño conceptual

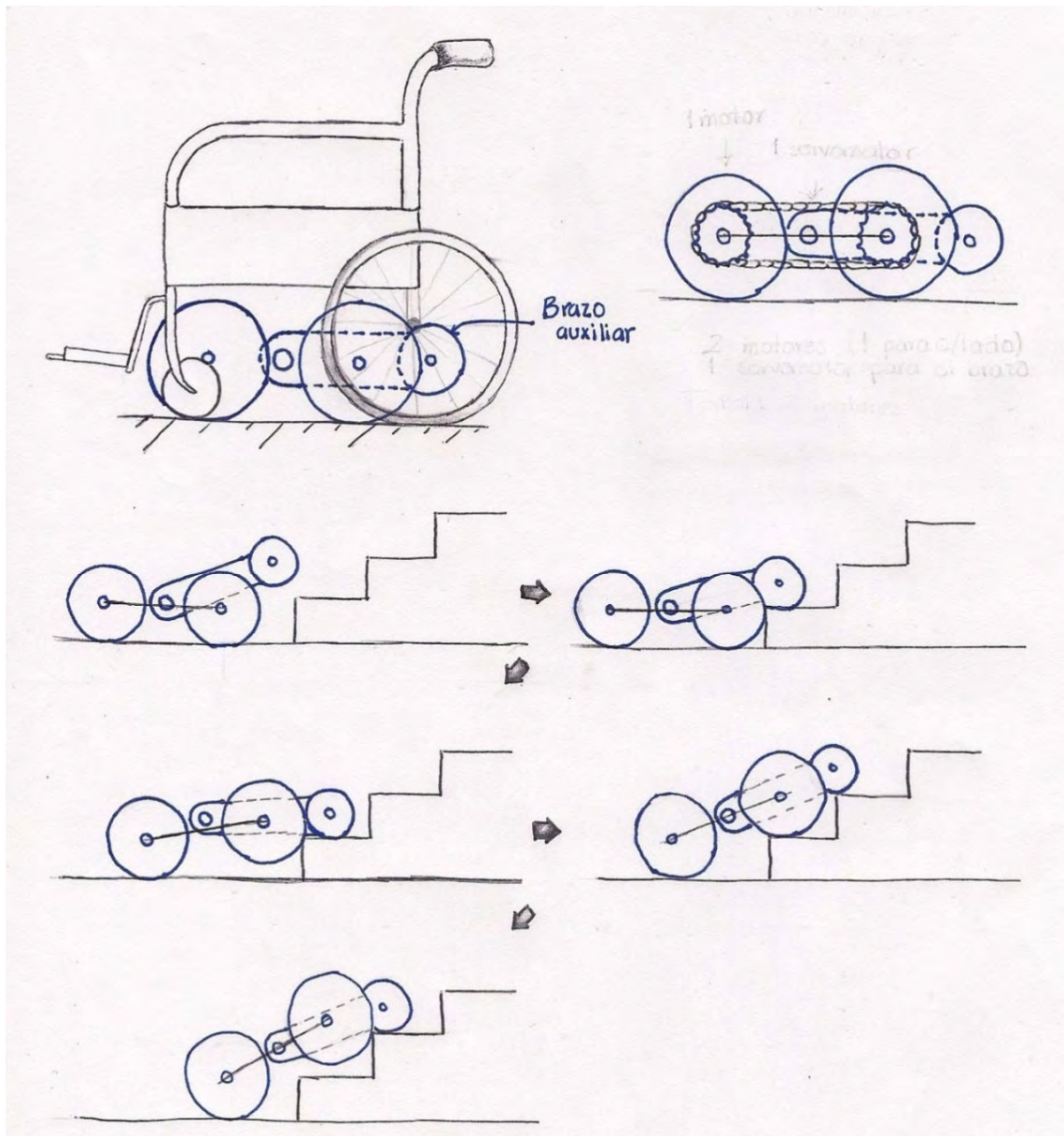


Figura 3.9.6 Propuesta E.

Esta propuesta consta de un vehículo de tracción 4x4, esto mediante cadenas, tiene un brazo auxiliar que le ayuda a impulsarse para librar el escalón.

Propuesta F)



### 3. Diseño conceptual

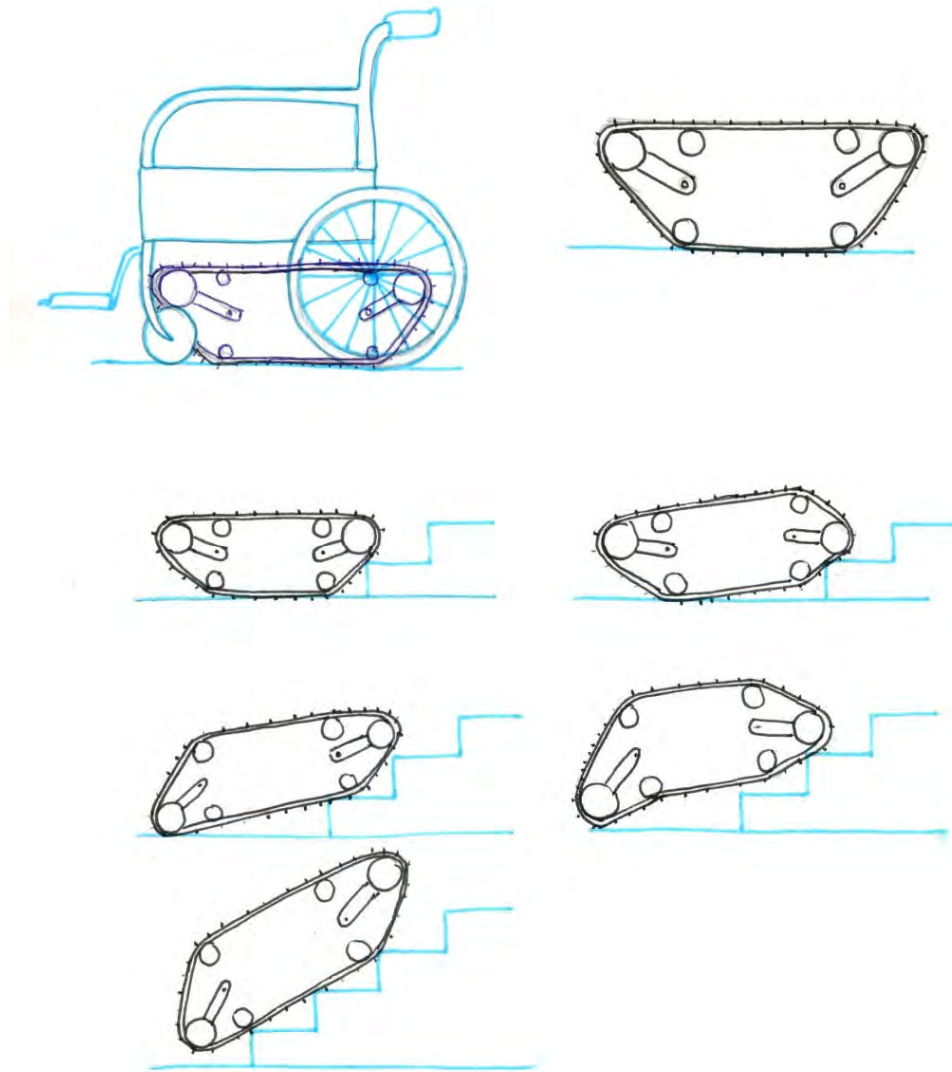


Figura 3.9.7 Propuesta F.

Consiste en una oruga con una banda flexible además consta de dos brazos frontales y dos traseros, estos paralelos entre sí respectivamente, los cuales se mueven a través de esta banda y esto facilita que transite la silla en escaleras ya que la banda le da mayor superficie de apoyo; los frontales sirven para impulsarse y los traseros se mueve cierto ángulo de manera que compensan la inclinación lo más posible y también ayuda en la escalada. Para este dispositivo serían necesarios 4 actuadores, uno para los brazos frontales paralelos y uno para cada lado de la oruga por lo que se propone la dirección mediante diferencia de velocidades entre los dos actuadores (Figura 3.9.7).

### 3. Diseño conceptual

Propuesta G)

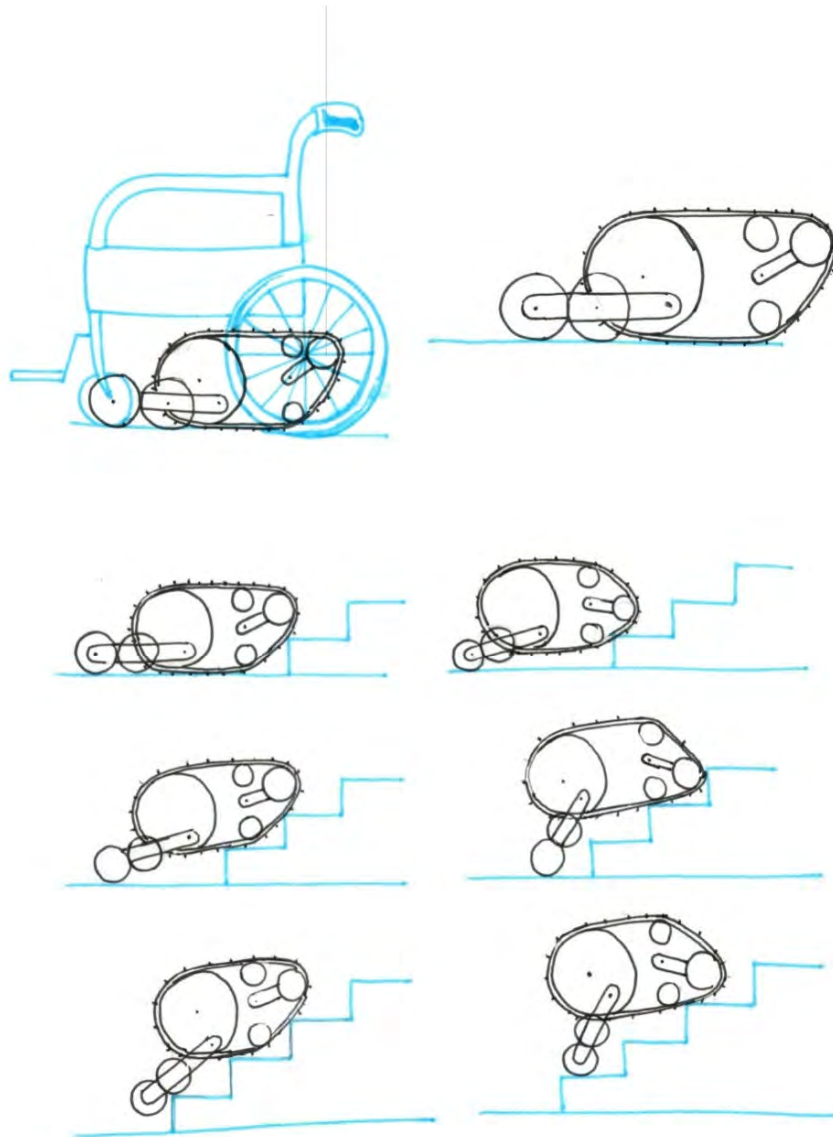


Figura 3.9.8 Propuesta G.

Consiste en una oruga con una banda flexible, que tiene dos brazos frontales paralelos los cuales se mueven a través de la banda y ayudan a impulsar el dispositivo que está adaptado a la silla; cuenta con dos brazos traseros paralelos los cuales tiene dos llantas cada uno que no están actuadas, son de apoyo para el brazo el cual está encargado de compensar la horizontal. Este dispositivo usaría 4 actuadores, uno para los brazos paralelos frontales, otro para los brazos traseros paralelos y uno para cada lado, por lo que se propone el sistema de dirección por diferencia de velocidades (Figura 3.9.8).



### 3. Diseño conceptual

Propuesta H)

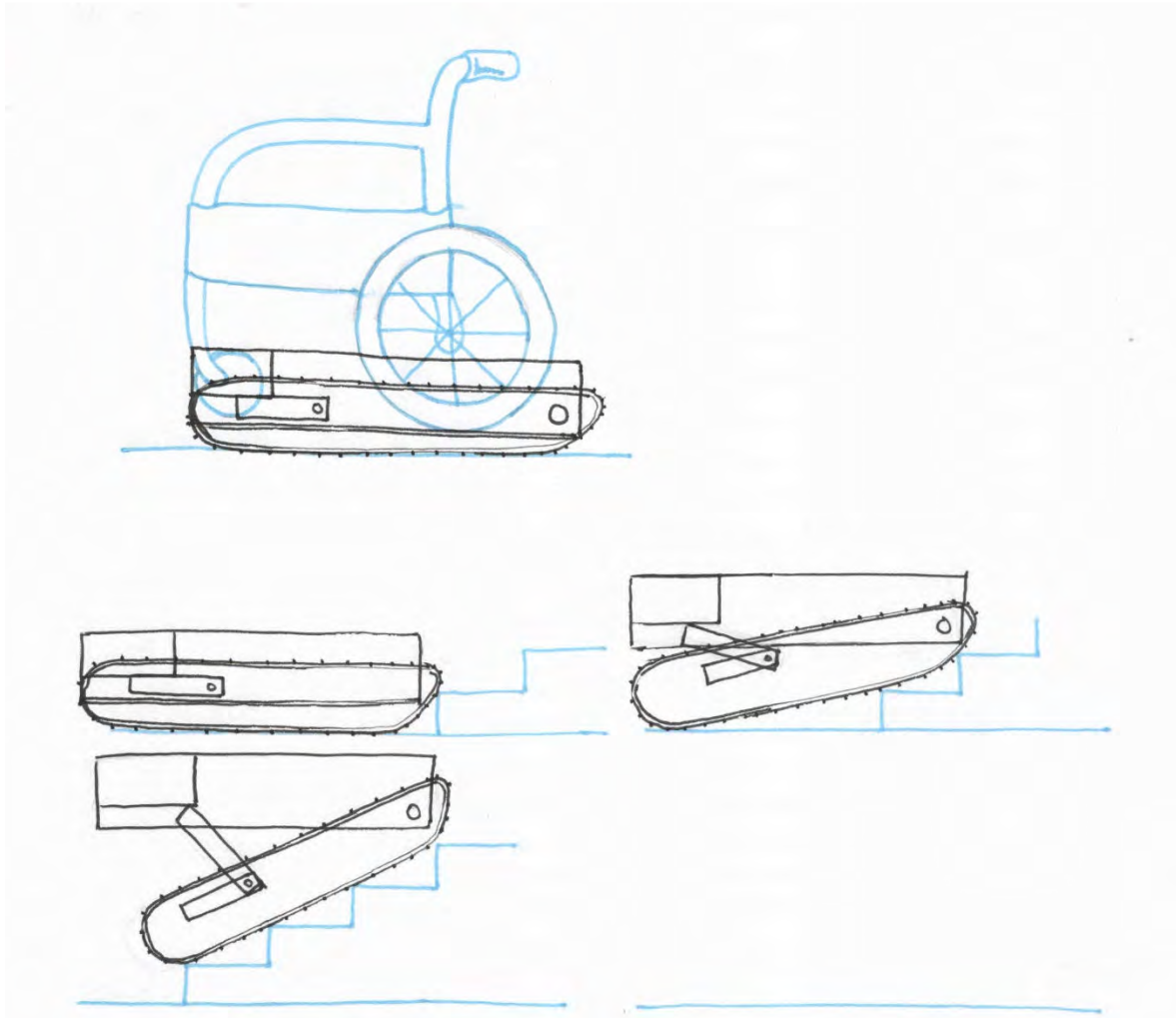


Figura F3.9.9 Propuesta H.

En esta propuesta se considera para el sistema de tracción una oruga, sin especificar su forma, a esta va montada una especie de parrilla; ésta tiene como unas canaletas que tiene la finalidad de soportar la silla de manera que las ruedas de la silla queden en dicha canaleta. Esta parrilla tiene un grado de libertad, ya que cuenta con un eje en un extremo y esta soportada también por una especie de pinza que se abre o se cierra para poder cambiar el ángulo de inclinación e la silla de ruedas que tiene con respecto, de esta manera se puede compensar la inclinación de las escaleras. Esta propuesta de solución da el beneficio de mayor espacio, esto es gracias a que la silla queda sobre la canaleta y se encuentra a nivel del piso, por lo que el mecanismo de tracción no queda obstruido por algún elemento de la silla de ruedas (Figura 3.9.9).

### 3. Diseño conceptual

#### 3.9.4. Configuración los conceptos de solución de las propuestas de solución

En esta sección se explora cual es el concepto de solución utilizado en cada sistema de cada una de las propuestas. En la siguiente tabla de tipo comparativo es acerca de modo de desplazamiento y modo de tracción de cada propuesta, también se menciona el modo de compensación de la inclinación que manejan que puede ser interna o externa (Tabla 3.9.1).

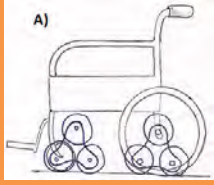
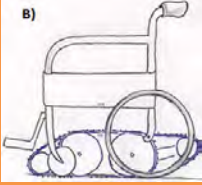
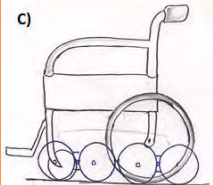
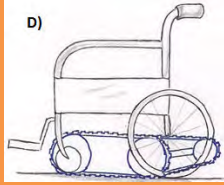
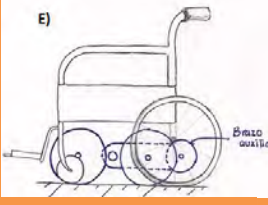
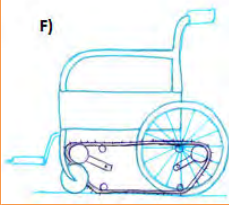
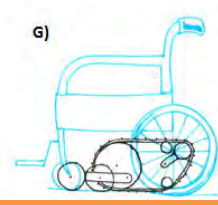
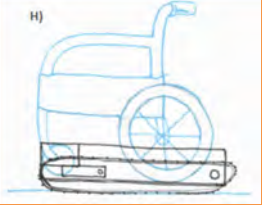
<b>Propuesta</b>				
Desplazamiento en escaleras	Auxiliar, embrague de tracción	Tracción-Auxiliar, oruga y brazos auxiliares	Auxiliar, embrague de tracción	Tracción-Auxiliar, Oruga y brazo auxiliar.
Desplazamiento	Diferencia de Velocidad	Diferencia de Velocidad	Diferencia de Velocidad	Diferencia de Velocidad
Compensación de inclinación	Sistema externo, indeterminado	Sistema externo, brazos	Sistema externo, indeterminado	Sistema externo, Brazo
<b>Transmisión</b>				
Tracción	Rígido, Llantas O Flexible, neumático	Flexibles, Oruga	Rígido, Llantas O Flexible, neumático	Flexibles, Oruga
<b>Propuesta</b>				
Desplazamiento en escaleras	Auxiliar, brazo auxiliar	Tracción-Auxiliar, oruga y brazos auxiliares	Tracción-Auxiliar, oruga y brazos auxiliares	Oruga
Desplazamiento	Diferencia de Velocidad	Diferencia de Velocidad	Diferencia de Velocidad	Diferencia de Velocidad
Compensación de inclinación	Sistema externo, indeterminado	Sistema interno, brazo auxiliar	Sistema interno, brazo auxiliar	Sistema externo
<b>Transmisión</b>				
Tracción	Rígido, Llantas O Flexible, neumático	Flexibles, oruga	Flexibles oruga	Flexibles, oruga

Tabla 3.9.1. Comparación de las propuestas de solución.

---

## 3. Diseño conceptual

---

Existen elementos que no se han contemplado a un dentro de esta configuración estos son:

- S. Estructural
- S. Operación Y control
- S. Alimentación
- S. Selección
- S. Control Central
- S. Sujeción

Existe una cierta versatilidad dentro de estos sistemas, lo cual otorga una flexibilidad para una posterior selección en que es lo que más conviene respecto a la propuesta seleccionada.

### 3.9.5. Criterios para la selección de la propuesta

La selección del mecanismo que permite el desplazamiento tanto en terreno semi-plano, como en escaleras; tiene un papel predominante para el trabajo desarrollado es por ello que para la selección de este se requiere de una gama de criterios bien pensados. Con el fin de realizar la mejor selección posible tomando en cuenta los mayores beneficios. Estos criterios son:

- I. *Complejidad de implementación del dispositivo:* Hace referencia a varios elementos que definen que tan complejo es su implementación, algunos de estos rublos dificultad de construcción, complejidad misma de las piezas y el dispositivo.
- II. *Cantidad de Piezas:* Se evalúa el aproximado de que tantas piezas contiene una determinada propuesta.
- III. *Dificultad de disposición de partes y repuestos:* En este rublo se toma en cuenta varios elementos que nos indican que tan difícil es para una persona encontrar las partes; como puede imaginarse aquí entran elementos como que tan comercial es, si es importado, etc. Estos elementos nos dan un indicativo de la dificultad de disposición.
- IV. *Costo de las partes:* En esta parte se evalúa propiamente el precio neto de las piezas.
- V. *Costo de mantenimiento:* Se evalúan aspectos que determinan el costo de un mantenimiento general.
- VI. *Dificultad de mantenimiento:* Se toma en cuenta la cantidad de acciones para poder realizar un mantenimiento general.
- VII. *Seguridad:* Se evalúa de manera general la seguridad que representa cada una de las propuestas, esta incluyen estabilidad, comodidad, propensión a vibraciones, etc.
- VIII. *Confort al desplazarse en escaleras:* Se evalúa que tan confortable le resultaría al usuario subiendo escaleras.
- IX. *Confort al desplazarse en terreno semi-plano:* Igual al anterior rublo solo que en el caso del terreno semi-plano.

### 3. Diseño conceptual

- X. *Costo de la unidad o dispositivo:* Una evaluación que corresponde a la suma de los costos de las piezas que la conforman.
- XI. *Máxima carga de trabajo:* Se analiza de manera general la cantidad de carga que puede sostener una propuesta.
- XII. *Cantidad de actuadores:* Se realiza un análisis de la aceptación del número de actuadores de la propuesta.
- XIII. *Espacio aproximado:* La cantidad de espacio que ocupa el dispositivo, comparado con los otros.
- XIV. *Forma del mecanismo:* Se evalúa que tan posible es que el mecanismo interfiera con el espacio de la silla, como lo es principalmente el descansa pies y la cruz de soporte.

#### 3.6.1. Peso de los Criterios de evaluación

Tabla 3.9.2 Criterios de evaluación y sus correspondientes factores de peso.

	I.-Complejidad D.	II.-Cantidad de P.	III.-Dificultad de D.	IV.- Costo de las P.	V.- Costo de M.	VI.- Dificultad de M.	VII.- Seguridad	VIII.- Confort al D. en E.	IX.- Confort al D. en P.	X.- Costo de U.	XI.- Máxima Carga	XII.- Cantidad de Ac.	XIII.- Espacio Aprox.	XIV.-Forma del Mec	Puntos	Factor de Peso	Factores de Peso Redondeados
I.-Complejidad D.	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	8	0.087	<b>0.088</b>
II.-Cantidad de P.	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0.032	<b>0.033</b>
III.-Dificultad de D.	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	7	0.076	<b>0.077</b>
IV.- Costo de las P.	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	5	0.054	<b>0.055</b>
V.- Costo de M.	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	4	0.043	<b>0.044</b>
VI.- Dificultad de M.	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0.032	<b>0.033</b>
VII.- Seguridad	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	10	0.109	<b>0.11</b>
VIII.- Confort al D. en E.	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	11	0.120	<b>0.12</b>
IX.- Confort al D. en P.	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	9	0.098	<b>0.099</b>
X.- Costo de U.	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	7	0.076	<b>0.077</b>
XI.- Máxima Carga	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0.032	<b>0.033</b>
XII.- Cantidad de Ac.	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0.032	<b>0.033</b>
XIII.- Espacio Aprox.	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	8	0.087	<b>0.088</b>
XIV.-Forma del Mec.	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	10	0.109	<b>0.11</b>
<b>Total</b>															<b>91</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Como se observa los valores se redondean para trabajarlos con menor cantidad de decimales y de esta manera se ajustan los factores de peso para la evaluación (Tabla 3.9.2). Con esta metodología la jerarquía de los rublos de evaluación quedan de la siguiente forma:

### 3. Diseño conceptual

1. Confort al Desplazarse en Escaleras
2. Seguridad
3. Forma del Mecanismo
4. Confort al Desplazarse en Plano
5. Complejidad Dispositivo
6. Espacio Aproximado
7. Costo de Unidad
8. Dificultad de Disposición
9. Costo de las Piezas
10. Costo de Mantenimiento
11. Dificultad de Mantenimiento
12. Cantidad de Partes
13. Máxima Carga
14. Cantidad de Actuadores

Con esto se definen que rubros tiene más peso a comparación con los demás, esto para que sea más claro que la importancia al evaluar puede ser diferente entre cada uno de ellos.

#### 3.9.6. Evaluación y selección de las propuestas de solución

Por estos principios y más importante aún la equidad de selección importa, se elige a usar en este caso la de 11 puntos.

Se evaluó conforme a la escala elegida cada uno de los criterios, después este valor se multiplica por el valor del factor de pesos y se suma. Y es de esta manera es como se obtiene la calificación, según la metodología usada.

Ya comprendida la forma de evaluación, se llega a los siguientes resultados:

Propuesta	A	
	Calificación	Peso
I.-Complejidad D.	5	0.44
II.-Cantidad de P.	4	0.132
III.-Disposición de partes.	8	0.616
IV.- Costo de las P.	6	0.33
V.- Costo de M.	6	0.264
VI.- Dificultad de M.	7	0.231
VII.- Seguridad	6	0.66
VIII.- Confort al D. en E.	4	0.48
IX.- Confort al D. en P.	6	0.594
X.- Costo de U.	4	0.308
XI.- Máxima Carga	4	0.132
XII.- Cantidad de Ac.	5	0.165
XIII.- Espacio Aprox.	3	0.264
XIV.-Forma del Mec.	2	0.022
<b>Calificación</b>	<b>70</b>	<b>4.638</b>

Propuesta	B	
	Calificación	Peso
I.-Complejidad D.	5	0.44
II.-Cantidad de P.	5	0.165
III.-Dificultad de D.	4	0.308
IV.- Costo de las P.	3	0.165
V.- Costo de M.	4	0.176
VI.- Dificultad de M.	5	0.165
VII.- Seguridad	6	0.66
VIII.- Confort al D. en E.	7	0.84
IX.- Confort al D. en P.	7	0.693
X.- Costo de U.	4	0.308
XI.- Máxima Carga	6	0.198
XII.- Cantidad de Ac.	5	0.165
XIII.- Espacio Aprox.	6	0.528
XIV.-Forma del Mec.	5	0.055
<b>Calificación</b>	<b>72</b>	<b>4.866</b>



### 3. Diseño conceptual

Propuesta	C	
	Calificación	Peso
I.-Complejidad D.	4	0.352
II.-Cantidad de P.	4	0.132
III.-Dificultad de D.	8	0.616
IV.- Costo de las P.	7	0.385
V.- Costo de M.	6	0.264
VI.- Dificultad de M.	6	0.198
VII.- Seguridad	5	0.55
VIII.- Confort al D. en E.	4	0.48
IX.- Confort al D. en P.	6	0.594
X.- Costo de U.	5	0.385
XI.- Máxima Carga	4	0.132
XII.- Cantidad de Ac.	5	0.165
XIII.- Espacio Aprox.	6	0.528
XIV.-Forma del Mec.	4	0.044
<b>Calificación</b>	<b>74</b>	<b>4.825</b>

Propuesta	E	
	Calificación	Peso
I.-Complejidad D.	7	0.616
II.-Cantidad de P.	6	0.198
III.-Dificultad de D.	7	0.539
IV.- Costo de las P.	6	0.33
V.- Costo de M.	6	0.264
VI.- Dificultad de M.	6	0.198
VII.- Seguridad	4	0.44
VIII.- Confort al D. en E.	4	0.48
IX.- Confort al D. en P.	5	0.495
X.- Costo de U.	6	0.462
XI.- Máxima Carga	5	0.165
XII.- Cantidad de Ac.	6	0.198
XIII.- Espacio Aprox.	6	0.528
XIV.-Forma del Mec.	6	0.066
<b>Calificación</b>	<b>80</b>	<b>4.979</b>

Propuesta	D	
	Calificación	Peso
I.-Complejidad D.	6	0.528
II.-Cantidad de P.	6	0.198
III.-Dificultad de D.	4	0.308
IV.- Costo de las P.	3	0.165
V.- Costo de M.	4	0.176
VI.- Dificultad de M.	5	0.165
VII.- Seguridad	7	0.77
VIII.- Confort al D. en E.	5	0.6
IX.- Confort al D. en P.	7	0.693
X.- Costo de U.	4	0.308
XI.- Máxima Carga	5	0.165
XII.- Cantidad de Ac.	6	0.198
XIII.- Espacio Aprox.	7	0.616
XIV.-Forma del Mec.	5	0.055
<b>Calificación</b>	<b>74</b>	<b>4.945</b>

Propuesta	F	
	Calificación	Peso
I.-Complejidad D.	4	0.352
II.-Cantidad de P.	4	0.132
III.-Dificultad de D.	3	0.231
IV.- Costo de las P.	3	0.165
V.- Costo de M.	4	0.176
VI.- Dificultad de M.	4	0.132
VII.- Seguridad	7	0.77
VIII.- Confort al D. en E.	7	0.84
IX.- Confort al D. en P.	7	0.693
X.- Costo de U.	3	0.231
XI.- Máxima Carga	6	0.198
XII.- Cantidad de Ac.	6	0.198
XIII.- Espacio Aprox.	3	0.264
XIV.-Forma del Mec.	3	0.033
<b>Calificación</b>	<b>64</b>	<b>4.415</b>

### 3. Diseño conceptual

Propuesta	G	
	Calificación	Peso
I.-Complejidad D.	4	0.352
II.-Cantidad de P.	5	0.165
III.-Dificultad de D.	5	0.385
IV.- Costo de las P.	5	0.275
V.- Costo de M.	4	0.176
VI.- Dificultad de M.	4	0.132
VII.- Seguridad	6	0.66
VIII.- Confort al D. en E.	5	0.6
IX.- Confort al D. en P.	6	0.594
X.- Costo de U.	4	0.308
XI.- Máxima Carga	5	0.165
XII.- Cantidad de Ac.	6	0.198
XIII.- Espacio Aprox.	5	0.44
XIV.-Forma del Mec.	4	0.044
<b>Calificación</b>	<b>68</b>	<b>4.494</b>

Propuesta	H	
	Calificación	Peso
I.-Complejidad D.	7	0.616
II.-Cantidad de P.	5	0.165
III.-Dificultad de D.	4	0.308
IV.- Costo de las P.	3	0.165
V.- Costo de M.	4	0.176
VI.- Dificultad de M.	5	0.165
VII.- Seguridad	7	0.77
VIII.- Confort al D. en E.	7	0.84
IX.- Confort al D. en P.	7	0.693
X.- Costo de U.	6	0.462
XI.- Máxima Carga	6	0.198
XII.- Cantidad de Ac.	7	0.231
XIII.- Espacio Aprox.	5	0.44
XIV.-Forma del Mec.	6	0.066
<b>Calificación</b>	<b>79</b>	<b>5.295</b>

La evaluación demuestra que las propuestas de mayor puntaje son:

1. Propuesta H
2. Propuesta E
3. Propuesta D

De éstas la que se seleccionó para trabajar fue la propuesta H con el mayor puntaje, además de ser un diseño simple, el cual no requiere de sistemas no mencionados y su control es sencillo, otro punto importante es la cantidad de actuadores que es aproximada a tres. Los elementos propuestos dan a la propuesta H facilidad de manufactura con respecto a unas otras propuestas, además de que gran parte de las piezas que requiere se pueden encontrar comercialmente. Las demás propuestas implican mayor complejidad, la propuesta H se considera que podría resultar igualmente factible para el propósito que se de este proyecto a pesar de no ser tan compleja, simplificando los cálculos entre otros aspectos. Estas son algunas de las ventajas que tiene la propuesta H sobre las demás y es por esto mismo que ésta se elige, sumando como se menciona anteriormente el mayor puntaje.

### Capítulo 4: Diseño a Detalle

En esta etapa se desarrolla lo concerniente al diseño a detalle según las soluciones elegidas en la etapa previa. Se realiza el diseño a detalle del sistema de transmisión, el sistema de sujeción, así como la selección de algunos elementos que los conforman, además se realiza el circuito de control del dispositivo que hace posible la relación con el usuario.

#### 4.1. Sistema de tracción

En el capítulo 3 se realizó la evaluación de varias propuestas de solución para el sistema de tracción, según los criterios considerados los resultados arrojaron que sería conveniente utilizar una oruga. Sería demasiado complicado diseñar una oruga para esta finalidad, por lo que se usará una oruga comercial que se adapte a las necesidades del proyecto.

##### 4.1.1. Cálculos de la oruga como una banda

Para realizar los cálculos del sistema de tracción, propiamente de la oruga que se usará, se considerará como si fuera una banda ya que tienen una enorme similitud.

##### 4.1.1.1. Longitud de la oruga

Se realizó la búsqueda de orugas, la mayoría de las orugas encontradas son para vehículos todo terreno o bien para maquinaria. No se realizó un apartado para la selección de la misma ya que las opciones eran reducidas debido a que la mayoría de las orugas encontradas eran descartadas por sus dimensiones. Se propone utilizar una oruga de caucho de Solideal.

La oruga de caucho de menor perímetro tomada del catálogo de Solideal para miniescavadoras tiene 72[mm] de paso 40 dientes, por lo que su perímetro es de 2880[mm] (Véase Figura 4.1.2), con un ancho de 130[mm]. Para obtener el diámetro de los engranes, se toma la siguiente figura como base (Figura 4.1.1)

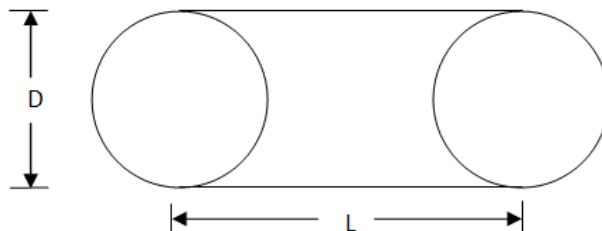


Figura 4.1.1. Forma de la oruga para calcular el diámetro de los engranes.



## 4. Diseño a detalle

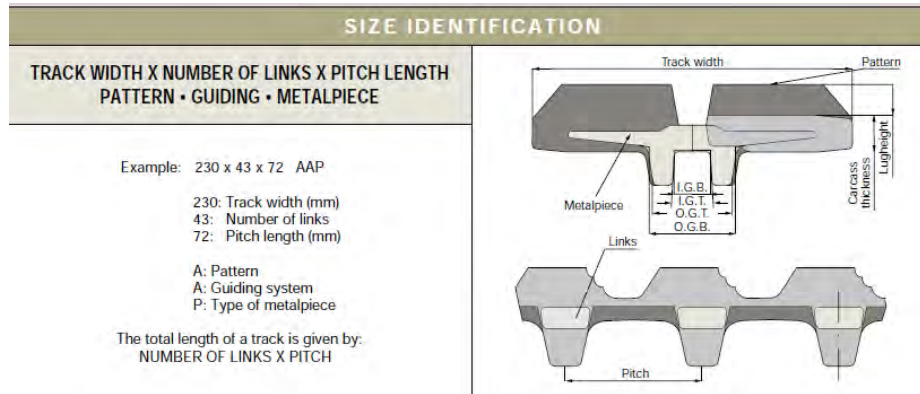


Figura 4.1.2. Paso y los dientes de la banda en el catálogo de orugas de caucho

Para determinar el largo  $L$  se realiza un proceso iterativo, inicialmente se propone  $L=700[mm]$  dado que esta distancia asegura que al menos tendría 2 puntos de apoyo y se aumentan  $100[mm]$  en cada iteración. A continuación se presentan los cálculos correspondientes a la iteración que resultó más próxima 15 dientes, que es el número de dientes seleccionados.

Se tiene que

$$2L + 2C = 2880[mm] \dots 4.1$$

Tomando en cuenta la ec. 4.1, para  $L = 900[mm]$  se tiene  $C = 540[mm]$  y  $R = 171.8[mm]$

Dado que el perímetro de uno de los engranes sería  $1280[mm]$  y dado el paso que es de  $72[mm]$  se tiene

$$Dientes = \frac{1080[mm]}{72[mm]} = 15$$

### 4.1.1.2. Análisis para obtener la potencia

Para obtener la potencia se realiza el siguiente cálculo tomando en cuenta los siguientes datos (Tabla 4.1.1).

Tabla 4.1.1. Especificaciones necesarias para realizar el cálculo de la potencia.

Requerimiento	Especificación
Dimensiones máximas de la escalera	Peralte de 0.20 [m], huella de 0.28[m] y ángulo de $33^\circ$
Diámetro del engrane propulsor	0.32 [m]
Peso máximo del usuario	Carga máxima de 70 [kg]
Peso aproximado del Dispositivo	Aproximado de 90 [kg]
Velocidad máxima	Velocidad de 4 [km/hr]

Aplicando 2ª Ley de Newton, obsérvese la imagen 4.1.3.

## 4. Diseño a detalle

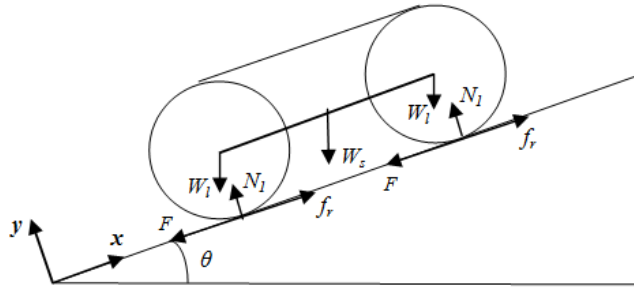


Figura 4.1.3. Diagrama de cuerpo libre para realizar el cálculo de potencia utilizando la 2ª Ley de Newton

Donde  $M_l$  es la masa de los engranes de la oruga de caucho,  $M_s$  es la masa de la mitad del resto del sistema,  $f_r$  es la fuerza de fricción,  $F$  es la fuerza necesaria para que el vehículo suba y  $R$  es el radio del engrane siendo  $R=0.16m$ . Tomando condiciones de equilibrio considerando que el dispositivo sube a una velocidad constante se obtiene una expresión para el par

$$\tau = \frac{Rg(M_s+2M_l)[-μ_s \cos\theta + \text{sen}\theta]}{2} \dots 4.2$$

Se toman condiciones críticas para calcular el par máximo, esto es  $M_s + 2M_l = 100kg$ , es decir, la mitad de todo el sistema, ya que se está realizando el cálculo para un motor. Se considera que la condición crítica es al momento de subir el primer escalón, ya que tiene que desplazarse la oruga a través del peralte, por lo que se considera el límite del par cuando  $\theta$  tiende a  $90^\circ$  para obtener el par máximo, resultando  $\tau = 70.632[N \cdot m]$

Se considera una velocidad aproximada a la de la caminata humana de  $4[km/hr] = 1.11[m/s]$  (Considerando los engranes para la oruga  $\omega = 6.92 [rad/s] = 66.31[rpm]$ ).

Para calcular la potencia se tiene que

$$P = \tau\omega$$

$$P = 70.632 \cdot m(6.92 \text{ rad/s}) = 488.77 [W]$$

Tomando un factor de seguridad de 1.2

$$P_{motor} = 488.77 [W] \times 1.2 = 586.528 [W]$$

### 4.1. Actuador y controlador

#### 4.1.1. Selección del actuador para el dispositivo

Para la selección del actuador se analiza la viabilidad de las diferentes posibilidades, las cuales se agrupan en tres categorías:

**Actuadores neumático e hidráulicos:** El principal inconveniente de este tipo de actuadores, recae en el hecho de requerir de un sistema de dosificación, almacenamiento y de control del fluido de trabajo. Por esta razón es descartado.

**Actuadores de combustión:** En este caso sólo se requiere de un depósito para el combustible, esto es viable pero pensando en el usuario esto puede ser incomodo por dos razones las vibraciones que provoca y la segunda la transferencia de calor; esto debido a que los materiales de la sillas de ruedas son ligeros y en su mayoría conducen rápidamente el calor. Es por ello que esto se elimina esta opción.

**Actuadores eléctricos:** Por sus cualidades como eficiencia y seguridad, es la opción para utilizarlo en este desarrollo; haciendo la comparación con el benchmarking todos los sistemas mencionados usan actuadores eléctricos, por lo que es una opción ya probada con resultados positivos. La gamas de tipos que existen en el mercado es grande pero enfocándose en aquellos que nos dan las mejores prestaciones para este proyecto, es decir los motores Brushless (sin escobillas) que cuentan con una eficiencia muy alta y un tamaño reducido, los convierten en la opción más viable de desarrollo.

Tomando en cuenta, esta decisión se busca motores de este tipo con la mayor similitud a la potencia, el menor tamaño y peso. De los cuales se encontraron tres utilizados comúnmente en vehículos eléctricos (Tabla 4.2.1), los cuales son:



LEISON



MAC 600



BMC

Tabla 4.2.1. Selección del actuador.

Nombre	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Dimenciones [mm]	Peso [Kg]	Costo [USD]
Leison	48	18	550	110*110 *172	3.2	70
MAC 600	24	27.1	600	Diámetro 128, largo 88.9	2.7	339
BMC	24	28	570	Diámetro 140, largo 72	2.6	220

## 4. Diseño a detalle

Tres de los motores resultan ser una opción viable tanto el motor MAC, el motor Leison y el motor BMC, sin embargo dos parámetros hacen que se descarte el Leison; la potencia y el voltaje. Posteriormente se investiga más acerca de los dos motores restantes los cuales tienen diferencias, muy importantes, el motor MAC incluye su propio controlador y el BMC no. Sin embargo el motor MAC no permite ir en reversa, por el mismo controlador, sin embargo existen controladores comerciales para BMC que tienen la habilidad de ir en reversa. Por estas razones se elige el motor BMC.

### 4.1.1. Selección del controlador del motor

Los Motores Brushless requieren de un control especial dado a sus características de funcionamiento, en caso de los de baja potencia alrededor de 15W este control se puede hacer Directamente con un microcontrolador. Para aquellos que tienen una potencia mayor se requiere de una fase de potencia, y por ende un control más especializado. Propiamente la implementación de un control de este tipo, requiere un anexo una investigación paralela, lo que lo hace una opción no viable para el proyecto presente.

Como el motor elegido (Motor BMC) entra en una categoría en desarrollo bastante comercial que son los vehículos de recreación de baja- media potencia (scooter, bicicletas, go-cars y otros vehículos similares), existen en el mercado controladores ya diseñados para estos mismos, los cuales se controlan con una señal de aceleración (*throttle*, en inglés), lo que facilita de manera enorme su control. El conector de aceleración (*Throttle connector*, en inglés) se maneja comercialmente con un potenciómetro, este tiene 3 pines de salida, de los cuales uno es tierra (GND), otro una salida fija de voltaje (5V) y por ultimo una entrada de lectura. Esta configuración se traduce como un divisor de voltaje, en caso de las bicicletas en el manubrio se le asegura el potenciómetro, con la intención que al girarlo cambie el divisor de voltaje y este cambie su aceleración, traducida en el control de la corriente que dosifica el controlador, haciendo que a su vez el motor cambie las rpm de salida.

La siguiente imagen muestra un diagrama de un controlador comercial de aceleración, es un controlador de la familia KEB de la compañía Kelly Control, LLC.

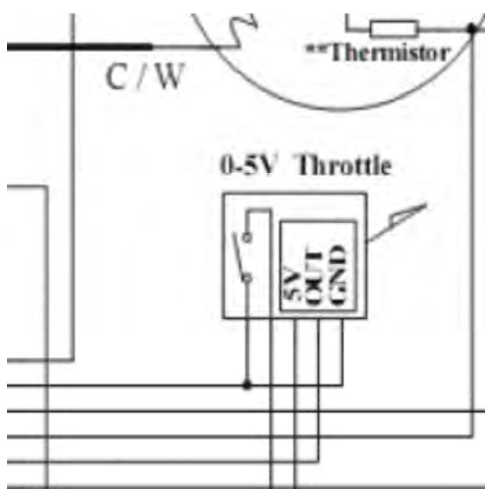


Figura 4.2.1 Diagrama de controlador de aceleración de la familia KEB de Kelly Control

---

## 4. Diseño a detalle

---

El relevador que se tiene al lado del control tiene una razón, volverlo un controlador reversible; aquellos controladores que son reversibles son raros comercialmente, son más caros y difíciles de conseguir. Sin embargo para el desarrollo de este proyecto, se requiere de la reversa. Son pocos los controles con las características deseadas, por lo que se decide analizar dos controladores, uno de ellos pertenece a la familia KEB de los controladores de la compañía Kelly Control,LLC. y el segundo es el Speed Controller SPD-24500R distribuido por la compañía Electric Scooter Parts.



### Kelly Control

**Voltaje de trabajo** 24 [V]

**Potencia del motor** Arriba de 500 [W]

**Corriente Máxima** 32 [A]



### SPD-24500R

**Voltaje de trabajo** 24 [V] – 48 [V]

**Potencia del motor** Arriba de 500 [W] hasta 2.2 [KW]

**Corriente Máxima** 50 [A]

Sin embargo, el controlador Kelly es mucho más avanzado, requiere y puede ser configurado en una computadora y la conexión de salida es mucho más compleja. El SPD-24500R es más sencillo y los conectores que son comerciales y no requiere de una pre-configuración o configuración, sumado a esto el precio del conector Kelly (\$159 USD) es de más del doble que el SPD-24500R (\$60 USD). Por estas razones se elige el controlador SPD-24500R.

### 4.1. Selección de baterías

Ya seleccionado el motor continúa la parte de la búsqueda de la fuente de alimentación, es decir la batería. Se buscan baterías en función de voltaje, corriente, dimensiones y peso.

Existen diferentes tipos de baterías, pero se recomienda usar de LiPo (polímero de Litio) para los motores *brushless*, ya que tiene características similares tamaño y potencia.

En el mercado existen una gran cantidad de posibilidades de baterías, de entre ellas se encuentra la siguiente batería para el proyecto (Figura 4.3.1):



*Optimum Battery*

Especificaciones:  
Voltaje Nominal: 24 [V]  
Corriente: 30 A/hr  
Dimensiones: 140 \* 140 \* 250 mm  
Peso: 6 Kg  
Costo: US \$186, Aproximadamente \$2,521.04 (M.N.)

Figura 4.3.1 Optimum Battery.

### 4.1. Diseño del sistema de transmisión

#### 4.1.1. Cálculos del sistema de transmisión

Para la transmisión se acopla el motor a un tornillo sinfín, este va una corona y de ahí a un tren de engranes (Figura 4.4.1.). El engranaje de tornillo sinfín se utiliza para transmitir la potencia entre ejes que se cruzan, casi siempre perpendicularmente entre sí. En un pequeño espacio se pueden obtener satisfactoriamente relaciones de velocidad comparativamente altas, aunque quizá a costa de rendimiento en equiparación con otros tipos de engranajes. El contacto de impacto en el engrane de los engranajes rectos y de otros tipos no existen en los de tornillo sinfín. En vez de esto, los filetes deslizan en contacto permanente con los dientes de la rueda, lo que da por resultado un funcionamiento silencioso, en el diseño, la fabricación y el funcionamiento son correctos.

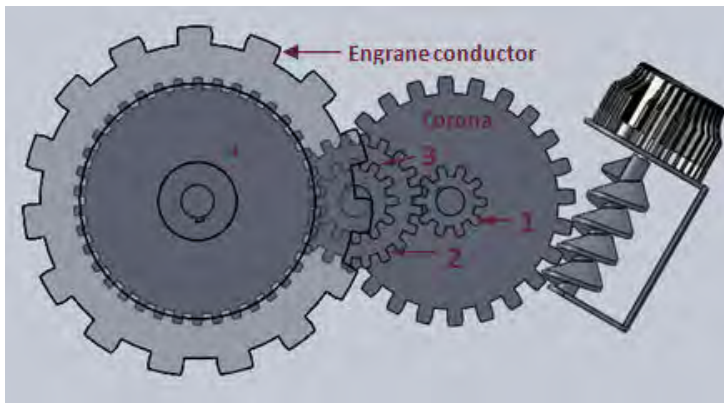


Figura 4.4.1. Tren de engranes para la transmisión.

Si se pretende obtener una transmisión de potencia de alto rendimiento se pueden disponer de un tornillo de 4, 6 o más guías.

$$m = \frac{\omega_{conductor}}{\omega_{conducido}} = \frac{N_{conducido}}{N_{conductor}} \dots 4.3$$

Donde  $m$  es la relación de velocidades,  $\omega_{conductor}$  es la velocidad angular del elemento conductor,  $\omega_{conducido}$  es la velocidad angular del elemento que es conducido,  $N_{conducido}$  es el número de dientes del engrane,  $N_{conductor}$  es el número de dientes o guías del engrane o tornillo conductor. Se tiene

## 4. Diseño a detalle

que el motor da 2535 [rpm] con carga y que la oruga se desplazara con un velocidad de 4[km/hr], por lo que es necesario reducir la velocidad angular del motor  $\omega_{inicial}=2535[rpm]$  a  $\omega_{final}=66.31[rpm]$  que corresponde a 4[km/hr].

Dado que la relación de velocidades es alta conviene reducir en varios pasos la velocidad , un límite alto para la relación de velocidades es  $m=10$  un límite mejor es  $m=6$ .

Primeramente se tiene el tornillo sin fin, se pretende obtener una transmisión de potencia de alto rendimiento por lo que se pueden disponer el tornillo de 4, 6 o más guías. Se propone  $m=6$  y  $N_{tornillo} = 4$  guías, usando la ecuación 4.3, se tiene

$$N_{corona} = 24 \text{ dientes} \quad \Rightarrow \quad \omega_{corona} = \frac{\omega_{tornillo}}{m} = 422.6[rpm]$$

Se propone para el engrane 1  $N_1 = 10$  dientes y  $m=2$ , usando la ecuación 4.3 se obtiene

$$N_2 = 20 \text{ dientes} \quad \Rightarrow \quad \omega_2 = \frac{\omega_{corona}}{m} = 211.3[rpm]$$

El engrane 3 se toma paralelo al engrane 2, por lo que  $\omega_3 = 211.3[rpm]$  y se propone  $N_3=12$  dientes, por lo que de la ecuación 4.3 resulta  $m = 3.18$  y  $N_4 = 38.16$  dientes  $\approx 38$  dientes

Recalculando para 38 dientes la relación de velocidades resulta  $m = 3.16$ , por lo que la velocidad de salida es ahora:

$$\omega_4 = 66.72[rpm]$$

Para obtener los diámetros primitivos de los engranes tomando un paso de  $P_c=2[cm]$ , donde  $P_c$  corresponde al paso circular

$$\text{Perímetro} = \pi D = \text{dientes} * P_c$$

$$D_{primitivo} = \frac{\text{dientes} * P_c}{\pi} \dots 4.4$$

Utilizando la ecuación 4.4

$$D_{corona} = 23.87[cm]$$

$$D_1 = 6.36[cm]$$

$$D_2 = 12.73[cm]$$

$$D_3 = 7.63[cm]$$

$$D_4 = 24.19[cm]$$

### 4.1.2. Dimensionamiento de los engranes de transmisión



## 4. Diseño a detalle

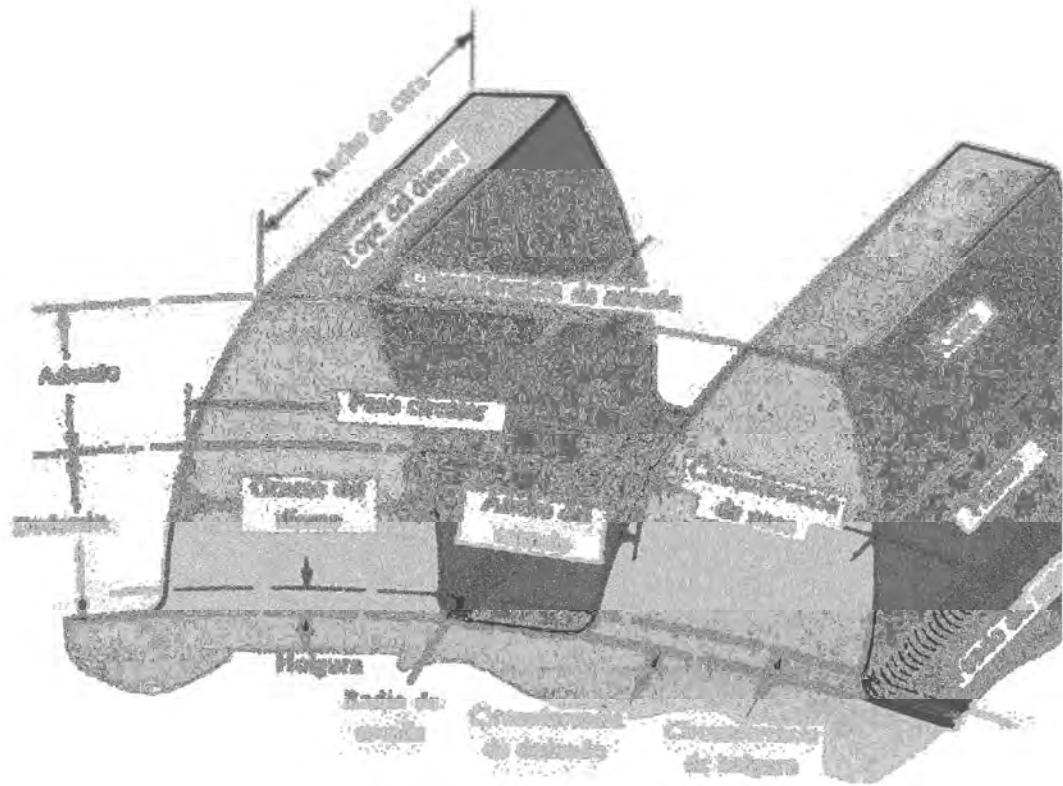


Figura 4.4.2. Parámetros de los dientes de un engrane<sup>[24]</sup>.

Para determinar las dimensiones de los dientes de los engranes se tienen que calcular los parámetros del dedendo y adendo, esto una vez que se sabe la circunferencia primitiva (Figura 4.4.2 y 4.4.3). Estos parámetros ya están estandarizados por lo que comprenden la siguiente tabla (4.4.1):

Tabla 4.4.1. Parámetros de adendo y dedendo.

	14'5°	20°
<b>Adendo o altura de cabeza</b>	$1/p$	$0'8/p$
<b>Dedendo o altura de pie</b>	$1'157/p$	$1/p$
<b>Altura total</b>	$2'157/p$	$1'8/p$

Con el objetivo de reducir el espacio se utiliza el listado de la segunda columna, y esta distancia se suma al radio del círculo primitivo para determinar la circunferencia de adendo y se substraee para determinar la circunferencia de dedendo.

Los cálculos normalizados están establecidos en pulgadas por lo que se tiene que realizar el cambio de unidades.



## 4. Diseño a detalle

El primer cálculo corresponde al cálculo del paso diametral la cual es una relación dada por la ecuación. 4.5:

$$p_{diametral} = \frac{\#dientes}{D_{Primitivo}} \dots 4.5$$

El paso diametral es una relación proporcional que es constantes para todos los engranes por lo que únicamente se requiere calcular una vez y con cualquier engrane; usando el engrane de 10 dientes y un diámetro de 63.6 mm (2.504 pulgadas), tenemos:

$$p_{diametral} = \frac{10}{2.504} = 3.993 \frac{1}{[pulgada]}$$

Para calcular el adendo y el dedendo se usan las proporciones de la tabla T.4.4.1:

$$Adendo = \frac{0.8}{p_{diametral}} = \frac{0.8}{3.993} = 0.2 [pulgadas] = 5.08 [mm]$$

$$Dedendo = \frac{1}{p_{diametral}} = \frac{1}{3.993} = 0.2504 [pulgadas] = 6.36 [mm]$$

Estas distancias se disminuyen al radio del engrane en caso del dedendo y se aumentan en caso del adendo. El huelgo está incluido en el dedendo por lo que no tiene que ser calculado. Y se reflejan en el engrane de la siguiente manera.

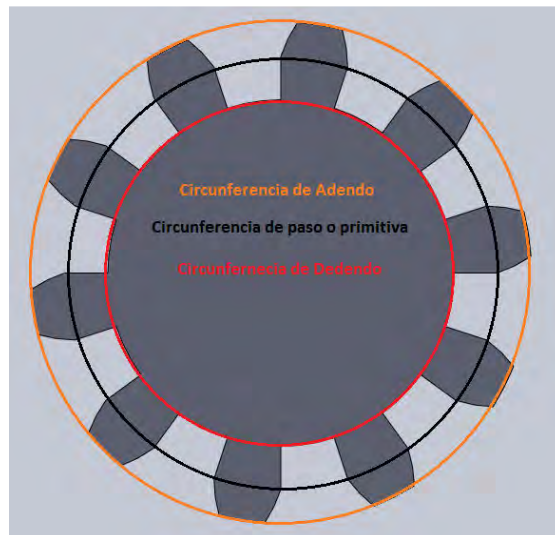


Figura 4.4.3. En esta imagen se muestran los parámetros del engrane, la circunferencia de adendo, dedendo y la circunferencia primitiva.

El ancho de la cara va de acuerdo a la ecuación que se presenta a continuación <sup>[25]</sup> (Ec. 4.6):

$$F_{cara} = \frac{W_t \cdot P_d}{K_v \cdot \sigma_p \cdot Y} \dots 4.6$$

Sin embargo se hace un análisis el cual llega a la conclusión de que el esfuerzo flexionante resulta como incógnita, es por ello que se propone un ancho de cara para determinar el esfuerzo al que estará sometido el engrane. Se propone 15 mm (0.59 pulgadas), la fórmula maneja unidades

## 4. Diseño a detalle

inglesas por lo que se hace un cambio de unidades y se sigue utilizando los datos del engrane anterior (10 dientes, 63.6 mm), ya que es el caso más crítico.

Se requiere de un parámetro denominado velocidad de línea de paso ( $V$ ), el cual se calcula como:

$$V = \frac{\pi \cdot \text{diametro primitivo} \cdot \text{rpm}}{12} = \frac{\pi \cdot 2.5 \cdot 422.5}{12} = 276.526 \left[ \frac{\text{Pies}}{\text{min}} \right]$$

Con este dato se puede calcular la carga transmitida  $W_t$ , además de la potencia del motor en caballos de fuerza que es de 0.8 hp.

$$W_t = \frac{33 \cdot 10^3 \cdot H}{V} = \frac{33 \cdot 10^3 \cdot 0.8}{276.526} = 95.47 \left[ \frac{\text{lb} \cdot \text{Pies}}{\text{min}} \right]$$

Ahora se calcula el factor de velocidad:

$$K_v = \frac{1200}{1200 + V} = \frac{1200}{1200 + 276.526} = 0.813 \left[ \frac{\text{min}}{\text{Pies}} \right]$$

El factor de Lewis ( $Y$ ) que se determina mediante tablas, el más cercano para 10 dientes es del de 12 y para los valores de adendo, dedendo y ángulo de presión ( $20^\circ$ ) m, el valor del factor  $Y$  es de 0.335.

Con el cambio antes mencionado la ec. 4.6 cambia de la siguiente forma

$$\sigma_p = \frac{W_t \cdot P_d}{K_v \cdot F_{cara} \cdot Y} \dots 4.7$$

Sustituyendo los valores en la ec. 4.7 se obtiene

$$\sigma_p = \frac{95.47 \cdot 3.99}{0.813 \cdot 0.59 \cdot 0.335} = 2370.07 [\text{psi}] = 16340.9 [\text{Kpa}] = 16.34 [\text{Mpa}]$$

Que es a lo que estará sujeto al material para el ancho determinado.

### Tornillo sin fin

Para el diseño del tornillo sin fin se requiere del paso axial, en la literatura se dice que la dimensión del paso axial es igual al paso circunferencial.

Las dimensiones de la corona son de 24 dientes y 23.87 cm (9.398 pulgadas) calculando el paso circunferencial se tiene que:

$$P_{\text{Circunferencial}} = \frac{\pi \cdot \text{Diametro}}{\# \text{ de dientes}} = \frac{\pi \cdot 9.398}{24} = 1.23 [\text{Pulgadas}] = 31.247 [\text{milímetros}]$$

Ahora se elige un tipo de diente denominado trapezoidal, dadas las ventajas que ofrece este en particular que no pues ser movido por la corona lo cual otorga un freno mecánico bastante fuerte. La siguiente imagen muestra la sección transversal del diente (Figura 4.4.4).

## 4. Diseño a detalle

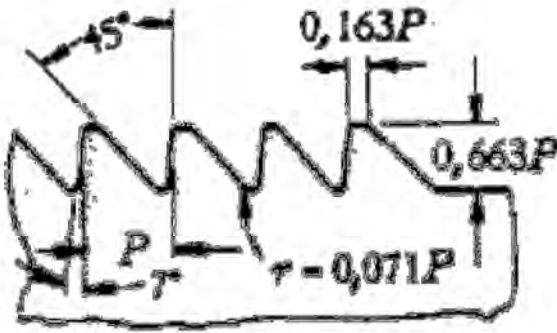


Figura 4.4.4. Sección transversal del tornillo sin fin.

Ahora como se ve, se tienen los cálculos de los parámetros de tope de diente, altura de diente y un radio de la rosca, necesarios en el diseño del sin fin.

Se calculan con las proporciones del paso axial que marca la imagen:

$$\text{Tope de diente} = 0.2005[\text{pulgadas}] = 5.09[\text{mm}]$$

$$\text{Altura de diente} = 0.815[\text{pulgadas}] = 20.71[\text{mm}]$$

$$\text{Radio de rosca} = 0.087[\text{pulgadas}] = 2.2[\text{mm}]$$

Otro parámetro necesitado para el diseño del sin fin es la cantidad de dientes se manejan 4 dientes, los cuales se propusieron al hacer el cálculo de transmisión.

### 4.1.1. Selección del material de los engranes

Dado a los esfuerzos a los que es sujeto el engrane se debe de seleccionar el material correcto en base de esto, además del costo y densidad. La siguiente tabla muestra los materiales propuestos (4.4.2).

Tabla 4.4.2. Se muestran los materiales propuestos para los engranes

Material	Aleación	R. a la tensión [Ksi]	R. a la fatiga [Ksi]	Densidad [gr/cm <sup>3</sup> ]	Precio por metro
Aluminio	6061 T-6	45	14	2.7	25
Acero a bajo carbón	1018	64	25	7.87	29.5
Acero de medio carbón	1045	91	38	7.88	32.78
Nylon Natural	Nylamid M	12	8	1.14	90

Los materiales están por encima del esfuerzo máximo al que estarán sometidos. Sin embargo, una limitante es su peso, por la cantidad de engranes, bajo este razonamiento se escoge el de menor densidad es decir el Nylon.

## 4. Diseño a detalle

El proveedor (en este caso Metales Diaz) ofrece un cálculo especial que define la factibilidad en engranes de nylamid. Mediante el cálculo de un factor, la siguiente tabla (4.4.3) menciona su viabilidad en función del dicho factor <sup>[26]</sup>.

Tabla 4.4.3. Factor de viabilidad de engranes de nylamid <sup>[26]</sup>.

Valor de X	Factibilidad
> 1	Alta, si se recomienda su uso.
0.722 a 1	Media alta, verificar si las condiciones de trabajo permiten su uso.
0.445 a 0.721	Media baja, usar solo si no existen riesgos de daño al equipo.
0.445	Nula, no se recomienda.

El cálculo es el siguiente:

$$X = \frac{D^2 \cdot F \cdot N}{115 \cdot H \cdot Z} \dots 4.8$$

Donde los valores representan:

D = Diámetro exterior del engrane (adendo), en pulgadas [pulg].

F = Espesor del engrane en la sección dentada [pulg].

N = Velocidad de rotación del engrane [rpm].

H= Potencia transmitida [HP].

Z = Numero de dientes del engrane.

Realizando el cálculo para cada engrane utilizando la ec. 4.8 se tiene para todos los engranes que la potencia es la misma 0.8 y el espesor igual 15 [mm] o 0.591 [pulg].

Engrane	Factor
Corona (24 dientes)	9.753
Engrane 1 (10 dientes)	2.288
Engrane 2( 20 Dientes)	1.988
Engrane 3( 12 Dientes)	1.311
Engrane 4 (38 dientes)	1.111
Engrane conductor (15 dientes)	8.975

El engrane de arrastre es de las mismas características que el engrane conductor, por lo que se toma en cuenta el mismo cálculo. Se observa que todos los engranes son factibles, los valores van de un mínimo de 1.111 a 9.753, siendo el mínimo de la tabla un valor arriba de recomendado por lo que es viable.

### 4.1.1. Selección del material del eje

Debido a que es necesario para el diámetro del eje, las propiedades del material a usar, se determina primero elegir el material. Se definen materiales comerciales los cuales son comunes en casas de perfiles.

## 4. Diseño a detalle

Las propiedades que son requeridas para los cálculos de dimensionamiento son la resistencia de la fluencia y a la fatiga.

Las propiedades de estos materiales se muestran en la siguiente tabla (4.4.4)

Tabla 4.4.4. Tabla de materiales para el eje y sus características.

Material	Aleación	R. a la fluencia [Ksi]	R. a la fatiga [Ksi]	Densidad [gr/cm <sup>3</sup> ]	Precio por metro
Aluminio	6061 T-6	40	14	2.7	25
Acero Inoxidable	304	45	22	8.02	189
Acero estructural	A30	36	17	7.85	16.88
Acero a bajo carbón	1018	54	25	7.87	29.5
Acero de medio carbón	1045	79	38	7.88	32.78
Acero de alto carbón	1060	70	34	7.88	72.77
Cobre	C11000	16	13	8.91	220

Se busca un material que este balanceado entre todas las características, además de que este probado. Por lo tanto se escoge el acero 1045.

### 4.1.2. Dimensionamiento de los ejes de transmisión

El cálculo realizado para determinar el diámetro es tomado del libro de “Diseño de Elementos de Máquinas” de Mott <sup>[27]</sup>, a partir de la siguiente ecuación, Ec. 4.9:

$$D = \left[ \frac{32 \cdot N}{\pi} \sqrt{\frac{K_t \cdot M}{S'_n} + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} \dots 4.9$$

Dónde:

- D: Diámetro ( en Pulgadas)
- N: Factor de diseño, se usa 1.5 de factor de diseño
- K<sub>t</sub>: El factor de concentración de esfuerzos, depende de la geometría que se proponga para el eje.
- S'<sub>n</sub>: Esfuerzo de fatiga real (unidades psi), el esfuerzo de fatiga ajustado con factores de trabajo.
- T: Par torsional transmitido ( unidades psi)
- S<sub>y</sub>: Esfuerzo de fluencia del material (unidades psi)
- M: Modulo de los momentos flexionantes

El valor del factor de concentración de esfuerzos se toma de 3, debido a que es un factor que incluye anillos de retención y ranura para las cuñas de sujeción.

Para determinar el módulo de los momentos flexionantes se requiere de las fuerzas que actúan en los engranes, además del par torsional, estas mismas se calculan con las siguientes ecuaciones:

## 4. Diseño a detalle

Par torsional (unidades inglesas, libra\*pulgada)

$$T = 63000 \cdot \frac{P}{n}$$

Fuerza tangencial

$$W_t = \frac{T}{(D/2)}$$

Fuerza radial

$$W_r = W_t \cdot \tan\phi$$

Dónde:

- P= Potencia que se transmite ( en HP)
- n= número de revoluciones por minuto
- D= diámetro de paso del engrane ( pulgadas)
- $\phi$ = Angulo de presión ( se usa de 20°)

Al realizar la transformación de la potencia del motor a HP resulta ser de 0.8 Hp.

### Cálculo de la resistencia a la fatiga real

La resistencia a la fatiga se calcula como:

$$S'_n = S_n \cdot C_m \cdot C_e \cdot C_c \cdot C_t$$

Cada uno representa factores que configuran la resistencia a la fatiga para tomarla como real, cada factor tiene el valor de:

- Factor de material: Al usar acero este factor es de 1.
- Factor tipo de esfuerzo: Este tipo de factor se aplica si el esfuerzo realizado es de tensión axial o flexionante, en el caso de flexionante el valor es de 1.
- Factor confiabilidad se determina de la siguiente tabla (4.4.5):

Tabla 4.4.5. Tabla de factor de confiabilidad.

Confiabilidad deseada	Factor de confiabilidad
0.5	1
0.9	0.9
0.99	0.81

Se elige trabajar con una confiabilidad de 0.9, por lo que el factor de esfuerzo es de 0.9

- Factor de tamaño: se determina con la siguiente curva (Figura 4.4.5), ponderando aproximadamente el diámetro del eje, en este caso es de aproximadamente 1 pulgada. La grafica indica que el factor es de aproximadamente 0.89.

## 4. Diseño a detalle

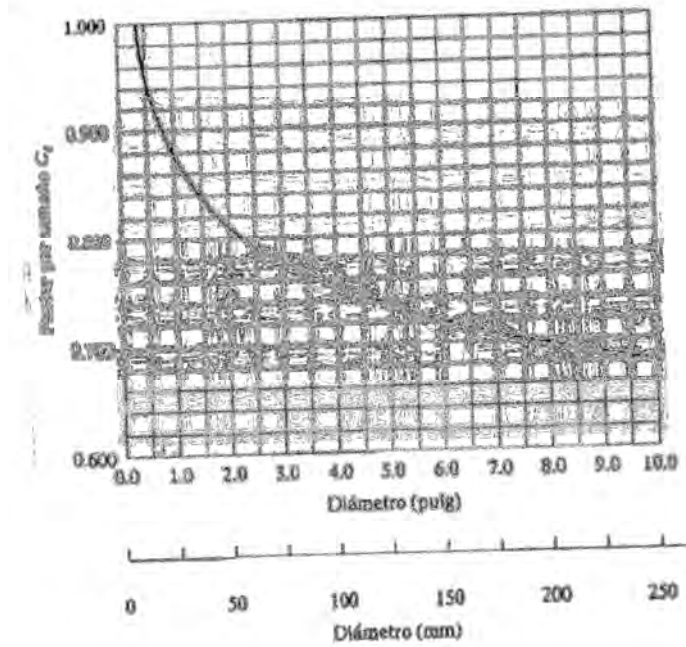


Figura 4.4.5. Curva para determinar el factor de tamaño.

Por ende el cálculo de la fatiga real queda como:

$$S'_n = 38000 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.81 \cdot 0.9 = 27702$$

Análisis para el conjunto Corona (A) y 10 dientes (B), véase la figura 4.4.6 a, b, c y d.

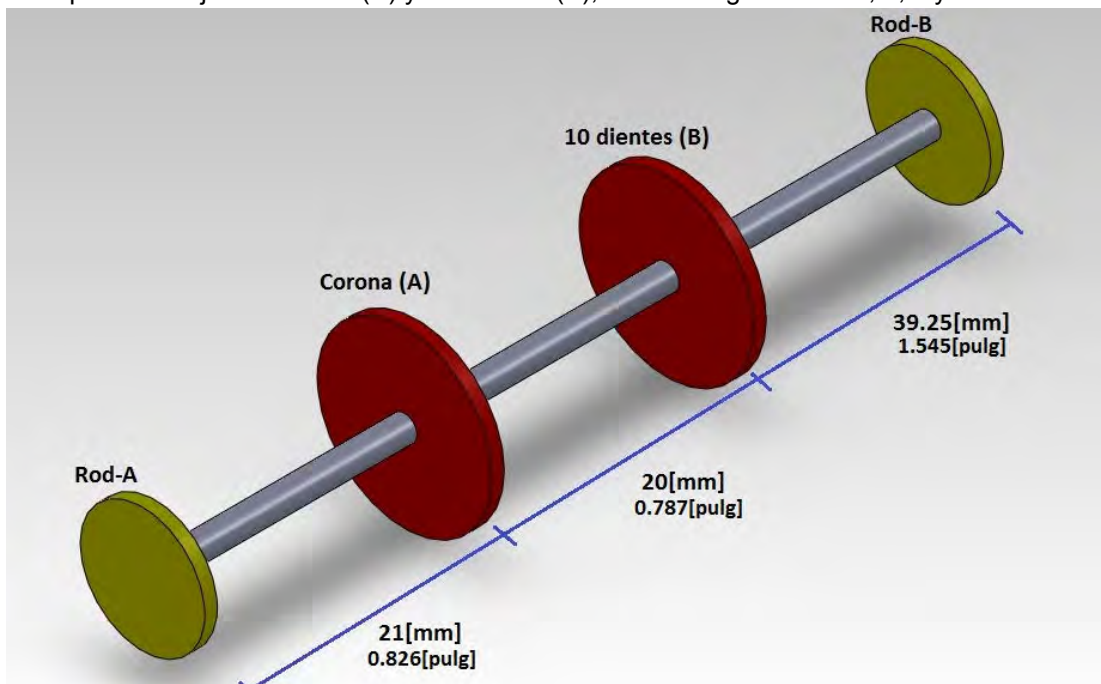


Figura 4.4.6.a) Esquema para el conjunto Corona (A) y 10 dientes (B).



## 4. Diseño a detalle



Figura 4.4.6.b) Fuerzas para el conjunto Corona (A) y 10 dientes (B).

Ahora al realizar el cálculo del engrane A (Corona, 24 dientes, 9.397 pulgadas, 422.5 rpm, 14.5°)

$$T = 63000 \cdot \frac{0.8}{422.5} = 119.289 \text{ [lb} \cdot \text{pulg]}$$

$$W_{t-c} = \frac{119.289}{(9.397/2)} = 25.389 \text{ [lb]}$$

$$W_{r-c} = 25.389 \cdot \tan(14.5^\circ) = 6.566 \text{ [lb]}$$

Engrane B (10 dientes, 2.503 pulgadas, 20°)

$$T_A = T_B$$

$$W_{t-10} = \frac{119.289}{(2.503/2)} = 95.318 \text{ [lb]}$$

$$W_{r-10} = 95.318 \cdot \tan(20^\circ) = 34.692 \text{ [lb]}$$

Calculo de las reacciones de los rodamientos (Figura 4.4.6.a,b,c y d)

Sumatoria de fuerzas y momentos en el eje x

$$\sum F_x = -F_A + F_B + F_{R-A} + F_{R-B} = F_{R-A} + F_{R-B} + 28.077 = 0$$

Sumatoria de momentos a partir de R-A

$$\sum M_x = (0)F_{R-A} - (0.827)F_A + (1.614)F_B + (3.159)F_{R-B} = (3.159)F_{R-B} + 50.483 = 0$$

Reacciones

$$F_{R-B} = -15.981 \text{ [lb]}$$

$$F_{R-A} = -12.096 \text{ [lb]}$$

Sumatoria de fuerzas y momentos en el eje y

$$\sum F_y = -F_A - F_B + F_{R-A} + F_{R-B} = F_{R-A} + F_{R-B} - 120.707 = 0$$

Sumatoria de momentos a partir de R-A

$$\sum M_y = (0)F_{R-A} - (0.827)F_A - (1.614)F_B + (3.159)F_{R-B} = (3.159)F_{R-B} - 174.839 = 0$$

Reacciones

$$F_{R-B} = 55.342 \text{ [lb]}$$

$$F_{R-A} = 65.365 \text{ [lb]}$$

## 4. Diseño a detalle

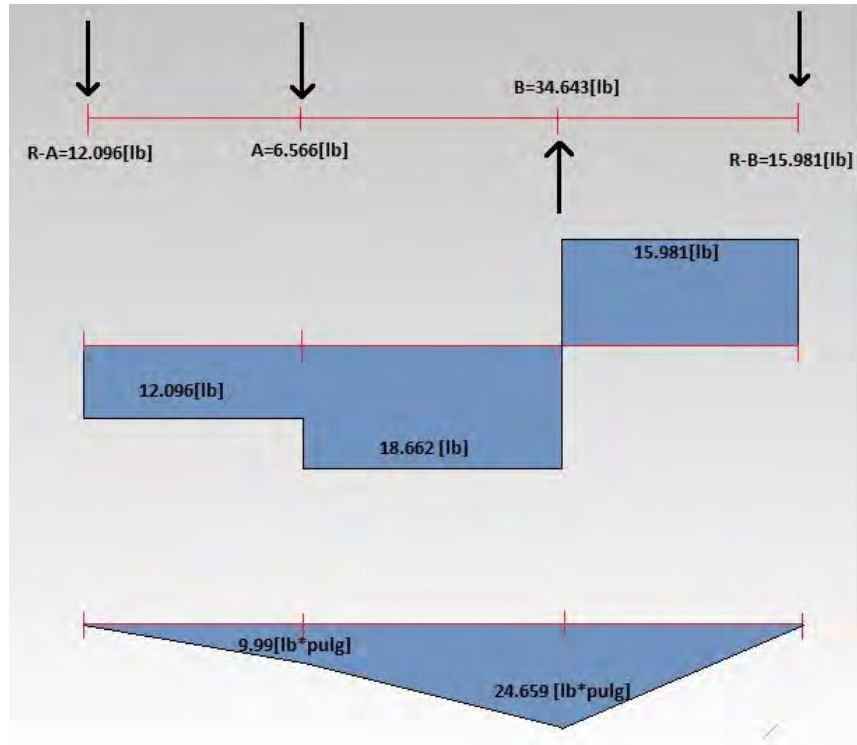


Figura 4.4.6.c) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje x.

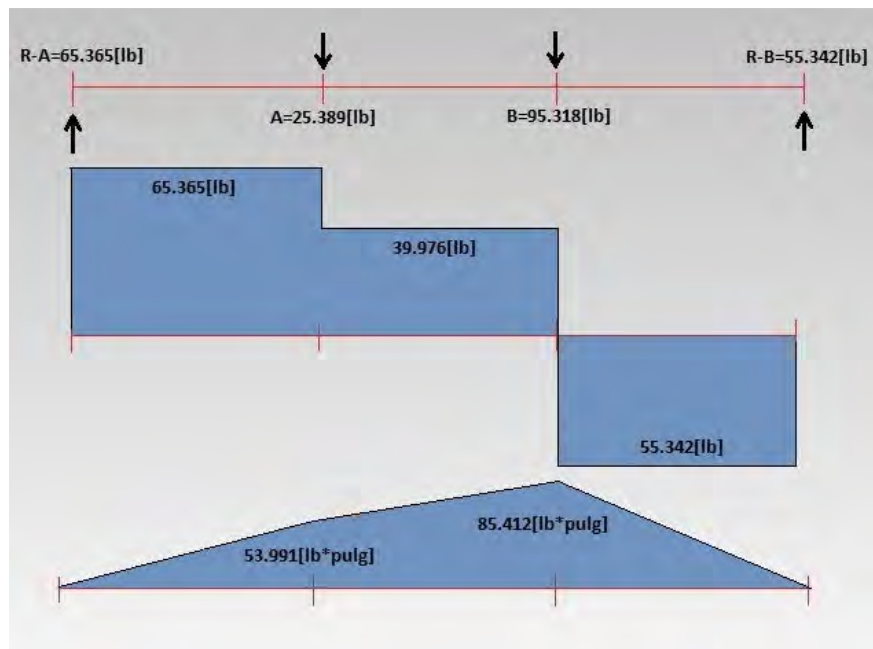


Figura 4.4.6.d) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje y.

## 4. Diseño a detalle

Cálculo del módulo de momento

$$M = \sqrt{M_{max-x}^2 + M_{max-y}^2} = \sqrt{24.659^2 + 85.412^2} = 88.9 \text{ [lb * pulg]}$$

Cálculo del diámetro del eje

$$D = \left[ \frac{32 \cdot 1.5}{\pi} \sqrt{\frac{3 \cdot 88.9}{27702} + \frac{3}{4} \left[ \frac{119.289}{77000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 1.144 \text{ [pulg]}$$

Dentro de los valores comerciales el valor más cercano es el de 1 1/8 de pulgada, lo que nos deja que los ejes sean de 1.125 [pulg] o 28.6 [mm].

Después de mostrada la metodología empleada no se vuelve a mostrar, pues son repeticiones de los mismos cálculos solo se muestran los resultados.

Análisis para el conjunto 20 dientes (C) y 12 dientes (D), véase la figura 4.4.7 a, b, c y d.

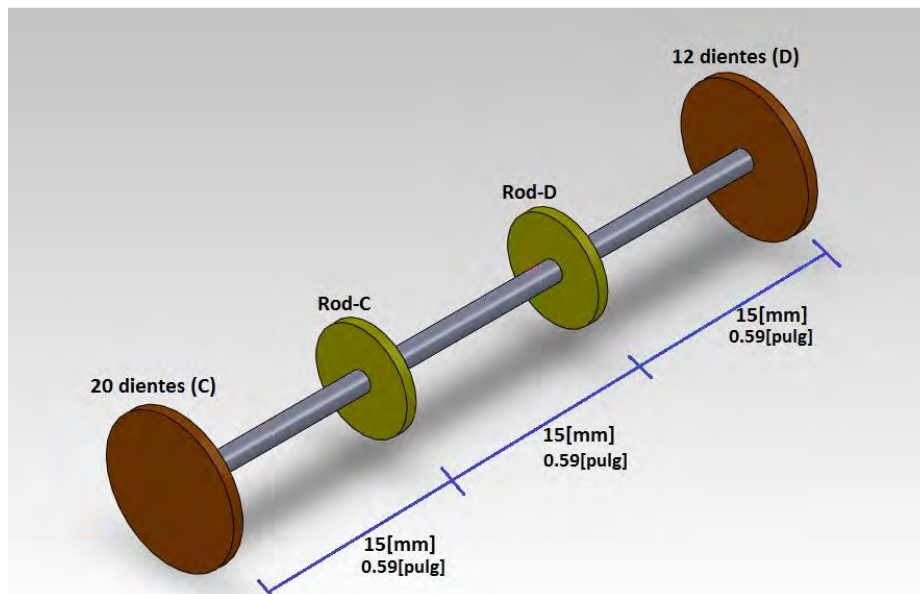


Figura 4.4.7.a) Esquema para el conjunto 20 dientes (C) y 12 dientes (D).



Figura 4.4.7.b) Fuerzas en el conjunto 20 dientes (C) y 12 dientes (D).

## 4. Diseño a detalle

Engrane C (20 dientes, 5.012 pulgadas, 211.3 rpm, 20°)

$$T = 238.523 \text{ [lb} \cdot \text{pulg]}$$

$$W_t = 95.181 \text{ [lb]}$$

$$W_r = 34.643 \text{ [lb]}$$

Engrane D (12 dientes, 3.004 pulgadas, 20°)

$$T_C = T_D$$

$$W_t = 158.803 \text{ [lb]}$$

$$W_r = 57.799 \text{ [lb]}$$

Reacciones en X

$$F_{R-C} = 127.085 \text{ [lb]}$$

$$F_{R-D} = -150.241 \text{ [lb]}$$

Reacciones en Y

$$F_{R-C} = 30.119 \text{ [lb]}$$

$$F_{R-D} = 223.145 \text{ [lb]}$$

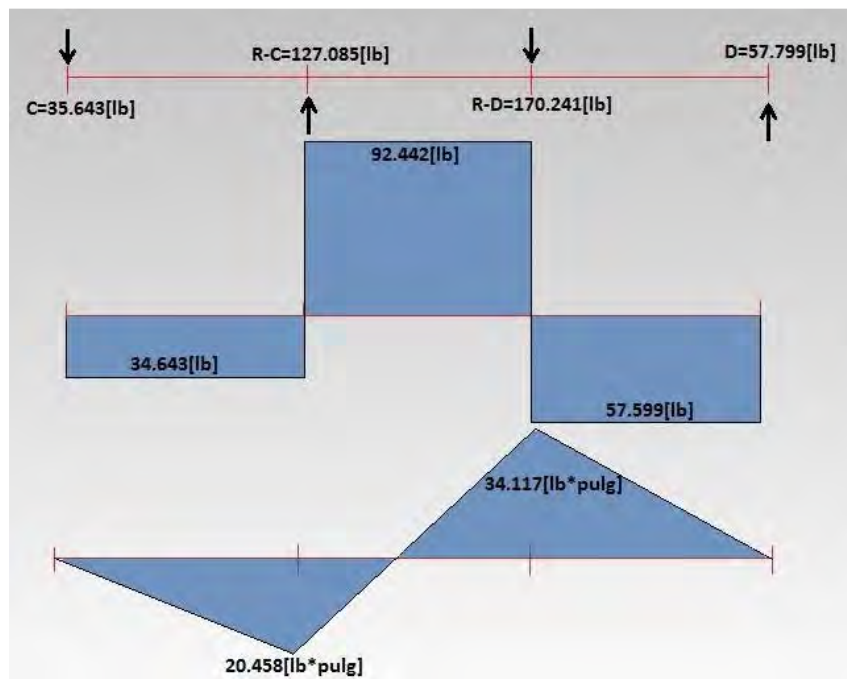


Figura 4.4.7.c) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje x.

## 4. Diseño a detalle

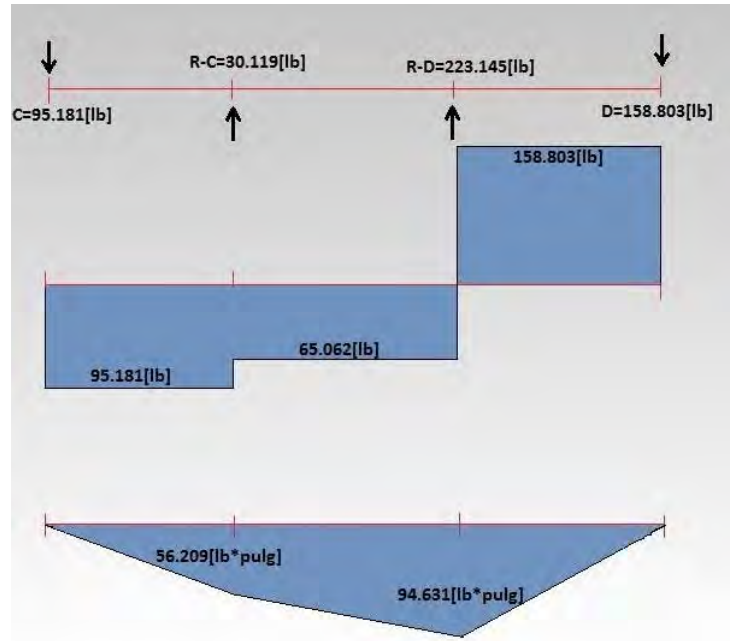


Figura 4.4.7.d) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje y.

Cálculo del módulo de momento

$$M = 100.593 \text{ [lb * pulg]}$$

Cálculo del diámetro del eje

$$D = 1.168 \text{ [pulg]}$$

Dentro de los valores comerciales el valor más cercano por encima de esta es el de 1 1/4 de pulgada, lo que nos deja que los ejes sean de 1.25 [pulg] o 31.7 [mm].

Análisis para el conjunto 28 dientes (E) y 15 dientes (F), véase la figura 4.4.8 a, b, c y d. Esquema.

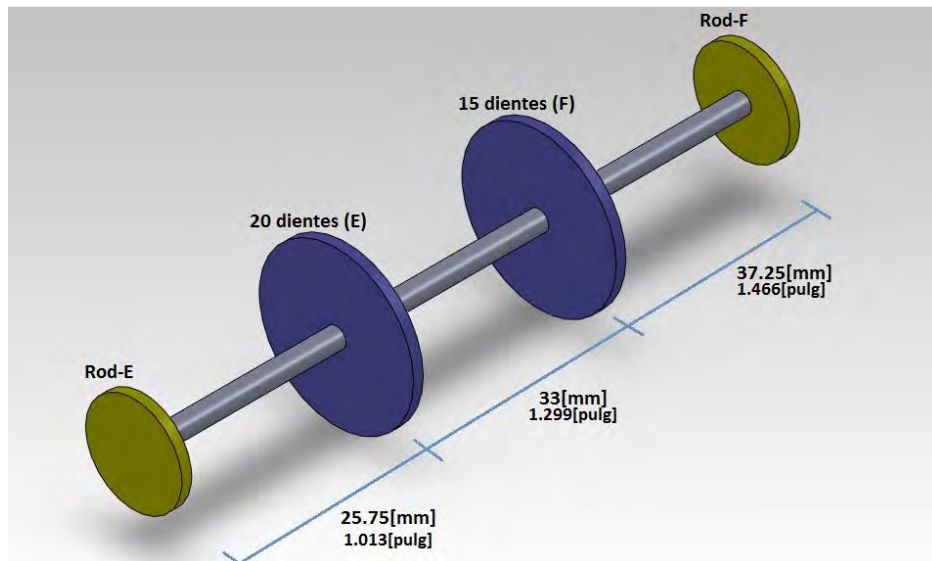


Figura 4.4.8.a) Esquema para el conjunto 28 dientes (E) y 15 dientes (F).

## 4. Diseño a detalle



Figura 4.4.8.b) Fuerzas para el conjunto 28 dientes (E) y 15 dientes (F).

Engrane E (28 dientes, 9.524 pulgadas, 66.72 rpm, 20°)

$$T = 755.596 \text{ [lb} \cdot \text{pulgada]}$$

$$W_t = 158.629 \text{ [lb]}$$

$$W_r = 57.736 \text{ [lb]}$$

Engrane F (15 dientes, 13.418 pulgadas, 20°)

$$T_E = T_F$$

$$W_t = 112.594 \text{ [lb]}$$

$$W_r = 40.981 \text{ [lb]}$$

Cálculo de las reacciones de los rodamientos

Reacciones en X

$$F_{R-F} = -9.593 \text{ [lb]}$$

$$F_{R-E} = 26.348 \text{ [lb]}$$

Reacciones en Y

$$F_{R-F} = 111.454 \text{ [lb]}$$

$$F_{R-E} = 158.769 \text{ [lb]}$$

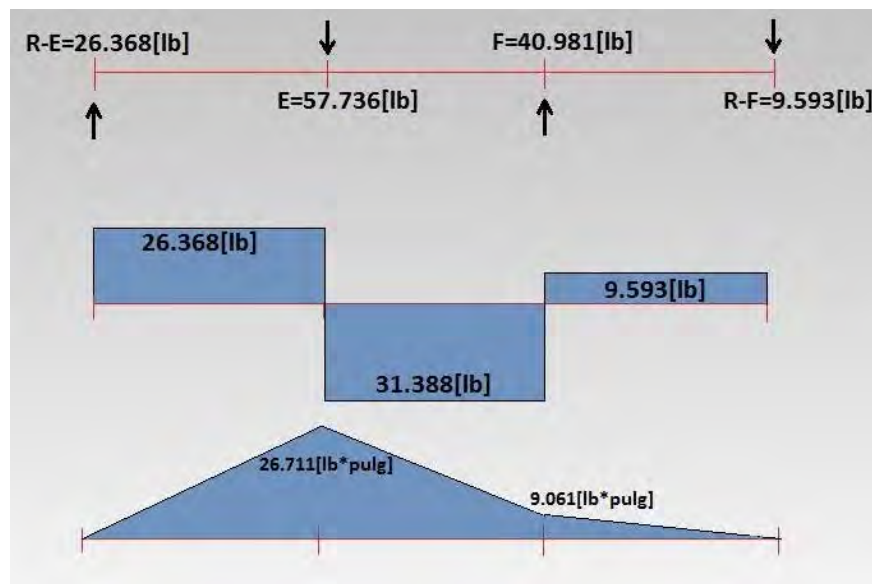


Figura 4.4.8.c) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje x.



## 4. Diseño a detalle

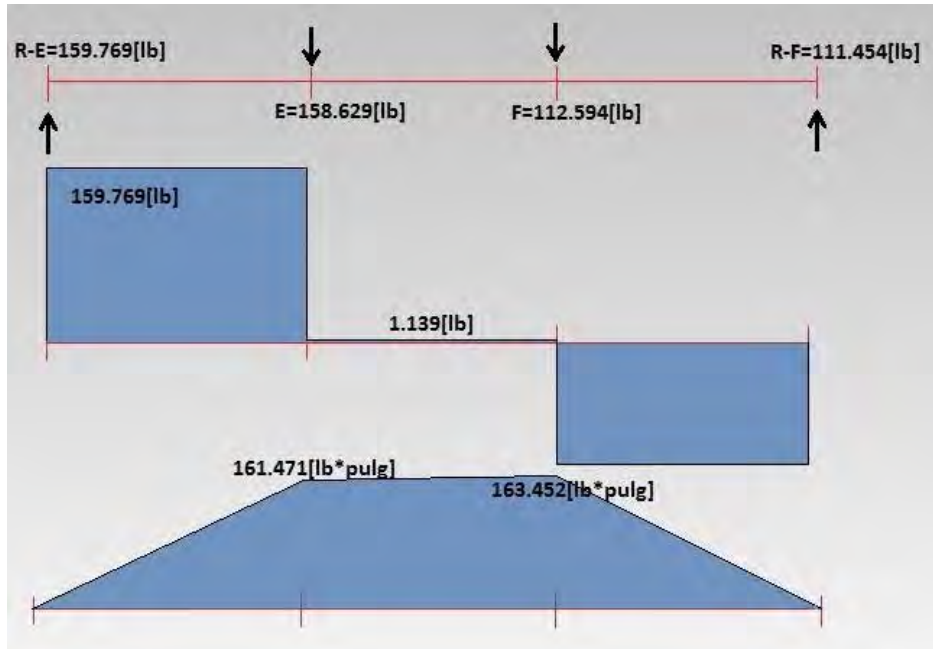


Figura 4.4.8.d) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje x.

Cálculo del módulo de momento

$$M = 165.62 \text{ [lb * pulgada]}$$

Cálculo del diámetro del eje

$$D = 1.27 \text{ [pulgadas]}$$

Análisis para el conjunto guía (G)- Soporte(R-G, R-H)

Para este conjunto en especial el caso más aproximado a la realidad sería la transmisión completa del las fuerzas del engrane de 15 dientes (F), véase la figura F4.4.9 a, b y c. Por ende Las fuerzas que actúan en él son las mismas que en éste y en los mismos sentidos.

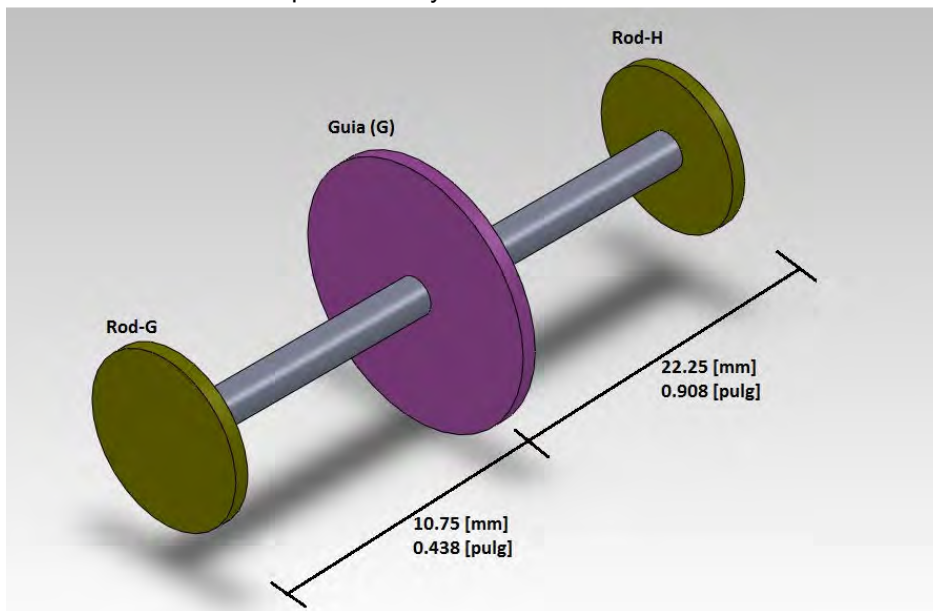


Figura 4.4.9.a) Esquema para el engrane (F) 15 dientes.



## 4. Diseño a detalle

Guía G (fuerzas idénticas que en 15 dientes F)

$$T_G = T_F$$

$$W_t = 112.594 \text{ libras}$$

$$W_r = 40.981 \text{ libras}$$

Reacciones en X

$$F_{R-H} = -13.335 \text{ [lb]}$$

Reacciones en Y

$$F_{R-H} = 36.639 \text{ [lb]}$$

$$F_{R-G} = 75.954 \text{ [lb]}$$

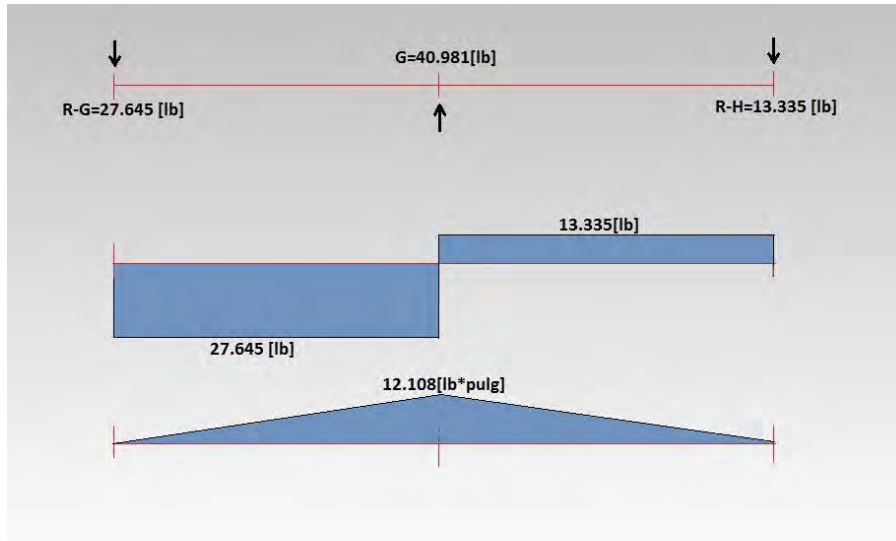


Figura 4.4.9.b) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje x.

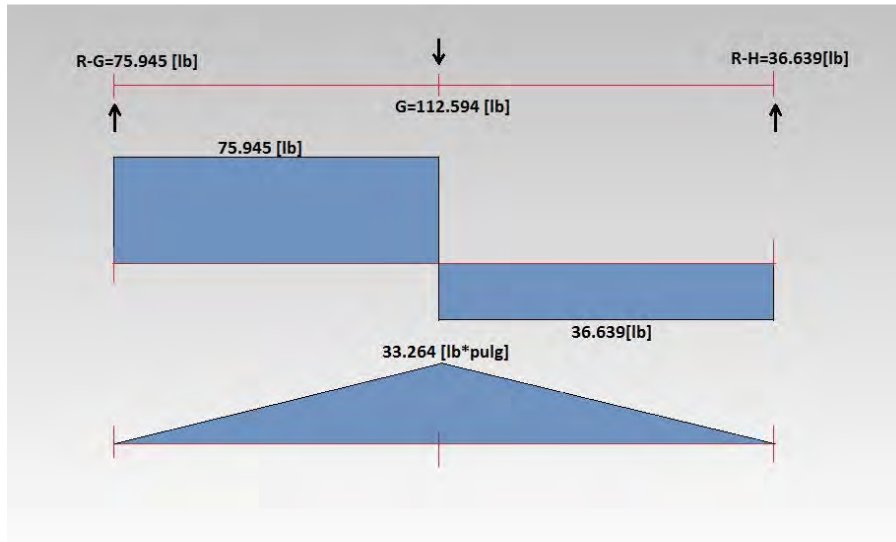


Figura 4.4.9.c) Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje y.

## 4. Diseño a detalle

Calculo del módulo de momento

$$M = 35.399 \text{ [lb * pulgada]}$$

Calculo del diámetro del eje

$$D = 0.98 \text{ pulgadas}$$

Dentro de los valores comerciales el valor más cercano por encima de esta es el de 1 pulgada, lo que nos deja que los ejes sean de 1 pulgadas o 25.4 mm.

### 4.1.3. Sujeción de los engranes de transmisión

Después de tener la dimensión de los diámetros de eje, se puede determinar los parámetros de las cuñas de sujeción, en función del mismo diámetro. Se propone usar cuñas cuadradas por la facilidad de maquinar esta forma simple.

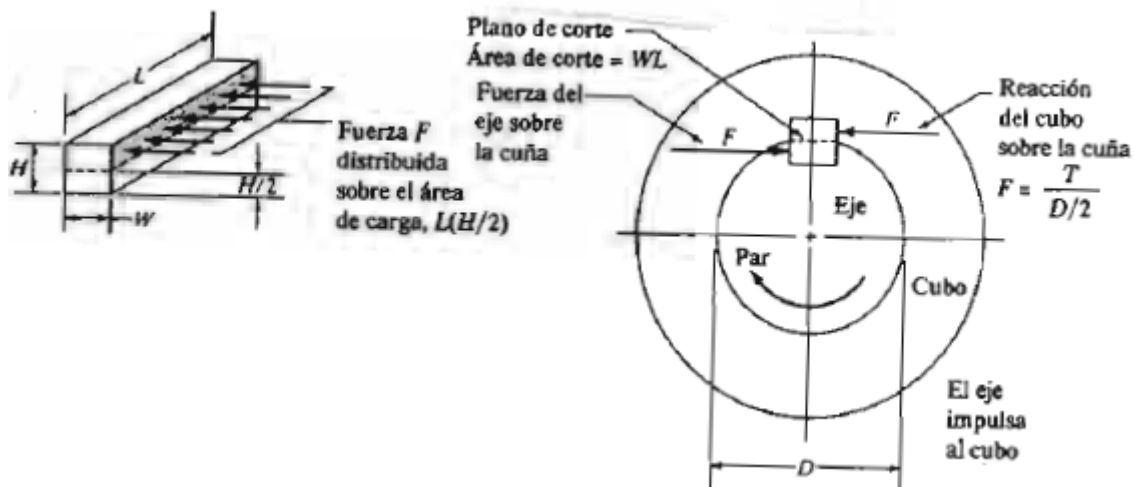


Figura 4.4.10. Se observa la imagen transversal de un eje con un cuñero<sup>[27]</sup>.

La mayoría de los parámetros que muestra la figura (4.4.10) son definidos en la siguiente tabla (T4.4.6).

## 4. Diseño a detalle

Tamaño nominal del eje		Tamaño nominal de la cuña		
Más de	Hasta (incl.)	Ancho, W	Altura, H	
			Cuadrada	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8
7/8	1	1/4	1/4	3/16
1 1/8	1 1/8	5/16	5/16	1/4
1 1/8	1 1/4	3/8	3/8	1/4
1 1/4	2 1/4	1/2	1/2	3/8
2 1/4	2 3/4	5/8	5/8	7/16
2 3/4	3 1/4	3/4	3/4	1/2
3 1/4	3 3/4	7/8	7/8	5/8
3 3/4	4 1/2	1	1	3/4
4 1/2	5 1/2	1 1/8	1 1/8	7/8
5 1/2	6 1/2	1 1/4	1 1/4	1
6 1/2	7 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/8
7 1/2	9	2	2	1 1/4
9	11	2 1/2	2 1/2	1 3/4
11	13	3	3	2
13	15	3 1/2	3 1/2	2 1/2
15	18	4		3
18	22	5		3 1/2
22	26	6		4
26	30	7		5

Fuente: Reimpreso de la norma ANSI B17.1-1967 (R98) con autorización de la American Society of Mechanical Engineers. Todos los derechos reservados.

Nota: Se prefieren los valores en las áreas no sombreadas. Las dimensiones están en pulgadas.

Tabla 4.4.6 Tamaño de la cuña en función del diámetro del eje.

El último parámetro por definir es el largo (en pulgadas) que se calcula con la siguiente ecuación (ec. 4.10):

$$L = \frac{4 \cdot T \cdot N}{D \cdot W \cdot S_y} \dots 4.10$$

Las incógnitas determinan los siguientes parámetros:

- T- torque [lb\*pulg]
- N-Factor de diseño
- D-diámetro del eje en pulgadas
- W-Ancho de la cuña
- $S_y$ - Esfuerzo a fluencia

Los valores de factor de diseño 3, el típico valor en la industria, el material usado es mismo seleccionado que el de los ejes; acero estructural A30, por lo que su límite fluencia 45000 [psi]. Como el torque cambia en cada conjunto se requiere hacer el análisis para cada conjunto.

Primer conjunto (Corona-10 dientes, diámetro de eje 1.125 [pulg], ancho de 0.25[pulg] , torque de 119.289 [lb · pulgada] )

$$L = 0.113[\text{pulg}]$$

Segundo conjunto (20 dientes-12 dientes, , diámetro de eje 1.25 [pulg], ancho de 0.3125[pulg], torque de 238.523 [lb · pulgada] )

$$L = 0.162[\text{pulg}]$$

---

## 4. Diseño a detalle

---

Tercer conjunto (28 dientes-15 dientes, diámetro de eje 1.315 [pulg], ancho de 0.3125[pulg], torque de 755.596 [lb · pulgada] )

$$L = 0.49[\text{pulg}]$$

Cuarto conjunto (Guía-rodamientos, diámetro de eje 1 [pulg], ancho de 0.25[pulg], torque de 755.596 [lb · pulgada] )

$$L = 0.8[\text{pulg}]$$

El valor máximo de la cuña es de 0.49 [pulg] para los engranes de transmisión, que corresponde a 12.45 mm por lo que las cuñas se redondean todas a este valor y la cavidad de este será de 13 mm teniendo de juego medio mm.

En el caso del engrane de 15 dientes y la guía el valor máximo es de 0.8 [pulg], que corresponde a 20.32 [mm] lo cual se llevara a 21.5 [mm], en función del ancho que este tiene, con el mismo juego que el anterior.

Para que los engranes no se corran a lo largo del eje se propone el uso de anillos de sujeción, como lo es el seguro tipo e. Y se usa anillos de soporte para los baleros, dado a que las fuerzas que actúan están por debajo que soportan estos anillos de soporte y su ligereza los hacen más útiles en el proyecto.

### 4.1.4. Selección de los rodamientos del sistema de transmisión.

Para seleccionar el rodamiento más adecuado para cada uno de los ejes se tiene que realizar los siguientes pasos, para cada conjunto, se comienza con el conjunto corona -12 dientes:

1. Se especifica la carga de diseño sobre el rodamiento, a la cual se le conoce como carga equivalente. El método para determinar la carga equivalente cuando sólo se aplica una carga radial R, considera si lo que gira es la pista interior, como en este caso, ya que el eje va montado en la pista interior y la chumacera irá fija al chasis y el eje gira en conjunto con la parrilla.

Se encuentra la componente radial más grande del conjunto que es de 34.692 [lb]

$$P = VR = 1 \cdot 34.692[\text{lb}]$$

Donde V es el factor de rotación y es igual a 1 si lo que gira es la pista interior

$$P = 34.692[\text{lb}]$$

2. Se especifica el diámetro del eje, el cual se calculó previamente y es de 1.125 pulg.
3. Se consulta la tabla (4.4.7) del libro Mott para determinar qué tipo de rodamiento es el que conviene más.

## 4. Diseño a detalle

Tabla 4.4.7 Comparación de los tipos de rodamientos.

Tipo de rodamiento	Capacidad de carga radial	Capacidad de carga de empuje	Capacidad de desalineamiento
Una hilera de bolas con ranura profunda	Buena	Regular	Regular
Doble hilera de bolas, ranura profunda	Excelente	Buena	Regular
Contacto angular	Buena	Excelente	Mala
Rodillos cilíndricos	Excelente	Mala	Regular
Agujas	Excelente	Mala	Mala
Rodillos esféricos	Excelente	Regular a buena	Excelente
Rodillos cónicos	Excelente	Excelente	Mala

Se considera que está sometido a carga radial por lo que se elige el rodamiento de una hilera de bolas de ranura profunda, dado que la carga es muy pequeña.

- De la tabla T4.4.8 se considera L10 estará en el rango de 1000 a 4000 h.

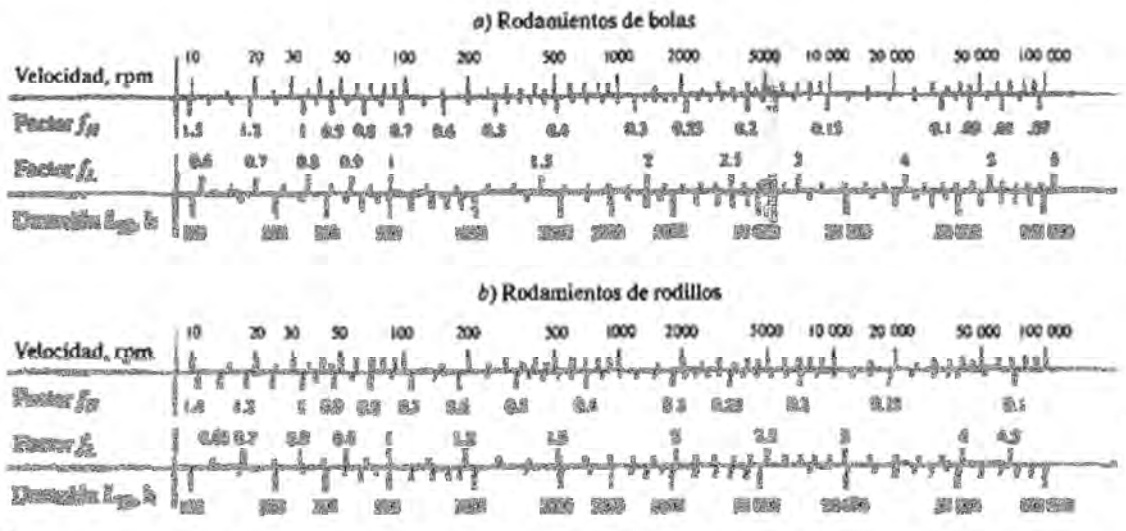
Tabla 4.4.8 Duración recomendada para rodamientos.

Aplicación	Duración de diseño $L_{10}$ , h
Electrodomésticos	1000-2000
Motores de aviación	1000-4000
Automotores	1500-5000
Equipo agrícola	3000-6000
Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples	8000-15 000
Motores eléctricos, sopladores industriales, máquinas industriales en general	20 000-30 000
Bombas y compresores	40 000-60 000
Equipo crítico en funcionamiento durante 24 h	100 000-200 000

Fuente: Eugene A. Avallone y Theodore Baumeister III, editores. *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*, 9ª edición. Nueva York: McGraw-Hill, 1986.

- Factor de velocidad ( $f_v$ ) usando de referencia las rpm, en este caso son de 422.5 rpm, y factor de duración ( $f_N$ ) usando la referencia de las horas consideradas según la tabla 4.4.9

Tabla 4.4.9 Factores por duración y velocidad, para rodamientos de bolas y de rodillos.



---

## 4. Diseño a detalle

---

$$C = P_d(f_L/f_N)$$

$$C = 34.692 \left( \frac{1.5}{0.5} \right) = 104.076[lb]$$

Determinando la carga dinámica, tomando en cuenta que la carga a la que está sometido dinámica y estáticamente se observa que queda sobrado si se selecciona el rodamiento de la tabla 14.3 modelo 6205, este tiene un diámetro de eje de 0.9843[pulg]

Se realiza el mismo proceso para los demás conjuntos:

Conjunto 20 dientes-12 dientes

1. Se encuentra la componente radial más grande del conjunto que es de 57.799 [lb]  
 $P = VR = 1 \cdot 57.799[lb] = 57.799$
2. Se especifica el diámetro del eje es de 1.25 pulg.
3. Se elige el rodamiento de una hilera de bolas de ranura profunda
4. Se considera L10 estará en el rango de 1000 a 4000 h.
5. Factor de velocidad ( $f_L$ ) usando de referencia las rpm, en este caso son de 211.3 rpm, y factor de duración( $f_N$ )

$$C = P_d(f_L/f_N)$$

$$C = 57.799 \left( \frac{1.5}{0.65} \right) = 133.382[lb]$$

Determinando la carga dinámica, tomando en cuenta que la carga a la que está sometido dinámica y estáticamente se observa que queda sobrado si se selecciona el rodamiento de la tabla 14.3 modelo 6206, este tiene un diámetro de 1.1811[pulg]

Conjunto 28 dientes-15 dientes

1. Se encuentra la componente radial más grande del conjunto que es de 57.736 [lb]  
 $P = VR = 1 \cdot 57.799[lb] = 57.799$
2. Se especifica el diámetro del eje es de 1.315 pulg.
3. Se elige el rodamiento de una hilera de bolas de ranura profunda
4. Se considera L10 estará en el rango de 1000 a 4000 h.
5. Factor de velocidad ( $f_L$ ) usando de referencia las rpm, en este caso son de 66.72 rpm, y factor de duración( $f_N$ )

$$C = P_d(f_L/f_N)$$

$$C = 57.736 \left( \frac{1.5}{0.8} \right) = 108.255[lb]$$

---

## 4. Diseño a detalle

---

Determinando la carga dinámica tomando en cuenta que la carga a la que está sometido dinámica y estáticamente se observa que queda sobrado si se selecciona el rodamiento de la tabla 14.3 modelo 6206, este tiene un diámetro de 1.1811[pulg]

Conjunto Guía-Rodamientos

1. Se encuentra la componente radial más grande del conjunto que es de 40.981 [lb]  
$$P = VR = 1 \cdot 40.981[lb] = 40.981$$
2. Se especifica el diámetro del eje es de 1 pulg.
3. Se elige el rodamiento de una hilera de bolas de ranura profunda
4. Se considera L10 estará en el rango de 1000 a 4000 h.
5. Factor de velocidad ( $f_L$ ) usando de referencia las rpm, en este caso son de 66.72 rpm, y factor de duración( $f_N$ )

$$C = P_d(f_L/f_N)$$

$$C = 57.736 \left( \frac{1.5}{0.8} \right) = 108.255[lb]$$

Determinando la carga dinámica, tomando en cuenta que la carga a la que está sometido dinámica y estáticamente se observa que queda sobrado si se selecciona el rodamiento de la tabla 14.3 modelo 6205, este tiene un diámetro de 0.9843[pulg].

### 4.2. Diseño del sistema de compensación de la horizontal

Este sistema, como ya se había mencionado anteriormente, es el que se encarga de compensar el ángulo que se genera cuando el dispositivo sube la escalera, es decir, hace que el pasajero conserve la horizontal con respecto al piso no sintiendo la inclinación de la escalera. La manera en que esto se hará posible se propone que sea inclinando. El diseño del sistema radica en el adecuado posicionamiento del actuador en cuanto a potencia y espacio se refiere, además de la selección de éste. Dado que varían las dimensiones de las escaleras y por tanto las pendientes, el ángulo de compensación será variable, tomando como ángulo máximo el ya mencionado anteriormente en el Capítulo 3 que es de 33°, por lo que al seleccionar el actuador se tomará en cuenta esto.

Considerando las opciones de solución para este sistema propuestas en el capítulo anterior, se considera que la más viable sería la propuesta de piñón-cremallera, comercialmente se encuentran actuadores lineales de tipo eléctrico que utilizan este mecanismo asemejándose a un pistón. Usar un pistón neumático sistema de dosificación, almacenamiento y de control del fluido de trabajo. Por esta razón es descartado., utilizando un actuador lineal de tipo eléctrico se alimentaría mediante las baterías ya seleccionadas. Se descarta utilizar una leva o una articulación, dado que sería una solución más compleja y se toma en cuenta que existen actuadores lineales especiales para aplicaciones médicas, como son camas hospitalarias, sillas de descanso, odontológicas, sofás, etc., por lo que se consideran adecuados para la aplicación que se le quiere dar en este proyecto.

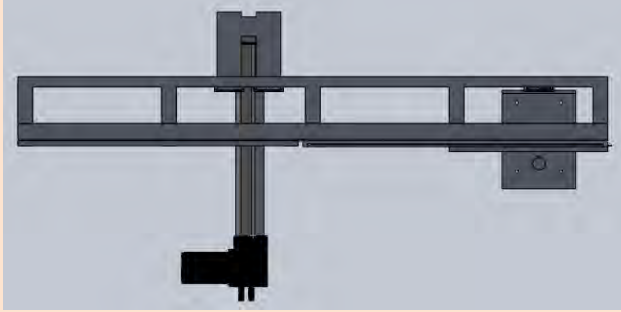
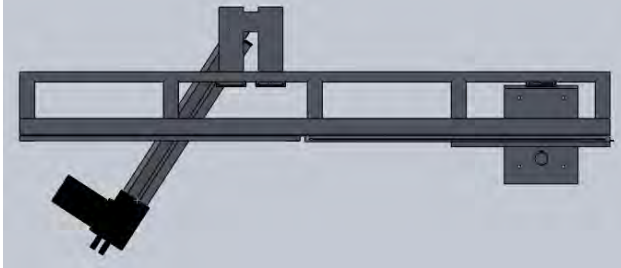
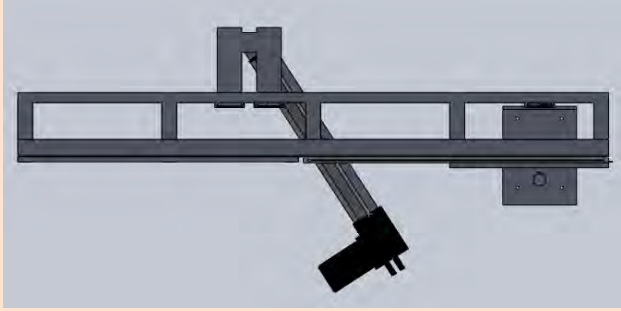


## 4. Diseño a detalle

### 4.2.1. Configuración del sistema de compensación de la horizontal

Aquí se proponen varias configuraciones para el sistema que compensa la horizontal, más específicamente las configuraciones disciernen en el acomodo del actuador. De acuerdo con un proceso iterativo se pretende que colocando de alguna manera el actuador en la parte inferior de la parrilla, al extenderse éste la parrilla gire con respecto a su eje y de esta manera se generaría un ángulo de compensación. En la tabla siguiente (4.5.1) se ilustran unas posibles configuraciones del sistema.

Tabla 4.5.1. Configuraciones para la colocación del actuador.

Configuración	
Configuración 1: Actuador vertical	
Configuración 3: Actuador inclinado hacia atrás	
Configuración 2: Actuador inclinado hacia el frente	

En vista de que el espacio con el que se cuenta es limitado y buscando previamente algunos actuadores lineales, dadas las dimensiones de instalación (esto quiere decir cuando el actuador está contraído) la configuración seleccionada es la del actuador inclinado hacia atrás ya que esta permite que al aumentar el ángulo la carrera del actuador sea menor que en las otras configuraciones. Inclinando el actuador permite ahorrar espacio. El ángulo de inclinación en que éste se coloque depende del ángulo máximo que se está considerando para las escaleras, esto es, considerando que cuando el ángulo sea máximo para las escaleras el actuador sea perpendicular a la superficie de contacto donde se aplica la fuerza.

### 4.2.2. Cálculos del sistema encargado de compensar la horizontal

#### Cálculo de la potencia

Es necesario calcular la potencia para seleccionar el actuador lineal que se utilizará, considerando la solución con la que decidió trabajar y la configuración.

Se tuvieron que fijar algunas dimensiones, éstas se determinarían en base al espacio que se tiene disponible resultantes de un proceso iterativo, es decir, conforme si iban colocando las piezas al realizar el ensamble de las mismas en un software de diseño (*SolidWorks*) lo cual se menciona más a detalle en el capítulo siguiente. Los cálculos siguientes permiten definir donde quedará colocado el actuador y cuál será su brazo de palanca para un ángulo  $\theta$ , siendo éste el que ángulo de compensación de la horizontal, sabiendo el brazo de palanca de éste para un ángulo máximo es posible determinar la potencia. Se considera que está en condiciones de equilibrio, ya que la velocidad es muy lenta, por el actuador seleccionado será de 36[mm/s] además se considera casi constante, ya que ésta varía según la carga a la que está sometida el actuador.

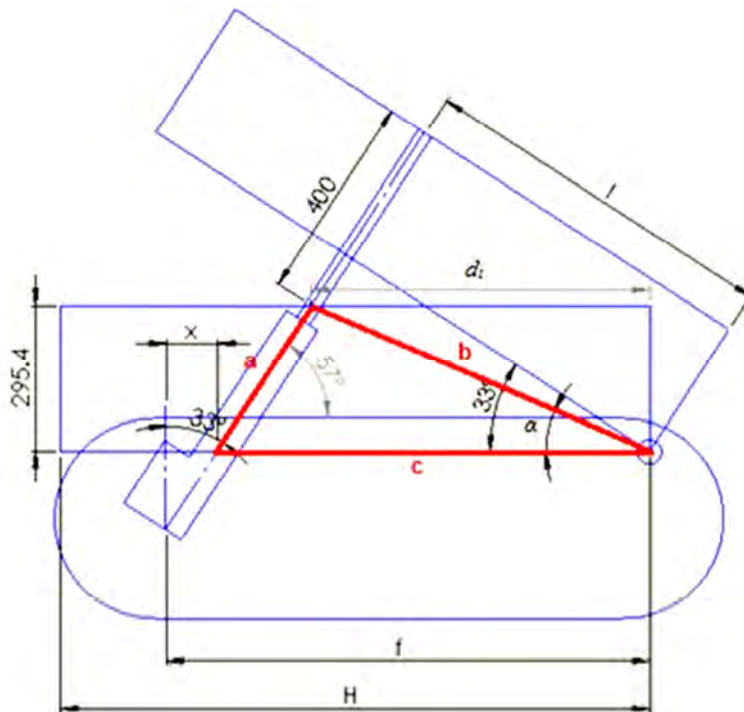


Figura F4.5.1.a. Bosquejo del sistema de compensación de la horizontal, señalando el triángulo abc.

## 4. Diseño a detalle

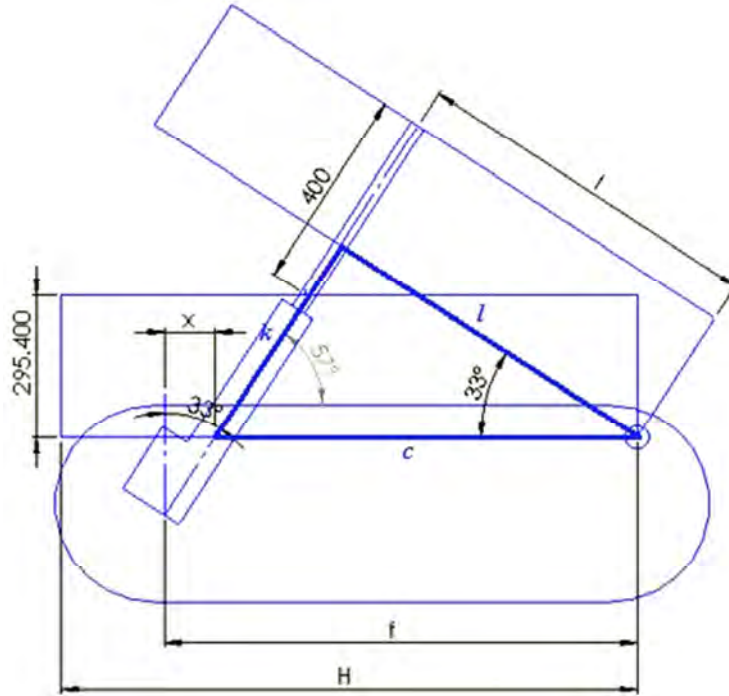


Figura F4.5.1.b. Bosquejo del sistema de compensación de la horizontal, señalando el triángulo kcl.

Dónde:

$H$  es el largo de la parrilla de sujeción de la silla a partir del eje (1.2[m])

$l$  corresponde a la distancia perpendicular a partir del eje hasta el punto donde empuja el actuador  
 $m$  es la masa de la silla de ruedas máxima + el peso máximo del pasajero + peso de la parrilla (20[kg]+80[kg]+10[kg]=110[kg]), se considera un peso aproximado del sistema de sujeción.

$\theta$  es el ángulo de la escalera

$v$  es la velocidad a la que se desplaza el actuador

Del centro de giro a la línea de apoyo del actuador verticalmente hay 294.5 [mm] (Véase la imagen 4.5.1.a).

Se calculan las condiciones iniciales cuando la carrera está contraída, es decir  $s=0$

$$a = 351.15[mm]$$

Para calcular  $c$  se toman en cuenta las condiciones finales, donde  $\theta_{max} = 33^\circ$  (Figura 4.5.1. b)

$$\text{sen}33^\circ = \frac{k}{c} = \frac{456.65[mm]}{c}$$

$$c = 838.44[mm]$$

Dado que  $c$  permanece constante, se toma nuevamente el triángulo genera en las condiciones iniciales, usando ley de cosenos se obtiene

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2accos\beta \quad \Rightarrow \quad b=711.04[mm]$$

## 4. Diseño a detalle

Para obtener la distancia  $f$ , la cual es la distancia a la cual va fijo el actuador a partir del eje, se tiene

$$x + c = f$$

Donde  $x$  se calcula tomando en cuenta que

$$\text{sen}33^\circ = \frac{x}{\text{Longitud del actuador} - a}$$

$$x = 113.74[\text{mm}]$$

$$f = 952.18[\text{mm}]$$

Por lo que el actuador se colocará a una distancia de  $f = 952.18[\text{mm}]$  aproximadamente medida desde el eje de giro horizontalmente y una altura con respecto al piso de  $80[\text{mm}]$  este tendrá una inclinación de  $33^\circ$  con respecto a la vertical, esto con respecto al centro del actuador.

Dado el actuador seleccionado se realiza un cálculo aproximado de la potencia para el ángulo máximo que sería de  $33^\circ$ , véase la figura 4.5.1.a y la figura 4.5.2 para la realización de los cálculos.

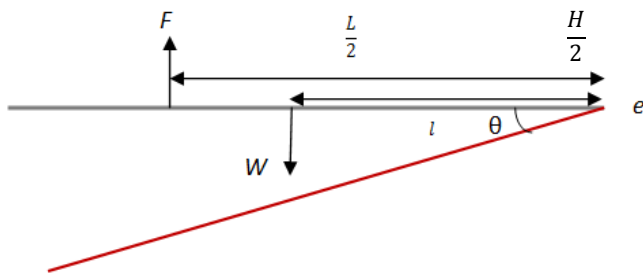


Figura 4.5.2 Diagrama de cuerpo libre, se observa una línea roja la cual hace referencia a dispositivo sobre escaleras y la línea gris es el sistema de sujeción cuando llega a un ángulo máximo para compensar el ángulo que se está inclinado el dispositivo.

$$\sum M_e = 0$$

$$W \frac{H}{2} - Fl \text{sen}90^\circ = 0$$

Se calcula  $l$  considerando que la carrera es máxima en este punto, viéndose el triángulo de la figura 4.5.1.b, se puede observar que para la carrera máxima se forma un triángulo rectángulo. Se puede obtener el cateto opuesto al ángulo  $\theta$

$$l = 703.18[\text{mm}]$$

Despejando  $F$

$$F = \frac{WH}{2l} = \frac{mgH}{2l} = \frac{(110[\text{kg}])(9.81 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right])(0.6[\text{m}])}{2(0.703[\text{m}])} = 761[\text{N}]$$

Se toma un factor de seguridad de 1.3

$$F_s = 761[N](1.2[m]) = 913.2[N]$$

Para la potencia se toma en cuenta la velocidad máxima del actuador que es 36mm/s

$$P = F_s v = 913.2[N] \left( \frac{0.036[m]}{[s]} \right) = 33[W]$$

### 4.2.3. Selección del actuador

Para determinar cuál sería la carrera óptima en cuanto a espacio y a potencia, se tiene que considerar que al aumentar la carrera se tendría un mayor brazo de palanca ya que se podría utilizar más alejado del eje; pero esto provoca que las dimensiones de instalación, es decir, con la carrera contraída, sean demasiado grandes, hay que considerar que se tiene el espacio limitado. Por otro lado, si se considera una distancia muy pequeña disminuye el brazo por lo que aumenta la fuerza necesaria para rotar la parrilla, esto provocaría un aumento en la potencia, aunque disminuiría la distancia de instalación. Se realiza un proceso iterativo en donde se varía el largo de la carrera, este resulta un tanto difícil ya que se realiza previo a saber el acomodo de todas piezas a considerar, tomando en cuenta esto se decide que la carrera del actuador lineal será de 400[mm].

Entre los actuadores encontrados se consideraron los siguientes criterios para la selección del adecuado.

- Potencia: Potencia máxima que maneja el actuador.
- Dimensiones: Dimensiones del actuador, sobre todo tomar en cuenta dimensiones de instalación.
- Carrera: La carrera máxima que da el actuador de manera que compense el máximo ángulo propuesto para la inclinación de las escaleras.
- Voltaje. Voltaje al que trabaja el actuador.
- Corriente: La cantidad de corriente que demanda
- Precio: Costo en M.N. del actuador.
- Carga: La carga que es capaz de soportar el actuador, empujando.

Se seleccionó el que se muestra a continuación, ya según las características siguientes resulta adecuado para la aplicación. Potencia que ofrece este actuador es mayor a la requerida, las dimensiones de instalación no sobrepasan en el espacio con el que se cuenta según la configuración de acomodo que se eligió previamente, se puede usar una carrera de 400mm que entra en el rango que ofrece el fabricante, la batería seleccionada cumple con el voltaje y la corriente necesaria para éste el precio resulta accesible a comparación de otros que se consideraron y la carga resulta excedida; por lo que se piensa que resulta viable para el dispositivo a realizar.

### Derock (Direct Drive Linear Actuator) YLSDTZ 01-24-1 2



- Potencia: 50W
- Dimensiones: 160mm+carrera
- Carrera: 20mm a 500mm
- Voltaje: 24VDC
- Corriente: 2.5 ADC
- Precio: \$35.00 (Alibaba)
- Velocidad: 4mm/s a 36mm/s
- Carga: 750N a 6000N

Se realizan los cálculos de dimensionamiento en base al actuador seleccionado.

#### 4.2.4. Descripción del sistema

Por la manera en que fue concebido el concepto de solución para este sistema, se tiene como subsistema del mismo el sistema de sujeción. El sistema de sujeción, como ya se ha mencionado anteriormente, es el que está encargado de fijar la silla al dispositivo con el fin de adaptarlo a este. Para este sistema de compensación de la horizontal y para el sistema de sujeción, se tiene que tomar en cuenta la seguridad del pasajero, además estos deben ser adaptables a varias sillas comerciales.

Tomando en cuenta estas consideraciones se propuso una parrilla de soporte que se encontrará por arriba del nivel del piso, la cual consta de unos canales laterales a las orugas donde van colocadas las ruedas de la silla, en cada canal habrá un elemento encargado de que la silla quede fija. Esta parrilla cuenta con un grado de libertad, ya que ésta debe de ser inclinada para poder conservar la horizontal del pasajero. Siendo una parrilla la que soporte a la silla y que está se encuentre por arriba del nivel del piso permite que se cuente con mayor espacio para los elementos que constituyen el dispositivo.

Para colocar el actuador lineal se pondrá un soporte intermedio, dadas las dimensiones del actuador lineal este soporte tiene que quedar más arriba del nivel donde queda el soporte base, considerando que no tiene que obstruir con la colocación de la silla.

## 4. Diseño a detalle

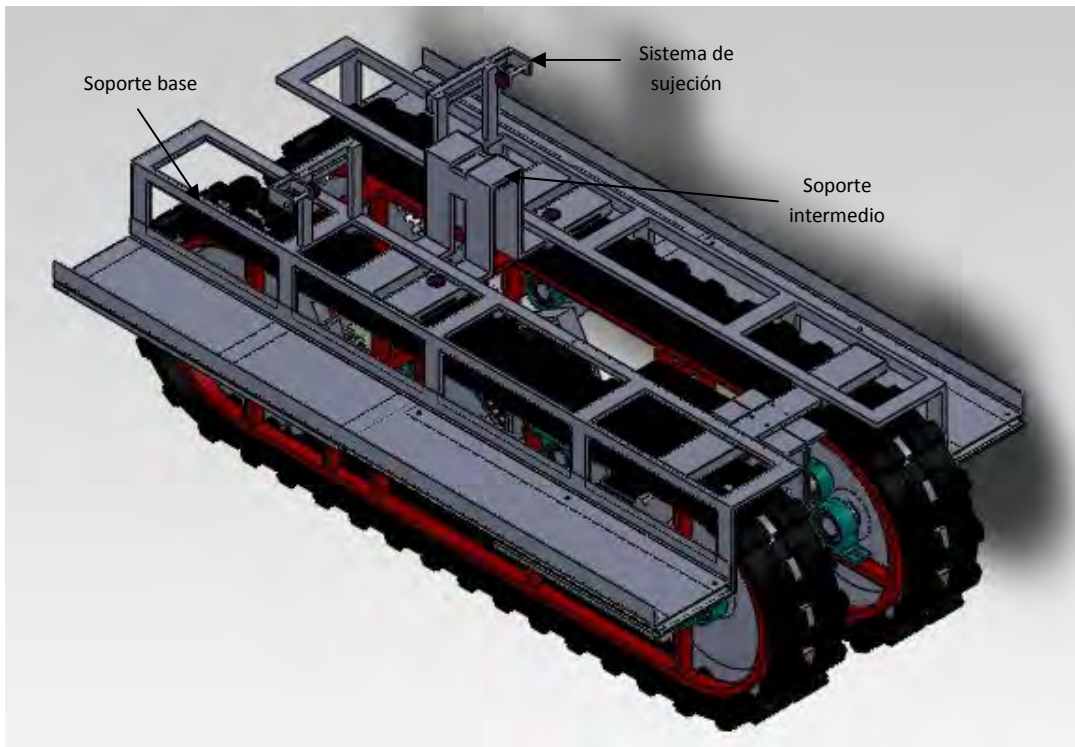


Figura 4.5.3. Partes principales del sistema para compensar la horizontal.

A continuación se describen algunos de los componentes que constituyen el sistema de sujeción.

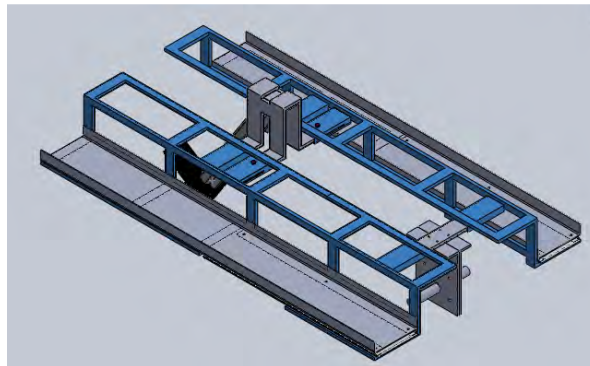


Figura 4.5.4. Se muestran en tono azul el soporte base, éste se compone de dos partes una en cada lado.

Soporte base. Este soporte es donde van montados los demás elementos que componen el sistema. El sistema de sujeción se compone de dos, uno de cada lado, sobre los cuales van apoyadas los canales exteriores (Figura 4.5.4) a este conjunto es a lo que se le denomina parrilla de soporte, está hecho de perfil de chapa de acero laminado en frío.



## 4. Diseño a detalle

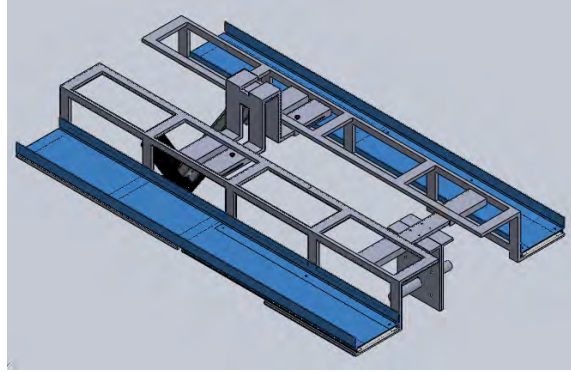


Figura 4.5.5. Se muestran en tono azul las canaletas sobre las que va montada la silla de ruedas.

Canal exterior. El sistema se compone de dos, uno sobre cada soporte base con la finalidad de que las ruedas se desplacen por una superficie plana. Se debe de tomar en cuenta para cada canal que la rueda delantera no está alineada con la rueda trasera, por lo que debe de ser lo suficientemente ancha para que puedan desplazarse hasta llegar a colocarse adecuadamente (Figura 4.5.5).

Guías de sujeción. Se encuentra una de cada lado aproximadamente a la altura que quedaría la mitad de la llanta trasera, estas guías son variables para que se puedan ajustar a lo ancho de la silla, tiene la finalidad de prensar los tubos traseros de la silla para que esta quede fija al sistema. Esta guía se despliega en un canal el cual está fijo al soporte base (Figura 4.5.6), cuenta con una prensa la cual tiene una cara variable que le permite ajustarse a diferentes diámetros de tubos según sea la silla de ruedas a sujetar. Mediante la cara variable que tiene se puede ajustar al diámetro del tubo. En la figura 4.5.7 a) hasta 4.5.7f), se puede observar cómo se propone que la silla sea sujeta mediante estas guías para que quede montada en el sistema de sujeción.

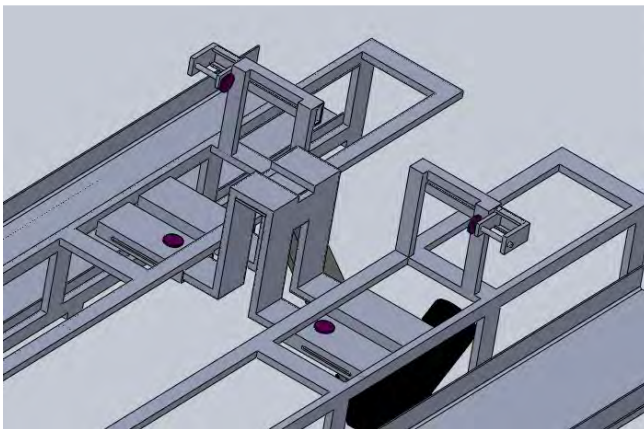
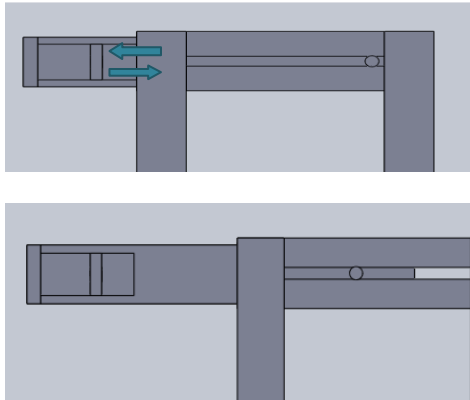
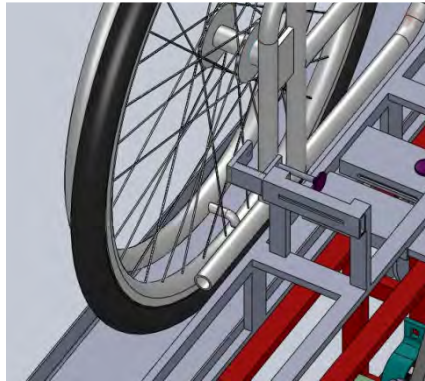


Figura 4.5.6. Guías de sujeción

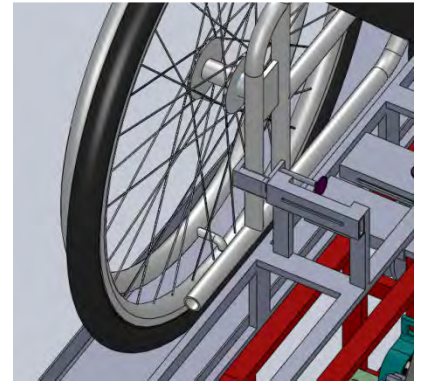
## 4. Diseño a detalle



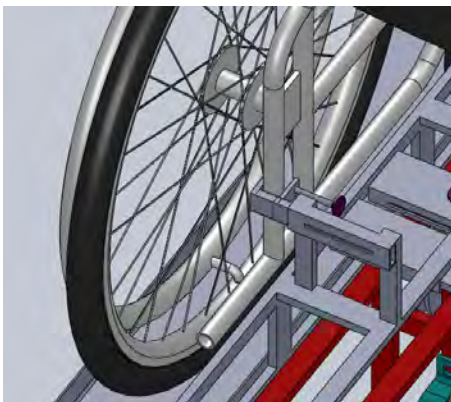
*Figura 4.5.7.a) Para sujetar la silla se puede desplegar las guías variables hacia afuera o hacia adentro, si es posible. En la imagen se observa como la guía puede desplazarse a través de canal que se encuentra fijo al soporte base.*



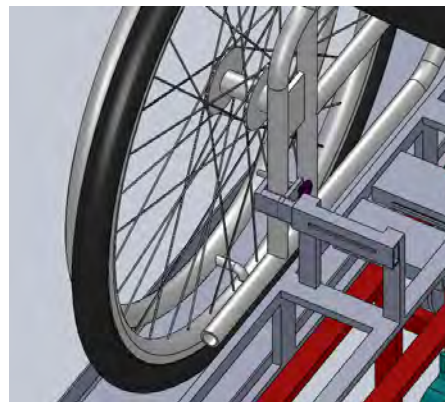
*Figura 4.5.7.b) Una vez que la silla haya subido por las rampas y esté sobre los canales, se despliegan las guías como ya se dijo anteriormente. En la imagen se observa como la guía se encuentra a la distancia adecuada donde está el tubo que se va a prensar.*



*Figura 4.5.7.c) Se hace esto con ambas guías para sujetar la silla de ambos lados, se colocan los tubos entre las prensas.*



*Figura 4.5.7.d) Se ajusta la cara variable al diámetro del tubo.*



*Figura 4.5.7.e) Finalmente, se coloca el tornillo, de esta manera quedará fija la silla de ruedas.*

Rampa desplegable. Esta rampa se encuentra colocada bajo cada canal paralela a este (Figura 4.5.8a), por lo que el sistema consta de dos rampas, una para el lado derecho y otra para el lado izquierdo. A través de un riel (Figura 4.5.8b) la rampa se puede desplegar para que la silla pueda subir hasta ser colocada sobre los canales de soporte (Figura 4.5.8c).

## 4. Diseño a detalle

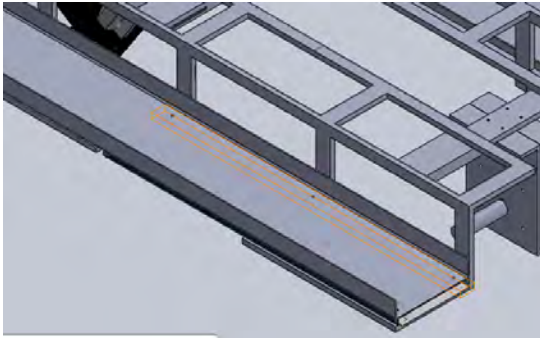


Figura 4.5.8.a) Se muestra con líneas naranjas uno de los rieles y de color azul el del otro lado. Mediante estos rieles se despliega la rampa.

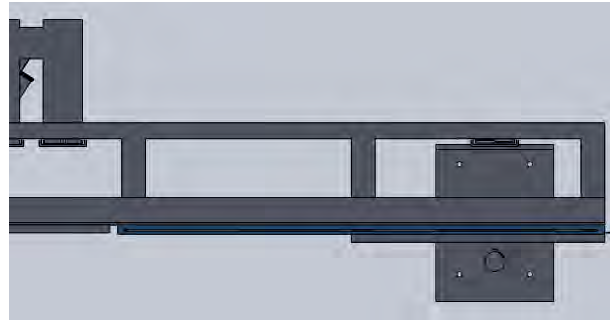


Figura 4.5.8.b) Vista lateral del sistema de sujeción donde se aprecia en color azul el riel para la rampa.

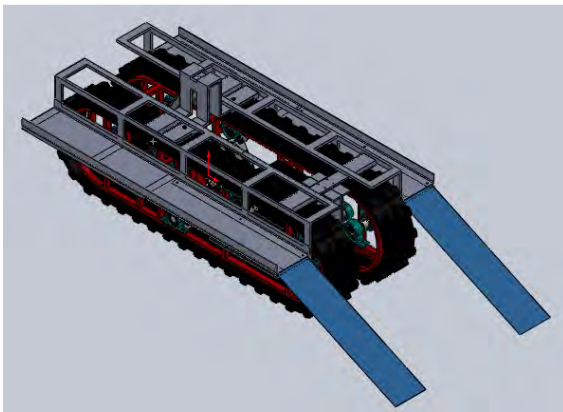


Figura 4.5.8.c) Se muestran en tono azul las rampas desplegadas en ambos lados.

Guía ajustable. Mediante estas guías se puede ajustar el sistema de sujeción para varios anchos, fijando el ancho con tornillo, esto se logra deslizando las guías por los canales que están en el soporte base. Obsérvese las de figura 4.5.9 a-f para mejor comprensión de lo descrito. Para ajustar el tamaño del sistema de sujeción a cierta silla de ruedas, habrá que deslizar y ajustar la guía de manera que las llantas de ambos lados queden alineadas con las marcas de las rampas.

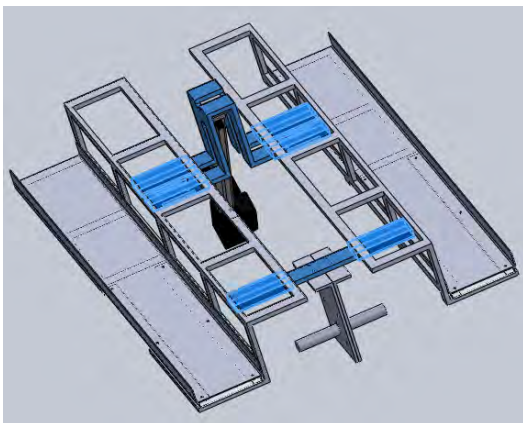


Figura 4.5.9.a) Se muestran en color azul las guías, está compuesto por tres guías, una de ellas colocada a la altura del eje y las otras dos unidas a la canaleta haciéndose una sola pieza.

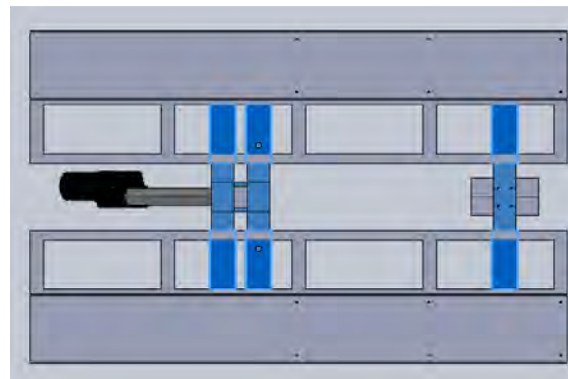


Figura 4.5.9.b). Vista superior



## 4. Diseño a detalle

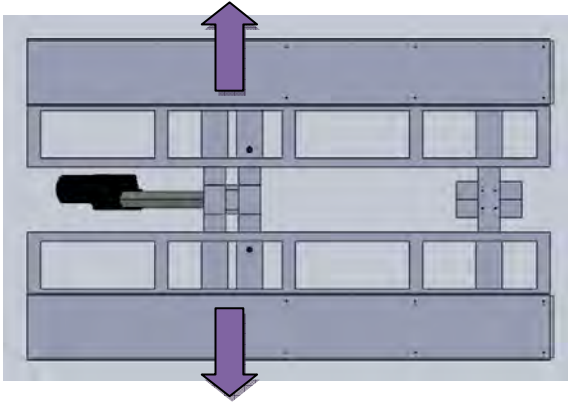


Figura 4.5.9.c). Para aumentar el ancho del sistema de sujeción para poder ser adaptado a sillas de ruedas de anchos mayores a 430mm, se jalan en la dirección que se muestra en la figura quitando previamente el tornillo.

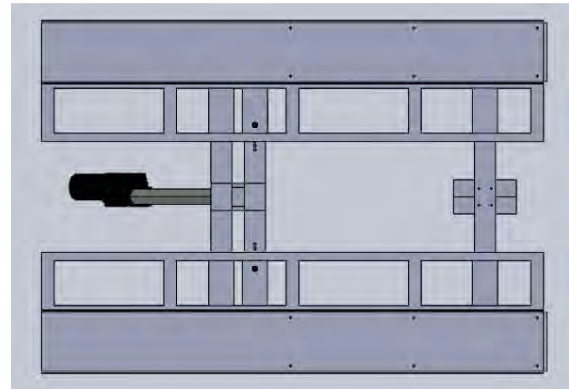


Figura 4.5.9.d). Se muestra las canaletas desplegadas hasta su ancho máximo.

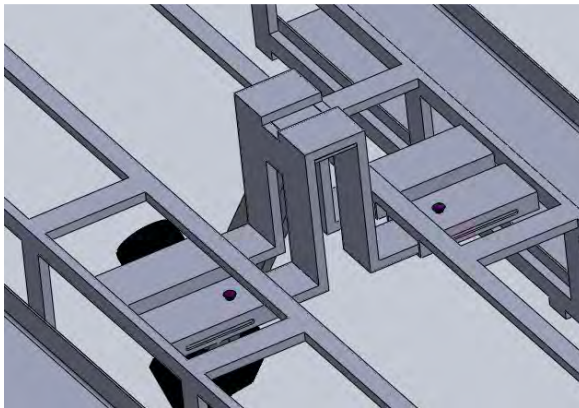


Figura 4.5.9.e). Se muestran las guías ajustadas para el ancho mínimo. También se observa el tornillo que permite fijar el ancho.

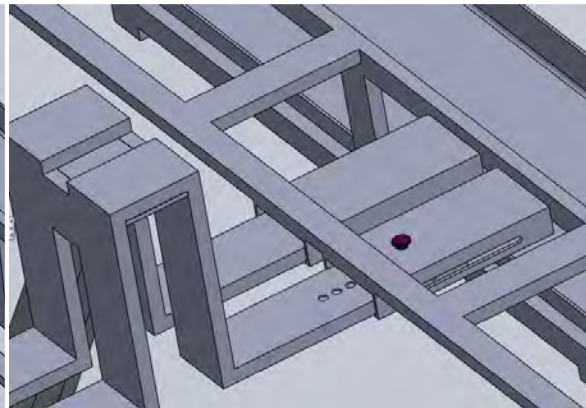


Figura 4.5.9.f). Se muestran las guías en ajustadas en su ancho máximo.

Canaleta de contacto con el actuador lineal. Esta canaleta estará unida mediante las guías ajustables a las parrillas de sujeción. El actuador está en contacto con esta canaleta a través de una rueda que le permitirá cambiar el ángulo entre el actuador y la canaleta además de la distancia a la que toca, esto es necesario ya que la distancia entre el actuador y el eje cambia en función del ángulo de inclinación del sistema de sujeción (Figura 4.5.10. a y b).

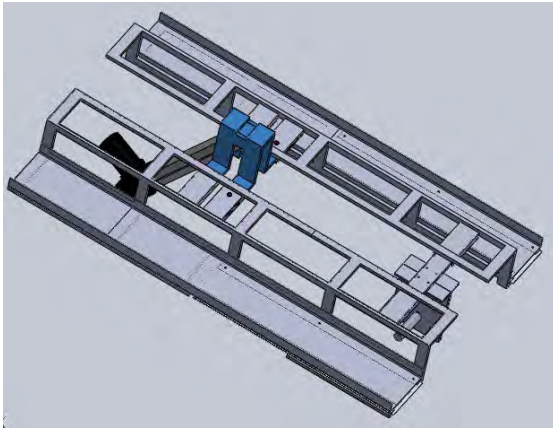


Figura 4.5.10.a). Se muestra el canal en azul el canal de contacto con el actuador lineal.

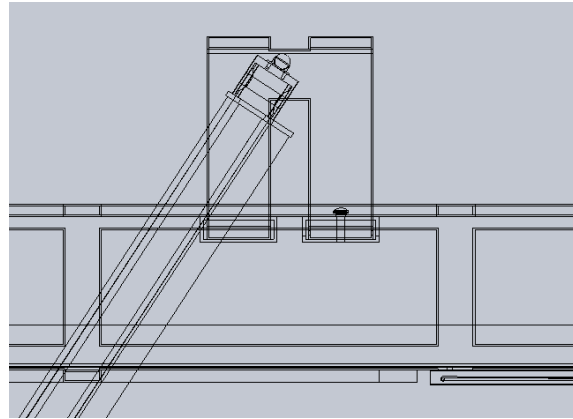


Figura 4.5.10.b). Se muestran como el actuador lineal está en contacto con la canaleta, también se observa la rueda para que el ángulo entre la canaleta y el actuador pueda cambiar y para que la canaleta se mueva a través del actuador.

### 4.2.5. Dimensionamiento del sistema

Para este sistema se deben de tomar en cuenta las dimensiones de las sillas de ruedas, ya que este sistema es el que permite que sillas de ruedas de varios tamaños sean compatibles con el dispositivo, por lo que este sistema debe de ser ajustable. Por la solución propuesta el parámetro que interesa que sea variable en el dispositivo es el ancho, es decir, si el sistema puede variar el ancho es posible que varias sillas de ruedas se puedan adaptar al dispositivo; según las dimensiones encontradas para las sillas de ruedas, el dispositivo será capaz de adaptarse a sillas con un ancho mínimo interior de 430[mm] y con un ancho mínimo exterior de 755 [mm] (sillas fuera de este de este rango no podrán ser adaptadas). Se puede hacer la parrilla lo suficientemente larga para asegurar que la mayoría de las sillas de ruedas puedan ser colocadas en el sistema, la parrilla tendrá un largo de 1200[mm].

Es necesario determinar las dimensiones que tendrán los elementos que compone el sistema de compensación de la horizontal antes mencionados.

#### Dimensiones de las canaletas

Es difícil determinar el ancho de las mismas con exactitud, ya que hay que considerar que las llantas traseras no están alineadas con las llantas delanteras. Es necesario conocer la distancia de separación entre estas llantas para así poder saber el ancho de las canaletas. Para esto se toma como base una silla de ruedas conocida, tomando en cuenta que esta distancia no variaría en gran medida entre silla y silla. De la figura 4.5.11 se puede apreciar la distancia que se considera para el ancho de las canaletas. Esta distancia es de 124.81 [mm] como se aprecia en la figura, se escogió un canal de acero estructural de 155 [mm] de ancho.

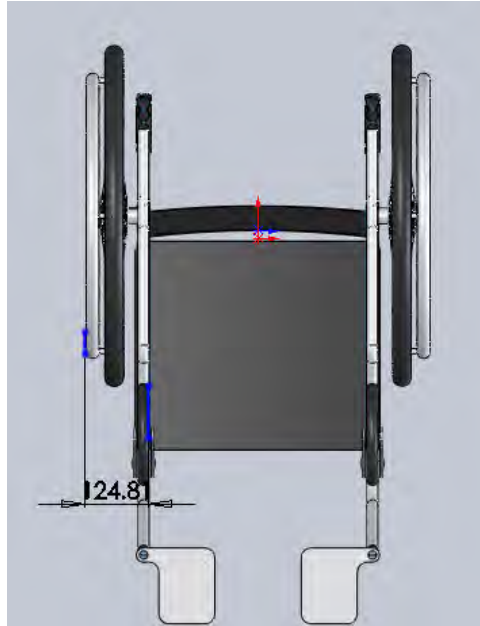


Figura 4.5.11. Distancia exterior que existe entre las llantas traseras y delanteras

### Dimensiones de la rampa

Para las dimensiones de la rampa se considera que la llanta trasera mide aproximadamente 600mm de diámetro, por lo que ocupara esta distancia sobre cada canaleta, recordando que la llanta será presionada por una pinza se tiene que dejar el espacio suficiente bajo la canaleta para poder instalar el mecanismo. Se consideró adecuada ocupar aproximadamente la mitad del largo de la canaleta, por lo que la rampa medirá 600[mm] y los rieles donde esta se despliega, medirán 620mm tomando en cuenta la colocación de la misma. Desplegando la rampa

### Dimensiones de la canaleta del actuador

Es necesario saber el desplazamiento del actuador sobre esta canaleta para así poder saber el largo de la misma, para esto es necesario conocer el punto inicial en que toca el actuador y el punto final ( $\Delta d$ ).

Se tomarán en cuenta las condiciones iniciales para determinar el punto en el que queda apoyado el actuador para un ángulo  $\theta = 0$ , es decir cuando el sistema se desplaza por un terreno sin ninguna inclinación (Véase la figura 4.5.1.a). Se calculó anteriormente la distancia  $b$ , la proyección de esta distancia sobre el canal de apoyo del actuador es la distancia ( $d_i$ ) a la que inicialmente se encuentra el actuador apoyado con respecto al eje de giro y este se desplaza cuando  $\theta$  cambia. Para saber la distancia que se desplaza del punto de inicio al punto final, el punto final se refiere a cuando  $\theta = 35^\circ$ , esta distancia es igual a  $l = 636.84$  [mm] ya calculada anteriormente.

Para la distancia inicial se tiene que

$$\frac{\text{sen}\alpha}{a} = \frac{\text{sen}\beta}{b} \implies \alpha = \text{angsen} \left[ \frac{a \text{sen}\beta}{b} \right] = \text{angsen} \left[ \frac{377.79 \text{mm} (\text{sen}57^\circ)}{714.81} \right] = 26.31^\circ$$

$$\alpha = 18.22^\circ$$

$$d_i = b \cos\alpha = 714.81 [\text{mm}] \cos 26.31^\circ = 640.75 [\text{mm}]$$
$$\Delta d = l - d_i = 703.18 [\text{mm}] - 640.75 [\text{mm}] = 62.43 [\text{mm}]$$

Es una distancia relativamente pequeña, aún así hay que considerar que el actuador no permanece fijo en un punto de apoyo ni el ángulo que existe entre él y la canaleta permanece constante. El perfil con el que están hechas las guías tiene un ancho de 50[mm] siendo dos guías las que están unidas a la canaleta y considerando una separación entre ellas de 30[mm] se tiene que el ancho de la canaleta es de 130[mm]. Considerando que el cople que se adaptó al actuador para poder colocar la rueda es de 36[mm] de ancho y dejando una holgura de 5[mm] entre cada pared interior, el ancho interior de la canaleta sería de 46[mm], véase la figura 4.5.12.

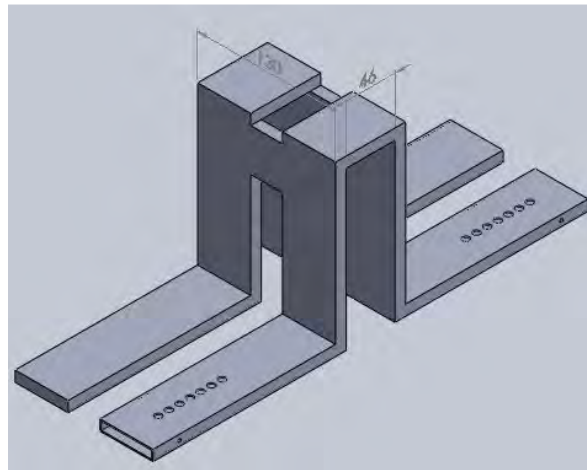


Figura 4.5.12. Dimensiones de la canaleta

### 4.2.6. Cálculo del eje, cuña y rodamientos

El sistema de sujeción cuenta con dos puntos de apoyo, uno de ellos es donde se encuentra el actuador lineal, dado que la parrilla tiene que cambiar de ángulo, el otro es el eje con respecto al cual gira para cambiar su inclinación. Este eje se encuentra a unos rodamientos que se encuentran fijos al chasis y este se encuentra ensamblado a la parrilla se de sujeción mediante un mediante una cuña. A continuación se calculan las dimensiones del eje, éstas dependen de la carga de la parrilla, el par torsional que a él se transmite además del espacio en el que puede ser colocado que depende de las dimensiones del chasis. También se seleccionan los rodamientos para dicho eje además de calcularse la cuña que permite el ensamble y la transmisión de la parrilla de sujeción a éste.

Para realizar el diseño del eje se calcula la reacción que este soportará (Figura 4.5.13), este se realizará en libras considerando que las fórmulas se tienen se encuentran en estas unidades.



## 4. Diseño a detalle

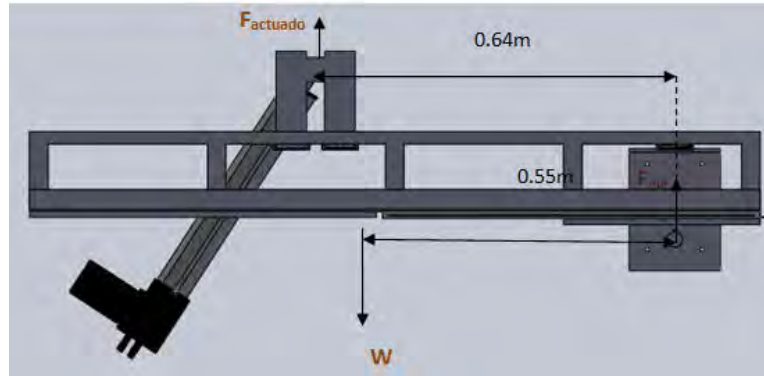


Figura 4.5.13. Diagrama de cuerpo libre para el cálculo del eje.

$$\begin{aligned}\sum M_{eje} &= 0 \\ -0.64\text{m}F_{actuador} + 242.508[\text{lb}](0.55[\text{m}]) &= 0 \\ F_{actuador} &= 208.405[\text{lb}] \\ \sum F_x &= 0 \\ F_{actuador} - W + F_{eje} &= 0 \\ F_{eje} &= 34.103[\text{lb}]\end{aligned}$$

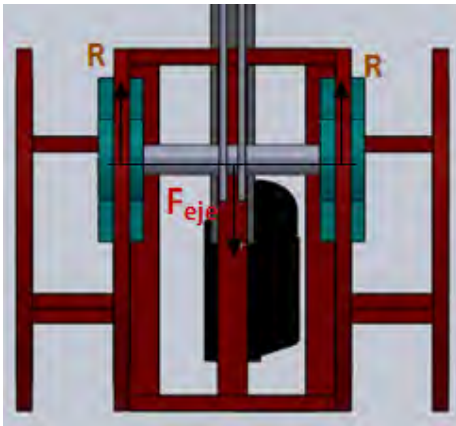


Figura 4.5.14. Diagrama de cuerpo libre para determinar las reacciones en los rodamientos.

## 4. Diseño a detalle

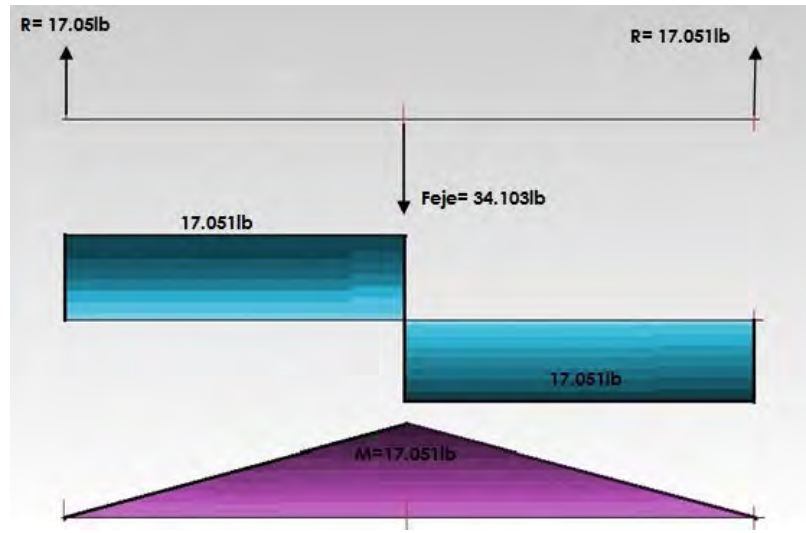


Figura 4.5.15. Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante en el eje y.

Ya que se calculó la carga que soporta el eje, ahora se buscan las reacciones en los rodamientos (Véase la figura 4.5.14 y la figura 4.5.15).

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ -2R + F_{eje} &= 0 \\ R &= 17.051 \text{ lb}\end{aligned}$$

El largo que mide el eje es de 201.5mm=7.93pulg, calculando M

$$M = 17.05 \text{ lb} * 3.96 \text{ pulg} = 67.52 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

Se dedujo el par torsional T, se toma en cuenta una potencia de 32W=0.0442HP para el cálculo que es la potencia máxima del actuador

$$T = 6300 \frac{P}{n}$$

$$n = 0.036 \frac{m}{s} \cdot \frac{60s}{1min} \cdot \frac{1rev}{(0.64m)(2\pi)} = 0.537 \text{ rpm}$$

$$T = 63000 \frac{0.0442}{0.537} = 5185.474 \text{ lb} \cdot \text{pulg}$$

Buscando el diámetro del eje, se toma en cuenta que se usará acero 1045, y tomando en cuenta la ec. 4.8 se tiene que el diámetro del eje es de  $D = 0.97[\text{pulg}]$ , se tomará un eje de 25[mm]=0.984[pulg].

### Diseño de la cuña

Para determinar el tamaño de la cuña, se procede como anteriormente se describió según el libro Diseño de Elementos de Máquinas, Mott, cuarta edición, en donde de la tabla 11.1 (T4.4.6) para ejes de 7/8 a 1 ¼ de pulgada corresponde un ancho de cuña  $W=H=1/4$  [pulg], tomando en cuenta que fuera un cuña cuadrada, ya que es lo más común para ejes menores a 6 ½ [pulg] de diámetro.

Se procede a calcular el largo del cuña:.

$$Y = \frac{D - \sqrt{D^2 - W^2}}{2} = \frac{0.984 - \sqrt{0.984^2 - 0.25^2}}{2}$$

$$Y = 0.016\text{pulg}$$

$$S = D - Y - \frac{H}{2} = 0.984\text{pulg} - 0.016\text{pulg} - \frac{0.25}{2}\text{pulg}$$

$$S = 0.8388\text{pulg}$$

$$T = D - Y + \frac{H}{2} + C = 0.984\text{pulg} - 0.016\text{pulg} + \frac{0.25}{2}\text{pulg} + 0.005\text{pulg}$$

$$T = 1.098\text{pulg}$$

Se fabricara de acero A-30, cuya resistencia a la fluencia  $s_y$  es de 36ksi, por lo que  $L$  resulta de según la ec. 4.9 y  $L = 0.079\text{pulg}(2.006\text{mm})$ .

Este es el largo mínimo que debe de tener la cuña, se tomará de 12.7mm ya que es el grosor del soporte entre el eje y las parrillas de sujeción

### Cálculo para los rodamientos

Igualmente que los rodamientos para los ejes de la transmisión, se propone usar rodamientos montados, como chumaceras con rodamientos para colocar el eje ya que se pretende fijar las chumaceras a una parte del chasis como más adelante se ilustrará. Los rodamientos montados permiten que éste se sujete de forma directa al armazón o en este caso al chasis, sin necesidad de maquinar la caja como para los rodamientos no montados.

Para el diseño del rodamiento se siguen los mismos pasos antes mencionados para los rodamientos de los ejes.

1. Se especifica la carga de diseño sobre el rodamiento, a la cual se le conoce como carga equivalente. El método para determinar la carga equivalente cuando sólo se aplica una carga radial  $R$ , considera si lo que gira es la pista interior, como en este caso, ya que el eje va montado en la pista interior y la chumacera irá fija al chasis y el eje gira en conjunto con la parrilla.

$$P = VR = 1(14.16lb)$$

Donde  $V$  es el factor de rotación y es igual a 1 si lo que gira es la pista interior

## 4. Diseño a detalle

$$P = 14.16lb$$

2. Se especifica el diámetro del eje, el cual se calculo previamente y es de 0.97pulg.
3. Se consulta la tabla 14-1 del libro Mott para determinar qué tipo de rodamiento es el que conviene más.

Se considera que está sometido a carga radial por lo que se elige el rodamiento de una hilera de bolas de ranura profunda, dado que la carga es muy pequeña.

4. Se considera L10 estará en el rango de 1500 a 5000 h.
5. Factor de velocidad y factor de duración según la tabla

$$C = P_d(L_d/10^6)^{\frac{1}{k}}$$

$$L_d = (5000h)(0.54rpm) \left( \frac{60\text{min}}{h} \right) = 162000rev$$

$$C = P_d(L_d/10^6)^{\frac{1}{k}}$$

$$C = 14.16lb(162000/10^6)^{\frac{1}{3}} = 7.71lb$$

Se puede calcular también la carga dinámica considerando y el factor de duración.

Tomando en cuenta que la carga a la que está sometido dinámica y estáticamente se observa que queda sobrado si se selecciona el rodamiento de la tabla 14.3 modelo 6205, este tiene un diámetro de 0.9843pulg=25mm.

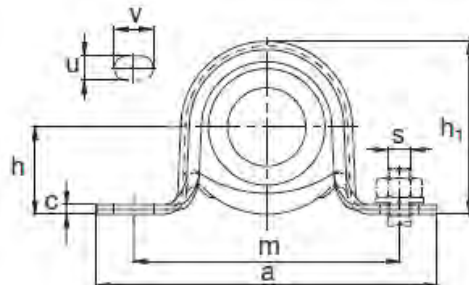
Del catálogo de rodamientos FAG (Catálogo WL 41 520/3 SB)

Resumen de las características del rodamiento seleccionado:

Soporte FAG de chapa de acero para rodamientos S

Masa 0.0238Kg

Eje	Dimensiones										Tornillos de fijación		Denominación abreviada	
	d	a	b	c	h	h <sub>1</sub>	m	u	v	s		Soporte	Rodamiento con dispositivo de seguridad	
mm	in	mm	max	max	max						mm	in	FAG	FAG
25	25	114,3	28,6	5,3	28,6	57,3	85,8	10,3	14,3	M8	3/8		SB205	6205
	25	114,3	28,6	5,3	28,6	57,3	85,8	10,3	14,3	M8	3/8		SB205	76205.2RSR



### 4.3. Diseño del chasis

El diseño de la estructura base o chasis interno del sistema emprende uno de los retos del desarrollo del presente trabajo, debido a que en él se tiene que soportar la mayoría de los elementos. Además de tener la libertad de permitir el paso de la oruga. En un proceso de desarrollo iterativo se llegó al un diseño sencillo y viable. Este consta de una pareja de paneles exteriores y otro de paneles interiores (Figura 4.8.1).

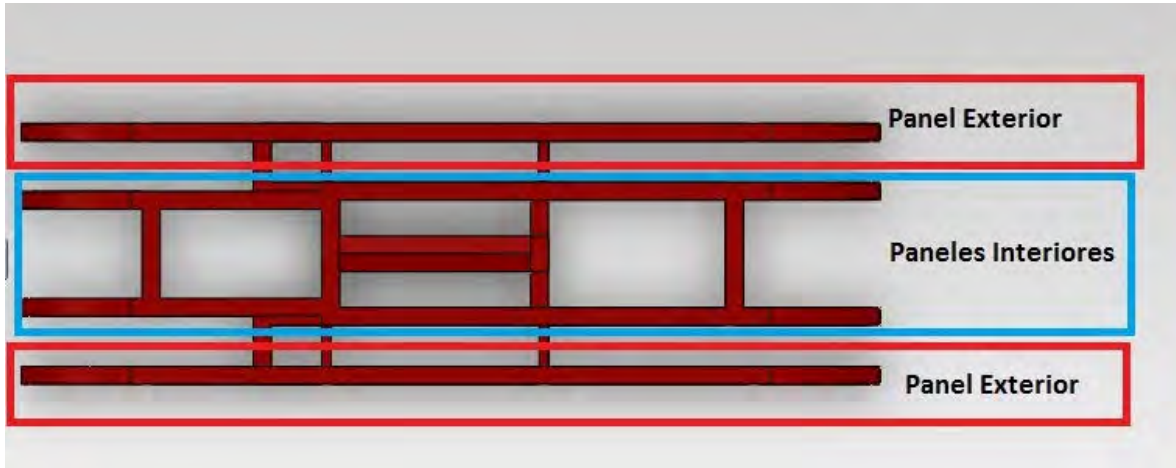


Figura 4.8.1. Vista superior del chasis donde se observan la secciones de éste.

Todos estos paneles están por debajo de las medidas perimetrales de la oruga, permitiendo el paso de esta misma, además que este trayecto lo aseguran los engranes de oruga (conductor y de arrastre) y las guías.

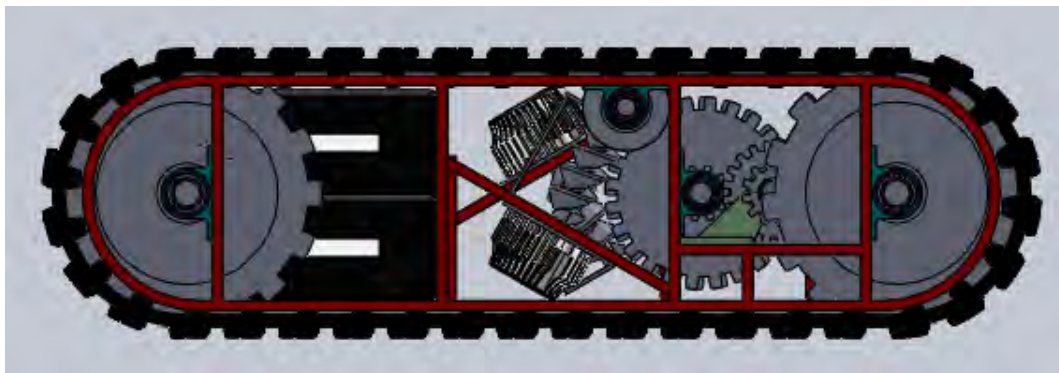


Figura 4.8.2. Vista lateral del chasis con elementos ensamblados.

Ahora bien el diseño de la estructura se puede dividir en las secciones correspondientes de los elementos que aloja (Figura 4.8.3).

## 4. Diseño a detalle

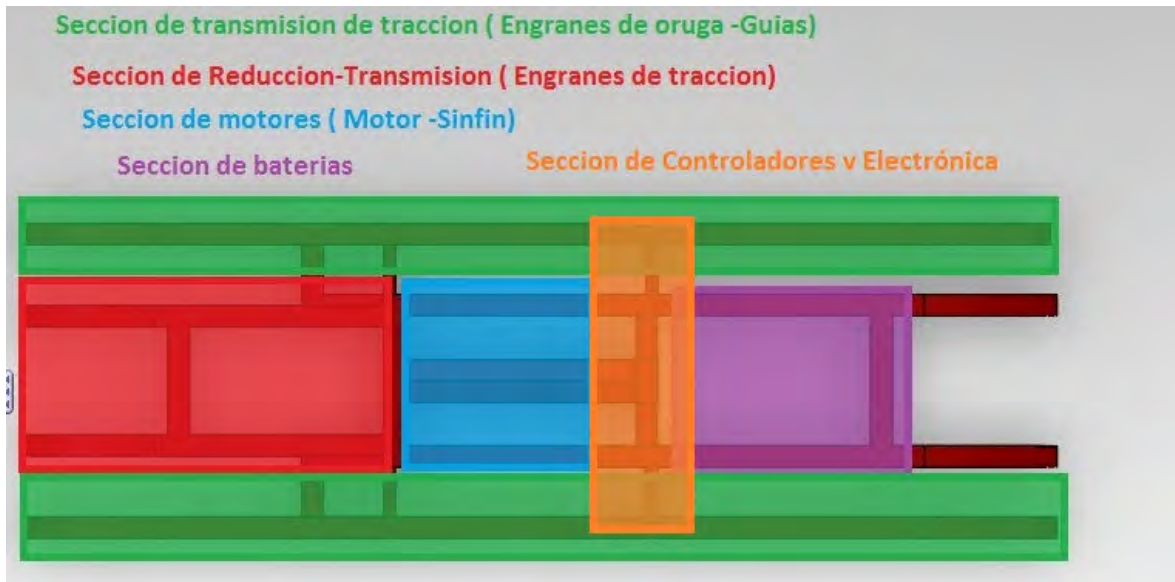


Figura 4.8.3. Se muestran las partes del chasis según los elementos que éste soporta.

La imagen es una aproximación de la ubicación en la realidad, debido a que muchas de los elementos de las diferentes secciones comparten espacio en el ensamble. Ahora bien los paneles han sido los más simplificado posible tomando en cuenta los esfuerzos a los que será sometidos tanto exteriores, como los interiores. La razón es el peso, por limitantes de peso se tiene que llegar a un equilibrio entre peso, resistencia, simplicidad y espacio para alojar los elementos.

Es por ello que después de este proceso de iteración se llega a lo siguiente (Figura 4.8.4).

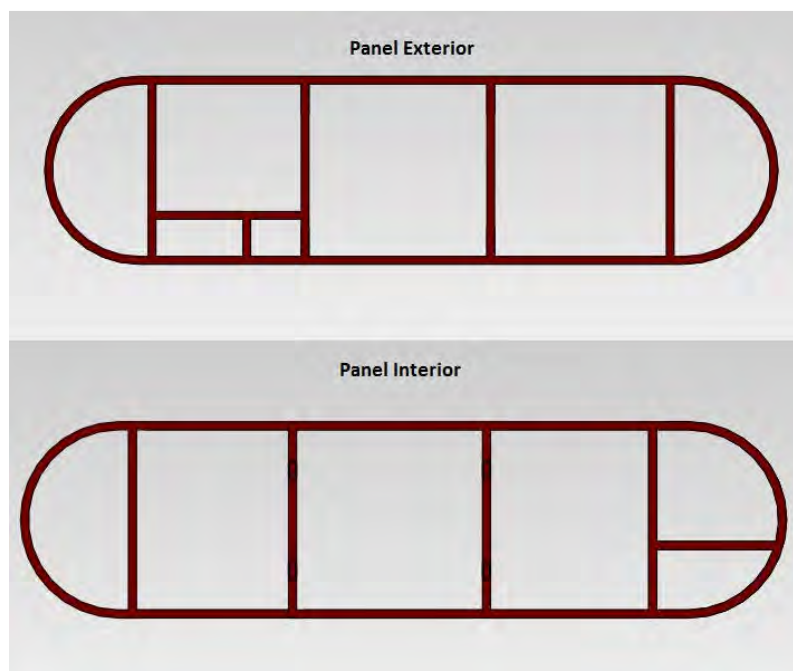


Figura 4.8.4. Se observa el panel exterior e interior.



## 4. Diseño a detalle

Estas son la base de los paneles que se unen de panel exterior a interior por 4 segmentos transversales para cada panel exterior, es decir son 8 en total contando los dos paneles exteriores; de panel interior a interior están conectados por 7 segmentos transversales (Figura 4.8.5).

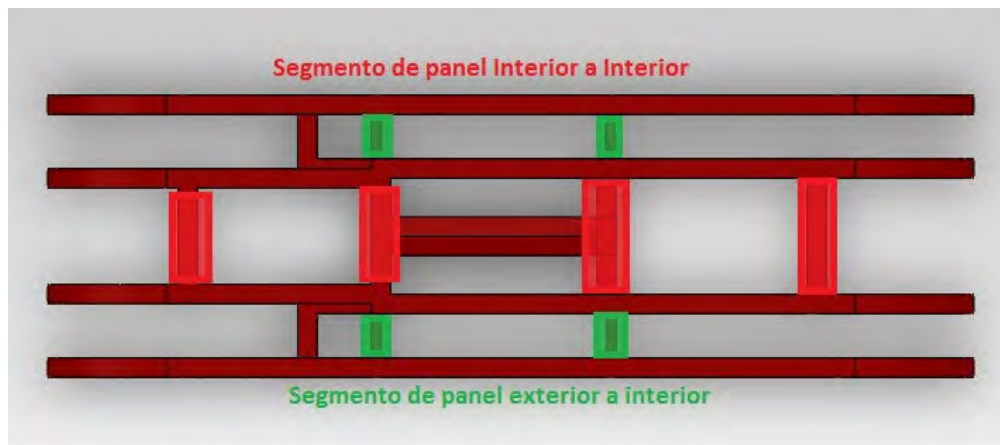
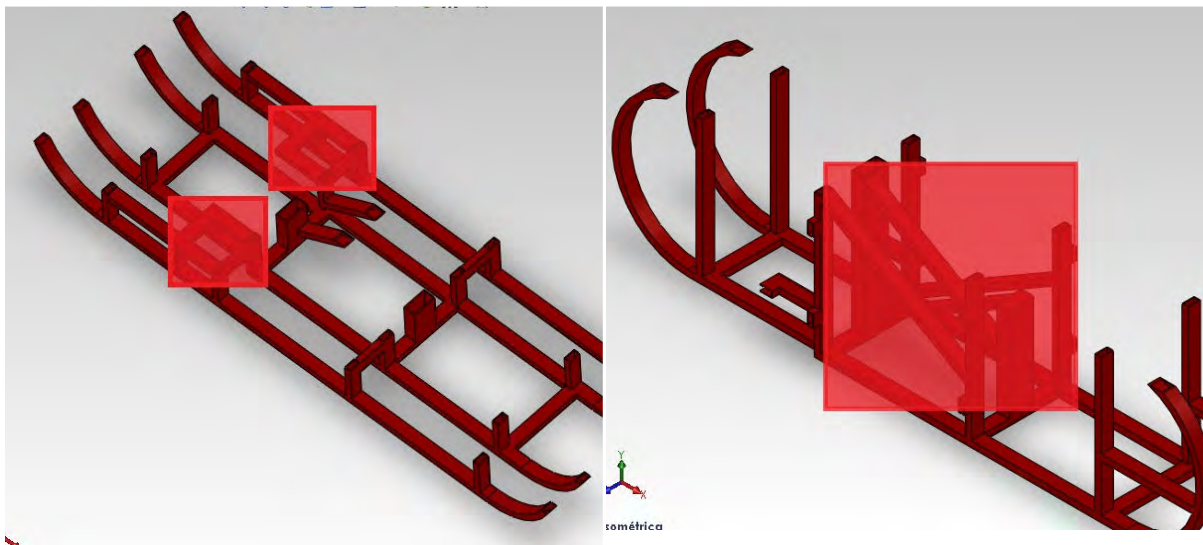


Figura 4.8.5. Vista superior en donde destacan los segmentos transversales para cada panel exterior.

Posteriormente, se hicieron dos modificaciones o diseños especiales.



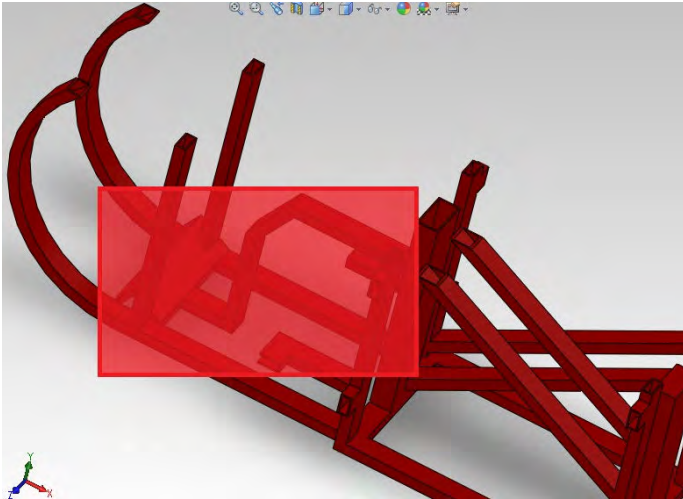
1. Una base para colocar un soporte del sistema de transmisión.
2. Barras contra puestas para soportar el motor, estas mismas están en ángulo y son soportadas por dos segmento de perfil de (25 [mm] x 50 [mm]) a cada extremo.



---

## 4. Diseño a detalle

---



3. Una base para el actuador lineal encargado de la compensación de la inclinación.

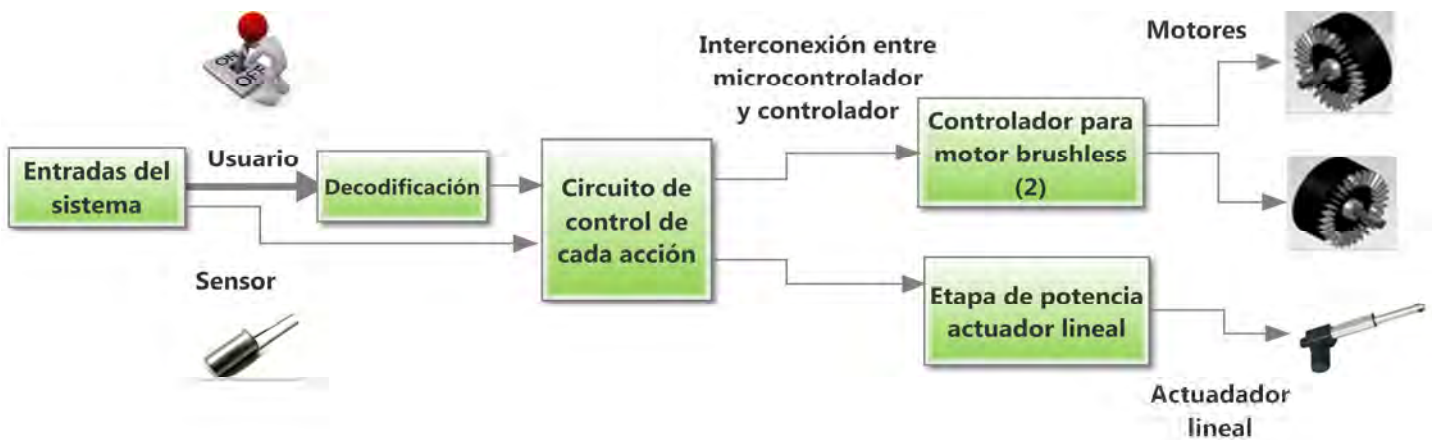
Para todo el chasis a excepción de las barras que sostienen los dos pares de segmentos de los motores esta propuesto un perfil R100 (13[mm] x 25[mm]).

## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos

### Capítulo 5. Diseño a Detalle: Componentes electrónicos

La parte electrónica del dispositivo está conformada principalmente por un circuito encargado de decidir la acción a realizar (microcontrolador) en función de las entradas, que son los botones con los cuales tiene contacto el usuario y el sensor de inclinación. Según sean las entradas se tienen ciertas salidas, estas van a los actuadores encargados de realizar cada acción, habiendo entre el microcontrolador y estos una etapa intermedia de potencia o de control. Los actuadores encargados del movimiento del dispositivo son dos motores *brushless* que requieren para su funcionamiento de un controlador, por otra parte, el actuador lineal requiere de una etapa de potencia.

Se describe brevemente la configuración general del circuito en el siguiente diagrama



Se describe primeramente la interconexión entre el microcontrolador y el controlador debido a que se requiere determinar cuales tienen que ser las salidas del microcontrolador en función de las características del mismo, posteriormente se describe el circuito de decisión para cada acción, la etapa de potencia del actuador lineal, el filtro que es necesario para la salida de PWM para los motores, las PCB's para los circuitos y una propuesta de cómo sería físicamente el control para el usuario.

Se muestra en la figura 5.0 el diagrama general del circuito correspondiente

## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos

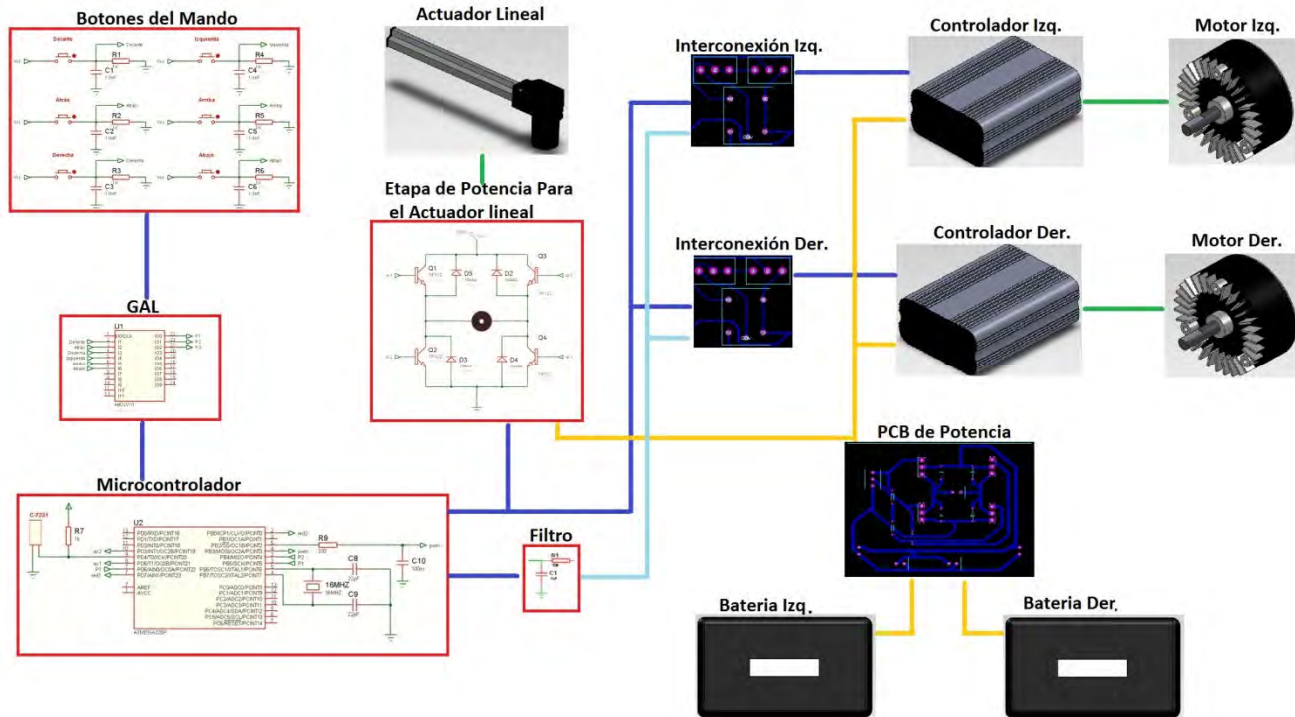


Figura 5.0 Diagrama del circuito.

### 5.1 Interconexión del microcontrolador y el Controlador Brushless

Para el movimiento del actuador a través de controlador dos señales son necesarias: la señal del conector de aceleración, la cual es una señal variable de 0 a 5 [V] y la señal de reversa, la cual es una señal de 5 [V] o 0 [V].

Para hacer esta interconexión se propone la siguiente forma de trabajo.

- Señal de aceleración: Se propone usar uno de las señales de PWM del microcontrolador y pasarla por un filtro paso bajas para llevarla a una señal continua.
- Señal de reversa: Para controlar la reversa los datos que nos proporciona el fabricante son los siguientes

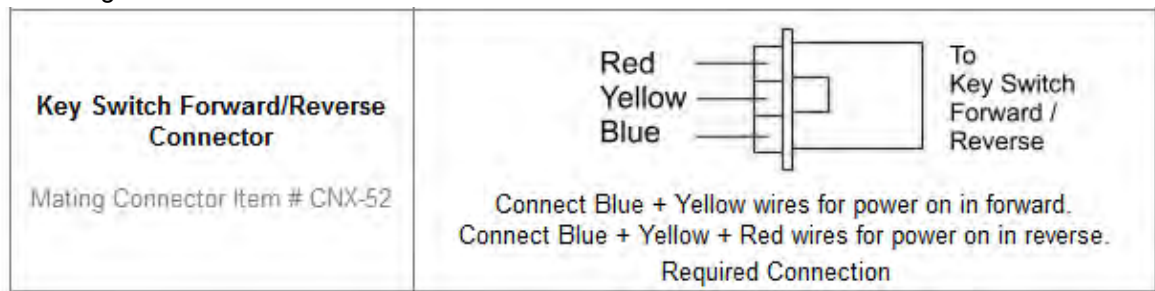


Figura 5.1.1 En esta imagen se muestra como se debe de conectar el controlador para que el motor gire hacia adelante y hacia atrás.

## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos

En la figura (F5.1.1) del conector de dirección de giro, en caso de querer usar el motor en dirección frontal se deben de conectar a alimentación el cable azul y amarillo, ahora en caso de querer usar la reversa se suma el color rojo.

Se propone usar uno de los canales digitales del microcontrolador y esta llevarlo a un relevador, para controlar la conexión del cable rojo y los demás que estén conectados. En el relevador se conecta el rojo como normalmente abierto, y al cambiar del 0 (off) a 1 (on) en el canal digital, que este cambie a cerrado. Ahora bien dado a que de él conector del acelerador solo se usa la señal de entrada, se piensa aprovechar la salida de 5 [V] para retroalimentar este relevador para mandar la señal de poder al conector de dirección de giro, de esta manera aprovechando esta salida. Los otros cables (amarillos y azules) se piensan conectar a los 5[V] del conector de aceleración aprovechando de igual manera esta.

Las salidas hacia los motores para ejecutar cada acción se presentan a continuación en la tabla 5.1.1 quedarían de la siguiente manera

Tabla 4.1.1. Salidas de los motores.

Acción	Motor derecho (red1)	Motor izquierdo (red2)
Adelante	0	0
Atrás	1	1
Derecha	1	0
Izquierda	0	1

La siguiente imagen muestra la interconexión propuesta para cada motor, recordando que la señal de PWM (Pulse Wave Modulation) será la misma para ambos motores (Figura 5.1.2).

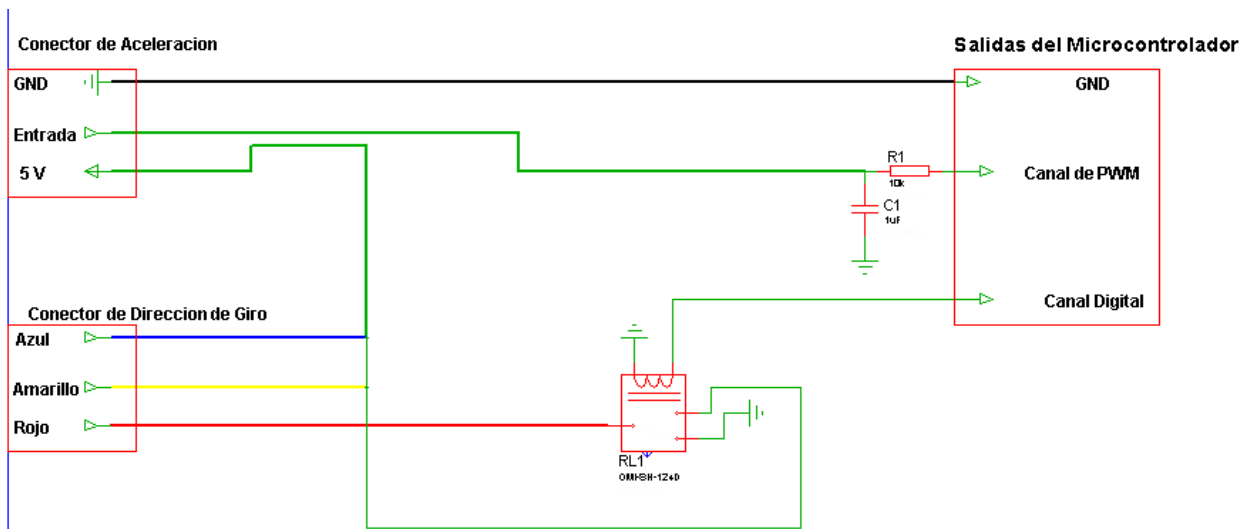


Figura 5.1.2. Interconexión para cada motor entre el microcontrolador y el motor brushless.

---

## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos

---

### 5.2 Circuito de control de cada acción

El dispositivo debe ser capaz de realizar ciertas acciones, el usuario mediante una interfaz puede decidir cuál es la que desea realizar. Una vez que el usuario aborde el dispositivo junto con su silla para él será necesario desplazarse en ella, esto puede ser en piso normal tanto como en escaleras, por lo que mediante el control el usuario puede ser capaz de indicar la acción que desea que realice el dispositivo, dirigirse hacia adelante, atrás, derecha e izquierda; además también el usuario puede indicarle cuando requiere subir o bajar una escalera. Adicionalmente a estas funciones se sabe que el usuario tiene que conservar la horizontal mientras se desplaza por la escalera, es por eso que se debe contar con un dispositivo que detecte la inclinación de la misma. Para esto se realiza la selección del sensor de inclinación.

#### 5.2.1. Selección del sensor de inclinación

Para seleccionar el sensor se toma en cuenta que la variable de interés es ángulo de inclinación que tiene la parrilla con respecto al piso. Es necesario conocer si está inclinada la parrilla con respecto al piso, no es necesario conocer el ángulo que tiene ya que para compensar la inclinación el actuador avanzará hasta que el sensor marque 0° nuevamente, por lo que el sensor a escoger puede ser analógico o digital. El ángulo máximo que se está considerando es de 33°.

Se encontraron varios sensores de inclinación, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros para seleccionar el sensor.

**Costo.** Se refiere al precio en moneda nacional aproximado al que se encuentra cada sensor.

**Rango de Ángulo.** Se refiere al rango del ángulo que abarca el sensor en cuestión, definen los límites entre los cuales puede variar la entrada, esto es el máximo y mínimo valor que puede ser medido por el sensor.

**Ángulo de activación.** Se refiere al valor de ángulo a partir de cual el sensor comienza a dar un cambio, ya sea analógico o digital.

**Resolución.** Se define como el mínimo valor detectable en la entrada, que provoca un cambio detectable en la salida.

Se consideraron 3 sensores encontrados, ninguno de estos usa mercurio, uno de ellos analógico (KINAK N702) el cual es un robusto inclinómetro magnetorresistivo, sería el ideal para esta aplicación sobre todo por su resolución, pero no está disponible en México y su costo es muy elevado. Basa su funcionamiento en un sistema pendular de amortiguación por aceite se usa para aplicaciones como grúas por ejemplo, su instalación es relativamente complicada a comparación de los otros dos encontrados, basa su funcionamiento.

El sensor de inclinación GP1S036, es usado para aplicaciones como celulares para detectar la inclinación de dichos dispositivos cada  $\pm 90^\circ$  es capaz de detectar la inclinación por medio de una esfera giratoria en su interior, este ángulo de activación lo descarta por completo para esta aplicación.

El sensor de inclinación C-7231, está diseñado para abarcar una amplia gama de aplicaciones como: maquinaria, seguridad, automoción, juegos, juguetes, automatismos y productos de consumo. Cambia su sensibilidad según la posición de montaje y tiene un ángulo de activación de

## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos

10°, el sensor es para montaje horizontal, opcionalmente puede montarse en cualquier posición, los contactos del sensor estarán normalmente abiertos o cerrados, según la posición en que se monte. Está de venta en México y su costo no sobrepasa \$200.00, por lo cual resulta muy accesible y viable para la aplicación que se le quiere dar, además de que es de fácil instalación.

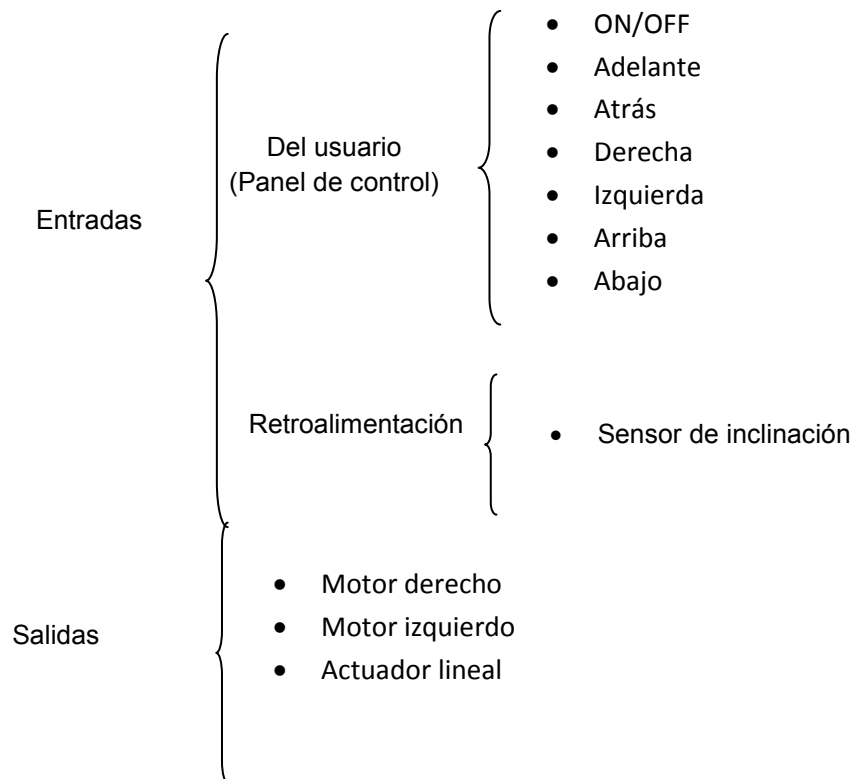
Por lo anterior se elige el sensor C-7231 ya que se considera viable para la aplicación que se le debe dar según sus características (Figura F5.2.1).



Figura 5.2.1. Sensor de inclinación C-7231.

### 5.2.2 Diseño del circuito de elección

Se definen las variables de entrada para el circuito, éstas se consideran base a las funciones que es capaz de realizar la silla las cuales se encuentran en el panel (Figura F5.2.2)



## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos



Figura F5.2.2 Entradas y salidas para el circuito encargado de las decisiones.

Se usará un microcontrolador ATMEGA328, debido al número de entradas con el que cuenta, se decodifican las entradas para reducirlas a la entrada del microcontrolador.

Sensor de inclinación se tomará un pin digital directamente al microcontrolador.

Variable	A	B	C	D	F	G	P1	P2	P3
Adelante	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Atrás	0	0	0	0	1	0	0	1	0
Derecha	0	0	0	1	0	0	0	1	1
Izquierda	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Arriba	0	1	0	0	0	0	1	0	1
Abajo	1	0	0	0	0	0	1	1	0

Donde la función es

$$P1 = A\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E}\bar{F} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E}\bar{F} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E}F$$

$$P2 = \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}E\bar{F} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}D\bar{E}\bar{F} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}D\bar{E}F$$

$$P3 = \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{F}E + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{F}\bar{E} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}\bar{E}\bar{F}$$

Estas funciones son programadas en un GAL, se usará un GAL22V10, el programa es escrito en WinCupl, a continuación se muestra el código, en donde se ven declaradas las entradas, las salidas y las funciones.

Device g22v10 ;

```

/* ***** INPUT PINS ***** */
PIN 2 = F      ; /* */
PIN 3 = E      ; /* */
PIN 4 = D      ; /* */
PIN 5 = C      ; /* */
PIN 6 = B      ; /* */

```



## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos

```

PIN 7 = A ; /* */
/* ***** OUTPUT PINS ***** */
PIN 23 = P1 ; /* */
PIN 22 = P2 ; /* */
PIN 21 = P3 ; /* */
P1=(!A&!B&C&!D&!E&F)#(!A&B&!C&!D&!E&F)#(A&!B&!C&!D&!E&F);
P2=(!A&!B&!C&!D&E&F)#(!A&!B&!C&D&E&F)#(A&!B&!C&!D&E&F);
P3=(!A&!B&!C&!D&E&F)#(!A&!B&!C&D&E&F)#(!A&B&!C&!D&E&F);
    
```

A continuación se puede observar el circuito que fue simulado en ISIS Proteus (Figura 5.2.3), véase el apéndice B para ver el código programado en el microcontrolador.

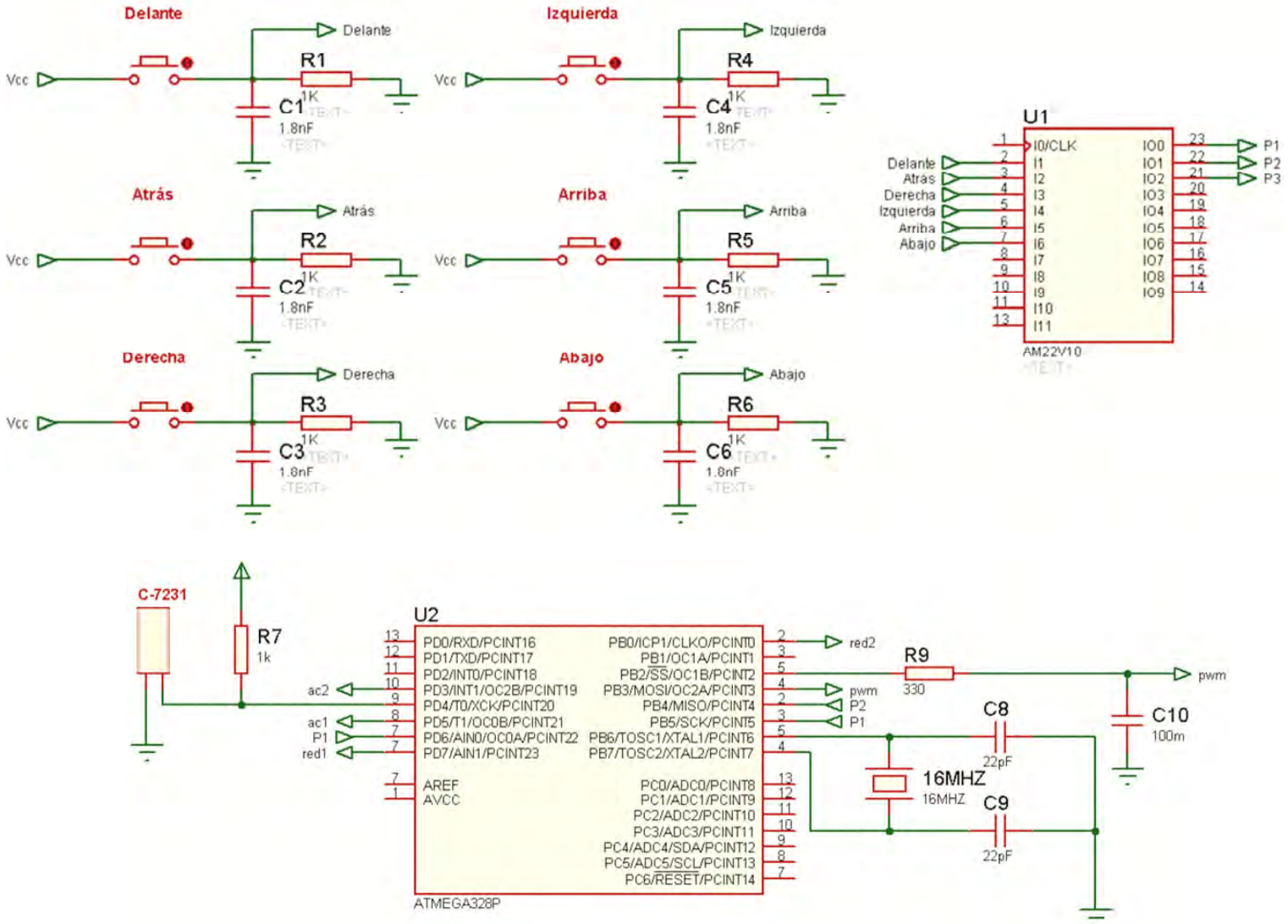


Figura 5.2.3. Circuito simulado en el software Proteus, donde se puede observar el GAL encargado de decodificar las señales de los botones hacia el microcontrolador el cual tiene programadas la rutina para cada acción y finalmente las salidas de microcontrolador.

Para los botones de dirección (Adelante, atrás, derecha e izquierda) mientras el usuario mantenga apretado uno de estos botones el vehículo avanzará según sea el botón apretado. Cuando el dispositivo avance aumentará su velocidad de 0 hasta la máxima velocidad en 1 s, igualmente al detenerse su velocidad irá en decremento de la máxima hasta 0m/s. Esto con el propósito de que los componentes no estén expuestos a cambios bruscos al detenerse o avanzar el dispositivo.

## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos

Tanto los botones de dirección como los botones para desplazarse sobre escaleras son mutuamente excluyentes.

Para los botones de desplazamiento en escalera, estos serán apretados sólo una vez para que se ejecute una rutina en la que el dispositivo sube o baja, dependiendo del botón, en esta rutina está involucrado el actuador.

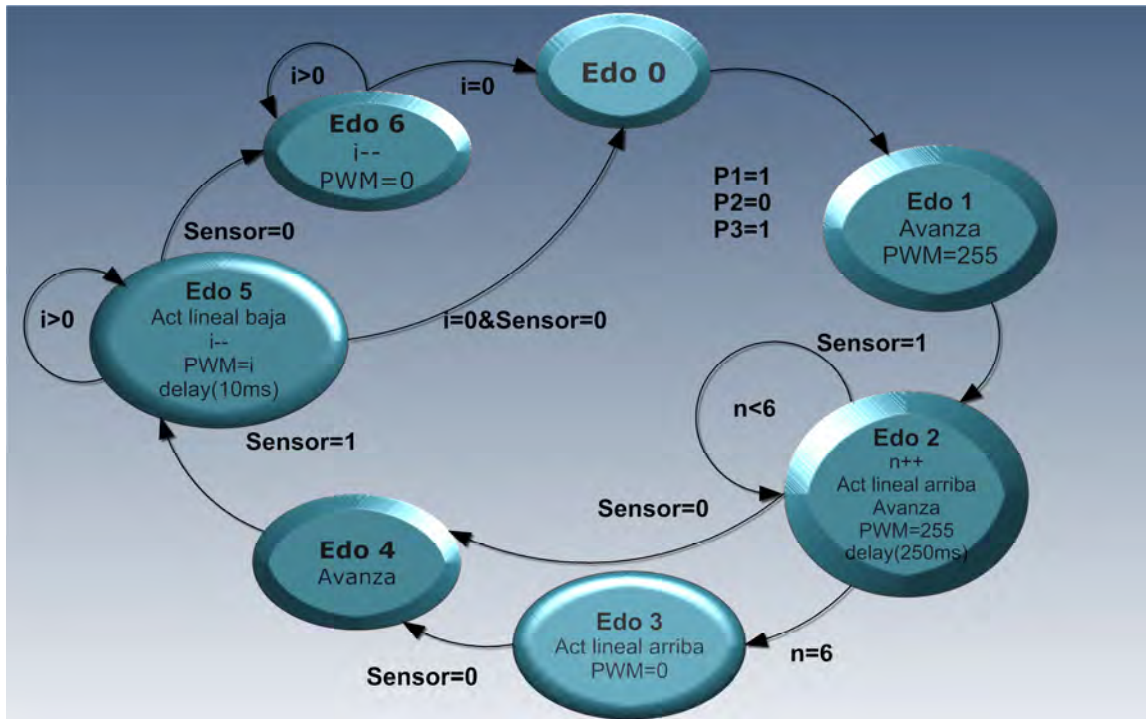


Figura 5.2.4. Se muestra el diagrama de estados para la función subir o bajar escaleras.

Para el desplazamiento en escalera se propone que el usuario apriete el botón subir o bajar, dependiendo de la acción que desee, al apretar una vez el botón el dispositivo se desplazará hasta que alcance la escalera (Estado 1); cuando esto suceda el dispositivo se inclinará debido a la pendiente de la escalera, esto lo detectará el sensor de inclinación y comenzará a compensar la inclinación mientras que el dispositivo avanza 1 seg más (Estado 2), se detendrá por un momento hasta que el actuador lineal compense en su totalidad la inclinación de la escalera (Estado 3). Una vez que esté compensada la inclinación de la escalera este seguirá avanzando hasta el final de la escalera (Estado 4), al llegar al final de la escalera el sensor de inclinación detectará nuevamente un cambio en la inclinación debido a que el dispositivo ya no estará inclinado la parrilla si lo estará, por lo que el sensor de inclinación lo detectará, es entonces cuando el actuador regresa a su posición a la parrilla mientras que el dispositivo se desacelera hasta detenerse (Estado 5), si el dispositivo llega a detenerse antes de que el actuador logre compensar nuevamente la horizontal el actuador continua moviéndose hasta que el sensor no detecte inclinación alguna (Estado 6). Se observa el diagrama de estados en donde se ilustra la rutina anteriormente descrita, esta rutina se realiza para subir y bajar (Figura 5.2.4).

Se realizó un diagrama de flujo auxiliar a la realización del programa, se muestra en diferentes colores las acciones relacionadas con cada botón. En el diagrama de flujo se muestran los



## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos

### 5.3 Etapa de potencia del actuador lineal

Se toma en consideración para la etapa de potencia las especificaciones del actuador lineal

- Potencia: 50W
- Voltaje: 24VDC
- Corriente: 2.5 ADC

También hay que tomar en cuenta que es necesario que el vástago del actuador lineal suba y baje para así poder compensar la pendiente sobre la cual se encuentre el dispositivo, si el dispositivo inicia el desplazamiento sobre una pendiente el vástago tiene que subir, pero si termina la pendiente este tiene que regresar a sus posición original es por eso que es necesario que el actuador vaya en ambos sentidos. Para esto se propone un puente H realizado con transistores TIP122 debido a las especificaciones que maneja el actuador.

Algunas de las especificaciones de este transistor que se tomaron en cuenta para ser seleccionado son:

Especificación	Valor
Voltaje colector-emisor	100Vdc
Voltaje emisor-base	5Vdc
Corriente del colector-continua pico	5A 8A
Corriente de la base	120mAdc
Potencia de disipación $T_c=25^\circ\text{C}$	65 Watts
Reducción por encima de $T_c=25^\circ\text{C}$	W/ $^\circ\text{C}$

A continuación se presenta el circuito para el puente H realizado en ISIS Proteus, figura 5.3.1 a y b.

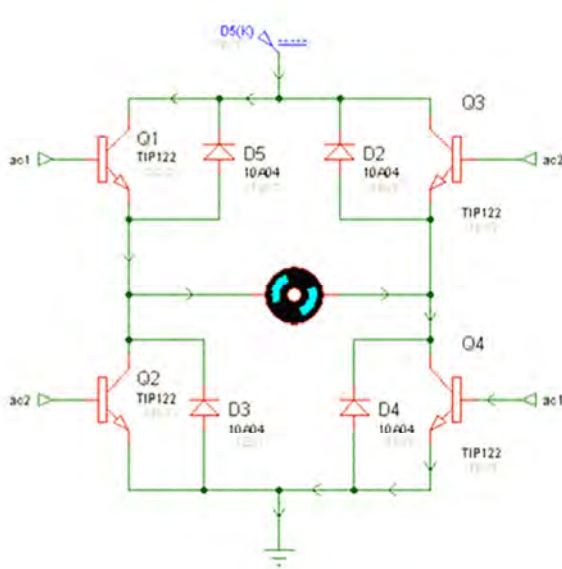


Figura 5.3.1.a) Se muestra el flujo de corriente en el puente H para que el actuador lineal vaya hacia arriba.

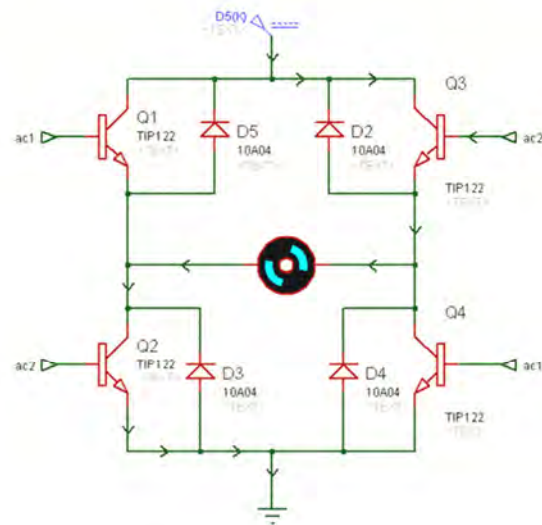


Figura 5.3.1.b) Se muestra el flujo de corriente en el puente H par que el actuador lineal vaya hacia abajo.



## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos

### 5.1 Diseño del filtro pasó bajas

Para realizar el filtro pasó baja como es debido, se tiene que calcular para una frecuencia.

Ahora usando la fórmula del filtro paso bajas pasivo de primer orden, se tiene la siguiente ecuación 5.1 en relación a la frecuencia:

$$RC = \frac{1}{2\pi F_{\text{Paso Baja}}} \dots 5.1$$

La frecuencia de Paso Baja es aproximadamente de 500 [Hz], por lo que proponiendo el capacitor en un valor comercial de 1[μF] la resistencia tiene un valor aproximado de:

$$R = \frac{1}{2\pi \cdot 500[\text{Hz}] \cdot 1[\mu\text{F}]} = 3141.593[\Omega]$$

Redondeando el valor a valores comerciales, llegamos a que el más cercano es de 3.3 [kΩ], sin embargo a hacer la simulación, se detecta que la respuesta es rápida sin embargo es inestable, fluctúa entre aproximadamente medio volt. Haciendo iteraciones con múltiplos de los valores de los elementos, se llega una respuesta un poco más lenta sin embargo su fluctuación es de un tamaño aceptable en la aplicación, los valores reasignados son 330 [Ω] y 100 [μF] (Figura 5.4.1).

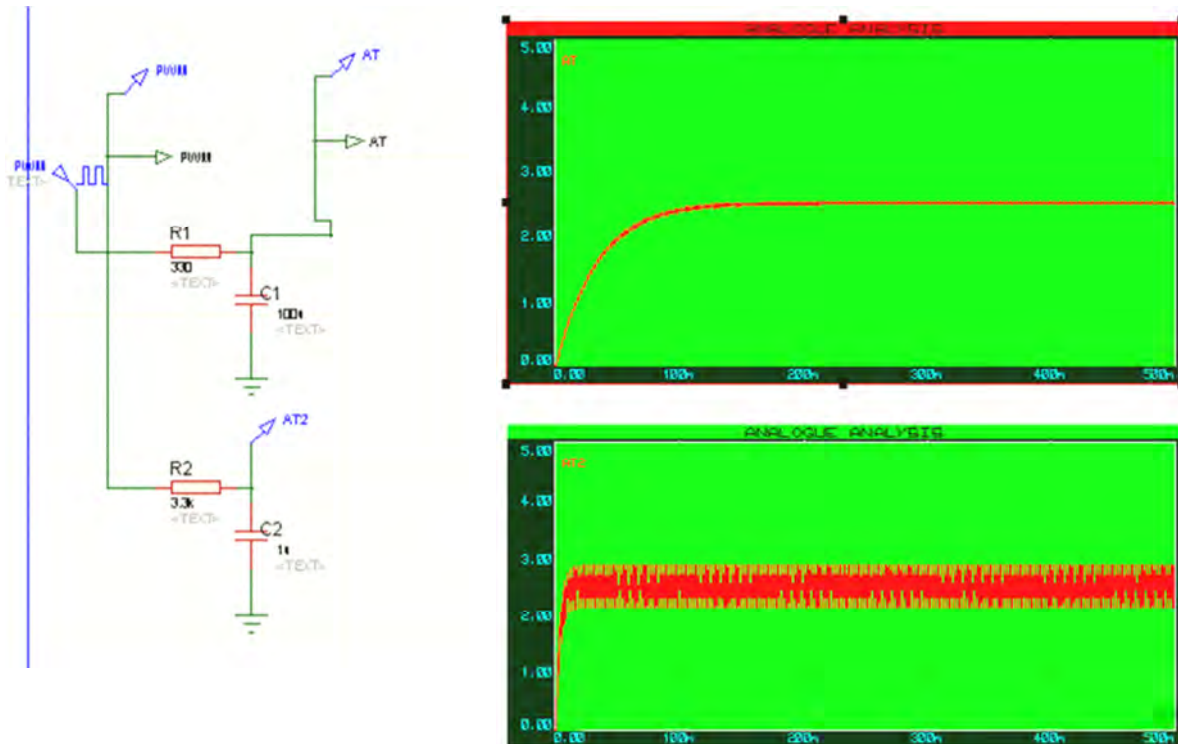


Figura F5.4.1 Se muestra en la gráfica inferior el primer filtro y en la superior el reasignado, el valor de la señal de PWM manejado en esta primera simulación es del 50% de 5v, por lo que el valor al que deben acercarse es de 2.5 [V].

Ahora bien haciendo la prueba, en un circuito donde se tiene el microcontrolador Arduino, con una salida del PWM y controlado por un potenciómetro (Figura 5.4.2).

## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos

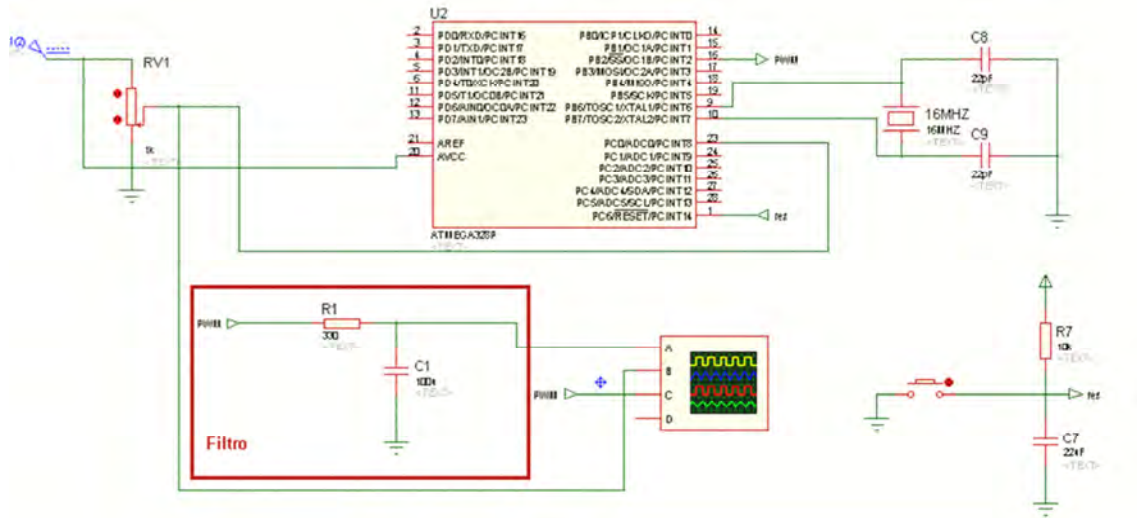


Figura 5.4.2 Circuito para probar el filtro variando el PWM mediante un potenciómetro.

Para los siguientes valores de trabajo del PWM, se obtuvo la siguiente respuesta; la gráfica rosada representa el PWM, la azul la entrada del Arduino con el potenciómetro y la amarilla la salida del filtro (Figura 5.4.3 a hasta f).

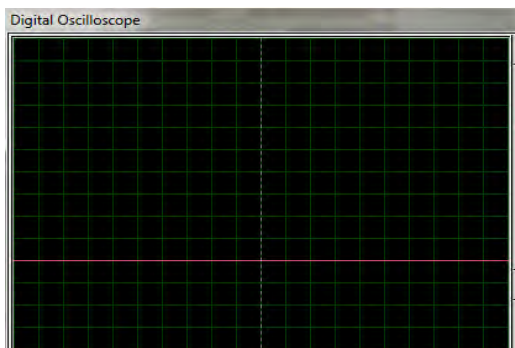


Figura 5.4.3 a) 0% (0[V])

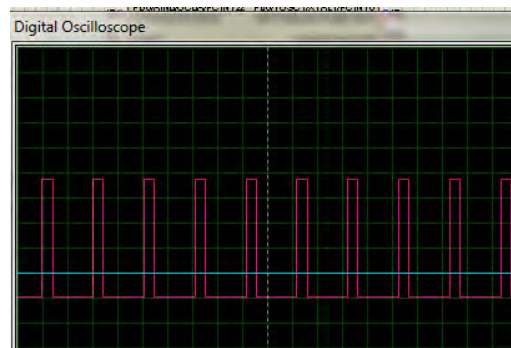


Figura 5.4.3 b) 20%(1[V])

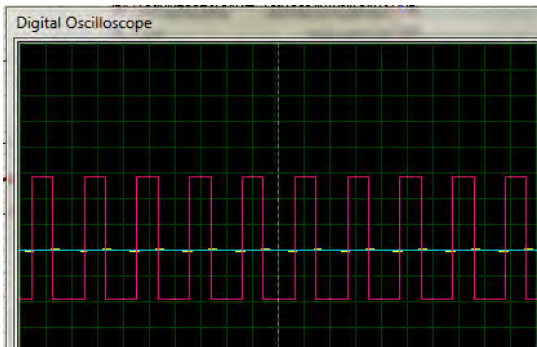


Figura 5.4.3 c) 40%(2[V])

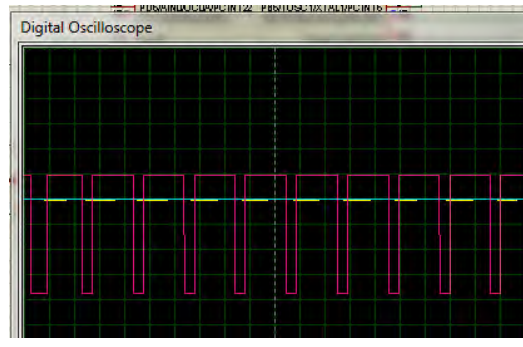


Figura 5.4.3 d) 60%(3[V])

## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos

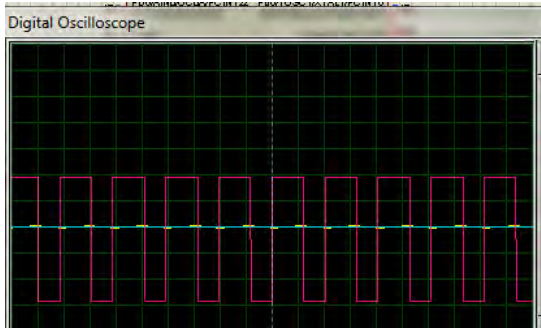


Figura 5.4.3 e) 80%(4[V])

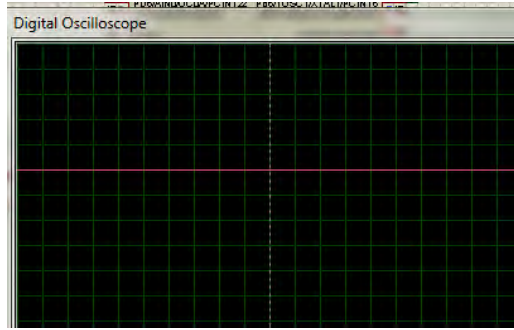


Figura 5.4.3 f) 100%(5[V])

Las imágenes demuestran que el filtro funciona de manera satisfactoria.

### 5.1 PCB's (*Printed Circuit Base*) para el circuito

Después de haber diseñado el circuito, se pasa a diseñar las *PCB*'s correspondientes. Toda esta etapa de electrónica se divide en tres: la *PCB* de control; la *PCB* de potencia y la *PCB* de los botones.

La *PCB* de control (Figura 5.5.1), esta *PCB* consta de la conexión del ATMEGA 328, el Gal22V10, la interconexión de los controladores (anteriormente descrita), el sensor C-7231, el filtro del *PWM* (Las figuras 5.1.2 y 5.2.3 hacen referencia a la *PCB* de control) y su alimentación (la alimentación consta de un regulador de 5[V], dado a que se realiza con una batería de 9[V]).

La *PCB* se realiza en una sola capa, para disminuir los costos de fabricación, el tamaño aproximado de la *PCB* de control es de aproximadamente 83[mm] X 90 [mm]. El filtro del *PWM* se comparte para dos controladores, esto debido a que la interconexión mostrada es para un solo controlador, pero cada motor requiere de uno. Así que requieren de la lectura del *PWM* pero éste puede ser compartido para los dos controladores. Existen dos terminales de salidas una que va a la *PCB* de potencia y otra a la *PCB* de los botones (Figura 5.5.2).



## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos

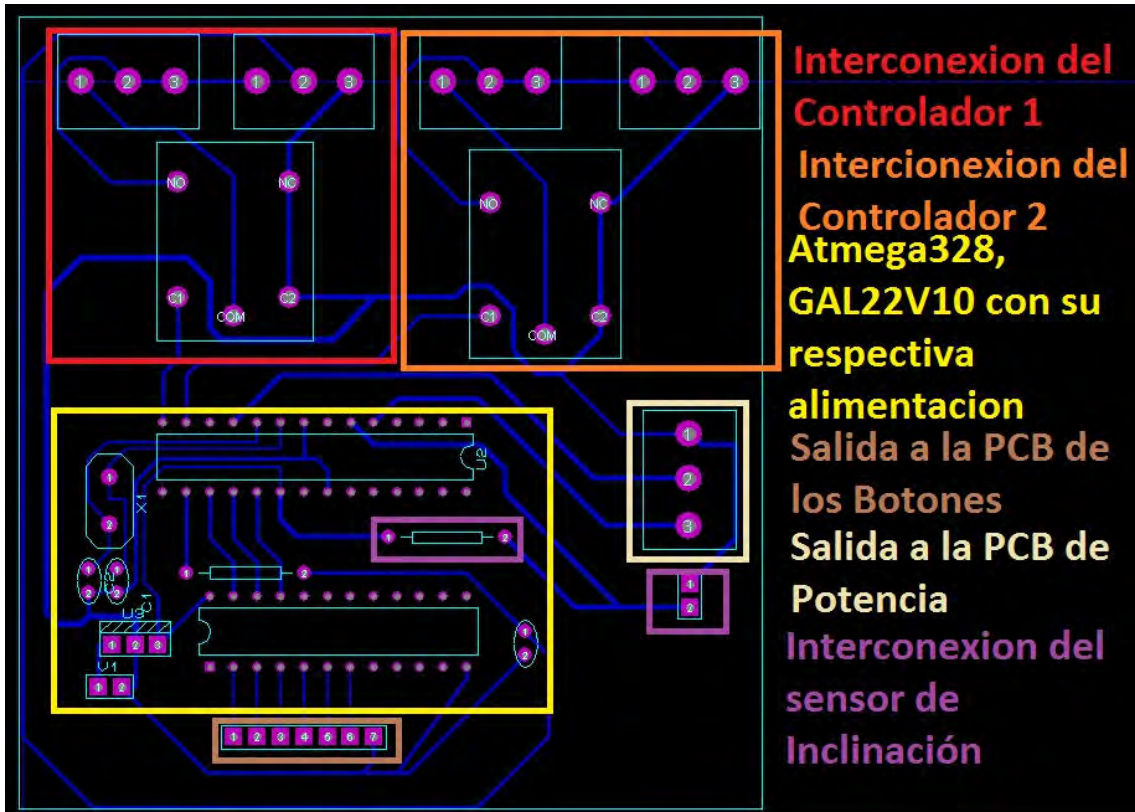


Figura 5.5.1 PCB de control.

La PCB de potencia (Figura 5.5.3), consta de la interconexión de las baterías, éstas se conectan en paralelo y a su vez cada una se conecta a una terminal de los controladores para la batería. Y a su vez ésta alimenta al puente H para el actuador lineal (diseñado con Tip122) y por último la entrada de las señales de control para dicho puente proveniente de la PCB de control (Esta PCB hace referencia al circuito de la imagen 5.3.1).

Esta PCB es la de mayor tamaño tiene aproximadamente 125[mm] X 110[mm], las pistas de este son las de mayor anchura teniendo en cuenta las corrientes.

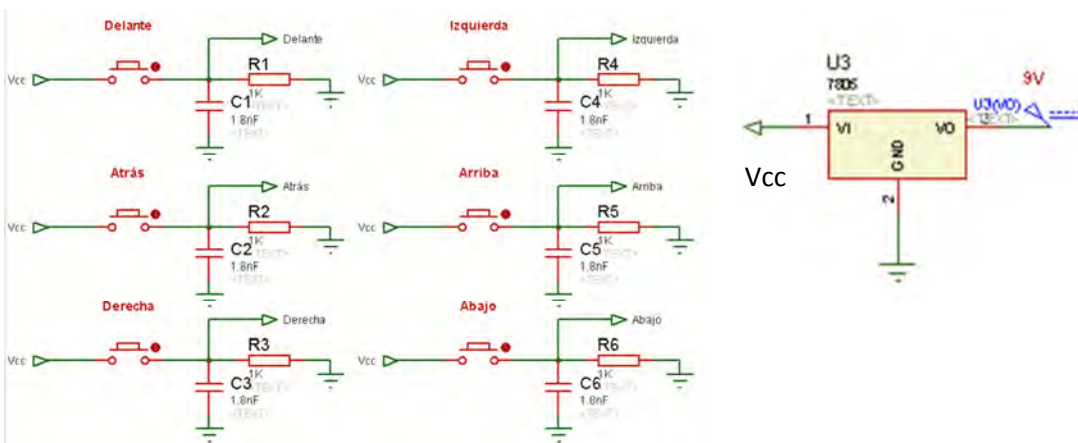


Figura 5.5.2. Botones y regulador de 5[V].

## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos

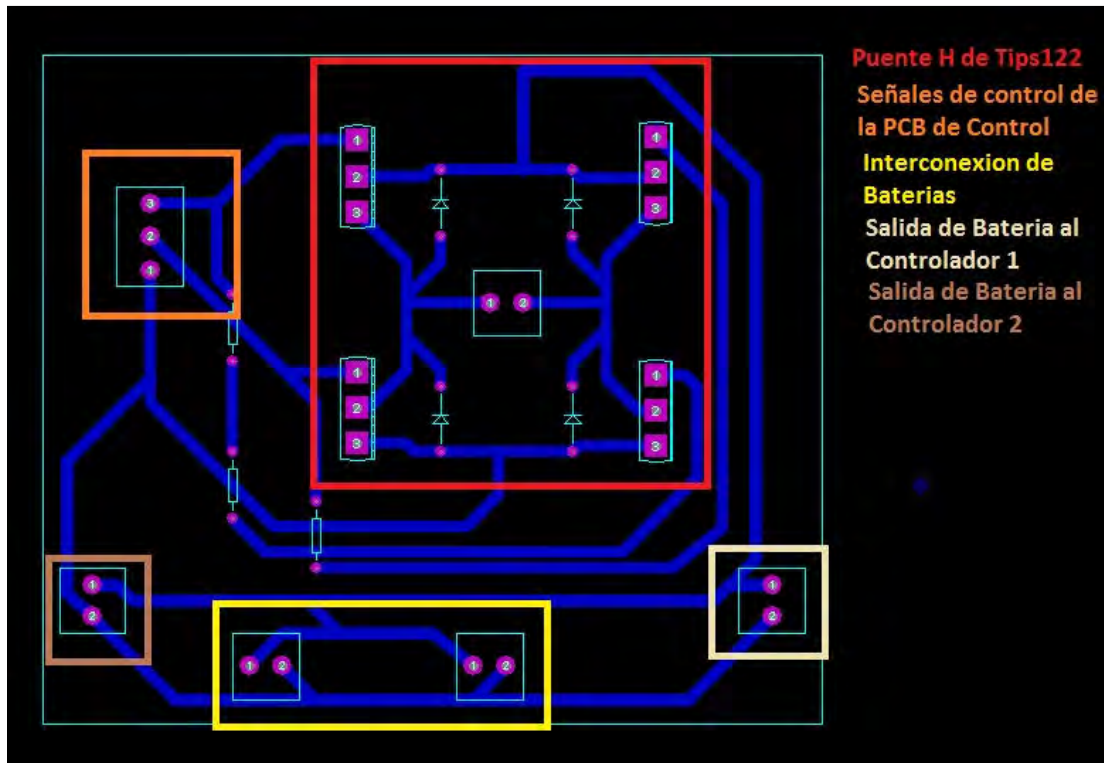


Figura 5.5.3. PCB de potencia.

Por último está la PCB de los Botones (Figura 5.5.4) como su nombre lo indica ésta consta de los botones que envían señales a la PCB de control. Independientemente la PCB de control tiene su alimentación, y en la terminal que va a la PCB de control se envía una línea más para conectar la tierra, igualmente como ésta, está alimentada por una batería de 9[V] la cual está regulada a 5[V] (Véase también la figura 5.5.2). El tamaño de esta PCB es la de menor tamaño es de 55[mm] X 85[mm].

## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos

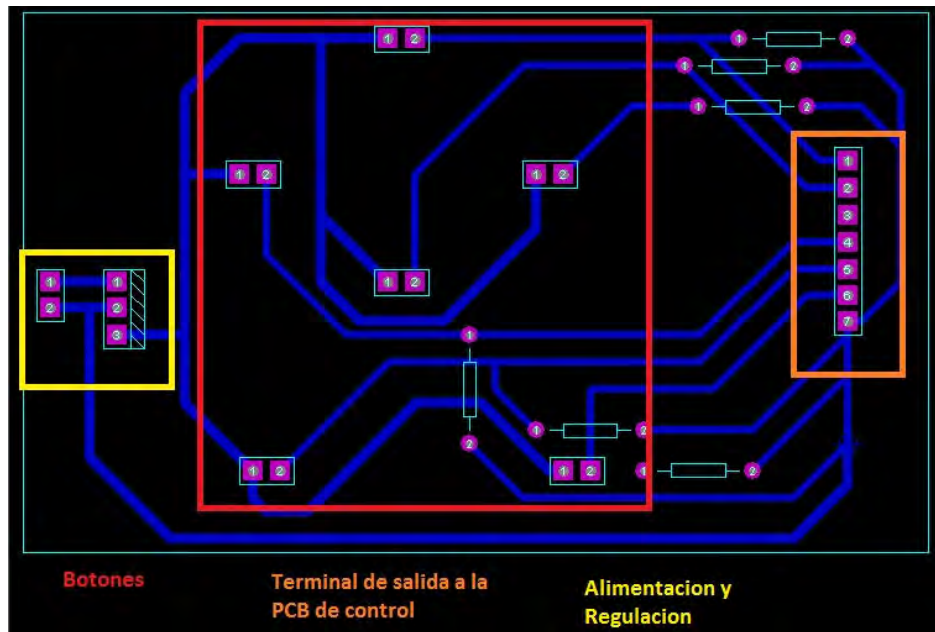


Figura F5.5.4. PCB de los botones.

### 5.2 Diseño de interfaz con el usuario

El diseño del control para el prototipo está basado en la PCB de los botones, sus dimensiones de 100[mm] X 100[mm] X 30[mm], con las aristas redondeadas (Figura F5.6.1).



Figura 5.6.1 Control manual, vista frontal y vista lateral.

EL control se separa en dos piezas la delantera y la trasera, existe un compartimiento para cada parte, uno donde se alberga la PCB de los botones y otra donde se aloja la batería de 9[V] (Figura 5.6.2).

---

## 5. Diseño a detalle: componentes electrónicos

---



Figura 5.6.2 Se observan los compartimientos destinados a cada parte en el control manual.

### Capítulo 6. Prototipo Virtual

En este capítulo se muestra el diseño asistido por computadora del prototipo, también se expone cada una de las simulaciones de los elementos, así como su ensamble y los análisis estructurales. Realizados en el Software SolidWorks.

#### 6.1 Ensamble del dispositivo.

##### 6.1.1 Ensamble de componentes de chasis

El ensamble del prototipo virtual se realizó en partes, como se muestra a continuación.

- Fase Estructural: En esta parte se montan al chasis algunas partes que sirven de referencia, entre ellas están, oruga, engranes de oruga, y baterías (Figura F6.1.1). Las orugas se encuentran 5 [mm] de holgura en la parte más estrecha con el chasis, además la oruga sobresale 16.25 [mm] de la cara exterior del chasis. Los rieles sobre los cuales se guían los engranes de la oruga se encuentran entre el panel exterior e interior del chasis, ya que este canal que guía el engrane sobresale de la cara inferior de la oruga, en este espacio no choca con el chasis; esto gracias a que las uniones de los paneles no están en la fronteras exteriores de estas si no en el perímetro interno.

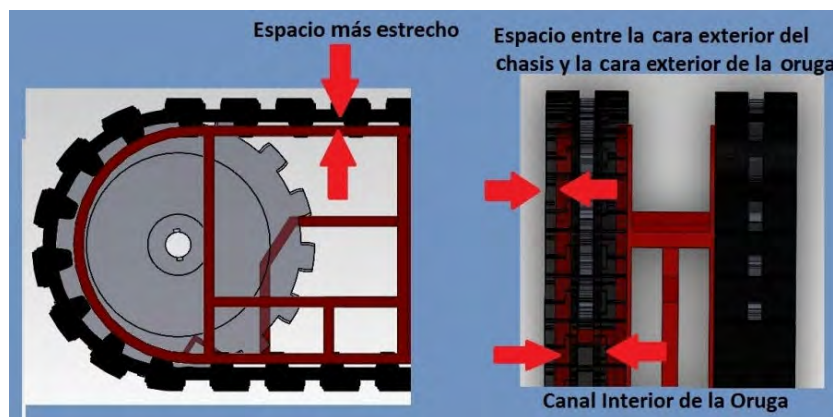


Figura 6.1.1. En la figura se observa el espacio que existe entre la oruga y el chasis, así como el espacio entre la cara exterior del chasis y la cara exterior de la oruga.

Como se menciona acerca del canal en éste se incrusta el engrane de oruga, ahora bien, el ancho de este engrane es 2 [mm] menor al del canal dejando un juego por cualquier inconveniente (Figura 6.1.2).

## 6. Prototipo Virtual

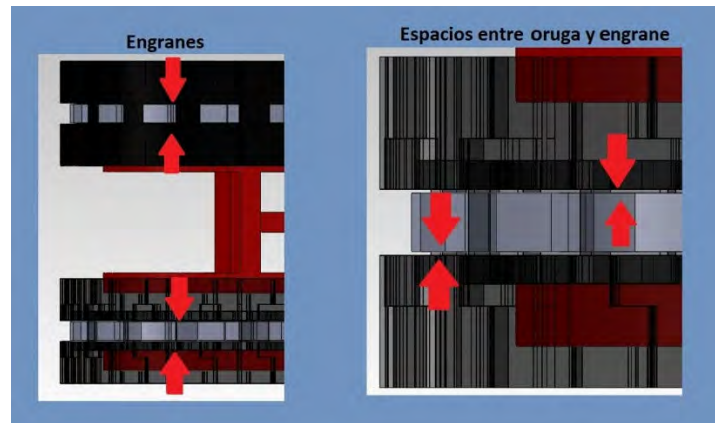


Figura 6.1.2. Canal de la oruga en el que se incrusta el engrane conductor y el engrane de arrastre.

Por último las baterías se encuentran en una sección especial para ellas una sobre la otra, este espacio confinado tiene las medidas necesarias para que entren las dos con un poco de holgura (Figura 6.1.3).

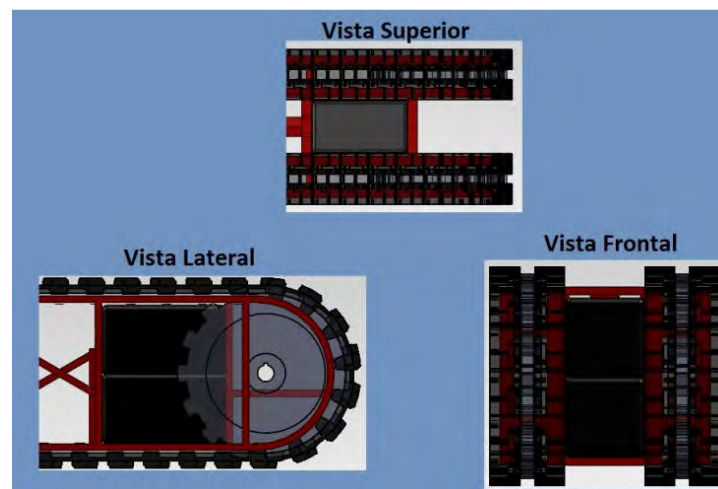


Figura 6.1.3. Se muestran las baterías ensambladas a la parte a donde están destinadas en el chasis.

La totalidad de la primera fase queda como lo muestra la imagen 6.1.4.a y también se muestra una vista en explosivo de este en la figura 6.1.4.b.



## 6. Prototipo Virtual

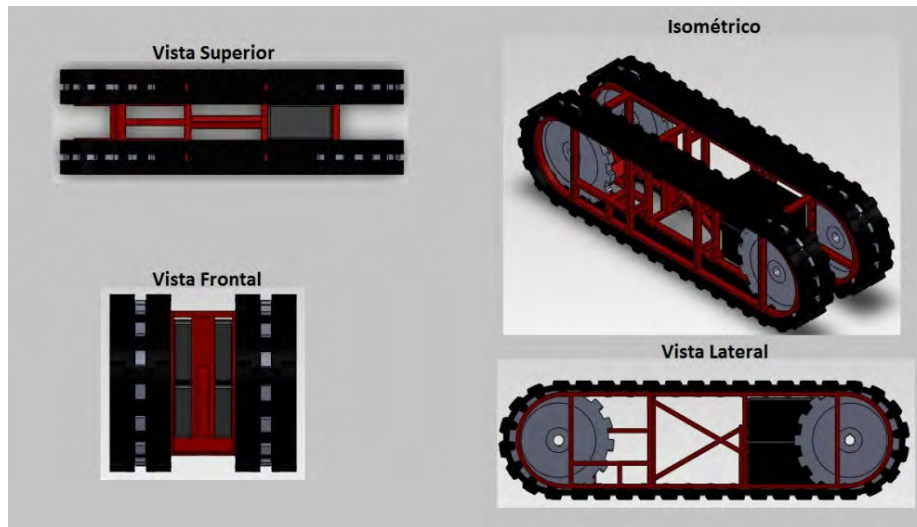


Figura 6.1.4.a) Ensamble de la primera fase.

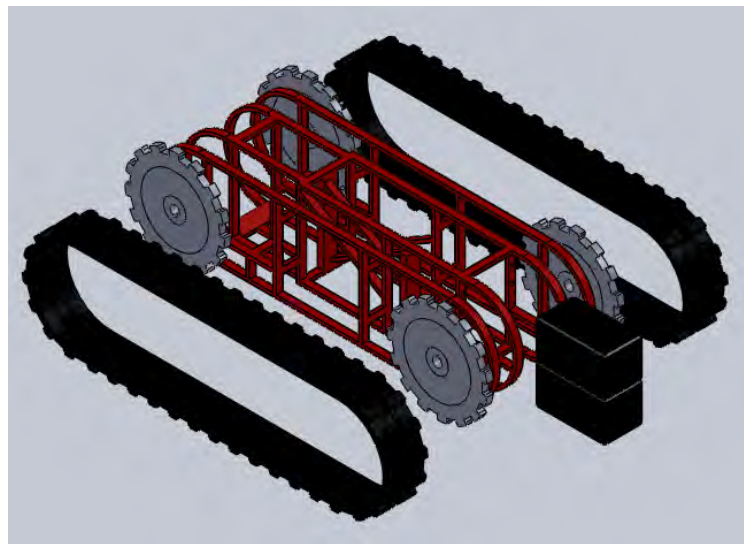


Figura 6.1.4b) Vista explosionada de la primera fase del ensamblaje.

- Fase de Trasmisión: La parte de transmisión es compleja, ya que involucra varias piezas, por lo que se divide en varias partes. En esta se ensamblan los engranes, ejes, seguros tipo E, motor, sinfín, soporte del sinfín y rodamientos con sus soportes de chapa.

La primera parte corresponde en alinear los engranes, en la misma línea horizontal. Y que estos queden en su posición determinada, además que los dientes estén en contacto aquellos de engranes que lo estén y a cada engrane su correspondiente paralelo. Por último que la distancia sea la apropiada para que el ultimo engrane de la reducción este en contacto con el engrane de la oruga. En la figura 6.1.5.a muestra un juego de engranes, paralelo a éste existe otro idéntico en la otra mitad del chasis. Se observa en la figura 6.1.5.b una vista explosionada de esta parte del ensamblaje.



## 6. Prototipo Virtual

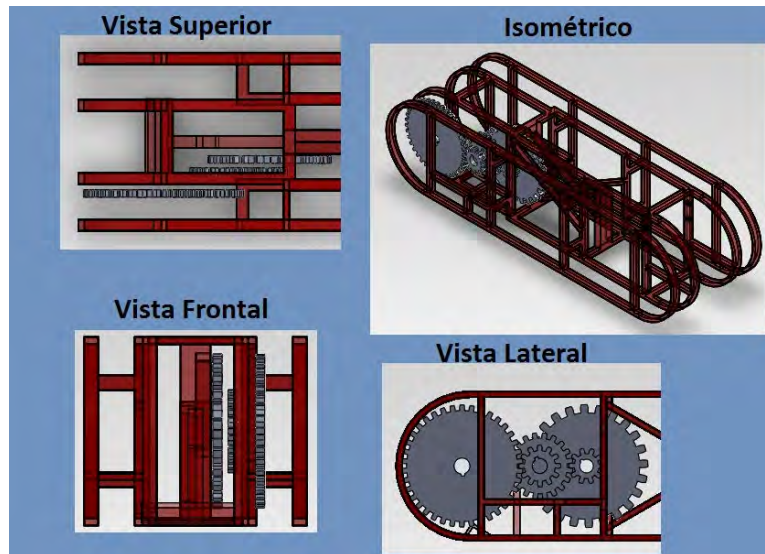


Figura 6.1.5.a) Vistas de lo engranes colocados en el chasis.

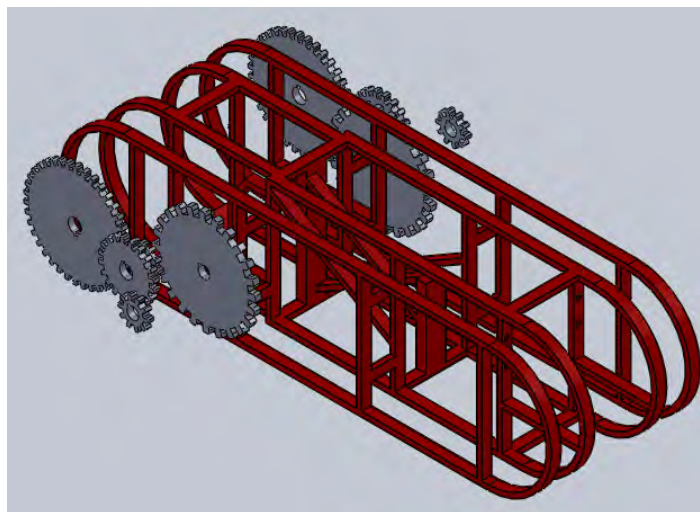


Figura 6.1.5.b) Se muestra una vista explosionada de los engranes.

Después de esta primera parte, lo que sigue es realizar el ensamble de los ejes sus seguros y la cuña de cada uno de los engranes. Las cuñas aseguran la transmisión de la potencia y los seguros se aseguran que los engranes no se desplacen a lo largo de los ejes. Igualmente que la imagen anterior la que sigue solo muestra uno de los juegos de ejes (Figura 6.1.6.), también se muestra el ensamble de uno de los ejes y una vista explosionada en la figura 6.1.7.a y en la 6.1.7.b.

## 6. Prototipo Virtual

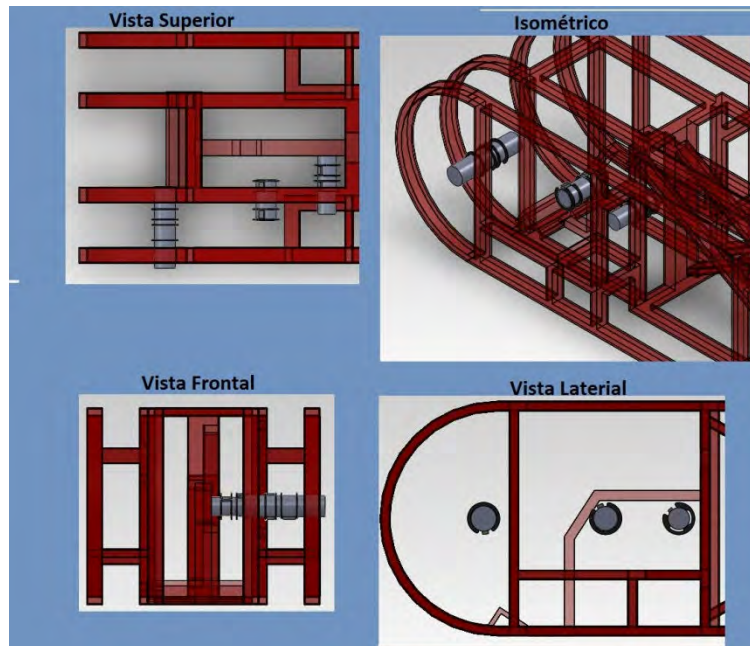


Figura 6.1.6. Se muestran los ejes colocados para los engranes anteriormente colocados. Los ejes ya tienen ensamblados los seguros y las cuñas.



Figura 6.1.7.a) Ensamble de uno de los ejes con las cuñas y seguros e.

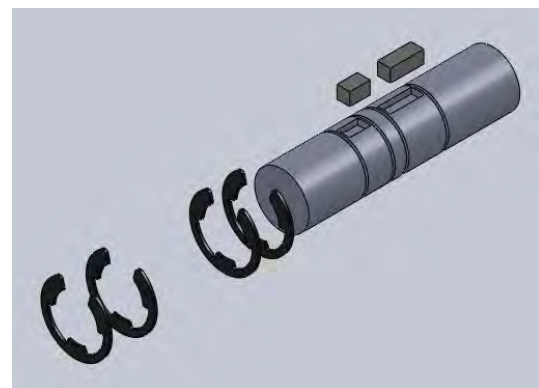


Figura 6.1.7.b) Se muestra una vista explosionada de uno de los ejes, en donde se observan las cuñas y los seguros e.

La penúltima parte de la transmisión consta de poner el juego de pares de baleros con sus respectivos soportes (Figura 6.1.8.a y b).

## 6. Prototipo Virtual

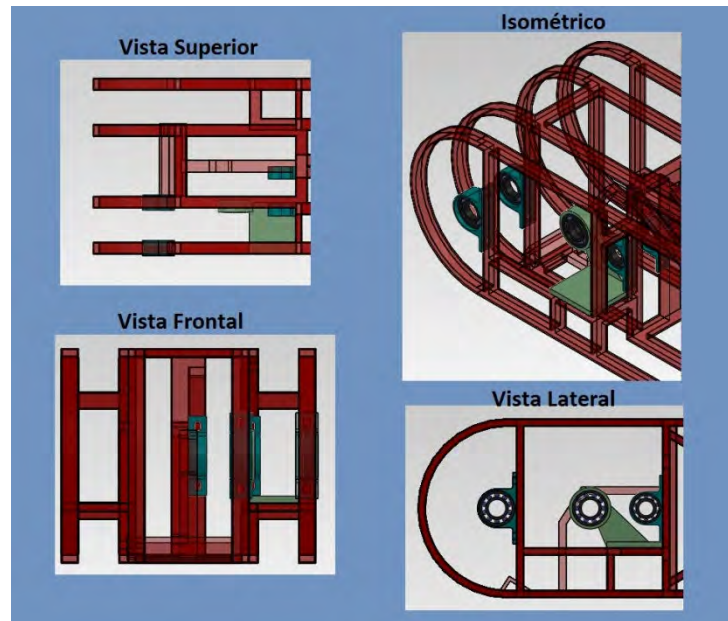


Figura 6.1.8.a) Se muestran los baleros colocados.

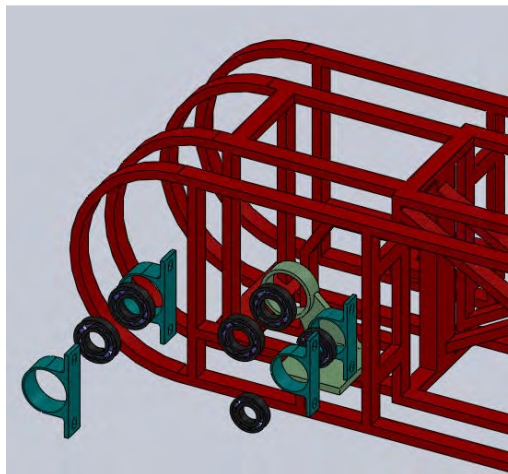


Figura 6.1.8.b) Se muestra una vista explosionada de los baleros y el soporte de uno de ellos.

El último elemento de la fase de transmisión es aquella parte que proporciona la fuerza motriz, es decir el motor, en esta parte se pone el sinfín y el soporte para el sinfín (Figura 6.1.9). Ahora los motores están contrapuestos uno respecto del otro por las dimensiones que restringen en espacio. Pero cada uno está puesto en  $30^\circ$  respecto a su horizontal, esta horizontal proporciona el contacto con el motor gracias al sinfín. El soporte tiene el largo y el espacio adecuado para que no interfiera con ningún elemento, además de un pequeño juego para que no entre apretado ni forzado, generando pérdidas por el roce.



## 6. Prototipo Virtual

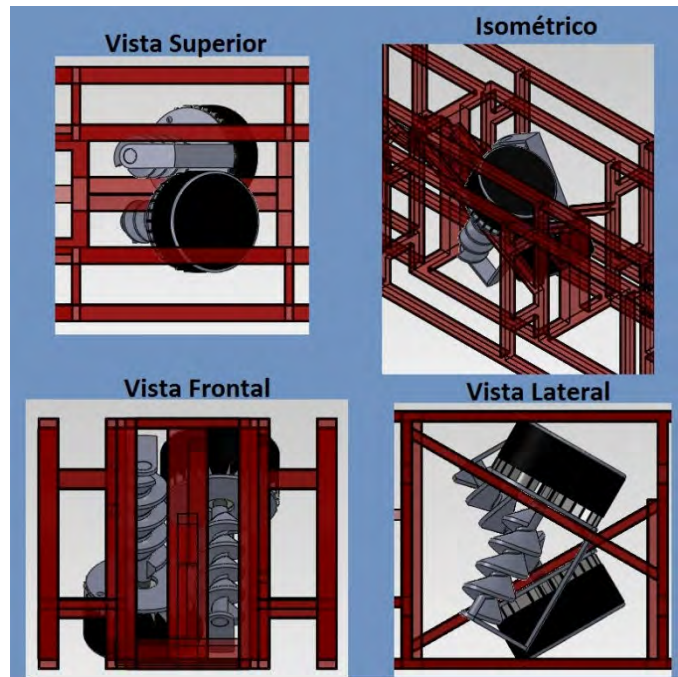


Figura 6.1.9. Se muestra en la imagen el ensamble de los motores junto con el sinfín y sus soportes.

Y con esto se tiene la fase completa de la transmisión, la cual observando los dos juegos, se observa de la siguiente manera (Figura 6.1.10).

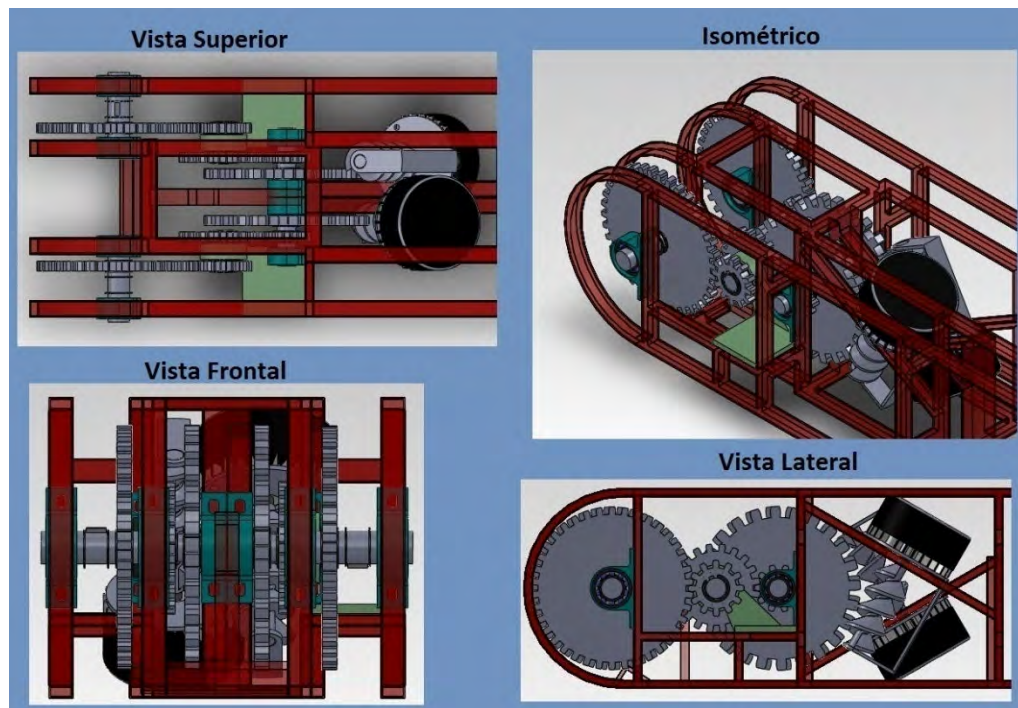


Figura 6.1.10. Se muestran los elementos de la transmisión ensamblados al chasis y las vistas del mismo así como su isométrico.

## 6. Prototipo Virtual

- Fase de elementos diversos: como su nombre lo indica esta etapa marca el ensamble de los diferentes elementos que son simples, pero requieren de estar en el sistema; entre ellos son los engranes de arrastre con sus respectivos ejes, baleros y demás; los controladores, en circuito, las guías y sus ejes con soportes (Figura 6.1.11). La primera etapa en los elementos diversos son los elementos que tienen relación con la oruga. Los engranes de arrastre, que no son otra cosa que engranes de oruga sin transmisión y las guías. Se sigue la misma mecánica al ensamblar estas piezas que en el caso de los engranes; posicionarlos, montar los ejes y los seguros respectivos y por último posicionar los baleros con sus soportes. En caso de las guías no están alineadas a causa de los ajustes que se realizaron en los soportes.

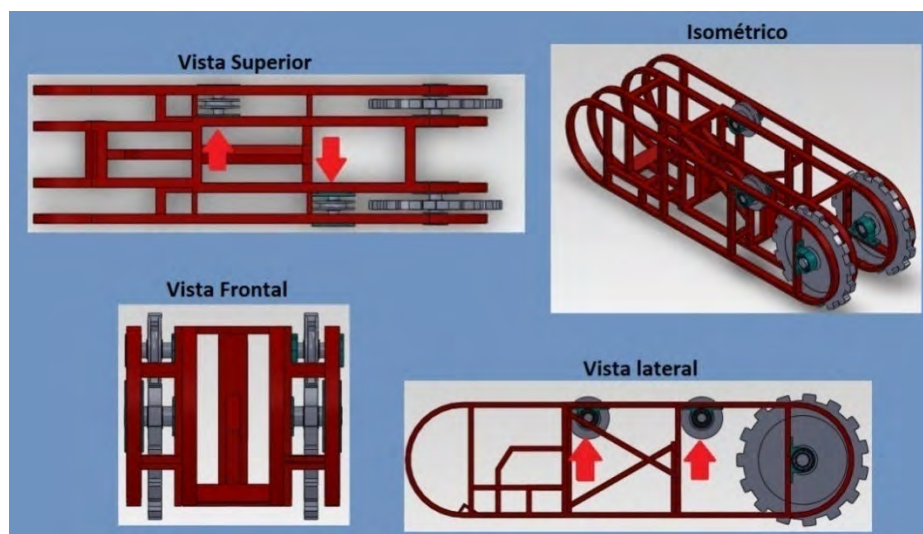


Figura 6.1.11. Se observan los engranes de arrastre ensamblados con sus ejes y las guías para tensionar la banda.

Los siguientes a posicionar son los componentes electrónicos, estos son dos controladores y el circuito de control. Que se encuentran en la sección entre los motores y las baterías. Esta sección tiene el espacio adecuado para albergar estos componentes (Figura 6.1.12).

## 6. Prototipo Virtual

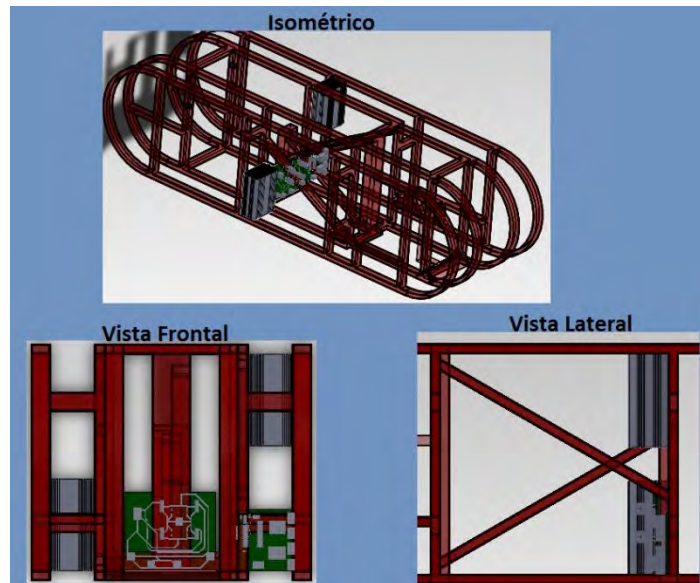


Figura 6.1.12. Se muestran los controladores para los motores y la circuitería ensamblados al chasis.

Se muestra una vista en explosivo del ensamble en su totalidad, aún sin la parte de sujeción (Figura 6.1.13).

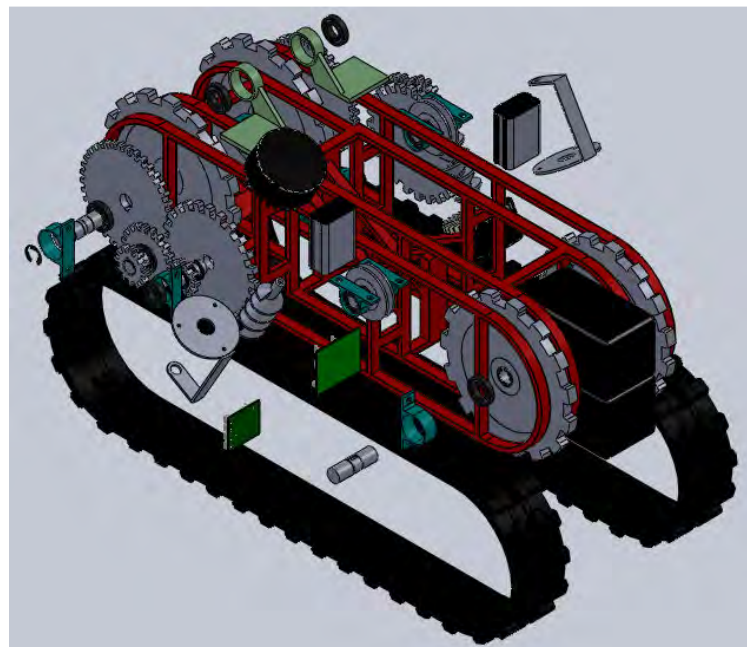
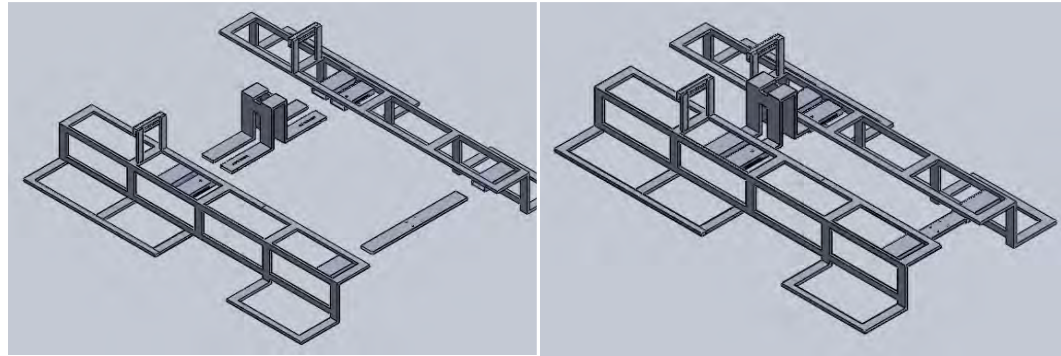


Figura 6.1.13. Vista explosionada del conjunto de elementos descritos anteriormente que van ensamblados al chasis.



### 6.1.2 Ensamble del sistema de sujeción.

En esta fase se describe el ensamble de los elementos que conforman el sistema de sujeción. Primeramente son ensamblados los soportes base, estos son colocados de cada lado del soporte central y de la guía, recordando que los extremos del soporte central al igual que la guía se desplazan en los canales del soporte base (Figura 6.1.14.a y b).



6.1.14.a) Imagen explosionada de los soportes base con el soporte central y la guía.

6.1.14.b) Ensamble de los soportes base con el soporte central y la guía.

Posteriormente es realizado un subensamble del canal exterior con los rieles, la rampa y la junta para la rampa (Figura 6.1.15.a y b). Se realiza un subensamble ya que éste se usará en cada lado de sistema de sujeción sobre los soportes base.

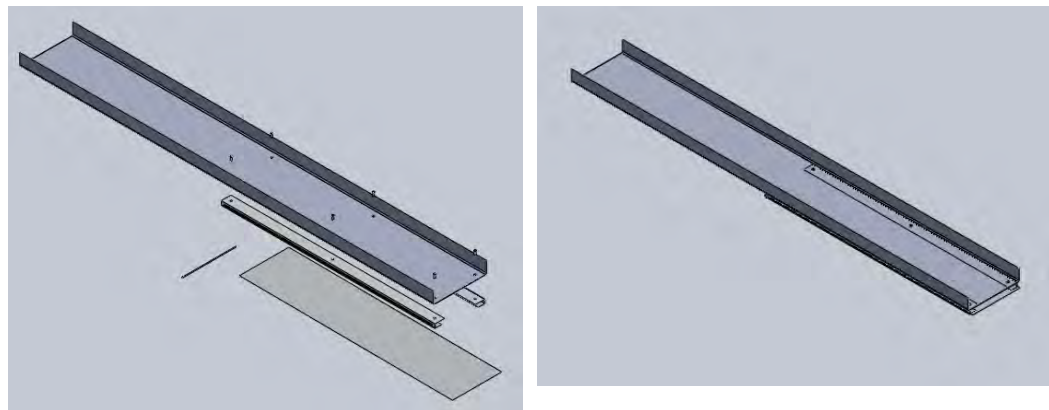


Figura 6.1.15.a) Explosivo del subensamble del canal exterior.

Figura 6.1.15.b) Subensamble del canal exterior.

Una vez ensamblado el canal exterior con los componentes anteriormente mencionados, se hace coincidir con los soportes base (Figura 6.1.17.a y b). Cabe mencionar que el soporte base no es uniforme en cuanto a su altura (Figura 6.1.16.a), ya que se considera que los rieles quedan apoyados sobre éste y no tienen el mismo largo que el canal exterior, véanse las figuras 6.1.16.a, b y c para mayor comprensión.



## 6. Prototipo Virtual

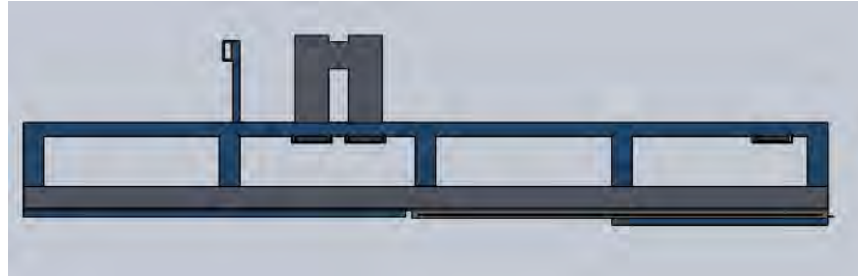


Figura 6.1.16.a) Se observa una vista lateral, en donde se muestra en azul el soporte base, de éste se observa que no es uniforme en altura ya que se observa como de un lado queda apoyado el canal y del otro lado quedan apoyados los rieles que a su vez están ensamblados en el canal.

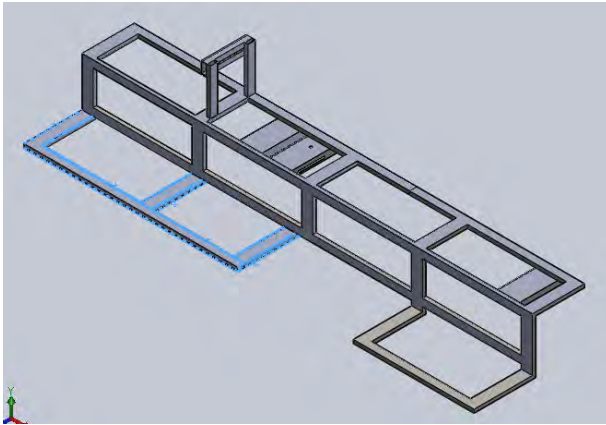


Figura 6.1.16.b) Se observan en azul la parte de la estructura donde va soportada la parte trasera del canal.

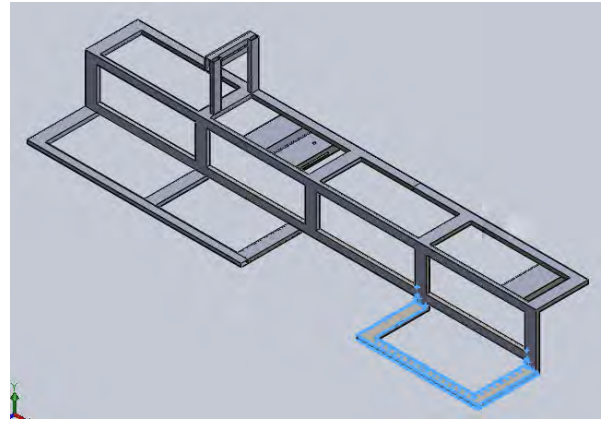


Figura 6.1.16.b) Se observa en azul la parte de la estructura donde van apoyados los rieles.

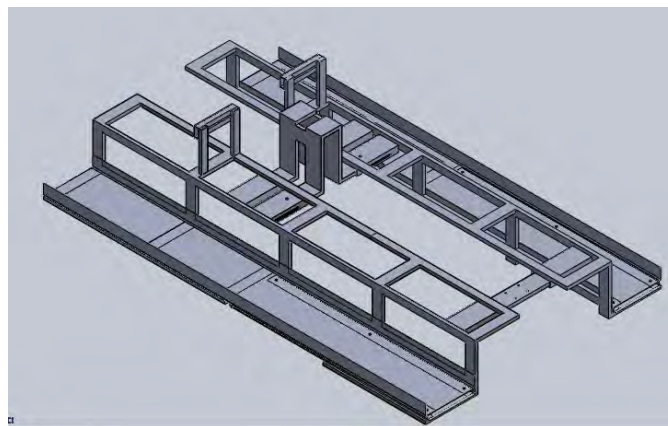


Figura 6.1.17.a) En esta imagen se observa el subensamblaje junto del canal junto con los soportes base, unidos al soporte central y a la guía.

## 6. Prototipo Virtual

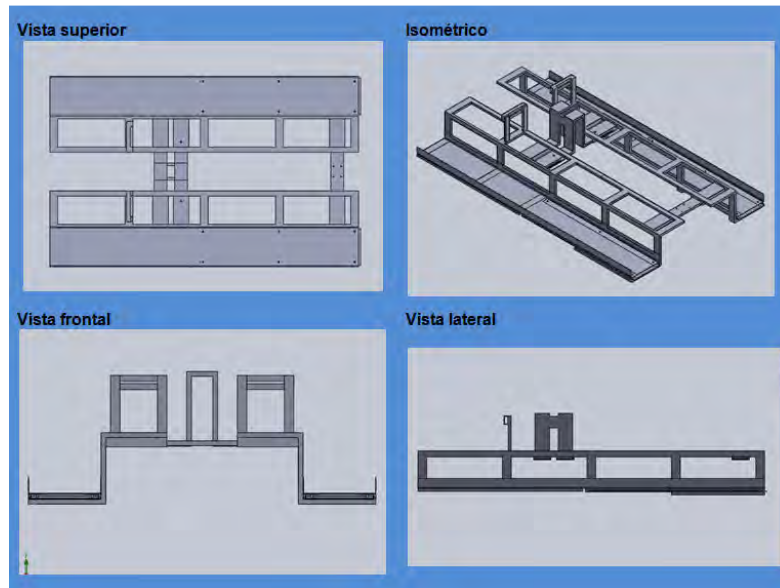


Figura 6.1.17.b) Vistas de el soporte base con los canales ensamblados.

Se ensamblan los soportes para el eje junto con el eje y la cuña, los soportes para el eje van ensamblados la guía (Figura 6.1.18.a y b).

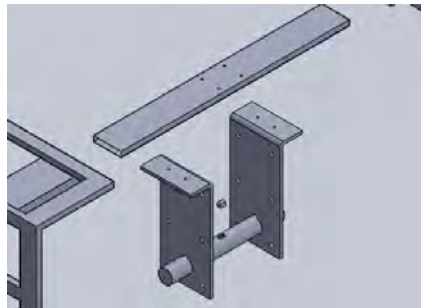


Figura 6.1.18.a) Se muestra el explosivo de los soportes para el eje que se unen con la guía.

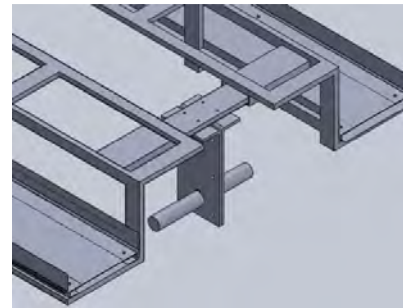


Figura 6.1.18.b) Ensamble de los soportes para el eje que se unen con la guía.

Se ensamblan las guías de sujeción en los canales donde embonan, los cuales forman parte de los soportes base (Figura 6.1.19).

## 6. Prototipo Virtual

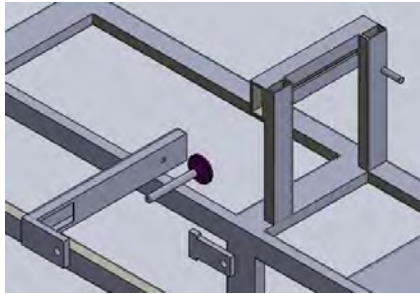


Figura 6.1.19.a) Vista explosionada de la guía de sujeción.

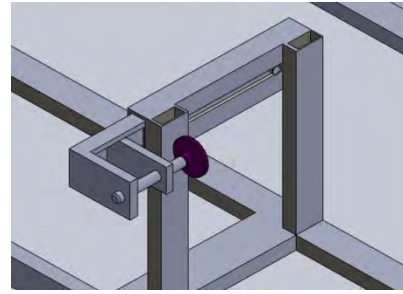


Figura 6.1.19.b) Ensamble de la guía de sujeción con el canal que está fijo a l soporte base.

Por último ensambla el actuador a la estructura, se toma en cuenta que el actuador queda al centro del soporte central, además éste se coloca con una inclinación de  $33^\circ$  con respecto a la vertical (Figura 6.1.20.b). Se ensambla previamente al soporte central una placa de acero para cubrir el hueco que existe en la parte media y el actuador pueda desplazarse sobre una superficie uniforme. Se realiza un subensamble de actuador junto con la rueda y el cople para colocarla en el vástago (Figura 6.1.20.a). Véase la figura 6.1.21, para ver el sistema de sujeción terminado.



Figura 6.1.20.a) Subensamble del actuador lineal con la rueda.

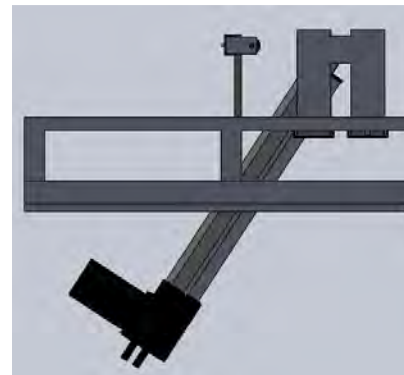


Figura 6.1.20.b) Actuador lineal ensamblado a la estructura del sistema de sujeción.

## 6. Prototipo Virtual

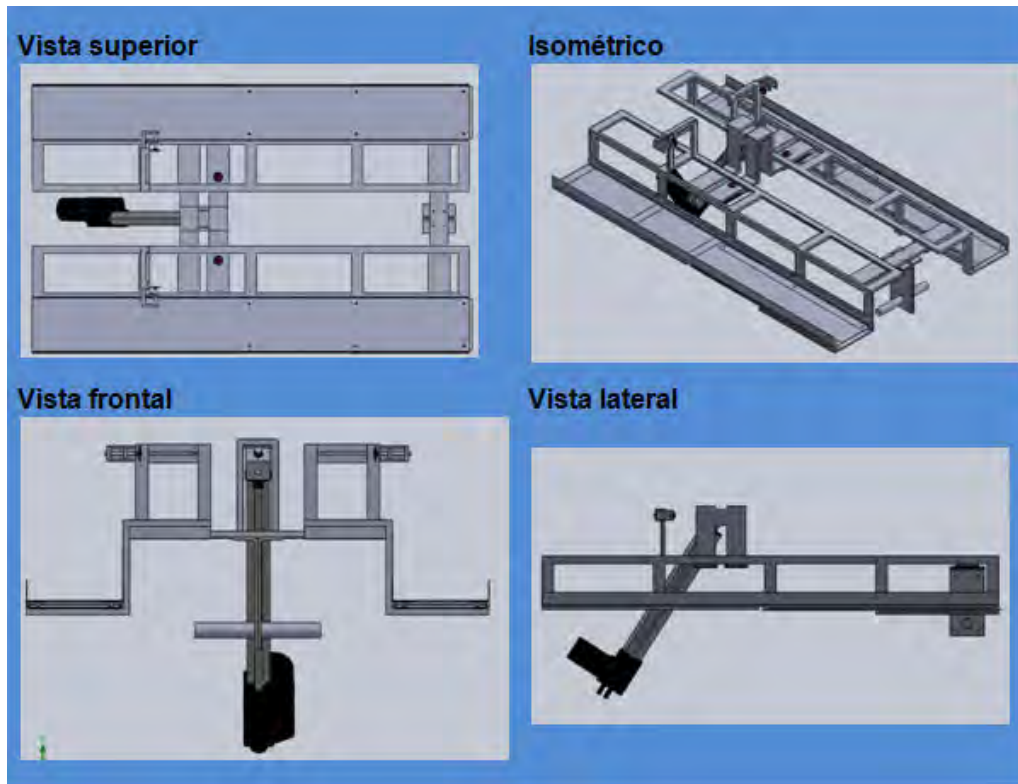


Figura 6.1.21. Vistas del ensamble del sistema de sujeción.

Finalmente se ensambla el sistema de sujeción al resto del ensamble descrito anteriormente. Esto se logra haciendo coincidir el eje con los baleros que se han colocado en los perfiles del chasis como se muestra en la siguiente imagen 6.1.22a. El chasis tiene una estructura justo a la altura a la queda el actuador lineal con la finalidad de soportarlo y mantenerlo fijo (Figura 6.1.22.b).

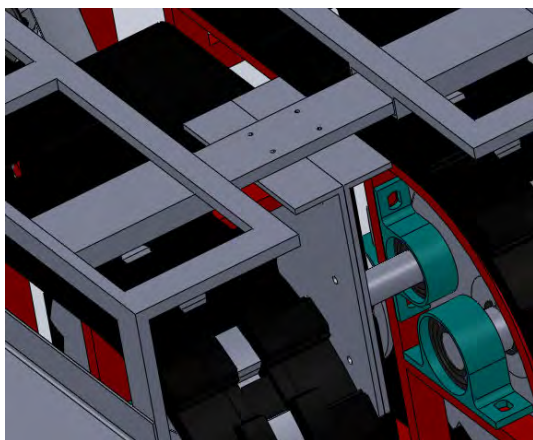


Figura 6.1.22.a) Sistema de sujeción ensamblado a los baleros que se encuentran en el chasis.

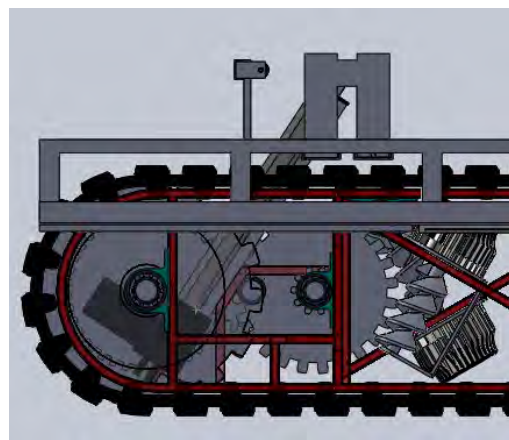


Figura 6.1.22.b) En esta imagen se observa cómo el actuador lineal está soportado en el chasis.

---

## 6. Prototipo Virtual

---

### 6.3. Prototipo Virtual Terminado

Anteriormente se explica cómo se ensambla parte por parte, en este capítulo se explora el conjunto completo ensamblado, en este mismo se observa todo lo descrito anteriormente pero se visualiza todo al mismo tiempo. Se muestra una vista frontal del prototipo virtual (Figura 6.2.1), vista lateral derecha (Figura 6.2.2), la vista superior (Figura 6.2.3), una vista trasera (Figura 6.2.4.), vista lateral izquierda (Figura 6.2.5), vista inferior (Figura 6.2.6) y una vista isométrica (Figura 6.2.7.a y b)

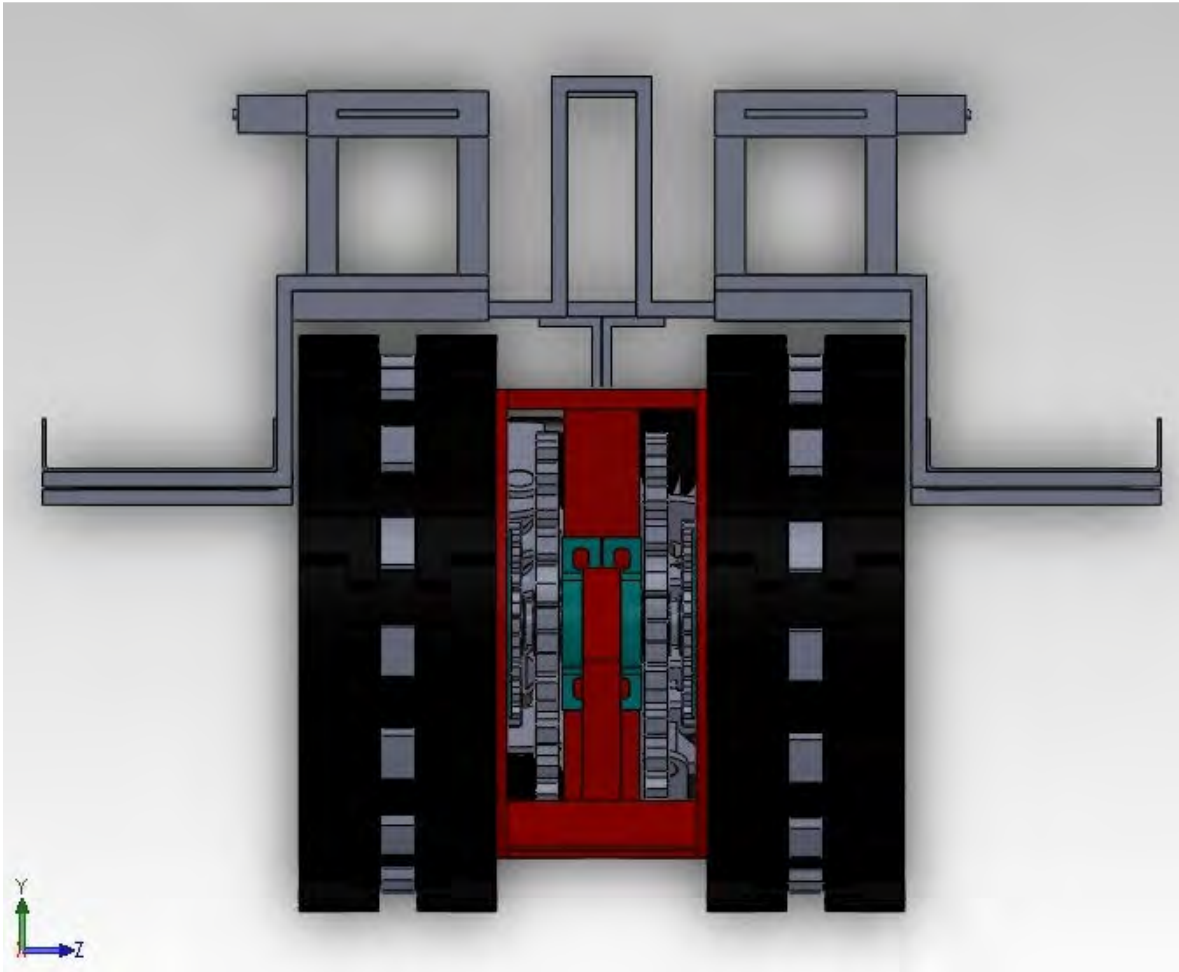


Figura 6.2.1. Vista frontal.



---

## 6. Prototipo Virtual

---

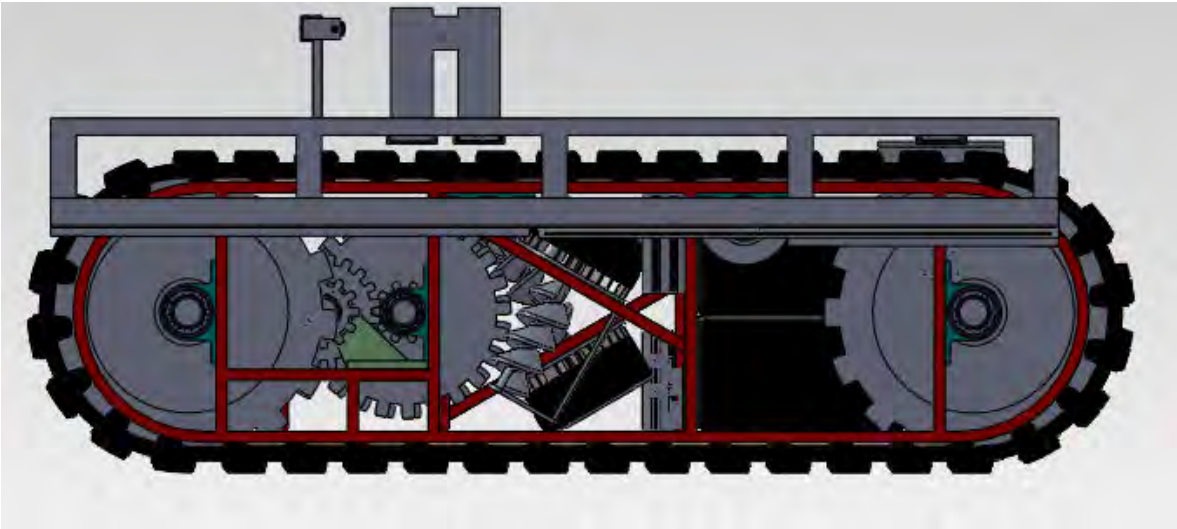


Figura 6.2.2. Vista lateral derecha.

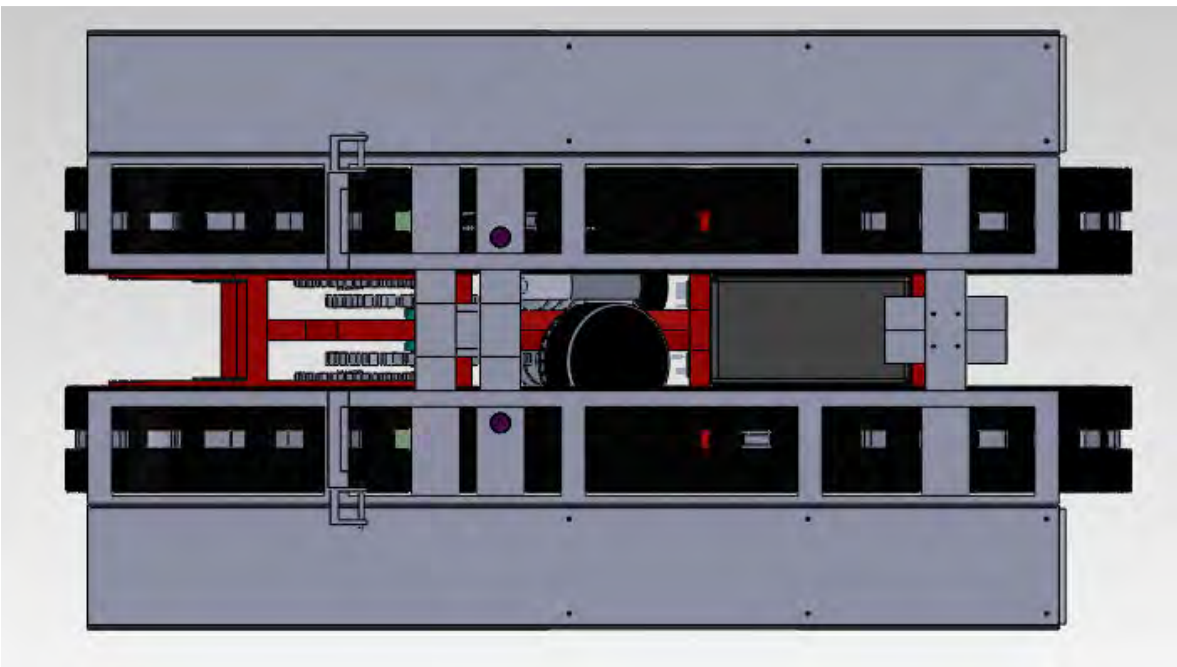


Figura 6.2.3. Vista superior.



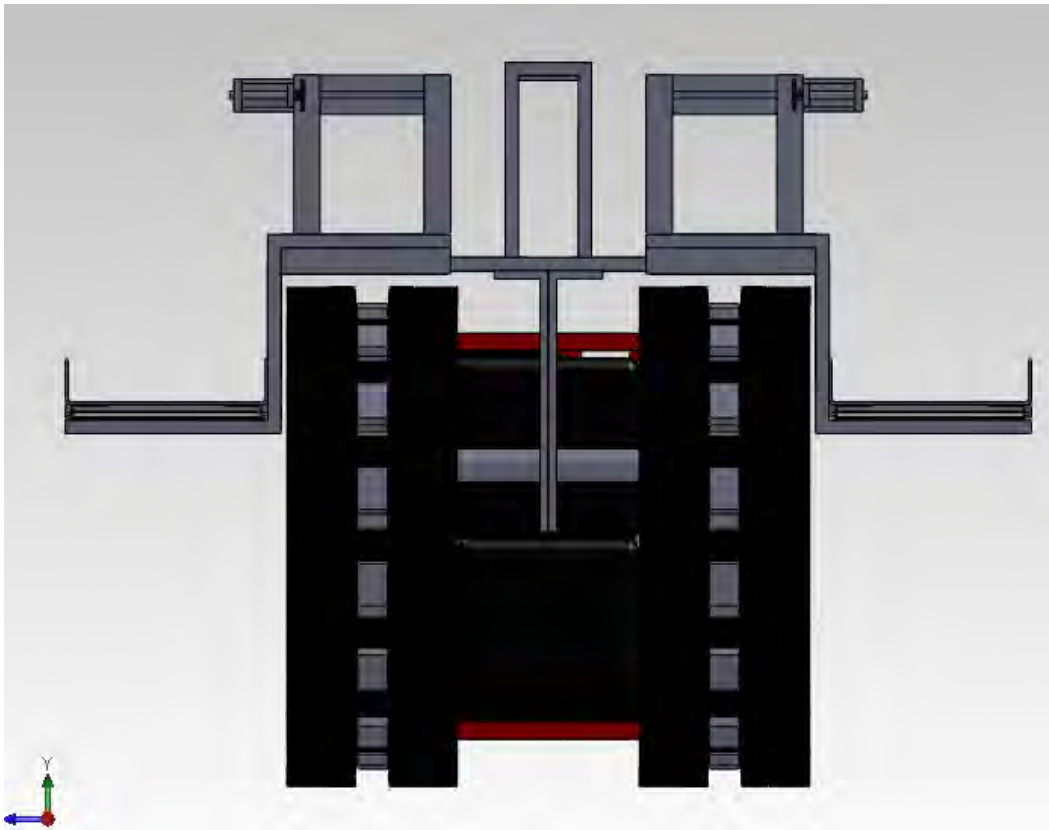


Figura 6.2.4. Vista trasera.

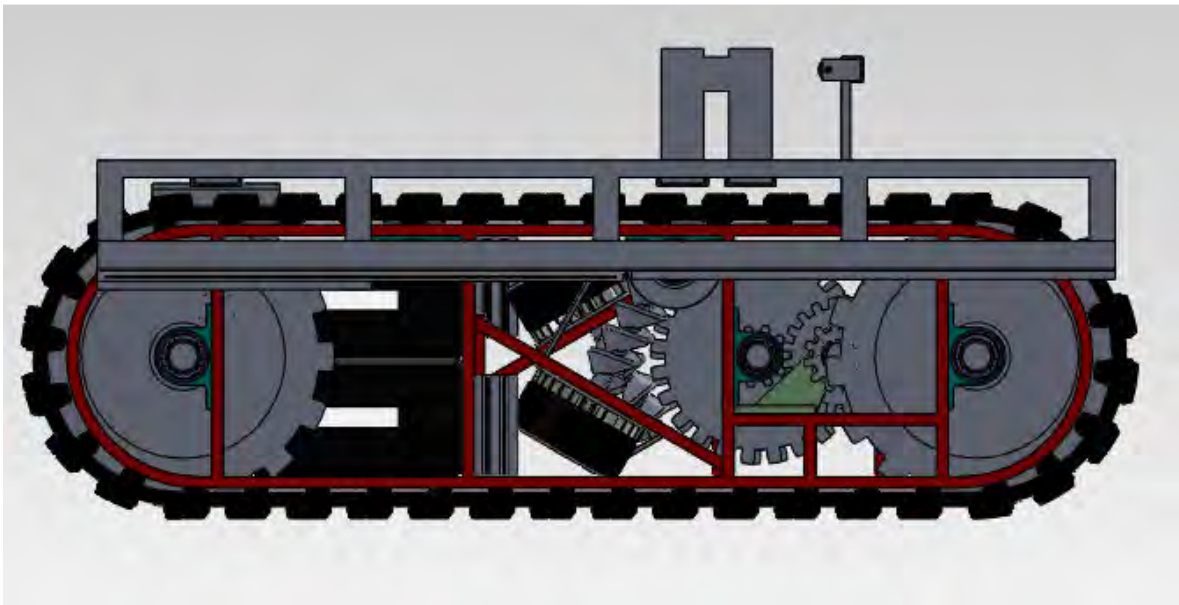


Figura 6.2.5. Vista lateral izquierda.

---

## 6. Prototipo Virtual

---

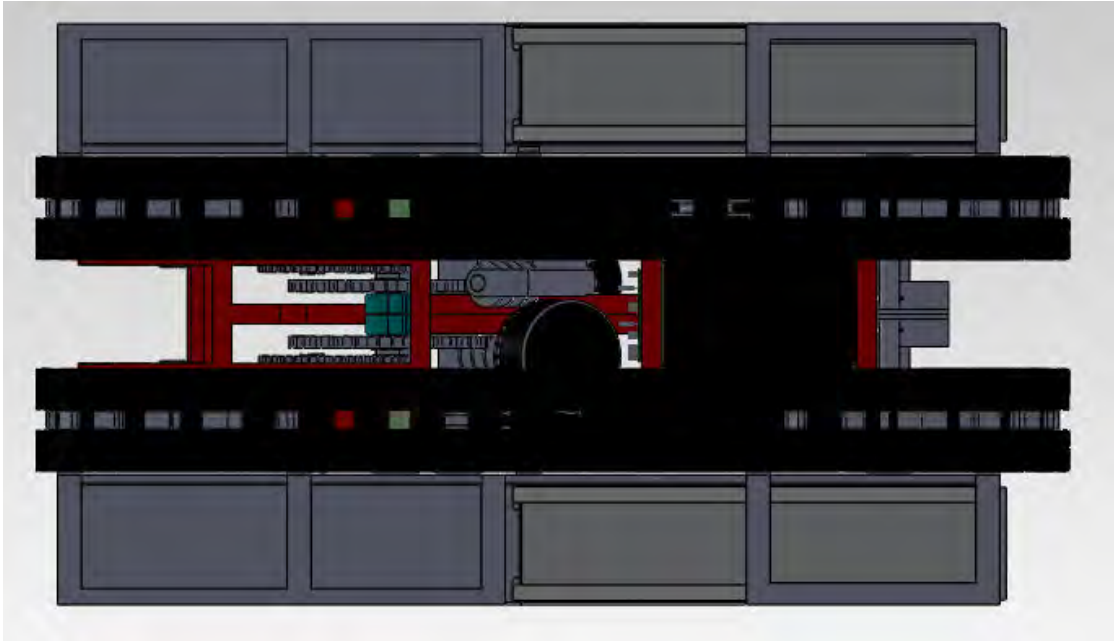


Figura 6.2.6. Vista inferior.

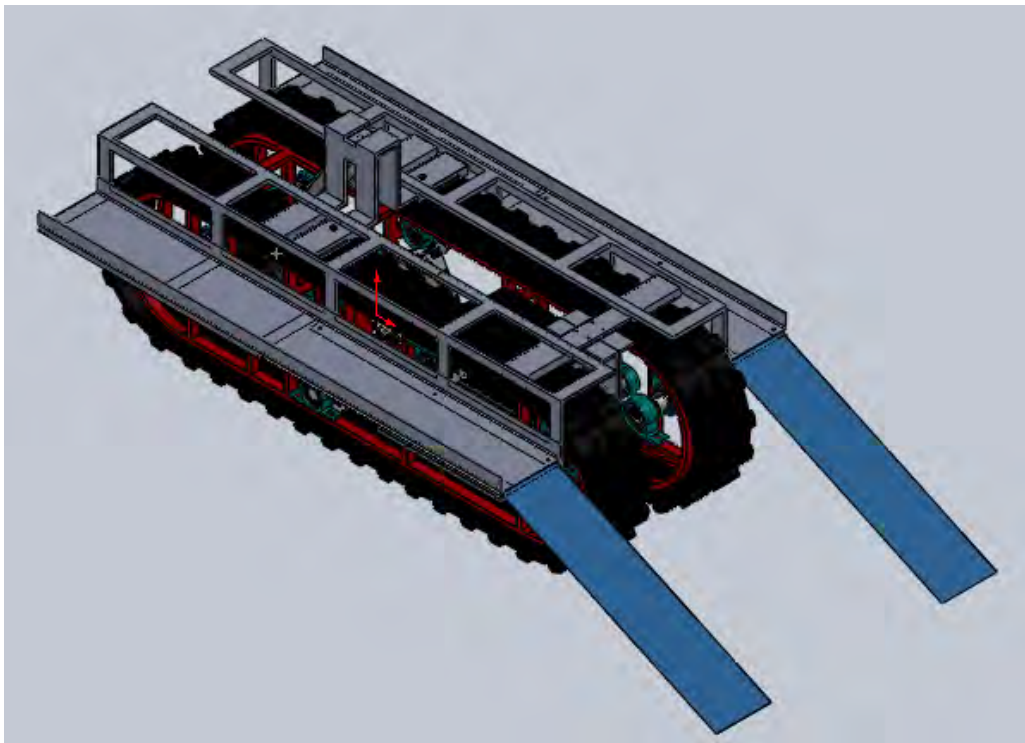


Figura 6.2.7.a). Vista isométrica, en esta vista se pueden ver las rampas desplegadas.

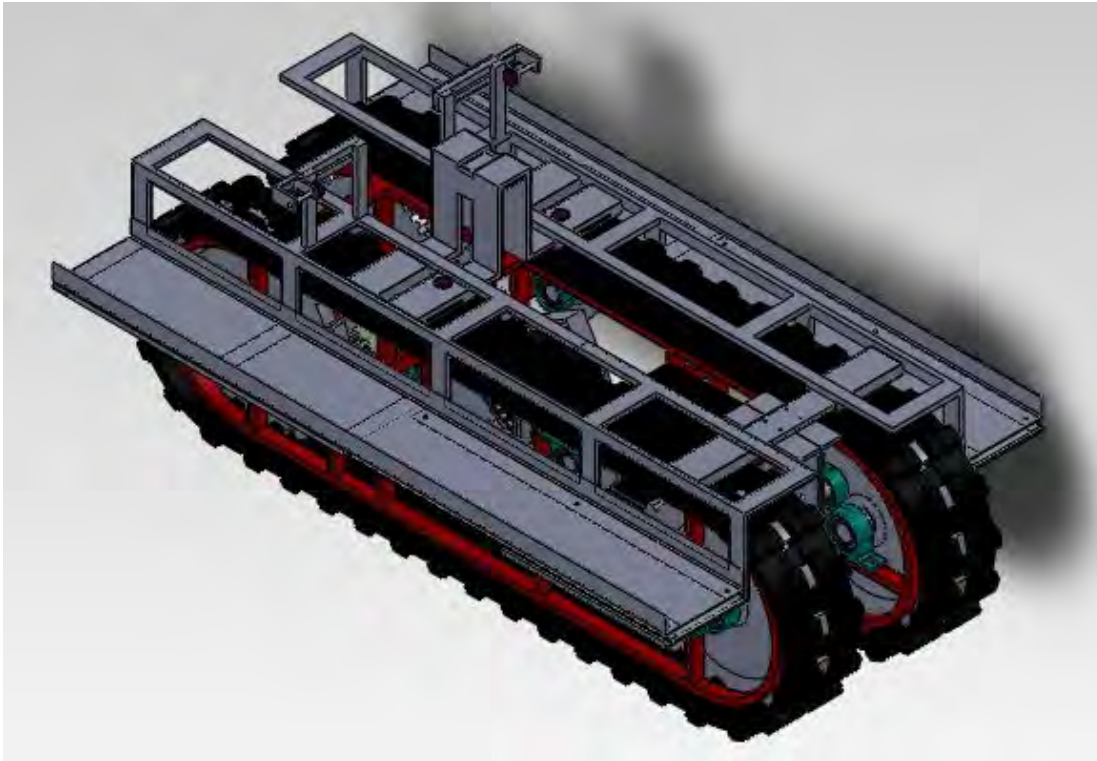


Figura 6.2.7.b). Vista isométrica.

### 6.4. Análisis estructural

#### 6.4.1. Análisis estructural del chasis.

Empleando una de las herramientas de *SolidWorks*, el denominado *SolidWorks SimulationXpress* para los análisis estructurales, de la misma en el apartado de ayuda son sacados los siguientes enunciados:

- *“SolidWorks SimulationXpress ofrece una herramienta de primer pase de fácil uso para el análisis de tensiones para los usuarios de SolidWorks.”*
- *“SimulationXpress traza tensiones en la forma deformada de la pieza. En la mayoría de los casos, la deformación real es tan pequeña que la forma deformada casi coincide con la forma no deformada si se traza a escala. SimulationXpress exagera la deformación para demostrarla con más claridad. La Escala de deformación que se muestra en los trazados de tensión y forma deformada es la escala que utilizada para cambiar la escala de la deformación máxima al 10% del cuadro delimitador de la pieza.”*

Son importantes estos dos párrafos ya que ofrecen una vista previa al comportamiento de este simulador de esfuerzos, y también debido a que las imágenes generadas en el reporte en este trabajo son exageradas respecto comparado con lo arrojado en los resultados numéricos y se puede llegar a mal interpretar.

## 6. Prototipo Virtual

Los pasos a realizar para este análisis son:

1. Definir las sujeciones: estos son los puntos donde se soporta la pieza, en este caso son las caras donde se soportan los engranes que van conectados a las orugas ya que son las conexiones que soportan el peso que va la oruga y de esta al suelo (Figura 6.3.1).

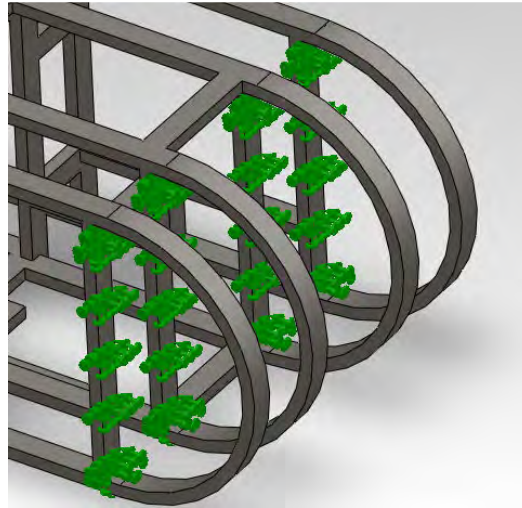
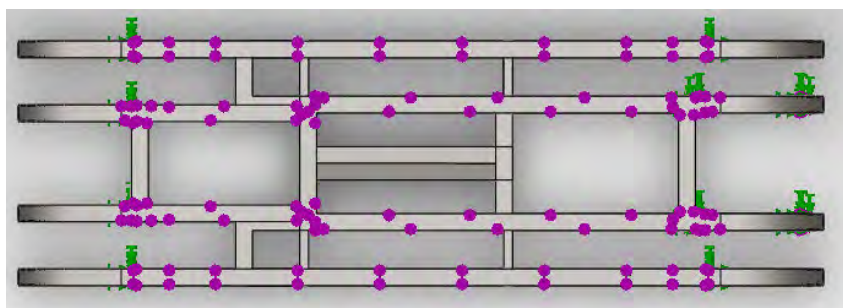
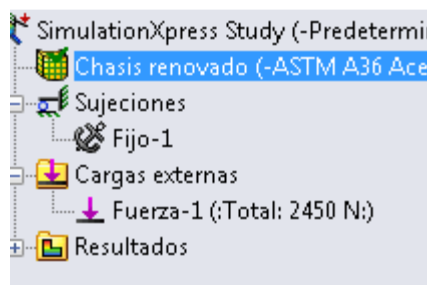


Figura 6.3.1. Sujeciones del chasis para el análisis estructural.

2. El siguiente punto es definir las cargas, con el fin de prevenir cualquier tipo de anomalía, se exagera la carga que se propone para el estudio de 250 [kg] aproximadamente (2450 [N]), siendo la propuesta de 180 [kg], la cual es distribuida en la área superior del chasis (Figura 6.3.2).



## 6. Prototipo Virtual

Figura 6.3.2. En morado se aprecian las cargas aplicadas al chasis para el análisis estructural.

3. El siguiente punto es la designación del material, el cual es acero A36, el más cercano al que se está utilizando (A30).

El material asignado a esta pieza es:

**ASTM A36 Acero**

**Módulo de Young:**  
2e+011N/m<sup>2</sup>

**Límite elástico:**  
2.5e+008N/m<sup>2</sup>

4. El último paso a realizar es la ejecución, y el reporte.

De los aspectos importantes del reporte son los siguientes:

Primero la distribución de la malla de trabajo, que se muestra en la 6.3.3:

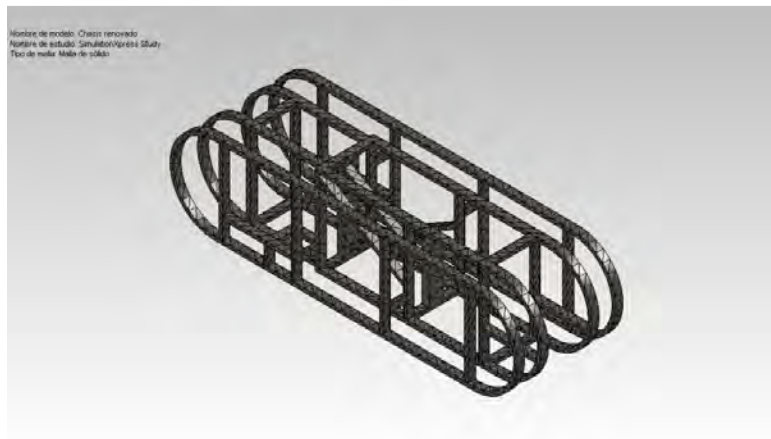


Figura 6.3.3. Mallado en el chasis.

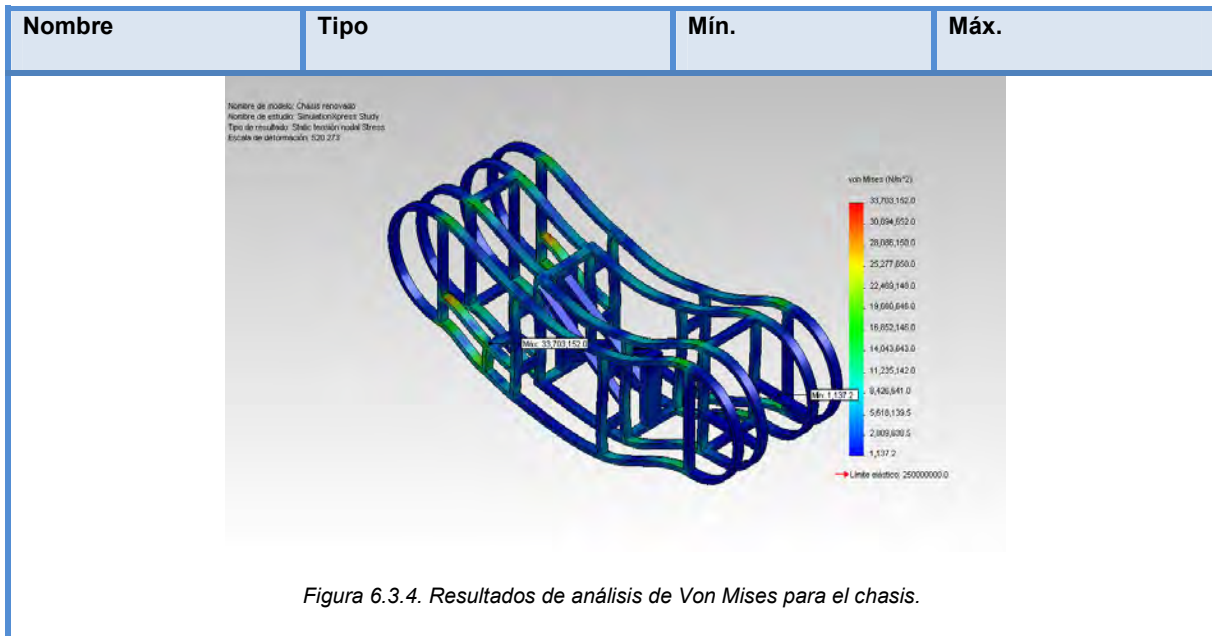
### Resultados del estudio

Análisis de von Mises. En la figura 6.3.4 se muestran los resultados del estudio de tensión y estrés.

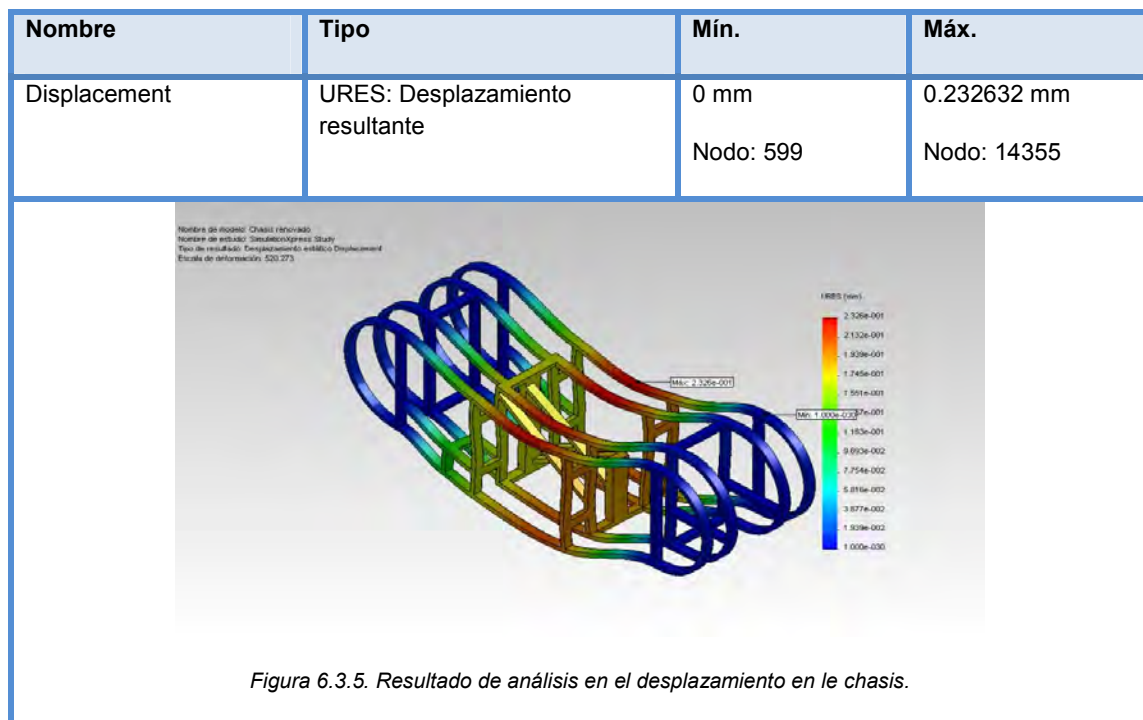
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Stress	VON: Tensión de von Mises	1137.23 N/m <sup>2</sup>	3.37032e+007 N/m <sup>2</sup>
		Nodo: 25012	Nodo: 9230



## 6. Prototipo Virtual



Siguiente y uno de los más importantes para este análisis es el análisis de desplazamiento, como se puede ver el desplazamiento máximo es de menos de 0.5 milímetros, tomando en cuenta la carga propuesta en el estudio (Figura 6.3.5).

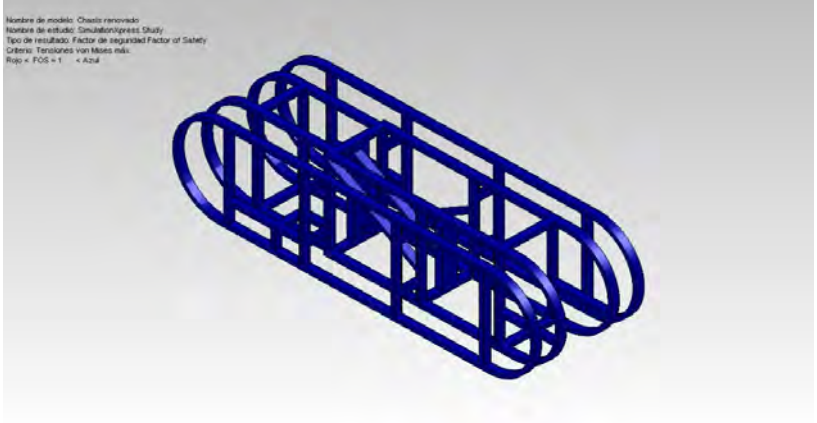


Y por último un estudio de fiabilidad respecto al factor de seguridad que tiene la pieza, donde se ve que el factor mínimo es de 7.4 (Figura 6.3.6).



## 6. Prototipo Virtual

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor of Safety	Tensión de von Mises máx.	7.4177	219832
		Nodo: 9230	Nodo: 25012

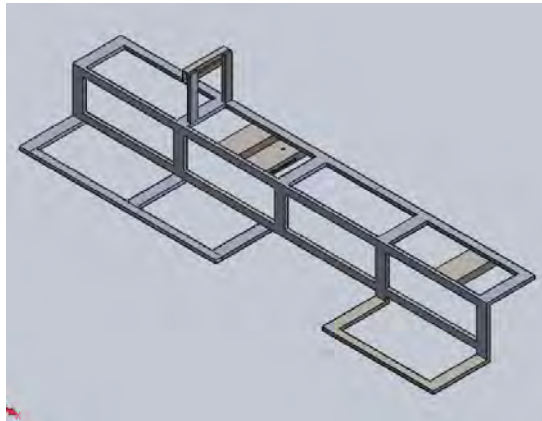
  


Nombre de modelo: Chasis renovado  
Nombre de estudio: Simulación por elementos finitos  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor of Safety  
Criterio: Tensiones von Mises máx.  
Ropa: FOS = 1    • Azul

*Figura 6.3.6. Resultado de análisis de fiabilidad del factor de seguridad.*

Con esto se puede concluir que la pieza del chasis es perfectamente viable y segura para los requisitos del proyecto.

### 6.4.2. Análisis del soporte base para el soporte de sujeción



*Figura 6.3.7. Soporte base.*

En el sistema de sujeción hay un soporte base (Figura 6.3.7) de este tipo de cada lado, por lo que los resultados de este análisis se consideren para cada parrilla. Cada soporte base se encarga de soportar la mitad del peso que carga el soporte de sujeción, esto es considerando el peso de la persona y el peso de la silla de ruedas. Se realiza el análisis para determinar si es viable el diseño que se ha realizado, dado que el actuador lineal compensa la pendiente sobre la que está el dispositivo se tomará que las fuerzas a las que está sometida siempre son perpendiculares a éste.

Pasos a realizar:

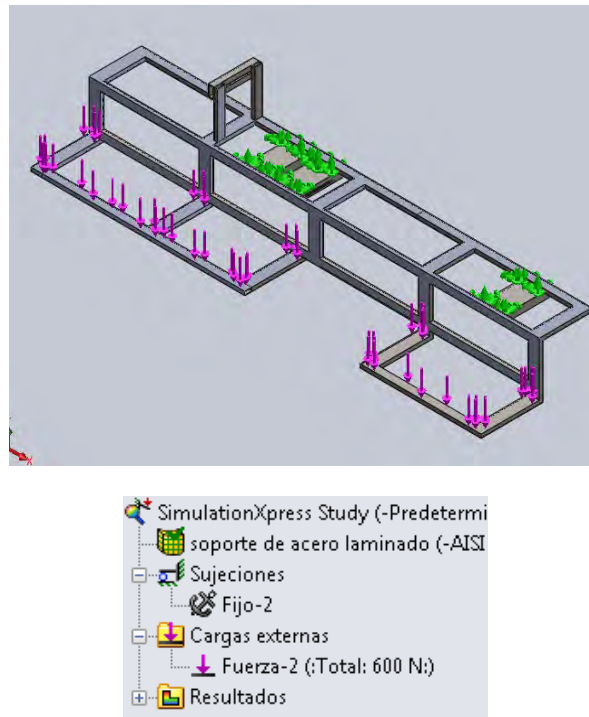


Figura 6.3.8. En la imagen se muestran las sujeciones en verde y las cargas de morado.

1. Se definen las sujeciones. Se consideran como superficies de sujeción la parte donde embonan las guías plegables, ya que éstas están en contacto con las guías variables y puesto que las guías y el soporte para el actuador lineal son una misma pieza en esta parte es donde se encuentran apoyadas ambas piezas. Véase la figura (Figura 6.3.8).
2. Se definen las cargas, las llantas quedan apoyadas sobre la canaleta y está a su vez está apoyada sobre el soporte de sujeción. Como máximo cada soporte cargará 50[kg], lo que es equivalente a 490.5 [N], ya que se considera que el dispositivo puede cargar personas de 80[kg] y la masa máxima que se considera para las sillas de ruedas es de 20kg, lo que da un total de 100[kg], 50[kg] de cada lado. Se realizó el análisis para 600[N]. Se pueden ver en morado las fuerzas aplicadas (Véase la figura 6.3.8).
3. Se selecciona el material, el cual es chapa de acero laminado en frío, el más cercano a este en *SolidWorks* es laminado en frío. Se observa en la figura 6.3.9.

### AISI 1020 Acero laminado en frío

Módulo de Young:  
2.05e+011N/m<sup>2</sup>

Límite elástico:  
3.5e+008N/m<sup>2</sup>

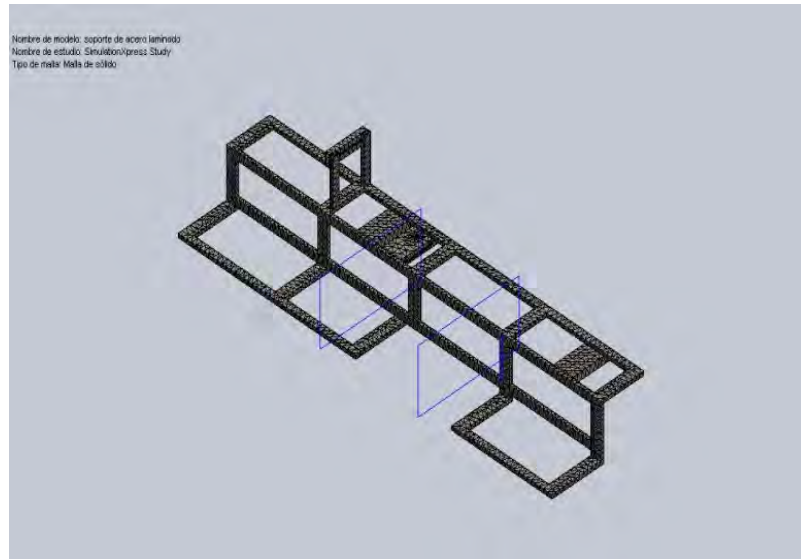


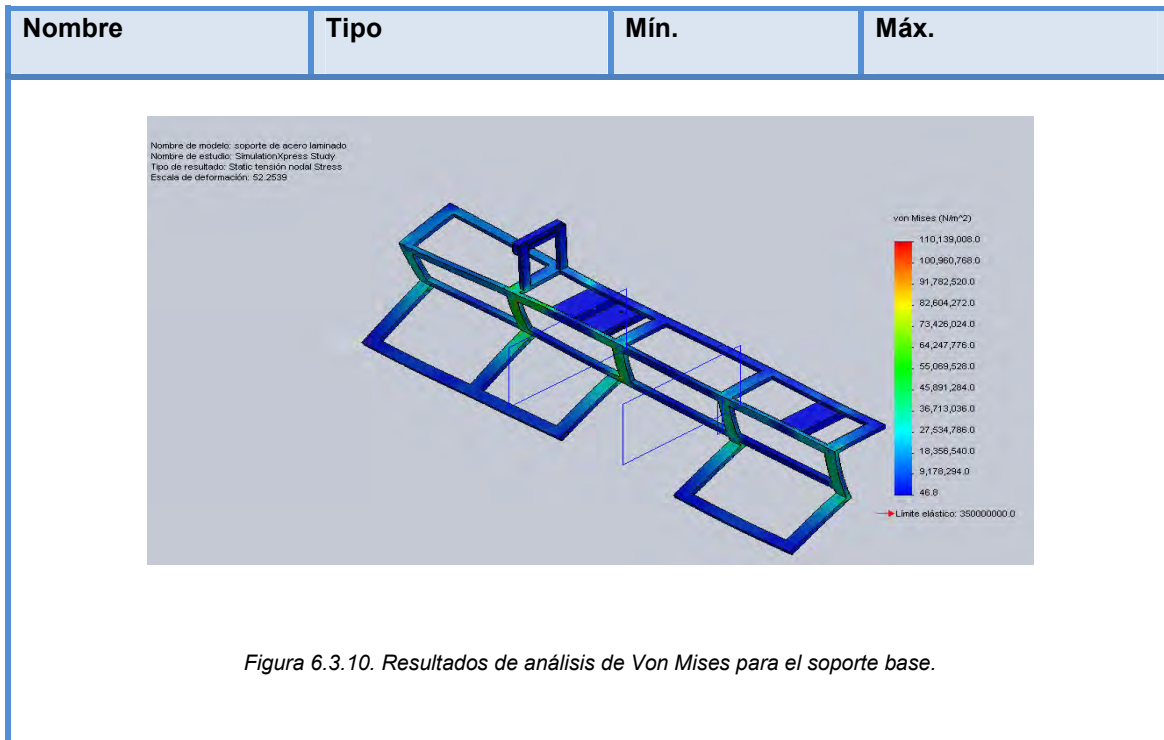
Figura 6.3.9. Se observa el mallado en el soporte base.

### Resultados del estudio

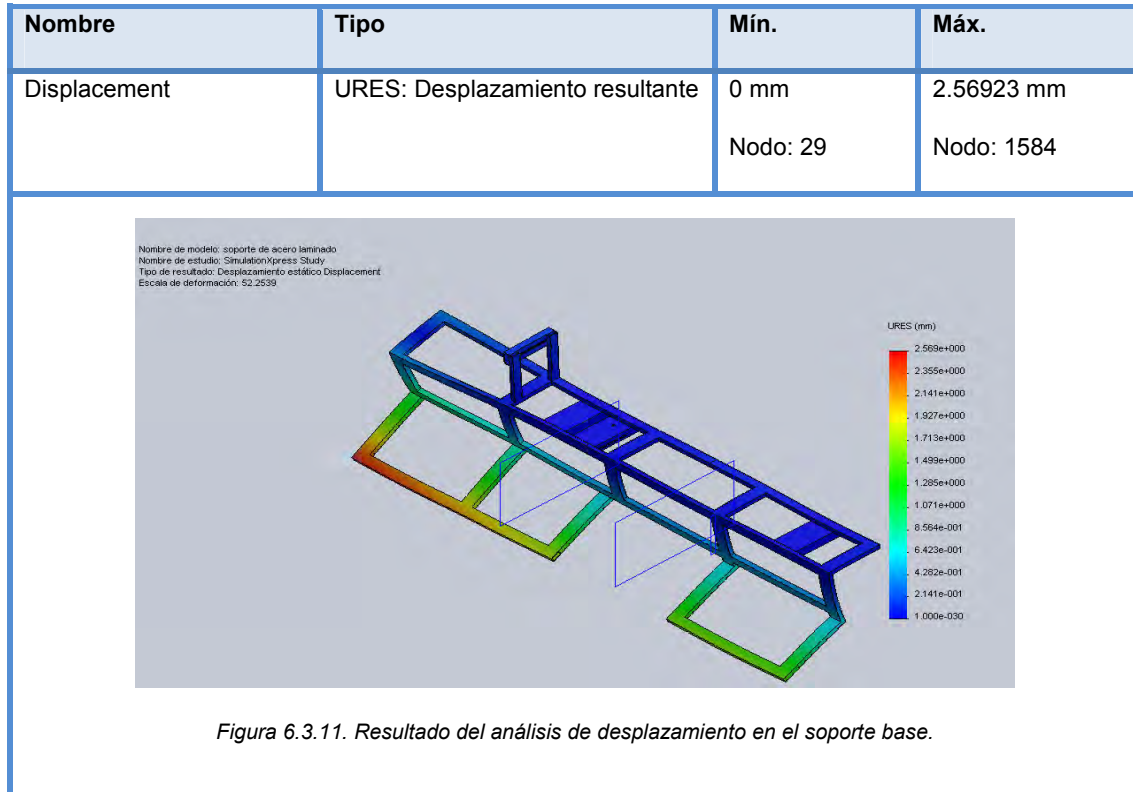
Análisis de von Mises. Este análisis muestra en gradiente de colores los esfuerzos a los que está sometido la estructura, se observa que el soporte no excede el límite elástico, en la tabla que se encuentra en la parte superior de la figura se observan cuantificados los esfuerzos mínimos y máximos a los que está sometido la estructura (Figura 6.3.10).

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Stress	VON: Tensión de von Mises	46.7649 N/m <sup>2</sup> Nodo: 16603	1.10139e+008 N/m <sup>2</sup> Nodo: 22888

## 6. Prototipo Virtual



Desplazamiento. Se muestra en la tabla de imagen la deformación máxima que sufre la estructura (Figura 6.3.11).



Factor de seguridad. Se observa la fiabilidad de la pieza en cuestión, se observa que la estructura resulta factible ya el factor de seguridad mínimo es de 3.1778. Se muestra en la tabla de la

## 6. Prototipo Virtual

siguiente imagen los valores encontrados para el factor de seguridad en la estructura en cuestión (Figura 6.3.12).

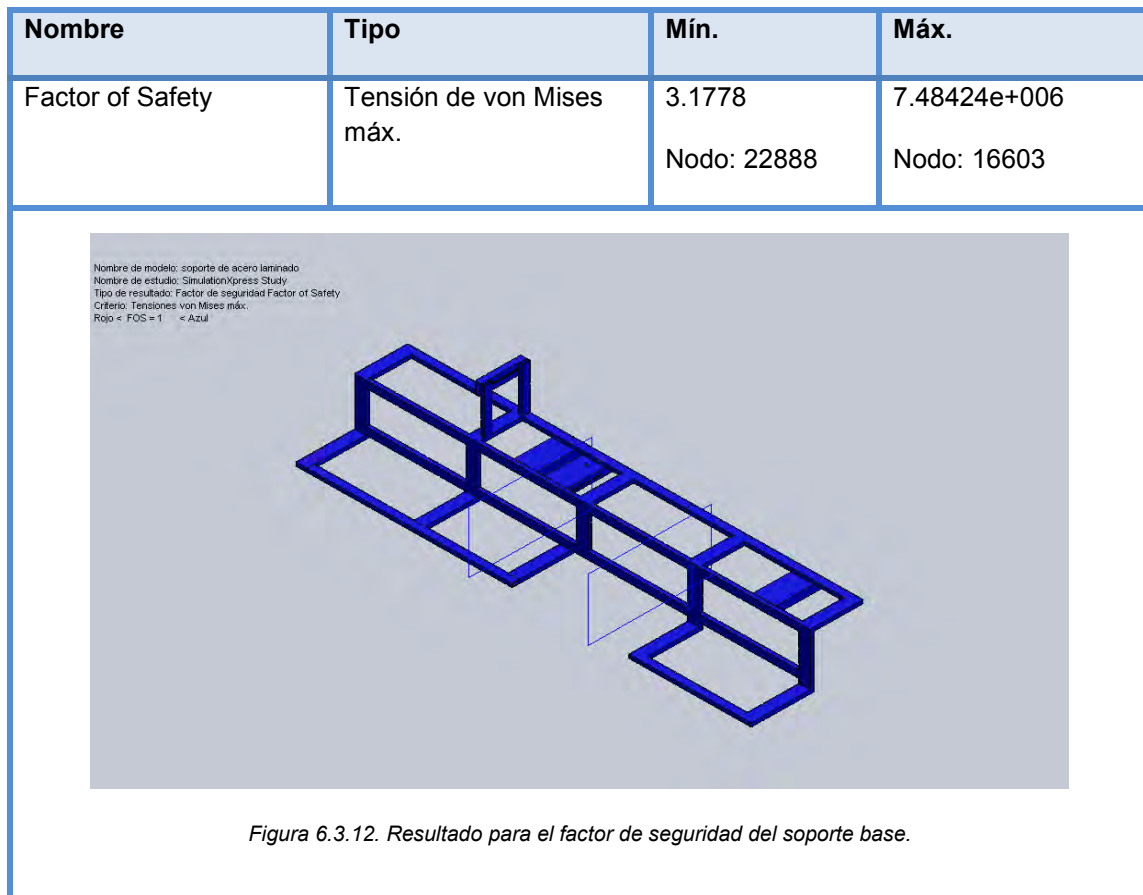


Figura 6.3.12. Resultado para el factor de seguridad del soporte base.

Con el estudio realizado se puede concluir que la pieza resulta fiable para la aplicación que se le quiere dar que es la de soportar la silla ruedas.

### 6.3.3 Análisis estructural para soporte central para el actuador lineal

Se realiza el análisis estructural para el soporte central de contacto con el actuador lineal, ya que el actuador aplica una fuerza en este punto para poder compensar el ángulo, por lo que es necesario saber si resistirá dicha fuerza aplicada (Figura 6.3.13).

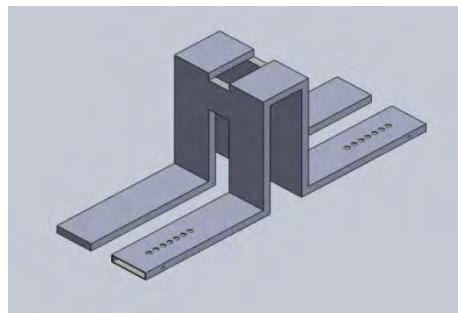


Figura 6.3.13. Canal central

## 6. Prototipo Virtual

Pasos a realizar:

1. Se definen las sujeciones. Se consideran como superficies de sujeción las guías desplegables que hacen contacto con los soportes base, se observan de verde en la figura F6.3.14.
2. Se definen las cargas. El actuador lineal ejerce sobre el soporte una fuerza aproximada a 1000[N], se realiza el análisis con una carga de 1500[N]. En la imagen 6.3.15 se observan de morado las fuerzas.

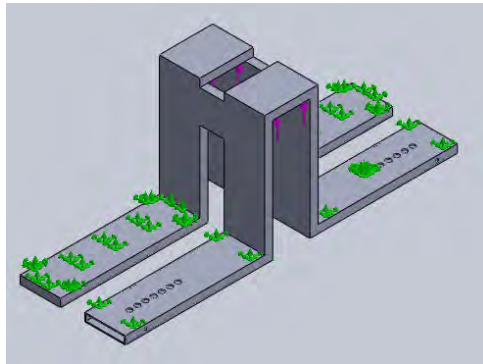


Figura 6.3.14. Sujeciones en el soporte base.

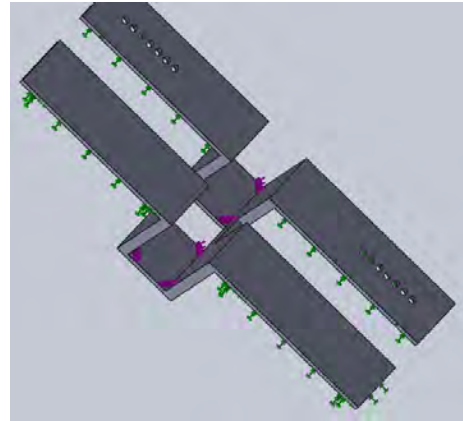
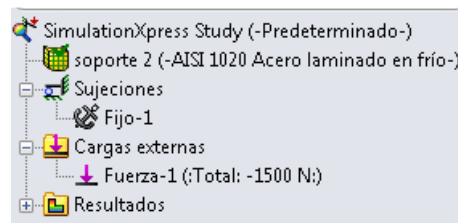


Figura 6.3.15. Cargas en el soporte base.

3. Se selecciona el material, el cual es el mismo que el de las parrillas laterales.

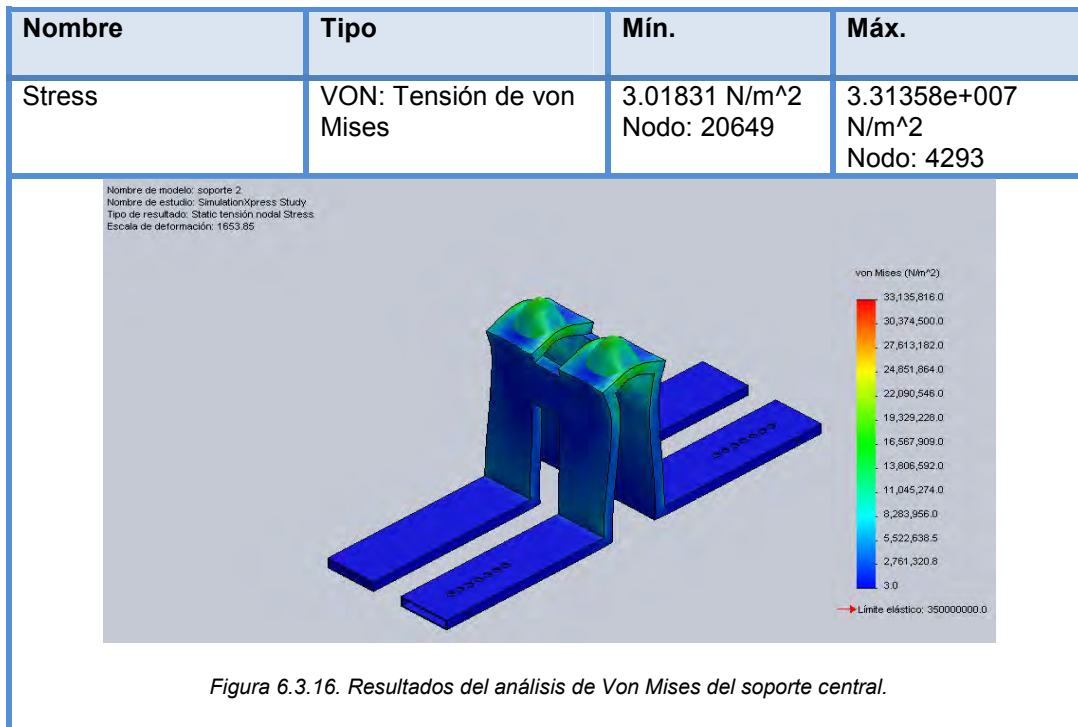


### Resultados del estudio

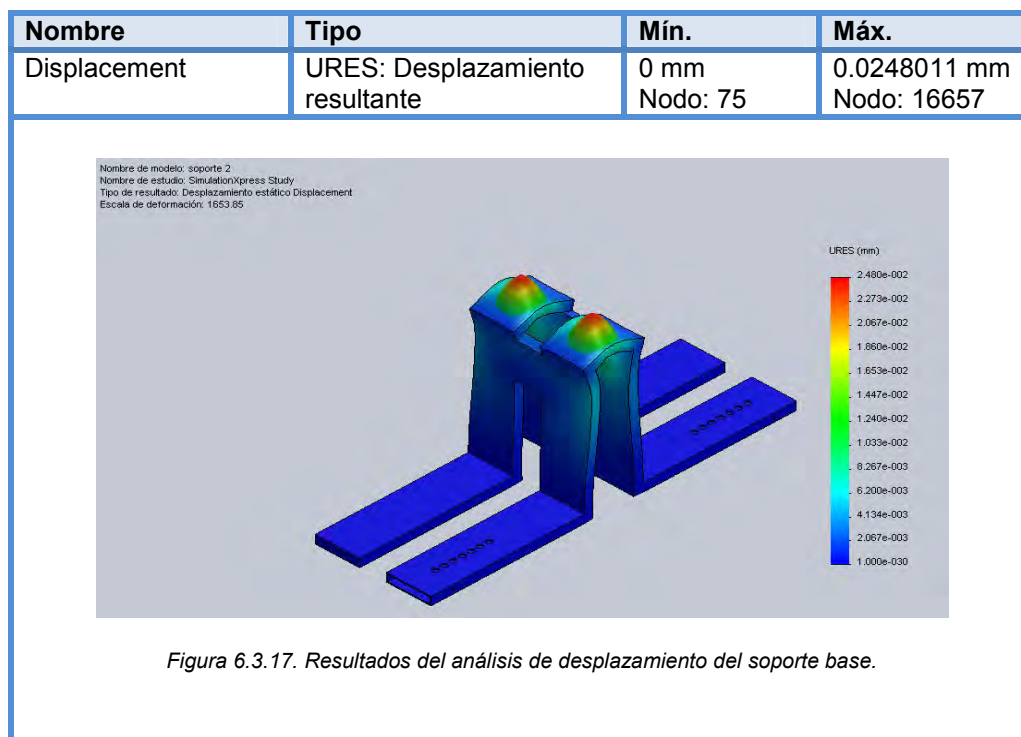
Análisis de von Mises. En la tabla que se encuentra en la parte superior de la figura se observan cuantificados los esfuerzos mínimos y máximos a los que está sometido el soporte. Se puede observar el canal no sobrepasa su límite de elasticidad (Figura 6.3.16).



## 6. Prototipo Virtual

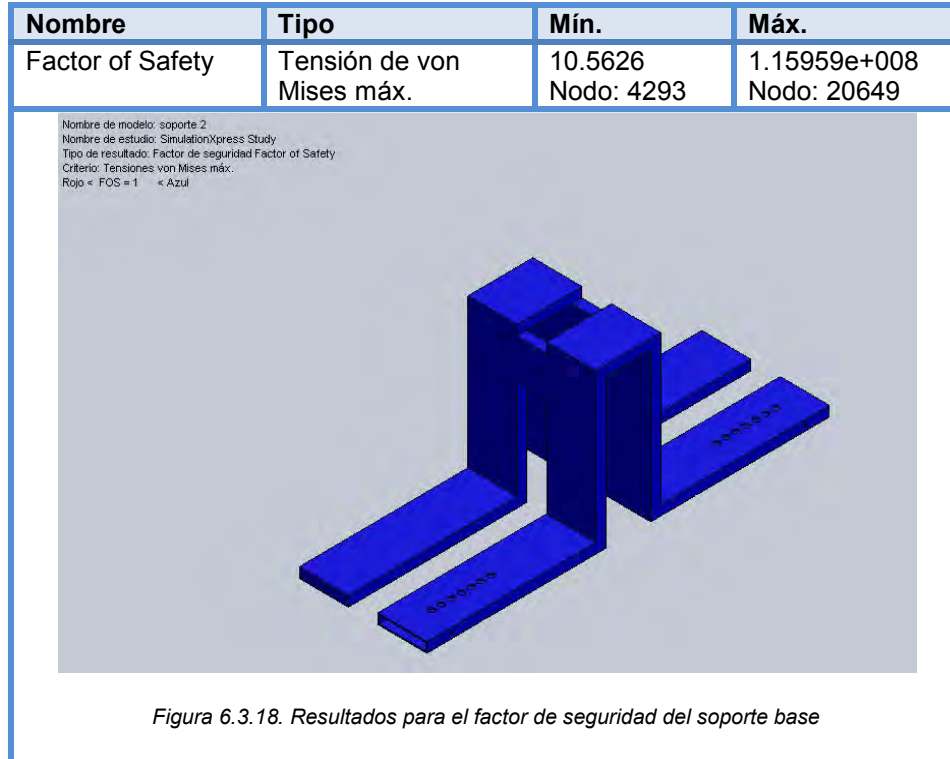


Desplazamiento. Se puede observar en la tabla y en la figura que el canal para el actuador se deforma de manera mínima (Figura 6.3.17).



## 6. Prototipo Virtual

Factor de seguridad. Se comprueba la fiabilidad de la pieza en cuestión, se observa que la estructura resulta factible ya que el factor de seguridad mínimo es de 10.5626. Se muestra en la tabla de la siguiente imagen los valores encontrados para el factor de seguridad en la estructura en cuestión (Figura 6.3.18).



Por los resultados obtenidos se concluye que el canal de contacto con el actuador es fiable para que el actuador aplique una fuerza en esta para levantar el soporte de sujeción con la silla y el pasajero abordo.

### 6.3.4. Análisis estructural para el soporte para el eje

Esta pieza es uno de los puntos de apoyo para el sistema de sujeción, se utilizan dos de estas piezas una frente a otra unidas y a través de ellas se ensambla el eje y queda fijo a ella mediante una cuña, a su vez, estas soportes están unidos mediante tornillos a la guía la cual se desliza por las parrillas laterales. Siendo una pieza en la que se soporta la estructura es necesario realizar un análisis para determinar si resulta viable la propuesta de diseño (Figura 6.3.19).

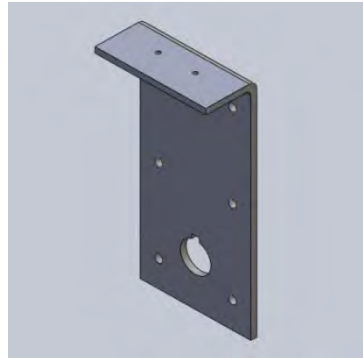


Figura 6.3.19. Soporte para el eje.

Pasos a realizar:

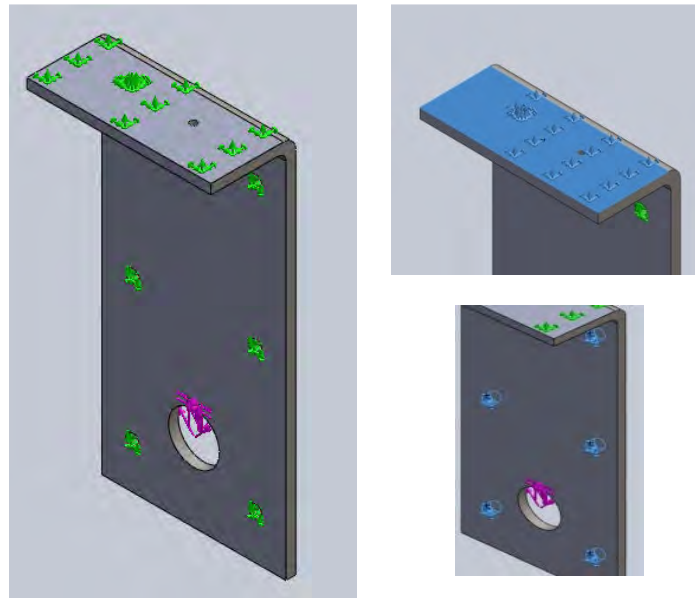


Figura 6.3.20. Se observan las sujeciones del soporte para el eje además de las cargas.

## 6. Prototipo Virtual

1. Se definen las sujeciones. Se consideran como superficies de sujeción la cara en la que se encuentra apoyado el soporte con la guía, también los barrenos de la cara en la que está en contacto con el otro soporte idéntico tomando en cuenta que está unida con este mediante tornillos. Se observan en las imágenes de azul las partes que se seleccionaron como sujeción (Figura 6.3.20).

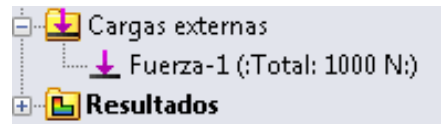
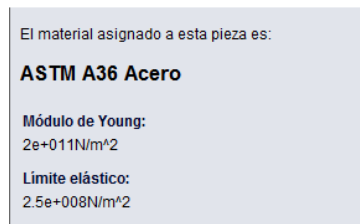


Figura 6.3.21. Se observa donde son aplicadas las cargas.

2. Se definen las cargas, se considera que la carga queda aplicada en la parte en la cual va ensamblado el eje y la cuña. Se realiza el análisis para una carga de 1000 N, muy excedida para la carga a la que estará expuesta la pieza, aunque se considera está carga como máximo si quedará todo el peso sobre esta pieza únicamente en algún momento. En la imagen 6.3.21 se muestra en azul la parte donde es aplicada la carga que también aparece en la figura 6.3.20 en morado.
3. Se selecciona el material, el cual es acero estructural A36.



En la figura 6.3.22, se muestra el mallado del soporte para el eje.

## 6. Prototipo Virtual

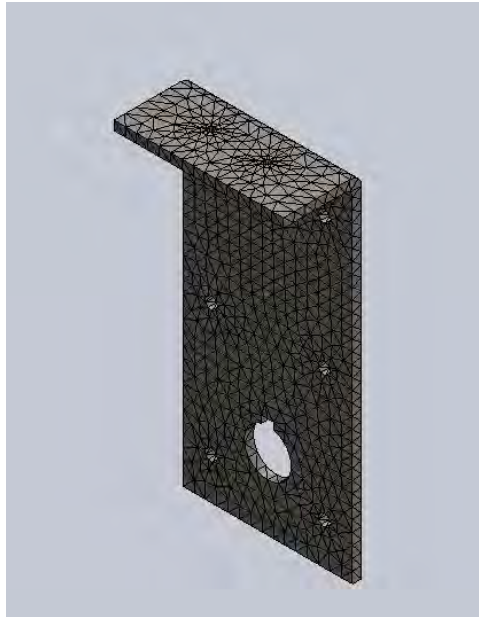


Figura 6.3.22. Mallado del soporte para el eje.

### Resultados del estudio

Análisis de von Mises. Este análisis muestra en gradiente de colores los esfuerzos a los que está sometido la estructura, se observa que el soporte para no excede el límite elástico, en la tabla que se encuentra en la parte superior de la figura se observan cuantificados los esfuerzos mínimos y máximos a los que está sometido la estructura (Figura 6.3.23).

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Stress	VON: Tensión de von Mises	2.67665 N/m <sup>2</sup> Nodo: 135	6.12321e+006 N/m <sup>2</sup> Nodo: 3756

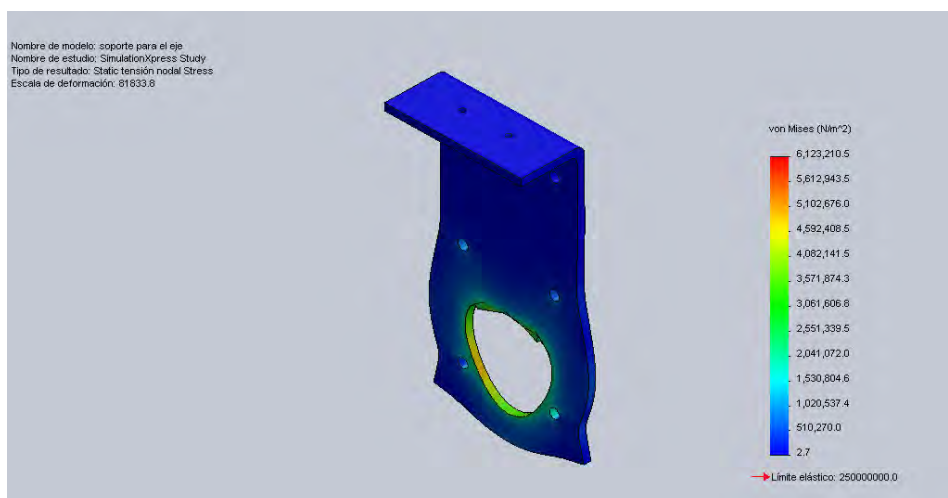
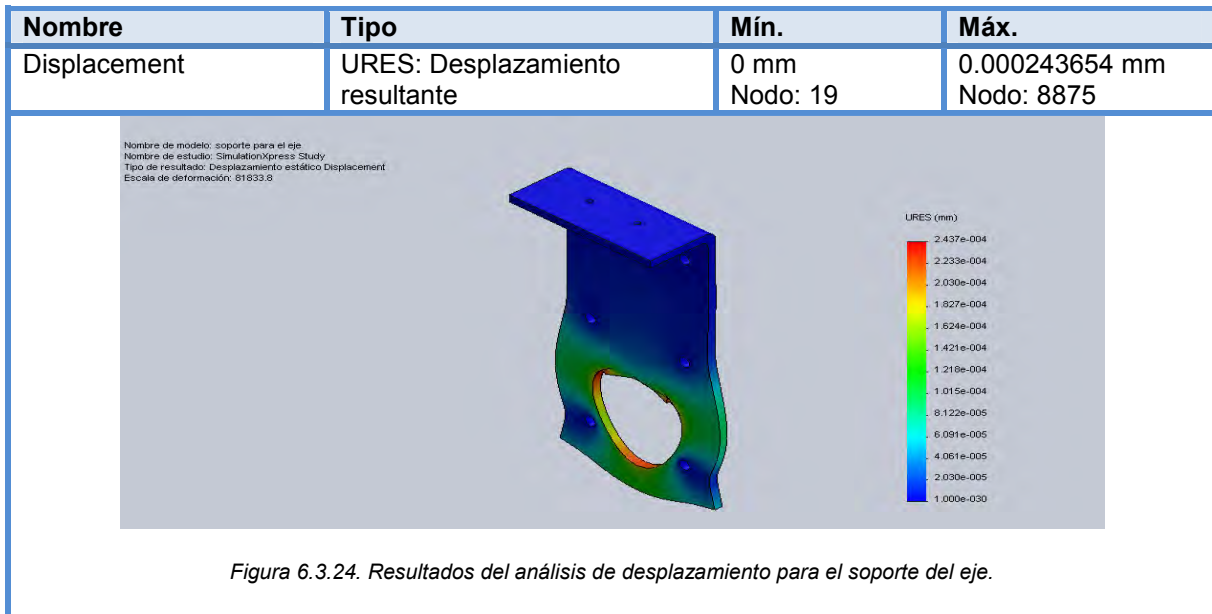


Figura 6.3.23. Resultados del análisis de Von Mises del soporte para el eje.

## 6. Prototipo Virtual

Desplazamiento. Se muestra en la tabla de imagen la deformación máxima que sufre la estructura, la cual es muy pequeña y esta se presenta en el punto más crítico de la pieza que es donde se encuentra apoyado el eje, además se recuerda que está excedida la carga con la que se está realizando el análisis por lo que la deformación que sufre se considera despreciable (Figura 6.3.24).



Factor de seguridad. Se observa la fiabilidad de la pieza en cuestión, se observa que la estructura resulta factible ya el factor de seguridad mínimo resulta muy elevado, siendo el mínimo que presenta la pieza de 40.8283 (Figura 6.3.25).





## 6. Prototipo Virtual

Según los resultados que arroja el estudio, la pieza resulta muy confiable ante las cargas a las que está sometida ya que el estudio se realizó con una carga excedida y a pesar de ello los resultados mostrados en las tablas anteriores resultan estar por debajo de los valores críticos. Para el análisis de Von Mises el esfuerzo máximo al que se encuentra sometido es  $6.12321 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup> y su límite elástico es de  $2.5 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>, también resulta con un factor de seguridad muy alto por lo cual se considera factible para la aplicación que se le quiere dar.

### 6.4. Lista de componentes

La siguiente tabla (Tabla 6.4.1) muestra la cantidad de elementos que se requieren para ensamblar el prototipo propuesto, además de anexar el costo, peso unitario y total; con la intención de aproximar estos dos.

Tabla 6.4.1. Tabla de listado de elementos, con su aproximado en precio y peso

#	Elemento	Peso Unitario [gr]	Peso Total [gr]	Costo Unitario [M.N.]	Costo total [M.N.]
1	Chasis	16564.91	16564.91	289.85	289.85
4	Engrane de oruga	1849.80	7398	360.80	1444.2
2	Engrane de 24 dientes	610.62	1221.24	119.10	238.2
2	Engrane de 10 dientes	33.56	67.12	9.82	19.64
2	Engrane de 20 dientes	163.87	327.74	38.35	76.7
2	Engrane de 12 dientes	50.55	101.1	14.78	49.56
2	Engrane de 38 dientes	627.44	1254.88	122.38	244.76
2	Guía de oruga	126.76	253.52	29.66	59.32
2	Eje de Corona- 10 dientes	463.03	925.06	4.25	8.5
2	Eje de 24- 12 dientes	387.15	774.3	2.86	5.72
2	Eje de 38 dientes- Engrane oruga	872.55	1745.1	5.54	11.08
2	Eje de arrastre	716.67	1433.34	4.51	9.02
2	Eje de guía	359.00	718	3.92	7.84
4	Cuña para el engrane de 15 dientes	10.14	40.56	2.32	9.28
6	Cuña grande	6.18	37.08	1.87	11.22
6	Cuña chica	3.96	23.76	1.52	9.12
1	Cuña de parrilla	4.02	4.02	1.65	1.65
2	Soporte de Rodamientos	1113.01	2226.02	15.19	30.38
2	Sinfin	173.71	347.42	101.64	203.28
2	Soporte del sinfin	790.26	1580.52	11.91	23.82
2	Soporte Base	3288.7	6577.4	119.24	238.48
2	Canal Exterior	645.83	1291.66	56.28	112.57
1	Soporte Intermedio	1066.87	1066.87	72.64	72.64
4	Canal de Rampa	92.56	370.24	6.65	26.63
1	Eje de la Parrilla	775	775	7	7
2	Soporte para Eje	699.47	1398.94	15.89	31.79
2	Rampa	214.99	429.98	24.15	48.29
1	Guía	302.81	302.81	12.64	12.64
2	Cara Variable	30.32	60.64	1	2
2	Guía para sujetar la Silla	120.01	240.02	3.25	6.51

## 6. Prototipo Virtual

1	Lamina para el actuador	159.61	159.61	5.34	5.34
1	Actuador Lineal	2000	2000	484.54	484.54
22	Baleros con Soporte de chapa de acero	238	5236	52.42	1153.24
2	Batería	6000	12000	2,521.04	5042.08
2	Controlador	860	1720	828.59	1657.18
2	Motor	2600	5200	2,992.53	5985.05
2	Oruga	6800	13600	3850.00	7700
34	Seguros E	2.86	97.24	5	175
1	Atmega 328			71.55	71.55
1	GAL22V10			17.24	17.24
1	Cristal Oscilador			11.00	11.00
2	Capacitores de 22 [pF]			2.00	4.00
1	Capacitor 100 [uF]			2.00	2.00
7	Resistencias			0.20	1.40
6	Push Botton			2.00	12.00
2	Relevadores			23.27	46.54
4	Tip122			7.76	31.04
4	Diodos 1004			2.03	8.12
1	Sensor de inclinación			193.95	193.95
3	Placas fenólicas (100mm x 100mm)			11.50	34.50
<b>Total</b>			<b>89570.1[gr]</b>		<b>\$25947.46</b>

La propuesta desarrollada en esta tesis para un dispositivo que sea adaptable a sillas de ruedas comerciales, para permitir el desplazamiento en piso normal y en escaleras se considera viable para implementar físicamente ya que su diseño se realizó fundamentado en los requerimientos que fueron obtenidos directamente de algunos usuarios de silla de ruedas, mediante una encuesta diseñada basada previamente en los dispositivos existentes en el mercado y de las necesidades que se supusieron se podrían tener.

Se desarrollo el diseño a detalle de los sistemas que involucra el dispositivo adaptable, dando con esto un fundamento de que la realización de este se manufacture y con un diseño simple, lo cual se logra satisfactoriamente. Esto es importante, ya que la simpleza le permite que esta tenga menores inconvenientes a la hora de implementarlo, costearlo y repararlo.

A pesar de tener requerimientos que no fueron logrados copletamente y otros requieren un trabajo a futuro. , ejemplo de esto es la velocidad variable, ya que la los usuarios querían que fuera a la velocidad de la camita humana (4 km/hr) sin embargo variar esa velocidad daría como resultado un rango muy pequeño, por lo que descarta este. Se propone como una mejora futura de la tesis.

Otro requerimiento que es parcialmente cumplido es el del precio, debido a que solo se aproxima el de materiales, sin tomar en cuenta costos de manufactura, diseño entre otros. Sin embargo este es alentador por su precio y también pensando que este precio es el de un prototipo.

Sin embargo la mayoría de los requerimientos se cumple y en casi todos de manera completamente satisfactoria, ejemplo de esto como lo es la adaptabilidad a las sillas de ruedas; la capacidad que tiene para desplazarse en planos, estas con algunos de los requisitos que logran dentro del proyecto.

Existen en el mercado dispositivos a los que se les puede adaptar una silla de ruedas convencional, pero no se encontró ninguno de este tipo que sea capaz de darle autonomía al usuario mientras sube las escaleras, todos los encontrados requieren de una tercera persona para que el usuario de la silla logre librar las escaleras; además de que la propuesta presentada en este trabajo permite que el usuario no desmonte la silla del dispositivo para desplazarse en piso normal, si él lo requiere puede dejar la silla montada en el dispositivo y de esta manera desplazarse con mayor autonomía ya sea en piso normal o en escaleras, mediante el control manual el usuario puede decidir la acción a realizar. En lo anterior radica la innovación del dispositivo en cuestión ya que presenta una variante con respecto a los dispositivos ya existentes.

A pesar de las grandes virtudes del trabajo quedan elementos a definir completamente, como lo son la parte de cableado y la sujeción completa de los elementos, los cuales se sujetan al adaptarse con la manufactura.

La propuesta de este dispositivo hace una aportación para las personas con discapacidad motriz y logra ayudarles para su libertad de movimiento, el proyecto realizado es muy prometedor pero requiere de una investigación más especializada y a fondo para ver que tan factible puede ser, dado a que como se observó en la experiencia adquirida se observan grandes diferencias entre los mismos grupos de personas con capacidades diferentes entre los diferentes países y estados. Por lo cual se requiere de una proyección para el sector nacional.

Con todos los puntos en contra y a favor que tiene el desarrollo realizado, se logró el objetivo propuesto, como se observa, el proyecto mismo era de un amplio desarrollo para concluirlo este

debido a los requerimientos de diseño del dispositivo. Así mismo este trabajo se puede tomar como base para trabajos posteriores que deseen mejorar el diseño, implementación, ampliar o renovar el dispositivo.

Existen elementos que pueden mejorarse con un estudio más afinado como sería el sistema de transmisión y el propiamente el mando del usuario que puede diseñarse para ser más ergonómico, fácil y familiar para el usuario. Inclusive se puede pensar en incursionar en tecnologías que amplíen la gama de usuarios, como podría ser el uso de voz para comandar esta. A pesar de que la mayoría de los encuestados no están familiarizados con la tecnología, les entusiasma la idea de contar con un dispositivo de estas características.

Como trabajo futuro se podría desarrollar un sistema antivolcaduras, que no se ha considerado en este trabajo, lo cual es de suma importancia para la seguridad del usuario pero se considera de muy amplio como para tratar en esta tesis.

Otro elemento que podría ser mejorado es la oruga misma, la oruga utilizada es una oruga de maquinaria pesada siendo la más ligera y de menores prestaciones encontradas en una serie de catálogos, con esto ya mencionado se puede dar cuenta que está sobre excedido y se podría realizar un diseño para ésta, tanto en la parte de materiales como de la forma más adecuada de la huella para el uso urbano.

- [1] <http://www.ibotnow.com/> , julio 2011.
- [2] Quy-Hung Vu, Byeong-Sang Kim and Jae-Bok Song, "Autonomous Stair Climbing Algorithm for a Small Four-Tracked Robot", International Conference on Control, Automation and Systems 2008, Jct. 14-17, 2008 in COEX, Seoul, Korea.
- [3] Pinhas Ben-Tzvi, Shingo Ito, and Andrew A. Goldenberg, "Autonomous Stair Climbing with Reconfigurable Tracked Mobile Robot", ROSE 2007 - IEEE International Workshop on Robotic and Sensors Environments, Ottawa - Canada, 12-13 October 2007.
- [4] Chun-Ta Chen and Hoang-Vuong Pham, "Enhanced Development and Stability Analysis of a New Stair-Climbing Robotic Wheelchair", IEEE International Conference on Advanced Robotics and its Social Impacts, Taipei, Taiwan, Aug. 23-25, 2008.
- [5] Behnam Miripour, Climbing and walking robots. "A Fuzzy Control Based Stair-Climbing Service Robot" Ming-Shyan Wang.
- [6] R. Morales, V. Feliu, A. González and P. Pintado, "Coordinated Motion of a New Staircase Climbing Wheelchair with Increased Passenger Comfort", Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Orlando, Florida - May 2006.
- [7] Markus Eich, Felix Grimminger and Freak Kirchner, "A Versatile Stair-Climbing Robot for Search and Rescue Applications", proceedings of the 2008 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, Sendai, Japan, October 2008.
- [8] <http://www.disabledinfo.co.uk/dis/1598-all-terrain-4x4-wheelchairs.asp>, julio 2011.
- [9] <http://img1.cdn.tradejob.net/Y201101M458pdf1222176lgen/Unlimited+Wheelchair.pdf>, julio 2011.
- [10] <http://www.grupodorados.com/articulos-productos-salvaescaleras/51/sillas-y-orugas-moviles/orugas-salvaescaleras/oruga-dorados-top-chair.html>, julio 2011.
- [11] <http://www.orthoscooter.com/es/subeescalera-salva-escalera/liftkar-2-sube-escalera.html>, julio 2011.
- [12] <http://www.orthoscooter.com/es/subeescalera-salva-escalera/oruga-sube-escalera-lg-2004-2.html>, julio 2011.
- [13] <http://www.lacachava.net/PaginaAuxiliar~x~Sube-Escaleras-Portatil-ORUGA-SHERPA-N902~IDPaginaAuxiliar~22.html>, julio 2011.
- [14] <http://www.creacionesvilber.com/accesibilidad/plataforma-elevadora-petr-64/>, julio 2011.
- [15] <http://www.multielevacion.com/admin/productos/STC-FSTC-F.pdf>, julio 2011.
- [16] <http://fox.presidencia.gob.mx/archivos/5/6/8/7/1/files/archivos/sip-6771.pdf>, julio 2011.
- [17] Gonzales Salinas, Silvia, "Aplicación del TRIZ para el diseño de una silla de ruedas geriátrica", [pág. 41].
- [18] [http://www.construmatica.com/construpedia/Escaleras#Tipos\\_de\\_Escaleras](http://www.construmatica.com/construpedia/Escaleras#Tipos_de_Escaleras), julio 2011.

[19] *Manual de autoconstrucción, Manos a la Obra por el Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, Capítulo 13: Escaleras.*

[20] [http://www.lohmed.com/products.php?id\\_menu=9&&id\\_submenu1=25](http://www.lohmed.com/products.php?id_menu=9&&id_submenu1=25), julio 2011.

[21] [http://www.lohmed.com/products.php?id\\_menu=9&&id\\_submenu1=25](http://www.lohmed.com/products.php?id_menu=9&&id_submenu1=25), julio 2011.

[22] Jiménez Guerrero, José Manuel. “Dispositivo par que una silla de ruedas pueda subir y bajar un escalón”.

[23] **Dieter, George E. Schmidt, Linda C.** Engineering design. McGraw-Hill, 4ª Edición.

[24] Faires, Virgil Moring. Diseño de Elementos de Máquinas, 4ta Edición.

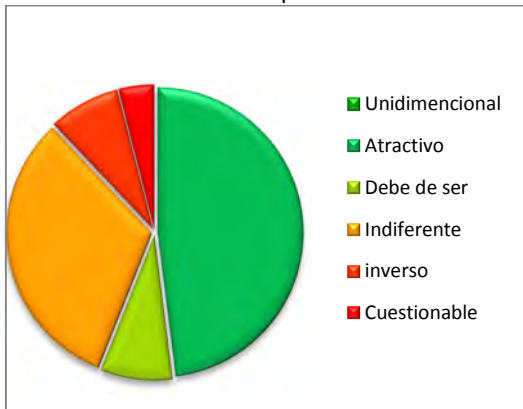
[25] Shigley, Joseph Edward & Mitchell, Larry D. “Diseño en ingeniería mecánica”. 4ta Edición.

[26] <http://www.metalesdiaz.com/>, diciembre 2011.

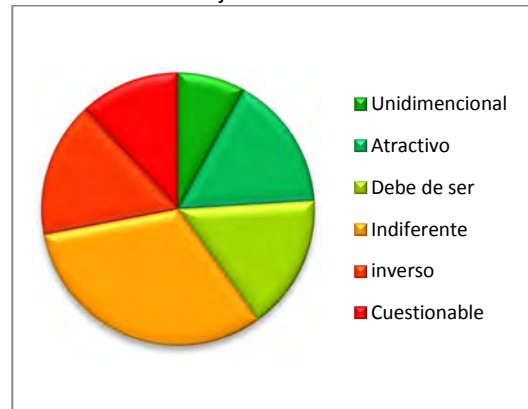
[27] Robert L. Mott. “Diseño de elementos de máquinas”. Pearson, 4ta Edición.



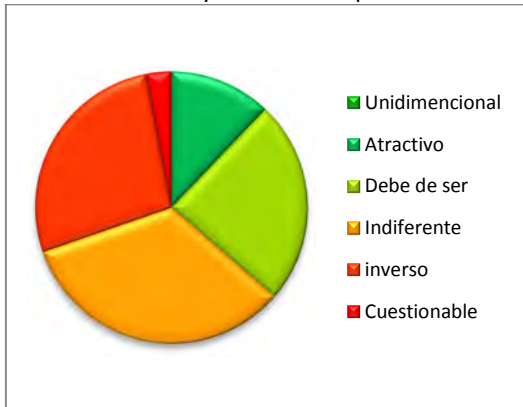
A. Sistema adaptable a la silla



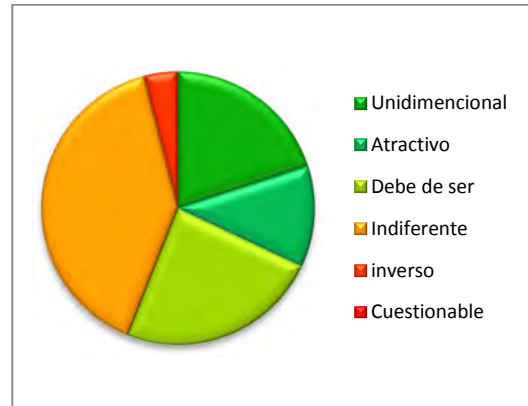
D. Manejo Táctil



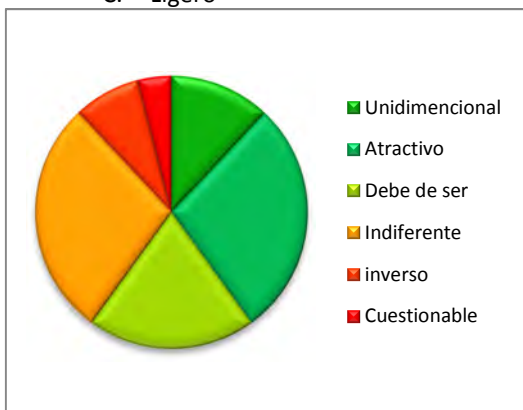
B. Sin ayuda de otras personas



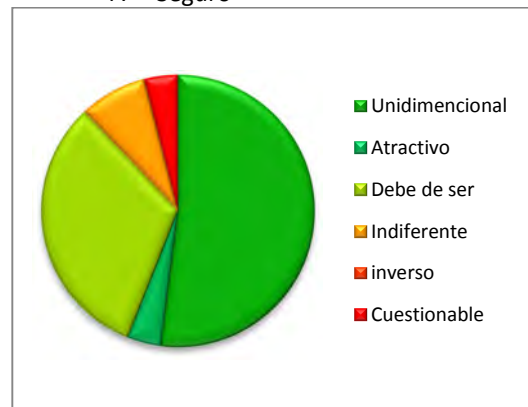
E. Económico



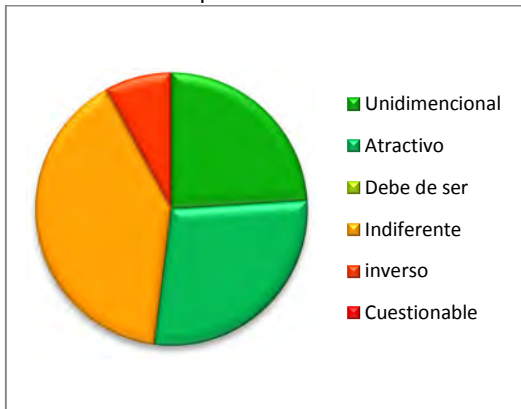
C. Ligero



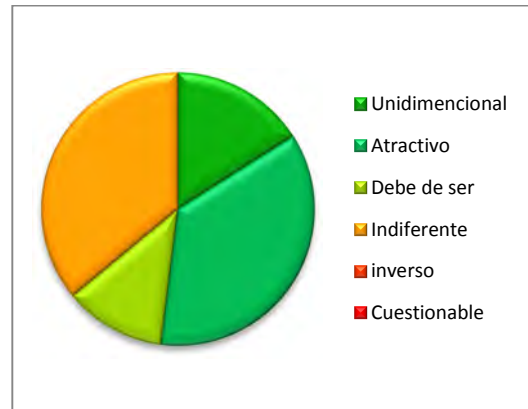
F. Seguro



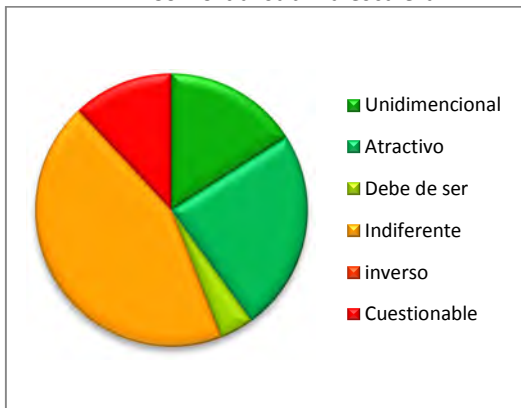
G. Compensación de la inclinación



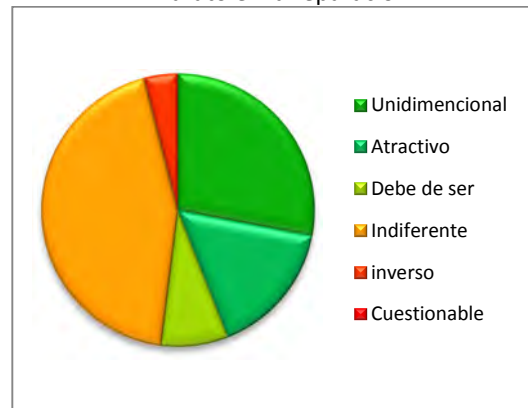
J. Silencioso



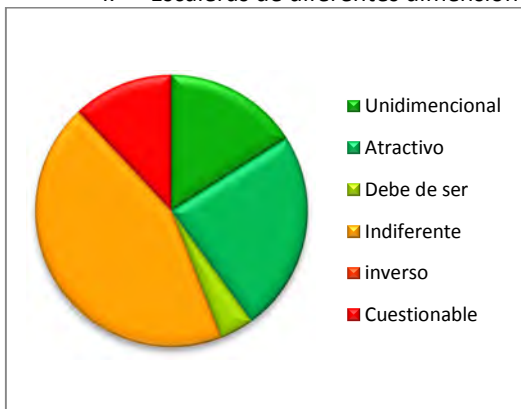
H. Confort al subir la escalera



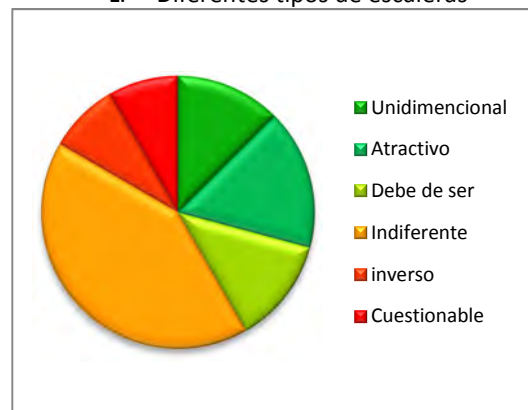
K. Barato en la reparación



I. Escaleras de diferentes dimensiones



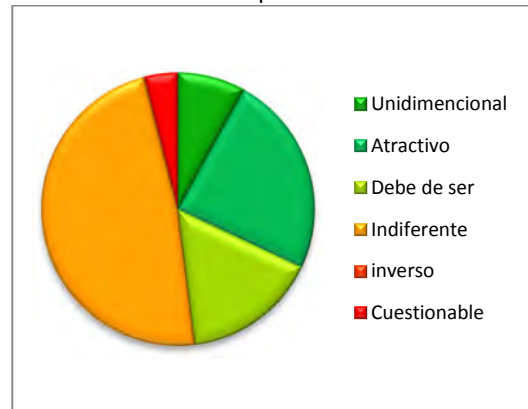
L. Diferentes tipos de escaleras



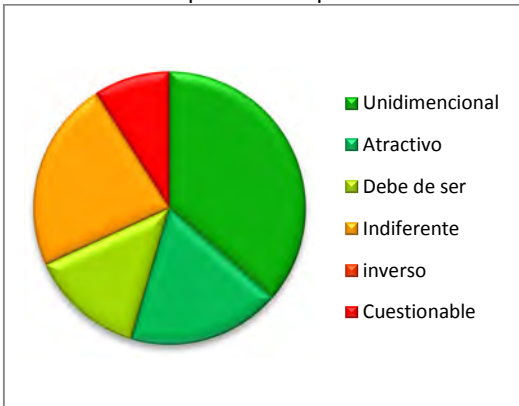
M. Rápido de reparar



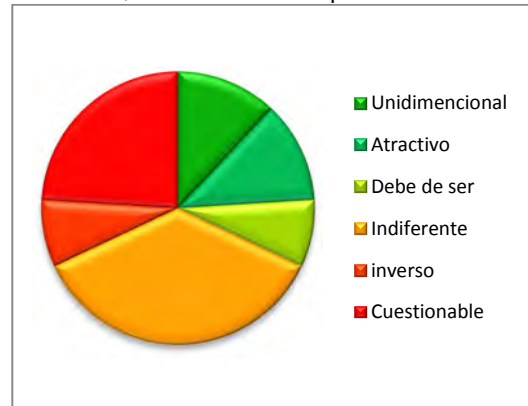
P. Fácil de operar



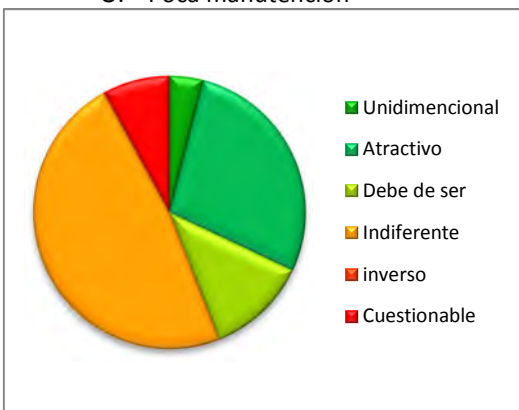
N. Desplazarse en planos



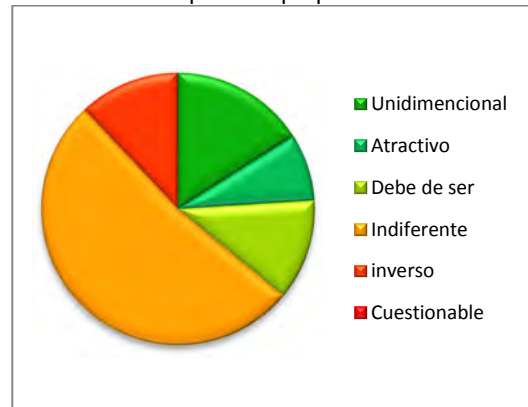
Q. Diferentes discapacidades



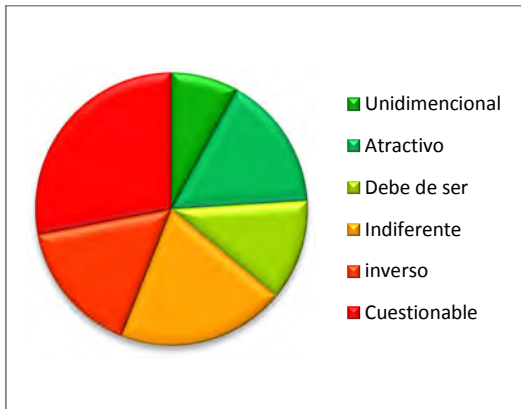
O. Poca manutención



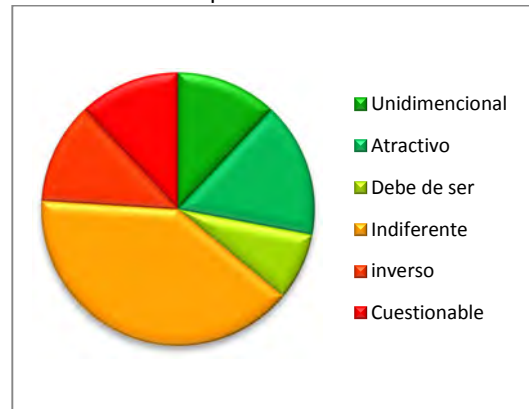
R. Dispositivo pequeño



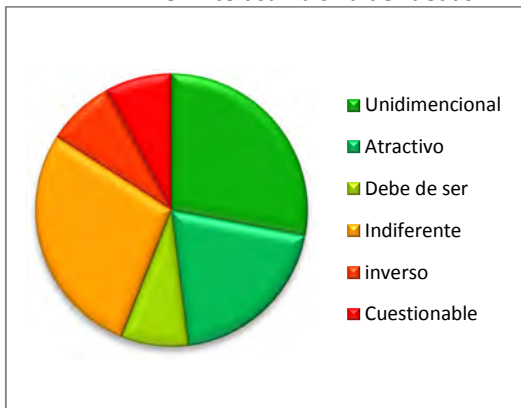
S. Velocidad a la caminata humana



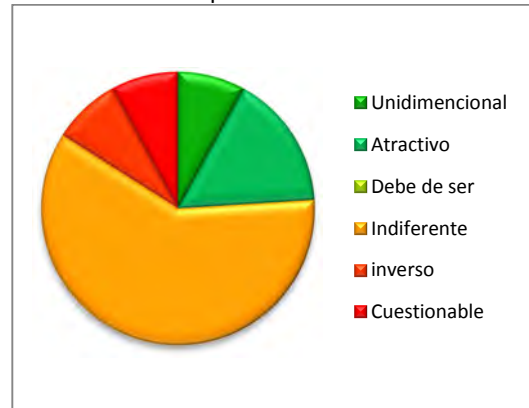
V. Tiempo de autonomía considerable



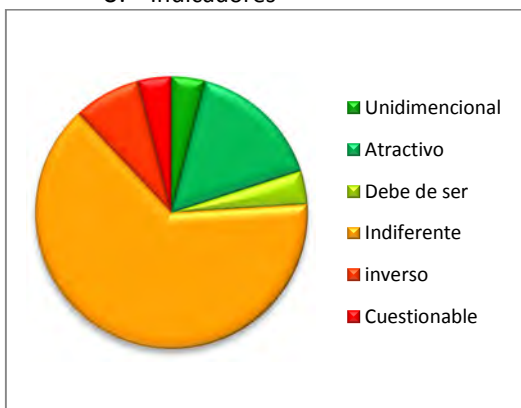
T. Permite usar la silla de ruedas



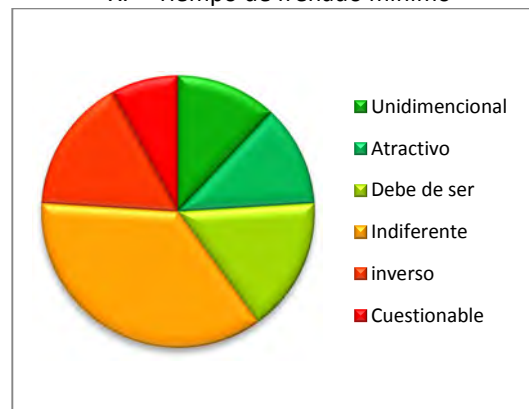
W. Tiempo de activación mínimo



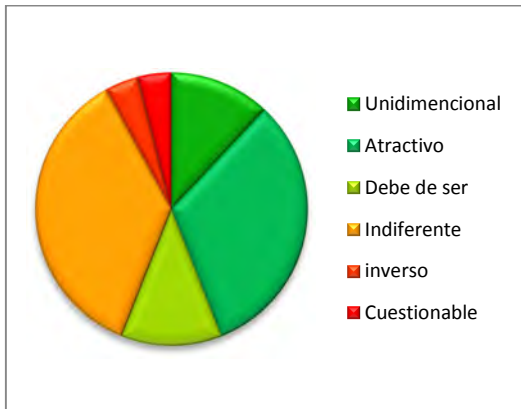
U. Indicadores



X. Tiempo de frenado mínimo



Y. Velocidad Variable



A continuación se muestra el programa para el microcontrolador Arduino, el cual está realizado en base a las salidas del controlador para los motores, el programa es congruente con el diagrama de flujo y con el diagrama de estados. Se relacionan algunas rutinas mediante colores con el diagrama de flujo para mejor comprensión del mismo. El programa consta de 5 partes esencialmente las cuales se desglosan en el programa.

```
volatile int escalera= LOW; //Bandera para enviar a la subrutina encargada de subir o bajar la
escalera
volatile int edo3 = LOW;//edo 3, edo 4 y edo5 son banderas auxiliares que se utilizan en la rutina de
desplazamiento en escaleras para asignarle un estado a cada acción, están tiene congruencia con
el diagrama de estados que se muestra en la figura f...
volatile int edo4 = LOW ;
volatile int edo5 = LOW;
volatile int r1;//Bandera para indicar el estado de la salida del motor derecho
volatile int r2;//Bandera para indicar el estado de la salida del motor izquierdo
volatile int move=LOW;//Bandera que se prende después de que se aprieta algún botón de
dirección
int P1=13; //bit más significativo de la salida del gal
int P2=12;
int P3=8; // bit menos significativo de la salida del gal
int sinc= 4; //sensor de inclinación
int red1= 11;//Salida al motor derecho
int pwm1= 10;//Señal de pwm para ambos motores
int red2= 9;
int actlins1= 5;//Salida 1 para el puente h del actuador lineal
int actlins2= 3;//Salida 2 para el puente h del actuador lineal
int n= 0;// Variable que interviene en la subrutina para subir o bajar para que el dispositivo avance
durante 1s después de que el dispositivo comienza a inclinarse
int i= 0;//Variable auxiliar para acelerar o desacelerar
void setup();//Se declaran los pines como entradas o salidas

{

  pinMode(13,INPUT);
  pinMode(12,INPUT);
  pinMode(8,INPUT);
  pinMode(11,OUTPUT);
  pinMode(10,OUTPUT);
  pinMode(9,OUTPUT);
  pinMode(6,OUTPUT);
  pinMode(5,OUTPUT);
  pinMode(3,OUTPUT);
}
```



// Parte 1. Está relacionado con los botones de dirección, según el botón que se apriete se cumple una condición para las salidas del GAL, esta condición la asocia a las salidas de los motores con su respectivo estado para que se cumpla la acción asociada al botón.

```
void loop()
```

```
{  
  Adelante {  
    if (digitalRead(P1) == LOW && digitalRead(P2) == LOW && digitalRead(P3) ==  
        HIGH && move == LOW)  
    {  
      move= HIGH;  
      r1= LOW;  
      r2= LOW;  
    }  
  }  
  Atrás {  
    else if (digitalRead(P1) == LOW && digitalRead(P2) ==HIGH &&  
             digitalRead(P3) ==LOW && move == LOW)  
    {  
      move= HIGH;  
      r1= HIGH;  
      r2= HIGH;  
    }  
  }  
  Derecha {  
    else if (digitalRead(P1) == LOW && digitalRead(P2) == HIGH &&  
             digitalRead(P3)==HIGH && move == LOW)  
    {  
      move= HIGH;  
      r1= LOW;  
      r2= HIGH;  
    }  
  }  
  Izquierda {  
    else if (digitalRead(P1) == HIGH && digitalRead(P2) == LOW &&  
             digitalRead(P3) == LOW && move == LOW)  
    {  
      move= HIGH;  
      r1= HIGH;  
      r2= LOW;  
    }  
  }  
}
```

// Parte 2. Rutina de movimiento, esta rutina toma los valores asociados a las salidas del motor que se le asignaron. Esta rutina está encargada de acelerar el dispositivo de 0 hasta su máxima velocidad en 1s y de mantenerlo en movimiento hasta que el usuario deje de apretar alguno de los botones de dirección.

**Movimiento**

```
else if(move == HIGH && (digitalRead(P1) == HIGH || digitalRead(P2) == HIGH || digitalRead(P3) == HIGH))
{
    if(i<255)
    {
        delay(10);
        i=i+1;
        analogWrite(pwm1,i);
        digitalWrite(red1,r1);
        digitalWrite(red2,r2);
    }
    else if(i==255)
    {
        analogWrite(pwm1,255);
        digitalWrite(red1,r1);
        digitalWrite(red2,r2);
    }
}
```

//Parte 3. Esta parte se encarga de frenar el dispositivo de la velocidad a la que esté hasta 0.

**Frenado**

```
else if(move= HIGH && digitalRead(P1) == LOW && digitalRead(P2) == LOW && digitalRead(P3) == LOW) //Si la bandera move está encendida quiere decir que el usuario apreto un botón al soltarlo entra a esta rutina
{
    if(i<=255 && i>0)
    {
        delay(10);
        i=i-1;
        analogWrite(pwm1,i);
        digitalWrite(red1,r1);
        digitalWrite(red2,r2);
    }
    else if(i==0)
    {
        move=LOW;
        analogWrite(pwm1,0);
        digitalWrite(red1,LOW);
        digitalWrite(red2,LOW);
    }
}
```

//Parte 4. Está relacionada con los botones encargados de desplazamiento en escalera, si el usuario desea subir o bajar se prende una bandera llamada “escalera”, esta bandera está encargada de que el programa entre en una subrutina que hace que el dispositivo se desplace por la escalera y compense el ángulo de la horizontal. Dependiendo del botón que sea se le asignan valores a las salidas del motor que serán tomados en la subrutina de escaleras.

```
Subir { else if (digitalRead(P1) == HIGH && digitalRead(P2) == LOW &&
        { digitalRead(P3) == HIGH)
          {
            escalera = HIGH;
            r1= LOW;
            r2= LOW;
          }
        }

Bajar { else if (digitalRead(P1) == HIGH && digitalRead(P2) == HIGH &&
        { digitalRead(P3) == LOW)
          {
            escalera = HIGH;
            r1= HIGH;
            r2= HIGH;
          }
        }
```

**//Parte 5. Subrutina de escaleras,** en esta se encuentra por estados lo descrito en el diagrama de estados (Figura F5.2.4), esta rutina finaliza hasta que la escalera y regresa al pasajero a su posición.

```
else if (escalera == HIGH)
{
    if (digitalRead(sinc) == HIGH && edo4 == LOW)
    {
        if(n<100) // Estado 2
        {
            edo3 = HIGH;
            n= n + 1;
            delay(10);
            //avanza
            digitalWrite(red1,r1);
            digitalWrite(red2,r2);
            analogWrite(pwm1,255);

            digitalWrite(actlins1,HIGH);
            digitalWrite(actlins2,LOW);
        }
        Else // Estado 3
        {
            //n=300
```

```
    analogWrite(pwm1,0);
    digitalWrite(actlins1,HIGH);
    digitalWrite(actlins2,LOW);
  }
}
else if (digitalRead(sinc) == HIGH && edo4 == HIGH) // Estado 5
{
  edo5 = HIGH;

  digitalWrite(actlins1,LOW);
  digitalWrite(actlins2,HIGH);

  //detener motores

  if(i<=255 && i>0)
  {
    delay(30);
    i=i-1;
    analogWrite(pwm1,i);
    digitalWrite(red1,r1);
    digitalWrite(red2,r2);
  }
  else if(i==0)
  {

    analogWrite(pwm1,0);
    digitalWrite(red1,r1);
    digitalWrite(red2,r2);
  }

}
else if(digitalRead(sinc) == LOW)
{
  if(edo3 == LOW) //Estado 1
  {
    //avanzar
    digitalWrite(red1,r1);
    digitalWrite(red2,r2);
    analogWrite(pwm1,255);
    digitalWrite(actlins1,LOW);
    digitalWrite(actlins2,LOW);
  }
  else if(edo3 == HIGH && edo5 == LOW) // Estado 4
  {
    //avanzar
    edo4 = HIGH;
    i=255;
    digitalWrite(red1,r1);
    digitalWrite(red2,r2);
    analogWrite(pwm1,255);
    digitalWrite(actlins1,LOW);
    digitalWrite(actlins2,LOW);

  }
}
```

```
    else if(edo5 == HIGH) // Estado 6
    {
    digitalWrite(actlins2,LOW);
    digitalWrite(red1,r1);
    digitalWrite(red2,r2);
        if(i<=255 && i>0)
        {
        delay(10);
        i=i-1;
        analogWrite(pwm1,i);

        }
    else if(i==0)
    {

    analogWrite(pwm1,0);
        n= 0;
        edo3 = LOW;
        edo4 = LOW;
        edo5 = LOW;
        escalera = LOW;
    }
    }
}
```

**//Aquí termina la subrutina escaleras**

```
else
{
    analogWrite(pwm1,0);
}
}
```

## Formato del cuestionario

Nombre \_\_\_\_\_ Edad \_\_\_\_\_  
 Ocupación \_\_\_\_\_ Discapacidad \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** El siguiente cuestionario esta realizado para determinar el nivel de aceptación de un individuo a fin a un producto que permita subir-bajar escaleras. Se debe de responder que es lo que le haría sentir si el dispositivo tuviera la cualidad descrita en el enunciado. Las respuestas marcan diferentes grados de captación, usar la más aproximada a lo que le haga sentir la cualidad evaluada.

No	Pregunta	Respuesta
1	Si existiera un dispositivo fuera adaptable a las sillas convencionales	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
2	Si el dispositivo necesitara de una persona externa para operarlo	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
3	Si el dispositivo es ligero	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
4	Si el dispositivo se maneja mediante algo táctil (ejemplo: botones, palancas, joystick, etc.)	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
5	Pensando que el dispositivo fuera de elevado precio (arriba de 70 mil pesos mexicanos)	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
6	Si el sistema no es completamente seguro	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
7	Si el dispositivo te hiciera sentir la inclinación de la escalera	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
8	Si el dispositivo maneja algún sistema de tracción el cual haga que sientas pequeñas caídas en las escaleras (ejemplo: ruedas)	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
9	Si el sistema solo se adapta a una escalera con dimensiones específicas	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
10	El dispositivo llega a ser muy ruidoso	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
11	Si llega a tener algún desperfecto es muy caro repararlo	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
12	Solo sube escaleras rectas y no con curvaturas como las de	a) Me gusta b) Es necesario



## Apéndice D

	caracol	c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
13	Si llega a tener algún desperfecto se tarda mucho tiempo en reparar	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
14	El sistema también te permite desplazarte por lugares planos	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
15	Si el sistema requiere de constantes servicios de mantenimiento ( engrasado, cambio de piezas desechables, etc)	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
16	Si fuera difícil de operar	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
17	Si solo fuera hecho para personas con una afección en especial	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
18	Si el sistema fuera pequeño en sus dimensiones ( aproximadamente 1/3 de lo que es la silla)	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
19	Si el producto fuera a velocidades menores o igual a la caminata humana	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
20	Si el sistema también pudiera permitir usar la silla de ruedas de manera normal	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
21	Si el sistema se adapta a una escalera con diferentes dimensiones	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
22	Pensando que el sistema tuviera indicadores lumínicos y sonoros como los de un automóvil ( direccionales, intermitentes, claxon)	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
23	Si el dispositivo maneja algún sistema de tracción el cual haga que no sientas pequeñas caídas en las escaleras (ejemplo: oruga)	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
24	Si fuera autónomo de alguna manera (baterías , motor a gasolina) y el tiempo autonomía fuera corto ( un par de horas)	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
25	Si el sistema fuera rápido (1 minuto máximo) en accionarse para subir o bajar las escaleras	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
26	El dispositivo es silencioso	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo

## Apéndice D

		e) No lo tolero
<b>27</b>	Si el sistema se tardara poco en frenar	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>28</b>	Si el dispositivo se maneja mediante algo no táctil (ejemplo: voz, interfaz ocular, inclinándose, etc)	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>29</b>	El sistema no te permite desplazarte por lugares planos	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>30</b>	Si el sistema requiere de pocos servicios de manutención ( engrasado, cambio de piezas desechables, etc.)	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>31</b>	Pensando que el sistema no tuviera indicadores lumínicos y sonoros como los de un automóvil ( direccionales, intermitentes, claxon)	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>32</b>	Si existiera un dispositivo que fuera independiente a las sillas convencionales (ejemplo: una especie de diablito o otra silla de ruedas especial)	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>33</b>	Si fuera autónomo de alguna manera (baterías , motor a gasolina) y el tiempo de autonomía fuera grande ( aproximadamente unas 8 horas)	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>34</b>	Pensando que el dispositivo fuera de precio moderado (menos de 70 mil pesos mexicanos)	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>35</b>	Si el dispositivo te evitara sentir la inclinación de la escalera	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>36</b>	Si llega a tener algún desperfecto es muy barato repararlo	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>37</b>	Si el sistema es completamente seguro	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>38</b>	Sube escaleras de todo tipo no importa si son rectas, de caracol, o demás	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>39</b>	Si el dispositivo no necesitara de una persona externa para operarlo	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>40</b>	Si el sistema fuera grande en sus dimensiones ( aproximadamente $\frac{3}{4}$ de lo que es la silla)	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero

## Apéndice D

<b>41</b>	Si el dispositivo no es ligero	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>42</b>	Si se pudiera variar la velocidad	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>43</b>	Si el producto fuera a velocidades mayores a la caminata humana	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>44</b>	Si el sistema fuera muy lento (1 a 4 minutos) en accionarse para subir o bajar las escaleras	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>45</b>	Si fuera fácil de operar	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>46</b>	Si el sistema se tardará mucho en frenar	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>47</b>	Si solo fuera hecho para personas con diferentes afecciones en especial	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>48</b>	Si el sistema no pudiera permitir usar la silla de ruedas de manera normal	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>49</b>	Si llega a tener algún desperfecto se tarda poco tiempo en reparar	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero
<b>50</b>	Si no se pudiera variar la velocidad	a) Me gusta b) Es necesario c) Me da igual d) No me gusta, pero puedo tolerarlo e) No lo tolero

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Formato de Evaluación

Para evaluar el cuestionario se agrupa la respuesta de las preguntas relacionadas a la funcionalidad o disfuncionalidad del requerimiento evaluado, y con ellas se va a la siguiente tabla relacionando estas respuestas, determinando la evaluación del requerimiento.

Disfuncional						
Funcional		a) Me gusta	b) Es necesario	c) Me da igual	d) No me gusta, ...	e) No lo tolero
	a) Me gusta	Cuestionable	Atractivo	Atractivo	Atractivo	Unidimensional
	b) Es necesario	Inverso	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Debe de ser
	c) Me da igual	Inverso	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Debe de ser
	d) No me gusta, ...	Inverso	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Debe de ser
	e) No lo tolero	Inverso	Inverso	Inverso	Inverso	Cuestionable

Fig. 1. Cuadro de apoyo

Usando la pregunta acerca de si es ligero o no ligero podemos realizar un ejemplo de cómo usar el cuadro de apoyo, suponiendo que en la pregunta 3, si es ligero el producto, se contesta a) me gusta y en la pregunta 41, si no es ligero, se contesta e) no lo tolero; haciendo la relación columna y fila llegamos a que ese requerimiento debe de ser unidimensional.

Así esto se tiene que marcar en la tabla siguiente donde se evalúan cada uno de los requerimientos. Llenándolo de la siguiente forma

Requerimiento	Pregunta		Nivel de afinidad					
	Funcional	Disfuncional	Unidimensional	Atractivo	Debe de ser	Indiferente	Inverso	Cuestionable
Sistema adaptable a la silla	1) A	32) B	X					
Sin ayuda de otras personas	2) C	39) A			X			
Ligero	3) C	41) A					X	
Manejo Táctil	4) B	28) D		X				
Económico	34)	5)						
Seguro	37)	6)						
Compensación de la inclinación	35)	7)						
Confort al subir la escalera	23)	8)						
Escaleras de diferentes dimensiones	21)	9)						
Silencioso	26)	10)						
Barato en la reparación	36)	11)						

Fig. 2. Ejemplo de tabla de evaluación

Tabla de evaluación

Requerimiento	Pregunta		Nivel de afinidad					
	Funcional	Disfuncional	Unidimensional	Atractivo	Debe de ser	Indiferente	Inverso	Cuestionable
Sistema adaptable a la silla	1)	32)						
Sin ayuda de otras personas	2)	39)						
Ligero	3)	41)						
Manejo Táctil	4)	28)						
Económico	34)	5)						
Seguro	37)	6)						
Compensación de la inclinación	35)	7)						
Confort al subir la escalera	23)	8)						
Escaleras de diferentes dimensiones	21)	9)						
Silencioso	26)	10)						
Barato en la reparación	36)	11)						
Diferentes tipos de escaleras	38)	12)						
Rápido de reparar	49)	13)						
Desplazarse en planos	14)	29)						
Poca manutención	30)	15)						
Fácil de operar	45)	16)						
Diferentes discapacidades	47)	17)						
Dispositivo pequeño	18)	40)						
Velocidad a la caminata humana	19)	43)						
Permite usar la silla de ruedas	20)	48)						
Indicadores	22)	31)						
Tiempo de autonomía considerable	33)	24)						
Tiempo de activación mínimo	25)	44)						
Tiempo de frenado mínimo	27)	46)						
Velocidad Variable	42)	50)						

**Metodología de ponderación**

Para determinar los pesos de cada criterio usaremos una metodología denominada de ponderación en la cual se genera una tabla de n+1 por n+1 elementos, donde el número n corresponde al número de rublos o criterios de evaluación, se ponen cada uno de los rublos en la primera fila (horizontal) y la primera columna (vertical) de la siguiente forma (Tabla e.1).

Tabla e.1 Tabla para utilizar la metodología de ponderación donde se toman en cuenta los criterios de evaluación, se puede apreciar como es el acomodo de los criterios.

	I.-Complejidad	II.-Cantidad de de	III.-Dificultad	IV.- Costo de de	V.- Costo de de	VI.- Dificultad	VII.-	VIII.- Confort	IX.- Confort al	X.- Costo de U.	XI.- Máxima	XII.- Cantidad	XIII.- Espacio	XIV.-Forma del
I.- Complejidad														
II.-Cantidad de P.														
III.-Dificultad de D.														
IV.- Costo de las P.														
V.- Costo de M.														
VI.- Dificultad de M.														
VII.- Seguridad														
VIII.- Confort al D. en E.														
IX.- Confort al D. en P.														
X.- Costo de U.														
XI.- Máxima Carga														
XII.- Cantidad de Ac.														
XIII.- Espacio Aprox.														
XIV.-Forma del Mec.														

El orden en cómo se acomodan cada punto de evaluación debe ser el mismo en cada uno, tanto de derecha a izquierda y de arriba abajo, tomando en cuenta como punto de partida

la primera celda (la cual queda vacía). Después de esto se puede marcar la diagonal principal, preferentemente es mejor marcarla pues no se usa, ya que compara los criterios con su igual (Tabla e.2).

Tabla e.2 Se muestra como tiene que quedar la diagonal en la tabla de método de ponderación, en donde se compara el mismo criterio.

	I.-Complejidad D.	II.-Cantidad de P.	III.-Dificultad de D.	IV.- Costo de las P.	V.- Costo de M.	VI.- Dificultad de M.	VII.- Seguridad	VIII.- Confort al D. en E.	IX.- Confort al D. en P.	X.- Costo de U.	XI.- Máxima Carga
I.-Complejidad D.											
II.-Cantidad de P.											
III.-Dificultad de D.											
IV.- Costo de las P.											
V.- Costo de M.											
VI.- Dificultad de M.											
VII.- Seguridad											
VIII.- Confort al D. en E.											
IX.- Confort al D. en P.											
X.- Costo de U.											
XI.- Máxima Carga											

La base de esta metodología es fácil pues consta de una evaluación muy sencilla, solo existen dos parámetros 1 y 0. El "1" quiere decir que el criterio horizontal es más importante que el vertical y el "0" quiere decir que el criterio horizontal es de menos importancia que el vertical (Tabla e.3).

Tabla e.3. Ejemplifica el modo de evaluación de los criterios.

	I.-Complejidad D.	II.-Cantidad de P.	III.-Dificultad de D.	IV.- Costo de las P.	V.- Costo de M.	VI.- Dificultad de M.	VII.- Seguridad	VIII.- Confort al D. en E.	IX.- Confort al D. en P.	X.- Costo de U.	XI.- Máxima Carga
I.-Complejidad D.											
II.-Cantidad de P.											
III.-Dificultad de D.											
IV.- Costo de las P.											
V.- Costo de M.											
VI.- Dificultad de M.											
VII.- Seguridad		1									
VIII.- Confort al D. en E.											
IX.- Confort al D. en P.							0				
X.- Costo de U.											
XI.- Máxima Carga											

Una de las cosas más interesantes de esta metodología es que solo basta con llenar uno de los triángulos de la tabla sea la superior o la inferior. Esto dado a que son complementarios, es decir que la comparación se repite al revés, pensemos en que comparamos el punto A (horizontal) con el punto B (vertical) ya que el punto a es más importante ponemos un uno, pero en alguna parte de la tabla encontramos la comparación inversa punto B (horizontal) con el punto A (vertical) ya que en la anterior resultado ser uno, en este caso será su complementario un cero por que el punto A importa más (Tabla e.4).



Tabla e.4 Se observa la simetría en la tabla.

	I.-Complejidad D.	II.-Cantidad de P.	III.-Dificultad de D.	IV.- Costo de las P.	V.- Costo de M.	VI.- Dificultad de M.	VII.- Seguridad	VIII.- Confort al D. en P.	IX.- Confort al D. en E.	X.- Costo de U.	XI.- Máxima Carga
I.-Complejidad D.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
II.-Cantidad de P.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
III.-Dificultad de D.	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
IV.- Costo de las P.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
V.- Costo de M.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
VI.- Dificultad de M.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
VII.- Seguridad	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
VIII.- Confort al D. en P.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
IX.- Confort al D. en E.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
X.- Costo de U.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
XI.- Máxima Carga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Ya para determinar el peso de cada uno de los criterios se suman todos los puntos (Tabla e.5).

Tabla e.5 Se observa cómo se suman los puntos de cada uno de los criterios de evaluación.

	I.-Complejidad D.	II.-Cantidad de P.	III.-Dificultad de D.	IV.- Costo de las P.	V.- Costo de M.	VI.- Dificultad de M.	VII.- Seguridad	VIII.- Confort al D. en P.	IX.- Confort al D. en E.	X.- Costo de U.	XI.- Máxima Carga	Total
I.-Complejidad D.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
II.-Cantidad de P.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
III.-Dificultad de D.	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
IV.- Costo de las P.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
V.- Costo de M.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5
VI.- Dificultad de M.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5
VII.- Seguridad	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5
VIII.- Confort al D. en P.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5
IX.- Confort al D. en E.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6
X.- Costo de U.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5
XI.- Máxima Carga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7
Total de puntos												57

Después de esto se iguala a un factor que representa el 100%, este puede ser 1, 10, 100 u otro. Esto solo repercute en la proporción del número de la evaluación de las propuestas. Ya igualado el total de puntos del 100% se determina el valor de cada uno en proporción con el total. Y para corroborar que este es lo correcto la suma de los pesos corresponde al del factor de cien 100% (Tabla e.6).

Tabla e.6 Se observa el factor de peso obtenido de cada uno de los criterios.

	I.-Complejidad D.	II.-Cantidad de P.	III.-Dificultad de D.	IV.- Costo de las P.	V.- Costo de M.	VI.- Dificultad de M.	VII.- Seguridad	VIII.- Confort al D. en P.	IX.- Confort al D. en E.	X.- Costo de U.	XI.- Máxima Carga	Total	Factor de peso
I.-Complejidad D.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0.175
II.-Cantidad de P.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
III.-Dificultad de D.	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.088
IV.- Costo de las P.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	0.088
V.- Costo de M.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	0.07
VI.- Dificultad de M.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5	0.088
VII.- Seguridad	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0.088
VIII.- Confort al D. en P.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	0.088
IX.- Confort al D. en E.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6	0.105
X.- Costo de U.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5	0.088
XI.- Máxima Carga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	0.122
Total de puntos												57	1