



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DESMONTABLE  
PARA FACILITAR LA MOVILIDAD DE PERSONAS CON  
CAPACIDADES ESPECIALES HACIA EL INTERIOR Y  
EXTERIOR DE LOS VEHÍCULOS TIPO SEDAN UTILIZADOS EN  
AFAPECH - RIOBAMBA”**

**IANNI MERA ANGELO SALVATTORE**  
**LOOR SOLÓRZANO EDGAR JAVIER**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**Previa a la obtención del Título de:**  
**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2019**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2018-10-23

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

**IANNI MERA ANGELO SALVATTORE**

---

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DESMONTABLE PARA  
FACILITAR LA MOVILIDAD DE PERSONAS CON CAPACIDADES  
ESPECIALES HACIA EL INTERIOR Y EXTERIOR DE LOS VEHÍCULOS  
TIPO SEDAN UTILIZADOS EN AFAPECH - RIOBAMBA”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**



---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



---

Ing. Edison Patricio Abarca Pérez  
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



---

Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas  
MIEMBRO TRABAJO DE TITULACIÓN

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2018-10-23

Yo recomiendo que el trabajo de titulación preparado por:

**LOOR SOLÓRZANO EDGAR JAVIER**

---

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DESMONTABLE PARA  
FACILITAR LA MOVILIDAD DE PERSONAS CON CAPACIDADES  
ESPECIALES HACIA EL INTERIOR Y EXTERIOR DE LOS VEHÍCULOS  
TIPO SEDAN UTILIZADOS EN AFAPECH - RIOBAMBA”**

Sea aceptada como total complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**



---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



---

Ing. Edison Patricio Atarés Pérez  
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



---

Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas  
MIEMBRO TRABAJO DE TITULACIÓN

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

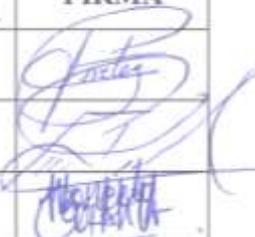
## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** IANNI MERA ANGELO SALVATTORE

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DESMONTABLE PARA FACILITAR LA MOVILIDAD DE PERSONAS CON CAPACIDADES ESPECIALES HACIA EL INTERIOR Y EXTERIOR DE LOS VEHÍCULOS TIPO SEDAN UTILIZADOS EN AFAPECH - RIOBAMBA”

**Fecha de Examinación:** 2019-06-28

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>	✓		
Ing. Edison Patricio Abarca Pérez <b>DIRECTOR</b>	✓		
Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas <b>MIEMBRO</b>	✓		

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

  
\_\_\_\_\_  
Ing. José Francisco Pérez Fiallos  
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** LOOR SOLÓRZANO EDGAR JAVIER

**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DESMONTABLE PARA FACILITAR LA MOVILIDAD DE PERSONAS CON CAPACIDADES ESPECIALES HACIA EL INTERIOR Y EXTERIOR DE LOS VEHÍCULOS TIPO SEDAN UTILIZADOS EN AFAPECH - RIOBAMBA”

**Fecha de Examinación:** 2019-06-28

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

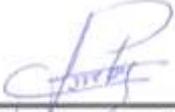
COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>	✓		
Ing. Edison Patricio Abarca Pérez <b>DIRECTOR</b>	✓		
Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas <b>MIEMBRO</b>	✓		

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

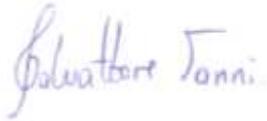
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

  
\_\_\_\_\_  
Ing. José Francisco Pérez Fiallos  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de titulación denominado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DESMONTABLE PARA FACILITAR LA MOVILIDAD DE PERSONAS CON CAPACIDADES ESPECIALES HACIA EL INTERIOR Y EXTERIOR DE LOS VEHÍCULOS TIPO SEDAN UTILIZADOS EN AFAPECH - RIOBAMBA”** que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación técnica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



---

Ianni Mera Angelo Salvattore

Cédula de Identidad: 131072448-7



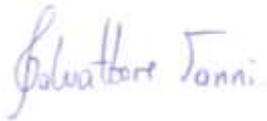
---

Loor Solórzano Edgar Javier

Cédula de Identidad: 080390644-5

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Ianni Mera Angelo Salvattore y Loor Solórzano Edgar Javier, declaramos que el presente trabajo presentado es de nuestra autoría y los resultados alcanzados en los diferentes análisis son auténticos y son únicos en cuanto al estudio realizado en el presente trabajo. En la parte investigativa se utilizaron textos y figuras de varios autores los cuales han sido referenciados y citados correctamente. Somos conscientes del hecho de no respetar derechos de autoría y hacer plagio, por lo tanto, asumimos con gran responsabilidad de cualquier irregularidad presentada por el incumplimiento de lo declarado.



---

Ianni Mera Angelo Salvattore

Cédula de Identidad: 131072448-7



---

Loor Solórzano Edgar Javier

Cédula de Identidad: 080390644-5

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de titulación:

A Dios, por ser el pilar fundamental en mi vida, ser el guía en mi camino y llenarme de salud, valentía y sabiduría para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres, Janeth y Edwarg, por su amor incondicional, paciencia y sacrificio para brindarme una excelente educación. Por inculcarme principios y valores para llevar una vida de bien.

A mis hermanas, Bianca y Fiorella y a mi sobrino Enzo por estar siempre a mi lado, por cuidarme demostrándome su cariño y brindando apoyo en todo momento.

**Ianni Mera Angelo Salvattore**

Dedicado para mis padres y hermanos. Gracias por todo.

**Loor Solórzano Edgar Javier**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Mecánica y a la Carrera de Ingeniería Automotriz por los conocimientos impartidos.

A todos mis queridos familiares que estuvieron a mi lado animándome a luchar para alcanzar mis metas, en especial a mis abuelitas Emiliana y Argentina, a mi tía Digna, a mi tío Humberto, por todo el apoyo espiritual, emocional y económico brindado durante todos estos años de estudio.

A todas las personas que me abrieron sus puertas y que influyeron positivamente en mi formación académica.

**Ianni Mera Angelo Salvattore**

Agradezco al Arquitecto de la vida por su gran sabiduría.

A mi padre, José, por su constante apoyo incondicional. A mi madre, María, por su infinito amor y las cálidas palabras de aliento que siempre me dan un motivo de seguir adelante. A mi hermano Leonardo y mi hermana Selena, que siempre están ahí, en las buenas en las malas, apoyándome sin pedir nada a cambio. Gracias.

**Loor Solórzano Edgar Javier**

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

	<b>Pág.</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>1. MARCO REFERENCIAL</b> .....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.3. Justificación .....	2
1.3.1. <i>Justificación teórica</i> .....	2
1.3.2. <i>Justificación metodológica</i> .....	2
1.3.3. <i>Justificación práctica</i> .....	3
1.4. Objetivos .....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3
<b>CAPÍTULO II</b> .....	4
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	4
2.1. Personas con discapacidad o capacidades especiales.....	4
2.1.1. <i>Actividades de la vida diaria</i> .....	4
2.2. Grados de discapacidad.....	4
2.2.1. <i>Grado I (0%)</i> .....	5
2.2.2. <i>Grado II (1 a 24%)</i> .....	5
2.2.3. <i>Grado III (25 a 49%)</i> .....	5
2.2.4. <i>Grado IV (50 a 74%)</i> .....	5
2.2.5. <i>Grado V (75% en adelante)</i> .....	5
2.3. Tipos de discapacidad .....	5

2.3.1.	<i>Discapacidad intelectual</i> .....	6
2.3.2.	<i>Discapacidad sensorial</i> .....	6
2.3.3.	<i>Discapacidad psíquica</i> .....	7
2.3.4.	<i>Discapacidad física</i> .....	7
2.4.	La discapacidad en el Ecuador .....	8
2.4.1.	<i>Datos de discapacidad física en el cantón Riobamba</i> .....	9
2.5.	Asociación de Familiares de Personas Excepcionales de Chimborazo.....	9
2.6.	LER .....	10
2.7.	Vehículo tipo sedán.....	11
2.8.	Aceros .....	12
2.8.1.	<i>Acero al carbón y de aleación</i> .....	12
2.8.2.	<i>Acero inoxidable</i> .....	12
2.8.3.	<i>Acero estructural</i> .....	12
2.8.4.	<i>Acero galvanizado</i> .....	12
2.8.5.	<i>Aluminio</i> .....	13
2.9.	Soldadura por arco eléctrico con gas protector y electrodo no consumible .....	13
<b>CAPÍTULO III</b> .....		14
3.	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN</b> .....	14
3.1.	Parámetros de diseño.....	14
3.1.1.	<i>Diseño metodológico del sistema desmontable</i> .....	14
3.1.2.	<i>Requisitos del usuario</i> .....	15
3.1.3.	<i>Funciones del dispositivo</i> .....	15
3.1.4.	<i>Requisitos del diseño</i> .....	15
3.1.5.	<i>Criterios de evaluación</i> .....	16
3.1.6.	<i>Diseños alternativos</i> .....	16
3.1.6.1.	<i>Etapa 1: ensamblaje del dispositivo en el vehículo</i> .....	16
3.1.6.2.	<i>Etapa 2: puesta en marcha</i> .....	17
3.1.6.3.	<i>Etapa 3: recepción</i> .....	20
3.1.6.4.	<i>Etapa 4: traslado de la persona</i> .....	21

3.1.7.	<i>Selección del concepto del diseño óptimo</i> .....	21
3.2.	Selección de los dispositivos que forman parte del equipo.....	22
3.2.1.	<i>Selección del actuador lineal eléctrico</i> .....	22
3.2.2.	<i>Selección del arnés ortopédico</i> .....	24
3.2.3.	<i>Selección de materiales del mecanismo</i> .....	25
3.2.3.1.	<i>Criterios de evaluación para la selección del material</i> .....	25
3.3.	Variables del diseño .....	27
3.3.1.	<i>Variable independiente</i> .....	27
3.3.2.	<i>Variable dependiente</i> .....	27
3.4.	Diseño y análisis del mecanismo .....	27
3.4.1.	<i>Elemento 1: agarre del arnés</i> .....	28
3.4.1.1.	<i>Análisis CAE del agarre del arnés</i> .....	29
3.4.2.	<i>Elemento 2: brazo de conexión del agarre del arnés</i> .....	33
3.4.2.1.	<i>Análisis CAE del brazo de conexión del agarre del arnés</i> .....	34
3.4.3.	<i>Conjunto 1: conector, tubos cuadrados y soporte giratorio</i> .....	37
3.4.3.1.	<i>Elemento 3: Conector de tubos cuadrados y brazo de conexión</i> .....	38
3.4.3.2.	<i>Elemento 4: tubos cuadrados Elemento</i> .....	39
3.4.3.3.	<i>Elemento 5: Soporte de conexión</i> .....	40
3.4.3.4.	<i>Análisis CAE del conjunto de conector, tubos cuadrados y soporte giratorio</i> .....	41
3.4.4.	<i>Conjunto 2: soporte fijo de conexión a las bisagras del automóvil y apoyos</i> .....	44
3.4.4.1.	<i>Elemento 7: soporte fijo de conexión a las bisagras del automóvil</i> .....	45
3.4.4.2.	<i>Elemento 8: Apoyos</i> .....	46
3.4.4.3.	<i>Análisis CAE del conjunto de soporte fijo y apoyos</i> .....	48
3.4.5.	<i>Teoría de falla estática del brazo de conexión del agarre del arnés</i> .....	51
3.5.	Pruebas y funcionamiento .....	53
3.5.1.	<i>Funcionamiento</i> .....	53
3.5.2.	<i>Pruebas</i> .....	54
3.6.	Análisis de resultados.....	55

<b>CAPÍTULO IV</b> .....	57
4. <b>ESTUDIO DE COSTOS</b> .....	57
4.1. Costos directos .....	57
4.2. Costos indirectos .....	57
4.3. VAN .....	58
4.4. TIR .....	59
<b>CONCLUSIONES</b> .....	60
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	61
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-3:</b> Requisitos del usuario.....	15
<b>Tabla 2-3:</b> Especificaciones técnicas del actuador lineal seleccionado L&K LA32.....	24
<b>Tabla 3-3:</b> Precio por Kg de los materiales.....	25
<b>Tabla 4-3:</b> Peso específico de materiales .....	26
<b>Tabla 5-3:</b> Matriz de selección.....	26
<b>Tabla 6-3:</b> Niveles de calidad de malla de elementos octogonales del mallado .....	28
<b>Tabla 7-3:</b> Resultado de la primera prueba de funcionamiento del mecanismo .....	54
<b>Tabla 8-3:</b> Resultado de la segunda prueba de funcionamiento del mecanismo.....	55
<b>Tabla 9-3:</b> Resultado de la tercera prueba de funcionamiento del mecanismo .....	55
<b>Tabla 1-4:</b> Costos directos del proyecto.....	57
<b>Tabla 2-4:</b> Costos indirectos.....	58
<b>Tabla 3-4:</b> Flujos neto de efectivos proyectados .....	58
<b>Tabla 4-4:</b> Resultados del VAN.....	59
<b>Tabla 5-4:</b> Resultados del TIR.....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-2:</b> Persona con discapacidad o capacidades especiales .....	4
<b>Figura 2-2:</b> Niñas con Síndrome de Down .....	6
<b>Figura 3-2:</b> Proceso de enseñanza a persona con discapacidad visual.....	7
<b>Figura 4-2:</b> Trastorno de personalidad.....	7
<b>Figura 5-2:</b> Atleta con discapacidad física.....	8
<b>Figura 6-2:</b> Valores porcentuales de acuerdo al tipo de discapacidad en Ecuador .....	8
<b>Figura 7-2:</b> Valores porcentuales de acuerdo al grado de discapacidad en Ecuador .....	9
<b>Figura 8-2:</b> Valores porcentuales de discapacidad física en Riobamba.....	9
<b>Figura 9-2:</b> Estudiantes de AFAPECH en actividades junto sus familiares .....	10
<b>Figura 10-2:</b> Actividades que producen LPMR .....	11
<b>Figura 11-2:</b> Vehículo sedán.....	11
<b>Figura 1-3:</b> Pasos en el proceso de diseño .....	14
<b>Figura 2-3:</b> Componentes de un sistema hidráulico.....	18
<b>Figura 3-3:</b> Componentes de un sistema neumático .....	19
<b>Figura 4-3:</b> Actuador lineal con sus principales componentes .....	19
<b>Figura 5-3:</b> Posible sujeción del arnés y la persona al mecanismo .....	20

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
<b>Gráfico 1-3:</b> Función secundaria del sistema desmontable.....	16
<b>Gráfico 2-3:</b> Modelo inicial de prueba del soporte regulable .....	17
<b>Gráfico 3-3:</b> Posible posicionamiento del actuador .....	18
<b>Gráfico 4-3:</b> Posible mecanismo para traslado de la persona.....	21
<b>Gráfico 5-3:</b> Modelo inicial del mecanismo.....	21
<b>Gráfico 6-3:</b> Diagrama de cuerpo libre del brazo de conexión del agarre del arnés .....	22
<b>Gráfico 7-3:</b> Diagrama de cuerpo libre de las demás posiciones del mecanismo .....	22
<b>Gráfico 8-3:</b> Arnés de uso ortopédico .....	25
<b>Gráfico 9-3:</b> Valor de calidad promedio de malla.....	28
<b>Gráfico 10-3:</b> Diseño del agarre del arnés.....	29
<b>Gráfico 11-3:</b> Fuerzas de trabajo aplicadas en análisis agarre del arnés.....	30
<b>Gráfico 12-3:</b> Convergencia de valores en el análisis del agarre del arnés.....	30
<b>Gráfico 13-3:</b> Calidad de malla promedio en el análisis del agarre del arnés .....	31
<b>Gráfico 14-3:</b> Deformación total del análisis del agarre del arnés .....	31
<b>Gráfico 15-3:</b> Esfuerzo equivalente del análisis del agarre del arnés .....	32
<b>Gráfico 16-3:</b> Factor de seguridad del diseño del agarre del arnés .....	32
<b>Gráfico 17-3:</b> Diseño del brazo de conexión del agarre del arnés .....	33
<b>Gráfico 18-3:</b> Sección transversal del brazo de conexión del agarre del arnés.....	34
<b>Gráfico 19-3:</b> Fuerzas de trabajo aplicadas en el análisis del brazo de conexión .....	35
<b>Gráfico 20-3:</b> Convergencia de valores en el análisis del brazo de conexión.....	35
<b>Gráfico 21-3:</b> Calidad de malla promedio en el análisis del brazo de conexión.....	36
<b>Gráfico 22-3:</b> Deformación total del análisis del brazo de conexión .....	36
<b>Gráfico 23-3:</b> Esfuerzo equivalente del análisis del brazo de conexión .....	37
<b>Gráfico 24-3:</b> Factor de seguridad del análisis del brazo de conexión.....	37
<b>Gráfico 25-3:</b> Diseño del conjunto de conector, tubos cuadrados y soporte giratorio .....	38
<b>Gráfico 26-3:</b> Diseño del conector del brazo de conexión y tubos cuadrados .....	39
<b>Gráfico 27-3:</b> Diseño del tubo cuadrado superior .....	40
<b>Gráfico 28-3:</b> Diseño del tubo cuadrado inferior .....	40
<b>Gráfico 29-3:</b> Diseño del soporte de conexión.....	41
<b>Gráfico 30-3:</b> Fuerzas de trabajo aplicadas en el análisis del conjunto 1 .....	42
<b>Gráfico 31-3:</b> Convergencia de valores en el análisis del conjunto 1 .....	42
<b>Gráfico 32-3:</b> Calidad de malla promedio en el análisis del conjunto 1 .....	43

<b>Gráfico 33-3:</b> Deformación total del análisis del conjunto 1 .....	43
<b>Gráfico 34-3:</b> Esfuerzo equivalente del análisis del conjunto 1 .....	44
<b>Gráfico 35-3:</b> Factor de seguridad del análisis del conjunto 1 .....	44
<b>Gráfico 36-3:</b> Diseño del conjunto de soporte fijo y apoyos .....	45
<b>Gráfico 37-3:</b> Diseño del soporte fijo de conexión a las bisagras del automóvil.....	46
<b>Gráfico 38-3:</b> Diseño de la corredera y del apoyo ajustable de la bisagra inferior .....	46
<b>Gráfico 39-3:</b> Diseño del apoyo de la parte delantera del marco de la puerta del vehículo .....	47
<b>Gráfico 40-3:</b> Diseño del apoyo de la parte baja del marco y placa de sujeción.....	47
<b>Gráfico 41-3:</b> Fuerzas de trabajo aplicadas en el análisis del conjunto 2 .....	48
<b>Gráfico 42-3:</b> Convergencia de valores en el análisis del conjunto 2 .....	49
<b>Gráfico 43-3:</b> Calidad de malla promedio en el análisis del conjunto 2 .....	49
<b>Gráfico 44-3:</b> Deformación total del análisis del conjunto 2 .....	50
<b>Gráfico 45-3:</b> Esfuerzo equivalente del análisis del conjunto 2.....	50
<b>Gráfico 46-3:</b> Factor de seguridad del análisis del conjunto 2.....	51
<b>Gráfico 47-3:</b> Diagrama de cuerpo libre - viga en voladizo.....	51
<b>Gráfico 48-3:</b> Diagrama de fuerza cortante.....	52
<b>Gráfico 49-3:</b> Diagrama de momento flector .....	52
<b>Gráfico 50-3:</b> Pasos para la instalación del mecanismo.....	54
<b>Gráfico 1-4:</b> Fórmula para cálculo del VAN.....	58
<b>Gráfico 2-4:</b> Fórmula para cálculo del TIR.....	59

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo A</b>	Datos para el cálculo del traslado de fuerzas
<b>Anexo B</b>	Información recolectada durante el proyecto
<b>Anexo C</b>	Construcción del mecanismo
<b>Anexo D</b>	Vehículos usados para la toma de medidas usadas en el diseño
<b>Anexo E</b>	Capturas durante las pruebas de funcionamiento
<b>Anexo F</b>	Catalogo DIPAC de tubos estructurales cuadrados
<b>Anexo G</b>	Catalogo DIPAC de platinas
<b>Anexo H</b>	Planos

## RESUMEN

El presente trabajo se lo realizó con el fin de diseñar y construir un sistema desmontable para facilitar la movilidad de personas discapacitadas de AFAPECH (Asociación de Familiares de Personas Excepcionales de Chimborazo) hacia el interior y exterior en un vehículo tipo sedán, en respuesta al problema de escasos equipos disponibles que faciliten su movilidad hacia el vehículo, y de esta manera disminuir las lesiones por esfuerzos repetitivos en las personas encargadas de realizar dicha actividad. Para lo cual, se identificaron los requerimientos por parte de la asociación los cuales permitieron realizar el diseño de un mecanismo desmontable, con actuador eléctrico con su respectivo módulo de control y mando joystick, apoyado en las bisagras de la puerta del copiloto utilizando un arnés ortopédico. El material seleccionado con el que fue construido el equipo es el acero al carbono ASTM A500. Con la ayuda de un software CAE se validó el diseño mediante análisis de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad para garantizar la fiabilidad del equipo. Se realizaron tres pruebas con personas de diferentes pesos y estaturas en las que los diferentes componentes del sistema no se vieron afectados y funcionaron correctamente sin mostrar anomalías, por otro lado los usuarios reportaron comodidad durante esta etapa. Se puede concluir que este mecanismo puede ser utilizado por personas discapacitadas que posean control del movimiento de su cabeza. Para que este trabajo un mayor alcance con la mayor parte de vehículos, se recomienda diseñar y construir otros tipos de soportes en la bisagra para cada categoría de vehículos.

**PALABRAS CLAVE:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <MOVILIDAD>, <SISTEMA DESMONTABLE>, <CONSTRUCCIÓN>, <DISCAPACIDAD>, <VEHÍCULO SEDÁN>, <ARNÉS ORTOPÉDICO>, <SILLA DE RUEDAS >.

**REVISADO**

2<sup>º</sup> JUN 2019

Ing. Jhonatan Parreño Usillos, MBA  
(ANALISTA DE BIBLIOTECA 1)

## ABSTRACT

This work was carried out in order to design and build a removable system to facilitate the mobility of disabled people of AFAPECH (Association of Relatives of Exceptional Persons of Chimborazo) to the interior and exterior in a sedan type vehicle, in response to the problem of scarce available equipment that facilitates their mobility to the vehicle, and in this way to reduce the injuries by repetitive efforts in the persons in charge of carrying out said activity. For which, the requirements were identified by the association which allowed the design of a removable mechanism, with electric actuator with its respective joystick control module, supported on the hinges of the passenger door using an orthopedic harness. The selected material with which the equipment was built is ASTM A500 carbon steel. With the help of CAE software, the design was validated through stress analysis, deformations and safety factors to guarantee the reliability of the equipment. Three tests were carried out with people of different weights and statures in which the different components of the system were not affected and worked correctly without showing anomalies, on the other hand the users reported comfort during this stage. It can be concluded that this mechanism can be used by disabled people who have control of the movement of their head. In order for this work to achieve greater coverage with most vehicles, it is recommended to design and build other types of supports on the hinge for each category of vehicles.

**KEY WORDS:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <MOBILITY>, <REMOVABLE SYSTEM>, <CONSTRUCTION>, <DISABILITY><VEHICLE SEDAN>, <HARNESS ORTHOPEDIC>, <CHAIR OF WHEELS>.



## INTRODUCCIÓN

Para una persona con discapacidad el poder movilizarse con plena libertad muchas veces resulta difícil. Sin importar el tipo o grado de discapacidad que se posea, el no contar con el 100% de algunos de sus sentidos facultativos puede significar que no pueda realizar actividades comunes sin la ayuda de un tercero o de algún equipo especial, lo que conlleva a una dependencia por parte de la persona discapacitada.

Con tal de garantizar una inclusión de las personas con discapacidad, existen algunos centros especializados que brindan asistencia, tanto a las personas con discapacidad como a sus familiares, donde se les enseña a convivir con su discapacidad desde un punto de vista diferente, mostrándoles que su condición nos los hace menos capaces que otros.

Muchos de estos centros a pesar de su buena labor, no cuentan con los equipos necesarios para desarrollar normalmente algunas de sus actividades, realizándolas de una forma ortodoxa y poco práctica.

AFAPECH es un centro integral de cuidados en la ciudad de Riobamba, que brinda varios tipos de servicios de ayuda a personas discapacitadas con un alto grado de movilidad reducida. El hecho de que algunos de ellos arriben diariamente al centro en vehículos particulares, que en su mayoría son modelos tipo sedán, hace que el proceso de bajarlos o subirlos al vehículo sea una tarea extenuante.

Un equipo o mecanismo apropiado para la realización de la tarea mencionada es de vital importancia en este centro, por lo que este trabajo de titulación está enfocado en evaluar, diseñar y construir un mecanismo con las características que se ajusten a las necesidades requeridas. En base a un estudio metodológico inicial se pretende recolectar toda la información necesaria para una culminación exitosa del proyecto, que sienta las bases para futuros trabajos encaminados a ayudar a este grupo de personas.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1. Antecedentes

La discapacidad puede ser un factor que puede reducir en cierta manera las actividades que el individuo es capaz de hacer, es así que una tarea sencilla, como bañarse por sí mismo, cambiarse de ropa, ir al baño, subirse a algún tipo vehículo, etc., requerirá de la ayuda de terceros y hasta de algún tipo sistema o mecanismo para ser realizada. Qué una persona posea algún tipo de discapacidad no debe ser un impedimento para gozar de estilo de vida pleno, sin restricciones.

En el Ecuador según datos del Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades (CONADIS, 2019), existen 460586 personas registradas con algún tipo de discapacidad hasta el mes de mayo; proporcionando de igual manera que en la ciudad de Riobamba actualmente hay registrados 7045 casos de personas con algún tipo de discapacidad.

Por otro lado, en Riobamba se encuentra situada la Asociación de Familiares de Personas Excepcionales de Chimborazo (AFAPECH), quien actualmente brinda ayuda a personas, entre jóvenes y adultos, con discapacidad y movilidad reducida.

El presente trabajo tiene como propósito diseñar y construir un sistema que permita a la persona discapacitada movilizarse desde su silla de ruedas al asiento delantero del copiloto, o viceversa, en vehículos de turismo tres volúmenes o tipo sedán, de forma que el sistema sea desmontable para su facilitar de uso y transporte, a diferencia de otras grúas con carácter de uso hospitalario. De igual manera, al ser un sistema desmontable se reducirá el peso del mismo y su costo de fabricación, esto sin afectar la integridad de la persona que lo utilice.

### 1.2. Planteamiento del problema

En AFAPECH las jornadas de trabajo empiezan por la mañana cuando se observa como algunos familiares llegan acompañando a los estudiantes en sus vehículos, en su mayoría de tipo sedán, para luego cuando arriban a las puertas de la institución se dan a la tarea junto al equipo de enfermeros del lugar, a bajar del vehículo y colocar en la silla de ruedas al familiar con discapacidad, realizando posturas que a simple vista dan a entender el esfuerzo físico que se requiere para completar la tarea, y es que aunque parezca una tarea sencilla, esta actividad puede llevar a producir lesiones de algún tipo en la persona encargada de esto. Y se debe tomar en cuenta que este proceso también se lleva a cabo cuando se sube al vehículo.

Con esto en mente, se ha notado que la disposición de un equipo para la movilidad de los estudiantes al ingresarlos y extraerlos del vehículo es necesaria, con lo que se estaría disminuyendo en gran medida las repercusiones para la salud, ya mencionadas, de las personas encargadas de realizar esta actividad, conocidas en el campo ocupacional como LER (lesión por esfuerzo repetitivo). El sistema al requerir que se lo pueda utilizar en varios vehículos, debe basar su diseño en uno desmontable y de fácil uso, además, debido a los elevados costos en el mercado de sistemas similares, se debe justificar con un coste bajo de fabricación sin que se afecte la calidad del mismo.

### **1.3. Justificación**

#### ***1.3.1. Justificación teórica***

El proceso de realización de este trabajo conllevará la utilización de conceptos ingenieriles para garantizar un resultado de calidad, siguiendo parámetros establecidos tanto en el diseño como en la construcción, de tal manera que se hará uso de un software de diseño y otro de análisis con simulación para conceptualizar el diseño y verificar luego que este cumpla con los parámetros establecidos en la ingeniería de diseño, tales como material, peso, factor de seguridad, concentración de esfuerzos y deformación.

Con este trabajo se pretende dejar sentadas las bases para que se realicen futuros trabajos académicos o investigativos sobre el mismo, ya que su diseño permite que sea acoplable a otros sistemas para funcionar de diversas maneras y en diferentes tareas, y no solo delimitarse al uso que se le pretende dar en este trabajo de titulación.

#### ***1.3.2. Justificación metodológica***

El presente trabajo está enmarcado dentro de un proceso sistemático con el que se da constancia de que el resultado final alcanzara un alto grado de fiabilidad, es por ello que seguir una metodología basada en pasos secuenciales es la base de esta investigación. Es así que comenzando con una investigación bibliográfica se logra recabar la información necesaria para aclarar los puntos más críticos del trabajo a realizarse, para luego de dicha aclaración empezar con el proceso de recolección de datos, tanto de entes involucrados como el entorno de estos.

Con la previa obtención de datos legibles es posible direccionarse hacia el diseño final del mecanismo, que es la parte principal de la investigación realizada con anterioridad. Con un diseño a priori se logrará obtener un modelo base, con el fin de verificar los datos recolectados durante la investigación, que será concebido mediante una impresión en 3D a partir de un material termoplástico, como lo es el ABS. Posterior, luego de las primeras pruebas de campo con dicho modelo, se podrán realizar las respectivas correcciones para modelar el diseño final del mecanismo, que una vez validado mediante pruebas de software CAE, se procederá con su

construcción en metal, para dar inicio a las pruebas de campo finales y así demostrar la fiabilidad del trabajo.

### ***1.3.3. Justificación práctica***

Viendo la necesidad de una mejora en la calidad de vida, tanto de personas en situación de discapacidad como de sus familiares en AFAPECH, esta investigación busca que como resultado final se logre la construcción de un sistema desmontable que ayude en las actividades de movilidad hacia el interior y exterior de un vehículo, disminuyendo los factores negativos que se pueden presentar allí, al realizar estas actividades sin ninguna ayuda extra.

Utilizando un sistema como el descrito es posible eliminar esfuerzos innecesarios por parte de enfermeros o familiares que realizan la constante tarea de bajarlos del vehículo cuando las actividades de la institución comienzan, y luego subirlos cuando estas terminan.

Por otra parte, este trabajo posee las bases para impulsar futuras investigaciones dentro del país, ya que al ser un equipo que no se encuentra dentro del mercado ecuatoriano, podría servir como punto de inicio para el desarrollo algún tipo de emprendimiento dentro del mercado nacional.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

- Diseñar y construir un sistema desmontable mediante los requerimientos de AFAPECH para facilitar la movilidad de personas con capacidades especiales hacia el interior y exterior de los vehículos tipo sedán utilizados en AFAPECH – Riobamba.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Identificar requerimientos y especificaciones técnicas por parte de los usuarios mediante técnicas de recolección de información para definir los criterios de diseño.
- Identificar las posibles alternativas de diseño en función de los requerimientos y especificaciones técnicas.
- Seleccionar la alternativa de diseño más eficiente que se ajuste mejor a las necesidades de los usuarios.
- Modelar el mecanismo, a partir del análisis de factores como peso de los usuarios y espacio disponible en los vehículos, mediante un software CAD.
- Validar el diseño concebido a través simulaciones de software CAE y pruebas de campo para garantizar su fiabilidad.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Personas con discapacidad o capacidades especiales

Según el Reglamento de la Ley Orgánica de Discapacidades (2017, p.3.), con decreto ejecutivo 194 expedido el 27 de octubre de 2017, con constancia en el capítulo 1, artículo primero, define que:

[...] Se entenderá por persona con discapacidad a aquella que, como consecuencia de una o más deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales, con independencia de la causa que la hubiera originado, ve restringida permanentemente su capacidad biológica, psicológica y asociativa para ejercer una o más actividades esenciales de la vida diaria, en una proporción equivalente al treinta por ciento (30%) de discapacidad, debidamente calificada por la autoridad sanitaria nacional.



**Figura 1-2:** Persona con discapacidad o capacidades especiales

Fuente: (Vidaurre, 2013)

##### 2.1.1. Actividades de la vida diaria

Las actividades de la vida diaria (AVD), son actividades que cualquier individuo realiza de forma constante en su día a día, Dentro de estas actividades se puede distinguir las actividades de autocuidado como vestir, comer, aseo personal, evitar riesgos, etc.; así como actividades de comunicación, físicas, sensoriales, manuales, sexuales, de transporte, de sueño sociales y de ocio (Instituto de Migraciones y Servicios Sociales, 2000, p.24).

#### 2.2. Grados de discapacidad

Es posible designar un grado de discapacidad de forma general a partir de la situación en la que se encuentre el individuo para realizar con normalidad las actividades de la vida diaria. Esta designación es aplicable a los diferentes tipos de discapacidades existentes, exceptuando a al tipo de discapacidad intelectual que maneja otro marco de clasificación como se presentará más

adelante, ya que, aunque por muy leve que sea una afección del tipo intelectual supondrá cierta interferencia en realizar cualquier actividad de la vida diaria (Instituto de Migraciones y Servicios Sociales, 2000, pp. 25-26).

#### **2.2.1. Grado I (0%)**

Existe algún tipo de síntoma, secuela o signo, que al ser mínimo no justifica que el individuo no pueda realizar de forma normal las actividades de la vida diaria. Se entiende que el individuo posee una discapacidad nula (Instituto de Migraciones y Servicios Sociales, 2000, pp. 24-25).

#### **2.2.2. Grado II (1 a 24%)**

Existe algún tipo de síntoma, secuela o signo, que provoca que el individuo tenga un bajo grado de dificultad para la realización de las actividades de la vida diaria, pero que no significa que no las pueda realizar en su totalidad. Se entiende que el individuo posee una discapacidad leve (Instituto de Migraciones y Servicios Sociales, 2000, pp. 24-25).

#### **2.2.3. Grado III (25 a 49%)**

Existe algún tipo de síntoma, secuela o signo, que provoca que el individuo tenga un importante grado de dificultad, o en algunos casos hasta se le imposibilita la realización de ciertas las actividades de la vida diaria, pero a pesar de esto, aun maneja las actividades de autocuidado de maneja independiente. Se entiende que el individuo posee una discapacidad moderada (Instituto de Migraciones y Servicios Sociales, 2000, pp. 24-25).

#### **2.2.4. Grado IV (50 a 74%)**

Existe algún tipo de síntoma, secuela o signo, que provoca que el individuo no pueda realizar la mayoría de las actividades de la vida diaria, dándose el caso de que no pueda manejar las actividades de autocuidado por sí mismo, necesitando de terceros para ello. Se entiende que el individuo posee una discapacidad grave (Instituto de Migraciones y Servicios Sociales, 2000, pp. 24-25).

#### **2.2.5. Grado V (75% en adelante)**

El individuo está imposibilitado totalmente en la realización de las actividades de la vida diaria, entendiéndose que posee una discapacidad muy grave (Instituto de Migraciones y Servicios Sociales, 2000, pp. 24-25).

### **2.3. Tipos de discapacidad**

La discapacidad en un individuo se puede presentar de distintas maneras y situaciones, así mismo esta discapacidad le imposibilitara realizar algunas actividades dependiendo del grado de discapacidad que posea (Cujano, 2012, p.20).

### ***2.3.1. Discapacidad intelectual***

Un individuo con algún tipo de discapacidad intelectual vera reducirlo en un cierto porcentaje su capacidad cognitiva de interactuar correctamente con su entorno. Algunas personas con este tipo de discapacidad aprenden a vivir con ella y no requieren de la ayuda de segundos para realizar actividades cotidianas, desenvolviéndose en la sociedad tal como lo haría una persona normal (Cujano, 2012, p.21).

Las causas que pueden provocar este tipo de discapacidad pueden deberse a problemas desarrollados durante el embarazo, durante el parto, aspectos genéticos, golpes, mala alimentación, etc. De acuerdo con la Asociación Americana de Discapacidades Intelectuales y del Desarrollo (AAIDD) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) pueden existir 5 niveles de discapacidad intelectual, que se clasifican de acuerdo al coeficiente intelectual (C.I) del individuo (Cujano, 2012, pp.21-24).

- Deficiencia mental limite (C.I: entre 68 y 85)
- Deficiencia mental ligera (C.I: entre 52 y 67)
- Deficiencia mental moderada (C.I: entre 36 y 51)
- Deficiencia mental severa (C.I: entre 20 y 35)
- Deficiencia mental profunda (C.I: menor a 20)



**Figura 2-2:** Niñas con Síndrome de Down

Fuente: (Cujano, 2012, p.21)

### ***2.3.2. Discapacidad sensorial***

Un individuo se verá afectada por esta discapacidad cuando exista aminoramiento o ausencia, de ya sea alguna o varias funciones de los sentidos del cuerpo, pudiendo referirse a la audición, visión o habla. Así mismo la persona puede verse afectado por este tipo de discapacidad a factores genéticos, del embarazo o parto, por enfermedades, aspectos del ambiente, etc. (Cujano, 2012, pp.26-36).



**Figura 3-2:** Proceso de enseñanza a persona con discapacidad visual  
Fuente: (AKROS, 2017)

### ***2.3.3. Discapacidad psíquica***

Se podría decir que este tipo de discapacidad está ligada con la discapacidad intelectual, ya que es posible que un individuo con algún tipo de discapacidad intelectual pueda presentar ciertos cambios en su conducta, siendo esta impredecible. Entre las razones que puede provocar esta discapacidad esta la depresión, la esquizofrenia, el bipolarismo, etc. (Cujano, 2012, p.36).



**Figura 4-2:** Trastorno de personalidad  
Fuente: (Tort, 2016)

### ***2.3.4. Discapacidad física***

Una discapacidad física es aquella que imposibilita que el individuo pueda realizar un correcto desempeño motriz, valiéndose a veces de algún sistema o mecanismo para movilizarse o realizarla actividades cotidianas, esto provocado por algún daño en el sistema locomotor del cuerpo (Cujano, 2012, pp.37-38).

Es posible que una discapacidad física se presente por una condición genética, como es el caso de la distrofia muscular, o por algún accidente producido que afecte a la médula espinal directamente. Existen algunos casos, también bastantes comunes, donde este tipo de discapacidad

se debe a condiciones en el cerebro, que pueden provocar algún daño en este ya sea durante el embarazo, parto o en una etapa posterior al nacimiento, y afectar la motricidad del individuo (Observatorio de la Discapacidad Física, 2019).

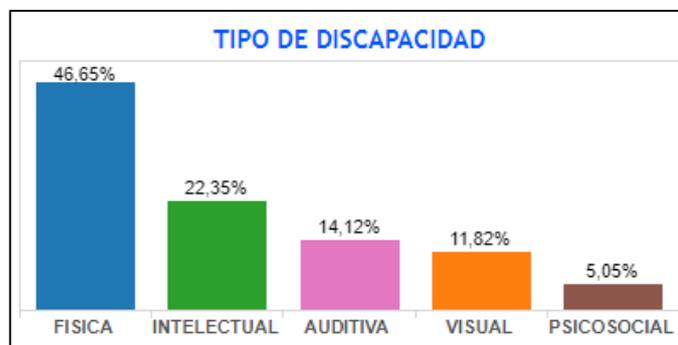
Dependiendo de la gravedad de la afectación que la discapacidad física causa sobre el cuerpo del individuo se puede hablar sobre monoplejía, que causa parálisis en una sola extremidad; paraplejía, causando parálisis solo en la mitad inferior del cuerpo; tetraplejía, donde se pierde la movilidad en todas las extremidades; o hemiplejía, donde la parálisis se da solo en un lado del cuerpo (Observatorio de la Discapacidad Física, 2019).



**Figura 5-2:** Atleta con discapacidad física  
Fuente: (Occhipinti, 2017)

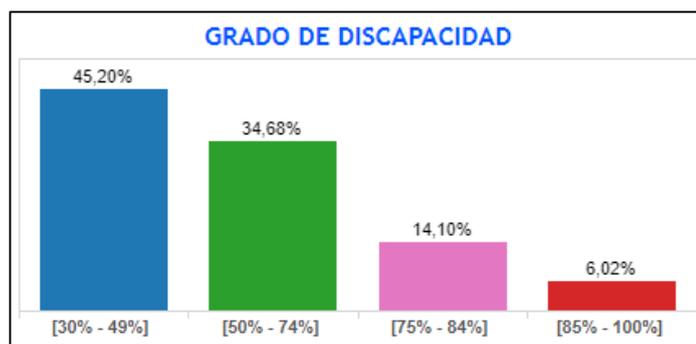
#### 2.4. La discapacidad en el Ecuador

Según datos proporcionados hasta la fecha por el CONADIS (2019), en su base de datos están registradas hasta el mes de mayo de 2019, 460586 de personas con algún tipo de discapacidad dentro del territorio ecuatoriano, con un amplio margen de diferencia en casos de discapacidad física en relación a los otros tipos de discapacidad, tal como se observa en la figura 6-2 (CONADIS, 2019).



**Figura 6-2:** Valores porcentuales de acuerdo al tipo de discapacidad en Ecuador  
Fuente: (CONADIS, 2019)

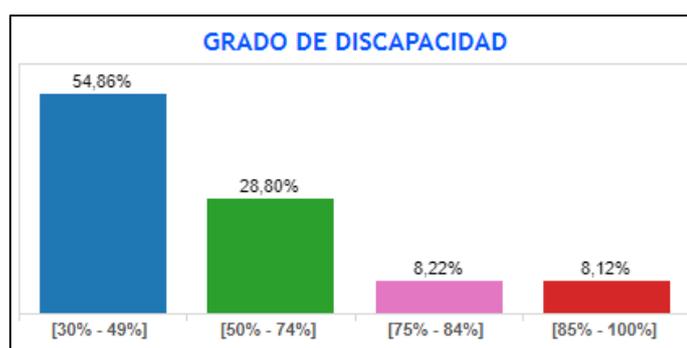
En Ecuador está establecido una designación de porcentajes al grado de discapacidad al que está sometido un individuo, de igual manera, dependiendo del grado en el que se encuentre su discapacidad, sus problemas de motricidad serán más críticos. Actualmente el gobierno reconoce que una persona se encuentra en estado de discapacidad, si luego de los exámenes respectivos se observa un grado de discapacidad mayor al 30%, lo que le permite recibir ciertos beneficios establecidos por la ley



**Figura 7-2:** Valores porcentuales de acuerdo al grado de discapacidad en Ecuador  
Fuente: (CONADIS, 2019)

#### 2.4.1. Datos de discapacidad física en el cantón Riobamba

Actualmente el CONADIS (2019), señala que existen aproximadamente 3014 casos de personas en estado de discapacidad física en el cantón Riobamba, de los cuales 1655 (54,86%) poseen un grado de discapacidad de entre 30 y 49%; 869 (28,80%) con un grado de discapacidad de entre 50 y 74%; 248 (8,22%) con un grado de discapacidad de entre 74 y 84%; y 245 (8,20%) casos con un grado mayor al 85%



**Figura 8-2:** Valores porcentuales de discapacidad física en Riobamba  
Fuente: (CONADIS, 2019)

#### 2.5. Asociación de Familiares de Personas Excepcionales de Chimborazo

La AFAPECH es una institución ubicada en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, que se encarga de brindar “ [...] protección y rehabilitación de niños y jóvenes con parálisis cerebral severa, [...] ”, que cuenta con la coordinación del señor Franklin Barahona Avecillas (La Prensa, 2016).

La institución fue creada en el año de 1988 por parte de un grupo de padres y madres de familias, que notaron que no existía en la ciudad un centro que les brindara los cuidados necesarios a sus hijos con problemas de parálisis. Luego de muchos esfuerzos, y tras varios años de gestión, se logró que algunas instituciones públicas se comprometieran a prestar su ayuda en el noble accionar de la institución.

Hoy en día la institución brinda a todos sus estudiantes actividades '' [...] en diferentes áreas como son de fisioterapia, hidroterapia, refuerzo pedagógico, deporte, recreación y cultura'' (Lainez, 2016).



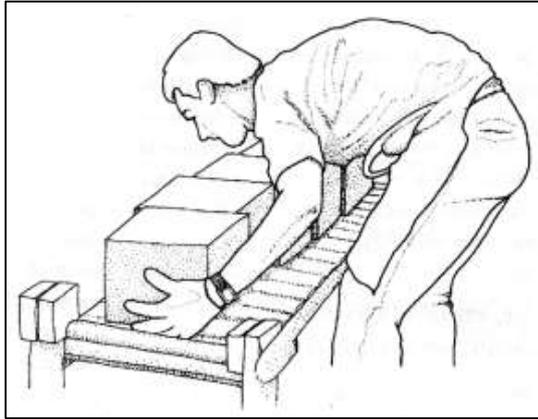
**Figura 9-2:** Estudiantes de AFAPECH en actividades junto sus familiares  
Fuente: (AFAPECH, 2019)

## 2.6. LER

Las LER o lesiones por esfuerzos repetitivos se presentan como un conjunto de trastornos de diversa índole que afectan a diferentes estructuras del cuerpo, tales como tendones, músculos, articulaciones, nervios y sistema vascular (Simoneau, et al., s.n, p.5).

Las circunstancias en las que aparecen estos trastornos pueden darse por varios factores, entre las que destacan las posturas forzadas, la fuerza y esfuerzo, la repetición de actividades, trabajos musculares estáticos, etc. (Simoneau, et al., s.n, p.15).

Un trabajador sometido a una actividad repetitiva o que en su defecto tenga que hacer uso de su fuerza para mover un cuerpo con un peso considerable, conllevara a que tarde o temprano sufra de algún tipo de lesión, esto debido a que se produce una sobreutilización del sistema musculoesquelético, y en muchas ocasiones el organismo no tiene el tiempo ni capacidad necesario para recuperarse (Simoneau, et al., s.n, p.12).



**Figura 10-2:** Actividades que producen LPMR  
**Fuente:** (Simoneau, St-Vincent y Chicoine, s.n, p.18)

### 2.7. Vehículo tipo sedán

Este tipo de vehículo también se lo conoce con el nombre de berlina, y es un “automóvil cuya carrocería está totalmente recubierta por un techo rígido, con cuatro o cinco puertas. Llevan dos puertas a cada lado y cuatro o seis ventanas laterales” (Arias, 2001, p.43).

Una característica que destaca en este tipo de vehículos son sus dimensiones en el habitáculo, lo que lo hace uno de los preferidos a la hora de ser adquirido por familias.

Su destacable anchura y altura en sus puertas delanteras, con un valor de aproximadamente que va entre los 95 cm y 85 cm respectivamente, lo hacen adecuado para familias que poseen un miembro con algún tipo de discapacidad, ya que estas dimensiones dan paso a que ellos puedan ser movilizadas hacia el interior o exterior del vehículo de forma fácil. Su baja altura es otro punto que juega a favor entre sus características para la actividad mencionada, muy diferente a otros tipos de vehículos que no cuentan con esta particularidad.



**Figura 11-2:** Vehículo sedán  
**Fuente:** (Arias, 2001, p.43)

## **2.8. Aceros**

El término de acero hace referencia a todas las aleaciones de hierro y carbón existentes, así como también a las aleaciones de otros elementos, en algunas ocasiones. Es notable destacar que existen un gran número de aceros disponibles en el mercado. Entre las características más destacables que posee el acero, están la absorción de impactos y la rigidez, lo que lo vuelve muy utilizable en la mayoría de campos de diseño y construcción (Mott, 2009, p.71).

### ***2.8.1. Acero al carbón y de aleación***

La composición de los aceros al carbón es básicamente en base a hierro y carbono, elementos que ayudan en su dureza, ductilidad y resistencia. Estos aceros además poseen bajos porcentajes de manganeso (>1,6%), silicio (>0,55%) e impurezas de fósforo y azufre (>0,0035%), que influyen en la tenacidad, maquinabilidad y corrosión. A estos aceros también se los conoce como aceros no aleados.

Por otra parte, los aceros aleados basan su composición en la adición de otros elementos metálicos a su estructura, con el fin de modificar sus propiedades y características principales en base a los elementos aleantes (Curisaca y López, 2018, p.13).

### ***2.8.2. Acero inoxidable***

Este tipo de acero presenta una alta resistencia a la corrosión, siendo su principal elemento de aleación, con un porcentaje que va de entre un 10,5% y 27%. En el mercado metalúrgico es posible encontrar hasta 40 diferentes grados de acero inoxidable, agrupados en tres series: serie de 200, 300 y 400 (Mott, 2009, p.75).

### ***2.8.3. Acero estructural***

A base de este acero se producen una serie de formas para la construcción, tales como barras, tuberías, placas, láminas y perfiles, cada una con diferentes propiedades y usos. En el mercado, un acero estructural muy común es el ASTM A36, con un valor de Resistencia a la fluencia de aproximadamente 250 MPa (36 ksi), lo que lo hace muy utilizable en los campos ingenieriles de construcción, por su características y costo. Otro acero estructural muy común, dentro del mercado ecuatoriano, es el ASTM A500, con características y propiedades similares al ASTM A36, que lo hace así mismo muy utilizado (Mott, 2009, pp.75-76).

### ***2.8.4. Acero galvanizado***

Es un acero especial, obtenido en base al recubrimiento con varias capas de hierro y zinc. Una capa extra de zinc en la superficie del acero, le otorga la característica de ser resistente a la corrosión, dándole el color característico de gris metálico de este tipo de acero (Curisaca y López, 2018, p.14).

### **2.8.5. Aluminio**

Este metal no ferroso posee propiedades que permiten que sea utilizado en aplicaciones específicas de trabajo, encontrándose en el mercado formas de láminas, tuberías, barras, placas, alambres y hasta perfiles estructurales estándar (formados a partir de troquelado) en base a este metal. Las aleaciones de aluminio están agrupadas en 7 series: serie de 2000, 3000, 4000, 5000, 6000 y 7000 (Mott, 2009, pp.78-79).

### **2.9. Soldadura por arco eléctrico con gas protector y electrodo no consumible**

Este tipo de soldadura se conoce a menudo también como soldadura TIG (Tungsten Inert Gas) o GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), ya la energía del arco eléctrico pasa a un electrodo no consumible de tungsteno que está en contacto con la pieza, y en donde un gas inerte brinda protección al proceso. En la mayoría de metales existentes en el mercado es posible utilizar este proceso, incluyendo al cobre, aluminio y sus aleaciones (Carpintero, 2013, pp.167-168).

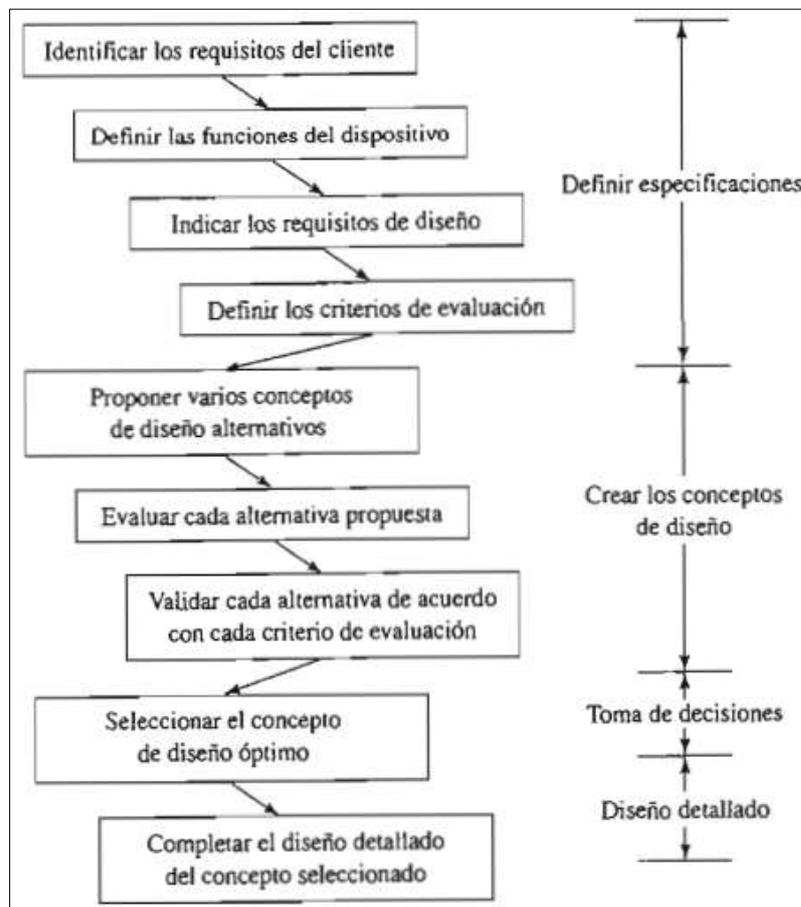
## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

#### 3.1. Parámetros de diseño

##### 3.1.1. Diseño metodológico del sistema desmontable

Antes de comenzar con el diseño del sistema en un software CAD se debe de seguir una serie de pasos constituidos de manera secuencial y lógica para identificar ciertos requisitos, funciones y alternativas del diseño, para que el mismo cumpla con las expectativas.



**Figura 1-3:** Pasos en el proceso de diseño  
Fuente: (Mott, 2006, p.12)

Al usar un diagrama de flujo que resume de forma general el proceso de trabajo, garantiza que el mismo se desarrolle de forma fácil y concisa, hasta obtener las salidas o resultados requeridos.

### 3.1.2. Requisitos del usuario

Se identificó el requerimiento por parte de AFAPECH, como ente a usar el mecanismo a través de una entrevista ubicada en el anexo B, el cual se definió como: adquirir un mecanismo que sea desmontable para facilitar el traslado de las personas con movilidad reducida en AFAPECH, desde la silla de ruedas hacia el asiento del vehículo y viceversa, en vehículos tipo sedán.

**Tabla 1-3:** Requisitos del usuario

1.	Mecanismo que ayude a subir y bajar a una persona del vehículo a su silla de ruedas y viceversa
2.	Que sea de fácil armado y desarmado
3.	Que sea de fácil ensamblaje a las bisagras de los vehículos
4.	Que sea de fácil uso
5.	Que se ajuste al espacio del marco de la puerta del pasajero
6.	Que pueda levantar a una persona de 90 Kg
7.	Que sea ligero
8.	Que sea resistente
9.	El mecanismo debe trabajar en 2 horarios, uno por la mañana y otro por la tarde
10.	Debe ser seguro para la persona que lo use

**Fuente:** (Los autores)

**Realizado por:** (Los autores, 2019)

### 3.1.3. Funciones del dispositivo

Se lograron definir las funciones del mecanismo, lo cual no es más que el conjunto de acciones que debe realizar para cumplir con su trabajo, por lo tanto, el sistema debe subir, bajar y mover a una persona en posición sentada desde su silla de rueda hacia el asiento del vehículo y viceversa.

### 3.1.4. Requisitos del diseño

Los requisitos se identificaron al realizar observaciones en el lugar donde se requiere el mecanismo y consultando con entes externos a la institución. Estos requerimientos se estipulan en la siguiente lista.

1. El dispositivo debe soportar una carga máxima de 90 Kg.
2. Es preferible que el dispositivo sea ligero y compacto que se ajuste al tamaño de las puertas de los automóviles.
3. El soporte o la estructura tiene que ser desmontable y ajustable a las bisagras y a las puertas de los vehículos tipo sedán.
4. El arnés debe ser ortopédico.
5. La fuente de transmisión del movimiento se debe adecuar con fuentes de alimentación del vehículo o fuentes de alimentación móviles.
6. Se espera que el dispositivo trabaje en dos horarios, por la mañana y por la tarde.
7. Es muy importante que el dispositivo sea confiable y cuente con una buena seguridad de trabajo.

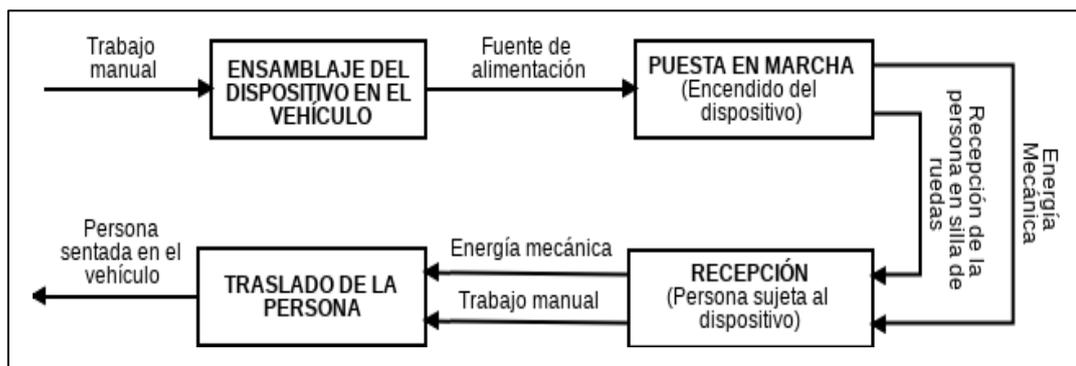
### 3.1.5. Criterios de evaluación

Este conjunto de características cualitativas tiene como finalidad ayudar a los diseñadores en la toma de decisiones, a partir de cual alternativa de diseño es la mejor tomando en cuenta que las desventajas se deben disminuir y las ventajas tienen que aumentar. Los criterios de evaluación propuestos son los siguientes.

1. Seguridad.
2. Facilidad de instalación.
3. Peso ligero.
4. Tamaño compacto.
5. Funcionamiento suave (silencioso y con poca vibración).
6. Bajo costo.

### 3.1.6. Diseños alternativos

Para realizar un diseño metodológico se dividió las etapas de trabajo y funcionamiento del mecanismo en varios procesos para sintetizar el proyecto, lo cual ayuda a tener una visión más clara de sus funciones.



**Gráfico 1-3:** Función secundaria del sistema desmontable  
Realizado por: (Los autores)

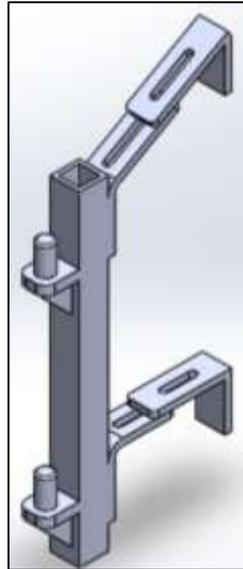
Las etapas antes mencionadas de trabajo y funcionamiento del mecanismo se dividieron de acuerdo a 4 aspectos:

- Ensamblaje del dispositivo en el vehículo
- Puesta en marcha
- Recepción de la persona
- Traslado de la persona

#### 3.1.6.1. Etapa 1: ensamblaje del dispositivo en el vehículo

Es el inicio del proceso, se refiere al montaje del dispositivo en las bisagras del vehículo. Esta acción se la realiza de forma manual requiriendo fuerza del operario. Como se planteó desde un

inicio, uno de los requisitos del cliente es que debe ser desmontable y debe trabajar para varios vehículos, el soporte que debe ser instalado en las bisagras por lo tanto debe ser regulable para dichos vehículos.

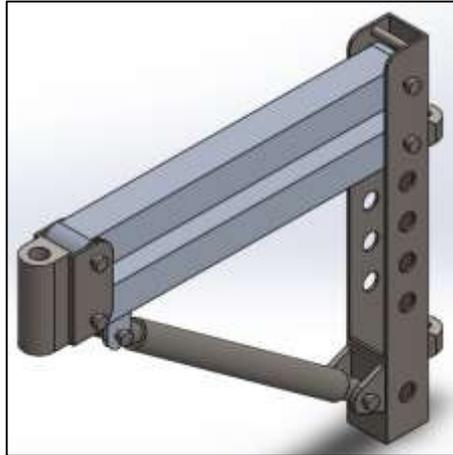


**Gráfico 2-3:** Modelo inicial de prueba del soporte regulable  
**Realizado por:** (Los autores)

- **Ventajas**
  - Es un solo soporte multifuncional para todos los vehículos tipo sedán de la AFAPECH.
  - El costo de fabricación es bajo
  - Fácil recambio de piezas
- **Desventajas**
  - Alto número de piezas
  - Alto número de uniones

#### ***3.1.6.2. Etapa 2: puesta en marcha***

Este proceso hace referencia al accionamiento del dispositivo el cual generará la energía necesaria para mover todos los componentes que operen bajo las condiciones de fuerza y trabajo con su respectivo actuador lineal el cual va a subir y bajar a la persona. Existen tres sistemas propuestos diferentes para realizar esta acción, el primer sistema es hidráulico seguido por neumático y finalmente eléctrico.



**Gráfico 3-3:** Posible posicionamiento del actuador  
**Realizado por:** (Los autores)

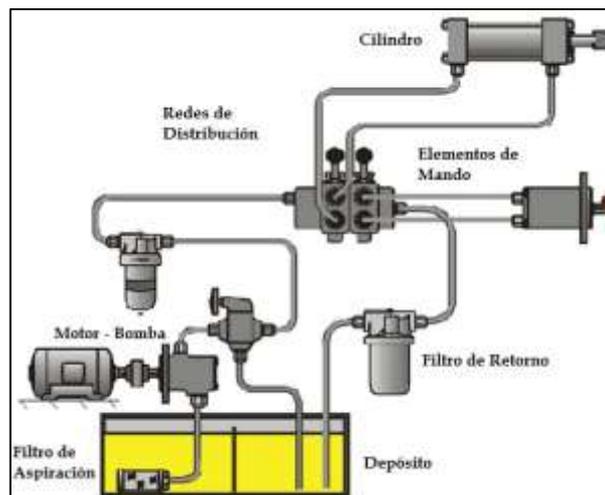
**a) Sistema Hidráulico**

• **Ventajas**

- Obtención de potencias de transmisión elevadas con componentes pequeños.
- Excelente disipación y regulación del calor.
- Útil en trabajos con cargas pesadas.
- Control de la velocidad con el uso de válvulas.
- Movimientos de trabajo suaves.

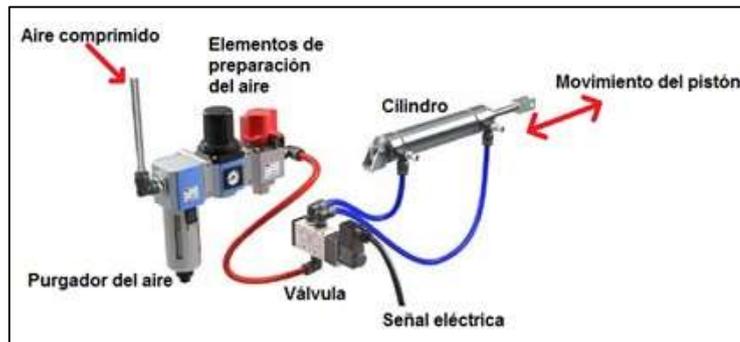
• **Desventajas**

- Contaminación ambiental y riegos de incendio por fugas de aceite.
- Exposición al peligro por las elevadas presiones de trabajo.
- Cambios en la viscosidad del aceite.
- Costos altos de alimentación.



**Figura 2-3:** Componentes de un sistema hidráulico  
**Fuente:** (Ingemecánica, 2019)

## b) Sistema Neumático



**Figura 3-3:** Componentes de un sistema neumático

Fuente: (Soneira, 2017)

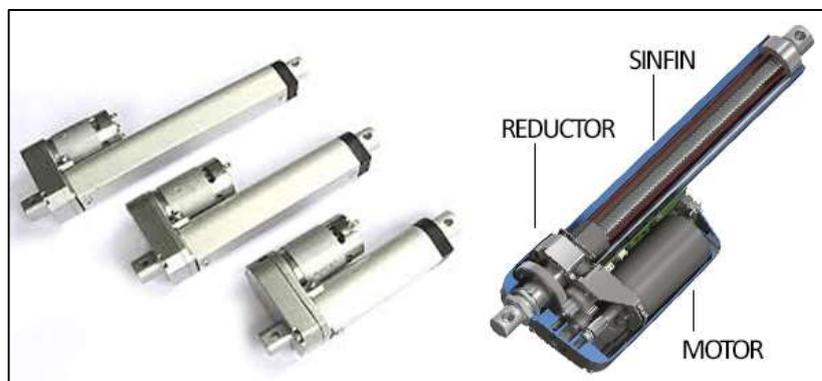
### • Ventajas

- Componentes de bajo coste.
- Diseño e implementación de forma fácil.
- Alto factor de seguridad al trabajar con presiones bajas.
- Escaso riesgo de explosión.
- Se puede transmitir energía a distancias considerables.
- Facilidad en el proceso de construcción y mantenimiento.

### • Desventajas

- No es posible obtener velocidades de trabajo estables.
- Costes elevados en lo referente a la energía neumática utilizada.
- Reducción de rendimiento por fugas.
- Demasiados componentes para la ejecución del trabajo.
- Costos muy altos de alimentación.

## c) Sistema eléctrico



**Figura 4-3:** Actuador lineal con sus principales componentes

Fuente: (ELECTROGEEK, 2018)

- **Ventajas**
  - El movimiento puede ser detenido en cualquier punto del recorrido.
  - Es posible determinar la velocidad, aceleración y desaceleración del movimiento.
  - Existe una amplia variedad de diseños, marcas y cargas a soportar de acuerdo al trabajo a realizar.
  - Fácil instalación.
  - No se requiere de otros componentes (mangueras o bombas).
  - No existe la necesidad de realizar mantenimientos.
  - Se puede identificar en cualquier momento la posición del elemento que está en movimiento.
  - Bajos costos de adquisición.
- **Desventajas**
  - Periodos cortos de trabajo.
  - Calentamiento de motor eléctrico durante ciclos constantes de trabajos.

### 3.2.6.3. *Etapa 3: recepción*

Este proceso hace referencia a la sujeción de la persona al mecanismo. Esta acción debe ser efectuada mediante un arnés ortopédico que permita el traslado de la persona de forma sentada.

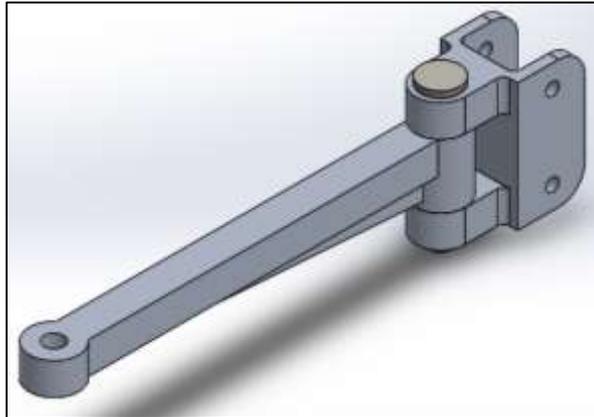


**Figura 5-3:** Posible sujeción del arnés y la persona al mecanismo  
Fuente: (Ortosoluciones, 2019)

- **Ventajas**
  - Fácil uso.
  - Brinda comodidad.
  - Evita las caídas.
- **Desventajas**
  - Elevado coste de adquisición.

#### **3.1.6.4. Etapa 4: traslado de la persona**

Para realizar la acción de posicionamiento de la persona, ya sea en dirección del asiento del vehículo o a la silla de ruedas, se lo efectúa por empuje manual debido a los cuidados, seguridad y control en el manejo a través de un pasador de unión que sirve también como eje de giro del elemento que soporta al arnés.

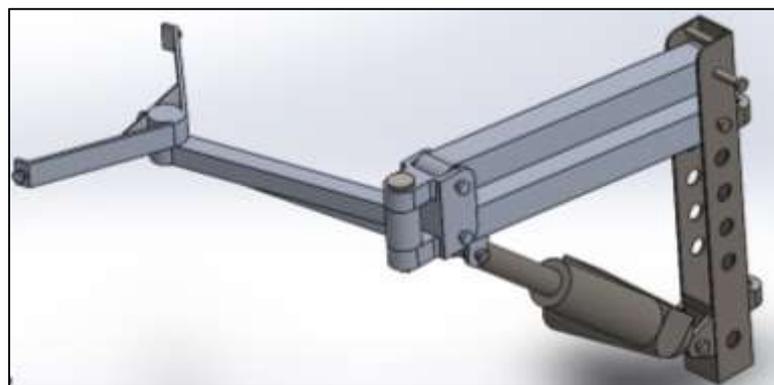


**Gráfico 4-3:** Posible mecanismo para traslado de la persona

Realizado por: (Los autores)

#### **3.1.7. Selección del concepto del diseño óptimo**

De acuerdo con las ventajas y desventajas presentadas en cada etapa de funcionamiento, el mecanismo quedaría constituido por: un soporte regulable, un actuador lineal eléctrico con su respectivo módulo de control para su puesta en marcha y un arnés ortopédico. Esto debido a que presenta seguridad, facilidad en la instalación y ensamblaje, su peso es reducido, su tamaño se ajusta al marco de la puerta del vehículo, debido a que posee un actuador lineal eléctrico su funcionamiento es suave y silencioso, y por sus elementos constituyentes su costo es bajo.



**Gráfico 5-3:** Modelo inicial del mecanismo

Realizado por: (Los autores)

### 3.2. Selección de los dispositivos que forman parte del equipo

#### 3.2.1. Selección del actuador lineal eléctrico

Para seleccionar el tipo de actuador lineal eléctrico se debe comenzar con el parámetro fundamental que es la fuerza necesaria para levantar el mecanismo junto con la persona, debido a que esta fuerza (fuerza de empuje) es la que el actuador necesita vencer al momento del trabajo. Esta fuerza está en dirección de las dos orejas que sujetan al actuador, por lo que se la debe hallar mediante reacciones, sumatoria de fuerzas y momentos, considerando la posición totalmente recta del mecanismo.

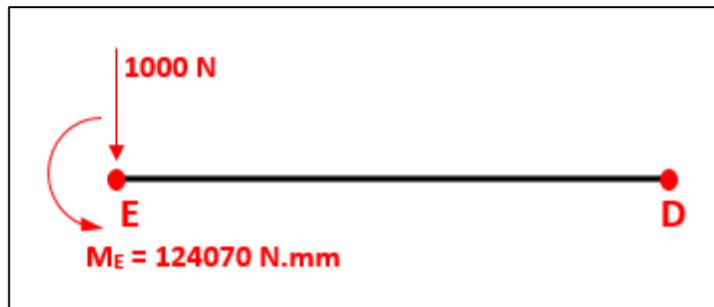


Gráfico 6-3: Diagrama de cuerpo libre del brazo de conexión del agarre del arnés  
Realizado por: (Los autores)

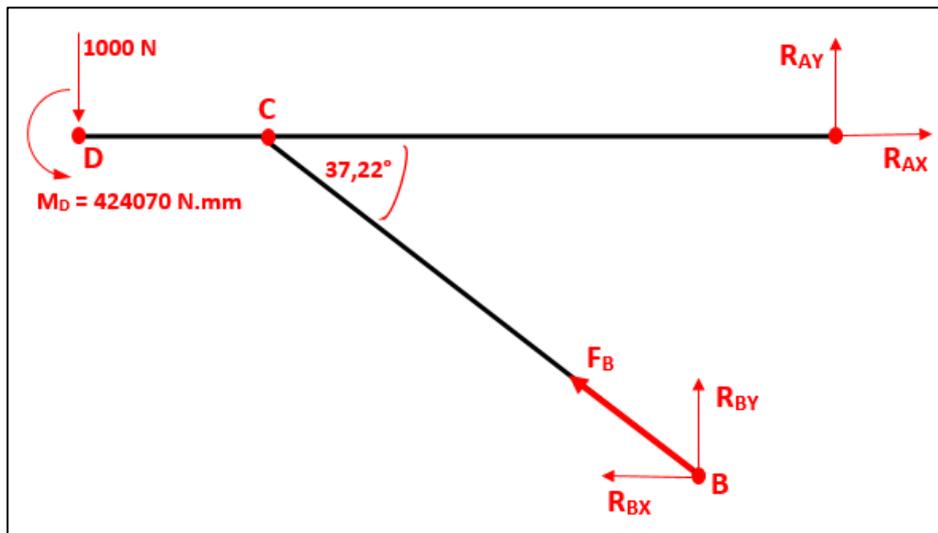


Gráfico 7-3: Diagrama de cuerpo libre de las demás posiciones del mecanismo  
Realizado por: (Los autores)

- Momento en punto "E"

$$M_E = 1000 \text{ N} * 424,07 \text{ mm}$$

$$M_E = 124070 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- Momento en punto ‘‘D’’

$$M_D = 1000 \text{ N} * 424,07 \text{ mm}$$

$$M_D = 424070 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- Sumatoria de momentos en punto ‘‘A’’

$$\sum M_A = 0 (\uparrow +)(\downarrow -)$$

$$424070 \text{ N} \cdot \text{mm} + 1000 \text{ N} * 444,05 \text{ mm} - F_B * \text{sen } 37,22^\circ * 50 \text{ mm} - F_B * \cos 37,22^\circ * 313,64 \text{ mm} = 0$$

$$F_B = \frac{868120 \text{ N} \cdot \text{mm}}{(50 \text{ mm})(\text{sen } 37,22^\circ) + (313,64 \text{ mm})(\cos 37,22^\circ)}$$

$$F_B = 3074,18 \text{ N}$$

- Sumatoria de fuerzas en ‘‘y’’

$$\sum F_y = 0 (\uparrow +)(\downarrow -)$$

$$-1000 \text{ N} + R_{By} + R_{Ay} = 0$$

$$R_{Ay} = 1000 \text{ N} - 3074,18 \text{ N} * \text{sen } 37,22^\circ$$

$$R_{Ay} = -859,50 \text{ N}$$

- Sumatoria de fuerzas en ‘‘x’’

$$\sum F_x = 0 (\rightarrow +)(\leftarrow -)$$

$$R_{Ax} - R_{Bx} = 0$$

$$R_{Ax} = 3074,18 \text{ N} * \cos 37,22^\circ$$

$$R_{Ax} = 2448,03 \text{ N}$$

Es así que luego del proceso de cálculo, se obtiene un valor de fuerza ( $F_B$ ) necesaria de 3074,18N. Este valor es el que se toma en cuenta para la selección del actuador.

Otro parámetro a considerar es la carrera que debe tener el actuador, dándose a entender, como la distancia de despliegue del vástago que este posee.

Por último, hay que considerar las medidas de instalación del actuador, considerándose las medidas de este cuando el vástago este completamente recogido y extendido

En la en la tabla 2-3 (Los autores) se muestra las especificaciones del actuador lineal eléctrico seleccionado de la marca L&K de 24 V de alimentación con una fuerza de empuje de 6000 N.

**Tabla 2-3:** Especificaciones técnicas del actuador lineal seleccionado L&K LA32

<b>Especificaciones técnicas del actuador lineal L&amp;K LA32</b>	
Fuente de alimentación	24V de corriente continua
Fuerza de empuje	6000 N
Carrera	200 mm
Medida básica de instalación	373 mm
Medida en estiramiento	573 mm
Interruptores de final de carrera	Incorporados (no ajustables)
Ciclo de trabajo	Max 10% o 2min/ 18min en uso continuo
Temperatura ambiente	+5°C a +40°C

**Fuente:** (Los autores)

**Realizado por:** (Los autores, 2019)

### 3.2.2. Selección del arnés ortopédico

El arnés por comodidad y uso debe colocarse y retirarse con facilidad sin que la persona sea levantada, de la silla de ruedas o asiento del vehículo. De acuerdo a los requerimiento y disponibilidad en el mercado se eligió un arnés para el traslado de personas en posición sentada, usado en grúas móviles para ingreso y salida en automóviles, de la empresa TEKVO Bioingeniería (2019) bajo el modelo arnés sentado de respaldo bajo.

Las especificaciones técnicas del arnés son:

- Fabricado en Lona de suave contacto con la piel
- Diseño ergonómico que brinda comodidad al paciente en posición "Sentado"
- Carga máxima que soporta: 150kg.
- Puede ser usado con pacientes pediátricos y con adultos.
- 4 puntos de sujeción (amarras-reatas).
- Usa amarras de reata, lo cual evita el deterioro por aparición de óxido.
- No posee piezas metálicas que puedan lesionar al paciente.

Las dimensiones del arnés corresponden a uno de talla M, siendo su medida superior de 105cm, inferior de 122 cm y lateral de 97 cm.



**Gráfico 8-3:** Arnés de uso ortopédico  
**Realizado por:** (Los autores)

### 3.2.3. Selección de materiales del mecanismo

Como existen varios elementos del diseño constituidos con tubos cuadrados y platinas, se establecieron tres posibles alternativas existentes en el mercado local, siendo estas las siguientes:

- Tubo cuadrado de acero A-500 galvanizado
- Tubo cuadrado de acero A-500 negro
- Tubo cuadrado de aluminio
- Tubo cuadrado de acero inoxidable

#### 3.2.3.1. Criterios de evaluación para la selección del material

- **Costo:** El costo de los materiales determinará en gran parte el costo final del mecanismo, por lo cual no debe ser elevado. El más barato tendrá una puntuación de 10 y el resto se lo califica haciendo una regla de tres.

**Tabla 3-3:** Precio por Kg de los materiales

Materiales	Acero estructural ASTM A 500 galvanizado	Acero estructural ASTM A 500	Aluminio 6061-T6	Acero inoxidable AISI 304
Precio (USD/Kg)	0.72	0.70	2.02	2.43

**Fuente:** (Los autores)

**Realizado por:** (Los autores, 2019)

- **Peso específico:** Uno de los requisitos para este trabajo, es que debe ser ligero para que su manipulación sea fácil de realizar, al igual que su traslado de un lugar a otro. El material menos pesado tendrá una calificación de 10 y el resto por una regla de tres.

**Tabla 4-3:** Peso específico de materiales

<b>Materiales</b>	<b>Acero estructural ASTM A 500 galvanizado</b>	<b>Acero estructural ASTM A 500</b>	<b>Aluminio 6061-T6</b>	<b>Acero inoxidable AISI 304</b>
Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	7850	7850	2580	7900

Fuente: (Los autores)

Realizado por: (Los autores, 2019)

- **Soldabilidad:** En el diseño del mecanismo está contemplado que algunas piezas deben ser soldadas, por lo que el material a elegir debe poseer una menor dificultad al formar uniones de este tipo. Para su puntuación se elegirá como buena soldabilidad 10 y regular 5.
- **Maquinabilidad:** Existen varios componentes que deben ser sometidos a procesos de mecanizado por arranque de viruta, por lo que su maquinabilidad debe ser apropiada. Para su puntuación se elegirá como buena maquinabilidad 10 y regular 5.

**Tabla 5-3:** Matriz de selección

<b>Crterios</b>	<b>Acero estructural ASTM A 500 galvanizado</b>	<b>Acero estructural ASTM A 500</b>	<b>Aluminio 6061-T6</b>	<b>Acero inoxidable AISI 304</b>
Costo	9.7	10	3.5	2.8
Peso específico	3.3	3.3	10	3.3
Soldabilidad	10	10	10	10
Maquinabilidad	10	10	5	10
<b>SUMATORIA</b>	<b>8.25</b>	<b>8.32</b>	<b>7.12</b>	<b>6.52</b>

Fuente: (Los autores)

Realizado por: (Los autores, 2019)

Luego de evaluar cada una de las diferentes alternativas en lo referente a los materiales que se podrían utilizar en la construcción del mecanismo, se seleccionó al acero estructural ASTM A500 como material a utilizarse para el proceso de construcción, debido a que presenta mayores ventajas en cada uno de los parámetros analizados menos en el peso, ya que el más factible a utilizar de acuerdo a este campo es el aluminio o sus aleaciones y queda despreciable ya que el operador del equipo solo soporta el peso durante intervalos cortos de tiempo.

### **3.3. Variables del diseño**

#### ***3.3.1. Variable independiente***

La variable independiente dentro del estudio, es el peso (fuerza de trabajo) de la persona en el funcionamiento del mecanismo.

#### ***3.3.2. Variable dependiente***

La deformación total, el esfuerzo equivalente y el factor de seguridad son variables que se modificaran de acuerdo a las circunstancias de trabajo.

### **3.4. Diseño y análisis del mecanismo**

Luego de analizarse cada uno de los parámetros necesarios para realizar el proceso de diseño, se procede con el mismo, de tal forma que se obtenga un diseño final fidedigno a cada aspecto mencionado anteriormente.

Posterior de realizado el diseño se debe realizar un análisis estático del comportamiento de cada elemento o conjunto, dependiendo de la forma de trabajo, sometido a una carga similar a la que va a soportar en pruebas reales, con el fin de validar resultados y garantizar que el diseño cumpla su función. En cada proceso de análisis CAE se obtendrán valores de deformación, esfuerzos y factor de seguridad, que luego de verificar que dichos valores se encuentran dentro de un rango aceptable, de acuerdo a la teoría, se procederá a aceptar dicho diseño para su posterior construcción.

Para obtener resultados confiables y más cercanos a la realidad en el análisis CAE, se utilizará la herramienta "Body sizing", que viene incluida dentro del paquete de mallado del programa a utilizarse para los análisis, el cual es ANSYS. Al generar la malla dentro de este programa, se añadirá la herramienta antes mencionada, con el fin de hacer un análisis de convergencia mediante la gráfica del factor de seguridad vs el tamaño de malla. De esta forma se podrá observar dentro de dicha grafica que valores de tamaño de malla mantienen una linealidad constante, con el fin de usar uno de dichos valores, que se encuentran dentro del rango de dicha linealidad, para ingresarlo en los parámetros de malla en ANSYS y así garantizar la fiabilidad de los resultados de factor de seguridad, esfuerzo equivalente y deformación total.

Con el valor de tamaño de malla seleccionado e ingresado dentro de los parámetros, se podrá evaluar si los resultados que se muestran con este valor son confiables para el estudio al observarse el valor promedio de la calidad de malla que se obtiene. Dicho valor es observable yendo a opción "Quality – Mesh Metric (Element Quality) – Average" dentro del cuadro "Details of Mesh".

Details of "Mesh"	
<input type="checkbox"/> Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	6,5977e-002
<input type="checkbox"/> Max	1,
<input type="checkbox"/> Average	0,72696
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,13943
<input type="checkbox"/> Inflation	
<input type="checkbox"/> Advanced	
<input type="checkbox"/> Statistics	

**Gráfico 9-3:** Valor de calidad promedio de malla  
**Realizado por:** (Los autores)

A partir de dicho valor, se podrá constatar que este se encuentra dentro de las especificaciones permitidas para aceptar los resultados como fiables. La constatación de este valor se lo hará mediante la tabla 6-3 (Bustamante, 2014, p.183), que muestra los niveles de calidad de malla de los elementos octogonales del mallado, de acuerdo al rango en el que se encuentre; siendo requerido que dicho valor caiga dentro de los rangos de calidad buena, muy buena o sobresaliente.

**Tabla 6-3:** Niveles de calidad de malla de elementos octogonales del mallado

Inadecuado	Malo	Suficiente	Buena	Muy Buena	Sobresaliente
0 - 0,001	0,001 - 0,15	0,15 - 0,20	0,20 - 0,70	0,70 - 0,95	0,95 - 1

**Fuente:** (Bustamante, 2014, p.183)

**Realizado por:** (Los autores, 2019)

### 3.4.1. Elemento 1: agarre del arnés

Como se explica anteriormente, la principal función de mecanismo que se está desarrollando es ser capaz de levantar a la persona discapacitada y desplazarla hacia el interior o exterior del vehículo, según sea el caso. Para desempeñar esta acción es necesario la utilización de un arnés del tipo hospitalario, el cual deberá anclarse de forma correcta al mecanismo.

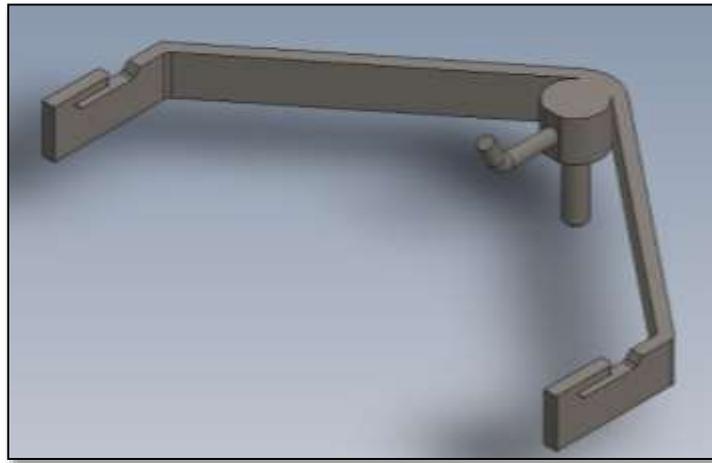
Por lo dicho anteriormente, es necesario que se diseñe un agarre para el arnés, que como se mostró en las especificaciones que posee el arnés a usarse, este posee tres puntos de apoyo para garantizar una equilibrada repartición del peso a soporta, es por ello que en el diseño de este componente se realizó la esquematización de dos apoyos laterales y uno central para colocar las eslingas de sujeción del arnés.

Las eslingas de sujeción del arnés deben incorporarse sin dificultad al agarre, y que estas a su vez no se desacoplen durante la acción del trabajo, por lo que es importante, además, incorporar pequeños enganches en cada agarre para evitar lo mencionado.

Este componente posee un pivote en un extremo con la intención de conectarse al mecanismo, con la necesidad de que los movimientos de giro entre componentes sean fáciles de realizar para

las diferentes maniobras de trabajo al desplazar a la persona. Además, cabe resaltar que este elemento es desmontable en el mecanismo.

Una forma en “v” del este componente facilita que la persona discapacitada pueda ingresar sus brazos fácilmente dentro del arnés, y a su vez retirarlos, o apoyar sus antebrazos en este. La distancia entre los apoyos laterales de las eslingas debe ser la adecuada para que se lleve a cabo la acción anterior, es por ello que una medida oscilante entre los 35 a 40 centímetros más o menos sería la adecuada para evitar inconvenientes. El tercer apoyo para las eslingas restantes debe estar posicionado a la altura del pivote, a una distancia aproximada de entre 30 y 35 centímetros desde el vértice frontal del elemento.



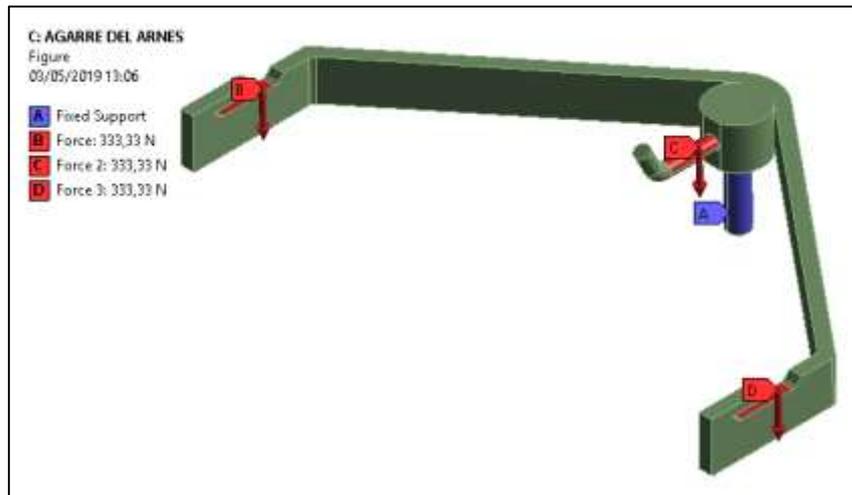
**Gráfico 10-3:** Diseño del agarre del arnés  
Realizado por: (Los autores)

#### ***3.4.1.1. Análisis CAE del agarre del arnés***

- **Cargas aplicadas**

En un principio, el mecanismo está diseñado bajo parámetros de que pueda trabajar con pesos de hasta 100 kg, esto debido a que no se puede sobrecargar con demasiado trabajo a las bisagras del vehículo, donde el mecanismo va a ir conectado, ya que podrían verse afectadas con algún daño; por otra parte, las personas a usar este mecanismo rondan este valor en peso.

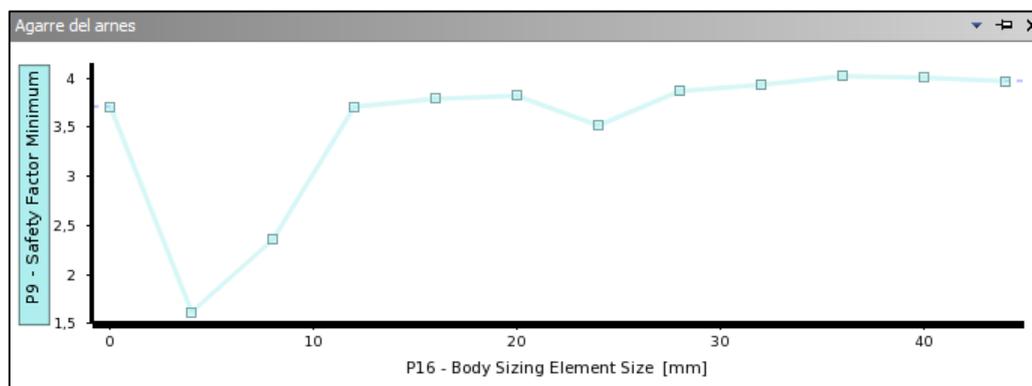
La carga de 100 kg o 1000 N, en el análisis individual de este elemento, es repartida de manera equitativa entre los 3 puntos de anclaje del arnés; de igual manera se establece como apoyo fijo durante el análisis, al pivote que se conecta con el brazo de conexión del agarre del arnés.



**Gráfico 11-3:** Fuerzas de trabajo aplicadas en análisis agarre del arnés  
 Realizado por: (Los autores)

- **Análisis de convergencia**

Como se explicó anteriormente, bajo un análisis de convergencia mediante la gráfica del factor de seguridad vs el tamaño de malla, usando la herramienta "Body sizing", se puede observar una linealidad de resultados para garantizar fiabilidad de los mismos. Luego de generada la gráfica, se toma e ingresa uno de los valores que se encuentran dentro del rango de linealidad en los parámetros del mallado, para ejecutar el análisis final.



**Gráfico 12-3:** Convergencia de valores en el análisis del agarre del arnés  
 Realizado por: (Los autores)

Como se puede observar en el gráfico 12-3 (Los autores), se presenta una tendencia a una linealidad de resultados entre valores del tamaño de malla de 28 a 44 mm optando por un valor intermedio de 36 mm para una fiabilidad y calidad de malla adecuados para el estudio.

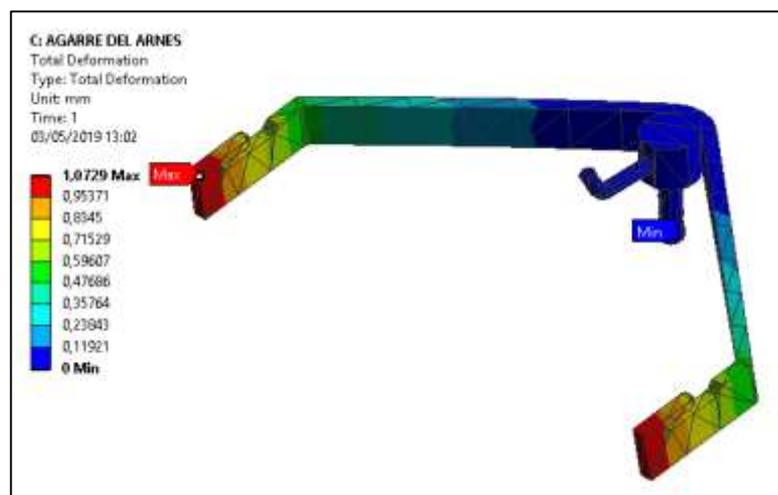
Comparando el valor de la calidad de malla promedio obtenida, que es de 0,47, con los valores de la tabla 6-3 (Bustamante, 2014, p.183), se obtiene que dicho valor cae dentro del rango de una calidad buena de malla suficiente para un análisis confiable.

Details of "Mesh"	
⊕ Display	
⊕ Defaults	
⊕ Sizing	
⊖ Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	4,9984e-002
<input type="checkbox"/> Max	0,99113
<input type="checkbox"/> Average	0,4713
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,22093

**Gráfico 13-3:** Calidad de malla promedio en el análisis del agarre del arnés  
**Realizado por:** (Los autores)

- **Análisis de resultados de deformación total**

Dentro de los resultados obtenidos en la deformación total que sufre el elemento luego de aplicarse una carga de 1000 N en los puntos de anclaje del arnés, se presenta una deformación máxima de 1,07 mm en los extremos próximos donde se coloca el arnés, considerándose un valor adecuado al no ser excesivamente alto, dando lugar a que se interprete que el elemento no presentara fallas en el trabajo real, aceptándose el diseño desarrollado.

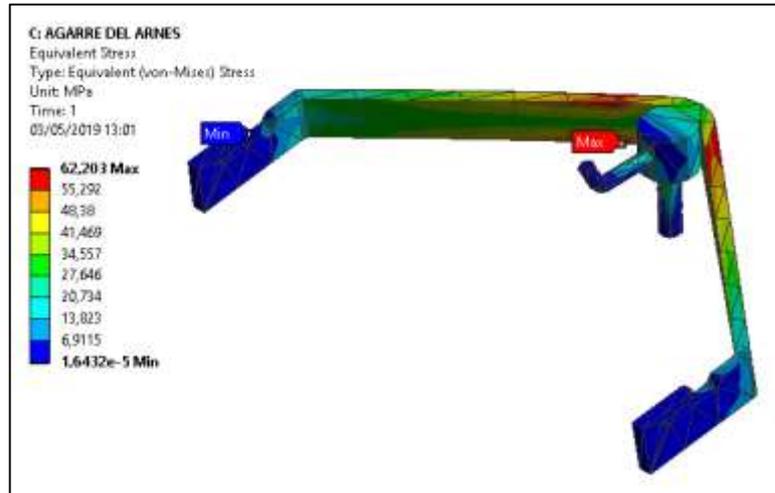


**Gráfico 14-3:** Deformación total del análisis del agarre del arnés  
**Realizado por:** (Los autores)

- **Análisis de resultados del esfuerzo equivalente**

Los resultados arrojados de esfuerzo equivalente durante el análisis, mostraron que hay una concentración de esfuerzos al momento del trabajo en las cercanías al pivote de conexión, provocado por los cambios de sección, siendo comprensible, ya que, al momento de aplicar la carga de trabajo, el elemento tiende a desplazarse en dirección de la carga, provocando que esta parte con cambio de sección se vea afectada.

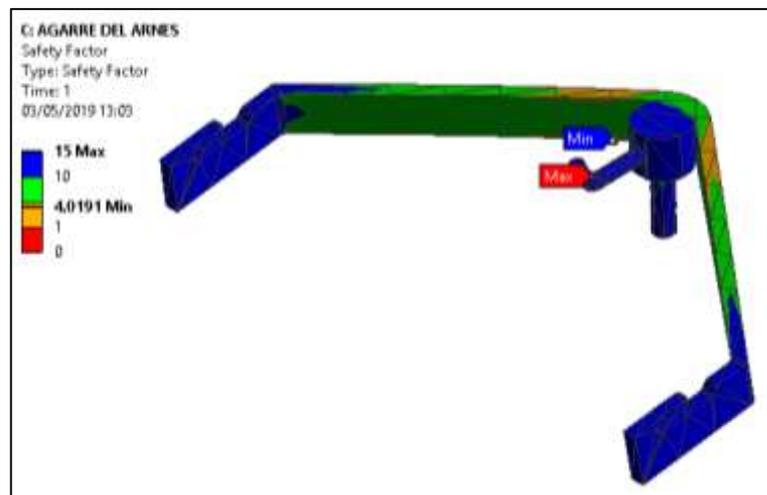
Con un valor de esfuerzo equivalente máximo en la sección mencionada de 62,20 MPa, se considera que no habrá una deformación permanente del elemento después de aplicada la carga de trabajo, ya se no se está sobrepasando el valor nominal de resistencia a la fluencia del acero que se utiliza, cuyo valor es de 250 MPa, de forma que el diseño trabaja en perfectas condiciones manteniendo su funcionalidad.



**Gráfico 15-3:** Esfuerzo equivalente del análisis del agarre del arnés  
Realizado por: (Los autores)

- **Análisis de resultados del factor de seguridad**

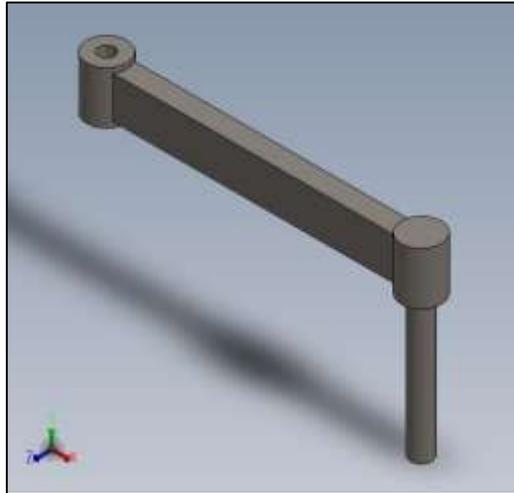
Para este elemento se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 4, que de igual manera se encuentra localizado en el cambio de sección descrito en la sección del esfuerzo equivalente. Al obtener un factor de seguridad mayor a 1 se debe considerar que el componente estudiado trabaja en perfectas condiciones, tal como es el caso de este componente, garantizando el correcto funcionamiento al ser sometido bajo las cargas de trabajo.



**Gráfico 16-3:** Factor de seguridad del diseño del agarre del arnés  
Realizado por: (Los autores)

### 3.4.2. Elemento 2: brazo de conexión del agarre del arnés

Para conectar el agarre del arnés se requiere de la de un elemento dotado para esta función, es por ello que se procedió a diseñar un elemento que cuenta con un componente conector en un extremo y un pivote en el otro, para facilitar asimismo el giro entre piezas; estos dos componentes están unidos mediante una sección transversal hueca cuadrada.

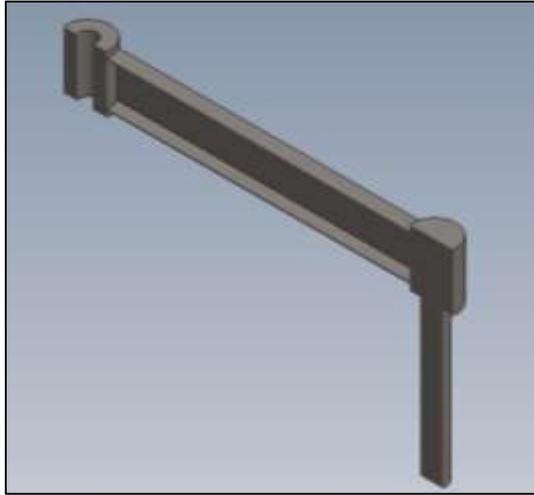


**Gráfico 17-3:** Diseño del brazo de conexión del agarre del arnés  
**Realizado por:** (Los autores)

La parte mencionada de la sección hueca cuadrada debe poseer una medida de largo adecuada, ya que de esto dependerá que no existan problemas en la longitud del mecanismo y por entre problemas a la hora de que se ingrese o saque a la persona del vehículo. Por criterios del diseñador y a partir de medidas tomadas de algunos vehículos tipo sedán en los que se podría utilizar el mecanismo, una longitud aproximada de 30 cm entre ejes de los componentes extremos es una medida adecuada, aparte considerando que esto mide la mitad de un asiento de un automóvil tipo sedán medido desde el marco de la puerta.

Con lo mencionado anteriormente, al colocar a la persona dentro del vehículo realizando lo movimientos adecuados en el mecanismo, esta se situaría justo en la mitad del asiento, encajando perfectamente en este, sin problemas de que se la llegue a situar más allá del límite del asiento.

Para cumplir con uno de los parámetros de diseño, como lo es el peso del mecanismo en su totalidad, se ha optado por una sección transversal cuadrada hueca de 2 mm de espesor, como se menciona anteriormente, con lo cual se reduce en gran el peso, contrario a lo que sucedería si se usara una sección sólida.



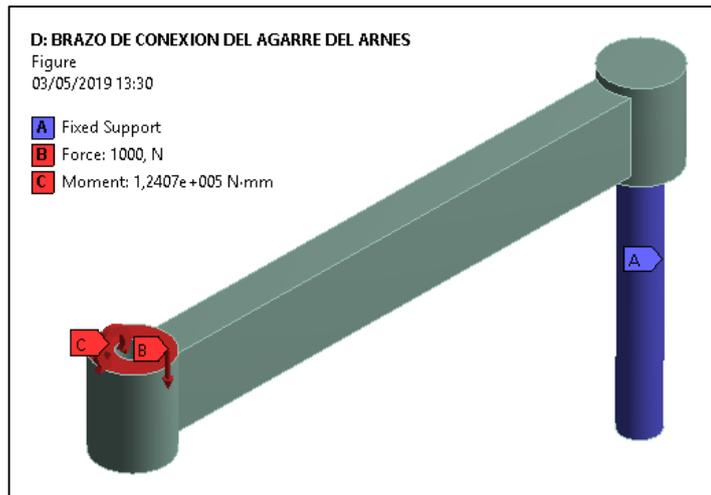
**Gráfico 18-3:** Sección transversal del brazo de conexión del agarre del arnés  
Realizado por: (Los autores)

#### ***3.4.2.1. Análisis CAE del brazo de conexión del agarre del arnés***

- **Cargas aplicadas**

Para aplicar las cargas de trabajo a este elemento para su posterior análisis, es necesario trasladar esta desde el agarre del arnés, para lo cual se requiere realizar un breve análisis de cargas estáticas, el cual se encuentra detallado en la sección de selección del actuador lineal eléctrico. Al trasladar la carga de trabajo al área de estudio, se generará un momento, que de igual manera deberá incluirse en el análisis.

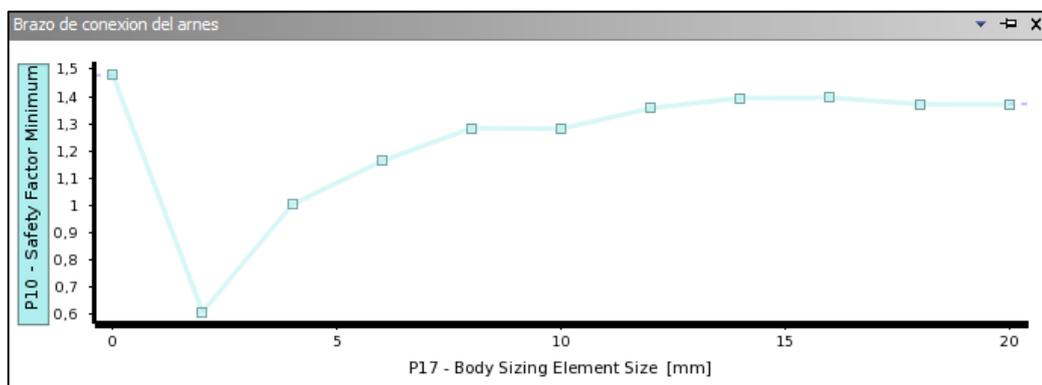
Luego de realizado el proceso matemático de traslado de fuerzas, estas deben posicionarse en el área indicada. La carga de 1000 N se aplica sobre el componente cilindro-hueco, que se encuentra en un extremo, del brazo de conexión; del mismo modo, el momento de 124070 N.mm que se generó al trasladar la carga de 1000 N, se coloca en la misma área, actuando sobre el eje x, de la vista isométrica del componente en ANSYS. El pivote de conexión al conector, actúa como soporte fijo en el análisis.



**Gráfico 19-3:** Fuerzas de trabajo aplicadas en el análisis del brazo de conexión  
 Realizado por: (Los autores)

- **Análisis de convergencia**

Luego de aplicar la herramienta “Body sizing”, se obtiene una linealidad de resultados entre 12 y 20 mm en la gráfica del factor de seguridad vs el tamaño de malla, por lo sé que se procede a tomar un valor de 17, para luego ser ingresado nuevamente en los parámetros de mallado y obtener resultados fiables.



**Gráfico 20-3:** Convergencia de valores en el análisis del brazo de conexión  
 Realizado por: (Los autores)

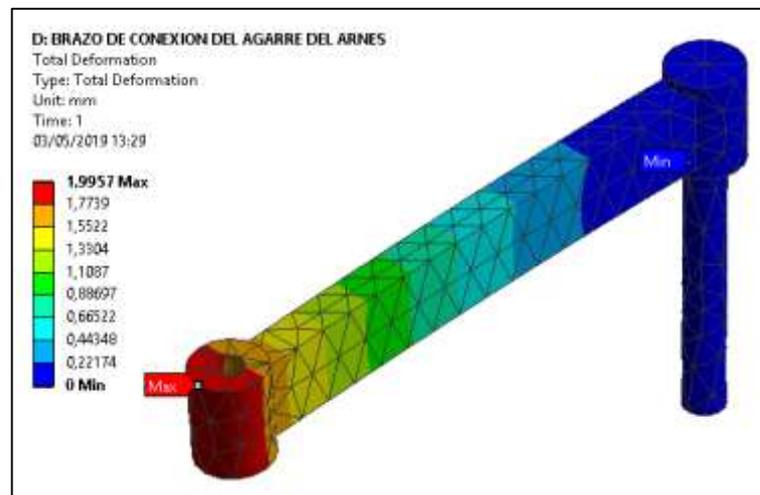
Luego de igual manera se comprueba una calidad promedio de malla con un valor de 0,4, que según lo indicado en el gráfico 21-3 (Los autores), dicho valor entra en el parámetro de una malla con una calidad buena para el estudio, con los que es posible fiarse de los resultados que se obtengan.

Details of "Mesh"	
<input checked="" type="checkbox"/> Display	
<input checked="" type="checkbox"/> Defaults	
<input checked="" type="checkbox"/> Sizing	
<input checked="" type="checkbox"/> Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,10929
<input type="checkbox"/> Max	0,99867
<input type="checkbox"/> Average	0,40346
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,29077

**Gráfico 21-3:** Calidad de malla promedio en el análisis del brazo de conexión  
Realizado por: (Los autores)

- **Análisis de resultados de deformación total**

Luego de aplicada la carga de estudio, se puede visualizar una deformación total de 1,99 mm en la parte delantera del componente cilíndrico-hueco, donde se conectar el agarre del arnés. Debido a que este elemento actúa similar a una viga en voladizo, la deformación se presentara en el lugar donde se aplica la carga. Esta deformación al ser mínima, no afecta el trabajo del elemento, tal como se apreciará en la sección del factor de seguridad.

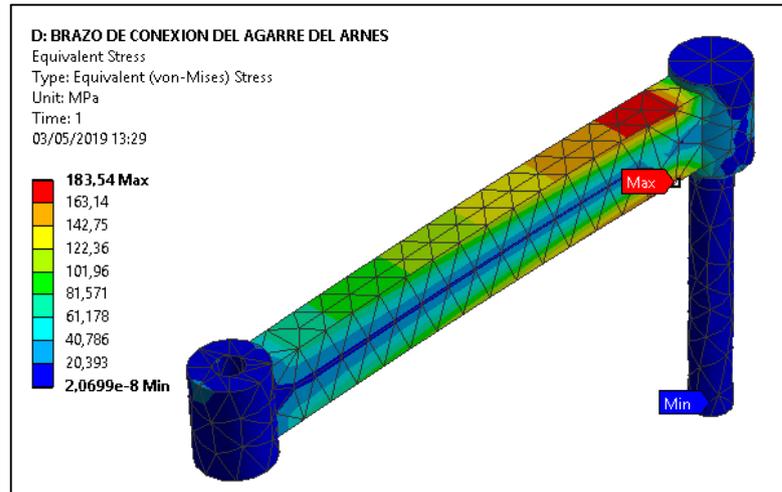


**Gráfico 22-3:** Deformación total del análisis del brazo de conexión  
Realizado por: (Los autores)

- **Análisis de resultados del esfuerzo equivalente**

El esfuerzo equivalente máximo se da en la unión entre el pivote y la sección cuadrada hueca, con un valor de 183,54 MPa, cuya cifra no supera el valor de 250 MPa de la resistencia a la fluencia del material usado en el análisis, con lo cual no se sobrepasa el limite elástico, retornando el elemento a su forma original luego de retirada la carga. Como se explicó anteriormente, debido a

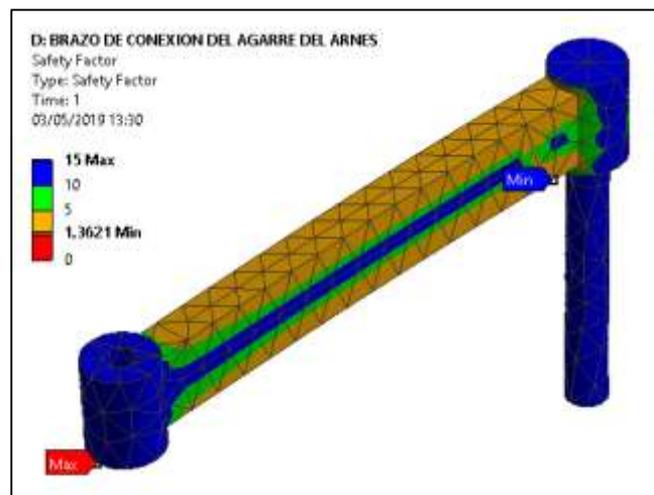
que este elemento trabaja forma similar a una viga en voladizo, justo en este cambio de sección se concentra el máximo esfuerzo.



**Gráfico 23-3:** Esfuerzo equivalente del análisis del brazo de conexión  
Realizado por: (Los autores)

- **Análisis de resultados del factor de seguridad**

Con un valor de factor de seguridad de 1,36, se puede demostrar que el elemento trabaja de acorde a los requerimientos necesario sin que se produzca fallas durante el actuar de la carga; sin embargo, con el este valor se puede visualizar de que este elemento es el que está sometido a un esfuerzo mayor de trabajo, en comparación con el resto de elementos del mecanismo, con lo que se podría decir que es el elemento más crítico de todo el mecanismo en general.

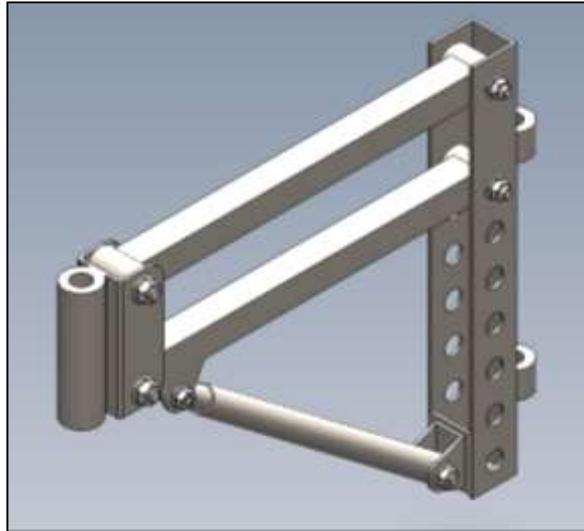


**Gráfico 24-3:** Factor de seguridad del análisis del brazo de conexión  
Realizado por: (Los autores)

### 3.4.3. Conjunto 1: conector, tubos cuadrados y soporte giratorio

El conjunto mencionado corresponde a la integración de un conector que une los elementos ya mencionados hasta ahora, como lo son el agarre y el brazo de conexión del agarre del arnés,

puddiente este último girar sobre él; además a este conector están conectados tubos cuadrados, tanto superior como inferior, donde a este último se conectará el actuador que ejercerá el trabajo de levantamiento. Por último, dentro de este conjunto existe un soporte que conecta los tubos cuadrados y a la base del actuador, de forma que se logra que el conjunto en sí no sea desarmable en la práctica, ejerciendo movimientos de giro respecto a ellos únicamente cuando el actuador esté trabajando. La unión entre componentes se logra mediante la utilización de pernos y tuercas de acuerdo al diámetro nominal que posea cada uno en las secciones de unión.



**Gráfico 25-3:** Diseño del conjunto de conector, tubos cuadrados y soporte giratorio  
Realizado por: (Los autores)

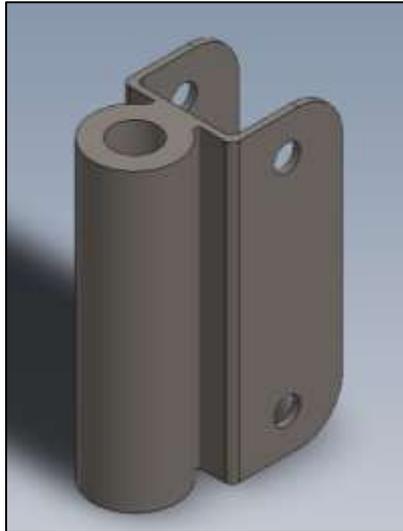
#### **3.4.3.1. Elemento 3: Conector de tubos cuadrados y brazo de conexión del agarre del arnés**

En este elemento se conectará el brazo de conexión del agarre del arnés mediante un pivote, que permitirá que este último gire sobre él. Por lo mencionado, se requiere que el diseño contenga un componente cilíndrico hueco; el diámetro y longitud de este orificio dependerá de las dimensiones del pivote del brazo de conexión.

Unido a la sección anterior existe la presencia de un sólido con sección transversal en "c" de 3 mm de espesor, de donde se conectarán los tubos cuadrados mediante pernos y tuercas. El espesor de dicha sección está a cargo del criterio del diseñador, ya que en el lugar de conexión de los tubos cuadrados el componente podría tender a ejercer un mayor esfuerzo a la hora de trabajar.

La distancia entre las perforaciones para la conexión de los tubos cuadrados, deberá ser tal que no exista interferencia entre ellos al momento de trabajar, además de que debe considerarse la carrera máxima que podrá alcanzar el actuador en el trabajo. Si se llegase a dejar los tubos cuadrados muy unidos en la conexión, estos tenderían a chocar al momento de que el actuador los está levantando, y por ende el actuador no podría continuar con su carrera. De forma contraria, si está muy separados uno del otro los valores de los esfuerzos podrían aumentar, llevando a una

falla. Basado en lo dicho, se considera que una distancia de 10 cm entre los centros de los orificios de conexión de los tubos es la adecuado, claro está, considerando también la carrera máxima que ejercerá el actuador.



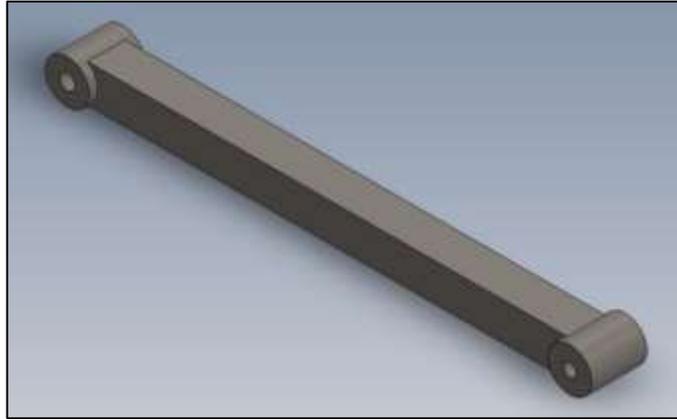
**Gráfico 26-3:** Diseño del conector del brazo de conexión y tubos cuadrados  
Realizado por: (Los autores)

#### **3.4.3.2. Elemento 4: tubos cuadrados Elemento**

Para el buen funcionamiento del mecanismo en general, es necesario la colocación de dos tubos que mantendrán la unión entre el conector, actuador y soporte. De acuerdo a criterios de diseño y a la teoría es preferible usar tubos de sección cuadrada, ya que estos a diferencia de los tubos de sección circular tienen una mayor resistencia bajo condiciones de flexión, aparte de que, al momento de construcción, el proceso de soldadura se podrá llevar a cabo fácilmente.

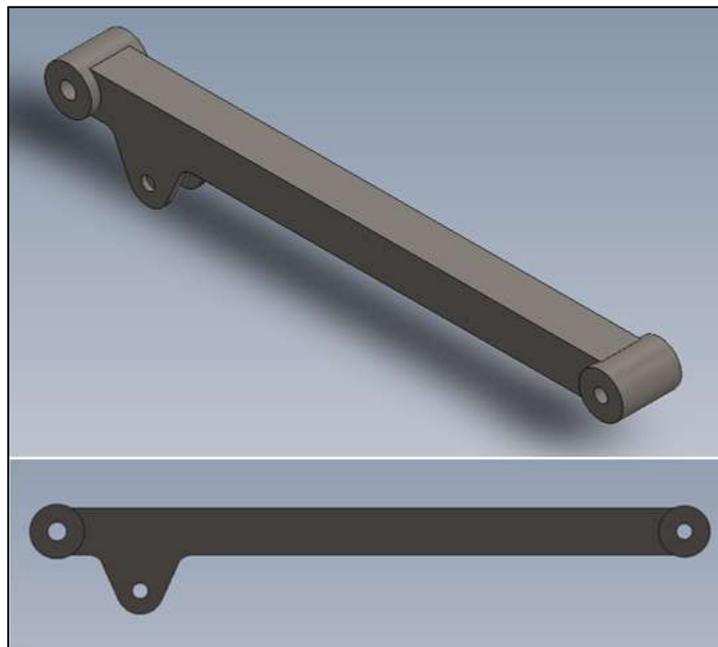
Ambos tubos, tanto superior como inferior, deben poseer una longitud de largo en base al tamaño de puerta de los vehículos tipo sedán en los que va a trabajar el mecanismo, es por ello que el diseño de estos está basado en dichas medidas; de no tener en cuenta este factor, se tendría problemas a la hora de ingresar a la persona dentro del vehículo y viceversa. Por cuestión de parámetros de peso, los tubos poseen un espesor de 2 mm.

Cada tubo está provisto en cada extremo de un elemento cilíndrico hueco, para la conexión tanto al conector, como al soporte.



**Gráfico 27-3:** Diseño del tubo cuadrado superior  
**Realizado por:** (Los autores)

Se debe tomar en cuenta que al tubo inferior va conectado la parte superior del actuador, por lo cual se debe añadir a este una especie de orejas para la conexión del mismo, tomado en cuenta las medidas de este para un correcto posicionamiento de ellas. Tanto la conexión de los tubos como del actuador es fija, por lo que se utilizan pernos y tuercas de acuerdo al diámetro nominal requerido para esto.

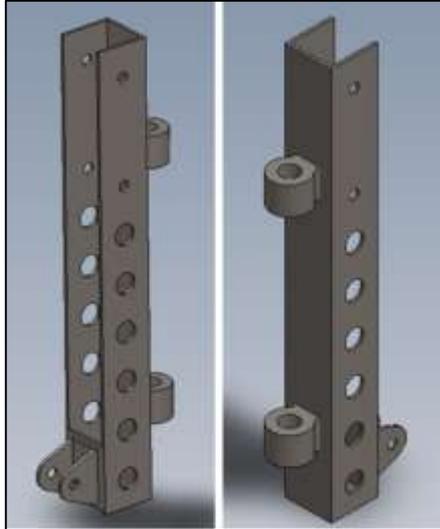


**Gráfico 28-3:** Diseño del tubo cuadrado inferior  
**Realizado por:** (Los autores)

#### **3.4.3.3. Elemento 5: Soporte de conexión**

En este elemento se conectan tanto los tubos cuadrados, así como la parte inferior del actuador, para que así todo este conjunto permanezca fijo. Este elemento posee una sección transversal en forma de "C" con el fin de reducir peso, cuyo espesor es de 3 mm. Por otra parte, están añadidos 2 componentes cilíndrico-huecos en la parte plana con el fin de conectarse este conjunto al soporte fijo que se encuentra conectado a las bisagras del vehículo.

Las orejas donde está conectada la parte inferior del actuador deben estar posicionadas de acuerdo a las dimensiones del mismo para no afectar el trabajo que este va a realizar. Por otra parte, como se observa en la figura 29-3 (Los autores), el soporte posee algunos orificios en las superficies laterales, esto está definido en base a la primicia de reducir peso, bajo el criterio del diseñador.



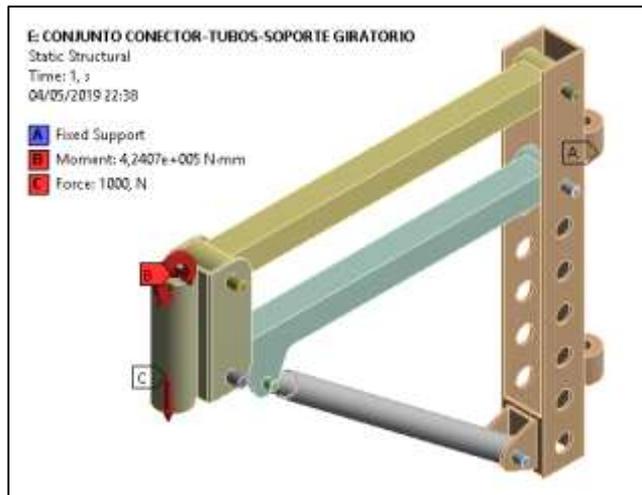
**Gráfico 29-3:** Diseño del soporte de conexión  
Realizado por: (Los autores)

#### ***3.4.3.4. Análisis CAE del conjunto de conector, tubos cuadrados y soporte giratorio***

- **Cargas aplicadas**

Para aplicar las cargas de trabajo en este conjunto, se requiere nuevamente que se realice un traslado de fuerzas desde el agarre del arnés, proceso que es detallado en la sección de selección del actuador lineal eléctrico. La carga de 1000 N trasladada y el momento de 424070 N.mm generada durante dicho traslado, se posicionan en el conector, justo donde se conecta el brazo de conexión del agarre del arnés, simulando de esta manera el trabajo que va a realizar.

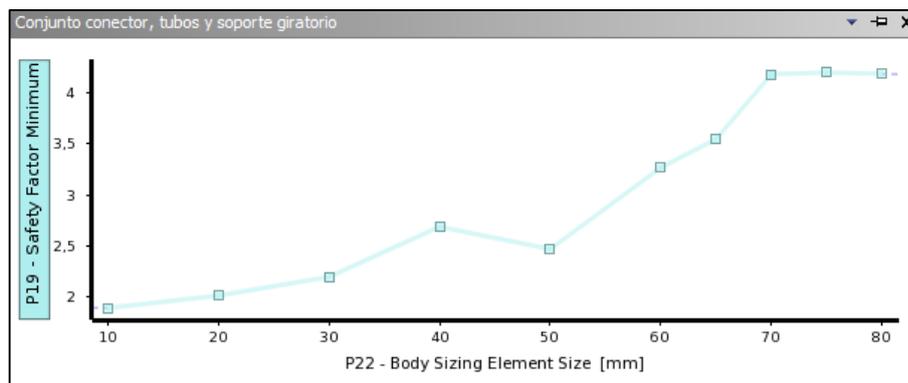
Por otra parte, como apoyo fijo se designa a las superficies inferiores de los dos componentes cilíndrico-huecos que posee el soporte de conexión para conectarse con el soporte fijo, el cual va anclado a las bisagras del vehículo.



**Gráfico 30-3:** Fuerzas de trabajo aplicadas en el análisis del conjunto 1  
**Realizado por:** (Los autores)

- **Análisis de convergencia**

Al observarse la gráfica del factor de seguridad vs el tamaño de malla generada a partir de este conjunto, se logra observar una linealidad de resultados con un rango entre 70 y 80 mm, tomando un valor de 75 como parámetro del análisis final para la obtención de los resultados necesitados.



**Gráfico 31-3:** Convergencia de valores en el análisis del conjunto 1  
**Realizado por:** (Los autores)

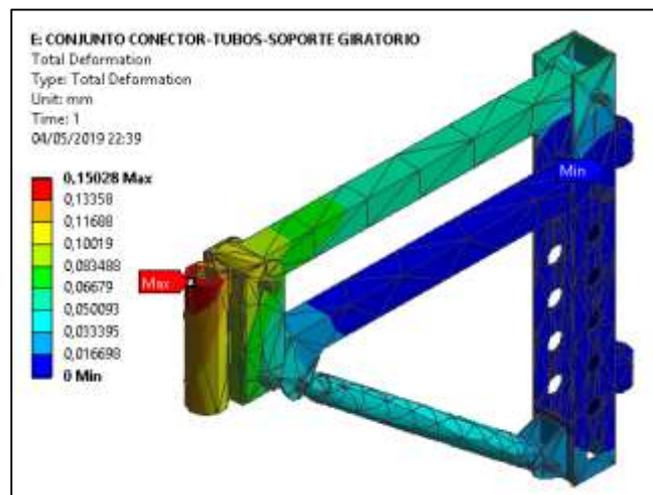
Luego de ejecutado el análisis, es posible comprobar que se obtiene una calidad promedio de malla de 0,40, que, según la teoría detallada anteriormente, se considera una calidad de malla buena para la confiabilidad de los resultados.

Details of "Mesh"	
⊕ Display	
⊕ Defaults	
⊕ Sizing	
☐ Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	9,9431e-003
<input type="checkbox"/> Max	0,99999
<input type="checkbox"/> Average	0,40238
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,30345

**Gráfico 32-3:** Calidad de malla promedio en el análisis del conjunto 1  
Realizado por: (Los autores)

- **Análisis de resultados de deformación total**

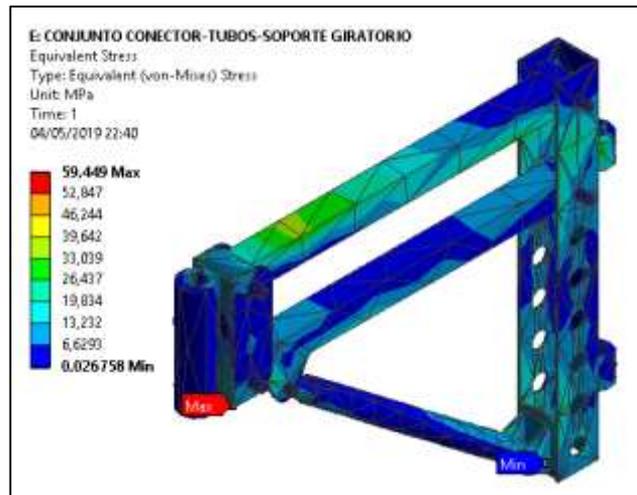
Producto de la carga a la que se somete el conector en la parte de conexión del pivote del brazo de conexión del agarre del arnés, se va a producir una deformación total 0,15 mm en esta zona, considerándose una deformación bastante reducida que pueda comprometer la integridad del elemento.



**Gráfico 33-3:** Deformación total del análisis del conjunto 1  
Realizado por: (Los autores)

- **Análisis de resultados del esfuerzo equivalente**

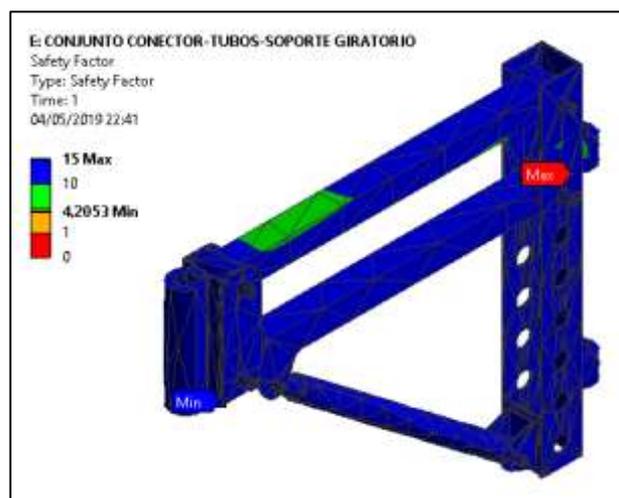
La concentración de esfuerzos se mantiene de igual manera en el conector, esta vez en zona de una esquina inferior del mismo; esto debido a la compresión que se somete dicha parte al momento de aplicarse las cargas. Al obtenerse un valor de esfuerzo equivalente de 59,45 MPa, se considera que el conjunto trabaja en perfectas condiciones al aplicarse la carga de trabajo. Este valor se encuentra muy por debajo del valor nominal de 250 MPa de resistencia a la fluencia del material utilizado en el estudio.



**Gráfico 34-3:** Esfuerzo equivalente del análisis del conjunto 1  
**Realizado por:** (Los autores)

- **Análisis de resultados del factor de seguridad**

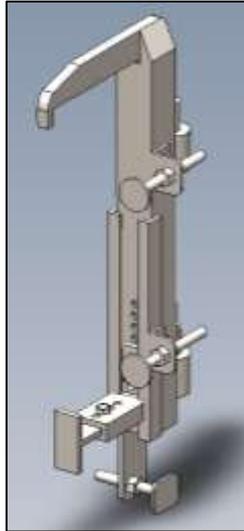
Con un factor de seguridad de 4,2, se considera que el conjunto trabajara en perfectas condiciones con la carga respectiva de trabajo, sin que se presente anomalías en cualquier elemento.



**Gráfico 35-3:** Factor de seguridad del análisis del conjunto 1  
**Realizado por:** (Los autores)

#### **3.4.4. Conjunto 2: soporte fijo de conexión a las bisagras del automóvil y apoyos**

Este conjunto cuenta con un soporte que va conectado a las bisagras del vehículo, para lo cual existe un agarre en la parte superior, y un apoyo en la inferior. Además de lo mencionado, están presentes unos apoyos extras que, al ir apoyados en la parte del marco de la puerta del vehículo, dan estabilidad a todo el mecanismo en general, evitando movimientos indeseables durante el trabajo. Cabe destacar que el diseño de este conjunto está basado en que sea regulable y así poderse usar en varios modelos de vehículos tipo sedán, esto se consigue regulando el apoyo inferior que se presiona contra la bisagra inferior del vehículo.



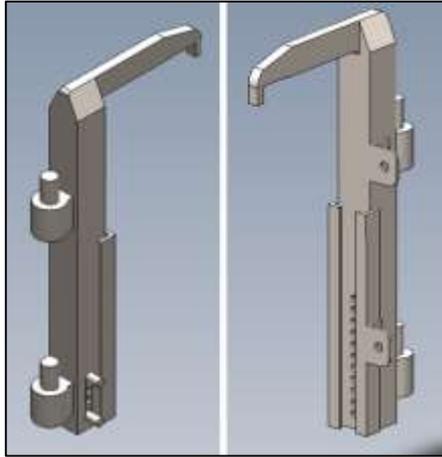
**Gráfico 36-3:** Diseño del conjunto de soporte fijo y apoyos  
Realizado por: (Los autores)

#### ***3.4.4.1. Elemento 7: soporte fijo de conexión a las bisagras del automóvil***

El diseño de este elemento posee un agarre en la parte superior con el fin de conectarse a la bisagra superior del vehículo. De igual manera, con el fin de proporcionarse un diseño regulable, se procedió añadir un riel con varios orificios para el apoyo, que ejerce presión en la bisagra inferior del vehículo, tome lugar en el posicionamiento adecuado a partir de la distancia presente entre las bisagras de la mayoría de modelos de vehículos tipo sedán.

Por otro lado, se colocaron dos orejas laterales donde irán posicionados 2 apoyos extras que se utilizan para dar estabilidad al mecanismo, los cuales se apoyaran en la parte delantera del marco de la puerta del vehículo; de la misma forma se proveyó de un espacio en la parte inferior, junto con elementos cilíndricos, para colocar una placa de apoyo sujeta por tuercas, donde se colocara otro apoyo extra que ejercerá presión sobre el marco inferior de la puerta.

Esta parte del mecanismo se conecta con el conjunto 1, anteriormente mencionado, por medio de 2 pivotes cilíndricos, que permitirá que exista un movimiento alrededor de estos al momento del trabajo, con lo que se podrá movilizar a la persona hacia el interior o exterior del vehículo de forma fácil.

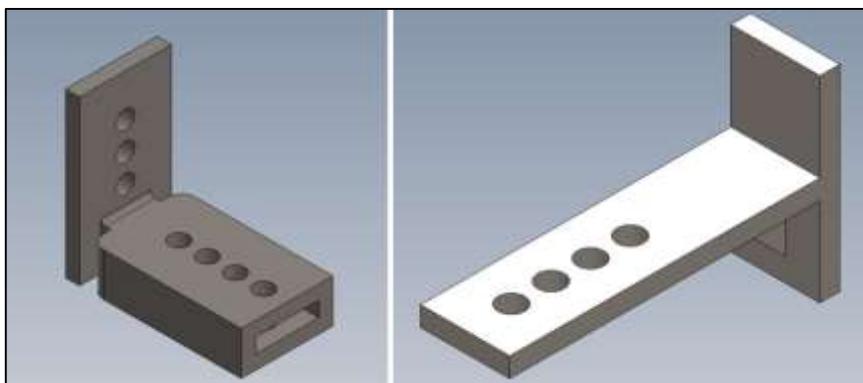


**Gráfico 37-3:** Diseño del soporte fijo de conexión a las bisagras del automóvil  
**Realizado por:** (Los autores)

#### 3.4.4.2. Elemento 8: Apoyos

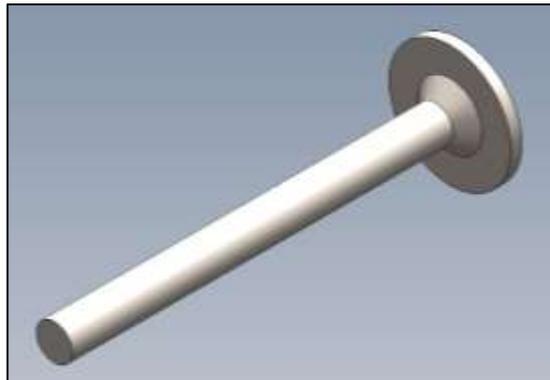
Como se mencionó con anterioridad, se necesita que cuando el mecanismo trabaje, lo realice de la forma más estable posible. Este aspecto dependerá en gran medida del soporte fijo de conexión de las bisagras, ya que durante el proceso de trabajo del mecanismo en general, este debe mantenerse fijo en su posición, ya que si este se mueve de su posición podrían causar daños al vehículo o hasta la persona que está usando el mecanismo. Es aquí donde los apoyos extras juegan un papel importante.

En primer lugar, como se explicó en el apartado del soporte fijo de conexión a las bisagras, que este posee una especie de riel donde se puede colocar una corredera que a su vez alojará un apoyo que ejercerá presión sobre la bisagra inferior. Esta corredera, así mismo posee varios orificios con el fin de ajustarse de acuerdo a las medidas del vehículo que se esté utilizando en el momento. El apoyo que se aloja en dicha corredera, de igual manera se puede ajustar su posicionamiento al contener varias perforaciones. El ajuste de estos dos elementos se la realiza usando 2 pernos, pero sin tuerca, con el fin de un ajuste rápido a la hora de que se use el mecanismo.



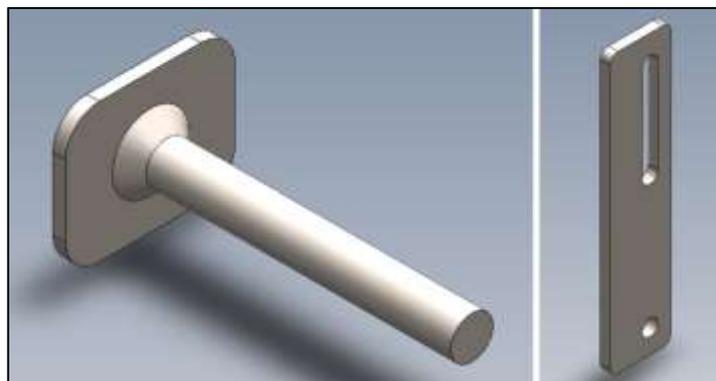
**Gráfico 38-3:** Diseño de la corredera y del apoyo ajustable de la bisagra inferior  
**Realizado por:** (Los autores)

Para que el mecanismo realice su función satisfactoriamente, es necesario además añadir otro soporte que este ejerciendo apoyo en otros puntos alrededor de la puerta. Visto de este modo se vio la necesidad de añadir 2 nuevos soportes que estarán apoyando justo al lado de las bisagras de vehículo, más específicamente en el marco de la puerta, para que, de este modo, cuando se estén realizando los movimientos respectivos de trabajo no existan movimientos indeseables que puedan perjudicar al vehículo o a la persona que usa el mecanismo. Por factores de diseño, estos 2 soportes fueron diseñados en base a una forma con un vástago cilíndrico roscable y una base plana-circular de 3 milímetros de espesor.



**Gráfico 39-3:** Diseño del apoyo de la parte delantera del marco de la puerta del vehículo  
**Realizado por:** (Los autores)

Por último, para reforzar la estabilidad del soporte fijo, se colocó al diseño un tercer apoyo extra, que va presionado contra la parte baja del marco de la puerta, paralelo al suelo. Dicho apoyo asimismo posee un vástago roscable con terminación en una base plana-rectangular. Este apoyo se encuentra localizado junto a una placa rectangular, que también puede regular su posición mediante el ajuste con tuercas de dos vástagos salientes desde el soporte fijo de conexión de las bisagras del vehículo, que pasan a través de una ranura que posee esta placa.



**Gráfico 40-3:** Diseño del apoyo de la parte baja del marco y placa de sujeción  
**Realizado por:** (Los autores)

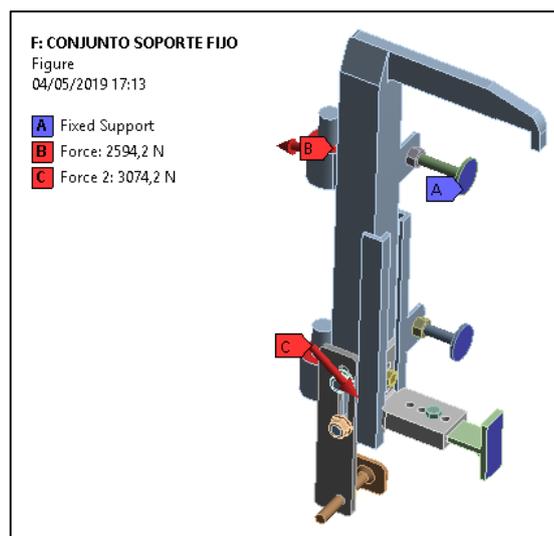
### 3.4.4.3. Análisis CAE del conjunto de soporte fijo y apoyos

- **Cargas aplicadas**

El primer paso para la aplicación de las cargas en este conjunto es hallar las reacciones de las cargas que se generan en los pivotes de conexión, análisis detallado igualmente en la sección de selección del actuador lineal eléctrico. En el pivote superior se genera una carga de 2594,2 N, con una componente en  $x$  de (+) 2448,03 N y una componente en  $y$  de (-) 859,5 N. Por otra parte, en el pivote inferior se genera una carga de 3074,2 N, con una componente en  $x$  de (-) 2448,03 N y (-) 1859,5 N en  $y$ .

La carga del pivote superior tiende a la tensión del elemento; por otro lado, la carga del pivote inferior hace que el elemento tienda a la compresión, como sucedería en el trabajo real del mecanismo

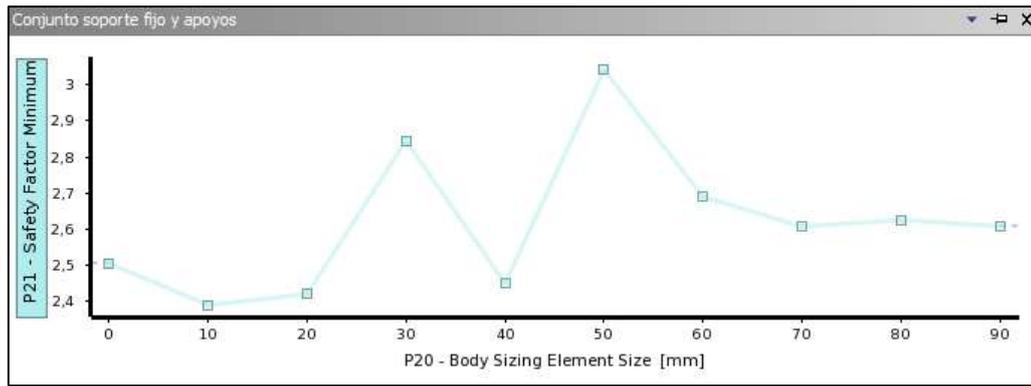
Como soporte fijo para el análisis, se toma tanto, la superficie de contacto del agarre conectado a la bisagra superior, como el resto de superficies de contacto de los apoyos contra el marco de la puerta y la bisagra inferior.



**Gráfico 41-3:** Fuerzas de trabajo aplicadas en el análisis del conjunto 2  
Realizado por: (Los autores)

- **Análisis de convergencia**

En el análisis de convergencia de la gráfica del factor de seguridad vs el tamaño de malla, existe una linealidad de resultados que va desde 70 a 90 mm, tomado como valor de referencia para el análisis final, el valor de 80.



**Gráfico 42-3:** Convergencia de valores en el análisis del conjunto 2  
**Realizado por:** (Los autores)

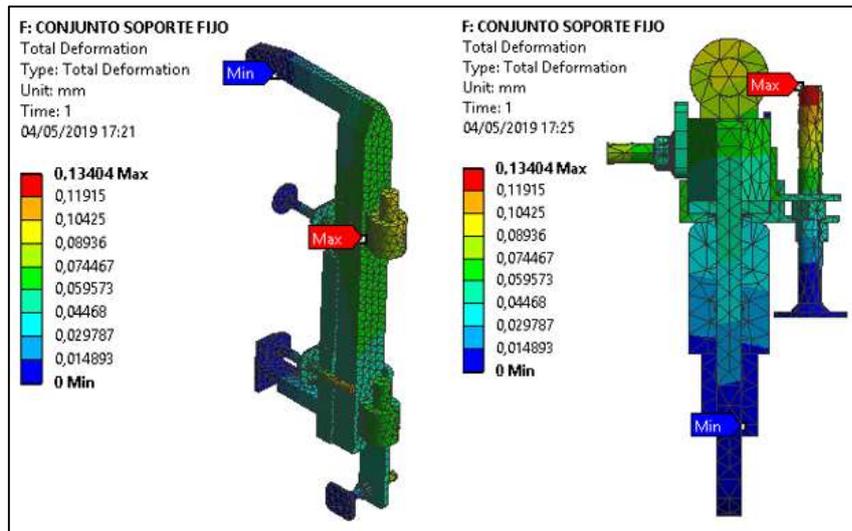
Al ingresar el valor mencionado en los parámetros de mallado, se obtiene una calidad promedio de malla de 0,59, entrando en el rango de una calidad buena de malla para obtener resultados confiables en el análisis.

Details of "Mesh"	
+	Display
+	Defaults
+	Sizing
-	Quality
	Check Mesh Quality Yes, Errors
	Error Limits Standard Mechanical
<input type="checkbox"/>	Target Quality Default (0.050000)
	Smoothing Medium
	Mesh Metric Element Quality
<input type="checkbox"/>	Min 5,6232e-002
<input type="checkbox"/>	Max 0,99877
<input type="checkbox"/>	Average 0,59138
<input type="checkbox"/>	Standard Deviation 0,19198

**Gráfico 43-3:** Calidad de malla promedio en el análisis del conjunto 2  
**Realizado por:** (Los autores)

- **Análisis de resultados de deformación total**

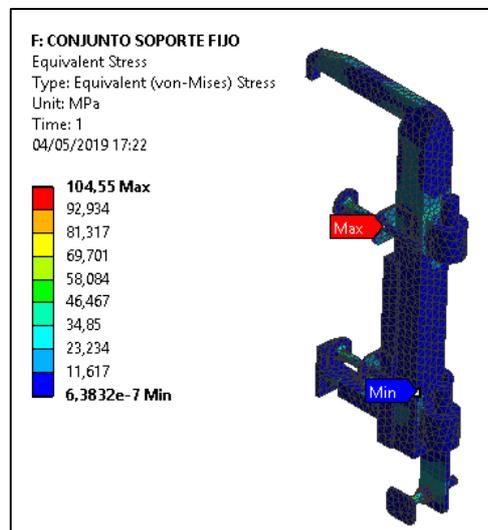
En este conjunto también se obtiene una deformación total significativamente baja, con un valor de 0,13 mm, la cual se encuentra localizada en el extremo del vástago del apoyo superior del marco de la puerta. La localización y el valor de esta deformación no afectan de ninguna manera el funcionamiento del conjunto.



**Gráfico 44-3:** Deformación total del análisis del conjunto 2  
 Realizado por: (Los autores)

- **Análisis de resultados del esfuerzo equivalente**

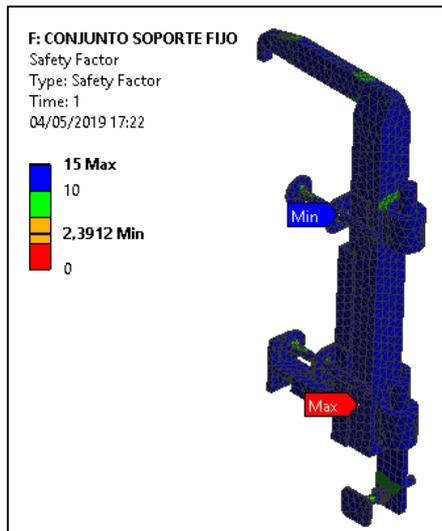
Según los resultados del análisis de esfuerzo equivalente, se obtiene un valor de 104,55 MPa, valor que se encuentra muy por debajo de los 250 MPa del valor nominal de la resistencia a la fluencia del material con el que se realiza el estudio. Dicho esfuerzo está concentrado en la zona de ajuste del apoyo superior del marco de la puerta, producto de la compresión que se da al aplicar la carga de trabajo.



**Gráfico 45-3:** Esfuerzo equivalente del análisis del conjunto 2  
 Realizado por: (Los autores)

- **Análisis de resultados del factor de seguridad**

Con un factor de seguridad de 2,39 el conjunto trabaja en perfectas condiciones bajo la carga de trabajo usada en el estudio, sin presentar fallas ningún elemento del conjunto.

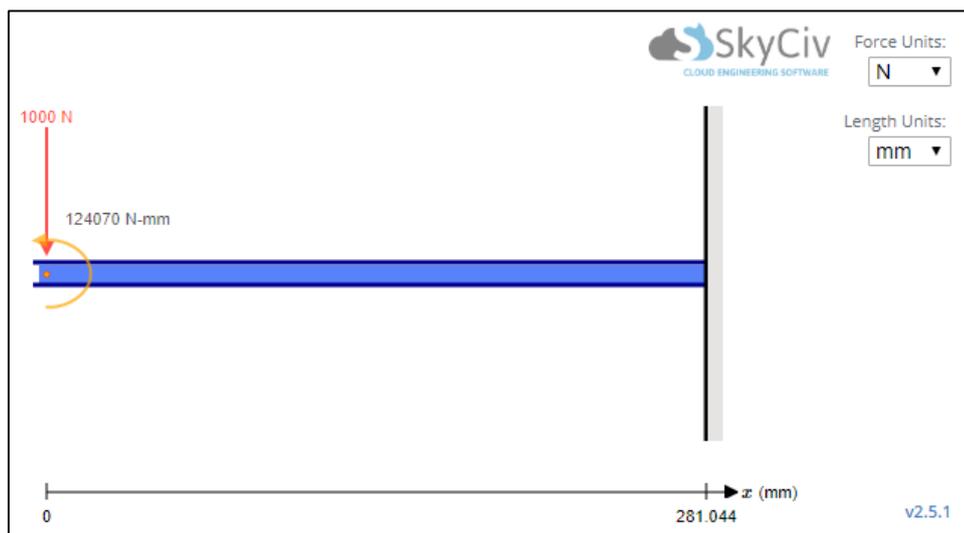


**Gráfico 46-3:** Factor de seguridad del análisis del conjunto 2  
 Realizado por: (Los autores)

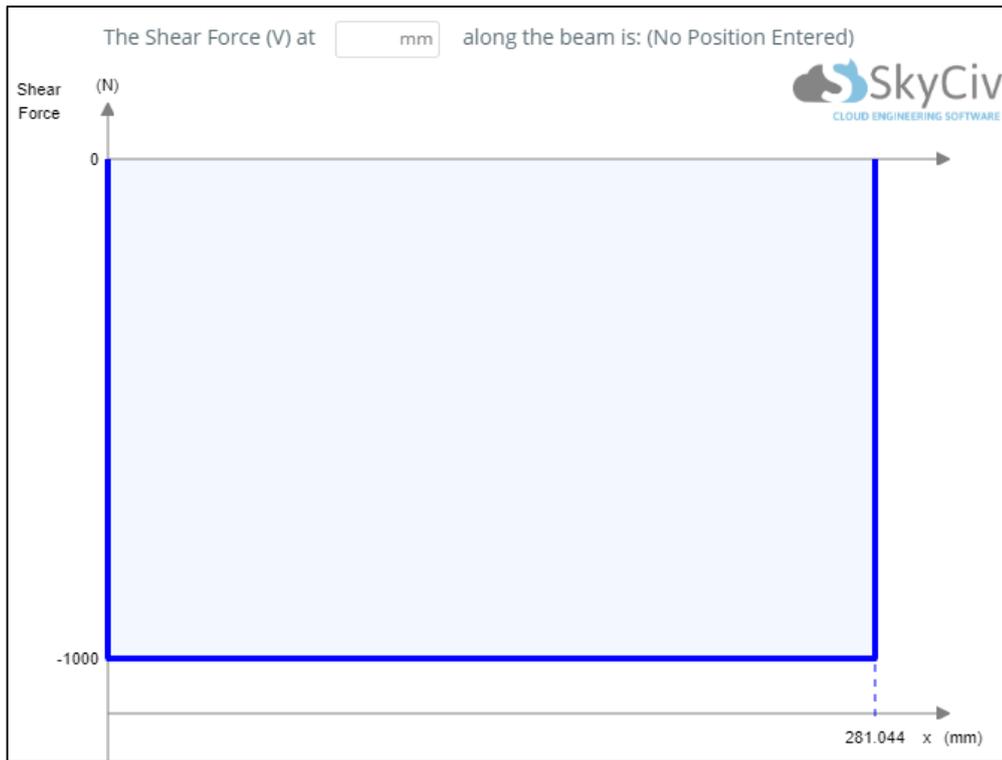
### 3.4.5. Teoría de falla estática del brazo de conexión del agarre del arnés

Luego de un análisis individual por elementos o conjuntos, se puede observar que el elemento más crítico, debido a su menor factor de seguridad, es el brazo de conexión del agarre del arnés, por lo que se consideró realizar un cálculo analítico manual aplicando la teoría de falla estática de la energía de distorsión, para su comprobación con el software CAE y estar más seguros con los resultados obtenidos.

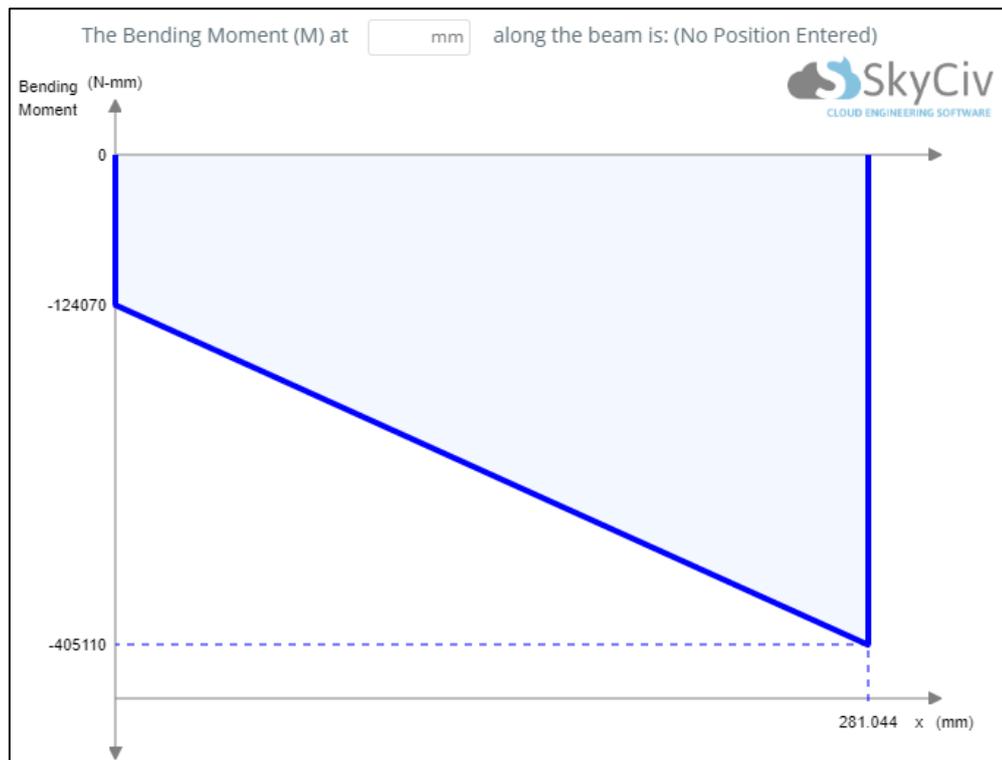
Como primer punto, se realizaron diagramas de fuerzas cortantes y momento flector para conocer el lugar de concentración del momento máximo.



**Gráfico 47-3:** Diagrama de cuerpo libre - viga en voladizo  
 Realizado por: (Los autores)



**Gráfico 48-3:** Diagrama de fuerza cortante  
 Realizado por: (Los autores)



**Gráfico 49-3:** Diagrama de momento flector  
 Realizado por: Los autores

Para reemplazar valores en la fórmula de la teoría de falla es necesario conocer el esfuerzo debido a la flexión  $\sigma_x$ .

$$S = \frac{bd^3 - b_i d_i^3}{6d} = \frac{0.02m * 0.04^3 m^3 - 0.016 * 0.036^3 m^3}{6 * 0.04m} = 2.22293 * 10^{-6} m^3$$

$$\sigma_x = \frac{M}{S} = \frac{405.11 Nm}{2.22293 * 10^{-6} m^3} = 182.24 MPa$$

$$\tau_{xy} = 0 MPa$$

El valor de  $\tau_{xy}$  es cero debido a que no están presentes esfuerzos de torsión en el diagrama.

Al aplicar la fórmula de la energía de distorsión se tiene que el factor de seguridad del elemento es de 1.37 que tiene una gran similitud al valor obtenido en el software CAE, mostrando fiabilidad en los resultados.

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2)} = \sqrt{((182.24 MPa)^2 + 3 * 0 MPa^2)} = 182.24 MPa$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{250 MPa}{182.24 MPa} =$$

$$n = 1.37$$

### 3.5. Pruebas y funcionamiento

#### 3.5.1. Funcionamiento

Para la instalación del mecanismo es necesario seguir seis pasos descritos a continuación:

- a) Poner el soporte fijo en las bisagras del vehículo y regular los apoyos.
- b) Colocar el conjunto tubos cuadrados, soporte y actuador al soporte fijo.
- c) Conectar el módulo de control a la fuente de alimentación del vehículo.
- d) Colocar el brazo de conexión del agarre del arnés al conjunto de tubos, actuador y soporte.
- e) Colocar el agarre del arnés al brazo de conexión.
- f) Colocar el arnés en los tres puntos de sujeción del agarre.



**Gráfico 50-3:** Pasos para la instalación del mecanismo  
**Realizado por:** (Los autores)

Una vez que el mecanismo se encuentre instalado y bien asegurado se levanta a la persona de su silla de ruedas mediante el mando Joystick. Se mueve el mecanismo de manera cuidadosa hasta que la persona se encuentre en el interior del vehículo por encima del asiento. Luego, se baja a la persona con el mando hasta que se encuentre totalmente sentada y apoyada en el asiento. Por último, se retira el arnés y todas las piezas del mecanismo. Para retirar a la persona del vehículo se debe seguir el mismo procedimiento, pero en sentido contrario hasta que se encuentre sentada en su silla de ruedas.

### 3.5.2. Pruebas

Las pruebas de funcionamiento se las realizaron en un vehículo Chevrolet Cavalier 2019. Se documentaron tres pruebas en unas tablas con personas de diferentes pesos y estatura. Las tablas constan del estado bueno, regular o malo de las piezas sometidas a contacto o esfuerzos por parte del mecanismo.

**Tabla 7-3:** Resultado de la primera prueba de funcionamiento del mecanismo

Prueba #1	Peso: 60 Kg / Estatura: 1.67		
	B	R	M
Estado bisagra superior		✓	
Estado bisagra inferior		✓	
Estado marco de la puerta		✓	
Estado del actuador	✓		
Estado del mecanismo	✓		
Estado del arnés	✓		
Observaciones	Se presentaron rayones en las bisagras y en el marco de la puerta en el proceso de ensamblaje.		
B: Bien    R: Regular    M: Malo			

**Fuente:** (Los autores)

**Realizado por:** (Los autores, 2019)

**Tabla 8-3:** Resultado de la segunda prueba de funcionamiento del mecanismo

Prueba #2	Peso: 62 Kg / Estatura: 1.60		
	B	R	M
Estado bisagra superior		✓	
Estado bisagra inferior		✓	
Estado marco de la puerta		✓	
Estado del actuador	✓		
Estado del mecanismo	✓		
Estado del arnés	✓		
Observaciones	Se presentó una pequeña abolladura en la bisagra inferior producto del tipo de caucho extra suave en los apoyos del mecanismo.		
B: Bien    R: Regular    M: Malo			

Fuente: (Los autores)

Realizado por: (Los autores, 2019)

**Tabla 9-3:** Resultado de la tercera prueba de funcionamiento del mecanismo

Prueba #3	Peso: 78 Kg / Estatura: 1.70 m		
	B	R	M
Estado bisagra superior	✓		
Estado bisagra inferior	✓		
Estado marco de la puerta	✓		
Estado del actuador	✓		
Estado del mecanismo	✓		
Estado del arnés	✓		
Observaciones	Con los cauchos vulcanizados no se presentaron abolladuras ni rayones nuevos debido a que soportan más presión.		
B: Bien    R: Regular    M: Malo			

Fuente: (Los autores)

Realizado por: (Los autores, 2019)

### 3.6. Análisis de resultados

De acuerdo a los resultados de las pruebas realizadas, el mecanismo funcionó como se esperaba. Se tuvo problemas con las primeras pruebas debido al tipo de caucho que se encontraba en los apoyos, que eran muy suaves y no soportaron mucho esfuerzo de compresión hasta que se cambiaron por cauchos más resistentes, esto en la parte de la conexión del soporte fijo conectado a las bisagras del vehículo.

A medida que se incrementaba el peso se notó una ligera resistencia al movimiento de las partes sometidas a fricción, pero aun así el manejo del mecanismo se lo continúa realizando de forma fácil.

Además, las pizas que integran el mecanismo al igual que el actuador lineal se conservaron en óptimas condiciones debido a que no sufrieron ninguna deformación o ruptura durante todas las pruebas.

Por otra parte, el arnés se conservó en óptimas condiciones, las eslingas no presentaron anomalías y se reportó comodidad en su uso por parte de las personas de pruebas.

## CAPÍTULO IV

### 4. ESTUDIO DE COSTOS

Mediante un estudio de costos es posible conocer la rentabilidad que posee realizar el proyecto, así como enterarse de si este es rentable a través del tiempo, con cual se logra analizar si es conveniente continuar con el proceso de inversión del mismo. Todo este análisis parte de la primicia de que se posee un valor de inversión inicial para solventar los gastos iniciales, tales como costos directos e indirectos.

#### 4.1. Costos directos

Los costos directos son todos aquellos valores monetarios, que este caso intervinieron directamente en el proceso de realización del proyecto, siendo este caso, la fabricación y adecuación del mecanismo.

**Tabla 1-4:** Costos directos del proyecto

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Actuador	1 unidad	\$80,81	\$80,81
Arnés ortopédico	1 unidad	\$179,98	\$179,98
Arduino uno	1 unidad	\$10,50	\$10,50
Conector macho-mechero	1 unidad	\$3,00	\$3,00
Modulo puente H BTS 7960 de 43 A	1 unidad	\$25	\$25
Elevador de voltaje	1 unidad	\$40	\$40
Joystick	1 unidad	\$1,50	\$1,50
Cable de conexión	3 metros	\$1,00	\$3,00
Acero ASTM A500 (tubos, ejes y platinas)	--	\$120,00	\$120,00
Vulcanizado	--	\$23,00	\$23,00
Material de pintado	--	\$10,00	\$10,00
Importación de equipo (actuador y arnés ortopédico)	--	\$299,79	\$299,79
Mano de obra	--	\$ 603,00	\$ 603,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 1399,58</b>

**Fuente:** (Los autores)

**Realizado por:** (Los autores, 2019)

#### 4.2. Costos indirectos

Los costos indirectos, en cambio, son todos aquellos valores monetarios que intervienen también en el proyecto, pero de forma indirecta.

**Tabla 2-4:** Costos indirectos

<b>COSTOS DIRECTOS</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
Alquiler de vehículo de pruebas	--	\$ 80,00	\$ 80,00
Otros	--	\$ 70,00	\$ 70,00
<b>TOTAL</b>			\$ 150,00

**Fuente:** (Los autores)

**Realizado por:** (Los autores, 2019)

### 4.3. VAN

Obteniendo el VAN o valor actual neto, es posible considerar y determinar si el proyecto es viable a largo plazo, ya que permite obtener un flujo neto de efectivo descontado a la tasa de descuento con la que se esté trabajando.

Para calcular el VAN es necesario conocer primero los valores de flujo neto de efectivo (FNE) de cada periodo; la tasa de descuento (*i*) para el análisis, que este caso es del 9,83% (0,0983) de acuerdo a las regulaciones económicas del Banco central del Ecuador hasta el mes de mayo en el campo productivo-empresarial; y por último el valor con el que se cuenta para realizar la inversión inicial del proyecto (*I*), que como se puede observar en los apartados de los costos es de \$1549,58. El estudio de este proyecto se lo lleva a cabo en un periodo (*n*) de 5 años.

$$VAN = \sum \frac{FNE}{(1 + i)^n} - I$$

**Gráfico 1-4:** Fórmula para cálculo del VAN

**Realizado por:** (Los autores)

En este proyecto se estima una proyección de flujos neto de efectivo durante los 5 años de estudio económico de \$200,00 el primer año, \$400,00 el segundo año, \$800,00 el tercer año, \$500,00 el cuarto año y \$300,00 en el último año.

**Tabla 3-4:** Flujos neto de efectivos proyectados

<b>PERIODOS (n)</b>						
<b>Años</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>FNE proyectado</b>	- \$1549,58	\$200,00	\$400,00	\$800,00	\$500,00	\$300,00

**Fuente:** (Los autores)

**Realizado por:** (Los autores, 2019)

Luego de realizar los respectivos cálculos, se obtiene un valor del VAN mayor a cero (\$99,32), que indica que es conveniente aceptar el proyecto y realizar la inversión en este, ya que se está generando un flujo de efectivo neto mayor a la inversión que se realiza inicialmente.

**Tabla 4-4:** Resultados del VAN

<b>n = 4</b> <b>i = 9,83% (0,093)</b>	PERIODOS	FNE	$(1 + i)^n$	$\frac{FNE}{(1 + i)^n}$
	0	- \$1549,58		- \$1549,58
	1	\$200,00	1,10	+ \$182,10
	2	\$400,00	1,21	+ \$331,60
	3	\$800,00	1,32	+ \$603,85
	4	\$500,00	1,46	+ \$343,63
	5	\$300,00	1,60	+ \$187,72
<b>VAN</b>			<b>\$99,32</b>	

**Fuente:** (Los autores)

**Realizado por:** (Los autores, 2019)

#### 4.4. TIR

El TIR o tasa interna de retorno, por otra parte, muestra la rentabilidad del proyecto, o la tasa de recuperación del capital invertido en la vida económica del proyecto; siendo así un punto en el tiempo donde el VAN se iguala a cero.

$$\sum \frac{FNE}{(1 + i)^n} - I = 0$$

**Gráfico 2-4:** Fórmula para cálculo del TIR

**Realizado por:** (Los autores)

Realizando el respectivo cálculo de la tasa de retorno (despejando "n" en la ecuación mostrada), se obtiene un valor del TIR del 12,12%, que al ser mayor que la tasa de descuento (9,83%), se refuta la idea de que se debe aceptar el proyecto como viable en cuanto a la rentabilidad de invertir en este.

**Tabla 5-4:** Resultados del TIR

<b>TIR</b>	
Inversión inicial	- \$1549,58
1er año	\$200,00
2do año	\$400,00
3er año	\$800,00
4to año	\$500,00
5to año	\$300,00
<b>TIR</b>	<b>12,12%</b>

**Fuente:** (Los autores)

**Realizado por:** (Los autores, 2019)

## CONCLUSIONES

- El mecanismo debe poseer una capacidad máxima de 90 Kg, tamaño compacto y ligero, arnés ortopédico y regulación para distintos tipos de vehículos sedán. Para lo cual fue necesario conocer el tipo y el grado de discapacidad de cada una de las personas discapacitadas debido a que el mecanismo funciona si posee control sobre su cuello. Toda esta información fue proporcionada por el presidente de la AFAPECH que consta en el anexo B.
- De las tres posibles alternativas para accionar y poner en marcha el mecanismo el más eficiente es el actuador lineal eléctrico. La selección de la alternativa más adecuada se realizó en base al tamaño, instalación, peso, ruido, vibración y costos, eligiendo así un mecanismo regulable accionado con electricidad de 12V que cuenta con un arnés ortopédico para trasladar a la persona, cubriendo así las necesidades del usuario.
- El mecanismo, para su funcionamiento adecuado, debe estar constituido por tres conjuntos fundamentales que son el soporte regulable, el conjunto donde se sitúa el actuador y el conjunto donde se sitúa el arnés.
- El diseño mediante el software ANSYS de todo el conjunto del mecanismo posee un factor de seguridad de 1.36 lo cual se consideró aceptable.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar realizando estudios acerca de otros posibles materiales para la construcción del mecanismo, para que este sea más ligero y más resistente.
- Para el funcionamiento del mecanismo en vehículos con un diseño no del tipo sedán, se recomienda solo cambiar el soporte regulable por otro con las dimensiones correspondientes a ese diseño.
- Es necesario que el mecanismo se manipule con sumo cuidado y con movimientos lentos cuando la persona se encuentra usándolo.
- Se debe asegurar muy bien los soportes del mecanismo al marco y las bisagras del vehículo para evitar daños humanos y materiales.

## BIBLIOGRAFÍA

**ARIAS, Manuel.** *Manual de automóviles*. 55a. Ed. Madrid-España: Dossat 2000 S.L., 2004, p. 43.

**BUSTAMANTE SÁNCHEZ, Sergio.** *Modelación y simulación aerodinámica del rotor de aerogenerador de 1.5 MW caracterizado en las zonas de implantación de energía eólica de Cantabria* [En línea] (Tesis). (Ingeniería) Universidad de Cantabria, Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía. España: 2014. p. 183. [Consulta: 19 noviembre 2018.] Disponible en: <http://hdl.handle.net/10902/5345>

**CARPINTERO, José.** *Soldadura Básica: Guía práctica*. Bogotá-Colombia: Ediciones de la U, 2013. pp. 11-175.

**CONADIS.** *Estadísticas de Discapacidad* [En línea]. Quito-Ecuador: CONADIS, 2019. [Consulta: 02 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>

**CREUS, Antonio.** *Neumática e Hidráulica*. México: Alfaomega Grupo Editor, 2007, pp. 9-241.

**CUJANO AYALA, Estefany Gabriela.** *Implementación de un sistema de control para el manejo automático de una silla de ruedas* [En línea] (Tesis). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales. Riobamba-Ecuador: 2012. pp. 20-38. [Consulta: 09 noviembre 2018]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2877>

**CURISACA CRUZ, Jhonn Israel; & LÓPEZ ZAMBRANO, Damián Euclides.** *Diseño y construcción del bastidor y sistemas mecánicos de un vehículo monoplaza para la movilidad de personas en silla de ruedas* [En línea] (Tesis). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba-Ecuador: 2018. pp. 20-38. [Consulta: 10 mayo 2019]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9996>

**HERNÁEZ, David.** *Esfuerzo equivalente de Von Mises* [Blog]. David Hernández, 2015. [Consulta: 10 mayo 2019]. Disponible en: <https://dhernaез73.wordpress.com/2015/06/24/calculo-de-maquinas-esfuerzo-equivalente-de-von-mises/>

**HIBBELER, Rusell.** *Mecánica de materiales*. 8va. Ed. México: Pearson Educación, 2011, pp. 3-46.

**INSTITUTO DE MIGRACIONES Y SERVICIOS SOCIALES (IMSERSO).** *Valoración de las situaciones de minusvalía* [En línea]. Madrid-España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales; Secretaria General de Asuntos Sociales; & Instituto de Migraciones y Servicios Sociales (IMSERSO), 2000, pp. 24-26. [Consulta: 23 febrero 2019]. Disponible en: <http://sid.usal.es/idocs/F8/8.1-4569/Valoraciones.pdf>

**JEFFUS, Larry.** *Soldadura: principios y aplicaciones*. Madrid-España: Ediciones Paraninfo, 2009, pp. 48-49.

**KALPAKJIAN, Serope; & SCHMID, Steven.** *Manufactura, ingeniería y tecnología*. 5ta. Ed. México: Pearson Educación, 2008, p. 1195.

**LAINEZ, George.** *AFAPECH* [Blog]. Riobamba-Ecuador: George Lainez, 2016. [Consulta: 10 noviembre 2018]. Disponible en: <https://turismoaccesibleec.org/2016/08/afapech/>

**LA PRENSA.** *Acciones positivas en el 2015 en Chimborazo (III): Padres luchan por el bienestar de sus hijos* [En línea]. Riobamba-Ecuador: 2016. [Consulta: 10 noviembre 2018]. Disponible en: <http://www.laprensa.com.ec/temsemana.asp?id=922#.XN4w21VKjIU>

**MOAVENI, Saeed.** *Finite elements analysis: theory and application with ANSYS*. 2da. Ed. New Jersey-EE. UU: Pearson Educación, 2003, pp. 5-229.

**MOTT, Robert.** *Resistencia de materiales*. 5ta. Ed. México: Pearson Educación, 2009, pp. 71-116.

**OBSERVATORIO DE LA DISCAPACIDAD FÍSICA.** *La discapacidad física: ¿qué es y qué tipos hay?* [En línea]. España: Observatori de la Discapacitat Física, 2019. [Consulta: 23 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.observatoridiscapacitat.org/es/la-discapacidad-fisica-que-es-y-que-tipos-hay>

**PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.** *Reglamento a la ley orgánica de discapacidades*. [En línea]. Decreto Ejecutivo 194. Quito-Ecuador: Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, 2017, p. 3. [Consulta: 26 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.fomentoacademico.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/04/Reglamento-a-la-Ley-Orga%cc%81nica-de-Discapacidades.pdf>

**QUEZADA, Carlos.** *Diseño mecánico con SolidWorks 2007*. Perú: Megabyte, 2007, p. 9.

**SIMONEAU, Serge; et al.** *Lesiones por movimientos repetitivos. Comprenderlas para prevenirlas* [En línea]. Traducido por José Manrique. Quebec-Canadá: n.d., pp. 5-15. [Consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: <http://publicaciones.san.gva.es/publicaciones/documentos/V.4222-2008.pdf>

**SUÁREZ, Javier; et al.** *Diseño e ingeniería con Autodesk Inventor*. Madrid-España: Pearson Educación S.A., 2006, pp. 10-11.

**TEKVO BIOINGENIERÍA.** *Arneses – Eslingas* [En línea]. Medellín-Colombia: 2019. [Consulta: 3 enero 2019]. Disponible en: <https://www.tekvobioingenieria.com/soluciones/arneses-eslingas>