



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL  
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO DE  
ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO-NEUMÁTICO QUE  
PERMITA EL ACCESO A PERSONAS CON DISCAPACIDAD  
FÍSICA EN UN BUS TIPO URBANO”**

**AUTORES:**

**MAURO DANIEL ÁLVAREZ MARTÍNEZ**

**FERNANDO JOSÉ FIALLOS ÁVILA**

**DIRECTOR: ING. WILLIAM BONILLA**

**CODIRECTOR: ING. ERNESTO SANTILLÁN**

**LATACUNGA**

**2015**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICADO**

Ing. William Bonilla (DIRECTOR)

Ing. Ernesto Santillán (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN**

Que el proyecto titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO DE ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO-NEUMÁTICO QUE PERMITA EL ACCESO A PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA EN UN BUS TIPO URBANO”** realizado por MAURO DANIEL ÁLVAREZ MARTÍNEZ y FERNANDO JOSÉ FIALLOS ÁVILA, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatuarías establecidas por la ESPE, en el reglamento de los Estudiantes de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE LATACUNGA”.

Debido a que es un proyecto de excelente calidad y contenido científico que servirá para la enseñanza, aprendizaje, aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional por lo que si recomendamos su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (PDF). Autorizan a Mauro Daniel Álvarez Martínez Y Fernando José Fiallos Ávila que lo entreguen al Ing. Juan Castro, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, Febrero del 2015

Ing. William Bonilla  
DIRECTOR

Ing. Ernesto Santillán  
CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS -ESPE**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTTRIZ**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo: Mauro Daniel Álvarez Martínez, y

Yo: Fernando José Fiallos Ávila

**DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO DE ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO-NEUMÁTICO QUE PERMITA EL ACCESO A PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA EN UN BUS TIPO URBANO”** fue desarrollado con una profunda investigación científica, respetando derechos intelectuales a terceros, conforme con las citas especificadas en cada pie de página y las fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

Por tal motivo nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto en mención.

Latacunga, Febrero del 2015

Mauro Daniel Álvarez Martínez

CC: 1715626196

Fernando José Fiallos Ávila

CC: 0502158074

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**  
**DEPARTAMENTO DE CIECIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIZACIÓN**

Yo: Mauro Daniel Álvarez Martínez, y

Yo: Fernando José Fiallos Ávila

**DECLARAMOS QUE:**

Autorizamos a la **UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE LATACUNGA”**, la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO DE ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO-NEUMÁTICO QUE PERMITA EL ACCESO A PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA EN UN BUS TIPO URBANO”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Febrero del 2015

Mauro Daniel Álvarez Martínez

CC: 1715626196

Fernando José Fiallos Ávila

CC: 0502158074

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se lo dedico a mis padres Nancy Ávila y Nelson Fiallos por el apoyo incondicional día a día en los buenos y malos momentos, a mi hermana Anita Lucía por brindarme compañía y cariño toda la vida, y de manera especial a la imagen viva que todavía tengo de mi abuelito Augusto Ávila.

También dedico a toda mi familia cercana y lejana por todos los momentos compartidos y todos los consejos que me han sabido brindar, y como no a todos esos amigos y compañeros que he conocido a lo largo de estos años.

Fernando Fiallos

## **DEDICATORIA**

A mis padres algún día los haré sentir orgullosos...

Daniel Álvarez M.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por brindarme la vida y protegerme de todo mal, a mis padres por bendecirme día a día, a mi hermana por compartir buenos y malos momentos, a mi primo Andrés Moreno por ser el hermano que nunca tuve y a toda mi familia.

Como no agradecer a mi querida universidad que me abrió las puertas y me acogió por muchos años, a mis queridos profesores que me han sabido brindar primero su amistad y luego sus conocimientos.

A todos mis amigos y compañeros que de una u otra forma me han brindado apoyo en los momentos que los necesite.

Finalmente agradecer a cada persona que fue partícipe de este proyecto a lo largo del desarrollo del mismo de manera especial a las personas que hicieron posible el diseño y construcción del mismo.

Fernando Fiallos

## AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a las personas que he puesto a prueba su paciencia incontables veces, a mis padres a quienes no podré expresar toda mi gratitud en este párrafo; a ti Mauro, Papá ojalá fuese más como tu quisieras, a ti Rocío, Mamá me has dado a la distancia el amor necesario para seguir hacia adelante.

Agradecido desde hace mucho tiempo la confianza y auspicio de Don Aníbal Altamirano, gerente de Carrocerías Altamirano, pues su apoyo fue crucial en este proyecto, así como al Ingeniero Patricio Sinalín y su familia quienes aportaron al desarrollo mecánico.

A la colaboración oportuna del Ingeniero William Bonilla e Ingeniero Ernesto Santillán, director y codirector respectivo de la tesis.

A los demás profesores y compañero Ingeniero Guido Torres, Ingeniero Félix Manjarrez e Ingeniero Cochise Terán que aportaron opiniones y experiencia para el desarrollo del sistema.

Al personal de trabajo de Producción ESPE Latacunga puntualmente al Ingeniero Enrique Mullo y colaboración empeñosa de Juan Achig y Néstor Achig.

Así como también al Ingeniero Santiago Villacis y su contribución en la electrónica del sistema, al Ingeniero Vicente Valencia por su colaboración en los sistemas hidráulicos y neumáticos del prototipo.

Daniel Álvarez M.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CARÁTULA .....</b>	<b>I</b>
<b>CERTIFICADO .....</b>	<b>II</b>
<b>DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>III</b>
<b>AUTORIZACIÓN.....</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>XIX</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XXI</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XXII</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>EL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción .....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Objetivos .....	3
Objetivo General .....	3
Objetivos Específicos.....	3
1.4 Datos nacionales sobre discapacidad .....	3
1.5 Inclusión social de PcD de acuerdo al Plan Nacional del Buen Vivir .....	4
1.6 Ventajas de la accesibilidad en el transporte urbano .....	5
1.7 Justificación.....	5
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>7</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>

2.1	Enmarcación del diseño .....	7
2.2	Diseño de acceso para PcD actuales en el transporte público.....	7
2.2.1	Elevador de columnas .....	7
2.2.2	Elevador de brazos articulados.....	8
2.3	Criterios de diseño.....	8
2.4	Diseños conceptuales de elevadores de tijera .....	9
a)	Plataforma deslizante .....	10
b)	Gradas beta.....	10
c)	Gradas alfa .....	10
	ACTUADORES .....	11
2.5	Actuadores hidráulicos.....	12
2.5.1	Cilindros de pistón .....	12
2.5.2	Cilindro de doble efecto .....	12
2.5.3	Bomba hidráulica .....	12
2.5.4	Válvulas .....	14
	Válvula reguladoras caudal .....	14
2.5.5	Electroválvulas o válvulas solenoides.....	15
2.5.6	Manifold.....	15
2.6	Actuadores neumáticos .....	16
2.6.1	Cilindros neumáticos.....	16
	Cilindros neumáticos de doble efecto .....	16
2.6.2	Válvulas solenoide neumática.....	17
2.7	Actuadores eléctricos .....	17
2.7.1	Motor eléctrico .....	17
2.8	Tipos de control.....	19
2.8.1	Relé o Relevador .....	19
2.8.2	Contactador .....	19
2.8.3	Microcontrolador.....	20
2.9	Controladores Lógicos Programables (PLC) .....	21
2.9.1	Programación .....	22
2.9.2	Tipos de programación.....	22
2.9.3	Lenguaje Ladder.....	23
	Ventajas.....	23
2.10	Elementos auxiliares de control .....	24

2.10.1	Finales de carrera .....	24
2.11	Elementos de transmisión y transformación de movimiento. ....	25
2.11.1	Piñón .....	25
2.11.2	Cremallera .....	25
INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE) .....		25
2.12	Método de elementos finitos .....	26
2.12.1	Elementos finitos y su principio integral .....	26
2.12.2	Operaciones MEF .....	27
2.12.3	Errores del MEF .....	28
2.12.4	Limitaciones .....	28
2.12.5	Convergencia.....	29
2.12.6	Geometrías del Elemento .....	29
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>31</b>
<b>DISEÑO Y CÁLCULOS.....</b>		<b>31</b>
3.1	Selección del diseño .....	31
3.2	Parámetros de diseño y construcción .....	32
3.3	Cálculo de la fuerza del cilindro hidráulico .....	32
3.3.1	Método de trabajo virtual .....	32
3.4	Cálculo reacciones en nodos .....	36
3.4.1	Totalmente plegado .....	36
3.4.2	Totalmente alzado .....	39
3.5	Cálculo sobre los remaches .....	42
3.6	Cálculo de esbeltez.....	43
3.7	Cálculo de esfuerzos cortantes y flexores .....	45
3.9	Cálculo del piñón y cremallera .....	49
3.10	Cálculos de la bomba hidráulica .....	52
3.11	Descripción técnica de componentes .....	53
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>54</b>
<b>SIMULACIÓN VIRTUAL DEL SISTEMA.....</b>		<b>54</b>
4.1	Software Solidworks .....	54
4.2	Configuraciones de la simulación en Solidworks .....	54
4.3	Verificaciones de mallado.....	55

4.3.1	Verificación de relación de aspecto .....	55
4.3.2	Puntos jacobianos.....	56
4.4	Análisis de carga .....	56
a)	Tensiones .....	58
b)	Desplazamientos .....	58
c)	Factor de seguridad .....	59
4.5	Análisis de fuerza en los semiejes.....	59
a)	Tensiones .....	60
b)	Factor de seguridad .....	61
c)	Desplazamientos .....	61
d)	Área de estudio.....	62
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>63</b>
<b>SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN.....</b>		<b>63</b>
5.1	Software Flexisoft .....	63
5.2	PLC Renu electronics modelo FP4030MR-E .....	65
5.3	Módulo Renu electronics modelo FPED-HS-0808N.....	65
5.3.1	Asignaciones de entrada y salida .....	66
5.4	Algoritmo del sistema mecánico.....	66
5.5	Programación .....	67
5.6	Diagrama de la automatización.....	68
5.7	Software Automation Studio.....	69
5.7.1	Simulación en Automation studio 5.0.....	69
5.7.2	Descarga del archivo para Automation Studio.....	70
<b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>71</b>
<b>CONSTRUCCIÓN, ENSAMBLE Y ENSAYOS.....</b>		<b>71</b>
6.1	Materiales en el diseño mecánico .....	71
6.2	Construcción de la base.....	71
6.3	Construcción de los eslabones .....	73
6.4	Construcción gradas .....	74
6.5	Construcción y material del piñón .....	75
6.6	Construcción de la cremallera.....	76
6.7	Construcción plataforma .....	77

6.8	Construcción bocín, ejes y semiejes.....	78
6.9	Ensamble de componentes mecánicos .....	79
6.10	Ubicación de elementos de control .....	82
6.11	Ensayos .....	83
6.12	Puesta a punto del proceso de automatización.....	84
6.13	Pintura .....	85
	COSTOS DE MATERIALES Y EQUIPOS .....	86
	<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>88</b>
	CONCLUSIONES .....	88
	RECOMENDACIONES.....	89
	Bibliografía .....	90
	Linkografía.....	90
	Referencias Bibliográficas .....	91
	Siglas .....	91
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>93</b>
	PLANOS .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
	PROGRAMACIÓN .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
	CARACTERISTICAS TÉCNICAS PLC.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
	NORMAS INEN .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Elevador por columnas .....	7
Figura 2.2. Elevador de brazos articulados NVL2 Braun .....	8
Figura 2.3. ET. Plataforma deslizante.....	10
Figura 2.4. ET Gradadas beta. ....	10
Figura 2.5. ET Gradadas alfa. ....	10
Figura 2.6. Cilindro hidráulico.....	12
Figura 2.7. Bomba hidráulica.....	13
Figura 2.8. Válvula reguladora de flujo. ....	14
Figura 2.9. Electro válvulas. ....	15
Figura 2.10. Manifold. ....	15
Figura 2.11. Cilindro y conectores .....	16
Figura 2.12. Cilindro neumático compacto.....	16
Figura 2.13. Válvula solenoide 5-3 .....	17
Figura 2.14. Válvula solenoide 5-2 .....	17
Figura 2.15. Servo motor. ....	18
Figura 2.16. Tipos de control .....	19
Figura 2.17. Contactor.....	20
Figura 2.18. Microcontrolador, UC o MCU .....	20
Figura 2.19. PLC con interfaz gráfica.....	21
Figura 2.21. Dentro de un PLC. ....	21
Figura 2.20. Esquema funcionamiento.....	22
Figura 2.22. Descripción PL programación-ladder.....	23
Figura 2.23. Final de carrera .....	24
Figura 2.24, Esquema de funcionamiento.....	24
Figura 2.25. Piñón y cremallera. ....	25
Figura 2.28. Proceso de simulación .....	26
Figura 2.26. Gráfico de una función. Análisis matemático.....	26
Figura 2.27. Discretización. Análisis matemático .....	27
Figura 2.28.Triangulación.....	27
Figura 2.29. Geometrías de elemento finito.....	30
Figura 3.1. Elevador de tijeras .....	31
Figura 3.2. Diagrama fuerzas activas .....	33

Figura 3.3. Diagrama de desplazamientos .....	34
Figura 3.4. Geometría del mecanismo .....	34
Figura 3.5. Fuerza en función del ángulo.....	36
Figura 3.6. Diagrama de cuerpo libre 1.....	37
Figura 3.7. Diagrama de fuerzas puntuales .....	37
Figura 3.8. Resultados de fuerzas puntuales 1 .....	39
Figura 3.9. Diagrama de cuerpo libre 2.....	39
Figura 3.10. Resultado de fuerzas puntuales 2.....	41
Figura 3.11. Remache acoplado .....	42
Figura 3.12. Vista lateral remache .....	42
Figura 3.11. Eslabón D-A .....	43
Figura 3.12. Eslabón transversal en corte .....	43
Figura 3.13. Ensamble semiejes.....	45
Figura 3.14. Esquema de fuerza biaxial .....	46
Figura 3.15. Diagramas de esfuerzos de corte y momentos.....	46
Figura 3.16. Sección cortante.....	49
Figura 3.17. Designaciones de un piñón .....	50
Figura 3.18. Fuerza aplicada piñón sobre cremallera .....	52
Figura 4.1. Configuraciones para simulación .....	54
Figura 4.2. Construcción virtual del mecanismo .....	57
Figura 4.3. Configuraciones previas a la simulación.....	57
Figura 4.4. Resultados de tensión .....	58
Figura 4.5. Resultados desplazamientos virtuales.....	58
Figura 4.6. Resultados del FDS.....	59
Figura 4.7. Construcción virtual de grada y su semieje .....	59
Figura 4.8. Configuraciones previas a la simulación 2 .....	60
Figura 4.9. Resultados de tensión .....	60
Figura 4.10. Resultados de FDS.....	61
Figura 4.12. Resultados desplazamientos virtuales 2.....	61
Figura 4.13. Resultados del factor de seguridad 2 .....	62
Figura 5.1. Interfaz de Inicio.....	63
Figura 5.2. Selección Inicial.....	64
Figura 5.3. PLC Renu Electronics .....	65
Figura 5.4. Módulo amplificador de entradas y salidas .....	65

Figura 5.5. Programación del sistema .....	67
Figura 5.6. Diagrama de flujo del programa .....	68
Figura 5.6. Representación del esquema hidráulico .....	69
Figura 5.7. Representación eléctrica del sistema hidráulico .....	70
Figura 5.8. Controladores de la representación eléctrica .....	70
Figura 6.1. Materiales en el mecanismo .....	71
Figura 6.2. Base .....	72
Figura 6.3. Eslabones .....	73
Figura 6.4. Gradass .....	74
Figura 6.5. Engraness .....	75
Figura 6.6. Cremallera.....	76
Figura 6.7. Plataforma.....	77
Figura 6.8. Bocín y ejess.....	78
Figura 6.9. Comprobación de las guías en la plataforma.....	79
Figura 6.10. Verificación de medidas .....	80
Figura 6.11. Ensamble de los semiejes .....	80
Figura 6.12. Estructura de soporte .....	80
Figura 6.13. Mecanismo sobre la estructura de soporte.....	81
Figura 6.14. Soporte para la bomba hidráulica .....	81
Figura 6.15. Conjunto de válvulas y bomba hidráulica .....	81
Figura 6.16. Conjunto de piezas para el anclaje entre gradass .....	82
Figura 6.17. Mangueras neumáticas.....	82
Figura 6.18. Finales de carrera acoplados en pares.....	83
Figura 6.19. Soportes para los finales de carrera .....	83
Figura 6.20. Reemplazo de semiejes.....	83
Figura 6.21. Reubicación de componentes .....	84
Figura 6.22. Prueba del proceso de automatizado.....	84
Figura 6.23. Optimización del proceso de automatizado.....	84
Figura 6.24. Proceso de pintura y esmalte .....	85
Figura 6.25. Soporte y mecanismo con pintura sintética .....	85



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Registro Nacional de Discapacidades.....	4
Tabla 1.2. Resultados Tungurahua .....	4
Tabla 2.1. Ventajas y desventajas.....	9
Tabla 2.2. Actuadores.....	11
Tabla 3.1. Comparaciones generales de diseños .....	31
Tabla 3.2. Comparación constructiva de diseños .....	31
Tabla 3.3. Parámetros .....	32
Tabla 3.4. Fuerza y variación angular .....	36
Tabla 3.5. Características del remache .....	42
Tabla 3.6. Propiedades platina.....	43
Tabla 3.7. Propiedades Semiejes .....	46
Tabla 3.8. Características del piñón.....	50
Tabla 3.9. Componentes hidráulicos .....	53
Tabla 3.10. Componentes neumáticos .....	53
Tabla 3.11. Componentes eléctricos .....	53
Tabla 4.1. Configuraciones Solidworks.....	55
Tabla 4.2. Configuración de mallado.....	57
Tabla 5.1. Configuración inicial de Flexisoft. ....	64
Tabla 5.2. Direcciones de entrada.....	66
Tabla 6.1. Descripción Base. ....	71
Tabla 6.2. Secuencia de trabajo 1. ....	72
Tabla 6.3. Descripción eslabones. ....	73
Tabla 6.4. Secuencia de trabajo 2. ....	73
Tabla 6.5. Descripción gradas.....	74
Tabla 6.6. Secuencia de trabajo 3. ....	74
Tabla 6.7. Descripción piñón.....	75
Tabla 6.8. Secuencia de trabajo 4 .....	75
Tabla 6.9. Descripción cremallera. ....	76
Tabla 6.10. Secuencia de trabajo 5 .....	76
Tabla 6.11. Descripción plataforma.....	77
Tabla 6.12. Secuencia de trabajo 6. ....	77
Tabla 6.13. Descripción Bocín, ejes y semiejes. ....	78
Tabla 6.14. Secuencia de trabajo 7. ....	78

Tabla 6.15. Secuencia de trabajo 8. ....	79
Tabla 6.11. Costos 1 .....	86
Tabla 6.12. Costos 2 .....	86
Tabla 6.13. Costos 3 .....	87
Tabla 6.14. Costos 4 .....	87

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Trabajo Virtual. ....	34
Ecuación 2. Componente en y .....	34
Ecuación 3. Componente en x .....	34
Ecuación 4. Fuerza del pistón. ....	35
Ecuación 5. Superficie del cilindro.....	35
Ecuación 6a. Reacciones de apoyo.....	37
Ecuación 7a. Reacciones de momento.....	37
Ecuación 8a. Reacciones puntuales. ....	37
Ecuación 9a. Reacciones de momento.....	37
Ecuación 6b. Reacciones de apoyo.....	39
Ecuación 7b. Reacciones de momento. ....	40
Ecuación 8b. Reacciones de apoyo.....	40
Ecuación 9b. Reacciones de momento. ....	40
Ecuación 10. Esfuerzo cortante remache.....	42
Ecuación 11. Área de la sección transversal.....	44
Ecuación 12. Momento de inercia. ....	44
Ecuación 13. Radio de giro.....	44
Ecuación 14. Razón de esbeltez. ....	44
Ecuación 15. Constante de la columna.....	45
Ecuación 16. Carga crítica.....	45
Ecuación 17. Reacciones de corte 1. ....	47
Ecuación 18. Reacciones de corte 2. ....	47
Ecuación 19. Momento máximo. ....	47
Ecuación 20. Momento de inercia del eje.....	47
Ecuación 21. Radio del eje. ....	47
Ecuación 22. Esfuerzo flector. ....	48
Ecuación 23. Factor de seguridad. ....	48
Ecuación 24. Deflexión máxima. ....	48
Ecuación 25. Área sección crítica.....	49
Ecuación 26. Esfuerzo cortante máximo.....	49
Ecuación 27. Módulo.....	50
Ecuación 28. Avance. ....	50
Ecuación 29. Paso.....	51

Ecuación 30. Velocidad de avance.....	51
Ecuación 31. Tiempo de avance.....	51
Ecuación 32. Fuerza tangencial.....	51
Ecuación 33. Fuerza aplicada.....	52
Ecuación 34. Caudal.....	52
Ecuación 35. Potencia teórica.....	52

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo implementar un sistema mecánico de accionamiento hidráulico-neumático y gestión electrónica en buses de transporte público, que permita la movilización de personas con discapacidad física, e incorporarlos activamente a la sociedad de manera segura. Además que el sistema sea de fácil control para el conductor y de ágil ingreso para el usuario preferencial.

El diseño del sistema respeta los parámetros del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) para la construcción de buses urbanos, el espacio de acceso, el ancho de pisada y la altura entre cada grada; considerando las dimensiones sugeridas en el manual de Ciudades Accesibles difundida por el Consejo Nacional de Igualdad y Discapacidades (CONADIS) las cuales han encajado juntas para que la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) y el centro Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CICEV) brinde el permiso de operación y circulación al bus que porte este sistema.

La estructura del prototipo consta de tres gradas regulables en altura por un mecanismo articulado de tijeras de ocho eslabones por cada grada, una plataforma deslizante y una rampa de acople final hacia la vereda.

Para su construcción se consideró no comprometer espacios útiles a ningún usuario del autobús, y este orientado a un concepto de *Diseño Universal*, es decir, que pueda ser usado tanto por usuarios preferenciales como por usuarios ordinarios.

El sistema está sustentado matemáticamente, con el uso de software de ingeniería y con la selección adecuada de cada componente, a fin de brindar una función esquematizada en conjunto.

### **Palabras clave:**

Mecanismo

Articulado

Tijeras

Discapacidad

Personas

## ABSTRACT

The present research project has as main objective to implement a mechanical system of hydraulic-pneumatic operation and electronic impulse, in buses of public transportation, which allows the mobilization of people with physical disabilities, and to incorporate them actively into the society in a safe manner. Besides that, the system will be of easy control for the bus-driver and of agile access for the regular user.

The design of the system is regulated by the parameters of the Ecuadorian Institute of Normalization (INEN) for the construction of urban buses, the space of access, the width of the rung and the height among every step; considering the suggested measurement in the manual of Accessible Cities published by the National Council for Equality and Disabilities (CONADIS) which perfectly join each other to make the National Agency of Traffic (ANT) and the department of Training and Research in Control of Traffic Emission (CICEV) issue the permission of traffic operation to the bus with this system.

The structure of the prototype consists of three adjustable rungs in height by an articulated mechanism of scissors of eight links for every rung, a sliding platform and a ramp docking to the sidewalk.

To this construction was considered to not compromising useful spaces to any users of the autobus and be oriented to a Universal Design concept, that is to say could be used both by preferential users as ordinary users as well.

The system is based mathematically, with the use of engineering software and with adequate selection of every component to get a synergic schematized function at all.

### **Keys words:**

Mechanism

Disabilities

Articulated

People

Scissors

## CAPÍTULO I

### El Problema

#### 1.1 Introducción

El sistema de transporte urbano es un componente esencial de una sociedad distribuida en un área determinada; dentro de esta, las flotas de autobuses engloban otros factores indispensables como: el diseño de sus vehículos, los entornos de las paradas, sistemas de tráfico, la información a los usuarios y otras variables no menos importantes, la cuales permiten el desarrollo colectivo.

Todos ellos son factores que han olvidado de alguna manera el criterio de accesibilidad, porque no se ha conseguido que las personas con discapacidad física (PcD), como personas con uso de silla de ruedas, muletas, bastones, andadores, temporal o permanente, hagan uso habitual de este medio de transporte.

Desde luego la modificación de todas las variables descritas considerando las barreras mentales latentes resulta inviable a corto plazo; pero las mejoras en la accesibilidad por medio de un mecanismo que se amolden a las necesidades de la gran mayoría de personas con movilidad reducida es el fundamento del desarrollo del proyecto que se procede a describir y posee una visión integral de un transporte como el autobús.

De acuerdo a la legislación vigente en el país contenida en la Ley Orgánica de Discapacidades publicada en Registro Oficial el 25 de Septiembre del 2012, establece en los artículos vinculados a la accesibilidad al transporte expresan lo siguiente:

#### ***Artículo 4.-Principios fundamentales***

***Accesibilidad:*** se garantiza el acceso de las personas con discapacidad al entorno físico, al transporte, la información y las comunicaciones, incluidos los sistemas y las tecnologías de información y las comunicaciones, y a otros servicios e

*instalaciones abiertos al público o de uso público, tanto en zonas urbanas como rurales, así como, la eliminación de obstáculos que dificulten el goce y ejercicio de los derechos de las personas con discapacidad, y se facilitará las condiciones necesarias para procurar el mayor grado de autonomía en sus vidas cotidianas.*

### ***Sección séptima de la accesibilidad***

#### ***Artículo 58.- Accesibilidad***

*Se garantizará a las personas con discapacidad la accesibilidad y utilización de bienes y servicios de la sociedad, eliminando barreras que impidan o dificulten su normal desenvolvimiento e integración social.*

## **1.2 Planteamiento del problema**

Los sistemas de accesibilidad en el transporte público-urbano no han abordado con sensibilidad la diversidad que existe en toda sociedad, la discapacidad o movilidad reducida no se debe entender como un concepto estático, puesto que puede ser adquirido temporal o permanentemente.

Los escasos mecanismos existentes para accesibilidad en flotas de buses deben implicar la menor reducción de espacios útiles para el resto de usuarios, costos de fabricación y no ser exclusivos de uso para grupos minoritarios. Aunque se haga reiterada mención a las personas con discapacidad como sujetos de la problemática y destinatarios de las mejoras en la accesibilidad la eliminación de barreras discriminatorias deben ser aplicadas en ambos sentidos y la visión integral de transporte debe incluir la comprensión que la existencia de sistemas que mejoren la accesibilidad para las personas con discapacidad beneficia a toda la sociedad.

El campo de la accesibilidad no ha sido abordado con el suficiente grado de entendimiento de la diversidad que existe en toda sociedad, en la cual todo ser humano con discapacidad o movilidad reducida temporal o permanente se ve impedidas a desenvolverse en igualdad de oportunidades hacia una obligación, hacer uso de un derecho o disfrutar de actividades recreativas o culturales.



### 1.3 Objetivos

#### Objetivo General

Diseñar y construir un sistema que permita el acceso de manera efectiva a personas con diversas formas de discapacidad física<sup>1</sup> en un autobús urbano.

#### Objetivos Específicos

- Asegurar el cumplimiento de la normativa existente **INEN 2205** y **CICEV** para construcción de buses, como en todos aquellos documentos relacionados con la accesibilidad para personas con discapacidad **CONADIS** y la **Ley Orgánica de Discapacidades** en el desarrollo de los servicios y dimensiones básicas para el diseño del mecanismo.
- Diseñar un mecanismo adaptable e intuitivo para usuarios, viajeros y personal del bus que puedan hacer un uso conveniente.
- Seleccionar los dispositivos adecuados para que el mecanismo tenga confiabilidad.
- Ensamblar un mecanismo que tenga facilidad de mantenimiento y reemplazo de componentes.
- Establecer una secuencia de operación que permita el funcionamiento automatizado del mecanismo.

### 1.4 Datos nacionales sobre discapacidad

En el año 2009 se llevó a cabo la Misión “Manuela Espejo”, el primer estudio biopsicosocial, clínico y genético de la discapacidad en el país registrando un total de 361511 casos, distribuidos en la siguiente manera:

---

<sup>1</sup> La referencia a este grupo de la sociedad obedece a ser el grupo más diferenciado y afectado pero no debe considerarse como el único grupo beneficiario.

Tabla 1.1  
Registro Nacional de Discapacidades

DISCAPACIDAD	REGISTROS	PORCENTAJE
FISICA	175463	48,53%
INTELLECTUAL	81450	22,53%
LENGUAJE	4959	1,37%
PSICOLOGICO	14150	3,91%
VISUAL	42082	11,64%
<b>TOTAL</b>	<b>361511</b>	<b>100%</b>

Fuente: CONADIS Fechas de Corte Mayo 2013

Tabla 1.2  
Resultados Tungurahua

PROVINCIA TUNGURAHUA	FISICA
AMBATO	2786
BAÑOS	186
CEVALLOS	70
MOCHA	96
PATATE	139
QUERO	161
STGO DE PILLARO	262
S. P. DE PELILEO	452
TISALEO	96
<b>TOTAL</b>	<b>4248</b>

Fuente: CONADIS Fechas de Corte Mayo 2013

## 1.5 Inclusión social de PcD de acuerdo al Plan Nacional del Buen Vivir

La elaboración de este plan fue liderada por Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) aprobada en sesión 24 de Junio del 2013 y en cuyo texto se encuentra lo siguiente:

**Objetivo 2.-** “Auspiciar la igualdad, la cohesión, la inclusión y la equidad social y territorial, en la diversidad”.

*El reconocimiento igualitario de los derechos de todos los individuos implica la consolidación de políticas de igualdad que eviten la exclusión y fomenten la convivencia social y política. El desafío es avanzar hacia la igualdad plena en la diversidad, sin exclusión, para lograr una vida digna, con acceso a salud, educación, protección social, atención especializada y protección especial.*

## **1.6 Ventajas de la accesibilidad en el transporte urbano**

A diferencia de otros mecanismos implementados en los transportes masivos, este deberá cumplir con las normas vigentes de construcción para autobuses<sup>2</sup>, cumplir las medidas básicas sugeridas<sup>3</sup> para personas que hacen uso de la silla de ruedas que pueden ser las habituales, las que incorporan un sistema motriz o las usadas por deportistas.

Un sistema que pueda ser implementado en la flota actual de autobuses de transporte urbano sin rediseñar las salidas-entradas del autobús, sin reducir espacios para los usuarios habituales, permitir el acceso fácil y seguro a cualquier persona sin importar su discapacidad física, puede ayudar a la transferencia modal y a mejorar integralmente la calidad del servicio.

Los grupos más vulnerados socialmente se verán directamente beneficiados por la mejora en la accesibilidad de los autobuses. Ellos son quienes podrán utilizar en mayor medida y de forma autónoma estos servicios.

Seguros de que la sociedad, que verá mejorado de forma generalizada el transporte público; este atraerá a un mayor número de usuarios, que en muchos casos, podrán abandonar el coche y ayudar a incrementar la calidad ambiental de la ciudad al reducir la contaminación, la congestión circulatoria y la siniestralidad.

## **1.7 Justificación**

Este proyecto radica en la necesidad de tener un transporte público sin barreras para ningún individuo, es la vinculación con un problema de carácter social que forma parte de la estructura de objetivos que se esperan del Plan Nacional Del Buen Vivir, con el diseño y la construcción adecuada de un sistema que solvete esta exclusión a personas con discapacidad motriz.

---

<sup>2</sup> Norma NTE INEN 2205:2010 Segunda Revisión (Anexos)

<sup>3</sup> Manual de Ciudades Accesibles CONADIS 2009

El sistema va a contar con la tecnología suficiente para su desarrollo industrial gracias al respaldo matemático con conocimientos fundamentados de ingeniería, asistencia de software especializada al diseño, cálculo y simulación, así como el sustento de varios ingenieros constructores, profesores y colaboradores con vasta experiencia en distintas áreas para el desarrollo de cada proceso del sistema.

La investigación es proyectada para romper todo tipo de barreras que impiden el traslado de personas con discapacidades motrices en transporte urbano, siendo los principales beneficiarios del diseño y construcción del sistema hidráulico-neumático.

Además cabe recalcar que para una aplicación viable del PNBV implica un compromiso de cada ciudadano a participar en la eliminación de barreras de los grupos humanos claramente más distanciados, que son parte de esos indicadores tácitos para la erradicación de la pobreza, aumento de la matriz productiva, consolidación del trabajo digno, disminución del desempleo y que tienen como valor añadido la accesibilidad que es un derecho y una necesidad, no exclusivo aunque sí, de las personas con discapacidad y que cualquier personas con discapacidad vinculada nuevamente a la sociedad es el resultado más coherente de un profundo cambio positivo del estado, del verdadero cumplimiento de la Misión de la Universidad de las Fuerzas Armadas como institución y de la razón de un proyecto de tesis con vinculación social.

## CAPÍTULO II

### Marco Teórico

#### 2.1 Enmarcación del diseño

Los mecanismos en la actualidad usados para este fin, generalmente utilizan una gran estructura de soporte y una amplia área de aborde que permiten elevar completamente a una persona usando su silla de ruedas, como tal estos sistemas resuelven la problemática de accesibilidad pero pueden presentar una difícil operación, costos elevados e inconvenientes a usuarios ordinarios.

#### 2.2 Diseño de acceso para PcD actuales en el transporte público

##### 2.2.1 Elevador de columnas

Es un sistema con dos columnas que dentro de ellas están unas cadenas pasadas por una polea en los extremos y que permiten elevar el resto del conjunto hidráulicamente. Posee unos peldaños similares a los de un autobús pero son ligeramente más pequeños, su accionamiento requiere de un operario.



Figura 1.1. Elevador por columnas  
FUENTE: (omnibusparaibanos, 2015)

### 2.2.2 Elevador de brazos articulados

Es un mecanismo de múltiples eslabones articulados sujetos a una plataforma que permite su elevación y descenso mediante pistones; consta de actuadores automatizados, pero su acceso es exclusivo para PcD.



Figura 2.2. Elevador de brazos articulados NVL2 Braun  
FUENTE: (mobilitycarsolutions, 2015)

Los mecanismos al día de hoy si bien cumplen su función con criterios generales mecánicos, estos no se encuentran consensuados dentro de los parámetros de construcción de buses otorgados por el CICEV o el INEN.

### 2.3 Criterios de diseño

En este punto se analizan los aspectos constructivos y mecánicos, que permiten al diseño ser confiable, operable, con peso y tamaños adecuados.

- Seguridad
- Facilidad de operación
- Dimensiones

Como también la adecuación a los buses urbanos existentes en el país, su factibilidad de adecuación, costos, ergonomía y normas sugeridas para PcD.

- Ensamble en el autobús
- Estética
- Rendimiento

## 2.4 Diseños conceptuales de elevadores de tijera

A continuación se presenta una tabla que compara los requerimientos presentados con los diseños actuales y el enfoque general de un mecanismo elevador de tijera.

**Tabla 2.1**  
Ventajas y desventajas

E. Columnas	Ventajas	Desventajas
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construcción robusta</li> <li>Elevación desde el suelo</li> <li>Acceso regular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación manual</li> <li>Pesado</li> <li>Ensamble complicado</li> <li>No puede ser desmontable</li> </ul>
E. Brazos Articulados	Ventajas	Desventajas
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elevación desde el suelo</li> <li>Sistema automatizado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modificar la carrocería</li> <li>Exclusivo para PcD</li> <li>Ocupa mucho espacio interior</li> <li>Diseño complejo</li> </ul>
E. Tijeras	Ventajas	Desventajas
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peso y tamaño adecuados</li> <li>Puede compactarse</li> <li>No ocupa espacio interior</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requiere automatización</li> <li>Varios actuadores</li> </ul>

De los criterios tomados en cuenta el elevador de tijeras es más adecuado ya que no requiere modificar mayormente las carrocerías actuales de buses urbanos, hacen el mínimo uso intrusivo para el resto de pasajeros y cumplen otros requerimientos específicos.

Los siguientes diseños son conceptualizaciones de elevadores de tijera que si bien pueden otorgar la función de acceso, compactarse y elevarse adecuadamente. Deben ser ponderados para establecer con certeza la elección que más satisfaga características generales y constructivas.

a) **Plataforma deslizante**

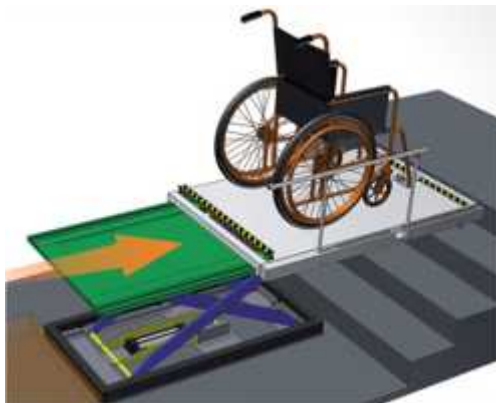


Figura 3.3. ET. Plataforma deslizante.

b) **Gradas beta**



Figura 4.4. ET Gradas beta.

c) **Gradas alfa**

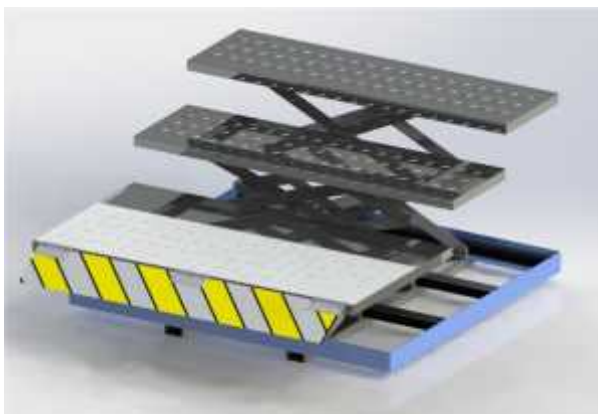


Figura 5.5. ET Gradas alfa.



## Actuadores

Un actuador es un conjunto mecánico que puede suministrar energía mecánica para actuar sobre otro dispositivo mecánico, en si un actuador recibe un impulso que permite dar una salida necesaria para activar un elemento final.

Este elemento debe ser capaz de transformar algún tipo de energía, ya sea, eléctrica, neumática, hidráulica, térmica etc., en energía mecánica. Los actuadores más difundidos que se encargan de controlar una amplia gama industrial son:

**Tabla 2.2**  
**Actuadores**

### Actuador hidráulico

Se basa generalmente en la presión ejercida por un fluido mineral o aceite.

- Los actuadores hidráulicos son generalmente robustos están sellados herméticamente, conformados de gran resistencia mecánica.
- Operan para aplicaciones de carga pesada o potencia.
- Se auto lubrican y tienen una presión de trabajo que va desde los 500 psi en adelante.

### Actuador neumático

Los actuadores neumáticos se rigen bajo los mismos principios pero utilizan aire comprimido o sobre presión (por encima de una atmosfera) para producir trabajo.

- Estos actuadores se usan para posicionamientos mas no para fuerza, debido a su construcción más ligera.
- Trabajan con presiones mínimas para ejercer sobrepresión hasta unos 400 – 500 psi.
- Requieren de una fuente de aire comprimido (compresor)

### Actuador eléctrico

La estructura de un actuador eléctrico requiere de electricidad como fuente de poder

- Pueden recibir corriente continua (VCC) o corriente alterna (VCA).
- Son los más difundidos debido a las redes de distribución eléctrica, son muy precisos, silenciosos y de fácil control.
- Son muy versátiles debido a que no hay restricciones entre la fuente de poder y el actuador.

## 2.5 Actuadores hidráulicos

### 2.5.1 Cilindros de pistón

Los cilindros hidráulicos (actuadores lineales) obtienen la energía de un fluido hidráulico presurizado, que es normalmente aceite, son actuadores mecánicos que son usados para dar una fuerza a través de un recorrido lineal.

Constan de un émbolo circular y un vástago que recorre el cilindro (carrera) esta fuerza es constante desde el inicio hasta el final de la carrera. La velocidad depende del caudal del fluido y de la superficie del pistón.

### 2.5.2 Cilindro de doble efecto

Estos cilindros disponen de dos conexiones separadas a lo largo del cilindro y ambas pueden recibir la entrada y salida del aceite o fluido, en el avance del vástago el fluido hidráulico entra por un extremo llenando una cámara y desplazando al émbolo, para el retroceso el fluido tiene que llenar una cámara, por lo general de menor volumen para retornar el vástago a su posición y desalojar la primera cámara que fue llenada.



Figura 2.6. Cilindro hidráulico.

### 2.5.3 Bomba hidráulica

En un componente indispensable en un circuito hidráulico son máquinas que convierten la energía mecánica en energía hidráulica, ninguno de los otros actuadores puede funcionar si la bomba no está funcionando.

Al comunicarse energía mecánica dentro de la bomba se produce un desfase de presión entre la entrada de la bomba y la presión del depósito de aceite esta diferencia produce una succión y con ello el impulso hacia la entrada de la bomba.



Figura 2.7. Bomba hidráulica.

Básicamente, se clasifican según el principio de funcionamiento o el tipo de accionamiento.

### Según el principio de funcionamiento

- **Bombas volumétricas.** El principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen, ejemplos:
  - Bomba de émbolo alternativo
  - Bomba volumétrica rotativa
- **Bomba roto dinámica.** El principio de funcionamiento está basado en el intercambio de la cantidad de movimiento, entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de máquinas el flujo es continuo.
  - Radiales o centrífugas
  - Axiales
  - Diagonales o helio centrífugas

## Según el tipo de accionamiento

- Electrobombas
- Bombas de accionamiento hidráulico
- Bombas manuales

### 2.5.4 Válvulas

Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o el caudal del fluido enviado por la bomba.

Las válvulas en términos generales, tienen las siguientes misiones:

- Distribuir el fluido
- Regular caudal
- Regular presión

#### Válvula reguladoras caudal

También conocidas como limitadoras de flujo se usan para el mando de velocidad independientemente de la presión de los cilindros, motores hidráulicos y caudales de inicio. Controlan la velocidad y el rendimiento hidráulico de toda una instalación por medio de un tornillo de ajuste para ajustar la presión diferencial de regulación que pasa a través de la válvula.



Figura 2.8. Válvula reguladora de flujo.

### 2.5.5 Electroválvulas o válvulas solenoides

Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. La válvula está controlada por una corriente eléctrica a través de una bobina solenoide. Las electroválvulas usadas poseen doble solenoide (A-B) para trabajar en ambos sentidos junto con los pistones de doble efecto, además de retener el aceite o fluido cuando no se encuentran con corriente en los solenoides.

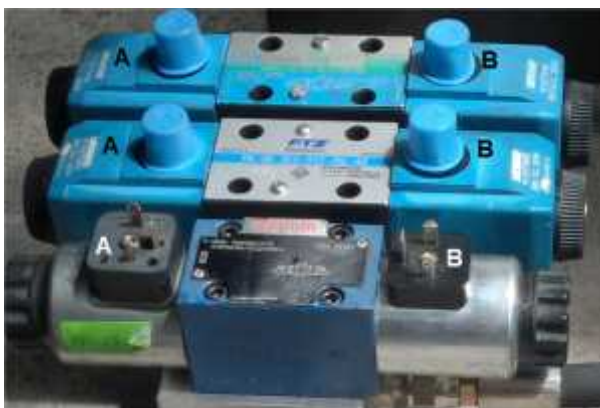


Figura 2.9. Electro válvulas.

### 2.5.6 Manifold

Es un elemento que permite conectar un conjunto de válvulas facilitando el montaje al utilizar una única entrada reduciendo así la cantidad de racores, mangueras y silenciadores.

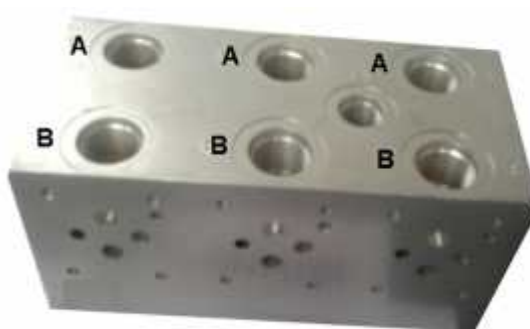


Figura 2.10. Manifold

## 2.6 Actuadores neumáticos

### 2.6.1 Cilindros neumáticos

El cilindro neumático también llamado actuador lineal, es un mecanismo que transforma la energía acumulada por un componente gaseoso, generalmente aire a presión, en movimiento y/o fuerza.

#### Cilindros neumáticos de doble efecto

El campo de aplicación de los cilindros de doble efecto es más extenso que los de simple, incluso cuando no es necesaria la realización de esfuerzo en ambos sentidos. Esto es debido a que, por norma general (en función del tipo de válvula empleada para el control), los cilindros de doble efecto siempre contienen aire en una de sus dos cámaras, por lo que se asegura el posicionamiento.

Por lo general, trabajan con presiones menores a 500 psi, su construcción es de gran rendimiento y bajo costo.



Figura 2.81. Cilindro y conectores



Figura 2.92. Cilindro neumático compacto

## 2.6.2 Válvulas solenoide neumática

Las válvulas de solenoide se controlan mediante la acción de una bobina que se utiliza para crear campos magnéticos cuando están envueltas en un núcleo magnético y por lo general, regulan el flujo de aire actuando como un interruptor. Si el solenoide está activo (con corriente aplicada), la válvula se abre. Si el solenoide está inactivo (sin corriente), la válvula queda cerrada.

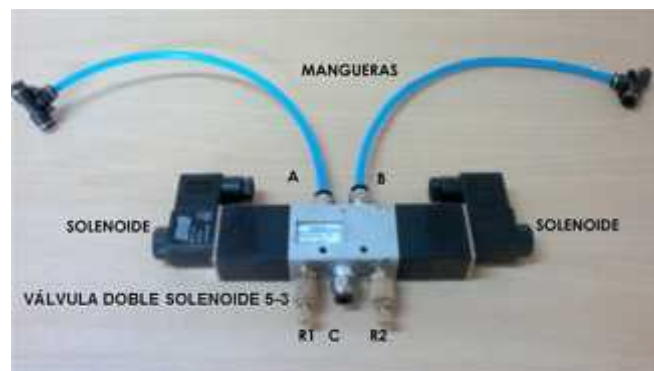


Figura 2.13. Válvula solenoide 5-3



Figura 2.14. Válvula solenoide 5-2

## 2.7 Actuadores eléctricos

### 2.7.1 Motor eléctrico

Los motores eléctricos se encargan de entregar la energía motriz a un mecanismo ya sea industrial o doméstico, se subdividen en motores de corriente alterna (CA) o de corriente continua (CC).



Figura 2.15. Motor

El desplazamiento de la plataforma ubicada en el primer peldaño del mecanismo, se realiza mediante dos motores de alto torque y baja velocidad ubicados a lo ancho de la plataforma, los factores considerados son:

**Voltaje de operación.-** Debe ser el mismo que el voltaje entregado por la batería del autobús, así como la capacidad de resistencia y potencia para poderlos conectar sin riesgo a 24 voltios a corriente continua.

**Torque.-** El torque transmitido por los piñones (7kg.cm cada uno) es, esencialmente la fuerza de los motores que entregan hacia la cremallera para el desplazamiento de la plataforma.

**Tamaño del armazón y montaje.-** Es una parte clave del diseño debido al poco espacio, a la cercanía con otros componentes y su condición de operación.

El uso de un motor de corriente continua (CC) es preciso cuando se requiere revertir el giro de rotación invirtiendo la polaridad del voltaje. Así mismo, el control automático de velocidad es simple para que se adapte a la velocidad de dos o más motores o para programar una variación de velocidad en función del tiempo o del voltaje aplicado.



## 2.8 Tipos de control

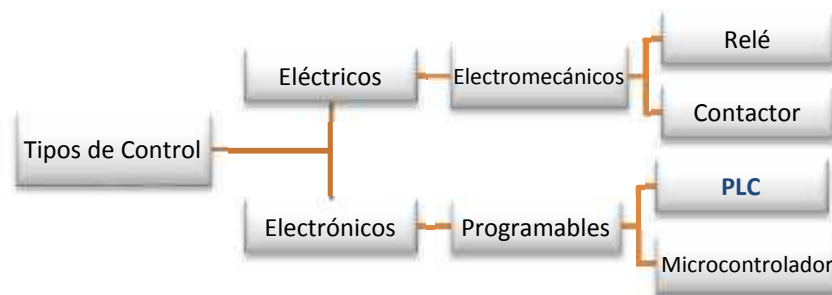


Figura 2.16. Tipos de control

### 2.8.1 Relé o Relevador

Es un interruptor compuesto generalmente por una bobina de excitación con núcleo de hierro, una armadura móvil y uno o varios contactos que por medio de una bobina y un imán permite abrir o cerrar sus contactos para dar flujo de corriente a un circuito eléctrico.

Se dice que son monoestables cuando vuelven a su estado de reposo y se desconecta la corriente de excitación, y biestables cuando mantienen su estado de abierto o cerrado a pesar de no tener impulso de excitación.

Relés electromecánicos:

- Relés de tipo armadura
- Relés de núcleo móvil
- Relé tipo *reed* o de lengüeta
- Relés polarizados o biestables
- Relés multitensión

### 2.8.2 Contactor

Es un componente que tiene por objetivo establecer el paso de corriente de un receptor, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción.



Figura 2.17. Contactor

FUENTE: (manteniment-industrial, 2014)

Si bien, constructivamente son similares a los relés pero mientras que estos controlan corrientes de bajo valor como circuitos de alarmas visuales o sonoras, alimentación de contactores, etc.; los contactores se utilizan como interruptores electromagnéticos en la conexión y desconexión de circuitos de iluminación y fuerza motriz de elevada tensión y potencia.

### 2.8.3 Microcontrolador

Es un componente de alta escala de integración que incorpora las principales unidades de un computador (procesador, memoria y periféricos de entrada/salida, programable y ejecutable) para cumplir una tarea determinada.



Figura 2.18. Microcontrolador, UC o MCU

FUENTE: (hardwarehacking, 2014)

## 2.9 Controladores Lógicos Programables (PLC)

Diseñado con el objetivo de controlar procesos electromecánicos para productos industriales, el PLC (del inglés; Programmable logic controller) es un computador industrial dedicado a controlar múltiples elementos de salida basados en el estado de las entradas que se encuentren activadas en cada momento, mediante una programación que implementa funciones como lógica, secuencia, temporizado, conteo y aritmética.



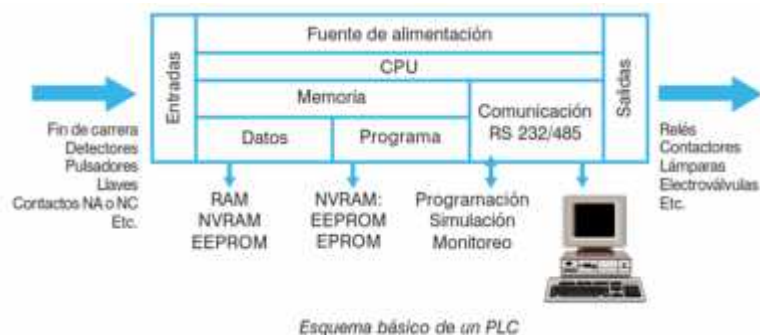
Figura 2.19. PLC con interfaz gráfica

Es similar a un computador de escritorio pero construido con una memoria programable y niveles de tolerancia a la temperatura, humedad e impacto superiores.



Figura 2.21. Dentro de un PLC.  
FUENTE: (rockwellautomation, 2014)

Las señales de entrada que capta un PLC, provienen de finales de carrera, sensores, pulsadores o elemento de señal binaria ON/OFF, mientras que las señales de salidas son pulsos para motores, electroválvulas, relés, etc.



**Figura 2.20. Esquema funcionamiento**  
FUENTE: (Molinari, 2015)

### 2.9.1 Programación

Es la sucesión de instrucciones o relación entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida de modo que se ejecute la secuencia de trabajo pretendida en este caso en el PLC.

### 2.9.2 Tipos de programación

#### Lenguajes gráficos

- Diagrama Ladder (LD)
- Diagrama de Bloques de Funciones (FBD)

#### Lenguajes textuales

- Lista de Instrucciones (IL)
- Texto Estructurado (ST)

El lenguaje de programación Ladder fue diseñado para asemejarse a los diagramas de lógica de escalera. El manejo y programación de un PLC, en este lenguaje, pueden ser realizados por personal eléctrico o electrónico sin conocimientos informáticos.

### 2.9.3 Lenguaje Ladder

El lenguaje es de fácil reconocimiento, con dos rieles verticales (de alimentación) y "escalones" (líneas horizontales), en las que hay instrucciones de entrada o condiciones e instrucciones de salida o acciones que definen los circuitos de control y sus funciones respectivas.

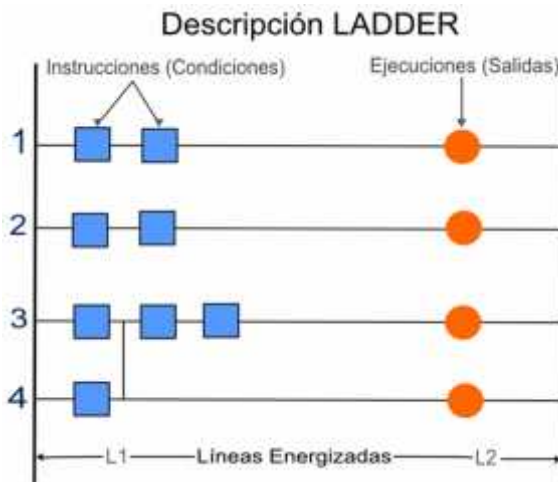


Figura 2.22. Descripción PL programación-ladder.

Las instrucciones de entrada son las condiciones que tiene el circuito para dejar o no pasar la corriente de una línea a la otra. Estas condiciones se manejan comúnmente con contactos normalmente abiertos o normalmente cerrados los cuales interpretan las señales de alto y bajo de sensores o interruptores.

#### Ventajas

- Los PLC contienen todo lo necesario para manejar altas cargas de potencia, se requiere poco diseño eléctrico.
- La capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.
- Existe posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos. Si se requiere otra secuencia no es necesario cambiar el PLC solo se precisa reprogramarlo.

- Tiene economía de mantenimiento; además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos PLC pueden detectar e indicar averías.
- Son bastante flexibles, presenta la posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo PLC.

## 2.10 Elementos auxiliares de control

### 2.10.1 Finales de carrera

Es un dispositivo electromecánico que consta de un accionador unido a una serie de contactos. Cuando un objeto entra en contacto con el accionador, el dispositivo activa (o acciona) los contactos para establecer o interrumpir una conexión eléctrica.



Figura 2.23. Final de carrera  
FUENTE: (calibex, 2015)

Se utilizan en diversas aplicaciones. Pueden determinar la presencia, ausencia, paso y posicionamiento de un objeto. En un comienzo se los utilizaba para definir el final del recorrido de un objeto, de ahí que se llamen "interruptores de final de carrera".

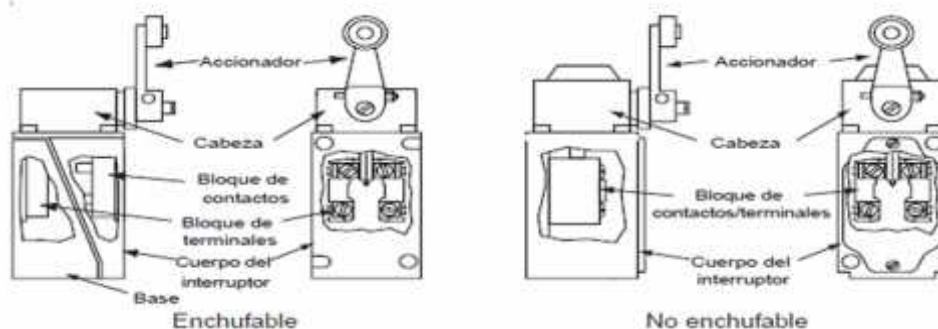


Figura 2.24, Esquema de funcionamiento  
FUENTE: (slideshare, 2015)

## 2.11 Elementos de transmisión y transformación de movimiento.

### 2.11.1 Piñón

Es una rueda dentada o engrane que por su configuración geométrica tiene un dentado recto, helicoidal, hipoidal, etc. y según la necesidad tiene tantos dientes como su diseño lo permita.

### 2.11.2 Cremallera

Es una barra dentada que permite el desplazamiento lineal y posee la misma geometría exterior que el piñón para que puedan ser engranados.

Los dientes de la cremallera y el piñón en este caso son trapezoidales. El movimiento circular del piñón se transforma en movimiento lineal en la cremallera (avance). El desplazamiento de la cremallera equivale a tantos pasos como dientes mueva el piñón.

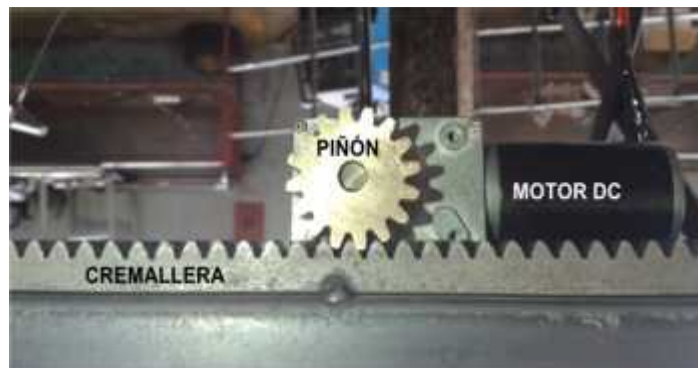


Figura 2.25. Piñón y cremallera.

## Ingeniería Asistida por Computadora (CAE)

La Ingeniería Asistida por Computador (CAE, del inglés: Computer Aid Engineering), es el uso de software para la optimización de un diseño mediante evaluación y simulación de componentes ensamblando estructuras con física y geometría virtual que el cálculo teórico difícilmente podría satisfacer todas las condiciones y fenómenos reales presentes en un mecanismo o sistema para determinar su estudio.

En este trabajo el estudio se realizó en el software SolidWorks 2014 un programa que incluye algunas características como el diseño asistido por computadora (CAD, del inglés Computer-aided Design), inspección asistida por computadora (CAI, del inglés Computer Aided Inspection), como también el análisis de estrés y dinámica de componentes y ensambles utilizando como base el Método de Elementos Finitos (MEF).

## 2.12 Método de elementos finitos

Es un método numérico muy confiable utilizado ampliamente en diseño mecánico que se integra perfectamente con los software de diseño asistido por computadora, permite resolver ecuaciones diferenciales planteadas en forma débil o integral que están asociadas a un problema físico y se puede usar sobre geometrías complicadas.



Figura 2.28. Proceso de simulación  
FUENTE (help.solidworks, 2015)

### 2.12.1 Elementos finitos y su principio integral

Un elemento finito es una parte de un medio continuo definido en una geometría conocida o más sencilla que forma parte de una función o ecuación diferencial que permiten construir un problema de cálculo diferencial en un problema de álgebra lineal.

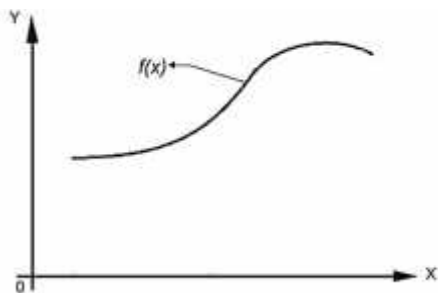


Figura 2.26. Gráfico de una función. Análisis matemático



Al trazar sobre una función líneas imaginarias verticales para dividirlos en intervalos de igual longitud se está discretizando y estableciendo límites con el objetivo de encontrar el área bajo la curva. Según el criterio de segmentos que se haga en la función, se puede subestimar el valor real o aproximarse al mismo.

Los gráficos a continuación permiten comprender el principio de dividir en una función en elementos bien definidos y finitos, para formar sobre estas, ecuaciones resolutivas del área de la sección y otras propiedades.

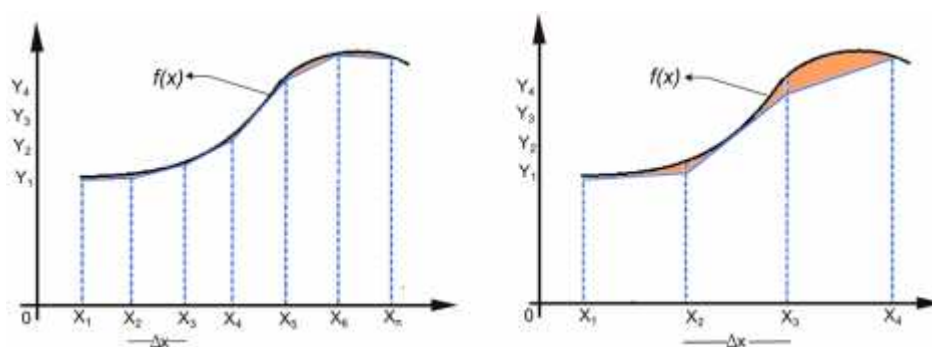


Figura 2.27. Discretización. Análisis matemático

### 2.12.2 Operaciones MEF

El MEF permite obtener una solución numérica aproximada sobre un cuerpo, en el que están definidas ciertas ecuaciones diferenciales en forma integral, que caracterizan el comportamiento físico y geométrico del problema, dividiéndolo en un número elevado de subestructuras denominados **Elementos finitos**.



Figura 2.28. Triangulación  
FUENTE: (wikipedia, 2015)

Cada pequeña estructura está conectada a otro mediante un número discreto de puntos situados en sus contornos llamados nodos, los desplazamientos de estos son las incógnitas fundamentales del problema.

El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se llama **Malla** que es la que posee las regularizaciones del material, su contorno y otras propiedades asignadas.

La resolución se derivan de los valores obtenidos en los nodos, a través de relaciones cinemáticas y constitutivas de las deformaciones, y con ello define de manera aproximada el campo de desplazamientos y tensiones en el elemento finito.

### 2.12.3 Errores del MEF

Puesto que el MEF es una técnica numérica que convierte el dominio de una estructura continua en valores discretos, los errores son inevitables.

**Errores computacionales.-** Errores de redondeo provenientes de los cálculos de punto flotante<sup>4</sup> de la computadora y de las formulaciones de los esquemas de integración numérica que se utilizan.

**Errores de conversión discreta.-** Mediante el uso de un número finito de elementos para modelar la estructura introduce errores al igualar la geometría y distribución del desplazamiento debido a las limitaciones matemáticas inherentes a los elementos.

### 2.12.4 Limitaciones

En general, una simulación requiere el uso de numerosas pruebas y ensayos con geometrías simplificadas o casos menos generales que el que finalmente pretende simularse, la prueba debe confinarse a problemas simples y no a una estructura compleja, puesto que, cada elemento que no intervenga y se encuentre en el análisis estático generará cientos de ecuaciones innecesarias y distorsiones de resultados.

---

<sup>4</sup> Es un formato estándar de numeración en lenguaje de programación. La mayoría de las fracciones decimales no pueden representarse como fracciones binarias.

Normalmente los resultados del MEF convergen hacia los resultados exactos a medida que el enmallado se refina continuamente, en especial si las zonas de transición geométrica están enmalladas uniformemente, en muchos casos el incrementar la densidad del mallado entrega resultados de hasta 5% más precisos.



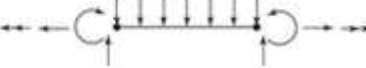



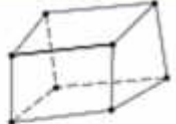
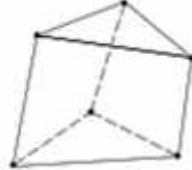



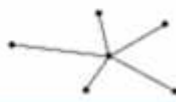
Cuando el MEF proporciona un resultado para un número finito de puntos interpola posteriormente, la solución al resto del dominio, e incluso en un posproceso entrega determinación de errores de aproximación, pero solo proporciona respuestas numéricas cuantitativas concretas no relaciones cualitativas generales que permitan hacer un análisis de sensibilidad que permita conocer como variará la solución si algún parámetro se altera ligeramente.

#### **2.12.5 Convergencia**

Es una propiedad del MEF que permite múltiples escalas de ecuaciones globales para hallar una misma solución con menos error posible, según aumente la cantidad de ecuaciones que consecuentemente hará la malla también con más nodos y elementos sobre la estructura o cuerpo.

#### **2.12.6 Geometrías del Elemento**

El cuadro a continuación describe algunos de los elementos que son formas geométricas utilizadas en el análisis de elementos finito para diversas múltiples aplicaciones que emplean los códigos de software comercial de MEF y que son llamados como biblioteca de elementos de código. Los elementos se ubican en categorías como: elementos de línea, elementos de superficie, elementos de sólidos y elementos de propósito específico.

Tipo de elemento	Ninguno	Forma	Numero de nodos	Aplicaciones
línea	Puntal		2	Barra con extremos articulados en tensión o compresión
	Viga		2	Flexión
	Armazón		2	Axial, torsional o de flexión. Con o sin rigidez de carga.
Superficie	Cuadrilátero de 8 nodos		8	Esfuerzo o deformación plana, placa plana o cascarón en flexión
	Triangular de 3 nodos		3	Esfuerzo o deformación plana, simétrica con respecto a un eje, panel o cortante, placa plana delgada en flexión. Preferible cuadriláteros donde sea posible. Usado para transiciones de cuadriláteros
	Triangular de 6 nodos		6	Esfuerzo o deformación plana, simétrica con respecto a un eje, placa plana o cascarón en flexión. Preferible cuadriláteros donde sea posible. Usado para transiciones de cuadriláteros
Sólido†	Hexagonal de 8 nodos (paralelepípedo o ladrillo)		8	Sólido, placa gruesa
	Pentagonal de 6 nodos (cuña)		6	Sólido, placa gruesa. Usado para transiciones.
	Tetraedro de 4 nodos (tetra)		4	Sólido, placa gruesa. Usado para transiciones.
Propósito especial	Brecha		2	Desplazamientos libres para espacios preestablecidos
	Gancho, conexión		2	Desplazamientos libres para espacios preestablecidos
	Rigido		Variable	Restricción rígida entre nodos

Estos elementos se encuentran disponibles con nodos intermedios

Figura 2.29. Geometrías de elemento finito  
FUENTE: (Nisbett, 2008)

## CAPÍTULO III

### Diseño y cálculos

#### 3.1 Selección del diseño

De los modelos de elevadores de tijera del capítulo anterior se procede a ponderar en las siguientes tablas aspectos generales y constructivos para establecer posteriormente, los parámetros de diseño y cálculos pertinentes del modelo elegido.

Tabla 3.1

Comparaciones generales de diseños

Características Generales	ET Plataforma Deslizante	ET Gradadas Beta	ET Gradadas Alfa
Diseño	6,0	7,0	9,5
Peso	9,5	9,0	8,0
Ergonomía	2,3	7,3	7,7
Tamaño	8,0	6,0	7,5
Facilidad de operación	5,5	6,7	7,9
<b>TOTAL</b>	<b>31,3</b>	<b>36</b>	<b>40,6</b>

Puntos 1 inferior- 10 superior

Tabla 3.2

Comparación constructiva de diseños

Características Constructivas	ET Plataforma Deslizante	ET Gradadas Beta	ET Gradadas Alfa
Resistencia Def.	4,5	5,0	7,0
Montaje y Desmontaje	1,7	8,0	8,1
Confiabledad	6,6	6,4	8,0
Normas Vigentes	1,3	7,0	9,0
Alcance	5,0	5,0	7,0
<b>TOTAL</b>	<b>19,1</b>	<b>31,4</b>	<b>39,1</b>

Puntos 1 inferior- 10 superior

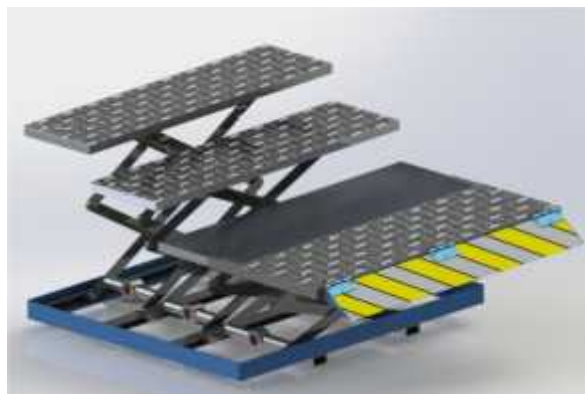


Figura 3.1. Elevador de tijeras r.

### 3.2 Parámetros de diseño y construcción

En este capítulo se muestra las dimensiones globales del ensamble y especificaciones de cada sección para su análisis matemático, cálculos y tablas informativas de las propiedades de cada material considerado.

Los parámetros de construcción se describen a continuación:

- Las fuerzas principales y su transmisión a cada punto de estudio que el sistema deba soportar.
- El factor de seguridad adecuado para el uso humano.
- La frecuencia de operación, para el pertinente uso de actuadores hidráulicos, neumáticos y equipos electrónicos.

Tabla 3.3  
Parámetros

Parámetros de Diseño		
Diseño	Elevador de tijeras $\alpha$	
Peso Mecanismo	90 Kgf	882 N
Ancho	900 mm	0.9 m
Longitud	800 mm	0.8 m
(1 peldaño)	250mm	0.25 m
(2 peldaño)	250 mm	0.25 m
(3 peldaño)	300mm	0.3 m
Longitud Total	1200 mm	1.2 m
Altura máxima desplegado	800 mm	0.8 m
Altura mínima plegado	150 mm	0.15 m
Plataforma despegable	900 x 300 mm	0.9 x 0.3 m
Rampa final	900 x 100 mm	0.9 x 0.1 m
Peso Supuesto PcD	110 Kgf	1078 N
Peso Máximo por peldaño	150 Kgf	1470 N
Factor de Seguridad Mín.	1.75	
Funcionamiento	Mecánico	
Accionamiento	Hidráulico y Neumático	
Gestión	Electrónica	

### 3.3 Cálculo de la fuerza del cilindro hidráulico

#### 3.3.1 Método de trabajo virtual

Es un método simplificado utilizado en resistencia de materiales para el cálculo de desplazamientos en estructuras isostáticas e hiperestáticas. El término de trabajo

virtual se deriva del concepto de que cada fuerza produce un desplazamiento infinitesimal o virtual del elemento del sistema estático.

A continuación, se indicará una ecuación de potencia como se deduce de sus unidades, este cálculo permite la obtención de la *Ecuación del Mecanismo*, este valor intervendrá en la selección y dimensionamiento de los actuadores hidráulicos.

### 3.3.2 Pasos para el cálculo

#### a) Diagrama de fuerzas activas

Aquí se plantea las fuerzas que generan trabajo y los desplazamientos virtuales.

$P \rightarrow 80 \text{ kg persona} + 25 \text{ kg silla de ruedas} + 5 \text{ kg equipaje}$

$P \rightarrow \text{peso (110 kgf)}$

$F_{pis} \rightarrow \text{Fuerza del Pistón}$

$y \rightarrow \text{altura del Mecanismo}$

$x \rightarrow \text{distancia horizontal entre tijeras}$

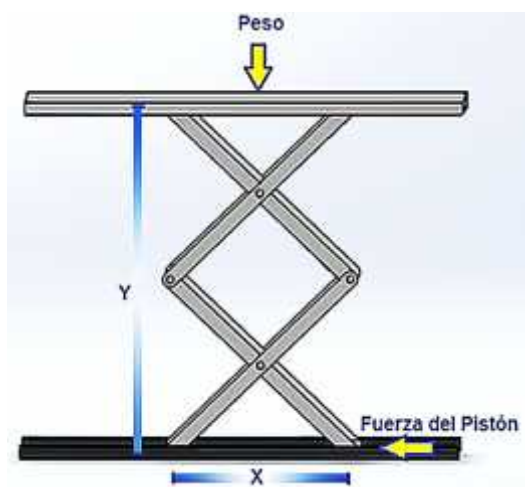


Figura 3.2. Diagrama fuerzas activas

#### b) Desplazamiento virtual

Se identifican los valores que cambian a lo largo del movimiento del mecanismo, sin considerar rozamientos o fuerzas secundarias.

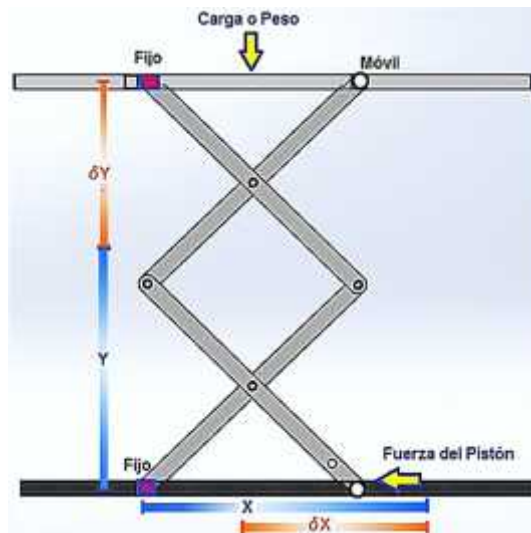


Figura 3.3. Diagrama de desplazamientos

### c) Ecuación de trabajo virtual

Es una deducción de los primeros dos pasos

$$\delta U = 0$$

$$-P\delta y - F_{pis}\delta x = 0 \quad \text{Ec. Trabajo Virtual}$$

Ecuación 1

Desplazamiento virtual en y, x:

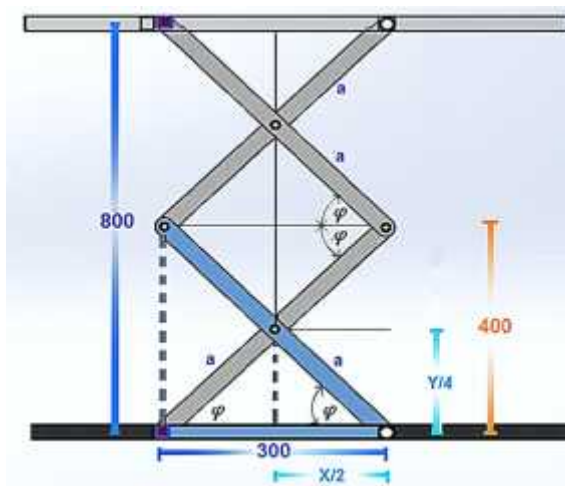


Figura 3.4. Geometría del mecanismo

$$\sin \varphi = \frac{y/4}{a}$$

$$\frac{y}{4} = a \sin \varphi$$

$$y = 4a \sin \varphi$$

Ecuación 2

$$\cos \varphi = \frac{x/2}{a}$$

$$\frac{x}{2} = a \cos \varphi$$

$$x = a \cos \varphi$$

Ecuación 3



Sus respectivas derivadas:

$$\delta y = 4a \cos \varphi \delta \varphi$$

$$\delta x = -2a \sin \varphi \delta \varphi$$

#### d) Compatibilidad geométrica

El último paso es integrar la ecuación de trabajo virtual reemplazando todas las ecuaciones obtenidas, se llega al desarrollo final de nuestra ecuación.

$$P 4a \cos \varphi \delta \varphi + Fpis (-2a \sin \varphi \delta \varphi) = 0$$

$$Fpis = P \frac{4a \cos \varphi \delta \varphi}{2a \sin \varphi \delta \varphi}$$

$$Fpis = 2P \cot \varphi \text{ Ecuación del Sistema} \quad \text{Ecuación 4}$$

#### e) Rango de alturas de trabajo y valores teóricos de fuerza y presión

Datos iniciales.

$$y \text{ mín} = 0.14 \text{ m}$$

$$y \text{ máx} = 0.8 \text{ m}$$

$$a = 0.25 \text{ m}$$

$$\varphi \text{ mín} = \sin^{-1} \frac{y \text{ mín}}{4a}$$

$$\varphi \text{ mín} = 8.05^\circ$$

$$\varphi \text{ máx} = \sin^{-1} \frac{y \text{ máx}}{4a}$$

$$\varphi \text{ máx} = 53.8^\circ$$

$$Fpis = 220 \cot 8.05^\circ = 1555.5 \text{ kgf} \approx 15.24 \text{ KN} \quad \text{Plegado}$$

$$Fpis = 220 \cot 53^\circ = 165.8 \text{ kgf} \approx 1.62 \text{ KN} \quad \text{Alzado}$$

*Superficie de compresión cilindro*

$$S = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

Ecuación 5

$$S = \frac{\pi(58^2 - 28^2)}{4}$$

$$S = 2026.32 \text{ mm}^2 \approx 3.14 \text{ plg}^2$$

Tabla 3.4  
Fuerza y variación angular

Variación Angular	Fuerza Pis (kgf)	Fuerza (N)	Presión (psi)
8.05	<b>1555.5</b>	<b>15244</b>	<b>1090</b>
9	1389	13612	973,1
10	1247.6	12227	874,11
11	<b>1131.8</b>	<b>11092</b>	<b>793</b>

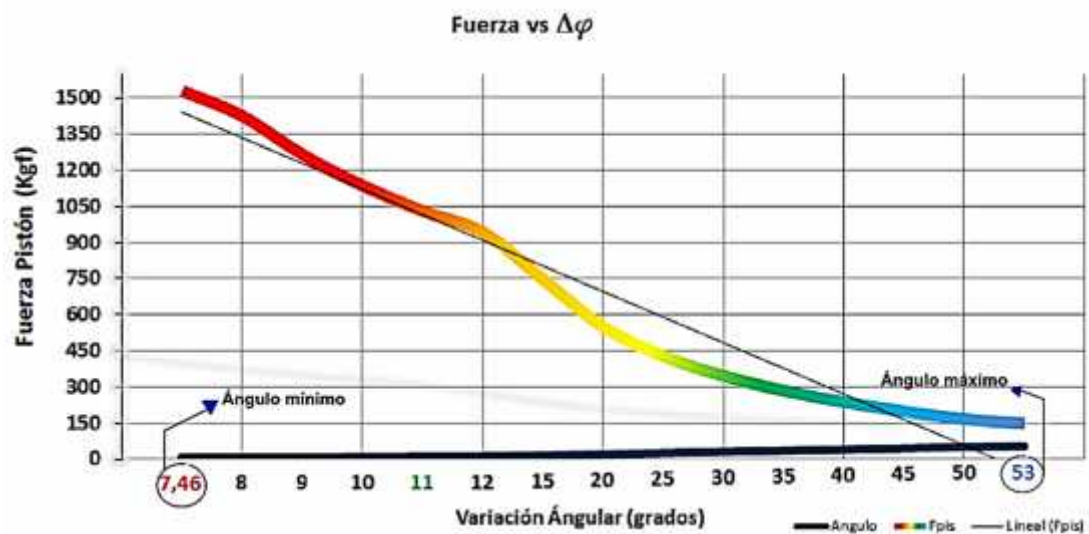


Figura 3.5. Fuerza en función del ángulo

Esto indica la importancia de la altura mínima de partida (el ángulo que forma con la horizontal la platina) y la fuerza que el pistón hidráulico ejerce sobre los semiejes cuando el sistema elevador se encuentra totalmente plegado.

### 3.4 Cálculo reacciones en nodos

#### 3.4.1 Totalmente plegado

$P' \rightarrow 110\text{kg}$  se toma la mitad puesto que se considera en un solo plano  $55\text{ kg}$

$$\sim +\Sigma MH = 0$$

$$55 \times 250 - RG \times 500 = 0$$

$$RG = 27.5\text{kgf} \approx 269.5\text{N}$$

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$RH - 55 + 27.5 = 0$$

$$RH = 27.5\text{kgf} \approx 269.5\text{N}$$

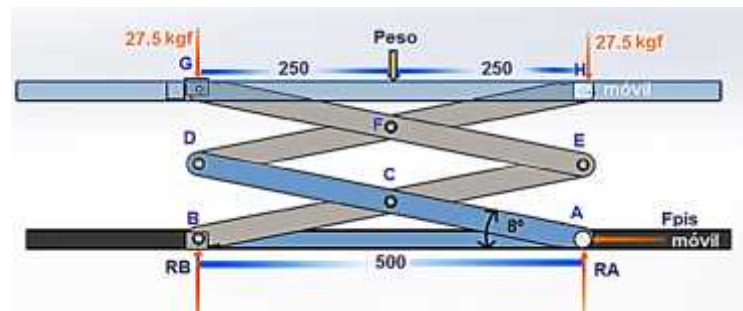


Figura 3.6. Diagrama de cuerpo libre 1

## a) Reacciones de apoyo

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$RH + RG = 27.5 + 27.5$$

$$RH + RG = 55$$

Ecuación 6a

$$\curvearrow +\Sigma MG = 0$$

$$RH500 + P250 = 0$$

Ecuación 7a

$$RH = \frac{27.5 \times 250}{500} = 27.5 \text{ Kg}$$

$$RG = 27.5 \text{ kgf} \approx 269.5 \text{ N}$$

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$RB + RA = 27.5 + 27.5$$

$$RB + RA = 55$$

Ecuación 8a

$$\curvearrow +\Sigma MA = 0$$

$$RB \times 500 = FG \times 500$$

Ecuación 9a

$$RB = 27.5 \text{ kgf}, RA = 27.5 \text{ kgf} \approx 269.5 \text{ N}$$

## b) Reacciones puntuales

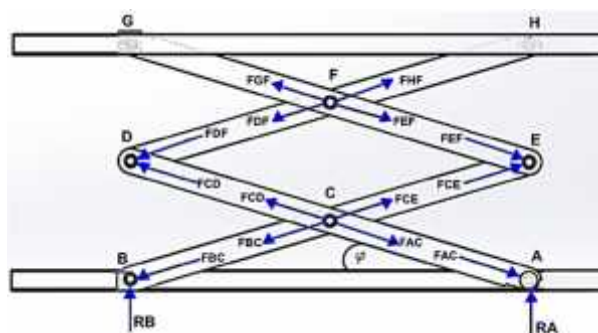


Figura 3.7. Diagrama de fuerzas puntuales

**Nodo A**

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$RA = F_{CA} \sin 8.05$$

$$F_{CA} = \frac{27.5}{\sin 8.05} = 196.37 \text{ kgf} \approx 1.9 \text{ KN}$$

**Nodo B**

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$RB = F_{CB} \sin 3.05$$

$$F_{CA} = \frac{27.5}{\sin 8.05} = 196.37 \text{ kgf} \approx 1.9 \text{ KN}$$

**Nodo C**

$$\rightarrow +\Sigma Fx = 0$$

$$F_{CD} \cos 3.05 + F_{CB} \cos 8.05 = F_{CE} \cos 8.05 + F_{CA} \cos 8.05$$

$$F_{CD} + 196.37 = F_{CE} + 196.37$$

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$F_{CD} + F_{CE} = 196.37 + 196.37$$

$$F_{CD} = 196.37 \therefore F_{CE} = 196.37 \text{ kgf} \approx 1.9 \text{ KN}$$

**Nodo D**

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$F_{DF} \sin 8.05 = F_{DC} \sin 8.05$$

$$F_{DF} = F_{DC} = 196.37 \text{ kgf} \approx 1.9 \text{ KN}$$

**Nodo E**

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$F_{EF} \sin 8.05 = F_{EC} \sin 8.05$$

$$F_{EF} = F_{EC} = 196.37 \text{ kgf} \approx 1.9 \text{ KN}$$

**Nodo F**

$$\rightarrow +\Sigma Fx = 0$$

$$F_{FG} \cos 8.05 + F_{FD} \cos 8.05 = F_{FH} \cos 8.05 + F_{FE} \cos 8.05$$

$$F_{FG} + F_{FD} = F_{FH} + F_{FE}$$

$$F_{FG} - F_{FH} = 196.37 - 196.37$$

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$F_{FG} + F_{FH} = 196.37 + 196.37$$

$$F_{FG} = 196.37 \text{ kgf} \therefore F_{FH} = 196.37 \text{ kgf} \approx 1.9 \text{ KN}$$

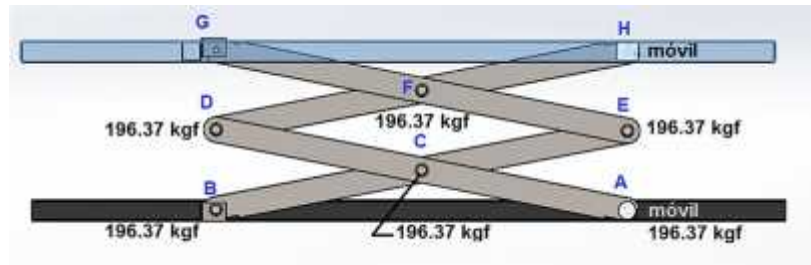


Figura 3.8. Resultados de fuerzas puntuales 1

### 3.4.2 Totalmente alzado

$$\curvearrow +\Sigma MH = 0$$

$$55 \times 50 - RG \times 300 = 0$$

$$RG = 9.2 \text{ kgf} \approx 90.1 \text{ N}$$

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$RH - 55 + 9.2 = 0$$

$$RH = 45.8 \text{ kgf} \approx 448.8 \text{ N}$$

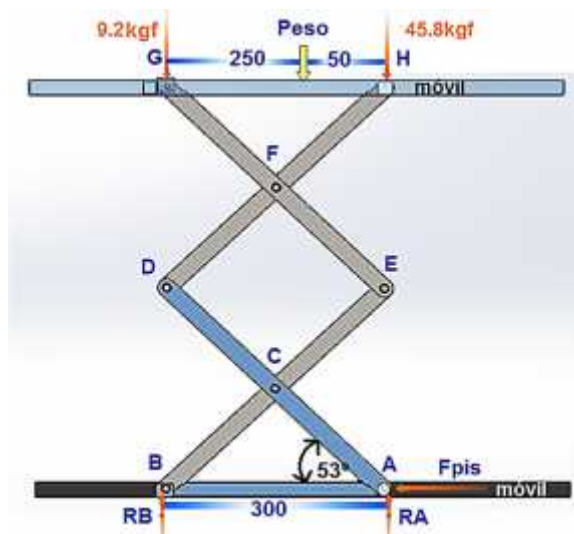


Figura 3.9. Diagrama de cuerpo libre 2

#### a) Reacciones de apoyo

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$RH + RG = 55$$

Ecuación 6b

$$\curvearrowright +\Sigma MG = 0$$

$$RH300 - P250 = 0 \quad \text{Ecuación 7b}$$

$$RH = \frac{55 \times 250}{300} = 45.8 \text{ Kgf} \approx 448.8N$$

$$RG = 9.2 \text{ kgf} \approx 90.1N$$

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$RB + RA = 45.8 + 9.2 \quad \text{Ecuación 8b}$$

$$\curvearrowright +\Sigma MA = 0$$

$$RB \times 300 = FG \times 300 \quad \text{Ecuación 9b}$$

$$RB = RG \therefore RB = 9.2 \text{ kgf} \approx 90.1N$$

$$RA = 45.8 \text{ kgf} \approx 448.8N$$

## b) Reacciones puntuales

### Nodo A

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$RA = F_{CA} \sin 53$$

$$F_{CA} = \frac{45.8}{\sin 53} = 57.3 \text{ kgf} \approx 562N$$

### Nodo B

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$RB = F_{CB} \sin 53$$

$$F_{CB} = \frac{9.2}{\sin 53} = 11.52 \text{ kgf} \approx 112.9N$$

### Nodo C

$$\rightarrow +\Sigma Fx = 0$$

$$F_{CD} \cos 53 + F_{CB} \cos 53 = F_{CE} \cos 53 + F_{CA} \cos 53$$

$$F_{CD} + 11.5 = F_{CE} + 57.3$$

$$F_{CD} - F_{CE} = 45.8$$

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$F_{CD} + F_{CE} = 11.5 + 57.3$$

$$F_{CD} = 57.3 \therefore F_{CE} = 11.52 \text{ kgf} \approx 112.9N$$

**Nodo D**

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$F_{DF} \sin 53 = F_{DC} \sin 53$$

$$F_{DF} = F_{DC} = 57.3 \text{ kgf} \approx 562 \text{ N}$$

**Nodo E**

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$F_{EF} \sin 53 = F_{EC} \sin 53$$

$$F_{EF} = F_{EC} = 11.52 \text{ kgf} \approx 112.9 \text{ N}$$

**Nodo F**

$$\rightarrow +\Sigma Fx = 0$$

$$F_{FG} \cos 53 + F_{FD} \cos 53 = F_{FH} \cos 53 + F_{FE} \cos 53$$

$$F_{FG} + F_{FD} = F_{FH} + F_{FE}$$

$$F_{FG} - F_{FH} = 11.5 - 57.3$$

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$F_{FG} + F_{FH} = 57.3 + 11.5$$

$$F_{FG} = 11.5 \text{ kgf} \approx 112.9 \text{ N}$$

$$F_{FH} = 57.3 \text{ kgf} \approx 562 \text{ N}$$

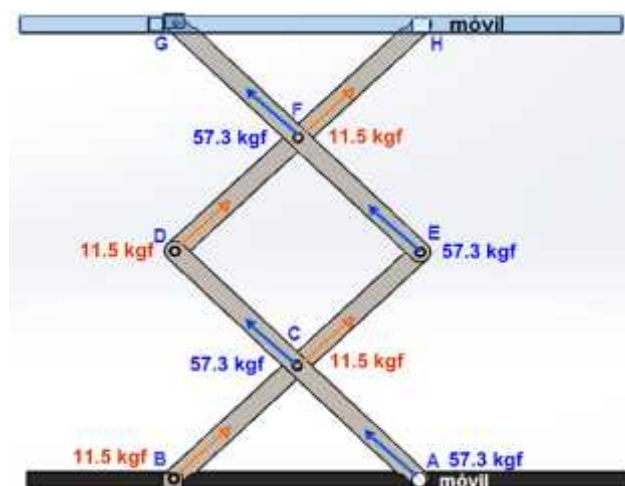


Figura 3.10. Resultado de fuerzas puntuales 2

### 3.5 Cálculo sobre los remaches<sup>5</sup>

Luego del análisis de las dos condiciones de alzado y plegado se escoge la fuerza con el valor más alto encontrado, para calcular el esfuerzo cortante, que es, el más probable que los haga fallar a los remaches del mecanismo.

Tabla 3.5

Propiedades remache

Características del remache	
Remache acero 1040 D → 9mm F → Fuerza puntual de un nodo (1.9kN).	Límite Cortante (MPa) (N/mm <sup>2</sup> ) 351

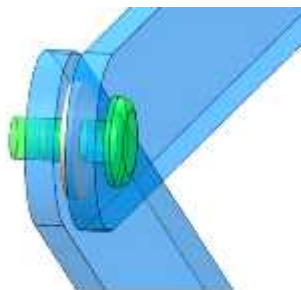


Figura 3.11. Remache acoplado

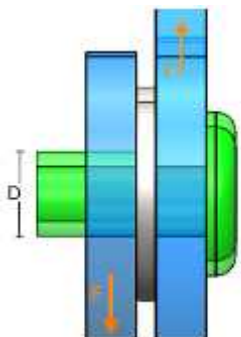


Figura 3.12. Vista lateral remache

#### a) Corte de los remaches

$$\tau = \frac{4F}{\pi \times D^2} < S_V$$

Ecuación 10

$$\tau = \frac{4 \times (1923)}{\pi \times 9^2}$$

$$\tau = 30,25 \text{ N/mm}^2 < 351 \text{ N/mm}^2$$

<sup>5</sup> Bernard J. Hamrock, B.J, S.S, (2000) Elemento de Máquinas, 1era Ed



### 3.6 Cálculo de esbeltez<sup>6</sup>

El pistón hidráulico conectado al eslabón al accionarse produce una carga axial por compresión sobre la platina y el cálculo, para esta sección se procede como si fuese una columna, que en si es una pieza estructural con ecuaciones bien definidas.

Tabla 3.6

Propiedades platina

Eslabón acero estructural eslabón D-A

Platina 1 1/2 x 3/8 ASTM A36 Dimensiones: l → 200mm h → 30mm t → 1mm	Límite Elástico (MPa) (N/mm <sup>2</sup> )		Módulo de Elasticidad (GPa)
	Cortante	Tensión	
	V= 145	Sy= 250	E=200

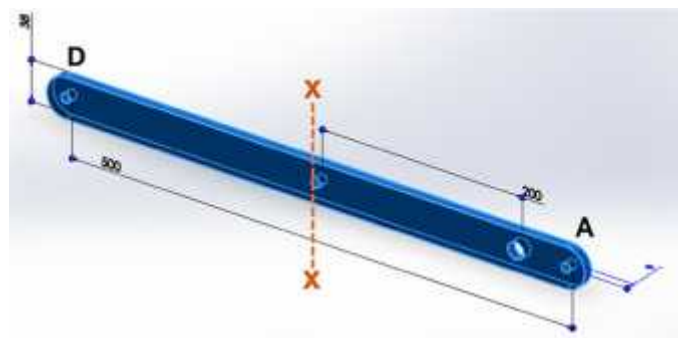


Figura 3.11. Eslabón D-A

#### a) Área sección transversal (A)

$b \rightarrow$  altura  
 $t \rightarrow$  espesor

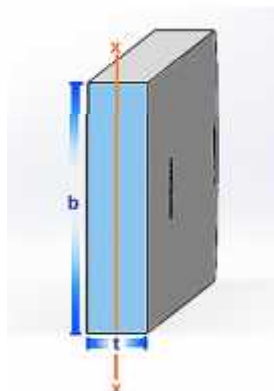


Figura 3.12. Eslabón transversal en corte

<sup>6</sup> (1995) Diseño de Elementos de Máquinas, Robert L. Mott. 2da Ed. Cap. 3

$$A = b \times t$$

$$A = 33 \times 9 = 342 \text{ mm}^2$$

Ecuación 11

**b) Momento de inercia (I)**

$$I = \frac{bt^3}{12}$$

$$I = \frac{38 \times 9^3}{12} = 2308.9 \text{ mm}^4$$

Ecuación 12

**c) Radio de giro ( $r_{xx}$ )**

Es el radio mínimo que se considera por el cual la platina puede llegar a pandearse.

$$r_{xx} = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$r_{xx} = \sqrt{\frac{2308.9}{342}} \quad \therefore r_{xx} = 2.6 \text{ mm}$$

Ecuación 13

**d) Razón de esbeltez ( $\lambda$ )**

Es la relación longitud efectiva (altura/diámetro) con su radio de giro mínimo o llamada también dimensión lateral. Es un paso del análisis de columnas con carga al centro

$k \rightarrow$  es una constante que depende de la fijación de los extremos

$L \rightarrow$  es longitud de los extremos fijados

$$\lambda = \frac{k \times L}{r_{xx}}$$

$$\lambda = \frac{0.8 \times 200}{2.6} = 61.53 \text{ mm}$$

Ecuación 14

**e) Constante de la columna ( $C_c$ )**

Representa el valor de la razón de delgadez que separa una columna larga de una corta, dependiendo del valor a continuación se considera el procedimiento de Euler o Johnson.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times 200 \times 10^9}{250 \times 10^6}} = 125.66$$

$$\therefore \lambda < C_c \rightarrow \text{columna corta}$$

#### f) Carga crítica ( $P_{Cr}$ )

Existen dos fórmulas para calcular la carga crítica, la fórmula de Euler para columnas largas y la fórmula de J.B Johnson para columnas cortas, como la razón de esbeltez es decir  $Kl/r$  es menor a  $C_c$  se considera una “columna” corta y por tanto se calcula de la siguiente manera.

$$P_{Cr} = AS_y \left[ 1 - \frac{S_y \left( \frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad (\text{J.B Johnson}) \quad \text{Ecuación 16}$$

$$P_{Cr} = (342)250 \left[ 1 - \frac{250 \times 10^6 (76.92)^2}{4\pi^2 207 \times 10^9} \right] = 70.02 \text{KN}$$

$$P_{Cr} = 7145 \text{Kgf}$$

### 3.7 Cálculo de esfuerzos cortantes y flexores<sup>7</sup>

El final del vástago del cilindro se encuentra cruzado por un eje de acero 1 1/4 de pulgada (31.75 mm), su cálculo puede considerarse como una viga con carga centrada.

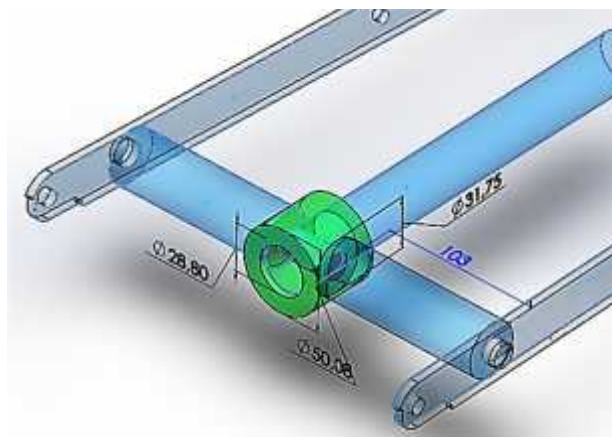


Figura 3.13. Ensamble semiejes

<sup>7</sup> (1995) Diseño de Elementos de Máquinas, Robert L. Mott. 2da Ed. Cap. 6

Tabla 3.7  
Propiedades Semiejes

Acero al carbono AISI 4340			
Eje al carbono AISI 4340	Límite Elástico (MPa) (N/mm <sup>2</sup> )		Módulo de Elasticidad (GPa)
	Cortante	Tensión	
Dimensiones: longitud eje → 220mm diámetro eje → 31.75mm diámetro menor → 12.7mm	V= 235	Sy= 470	E= 207

### a) Reacciones de apoyo

Una perspectiva biaxial simplifica el cálculo por esfuerzo transversal del vástago del pistón sobre el eje perpendicular, el cual va conectado a su vez con los eslabones (tijeras).

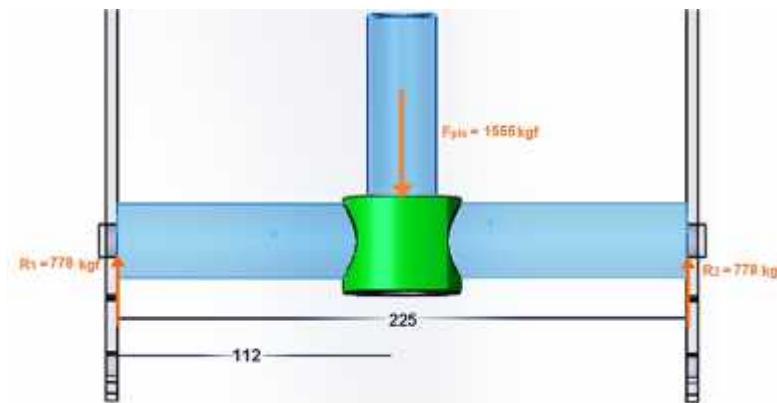


Figura 3.14. Esquema de fuerza biaxial

### b) Diagramas de corte y flexión

Son las representaciones gráficas de los valores de esfuerzos de corte y flexión distribuidas sobre la longitud total de la viga.

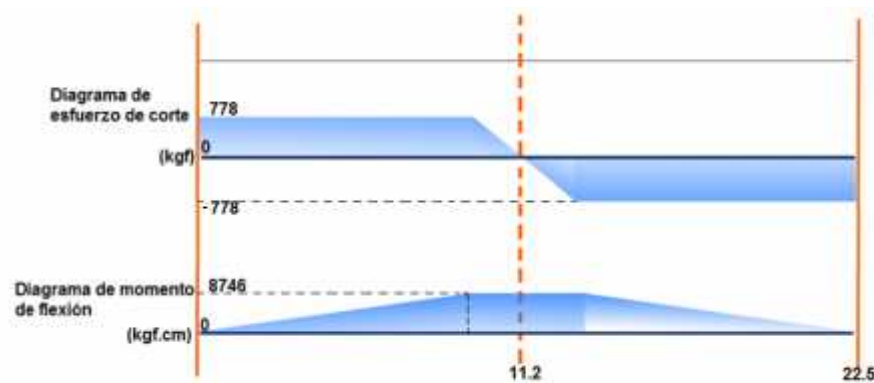


Figura 3.15. Diagramas de esfuerzos de corte y momentos

$$\curvearrowright +\Sigma M1 = 0$$

$$F_{pis}(112) - R_2(225) = 0$$

$$R_2 = \frac{F_{pis}d}{L} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$R_2 = \frac{1555(112)}{225}$$

$$R_2 = 777.8 \text{ kgf} \approx 7622 \text{ N}$$

$$\uparrow +\Sigma Fy = 0$$

$$R_1 + R_2 - F_{pis} = 0 \quad \text{Ecuación 18}$$

$$R_1 + R_2 = P$$

$$R_1 \approx 1555 - 777.8$$

$$R_1 \approx 777.8 \text{ kgf} \approx 7622 \text{ N}$$

c) **Momento máximo** ( $M_{\text{máx}}$ )

$$M_{\text{máx}} = \frac{F_{pis} d^2}{2d} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$M_{\text{máx}} = \frac{1555(11.2^2)}{2(11.2)}$$

$$M_{\text{máx}} = 8746.87 \text{ Kgf.cm} \quad 858 \text{ N.m}$$

d) **Momento de inercia del eje transversal (I)**

Es una medida de la inercia rotacional de un cuerpo en torno a uno de los ejes principales.

$D \rightarrow$  diámetro del semieje

$c \rightarrow$  distancia del eje neutral a la sección más exterior

$$I = \frac{\pi D^4}{64} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$I = \frac{\pi 31.75^4}{64}$$

$$I = 49882.1 \text{ mm}^4$$

$$c = \frac{D}{2} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$c = 15.87 \text{ mm}$$

**e) Esfuerzo flector ( $\sigma$ )**

Es el momento de fuerza resultante perpendicular al eje longitudinal a lo largo del que se produce la flexión.

$$\sigma = \frac{M_c}{I} \quad \text{Ecuación 22}$$

$$\sigma = \frac{840000(1587)}{49882.1}$$

$$\sigma = 267.33 \text{ N/mm}^2 < 470 \text{ N/mm}^2 \text{ AISI 4340}$$

**f) Factor de seguridad (FDS)**

Es una medida de seguridad para garantizar el uso del sistema, se obtiene del valor límite de deformación del acero considerado previamente sobre el esfuerzo flector obtenido en los cálculos previos

$$FDS = \frac{S_y}{\sigma} \quad \text{Ecuación 23}$$

$$FDS = \frac{470}{267}$$

$$FDS = 1,75$$

El valor resultante del esfuerzo flector permite una confiabilidad teórica de 1.75 sobre el sistema.

**g) Deflexión máxima ( $\delta$ )**

Es un estiramiento debido a la carga axial de tracción directa

$F_{pis}$  → Fuerza del pistón  
 $L$  → longitud del semieje  
 $E$  → módulo de elasticidad

$$\delta = - \frac{F_{pis} L^3}{48 E I} \quad \text{Ecuación 24}$$

$$\delta = - \frac{15244 (220)^3}{48(207000)49882.1}$$

$$\delta = -0.32 \text{ m}$$

### 3.8 Esfuerzo cortante (sección 1 y 2)

Estas secciones son un área crítica porque los ejes pasan a reducirse sus diámetros (31.75mm a 12.7mm) y, la fuerza que se produzca los podrá hacer fallar solo por corte similar al de una cizalla.

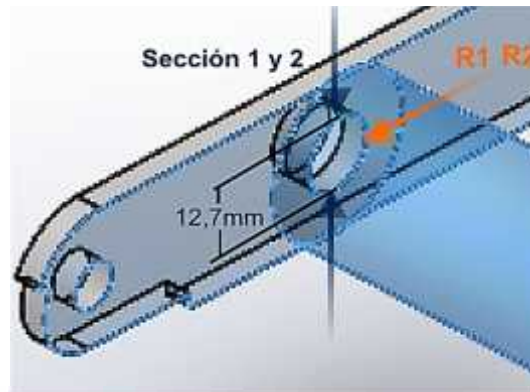


Figura 3.16. Sección cortante

$A \rightarrow$  área del eje en su sección crítica

$$A = \pi r^2 \quad \text{Ecuación 25}$$

$$A = \pi \left( \frac{12,7}{2} \right)^2 = 126.67 \text{ mm}^2$$

$V \rightarrow$  esfuerzo cortante máximo (N)

$$\tau = \frac{4V}{3A} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$\tau = \frac{4(7624.4)}{3(126.67)}$$

$$\tau = 80.3 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)} < 235 \text{ N/mm}^2 \text{ AISI 4340}$$

### 3.9 Cálculo del piñón y cremallera<sup>8</sup>

El control de despliegue de la plataforma se gobierna mediante un sistema de piñón y cremallera.

<sup>8</sup> (2009) Diseño de Maquinaria. Robert L Norton. 4ta Ed.

Tabla 3.8  
Características del piñón

Diseño constructivo del piñón			
Bronce Grafitado Dimensiones:	Velocidad de Giro (rpm)	Torque (kg.cm)	(%)
<i>diámetro exterior</i> → $d_e = mm$ <i>diámetro primitivo</i> → $d, dp = 2 mm$ <i>número de dientes</i> → $z, Z =$	40	7	90

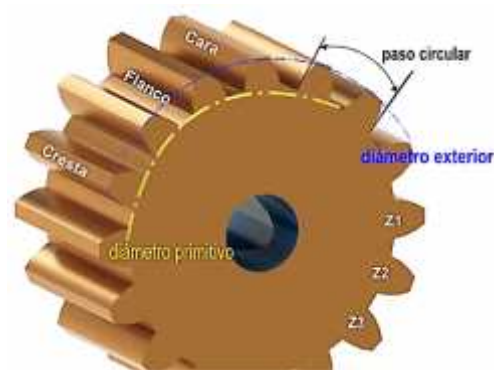


Figura 3.17. Designaciones de un piñón

#### a) Selección del módulo (m)

El módulo es un coeficiente estándar entre el piñón y la cremallera para transmitir adecuadamente el giro en movimiento lineal.

$$m = \frac{dp}{z} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$m = \frac{36}{16} = 2.25 m$$

#### b) Avance (A)

Es la distancia que avanza la cremallera en una vuelta del piñón.

$$A = \pi dp \quad \text{Ecuación 28}$$

$$A = 32 \pi = 100.53 m$$



**c) Paso (p)**

Es la distancia entre dos dientes consecutivos.

$$p = \frac{A}{z} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$p = \frac{100.53}{16} = 6.28 \text{ mm}$$

**d) Velocidad de avance (Va)**

Se considera a la velocidad de traslación de la cremallera sobre el piñón

$$Va = \frac{N dp \pi}{60000} \quad \text{Ecuación 30}$$

$$Va = \frac{40 \cdot 32 \pi}{60000} = 0.067 \text{ m/s}$$

**e) Tiempo de avance (t)**

Corresponde al tiempo que tome desplazar completamente la plataforma

$l \rightarrow$  longitud total de la cremallera (m)

$$t = \frac{l}{Va} \quad \text{Ecuación 31}$$

$$t = \frac{0.35}{0.067} = 5.22 \text{ s}$$

**f) Fuerza Tangencial (Ft)**

Esta fuerza considera el rozamiento, y por ende, las pérdidas de energía que se producen entre el piñón y la cremallera.

Masa a trasladar (peso de la plataforma)  $\rightarrow M = 8 \text{ kg}$ .

$$F_{tr} = M(9.81\mu + a) \quad \text{Ecuación 32}$$

$$F_{tr} = 8(9.81 \times 0.7) = 55 \text{ N}$$

**g) Fuerza aplicada (F)**

Es la fuerza con una descomposición vectorial sobre el plano horizontal que transmite el giro del piñón sobre la cremallera.

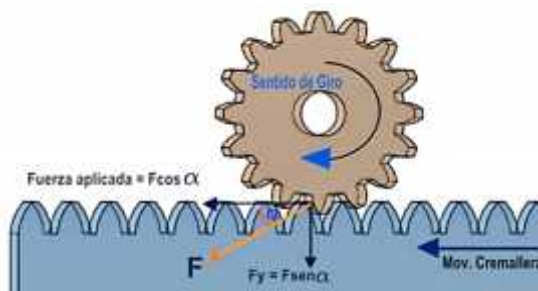


Figura 3.18. Fuerza aplicada piñón sobre cremallera

$$F_{aplicada} = F \cos \alpha \quad \text{Ecuación 33}$$

$$F_{aplicada} = 55 \cos 20$$

$$F_{aplicada} = 51.86N \approx 5.27kgf$$

### 3.10 Cálculos de la bomba hidráulica

#### a) Caudal (Q)

Se refiere al volumen de fluido que atraviesa una determinada sección transversal de un conducto por unidad de tiempo. (Diámetro del conducto 3/8 plg.).

Tiempo de la bomba  $\rightarrow t = 8.5 \text{ s}$

Bomba llenado  $\rightarrow V = 1 \text{ litros}$

$$Q = \frac{V}{t}$$

Ecuación 34

$$Q = \frac{1}{8.5}$$

$$Q = 0.12 \frac{l}{s} \quad 1.9 \frac{gal}{min}$$

#### b) Potencia teórica (P)

0.000583  $\rightarrow$  factor de conversión<sup>9</sup>

$p \rightarrow$  presión (psi)

$n \rightarrow$  eficiencia

$$P = Q \times p \times 0.0005832 \times n \quad \text{Ecuación 35}$$

$$P = 1.9 \times 1500 \times 0.0005832 \times 0.90$$

$$P = 1.5 \text{ hp}$$

<sup>9</sup> Parker, M (1986). Industrial Hydraulic Technology, Ohio, LNS

### 3.11 Descripción técnica de componentes

Tabla 3.9  
Componentes hidráulicos

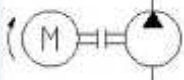
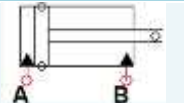
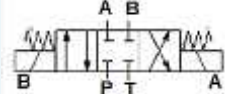
Actuadores hidráulicos					
Bomba de engranes	Presión de Trabajo (psi)	Potencia (HP)	Depósito (lt)	Voltaje (V)	Simbología
	500-3000	1.5	2,8	24 DC	
Pistón de doble efecto	Carrea (mm)	Diámetro Cuerpo (mm)	Diámetro vástago (mm)	Neplos (pulgadas)	Simbología
	200	68.7	28.8	3/8	
Electroválvula proporcional de 4/3 vías, posición central cerrada	Presión de Trabajo (psi)	Potencia (W)	Voltaje (V)	Simbología	
	4500 P A B 1450 Tanque	30	24 DC		

Tabla 3.10  
Componentes neumáticos

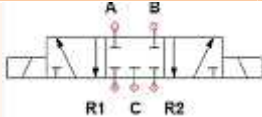

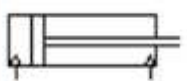

Actuadores neumáticos				
Válvula solenoide 5/3 vías posición central cerrada	Presión de Trabajo (psi)	Voltaje (v)	Potencia (W)	Simbología
	21-120	24 DC	3	
	Carrea (mm)	Fuerza (Kgf)	Diámetro cilindro (mm)	Simbología
Pistón delgado	100	7	16	
Pistón compacto I	40	10	10	
Pistón Compacto II	30	10	8	

Tabla 3.11  
Componentes eléctricos

Actuador eléctrico				
Voltaje (DC)	Corriente (A)	Torque (kg.cm)	Peso (kg)	Revoluciones (rpm)
24	0.6	7	0.38	50

## CAPÍTULO IV

### Simulación virtual del sistema

#### 4.1 Software Solidworks

Es un programa de computadora disponible para los sistemas operativos Microsoft Windows y Mac, Dassault System Solidworks (versión de prueba) es un software que posee numerosas herramientas asistidas por computadora (CAx, del inglés, *computer-aided x*: CAD, CAE, CAM), para diseño mecánico en 3D (tridimensional) que permite modelar piezas, ensambles, construcción de planos, simulaciones de tipo ingenieril y otras aplicaciones importantes.

En el presente proyecto constituye un factor de la toma de decisiones basadas en las simulaciones y pruebas virtuales, que otorgan información relevante sobre la viabilidad y desarrollo del sistema, su uso es esencial antes de la construcción del mecanismo real por el ahorro de tiempo y costos.

#### 4.2 Configuraciones de la simulación en Solidworks

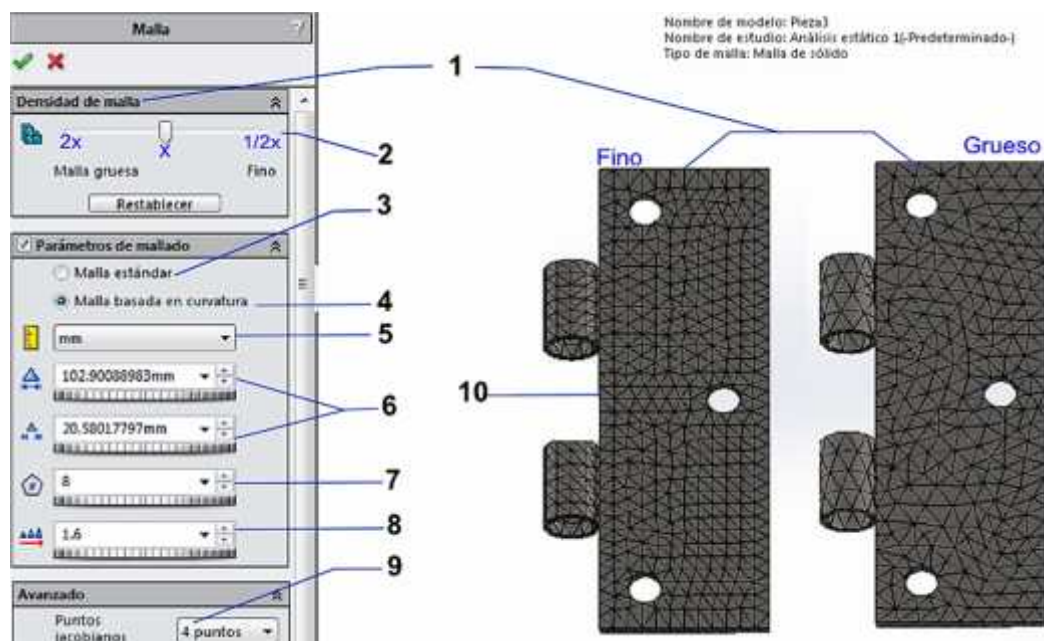













Figura 4.1. Configuraciones para simulación

Tabla 4.1.  
Configuraciones Solidworks

Descripción de configuraciones		
1		<b>Mallado</b> Es la aplicación sobre un cuerpo, estructura o medio continuo, elementos o subestructuras geométricas para cuantificar su cantidad de nodos o ecuaciones resolutivas.
2		<b>Factor de malla</b> Es un control deslizante para cambiar el tamaño y la tolerancia globales del elemento. La posición del extremo izquierdo (grueso) establece el tamaño global del elemento en el doble del predeterminado. La posición del extremo derecho (fino) la mitad del predeterminado.
3		<b>Malla estándar</b> Mallado de Delaunay-Voronoi para efectuar operaciones de mallado subsiguientes.
4		<b>Malla basada en curvatura</b> Mallado basado en curvatura para efectuar operaciones de mallado subsiguientes. El mallador crea más elementos en zonas de mayor curvatura automáticamente (sin necesidad de controlar la malla).
5		<b>Unidades</b> Indica para el resto de parámetros las unidades utilizadas.
6		<b>Tamaño máximo de elemento</b> El tamaño de elemento máximo se usa para límites con la menor curvatura.
		<b>Tamaño mínimo del elemento</b> El tamaño de elemento mínimo se usa para límites con la mayor curvatura.
7		<b>N.º mín. de elementos en un círculo</b> Especifica el número de elementos en un círculo. Para observar los efectos de esta opción, el tamaño del elemento calculado debe estar entre el tamaño máximo de elemento y tamaño mínimo de elemento.
8		<b>Cociente de crecimiento</b> Especifica el cociente de crecimiento del tamaño del elemento empezando en zonas de altas curvaturas en todas las direcciones.
9		<b>Puntos Jacobianos</b> Establece el número de puntos de integración que se usarán para verificar el nivel de distorsión de los elementos tetraédricos. La verificación jacobiana se basa en una cantidad de puntos ubicados en el centro de cada elemento.
10		<b>Pieza</b> Elemento dibujado con tipo de mallado sólido, para el posterior análisis estático.

### 4.3 Verificaciones de mallado

La calidad de la malla tiene un papel fundamental en la precisión de los resultados. El software utiliza dos importantes verificaciones automáticamente para medir la calidad de los elementos en una malla.

#### 4.3.1 Verificación de relación de aspecto.

Para una malla sólida, la precisión numérica se logra mejor mediante una malla con elementos tetraédricos perfectos. La relación de aspecto de un elemento

tetraédrico perfecto se utiliza como la base para el cálculo de relaciones de aspecto de otros elementos.

Por definición, la relación de aspecto de un elemento tetraédrico perfecto es 1,0. La verificación de relación de aspecto supone que las aristas rectas se conectan con los cuatro nodos angulares.

#### **4.3.2 Puntos jacobianos**

En contornos extremadamente vivos o curvos, la colocación de los nodos centrales en la geometría real pueden generar elementos distorsionados con aristas que se entrecruzan entre sí.

En un punto dentro del elemento, el cociente jacobiano brinda una medida del grado de distorsión del elemento en dicha ubicación. El software ajusta las ubicaciones de los nodos centrales de elementos distorsionados automáticamente para asegurarse de que todos los elementos pasen la verificación jacobiana.

La importancia del jacobiano se encuentra en el hecho de que es un factor en un término de la mejor aproximación lineal a una función diferenciable cerca de un punto dado<sup>10</sup>

#### **4.4 Análisis de carga**

La siguiente condición de análisis simulativo es el mecanismo en una posición escalonada que permite dar el ingreso habitual a un autobús.

La estructura en su posición estándar se le aplica una fuerza perpendicular de 150 kgf, por cada peldaño distribuido superficialmente, este valor podría suponer dos personas paradas en cada una de ellas mientras mantienen su posición de uso normal.

---

<sup>10</sup> Solidworks tutoriales (2013), Matriz jacobiana y determinante



Figura 4.2. Construcción virtual del mecanismo

Información del Modelo	Masa de la Estructura	Fuerza Normal	Sujeciones
Análisis Estático	24.5 kg	150 kgf = 1470 N	Geometría Fija 6 Caras

Figura 4.3. Configuraciones previas a la simulación

Esta suposición permite obtener un valor de las deformaciones y esfuerzos que presentará el mecanismo en cada grada en función de su altura.

Tabla 4.2.  
Configuración de mallado

Descripción de la Malla	
Tipo de malla/mallador	Malla sólida/ basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máx./mín. del elemento	65.32 mm/13.06 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

### a) Tensiones

El acero ASTM A-36 utilizado en la simulación posee un límite de esfuerzo de 250MPa, este se encuentra prácticamente en todo el mecanismo, los esfuerzos en la estructura no alcanza los 90 MPa. La sección más crítica se encuentra en los remaches y su esfuerzo máximo alcanza los 120 MPa.

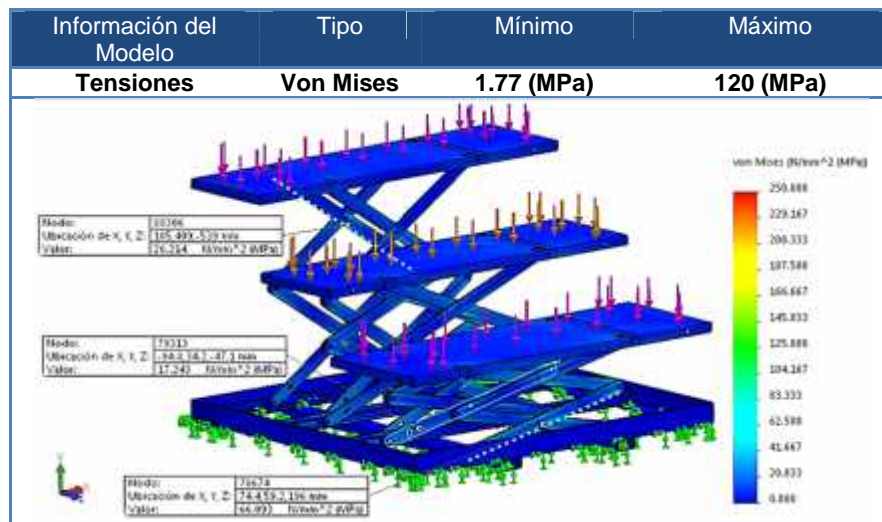


Figura 4.4. Resultados de tensión

### b) Desplazamientos

La siguiente gráfica muestra el desplazamiento producido a causa de la fuerza aplicada, la representación visual se ha aumentado 37 veces más para su mejor apreciación.

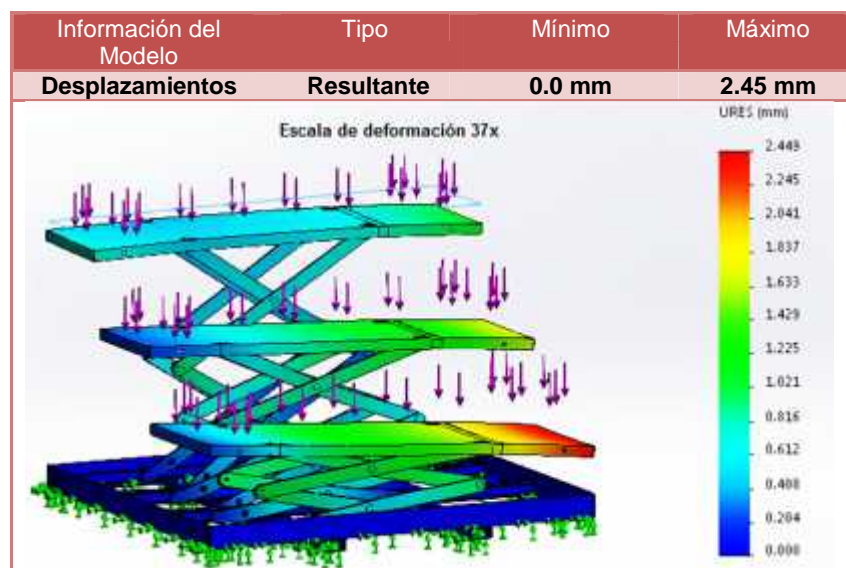


Figura 4.5. Resultados desplazamientos virtuales



### c) Factor de seguridad

Para las condiciones aplicadas, el factor mínimo obtenido se encuentra en los remaches, sin embargo el valor garantiza un margen aceptable al peso aplicado. El valor mínimo del FDS se encuentra entre 1,9 a 2.

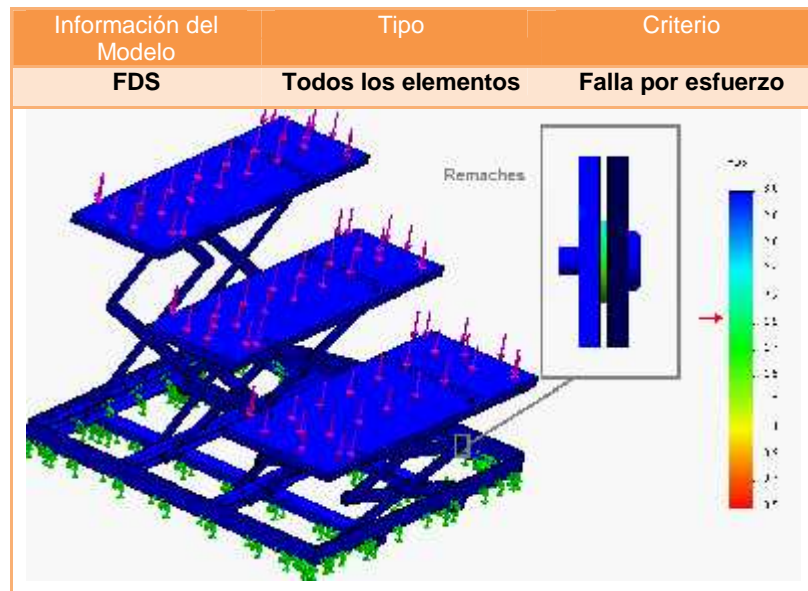


Figura 4.6. Resultados del FDS

### 4.5 Análisis de fuerza en los semiejes



Figura 4.7. Construcción virtual de grada y su semieje

El siguiente escenario es demostrar la *Ecuación del Mecanismo* (Capítulo 3), y comprobar el diseño de los semiejes si son aptos para resistir la fuerza aplicada por el pistón hidráulico, el cual es de 1600 kgf., que se aplicarán transversalmente para elevar verticalmente cada grada con un peso de 125 kgf.

Puesto que los tres peldaños son construidos de igual manera, y en cada uno de ellos irá un cilindro hidráulico de las mismas características. La simulación se realiza eliminando todos los componentes que generan nodos, más ecuaciones, un mallado más complejo y no intervienen en los resultados.

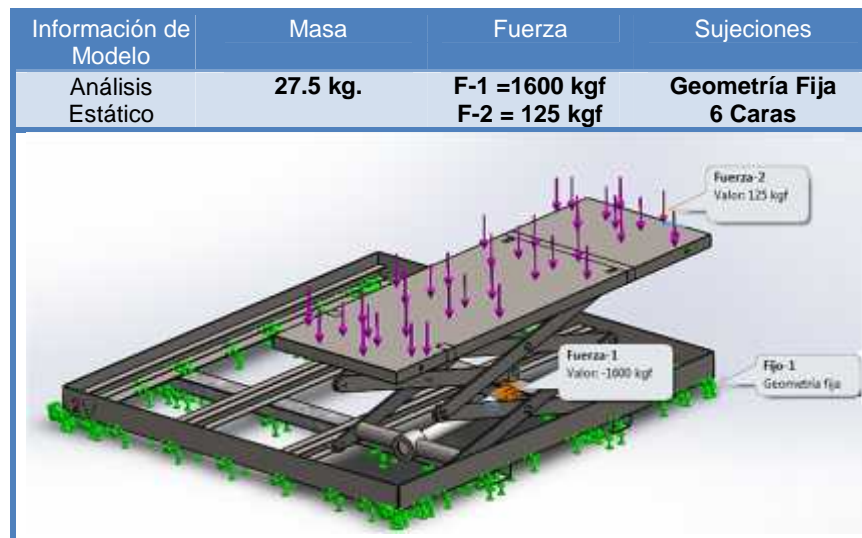


Figura 4.8. Configuraciones previas a la simulación 2

#### a) Tensiones

El esfuerzo máximo obtenido en los semiejes es 247MPa, están diseñados con acero AISI 4340 y poseen un límite de tensión de 470MPa, en el gráfico a continuación se identifican puntos sobre la pieza de análisis con sus respectivos valores de esfuerzos.

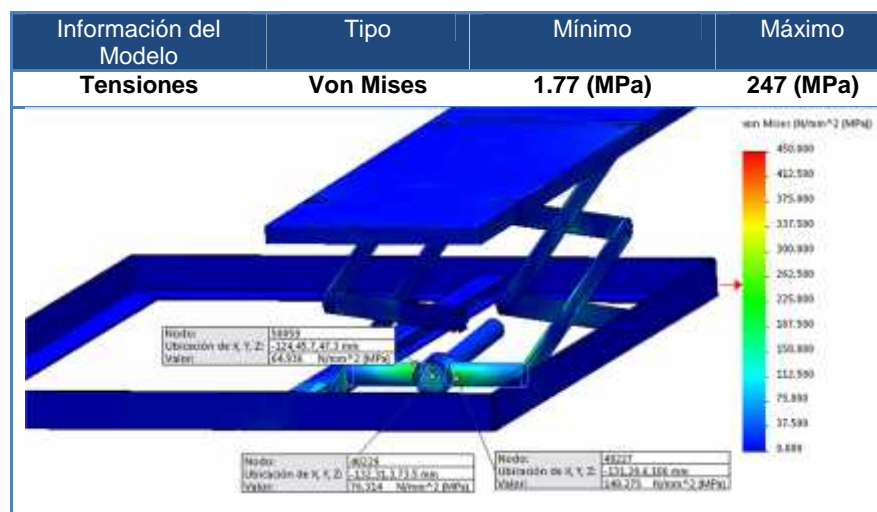


Figura 4.9. Resultados de tensión

## b) Factor de seguridad

El valor de 1,7 obtenido se encuentra en un margen seguro de uso, ya que las condiciones hipotéticas para el análisis son exigentes y el diseño de los semiejes son de un acero superior al resto de aceros del mecanismo.

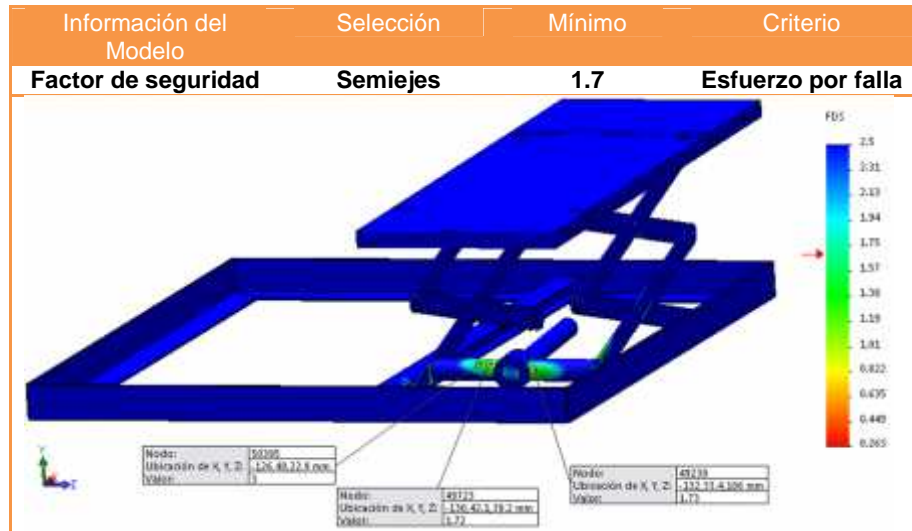


Figura 4.10. Resultados de FDS

## c) Desplazamientos

Los desplazamientos en el mecanismo indican que es un mecanismo sólido y sus secciones no se deforman en más de 2 mm en ninguna sección, la representación visual ha sido aumentada 20 veces más para su apreciación.

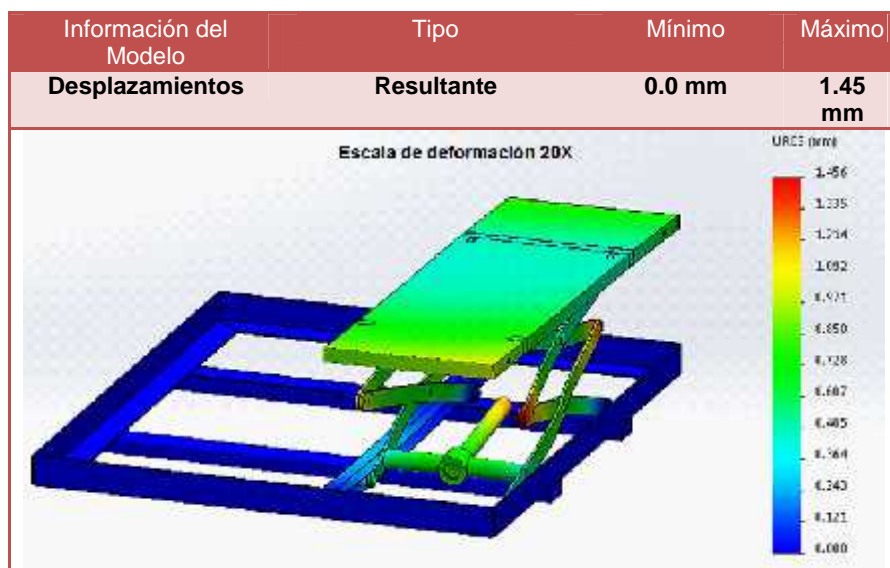


Figura 4.12. Resultados desplazamientos virtuales 2

**d) Área de estudio**

Figura 4.13. Resultados del factor de seguridad 2

## CAPÍTULO V

### Sistema de control y automatización

Debido a que el proyecto ha sido diseñado para otorgar comodidad a tanto a los usuarios como al conductor del autobús, el mecanismo debe ser controlado y activado por un solo dispositivo durable que permita energizar a los actuadores en secuencias específicas y sea operado desde la cabina del autobús.

El uso de un PLC ha sido previamente analizado y es la opción más idónea para este trabajo, puesto que el modelo seleccionado incluye un propio sistema de teclas, pantalla y software dedicado que permite operarlo intuitivamente.

#### 5.1 Software Flexisoft

Es una aplicación para programación de libre distribución de Renu Electronics que junto a hardware adicional basados solo para sistemas operativos Microsoft Windows permite programar controladores en lenguaje Ladder.

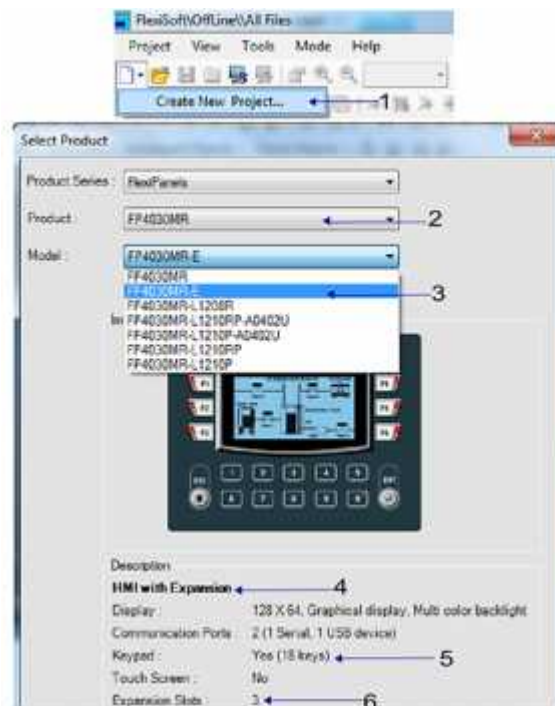


Figura 5.1. Interfaz de Inicio.  
FUENTE: (Manual FlexiSoft, 2015)

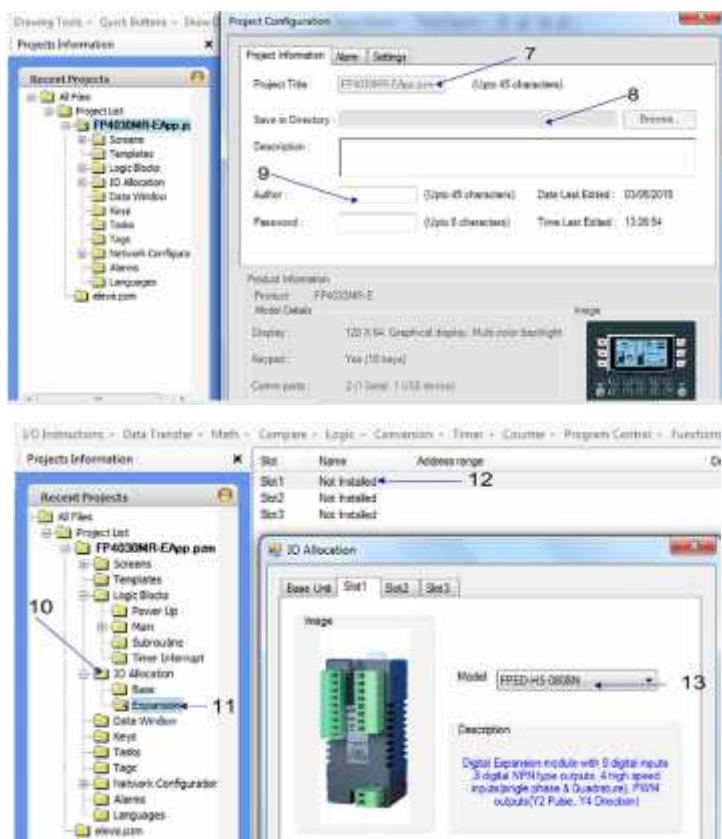


Figura 5.2. Selección Inicial  
FUENTE: (Manual Flexisoft, 2015)

Tabla 5.1.  
Configuración inicial de Flexisoft

#### Descripción primaria del software

1	<b>Create New Project</b>	Empezar un nuevo proyecto
2	<b>Product</b>	Selección del PLC, FP responde a Flexi-Panel
3	<b>Model</b>	El modelo del Flexi-panel y su representación
4	<b>HMI with expansion</b>	PLC con posibilidad de expansión y con interfaz humano computador
5	<b>Keypad</b>	Teclas y la cantidad de teclas que posee el PLC
6	<b>Expansion Slots</b>	Módulos adicionales que se pueden acoplar al PLC, esto quiere decir aumentar el número de entradas y salidas previas del PLC
7	<b>Project Title</b>	Nombre del Proyecto
8	<b>Save Directory</b>	Destino en el que quedará guardado el proyecto
9	<b>Author</b>	Nombre del responsable del proyecto
10	<b>IO Allocation</b>	Asignación de entradas y salidas para el PLC
11	<b>Expansion</b>	Dentro de esta carpeta se encuentran los módulos y su configuración
12	<b>Slots</b>	Muestra las ranuras de expansión disponibles e instaladas
13	<b>Model</b>	La selección específica para cada ranura y sus características

## 5.2 PLC Renu electronics modelo FP4030MR-E<sup>11</sup>

Es el computador del sistema con interfaz gráfica, cuenta con seis teclas para funciones, un teclado numérico y pulsadores de ingreso y salida. Dentro de la programación está configurado con varias pantallas de información; operación, mantenimiento, paro de emergencia, fecha y hora



Figura 5.3. PLC Renu Electronics

## 5.3 Módulo Renu electronics modelo FPED-HS-0808N

Es una unidad de almacenamiento adaptable al PLC que no cuenta con las suficientes conexiones para todos los actuadores y sus respectivos sensores. El módulo seleccionado cuenta con ocho entradas y salidas respectivas.



Figura 5.4. Módulo amplificador de entradas y salidas  
FUENTE: (Manual FlexiSoft, 2015)

<sup>11</sup> Información técnica del PLC y Módulo (Anexos)

### 5.3.1 Asignaciones de entrada y salida

Tabla 5.2  
Direcciones de entrada

N°	Direcciones de entrada			Direcciones de salida		
	Dato	Variable		Dato	Variable	
1	f1l	Final grada 1 abajo	X01000	g1l	Cilindro1 abajo	Y01000
2	f1m	Final grada 1 medio	X01001	g1h	Cilindro1 arriba	Y01001
3	f1h	Final grada 1 arriba	X01002	g2l	Cilindro2 abajo	Y01002
4	f2l	Final grada 2 abajo	X01003	g2h	Cilindro2 arriba	Y01003
5	f2m	Final grada 2 medio	X01004	g3l	Cilindro3 abajo	Y01004
6	f2h	Final grada 2 arriba	X01005	g3h	Cilindro3 arriba	Y01005
7	f3l	Final grada 3 abajo	X01006	pi	Plataforma in	Y01006
8	f3m	Final grada 3 medio	X01007	po	Platarforma out	Y01007
9	f3h	Final grada 3 arriba	X02000	ri	Rampa in	Y02000
10	fpi	Final plataforma in	X02001	ro	Rampa out	Y02001
11	fpo	Final plataforma out	X02002	si	Seguro in	Y02002
12	Stop	Parada	X02007	so	Seguro out	Y02003
13				Bomba	Bomba	Y02004
14				Standby	Reposo	Y02005

### 5.4 Algoritmo del sistema mecánico

Para la secuencia de los siguientes procesos en el mecanismo, se parte de la posición estándar (modo gradas), la cual permite el ingreso habitual al autobús y es el punto cero o de partida para la gestión automática, tanto a la salida como al ingreso de la PcD.

- *Ingreso de la persona al autobús.*
  1. Despliegue de la plataforma de la 1era grada
  2. Descienden secuencialmente la 1era grada, 2da grada y 3era grada.
  3. Despliegue de la rampa ubicada en la plataforma hasta topar la vereda
  4. Se anclan las tres gradas por medio de seguros de aldaba
  5. Ingresa la persona sobre el mecanismo
  6. La rampa se ubica perpendicularmente como seguridad al usuario
  7. Suben las tres gradas juntas y solidarias
  8. La persona avanza dentro del bus
  9. Se retira los seguros de aldaba entre las tres gradas
  10. Descienden la 1era grada, 2da grada y 3era grada a su posición estándar
  11. Se pliega la rampa completamente y sobre la plataforma
  12. Se pliega la plataforma y se sobrepone sobre la primera grada



- *Salida de la persona del autobús*
  1. Despliegue de la plataforma de la 1era grada
  2. Ascienden la 1era grada, 2da grada y 3era grada hasta quedar coincidentes
  3. Se anclan las tres gradas por sus seguros de aldaba
  4. La rampa se ubica perpendicularmente como seguridad al usuario
  5. Ingresa la persona sobre el mecanismo
  6. Descienden las tres gradas juntas y solidarias
  7. Despliegue de la rampa hacia afuera hasta hacer contacto con la vereda

## 5.5 Programación

A continuación se presenta una sección de la programación, en azul se describe la función de cada renglón. El código completo se encuentra en la sección de Anexos.

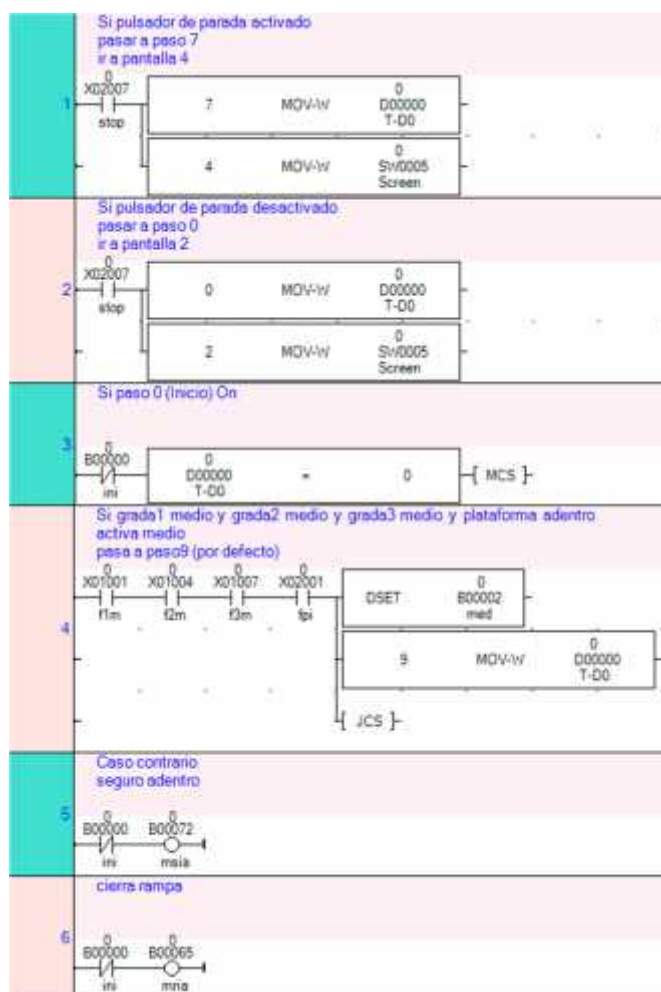


Figura 5.5. Programación del sistema

### 5.6 Diagrama de la automatización

A continuación se resume por medio de un diagrama de flujo las tareas que realiza el código del programa cargado en el PLC

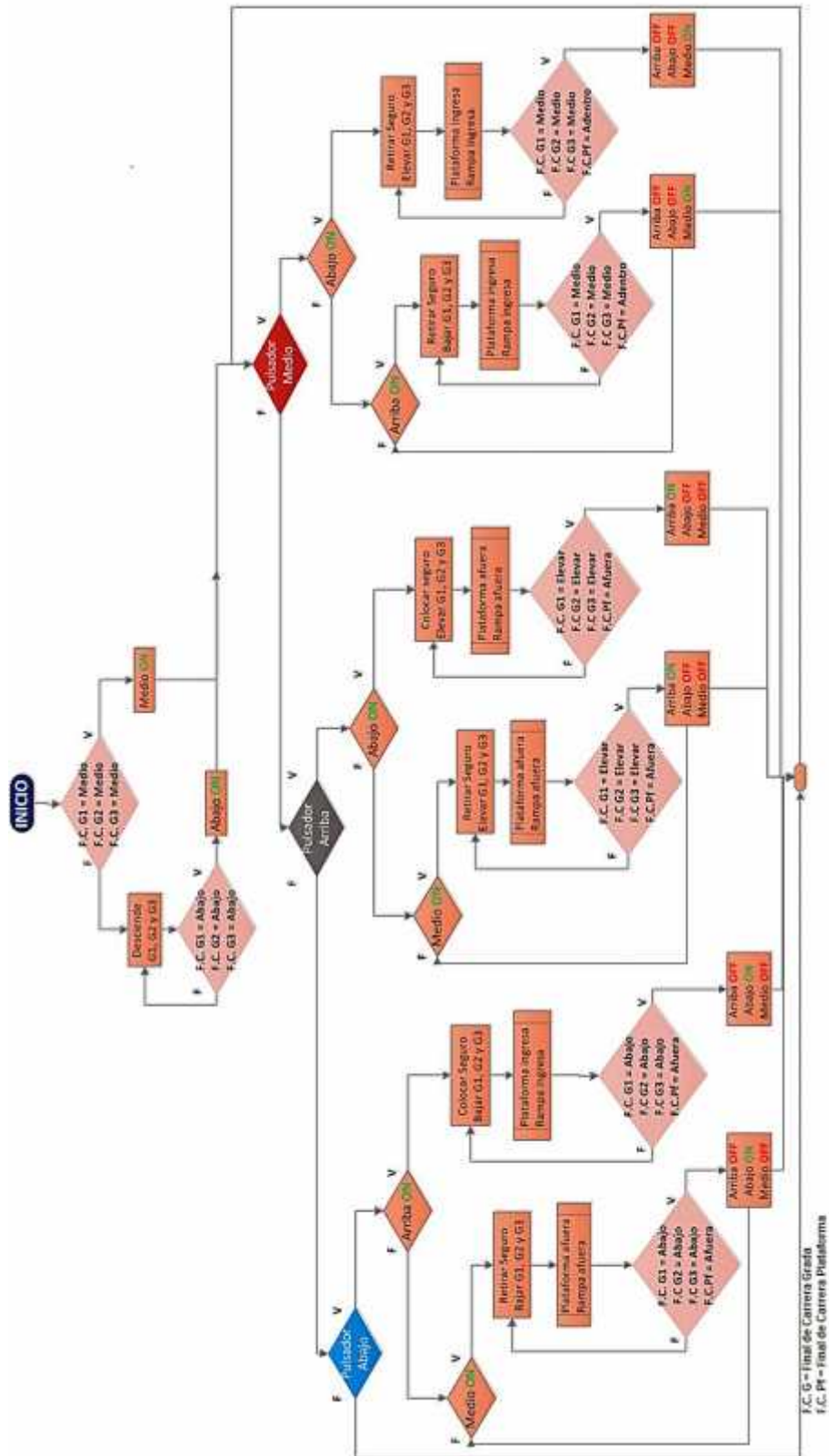


Figura 5.6. Diagrama de flujo del programa

## 5.7 Software Automation Studio

Automation Studio (versión de prueba) es un software de diseño de circuitos, para sistemas de fluidos y proyectos eléctricos de Famic Technologies Inc. Este programa se usa para el diseño, y formación de propuestas hidráulicas, neumáticas, en conjunto con sistemas de control eléctricos.

### 5.7.1 Simulación en Automation studio 5.0

El accionamiento empieza con el pulsador *GO*, una vez que los actuadores estén totalmente extendidos se debe seleccionar si se desea bajar nuevamente con el pulsador *ASC* o si se necesita colocar los actuadores en forma de escaleras con el pulsador *ESC*.

Si se selecciona *DESC*, los actuadores regresaran a su posición inicial, funcionando como un ascensor y estarán a la espera del pulsador *UP* para volver a subir.

Si la selección fue *ESC*, los actuadores se ubicarán en la posición de escaleras (gradas). Para regresar los actuadores a su posición inicial se debe pulsar *DESC*, lo que activa el modo ascensor ya descrito anteriormente.

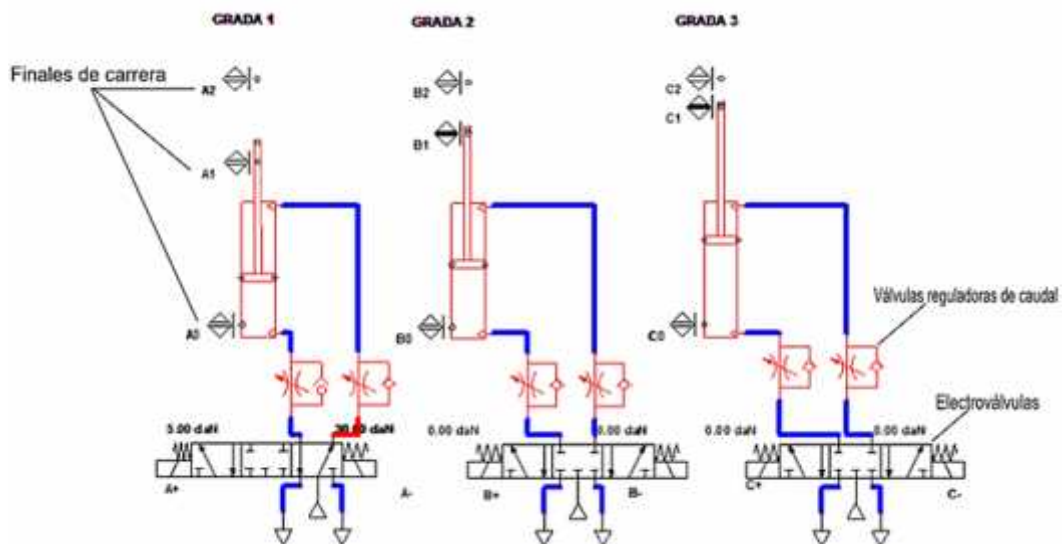


Figura 5.6. Representación del esquema hidráulico

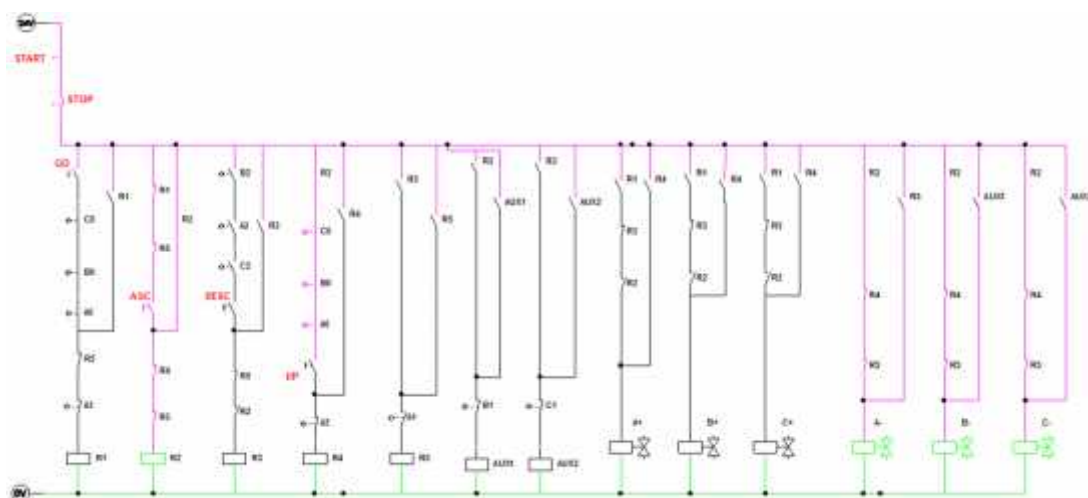


Figura 5.7. Representación eléctrica del sistema hidráulico

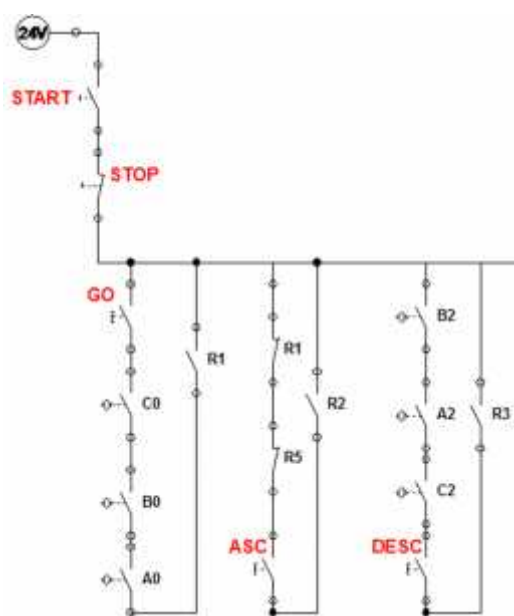


Figura 5.8. Controladores de la representación eléctrica

### 5.7.2 Descarga del archivo para Automation Studio



## CAPÍTULO VI

### Construcción, ensamble y ensayos

#### 6.1 Materiales en el diseño mecánico

El proceso de construcción y la selección del material está basado en los cálculos y simulaciones de los capítulos anteriores, el ASTM A 36 es un acero de fácil adquisición y fiable que comprende el 80% de todo el mecanismo. Se encuentra en los eslabones, ángulos y planchas de cada peldaño; en las medidas adecuadas cumple satisfactoriamente pruebas de esfuerzos, ensayos de resistencias y varios tipos de soldaduras.

Los demás aceros son igual mecanizables con otras características ubicadas en áreas críticas del ensamble, su esquema se encuentra detallado a continuación.

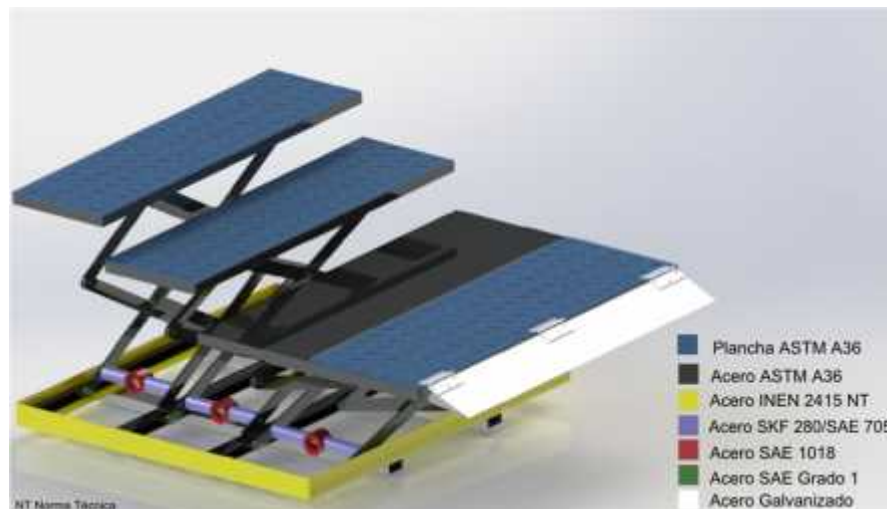


Figura 6.1. Materiales en el mecanismo

#### 6.2 Construcción de la base

Tabla 6.1.  
Descripción Base

Base	Descripción	Piezas	Dimensiones
900x800x50 mm	Perfil en U	6	25x20x2 mm
Ancho x Largo x Altura	Angulo L	4	50x50x4 mm
	Tubo rectangular	2	25.4x50.8 mm (2x1 plg)



Figura 6.2. Base

Tabla 6.2.  
Secuencia de trabajo 1

## Hoja de operaciones

Nombre	Base	Fecha	06-11-2014	
Material	ASTM A 36, Galvanizado	Cantidad	1 de 1	
Actividad		Dimensiones		
		Operación Transporte Inspección Espera Almacena.		
Nº	Descripción	Método	    	Tiempo
1	Mediciones y marcas	Flexómetro	●	00:10:00
2	Corte plasma	PAC	●	00:20:00
3	Corte sierra	Manual	●	00:20:00
4	Limado	Lima, lijas	●	00:10:00
5	Comprobación	Visual	●	00:05:00
6	Puntos de suelda	GMAW-MIG	●	00:10:00
7	Corte ángulos	Sierra	●	00:20:00
8	Limado	Lima	●	00:10:00
9	Esmerilado	Esmeril	●	00:20:00
10	Comprobación	Visual	●	00:05:00
11	Soldadura	MIG	●	00:30:00
12	Limpieza	Guaípe	●	00:15:00
13	Desoxidación	Manual	●	00:30:00
14	Taller - Pintura	Vehículo	●	01:00:00
15	Comprobación	Visual	●	00:05:00
16	Fosfatizado	Inmersión	●	05:00:00
17	Pintura al horno	Pintura en polvo	●	24:00:00
18	Ensamble	Manual	●	01:00:00
20	Pintura - Taller	Vehículo	●	01:00:00
21	Pintura poliuretano	Compresor	●	00:40:00
		Total	15 2 4	35:50:00

### 6.3 Construcción de los eslabones

Tabla 6.3.  
Descripción eslabones























Eslabones	Piezas	Dimensiones	Longitud Total
Platina 1	18	30x5 mm	9 m
Platina 2	6	38x9 mm	3 m



Figura 6.3. Eslabones

Tabla 6.4.  
Secuencia de trabajo 2

#### Hoja de operaciones

Nombre	Tijera	Fecha	06-11-2014	
Material	ASTM A 36	Cantidad	1 de 24	
Actividad		Dimensiones		
				
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación </li> <li>Transporte </li> <li>Inspección </li> <li>Espera </li> <li>Almacena. </li> </ul>		
Nº	Descripción	Método	    	Tiempo
1	Mediciones y marcas	Flexómetro		00:10:00
2	Corte plasma	PAC		00:25:00
3	Esmerilado	Esmeril		00:20:00
4	Paso de brocas 1/2"	Fresadora		00:20:00
5	Comprobación tijeras	Superposición		00:05:00
6	Desoxidación	Manual		00:15:00
7	Paso de remaches	Golpe		00:30:00
8	Ensamble	Manual		00:40:00
9	Taller - Pintura	Vehículo		01:00:00
10	Pintura al horno	Pintura en polvo		24:00:00
11	Pintura – Taller	Vehículo		01:00:00
		Total	<b>7 2 2</b>	<b>28:45:00</b>

## 6.4 Construcción gradas

Tabla 6.5.  
Descripción gradas

Grada	Plancha
Grada 1 Perfil en U 20x25x3 mm	Plancha lisa soldada al ras del perfil 900x300 mm
Grada 2 y 3 Perfil en U 20x25x3 mm	Plancha corrugada soldada sobre el perfil 900x250 mm



Figura 6.4. Gradas

Tabla 6.6.  
Secuencia de trabajo 3

### Hoja de operaciones

Nombre	Peldaño	Fecha	06-11-2014
Material	ASTM A 36	Cantidad	1 de 3
Actividad	Operación Transporte Inspección Espera Almacena.	Dimensiones	
Nº	Descripción	Método	Time
1	Mediciones y marcas	Flexómetro	00:10:00
2	Corte por plasma	PAC	00:25:00
3	Esmerilado	Esmeril	00:20:00
4	Puntos de suelda	GMAW-MIG	00:30:00
5	Soldadura plancha	GMAW-MIG	00:20:00
6	Comprobación - Limpieza	Visual - Guaípe	00:10:00
7	Taller Ambato - Pintura	Vehículo	01:00:00
8	Pintura al horno	Pintura en polvo	24:00:00
9	Pintura-Taller	Vehículo	01:00:00
10	Pintura poliuretano	Compresor	00:20:00
		<b>Total</b>	<b>27:50:00</b>



## 6.5 Construcción y material del piñón

Debido a su composición el bronce grafitado es un material que no requiere lubricación cuando se desliza sobre otro metal, es un material con alta calidad antifricción debido a sus partículas incrustadas de grafito en polvo, es poroso pero a la vez más liviano y tres veces más duradero respecto al bronce fundido

Tabla 6.7  
Descripción piñón


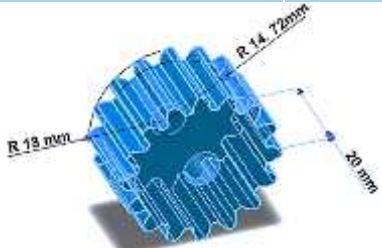










Piñón	Material	Piezas	Dimensiones
Piñón Z = 16	Bronce grafitado	2	32x20 mm



Figura 6.5. Engranes

Tabla 6.8  
Secuencia de trabajo 4

### Hoja de operaciones

Nombre	Engrane	Fecha	06-11-2014					
Material	Bronce Grafitado	Cantidad	1 de 2					
Actividad		Dimensiones						
								
Operación  Transporte  Inspección  Espera  Almacena. 								
Nº	Descripción	Método						Tiempo
1	Mediciones y cálculos	Vernier			●			00:15:00
2	Broca central	Taladro	●					00:10:00
3	Fresado de dientes	Fresadora	●					01:00:00
4	Comprobación	Visual			●			00:25:00
5	Pulido	Lijas finas	●					00:20:00
6	Corte	Sierra manual	●					00:10:00
7	Taller LTX-ESPE	Vehículo		●				00:20:00
8	Acople al motor	Chavetero	●					00:15:00
		Total	5	1	2			02:55:00

## 6.6 Construcción de la cremallera

Su construcción está basada en los mismos cálculos del piñón, para poder trabajar solidarios poseen la misma geometría de diseño.

Tabla 6.9.  
Descripción cremallera

Cremallera	Material	Piezas	Dimensiones
Cremallera Z = 50	SAE 705	2	350x20x15 mm



Figura 6.6. Cremallera

Tabla 6.10  
Secuencia de trabajo 5

### Hoja de operaciones

Nombre	Cremallera	Fecha	06-11-2014					
Material	SAE 705	Cantidad	1 de 2					
		Actividad	Dimensiones					
		Operación	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Transporte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Inspección	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Espera	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
		Almacena.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Nº	Descripción	Método	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tiempo
1	Mediciones y cálculos	Vernier	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	00:10:00
2	Fresado de dientes	Fresadora	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	02:00:00
3	Corte sierra	Manual	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	00:05:00
4	Comprobación	Visual	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	00:05:00
5	Soldadura MIG	GMAW-MIG	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	00:10:00
6	Taller – Pintura	Vehículo	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	01:00:00
7	Pintura al horno	Pintura en polvo	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	24:00:00
		Total	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>27:30:00</b>

## 6.7 Construcción plataforma

Tabla 6.11.  
Descripción plataforma


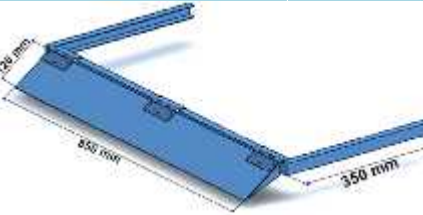
Plataforma	Descripción	Piezas	Dimensiones
<i>Gestión electrónica y neumática</i>	Perfil en U	3	20x27x3 mm
	Cremallera	2	350x20 mm
	Plancha	1	850x120 mm
	Plancha corrugada	1	900x300 mm



Figura 6.7. Plataforma

Tabla 6.12.  
Secuencia de trabajo 6

### Hoja de operaciones

Nombre	Plataforma	Fecha	06-11-2014					
Material	ASTM A 36, Galvanizado, Inox	Cantidad	1 de 1					
Actividad	Dimensiones							
 Operación Transporte Inspección Espera Almacena.								
Nº	Descripción	Método	⊙	↶	□	◇	▽	Tiempo
1	Toma de medidas	Flexómetro		●				00:45:00
2	Corte Sierra	Manual	●					00:20:00
3	Comprobación	Visual			●			00:05:00
4	Puntos de suelda bisagras	GMAW-MIG	●					00:30:00
5	Soldado de piezas	GMAW-MIG	●					00:15:00
6	Ensamble sujeciones	Manual	●					00:20:00
7	Comprobación	Visual			●			48:00:00
8	Suelda de plancha	Manual	●					00:20:00
9	Limpieza	Guaípe	●					00:10:00
10	Preparación horno	Asistencia				●		01:00:00
11	Pintura al horno	Pintura en polvo	●					24:00:00
12	Taller-Carrocerías	Vehículo		●				00:30:00
13	Pintura poliuretano	Compresor	●					00:20:00
	Total		9	2	2	1		76:45:00

## 6.8 Construcción bocín, ejes y semiejes

El diseño de estos componentes se realizó en base a numerosos ensayos físicos y virtuales, para soportar adecuadamente la fuerza transversal producida por el cilindro hidráulico al momento de elevar cada grada desde su posición más baja.

Tabla 6.13.  
Descripción Bocín, ejes y semiejes

Descripción	Material	Piezas	Dimensiones
<i>Eje delgado</i>	SAE 705 (AISI 4340)	2	32x20 mm
<i>Semieje grueso</i>	SKF 280	2	350x20x15 mm
<i>Bocín</i>	SAE 1018	1	50x40 mm (31.75x29x15.8 mm)



Figura 6.8. Bocín y ejes

Tabla 6.14.  
Secuencia de trabajo 7

### Hoja de operaciones

Nombre	Semieje	Fecha	06-11-2014
Material	SAE 705 (ASIS 4340)	Cantidad	1 de 3
Actividad		Dimensiones	
			
Operación Transporte Inspección Espera Almacena.			
Nº	Descripción	Método	Tiempo
1	Mediciones	Vernier	00:10:00
2	Corte con sierra	Automática	00:10:00
3	Desbaste en torno	Torno	00:25:00
4	Comprobación	Visual	00:05:00
5	Taller LTX- Ambato	Vehículo	01:00:00
6	Pulido y Cromado	Inmersión	02:30:00
7	Ensamble	Manual	00:10:00
Total		7	04:35:00

Tabla 6.15.  
Secuencia de trabajo 8

**Hoja de operaciones**

Nombre	Bocín triple	Fecha	06-11-2014					
Material	SAE 1018	Cantidad	1 de 3					
Actividad		Dimensiones						
		Operación  Transporte  Inspección  Espera  Almacena. 						
Nº	Descripción	Método						Tiempo
1	Mediciones	Vernier						00:05:00
2	Corte 40mm	Sierra automática	●					00:10:00
3	Broca axial 29mm	Taladro torno	●					00:25:00
4	Comprobación	Visual			●			00:05:00
5	Broca transversal 5/8	Taladro pedestal	●					00:20:00
6	Comprobación	Visual			●			00:05:00
7	Desbaste transversal 1 1/2	Fresadora	●					00:30:00
8	Comprobación	Visual			●			00:05:00
9	Lijado y desoxidado	Manual	●					00:15:00
10	Taller LTX - Ambato	Vehículo		●				01:00:00
11	Pulido	Pulidora	●					00:20:00
12	Cromado	Inmersión	●					02:00:00
13	Ensamble	Manual	●					00:20:00
		Total	8	1	3			04:40:00

## 6.9 Ensamble de componentes mecánicos

Tanto la construcción como el proceso de ensamble es crucial realizarlo con precisión para ejecutar pruebas pertinentes y el posterior control automático del sistema mecánico. A continuación se comprueba que los subensambles encajen entre si y las medidas de la estructura armada en todos sus lados sean las correctas.



Figura 6.9. Comprobación de las guías en la plataforma



**Figura 6.10. Verificación de medidas**

Las piezas que conforman los semiejes están diseñadas para soportar la fuerza hidráulica incluso si son sometidas individualmente al peso total sugerido en una sola grada. Estas piezas son las únicas del sistema mecánico sometidas a un proceso de cromado.



**Figura 6.11. Ensamble de los semiejes**

Como el sistema mecánico necesita ser presentado y exhibido apropiadamente, este se montó dentro de un soporte de diseño muy similar al acceso que poseen los autobuses urbanos y que permite moverlo con facilidad.



**Figura 6.12. Estructura de soporte**



**Figura 6.13. Mecanismo sobre la estructura de soporte**

La ubicación del sistema hidráulico es una prioridad dentro de la ubicación de todos los componentes, debido al peso de todo este sistema, se optó por colocarlo en la estructura de soporte del mecanismo.



**Figura 6.14. Soporte para la bomba hidráulica**



**Figura 6.15. Conjunto de válvulas y bomba hidráulica**

Para que el sistema elevador del mecanismo trabaje con el menor desfase entre grada y grada cuando estas actúan paralelamente, el mecanismo de enclavamiento activa un eje de acero que se acopla solidariamente con la primera y tercera grada hacia la segunda por sus bordes mediante unos cilindros compactos ubicados por debajo de la grada intermedia.



Figura 6.16. Conjunto de piezas para el anclaje entre gradas



Figura 6.17. Mangueras neumáticas

## 6.10 Ubicación de elementos de control

Previo al proceso de automatización los actuadores deben contar con un control de señal que indique al PLC donde se encuentra dicho actuador, en el proyecto se usaron finales de carrera de accionamiento mecánico para dicha función.

Exceptuando los componentes neumáticos, los eléctricos e hidráulicos poseen finales de carrera para cada etapa de secuencia y posicionamiento respectivo.





Figura 6.18. Finales de carrera acoplados en pares



Figura 6.19. Soportes para los finales de carrera

## 6.11 Ensayos

Los ensayos realizados se hicieron para detectar posibles mejoras o cambios en la estructura con el fin de garantizar un desempeño más adecuado para condiciones de trabajo más complejas y muy difícil determinadas solo con la teoría planteada.



Figura 6.20. Reemplazo de semiejes



Figura 6.21. Reubicación de componentes

## 6.12 Puesta a punto del proceso de automatización

Una vez conectados todos los actuadores entre sí a sus respectivos controladores y estos unidos al PLC, se procedió a cargar el código de secuencia para determinar parámetros de optimización y funcionamiento adecuado de la automatización.



Figura 6.22. Prueba del proceso de automatizado



Figura 6.23. Optimización del proceso de automatizado

### 6.13 Pintura

El sistema mecánico posee doble proceso de pintura con el afán de garantizar resistencia al desgaste y una estética adecuada, inicialmente se usó pintura al horno debido a que otorga una gruesa capa de protección a todo el mecanismo, posteriormente se utilizó pintura sintética automotriz para brindar similitud con el aluminio usado en carrocerías y realce a las gradas del sistema por sobre el resto del mecanismo.



Figura 6.24. Proceso de pintura y esmalte



Figura 6.25. Soporte y mecanismo con pintura sintética

## Costos de materiales y equipos

Tabla 6.11  
Costos 1

Costos materiales industriales						
Ítem	Descripción	Cant.	Dimensiones	Long.	Costo 1	Costo Final
1	Perfil en U	1	25x20x2 mm.	20 m.	2,20	44,00
2	Polimero Industrial	12	20x20 mm.		0,2	2,40
3	Platina tipo 1	1	30x5 mm.	9 m.	2,70	24,00
4	Platina tipo 2	1	38x9 mm	3 m.	3,50	10,50
5	Angulo	1	50x50 mm.	3 m.	4,16	12,50
6	Plancha corrugada	3	28x89 mm.	1 m <sup>2</sup>	65,00	65,00
7	Plancha lisa	1	25x85mm	1 m <sup>2</sup>	23,00	23,00
8	Tubo Cuadrado	1	20x10 mm.	1 m.	1,20	1,20
9	Tubo Circular	1	1/2 plg.	2 m.	1,20	2,40
10	Tol Galvanizado	1	1/8x1/4 plg.	0.12 m.	17,0	3,40
11	Remaches	36	1/2 plg.		0,12	4,32
12	Eje de Acero 705	1	5/8 plg.	1 m.	4,12	4,12
13	Eje de Acero 1018	1	2 plg.	0.12 m	41,70	5,00
14	Barra Hueca SKF	3	1¼ X1/2	0.70 m	4,43	3,10
15	Tubo Rectangular	1	2x1 plg.	2 m.	5,00	5,00
16	Pernos	12	7/16 plg.	2 plg.	0,50	6,20
17	Eje cuadrado	1	20 x 10 mm	0.70 m		36,20
18	Eje de bronce	1	1 ¼	0.04		79,50
					Total	331.84

Tabla 6.12  
Costos 2

Costo equipos hidráulicos				
Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo Final
1	Válvulas direccionales	3	152,0	456,0
2	Manifold de 3 estaciones	1	209,0	209,0
3	Mangueras tipo II	8	19,37	155,0
4	Cilindros Hidráulicos	3	405,0	1215,0
5	Sellos y Conectores 3/8	12	18,50	222,0
6	Acoples T	6	18,50	111,0
7	Aceite Hidráulico	3	12,70	38,1
10	Manómetro 3500psi	1	27,84	27,84
11	Válvula reguladora de flujo	1	68,00	68,00
			Total	2083,94

**Tabla 6.13**  
**Costos 3**

Costo equipos neumáticos				
Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo final
1	Cilindro Delgado 16x100	2	43,70	84,82
2	Cilindro Compacto 40x25	2	20,22	40,44
3	Cilindro Compacto 30x16	2	21,22	42,44
4	Válvula Solenoide 5-2	1	54,70	54,70
5	Válvula Solenoide 5-3	1	88,38	88,38
6	Silenciadores 1/8	2	3,56	7,12
7	Mangueras de Poliuretano	1	0,69	7,50
8	Codos de conexión	4	1,27	5,08
9	Acoples rectos	10	1,12	3,36
10	Regulador Caudal	2	4,37	8,24
			Total	342,08

**Tabla 6.14**  
**Costos 4**

Costos de producción		
Ítem.	Descripción	Costo
1	Construcción	400,0
2	Asistencia técnica hidráulica	180,0
3	Pintura al horno	140,0
4	Pintura de poliuretano	38,6
5	Cromado de piezas	45,0
6	Automatización	900,0
7	Mano de Obra	500,0
8	Materiales industriales	331,84
9	Equipos hidráulicos	2083,94
10	Equipos neumáticos	342,08
11	Gastos indirectos	500,0
Total		5460,62

## CAPÍTULO VII

### Conclusiones

Concluido el proyecto de investigación se pone a consideración las siguientes conclusiones:

El sistema se construyó para promover el acceso de personas con diversas formas de discapacidad física a un autobús urbano y permitir una inclusión social de este grupo afectado sin reducción de espacios útiles a cualquier otro usuario.

El prototipo se desarrolló y se proyectó en base a una metodología de Diseño Concurrente, que engloba un concepto de Diseño Universal, es decir que un mismo sistema permite tanto un uso para usuarios preferenciales como para usuarios ordinarios.

El sistema se construyó en función de las medidas sugeridas por parte de los organismos competentes, enfocado a los documentos de permiso y circulación del transporte urbano.

Se seleccionó componentes y equipos que otorgan alta confiabilidad y que permiten una operación visual e intuitiva para el operario.

Los actuadores usados en el sistema están protegidos electrónicamente y ensamblados con las normas eléctricas pertinentes.

Los ensayos aplicados al mecanismo contribuyeron a la optimización del diseño, revisión de ejes y eslabones más robustos, un sistema de enclavamiento mejorado, uso adecuado del aceite para las presiones de trabajo presentadas y facilidad de mantenimiento o reemplazo si amerita.

Los resultados obtenidos del cálculo teórico pudieron ser corroborados con el software de ingeniería, tanto las fuerzas, factores de seguridad y desplazamientos se encuentran dentro de un diseño confiable para su uso.

## Recomendaciones

Las simulaciones asistidas por software pueden ser realizadas en más de un programa CAx, en el caso de un archivo de Solidworks este mismo (cambiando su dominio .sldprt a .step) puede ser ejecutado en el software ANSYS, que también permite una simulación aún más simplificada.

Los cálculos presentados son una estimación de un 90% de los datos obtenidos en las pruebas reales, su diferencia radica en las tolerancias mecánicas y acabados sobre las superficies del mecanismo.

Aunque la construcción de los componentes se realice en más de un taller, es importante el ensamble realizarlo en un solo taller con que posea los equipos más adecuados para el trabajo.

El proceso de automatización puede implicar ligeros cambios mecánicos y su puesta a punto debe comprobarse exhaustivamente en condiciones supuestas e ideales.

Normalmente se diseñó para trabajar dentro de un bus alimentado por la corriente de las baterías de este, en caso de probar el sistema por separado y entregar alimentación a cada actuador por otro equipo de corriente se sugiere analizar minuciosamente la forma de suministro de corriente eléctrica; en el caso de un cargador de batería la entrega de voltaje es por pulsos (parpadeo) y la intensidad de corriente es muy alta que puede sobrecalentar ciertos elementos como la bomba hidráulica.

## Bibliografía

- Budynas G. Richard y J. Nisbett Keith. (2008) Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. 9na. Ed. México, D.F., McGraw Hill
- Mott. R.L. (1995) Diseño de elementos de máquinas. 2da. México D.F., Ed. Prentice Hall Hispanoamericana S.A
- Bernard J. Hamrock, B.J, S.S, (2000) Elemento de Máquinas, 1era Ed. México D.F., McGraw Hill
- Vega Pilar, (2006) Accesibilidad en el Transporte Público: Diagnóstico y Soluciones. 1era Ed. Instituto de Mayores y Servicios IMSERSO
- Medios Didácticos INACAP Manual de Hidráulica y Neumática (inacpa.cl)
- Nelly Endara. (2013) Guía de Lenguaje Positivo y Comunicación Incluyente. 2da Ed. Quito-CONADIS
- Ciudades Accesibles – CONADIS. 1 era Ed. Quito – Ecuador
- Ley Orgánica de Discapacidades. CONADIS. Registro Oficial (2012)
- Norberto Molinari, Controladores Lógicos Programables – PLC -, Instituto Nacional de Educación Tecnológica, Buenos Aires. INET
- *D. Felipe Mateos Martín*, Ingeniería De Automatización. Universidad de Oviedo

## Linkografía

<http://www.vicepresidencia.gob.ec/guias-para-implementar-normas-de-accesibilidad>  
(Citado 09/09/2014)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Método\\_de\\_los\\_elementos\\_finitos](http://es.wikipedia.org/wiki/Método_de_los_elementos_finitos) (Citado 13/01/2014)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Diseño\\_asistido\\_por\\_computadora](http://es.wikipedia.org/wiki/Diseño_asistido_por_computadora) (Citado 11/09/2014)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Principio\\_de\\_los\\_trabajos\\_virtuales](http://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_los_trabajos_virtuales) (Citado 26/10/2014)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Coma\\_flotante](http://es.wikipedia.org/wiki/Coma_flotante) (Citado 27/08/2014)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_hidráulica](http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_hidráulica) (Citado 04/11/2014)

<http://help.solidworks.com/2010/spanish/SolidWorks/sldworks\LegacyHelp\htm>

<http://www.bdd.unizar.es/Pag2/Tomo2/Tema4/4-1 y 4-2> (Citado 06/11/2014)



## Referencias Bibliográficas

- *hardwarehacking*. (04 de noviembre de 2014). Obtenido de hardwarehacking.mx
- *manteniment-industrial*. (04 de noviembre de 2014). Obtenido de manteniment-industrial.cat
- *rockwellautomation*. (04 de noviembre de 2014). Obtenido de rockwellautomation.com
- *calibex*. (29 de enero de 2015). Obtenido de calibex.com/microswitch-catalog
- *help.solidworks*. (13 de enero de 2015). Obtenido de .help.solidworks.com/2010/spanish
- Manual FlexiSoft. (05 de mayo de 2015).
- *mobilitycarsolutions*. (02 de febrero de 2015). Obtenido de mobilitycarsolutions.com
- *omnibusparaibanos*. (08 de marzo de 2015). Obtenido de omnibusparaibanos.com.br
- *slideshare*. (29 de enero de 2015). Obtenido de es.slideshare.net/sensores-de-final-de-carrera
- *wikipedia*. (13 de enero de 2015). Obtenido de wikipedia.org/wiki/Método\_de\_los\_elementos\_finitos
- Molinari, N. (13 de enero de 2015). Controladores lógicos programables. Buenos Aires, Argentina.
- Nisbett, Budynas. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México D.F: McGraw Hill.

## Siglas

<b>SENPLADES</b>	<i>Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo</i>
<b>CICEV</b>	<i>Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares</i>
<b>INEN</b>	<i>Instituto Ecuatoriano de Normalización</i>
<b>ANT</b>	<i>Agencia Nacional de Tránsito</i>
<b>PNBV</b>	<i>Plan Nacional del Buen Vivir</i>
<b>CONADIS</b>	<i>Consejo Nacional de Discapacidad e Igualdades</i>
<b>PcD</b>	<i>Personas con Discapacidad</i>
<b>PLC</b>	<i>Controladores Lógicos Programables (del inglés, Programmable Logic Controller)</i>
<b>CAD</b>	<i>Diseño Asistido por Computadora (del inglés, Computer-aided Design)</i>
<b>CAE</b>	<i>Ingeniería asistida por Computadora (del inglés, Computer Aid Engineering)</i>
<b>CAI</b>	<i>Inspección asistida por Computadora (del inglés, Computer Aided Inspection)</i>
<b>MEF</b>	<i>Método del Elementos Finitos</i>
<b>FDS</b>	<i>Factor de Seguridad</i>

<b>HMI</b>	<i>Interfaz Humano Máquina (del inglés, Human Machine Interface)</i>
<b>ASTM</b>	<i>Asociación Estadounidense para Pruebas y Materiales (del inglés, American Society for Testing and Materials)</i>
<b>AISI</b>	<i>El Instituto Estadounidense del Hierro y del Acero (del inglés, American Iron and Steel)</i>
<b>SAE</b>	<i>La Sociedad Estadounidense de Ingenieros Automotrices (del inglés, Society of Automotive Engineers)</i>

**ANEXOS**