



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO
DE ELEVADOR DE ACCESO PARA PERSONAS
CON MOVILIDAD REDUCIDA EN BUSES DE
TRANSPORTE URBANO”**

**HERNÁNDEZ VILEMA JUAN FRANCISCO
VERDUGO IBARRA HENRRY DANIEL**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2015-03-17

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**HERNÁNDEZ VILEMA JUAN FRANCISCO
VERDUGO IBARRA HENRRY DANIEL**

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ELEVADOR DE
ACCESO PARA PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA EN BUSES DE
TRANSPORTE URBANO”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Pablo Sinchiguano Conde
DIRECTOR DE TESIS

Dr. Rafael Pérez Pupo
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: HERNÁNDEZ VILEMA JUAN FRANCISCO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE ELEVADOR DE ACCESO PARA PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA EN BUSES DE TRANSPORTE URBANO”

Fecha de Examinación: 2016-01-21

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Viteri Núñez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Pablo Sinchiguano Conde DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Rafael Pérez Pupo ASESOR DE TESIS			

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Edwin Viteri Núñez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: VERDUGO IBARRA HENRRY DANIEL

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE ELEVADOR DE ACCESO PARA PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA EN BUSES DE TRANSPORTE URBANO”

Fecha de Examinación: 2016-01-21

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Viteri Núñez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Pablo Sinchiguano Conde DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Rafael Pérez Pupo ASESOR DE TESIS			

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

RECOMENDACIONES: _____

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

Ing. Edwin Viteri Núñez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Hernández Vilema Juan Francisco

Verdugo Ibarra Henry Daniel

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Hernández Vilema Juan Francisco y Verdugo Ibarra Henry Daniel, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Juan Francisco Hernández Vilema
Cedula de Identidad: 060436636-9

Henry Daniel Verdugo Ibarra
Cedula de Identidad: 060420875-1

DEDICATORIA

Dedico este logro en mi vida a mi hija y esposa quienes son mi mayor inspiración para vencer cada adversidad que existe, a mis padres que me han inculcado buenos principios desde pequeño para alcanzar las metas propuestas.

Juan Francisco Hernández Vilema

A mis padres por apoyarme siempre a lo largo de mi vida estudiantil, mediante sus consejos, valores, ejemplos y por depositar la confianza en mí para que siempre logre las metas que me proponga.

Henry Daniel Verdugo Ibarra

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Dios por todas las bendiciones que derrama sobre mí, a mi esposa, padres y hermanos por el apoyo moral que siempre me dan.

Agradezco a mi compañero de tesis por el trabajo en equipo, por el tiempo de trabajo en el cual encontramos dificultades las mismas que fueron solucionadas y al final pudimos concluir de buena manera.

A mis maestros quienes además de formar un profesional formaron un ser humano con valores éticos y morales, y un agradecimiento especial a la ESPOCH Escuela de Ingeniería Mecánica la cual me permitió desarrollarme para alcanzar una profesión y así poder aportar de buena forma a la sociedad.

Juan Francisco Hernández Vilema

Agradezco a Dios por guiar mi vida por el camino correcto y darme la salud necesaria para salir adelante.

Le doy gracias a mis padres Norma y Ángel por su apoyo incondicional a lo largo de toda la mi vida. A mis hermanos por influir positivamente en cada paso de mi vida.

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Por darnos la oportunidad de ser profesionales y así ser útiles a la sociedad.

Henry Daniel Verdugo Ibarra

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.2 Antecedentes	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 <i>Objetivo general.</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos.</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Personas con movilidad reducida	4
2.1.1 <i>Definición</i>	4
2.2 Silla de ruedas	4
2.2.1 <i>Definición.</i>	4
2.2.2 <i>Tipos de silla de ruedas</i>	4
2.3 Elevador	5
2.3.1 <i>Definición.</i>	5
2.3.2 <i>Tipos de elevador.</i>	5
2.3.3 <i>Normativa aplicada a elevadores para personas con movilidad reducida.</i>	7
2.4 Bus urbano	9
2.4.1 <i>Definición.</i>	9
2.4.2 <i>Área para personas con movilidad reducida.</i>	10
2.5 Situación actual de vías y accesos del servicio de transporte urbano	10
2.5.1 <i>Vías de acceso en buses urbanos.</i>	10
2.5.2 <i>Accesos para personas con movilidad reducida.</i>	11
2.6 Ergonomía de la plataforma elevadora.	11
2.7 Normativa para especificaciones del elevador	12
2.7.1 <i>Normas directrices.</i>	12
2.8 Fundamentos de sistemas neumáticos aplicados	12
2.8.1 <i>Sistemas neumáticos.</i>	12
2.8.2 <i>Componentes de un sistema neumático.</i>	13
2.8.3 <i>Aplicaciones de sistemas neumáticos.</i>	16
2.9 Trabajo virtual	17
2.10 Análisis de elementos finitos	18
3. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL ELEVADOR PARA PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA	
3.1 Diseño del elevador	19
3.1.1 <i>Análisis de alternativas.</i>	19
3.1.2 <i>Selección de la alternativa óptima.</i>	21
3.1.3 <i>Determinación de la fuerza necesaria en el cilindro neumático.</i>	22
3.1.4 <i>Cálculo de reacciones en los elementos del mecanismo.</i>	25
3.1.5 <i>Análisis de esfuerzos y deformación en los elementos.</i>	31
3.1.5.1 <i>Estructura principal del mecanismo</i>	32
3.1.5.2 <i>Diseño del eslabón</i>	33
3.1.5.3 <i>Diseño de las plataformas del elevador</i>	35
3.1.5.4 <i>Diseño de la grada en voladizo</i>	36

3.1.5.5	<i>Diseño de la estructura</i>	37
3.1.5.6	<i>Diseño de la oreja superior para el pasador</i>	41
3.1.5.7	<i>Soporte inferior del cilindro</i>	42
3.1.5.8	<i>Diseño de la plataforma superior</i>	43
3.1.5.9	<i>Diseño de pasadores en los eslabones</i>	44
3.1.6	<i>Análisis del sistema neumático</i>	46
3.1.6.1	<i>Selección de los cilindros neumáticos</i>	46
3.1.6.2	<i>Selección del compresor</i>	51
3.1.6.3	<i>Selección de válvulas y accesorios</i>	56
3.1.6.4	<i>Diagrama del sistema neumático</i>	58
3.2	<i>Construcción y montaje</i>	59
3.2.1	<i>Procesos de construcción</i>	59
3.2.1.1	<i>Diagramas de procesos</i>	60
3.2.2	<i>Elementos del módulo construidos</i>	64
3.2.3	<i>Montaje del módulo</i>	65
3.3	<i>Pruebas del prototipo</i>	69
3.3.1	<i>Pruebas de funcionamiento</i>	69
3.3.2	<i>Directrices para la operación correcta del módulo</i>	71
3.3.3	<i>Mantenimiento del elevador</i>	74
3.4	<i>Análisis de un modelo de carrocería válida para montaje del elevador</i>	75
3.4.1	<i>Ubicación del elevador en un chasis HINO AK8JRSA</i>	75
3.4.2	<i>Especificaciones y análisis del prototipo de carrocería</i>	75
3.4.3	<i>Apreciación del elevador montado en la carrocería</i>	85
4.	ANÁLISIS DE COSTOS	
4.1	<i>Análisis de costos directos</i>	87
4.1.1	<i>Costos de la estructura principal</i>	87
4.1.2	<i>Costos del sistema neumático</i>	87
4.1.3	<i>Costos de mano de obra y transporte</i>	88
4.1.4	<i>Costos de acabados</i>	89
4.2	<i>Análisis de costos indirectos</i>	89
4.3	<i>Costo total del elevador para personas con movilidad reducida</i>	89
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1	<i>Conclusiones</i>	90
5.2	<i>Recomendaciones</i>	91

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Altura del piso al primer peldaño en buses urbanos 11
2	Normas directrices 12
3	Ponderaciones de las alternativas 22
4	Variación Fp con respecto a θ 25
5	Norma ASME procesos 59
6	Construcción estructura principal 60
7	Construcción plataforma móvil 61
8	Construcción plataforma fija 62
9	Construcción plataforma superior..... 63
10	Pruebas Carga 1 70
11	Pruebas Carga 2 71
12	Tareas de mantenimiento 74
13	Materiales piso y anclajes 76
14	Materiales laterales 76
15	Materiales techo 77
16	Materiales zona sin chasis 78
17	Valores carga viva 79
18	Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera 82
19	Costos de la estructura principal..... 87
20	Costo de elementos del sistema neumático 88
21	Mano de obra y transporte 88
22	Costos acabados 89
23	Costos indirectos..... 89
24	Costos totales 89

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Silla de ruedas manual	4
2 Silla de ruedas eléctrica	5
3 Elevador tipo tijera	6
4 Elevador 4 barras	6
5 Elevador de 2 columnas	7
6 Elevadores de 4 columnas	7
7 Bus urbano	9
8 Área para personas con discapacidad	10
9 Dimensiones silla de ruedas.....	11
10 Diagrama básico de un sistema neumático	13
11 Actuadores neumáticos	15
12 Válvulas neumáticas	16
13 Representación de válvulas y designación de conexiones.....	16
14 Aplicaciones de sistemas neumáticos	17
15 Trabajo virtual	18
16 Elementos finitos	18
17 Elevador de paralelogramo	19
18 Mecanismo de paralelogramo	19
19 Elevador tipo tijera	20
20 Mecanismo de tijera.....	21
21 Diagrama de cuerpo libre del mecanismo del elevador	22
22 Diagrama de eslabones	26
23 Reacciones eslabón 1	27
24 Reacciones eslabón 2	29
25 Reacciones eslabón 3	30
26 Propiedades acero ASTM A36	32
27 Restricciones y cargas estructura principal.....	32
28 Análisis deformación estructura principal	33
29 Análisis de esfuerzo de von –Mises estructura principal.....	33
30 Restricciones y cargas y eslabón	34
31 Análisis de deformación eslabón	34
32 Análisis esfuerzo de von – Mises eslabón	34
33 Restricciones y cargas plataformas (soporte fijo en las orejas)	35
34 Análisis deformación plataformas	35
35 Análisis esfuerzos von – Mises plataformas.....	36
36 Restricciones y cargas grada voladizo	36
37 Análisis deformación grada voladizo	37
38 Esfuerzo de von- Mises grada voladizo	37
39 Cargas y restricciones estructura	39

40	Análisis deformación estructura	39
41	Análisis de esfuerzo combinado mínimo estructura	40
42	Análisis de esfuerzo combinado máximo estructura	40
43	Restricciones y cargas oreja.....	41
44	Análisis deformación oreja	41
45	Análisis de esfuerzo de von - Mises oreja	41
46	Cargas y restricciones soporte inferior	42
47	Análisis de deformación soporte inferior	42
48	Análisis de esfuerzo de von - Mises soporte inferior	43
49	Cargas y restricciones plataforma superior.....	43
50	Análisis deformación plataforma superior.....	44
51	Análisis de esfuerzo de von - Mises plataforma superior.....	44
52	Pasador.....	45
53	Características cilindro 1	47
54	Diagrama de cuerpo libre para el cilindro 2	48
55	Características cilindro 2	51
56	Tanque de aire chasis HINO Ak.....	56
57	Válvula 5/3 marca XCPC	56
58	Válvula 5/2 marca univerItaly	57
59	Válvula distribuidora	57
60	Mangueras neumáticas.....	57
61	Válvula de estrangulación.....	58
62	Circuito neumático.....	58
63	Funcionamiento sistema neumático.....	58
64	Estructura principal.....	64
65	Plataforma fija	64
66	Plataforma móvil	64
67	Eslabones del elevador	65
68	Plataforma superior.....	65
69	Colocación de eslabones	65
70	Unión de la plataforma fija con la estructura.....	66
71	Ubicación de orejas para cilindro	66
72	Soporte para cilindro 2.....	66
73	Plataforma superior.....	67
74	Colocación de cilindros	67
75	Forrado externo.....	68
76	Pintura de elementos	68
77	Colocación mando control.....	69
78	Colocación de la madera y tapiz	69
79	Pruebas elevador	70
80	Funcionamiento 1	72
81	Funcionamiento 2	72
82	Funcionamiento 3	73
83	Funcionamiento 4	73

84	Funcionamiento 5	74
85	Ubicación en el chasis	75
86	Piso y anclajes.....	76
87	Lateral.....	77
88	Techo	77
89	Zona sin chasis.....	78
90	Restricciones anclajes	79
91	Carga viva	80
92	Carga de frenado	81
93	Carga muerta.....	80
94	Carga de giro.....	83
95	Carga de aire frontal	84
96	Resultados esfuerzos combinados carrocería	84
97	Resultados deformación carrocería.....	85
98	Montaje del elevador en carrocería.....	86

SIMBOLOGÍA

Fp	Fuerza del pistón	N
Y	Altura en el eje y de la plataforma al piso del bus	m
H	Altura del piso a la plataforma	m
Wt	Peso total a elevar	N
W	Peso medio a elevar	N
F _{pm}	Fuerza del pistón media	N
L	Longitud	m
R	Reacciones	N
W _{ps}	Carga en el piso superior	N
W _g	Carga en las gradas	N
T	Esfuerzo cortante	Pa
S _{sy}	Esfuerzo admisible a corte	Pa
A	Área	m ²
D	Diámetro	m
n	Factor de seguridad	
P	Presión de trabajo	Pa
D _p	Diámetro del pistón	m
D _v	Diámetro del vástago	m
Fr	Fuerza de rozamiento	
N	Normal	N
W _p	Peso de la plataforma	N
μ	Coefficiente de fricción estático	
Z	Numero de cilindros	
p ₁	Presión atmosférica	Pa
V _{tt}	Volumen total de consumo	m ³
V _t	Volumen total	m ³
Pot	Potencia	Watt
t	Tiempo	s
Q	Caudal	m ³ /s
M _o	Masa en operación	kg
F _f	Fuerza de frenado	N
F _g	Fuerza de giro	N
R _{af}	Resistencia al aire frontal	N
A _f	Área frontal	m ²
Ln	Logaritmo natural	
V _{tan}	Volumen del tanque	m ³
C _{VT}	Carga viva total	N
C _D	Carga muerta	N

LISTA DE ABREVIACIONES

ASME	American Society of Mechanical Engineers (Sociedad americana de Ingenieros Mecánicos)
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
INEN	Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización
RTE	Reglamento Técnico Ecuatoriano
SEDUVI	Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda
ASTM	American Society of Mechanical Engineers

LISTA DE ANEXOS

- A** Catálogo de materiales
- B** Catálogo de cilindros neumáticos

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el diseño y construcción de una plataforma elevadora de personas con movilidad reducida para ingreso a los autobuses urbanos, como etapa inicial se investigaron las condiciones de los accesos (altura de aceras) en las paradas de buses urbanos como puntos a tener en cuenta dentro del desarrollo del trabajo.

Se diseñó el elevador basado en un mecanismo de cuatro barras que conecta a dos plataformas que normalmente funcionan como grada de acceso al interior del bus, a fin de mantener el sistema de gradas estándar. El diseño propone el despliegue de una plataforma que baja hasta la acera para recoger a la persona y permitir elevarla hasta el nivel del piso en el bus.

El sistema funciona con energía neumática y accesorios neumáticos, para facilitar el montaje en los buses urbanos, este cumple todas las especificaciones tanto técnicas como de seguridad establecidas en la norma ecuatoriana NTE INEN 2205 Buses Urbanos. Para la facilidad de operación se ha incluido la señalética necesaria ubicada en las dos válvulas de accionamiento, una controla la subida y bajada del elevador mientras que la otra controla el despliegue de la plataforma.

Para comprobar el buen diseño y funcionamiento de cada componente del elevador se utilizaron herramientas computacionales que verificaron las condiciones mecánicas y operativas del sistema. El costo del elevador es económico y de fácil manejo a diferencia de otros sistemas existentes, puede ser incorporado en buses urbanos en el futuro, según indican los reglamentos y normativas nacionales.

ABSTRACT

This work involves the design and construction of a platform lift of people with disabled for entry into the urban buses, as an initial stage, it investigated access conditions (height of sidewalks) in urban bus stops and points taken into account in the development work.

The lift was designed based on a four-bar mechanism which connects two platforms which normally function as tier access to the interior of the bus, in order to maintain the standard stands system. The design proposed the deployment of a platform that goes down to the sidewalk to pick up the person and allow raising the floor level on the bus.

The system works with pneumatic energy and pneumatic accessories, for easy mounting in urban buses, it performs all technical and safety specifications required in the Ecuadorian standard NTE INEN 2205 Urban Buses. For ease of operation has included the necessary signage located in actuating two valves, one controls the raising and lowering of the elevator while the other controls the display of the platform.

To verify the proper design and operation of each component of the elevator, it used computational tools that verified the mechanical and system operating conditions. The cost of the elevator is economical and easy to use, unlike other existing systems can be incorporated into urban buses in the future, as indicated by the national rules and regulations.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la actualidad los autobuses urbanos no cuentan con sistemas de acceso adecuados para personas con discapacidad motriz especialmente personas que utilizan sillas de ruedas exceptuando medios de transporte como el trolebús, el cual no se encuentra en todas las ciudades del país.

Las industrias encargadas de la fabricación de carrocerías para autobuses nacionales, a pesar de existir exigencias y normativas al respecto no se han interesado en buscar alternativas y soluciones para el adecuado acceso de las personas con discapacidad. En el país el 12,4% de personas tienen discapacidad del cual alrededor del 8% tienen discapacidad motriz, es un número apreciable por el cual se deben de tomar medidas para el mejor estilo de vida de estas personas, es por eso que es importante tener un buen acceso al autobús de servicio urbano.

En otros países ya existen las vías de acceso adecuadas para estas personas, las cuales son normada de acuerdo al tipo de vehículo y todas las personas sin distinción pueden utilizar el transporte público, pero en el Ecuador aún no se han tomada acciones que permitan mejorar el servicio.

Por ejemplo en Brasil los autobuses tienen sistemas de elevador para personas discapacitadas en la mayoría de los autobuses de las ciudades y también poseen estaciones en las cuales se encuentran sistemas de elevación para sillas de ruedas específicamente en la ciudad de Curitiba.

Estos sistemas también existen en países como Colombia, México, Chile y en Estados Unidos, la empresa Ricon Corporation dedicada a la elaboración de elevadores para discapacitados en silla de ruedas, la empresa queda ubicada en Estados Unidos pero distribuye sus elevadores en algunos países de Sudamérica, camionetas y autobuses que permiten la instalación del elevador son sus mayores adquisidores.

1.2 Justificación

Mediante este proyecto se pretende incorporar a las personas con discapacidad al uso del transporte público, implementando una plataforma que cumpla con las especificaciones de la norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2205:2010 (Buses Urbanos Requisitos).

Según la norma NTE INEN 2 292:2010 menciona en sus requisitos; literal 5.1.1.5 Vehículos de transporte público terrestre, deben cumplir con la RTE INEN 038 Bus urbano, “Todos los vehículos de transporte público terrestre deben tener, puertas de acceso de ancho libre mínimo de 900 mm y en el interior de los mismos.

Disponer de espacios exclusivos para personas con discapacidad y movilidad reducida, en la proporción mínima de un asiento por cada 40 pasajeros, los cuales deben estar ubicados junto a las puertas de acceso y/o salida de los mismos” tomando en cuenta que personas con movilidad reducida son aquellos que utilizan sillas de ruedas los buses cuentan actualmente con este espacio pero no con un acceso adecuado a su interior.

Los tipos de elevadores existentes para el acceso de personas discapacitadas al autobús pueden ser mediante elevadores mecánicos, electromecánicos, neumáticos e hidráulicos. La implementación de este proyecto es una adecuación que no afectara a las condiciones de acceso actual, lo cual permitirá tener acceso mediante los 2 sistemas, el sistema de gradas y el sistema de elevación neumático por plataforma, para el uso de acuerdo sea concerniente.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar y construir un prototipo de elevador neumático de acceso al autobús urbano para personas con discapacidad en silla de ruedas, el cual sea seguro, y confortable en su uso.

1.3.2 *Objetivos específicos.*

- Conocer el principio de funcionamiento y los diferentes tipos de elevadores que existen para el efecto.

- Cumplir con los requerimientos de la norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2205:2010.
- Comprobar la factibilidad de instalación del elevador en un modelo de carrocería de autobús urbano.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Personas con movilidad reducida

2.1.1 Definición. Es aquella persona que tiene limitada locomoción debido a alguna discapacidad física, para movilizarse es dependiente de otras personas, no todas las personas discapacitadas son personas con movilidad reducida. (SEDUVI, 2014)

2.2 Silla de ruedas

2.2.1 Definición. Es un aparato biomecánico el cual tiene mínimo 3 ruedas, aunque la mayoría consta de 4 ruedas, cuyo diseño esta realizado para la movilización de personas con movilidad reducida.

2.2.2 Tipos de silla de ruedas. Existen principalmente 2 tipos de silla de ruedas las cuales son:

- **Manuales.** Este tipo de silla de ruedas consiste en que la persona ocupante haga rotar las ruedas posteriores, están fabricadas de 2 maneras rígidas y plegables. Las rígidas mantienen su forma siempre, mientras que las plegables sirven para ser transportadas de mejor manera ahorrando espacio, los materiales más utilizados son el aluminio y titanio.

Figura 1. Silla de ruedas manual



Fuente: <http://hospitalexpress.net/catalogo-equipo-medico.html>

- Eléctricas. A diferencia de las sillas de ruedas manuales, las ruedas traseras de estas son giradas por medio de motores, los cuales usan baterías recargables. La persona que utilice la silla de ruedas tiene un mando el cual le permite girar y también poner la velocidad de acuerdo sea conveniente. Para personas que no puedan mover sus brazos existe controladores que se utilizan con la boca, este tipo de silla también consta de sistema antivuelco. Esta silla puede subir pendientes poco elevadas sin necesidad de la ayuda de otra persona, así la persona puede ser independiente. (CASTILLO, 2013)

Figura 2. Silla de ruedas eléctrica



Fuente: <http://www.medicalexpo.es/prod/comfort-orthopedic/silla-ruedas-electrica-interior-exteriores-88741-566067.html>

2.3 Elevador

2.3.1 *Definición.* Es una máquina conformada por un conjunto de sistemas que permite el transporte vertical de objetos o personas, desde una altura a otra en ascenso o descenso diseñada para brindar seguridad, que pueden variar de forma y tamaño acuerdo a su función.

2.3.2 *Tipos de elevador.* Los tipos de elevadores se dividen en dos tipos que son: (BELLERIN, 2002)

Según su accionamiento:

- Neumático
- Hidráulico

- Electromecánicos
- Mecánico
- Oleo neumáticos

Según su forma:

- Tijera (ver figura 3.)
- 4 Barras (ver figura 4.)
- 2 Columnas (ver figura 5.)
- 4 Columnas (ver figura 6.)

Figura 3. Elevador tipo tijera



Fuente: <http://www.nilmoto.com/producto/Elevador-de-tijera--Center-Jack-20-Bike-Lift-7228158/index.aspx>

Figura 4. Elevador 4 barras



Fuente: <http://www.moterosastures.com/foros/index.php?topic=15435.0>

Figura 5. Elevador de 2 columnas



Fuente: <http://www.daniluk.com.ar/eleautos.html>

Figura 6. Elevadores de 4 columnas



Fuente: <http://seysu.es/elevadores-de-taller/elevador-4-columnas-4-ton-konigstein-im440sb-sobreelevacion/gmx-niv159-con1114.htm>

2.3.3 *Normativa aplicada a elevadores para personas con movilidad reducida.*

La norma NTE INEN 2205 indica en el numeral 5.1.2.7:

b.1) Elevador (plataforma elevadora).

b.1.1) Requisitos mecánicos.

b.1.1.1) Capacidad de elevación. La capacidad mínima de elevación del elevador debe ser de 200 kg. Queda excluido el peso del acompañante, plataforma y elementos desplazables con la misma.

b.1.1.2) Como medida de seguridad imprescindible debe tenerse en cuenta que a cualquier accionamiento en los mandos corresponde una respuesta inmediata.

b.1.1.3) Sistema de bloqueo del vehículo. El sistema debe proyectarse de forma que para accionarse la plataforma se presente un bloqueo del vehículo. El bloqueo debe ser simultáneo con el inicio de la operación de despliegue por medio de un mando, el cual simultáneamente bloquee el vehículo y desbloquee la plataforma situada en un punto. Debe existir un dispositivo alternativo que tenga como misión sustituir al sistema principal, en el caso de avería o emergencia del mismo.

b.1.1.4) Autonomía del elevador. En caso de falta de energía el elevador debe tener una autonomía suficiente para efectuar un mínimo de maniobras de emergencia igual al número de plazas para sillas de ruedas que disponga el vehículo.

b.1.2) Protecciones del elevador

b.1.2.1) La plataforma debe estar provista de protecciones que eviten que la silla de ruedas se salga de la misma por sí sola.

b.1.2.2) Barrera de protección. En el flanco de acceso a la plataforma desde el exterior, debe colocarse una protección abatible.

b.1.2.3) Accionamiento de la barrera de protección. Esta protección debe accionarse automáticamente al perderse el contacto en la plataforma y el suelo. También debe accionarse mediante un mando; en este caso su funcionamiento forma parte de un ciclo y la plataforma no debe continuar su desplazamiento mientras dicha protección no esté activada.

b.1.2.4) Barandas. La plataforma en posición de trabajo debe disponer al menos de una baranda lateral, la cual se debe desplazar solidaria con la plataforma.

b.1.2.5) Superficie de la plataforma. La superficie de la plataforma debe ser del tipo antideslizante, por lo cual es admisible que se disponga de un bajo relieve cuya altura no debe exceder de 6mm. La plataforma debe tener un ancho útil mínimo de 800 mm y una profundidad útil de 1000 mm.

b.1.2.6) Flexión útil de la plataforma. La plataforma en todo su recorrido no debe flexionar en cualquier dirección más de tres grados. Esta diferencia máxima admisible

se entiende entre la plataforma en vacío y cargada con 200 kg. La rampa de acceso queda libre de esta particularidad. La velocidad de desplazamiento de la plataforma y partes de la misma no debe ser superior a 0,22 m/s. En despliegue y repliegue, la velocidad no debe ser superior a 0,33 m/s.

b.1.2.7) Acceso a la plataforma. La plataforma se debe diseñar de tal forma que permita su acceso por sus dos frentes, tanto hacia adelante como hacia atrás.

b.1.2.8) Protecciones. Cualquier parte del elevador debe estar debidamente protegida para que no pueda lastimar al usuario, acompañante, silla de ruedas o vestidos de los mismos.

b.1.2.9) Resistencia a las vibraciones. Todos los componentes del elevador que estuvieran en tensión deben estar diseñados de forma que no se aflojen con las vibraciones del vehículo.

b.1.2.10) Avisador acústico. Debe existir una alerta acústica durante el ciclo de funcionamiento de este dispositivo. (NTE2205, 2010)

2.4 Bus urbano

2.4.1 Definición. Es un vehículo el cual está diseñado para el transporte público en distancias cortas, en el Ecuador este tipo de vehículos está bajo la norma NTE INEN 2205 y el reglamento RTE INEN 038, en dicha norma nos dice que el autobús urbano debe estar diseñado para una capacidad igual o superior a 60 pasajeros.

Figura 7. Bus urbano



Fuente: <http://carros.mitula.ec/carros/mercedes-benz-diesel-riobamba>

La mayor parte de buses urbanos en el Ecuador tienen chasis con motor delantero, en el país uno de los más utilizados son los de marca Hino AK por sus especificaciones y costo económico.

2.4.2 *Área para personas con movilidad reducida.* La norma NTE INEN 2205 indica en el numeral 5.1.2.5 (b.7):

Se debe disponer de por lo menos un espacio exclusivo, que debe estar ubicado próximo a las puertas de acceso y/o salida y provisto de un asidero para la sujeción de la silla, con cinturón de seguridad mínimo de dos puntos.

b.7.1) Las dimensiones mínimas libres deben ser de 1 200 mm de ancho.

b.7.2) Los espacios destinados en el interior del vehículo, deben contar con la señalización vertical respectiva, de acuerdo con lo establecido en la NTE INEN 2 240, que identifique el uso exclusivo de los mismos. (NTE2205, 2010).

Figura 8. Área para personas con discapacidad



Fuente: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1328449&page=11>

2.5 Situación actual de vías y accesos del servicio de transporte urbano

2.5.1 *Vías de acceso en buses urbanos.* En los buses actuales las características que poseen son importantes para tomar consideraciones en el diseño de los elevadores dentro de los cuales podemos mencionar la altura del piso al primer peldaño.

Tabla 1. Altura del piso al primer peldaño en buses urbanos [mm]

Datos		Carrocería 1	Carrocería 2	Carrocería 3	Carrocería 4
Suelo-Primer Peldaño	Máx. 450	440	420	390	410

Fuente: Sercomec, Check List Bus Urbano, 2015

Como se puede apreciar en la Tabla 1 las alturas del piso al primer peldaño son altas en la mayoría de buses por lo cual se debe tener en cuenta en el momento del diseño del mecanismo adecuado para que pueda cumplir su función.

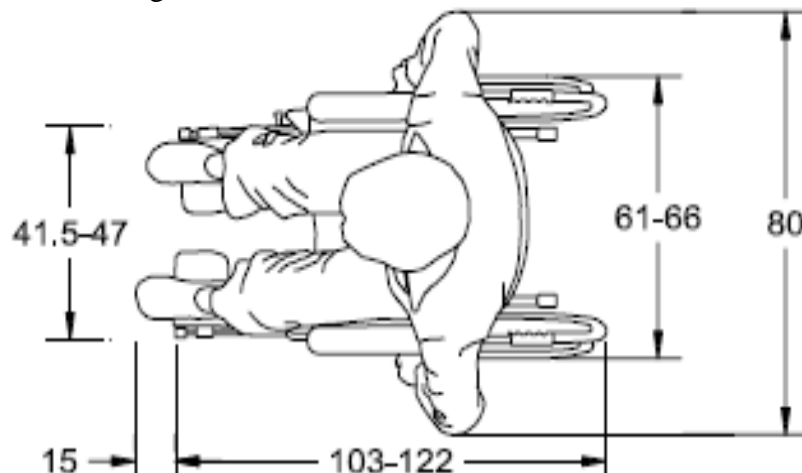
2.5.2 Accesos para personas con movilidad reducida. Los buses de transporte urbano actuales cumplen con el área destinada para personas con movilidad reducida, pero no pueden ser utilizados ya que no existe el acceso adecuado como plataforma o rampa para que puedan subir al medio de transporte el cual debe cumplir con las especificaciones expuestas en la norma NTE INEN 2205.

2.6 Ergonomía de la plataforma elevadora

La plataforma elevadora tiene dimensiones mínimas las cuales se encuentran en la norma NTE INEN 2205 y deben ser respetadas para asegurar la buena funcionalidad del elevador, la cual nos dice: “La plataforma debe tener un ancho útil mínimo de 800 mm y una profundidad útil de 1000 mm.” (NTE2205, 2010).

Las dimensiones de las personas en silla de ruedas según el manual técnico de accesibilidad SEDUVI están en cm, estas medidas y son:

Figura 9. Dimensiones silla de ruedas



Fuente: <http://www.libreacceso.org/Manual%20de%20Accesibilidad%20SEDUVI.pdf>

Es de suma importancia la comodidad de la persona que esté ubicada en el elevador, por lo que la plataforma elevadora deberá tener dimensiones de un ancho útil de 900 mm y una profundidad útil de 1200 mm para la ergonomía de las personas con movilidad reducida sin tener ningún inconveniente al momento de elevar la plataforma. (SEDUVI, 2014)

2.7 Normativa para especificaciones del elevador

2.7.1 Normas directrices. Para el desarrollo del presente trabajo se deben considerar las especificaciones que debe cumplir el elevador de acuerdo a las normas vigentes correspondientes a la inclusión de personas con movilidad reducida en el entorno social, con el fin de cumplir con cada una de estas especificaciones se enlistan las normas consultadas:

Tabla 2. Normas directrices

Norma	Descripción
NTE INEN 2205:2010	Vehiculos automotores.bus urbano. requisitos. 2010
RTE INEN 038:2010	Bus urbano
NTE INEN 2 245:2000	Accesibilidad de las personas al medio físico. Edificios, rampas fijas
NTE INEN 1323:2009	Vehiculos automotores. Carrocerias de buses. Requisitos

Fuente: Normas Técnicas ecuatorianas

En cada uno de los subtítulos mencionados anteriormente se especifica la normativa que rige cada parte considerada para el diseño.

2.8 Fundamentos de sistemas neumáticos aplicados

2.8.1 Sistemas neumáticos. Los sistemas neumáticos cumplen la función de comprimir el aire para luego ser transmitida como una fuerza mecánica a un actuador, el cual puede ser lineal o angular a velocidades diferentes las cuales pueden ser reguladas. (CREUS, 2007)

Ventajas

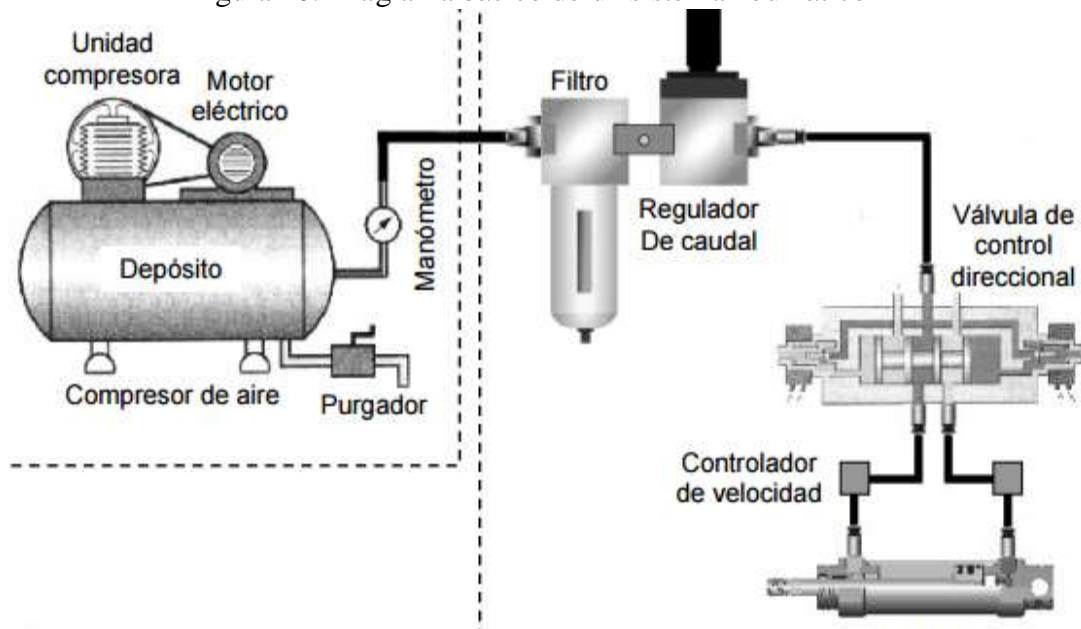
- Seguridad

- Energía limpia
- Poco Mantenimiento
- Confiable
- Económico

2.8.2 *Componentes de un sistema neumático.* Un sistema neumático consta principalmente de 2 unidades: (CREUS, 2007)

- Unidad de producción y distribución
- Unidad de consumo

Figura 10. Diagrama básico de un sistema neumático



Fuente: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/plsdhernandez_s_f/capitulo5.pdf

- Unidad compresora

Es el elemento que se encarga de recoger el aire atmosférico y comprimirlo de forma mecánica con diferentes tipos de compresores los principales son:

- Alternantes (embolo y diafragma)
- Rotatorios (paleta y de tornillo)
- Motor eléctrico

Se encarga de convertir la energía eléctrica en mecánica lo que produce el movimiento en la unidad de compresión.

- Tanque o depósito

Se encarga del almacenamiento del aire a presión, a partir de este se distribuye a todo el sistema neumático son diseñados para soportar una determinada presión que está por encima de la presión máxima de la neumática.

- Válvula anti retorno

Permite el paso pero no el retorno del aire comprimido desde la unidad de compresión hacia el depósito.

- Manómetro

Es un instrumento en el cual se puede apreciar visualmente la presión del aire en el depósito.

- Filtro

Este dispositivo es el encargado de que el aire que pase al sistema no contenga impurezas, además de posibles condensados que provengan del exterior y se depositen en el fondo del tanque.

- Regulador

Es una válvula que controla la presión del aire que sale desde el depósito hacia el sistema para su funcionamiento.

- Válvula de control direccional

Esta válvula contiene conexiones internas las cuales se pueden abrir o cerrar para controlar las direcciones del aire además existen diversos tipos de válvulas con

diferentes tipos de activación las cuales pueden ser, mecánicas, eléctricas, neumáticas o hidráulicas.

- Controladores de velocidad

Son dispositivos que controlan el caudal de aire por unidad de tiempo permitiendo así el control de la velocidad.

- Actuadores

En este dispositivo se produce la transformación de energía neumática en mecánica puede ser de tipo lineal o rotatorio.

Figura 11. Actuadores neumáticos



Fuente: <http://www.md.com.pe/servicio-neumatica-venta.html>

- Válvulas neumáticas

Definición. Las válvulas neumáticas son accesorios que nos sirven para controlar diferentes variables tales como caudal, dirección, accionamiento o paro de los actuadores neumáticos entre otras.

Se dividen en los siguientes grupos:

- Válvulas distribuidoras
- Válvulas de bloqueo
- Válvulas de caudal

- Válvulas de presión

Figura 12. Válvulas neumáticas

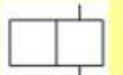
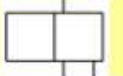
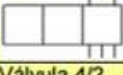
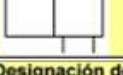


Fuente: <http://naxa-automatizacion.es.tl/Productos/pic-9.htm>

- Representación de válvulas neumáticas

Las válvulas se las representa de acuerdo al número de posiciones que pueda tener y el número de vías además se utiliza números o letras en sus diferentes vías para indicar que función cumple, como entrada de aire, salida de aire y tipo de accionamiento.

Figura 13. Representación de válvulas y designación de conexiones

	Válvula 2/2 Válvula de dos vías y dos posiciones.
	Válvula 3/2 Válvula de tres vías y dos posiciones.
	Válvula 5/3 Válvula de cinco vías y tres posiciones.
	Válvula 4/2 Válvula de cuatro vías y dos posiciones.
Designación de conexiones	Letras Números
Conexiones de trabajo	A, B, C ... 2, 4, 6 ...
Conexión de presión, alimentación de energía	P 1
Escapes, retornos	R, S, T ... 3, 5, 7 ...
Descarga	L
Conexiones de mando	X, Y, Z 10, 12, 14

Fuente:

http://www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/neuma.hidra/simbologia_n.pdf

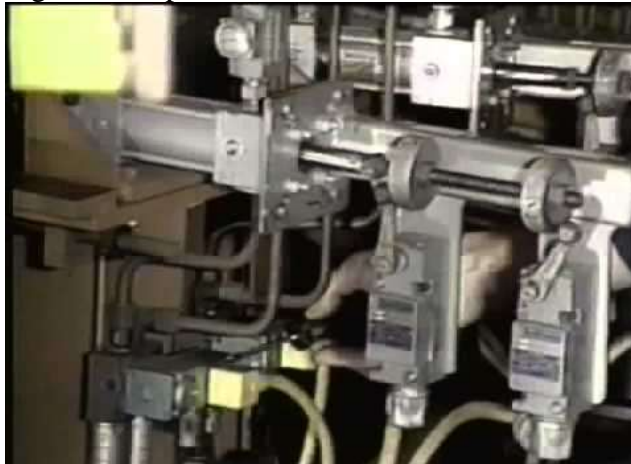
2.8.3 *Aplicaciones de sistemas neumáticos.* El avance tecnológico de la informática y de la electrónica ha permitido que la neumática se ampliara a aplicaciones

industriales en distintas áreas mediante la automatización de máquinas que utilizan equipos neumáticos.

Las industrias en las cuales se aplica la neumática son: (CREUS, 2007)

- Agricultura
- Producción de Energía
- Química
- Petrolera
- Plástica
- Metalúrgica
- Aviación
- Robótica
- Automotriz

Figura 14. Aplicaciones de sistemas neumáticos



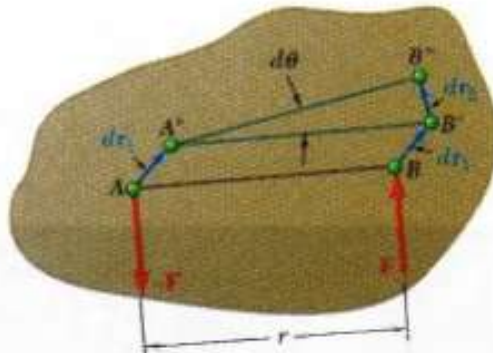
Fuente:

https://www.google.com.ec/search?q=aplicaciones+de+sistemas+neumaticos&biw=1366&ys3JAhUC5SYKHQFTBcYQ_AUIBigB#imgrc=wUtnPdqs7EaRnM%3A.

2.9 Trabajo virtual

Principio. Este principio es práctico cuando se lo utiliza para analizar mecanismos o máquinas, que tienen varios elementos rígidos, el principio nos dice que si un cuerpo está con velocidad constante o en estado estático, la suma de todas las fuerzas externas y momentos externos es igual a cero. Para todos los desplazamientos virtuales. (HIBBELER, 2004)

Figura 15. Trabajo virtual



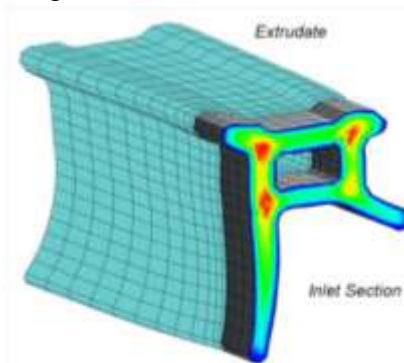
Fuente: Hibeler Russel. Ingeniería Mecánica Estática

2.10 Análisis de elementos finitos

La aplicación de elementos finitos se basa en modelos matemáticos (métodos numéricos) los cuales dan resultados que se van iterando hasta llegar a valores exactos.

El análisis a través de elementos finitos es una herramienta muy útil para resolución de problemas fáciles hasta un grado de alta complejidad la cual permite ahorrar tiempo y arroja resultados exactos los cuales son determinantes para el diseño y comprobación de los sistemas analizados. (TIRUPATHI, 1999)

Figura 16. Elementos finitos



Fuente: <https://plus.google.com/u/0/+ansys/posts>

CAPÍTULO III

3. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL ELEVADOR PARA PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA

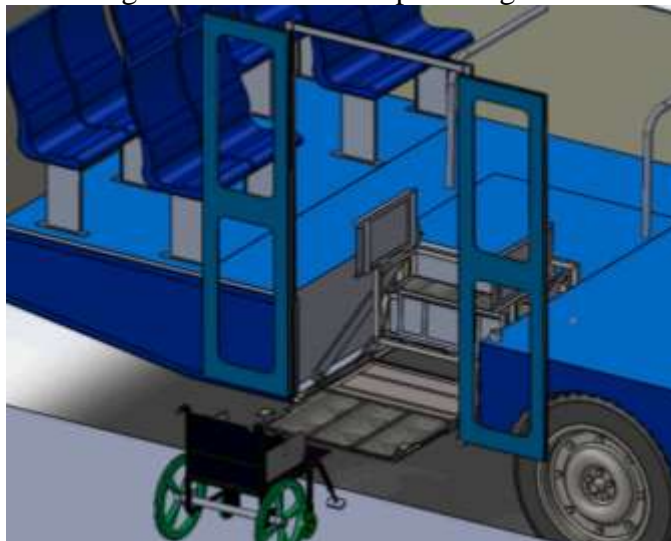
3.1 Diseño del elevador

3.1.1 *Análisis de alternativas.* Para la realización del elevador para personas con movilidad reducida tenemos las siguientes alternativas:

- Plataforma con Mecanismo de elevación de paralelogramo (4 Barras).
- Plataforma con mecanismo de elevación tipo tijera.

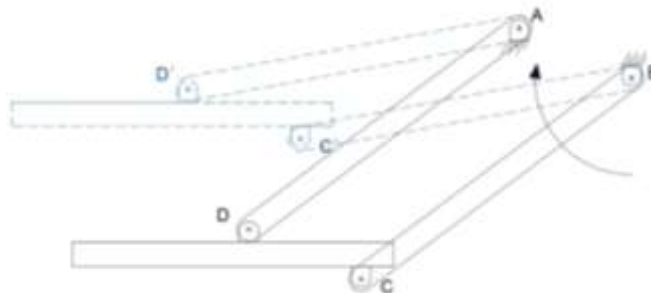
Análisis Plataforma con mecanismo de paralelogramo

Figura 17. Elevador de paralelogramo



Fuente: Autores

Figura 18. Mecanismo de paralelogramo



Fuente: Autores

- Descripción

En la figura se muestra el mecanismo de 4 barras tipo paralelogramo, el cual recoge a la persona con movilidad reducida desde la vereda y la eleva hasta el piso del autobús, sin necesidad de alguna rampa, al elevar hasta el nivel del piso del bus existe otra plataforma superior la cual comunica al elevador con el bus.

Ventajas

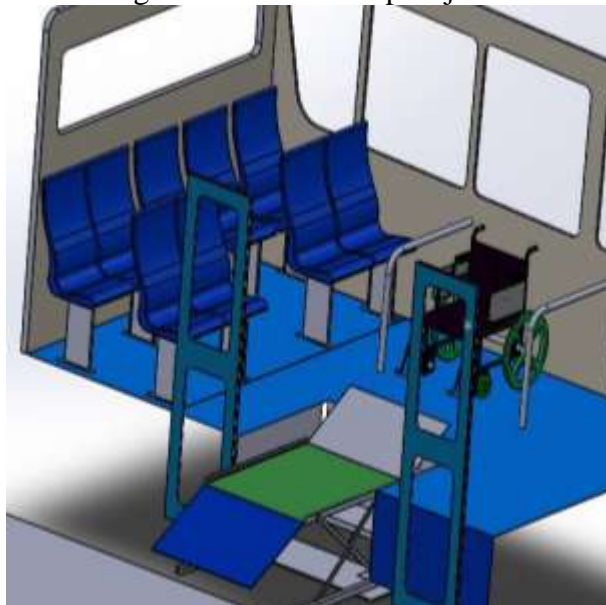
- Mantiene el sistema de gradas del bus urbano.
- Puede elevarse por encima y debajo del nivel de la primera grada.
- No necesita de una rampa adicional.
- Se necesita de un solo pistón para elevar.

Desventajas

- Distancia de separación de la plataforma al piso del bus.
- Se necesita realizar un mantenimiento periódico en las partes móviles.
- Dificulta el sistema actual de puertas de autobús.

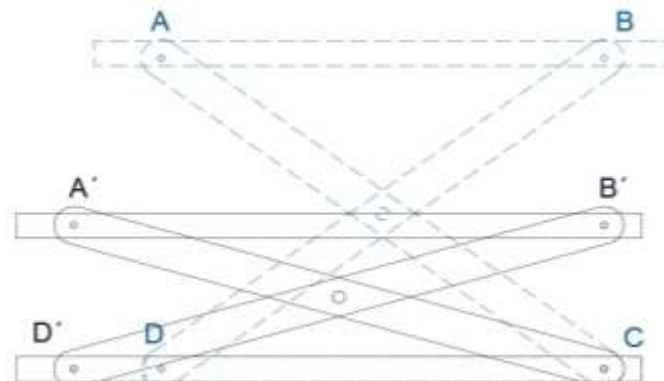
Análisis Plataforma con mecanismo de elevación tipo tijera

Figura 19. Elevador tipo tijera



Fuente: Autores

Figura 20. Mecanismo de tijera



Fuente: Autores

Descripción

En la figura se muestra el mecanismo tipo tijera el cual saldrá de la primera contrahuella a la vereda que mediante una rampa en el extremo facilitara la subida de la persona hasta el mecanismo, luego se eleva para llegar al nivel de referencia del piso donde se encuentra un espacio destinado para la persona con movilidad reducida al frente de las gradas.

Ventajas

- La plataforma de tijeras da estabilidad al sistema.
- Mantiene el sistema de gradas del bus urbano.
- Conserva el sistema de puertas actual de autobús urbano.

Desventajas

- El espacio que la plataforma ocupa en la acera dificulta el ingreso cómodo de las personas.
- El ángulo de inclinación de la rampa es elevado y no cumple con las especificaciones requeridas.
- No se ajusta a las alturas de diferentes veredas

3.1.2 Selección de la alternativa óptima. En base a criterios importantes donde se analiza tanto la parte de ingeniería como la parte del cliente que son los puntos importantes para tomar las decisiones para características del diseño.

Selección de Alternativas:

- Alternativa A: Plataforma con mecanismo de paralelogramo (4 barras)
- Alternativa B: Plataforma con mecanismo de elevación tipo tijera

Tabla 3. Ponderaciones de las alternativas

Parámetro	Ponderación	Calificación		Total	
		A	B	A	B
Seguridad	0,25	8	9	2,00	2,25
Costo	0,15	9	8	1,35	1,20
Facilidad de construcción	0,15	9	8	1,35	1,20
Comodidad para subir y bajar	0,20	9	7	1,80	1,40
Facilidad de movimiento	0,10	9	7	0,90	0,70
Mantenimiento	0,15	9	8	1,35	1,20
Total	1,00	53	47	8,75	7,95

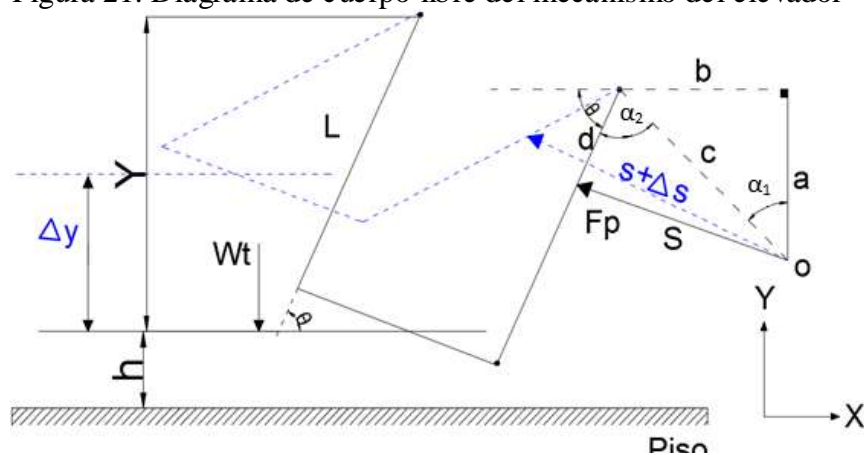
Fuente: Autores

Se puede concluir de la tabla que la alternativa A es la que mayor puntuación alcanza, por lo cual se acepta esta alternativa.

Con estas consideraciones se continúa el diseño con el mecanismo que brinda mayores beneficios siendo este el elevador de paralelogramo.

3.1.3 Determinación de la fuerza necesaria en el cilindro neumático.

Figura 21. Diagrama de cuerpo libre del mecanismo del elevador



Fuente: Autores

Mediante la ecuación de trabajo virtual tenemos: (HIBBELER, 2004)

$$W_t * dy + F_p * ds = 0 \quad (1)$$

Dónde:

W_t = Peso a elevar [kg]

F_p = Fuerza del pistón [N]

Como se puede observar en la figura 21 se tiene:

$$tg(\alpha_1) = \frac{b}{a}$$

Dónde:

$a = 560 \text{ mm}$

$b = 470 \text{ mm}$

$$\alpha_1 = \text{arctg}\left(\frac{470 \text{ mm}}{560 \text{ mm}}\right)$$

$$\alpha_1 = 40^\circ$$

También se tiene:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$

$$c = 731 \text{ mm}$$

$$\text{sen}(\theta) = \frac{Y}{L}$$

Derivando con respecto a Y

$$dY = L * \cos(\theta) * d\theta \quad (3)$$

$$\alpha_2 = 180 - \theta - (90^\circ - \alpha_1)$$

$$\alpha_2 = 90^\circ - \theta + \alpha_1 \quad (4)$$

Derivando con respecto a θ

$$d\alpha_2 = -d\theta \quad (5)$$

Aplicando ley de cosenos en el triángulo Sdc de la figura 21.

$$S = \sqrt{d^2 + c^2 - 2 * d * c * \cos\alpha_2}$$

Derivando con respecto a S

$$ds = \frac{d*c*(\text{sen}\alpha_2)*d\alpha_2}{\sqrt{d^2+c^2-2*d*c*\cos\alpha_2}} \quad (6)$$

Reemplazando (4) y (5) en (6)

$$ds = \frac{-d*c*\text{sen}(90^\circ-\theta+\alpha_1)*d\theta}{\sqrt{d^2+c^2-2*d*c*\cos(90^\circ-\theta+\alpha_1)}} \quad (7)$$

Reemplazando (2) y (6) en (1)

$$W_t * L * \cos\theta * d\theta + F_p \frac{-d * c * \text{sen}(90^\circ - \theta + \alpha_1) * d\theta}{\sqrt{d^2 + c^2 - 2 * d * c * \cos(90^\circ - \theta + \alpha_1)}} = 0$$

Despejando F_p se obtiene la ecuación de la fuerza necesaria del cilindro elevador

$$F_p = \frac{W_t * L * \cos\theta * \sqrt{d^2 + c^2 - 2 * d * c * \cos(90^\circ - \theta + \alpha_1)}}{d * c * \text{sen}(90^\circ - \theta + \alpha_1)} \quad (8)$$

Datos:

$$W_t = 1960 \text{ N}$$

$$L = 1050 \text{ mm}$$

$$c = 731 \text{ mm}$$

$$d = 390 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = 40^\circ$$

En altura $h = 13 \text{ cm}$ se tiene el valor $\theta = 44^\circ$, es el valor en el cual la plataforma está al nivel de referencia con la vereda.

Reemplazando los valores en la ecuación (8) tenemos:

$$F_p = \frac{1960 \text{ N} * 1,05 \text{ m} * \cos(44^\circ) \sqrt{(0,39)^2 + (0,731)^2 - 2 * 0,39 * 0,731 * \cos(90^\circ - 44^\circ + 40^\circ)}}{0,39 * 0,731 * \sin(90^\circ - 44^\circ + 40^\circ)}$$

$$F_p = 4182,13 \text{ N}$$

Tabla 4. Variación F_p con respecto a θ

θ [°]	F_p [N]
44	4182,13
40	4577,42
35	5088,20
30	5620,86
25	6179,88
20	6771,05
10	8083,28
5	8828,99
0	9670,46

Fuente: Autores

La mayor fuerza que necesita el cilindro neumático para elevar es en la posición $\theta = 0^\circ$ la cual es de 9670,46 N, esta nos servirá posteriormente para seleccionar el cilindro elevador, además para el diseño de los elementos en el cual actúa esta fuerza.

3.1.4 *Cálculo de reacciones en los elementos del mecanismo.* Las reacciones en los elementos del mecanismo se analizarán cuando $\theta = 0^\circ$, ya que esta es la posición crítica. Para este análisis se considera la carga media W y por ende la fuerza del pistón media F_{pm} , el peso y la fuerza del pistón son medias debido a que el análisis está realizado en 2 dimensiones por área tributaria las fuerzas aplicadas se distribuyen de igual forma en los eslabones.

Dónde:

W = Peso medio [N]

F_{pm} = Fuerza del pistón media [N]

$$W_t = 200 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_t = 1960 \text{ N}$$

$$W = \frac{W_t}{2} = \frac{1960 \text{ N}}{2}$$

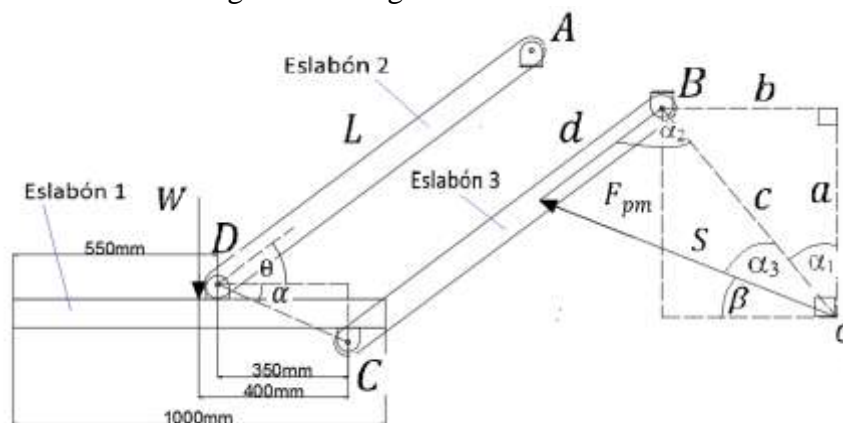
$$W = 980 \text{ N}$$

$$F_{pm} = \frac{F_p}{2} = \frac{9670,46 \text{ N}}{2}$$

$$F_{pm} = 4835,23 \text{ N}$$

El siguiente diagrama de eslabones del mecanismo se muestra en una posición cuando $\theta \neq 0^\circ$, para poder apreciar de mejor manera como actúa el mecanismo en las diferentes posiciones desde el nivel de referencia en la vereda hasta el piso del bus.

Figura 22. Diagrama de eslabones



Fuente: Autores

Aplicando ley de senos

$$\frac{\text{sen}(\alpha_3)}{d} = \frac{\text{sen}(\alpha_2)}{s} \quad (9)$$

$$\alpha_3 = \arcsen\left(\frac{d * \text{sen}(\alpha_2)}{s}\right)$$

$$\alpha_3 = 16,92^\circ$$

$$\alpha_1 + \alpha_3 + \beta = 90^\circ$$

$$\beta = 33,08^\circ$$

Se considera al mecanismo en equilibrio para el análisis de fuerzas, por eso se tienen las siguientes ecuaciones:

$$\Sigma F = 0 \quad (10)$$

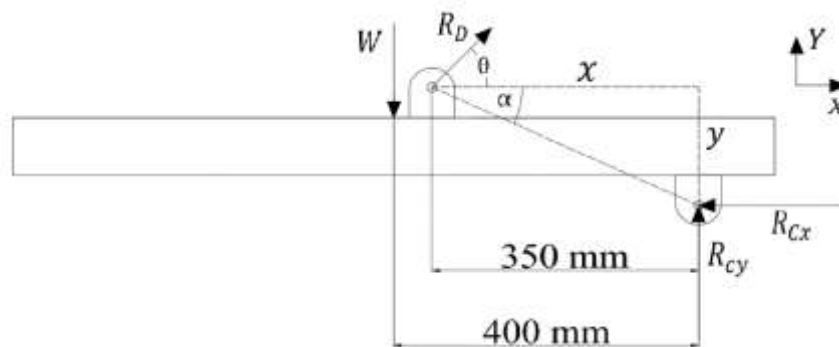
$$\Sigma F_x = 0; \Sigma F_y = 0; \Sigma F_z = 0$$

$$\Sigma M = 0 \quad (11)$$

Las fuerzas en el eje Z no serán consideradas en el análisis porque las fuerzas actuantes se encuentran en el plano XY, por este motivo los análisis serán realizados en este plano.

Reacciones en el eslabón 1.

Figura 23. Reacciones eslabón 1



Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura 23 se tiene:

$$\text{tg}(\alpha) = \frac{y}{x}$$

Dónde:

$$x = 350 \text{ mm}$$

$$y = 100 \text{ mm}$$

$$\alpha = \text{arctg}\left(\frac{100 \text{ mm}}{350 \text{ mm}}\right)$$

$$\alpha = 15,95^\circ$$

Calculamos las reacciones respecto al punto C para hallar la reacción R_D :

$$\Sigma M_C = 0$$

$$400W - R_D * \sqrt{x^2 + y^2} * \text{sen}(\theta + \alpha) = 0$$

$$R_D = \frac{400W}{\sqrt{x^2 + y^2} * \text{sen}(\theta + \alpha)}$$

$$R_D = \frac{400 * 980 \text{ N}}{\sqrt{(350)^2 + (100)^2} * \text{sen}(0^\circ + 15,95^\circ)}$$

$$R_D = 3920 \text{ N}; \theta = 0^\circ$$

$$R_{Dx} = R_D * \text{cos}(\theta)$$

$$R_{Dx} = 3920 \text{ N}$$

$$R_{Dy} = R_D * \text{cos}(\theta)$$

$$R_{Dy} = 0 \text{ N}$$

Calculamos la reacción R_D resultante:

$$R_D = \sqrt{(3920 \text{ N})^2 + (0)^2}$$

$$R_D = 3920 \text{ N}; \theta_D = 0^\circ$$

Se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje X para encontrar la reacción R_{Cx} .

$$\Sigma M_x = 0$$

$$R_{Cx} = R_D * \cos(\theta)$$

$$R_{Cx} = 3920 \text{ N}$$

Se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje Y para encontrar la reacción R_{Cy} .

$$\Sigma M_y = 0$$

$$R_{Cy} = W - R_D * \text{sen}(\theta)$$

$$R_{Cy} = (980 - 0) \text{ N}$$

$$R_{Cy} = 980 \text{ N}$$

Calculamos la reacción R_C resultante:

$$R_C = \sqrt{R_{Cx}^2 + R_{Cy}^2} \quad (12)$$

$$R_C = \sqrt{(3920 \text{ N})^2 + (980 \text{ N})^2}$$

$$R_C = 4040,64 \text{ N}; \theta_C = 165,96^\circ$$

Reacciones en el eslabón 2.

Figura 24. Reacciones eslabón 2



Fuente: Autores

Se realiza sumatoria de fuerzas en el eje X para calcular la reacción R_{Ax} .

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R_{Dx} = R_{Ax}$$

$$R_{Ax} = 3920 \text{ N}$$

Se realiza sumatoria de fuerzas en el eje Y para calcular la reacción R_{Ay} .

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{Dy} = R_{Ay}$$

$$R_{Ay} = 0$$

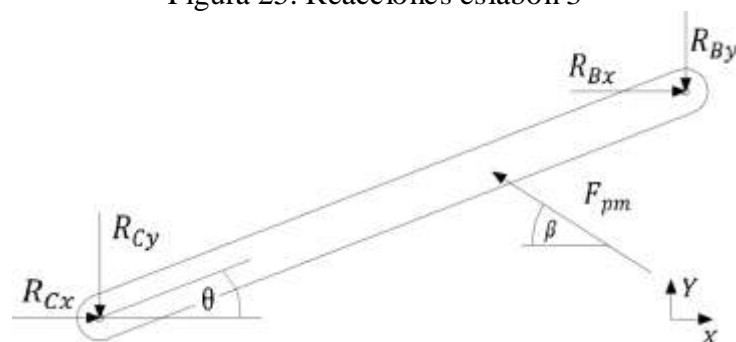
Calculamos la reacción R_A resultante:

$$R_A = \sqrt{(3920 \text{ N})^2 + (0 \text{ N})^2}$$

$$R_A = 3920 \text{ N}; \theta_A = 0^\circ$$

Reacciones en el eslabón 3.

Figura 25. Reacciones eslabón 3



Fuente: Autores

Se realiza la sumatoria de fuerzas en el eje X para encontrar la reacción en R_{Bx} .

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R_{Bx} = -R_{Cx} + F_{pm} * \cos(\beta)$$

$$R_{Bx} = -3920 N + 4835,23 N * \cos(33,08^\circ)$$

$$R_{Bx} = 131,48 N$$

Calculamos la reacción R_{By} , mediante la sumatoria de fuerzas en el eje Y.

$$\Sigma Fy = 0$$

$$R_{By} = -R_{Cy} + F_{pm} * \sin(\beta)$$

$$R_{By} = -980 N + 4835,23 N * \sin(33,08^\circ)$$

$$R_{By} = 1659,11 N$$

Calculamos la reacción R_B resultante:

$$R_B = \sqrt{(131,48 N)^2 + (1659,11 N)^2}$$

$$R_B = 1664,31 N ; \theta_B = 274,53^\circ$$

3.1.5 *Análisis de esfuerzos y deformación en los elementos.* Se analizan los esfuerzos y deformaciones de los componentes mecánicos del elevador con el fin de conocer si resiste o no cada elemento y así asegurar el correcto funcionamiento del elevador. Para este análisis se utiliza una herramienta muy potente de Elementos Finitos, el cual tiene un módulo Static Structural. Se considera que los elementos están estáticos para el análisis.

Los componentes mecánicos en su mayoría son de acero A36, cuyas propiedades mecánicas son importantes para realizar comparaciones de resultados el factor de seguridad se diseñara mayor a 2 en todos los componentes este valor es adecuado para este tipo de máquinas para asegurar que los elementos no fallen, las propiedades del material se muestran a continuación:

Figura 26. Propiedades acero ASTM A36

ASTM A36				
Características del acero: Acero estructural al carbono, de bajo-mediana resistencia y soldable. Con propiedades mecánicas garantizadas. Puede ser sometido a un proceso de cementación - temple - revenido.				
Estado de suministro: Laminado en caliente.				
Dimensiones: Rango Diámetros: 16 - 76 mm (5/8" - 3")				
COMPOSICIÓN QUÍMICA (% EN PESO MÁX.)				
% C	% MN	% SI	% P	% S
≤0,22	<1,20	≤0,4	≤0,04	≤0,05
PROPIEDADES MECÁNICAS:				
Esfuerzo Fluencia (MPa)	Esfuerzo Tracción (MPa)	Elongación %		

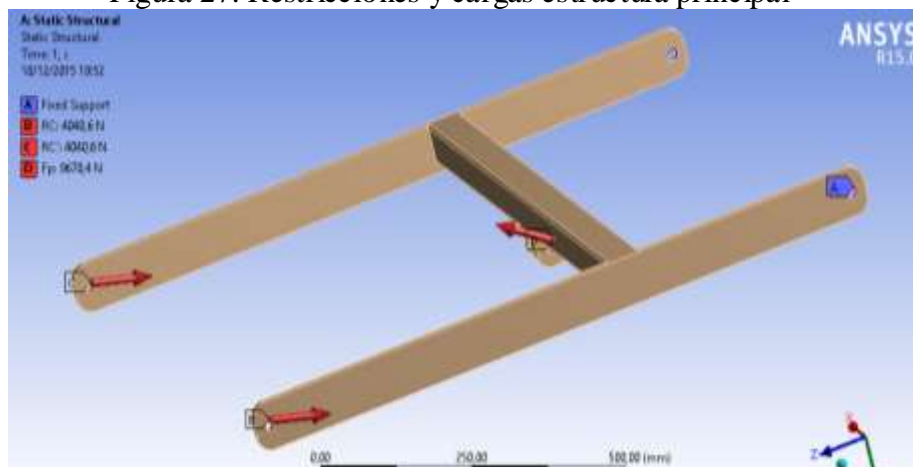
Fuente: <http://www.kupfer.cl/catalogos/catalogo-general/ACEROS.pdf>

3.1.5.1 Estructura principal del mecanismo

- Asignación de cargas y restricciones

Se aplican las cargas y reacciones en el mecanismo así como los soportes fijos que están en la unión de las orejas. La estructura principal consta de dos eslabones y un tubo central donde se encuentra una oreja para conectar con el cilindro neumático de elevación y descenso.

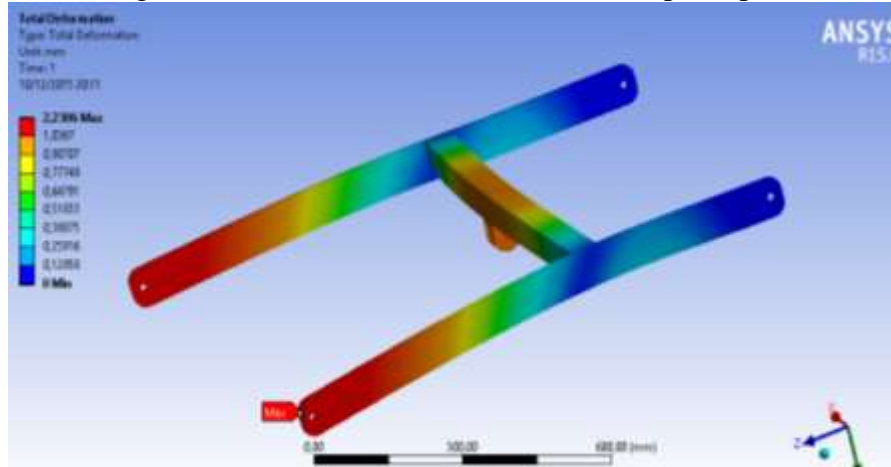
Figura 27. Restricciones y cargas estructura principal



Fuente: Software ANSYS

- Análisis de deformación

Figura 28. Análisis deformación estructura principal

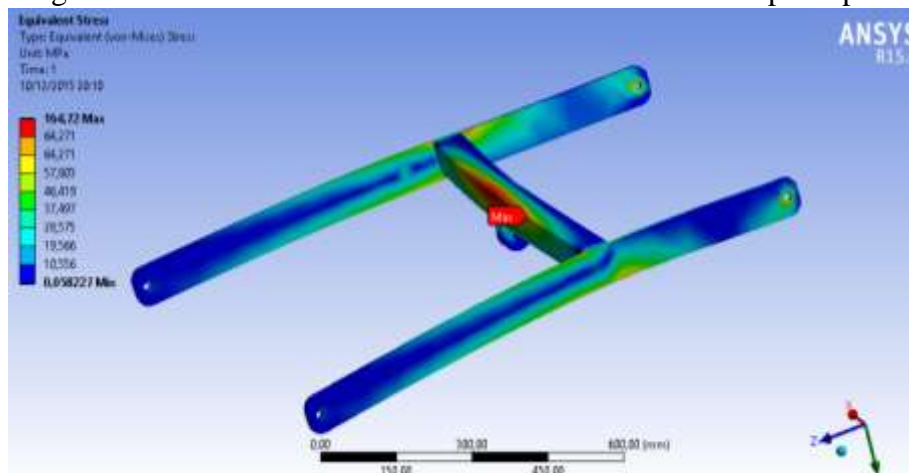


Fuente: Software ANSYS

La deformación máxima obtenida es de 2,23 mm la cuales no sobrepasa el límite permisible.

- Análisis de esfuerzo de von – Mises

Figura 29. Análisis de esfuerzo de von – Mises estructura principal



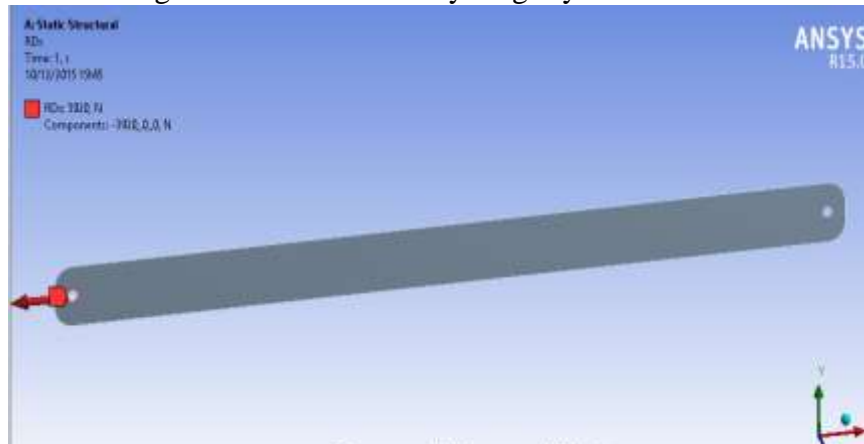
Fuente: Software ANSYS

Como se puede observar el esfuerzo máximo de von - Mises se encuentra en el centro del tubo central y este es 164,72 MPa, resiste ya que es menor al límite de fluencia del acero A36.

3.1.5.2 Diseño del eslabón

- Asignación de cargas y restricciones

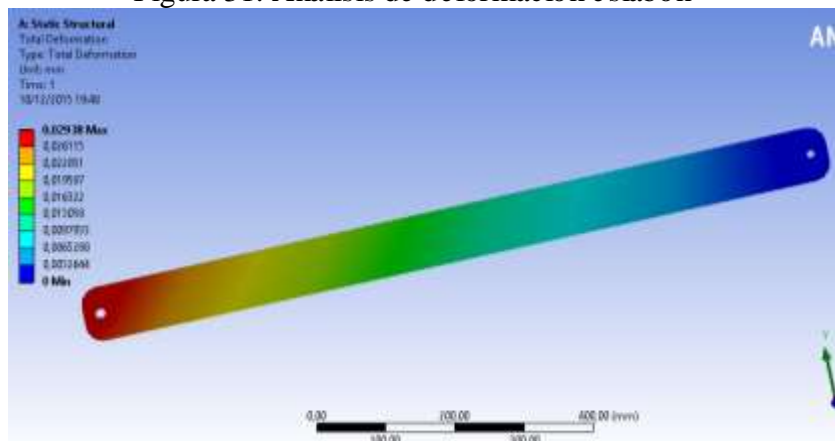
Figura 30. Restricciones y cargas y eslabón



Fuente: Software ANSYS

- Análisis de deformación

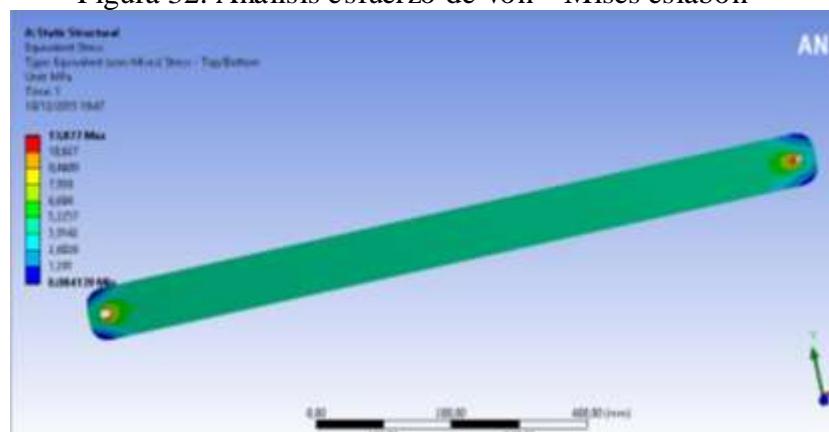
Figura 31. Análisis de deformación eslabón



Fuente: Software ANSYS

- Análisis de esfuerzo de von – Mises

Figura 32. Análisis esfuerzo de von – Mises eslabón



Fuente: Software ANSYS

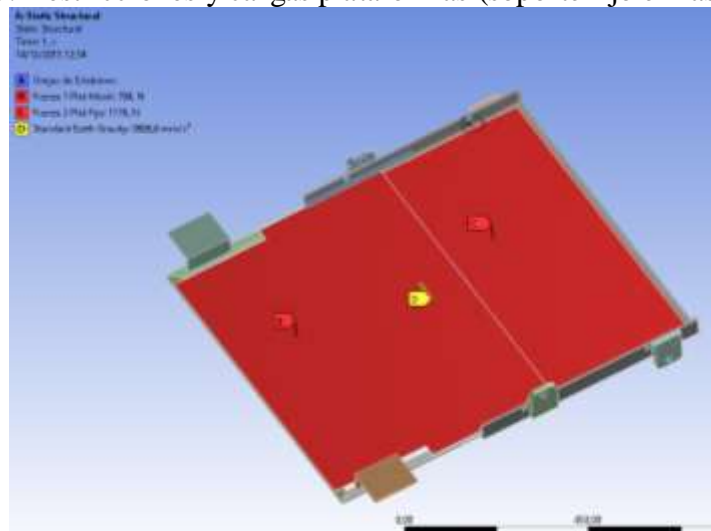
Como se puede observar el esfuerzo máximo de von - Mises se encuentra en la frontera de la perforación para el pasador y este es 13,88 MPa, resiste ya que es menor al límite de fluencia del acero A36.

3.1.5.3 *Diseño de las plataformas del elevador*

- Asignación de cargas y restricciones

Las Fuerzas están distribuidas en las dos plataformas la masa total es de 200 kgf, las fijaciones están realizadas en las orejas de las plataformas para este análisis.

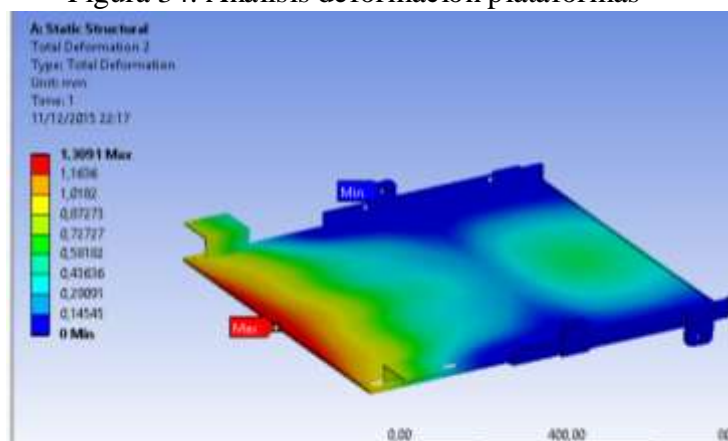
Figura 33. Restricciones y cargas plataformas (soporte fijo en las orejas)



Fuente: Software ANSYS

- Análisis de deformación

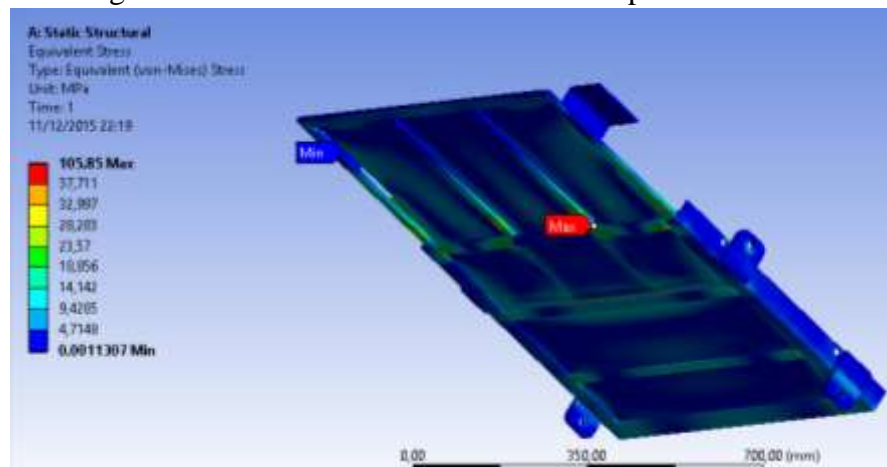
Figura 34. Análisis deformación plataformas



Fuente: Software ANSYS

- Análisis de esfuerzo de von – Mises

Figura 35. Análisis esfuerzos von – Mises plataformas



Fuente: Software ANSYS

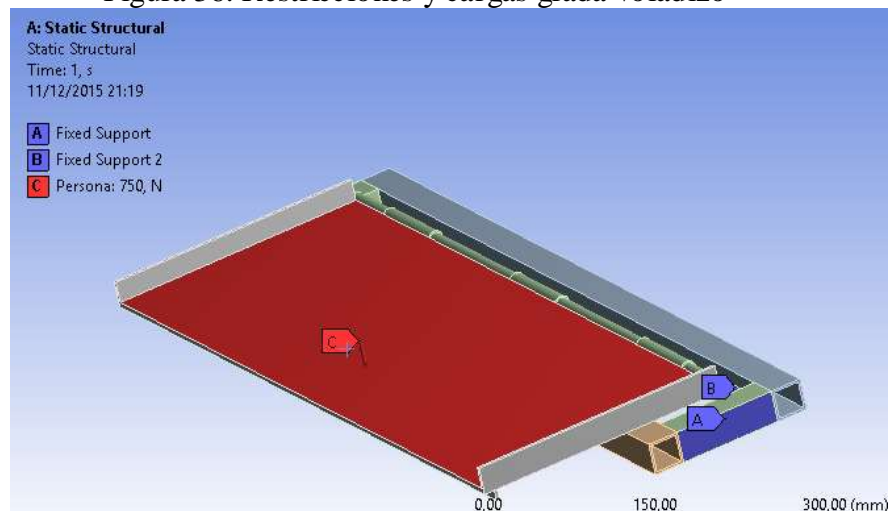
El máximo esfuerzo de von-Mises se da en la platina de la plataforma móvil este valor es de 105 MPa, el cual es menor que el límite de fluencia del acero A36 por lo cual resiste.

3.1.5.4 Diseño de la grada en voladizo

- Asignación de cargas y restricciones

La grada en voladizo posee bisagras para poder girar cuando sea necesario se deben aplicar las restricciones adecuadas.

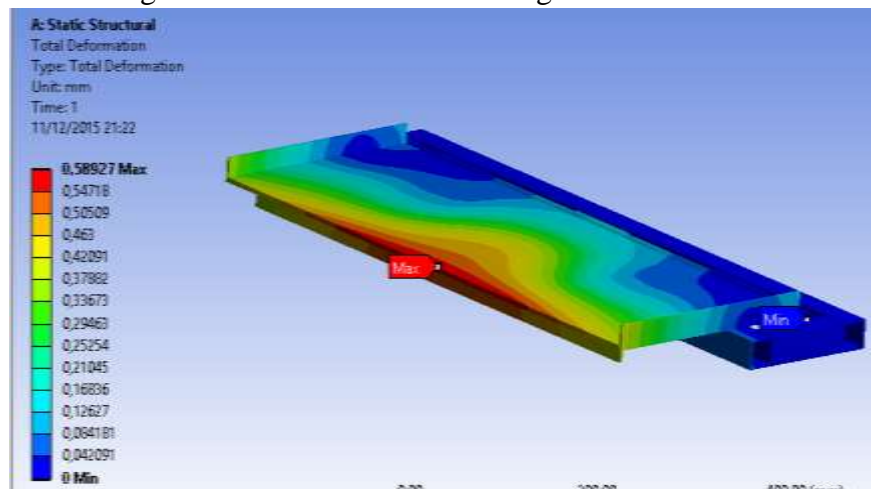
Figura 36. Restricciones y cargas grada voladizo



Fuente: Software ANSYS

- Análisis de deformación

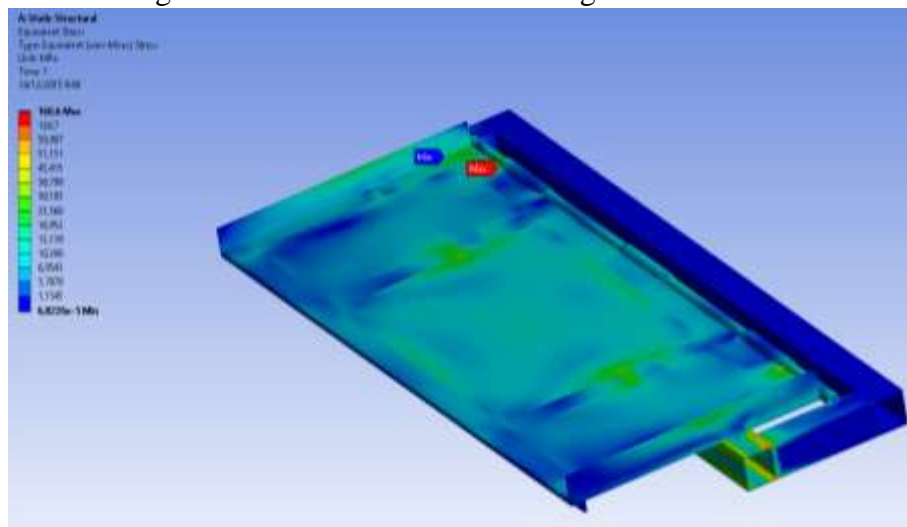
Figura 37. Análisis deformación grada voladizo



Fuente: Software ANSYS

- Análisis de esfuerzo de von – Mises

Figura 38. Esfuerzo de von- Mises grada voladizo



Fuente: Software ANSYS

El máximo esfuerzo producido a causa de las fuerzas aplicadas en la grada es de 160 MPa, que ocurre en la unión del tubo redondo con la grada este valor es menor que el límite de fluencia del acero A36 por lo cual se comprueba que la grada resiste.

3.1.5.5 *Diseño de la estructura.*

- Asignación de cargas y restricciones

Cargas debido al área

Estas cargas se establecieron según la NTE INEN 1323, en donde nos muestra que la masa de un ocupante es de 70 kg, por un espacio de 0,16 m² para un bus urbano.

Área de piso superior = 1,18 m²

70 kg → 0,16 m²

W_{ps} → 1,18 m²

$$W_{ps} = \frac{70 \text{ kg} * 1,18 \text{ m}^2}{0,16 \text{ m}^2} * \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$W_{ps} = 5059,25 \text{ N}$$

Área de primera grada = 0,45 m²

70 kg → 0,16 m²

W_{g1} → 0,46 m²

$$W_{g1} = \frac{70 \text{ kg} * 0,45 \text{ m}^2}{0,16 \text{ m}^2} * \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$W_{g1} = 1960 \text{ N}$$

Área de segunda grada = 0,215 m²

70 kg → 0,16 m²

W_{g2} → 0,215 m²

$$W_{g2} = \frac{70 \text{ kg} * 0,215 \text{ m}^2}{0,16 \text{ m}^2} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W_{g2} = 921,8 \text{ N}$$

Área de tercera grada = 0,215 m²

70 kg → 0,16 m²

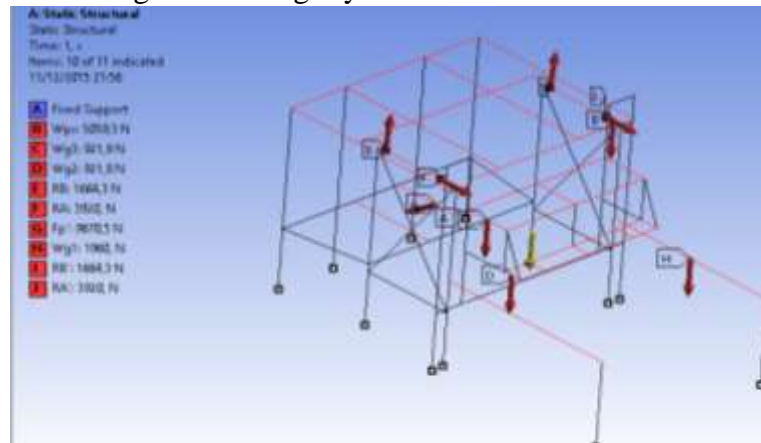
W_{g3} → 0,215 m²

$$W_{g3} = \frac{70 \text{ kg} * 0,215 \text{ m}^2}{0,16 \text{ m}^2} * \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$W_{g3} = 921,8 \text{ N}$$

- Asignación de cargas y restricciones estructura.

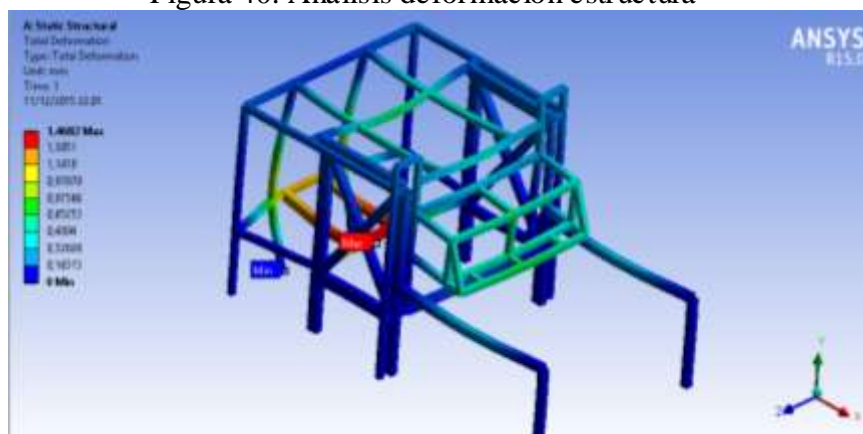
Figura 39. Cargas y restricciones estructura



Fuente: Software ANSYS

- Análisis de deformación

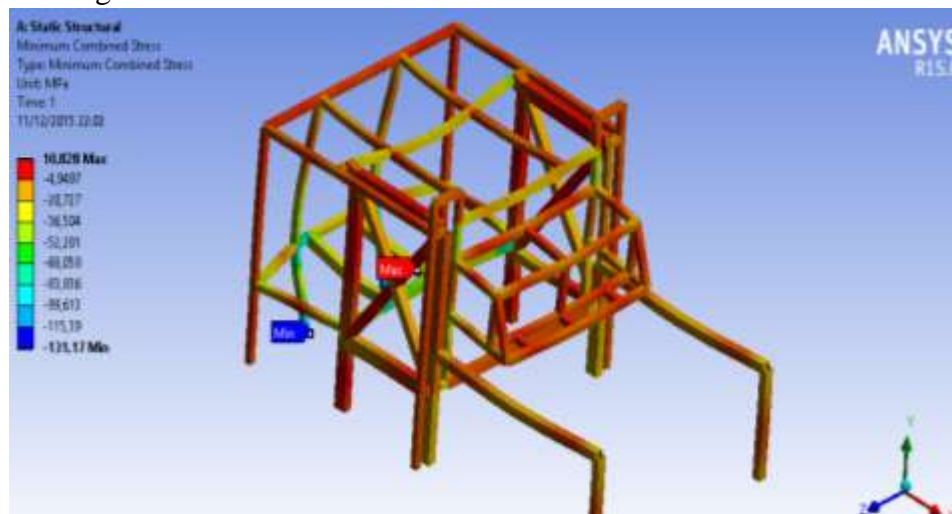
Figura 40. Análisis deformación estructura



Fuente: Software ANSYS

- Análisis de esfuerzo combinado mínimo estructura

Figura 41. Análisis de esfuerzo combinado mínimo estructura

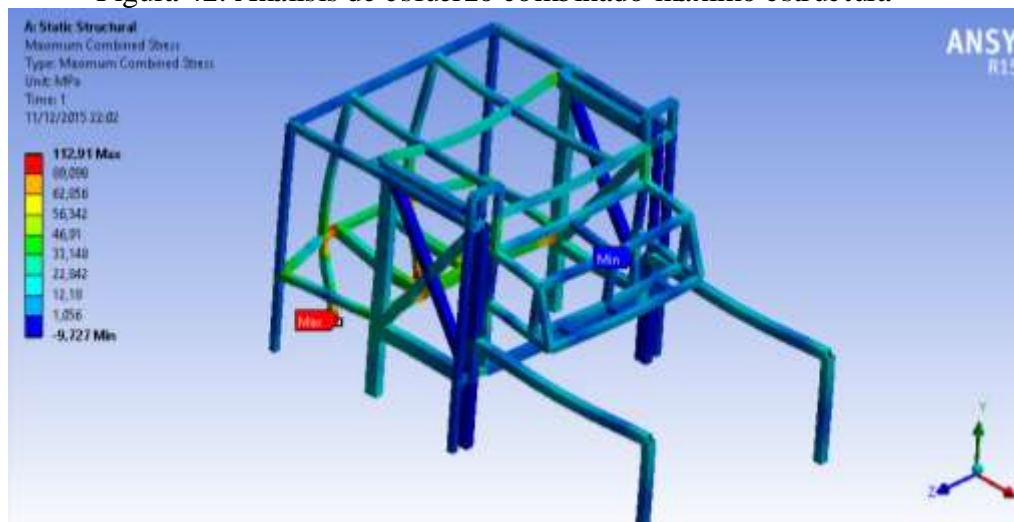


Fuente: Software ANSYS

Como se observa el esfuerzo combinado mínimo es de -131,17 MPa, la estructura resiste ya que el esfuerzo es inferior al límite de fluencia del acero A36.

- Análisis de esfuerzo combinado máximo estructura

Figura 42. Análisis de esfuerzo combinado máximo estructura



Fuente: Software ANSYS

El esfuerzo combinado máximo de la estructura se encuentra en la zona donde se ubica el cilindro neumático y este esfuerzo es de 112,91 MPa, resiste ya que este esfuerzo es menor que el límite de fluencia del acero A36.

3.1.5.6 *Diseño de la oreja superior para el pasador.*

- Asignación de cargas y restricciones

La reacción actuante máxima aplicada a las orejas sujetas a la estructura es R_A .

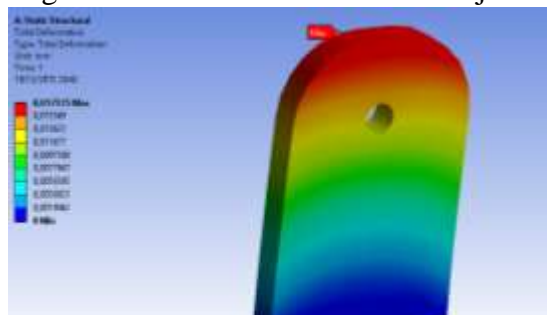
Figura 43. Restricciones y cargas oreja



Fuente: Software ANSYS

- Análisis de deformación

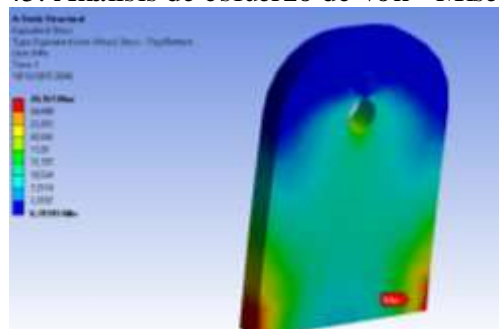
Figura 44. Análisis deformación oreja



Fuente: Software ANSYS

- Análisis de esfuerzo de von – Mises

Figura 45. Análisis de esfuerzo de von - Mises oreja



Fuente: Software ANSYS

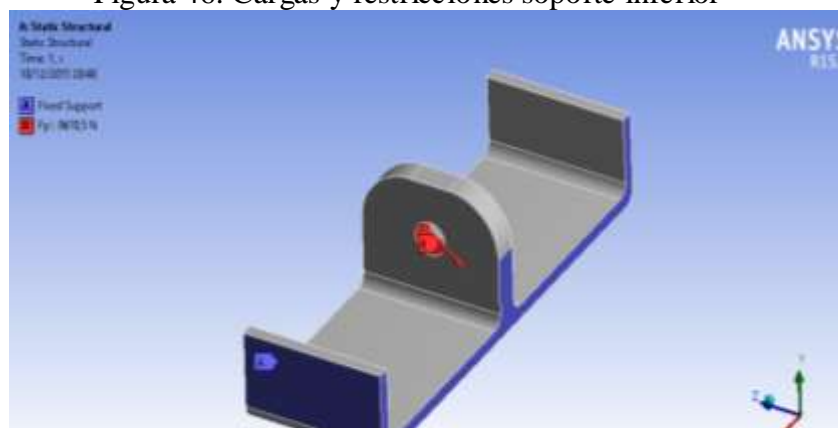
Como se puede observar el esfuerzo máximo de von Mises en la oreja es de 30,16 MPa y se ubica en la esquina inferior de esta, resiste ya que este esfuerzo es menor al límite de fluencia del acero A36 la oreja es la misma en todas la uniones por facilidad de construcción.

3.1.5.7 Soporte inferior del cilindro.

- Asignación de cargas y restricciones

La carga aplicada en este soporte es debida a la fuerza ejercida por el cilindro neumático, sobre la oreja que se utiliza como soporte para la articulación de la misma, la cual dependerá de la presión de trabajo en este caso 8 bar.

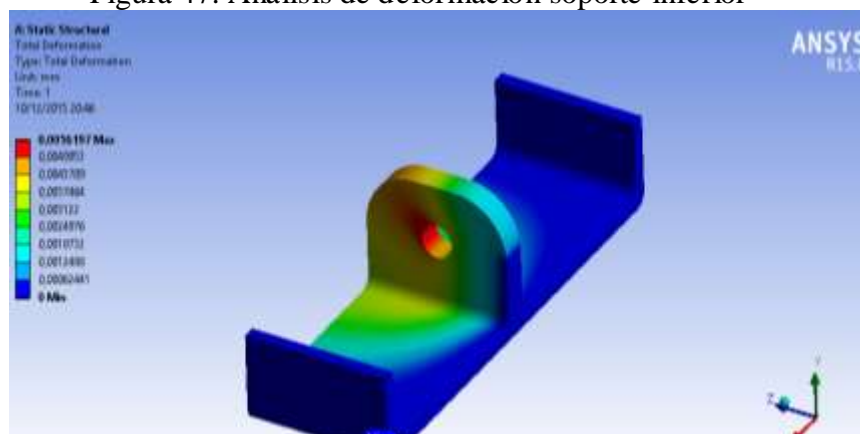
Figura 46. Cargas y restricciones soporte inferior



Fuente: Software ANSYS

- Análisis de deformación

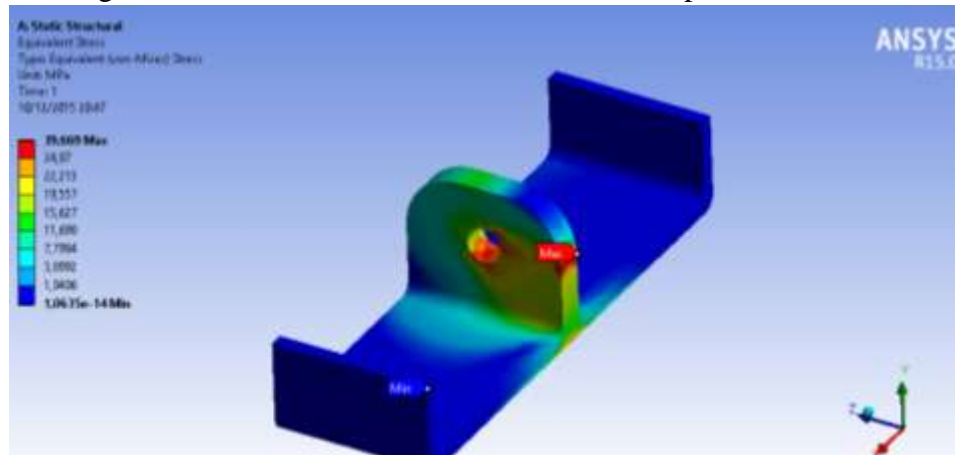
Figura 47. Análisis de deformación soporte inferior



Fuente: Software ANSYS

- Análisis de esfuerzo de von – Mises

Figura 48. Análisis de esfuerzo de von Mises soporte inferior



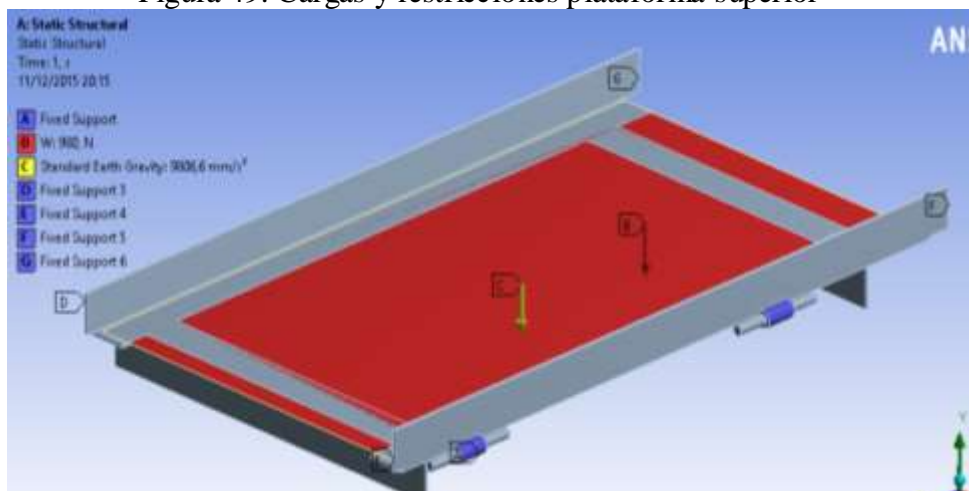
Fuente: Software ANSYS

Como se puede observar el esfuerzo máximo de von Mises en el soporte inferior del cilindro es de 39,67 MPa y se ubica en la frontera de la perforación para el pasador, el soporte inferior resiste ya que este esfuerzo es menor al límite de fluencia del acero A36.

3.1.5.8 Diseño de la plataforma superior.

- Asignación de cargas y restricciones

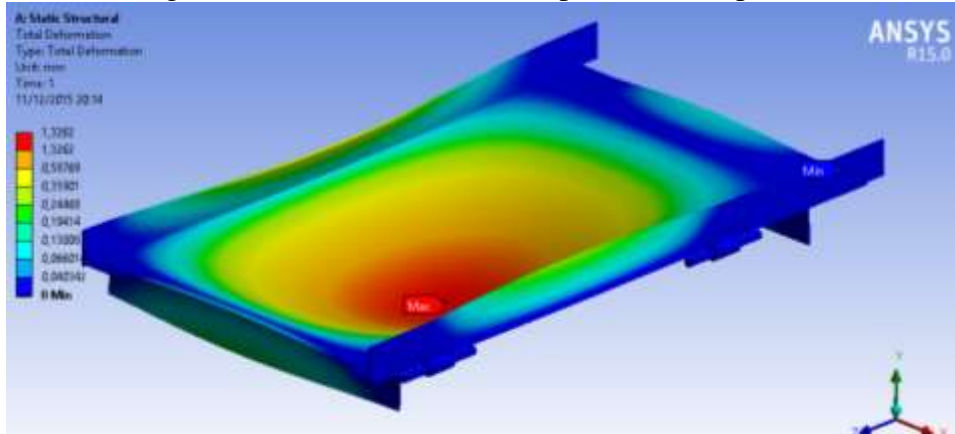
Figura 49. Cargas y restricciones plataforma superior



Fuente: Software ANSYS

- Análisis de deformación

Figura 50. Análisis deformación plataforma superior

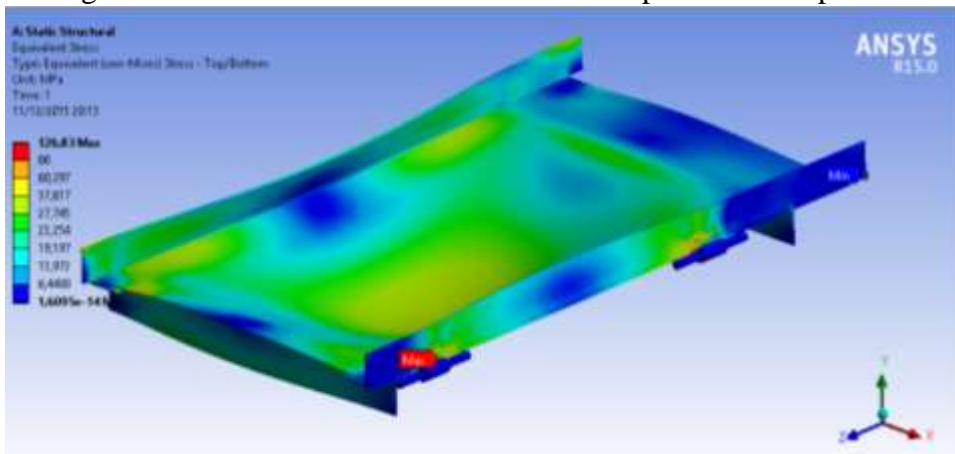


Fuente: Software ANSYS

La máxima deformación es de 1,3 mm que está dentro de los límites permisibles de deformación en este tipo de elementos.

- Análisis de esfuerzo de von – Mises

Figura 51. Análisis de esfuerzo de von-Mises plataforma superior



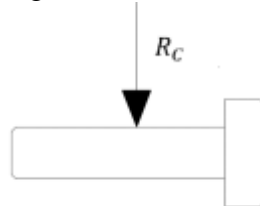
Fuente: Software ANSYS

El esfuerzo máximo de von Mises se encuentra en la unión de la bisagra y la plataforma, el valor es de 126,84 MPa, resiste ya que el esfuerzo es menor al límite de fluencia del acero A 36.

3.1.5.9 *Diseño de pasadores en los eslabones.* Para diseñar los pasadores se escogió la reacción resultante máxima.

La reacción resultante máxima es la R_c .

Figura 52. Pasador



Fuente: Autores

El cálculo se realizó mediante las siguientes ecuaciones: (HAMROCK, 2000)

Esfuerzo a corte:

$$\tau = \frac{4 \cdot R_C}{\pi \cdot D_1^2} \quad (13)$$

Dónde:

τ = Esfuerzo cortante [Pa]

D_1 = Diámetro del pasador [mm]

R_C = Reacción en C [N]

Esfuerzo admisible a corte:

$$S_{SY} = 0,5 \cdot S_y \quad (14)$$

Dónde:

S_y = Limite de fluencia [Pa]

S_{SY} = Esfuerzo admisible cortante [Pa]

Factor de seguridad:

$$n = \frac{S_{SY}}{\tau} \quad (15)$$

Reemplazando (8) y (9) en (10)

$$\frac{0,5 \cdot S_y \cdot (\pi \cdot D_1^2)}{4 \cdot R_C} = n \quad (16)$$

Para un factor de seguridad $n = 3$ se tiene:

$$\frac{0,5 * S_y}{\tau} = n$$

$$\frac{0,5 * S_y * (\pi * D_1^2)}{4R_c} = 3$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{12 * 4040,64 N}{0,5 * 250 MPa * \pi}}$$

De donde se obtiene el diámetro del pasador el cual es:

$$D_1 = 11,11 mm$$

Por accesibilidad de compra los pasadores serán de 12 mm de diámetro y por facilidad de construcción los demás pasadores del mecanismo serán iguales a este.

3.1.6 *Análisis del sistema neumático.*

3.1.6.1 *Selección de los cilindros neumáticos.* En los buses urbanos la presión habitual de trabajo es de 8 bar y la máxima presión es de 12 bar.

- Cilindro elevador

Mediante las siguientes ecuaciones encontramos el diámetro requerido del cilindro elevador.

Presión de trabajo: (HAMROCK, 2000)

$$P = \frac{F_p}{A_{p1}} \quad (17)$$

Dónde:

P = Presión de trabajo en buses urbanos = 8 Bar = 0,8 MPa

A_{p1} = Área transversal interna del pistón elevador [m²]

F_p = Fuerza del cilindro neumático elevador = 9670,46 N

D_{p1} = Diámetro interno del pistón elevador [m]

Área transversal interna del pistón elevador: (HAMROCK, 2000)

$$A_p = \frac{\pi * D_p^2}{4} \quad (18)$$

Reemplazando (13) en (12) tenemos:

$$P = \frac{4 * F_p}{\pi * D_{p1}^2}$$

Despejando D_{p1} :

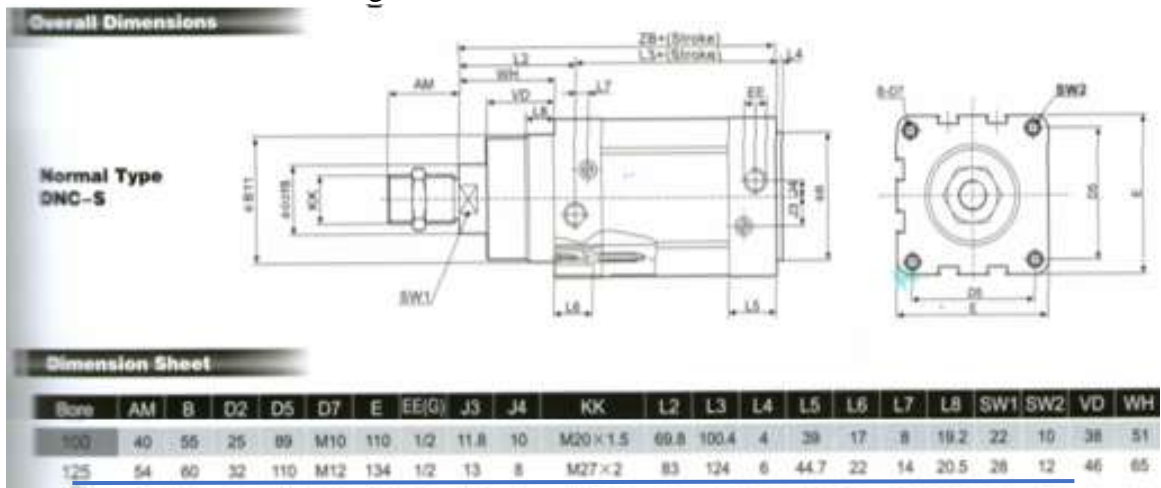
$$D_{p1} = \sqrt{\frac{4 * F_p}{\pi * P}}$$

El diámetro interno del pistón elevador es:

$$D_p = 0,124 \text{ m} \approx 12,5 \text{ cm}$$

En el catálogo de ITAIR se selecciona el siguiente cilindro con sus especificaciones.

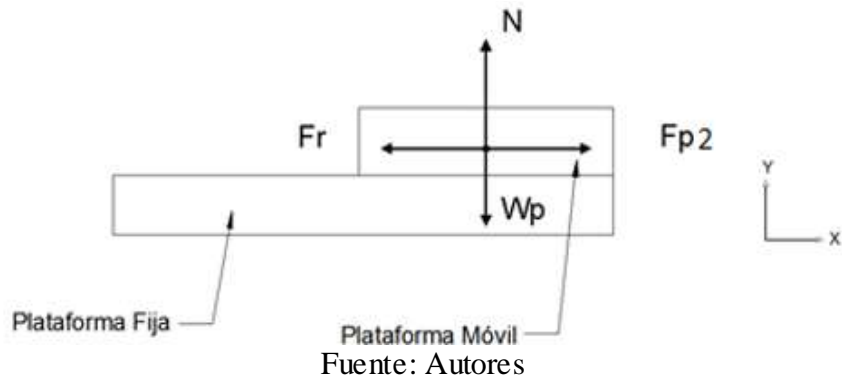
Figura 53. Características cilindro 1



Fuente: Catálogo ITAIR

- Selección del cilindro para la plataforma móvil.

Figura 54. Diagrama de cuerpo libre para el cilindro 2



En el diagrama de cuerpo libre se muestran las fuerzas actuantes en las plataformas.

Dónde:

W_p = Peso de la plataforma = 30 kgf = 290 N

Fr = Fuerza de rozamiento [N]

F_{p2} = Fuerza del pistón 2 [N]

N_l = Normal [N]

μ = Coeficiente de Fricción Estático entre Acero y Acero = 0,74

La fuerza del Pistón debe superar a la fuerza de Rozamiento para lo cual se considera un coeficiente de Rozamiento cinético entre acero y acero el cual es el material de contacto entre las dos plataformas. Este cilindro solo funciona en vacío, sin ningún peso a parte del peso propio.

Realizando Sumatoria de Fuerzas en el eje X para un sistema en Equilibrio

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_{p2} - Fr = 0$$

$$F_{p2} = Fr$$

$$Fr = \mu * N_1$$

$$F_{p2} = \mu * N_1 \quad (19)$$

Sumatoria de Fuerzas en el eje Y

$$\Sigma Fy = 0$$

$$N_1 - W_p = 0$$

$$N_1 = W_p$$

$$N_1 = 490 \text{ N} \quad (20)$$

Reemplazando (20) en (19) tenemos:

$$F_{p2} = 0,74 * 490 \text{ N}$$

$$F_{p2} = 362,6 \text{ N}$$

Con este dato se procede a calcular la diferencia entre el área transversal interna del pistón y el área transversal del vástago, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación de presión:

$$P = \frac{F_{p2}}{A_{p2} - A_{v2}} \quad (21)$$

Donde

P = Presión de trabajo = 0,8 MPa

A_{p2} = Área transversal interna del pistón 2 [m²]

A_{v2} = Área transversal del vástago 2 [m²]

Despejando:

$$A_{p2} - A_{v2} = \frac{F_{p2}}{P}$$

$$A_{p2} - A_{v2} = \frac{218 \text{ N}}{0.8 \text{ MPa}}$$

$$A_{p2} - A_{v2} = 2,73 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Se escogen diámetros tentativos en el catálogo ITAIR los cuales son:

D_{p2} = Diámetro interno del cilindro 2 = 32 mm

$$A'_{p2} = 8,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

D_{v2} = Diámetro vástago2 = 12 mm

$$A'_{v2} = 1,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Diferencia entre las áreas transversal interna del pistón y vástago seleccionados.

$$A'_{p2} - A'_{v2} = 6,94 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

La diferencia de áreas entre el área transversal interna del pistón y vástago seleccionados debe ser mayor a la diferencia de áreas calculadas previamente, debido a que la fuerza del pistón debe vencer la inercia de la plataforma.

$$A'_{p2} - A'_{v2} > A_{p2} - A_{v2}$$

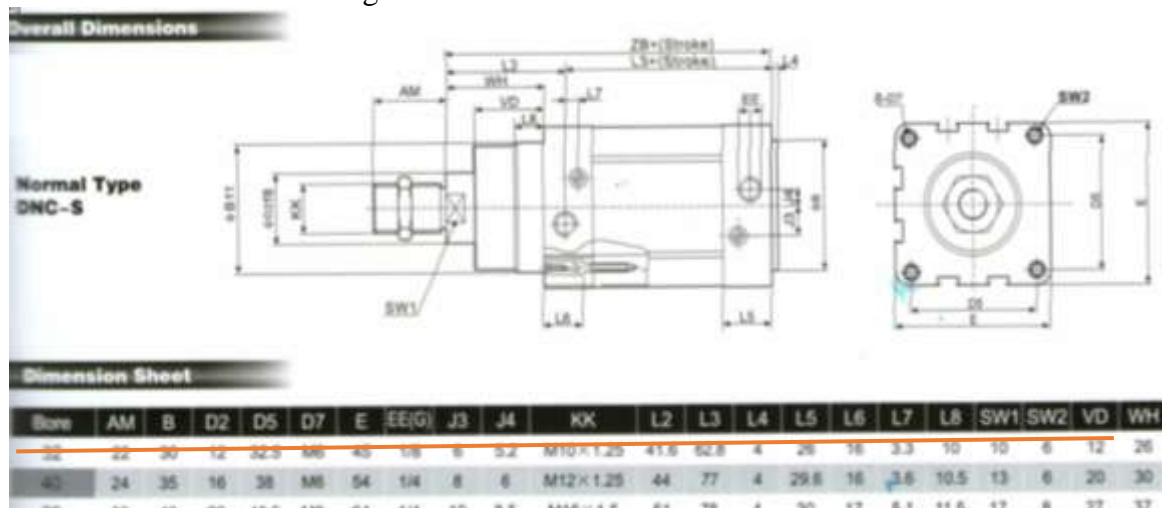
$$6,94 \times 10^{-4} \text{ m}^2 > 2,73 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F_{p2} \text{ seleccionada} > F_{p2} \text{ calculada}$$

$$562,4 \text{ N} > 221 \text{ N}$$

Ya que la fuerza es mayor a la que tiene que vencer se acepta los diámetros del cilindro, por lo tanto se escoge el cilindro neumático del catálogo ITAIR, donde se encuentran todas las dimensiones requeridas del cilindro que son los de menor diámetro encontrados en el catálogo del fabricante.

Figura 55. Características cilindro 2



Fuente: Catalogo Itair

3.1.6.2 Selección del compresor. Para la selección del compresor partimos de los datos de los cilindros seleccionados.

Datos:

P sistema = 8 bar

Cilindro 1

L_1 = Carrera 1 = 32 cm

D_{P1} = Diámetro Pistón 1 = 12,5 cm

D_{V1} = Diámetro vástago 1 = 3,2 cm

T_{i1} = Tiempo de ida 1 = 9 s

T_{r1} = Tiempo de retorno 1 = 9 s

Cilindro 2

L_2 = Carrera = 40 cm

D_{P2} = Diámetro cilindro 2 = 3,2 cm

D_{V2} = Diámetro vástago 2 = 1,2 cm

t_{i2} = Tiempo de ida 1 = 9 s

t_{r2} = Tiempo de retorno 2 = 9 s

Volumen de consumo de aire en los cilindros: (MORAN, 2011)

$$V_T = \left(\frac{\pi}{4} * Dp^2 * L + \frac{\pi}{4} * (Dp^2 - dv^2) * L \right) npz \quad (22)$$

$$p = \frac{P_{manometrica} + P_{atmosferica}}{P_{atmosferica}} \quad (23)$$

$$t_t = t_i + t_r \quad (24)$$

$$n = \frac{60 \text{ s}}{t_t} \quad (25)$$

Dónde:

n = Número de ciclos del vástago del cilindro al minuto.

p = Relación de compresión.

z = Número de cilindros.

Dp = Diámetro del cilindro.

dv = Diámetro del vástago.

L = Carrera del cilindro.

t_t = Tiempo total

- Cálculos cilindro 1

$$t_{t1} = 9 \text{ s} + 9 \text{ s} = 18 \text{ s}$$

$$n = \frac{60 \text{ s}}{18 \text{ s}} = 3,33 \text{ Ciclos por minuto}$$

$$p = \frac{8 \text{ atm} + 0,72 \text{ atm}}{0,72 \text{ atm}} = 12,11$$

$$z=1$$

$$V_{T1} = \left(\frac{\pi}{4} * 12,5^2 * 32 + \frac{\pi}{4} * (12,5^2 - 3,2^2) * 32 \right) \frac{3,33}{\text{min}} * 12,11 * 1$$

$$V_{T1} = 306,343 \times 10^3 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

- Cálculos cilindro 2

$$t_{t2} = 9 \text{ s} + 9 \text{ s} = 18 \text{ s}$$

$$n = \frac{60 \text{ s}}{18 \text{ s}} = 3,33 \text{ Ciclos al minuto}$$

$$p = \frac{8 \text{ atm} + 0,72 \text{ atm}}{0,72 \text{ atm}} = 12,11$$

$$z=1$$

$$V_{T2} = \left(\frac{\pi}{4} * 3,2^2 * 40 + \frac{\pi}{4} * (3,2^2 - 1,2^2) * 40 \right) \frac{3,33}{\text{min}} * 12,11 * 1$$

$$V_{T2} = 241,215 \times 10^2 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

Volumen total de cilindros

$$V_{TC} = V_{T1} + V_{T2} = 306,343 \times 10^3 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} + 241,215 \times 10^2 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} = 330,46 \times 10^3 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

$$V_{TC} = 5,5 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Volumen de accesorios

$$V_{ac} = 15\%V_{TC} = 0,15 * 5,5 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 8,26 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Volumen total de consumo

$$V_{TT} = V_{ac} + V_{TC} = 5,5 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 8,26 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_{TT} = 6,32 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Cálculo de la potencia absorbida (considerando un proceso isotérmico). (MORAN, 2011)

$$\text{Pot} = p_1 * V_{TT} * \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \quad (26)$$

Dónde:

p_1 = Presión atmosférica local = 0,72 atm = 72,93 MPa

V_{TT} = Volumen total de consumo [m^3/s].

p_2 = Presión del sistema = 8 atm.

$$\text{Pot} = 72,93 \text{ Pa} * 6,32 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \ln\left(\frac{8 \text{ atm}}{0,72 \text{ atm}}\right) = 1109,95 \text{ Watts} = 1,48 \text{ HP}$$

- Datos para seleccionar el compresor.

$V_{TT} = 6,32 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

Presión Máxima de Trabajo = 12 bar

Pot = 1,48 HP

- Selección del tanque: (MORAN, 2011)

$$V_{tan} = \frac{Q * t * P_{atm}}{\Delta P} \quad (27)$$

Dónde:

Q = Caudal total de Consumo [m^3/s]

t = Tiempo de reposición del aire = 5 min aconsejable

ΔP = Diferencia de Presiones en el tanque [bar]

P_{atm} = Presión atmosférica [bar]

- Calculo de caudal: (MORAN, 2011)

En el cilindro 1

$$Q_{ida} = \left(\frac{\pi}{4} * Dp1^2 * \frac{L1}{t_{ida}} \right) \quad (28)$$

$$Q_{ida} = \left(\frac{\pi}{4} * (12,5 \text{ cm})^2 * \frac{32 \text{ cm}}{9 \text{ s}} \right) = 436,33 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{retorno} = \left(\frac{\pi}{4} * (Dp1^2 - Dv1^2) * \frac{L1}{t_{retorno}} \right) \quad (29)$$

$$Q_{retorno} = \left(\frac{\pi}{4} * (12,5 \text{ cm})^2 - (3,2 \text{ cm})^2 \right) * \frac{32 \text{ cm}}{9 \text{ s}} = 407,73 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

En el cilindro 2

$$Q_{ida} = \left(\frac{\pi}{4} * Dp2^2 * \frac{L2}{t_{ida}} \right) = \left(\frac{\pi}{4} * (3,2 \text{ cm})^2 * \frac{40 \text{ cm}}{9 \text{ s}} \right) = 35,74 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{retorno} = \left(\frac{\pi}{4} * (Dp2^2 - Dv2^2) * \frac{L2}{t_{retorno}} \right)$$

$$Q_{retorno} = \left(\frac{\pi}{4} * (3,2 \text{ cm})^2 - (1,2 \text{ cm})^2 \right) * \frac{40 \text{ cm}}{9 \text{ s}}$$

$$Q_{retorno} = 30,71 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{total} = \Sigma Q \text{ en los cilindros} = (436,33 + 407,73 + 35,74 + 30,71) = 910,51 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{total} = 0,054 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$V_{tan} = \frac{0,054 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * 5 \text{ min} * 0,72 \text{ bar}}{(12 - 8) \text{ bar}} = 0,049 \text{ m}^3 = 49,16 \text{ l}$$

El volumen del tanque en los buses urbanos es de 50 litros, el chasis HINO uno de los más utilizados posee 2 tanques de 50 litros cada uno y la presión de trabajo es de 8 a 10 bar. Estos valores son suficientes para el funcionamiento del elevador, o también se

puede adaptar otro tanque en caso de ser necesario así como otro compresor independiente como se lo utiliza para el aire acondicionado.

Figura 56. Tanque de aire chasis HINO Ak



Fuente: <http://carros.mitula.ec/offer-detalle/189122/67001/5/1/nissan-diesel/Silovendes>

3.1.6.3 Selección de válvulas y accesorios

- Válvula para elevar y descender la plataforma.

Para los ciclos que debe realizar el elevador se ha considerado las diferentes alturas que pueden presentar las veredas en la ciudad para lo cual la distancia de descenso de la plataforma será variable de acuerdo a la vereda.

La válvula que permitirá controlar la distancia de descenso a diferentes posiciones es una válvula 5/3 (5 vías 3 posiciones) con centro cerrado accionado por palanca con una conexión $\frac{1}{4}$ y su presión máxima de trabajo es 12 bar.

Figura 57. Válvula 5/3 marca XCPC



Fuente: Autores

- Válvula para desplegar y replegar la plataforma móvil

Para la plataforma móvil el ciclo que cumple es de ida y vuelta con su carrera completa por lo cual se ha seleccionado una válvula direccional accionada por botón 5/2 (5 vías 2 posiciones) conexión $\frac{1}{8}$ la cual permite cumplir este ciclo.

Figura 58. Válvula 5/2 marca univerItaly



Fuente: Autores

- Válvula distribuidora

Además se debe contar con una válvula distribuidora para el abastecimiento de aire al cilindro de despliegue y al cilindro elevador, cuenta con cuatro salidas de las cuales se utilizan 2 en caso de implementar algún otro accesorio se puede utilizar las dos entradas libres.

Figura 59. Válvula distribuidora



Fuente: Autores

- Mangueras neumáticas

Las mangueras seleccionadas son de Poliuretano de 8 mm diámetro las cuales son suficientes para realizar los procesos correspondientes y son utilizadas en autobuses urbanos e interprovinciales en el país.

Figura 60. Mangueras neumáticas



Fuente: Autores

- Válvulas estranguladoras

Para el control de velocidad de los cilindros y paso de aire (caudal) se cuenta con válvulas de estrangulamiento en los 2 cilindros tanto en ida y vuelta.

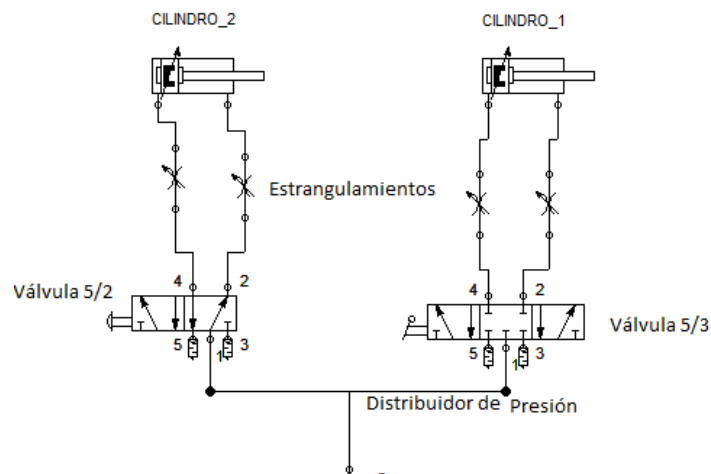
Figura 61. Válvula de estrangulación



Fuente: Autores

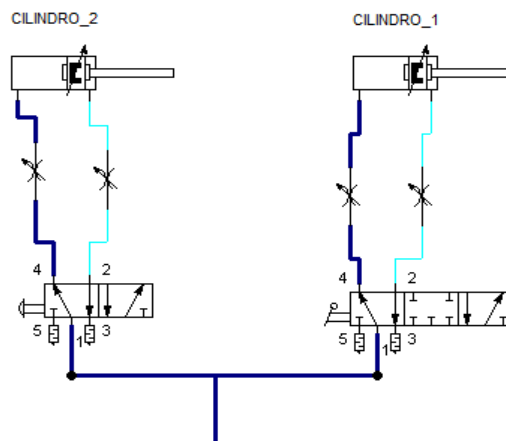
3.1.6.4 Diagrama del sistema neumático.

Figura 62. Circuito neumático



Fuente: Software Fluid Sim

Figura 63. Funcionamiento sistema neumático



Fuente: Software Fluid Sim

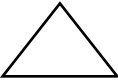


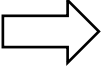


En la figura 63 se puede observar las líneas presurizadas por las cuales circula el aire para cumplir los ciclos de funcionamiento en los dos cilindros mediante todos los componentes del circuito neumático como son las válvulas, estranguladores, cilindros, compresor y mangueras.

3.2 Construcción y montaje

3.2.1 Procesos de construcción. El prototipo posee diferentes partes para las cuales se ha elaborado diagramas de procesos de acuerdo con los parámetros de diseño en el cual se detallan ordenadamente los pasos que se siguieron secuencialmente para su construcción así como los tiempos invertidos en cada operación y distancias recorridas en cada paso.

Los procesos cumplen con la normativa ASME, cumpliendo con la parte técnica para obtener resultados óptimos de tiempos de construcción los cuales pueden variar dependiendo el factor humano.

Tabla 5. Norma ASME procesos

Símbolo	Significado	Para que se utiliza
	Origen	Este símbolo sirve para identificar el paso preciso que da al proceso, este paso no forma en si parte del nuevo proceso
	Operación	Hay una operación cada vez que un documento es cambiado intencionalmente en cualquiera de sus características.
	Inspección	Indica cada vez que un documento o paso del proceso se verifica. Se coloca cada vez que un documento es examinado.
	Transporte	Indica cada vez que un documento o equipo se mueve o traslada a otra oficina u/o funcionario.
	Demora	Indica cuando un documento o equipo se mueve o traslada a otra oficina y/o funcionario.
	Almacenamiento	Indica el depósito permanente de un documento o equipo. También se puede utilizar para guardar o proteger.

Fuente: <http://www.ansi.org/>

3.2.1.1 Diagramas de procesos. A continuación se muestran los respectivos diagramas de procesos seguidos para la construcción de cada componente de la plataforma elevadora, para identificar los tiempos de construcción y las distancias recorridas.

Tabla 6. Construcción estructura principal

Trabajo: Construcción de la estructura principal								
N°: 1								
Fecha : 05 Octubre del 2015								
Material: Tubo cuadrado negro 30X2 mm, Tubo de 60x40x2 mm.								
Preparado por: Juan Hernández, Henry Verdugo								
Paso	Descripción del proceso	Símbolos					Tiempo [min]	Distancia [m]
1	Sacar los tubos de la bodega	●	⇒	□	D	▽	3	
2	Medir los tubos y rayar	●	⇒	□	D	▽	15	
3	Llevar tubos a la mesa de trabajo	○	⇒	□	D	▽	5	5
4	Cortar tubos a medidas indicadas	●	⇒	□	D	▽	20	
5	Verificar las medidas exactas	○	⇒	■	D	▽	10	
6	Pulir las rebabas que sobresalen	●	⇒	□	D	▽	10	
7	Puntear los tubos a medida	●	⇒	□	D	▽	30	
8	Escuadrar los tubos correctamente	●	⇒	□	D	▽	60	
9	Verificar la alineación de todas las partes	●	⇒	□	D	▽	40	
10	Cambio de herramienta	○	⇒	□	■	▽	2	
11	Rematar la soldadura en todas las secciones	●	⇒	□	D	▽	40	
12	Cambio de Herramienta	○	⇒	□	■	▽	2	
13	Pulir la Soldadura excesiva	●	⇒	□	D	▽	60	
14	Guardar la Estructura en la bodega	○	⇒	□	D	▽	3	
						Total	300	5

Fuente: Autores

Tabla 7. Construcción plataforma móvil

Trabajo: Construcción de la plataforma móvil								
N° 2								
Fecha: 6 de Octubre del 2015								
Materiales: Platina de 25 x 6 mm, Plancha acero 2 mm, Angulo 25x2 mm.								
Preparado por: Juan Hernández, Henry Verdugo								
Paso	Descripción del proceso	Símbolos					Tiempo [min]	Distancia [m]
1	Sacar los Materiales de bodega	●	→	□	D	▽	5	
2	Medir las platinas y rayar con las medidas.	●	→	□	D	▽	10	
3	Llevar las platinas a la mesa de trabajo.	○	→	□	D	▽	3	5
4	Cortar las platinas a Medidas indicadas.	●	→	□	D	▽	10	
5	Verificar las medidas exactas	○	→	■	D	▽	5	
6	Pulir las rebabas en exceso	●	→	□	D	▽	5	
7	Puntear las platinas a medida	●	→	□	D	▽	10	
8	Escuadrar la estructura de platinas.	●	→	□	D	▽	15	
9	Verificar la alineación de las platinas.	●	→	□	D	▽	10	
10	Cambio de herramienta adecuada	○	→	□	D	▽	2	
11	Rematar la soldadura en la estructura	●	→	□	D	▽	20	
12	Cambio de herramienta adecuada	○	→	□	D	▽	2	
13	Pulir la Soldadura en exceso	●	→	□	D	▽	20	
14	Cortar la plancha estriada a medida.	○	→	□	D	▽	10	
15	Verificar medidas exactas.	○	→	■	D	▽	5	
16	Soldar plancha sobre estructura de platinas.	●	→	□	D	▽	10	
17	Cambio de herramienta adecuada	○	→	□	D	▽	2	
18	Pulir la soldadura en exeso	●	→	□	D	▽	5	
19	Guardar la plataforma en bodega	○	→	□	D	▽	3	
						Total	152	5

Fuente: Autores

Tabla 8. Construcción plataforma fija

Trabajo: Construcción de la plataforma fija								
N°3								
Fecha: 7 de Octubre del 2015								
Materiales: Platina de 25x12 mm, Plancha estriada e = 2 mm, Angulo de 50x50x4 mm								
Preparado por: Juan Hernández, Henry Verdugo								
Paso	Descripción del proceso	Símbolos					Tiempo [min]	Distancia [m]
1	Sacar los Materiales de bodega	●	⇒	□	⊔	▽	5	
2	Medir los materiales y rayar.	●	⇒	□	⊔	▽	20	
3	Llevar los materiales a la mesa de trabajo.	○	⇒	□	⊔	▽	5	5
4	Cortar los materiales a las Medidas indicadas.	●	⇒	□	⊔	▽	20	
5	Verificar las medidas exactas	○	⇒	■	⊔	▽	10	
6	Pulir las rebabas en exceso	●	⇒	□	⊔	▽	5	
7	Puntear las platinas con el ángulo de 50x50.	●	⇒	□	⊔	▽	10	
8	Escuadrar la estructura a medida	●	⇒	□	⊔	▽	15	
9	Verificar la alineación de la estructura.	○	⇒	■	⊔	▽	10	
10	Cambio de Herramienta adecuada	○	⇒	□	⊔	▽	2	
11	Rematar la soldadura exacta	●	⇒	□	⊔	▽	20	
12	Cambio de Herramienta adecuada	○	⇒	□	⊔	▽	2	
13	Pulir la Soldadura en exceso	●	⇒	□	⊔	▽	20	
14	Cortar la plancha estriada a medida.	○	⇒	□	⊔	▽	10	
15	Verificar medidas exactas	○	⇒	■	⊔	▽	5	
16	Soldar plancha sobre estructura	●	⇒	□	⊔	▽	10	
17	Cambio de Herramienta adecuada	○	⇒	□	⊔	▽	2	
18	Pulir soldadura que está en exceso	●	⇒	□	⊔	▽	5	
19	Soldar ángulos de 25x25x2	●	⇒	□	⊔	▽	5	
20	Guardar la estructura en bodega	○	⇒	□	⊔	▽	3	
Total							184	5

Fuente: Autores

Tabla 9. Construcción plataforma superior

Trabajo: Construcción de la plataforma superior.								
Nº4								
Fecha : 08 Octubre del 2015								
Material: Angulo de 30x30x2 mm, Plancha corrugada e = 2 mm								
Preparado por: Juan Hernández, Henry Verdugo								
Paso	Descripción del proceso	Símbolos					Tiempo [min]	Distancia [m]
1	Sacar los materiales de la bodega	●	⇒	□	D	▽	3	
2	Medir los ángulos, plancha y rayar	●	⇒	□	D	▽	10	
3	Llevar materiales a la mesa de trabajo	○	⇒	□	D	▽	5	5
4	Cortar materiales a Medidas indicadas	●	⇒	□	D	▽	15	
5	Verificar las medidas exactas	○	⇒	■	D	▽	5	
6	Pulir las rebabas en exceso	●	⇒	□	D	▽	10	
7	Puntear los ángulos a medida	●	⇒	□	D	▽	20	
8	Escuadrar los ángulos a medida	●	⇒	□	D	▽	60	
9	Verificar la alineación de todas las partes	●	⇒	□	D	▽	10	
10	Cambio de herramienta	○	⇒	□	■	▽	2	
11	Rematar la soldadura completa	●	⇒	□	D	▽	10	
12	Cambio de herramienta adecuada	○	⇒	□	■	▽	2	
13	Pulir la Soldadura en exceso	●	⇒	□	D	▽	15	
14	Colocar la plancha en la estructura	●	⇒	□	D	▽	5	
15	Guardar la Estructura en la bodega	○	⇒	□	D	▽	3	
Total							175	5

Fuente: Autores

De las tablas de procesos de construcción de los elementos del elevador obtenemos resultados totales, un tiempo de construcción de 811 minutos y una distancia total recorrida de 20 metros.

3.2.2 Elementos del módulo construidos.

A continuación se presentan todas las partes del elevador construidas.

Figura 64. Estructura principal



Fuente: Autores

Figura 65. Plataforma fija



Fuente: Autores

Figura 66. Plataforma móvil



Fuente: Autores

Figura 67. Eslabones del elevador



Fuente: Autores

Figura 68. Plataforma superior



Fuente: Autores

3.2.3 Montaje del módulo.

1) Unión de la estructura con la plataforma fija

Colocar las orejas para la unión de eslabones en la estructura principal y en la plataforma Fija.

Figura 69. Colocación de eslabones



Fuente: Autores

- 2) Unir mediante los eslabones la plataforma fija con la estructura principal

Figura 70. Unión de la plataforma fija con la estructura



Fuente: Autores

- 3) Colocar orejas para la ubicación del cilindro1 en los eslabones y la estructura principal.

Figura 71. Ubicación de orejas para cilindro



Fuente: Autores

- 4) Colocación del soporte en la plataforma fija para colocación del cilindro de despliegue.

Figura 72. Soporte para cilindro 2



Fuente: Autores

- 5) Colocación de las plataformas superiores a nivel de referencia del piso del bus junto con los seguros correspondientes de la misma.

Figura 73. Plataforma superior



Fuente: Autores

- 6) Colocar los cilindros

Figura 74. Colocación de cilindros



Fuente Autores

- 7) Forrado externo

Figura 75. Forrado externo



Fuente: Autores

- 8) Luego de realizar las respectivas pruebas de funcionamiento se procede a pintar todas las partes del elevador.

Figura 76. Pintura de elementos



Fuente: Autores

- 9) Colocar el mando de control

Figura 77. Colocación mando Control



Fuente: Autores

10) Colocar madera y tapiz

Figura 78. Colocación de la madera y tapiz



Fuente: Autores

3.3 Pruebas del prototipo

3.3.1 Pruebas de funcionamiento. Al realizar las pruebas de funcionamiento se realizaron pruebas en vacío (sin carga) en esta etapa se reguló la velocidad de desplazamiento (repliegue y pliegue) de la plataforma móvil con las válvulas estranguladoras.

Además se revisaron posibles fugas en todas las conexiones de la parte neumática.

Se revisó que no existan problemas en las partes móviles del elevador al verificar que todo este correcto, se realizaron las pruebas con carga, de igual forma se regularon las velocidades de elevación y descenso, en la cual el elevador funcionó correctamente con

las cargas de diseño establecidas. Además cumple con los parámetros que exige la norma técnica NTE 2205-2010.

Figura 79. Pruebas elevador



Fuente: Autores

- Datos obtenidos en las pruebas

Tabla 10. Pruebas carga 1

Parámetro	Valor	Observación
Carga	100 kg	Carga intermedia
Presión de trabajo	8 bar	Se configuró el compresor para tener la presión de un bus urbano
Tiempo de elevación	6 s	Con válvula de estrangulación
Tiempo de descenso	6 s	Con válvula de estrangulación

Velocidad de Elevación	0,18 m/s	Cumple con la especificación de velocidad NTE INEN 2205 (Máximo 0,22 m/s)
Velocidad de descenso	0,18 m/s	Cumple con la especificación de velocidad NTE INEN 2205 (Máximo 0,22 m/s)
Velocidad Despliegue plataforma móvil	0,2 m/s ; t = 2 s	Cumple con la especificación de velocidad de la Norma NTE INEN 2205 (0,33 m/s)
Velocidad Repliegue plataforma móvil	0,1m/s ; t = 3 s	Cumple con la especificación de velocidad de la Norma NTE INEN 2205 (0,33 m/s)

Fuente: Autores

Tabla 11. Pruebas carga 2

Parámetro	Valor	Observación
Carga	200 kg	Cumple con la carga especificada en la Norma NTE INEN 2205 (min 200 kg)
Presión de trabajo	8 bar	Se configuró el compresor para tener la presión de un bus Urbano
Tiempo de elevación	9 s	Con válvula de estrangulación
Tiempo de descenso	5 s	Con válvula de estrangulación
Velocidad de elevación	0,11 m/s	Cumple con la especificación de velocidad de la Norma NTE INEN 2205 (0,22 m/s)
Velocidad de descenso	0,2 m/s	Cumple con la especificación de velocidad de la Norma NTE INEN 2205 (0,22 m/s)

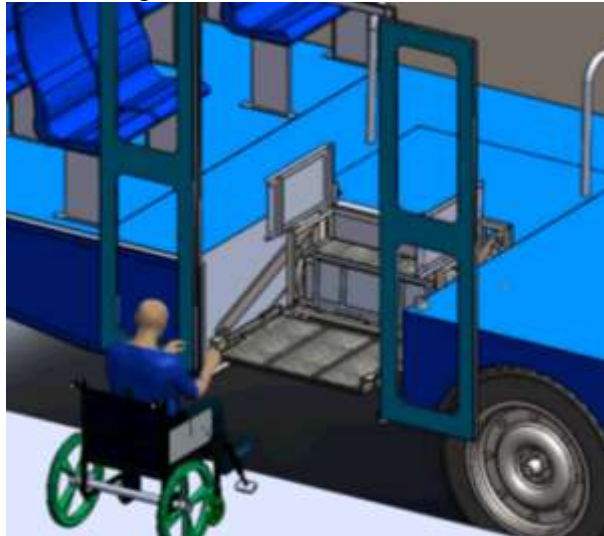
Fuente: Autores

El elevador cumple con todos los parámetros de diseño como son velocidad de elevación, de despliegue y carga a elevar, las válvulas estranguladoras son necesarias para no sobrepasar las velocidades máximas que indican la norma. La plataforma móvil funciona en vacío (sin carga) es por eso que la velocidades de esta en las dos pruebas son iguales.

3.3.2 *Directrices para la operación correcta del módulo.* Para la operación adecuada del módulo se dan las siguientes directrices, las cuales ayudaran a la operación correcta del elevador.

- 1) Elevar ligeramente las plataformas a través de la válvula 5/3 (Palanca).

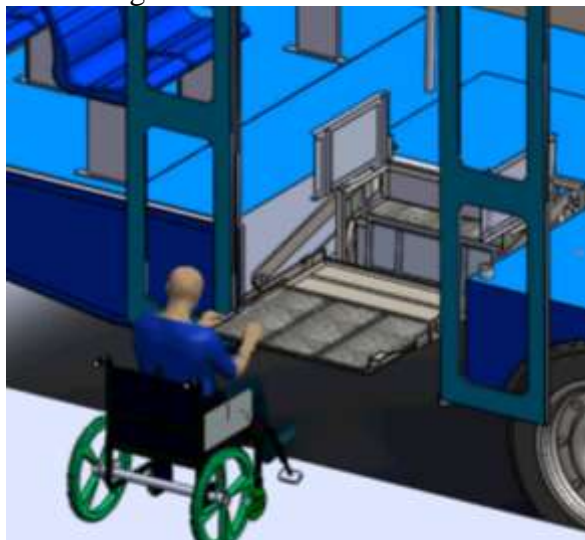
Figura 80. Funcionamiento 1



Fuente: Autores

- 2) Desplazar la plataforma móvil mediante la válvula 5/2 (Pulsador rojo)

Figura 81. Funcionamiento 2



Fuente: Autores

- 3) Bajar las plataformas mediante la válvula 5/3 (Palanca) de acuerdo a la señalética ubicada en el mando de control se debe bajar hasta llegar al nivel de referencia de la vereda.

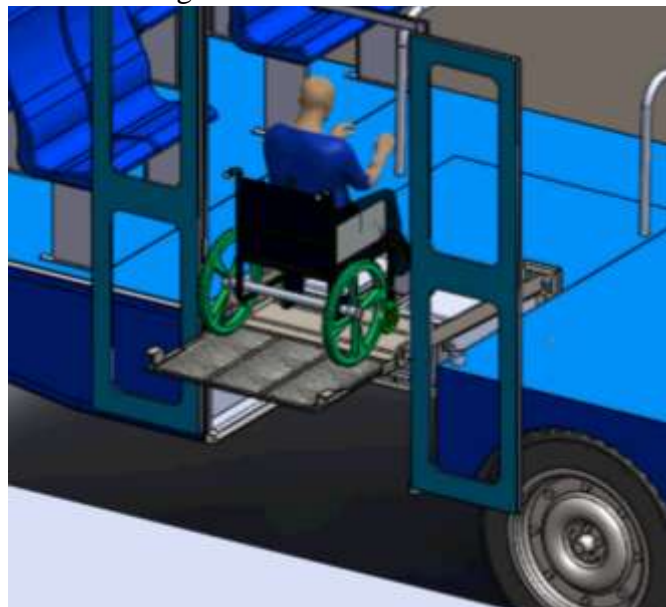
Figura 82. Funcionamiento 3



Fuente: Autores

- 4) Una vez que la persona suba a la plataforma y se coloque el dispositivo de seguridad se debe subir el elevador a través de la válvula 5/3 (Palanca) hasta llegar al nivel de referencia del piso del bus al mismo tiempo que las plataformas superiores bajan automáticamente mediante un mecanismo que se conecta con los eslabones.

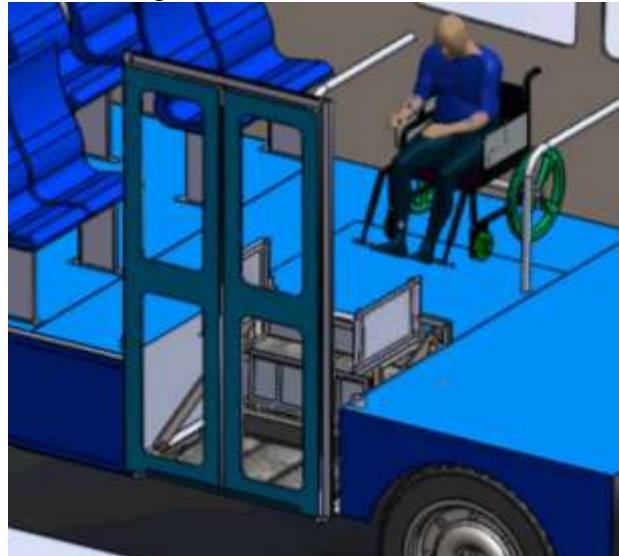
Figura 83. Funcionamiento 4



Fuente: Autores

- 5) Cuando la persona baje de la plataforma de debe bajar las plataformas, recoger la plataforma móvil y dejarlo como grada normal.

Figura 84. Funcionamiento 5



Fuente: Autores

- 6) Para la bajada se considera el mismo proceso de manera invertida de igual forma quedando al final como grada normal.

3.3.3 *Mantenimiento del elevador.* Las tareas de mantenimiento son importantes para preservar los componentes del elevador además de asegurar el buen funcionamiento del mismo por lo cual se recomienda tareas de mantenimiento que se presentan a continuación:

Tabla 12. Tareas de mantenimiento

Tarea	Mantenimiento
Lubricación de las parte móviles del elevador (Pines, Plataformas).	Se recomienda que esta tarea sea mensualmente.
Verificación de Fugas en el sistema Neumático.	Se recomienda que esta tarea se la realice semanalmente.
Verificación de funcionamiento de válvulas Neumáticas.	Se recomienda que esta tarea se la realice trimestralmente ya que dependiendo a su uso puede deteriorarse.
Verificación de velocidades de desplazamiento.	Se recomienda que se revisen las válvulas estranguladoras trimestralmente para asegurar la velocidad adecuada, pueden sufrir desajuste.

Fuente: Autores

En la tabla 14 se enlistan las tareas y el tiempo recomendado a realizar las tareas de mantenimiento.

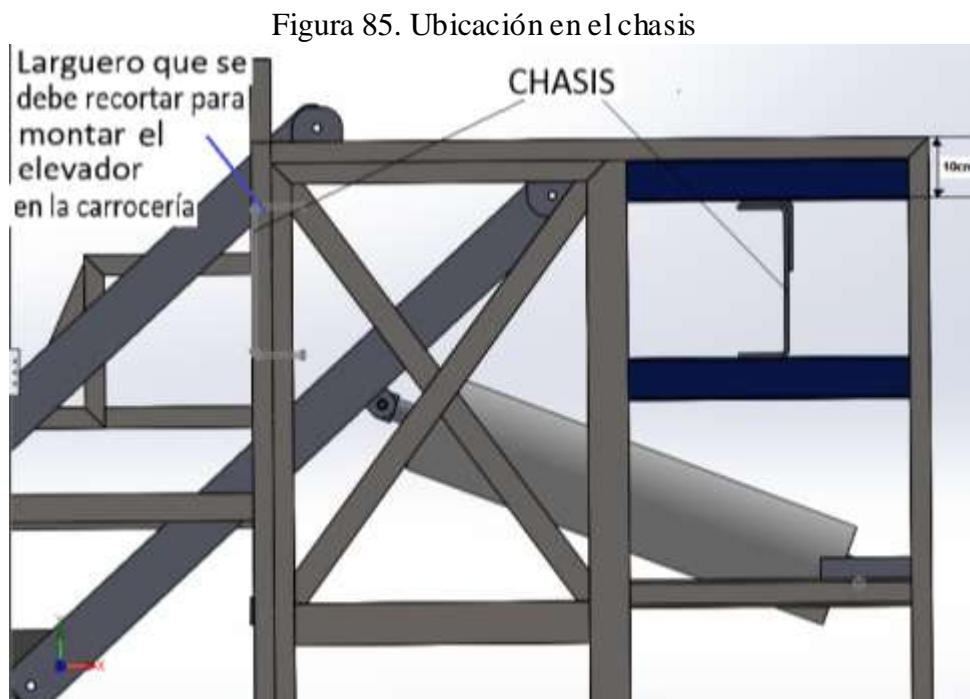
3.4 Análisis de un modelo de carrocería válida para montaje del elevador

En esta sección se analizará el prototipo de carrocería para poder montar el elevador con el fin que no interfiera con la funcionalidad del mismo, se realizarán los cálculos necesarios para comprobar que la carrocería resista a las diferentes cargas estipuladas en la norma NTE INEN 1323.

Además de cumplir con los requisitos de deformación permisibles en la norma.

3.4.1 *Ubicación del elevador en un chasis HINO AK8JRSA.* Para montar el elevador en un chasis HINO se debe cortar parcialmente un larguero del chasis, ya que este impide el movimiento libre de los eslabones del mecanismo de 4 barras con sus respectivos elementos.

La norma NTE INEN 2205 menciona que se puede modificar el chasis con permiso del fabricante, por lo cual esta modificación es factible ya que si se lo permite para el carrozado de buses urbanos.



Fuente: Autores

3.4.2 *Especificaciones y análisis del prototipo de carrocería.*

Materiales utilizados

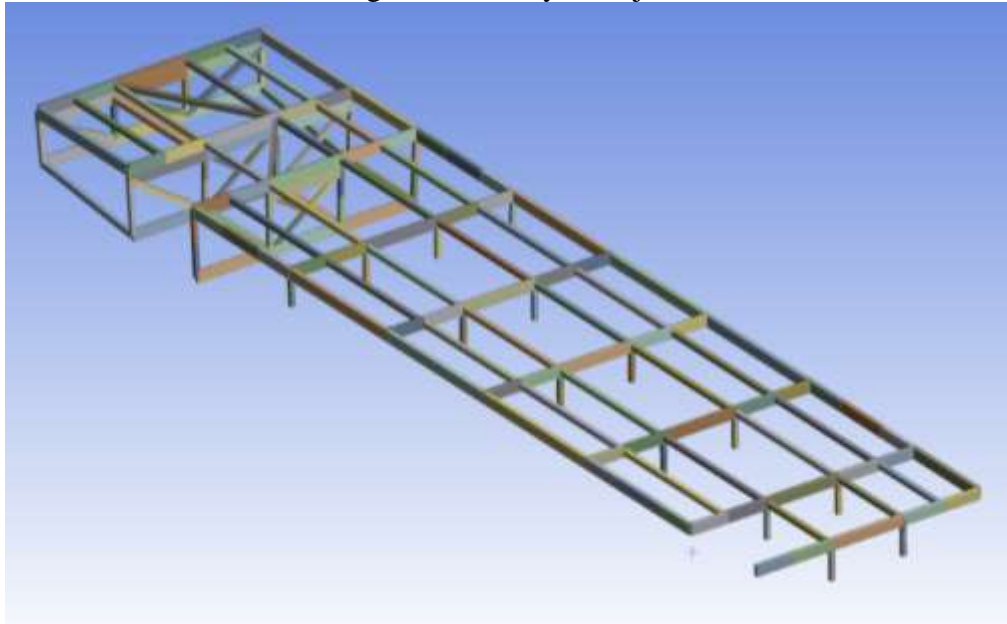
- Piso y anclajes

Tabla 13. Materiales piso y anclajes

Denominación	Material (ASTM A36)
Tubos longitudinales	Tubo cuadrado 50x3 mm
Tubos transversales	Tubo rectangular 100x50x3 mm
Anclajes	Tubo cuadrado 50x3 mm

Fuente: Autores

Figura 86. Piso y anclajes



Fuente: Autores

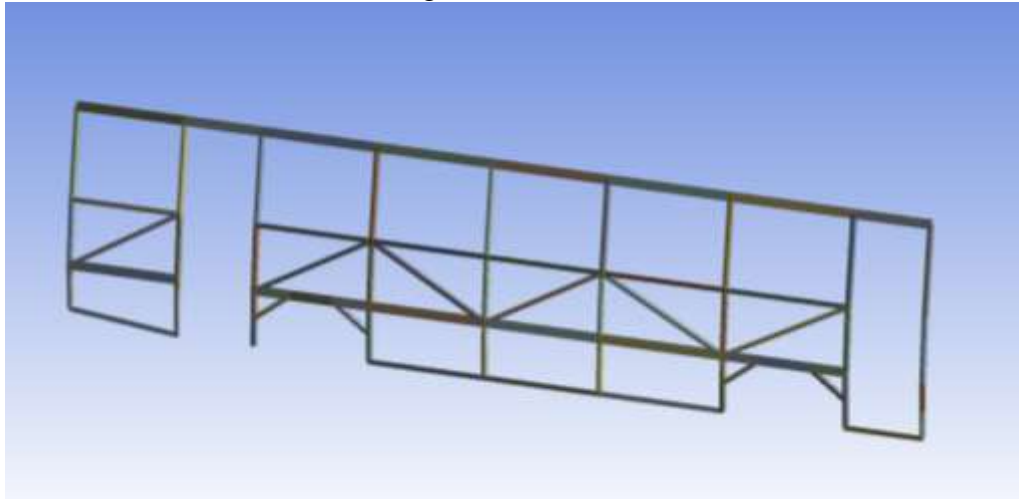
- Laterales

Tabla 14. Materiales laterales

Denominación	Material (ASTM A36)
Tubos Intermedios	Tubo cuadrado 50x2 mm
Tubo Central longitudinal	Tubo rectangular 100x50x2 mm
Tubos frontales	Tubo cuadrado 50x3 mm

Fuente: Autores

Figura 87. Lateral



Fuente: Autores

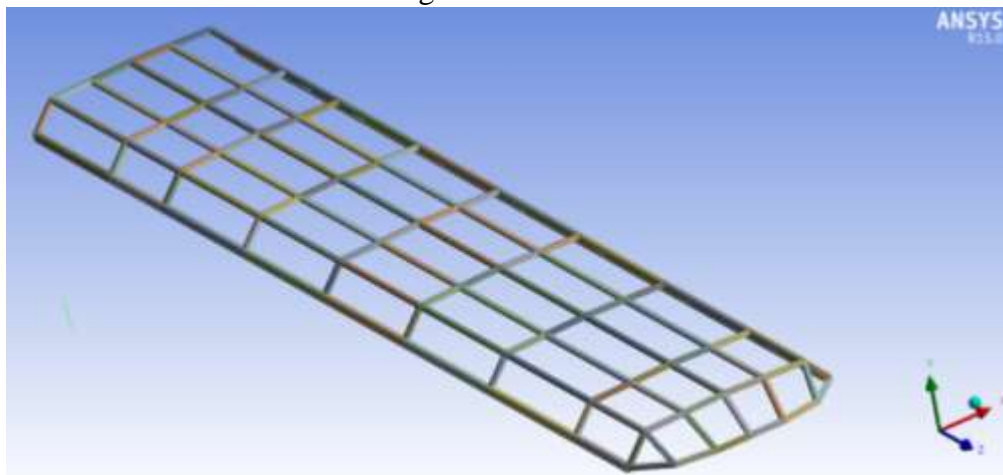
- Techo

Tabla 15. Materiales techo

Denominación	Material (ASTM A36)
Cerchas	Tubo cuadrado 50x3 mm
Tubos centrales	Tubo cuadrado 50x2 mm

Fuente: Autores

Figura 88. Techo



Fuente: Autores

- Zona sin chasis

Esta región debido a tener un solo larguero del chasis debe ser reforzada dependiendo de cada modelo de carrocería y los análisis realizados.

Cada tipo de bus tiene una estructura diferente por este motivo antes de instalar el elevador en un bus se debe verificar su resistencia y deformación, estas deben cumplir con lo estipulado en la NTE 1323.

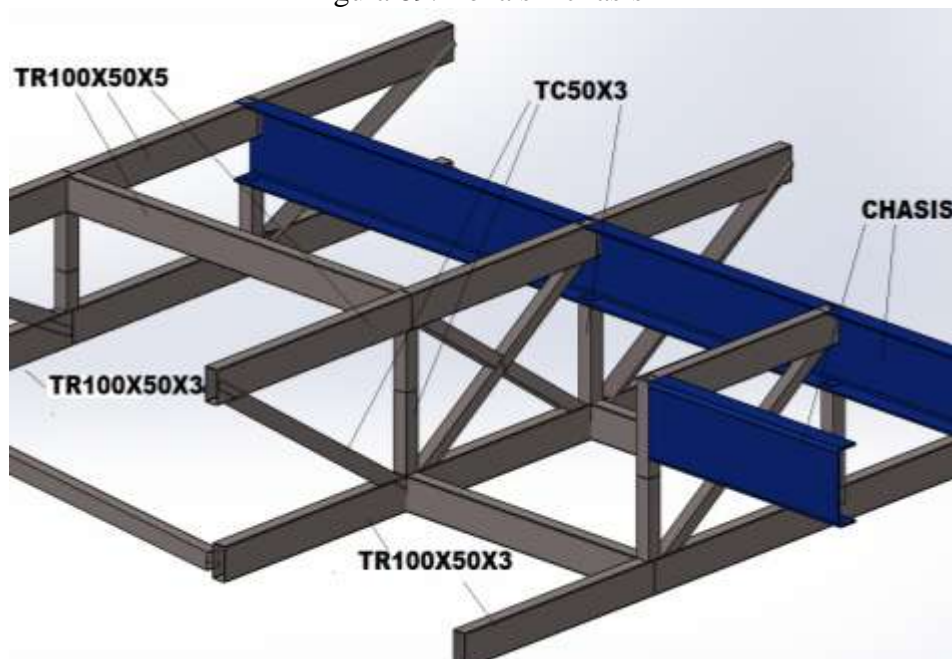
Tabla 16. Materiales zona sin chasis

Material (ASTM A36)
Tubo cuadrado 50x3 mm
Tubo rectangular 100x50x3 mm
Tubo rectangular 100x50x5 mm
Tubo cuadrado 40x2 mm

Fuente: Autores

En la figura 89 tenemos la zona sin chasis sugerida para la instalación del elevador los materiales pueden ser cambiados de acuerdo al análisis y requerimientos de cada carrocería, se debe tener en cuenta que se deben realizar los cálculos necesarios en caso de ubicar materiales de menor espesor del sugerido o materiales de diferentes propiedades mecánicas a las escogidas en este modelo, con el fin que la carrocería resiste a las cargas que se presentan en la NTE 1323.

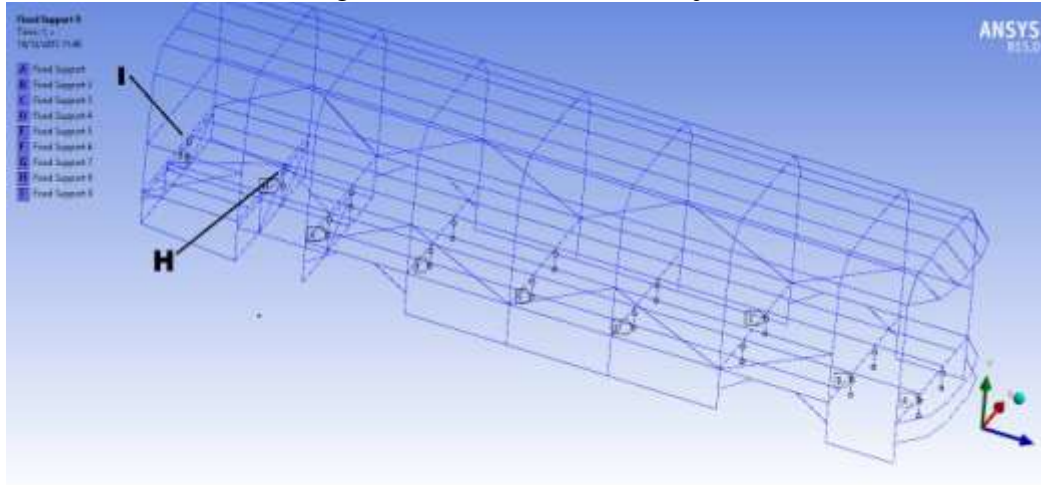
Figura 89. Zona sin chasis



Fuente: Autores

- Restricciones en los anclajes

Figura 90. Restricciones anclajes



Fuente: Software Ansys

Como no existe larguero del chasis en la parte posterior de la carrocería, en los dos últimos apoyos existe solo un punto de fijación los cuales son I, H como se aprecia en la figura 90.

Cargas Aplicadas (Ecuaciones y datos tomadas de NTE INEN 1323)

- Carga viva

Tabla 17. Valores carga viva de 70 kg/pasajero

Nº Pasajeros	Masa [kg]
Sentados 40	2800
Parados 30	2100
Conductor	70
Controlador	70
Total	5040

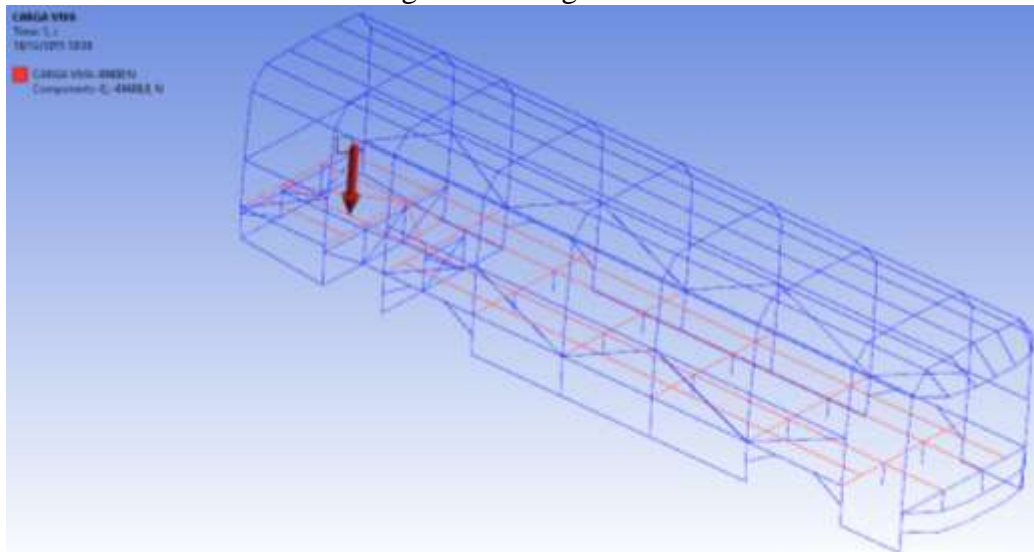
Fuente: Autores

$$\text{Carga viva total} = C_{VT} = 5040 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$C_{VT} = 49,4 \text{ kN}$$

Esta carga esta aplicada de forma distribuida en toda la superficie del piso ya que ahí se encuentran las personas de pie o sentadas.

Figura 91. Carga viva

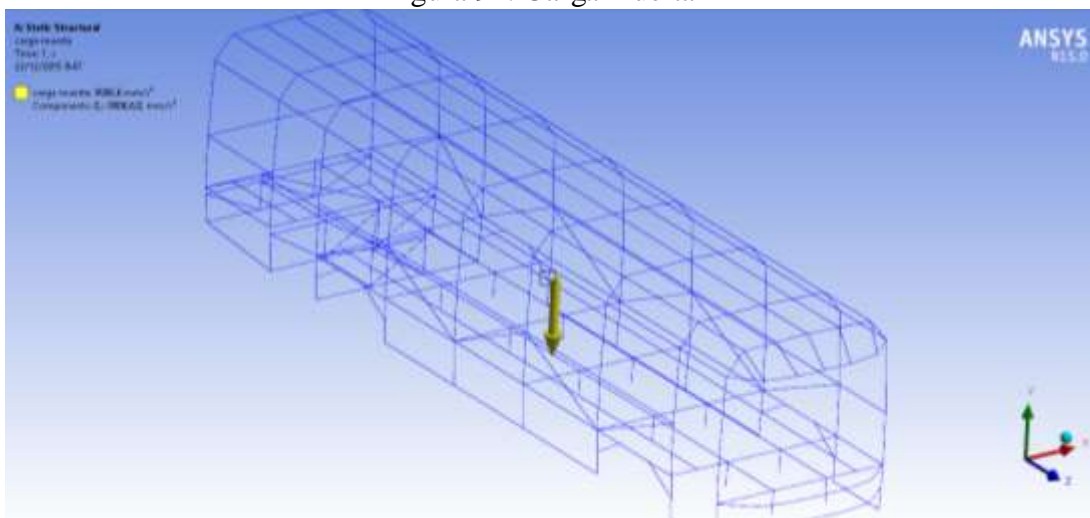


Fuente: Software Ansys

- Carga muerta

La carga muerta es el peso propio de la estructura de la carrocería y se aplica a toda esta. Para lo cual se ha tomado en cuenta el peso del material estructural que se utiliza comúnmente en carrocerías el cual es acero A36. En la figura 93 se muestra la carga en su centro de gravedad.

Figura 92. Carga muerta



Fuente: Software Ansys

- Carga de Frenado

$$F_f = M_o * a \quad (30)$$

Dónde:

F_f = Fuerza de frenado

M_o = Masa en operación

a = Desaceleración debido al frenado = 5 m/s^2

La ecuación de la masa en operación es la siguiente:

$$M_o = C_D + C_{VT} \quad (31)$$

Dónde:

C_D = Carga muerta = 2750 kg (Solo estructura de la carrocería sin chasis)

C_{VT} = Carga viva total = 5040 kg

$$M_o = 2750 \text{ kg} + 5040 \text{ kg} = 7790 \text{ kg}$$

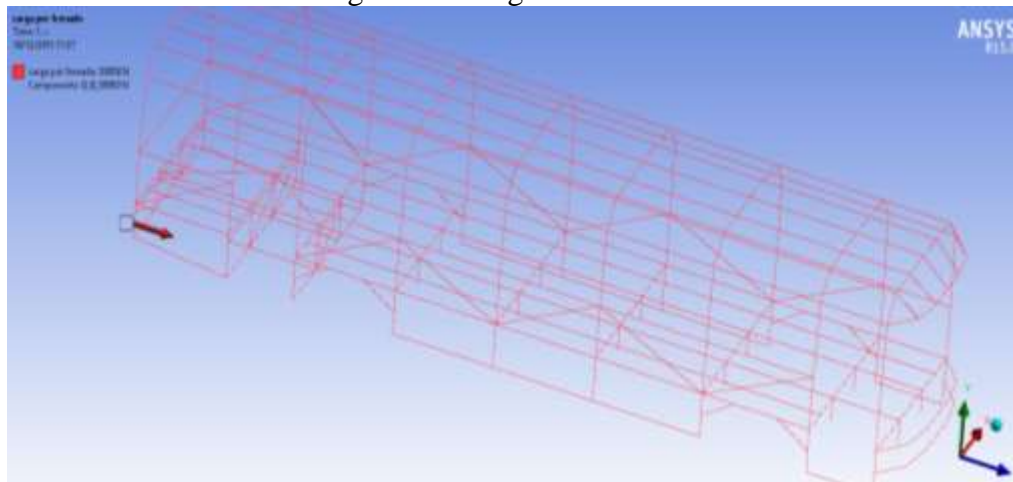
Reemplazando la masa en operación en (31) tenemos:

$$F_f = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 7790 \text{ kg}$$

$$F_f = 38950 \text{ N}$$

Esta carga está distribuida en todo el bus.

Figura 93. Carga de frenado



Fuente: Software Ansys

- Fuerza de giro

$$Fg = Mo * \frac{v^2}{R} \quad (32)$$

Dónde:

Fg = Fuerza de giro [N].

Mo = Masa en operación [kg]

V = Velocidad del Vehículo [m/s]

R = Radio de curvatura [m]

Tabla 18. Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera

Velocidad (del vehiculo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)
80	250	8
85	300	
90	350	
95	400	
100	450	
105	500	
110	550	
115	600	
120	700	
125	800	
130	900	6,97
135	1050	6,25
140	1250	5,49
145	1475	4,84
150	1725	4,29

NOTA 3.- De acuerdo a la NTE INEN ISO 3833 vigente y al Reglamento de la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre vigente.

NOTA 4.- Vol.- Volumen de las bodegas portaequipajes en m³

NOTA 5.- Tabla de unidades del documento Normas 8418

Fuente: NTE INEN 1323

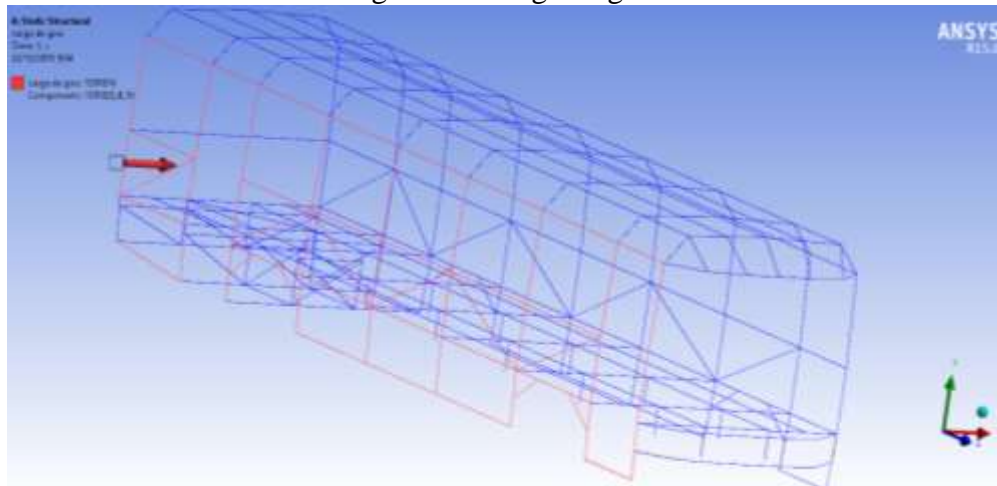
$$Fg = 7790 \text{ kg} * \frac{(25 \frac{m}{s})^2}{350 \text{ m}}$$

$$Fg = 13,91 \text{ kN}$$

Esta carga debe estar aplicada de forma distribuida en la parte lateral de la carrocería, debido que en las curvas es la parte más crítica donde la estructura puede sufrir daños

por el exceso de velocidad. La velocidad que se escogida es la aconsejada en la NTE 1323 para buses urbanos.

Figura 94. Carga de giro



Fuente: Software Ansys

- Carga por resistencia de aire frontal

$$Raf = 0,5 * Cx * \rho * Af * v^2 \quad (33)$$

Dónde:

Raf = Carga por resistencia aerodinámica [N]

ρ = Densidad de aire [kg/m^3]

V = Velocidad del aire [m/s]

Af = Área proyectada del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal [m^2]

Cx = Coeficiente de resistencia frontal del aire = 0,82

$$Cx = 0,82$$

$$\rho = 1,23 \frac{kg}{m^3}$$

$$Af = 6,2 m^2$$

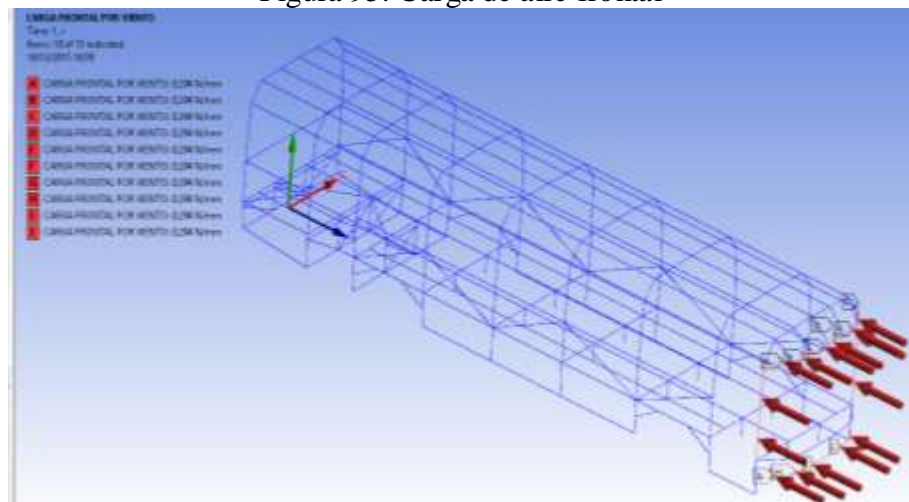
$$V = 25 \frac{m}{s}$$

$$Raf = \frac{0,82 * 1,23 \frac{kg}{m^3} * 6,2 m^2 * (25 \frac{m}{s})^2}{2}$$

$$Raf = 1,95 kN$$

Esta carga está distribuida linealmente en los tubos frontales ya que se produce contraria al movimiento del autobús por la resistencia del viento. Las curvaturas existentes en la parte frontal de la carrocería ayudan a que esta carga se distribuya de mejor manera.

Figura 95. Carga de aire frontal

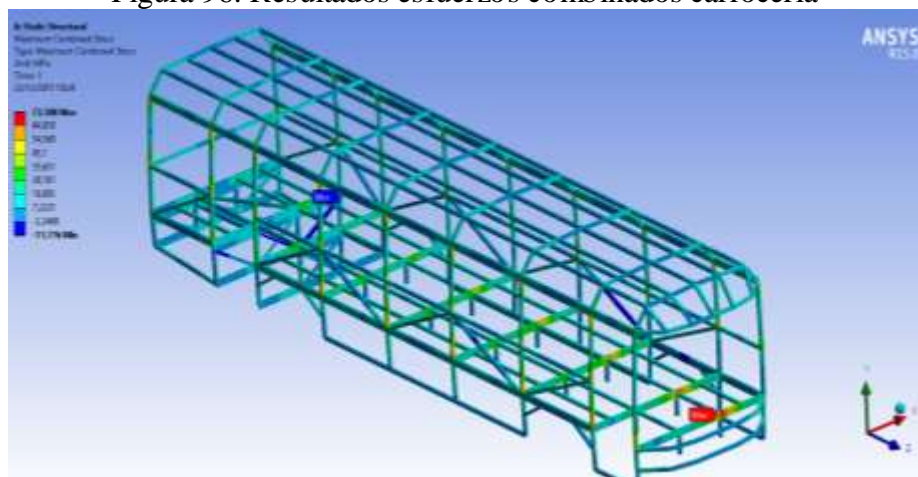


Fuente: Software ANSYS

Resultados

- Resultados de Máximo esfuerzo combinado

Figura 96. Resultados esfuerzos combinados carrocería

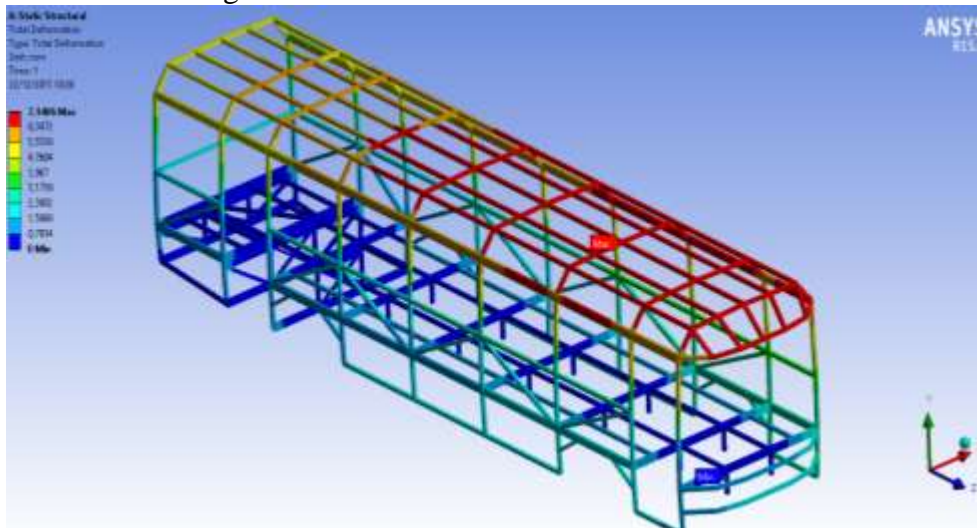


Fuente: Software Ansys

El máximo esfuerzo es de 73,51 MPa es mucho menor que el límite de fluencia del acero ASTM A36 por lo cual la estructura resiste y este esfuerzo no se encuentra en la zona del larguero cortado.

- Resultados de deformación

Figura 97. Resultados deformación carrocería



Fuente: Software Ansys

La mayor deformación se encuentra en el techo y es de 7,14 mm.

La especificación de deformación permisible es:

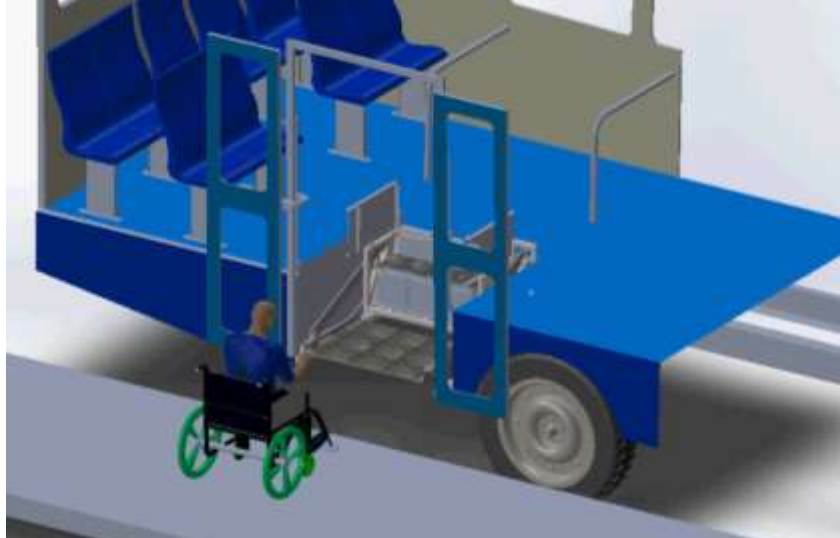
$$\frac{l}{240}$$

$$\frac{1900}{240} = 7,9 \text{ mm}$$

La deformación en el techo no supera el valor permisible, además no se encuentra en la parte de larguero cortado por lo cual podemos asegurar que la estructura con modificación para el elevador es adecuada.

3.4.3 *Apreciación del elevador montado en la carrocería.* En la siguiente figura se puede apreciar el elevador montado en la carrocería con todos sus componentes y con las restricciones e inconvenientes que se detallaron para su correcta instalación. El elevador puede ser instalado en cualquier carrocería siempre que esta tenga el permiso de la marca para cortar una parte del chasis.

Figura 98. Montaje del elevador en carrocería



Fuente: Autores

Para el uso del elevador se debe tener en cuenta 2 tipos de puertas las cuales son la puerta tipo panto-gráfica y tipo corrediza, las cuales son permitidas siempre y cuando no interfieran con la visibilidad del conductor, ya que la puerta tipo plegable interfiere con los eslabones del mecanismo de 4 barras.

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE COSTOS

4.1 Análisis de costos directos

Los costos directos incluyen gastos de material, mano de obra y de transporte.

4.1.1 Costos de la estructura principal

Tabla 19. Costos de la estructura principal

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor Unitario [USD]	Valor total [USD]
1	Tubo Cuadrado Negro (6 m) 30 x 2 mm	5	9,69	48,45
2	Tubo Cuadrado Negro (6 m) 40 x 2 mm	1	12,14	12,14
3	Plancha Antideslizante 2 mm	1	40,23	20,23
4	Tubo Cuadrado Negro 60 x 3 mm (3 m)	1	5,03	5,03
5	Tubo Cuadrado 30 x 1 mm (6 m)	1	5,31	5,31
6	Platina 75 x 12 mm (6 m)	1	49,21	49,21
7	Platina 75 x 6 mm (6 m)	1	21,25	21,25
8	Platina de 25 x 12 mm (6 m)	1	16,40	16,40
9	Platina de 25 x 6 mm (6 m)	1	7,90	7,90
10	Angulo 25 x 25x 4 mm (4 m)	1	5,31	5,31
11	Angulo de 30 x 30 x3 mm	1	6,00	6,00
12	Pernos 12 x 25 mm	4	2,50	10,00
13	Cauchos para plataformas	4	2,00	8,00
Sub total				215,23
IVA (12%)				25,82
Total				241,05

Fuente: Autores

4.1.2 *Costos del sistema neumático.* En la siguiente tabla se muestran los costos invertidos en todos los componentes neumáticos utilizados en el desarrollo del proyecto y de los accesorios adquiridos con su respectivo número de cantidades.

Tabla 20. Costo de elementos del sistema neumático

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor Unitario [USD]	Valor Total [USD]
1	Válvula 5/2 mando neumático con enclavamiento Italy	1	60,17	60,17
2	Válvula 5/3 palanca superior reacción resorte	1	98,2	98,20
3	Basculante posterior hembra (32 mm)	1	20,00	20,00
4	Rotula M10X1,25 (32 mm)	1	20,25	20,25
5	Rotula M27X2 (125 mm)	1	98,90	98,90
6	Manguera de poliuretano 8 mm	8	1,58	12,24
7	Conector recto 3 mm tubo 8 mm	3	1,47	4,41
8	Conector recto 6 mm tubo 8 mm	7	1,53	10,71
9	Regulador banjo 3 mm tubo 8 mm	2	9,98	19,96
10	Regulador banjo 3 mm tubo 8 mm	2	7,65	15,30
11	Repartidor 6 conexiones Italy 10 x 6 mm	1	31,06	31,06
12	Conector recto 10mm Tubo 8 mm	2	1,87	3,74
13	Cilindro neumático doble efecto diámetro 32 mm Carrera 400 mm	1	121,46	121,46
14	Cilindro neumático doble efecto diámetro 125 mm Carrera 320 mm	1	588,59	588,59
15	Tapones 10 mm para repartidor	2	2,00	4,00
Valor total				1108,99
IVA (12%)				133,08
Total				1242,07

Fuente: Autores

4.1.3 *Costos de mano de obra y transporte.* En estos costos tenemos la mano de obra de la estructura, montaje y costos de transporte.

Tabla 21. Mano de obra y transporte

Ítem	Descripción	Valor [USD]
1	Mano de obra Estructura	100,00
2	Mano de Obra Montaje	150,00
3	Costo Transporte	60,00
	Total	310,00

Fuente: Autores

4.1.4 Costos de acabados

Tabla 22. Costos acabados

Ítem	Descripción	Valor [USD]
1	Madera Triplex	20,00
2	Tapiz para piso	22,00
	Total	42,00

Fuente: Autores

Valor Total de Costos Directos \$1835,12 Dólares Americanos.

4.2 Análisis de costos indirectos

Dentro de los costos indirectos constan los costos de imprevistos, materiales que no intervienen directamente dentro de la construcción y costos de ingeniería en este caso por tratarse de un proyecto de graduación no se considera los costos por ingeniería.

A continuación se presentan las tablas con los costos.

Tabla 23. Costos indirectos

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor Unitario [USD]	Valor Total [USD]
1	Pintura para estructura	5 l	2,00	10,00
2	Tinher	1 l	4,00	4,00
3	Imprevistos	-	100,00	100,00
	Total			114,00

Fuente: Autores

Valor Total de Costos Indirectos \$ 114 Dólares Americanos.

4.3 Costo total del elevador para personas con movilidad reducida

Tabla 24. Costos totales

Descripción	Valor [USD]
Total costos directos	1835,12
Total costos indirectos	114,00
Total	1949,12

Fuente: Autores

El costo total invertido en el elevador tiene un valor de \$ 1949,12 dólares americanos.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Mediante este proyecto se puede incluir en el transporte urbano a personas con movilidad reducida, ya que estas no cuentan con el acceso adecuado a este tipo de transporte.

Las dimensiones de la plataforma elevadora, cumplen con las especificaciones de la norma NTE INEN 2205 - 2010.

Este tipo de elevador resulta más económico en comparación con otras alternativas existentes.

El mecanismo elevador es un mecanismo simple de 4 barras el cual es de fácil construcción.

Este tipo de elevador se puede instalar en cualquier carrocería, siempre y cuando el fabricante tenga el permiso de cortar un pedazo de chasis otorgado por la marca o el Importador.

El cálculo de esfuerzos y deformaciones se ha realizado en el software de elementos finitos del cual se obtuvieron resultados confiables para elevar hasta 200 kg, valor mínimo especificado en la norma NTE INEN 2205.

La plataforma elevadora es multifuncional se puede utilizar de forma que se conserve el sistema de gradas de buses actual y también se puede cambiar a elevador cuando el caso lo amerite.

En base a los resultados de los análisis realizados se puede concluir que el elevador neumático presenta un alto grado de confiabilidad y factibilidad para su uso en buses urbanos.

5.2 Recomendaciones

Se debe chequear antes de usar, que los elementos estén en buen estado, para su correcto funcionamiento.

Lubricar para disminuir la fricción entre la plataforma móvil y fija.

Llevar a cabo las tareas recomendadas de mantenimiento, para así no tener problemas de funcionamiento.

Para el montaje del elevador se deben considerar que los resultados obtenidos en el diseño de la carrocería cumplan con la norma NTE INEN 1323:2009, (Vehículos automotores. Carrocerías de buses.), tras las modificaciones necesarias para el montaje del mismo.

Las dimensiones de la plataforma elevadora deben ser respetadas en sus valores mínimos escritos en la norma NTE 2205-2010, (Vehículos automotores. Bus urbano. requisitos.), si es necesario se deben realizar modificaciones para que el espacio destinado a la persona con movilidad reducida sea el más cómodo posible.

BIBLIOGRAFÍA

BELLERIN, Jacob. 2002. *Elevadores neumaticos e hidraulicos*. Zaragoza : ELCO, 2002.

CASTILLO, Juan. 2013. *Personas con movilidad reducida*. Colombia : CALCE, 2013.

CREUS, Antonio. 2007. *Neumatica e Hidraulica*. Barcelona : Alfaomega, 2007.

HAMROCK, B. 2000. *Elementos de Máquinas*. Mexico : McGraw-Hill, 2000.

HIBBELER, R, C. 2004. *Mecánica vectorial para ingenieros, Estática*. Mexico : s.n., 2004.

La casa del mecánico . 2005. www.lacasadelmecanico.com.ar.
www.lacasadelmecanico.com.ar. [En línea] Páginas web en Mendoza, 2005. [Citado el: 11 de Diciembre de 2014.]
<http://www.lacasadelmecanico.com.ar/herramienta/429/fuente-de-inyectores-common-rail-cr-101>.

MORAN, Iván. 2011. *Sistemas neumáticos y oleo dinamicos*. Riobamba : ESPOCH, 2011.

NTE1323. 2009. *Vehículos automotores. Carrocerías de buses*. 2009.

NTE2205. 2010. *Vehiculos Automotores. Bus urbano. Requisitos*. 2010.

SEDUVI. 2014. *Manual técnico de accesibilidad*. Bogota : JPL, 2014.

SHIGLEY, Joseph Edward. 1990. *Diseño en Ingeniería Mecánica*. [trad.] Francisco Paniagua. 5. Bogotá : Mc Graw Hill, 1990. pág. 882. ISBN 968-442-778-7.

TIRUPATHI, R. Chandrupatla. 1999. *Introducción al estudio del elemento finito en ingeniería*. Mexico : ROMA, 1999.