ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE IZAJE DESMONTABLE PARA DESPLAZAMIENTO ENTRE PISOS PARA PERSONAS CON CAPACIDADES LIMITADAS TEMPORALES EN SILLA DE RUEDAS DENTRO DE UNA VIVIENDA DE DOS PLANTAS.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

MICHAEL JOSUÉ MORENO ARGOTI
michael_ecp1@hotmail.com

LISBETH ALEJANDRA TORRES CHAMORRO
alejandratorreschamorro@gmail.com

DIRECTOR: ING. JAIME VARGAS TIPANTA
jaime.vargas@epn.edu.ec

Quito, febrero 2015

DECLARACIÓN

Nosotros, MICHAEL JOSUÉ MORENO ARGOTI y LISBETH ALEJANDRA TORRES CHAMORRO, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Michael Josué Moreno Argoti

Lisbeth Alejandra Torres Chamorro

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Michael Josué Moreno Argoti y Lisbeth Alejandra Torres Chamorro, bajo nuestra supervisión

Ing. Jaime Vargas T.	Ing. Mario Granja
DIRECTOR DEL PROYECTO	CODIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

A la Dolorosa, por darme fuerza para seguir adelante.

A mi familia. Mis padres Sandra y Patricio y a “la banda”, por su apoyo incondicional, por estar a mi lado desde un principio. Gracias por ser mis pilares y ejemplo.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica, a sus profesores, por impartir su conocimiento. Al Ingeniero Jaime Vargas por su apoyo brindado y a mi compañera Alejandra Torres por su dedicación y paciencia.

MICHAEL MORENO

A Dios, por todas las bendiciones que me ha dado, por la salud y el pan de cada día, por mi hogar y mi familia, por su absoluta presencia en el transcurso de mi vida.

A mis padres Alvaro y Leidy, por toda la entrega y sacrificio, por sus noches de desvelo, por sus consejos, por el apoyo incondicional y la confianza, por creer en mí.

A mi familia materna, mi abuelita y mis tías, que siempre estuvieron ahí, pendientes del camino a esta meta.

A la mejor Facultad del Mundo, Ingeniería Mecánica, a los excelentes profesionales y amigos, que compartieron conmigo su experiencia y conocimientos. Al ingeniero Jaime Vargas por su amistad, apoyo y colaboración, por su disponibilidad y por estar siempre presto a ayudarme en la culminación de la que hasta ahora fue la mejor etapa de mi vida.

ALEJANDRA TORRES

DEDICATORIA

A mi familia, que siempre estarán conmigo.

A mis amigos y compañeros de facultad, las perris, los guachines, a todos gracias por su amistad.

A Chivo, Poke, Gabo, Ronny, Bro, Jhon Gym, Señor, Riby, Tibi, Mafi, a todo ECP1, mis amigos y compañeros, por estar pendientes en cada paso y saberme levantar en cada tropiezo, en especial a Juanito, ¡que el Peludo no camina solo!

MICHAEL MORENO

A mi familia, la más grande bendición que Dios me ha dado.

A mis padres Alvaro y Leidy, porque este logro es nuestro. Sin su abnegación la culminación de este objetivo no se hubiera logrado. Sus esfuerzos valieron la pena, las malas noches dieron fruto papi, su respaldo y oraciones hicieron que Dios este cerca en cada paso del camino a la meta mami.

A mi hermano Darío, que acompañó mis días y noches de estudiante, que me supo escuchar, siempre presto a darme un consejo oportuno. Gracias por tu paciencia y por todo el acolite.

A mi hermana Wendy, que a pesar de las distancias no se ha olvidado de quererme y respetarme. Tú siempre fuiste un motivo más para alcanzar esta meta.

ALEJANDRA TORRES

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

CAPITULO 1 1
GENERALIDADES 1
1.1 INTRODUCCIÓN 1
1.2 JUSTIFICACIÓN 2
1.3 OBJETIVOS 2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL 2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 2
CAPÍTULO 2 3
MARCO TEORICO 3
2.1 ACCIDENTES DE TRANSITO 3
2.1.1 TRILOGÍA VIAL 3
2.1.1.1 Factor humano 3
2.1.1.3 Factor vial - ambiental 4
2.1.2 CAUSAS 4
2.1.2.1 Causa Basal o Eficiente 4
2.1.2.2 Causas concurrentes o Coadyuvantes 5
2.1.3 TIPOLOGÍA DEL ACCIDENTE 5
2.1.3.1 Accidentes relativos al factor humano 6
2.1.3.1.1 Atropello 6
2.1.3.1.2 Arrollamiento 6
2.1.3.1.3 Caída del pasajero 7
2.1.3.2 Accidentes relativos al factor vehículo 7
2.1.3.2.1 Choque 7
2.1.3.2.2 Estrellamiento 9
2.1.3.2.3 Volcamiento. 9
2.1.3.2.4 Rozamiento 10

2.1.4 LESIONES CAUSADAS POR ACCIDENTE DE TRÁNSITO 12
2.1.4.1 Lesiones en el conductor y pasajeros del vehículo 12
2.1.4.1.1 Impacto o colisión posterior 12
2.1.4.1.2 Impacto lateral 13
2.1.4.1.3 Impacto rotatorio. 14
2.1.4.1.4 Impacto o colisión frontal 14
2.1.4.2 Lesiones en el peatón víctima de un accidente vial 14
2.1.4.2.1 Choque. 15
2.1.4.2.2 Caída o proyección del cuerpo sobre una superficie ya sea el propio vehículo y/o el asfaltado..... 15
2.1.4.2.3 Compresión del cuerpo entre dos superficies contundentes ... 15
2.1.4.2.4 Arrollamiento..... 15
2.1.4.2.5 Arrastre. 16
2.2 MOVILIDAD EN PERSONAS CON CAPACIDADES LIMITADAS TEMPORALES 16
2.2.1 LA SILLA DE RUEDAS 16
2.2.2 EL ELEVADOR 17
2.2.2.1 Cabina..... 17
2.2.2.2 Contrapeso 18
2.2.2.3 Grupo tractor..... 18
2.2.2.4 Sistema de paracaídas 18
2.2.3 ELEVADORES PARA PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA 18
CAPITULO 3..... 19
PREFACTIBILIDAD 19
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA..... 19
3.2 REQUERIMIENTOS DEL USUARIO..... 19
3.3 ESTUDIO DE CAMPO 20

3.4 ESPECIFICACIONES 20
3.5 PROTOCOLO DE PRUEBAS..... 22
3.5.1 ENSAYO: MONTAJE DEL EQUIPO 22
3.5.2 ENSAYO: DESPLAZAMIENTO DEL SISTEMA EN VACÍO 22
3.5.3 ENSAYO: DESPLAZAMIENTO DEL SISTEMA CON CARGA .. 22
CAPITULO 4 23
FACTIBILIDAD 23
4.1 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS..... 23
4.1.1 ALTERNATIVA 1: MECANISMO HIDRAÚLICO 23
4.1.1.1 Funcionamiento 23
4.1.1.2 Ventajas 24
4.1.1.3 Desventajas 25
4.1.2 ALTERNATIVA 2: MOTORREDUCTOR 25
4.1.2.1 Funcionamiento 25
4.1.2.2 Ventajas 26
4.1.2.3 Desventajas..... 26
4.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS 26
4.3 DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA 29
4.3.1 CÁLCULO DE LA CABINA 29
4.3.1.1 Base de la cabina 29
4.3.1.1.1 Cálculo de la plancha base 30
4.3.1.1.2 Selección de la plancha antideslizante 38
4.3.1.1.3 Cálculo de los soportes longitudinales 40
4.3.1.1.4 Selección del perfil longitudinal 49
4.3.1.1.5 Cálculo de los soportes transversales 50
4.3.1.1.6 Selección del perfil transversal 53
4.3.1.2 Paredes de la cabina 54
4.3.1.3 Selección del as guías telescópicas de bolas 65

4.3.1.4 Cálculo de las uniones empernadas 65
4.3.1.5 Cálculo de las uniones soldadas 68
4.3.2 SISTEMA CABLE - TAMBOR – MOTORREDUCTOR 71
4.3.2.1 Selección del cable tensor 71
4.3.2.2 Selección de estrobo de cuatro ramales 72
4.3.2.3 Cálculo de tambor de enrollamiento del cable 73
4.3.2.3.1 Peso del tambor de enrollamiento del cable 74
4.3.2.4 Cálculo y selección del motorreductor 75
4.3.2.5 Diseño y cálculo del eje del tambor 76
4.3.2.5.1 Selección de soportes para rodamientos 81
4.3.2.5.2 Diseño de lengüeta 81
4.3.3 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE 83
4.3.3.1 Diseño del pórtico soporte 84
4.3.3.2 Cálculo de las uniones soldadas de la estructura 93
4.3.3.3 Diseño placa base 96
4.3.3.4 Diseño de los pernos de anclaje 99
4.3.3.5 Cálculo de la soldadura entre la placa base y el perfil cuadrado 101
4.4 CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE CAMPO 104
4.4.1 MÁQUINAS Y EQUIPOS A EMPLEARSE EN EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN 104
4.4.2 MONTAJE 105
4.5 ANALISIS DE COSTOS 105
4.5.1 COSTO SUBCONJUNTO CABINA 106
4.5.1.1 Costo material 106
4.5.1.2 Costo mano de obra 107
4.5.1.3 Costo elementos normalizados 107
4.5.1.4 Costo de fabricación del subconjunto cabina 108

4.5.2 COSTO SUBCONJUNTO CABLE-TAMBOR-MOTORREDUCTOR 109
4.5.2.1 Costo material 109
4.5.2.2 Costo mano de obra 110
4.5.2.3 Costo elementos normalizados 111
4.5.2.4 Costo de fabricación del subconjunto cable –tambor-motorreductor 112
4.5.3 COSTO SUBCONJUNTO ESTRUCTURA SOPORTE 113
4.5.3.1 Costo material 113
4.5.3.2 Costo mano de obra 113
4.5.3.3 Costo elementos normalizados 114
4.5.3.4 Costo de fabricación del subconjunto estructura soporte 114
4.5.4 COSTO DE FABRICACIÓN DE LA MAQUINA DE IZAJE 115
CAPITULO 5 116
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 116
5.1 CONCLUSIONES 116
5.2 RECOMENDACIONES 118
BIBLIOGRAFÍA 119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1: Atropello 6
Figura 2. 2: Arrollamiento 6
Figura 2. 3: Caída de Pasajero 7
Figura 2. 4:Choque frontal longitudinal 7
Figura 2. 5: Choque frontal excéntrico 8
Figura 2. 6: Choque lateral perpendicular 8
Figura 2. 7: Choque lateral angular 8
Figura 2. 8: Choque por alcance 9
Figura 2. 9: Estrellamiento 9
Figura 2. 10: Volcamiento lateral 10
Figura 2. 11: Volcamiento longitudinal 10
Figura 2. 12: Rozamiento 10
Figura 2. 13: Roce negativo 11
Figura 2. 14: Roce Positivo 11
Figura 2. 15: Latigazo cervical 13
Figura 2. 16: Daños en un Impacto lateral 13
Figura 2. 17: Daños en una colisión frontal 14
Figura 2. 18: Atropello 15
Figura 2. 19: Silla de Ruedas 17
Figura 4. 1: Sistema Hidráulico 24
Figura 4. 2: Sistema-Motorreductor 25
Figura 4. 3: Alternativa Seleccionada 28
Figura 4. 4: Plataforma Hiperestática- lado transversal 31
Figura 4. 5: Diagrama de Cuerpo Libre - Plataforma hiperestática 31
Figura 4. 6: Tramo izquierdo de la plancha- Momentos hiperestáticos 33
Figura 4. 7: Tramo derecho de la plancha- Momentos hiperestáticos 33
Figura 4. 8: Tramo izquierdo de la plancha - Cargas externas 34
Figura 4. 9: Tramo derecho de la plancha - Cargas externas 34
Figura 4. 10: Segmentos – plancha base: $0 \leq x \leq L$ y $L \leq x \leq 2L$ 35
Figura 4. 11: Diagrama de Cortante – plancha base 37
Figura 4. 12: Diagrama de Momento Flector- plancha base 37

Figura 4. 13: Perfil longitudinal 42
Figura 4. 14: Diagrama de Cuerpo Libre - perfil longitudinal hiperestático 42
Figura 4. 15: Tramo izquierdo del perfil longitudinal-Momentos hiperestáticos 44
Figura 4. 16: Tramo derecho del perfil longitudinal - Momentos hiperestáticos 44
Figura 4. 17: Tramo izquierdo del perfil longitudinal - Cargas externas 45
Figura 4. 18: Tramo derecho del perfil longitudinal - Cargas externas 45
Figura 4. 19: Segmentos - perfil longitudinal: $0 \leq x \leq L$ y $L \leq x \leq 2L$ 47
Figura 4. 20: Diagrama de Cortante - perfil longitudinal 48
Figura 4. 21: Diagrama de Momento Flector - perfil longitudinal 49
Figura 4. 22: Perfil transversal 51
Figura 4. 23: Segmento: $0 \leq x \leq L$ del soporte transversal. 51
Figura 4. 24: Diagrama de Cortante – perfil transversal 52
Figura 4. 25: Diagrama Momento flector para el segmento longitudinal 53
Figura 4. 26: Diagrama Del Cuerpo Libre – Pared frontal de la cabina 55
Figura 4. 27: Corte – pared frontal de la cabina 1-1: 0 ≤ x ≤1,1 56
Figura 4. 28: Corte – Pared frontal de la cabina 2-2: 0 ≤ x ≤1 57
Figura 4. 29: Diagrama Normal - Pared frontal de la cabina 58
Figura 4. 30: Diagrama Cortante - Pared frontal de la cabina 58
Figura 4. 31: Diagrama Momento Flector- Pared frontal de la cabina 59
Figura 4. 32: Gráfico de alineación para Longitud efectiva 61
Figura 4. 33: Esquema - columna de la cabina a flexo-compresión 64
Figura 4. 34: Diagrama de Cuerpo Libre- Perno 67
Figura 4. 35: Esquema de soldadura – base de la cabina 70
Figura 4. 36: Diagrama de Cuerpo Libre- Cable 71
Figura 4. 37: Diagrama de Cuerpo Libre- Eje 77
Figura 4. 38: Reacciones en los extremos del eje 78
Figura 4. 39: Diagrama de Momento - Eje 79
Figura 4. 40: Dimensiones de lengüeta 81
Figura 4. 41: Diagrama del cuerpo Libre - lengüeta 82
Figura 4. 42: Diagrama Del Cuerpo Libre – Estructura soporte 84
Figura 4. 43: Corte – estructura soporte 1-1: 0 ≤ x ≤1,1 85
Figura 4. 44: Corte – estructura soporte 2-2: 0 ≤ x ≤1 86
Figura 4. 45: Diagrama de Normal- Estructura Soporte 87
Figura 4. 46: Diagrama Cortante- Estructura Soporte 88

Figura 4. 47: Diagrama Momento Flector- Estructura Soporte 88
Figura 4. 48: Esquema de columna soporte a flexo-compresión..... 92
Figura 4. 49: Esquema de soldadura – Estructura 95
Figura 4. 50: Placa base 96
Figura 4. 51: Esquema de soldadura – Base 102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1: Especificaciones 21
Tabla 4. 1: Valoración de factores para la selección de alternativas 27
Tabla 4. 2: Valoración de alternativas 27
Tabla 4. 3: Resistencia de los pernos solicitados a cortante y tracción 67
Tabla 4. 4: Propiedades Flexionantes de la Soldadura 69
Tabla 4. 5: Dimensiones para el tambor de enrollamiento del cable 74
Tabla 4. 6: Subconjunto Cabina –Costo Material 106
Tabla 4. 7: Subconjunto Cabina –Costo Mano de obra 107
Tabla 4. 8: Subconjunto Cabina –Costo Elementos Normalizados 107
Tabla 4. 9: Subconjunto Cabina –Costo de fabricación 108
Tabla 4.10: Subconjunto Cable-tambor-motorreductor –Costo de Material ... 109
Tabla 4.11: Subconjunto Cable-tambor-motorreductor –Costo Mano de obra 110
Tabla 4.12: Subconjunto Cable-tambor-motorreductor – Costo Elementos Normalizados…… 111
Tabla 4.13: Subconjunto Cable-tambor-motorreductor –Costo de fabricación 112
Tabla 4.14: Subconjunto Estructura soporte –Costo de Material 113
Tabla 4.15: Subconjunto Estructura Soporte –Costo Mano de obra 113
Tabla 4.16: Subconjunto Estructura Soporte – Costo Elementos Normalizados 114
Tabla 4.17: Subconjunto Estructura Soporte –Costo de fabricación 114
Tabla 4.18: Máquina de izaje – Costo de fabricación 115

RESUMEN

El presente proyecto se compone de cinco capítulos estructurados de tal forma, que permiten conocer las necesidades que padece una persona en silla de ruedas dentro de su vivienda y la solución ingenieril a su movilización dentro de la misma.

El capítulo uno denominado Generalidades, presenta una introducción, la justificación del proyecto y los objetivos planteados.

El segundo capítulo corresponde al Marco Teórico, este presenta una visión general de los accidentes de tránsito y su efecto en usuarios de vehículos y peatones que circulan por las vías al momento del siniestro.

El tercer capítulo denominado Prefactibilidad, permite determinar si la solución que se plantea en este proyecto al problema de movilización para una persona con capacidades limitadas temporales en silla de ruedas, originado en un accidente de tránsito, es apropiada en base a las necesidades del usuario y al espacio físico de su vivienda.

El capítulo cuarto al que se ha llamado Factibilidad, consiste en el diseño de la alternativa que se ha encontrado como solución al citado problema. En esta sección se presenta los correspondientes procesos de producción y el montaje efectuado mediante una simulación en el programa INVENTOR. Adicionalmente, se establece el costo de cada subconjunto determinando de esta forma el precio de la máquina acorde al mercado nacional.

El capítulo cinco corresponde a las Conclusiones y Recomendaciones, que se deben considerar al momento de construir, instalar y utilizar la máquina de izaje.

PRESENTACIÓN

El presente Proyecto de Titulación tiene como objetivo solucionar el desplazamiento entre pisos en una vivienda de dos plantas, para una persona afectada físicamente por un accidente de tránsito, y que por dichas razones sus capacidades motrices se encuentran comprometidas de tal forma que se limitan al uso de una silla de ruedas.

La preparación técnica adquirida durante el desarrollo de la carrera de ingeniería Mecánica, permite proponer el diseño de una máquina de izaje desmontable para un usuario en silla de ruedas, que garantice la funcionalidad del sistema, basado en el diseño estructural y la selección adecuada de los elementos, considerando la optimización de los costos y facilidad de operación.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Los accidentes de tránsito son una de las causas más comunes de muerte en el Ecuador y sin duda alguna representan un número significativo de heridos[1], constituyéndose así en un problema creciente de salud, que afecta desmedidamente a los usuarios de las vías públicas.

Las estadísticas proporcionadas por la OMS (Organización Mundial de la Salud) demuestran que en el mundo, cada año mueren aproximadamente 1.2 millones de personas y hasta 50 millones resultan heridas.

La imprudencia y negligencia del conductor, así como la falta de educación vial en pasajeros y peatones, provocan efectos que conllevan a serias repercusiones familiares, sociales y económicas, pero sobre todo a daños físicos y psicológicos que alteran el equilibrio anímico de las personas.

Es por ello, que independientemente de las causas que hayan provocado el siniestro, sean estas generadas por el factor humano, por el estado del automotor o por realidades ambientales y que abarcan serias, medianas y leves lesiones, desde un punto de vista humanístico, se considera de extrema importancia la necesidad de mejorar las condiciones de vida de aquellos usuarios que se han convertido en víctimas de estos sucesos.

Bajo estos parámetros se discurre como efectos principales sobre los individuos, aquellos donde se limita su desenvolvimiento autónomo, consecuencia de severas fracturas propiciadas al momento del accidente que terminan imposibilitando, según el grado de la contusión, sus capacidades motrices.

---

[1] http://www.elcomercio.com.ec/actualidad/accidente-bus-cotopaxi-muertos-heridos.html

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los accidentes de tránsito son causantes de un sinnúmero de daños económicos y sociales que involucran un cambio de vida radical para los afectados, que en el peor de los casos están inmersos en una discapacidad temporal o permanente.

El daño no solo se enfoca en el herido, sino también en los familiares y amigos cercanos quienes son los responsables de facilitar las nuevas condiciones de vida de la víctima, estableciéndose así una relación de dependencia que afecta psicológicamente a todos los implicados en el proceso.

Bajo estas condiciones, el presente proyecto trata de resolver el problema de movilización de un usuario que se ha visto afectado por un accidente de tránsito, circunstancia que le obliga en su larga etapa de recuperación a estar confinado en una silla de ruedas, y que para su prolongado periodo de rehabilitación fisioterapéutica necesita trasladarse diariamente a centros de terapia física especializados, por lo que al poseer su vivienda un sistema de gradas, hace dificultoso y aún doloroso las subidas y bajadas respectivas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de izaje desmontable para desplazamiento entre pisos para personas con capacidades especiales temporales en silla de ruedas dentro de una vivienda de dos plantas.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Presentar la memoria técnica para garantizar el proceso de diseño y selección de alternativas.
- Realizar un manual de usuario para garantizar el óptimo funcionamiento de la máquina.
- Elaborar un manual de instalación y operación de la máquina para garantizar las condiciones de seguridad del sistema durante su estado estático y durante su tiempo de operación.

CAPÍTULO 2

MARCO TEORICO

2.1 ACCIDENTES DE TRANSITO

Según el Art. 344, Capitulo III del Reglamento General para la Aplicación de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, se entiende por Accidente de Tránsito a *"Todo suceso eventual o acción involuntaria, que como efecto de una o más causas y con independencia del grado de estas, ocurre en vías o lugares destinados al uso público o privado, ocasionando personas muertas, individuos con lesiones de diversa gravedad o naturaleza y daños materiales en vehículos, vías o infraestructura, con la participación de los usuarios de la vía, vehículo, vía y/o entorno."*

Entendido así, se procede a definir los diferentes conceptos que intervienen en estos sucesos.

2.1.1 TRILOGÍA VIAL[2]

Para que un accidente de tránsito se lleve al efecto, intervienen tres factores básicos que interactúan en forma instantánea y sincronizada, siendo estos:

2.1.1.1 Factor humano

Interviene mediante la acción de los sentidos y su interacción con el entorno; cualidad conocida como percepción, luego de la cual se involucra su capacidad de reacción basada en las experiencias y conocimientos así como en la intuición; capacidad conocida como Intelección, para posteriormente emitir una respuesta oportuna o volición. Si se carece de estas condiciones se puede hablar de imprudencia y negligencia en peatones y conductores a la hora de ocasionar un accidente de tránsito.

---

[2] http://www.ecuador-vial.com/

2.1.1.2 Factor vehículo

Como su nombre lo indica, hace referencia al automotor, su estado conjunto y el de sus componentes.

2.1.1.3 Factor vial - ambiental

Este punto hace referencia a las condiciones de las vías, su alumbrado y señalización, así como también a las condiciones climáticas y tiempo, es decir, tormentas, neblina, luz solar, etc.

Si se busca armonía en cada tramo de las vías y carreteras, se requiere de una interacción adecuada de estos tres factores.

2.1.2 CAUSAS

Cuando un evento de esta naturaleza sucede, previo a buscar responsables se deben establecer las causas que lo provocaron, se habla entonces de una causa basal y de causas concurrentes; es decir; se busca el motivo fundamental por el que se produjo el accidente, no dejando de existir otras razones secundarias que de igual forma provocan consecuencias posiblemente aún más graves que la primera.

Para facilitar la comprensión de lo manifestado, el proyecto se remite a estos dos conceptos, establecidos en el Art. 344, Capitulo III del Reglamento General para la Aplicación de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial.

2.1.2.1 Causa Basal o Eficiente

"Es aquella circunstancia que interviene de forma directa en la producción de un accidente de tránsito y sin la cual no se hubiera producido el mismo." Entre los ejemplos que se pueden citar están: exceso de velocidad, rebasar en curvas, invadir la vía, automotor en mal estado, entre otras.

2.1.2.2 Causas concurrentes o Coadyuvantes

"Son aquellas circunstancias que por sí mismas no producen el accidente, pero coadyuvan a su materialización."

Como ejemplos se tiene: Conducir bajo efectos del alcohol, factores climáticos, condiciones físicas y anímicas del conductor; ya sean; deficiencia visual y/o auditiva, inestabilidad emocional, enfermedades mentales, etc.

2.1.3 TIPOLOGÍA DEL ACCIDENTE

La clasificación de los accidentes que se ha dado en el país se basa en los factores considerados anteriormente:

- Factor Humano:
  - Atropello
  - Arrollamiento
  - Caída de pasajero

- Factor Vehículo:

  - Choque:
    - Choque posterior o por alcance
    - Choque frontal longitudinal
    - Choque frontal excéntrico
    - Choque lateral angular
    - Choque lateral perpendicular

  - Estrellamiento
    - Colisión

  - Volcamiento:
    - Volcamiento lateral
    - Volcamiento longitudinal

- Otros:

- Roce:
  - Roce negativo
  - Roce positivo
  - Rozamiento

2.1.3.1 Accidentes relativos al factor humano

2.1.3.1.1 *Atropello*.- Cuando el vehículo en movimiento impacta a una persona o animal. Ver figura 2.1

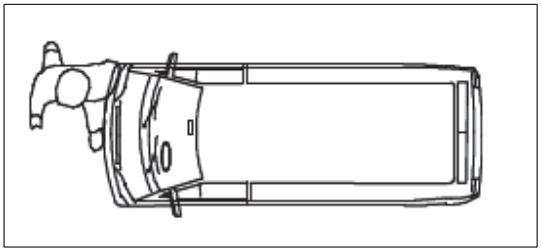


Figura 2. 1: Atropello

Fuente: www.ecuador-vial.com
Elaboracion: Propia

2.1.3.1.2 *Arrollamiento*.- Cuando un vehículo sobrepasa con sus ruedas a un peatón o animal. Ver figura 2.2

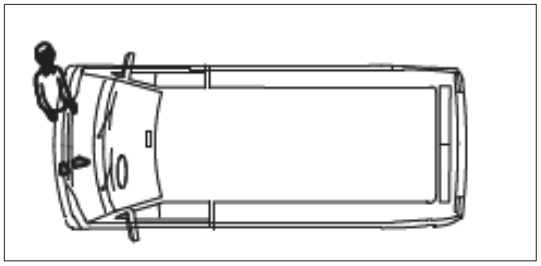


Figura 2. 2: Arrollamiento

Fuente: www.ecuador-vial.com
Elaboracion: Propia

2.1.3.1.3 Caída del pasajero.- Es el descenso brusco e inesperado de un pasajero desde el vehículo hacia la carretera. Ver figura 2.3

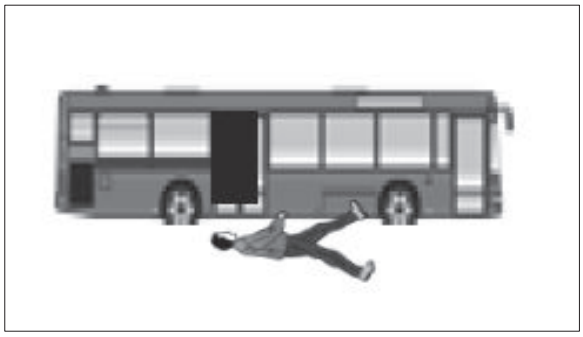


Figura 2. 3: Caída de Pasajero

Fuente: www.ecuador-vial.com
Elaboracion: Propia

2.1.3.2 Accidentes relativos al factor vehículo

2.1.3.2.1 Choque.- Cuando dos o más vehículos colisionan entre sí.

- *Choque frontal longitudinal.-* Impacto frontal donde los ejes longitudinales coinciden al momento de la colisión. Ver figura 2.4

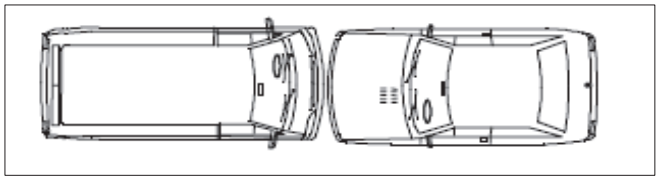


Figura 2. 4: Choque frontal longitudinal

Fuente: www.ecuador-vial.com
Elaboracion: Propia

- *Choque frontal excéntrico.-* Impacto frontal donde los ejes longitudinales forman una paralela. Ver figura 2.5

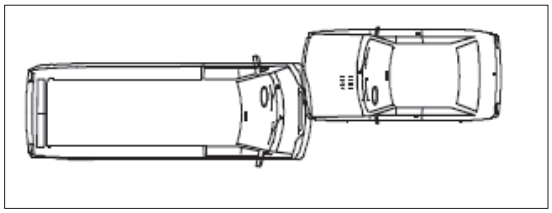


Figura 2. 5: Choque frontal excéntrico

Fuente: www.ecuador-vial.com
Elaboracion: Propia

- *Choque lateral perpendicular*.- Impacto donde los ejes longitudinales forman un ángulo de 90 grados. Ver figura 2.6

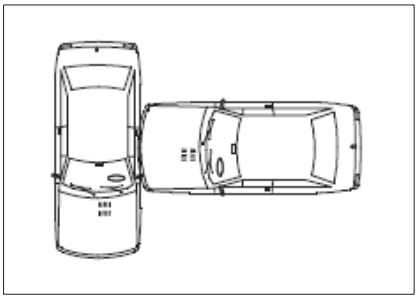


Figura 2. 6: Choque lateral perpendicular

Fuente: www.ecuador-vial.com
Elaboracion: Propia

- *Choque lateral angular*.- Impacto donde los ejes longitudinales forman un ángulo diferente a 90 grados.

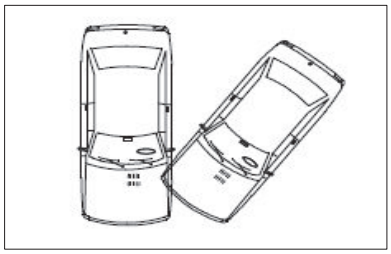


Figura 2. 7: Choque lateral angular

Fuente: www.ecuador-vial.com
Elaboracion: Propia

- *Choque por alcance*.- Cuando un vehículo golpea a otro que le antecede. Ver figura 2.8

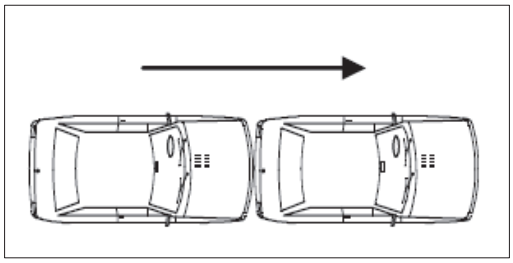


Figura 2. 8: Choque por alcance

Fuente: www.ecuador-vial.com
Elaboracion: Propia

2.1.3.2.2 *Estrellamiento*.- Cuando un vehículo en movimiento impacta un objeto fijo. Ver figura 2.9

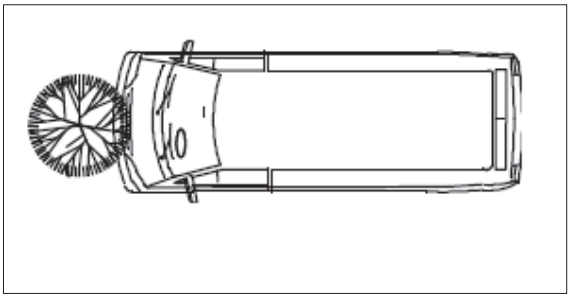


Figura 2. 9: Estrellamiento

Fuente: www.ecuador-vial.com
Elaboracion: Propia

2.1.3.2.3 *Volcamiento*.- Sucede cuando la posición del vehículo se invierte o se ubica sobre el suelo sobre su lado lateral.

- *Volcamiento lateral*.- El vehículo se posiciona en uno de sus laterales, identificados como: 1/4, 2/4, 3/4 o un ciclo completo. Ver figura 2.10

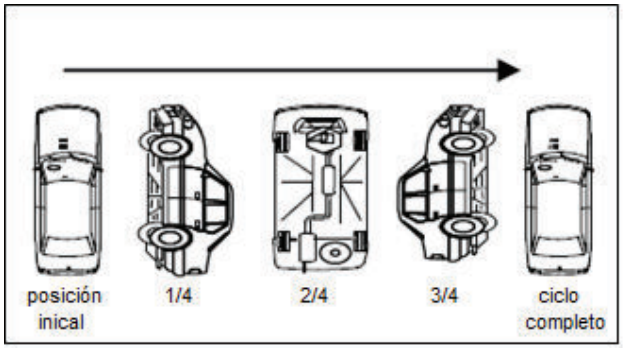


Figura 2. 10: Volcamiento lateral

Fuente: www.ecuador-vial.com
Elaboracion: Propia

- *Volcamiento longitudinal.-* El vehículo pierde su posición normal, en el sentido de su eje longitudinal, identificados como: 1/4, 2/4, 3/4 o 4/4. Ver figura 2.11

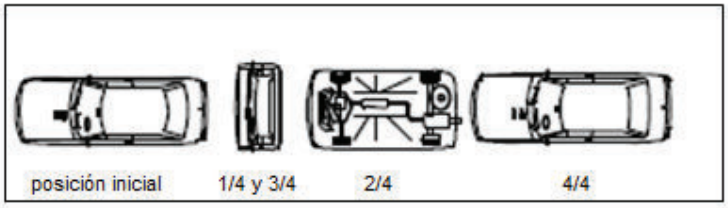


Figura 2. 11: Volcamiento longitudinal

Fuente: www.ecuador-vial.com
Elaboracion: Propia

2.1.3.2.4 Rozamiento.- El vehículo en movimiento fricciona a un objeto fijo. Ver figura 2.12

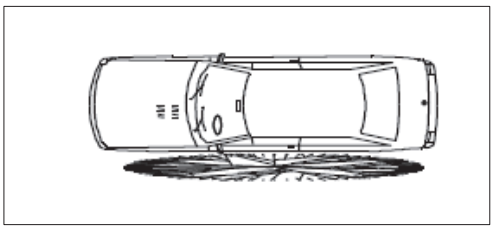


Figura 2. 12: Rozamiento

Fuente: www.ecuador-vial.com
Elaboracion: Propia

- *Roce.*- Un vehículo en movimiento fricciona a otro que también se encuentra en movimiento. Ver figura 2.13

- *Roce negativo.*- El roce se da en el mismo sentido.

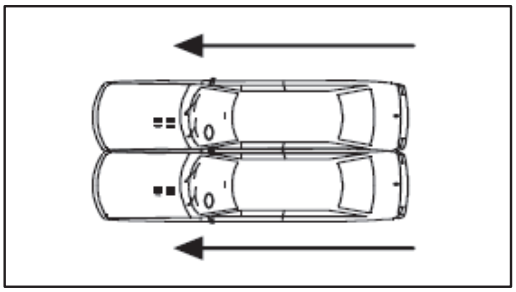


Figura 2. 13: Roce negativo

Fuente: www002Eecuador-vial.com
Elaboracion: Propia

- *Roce Positivo.*- El roce se da en sentido contrario. Ver figura 2.14 [3]

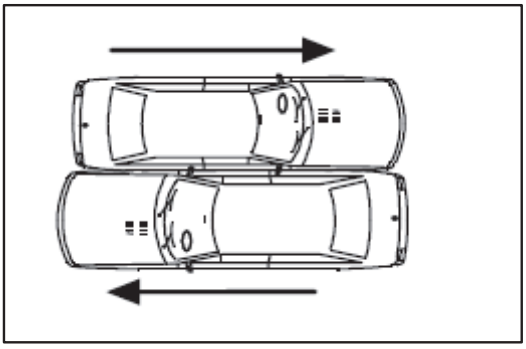


Figura 2. 14: Roce Positivo

Fuente: www.ecuador-vial.com
Elaboracion: Propia

[3] http://www.ecuador-vial.com/

2.1.4 LESIONES CAUSADAS POR ACCIDENTE DE TRÁNSITO

Según estudios efectuados sobre el tema, accidentes que se dieron bajo condiciones superiores a los 100 km/h y sin el uso del cinturón ni el apoyacabezas, y según su grado de reiteración, se han comprobado las siguientes lesiones:

- Fracturas expuestas de los miembros
- Fracturas de cráneo y columna
- Fracturas múltiples de costillas
- Fracturas de pelvis
- Hernias diafragmáticas traumáticas
- Desgarros y estallidos de vísceras
- Desgarro pleuropericárdico
- Desgarro cardíaco y pulmonar
- Desgarro de aorta
- Lesiones contusas externas y variadas producidas por las estructuras metálicas y los vidrios. [4]

De acuerdo al tipo de accidente se contemplan las siguientes lesiones que se pueden producir al momento del impacto:

2.1.4.1 Lesiones en el conductor y pasajeros del vehículo

2.1.4.1.1 Impacto o colisión posterior.- Lo más probable es experimentar un "latigazo cervical" que representa una fractura de columna a nivel del cuello. Ver figura 2.15

[4] http://www.csjn.gov.ar/

Figura 2. 15: Latigazo cervical

Fuente: www.captel.com.ar
Elaboracion: Propia

2.1.4.1.2 Impacto lateral.- Produce una distensión muscular cervical, fracturas en la columna vertebral, clavícula, húmero, pelvis, tibia, peroné, también puede generar lesiones a nivel del tórax y desgarros en órganos internos. Ver figura 2.16

Figura 2. 16: Daños en un Impacto lateral

Fuente: www.captel.com.ar
Elaboracion: Propia

2.1.4.1.3 Impacto rotatorio.- Este tipo de impacto depende en gran medida de la velocidad de los automotores al momento del siniestro, ya que el de menor celeridad sufre lesiones mucho más severas, considerándose que, si el vehículo da vueltas, los usuarios se lastiman por el choque constante con las diferentes partes de su interior; si por el contrario, las víctimas se desprenden hacia el exterior, la gravedad de sus lesiones depende de los objetos con que coincida en su trayecto.

2.1.4.1.4 Impacto o colisión frontal.- Generalmente se trata de lesiones encefalocraneanas y fracturas en la columna, el tórax y pelvis con desgarros en órganos internos. Ver figura 2.17[5].

Figura 2. 17: Daños en una colisión frontal

Fuente: www.captel.com.ar
Elaboracion: Propia

2.1.4.2 Lesiones en el peatón víctima de un accidente vial

En términos técnicos, cuando un peatón es víctima de un accidente de tránsito se habla de un atropello, como se indica en la figura 2.18, y este puede ser:

[5] www.captel.com.ar

Figura 2. 18: Atropello

Fuente: es.slideshare.net
Elaboracion: Propia

2.1.4.2.1 *Choque*.- Depende de la velocidad del automotor al momento que alcanza al peatón. Como lesiones se tienen heridas contusocortantes, generalmente en miembros inferiores.

2.1.4.2.2 *Caída o proyección del cuerpo sobre una superficie ya sea el propio vehículo y/o el asfaltado*.- Predominan lesiones a nivel del cráneo y parte superior del tórax. Si la víctima es proyectada hacia arriba cayendo sobre el capó, las lesiones serán de tipo excoriativas y cortantes superficiales.

2.1.4.2.3 *Compresión del cuerpo entre dos superficies contundentes (vehículo y pavimento)*.- Sucede cuando una o varias ruedas pasan sobre el cuerpo caído de la víctima. Se presentan lesiones excoriativo-equimóticas, con la presencia de hematomas con la forma del neumático. Se produce hemorragia interna con desgarros viscerovasculares.

2.1.4.2.4 *Arrollamiento*.- Es la acción envolvente transmitida al cuerpo con serias fracturas y lesiones tegumentarias producidas por arrancamiento y desprendimiento.

2.1.4.2.5 Arrastre.- Si la víctima se engancha al vehículo mediante su vestimenta se genera excoriaciones de tipo apergaminado, demostrando el roce del cuerpo sobre una superficie.[6]

2.2 MOVILIDAD EN PERSONAS CON CAPACIDADES LIMITADAS TEMPORALES

Una Persona con capacidades limitadas temporales es aquella que por un percance o accidente se ha visto en la necesidad de utilizar durante su etapa de recuperación, un medio de transporte auxiliar para su movilidad, que para el efecto de nuestro estudio es la silla de ruedas.

2.2.1 LA SILLA DE RUEDAS

Estos equipos tienen como objetivo facilitar el traslado de personas que han perdido total o parcialmente sus capacidades motrices. Según la oferta del mercado pueden ser eléctricas y manuales, de las siguientes características:

- Rodado especial “todo terreno”
- Propulsión bimanual convencional, para uso en interiores; retroceso; maniobra precisa en espacio limitado o su equivalente.
- Propulsión potenciada por el uso de palancas y /u otro sistema, para movilidad en exteriores, que permita desplazamientos por períodos continuos de hasta tres horas, y distancias de 15 a 30 Km.
- Acompañante: según la necesidad, posibilidad de guía o movilidad asistida por acompañante.[7]

Las sillas de ruedas (ver figura 2.20), se utilizan en superficies planas o en pequeñas gradas, lo cual dificulta al usuario desplazarse de un piso a otro en edificaciones que no cuenten con pendientes para su movimiento.

---

[6] es.slideshare.net
[7] www.chubut.gov.ar/

Figura 2. 19: Silla de Ruedas

Fuente: www.terapia-ocupacional.com
Elaboración: Propia

Las dimensiones básicas para estos equipos aparecen en el Anexo 1: Medidas básicas de la silla de ruedas.

2.2.2 EL ELEVADOR

El ascensor o elevador es un medio de desplazamiento vertical que se utiliza para transportar personas u objetos entre pisos ubicados a diferente altura, eliminando de esta forma la utilización de gradas.

Se constituye de elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos que trabajan de forma coordinada garantizando seguridad al usuario.

Elementos Constitutivos del elevador:

2.2.2.1 Cabina

Es el área donde el usuario se posiciona y consta de un bastidor que se apoya en las guías verticales.

2.2.2.2 Contrapeso

Se ubica en un sistema de guías y se caracteriza por ser más pesado que la cabina, equilibrando la carga y facilitando el trabajo del motor.

2.2.2.3 Grupo tractor

Consiste básicamente en un motor y un reductor de velocidad.

2.2.2.4 Sistema de paracaídas

Consiste en un conjunto de cuñas que se ubican contra las guías y tiene como objetivo reducir la velocidad en caso de que ésta sobrepase la velocidad de diseño.[8]

2.2.3 ELEVADORES PARA PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA

Entre las opciones para movilizar personas con capacidades limitadas temporales se encuentran los elevadores de desplazamiento inclinado, que consisten en un sistema anclado al pasamanos que se desplaza con estos como guía. Su limitación radica en el espacio disponible en las escaleras de la vivienda.

Los elevadores de desplazamiento vertical son otra opción, su ventaja sobre el modelo anterior radica en la utilización y adaptación más sencilla al espacio disponible.

Ambos demandan dimensiones acordes a los diferentes mecanismos de movilidad y su usuario, y su utilización dependerá de las circunstancias del entorno, considerando como mayor limitación el área de localización y desplazamiento de la máquina.

En base a las condiciones citadas anteriormente, se debe establecer el diseño más apropiado.

---

[8] http://es.wikipedia.org/

CAPITULO 3

PREFACTIBILIDAD

3.1DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la búsqueda de mecanismos que contribuyan con la movilización de personas con capacidades limitadas temporales se han encontrado diferentes productos que permiten salvar pequeños desniveles o que contribuyen con el traslado entre plantas cuando la vivienda no dispone de ascensor.

Es así que establecida la necesidad de la persona con movilidad restringida se procede a la identificación del problema, que consiste en elevar la silla de ruedas con el usuario, o solo al usuario, cuando este puede caminar pero no subir escaleras.

Considerándose una discapacidad temporal, el mecanismo que se diseñe como solución, debe ser desmontable y adaptable a la vivienda del enfermo, por lo que al ser ésta de espacio restringido en las escaleras, se recurre necesariamente a un medio de desplazamiento vertical.

3.2REQUERIMIENTOS DEL USUARIO

Para la elaboración del protopitpo se ha considerado los requerimientos del usuario basados en sus necesidades para establecer y evaluar las características de la maquina a diseñarse (Ver Anexo 2. Requerimiento de Diseño).

Concluida la evaluación se obtuvo las siguientes características como las más representativas:

- Seguridad
- Fácil funcionamiento
- Fácil acceso
- Adaptabilidad al usuario.

Con lo que respecta a las características técnicas se ha decidido considerar como las más trascendentales:

- Ergonomía
- Montaje
- Capacidad de carga
- Peso y velocidad de desplazamiento
- Vibraciones.

3.3 ESTUDIO DE CAMPO

El espacio destinado para la instalación del equipo es la mayor limitación que se presenta en este estudio, ya que se requiere de un área de 1,2 $m^{2,}$ aproximadamente; establecida en base a las dimensiones de la silla de ruedas cuando el usuario está ubicado sobre ella. Para solucionar que el inconveniente se debe modificar las siguientes partes de la vivienda:

- Piso en concreto
- Pasamanos localizado en el balcón interior de la vivienda

En el Anexo 3. Estudio de Campo, se muestran imágenes y el plano civil de la vivienda con las respectivas zonas de conflicto.

3.4 ESPECIFICACIONES

En base a los dos puntos anteriores se pueden establecer las siguientes especificaciones:

- Peso del equipo
- Capacidad de la plataforma
- Seguridad del ocupante
- Dimensiones
- Velocidad del sistema

La tabla 3.1 resume las especificaciones mencionadas:

Concepto	Propone	R/D	Descripción
Función	C+I	R	Movilizar persona en sillas de ruedas
Dimensión	I	R	Carga máxima: 200 Kg Ancho mínimo: 1,00 m Largo mínimo: 1,20 m Altura mínima: 1,10 m
Movimientos	I	R	Desplazamiento Vertical
Energía	I	D	Accionamiento eléctrico
Señales y control	C	D	Panel de Control de fácil acceso y operación
Aspectos Legales	C	R	Cumplimiento de Norma NTE INEN 2299:2001
	C+I	R	Cumplimiento de Normas de Calidad ASME A 18.1

Tabla 3. 1: Especificaciones

Nota: R= Requerimiento, C= Cliente, D=Deseo, I=Ingeniería
Fuente: www.terapia-ocupacional.com
Elaboración: Propia

3.5 PROTOCOLO DE PRUEBAS

El protocolo de pruebas consiste en el análisis de los principales parámetros del mecanismo para determinar si es un diseño fiable y debidamente funcional.

Para esto se somete al prototipo construido a:

- Pruebas de Montaje
- Pruebas de Vacío, es decir, sin ubicar al conjunto usuario- silla de ruedas en su interior.
- Pruebas con carga, donde se efectúa el desplazamiento de un usuario de características físicas similares a las de la persona con discapacidad motriz y de su silla de ruedas.

El Anexo 4 muestra el formato del Protocolo de Pruebas.

3.5.1 ENSAYO: MONTAJE DEL EQUIPO

Consiste en verificar en base a las especificaciones técnicas del mecanismo los aspectos correspondientes a la sujeción de juntas soldadas y empernadas, control de vibraciones y dimensiones apropiadas, acordes al diseño.

3.5.2 ENSAYO: DESPLAZAMIENTO DEL SISTEMA EN VACÍO

Se verifica los aspectos correspondientes a velocidad de desplazamiento de la máquina y a la estabilidad de la misma, de acuerdo a la norma ASME 18.1. Se utiliza para el caso, un cronometro y la capacidad visual del evaluador.

3.5.3 ENSAYO: DESPLAZAMIENTO DEL SISTEMA CON CARGA

Se verifica de acuerdo a las especificaciones técnicas los aspectos correspondientes a la capacidad de carga de 200 kg según la norma ASME 18.1. La persona de contextura física similar a la del usuario, se ubica en la silla de ruedas y accede a la cabina del sistema. Se efectúa el movimiento de ascenso y descenso del conjunto para verificar la capacidad de carga de la máquina y su estabilidad durante el tiempo de operación.

Este ensayo permite evaluar la ergonomía pues se controla el acceso a la cabina, la seguridad en la manija y el equilibrio durante la traslación.

CAPITULO 4

FACTIBILIDAD

4.1 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Con este estudio se pretende analizar alternativas que cumplan con los parámetros de diseño previamente establecidos. Se han considerado para ello, dos mecanismos de movilidad; uno, con un sistema de tracción hidráulico y otro, mediante el uso de un motorreductor. Se han determinado estos dos sistemas de desplazamiento como los más convenientes ya que ambos pueden acoplarse al espacio físico que anteriormente se consideró como una limitación.

Se establecieron dos sistemas:

- Mecanismo Hidráulico
- Motorreductor

4.1.1 ALTERNATIVA 1: MECANISMO HIDRAÚLICO

4.1.1.1 Funcionamiento

El funcionamiento de este tipo de mecanismo consiste en la utilización de un pistón hidráulico que se conecta a un sistema de palancas. Estos brazos se articulan a su vez con la plataforma donde se ubica el usuario para producir su elevación. La presión generada por la bomba sobre el fluido es lo que impulsa al mencionado sistema permitiendo su ascenso.

En la figura 4.1 se detallan los elementos principales de esta alternativa.

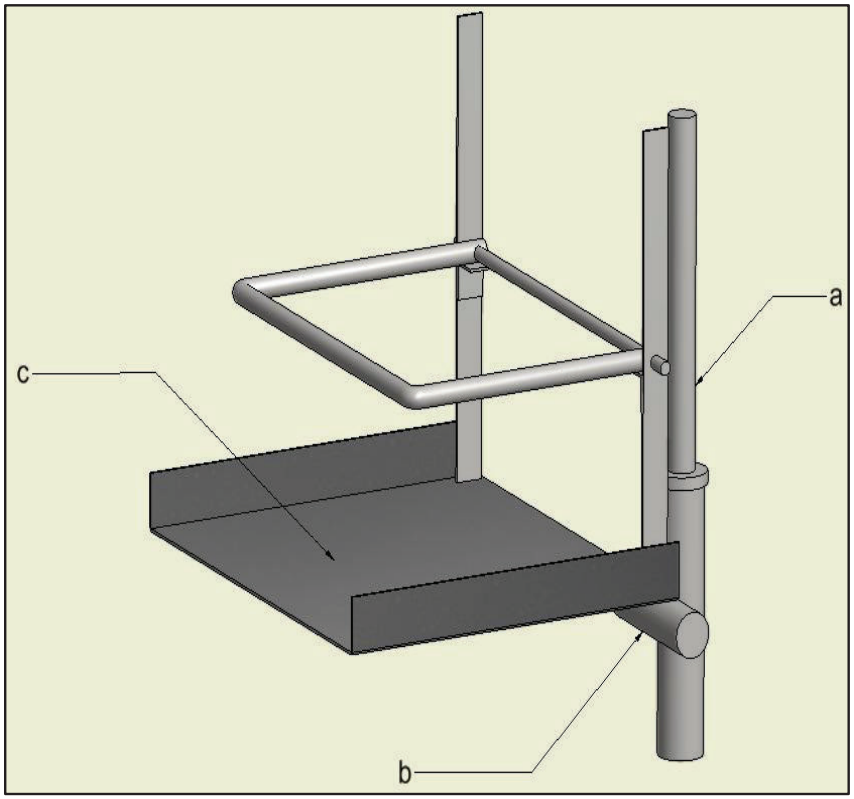


Figura 4. 1: Sistema Hidráulico

Fuente: http://www.ascensoresgrinovero.com.ar/

Elaboración: Propia

Dónde:

a) Pistón hidráulico
b) Palanca
c) Plataforma

4.1.1.2 Ventajas

- No necesita de un sistema de guías
- No sobrecarga la estructura del edificio
- No hay riesgo de que el usuario tenga contacto con el mecanismo de elevación

4.1.1.3 Desventajas

- Sus componentes son pesados y de compleja instalación por lo que no es conveniente utilizarlo para un diseño desmontable.
- Incremento del costo del sistema debido a la utilización de una bomba hidráulica.

4.1.2 ALTERNATIVA 2: MOTORREDUCTOR

4.1.2.1 Funcionamiento

El movimiento vertical de la plataforma guiada por dos ejes para garantizar su estabilidad se da mediante una polea y un cable de acero, sistema accionado por un motorreductor.

La figura 4.2 detalla los principales elementos de esta alternativa**:**

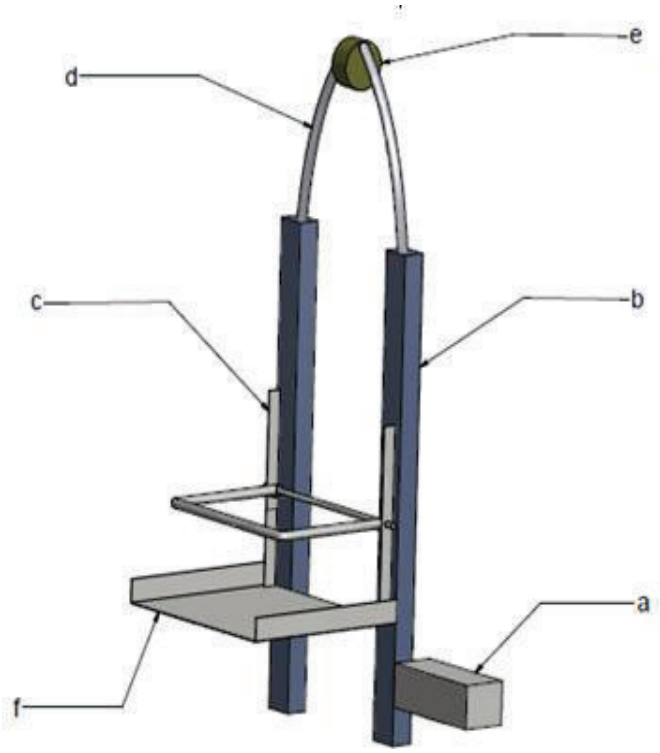


Figura 4. 2: Sistema-Motorreductor

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

Dónde:

a) Motorreductor
b) Guías soportes
c) Nervios para el soporte del elevador
d) Cable de acero
e) Polea

4.1.2.2 Ventajas

- Por la simplicidad del sistema y su ligero peso se puede denotar la facilidad de montaje y desmontaje de esta alternativa.
- El costo del mecanismo es menor.
- Se garantiza estabilidad mediante el sistema de guías.

4.1.2.3 Desventajas

- Requiere de un sistema de guías que puede generar sobrecarga en las paredes de la vivienda.

4.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Mediante la utilización del método de Brown y Gibson que consiste en una evaluación ponderada, el presente ítem busca seleccionar la alternativa más adecuada a las necesidades del usuario y a las restricciones de espacio planteadas para su posterior diseño. Los factores que se tomarán en cuenta para esto son:

- Montaje y desmontaje del equipo
- Funcionalidad
- Bajo costo
- Mantenimiento

La valoración numérica para cada factor se determina en la tabla 4.1 que se muestra a continuación:

Montaje y desmontaje	Funcionalidad	Costo	Mantenimiento	Valoración
Fácil	Alto	Bajo	Fácil	4
Medio	Mediana	Módico	Medio	3
Difícil	Baja	Alto	Difícil	2

Tabla 4. 1: Valoración de factores para la selección de alternativas

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

La alternativa a diseñarse será aquella que alcance la puntuación más alta según esta escala de valoración. Ver tabla 4.2.

Factores	Sistema Hidráulico	Motorreductor	Diseño Ideal
Montaje y desmontaje	1	3	4
Funcionalidad	3	3	4
Costo	2	3	4
Mantenimiento	2	3	4
Total	8	12	16
Porcentaje	50%	75%	100%

Tabla 4. 2: Valoración de alternativas

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

Por lo que se puede observar en la tabla 4.2 la opción con mayor porcentaje respecto del diseño ideal es la del motorreductor, por lo tanto se seleccionará esta alternativa para el desarrollo del presente proyecto.

En base al criterio ingenieril se ha modelado un esquema para el sistema de izaje de desplazamiento vertical que satisface todos los factores previamente mencionados:

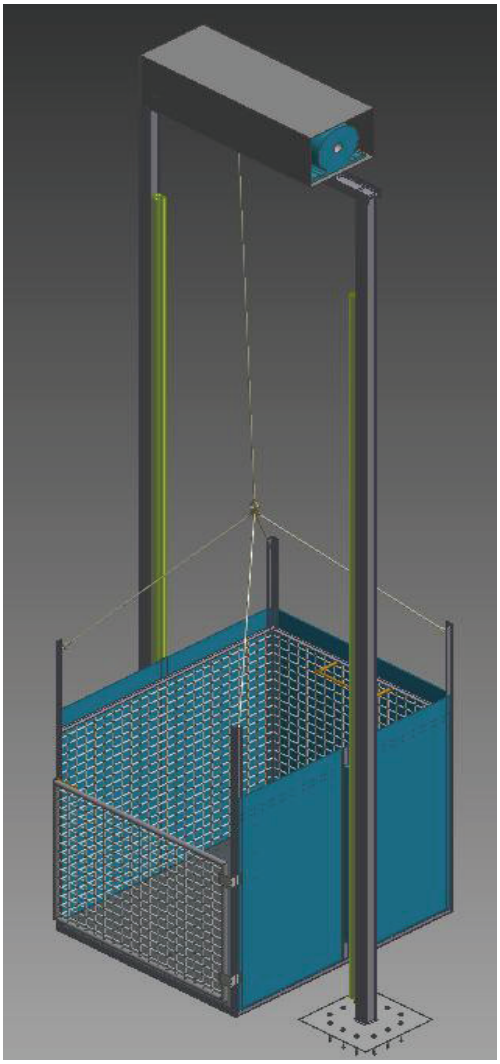


Figura 4. 3: Alternativa Seleccionada

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

4.3 DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Este ítem presenta los cálculos pertinentes a cada elemento del sistema, teniendo en cuenta los parámetros de diseño expuestos en los capítulos anteriores. Para esto se va a usar la teoría de elementos de máquinas y estructuras de acero, ya que la parte que va a soportar la carga en la plataforma móvil se ha considerado un componente estructural.

Por todo esto se debe hacer especial énfasis en la perfilería a utilizar, buscando los elementos que presenten un índice de trabajo seguro al menor costo, esto con un límite de fluencia adecuado y propiedades antioxidantes debido al medio corrosivo al que se expondrán. Posteriormente se realiza el análisis del sistema motriz.

Con esta memoria de cálculo se busca obtener un diseño eficiente y veraz, para ello, se ha seccionado la máquina en tres partes:

- Cabina
- Cable - tambor - Motorreductor
- Estructura soporte

4.3.1 CÁLCULO DE LA CABINA

Esta es la zona de la máquina donde se concentrará el peso usuario – silla de ruedas. Para luego proceder con el movimiento vertical, por lo que se requiere de una serie de cálculos que garanticen la seguridad del ocupante.

4.3.1.1 Base de la cabina

Para este cálculo se tienen como datos los siguientes parámetros:

- Dimensiones de la plataforma
- Factor de seguridad
- Fuerza aplicada a cualquier punto que debe soportar la misma

Restricciones:

Área ≤ 1,2 m2

Fuerza = 200 kg

Factor Seguridad ≥ 5

Según la norma NTE INEN 2 299:2001, las dimensiones para elevadores diseñados para el transporte de personas con movilidad reducida son de 1,2 x 1 metro, lo cual permite el acceso para el usuario en su silla de ruedas estándar.

La fuerza considerada se calcula en base al peso del usuario y su equipo de movilización que para el caso es 150 kg, sin embargo, se ha considerado un valor de 200kg establecido por la norma ASME A 18.1, sección 5.7.1; para dimensiones menores a 1,4 m de lado.

El factor de seguridad mencionado, también se obtuvo de la norma ASME A 18.1, sección 5.6.1 y no debe ser menor a 5.

Con el fin de evitar el pandeo de la plancha base de la cabina se colocan tres soportes transversales de 1200 mm de longitud.

4.3.1.1.1 Cálculo de la plancha base

Para el cálculo de la plancha base, se considera una carga distribuida sobre el lado de menor longitud, ya que esta es superior al valor que se obtendría en el lado más grande.

La imagen 4.4 muestra el sistema hiperestático para el lado transversal.

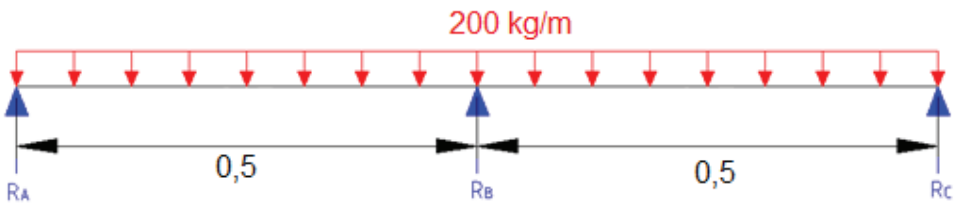


Figura 4. 4: Plataforma Hiperestática- lado transversal

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

Para el análisis de la plataforma se aplica el teorema de Clapeyron o teorema de los tres momentos, el cual permite encontrar las reacciones en sistemas hiperestáticos representadas en la figura 4.5:

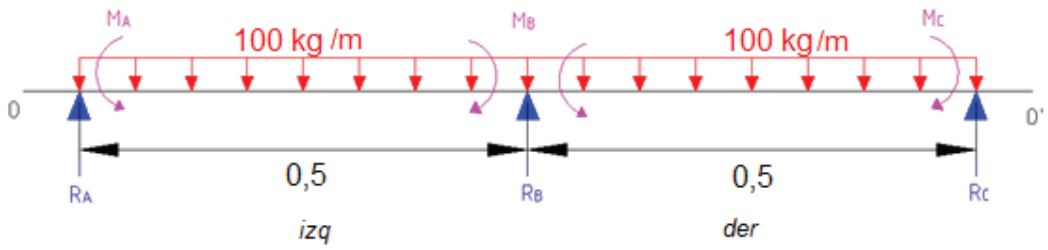


Figura 4. 5: Diagrama de Cuerpo Libre - Plataforma hiperestática

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

El teorema de los tres momentos se representa en la ecuación *(4.1)*

$$L_i M_A + 2(L_i + L_d)M_B + L_d M_C = -6\,EI(\alpha_{oi} + \alpha_{od}) \qquad \textit{Ec. (4.1)}$$

Los puntos A y C, por ser los extremos, presentan momentos nulos:

$$M_A = M_C = 0 \qquad \textit{Ec. (4.2)}$$

Entonces,

$$2(L_i + L_d)M_B = -6\,EI(\alpha_{oi} + \alpha_{od}) \qquad \textit{Ec. (4.3)}$$

$$2(0{,}5 + 0{,}5)M_B = -6\,EI(\alpha_{oi} + \alpha_{od})$$

$$M_B = -3\,EI(\alpha_{oi} + \alpha_{od})$$

En base al manual de Pisarenko (Anexo 5: Tabla 20: Ecuaciones de la línea elástica, flechas máximas y ángulos de giro de las secciones de extremo y de apoyo en las vigas isostáticas de sección transversal constante), para vigas que soportan fuerzas distribuidas, se tiene:

$$\alpha_{oi} = \alpha_{oi} = \frac{qL^3}{24\,EI} \qquad \textit{Ec. (4.4)}$$

Reemplazando:

$$\alpha_{oi} = \alpha_{oi} = \frac{100x0{,}5^3}{24\,EI} = \frac{0{,}521}{EI}$$

Sustituyendo la *Ec. (4.7)* en *Ec. (4.5),* tenemos:

$$M_B = -3\,EI\left(\frac{1{,}041}{EI}\right) \qquad \textit{Ec. (4.5)}$$

Por lo tanto,

$$M_B = -3{,}125\,kg - m$$

Seguidamente se procede a calcular los momentos hiperestáticos:

- Tramo izquierdo:

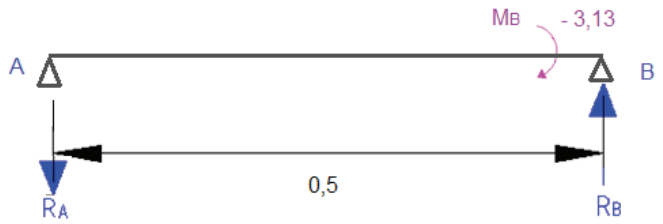


Figura 4. 6: Tramo izquierdo de la plancha- Momentos hiperestáticos

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

$$R_A = R_B = \frac{M_B}{L} \qquad \textit{Ec. (4.6)}$$

$$R_A = R_B = \frac{3{,}13}{0{,}5} = 6{,}26 \text{ kg}$$

- Tramo derecho:

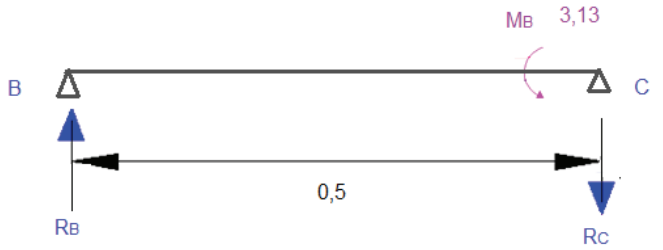


Figura 4. 7: Tramo derecho de la plancha- Momentos hiperestáticos

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

$$R_B = R_C = \frac{M_B}{L} \qquad \textit{Ec. (4.7)}$$

$$R_B = R_C = \frac{3{,}13}{0{,}5} = 6{,}26 \text{ kg}$$

La obtención de cargas externas se efectúa en dos tramos, similar al caso anterior:

- Tramo izquierdo:

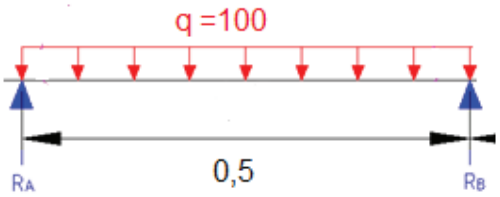


Figura 4. 8: Tramo izquierdo de la plancha - Cargas externas

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

$$R_A = R_B = \frac{qL}{2} \qquad \textit{Ec. (4.8)}$$

$$R_A = R_B = \frac{100x0{,}5}{2} = 25\ kg$$

- Tramo derecho:

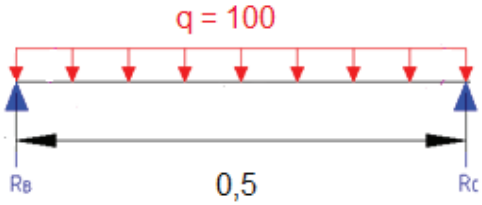


Figura 4. 9: Tramo derecho de la plancha - Cargas externas

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

$$R_{B'} = R_C = \frac{qL}{2} \qquad \textit{Ec. (4.9)}$$

$$R_{B'} = R_C = \frac{100x0,5}{2} = 25\ kg$$

Las reacciones finales se establecen con la sumatoria de las dos anteriores:

De las ecuaciones *(4.6)* y *(4.8)* se obtiene que,

$$R_{A=} - 6,26 + 25 = 18,74\ kg \qquad \textit{Ec. (4.10)}$$

$$R_{B=} 6,26 + 25 = 31,26\ kg \qquad \textit{Ec. (4.11)}$$

De las ecuaciones *(4.7)* y *(4.9)* se obtiene que,

$$R_{B=} 6,26 + 25 = 31,26\ kg \qquad \textit{Ec. (4.12)}$$

$$R_{C=} - 6,26 + 25 = 18,74\ kg \qquad \textit{Ec. (4.13)}$$

Para determinar los diagramas cortante y momento flector se debe efectuar el análisis, considerando dos segmentos en la plataforma: el primero $0 \leq x \leq L$; y el segundo de $L \leq x \leq 2L$, como se muestra en la figura 4.10

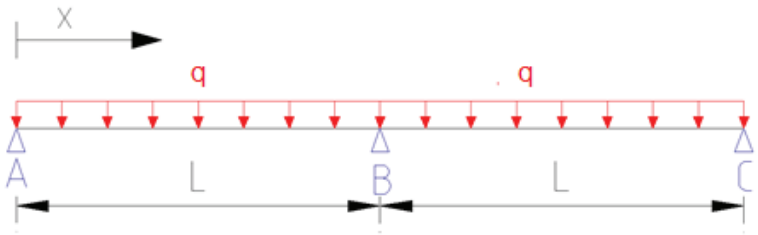


Figura 4. 10: Segmentos – plancha base: $\boldsymbol{0 \leq x \leq L}$ y $\boldsymbol{L \leq x \leq 2L}$

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

A partir de esta interpretación se permite el cálculo de los esfuerzos cortantes y de los momentos flectores para la plataforma, mediante las siguientes ecuaciones:

Para el primer segmento:

$$\sum F_V = 0 \qquad \textit{Ec. (4.14)}$$

$$qx = R_A \qquad \textit{Ec. (4.15)}$$

$$x = \frac{R_A}{q} = \frac{18{,}74}{100} = 0{,}187\ m$$

A 0,187 m del origen, el esfuerzo cortante será nulo.

Para el segundo segmento, considerando el origen en el punto C:

$$qx = R_C \qquad \textit{Ec. (4.16)}$$

$$x = \frac{R_C}{q} = \frac{18{,}74}{100} = 0{,}187\ m$$

A 0,187 m del punto C, el esfuerzo cortante será nulo.

Una vez obtenidos estos valores se procede a realizar el diagrama cortante ilustrado en la figura 4.11.

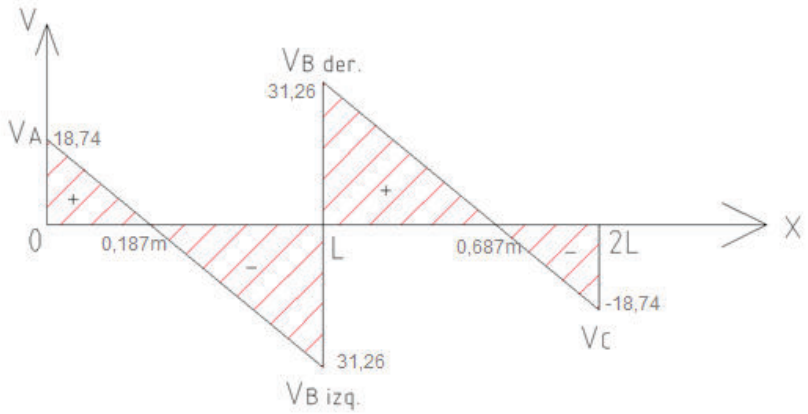


Figura 4. 11: Diagrama de Cortante – plancha base

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

Seguidamente, se procede a obtener las áreas marcadas que determinarán el momento máximo.

$$A_1 = \frac{18{,}74x0{,}187}{2} = 1{,}752\ kg - m \qquad \textit{Ec. (4.17)}$$

$$A_2 = \frac{31{,}26x0{,}313}{2} = 4{,}892\ kg - m \qquad \textit{Ec. (4.18)}$$

De esta forma se determina el momento flector máximo e igual a 4,89 kg-m. De igual manera se procede a graficar el diagrama correspondiente:

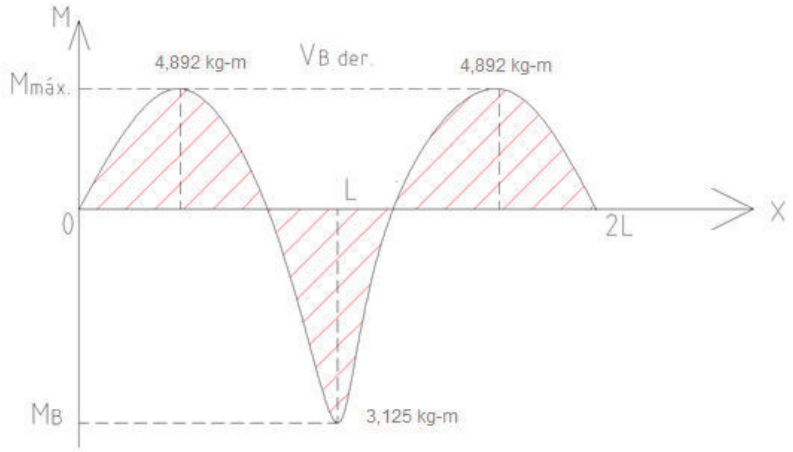


Figura 4. 12: Diagrama de Momento Flector- plancha base

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

4.3.1.1.2 Selección de la plancha antideslizante

De acuerdo al esfuerzo y al momento máximo calculado en la aplicación de una fuerza distribuida se selecciona la plancha base de la cabina, considerando, al igual que en los casos anteriores, un factor de seguridad mayor o igual a 5.

Para establecer el espesor reemplazamos los datos existentes en la ecuación, considerando acero ASTM-36 (límite de fluencia = 2531,05 kg/cm^2) para su selección:

$$\sigma_p = \frac{Mc}{Ix} = \frac{M}{Sx} \leq \sigma_{max} = \frac{Sy}{F.S.} \qquad \textit{Ec. (4.19)}$$

Dónde:

σ_p: Esfuerzo permisible

M: momento máximo

Ix: inercia respecto del eje x

c: distancia al eje x

Sy: límite de fluencia

F.S: factor de seguridad

$$\sigma_p = \sigma_{max} = \frac{Sy}{F.S.} = \frac{2531{,}05\ kg/cm^2}{5} = 506{,}21\ kg/cm^2$$

$$\sigma_{max} = \frac{MxF.S.}{Sx}$$

Remplazando valores en la *Ec. (4.19):*

$$506{,}21\ kg/cm^2 = \frac{489{,}2\ kg{-}cm\ x\ 5}{Sx}$$

De donde,

$$Sx = 4{,}8319\ cm^3$$

Reemplazando en:

$$Sx = \frac{bh^2}{6} \qquad \textit{Ec. (4.20)}$$

Dónde:

b: distancia sobre la cual se aplica la fuerza distribuida de 200 kg/m.

h: espesor de la plancha de acero ASTM-36

$$4{,}8319 = \frac{100h^2}{6}$$

$$h = 0{,}538\ cm$$

Considerando un espesor de 6 mm:

$$506{,}21\ kg/cm^2 = \frac{490\ x\ F.S.}{\frac{100\ cm\ 0{,}6^2}{6}}$$

$$F.S. = 6{,}2 > 5$$

De acuerdo al catálogo IPAC (Ver Anexo 6: Plancha antideslizante), para planchas de acero ASTM-36 con recubrimiento negro, se selecciona una lámina de 6mm de espesor.

Es necesario determinar la deflexión de la plancha para establecer si el número de perfiles longitudinales soporta una deformación consistente para el presente diseño.

La deflexión se puede obtener de la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{5ql^4}{384EI} \qquad \textit{Ec. (4.21)}$$

Dónde:

δ: Deflexión máxima
E: Módulo de Young (200 GPa)
I: Inercia de la plancha

La carga será 100 kg/m o 980,67 N/m en una distancia de 0,5 m; por su parte, la inercia se determinará a partir de la *Ec. (4.22)*:

$$I = \frac{bh^3}{12} \qquad \textit{Ec. (4.22)}$$

$$I = \frac{0{,}5x0{,}006^3}{12} = 9x10^{-9}\ m^4$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.21, se obtiene:

$$\delta = \frac{5x980{,}67x0{,}5^4}{384x200x10^9x\ 9x10^{-9}} = 4{,}434x10^{-4}\ m$$

De esta manera se verifica que la selección de tres soportes longitudinales en 1m de longitud provoca una deflexión de 0,44 mm; valor trivial en el diseño de la cabina.

4.3.1.1.3 Cálculo de los soportes longitudinales

El soporte de la mitad es el elemento que está sometido a una mayor carga, por lo que el cálculo se hace en relación a este elemento. Para esto, se considera una carga de 31,26 kg (valor calculado anteriormente), distribuida uniformemente a lo largo del perfil. Adicionalmente, se considera el peso de la plancha distribuido de manera uniforme y que de acuerdo al análisis efectuado en el CAD 3D Autodesk INVENTOR es de 49,46 kg.

Es necesario determinar la deflexión de la pancha en dirección longitudinal para establecer el número de apoyos transversales sobre los que se ubica el soporte.

La deflexión se puede obtener de la ecuación:

$$\delta = \frac{5ql^4}{384EI} \qquad \textit{Ec. (4.21)}$$

Dónde:

δ: Deflexión máxima
E: Módulo de Young (200 GPa)
I: Inercia de la plancha

La carga será 67,3 kg/m o 660 N/m en una distancia de 1,2 m; por su parte, la inercia se ha establecido a partir de la Ec. *(4.22):*

$$I = \frac{bh^3}{12} \qquad \textit{Ec. (4.22)}$$

$$I = \frac{0{,}5x0{,}006^3}{12} = 9x10^{-9}\ m^4$$

Reemplazando los datos en la ecuación 4.47, se obtiene:

$$\delta = \frac{5x660x1{,}2^4}{384x200x10^9x\ 9x10^{-9}} = 9{,}9x10^{-3}\ m$$

Se verifica que la selección de dos soportes transversales en 1,2 m de longitud provoca una deflexión de aproximadamente 1cm; valor significativo en el diseño de la cabina.

De esta forma se repite el cálculo para tres apoyos, La carga será 33,65 kg/m o 330 N/m en una distancia de 0,6 m.

$$\delta = \frac{5x330x0{,}6^4}{384x200x10^9x\ 9x10^{-9}} = 3{,}093x10^{-4}\ m$$

La deflexión máxima establecida es de 0,3 mm, valor trivial en el diseño de la cabina. Por lo tanto los soportes longitudinales tienen tres apoyos base.

A continuación se procede a graficar el Diagrama del Cuerpo Libre mostrado en la figura 4.13.

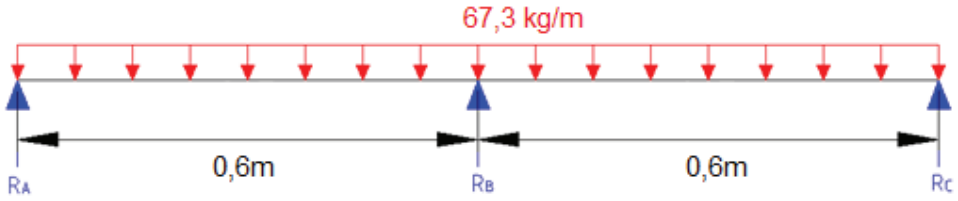


Figura 4. 13: Perfil longitudinal

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

Para el análisis del perfil se aplica el teorema de Clapeyron o teorema de los tres momentos, el cual permite encontrar las reacciones en sistemas hiperestáticos representadas en la figura 4.14:

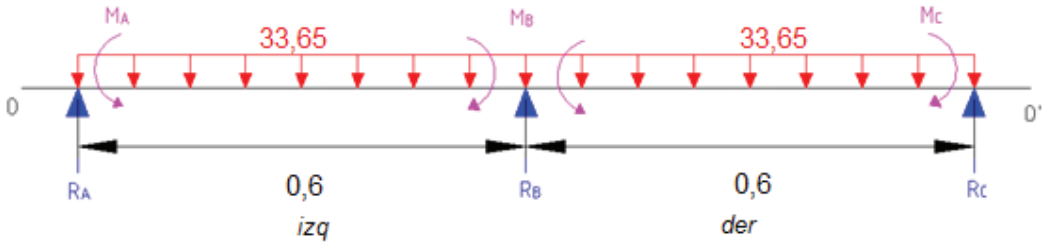


Figura 4. 14: Diagrama de Cuerpo Libre - perfil longitudinal hiperestático

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

El teorema de los tres momentos se representa en la *Ec. (4.1)*

$$L_i M_A + 2(L_i + L_d)M_B + L_d M_C = -6\,EI(\alpha_{oi} + \alpha_{od}) \qquad \textit{Ec. (4.1)}$$

Los puntos A y C, por ser los extremos, presentan momentos nulos:

$$M_A = M_C = 0 \qquad \textit{Ec. (4.2)}$$

Entonces,

$$2(L_i + L_d)M_B = -6\,EI(\alpha_{oi} + \alpha_{od}) \qquad \textit{Ec. (4.3)}$$

$$2(0{,}5 + 0{,}5)M_B = -6\,EI(\alpha_{oi} + \alpha_{od})$$

$$M_B = -3\,EI(\alpha_{oi} + \alpha_{od})$$

En base al manual de Pisarenko (Anexo 5: Tabla 20: Ecuaciones de la línea elástica, flechas máximas y ángulos de giro de las secciones de extremo y de apoyo en las vigas isostáticas de sección transversal constante), para vigas que soportan fuerzas distribuidas, se tiene:

$$\alpha_{oi} = \alpha_{oi} = \frac{qL^3}{24\,EI} \qquad \textit{Ec. (4.3)}$$

Reemplazando:

$$\alpha_{oi} = \alpha_{oi} = \frac{33{,}65x0{,}6^3}{24\,EI} = \frac{0{,}3028}{EI} \qquad \textit{Ec. (4.23)}$$

Sustituyendo la Ec. (4.23) en Ec. (4.3), tenemos:

$$M_B = -3\,EI\left(\frac{0{,}6057}{EI}\right) \qquad \textit{Ec. (4.24)}$$

Por lo tanto,

$$M_B = -1{,}8171\ kg - m$$

Se procede con el cálculo de momentos hiperestáticos:

- Tramo izquierdo:

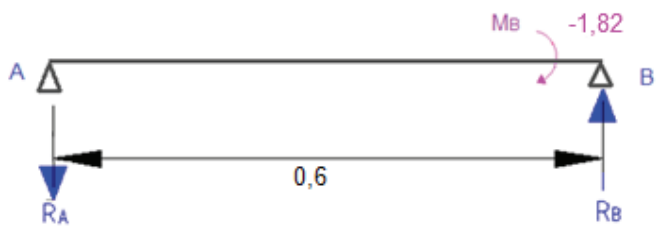


Figura 4. 15: Tramo izquierdo del perfil longitudinal - Momentos hiperestáticos

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

$$R_A = R_B = \frac{M_B}{L} \qquad \textit{Ec. (4.25)}$$

$$R_A = R_B = \frac{1{,}82}{0{,}6} = 3{,}03\ \text{kg}$$

- Tramo derecho:

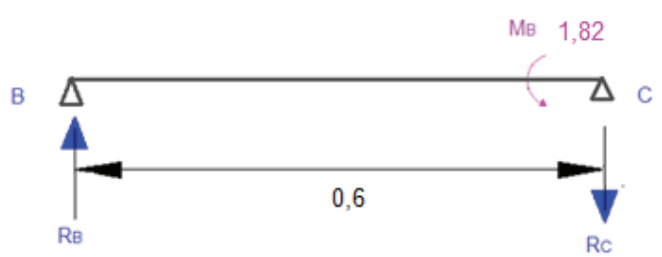


Figura 4. 16: Tramo derecho del perfil longitudinal - Momentos hiperestáticos

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

$$R_B = R_C = \frac{M_B}{L}$$ *Ec. (4.26)*

$$R_B = R_C = \frac{1{,}82}{0{,}6} = 3{,}03 \text{ kg}$$

Se procede a determinar las cargas externas:

- Tramo izquierdo:

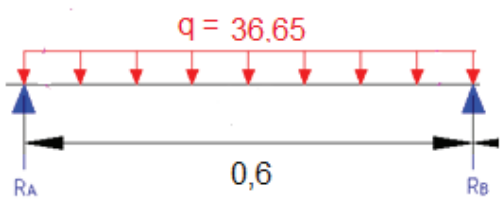


Figura 4. 17: Tramo izquierdo del perfil longitudinal - Cargas externas

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

$$R_A = R_B = \frac{qL}{2}$$ *Ec. (4.27)*

$$R_A = R_B = \frac{36{,}65x0{,}6}{2} = 11\ kg$$

- Tramo derecho:

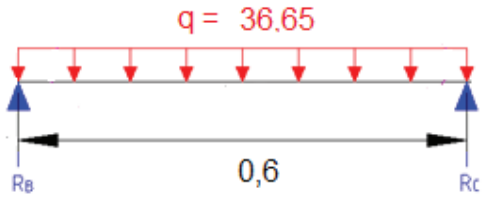


Figura 4. 18: Tramo derecho del perfil longitudinal - Cargas externas

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

$$R_{B'} = R_C = \frac{qL}{2}$$ *Ec. (4.28)*

$$R_{B'} = R_C = \frac{36{,}65x0{,}6}{2} = 11\ kg$$

Sumando las reacciones calculadas anteriormente se procede a obtener las reacciones finales:

De las Ec. *(4.25)* y *(4.27)* se obtiene que,

$$R_{A=} - 3{,}03 + 11 = 7{,}97\ kg$$ *Ec. (4.29)*

$$R_{B=} 3{,}03 + 11 = 14{,}03\ kg$$ *Ec. (4.30)*

De las ecuaciones *(4.26)* y *(4.28)* se obtiene que,

$$R_{B=} 3{,}03 + 11 = 14{,}03\ kg$$ *Ec. (4.30)*

$$R_{C=} - 3{,}03 + 11 = 7{,}97\ kg$$ *Ec. (4.31)*

A partir de estos resultados se realizan los diagramas Cortante y Momento flector.

Para efectuar el análisis se consideran dos segmentos en la plataforma: el primero $0 \leq x \leq L$; y el segundo de $L \leq x \leq 2L$, como se muestra en la figura 4.19

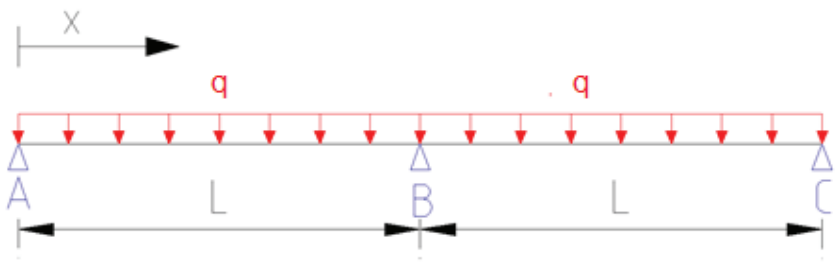


Figura 4. 19: Segmentos - perfil longitudinal: $\mathbf{0} \leq \boldsymbol{x} \leq \boldsymbol{L}$ y $\boldsymbol{L} \leq \boldsymbol{x} \leq \mathbf{2}\boldsymbol{L}$

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

A partir de esta interpretación se permite el cálculo de los esfuerzos cortantes y de los momentos flectores para la plataforma, mostrado en las siguientes ecuaciones:

Para el primer segmento:

$$\sum F_V = 0 \qquad \textit{Ec. (4.14)}$$

$$qx = R_A \qquad \textit{Ec. (4.15)}$$

$$x = \frac{R_A}{q} = \frac{7{,}97}{36{,}65} = 0{,}217\ m$$

A 0,217 m del origen, el esfuerzo cortante será nulo.

Para el segundo segmento, considerando el origen en el punto C:

$$qx = R_C \qquad \textit{Ec. (4.16)}$$

$$x = \frac{R_C}{q} = \frac{7{,}97}{36{,}95} = 0{,}217\ m$$

A 0,217 m del punto C, el esfuerzo cortante será nulo.

Una vez obtenidos estos valores se procede a realizar el diagrama cortante ilustrado en la figura 4.20.

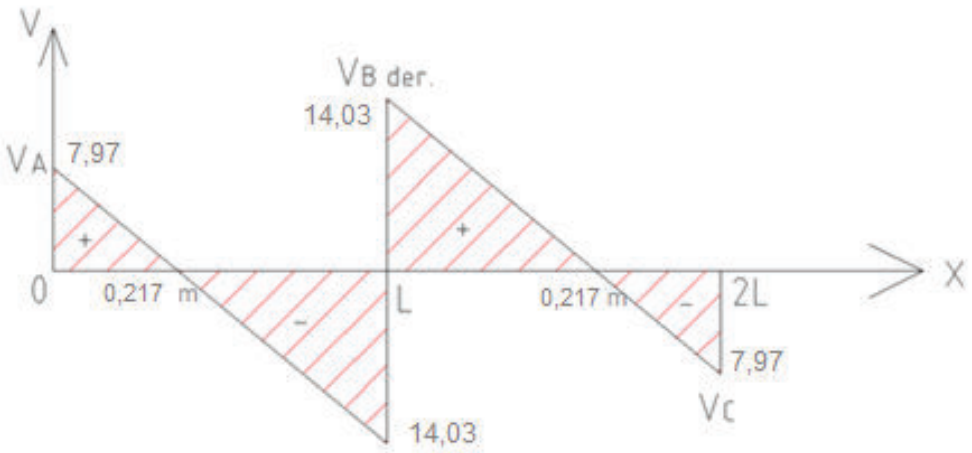


Figura 4. 20: Diagrama de Cortante - perfil longitudinal

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

Seguidamente, se procede a obtener las áreas marcadas que determinarán el momento máximo.

$$A_1 = \frac{7{,}97x0{,}217}{2} = 0{,}865\ kg - m \qquad \textit{Ec. (4.32)}$$

$$A_2 = \frac{14{,}03x0{,}383}{2} = 2{,}687kg - m \qquad \textit{Ec. (4.33)}$$

De esta forma se determina el momento flector máximo e igual a 2,69 kg-m. De igual manera se procede a graficar el diagrama correspondiente:

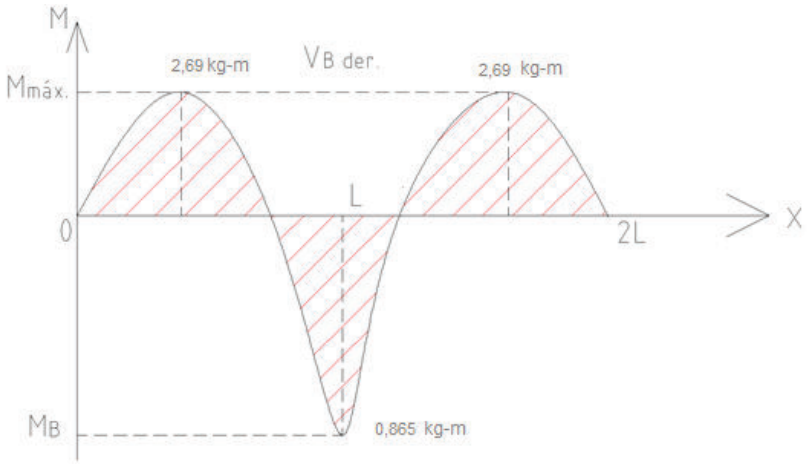


Figura 4. 21: Diagrama de Momento Flector - perfil longitudinal

Fuente: Propia

Elaboración: Propia

4.3.1.1.4 Selección del perfil longitudinal

El factor de seguridad no debe ser menor a 5. Conocidos el momento flector máximo y el límite de fluencia del acero que según la norma INEN 1623 (Anexo 7: Normas) es 2551,02 kg-cm^2, en base al cual será diseñado el elemento, se procede a seleccionar el perfil:

$$\sigma_p = \frac{Mc}{Ix} = \frac{M}{Sx} \leq \sigma_{max} = \frac{Sy}{F.S.} \qquad \textit{Ec. (4.19)}$$

Dónde:

σ_p: Esfuerzo permisible

M: momento máximo

Ix: inercia respecto del eje x

c: distancia al eje x

Sy: límite de fluencia

F.S: factor de seguridad

$$\frac{269\ kg-cm}{Sx} \leq \frac{2551{,}02\ kg/cm^2}{5}$$

$$Sx \geq 0{,}527\ cm^3$$

En base al catálogo DIPAC (Anexo 8: Perfiles estructurales, Ángulos “L” doblados), Se selecciona un perfil en “L” de S_x = 0,86 cm^3, de 4 mm de espesor y 30 mm de lado, de aletas iguales.

Entonces**:**

$$\frac{269\ kg-cm}{0{,}86\ cm^3} = \frac{2551{,}02\ kg/cm^2}{F.S.}$$

De donde,

$$F.S. = 8{,}15\ \geq 5$$

Finalmente, la base de la cabina se compondrá por dos perfiles longitudinales “L” de 1200 mm de longitud fabricados acorde a la norma INEN 1623 de 30mm de lado y 4 mm de espesor y por una platina fabricada en acero ASTM-36 (de características similares al anterior) de iguales dimensiones, que se ubicará en el eje longitudinal de la base.

4.3.1.1.5 Cálculo de los soportes transversales

Para el cálculo de los soportes transversales se considera una fuerza cortante máxima determinada anteriormente que actúa en dos puntos del perfil, por ubicarse sobre este, tres perfiles longitudinales.

De esta manera se plantea el siguiente diagrama del cuerpo libre:

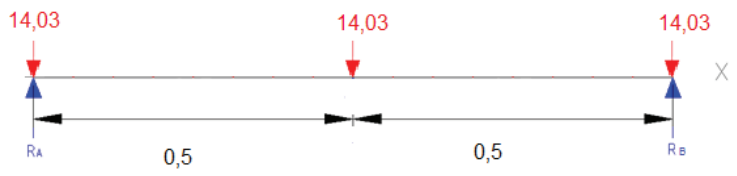


Figura 4. 22: Perfil transversal

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

Se realizan los cálculos correspondientes a una viga isostática.

$$\sum Fy = 0 \qquad \textit{Ec. (4.34)}$$

$$R_A + R_B = 42{,}09$$

$$\sum M_A = 0 \qquad \textit{Ec. (4.35)}$$

$$R_B - 14{,}03 - 14{,}03x0{,}5 = 0$$

$$R_B = 21{,}05\ kg$$

De las Ec. *(4.34)* y *(4.35):*

$$R_A = 21{,}05\ kg$$

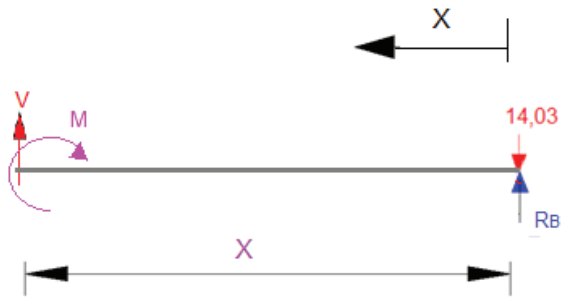


Figura 4. 23: Segmento: $\mathbf{0} \leq \boldsymbol{x} \leq \boldsymbol{L}$ del soporte transversal.

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

Para: $0 \leq x \leq 0{,}5$

$$V_{(x)} = 14{,}03 - 21{,}05 \qquad \textit{Ec. (4.36)}$$

$$V_{(x)} = -7{,}02$$

$$M_{(x)} = R_B x - 14{,}03\, x \qquad \textit{Ec. (4.37)}$$

$$M_{(x)} = 7{,}02\, x$$

En la *Ec. (4.37):*

Si x=0; entonces $M_{(x)} = 0$

Si=0,5; *entonces* $M_{(x)} = 3{,}51$*;* momento máximo

A partir de estos resultados, se obtiene los diagramas cortante y momento flector.

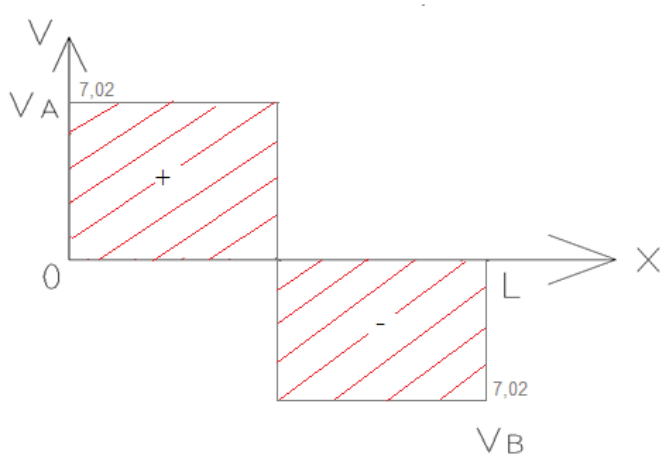


Figura 4. 24: Diagrama de Cortante – perfil transversal

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

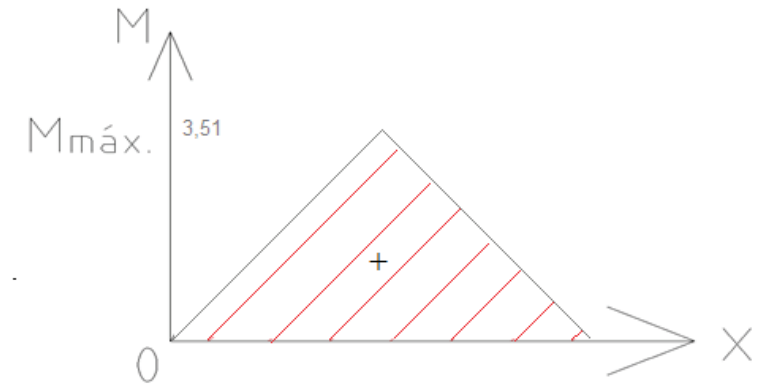


Figura 4. 25: Diagrama Momento flector para el segmento longitudinal

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

4.3.1.1.6 Selección del perfil transversal

El factor de seguridad no debe ser menor a 5. Conocidos el momento flector máximo y el límite de fluencia del acero acorde a la norma INEN 1623 (2551,02 kg-cm^2), en base al cual será diseñado el sistema, se procede a seleccionar el perfil:

$$\sigma_p = \frac{Mc}{Ix} = \frac{M}{Sx} \leq \sigma_{max} = \frac{Sy}{F.S.} \qquad \textit{Ec. (4.19)}$$

Dónde:

σ_p: Esfuerzo permisible

M: momento máximo

Ix: inercia respecto del eje x

c: distancia al eje x

Sy: límite de fluencia

F.S: factor de seguridad

$$\frac{351\ kg-cm}{Sx} \leq \frac{2551{,}02\ kg/cm^2}{5}$$

$$Sx \geq 0{,}69\ cm^3$$

En base al catálogo de DIPAC, se selecciona un perfil "L" de 30 x 4 y S_x = 0,86 cm^3, diseñado en acero A -623.

El elemento seleccionado se observa en el Anexo 8: Perfiles estructurales, Ángulos "L" doblados

Entonces:

$$\frac{351\ \text{kg}-\text{cm}}{0{,}86\text{cm}^3} = \frac{2551{,}02\ \text{kg/cm}^2}{\text{F.S.}}$$

De donde,

$$\text{F.S.} = 6{,}25 \geq 5$$

Finalmente, la base de la cabina se compondrá por dos perfiles transversales de 1 m de longitud fabricados acorde a la norma INEN 1623 de 30 mm de lado y 4 mm de espesor y por una platina fabricada en acero ASTM-36 (de características similares al anterior) de iguales dimensiones, que se ubicará en el eje transversal de la base.

4.3.1.2 Paredes de la cabina

Las protecciones laterales y transversales se diseñarán con malla electro-soldada soportada en perfiles tipo "L". Para el diseño de esta sección se considera un pórtico de un agua, sobre el cual se aplicará una fuerza distribuida de 200 kg, pues paralelo al eje horizontal, se ubicarán dos manijas de seguridad donde el usuario podrá sostenerse mientras dura su trayecto.

La figura 4.26 muestra el esquema de este elemento la con respectivas reacciones que intervienen en su diseño.

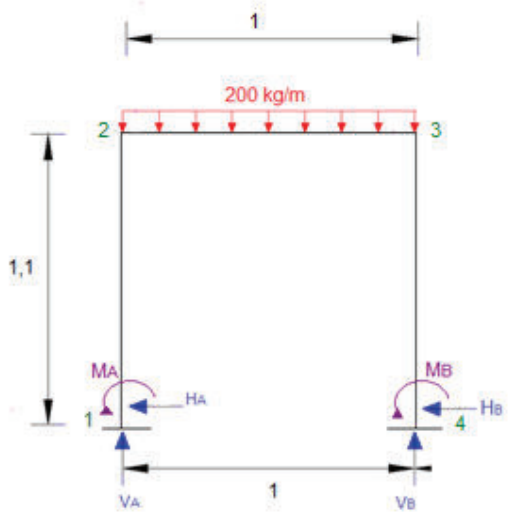


Figura 4. 26: Diagrama Del Cuerpo Libre – Pared frontal de la cabina

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

A partir del diagrama se procede a efectuar el análisis de un pórtico de un agua:

$$\sum Fx = 0 \qquad \textit{Ec. (4.38)}$$

$$H_A + H_B = 0 \qquad \textit{Ec. (4.39)}$$

$$H_A = -H_B$$

$$\sum Fy = 0 \qquad \textit{Ec. (4.40)}$$

$$V_A + V_B = 200 \qquad \textit{Ec. (4.41)}$$

$$V_A = V_B = 100$$

$$\sum M_A = 0 \qquad \textit{Ec. (4.42)}$$

$$M_A + M_B - 200\ (0{,}5) + V_B\ = 0 \qquad \textit{Ec. (4.43)}$$

$$M_A = -M_B$$

Se procede a calcular las reacciones normales, cortantes y momentos flectores:

Figura 4. 27: Corte – pared frontal de la cabina 1-1: 0 ≤ x ≤1,1

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

$$N_X + V_A = 0 \qquad \textit{Ec. (4.44)}$$

$$N_X = -100$$

$$V_X - H_A = 0 \qquad \textit{Ec. (4.45)}$$

$$V_X = H_A$$

$$\sum M_{1-1} = 0 \qquad \textit{Ec. (4.46)}$$

$$M_X = H_A X - M_A \qquad \textit{Ec. (4.47)}$$

Si X=0: $M_X = -M_A$

Si X=1,1**:** $M_X = 1{,}1\, H_A - M_A$; considerando que a esta distancia el momento es nulo.

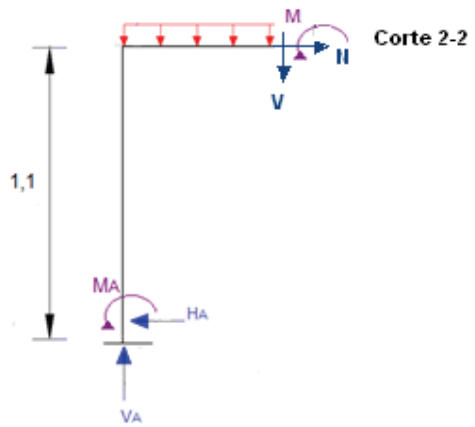


Figura 4. 28: Corte – Pared frontal de la cabina 2-2: 0 ≤ x ≤1

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

$$N_X - H_A = 0 \qquad \textit{Ec. (4.48)}$$

$$N_X = H_A$$

$$V_X - V_A + 200X = 0 \qquad \textit{Ec. (4.49)}$$

$$V_X = 100 - 200\,X$$

Si X=0: $V_X = 100$

Si X=1: $V_X = -100$

$$\sum M_{2-2} = 0 \qquad \textit{Ec. (4.50)}$$

$$M_X + M_A - 1{,}1\,H_A - V_A X + \frac{qX^2}{2} = 0 \qquad \textit{Ec. (4.51)}$$

$$M_X = 100X - 100\,X^2 = 0$$

Si X=0 ó 1: $M_X = 0$

Si X=0,5: $M_X = 25$

El soporte derecho tiene las mismas reacciones que el soporte izquierdo, esto por la simetría del elemento analizado.

Se procede a realizar los diagramas normales, cortante y momento flector:

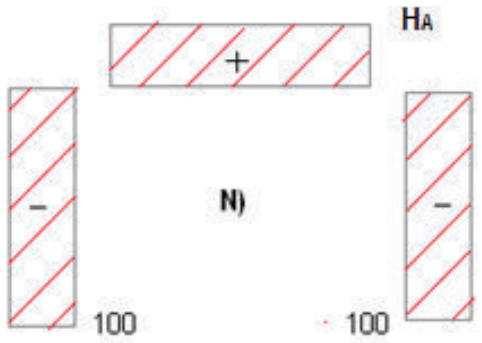


Figura 4. 29: Diagrama Normal - Pared frontal de la cabina

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

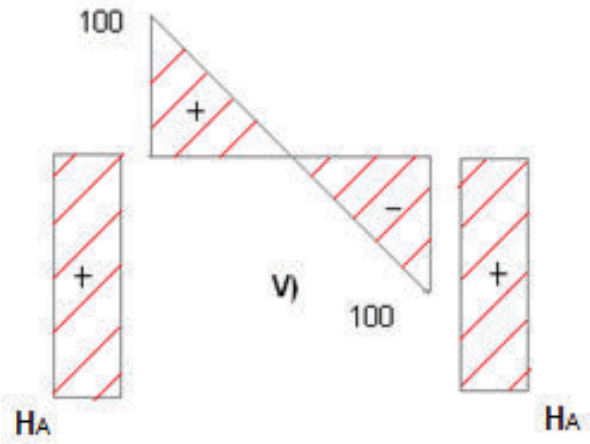


Figura 4. 30: Diagrama Cortante - Pared frontal de la cabina

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

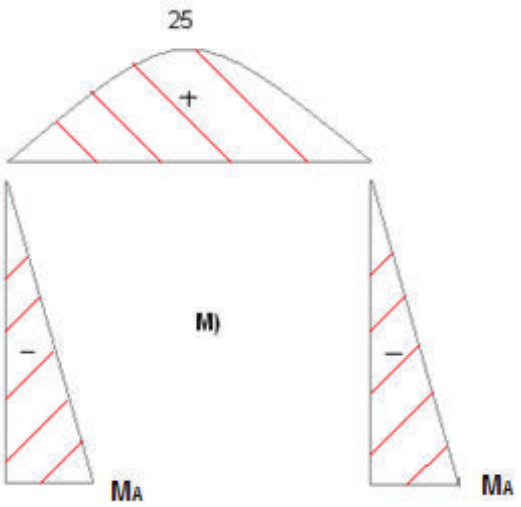


Figura 4. 31: Diagrama Momento Flector- Pared frontal de la cabina

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

Se establece un momento máximo de 25 kg-m en el elemento horizontal, en base al cual se hará la selección del perfil en acero inoxidable A 623, de acuerdo al catálogo.

$$\sigma_p = \frac{Mc}{Ix} = \frac{M}{Sx} \leq \sigma_{max} = \frac{Sy}{F.S.} \qquad \textit{Ec. (4.19)}$$

Dónde:

σ_p: Esfuerzo permisible
M: momento máximo
Ix: inercia respecto del eje x
c: distancia al eje x
Sy: límite de fluencia
F.S: factor de seguridad

$$\frac{250\ kg-cm}{Sx} \leq \frac{2551{,}02\ kg/cm^2}{5}$$

$$Sx \geq 0{,}49\ cm^3$$

En base al catálogo de DIPAC (Anexo 8: Perfiles estructurales, Ángulos “L” doblados), Se selecciona un perfil “L” de S_x = 0,67 cm^3, de 3 mm de espesor y 30 mm de lado; diseñado en acero A 623.

Entonces:

$$\frac{250\ kg-cm}{0{,}67cm^3} = \frac{2551\ kg/cm^2}{F.S.}$$

De donde,

$$F.S. = 6{,}8\ \geq 5$$

Para el diseño de las columnas se ha tomado en cuenta la siguiente consideración:

- Ambas columnas están sometidas a las mismas cargas de flexo-comprensión, que para el caso corresponde a un esfuerzo cortante de 100 kg.

A partir de la figura 4.32: Gráfico de alineación para Longitud efectiva de Columnas en Marcos Continuos, se pueden determinar las constantes G_1 y G_2, que relacionadas de acuerdo al manual, permitirán determinar el factor de elongación del elemento prismático (k).

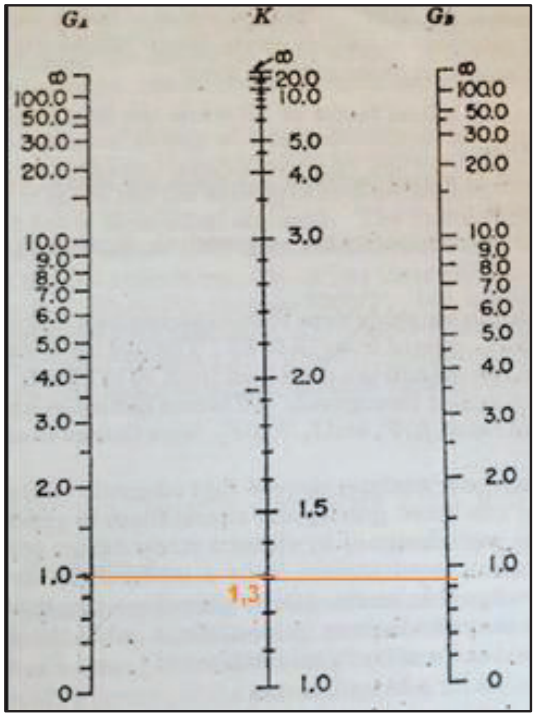


Figura 4. 32: Gráfico de alineación para Longitud efectiva de Columnas en Marcos Continuos

Fuente: AISC 1997, Fig C1.8.2
Elaboración: Propia

Empotramiento:

$G_1 = 1$ *Ec. (4.52)*

$$G_2 = \frac{\frac{I_{12}}{L_{12}}}{\frac{I_{23}}{L_{23}}}$$ *Ec. (4.53)*

Las inercias se simplifican ya que los elementos poseen la misma rigidez.
Por lo tanto:

$$G_2 = \frac{L_{23}}{L_{12}} = \frac{1}{1{,}1} = 0{,}91$$

Valores para los cuales, K corresponde a un valor de 1,3.

Las columnas se diseñan en acero A-623, cuyo límite de fluencia es de 2551,02 kg/cm^2, aproximadamente 36 ksi.

La columna tendrá una altura de 1,1 m o 43,3 pulg, y se extenderá 0,5 m sobre el eje transversal.

La relación de separación entre pandeo elástico e inelástico se determina a partir de la Ec. (4.108):

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_Y}} \qquad \textit{Ec. (4.54)}$$

Dónde:

E: Módulo de elasticidad del acero (29000 ksi)
F_y: Límite de fluencia, que para el caso corresponde a un valor aproximado de 36 ksi.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 29000}{36}} = \quad 126{,}1$$

Se procede a calcular el radio de giro a partir de la *Ec. (4.55)*

$$r_{min=r_{yy}\geq\frac{kL}{Cc}} \qquad \textit{Ec. (4.55)}$$

Dónde:

$r_{min:}$ Radio mínimo de giro para el perfil “L”

L: Longitud de diseño de la columna

Cc: Relación de separación entre pandeo elástico e inelástico

$$r_{min=\frac{1,3x\ 43,3}{126,1}=0,45\ pulg}$$

$$r_{min=1,143\ cm}$$

Una vez establecido este valor, se procede a seleccionar un perfil del catálogo DIPAC (Anexo 8: Perfiles estructurales, Ángulos “L” doblados), que para el caso es de 30 mm de lado y 3 mm de espesor (ry= 0,93 cm o 0,366 pulg).

Seguidamente, se determina la esbeltez del elemento:

$$\lambda = \frac{KL}{r_{min}} \qquad \textit{Ec. (4.56)}$$

Dónde:

λ: esbeltez

$$\lambda = \frac{1,3\ x\ 43,3}{0,366} = 153,74$$

El valor de la esbeltez es menor a 200 por lo que se concluye que no necesita arriestramiento.

A partir del Anexo 9: AISC – Table 3-36 Allowable Stress for Compression Members of 36 ksi Specified Yield Stress Steel, se determina un valor para el factor F_a, que para el caso será de 7,6 ksi.

La figura 4.33 muestra un esquema de la columna a diseñar:

Figura 4. 33: Esquema - columna de la cabina a flexo-compresión

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

El factor *fa*, representa la carga obtenida de la relación entre la fuerza de compresión y el área del elemento a diseñar:

$$f_a = \frac{P}{A} \qquad \textit{Ec. (4.57)}$$

Para el elemento el valor de la fuerza de compresión es de 100 kg a los cuales se añaden 66 kg del peso de la cabina distribuido entre cuatro columnas, siendo la carga igual a 116,5 kg o 256,3 lb, que actúa en un área de 1,63 cm2 o 0,253 pulg2, por lo que:

$$\mathrm{f_a} = \frac{256{,}3}{0{,}253} = 1014{,}44 \text{ psi}$$

$$\mathrm{f_a} = 1{,}014 \text{ ksi}$$

La relación entre ambos factores determinará si la selección del elemento es correcta, y se representará con I_a:

$$I_a = \frac{f_a}{F_a} \qquad \textit{Ec. (4.58)}$$

$$I_a = \frac{1{,}014}{7.6} = 0{,}133$$

$$I_a < 1$$

El resultado garantiza que el elemento no fallará. Concluyendo el diseño con la selección de un perfil tipo L de 3 mm de espesor y 30 mm de lado; diseñado en acero A 623.

4.3.1.3 Selección de las guías telescópicas de bolas

La guía telescópica se selecciona en el catálogo (Ver Anexo 10: Guía Telescópica de bolas DSC) a partir de la capacidad de carga que para el citado proyecto es de 200 kg más el peso adicional de la estructura, que es de 66 kg, con un total de 2 607 N en carga dinámica.

De acuerdo a lo mencionado se escoge una guía tipo DSC 43, que soporta una carga radial de 3063 N.

Para su adecuada sujeción a la cabina, se deberá ubicar en esta una platina de las siguientes características dimensionales (30 mm de lado y 4 mm de espesor). No se requiere efectuar un cálculo detallado pues el peso total será movilizado gracias al sistema cable-polea.

De acuerdo al catálogo DIPAC (Ver Anexo 11: Platinas en Acero Inoxidable) se selecciona una placa de 4 mm de espesor y 30 mm de lado.

4.3.1.4 Cálculo de las uniones empernadas

Considerando que la utilización de pernos facilita el ensamble de la estructura y disminuye los costos, se ha seleccionado esta alternativa como la más óptima para unir ciertos elementos.

Para el cálculo de los pernos se han tomado en cuenta las siguientes consideraciones:

- La carga actuante corresponde al esfuerzo cortante máximo calculado en el diseño de la cabina, este valor corresponde al determinado en el cálculo de la plancha antideslizante y es de 31.26 kg o 306.35 N.

- Para los pernos que unen la base y las columnas se presenta un esfuerzo cortante máximo de 100 kg o 980 N.

- Se considera que los pernos se encuentran solicitados en cortante y tracción.

- La selección de los pernos tiene restricción para tracción.

- La rosca del perno es de paso fino y las arandelas a utilizarse serán arandelas de presión, debido a las condiciones de vibraciones a las que se encuentran sometidos los elementos.

Debido a la restricción a tracción, se debe cumplir la siguiente relación:

$$F \leq F_{t,Rd} \qquad \textit{Ec. (4.59)}$$

Dónde:

F: Carga a la que estará sometido el elemento.
$F_{t,Rd}$: Carga de diseño
Para establecer esta última se aplica la Ec. *(4.60):*

$$F_{t,Rd} = 0.9 * f_{ub} * \frac{A}{\gamma} \qquad \textit{Ec. (4.60)}$$

Dónde:
f_{ub}: Tensión última del acero de los pernos. (800 N/mm^2 para pernos grado 8.8)
A: Área del tornillo
Y: coeficiente de minoración del acero estructural para uniones, que para el caso es de 1.25

Es necesario tomar en cuenta que los perfiles “L” calculados anteriormente poseen 30 mm de lado; por lo que se considera un diámetro del perno menor a 16 mm. Para el caso de las uniones entre las columnas y la base se tiene la misma consideración.

La figura 4.32 representa el diagrama del cuerpo libre en el perno a diseñar.

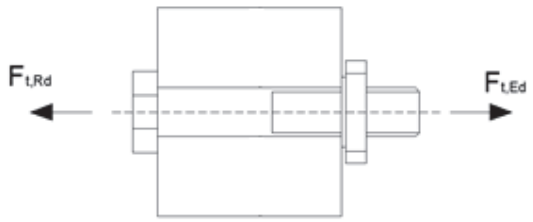


Figura 4. 34: Diagrama de Cuerpo Libre- Perno

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

Los resultados de las resistencias de los tornillos solicitados a corte y tracción se presentan en la Tabla 4.3, las cuales están en función del diámetro.

Área (mm^2)	**Carga Máxima (N)**		**Diámetro (mm)**
	306.35	**980**	
28,3	16 301		6
50,3	28 973		8

Tabla 4. 3: Resistencia de los pernos solicitados a cortante y tracción

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

Para estos casos se escogen pernos M6. Según el catálogo de IVAN BOHMAN (Anexo 12: Catálogo Pernos y tuercas IVAN BOHMAN) se seleccionan pernos hexagonales milimétricos de grado 8.8 (rosca parcial) [8 x 50 MM-UNF-1.00 (960)], acorde a este diámetro, se procederá a la adquisición de arandelas de presión y roscas métricas.

4.3.1.5 Cálculo de las uniones soldadas

La soldadura se usará para unir la estructura base y los soportes laterales de la cabina. El proceso mediante el cual se realizará es SMAW, para lo cual se anexa el respectivo WPS (Anexo 13: WPS Soldadura en la estructura base) con la descripción detallada del mismo.

Se presenta a continuación las consideraciones correspondientes para efectuar esta memoria de cálculo:

- El espesor del perfil se ha seleccionado de acuerdo al catálogo DIPAC con la siguiente denominación: AL30x4
- Se realizará una junta a traslape.
- Para el análisis, el esfuerzo actúa perpendicularmente a la garganta efectiva del filete.
- El material se encuentra sometido a un momento máximo cuyo valor es de 489,2 kg-cm.
- Se selecciona un electrodo E60xx, cuyo límite de fluencia es Sy=50 kpsi

Se determina el momento de inercia unitario I_u de acuerdo a la tabla 4.4:

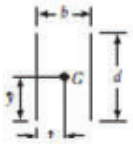
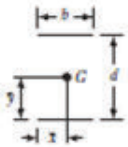
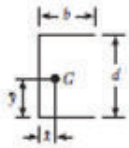
Soldadura	Área de Garganta	Ubicación de G	Segundo Momento Unitario del área
	A = 0,707 hd	x = 0 y= d/2	$I_u = d^3/12$
	A= 1,414 hd	x = b/2 y = d/2	$I_u = d^3/6$
	A= 1,414 hd	x= b/2 y= d/2	$I_u = bd^2/2$
	A = 0,707h (2b+d)	x = $b^2/(2b+d)$ y = d/2	$I_u = (d^2/12)\ (6b+d)$

Tabla 4. 4: Propiedades Flexionantes de la Soldadura

Fuente: SHIGLEY; Diseño en Ingeniería Mecánica; 8va Ed; Tabla 9.2
Elaboración: Propia

A partir de la *Ec. (4.61),* se determina el momento de inercia unitario:

$$I_u = \frac{bh^2}{2} \qquad \textit{Ec. (4.61)}$$

Dónde:

I_u: Momento de Inercia unitario

b: longitud del material base

h: espesor del material base

$$I_u = \frac{3\ x0{,}4^2}{2} = 0{,}24\ cm^3$$

Se establece a continuación la garganta efectiva de soldadura t:

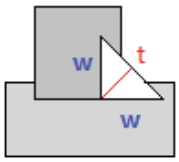


Figura 4. 35: Esquema de soldadura – base de la cabina

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

$$t = w cos 45^o \qquad \textit{Ec. (4.62)}$$

A partir de la cual se obtiene el momento de inercia de la soldadura I_s:

$$I_s = t\, I_u \qquad \textit{Ec. (4.63)}$$

$$I_s = 0{,}17\, w$$

El esfuerzo al que se somete la soldadura se determina mediante la *Ec. (4.64):*

$$\sigma_s = \frac{M\frac{h}{2}}{I_s} \qquad \textit{Ec. (4.64)}$$

$$\sigma_s = \frac{489{,}2\,\frac{0{,}4}{2}}{0{,}17w} = \frac{575{,}53}{w}$$

Para el electrodo:

$$\sigma_s = \sigma_{permisible} = 0.6\, S_y \qquad \textit{Ec. (4.65)}$$

$$\sigma_{permisible} = 30\, kpsi \text{ ó } 2108{,}16\, kg/cm^2$$

Reemplazando *Ec. (4.65)* en *Ec. (4.64)*

$$2108{,}16 = \frac{575{,}53}{w}$$

$$w = 0{,}273\, cm \sim 3\, mm$$

Se selecciona un electrodo E 6011 de *3,2 mm* de diámetro, efectuando una pasada.

4.3.2 SISTEMA CABLE - TAMBOR – MOTORREDUCTOR

Se ha considerado este sistema como el más práctico para movilizar a la cabina junto con el usuario. Para la selección de estos mecanismos se ha analizado previamente el peso total que soportarán, considerando un factor de seguridad que afiance la confianza en el mencionado sistema.

4.3.2.1 Selección del cable tensor

Para la selección del cable se ha tomado en cuenta la carga a tensión a la que se somete, esta se determina a partir del peso de la cabina y de la fuerza que ejerce el conjunto usuario-silla de ruedas. La figura 4.36 muestra el diagrama de cuerpo libre del cable.

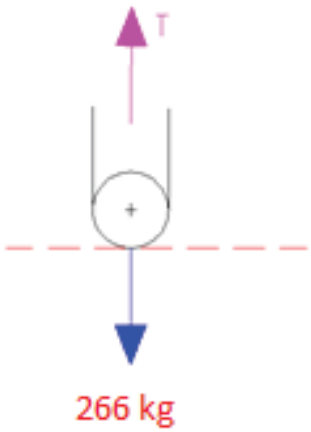


Figura 4. 36: Diagrama de Cuerpo Libre- Cable

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

Como se aprecia en la figura 4.36, se cuenta con dos fuerzas actuantes: la tensión del cable y el peso del sistema, direccionadas en sentido contrario, por lo que:

$$T = 266\ kg \qquad \textit{Ec. (4.66)}$$

De acuerdo con la norma ASME 18.1, en su apartado 5.5.2, el factor de seguridad a emplearse en la selección del cable es 7, determinándose así la resistencia a la ruptura:

$$\boldsymbol{T_{máx} = T * F.S.} \qquad Ec.\ (4.67)$$

Dónde:

$T_{máx}$: resistencia a la ruptura

$F.S.$: Factor de seguridad

$$T_{máx} = 266 * 7 = 1862\ kg = 1{,}86\ Ton$$

Conocida la resistencia a la ruptura se selecciona el cable de acuerdo al catálogo correspondiente (Anexo 14: Catálogo Leoncables). El elemento es de clase 8x19, construido por 8 torones de un alma de fibra, empleada en la suspensión de elevadores. El diámetro es 8 mm y su resistencia a la ruptura es de 2.55 Ton.

Es necesario seleccionar una abrazadera para cables, debido a que este se une a un anillo de acero para permitir de esta forma el desplazamiento equilibrado de la cabina. Para ello se recurre al catálogo, (Anexo 15: Catálogo Maxi Lift- Abrazaderas para cables) que permite su selección de acuerdo al peso que soportará el cable, siendo el elemento más apropiado la abrazadera tipo WRCH-10 de 10 mm (3/8 pulg) de diámetro y con capacidad de 4200 lbs.

4.3.2.2 Selección de estrobo de cuatro ramales

El estrobo de cuatro ramales consiste en la combinación de cuatro cables que se unen por uno de sus extremos a cada una de las columnas de la cabina para facilitar su elevación. El otro extremo se articula a un anillo, el cual se conecta con la polea mediante el cable central.

Para la selección del estrobo se considera el peso de la cabina y del usuario-silla de ruedas. De acuerdo al catálogo (Anexo 14: Catálogo Leoncables), se selecciona el estrobo de tamaño de argolla de 12,7 mm (½ pulg), que bajo condiciones de inclinación de 45° soportan 1.8 Ton.

4.3.2.3 Cálculo de tambor de enrollamiento del cable

El cable va a estar sometido a una fatiga por flexión que está relacionada al diámetro del enrollamiento en el tambor o las poleas. Para el cálculo del diámetro del tambor de enrollamiento del cable se utiliza la *Ec. (4.68).*

$$\boldsymbol{D = s * \sqrt{T}} \qquad \textit{Ec. (4.68)}^{9}$$

Dónde:

s: factor de seguridad del cable

T: carga

$$\boldsymbol{D = 7 * \sqrt{266} = 114.17\ mm}$$

A partir de la carga a tensión y una vez obtenido el diámetro mínimo del tambor se determinan las dimensiones del mismo mediante el Anexo 16: Tambores para cable de acero, como se muestra en la tabla 4.5.

[9] LARBURU, Prontuario Máquinas y Herramientas

Parámetro	Nomenclatura	Dimensión [mm]
Diámetro tambor	dt	300
Distancia centro del cable-filo de ranura del tambor	b	1
Paso de Ranuras	p	9.5
Radio de canal	r	4.5
Espesor de pared del tambor	e	5
Longitud del tambor	L	300
Diámetro de las tapas	dtp	300

Tabla 4. 5: Dimensiones para el tambor de enrollamiento del cable

Fuente: LARBURO; Nicolás; Máquinas Herramientas; Tabla 4.9
Elaboración: Propia

Estas medidas son una referencia para la fabricación del tambor mediante proceso de fundición. El diámetro interior corresponde al diámetro del eje establecido más adelante.

4.3.2.3.1 Peso del tambor de enrollamiento del cable

Se calcula la masa del tambor, para lo cual se conocen las dimensiones del mismo, obteniéndose su volumen con la *Ec. (4.69).*

$$V = Vcilindro + 2 * Vtapa \qquad \textit{Ec. (4.69)}$$

$$V = \pi * \frac{(d_{ext}^2 - d_{int}^2)}{4} * L + 2 * \pi * \frac{d_{tp}^2}{4} * e$$

$$V = \pi * \frac{(250^2 - 240^2)}{4} * 300 + 2 * \pi * \frac{300^2}{4} * 5 = 0.0013\ m^3$$

Se conoce que la densidad del acero es de 7110 kg/m^3, por lo que, a partir de su volumen se establece la masa del tambor.

$$m = densidad * volumen \qquad \textit{Ec. (4.70)}$$

$$m = 7110 * 0.0013 = 9.8\ kg$$

4.3.2.4 Cálculo y selección del motorreductor

Para garantizar la seguridad del usuario, se ha considerado la utilización de un motorreductor de tornillo sin fin, que garantiza la seguridad del usuario en caso de falla eléctrica, evitando el desplazamiento hacia abajo de la máquina.

Para la selección del motorreductor se toma en cuenta la potencia necesaria para elevar la cabina y la velocidad de salida dada en rpm.

La potencia requerida se calcula por la *Ec. (4.71)*

$$P_w = \frac{T*v}{7500*n} \qquad \textit{Ec. (4.71)}^{10}$$

Dónde:

P_w: potencia requerida [CV]

T: tensión que soporta el cable, que para el caso es de 266 kg o 2610 N

v: velocidad a la que se desplaza la cabina = 0.15 m/s

n: rendimiento = 0.70

[10] SHIGLEY-MISCHKE; Manual de Diseño Mecánico; 5° Ed; Editorial Mc Graw-Hill; México

$$P_w = \frac{2610 * 0.15}{7500 * 0.70} = 0.075\ CV = 0.06\ kW$$

La velocidad de salida es la velocidad a la cual el tambor va a enrollar el cable y se expresa en la ecuación *Ec. (4.72)*

$$v = \frac{2*\pi*n}{60} * R \qquad \textit{Ec. (4.72)}^{11}$$

Dónde:

v: velocidad a la que se desplaza la cabina

n: número de revoluciones por minuto [rpm]

R: radio del tambor de enrollamiento

Por lo tanto,

$$n = \frac{0.15 * 60}{2 * \pi * 0.125} = 11.46\ rpm$$

A partir del Anexo 17: Catálogo Motorreductor, se selecciona un motor de 0,55 kw, con una velocidad de salida de 12 rpm, tipo PR 080 MSF 090 con dos sentidos de giro.

4.3.2.5 Diseño y cálculo del eje del tambor

Para el diseño de este elemento se considera a la deflexión como el factor crítico, ya que una excesiva deflexión es causante de un desgaste rápido en los cojinetes del eje.

[11] SHIGLEY-MISCHKE; Manual de Diseño Mecánico; 5° Ed; Editorial Mc Graw-Hill; México

Se procede a calcular el momento torsor T_m, a partir de la potencia y la velocidad angular como se indica en la *Ec. (4.73).*

$$T_m = P/w \qquad \textit{Ec. (4.73)}$$

$$T_m = \frac{0.06 * 1000}{11.46 * \left(\frac{2\pi}{60}\right)} = 50\ Nm = 510\ kgcm$$

Se realiza el diagrama del cuerpo libre del eje como se indica en la figura 4.37, para poder obtener el valor de la fuerza resultante que actúa en el eje y con esto poder obtener el momento máximo.

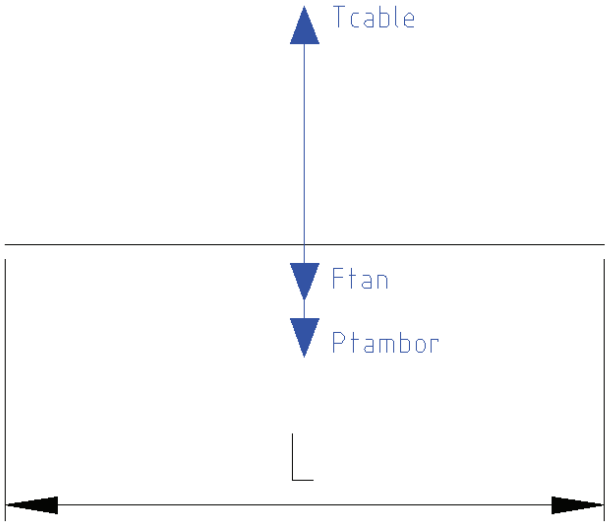


Figura 4. 37: Diagrama de Cuerpo Libre- Eje

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

El cálculo de la fuerza resultante está dado por la *Ec. (4.74)*

$$F = T_{cable} - F_{tan} - P_{tambor} \qquad \textit{Ec. (4.74)}$$

Dónde:

F: Fuerza resultante

T_{cable}: Tensión del cable = 266 kg

F_{tan}: Fuerza tangencial del tambor al enrollar el cable, $F_{tan} = T_m/r$

P_{tambor}: Peso del tambor = 9.8 kg

$$F = 266 - \frac{510}{12.5} - 9.8 = 239{,}4\ kg$$

Con el valor de la fuerza resultante se calculan los valores de las reacciones en los extremos del eje, como se indica en la figura 4.38.

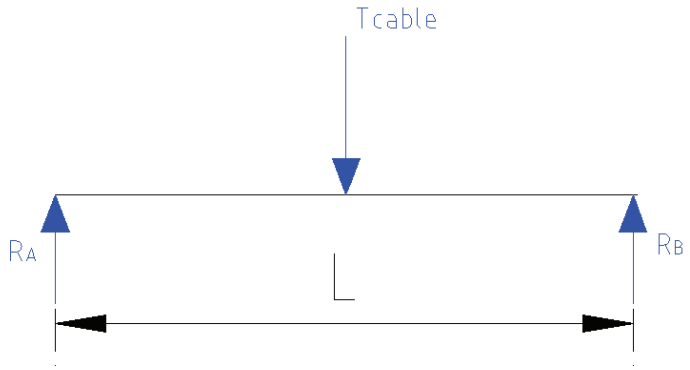


Figura 4. 38: Reacciones en los extremos del eje

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

El cálculo de las reacciones está dado por la *Ec. (4.75).*

$$R_A = R_B = \frac{F}{2} = 119{,}7\ kg \qquad \textit{Ec. (4.75)}$$

El momento flector máximo se calcula con la ecuación *Ec. (4.76)*

$$M_{max} = 119{,}7\ X \qquad \textit{Ec. (4.76)}$$

Cuando X= 20 cm

$$M_{max} = 2394\ kg\ cm \text{ o } 168{,}67\ Nm$$

Se muestra a continuación el diagrama de momentos para el eje:

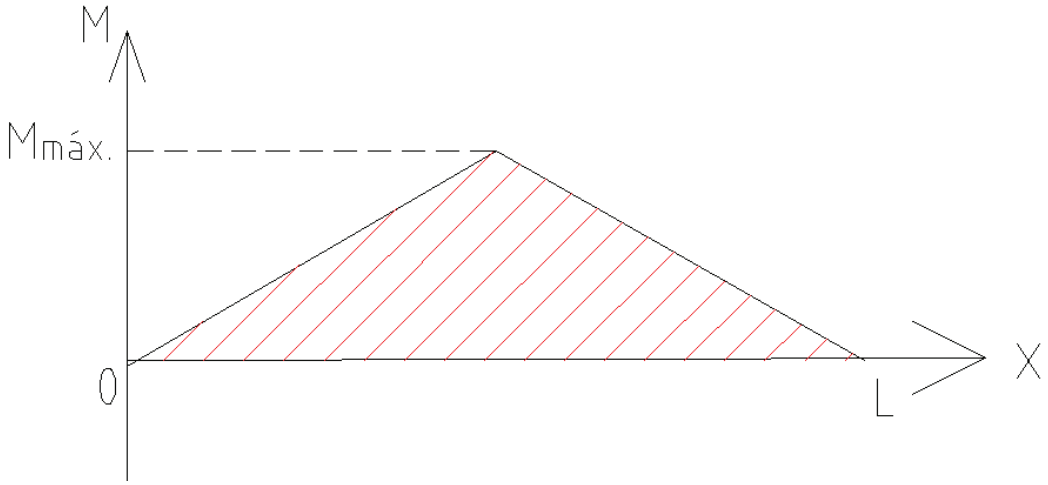


Figura 4. 39: Diagrama de Momento - Eje

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

El esfuerzo admisible para el acero se obtiene a partir de la *Ec. (4.77):*

$$\sigma = 248{,}04\ \frac{MN}{m^2} \qquad \textit{Ec. (4.77)}$$

Se determina el diámetro del elemento a partir de la *Ec. (4.19):*

$$\sigma_p = \frac{Mc}{I} \leq \sigma_{max} = \frac{Sy}{F.S.}$$

Dónde:

σ_p: Esfuerzo permisible

M: momento máximo

I: inercia

c: distancia al centro

Sy: límite de fluencia

F.S: factor de seguridad, que para el caso representa un valor de 5

Por lo tanto,

$$\sigma_p = \frac{F.S.\ x\ M\frac{d}{2}}{\pi\frac{d^4}{64}}$$

Reemplazado:

$$248{,}04\ x\ 10^6 = \frac{5\ \ x\ 168{,}67\ x\ 32}{\pi d^3}$$

d= 0,0325 m, aproximadamente 3,2 cm.

Finalmente, el eje es de 400 mm de longitud y 30 mm de diámetro.

4.3.2.5.1 Selección de soportes para rodamientos

Para la selección del rodamiento y de su soporte, se considera el diámetro del eje, que para el caso representa un valor de 30mm. A partir del Anexo 18: Soportes para rodamientos, se ha considerado utilizar Unidades FAG de rodamientos S, con soporte de pie de fundición gris.

4.3.2.5.2 Diseño de lengüeta

Esta pieza se diseña con sección rectangular para insertarse entre el tambor y el eje que son solidarios entre sí, evitando deslizamientos de una pieza sobre la otra. La lengüeta debe carecer de juego que pudiese desgastarla o romperla por cizallamiento. Para establecer las dimensiones de este elemento se observa la figura 4.40.

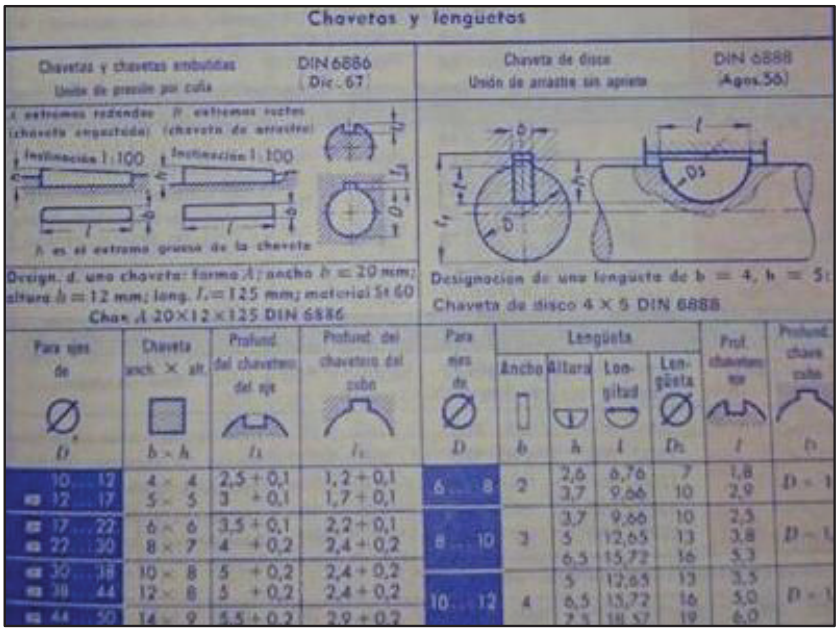


Figura 4. 40: Dimensiones de lengüeta

Fuente: Prontuario CGZ
Elaboración: Propia

De acuerdo a la norma DIN 6880 debe ser construida en acero ST60 y acorde a los requerimientos presentados en el Prontuario GTZ, las dimensiones serán de 8 mm en la base y 7 mm de altura.

Bajo estas consideraciones el elemento representado en la figura 4.39, soporta los esfuerzos cortantes a los que está sometido.

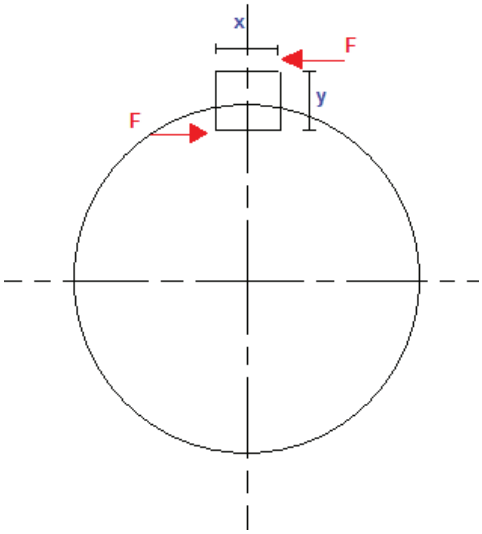


Figura 4. 41: Diagrama del cuerpo Libre - lengüeta

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

El torque del motorreductor se determina a partir de la *Ec. (4.78):*

$$T = \frac{63000xH}{W} \qquad \textit{Ec. (4.78)}$$

Dónde:

H: potencia del motorreductor (hp)

W: velocidad de giro

Por lo tanto,

$$T = \frac{63000x0{,}74}{12} = 3885\ lb - pulg$$

La *Ec. (4.79)* permite determinar la longitud necesaria para que la lengüeta soporte los esfuerzos cortantes (El F.S. toma un valor de 2):

$$L \geq \frac{2Tx\ F.S.}{0{,}40\ dx\ v\ x\ Sy} \qquad \textit{Ec. (4.79)}$$

Dónde:

d: Diámetro del eje

v: velocidad de desplazamiento

Por lo tanto,

$$L \geq \frac{2x3885x2}{0{,}40x\ 1{,}26x\ 0{,}3\ x\ 60000}$$

$$L \geq 1{,}71\ pulg = 4{,}35\ cm$$

La longitud de la lengüeta será de 45 mm.

4.3.3 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE

La estructura soporte está conectada a manera de un pórtico de un agua. El eje transversal soporta adicionalmente el peso del motorreductor y del tambor, por lo que la carga actuante en su extremo es de 320 kg, aproximadamente. En las bases de las columnas se ubican placas que evitan la concentración de esfuerzos en la parte inferior del perfil.

4.3.3.1 Diseño del pórtico soporte

La figura 4.40 muestra el diagrama del cuerpo libre de este elemento:

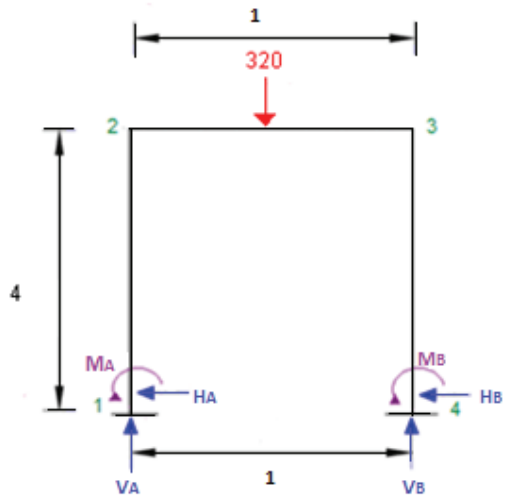


Figura 4. 42: Diagrama Del Cuerpo Libre – Estructura soporte

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

A partir del diagrama se procede a efectuar el análisis de un pórtico de un agua:

$$\sum Fx = 0 \qquad \textit{Ec. (4.38)}$$

$$H_A + H_B = 0 \qquad \textit{Ec. (4.39)}$$

$$H_A = -H_B$$

$$\sum Fy = 0 \qquad \textit{Ec. (4.40)}$$

$$V_A + V_B = 320 \qquad \textit{Ec. (4.41)}$$

$$V_A = V_B = 160$$

$$\sum M_A = 0 \qquad \textit{Ec. (4.42)}$$

$$M_A + M_B - 320\ (0{,}5) + V_B\ = 0 \qquad \textit{Ec. (4.80)}$$

$$M_A = -M_B$$

Se procede a calcular las reacciones normales, cortantes y momentos flectores:

Figura 4. 43: Corte – estructura soporte 1-1: 0 ≤ x ≤1,1

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

$$N_X + V_A = 0 \qquad \textit{Ec. (4.44)}$$

$$N_X = -160$$

$$V_X - H_A = 0 \qquad \textit{Ec. (4.45)}$$

$$V_X = H_A$$

$$\sum M_{1-1} = 0 \qquad \textit{Ec. (4.46)}$$

$$M_X = H_A X - M_A \qquad \textit{Ec. (4.81)}$$

Si X= 0: $M_X = -M_A$

Si X= 4: $M_X = 4\,H_A - M_A$; considerando que a esta distancia el momento es nulo.

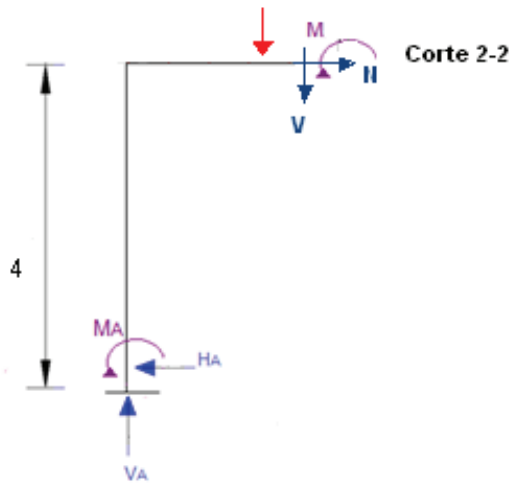


Figura 4. 44: Corte – estructura soporte 2-2: 0 ≤ x ≤1

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

$$N_X - H_A = 0 \qquad \textit{Ec. (4.48)}$$

$$N_X = H_A$$

$$V_X - V_A + 320 = 0 \qquad \textit{Ec. (4.49)}$$

$$V_X = -160$$

$$\sum M_{2-2} = 0 \qquad \textit{Ec. (4.50)}$$

$$M_X + M_A - 4\,H_A - V_A(0{,}5 + X) + 320X = 0 \qquad \textit{Ec. (4.82)}$$

$$M_X = 80 - 160X$$

Si X=0 : $M_X = 80$

Si X=0,5: $M_X = 0$

El soporte derecho tiene las mismas reacciones que el soporte izquierdo, esto por la simetría del elemento analizado.

Se procede a realizar los diagramas normales, cortante y momento flector:

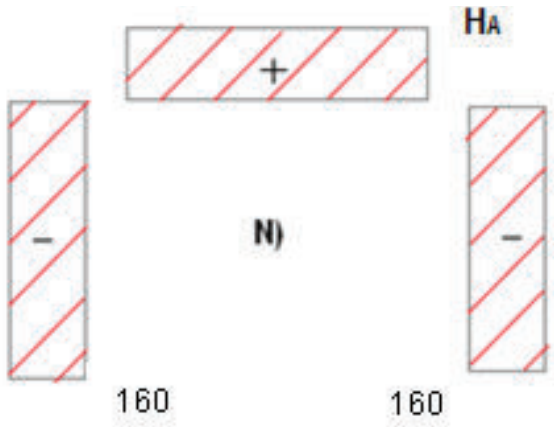


Figura 4. 45: Diagrama de Normal- Estructura Soporte

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

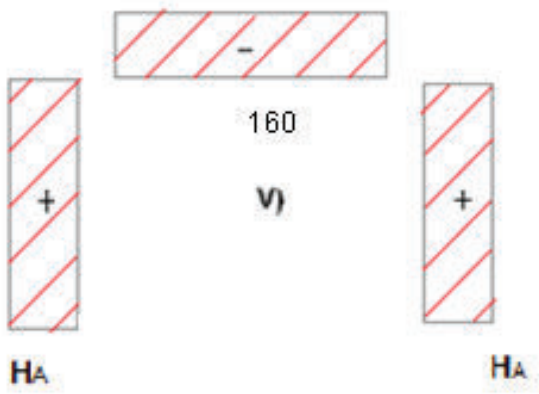


Figura 4. 46: Diagrama Cortante- Estructura Soporte

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

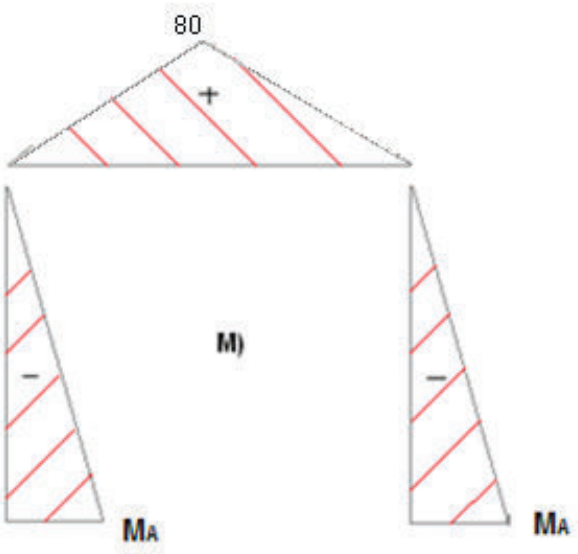


Figura 4. 47: Diagrama Momento Flector- Estructura Soporte

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

Se establece un momento máximo de 80 kg-m en el elemento horizontal, en base al cual se hará la selección del perfil en el catálogo DIPAC (Anexo 18: Perfiles Estructurales "IPN").

$$\sigma_p = \frac{Mc}{Ix} = \frac{M}{Sx} \leq \sigma_{max} = \frac{Sy}{F.S.} \qquad \textit{Ec. (4.19)}$$

Dónde:

σ_p: Esfuerzo permisible

M: momento máximo

Ix: inercia respecto del eje x

c: distancia al eje x

Sy: límite de fluencia

F.S: factor de seguridad

$$\frac{8000\ kg-cm}{Sx} \leq \frac{2536{,}37\ kg/cm^2}{5}$$

$$Sx \geq 15{,}77\ cm^3$$

En base al catálogo de DIPAC (Anexo 19: Perfiles estructurales "IPN"), Se selecciona un perfil "I" de S_x = 20 cm^3, tipo IPE 80, fabricado en acero A 36.

Entonces:

$$\frac{8000\ kg-cm}{20cm^3} = \frac{2522\ kg/cm^2}{F.S.}$$

De donde,

$$F.S. = 6{,}31 \geq 5$$

Para el diseño de las columnas se ha tomado en cuenta la siguiente consideración:

- Ambas columnas están sometidas a las mismas cargas de flexo-comprensión, que para el caso corresponde a un esfuerzo cortante de 160 kg.

A partir de la figura 4.32: Gráfico de alineación para Longitud efectiva de Columnas en Marcos Continuos, se pueden determinar las constantes G_1 y G_2, que relacionadas de acuerdo al manual, permiten determinar el factor de elongación del elemento prismático (k).

Empotramiento: G1= 1 *Ec. (4.52)*

$$G_2 = \frac{\frac{I_{12}}{L_{12}}}{\frac{I_{23}}{L_{23}}}$$ *Ec. (4.53)*

Las inercias se simplifican ya que los elementos poseen la misma rigidez.
Por lo tanto:

$$G_2 = \frac{L_{23}}{L_{12}} = \frac{1}{4} = 0{,}25$$ *Ec. (4.83)*

Valores para los cuales, K corresponde a un valor de 1,2.

- Las columnas se diseñan en acero A-36, cuyo límite de fluencia es de 2536,37 kg/cm^2, aproximadamente 36 ksi.

- La columna tiene una altura de 4,7 m que corresponde a un valor de 185 pulg.

La relación de separación entre pandeo elástico e inelástico se determina a partir de la Ec. (4.108):

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_Y}}$$ *Ec. (4.54)*

Dónde:

E: Módulo de elasticidad del acero (29000 ksi)

F_y: Límite de fluencia, que para el caso corresponde a un valor aproximado de 36 ksi.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 29000}{36}} = \quad 126{,}1$$

Se procede a calcular el radio de giro a partir de la *Ec. (4.109)*

$$r_{min=r_{yy}\geq\frac{kL}{Cc}}$$ *Ec. (4.55)*

Dónde:

$r_{min:}$ Radio mínimo de giro para el perfil "I"

L: Longitud de diseño de la columna

Cc: Relación de separación entre pandeo elástico e inelástico

$$r_{min=\frac{1{,}2x\ 185}{126{,}1}=1{,}76\ pulg}$$

$$r_{min=45\ mm}$$

Una vez establecido este valor, se procede a seleccionar un perfil del catálogo DIPAC (Anexo 20: Tubo Estructural Cuadrado) (ry= 1,15 pulg)

Seguidamente, se determina la esbeltez del elemento:

$$\lambda = \frac{KL}{r_{min}} \qquad \textit{Ec. (4.56)}$$

Dónde:

λ: esbeltez

$$\lambda = \frac{1{,}2\ x\ 185}{1{,}15} = 193{,}11$$

El valor de la esbeltez es próximo a 200 por lo que se concluye que no necesita arriestramiento.

A partir del Anexo 9: AISC – Table 3-36 Allowable Stress for Compression Members of 36 ksi Specified Yield Stress Steel, se determina un valor para el factor F_a, que para el caso será de 6,31 ksi.

La figura 4.43 muestra un esquema de la columna a diseñar:

Figura 4. 48: Esquema de columna soporte a flexo-compresión

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

El factor *fa*, representa la carga obtenida de la relación entre la fuerza de compresión y el área del elemento a diseñar:

$$f_a = \frac{P}{A} \qquad \textit{Ec. (4.57)}$$

Para el elemento el valor de la fuerza de compresión es de 160 kg 0 352 lb, que actúa en un área de 6,61 cm^2 o 1 $pulg^2$, por lo que:

$$f_a = \frac{352}{1} = 352 \text{ psi}$$

$$f_a = 0{,}352 \text{ ksi}$$

La relación entre ambos factores determinará si la selección del elemento es correcta, y se representará con I_a:

$$I_a = \frac{f_a}{F_a} \qquad \textit{Ec. (4.58)}$$

$$I_a = \frac{0{,}352}{6{,}31} = 0{,}06$$

$$I_a < 1$$

El resultado garantiza que el elemento no va a fallar. Concluyendo el diseño con la selección de un tubo estructural cuadrado; diseñado en acero A 500 de 60 x2 mm.

4.3.3.2 Cálculo de las uniones soldadas de la estructura

La soldadura se utiliza para unir es soporte horizontal y los soportes laterales de la estructura. El proceso mediante el cual se realizará es SMAW, para lo cual se anexa el respectivo WPS (Anexo 21: WPS Soldadura en la estructura soporte) con la descripción detallada del mismo.

Se presenta a continuación las consideraciones correspondientes para efectuar esta memoria de cálculo:

- Se realizará una junta a tipo “T”.
- Para el análisis, el esfuerzo actúa perpendicularmente a la garganta efectiva del filete.
- El material se encuentra sometido a un momento máximo cuyo valor es de 4000 kg-cm.
- Se selecciona un electrodo E60xx, cuyo límite de fluencia es Sy=50 kpsi

Se determina el momento de inercia unitario I_u de acuerdo a la tabla 4.4. A partir de la *Ec. (4.61),* se determina el momento de inercia unitario:

$$I_u = \frac{bh^2}{2} \qquad \textit{Ec. (4.61)}$$

Dónde:

I_u: Momento de Inercia unitario

b: longitud del material base

h: espesor del material base

$$I_u = \frac{7\,x0{,}38^2}{2} = 0{,}51\ cm^3$$

Se establece a continuación la garganta efectiva de soldadura t:

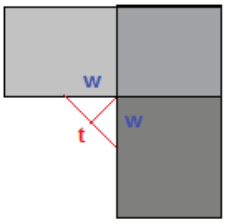


Figura 4. 49: Esquema de soldadura – Estructura

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

$$t = w cos 45^o \qquad \textit{Ec. (4.62)}$$

A partir de la cual se obtiene el momento de inercia de la soldadura I_s:

$$I_s = t\, I_u \qquad \textit{Ec. (4.63)}$$

$$I_s = 0{,}36\, w$$

El esfuerzo al que se somete la soldadura se determina mediante la *Ec. (4.64):*

$$\sigma_s = \frac{M\frac{h}{2}}{I_s} \qquad \textit{Ec. (4.64)}$$

$$\sigma_s = \frac{4000\,\frac{0{,}38}{2}}{0{,}36w} = \frac{4253{,}27}{w}$$

Entonces:

Para el electrodo:

$$\sigma_s = \sigma_{permisible} = 0.6\, S_y \qquad \textit{Ec. (4.65)}$$

$$\sigma_{permisible} = 30\, kpsi \text{ ó } 2108{,}16\, kg/cm^2$$

Reemplazando *Ec. (4.65)* en *Ec. (4.64)*

$$2108{,}16 = \frac{9412}{w}$$

$$w = 1\ cm$$

Se selecciona un electrodo E 6011 de *4,8 mm* de diámetro, efectuando tres pasadas.

4.3.3.3 Diseño placa base

Debido a la concentración de esfuerzos que ejerce la columna sobre el concreto, es necesario fijarla a una placa base, diseñada de tal manera que su área soporte dichos esfuerzos. La figura 4.50 muestra la placa base a diseñarse.

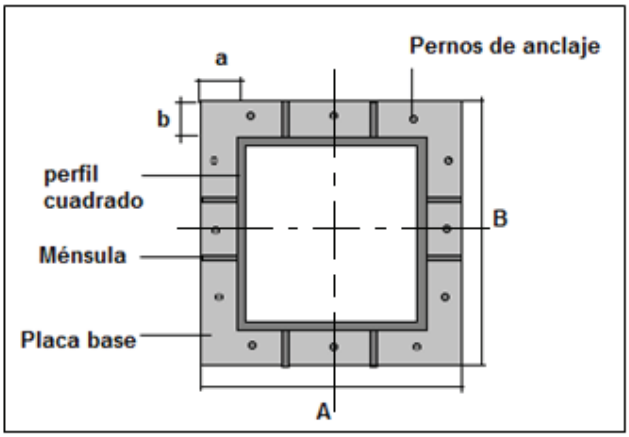


Figura 4. 50: Placa base

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

De acuerdo al “Reglamento para Concreto Estructural” publicado por la ACI, La resistencia por aplastamiento del concreto se define como Ø, tomando un factor de reducción de resistencia al aplastamiento de Øc= 0,65, esto es, cuando la placa cubre el área total del concreto.

La Ec. 4.84 permite establecer la fuerza soporte:

$$P_p = 0{,}85\ x\ f'_c\ x\ A_1 \qquad \textit{(Ec. 4.84)}$$

Dónde:

f'_c : Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días (3 ksi).
A_1: Área de la placa

La presión ejercida por la fuerza nominal, se determina mediante la ecuación Ec. 4.85.

$$f_{p\ max} = 0{,}85\ x\ f'_c \qquad \textit{(Ec. 4.85)}$$

La siguiente ecuación representa la presión última:

$$f_{p\ u\ max} = Øc\ f_{p\ max} \qquad \textit{(Ec. 4.86)}$$

La presión sobre el concreto debe ser menor a la anterior:

$$\frac{P_u}{A_1} \leq f_{p\ u\ max} \qquad \textit{(Ec. 4.87)}$$

Dónde:

P_u: Carga axial que actúa sobre la estructura multiplicada por un F.S. = 7

Por lo tanto,

$$A_1 = \frac{P_u}{f_{p\ u\ max}}$$

Considerando que no hay confinamiento de concreto, el área requerida se puede obtener como:

$$A_1 = \frac{P_u}{Øc\ x\ 0{,}85\ x\ f'_c}$$

Reemplazando valores:

$$A_1 = \frac{352}{0{,}65\ x\ 0{,}85\ x\ 3} = 212{,}37\ \ pulg^2$$

Por lo que cada lado de la placa base es de 14,5 pulg o de 370 mm de longitud. Las dimensiones a=b son por tanto 15,5 cm, valor que corresponde a las dimensiones del triángulo rectángulo isósceles que representan las ménsulas del mismo espesor que el perfil cuadrado.

Para determinar el espesor de la placa se utiliza la *(Ec. 4.88):*

$$t_{min} = l\sqrt{\frac{2\ P_u}{Ø_f F_y AB}} \qquad \text{(Ec. 4.88)}$$

Dónde:

l: Longitud crítica

$Ø_f$: Factor de reducción de resistencia a la flexión, que para el caso es 0,90

F_y: Límite de fluencia para el acero A-36

Sustituyendo los valores:

$$t_{min} = 15{,}5\ x \sqrt{\frac{2\ x\ 352}{0{,}90\ x\ 36000\ x\ 212{,}37}} = \ 0{,}2\ cm$$

El espesor determinado para la placa es 2 mm. Sobre ésta se localizan los pernos de anclaje, dispuestos tres en cada lado.

4.3.3.4 Diseño de los pernos de anclaje

Para el diseño de estos elementos se ha seleccionado varilla grado 42 considerando su resistencia mecánica y sus propiedades anticorrosivas. (Anexo 22: Catálogo Pernos de Anclaje). Sus características son:

- Límite de fluencia: F_y = 4200 kg/ cm^2
- Resistencia a la tensión: F_t = 6300 kg/ cm^2

Se considera que estos elementos están solicitados a tensión y a cortante. La *(Ec. 4.89)* permite establecer el valor de la primera:

$$T = \frac{M}{ns} \qquad \textit{(Ec. 4.89)}$$

Dónde:
M: Momento aplicado sobre la placa
s: distancia de separación entre pernos
n: número de pernos por lado

Por lo tanto,

$$T = \frac{704\ x\ 0{,}37}{3\ x\ 0{,}05} = 1736{,}53\ kg$$

La resistencia de diseño para cargas a tracción y cargas cortantes, se representa por Rn y se establece mediante la (*Ec. 4.90):*

$$R_n = \varphi F_n A_b \qquad \textit{(Ec. 4.90)}$$

Dónde:

φ: 0,75

F_n: 0,9 F_y = 3780 kg/ cm^2

A_b: Área transversal del perno

Por lo tanto,

$$R_n = 0{,}75\ x\ 3780\ x\ \pi \frac{d^2}{4}$$

Se asume que esta resistencia es igual a la tensión que soporta cada perno:

$$1736{,}53 = 0{,}75\ x\ 3780\ x\ \pi \frac{d^2}{4}$$

Por lo tanto,

$$d = 0{,}88\ cm$$

El perno seleccionado es de 8,8 mm de diámetro.

La longitud de elemento se establece mediante la ecuación (*Ec. 4.91*):

$$L_d = \frac{0{,}0632\ x\ A_b\ x\ F_y}{\sqrt{f'_c}} \qquad \textit{(Ec. 4.91)}$$

Reemplazando valores:

$$L_d = \frac{0{,}0632\ x\ 0{,}61\ x\ 4200}{\sqrt{210}} = 11{,}14\ cm$$

Se seleccionan pernos de anclaje de 10 mm de diámetro y 120 mm de profundidad de perforación.

4.3.3.5 Cálculo de la soldadura entre la placa base y el perfil cuadrado

La soldadura se usa para unir el perfil cuadrado y la estructura. El proceso mediante el cual se realizará es SMAW, para lo cual se anexa el respectivo WPS (Anexo 23: WPS Soldadura en la base de la estructura) con la descripción detallada del mismo.

Se presenta a continuación las consideraciones correspondientes para efectuar esta memoria de cálculo:

- Se realizará una junta a tipo “T”.
- Para el análisis, el esfuerzo actúa perpendicularmente a la garganta efectiva del filete.
- El material se encuentra sometido a un momento máximo cuyo valor es de 4000 kg-cm.
- Se selecciona un electrodo E60xx, cuyo límite de fluencia es Sy=50 kpsi

Se determina el momento de inercia unitario I_u de acuerdo a la tabla 4.4. A partir de la *Ec. (4.61),* se determina el momento de inercia unitario:

$$I_u = \frac{bh^2}{2} \qquad \textit{Ec. (4.61)}$$

Dónde:

I_u: Momento de Inercia unitario

b: longitud del material base

h: espesor del material base

$$I_u = \frac{24\ x0{,}2^2}{2} = 0{,}48\ cm^3$$

Se establece a continuación la garganta efectiva de soldadura t:

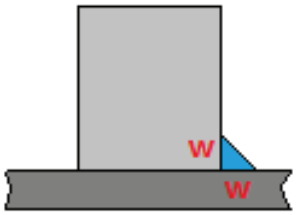


Figura 4. 51: Esquema de soldadura – Base

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

$$t = wcos45^o \qquad \textit{Ec. (4.62)}$$

A partir de la cual se obtiene el momento de inercia de la soldadura I_s:

$$I_s = t\ I_u \qquad \textit{Ec. (4.63)}$$

$$I_s = 0{,}34\ w$$

El esfuerzo al que se somete la soldadura se determina mediante la *Ec. (4.64):*

$$\sigma_s = \frac{M\frac{h}{2}}{I_s} \qquad \textit{Ec. (4.64)}$$

$$\sigma_s = \frac{4000\,\frac{0,2}{2}}{0,34w} = \frac{1176,47}{w}$$

Entonces:

Para el electrodo:

$$\sigma_s = \sigma_{permisible} = 0.6\,S_y \qquad \textit{Ec. (4.65)}$$

$$\sigma_{permisible} = 30\,kpsi \text{ ó } 2108,16\,kg/cm^2$$

Reemplazando *Ec. (4.65)* en *Ec. (4.64)*

$$2108,16 = \frac{1176,47}{w}$$

$$w = 0,56\,cm$$

Se selecciona un electrodo E 6011 de *4 mm* de diámetro, efectuando dos pasadas.

Una vez finalizado el diseño se procede a realizar la simulación del prototipo, para lo cual se utiliza el paquete informático Autodesk INVENTOR. Esta simulación se presenta en el Anexo 27.

En el Anexo 28 se presentan los planos de montaje y de taller del prototipo. Estos planos contienen la pertinente Ingeniería de Detalle que permite construir y montar el mecanismo garantizando su funcionalidad.

4.4 CONSTRUCCIÓN, MONTAJE Y PRUEBAS DE CAMPO

La sección actual determina las especificaciones a considerarse para la construcción de la máquina. Su elaboración debe efectuarse en un taller mecánico que disponga de todas las máquinas – herramientas necesarias para llevar a cabo cada uno de los procesos de fabricación detallados en el Anexo 24.

Los componentes normalizados seleccionados tienen disponibilidad en el mercado nacional.

4.4.1 MÁQUINAS Y EQUIPOS A EMPLEARSE EN EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

Los procesos de construcción y fabricación para esta máquina de izaje requieren de la siguiente maquinaria:

- Máquina de corte por oxicorte
- Taladro
- Esmeril
- Soldadora SMAW
- Torno
- Limadora
- Fresadora

Entre las herramientas e instrumentos de medición a utilizarse se tiene:

- Brocas
- Electrodos E6011
- Martillo
- Lima
- nivel
- Flexómetro
- Calibrador pie de rey

Los planos de fabricación y montaje de cada subconjunto con sus respectivos elementos se encuentran el Anexo 25 de este documento.

4.4.2 MONTAJE

El montaje se debe ejecutar de acuerdo a la simulación presentada conjuntamente con este documento en versión digital. De igual manera, el plano 3177:001 describe gráficamente el proceso.

El Anexo 25: Manual de Instalación, describe el proceso por escrito. Adicionalmente, en el Anexo 26: Manual de Operación, se describe el uso y manejo adecuado de la máquina de izaje para personas con capacidades limitadas temporales en silla de ruedas.

4.4.3 PRUEBAS DE CAMPO

Las pruebas de campo se efectúan siguiendo el formato de protocolo de pruebas expuesto en el Anexo 4 del presente proyecto.

4.5 ANALISIS DE COSTOS

La presente sección detalla el aspecto económico correspondiente a actividades de construcción, mano de obra, montaje, entre otros; de tal manera que permite estimar el costo final de la máquina diseñada. Los valores se obtuvieron del Listado de Precios de Materiales de construcción, de la Cámara de la Construcción del Distrito Metropolitano de Quito, así como de cotizaciones efectuadas con ACRILUX S.A., ADELCA, NOVACERO, KIWI y principales ferreterías del país.

Los rubros se detallan a continuación de acuerdo a cada subconjunto que la compone:

4.5.1 COSTO SUBCONJUNTO CABINA

4.5.1.1 Costo material

Elemento	Plancha antideslizante color negro ASTM A-36 *e = 6mm		Perfil L A - 623 30 x 4		Platinas ASTM A-36 30 x 4		Malla Electrosoldada M 3.5 15 (6.25x2.40)		Perfil L A - 623 30 x 3		Plancha acrílica Lámina lisa cristal 1.2 x 1.8 *e = 2 mm		Tubo redondo 1.0" x 1.1mm ASTM A-36		**TOTAL**
Costo Unitario	19.98 USD / m^2		2,30 USD / m		1,23 USD / m		30,02 USD / m^2		1,75 USD / m		10,69 USD / m^2		1,47 USD / m		
	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD			USD
Placa base	1,2	23,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,98
Soporte base	-	-	4,4	10,12	2,2	2,71	-	-	-	-	-	-	-	-	12,83
Paredes	-	-	-	-	2,2	2,71	5,72	171,71	9,80	17,15	4.42	47,25	5,6	8,23	247,05
TOTAL															**283,86**

Tabla 4. 6: Subconjunto Cabina –Costo Material

*Nota1: e= espesor
Fuente: Propia
Elaboración: Propia

4.5.1.2 Costo mano de obra

Maquinaria	Cantidad	Oxicorte		Soldadura		Taladrado		Operario		TOTAL
costo HHM		4		15		4		2		
elemento		Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	USD
Placa base	1	0,33	1,32	-	-	0,42	1	0,83	1,67	3,99
Soporte base	1	0,75	3	0,67	10,1	0,5	2	1,25	2,5	17,60
paredes	3	0,83	3,32	0,42	6,3	0,17	0,68	1	2	37,58
puerta	1	0,33	1,32	0,58	8,7	0,17	0,68	0,67	1,34	11,36
TOTAL										**70,53**

Tabla 4. 7: Subconjunto Cabina –Costo Mano de obra

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

4.5.1.3 Costo elementos normalizados

Elemento	Especificación	Observación	Cant.	Precio Unitario	Precio Total
pernos	GRADO 8	M6 x 1.25 x 20	22	0.3	6.60
roscas	CLASE 8	M6 altura 5 mm	22	0.05	1.10
arandelas	Inoxidable 304	De presión M6	22	0.05	1.10
Guías telescópicas	DSC 43	carga radial 3063 N	2	60	120
Manija de seguridad	CESA	Tipo delta satinado	1	17,92	17,92
bisagras	CESA	3 X 3 (caja de dos unidades)	1	3,58	3,58
cerradura	CESA	Cerrojo sencillo satinado	1	11,09	11,09
TOTAL					**161,39**

Tabla 4. 8: Subconjunto Cabina –Costo Elementos Normalizados

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

4.5.1.4 Costo de fabricación del subconjunto cabina

Costo de fabricación del subconjunto: Cabina	
Rubro	**valor ($)**
Materiales	283,86
Mano de obra	70,53
Elementos normalizados	161,39
subtotal 1	515,78
imprevistos 10%	51,58
total	**567,36**

Tabla 4. 9: Subconjunto Cabina –Costo de fabricación

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

4.5.2 COSTO SUBCONJUNTO CABLE-TAMBOR-MOTORREDUCTOR

4.5.2.1 Costo material

Elemento	Tubo ASTM A-36 d = 30mm		Platinas ST - 60 7 x 8		Tubo Bronce d = 80mm		Plancha ASTM A-36 *e = 2 mm		**TOTAL**
Costo Unitario	2 USD / m		8 USD / m		30 USD / m		16.83 USD / m^2		
	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	**USD**
Eje	0,5	1	-	-	-	-	-	-	1,00
lengüeta	-	-	0,5	4	-	-	-	-	4,00
Unión ejes	-	-	-	-	0,4	12	-	-	12,00
Caja soporte	-	-	-	-	-	-	0,5	8,42	8,42
TOTAL									**24,62**

Tabla 4. 10: Subconjunto Cable-tambor-motorreductor –Costo de Material

*Nota1: e= espesor
Fuente: Propia
Elaboración: Propia

4.5.2.2 Costo mano de obra

Maquinaria	Cantidad	Fundición		oxicorte		Soldadura		Torneado		Fresado		Taladrado		Operario		TOTAL
costo HHM		120		4		15		4		7,5		4		2		
elemento		Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	USD
Eje del tambor	1	-	-	-	-	-	-	0.5	2	0,25	0,5	-	-	1	2	4,50
lengüeta	2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	1	-	-	0,25	0,50	3,00
Caja soporte	1	-	-	0,42	1,68	0,5	7,5	-	-	-	-	0,25	1	2	4	14,18
Unión ejes	1	-	-	-	-	-	-	0,33	1,32	0,33	2,48	-	-	0,5	1	4,80
tambor	1	1	120	-	-	-	-	-	-	0,33	2,48	-	-	4	8	138,48
TOTAL																**156,96**

Tabla 4. 11: Subconjunto Cable-tambor-motorreductor –Costo Mano de obra

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

4.5.2.3 Costo elementos normalizados

Elemento	Especificación	Observación	Cant.	Precio Unitario	Precio Total
pernos	GRADO 8	M14 x 1.25 x 35	6	0,33	1,98
roscas	CLASE 8	M14 altura 12.5mm	6	0,08	0,48
arandelas	Inoxidable 304	De presión M14	6	0,08	0,48
Cable tensor	Cable acero 5/16" A/A (8x19)	Cable para elevador	1	25,24	25,24
Estrobo de cuatro ramales	Argolla de ½"	Soporta 1.8 Ton	1	13,45	13,45
Abrazaderas para cables	WRCH10	Grapa de acero forjado, d = 3/8"	4	3,65	14,6
motorreductor	PR 080 MSF 090	0.55 KW 12 RPM	1	1400	1400,00
Chumacera	UCP 206	Perno M14 W ½	1	12,2	12,2
TOTAL					1468,43

Tabla 4. 12: Subconjunto Cable-tambor-motorreductor – Costo Elementos Normalizados

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

4.5.2.4 Costo de fabricación del subconjunto cable –tambor-motorreductor

Costo de fabricación del subconjunto: Cable –tambor-motorreductor	
Rubro	**valor ($)**
Materiales	24,62
Mano de obra	156,96
Elementos normalizados	1468,43
subtotal 1	1647,21
imprevistos 10%	164,72
total	**1815,73**

Tabla 4. 13: Subconjunto Cable-tambor-motorreductor –Costo de fabricación

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

4.5.3 COSTO SUBCONJUNTO ESTRUCTURA SOPORTE

4.5.3.1 Costo material

Elemento	Perfil IPN ASTM A-36		Tubo cuadrado ASTM A-500		Plancha ASTM A-36 *e = 2 mm		**TOTAL**
Costo Unitario	4.86 USD / m		2.7 USD / m		13.08 USD / m^2		
	Cant.	USD	Cant.	USD	Cant.	USD	**USD**
Pórtico	1	4,86	9,5	25,65	-	-	30,51
Placas Bases	-	-	-	-	0,20	2,62	2,62
TOTAL							**33,13**

Tabla 4. 14: Subconjunto Estructura soporte –Costo de Material

*Nota1: e= espesor
Fuente: Propia
Elaboración: Propia

4.5.3.2 Costo mano de obra

Maquinaria	**Cantidad**	**Oxicorte**		**Taladrado**		**Soldadura**		**Obra civil**		**Operario**		**TOTAL**
costo HHM		4		4		15		250		2		
elemento		Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	Cant	USD	**USD**
Pórtico	1	0,42	1,68	0,5	2	1	15	0,5	125	2,4	4,8	148,48
Placas base	2	0,33	1,32	0,33	1,32	0,67	10,05	-	-	1,9	3,8	16,49
TOTAL												**164,97**

Tabla 4. 15: Subconjunto Estructura Soporte –Costo Mano de obra

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

4.5.3.3 Costo elementos normalizados

Elemento	Especificación	Observación	Cant.	Precio Unitario	Precio Total
pernos de anclaje	GRADO 8	M10 x L 120	24	1,87	44,88
TOTAL					**44,88**

Tabla 4. 16: Subconjunto Estructura Soporte – Costo Elementos Normalizados

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

4.5.3.4 Costo de fabricación del subconjunto estructura soporte

Costo de fabricación del subconjunto: Estructura Soporte	
Rubro	**valor ($)**
Materiales	33,13
Mano de obra	164,97
Elementos normalizados	44,88
subtotal 1	242,98
imprevistos 10%	24,30
total	**267,28**

Tabla 4. 17: Subconjunto Estructura Soporte –Costo de fabricación

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

4.5.4 COSTO DE FABRICACIÓN DE LA MAQUINA DE IZAJE

Subconjunto	Costo ($)
Subconjunto cabina	567,36
Subconjunto cable-tambor-motorreductor	1 815,73
Subconjunto estructura soporte	267,28
Subtotal ($)	**2 650,37**
Costo de montaje (10%)	265,31
Costo de diseño	1 600,00
Utilidad (15%)	397,56
COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA	**4 913,24**

Tabla 4. 18: Máquina de izaje – Costo de fabricación

Fuente: Propia
Elaboración: Propia

El costo de la máquina es de cuatro mil novecientos trece dólares con veinte y cuatro centavos. Este valor se obtiene acorde al precio de materia prima, costo hora-hombre-máquina, elementos normalizados y porcentajes adicionales por montaje, diseño y utilidad.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El presente proyecto de titulación cumple la finalidad para la que fue presentado. Se garantiza la factibilidad de este proyecto mediante el análisis estructural y la selección de elementos de máquinas acorde a los requerimientos de diseño previamente establecidos.

- La máquina de izaje diseñada, permite al usuario con capacidades motrices restringidas a una silla de ruedas, su desplazamiento al interior de una vivienda con sistema de gradas, situación que hace dificultosa y dolorosa su movilización hacia centros de rehabilitación.

- El estudio de campo efectuado permite establecer las condiciones de diseño en base al espacio disponible para la instalación de la máquina, acorde a la normativa ASME. Los parámetros que garantizan su ergonomía se determinaron en base a los requerimientos que el usuario priorizó para maximizar su bienestar.

- El documento presenta una guía virtual de instalación y adicionalmente una secuencia escrita, esto con el objetivo de garantizar la funcionalidad de la máquina al momento que inicia su operación.

- Se presenta una guía de usuario, donde se establecen las condiciones bajo las cuales la máquina debe operar, así como las restricciones de funcionamiento. Esto permite prolongar la vida útil de cada elemento que la compone.

- El análisis de costos permite conocer el precio de la máquina en el mercado nacional. De acuerdo a la funcionalidad y a las características de ensamblaje, se concluye que la máquina cumple con los

requerimientos económicos estándares, denotándose que el diseño se ha efectuado sin un sobredimensionamiento que altere el aspecto mercantil del mismo.

- La elaboración de este proyecto beneficia a personas que han sufrido un accidente de tránsito y se encuentran en situaciones difíciles en cuanto a movilidad. Esto denota la interrelación entre un profesional de Ingeniería Mecánica y las necesidades médicas presentes en el país.

- Al concluir el presente proyecto, los autores desarrollaron su criterio ingenieril mediante la solución de problemas que se presentaron el camino y aplicaron lo aprendido a lo largo de la carrera en cuanto al diseño de máquinas se refiere: cálculo estructural, elementos de máquinas, dibujo técnico, optimización de materiales, equipos y costos de fabricación.

5.2 RECOMENDACIONES

- El buen funcionamiento de la máquina de izaje para personas con capacidades limitadas temporales en silla de ruedas, se garantiza si se siguen estrictamente los procesos de fabricación planteados en este proyecto, así como la adquisición de los elementos estandarizados descritos en el plano de conjunto. Es necesario cumplir la secuencia de ensamblaje y los procesos de soldadura de acuerdo a los WPS anexados al final.

- La instalación eléctrica del sistema de izaje debe efectuarse por un técnico especializado, que garantice la seguridad del ocupante, del operario y de los habitantes de la vivienda.

- Los planos de fabricación deben seguirse de tal forma que se cumpla con las tolerancias establecidas por los diseñadores. Esto para evitar conflictos al momento de su instalación.

- Se recomienda efectuar un recubrimiento de los elementos fabricados en acero estructural. Debido a que la máquina se encuentra al aire libre, sus elementos se exponen a abrasión por polvo y corrosión por humedad.

BIBLIOGRAFÍA

- BEDÓN GAVILANEZ CARLOS FERNANDO; Diseño de un elevador para sillas de ruedas a instalarse en un bus tipo de la ciudad de Quito, 2011
- HUERTA, Jaime;Discapacidad y Diseño Accesible- Diseño Urbano y Arquitectónico para personas con discapacidad; Lima; 2007; pag 36-38
- VARGAS, J; Guía de los fundamentos de Dibujo Industrial; E.P.N., Facultad de Ingeniería Mecánica; Quito-Ecuador, 2014.
- VARGAS, J; Producción por Virutaje; E.P.N., Facultad de Ingeniería Mecánica; Quito-Ecuador, 2014.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 299:2001- Accesibilidad de Las Personas con Discapacidad y Movilidad Reducida al Medio Físico. Ascensores.
- Safety Standard for Platform Lifts and Stairway Chairlifts ASME A-18.1-2008
- SHIGLEY-MISCHKE; Manual de Diseño Mecánico; 5° Ed; Editorial Mc Graw-Hill; México,1989; pag
- POPE, E: Soluciones Prácticas para El Ingeniero Mecánico; Ed. McGraw- Hill, 1er edición; México 2000; pag
- MARKS; Manual del Ingeniero Mecánico; Editorial McGraw-Hill; México, 1995
- NORTON ROBERT, Diseño de Máquinas, Editorial McGraw-Hill, México, 1999
- DE AZEVEDO NETTO, J.M. y ACOSTA ALVAREZ, Guillermo. Manual de Hidráulica, México: Harla, 1975
- (http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/es/)
- Reglamento General para la Aplicación de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, Capítulo III, Art. 344.
- (http://www.ecuador-vial.com/ecuador-con-nueva-tipologia-de-accidentes)
- (http://www.csjn.gov.ar/cmfcs/cuadernos/2_3_7.htm, págs. 7-15)
- (www.chubut.gov.ar/dpd/imagenes/Dpd.doc)

- (http://es.wikipedia.org/wiki/Ascensor)
- (http://www.captel.com.ar/downloads/0109020004_accidentes.pdf)
- (http://es.slideshare.net/levitic/lesiones-en-hechos-de-transito)
- (http://www.terapia-ocupacional.com/ayudas-tecnicas/movilidad.shtml)
- (http://www.ascensoresgrinovero.com.ar/ascensores_hidraulicos.htm)
- PISARENKO; G. S., Manual de resisitencia de Materiales; Editorial Mir Moscú, 1979; pag 268, 269
- TIMOSHENKO; Resisitencia de Mareriales, Ediciones Paraninfo, 8va Ed, Parte 1.
- Manual of the American Society of Steel Construction.
- JÜTZ,Hermann; GTZ. Tablas para la Industria Metalurgica, Alemania, 3ra Ed.
- GUARDIOLA, Adrianna; Polimedia; Diseño y cálculo de uniones con tornillos no pretensados.
- LARBURU, Prontuario Máquinas y Herramientas
- MC CORMAC; J, Estructuras de Acero, MétodoLRFD, Editorial Alfaomega, 2 Ed; México.

ANEXO 1

MEDIDAS BÁSICAS DE LA SILLA DE RUEDAS

ANEXO 2

REQUERIMIENTO DE DISEÑO

ANEXO 3

ESTUDIO DE CAMPO

ANEXO 4

FORMATO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

ANEXO 5

ECUACIONES DE LA LÍNEA ELÁSTICA, FLECHAS MÁXIMAS Y ÁNGULOS DE GIRO DE LAS SECCIONES DE EXTREMO Y DE APOYO EN LAS VIGAS ISOSTÁTICAS DE SECCIÓN TRANSVERSAL CONSTANTE

ANEXO 6

PLANCHA ANTIDESLIZNTE

ANEXO 7

NORMAS:

ASTM 8.1 - INEN 2299 - INEN 1623

ANEXO 8

PERFILES ESTRUCTURALES
ANGULOS “L” DOBLADOS

ANEXO 9

AISC – TABLE 3-36 ALLOWABLE STRESS FOR COMPRESSION MEMBERS OF 36 KSI SPECIFIED YIELD STRESS STEEL

ANEXO 10

GUÍA TELESCÓPICA DE BOLAS

DSC

ANEXO 11

PLATINAS EN ACERO INOXIDABLE

ANEXO 12

CATALOGO PERNOS Y TUERCAS

IVAN BOHMAN

ANEXO 13

WPS

SOLDADURA EN LA ESTRUCTURA BASE

ANEXO 14

CATALOGO LEONCABLES

ANEXO 15

CATALOGO MAXI LIFT

ABRAZADERAS PARA CABLES

ANEXO 16

TAMBORES PARA CABLE DE ACERO

ANEXO 17

CATALOGO MOTORREDUCTOR

ANEXO 18

SOPORTES PARA RODAMIENTOS

ANEXO 19

PERFILES ESTRUCTURALES “IPN”

ANEXO 20

TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

ANEXO 21

WPS

SOLDADURA EN LA ESTRUCTURA SOPORTE

ANEXO 22

CATÁLOGO - PERNOS DE ANCLAJE

ANEXO 23

WPS

SOLDADURA EN LA BASE DE LA ESTRUCTURA

ANEXO 24

PROCESOS DE FABRICACIÓN

ANEXO 25

MANUAL DE INSTALACIÓN

ANEXO 26

MANUAL DE OPERACIÓN

ANEXO 27

SIMULACIÓN

ANEXO 28

PLANOS DE FABRICACIÓN