



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO DE UNA CABINA TIPO CON CAPACIDAD PARA DIEZ
PERSONAS PARA EL PROYECTO QUITO-CABLES”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

ALMEIDA MEZA MARÍA JOSÉ
maria.almeida@epn.edu.ec

VILLARREAL GUAMÁN PAMELA ESTEFANÍA
pamela.villarreal@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. CARLOS BALDEÓN VALENCIA, M.Sc.
carlos.baldeon@epn.edu.ec

Quito, Abril 2017

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por las señoritas María José Almeida Meza y Pamela Estefanía Villarreal Guamán bajo mi supervisión.

Ing. Carlos Baldeón V., M.Sc
DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotras, María José Almeida Meza y Pamela Estefanía Villarreal Guamán, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado 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 correspondiente 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.

María José Almeida Meza

Pamela Estefanía Villarreal
Guamán

AGRADECIMIENTO

A Dios, que a lo largo de mi vida ha estado siempre presente y me ha permitido día a día llegar a este punto.

A mis padres Miguel y Clary, que han sido mi pilar fundamental para poder culminar mi carrera, gracias a sus enseñanzas, a su amor y a su apoyo incondicional.

A mi hermana que siempre ha estado a mi lado.

A mi profesor, ingeniero Carlos Baldeón por su constante aporte a lo largo del desarrollo del proyecto de titulación.

A mis amigos que han sido como mi familia a lo largo de mi vida universitaria.

María José

Agradezco a Dios por estar siempre presente en mi vida, por darme la familia que tengo, y la fortaleza para poder culminar esta ardua tarea.

A mi familia, que con su amor y apoyo incondicional, son mi principal razón para luchar, ser perseverante en mis actividades y en las metas que me he propuesto.

A todos mis amigos por brindarme su amistad y compartir momentos inolvidables durante mi paso por la universidad.

Al Ingeniero Carlos Baldeón por sus conocimientos que han sido de gran aporte para la culminación de este proyecto.

A todos los docentes que me han instruido, contribuyendo en mi formación profesional.

Pamela Villarreal

DEDICATORIA

Le dedico este proyecto a mi papi, Miguel, que siempre creyó en mí y me ha brindado su apoyo en todo momento. Gracias por ser mi fortaleza. Este logro es de los dos y de toda la familia, sin ustedes nada de esto sería posible.

María José

El presente proyecto va dedicado a mis padres Dolores y Adalberto quienes me brindaron todo su apoyo incondicional y son mi ejemplo de perseverancia para encaminarme hacia mis metas planteadas.

A mis hermanos que con su amor e insistencia me han apoyado a seguir adelante y no detenerme ante ninguna adversidad. Dedico de manera especial a mi hermana Gaby, por su entrega absoluta que me ha sabido apoyar en todo momento

A Daniel quien me apoyo y alentó para continuar, cuando parecía que me iba a rendir.

Pamela Villarreal

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
PRESENTACIÓN.....	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	3
1.1. Introducción a los sistemas de transporte por cable.....	3
1.1.1. Clasificación de los sistemas de transporte por cable.....	4
1.1.2. Componentes del transporte por cable.....	4
1.1.3. Ventajas y desventajas del uso de sistemas de transporte por cable.....	7
1.2. Cabina.....	8
1.3. Planteamiento del problema.....	9
1.4. Justificación y alcance del proyecto.....	9
1.5. Implantación del proyecto.....	10
1.5.1. Descripción del sector.....	10
1.5.2. Ubicación del sistema de telecabina.....	11
2. ANÁLISIS, SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS Y PARÁMETROS DE DISEÑO.....	12
2.1. Análisis funcional de la cabina.....	12
2.2. Desarrollo de los Diagramas Funcionales.....	12
2.3. Análisis de los diagramas funcionales.....	13
2.4. Definición de módulos.....	14
2.5. Solución de módulos.....	15
2.5.1. Módulo 1: Estructura y recubrimiento externo de la cabina.....	15
2.5.2. Módulo 2: Sistema de ingreso-salida de pasajeros.....	19
2.5.3. Módulo 3: Sistema de amortiguamiento.....	20
2.5.4. Módulo 4: Sistema ergonómico.....	23
2.6. Alternativas de módulos.....	23
2.6.1. Evaluación y selección de alternativas.....	24

2.7.	Parámetros de diseño del sistema	28
2.7.1.	Cargas del sistema	28
2.7.2.	Estados de carga	32
2.7.3.	Dimensionamiento	32
2.7.4.	Velocidad del sistema	34
3.	CÁLCULO Y DISEÑO DE LA CABINA	35
3.1.	Dimensionamiento y geometría de la estructura de la cabina	35
3.2.	Selección y definición del material de la estructura de la cabina.....	39
3.3.	Selección y asignación de perfiles estructurales	40
3.4.	Cargas y combinaciones de carga	42
3.4.1.	Asignación de cargas sobre la estructura.....	43
3.5.	Simulación de la estructura y factor de seguridad.....	49
3.6.	Simulación de la placa del piso.....	56
3.7.	Simulación del elemento de acople cabina-soporte “H”	58
3.7.1.	Diseño del soporte “H”	59
3.7.2.	Cálculo del sistema de amortiguamiento.....	63
3.8.	Selección del tipo de cubierta para la cabina	70
3.8.1.	Determinación de materiales.....	70
3.8.2.	Determinación del peso del recubrimiento de la cabina.....	71
3.9.	Cálculo y diseño de juntas empernadas	72
3.9.1.	Uniones con tornillos sin pretensar.....	73
3.9.2.	Uniones con tornillos pretensados	74
3.9.3.	Resistencia al aplastamiento.....	75
3.9.4.	Resistencia a la tracción	75
3.9.5.	Comprobación de uniones	76
3.9.6.	Cálculo de uniones empernadas	76
3.10.	Cálculo y diseño de juntas soldadas	88
3.10.1.	Material base	88
3.10.2.	Material de aporte	88
3.10.3.	Posición de soldadura	89
3.10.4.	Rango de espesor y diámetro calificado.....	90
3.10.5.	Diseño de juntas con penetración completa para uniones tubulares y no tubulares	91

3.10.6. Precalentamiento y temperatura entre pases	91
3.10.7. Inspección de soldadura	91
3.10.8. Precalificación de WPS	93
3.10.9. WPS.....	93
3.11. Dimensionamiento y geometría de las puertas	93
3.11.1. Sistema de apertura y cierre de puertas.....	94
3.11.2. Cálculo del movimiento del pistón	94
3.12. Dimensionamiento y geometría de los asientos.....	97
3.13. Iluminación y Radio	98
3.13.1. Radio	98
3.13.2. Iluminación.....	98
4. PROCESOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE DE LAS CABINAS	106
4.1. Fabricación.....	106
4.1.1. Corte.....	106
4.1.2. Barolado	106
4.1.3. Taladrado.....	107
4.1.4. Corte por electroerosión.....	107
4.1.5. Soldadura.....	109
4.2. Montaje.....	109
5. ANÁLISIS DE COSTOS.....	112
5.1. Costos Directos	112
5.1.1. Materia prima	112
5.1.2. Mano de obra	112
5.1.3. Maquinaria	112
5.2. Costos Indirectos	113
5.3. Análisis de Precios Unitarios (APUs).....	113
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
6.1. Conclusiones	120
6.2. Recomendaciones	121
Bibliografía.....	123
ANEXOS.....	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Alternativas de los módulos.	24
Tabla 2.2. Evaluación del peso específico de cada criterio.	25
Tabla 2.3. Evaluación del peso específico del criterio facilidad de construcción	25
Tabla 2.4. Evaluación del peso específico del criterio facilidad de montaje.....	26
Tabla 2.5. Evaluación del peso específico del criterio costo.....	26
Tabla 2.6. Evaluación del peso específico del criterio peso	26
Tabla 2.7. Evaluación del peso específico del criterio ergonomía	26
Tabla 2.8. Evaluación del peso específico del criterio estética.....	27
Tabla 2.9. Tabla de conclusiones.....	27
Tabla 2.10. Combinaciones de carga para cabinas con pinza desembragable	32
Tabla 3.1 Características mecánicas del acero ASTM A572-Gr50.....	39
Tabla 3.2. Características mecánicas de la aleación de aluminio.	40
Tabla 3.3. Código de colores y dimensiones de los perfiles asignados	41
Tabla 3.4. Fuerza por unidad de longitud en la cara lateral.....	45
Tabla 3.5. Fuerza por unidad longitud en la cara frontal	46
Tabla 3.6. Fuerza por unidad de longitud de la cara posterior.....	47
Tabla 3.7. Fuerza/Longitud en la cara superior	47
Tabla 3.8. Datos de esfuerzos e índice de trabajo combinado bajo norma AA-ASD 2000	50
Tabla 3.9. Carga axial y momentos flectores actuantes en los perfiles críticos	52
Tabla 3.10. Propiedades geométricas de la sección transversal y esfuerzos actuantes críticos.	55
Tabla 3.11 Tabla de resultados de simulación del piso de la cabina	57
Tabla 3.12 Tabla de resultados del soporte de la cabina	59
Tabla 3.13. Características mecánicas del acero ASTM A572-Gr50.....	60

Tabla 3.14. Características geométricas de los perfiles del soporte “H”	61
Tabla 3.15. Tabla resumen del diseño del soporte “H”	63
Tabla 3.16. Características del resorte seleccionado	66
Tabla 3.17. Propiedades de la fibra de vidrio	71
Tabla 3.18. Propiedades de la fibra de carbono.....	71
Tabla 3.19. Propiedades del acrílico de alto impacto.....	71
Tabla 3.20 Tabla resumen de los pernos calculados	88
Tabla 3.21. Propiedades del electrodo ER 4043 y ER 5356.....	89
Tabla 3.22. Posiciones de Soldadura.....	90
Tabla 3.23. Rango de espesores	90
Tabla 3.24. Condiciones de precalentamiento e identificación de WPS	93
Tabla 3.25. Características del motor-reductor	97
Tabla 3.26. Demanda energética.....	100
Tabla 3.27. Número de paneles con diferentes potencias.....	104
Tabla 5.1. Proveedores de servicios y materiales.....	113
Tabla 5.2. Cantidad de obra, tiempo de ejecución y rendimiento de la obra.....	114
Tabla 5.3. APU del suministro y fabricación de la estructura de la cabina.....	115
Tabla 5.4. APU del suministro y fabricación del recubrimiento de la cabina.....	116
Tabla 5.5. APU del montaje de la estructura y recubrimiento de la cabina.....	117
Tabla 5.6. APU Montaje del sistema eléctrico.....	118
Tabla 5.7. Costo total de la Cabina.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Sistema de transporte por cable	3
Figura 1.2. Sistema de carga	5
Figura 1.3. Sistema de soporte	6
Figura 1.4. Representación de un balancín.....	7
Figura 1.5. Cabina	8
Figura 1.6. Línea azul Ofelia-Roldós.....	11
Figura 2.1. Diagrama funcional con nivel 0	12
Figura 2.2. Diagrama funcional con nivel 1	13
Figura 2.3. Diagrama funcional con nivel 2	13
Figura 2.4. Estructura 1 de la cabina y ranuras laterales de ventilación	16
Figura 2.5. Estructura 2 de la cabina y ranuras laterales de ventilación	17
Figura 2.6. Estructura 3 de la cabina y ranuras laterales de ventilación	18
Figura 2.7. Mecanismo automático de puerta deslizante.	19
Figura 2.8. Mecanismo de la puerta hidráulico.....	20
Figura 2.9. Amortiguador hidráulico.	21
Figura 2.10. Amortiguador regulable en suspensión.	21
Figura 2.11. Resorte.	22
Figura 2.12. Sillas colectivas.....	23
Figura 2.13 Solución final de la alternativa 3.....	27
Figura 2.14. Distribución de los pasajeros.	33
Figura 3.1. Radio de curvatura de elementos curvos	36
Figura 3.2. Espaciamiento de elementos transversales	36
Figura 3.3. Espaciamiento de los elementos horizontales secundarios.....	37
Figura 3.4. Soporte verticales de la estructura de la cabina	37

Figura 3.5. Geometría final de la cabina	38
Figura 3.6. Definición del material de los perfiles estructurales	40
Figura 3.7. Estructura de la cabina con grupos y perfiles de aluminio asignados.....	41
Figura 3.8. Dimensiones de la sección transversal	42
Figura 3.9. Asignación de la carga viva cuando los pasajeros están de pie	43
Figura 3.10. Asignación de la carga viva cuando los pasajeros están sentados	44
Figura 3.11. Asignación de la carga lateral de viento en el eje X positivo	46
Figura 3.12. Asignación de la carga frontal de viento en el eje Y positivo	46
Figura 3.13. Asignación de la carga posterior de viento en el eje Y negativo.....	47
Figura 3.14. Asignación de la carga de granizo	48
Figura 3.15. Asignación de la fuerza de reacción sobre el estribo	48
Figura 3.16. Simulación de la estructura de cabina.....	50
Figura 3.17. Identificación de elementos críticos de la estructura	51
Figura 3.18. Estado de cargas del elemento estructural 176.....	53
Figura 3.19. Propiedades de la sección transversal del elemento estructural 176	54
Figura 3.20. Modelo final de la estructura de la cabina	55
Figura 3.21. Esfuerzo equivalente de Von Mises para el piso de la cabina	57
Figura 3.22. Deformación total máxima del piso de la cabina	57
Figura 3.23. Ubicación de la carga actuante sobre el elemento de soporte de la cabina	58
Figura 3.24. Esfuerzo equivalente de Von Mises para el elemento de soporte de la cabina ..	59
Figura 3.25. Deformación total máxima del elemento de soporte de la cabina.....	59
Figura 3.26. Estado de carga del sistema de soporte "H"	60
Figura 3.27. Diagrama de momentos flectores del soporte	61
Figura 3.28. Momento flector y deflexión máxima generada en el perfil central.	62
Figura 3.29. Momento flector y deflexión máxima generada en el perfil lateral.	62

Figura 3.30. Elementos del sistema de amortiguamiento	63
Figura 3.31. Sistema masa-resorte	64
Figura 3.32. Esquema de transmisión de esfuerzos	73
Figura 3.33. Compatibilidad del aluminio con otros materiales.....	73
Figura 3.34. Uniones con pernos pretensados.....	74
Figura 3.35. Junta empernada 1.	77
Figura 3.36. Junta empernada tipo 2.	79
Figura 3.37. Junta empernada tipo 3.	81
Figura 3.38. Junta empernada tipo 4.	83
Figura 3.39 Junta empernada tipo 5	86
Figura 3.40. Criterios de aceptación por inspección visual.....	92
Figura 3.41. Cálculo del movimiento del pistón	94
Figura 3.42. Junta empernada.	95
Figura 3.43. Pistón hidráulico.....	96
Figura 3.44. Especificaciones del pistón hidráulico.	96
Figura 3.45. Plano del motor-reductor.....	96
Figura 3.46. Asientos colectivos de la cabina	98
Figura 3.47. Sistema fotovoltaico aislado.....	99
Figura 3.48. Factor de corrección para una latitud 0°.....	101
Figura 4.1. Elementos que forman parte del proceso de corte por electroerosión.	108
Figura 4.2. Corte por electroerosión.....	108

RESUMEN

El presente documento contiene la ingeniería de detalle del diseño de una cabina tipo para el sistema de transporte por cable del proyecto Quito-Cables. La cabina tiene capacidad para diez personas que serán transportadas desde el sector de la Ofelia hasta La Roldós. Después de realizar un estudio mediante alternativas de diseño, analizadas y evaluadas, se presenta a continuación los cálculos realizados para el proceso de diseño de la cabina, que se complementan con una simulación de los elementos del sistema por elementos finitos en ANSYS y de análisis estructural como SAP2000. Además los planos de conjunto y planos de taller para el proceso de construcción y montaje de la cabina y un análisis de costos de producción unitaria de la cabina. Por lo que se consigue una cabina que cuenta con un diseño moderno que cumple las normas nacionales e internacionales para sistemas de transporte por cable

Palabras Claves: Diseño de máquinas, Simulación, Teleférico, Elementos de máquinas, Método de elementos finitos.

ABSTRACT

This document contains the detailed design of a cabin for the ropeway system of “Quito-Cables” project. The cabin has a capacity for ten people and will operate from “La Ofelia” to “La Roldós” neighborhoods. After using the principles of concurrent design to select the most optimal alternative, the following document presents mathematical models and calculations developed for the design of the cabin, the analysis is complemented by the simulation of the main elements of the system using finite elements analysis (FEA) in ANSYS and structural analysis in SAP2000. Assembly and shop drawings for the process of construction and assembly of the cabin were developed and an economic study for the project that includes the production costs for the project. The cabin has a modern following the corresponding national and international regulations and procedures that govern its design.

Keywords: Design of Machines, Simulation, Ropeways, Machine elements, Finite elements analysis.

“DISEÑO DE UNA CABINA TIPO CON CAPACIDAD PARA DIEZ PERSONAS PARA EL PROYECTO QUITO-CABLES”

PRESENTACIÓN

A lo largo del presente documento se encuentra el diseño de una cabina tipo con capacidad para diez personas para el proyecto Quito Cables, desarrollado de la mano del consorcio EPN-TECH y el Municipio del Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito para solucionar uno de los grandes problemas de tránsito de la ciudad.

En el Capítulo 1 se encuentra una introducción a los sistemas de transporte por cable, su clasificación y la evolución de los mismos a través de la historia. Además, del planteamiento, justificación, alcance e implantación del producto final como parte del sistema teleférico.

En el Capítulo 2 se presenta el análisis de las alternativas de diseño para la cabina y todos los subsistemas de esta, obteniendo así mediante una evaluación de cada una de las alternativas la solución más óptima a través del uso del método de criterios ponderados. También, se plantean los parámetros de diseño que serán parte del estudio global de la cabina.

El Capítulo 3 muestra los cálculos necesarios para el diseño de cada uno de los elementos que conforman la cabina en base a normativas nacionales e internacionales, requerimientos técnicos, e investigaciones de este tipo de tecnología. Adicionalmente se complementa el estudio mediante la simulación usando programas de elementos finitos como ANSYS y de análisis estructural como INVENTOR. Finalmente, se diseñan juntas soldadas y empernadas ejemplificando de mejor manera el ensamble de la cabina.

En el Capítulo 4 incluye los procesos de fabricación y montaje de la cabina considerando la posible implantación de este producto en el sistema teleférico y una posible producción a nivel nacional estimando los parámetros constructivos y normativas de cada uno de los procesos empleados durante la construcción.

En el Capítulo 5 se encuentran los costos del producto, costos directos, costos indirectos y un análisis de precios unitarios para obtener el valor total de la fabricación de la cabina.

Finalmente en el Capítulo 6 se encuentran las conclusiones y recomendaciones del estudio, después de analizar todos los resultados obtenidos. Seguido de una recopilación de anexos que validan la información presentada en cada uno de los capítulos y los planos de conjunto y de taller del modelo final de la cabina.

Objetivo general

Diseñar una cabina con capacidad para diez personas para el proyecto Quito-Cables correspondiente a la primera línea Ofelia-Roldós.

Objetivos específicos

- Investigar los fundamentos teóricos sobre cabinas, ventajas y desventajas de su uso, clasificación y tipología.
- Seleccionar los parámetros de diseño adecuados para la cabina y analizar las diferentes alternativas para la cabina.
- Realizar el diseño de la cabina considerando cada una de las cargas externas e internas que actúan sobre la misma.
- Determinar los procesos de fabricación de los diferentes componentes de la cabina, su estructura, sistema de ventilación y sistema motriz.
- Analizar los costos de producción y fabricación de las cabinas a través de las empresas proveedoras de los materiales necesarios.

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. Introducción a los sistemas de transporte por cable

Los sistemas de transporte por cable, a través de los años se han ido posesionando como una alternativa viable a los problemas de movilización de las grandes ciudades. Si bien es cierto en un principio los sistemas de transporte por cable se crearon con el objetivo de llegar a zonas de difícil acceso, en el que las personas no podían caminar hasta llegar a su destino. Actualmente ciudades desarrolladas utilizan este tipo de transporte para evitar el tránsito congestionado.

La tecnología utilizada actualmente es mucho más avanzada y permite controlar todo el funcionamiento del sistema de transporte también conocido como teleférico, tensión de trabajo en el cable, velocidad de operación del sistema y control automático en las cabinas y estaciones, concluyendo que la electrónica como la mecánica se fusionan para hacer del teleférico un transporte sustentable y eficiente que permite la movilización de un conglomerado de personas al mismo tiempo.

Los teleféricos son de varios tipos y se pueden clasificar de acuerdo al tipo de movimiento, al número y tipo de cables que utilizan, tipo de cabina, entre otros. El presente capítulo busca definir las características más importantes del transporte por cable y además se enfatiza en las particularidades propias de las cabinas que forman parte del sistema. Las cabinas cuentan con varios diseños que se ajustan a las necesidades de cada sistema y al uso que se las da. (Orro, Novales, & Rodríguez, 2003)



Figura 1.1. Sistema de transporte por cable

Fuente: (EFE, 2014)

1.1.1. Clasificación de los sistemas de transporte por cable

Dentro de la clasificación de los sistemas de transporte por cable se tiene: (Orro, Novales, & Rodríguez, 2003)

- Según las características de la vía de circulación pueden ser aérea (vehículo suspendido en cable) y terrestre (vehículo suspendido en un riel).
- Según el tipo de cable encontramos teleféricos bicables (el vehículo se desplaza sobre sus carretes el cual está conectado a un cable portante y uno tractor) y teleférico monocables (vehículo se conecta a un anillo de cable transportador mediante mordazas).
- Según el sistema de movimiento se encuentran reversibles o vaivén (el vehículo presenta un movimiento hacia adelante y hacia atrás entre estaciones sobre un mismo cable) y unidireccional (vehículo se mueve en un mismo sentido, el movimiento puede ser continuo o intermitente).
- Según la ubicación del puesto de mando pueden ser con el puesto de mando en la estación (es decir el mando se encuentra en la estación y el operador se encuentra en un punto fijo del sistema) y con el puesto de mando en el vehículo (en este caso el mando está en el vehículo y el operador viaja en el todo momento).
- Según el tipo de vehículo pueden ser abiertos (vehículo abierto como una silla, conocido como telesilla) y cerrados (vehículos cerrado como una cabina).
- Según el tipo de unión del vehículo al cable de tracción pueden ser permanente (vehículo se encuentra conectado a una pinza fija) y temporal (vehículo cuenta con una pinza desembragable).

1.1.2. Componentes del transporte por cable

Los sistemas de transporte por cable se encuentran conformado por tres sistemas básicos que se detallan a continuación:

- Sistema de carga
- Sistema de soporte
- Sistema de tracción

El sistema de carga está constituido por la cabina, brazo sujetador, sistema de acople cabina-brazo sujetador (conocido como “H”) y pinza de enganche al cable motriz o de soporte. Su función es permitir el transporte de carga o pasajeros. Generalmente estos dispositivos se construyen en acero con recubrimiento superficial de galvanizado debido a que se instalan a la intemperie evitando así efectos de corrosión y oxidación. Con el fin de alivianar la estructura de la cabina esta se la construye con aleaciones de aluminio de alta resistencia y con recubrimiento de fibra de vidrio.

La cabina se acopla con un sistema de unión que funciona como sujeción y estabilización para las variaciones de carga por el ingreso o salida de persona. El brazo sujetador tiene dos funciones:

- Une la cabina al cable mediante la pinza de sujeción y establece una distancia de operación entre el vehículo de carga y las pilonas o torres evitando colisiones entre estos elementos.
- Finalmente todos los sistemas anteriores están sujetos al cable por medio de la pinza de fijación que puede ser desembragable o fija. (About Ropeways, s.f.)

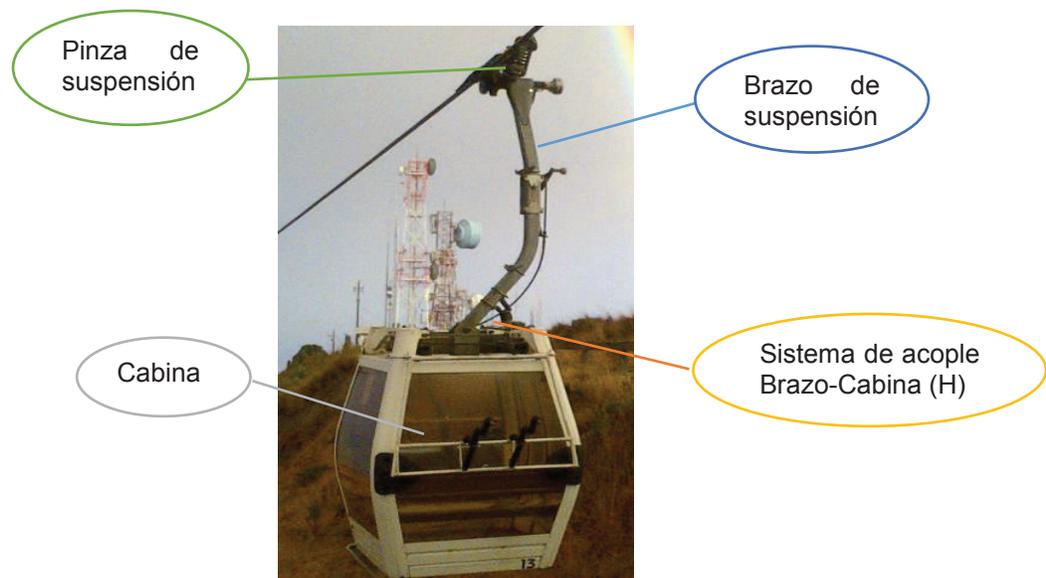


Figura 1.2. Sistema de carga
Fuente: (POMA, 2016)

El sistema de soporte está constituido por pilonas que son estructuras intermedias, que tienen como función principal sostener el cable transportador a lo largo del recorrido del

viaje, los anclajes los cuales son unos tipos especiales de cimentación que están diseñados para soportar la fuerza de tensión lateral o hacia arriba transmitida al suelo, y la cimentación es un componente importante que permite transmitir las cargas que soporta una estructura al suelo, de modo que no rebase la capacidad portante del suelo, y además que las deformaciones producidas en éste sean admisibles para la estructura.



Figura 1.3. Sistema de soporte
Fuente: (POMA, 2016)

Sistema de tracción está constituido por un cable transportador que generalmente se encuentra formado por cierta cantidad de torones, ubicados de manera helicoidal alrededor de un núcleo o alma de soporte, las poleas o trenes de poleas que permiten el soporte en las torres a lo largo del recorrido y en las estaciones, y por dos elementos que están ubicados en la estación de partida y retorno: el motor impulsor y la polea de retorno, respectivamente. (About Ropeways, s.f.)

Los trenes de poleas se constituyen parte esencial de este sistema ya que sirven para alinear el cable y sujetarlo al momento de su operación. Pueden ser de tres tipos:

- Cuando existe contacto entre el cable y la parte superior de los rodillos, se denomina como balancines de soporte.
- Cuando existe contacto entre el cable y la parte inferior de los rodillos, se denomina como balancines de compresión.

- Cuando presenta contacto del rodillo tanto en la parte superior como inferior, debido a esfuerzos provocados en la torre se denominan balancines mixtos.

De acuerdo a la cantidad de rodillos que presente un balancín y el diámetro, la representación de los balancines que se utilizan en los trenes de poleas se lo muestra en la Figura 1.4:

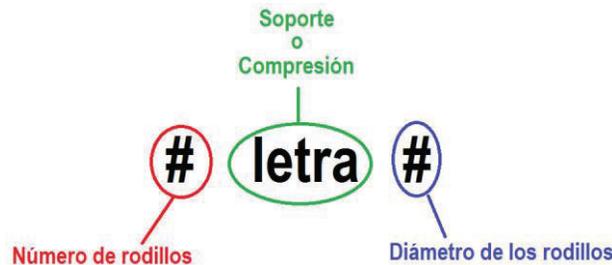


Figura 1.4. Representación de un balancín
Fuente: (POMA, 2016)

1.1.3. Ventajas y desventajas del uso de sistemas de transporte por cable

Los sistemas de transporte por cable al igual que cualquier otro medio de transporte, tienen ventajas y desventajas. (Orro, Novales, & Rodríguez, 2003)

Ventajas

- Este tipo de transporte permite ser implementado en zonas con grandes diferencias de altura, donde el acceso por carretera resulta difícil.
- Regularidad y automatización del transporte.
- Al ser accionados mediante energía eléctrica, se reduce la contaminación en la ciudad obteniendo tecnologías limpias.
- A parte de ser un medio de transporte, también es usado con fines turísticos el cual brinda una vista panorámica del lugar donde está ubicado.
- Bajo costo de instalación.
- Mayor seguridad, y disminución de accidentes.

Desventajas

- Requiere de una localización fija de las estaciones para el embarque y desembarque de los pasajeros.

- Baja velocidad de desplazamiento, para brindar una mayor seguridad al sistema.
- Cuenta con poca capacidad de transporte.
- Necesita de un trazado principalmente rectilíneo y una longitud limitada en los tramos.

1.2. Cabina

La cabina forma parte sustancial del sistema de transporte por cables, es la encargada de transportar a las personas o la carga de un lugar a otro. Para el diseño de las cabinas se toma en cuenta varios factores que afectan su desempeño y seguridad estructural como por ejemplo: las condiciones climáticas (viento, lluvia, granizo, etc.), peso de la estructura, los materiales utilizados para su construcción, entre otros. El actual diseño aerodinámico de las cabinas demuestra el desarrollo tecnológico que a través de los años se ha ido perfeccionando con el fin de evitar el efecto negativo del viento en la etapa de operación.

Las cabinas están sujetas a una serie de cables mediante una pinza especial con sistema de amortiguamiento incluido, avanzan a través de una serie de estaciones fijas con torres de control conocidas como pilonas que tienen la capacidad de soportar el peso de las cabinas y de la carga transportada. La estructura de la parte superior de la cabina está diseñada de tal manera que al sujetarse con la pinza y el cable, cumpla con el factor de seguridad adecuado de acuerdo a las especificaciones del fabricante. (Miravete, Larrodé, Castejón, & Cuartero, 1998)



Figura 1.5. Cabina
Fuente: (POMA, 2016)

Internamente una cabina cuenta con sistema de iluminación, comunicación con las estaciones, botones de emergencia, ranuras o ventanillas de ventilación, puertas de accionamiento automático que únicamente se abrirán o cerrarán en las estaciones de embarque y desembarque, sillas múltiples entre otros. Los accesorios eléctricos y electrónicos son alimentados desde el banco de baterías que almacenan la energía solar proveniente del panel solar ubicado en la parte superior de la cabina.

1.3. Planteamiento del problema

En la zona norte del Distrito Metropolitano de Quito, específicamente en los barrios periféricos como La Roldós, Pisulí, Colinas del Norte, entre otros, la movilización de las personas se convirtió en un gran problema, principalmente hacia las zonas urbanas. En este contexto la falta de un transporte adecuado y eficiente que permita la movilidad desde estos sectores genera mucha insatisfacción en las persona. Además, es necesario mencionar que los caminos de acceso son muy estrechos y empinados lo cual genera una circulación difícil para los escasos buses de transporte urbano que cubren dichas rutas.

Considerando esta problemática social se plantea como alternativa más viable la construcción de un sistema teleférico denominado “Quito-Cables”, el cual prevé utilizar una telecabina que iniciará su recorrido desde la estación de buses de la “Ofelia” y destino final el barrio “La Roldós”, además esta opción de transporte contaría con dos paradas intermedias ubicadas en la avenida “Mariscal Sucre” y en el barrio de “Colinas del Norte”. El proyecto empezaría su operación con un total de 18 cabinas pudiendo agregarse más cabinas al sistema en caso de la demanda lo requiera. El objetivo principal de este proyecto de titulación es diseñar una cabina que cumpla todos los requerimientos de diseño y seguridad establecidos en normativas internacional para el sistema de transporte por cable.

1.4. Justificación y alcance del proyecto

Considerando la problemática de la movilidad de los pobladores de los barrios anteriormente mencionados, la implementación de este sistema de transporte se justifica por el hecho de que se brindaría una movilización rápida de una gran cantidad de usuarios en un tiempo aproximado de 15 minutos. Además, que de experiencias de países vecinos como Colombia (Metro Cable de Medellín) y Bolivia (Teleférico de la Paz-El Alto) este medio de transporte es

uno de los más seguros y eficientes para la movilización de personas en zonas de difícil acceso como lo son los sectores que unirían esta línea del sistema teleférico.

Adicionalmente, el presente proyecto busca demostrar que es factible el desarrollo de este tipo de tecnologías en el país con ingeniería nacional, en este caso el proyecto “Quito Cables” se convertiría en el punto de partida para la creación de nuevas líneas en diferentes sectores de la ciudad.

En la parte técnica e ingenieril, al finalizar este proyecto se proporcionará la información correspondiente a la desagregación tecnológica de los procesos de diseño y construcción de las cabinas en base a normativas y recomendaciones internacionales. Como resultados del proceso investigativo se realizarán estudios analíticos de los modelos matemáticos para el cálculo de cada una de las partes que forman la cabina utilizando los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, simulaciones de elementos críticos utilizando paquetes computacionales como SAP2000 y ANSYS. También se incluirá los planos de conjunto, planos de taller (as built), análisis de costos y descripción de los procesos de fabricación y montaje con la perspectiva de que se pueda sustituir la importación de estos elementos por una fabricación nacional que cumpla los estándares establecidos internacionalmente. Todos los diseños presentados en este proyecto.

1.5. Implantación del proyecto

1.5.1. Descripción del sector

La implementación de la línea Ofelia – Roldós, atraviesa la quebrada del Yumbo que desemboca en el río Monjas, además en la parte alta está rodeado por terrenos no habitados, bosques y cultivos, en la parte baja el sector se encuentra habitado y las quebradas por donde va pasar la línea azul se encuentra fluyendo en dirección occidente oriente, además de contar con un servicio de transporte. El lugar más alto está ubicado en las laderas del Pichincha al noroccidente de la ciudad de Quito. (EMMOP, 2016)

1.5.2. Ubicación del sistema de telecable

La línea azul del proyecto Quito Cables, se ubica al noroccidente de Quito en el sector la Ofelia - Roldós, parroquia El Condado. La distancia que existe desde la Ofelia hasta la Roldós es de 3,7 km, como se muestra en la Figura 1.6:



Figura 1.6. Línea azul Ofelia-Roldós
Fuente: (EMMOP, 2016)

2. ANÁLISIS, SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS Y PARÁMETROS DE DISEÑO

2.1. Análisis funcional de la cabina

El análisis funcional es una técnica cuyo propósito es el de separar la acción que se efectúa de un componente o mecanismo, para de este modo buscar nuevas soluciones a un mismo problema. El análisis funcional logra obtener mejores productos a un menor costo. (Riba & Romeva, 2002)

El análisis funcional de un producto o sistema y la elaboración de la estructura funcional es un primer paso para establecer la estructura modular de un producto (la mayor parte de diseñadores realizan estos procesos sin formalizarlos), a partir de combinar las diversas funciones en módulos de forma que se consigan los dos objetivos prioritarios siguientes:

- Agrupar las funciones en módulos
- Establecer interfaces adecuadas entre módulos (Interface mecánica, interface de energía, interface de transferencia de materiales, interface de señal).

2.2. Desarrollo de los Diagramas Funcionales

Los diagramas funcionales se encuentran desarrollados en el plano de división modular, que se presentan a continuación:

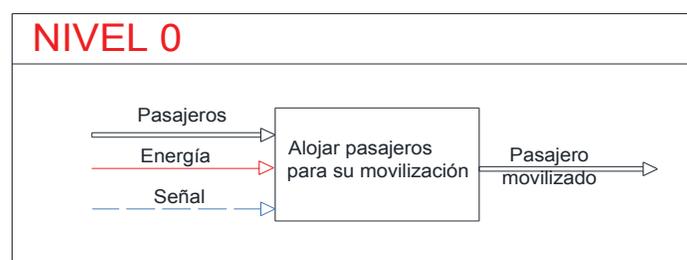


Figura 2.1. Diagrama funcional con nivel 0
Fuente: Propia

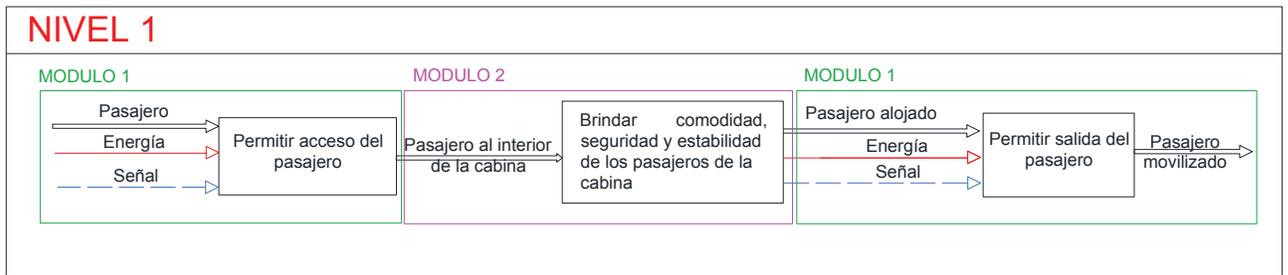


Figura 2.2. Diagrama funcional con nivel 1
Fuente: Propia

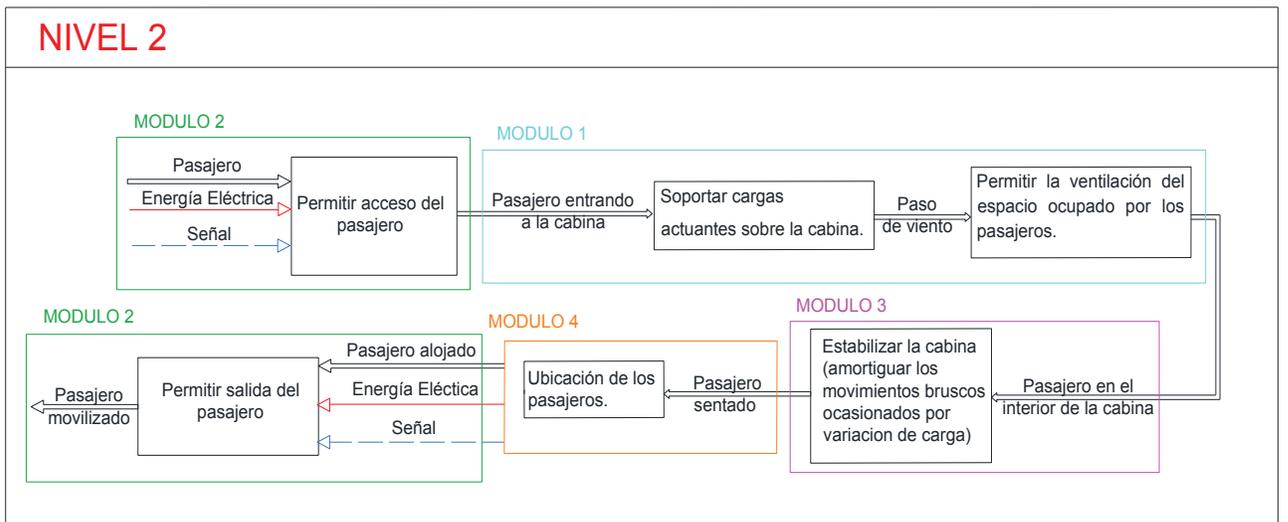


Figura 2.3. Diagrama funcional con nivel 2
Fuente: Propia

2.3. Análisis de los diagramas funcionales

Con el propósito de detallar y resolver las dificultades del diseño de la cabina, es útil emplear el concepto de función, la cual es una transformación entre unos flujos de entrada y salida, tanto si se trata de funciones estáticas como de funciones dinámicas. La función es, pues una formulación abstracta de una tarea, independiente de la solución particular que la materializa. (Riba & Romeva, 2002)

Por lo tanto, para el diseño funcional de la cabina se desarrolló un diagrama funcional de segundo nivel, en el cual se puede describir las funciones necesarias que realiza la cabina, un diagrama funcional más detallado conllevaría una pérdida innecesaria sobre el diseño.

En el nivel cero, como se observa en la Figura 2.1, presenta la función global que en este caso es la de alojar a los pasajeros dentro de la cabina, de forma que se garantice la seguridad al usuario momento de ser movilizado. Se puede observar que para que la máquina desempeñe su función de manera correcta tiene los flujos de pasajeros, energía y señal para su funcionamiento.

En el nivel uno, mostrado en la Figura 2.2, especifica las funciones generales que cumplirá la máquina, además se desglosa de manera más clara las funciones que permitan cumplir la función global. Se puede observar que este nivel no abarca el sistema estructural y de amortiguamiento de la cabina, por lo tanto es conveniente desarrollar el siguiente nivel.

En el nivel dos, como se puede observar en la Figura 2.3, se detallan diferentes acciones implícitas que no se especificó en el nivel anterior, pero que son fundamentales para el funcionamiento de la máquina. Así en el diagrama aparecen funciones que cumplirá la cabina entre las que se encuentran soporte de cargas vivas, cargas muertas y cargas por condiciones climáticas, abrir y cerrar la puerta de la cabina, amortiguar los movimientos bruscos y permitir tomar asiento a los pasajeros.

2.4. Definición de módulos

Un módulo consiste en un conjunto de varios bloques de la estructura funcional que se comportan de manera conjunta para ordenar e implantar las distintas funciones. En el diseño de productos se debe tomar en cuenta la modularidad debido a su impacto en los costos, la facilidad de mantenimiento, partición del proyecto, producción y demás beneficios.

Considerando las distintas acciones que con se deben estimar para movilizar un pasajero de un lugar a otro en este tipo de medio de transporte, es conveniente llevar acabo la división modular. Este proceso se lo realiza analizando cuidadosamente el diagrama funcional para establecer la división más apropiada la cual se ha diferenciado por código de colores dentro del sistema tomando en cuenta las interfaces de los flujos de energía material y las señales de control brindadas al sistema.

Del diagrama se puede establecer dos conjuntos principales de funciones:

- Permitir el ingreso/salida de los pasajeros.

- Brindar comodidad, seguridad y estabilidad de los pasajeros dentro de la cabina.

El primer conjunto se encarga del ingreso/salida de los pasajeros a la cabina de una manera segura. El segundo tiene el trabajo de brindar comodidad al pasajero durante su movilización.

2.5. Solución de módulos

Para el diseño de la cabina se debe establecer los criterios que permitan evaluar la alternativa más conveniente, mediante el uso del método ordinal corregido de criterios ponderados, este método analiza los parámetros de cada alternativa asignando un valor de acuerdo a la solución y se suma más uno. Finalmente, en otra columna se obtienen los valores ponderados de cada criterio, como se muestra a continuación:

2.5.1. Módulo 1: Estructura y recubrimiento externo de la cabina

Este módulo cumple con las siguientes funciones:

- Soportar cargas actuantes sobre la cabina.
- Permitir la ventilación del espacio ocupado por los pasajeros.

La estructural de la cabina debe resistir las cargas variables (cargas vivas, cargas de viento y granizo) y carga muerta a las que está sometida, además debe brindar seguridad estructural para el transporte y facilidad de acceso a los pasajeros. Del estudio realizado se puede decir que no existen características muy evidentes entre las alternativas ya que todas deben cumplir con los parámetros antes mencionados y lo único que se podría variar es su forma.

El sistema de ventilación permitirá la circulación de aire del interior de la cabina hacia el exterior, para el confort de los pasajeros se ha considerado construir ranuras laterales horizontales en la parte inferior, ya que un sistema de aire acondicionado no sería viable debido a los mayores requerimientos de energía y equipamiento, lo cual no es factible para la instalación dentro de la cabina.

Para las funciones que comprende el módulo 2 se propone las siguientes alternativas de solución, descritas a continuación:

Alternativa 1: Estructura 1 y recubrimiento externo de la cabina.

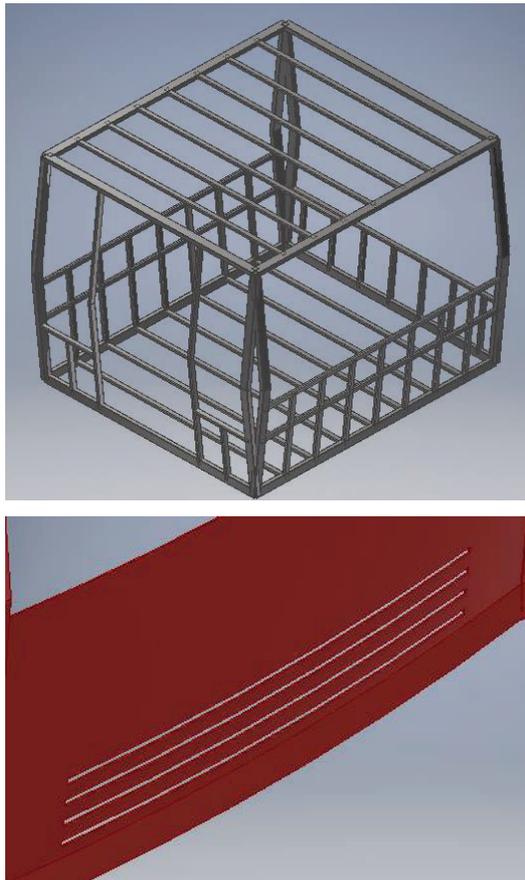


Figura 2.4. Estructura 1 de la cabina y ranuras laterales de ventilación
Fuente: Propia

Ventajas

- Mayor facilidad de construcción debido a que no se requiere procesos adicionales para dar forma a los elementos estructurales.
- Mayor facilidad en el acople con elementos auxiliares como puertas, vidrios, sillas, etc.)
- Requiere dimensiones menores debido a que se aproveche todo el espacio interior para albergar a las personas.

Desventajas

- No cuenta con un diseño aerodinámico, por lo que la influencia del viento es mucho mayor.
- La forma de la cabina es la menos estética.

Alternativa 2: Estructura 2 y recubrimiento externo de la cabina.

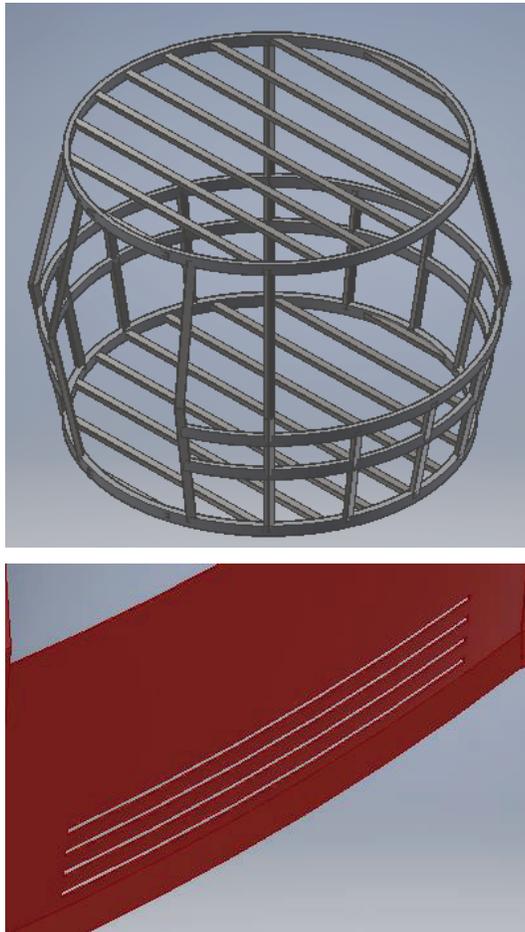


Figura 2.5. Estructura 2 de la cabina y ranuras laterales de ventilación
Fuente: Propia

Ventajas

- Cuenta con un diseño totalmente aerodinámico.
- Su forma circular permite tener mayor estética y una visualización agradable con el entorno.

Desventajas

- Para aumentar la capacidad de albergar pasajeros se requiere aumentar sus dimensiones.
- El proceso de construcción es complejo debido a que para obtener los elementos curvos se requiere de equipos con mayor avance tecnológico para controlar el proceso de curvado.
- El costo de fabricación es elevado debido al uso de mayores recursos de equipos, personal calificado y herramientas.

Alternativa 3: Estructura 3 y recubrimiento externo de la cabina.

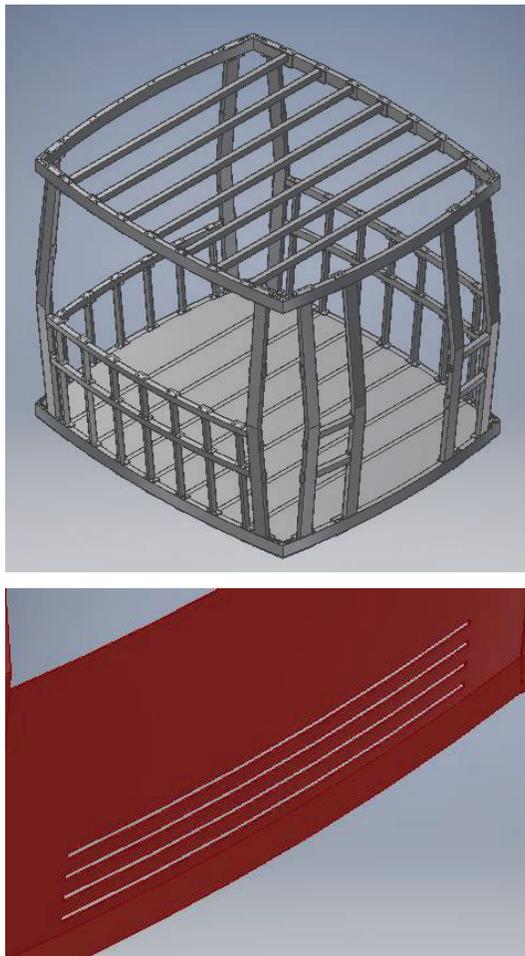


Figura 2.6. Estructura 3 de la cabina y ranuras laterales de ventilación
Fuente: Propia

Ventajas

- Gracias a su forma ovalada con perfiles curvos es más estético.
- Su diseño es aerodinámico, reduciendo la influencia del viento sobre la cabina.

Desventajas

- El costo aumentaría debido a que requiere procesos de fabricación adicionales para generar elementos curvos.
- Las uniones para el ensamble son constructivamente más complejas.

2.5.2. Módulo 2: Sistema de ingreso-salida de pasajeros

Este módulo cumple con la siguiente función:

- Permitir ingreso y salida de los pasajeros

Existen formas distintas de cumplir con esta función, pero para este tipo de dispositivo de la cabina se debe pensar en una solución cuyos elementos se ubican en un lugar adecuado y cuyos elementos no interfieran en el acceso de los usuarios, por lo tanto se consideran como soluciones de este módulo las siguientes alternativas descritas a continuación:

Alternativa 1: Mecanismo de puerta deslizante con servomotor



Figura 2.7. Mecanismo automático de puerta deslizante.
Fuente: (AliExpress, s.f.)

Ventajas

- Cuenta con un sistema de control automático.
- Permite ajustar el tiempo de apertura y cierre de puertas.
- Su facilidad de instalación es muy fácil, gracias a que se trata de un módulo completo (Pudiendo ser fácilmente adaptable a las necesidades)

Desventajas

- Requiere de personal capacitado para realizar un mantenimiento preventivo/correctivo.
- Puede necesitar de un mayor espacio de instalación en la cabina.
- Mayor costo de adquisición.

Alternativa 2: Mecanismo de puerta con sistema hidráulico



Figura 2.8. Mecanismo de la puerta hidráulico.
Fuente: (AliExpress, s.f.)

Ventajas

- Disponibilidad de elementos dentro del mercado para el ensamble del sistema global.
- Permite realizar un mantenimiento del mecanismo con mayor facilidad debido a que su sistema está incorporado por partes.

Desventajas

- No es regulable el accionamiento de apertura y cierre de puertas.
- Necesita de un mayor espacio para la instalación.

2.5.3. Módulo 3: Sistema de amortiguamiento

Este módulo cumple con la siguiente función:

- Estabilizar la cabina

La estabilización de la cabina por cargas fluctuantes al momento de ingreso y salida de los usuarios se debe realizar de manera suave, para esta función que comprende el módulo 3 se proponen las siguientes soluciones que se detallan a continuación:

Alternativa 1: Amortiguador hidráulico



Figura 2.9. Amortiguador hidráulico.
Fuente: Propia

Ventajas

- Permiten disminuir los desplazamientos en la estructura, disipando la energía mediante la fuerza de reacción del fluido que circula a través del sistema de válvulas.
- Tiene una alta capacidad cuando se ejerce mayor amortiguación cuanto mayor es la presión.

Desventajas

- Cuando el uso del amortiguador es muy frecuente, empieza a formar burbujas.
- Estos amortiguadores dependen del tipo de aceite que se utilice, ya que las propiedades pueden variar unos de otros, reduciendo la velocidad de retorno.
- El costo en el mercado es alto.

Alternativa 2: Amortiguador regulable en suspensión



Figura 2.10. Amortiguador regulable en suspensión.
Fuente: Propia

Ventajas

- Permiten absorber la energía mecánica, impidiendo las deformaciones por alguna carga o irregularidad en la movilización de la cabina.
- Gracias a su alto nivel de disipación de calor, es muy recomendable cuando se trabaja con altas temperaturas.

Desventajas

- Debido a su forma requiere de mayor espacio dentro de la estructura para su instalación.
- Requieren de un mantenimiento en caso de algún daño y puede necesitar cambio total en caso de avería de alguna de sus partes móviles.

Alternativa 3: Resorte



Figura 2.11. Resorte.
Fuente: Propia

Ventajas

- Tiene una alta gama y disponibilidad dentro del mercado que se ajusta a los requerimientos de diseño.
- Su forma hace que sean ligeros, además que no ocupan mucho espacio y su capacidad para absorber energía mecánica es adaptable a la necesidad del usuario.
- Son mucho más económicos al compararlos con los amortiguadores hidráulicos.

Desventajas

- Requiere de un sistema auxiliar para su acoplamiento y montaje dentro de la estructura que va ser amortiguada.

- Con frecuencia estos fallan por fatiga debido a los esfuerzos dinámicos a los que son sometidos.

2.5.4. Módulo 4: Sistema ergonómico

Este módulo cumple con las siguientes funciones:

- Ubicación de los pasajeros

En el sistema ergonómico la función de ubicar a los pasajeros, corresponde a brindar comodidad, estabilidad y descanso del pasajero sobre un asiento. Después del análisis realizado se puede decir que no existen características muy notorias entre las alternativas, debido a que todas deben cumplir con las características antes mencionadas, la única característica que las diferencia es su individualidad o colectividad dependiendo de los requerimientos del diseño. Para la función de ubicar a los pasajeros del módulo 4 se propone la siguiente solución única:

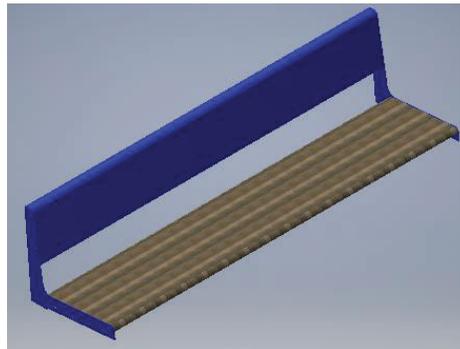
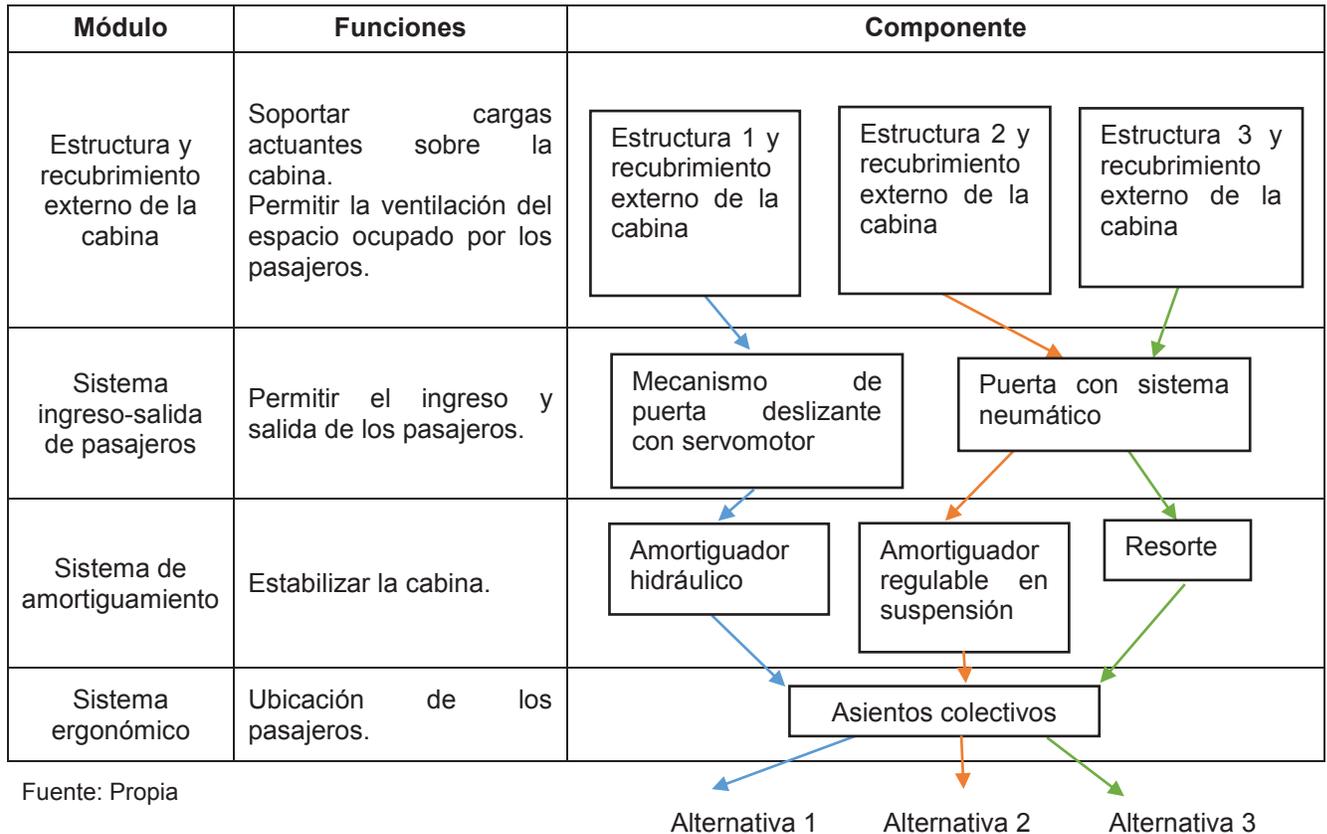


Figura 2.12. Sillas colectivas
Fuente: Propia

2.6. Alternativas de módulos

Para el diseño de la cabina, se debe realizar el análisis de alternativas para todos los cuatro módulos que posee, cada uno tiene diferentes soluciones acorde a sus funciones, a continuación se observan los módulos, funciones y las posibles soluciones que tiene cada una.

Tabla 2.1. Alternativas de los módulos.



Fuente: Propia

2.6.1. Evaluación y selección de alternativas

Para el análisis de las alternativas se determinan los siguientes criterios de valoración con mayor importancia:

- Peso.- El sistema debe estar diseñado para que su peso no sea una limitación al momento de movilizar a las personas.
- Facilidad de montaje.- Es importante ya que el sistema debe tener un procedimiento de instalación detallado, para su puesta en marcha.
- Facilidad de construcción.- Permite determinar los aspectos constructivos de cada elemento.
- Estética.- Permite analizar aspectos de forma y atracción para el uso de los pasajeros.
- Ergonomía.- Es un aspecto importante ya que permite dar aspectos de bienestar a los pasajeros.

- Costo.- Es muy importante ya que mediante una relación costo/beneficio permite determinar la mejor alternativa.

La evaluación de los criterios y módulos se detalla en las siguientes tablas:

Tabla 2.2. Evaluación del peso específico de cada criterio.

Criterio	Peso	Facilidad montaje	Facilidad construcción	Estética	Ergonomía	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Peso		0,50	0,00	1,00	1,00	0,50	4,00	0,19
Facilidad montaje	0,50		0,50	1,00	1,00	0,50	4,50	0,21
Facilidad construcción	1,00	0,50		1,00	1,00	1,00	5,50	0,26
Estética	0,00	0,00	0,00		0,50	0,00	1,50	0,07
Ergonomía	0,00	0,00	0,00	0,50		0,00	1,50	0,07
Costo	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00		4,50	0,21
Suma							21,50	1,00

Fuente: Propia

Después del análisis se obtiene el siguiente orden de importancia de los criterios de evaluación:

Facilidad de construcción > facilidad de montaje = costo > peso > estética = ergonomía.

Evaluación de los pesos específicos de las diferentes alternativas para criterio en el orden expuesto anteriormente.

Tabla 2.3. Evaluación del peso específico del criterio facilidad de construcción

Facilidad construcción	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,50	0,00	1,50	0,25
Alternativa 2	0,50		0,00	1,50	0,25
Alternativa 3	1,00	1,00		3,00	0,50
Suma				6,00	1,00
Alternativa 3 > Alternativa 1 = Alternativa 2					

Fuente: Propia

Tabla 2.4. Evaluación del peso específico del criterio facilidad de montaje

Facilidad montaje	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,50	0,00	1,50	0,25
Alternativa 2	0,50		0,00	1,50	0,25
Alternativa 3	1,00	1,00		3,00	0,50
Suma				6,00	1,00
Alternativa 3 > Alternativa 1 = Alternativa 2					

Fuente: Propia

Tabla 2.5. Evaluación del peso específico del criterio costo

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,50	0,00	1,50	0,25
Alternativa 2	0,50		0,00	1,50	0,25
Alternativa 3	1,00	1,00		3,00	0,50
Suma				6,00	1,00
Alternativa 3 > Alternativa 1 = Alternativa 2					

Fuente: Propia

Tabla 2.6. Evaluación del peso específico del criterio peso

Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,50	0,00	1,50	0,25
Alternativa 2	0,50		0,50	2,00	0,33
Alternativa 3	1,00	0,50		2,50	0,42
Suma				6,00	1,00
Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1					

Fuente: Propia

Tabla 2.7. Evaluación del peso específico del criterio ergonomía

Ergonomía	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,50	0,50	2,00	0,33
Alternativa 2	0,50		0,50	2,00	0,33
Alternativa 3	0,50	0,50		2,00	0,33
Suma				6,00	1,00
Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3					

Fuente: Propia

Tabla 2.8. Evaluación del peso específico del criterio estética

Estética	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,50	0,50	2,00	0,33
Alternativa 2	0,50		0,50	2,00	0,33
Alternativa 3	0,50	0,50		2,00	0,33
Suma				6,00	1,00
Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3					

Fuente: Propia

De acuerdo a los valores de ponderación obtenidos de la evaluación de peso específico para criterio se tiene la siguiente tabla de conclusiones:

Tabla 2.9. Tabla de conclusiones

Conclusión	Peso	Facilidad montaje	Facilidad construcción	Estética	Ergonomía	Costo	$\Sigma+1$	Prioridad
Alternativa 1	0,05	0,05	0,06	0,02	0,02	0,05	0,26	2
Alternativa 2	0,06	0,05	0,06	0,02	0,02	0,05	0,28	3
Alternativa 3	0,08	0,10	0,13	0,02	0,02	0,10	0,46	1

Fuente: Propia

De los valores obtenidos en la Tabla 2.9 se observa que la alternativa 3 presenta el mayor porcentaje de los criterios de evaluación equivalente a 0,46. Un esquema final de la solución final se observa en la Figura 2.13.

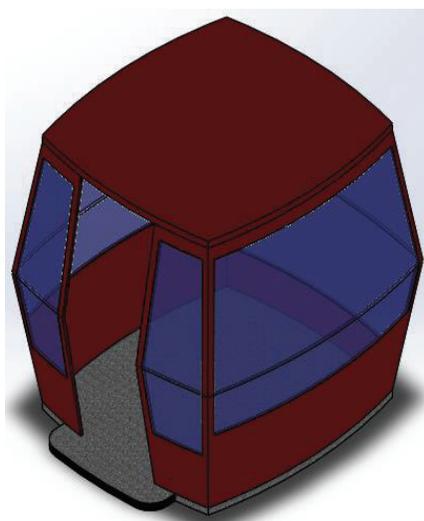


Figura 2.13 Solución final de la alternativa 3

Fuente: Propia

2.7. Parámetros de diseño del sistema

A continuación se presentan los parámetros indispensables para el diseño de la cabina a desarrollarse en el proyecto Quito-Cables. Las alternativas y los parámetros de diseño permiten obtener una visión adecuada de los requerimientos mínimos a tomarse en cuenta durante el desarrollo de este diseño.

Dentro de los parámetros a ser tomados en cuenta, se encuentran las cargas actuantes en el sistema, los estados de carga, el dimensionamiento y la velocidad a la que se va a mover el sistema. Para la selección de dichos parámetros es necesario tomar en cuenta las diferentes normas y códigos vigentes tanto a nivel nacional como internacional para garantizar la seguridad de los futuros usuarios de la cabina.

2.7.1. Cargas del sistema

Para el análisis de cargas del sistema, se determinó las fuerzas más importantes que actuarán sobre la estructura de la cabina las cuales se describen a continuación de acuerdo al siguiente orden:

- Carga viva
- Carga muerta
- Carga de viento
- Carga de granizo
- Carga de lluvia
- Fuerza de reacción

La carga viva del sistema incluye a todo tipo de carga no permanente que directamente afecta a la cabina, dentro de esta carga se incluyen a las personas o a los materiales (accesorios) que temporalmente están en la cabina. Se considera el peso de cada persona como 80 kg (incluido cargas que pueda llevar el pasajero) de acuerdo a la norma UNE-EN 13796-1 (AENOR, Norma Española UNE 13796-1: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas, 2007). En base a las especificaciones del proyecto, las cabinas deben ser diseñadas para 10 personas sentadas. Por lo tanto, se determina que la carga total a considerarse por peso de personas es de 800 kg.

El peso propio de la estructura responde al nombre de carga muerta o también conocida como carga permanente. Para calcular la carga muerta correspondiente a la cabina, es necesario tomar en cuenta el peso de los diferentes elementos que se alojan dentro de la cabina como: materiales de construcción, placas, pisos, techos, puertas, sistemas electrónicos y acabados.

El cálculo de la carga muerta es un cálculo sencillo en el que se deben sumar cada uno de los componentes que forman parte de la cabina, sin embargo al iniciar los cálculos no se obtiene un valor exacto del peso de la estructura y componentes de la cabina por lo que se toma un valor estimado correspondiente a 500 kg. Posteriormente se determinará el peso real mediante el ensamble total en el programa INVENTOR.

Carga de viento, según el estudio hidrológico y meteorológico (EMMOP, 2016) para el proyecto se utilizó reseñas de las estaciones climatológicas aledañas al sector de implantación, además se realizó un análisis estadístico con los datos tomados desde el año 1981 hasta 2012 con el propósito de obtener los valores de la velocidad del viento mínima (37,1 km/h), media (53,9 km/h) y máxima (70,4 km/h).

De acuerdo a la norma UNE-EN 12930 (AENOR, Norma española UNE-EN 12930: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas, 2015) nos indica que para instalaciones de transporte por cable en funcionamiento la presión del viento mínima es de 0,25 kN/m² y cuando no está funcionando la presión de viento mínima es de 1,20 kN/m², sin embargo esta última se puede reducir de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$q_{red} = \beta \times q \quad (2.1)$$

Donde:

q_{red} : Presión de reducida, kN/m²

β : Coeficiente de reducción

q : Presión del viento

El coeficiente de reducción se escoge de acuerdo la longitud máxima del vano ($luz=l^*$), teniendo la siguiente asignación cuando $l^* = 0 \text{ m} \rightarrow 1,00$, $l^* = 600 \text{ m} \rightarrow 0,65$ y $l^* \geq 2000 \text{ m} \rightarrow 0,5$.

Para este proyecto se toma un coeficiente de reducción de 0,65 ya que se tiene una longitud máxima de vano entre torres aproximada de 600 m, con lo cual se obtiene una presión reducida de 0,780 kN/m² que es la máxima presión de viento que se obtiene para las condiciones dadas.

El proyecto se localiza en la ciudad de Quito, la cual está ubicada a 2850 msnm, por lo tanto se debe contemplar la carga producida por la formación o acumulación de granizo sobre la cubierta de la cabina en un evento climático fuerte. Realizando una analogía para el cálculo de la carga de granizo considerada en edificaciones, establecida de acuerdo a la norma NEC (NEC, 2014), la cual dicta que se debe tomar en cuenta para regiones del país con más de 1500 msnm, la carga de granizo se calcula con la siguiente ecuación:

$$S = \rho_s \cdot H_s \quad (2.2)$$

Donde:

ρ_s : Peso específico del granizo (en general 1000 kg/m³)

H_s : Altura de acumulación, m

En cubiertas con pendientes mínimas al 15%, se requiere considerar una carga de granizo de 0,50 kN/m², y cubiertas con pendiente mínimas al 5% se utiliza una carga de granizo de 1,0 kN/m². Este diseño toma en cuenta una pendiente del 5% por lo que el valor de carga por granizo a usar es de 1,0 kN/m².

Según el estudio hidrológico y meteorológico (EMMOP, 2016) en el proyecto se utilizó una modelación hidrológica en sectores aledaños al sitio de interés, además se realizó un análisis descriptivo con las precipitaciones anuales en San Antonio de Pichincha y en las antenas del volcán Pichincha.

El sector donde se va desarrollar el proyecto tiene lluvias que varían entre 83,6 y 149,9 mm/mes (0,12 y 0,21 mm/h) en épocas lluviosas, por lo que según agencia estatal de

meteorología tenemos una intensidad de lluvia débil debido a que las precipitaciones son menores a 2 mm/h. Por lo tanto en este diseño no se va tomar en cuenta la carga de lluvia.

La fuerza de reacción de acuerdo a la norma UNE-EN 13796 (AENOR, Norma española UNE-EN 12930: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas, 2015) nos indica que se debe considerar una fuerza ocasionada por el estribo la cual actúa sobre la cabina cuando se encuentra en movimiento al momento de ingresar a la estación además de permitir una estabilidad transversal cuando ingresan y salen los pasajeros.

Para lo cual se debe conocer la velocidad con la que ingresa la cabina a la estación que es de 5 m/s, la velocidad que adquiere al entrar en contacto con el cadenciador de 0,25 m/s, la variación de tiempo que toma este proceso es de 1,5 segundos y el peso de la cabina con las personas dentro es de 1300 kg.

El cálculo de la fuerza de reacción es sencillo en el que se deben realizar un análisis de cantidad de movimiento lineal para obtener la carga que actúa sobre el estribo, la cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = mv \quad (2.3)$$

$$I = F_{\text{impacto}} \times \Delta t \quad (2.4)$$

$$F_{\text{impacto}} = R = \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (2.5)$$

Donde:

m_c : Peso de la cabina totalmente cargado, kg

v : Velocidad, m/s

P : Cantidad de movimiento lineal, kg m/s

R : Fuerza de reacción, N

I : Variación de cantidad de movimiento

F_{impacto} : Fuerza de impacto, N

Δt :Variación de tiempo, s

$$R = \frac{P_1 - P_2}{\Delta t} = \frac{1300(5 - 0,25)}{1,0}$$

$$R = 6175 \text{ N}$$

Para este proyecto se considera una fuerza de reacción aproximada en el estribo de 6175 N.

2.7.2. Estados de carga

Según la norma UNE-EN 13796 (AENOR, Norma Española UNE 13796-1: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas, 2007) para el cálculo de las combinaciones de cargas para las cabinas del sistema de transporte por cable, se determina las siguientes combinaciones de diseño de tal forma que no aumente los efectos de las cargas incrementadas:

Tabla 2.10. Combinaciones de carga para cabinas con pinza desembagable

Caso de carga	14	15	16	17 ^a
Peso propio	G	G	G	G
Carga útil	Q	Q	1/2Q	Q
Acción del viento	F _w			H _{x1}
Fuerza debido a las personas				H _{y1}
Fuerza de reacción a la entrada en la estación			R	
Coefficiente de seguridad	2	3	1,6	1,2
* Estado de carga para cabinas desembagables				

Fuente: (AENOR, 2007)

A las combinaciones de carga se anexará la carga referente a granizo, ya que el lugar donde se va realizar la implementación del proyecto “Quito-Cables” de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción establece que lugares del país que se encuentren a más de 1500 msnm deberán tenerla en cuenta al momento del diseño. Por lo tanto, para el presente proyecto a cada combinación de la Tabla 2.10 se añadirá la totalidad de la carga de granizo.

2.7.3. Dimensionamiento

En base al pliego de condiciones técnicas para el transporte por cable (Miravete, Larrodé, Castejón, & Cuartero, 1998), para calcular la superficie del piso se siguen los siguientes parámetros:

$$\text{Superficie} = 0,5 + a \times n \quad (2.6)$$

Donde:

a : 0,15 a 0,25 metros cuadrados

n : Número de pasajeros

$$\text{Superficie} = 0,5 + (0,25 \times 10) = 3 \text{ m}^2$$

Se considera que a la cabina puede ingresar una persona con capacidad reducida, para lo cual se considera una silla de ruedas con las siguientes medidas: ancho: 0,70 m y largo: 1,40 m.

En la Figura 2.14 se observa la distribución en el piso de la cabina, el espacio que ocupan los asientos y la persona con capacidad reducida, todas estas dimensiones se encuentran en milímetros.

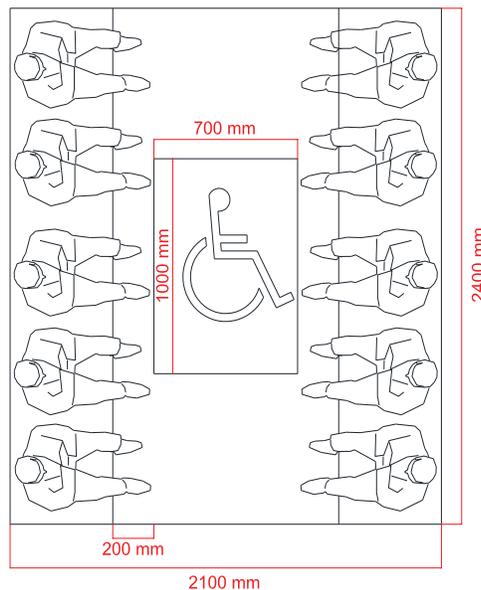


Figura 2.14. Distribución de los pasajeros.
Fuente: Propia

Se considera que el ancho por persona es de: $W = 0,45 \text{ m}$ cuando en los asientos se tiene más de dos pasajeros.

Por lo tanto las dimensiones a considerar para el diseño de la cabina son las siguientes:

$$L = 2,4 \text{ m}$$

$$W = 2,1 \text{ m}$$

$$H = 2,2 \text{ m}$$

2.7.4. Velocidad del sistema

Según la normativa (EMSD, 2002) para la instalación de teleféricos, manifiesta que la velocidad de operación máxima admisible está ligada al avance tecnológico, sin embargo las velocidades máximas de seguridad para un teleférico monocable con cabina cerrada es de 4,0 m/s y con cabina abierta es de 2,0 m/s. No obstante las velocidades para sistemas mono y multi-cable pueden aumentar en un 50% cuando no hay torres intermedias. En el ingreso y salida de los pasajeros de la cabina, la velocidad máxima no puede ser mayor a 0,25 m/s. Este proyecto contempla las velocidades recomendadas por la normativa, de acuerdo a las características previamente establecidas y que será de vital importancia para permitir la circulación del aire de forma natural en el interior de la cabina.

3. CÁLCULO Y DISEÑO DE LA CABINA

3.1. Dimensionamiento y geometría de la estructura de la cabina

Para diseñar la estructura de la cabina se deben considerar algunos aspectos importantes que permitirán realizar un diseño ajustado a todos los requisitos que garanticen el confort y seguridad de los usuarios, los cuales se describen a continuación:

- La estructura debe soportar la carga generada al transportar diez personas con un peso promedio de cada una de 80 kg, además teniendo en cuenta que la cabina será utilizada como medio de transporte público es necesario que se contemple una carga extra por accesorios que lleven los pasajeros al interior de la cabina.
- La estructura de la cabina debe contar con un diseño seguro y confortable que permita el transporte cómodo de los pasajeros sin causar ningún tipo de lesiones por caídas, golpes con partes móviles o fijas de la estructura entre otros.
- Para los cálculos de todos los elementos estructurales se tendrá en cuenta todas las fuerzas generadas por cargas estáticas y variables. Considerando que la cabina cuenta con sistemas de amortiguamiento en todos los grados de libertad posibles un diseño dinámico de los elementos estructurales no es contemplado.
- Los materiales seleccionados para la construcción y ensamble de la estructura deben presentar una buena o excelente compatibilidad galvánica para evitar corrosión galvánica entre estos, debido a que la estructura operará a la intemperie. El ensamble de la estructura se realizará con juntas empernadas y soldadas para garantizar un diseño que permita su fácil transporte.
- El factor de seguridad con el que se calcularán los elementos estructurales de la cabina será como mínimo 4 o los establecidos por la normativa para las combinaciones de carga que se definan en el estudio.

Teniendo como premisa evidente que la forma de la estructura es compleja, se utilizan dos paquetes computacionales para crear diferentes geometrías (AutoCAD) y evaluar su resistencia estructural (SAP2000) considerando las siguientes variables:

- Radio de curvatura de los elementos curvos: En la sección 2.7.3 se definieron las dimensiones del espacio necesario para los pasajeros y personas con capacidades reducidas, sin embargo para lograr las características de la solución óptima definida del análisis de alternativas se optó por generar un radio de curvatura que se produce al aumentar 100 mm en el punto medio del elemento estructural recto base, como se muestra en la Figura 3.1., de la simulación realizada se concluye que resiste estructuralmente y constructivamente este radio de curvatura se puede realizar con equipos básicos de doblado de perfilería.

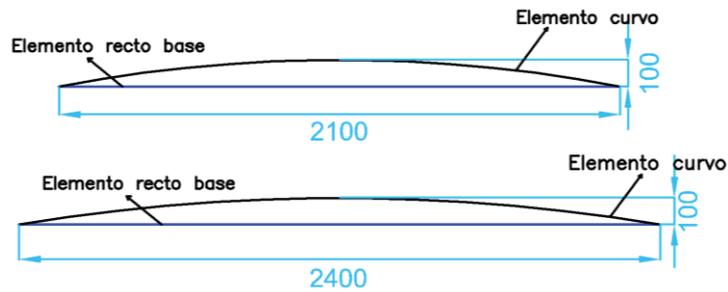


Figura 3.1. Radio de curvatura de elementos curvos
Fuente: Propia (AutoCAD)

- Espaciamiento de los elementos transversales del piso y techo de la cabina: Estos elementos se posicionan en la dirección de menor longitud de la cabina (2100 mm) con el fin de reducir su esbeltez, como se indica en la Figura 3.2. la distancia de 300 mm entre estos garantiza que los elementos curvos soporten estructuralmente. Además que permiten que la placa metálica que se apoya sobre este tenga una buena resistencia mecánica con una deflexión mínima.

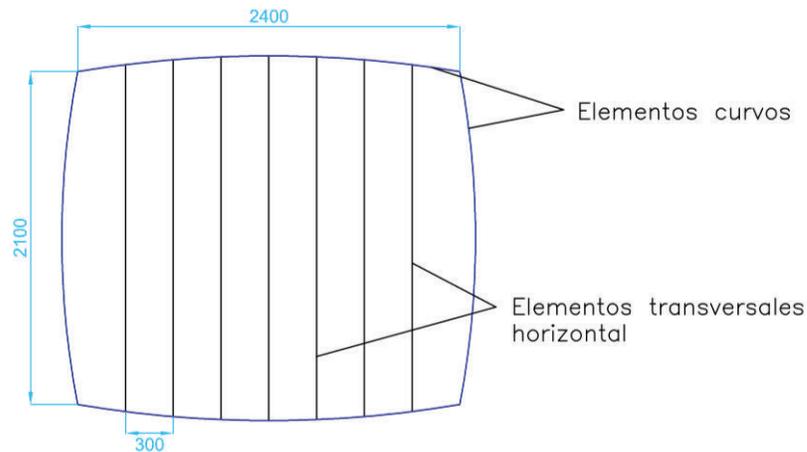


Figura 3.2. Espaciamiento de elementos transversales
Fuente: Propia (AutoCAD)

- Espaciamiento de los elementos horizontales y verticales secundarios de la estructura: Estos elementos fueron posicionados a 500 y 800 mm, como se observa en la Figura 3.3. tomando en cuenta que a 500 mm servirán de punto de fijación para la silla de asientos colectivos con su espaldar. Los elementos verticales secundarios son colocados a 300 mm entre sí para generar una junta con la configuración de los elementos transversales del piso y del techo de la estructura de la cabina.

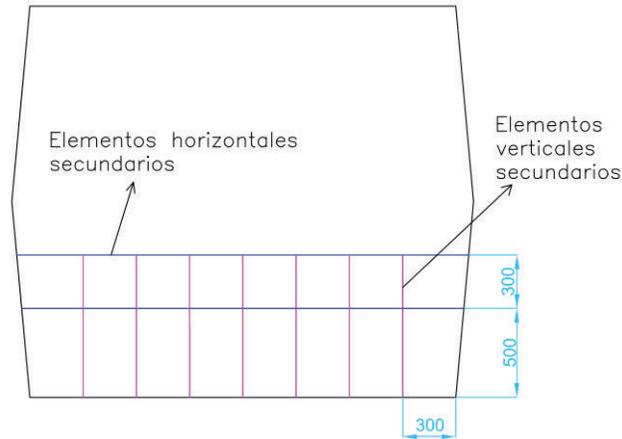


Figura 3.3. Espaciamiento de los elementos horizontales secundarios
Fuente: Propia (AutoCAD)

- Numero de soportes verticales principales: Constituyen los elementos ubicados en las esquinas de la estructura, se determinó que para que la estructura resista el estado de cargas crítico, es necesario colocar dos columnas de similar sección transversal con elementos que disminuyen la longitud efectiva de la columna como se muestra en la Figura 3.4 garantizando de esta manera que no exista pandeo ya que los esfuerzos producidos en este elementos son de tipo axial (tracción o compresión).

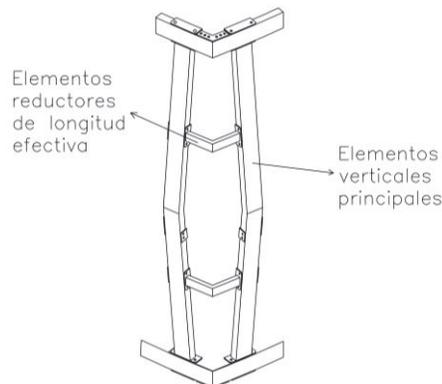


Figura 3.4. Soporte verticales de la estructura de la cabina
Fuente: Propia (AutoCAD)

- Elementos de soporte de la cabina: Se ubican en las esquinas superiores de la estructura y son los puntos de apoyo de toda la cabina en el sistema de amortiguamiento por resortes ubicado en el soporte “H”. De acuerdo a las condiciones de carga crítica que experimente la cabina las reacciones producidas en estos puntos de apoyo serán las cargas actuantes en el soporte “H” que se diseñará posteriormente.

Definido el dimensionamiento de la estructura de la cabina en base a las variables descritas anteriormente se obtiene la geometría final que se observa en la Figura 3.5. De acuerdo a los enfoques del diseño estructural existen dos métodos: El diseño por esfuerzo permisible (ASD) el cual busca conseguir que los esfuerzos unitarios reales que actúan en los miembros estructurales sean mínimos en comparación con los esfuerzos unitarios permisibles y el diseño por factores de carga y resistencia (LRFD) el cual busca aprovechar la funcionalidad de la estructura durante toda su vida útil mediante el uso de las combinaciones de carga trabajando con los estados límites para observar el comportamiento de la estructura. (Metodologías de Diseño, 2016). Para todas las configuraciones utilizadas hasta obtener la geometría final de la estructura se utilizó el “diseño de marcos de aluminio” AA-ASD 2000 como modelo de análisis y con las combinaciones de carga que establece la norma UNE-EN 13796-1 (AENOR, Norma Española UNE 13796-1: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas, 2007), estas consideraciones se justificarán más adelante en el desarrollo del presente capítulo.

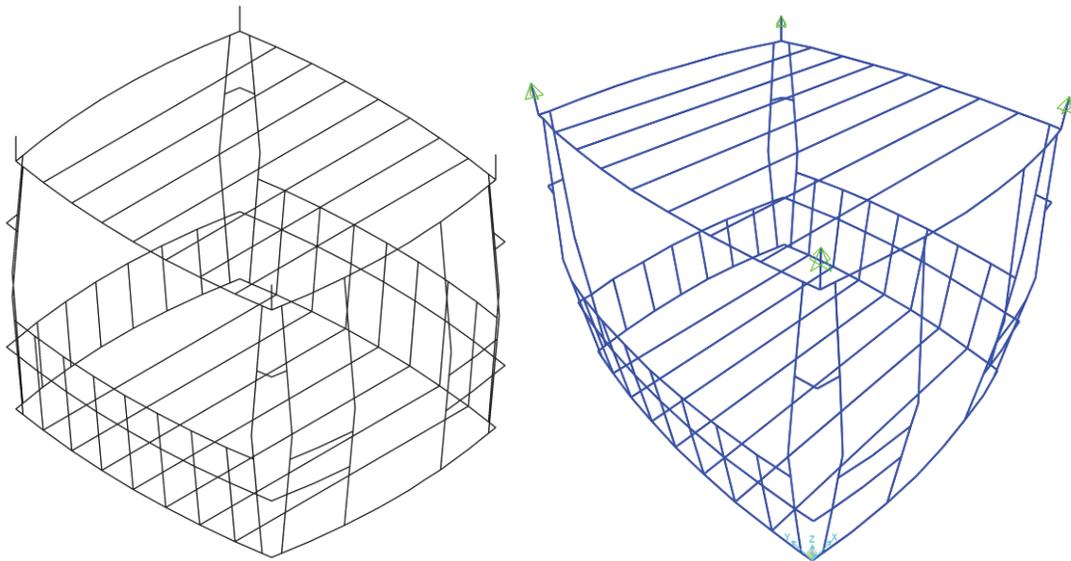


Figura 3.5. Geometría final de la cabina
Fuente: Propia

3.2. Selección y definición del material de la estructura de la cabina

Considerando que la estructura metálica es la parte principal de la cabina ya que en esta se instalarán todos los sistemas adicionales, es importante considerar su peso como parámetro primordial para reducir las cargas que se genera en el cable. Por lo tanto, para determinar el material de los perfiles estructurales que se van utilizar en la estructura de la cabina, se realiza una comparación de dos materiales:

- Acero ASTM A572-Gr50 que tiene una excelente resistencia mecánica, resistencia a la fatiga, gran ductilidad y facilidad de maquinado, además que gracias a su composición química su resistencia a la corrosión es buena. El acero además de poseer alta densidad, es un metal que cuenta buenas propiedades mecánicas, mostradas en la Tabla 3.1, por lo cual es idóneo para ser utilizado en la industria metalmecánica y de estructuras.

Tabla 3.1 Características mecánicas del acero ASTM A572-Gr50

Características mecánicas			
Material	Resistencia a la tracción kg/cm²	Límite de fluencia kg/cm²	Densidad g/cm³
A572	4588	2957	7,85

Fuente: (ASTM, American Society of Testing Materials)

- Aleación de aluminio 6061-T6 que tiene buena resistencia mecánica, excelente resistencia a la corrosión, buena soldabilidad y maquinabilidad, siendo similares a las del acero por lo que es aplicable en la construcción, decoración, minería, transporte terrestre, metal mecánica e incluso hasta en la industria aeronáutica.

El aluminio además de poseer baja densidad, es un metal que cuenta con la dureza necesaria para ser utilizado en la industria. Una de las características principales de los perfiles de aluminio T6 es que son extruidos en caliente es decir, son tratados térmicamente y posteriormente envejecidos de forma que las propiedades mecánicas mejoren, en la Tabla 3.2 se puede observar las características del material.

Tabla 3.2. Características mecánicas de la aleación de aluminio.

Características mecánicas			
Material	Resistencia a la tracción kg/cm ²	Límite de fluencia kg/cm ²	Densidad g/cm ³
6061 T6	2460	2460	2,7

Fuente: (Cedal)

De las especificaciones mostradas anteriormente ambos materiales presentan una adecuada resistencia mecánica, pues sus límites de fluencia son aproximadamente 345 MPa y 241 MPa para el acero y el aluminio respectivamente, pudiendo ser considerados aptos para la construcción de la estructura. Sin embargo, la aleación de aluminio 6061-T6 es considerada la más adecuada ya que debido a la baja densidad se reduciría el peso de la estructura en una relación de aproximadamente 3:1 que si se la construyera de acero. Adicionalmente el uso de aleaciones de aluminio es considerado válido por la norma UNE-EN 13796-1 (AENOR, Norma Española UNE 13796-1: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas, 2007).

Definido el material a utilizarse, en el programa SAP2000 se configura el material que será asignado a cada uno de los elementos estructurales como se muestra en la Figura 3.6:

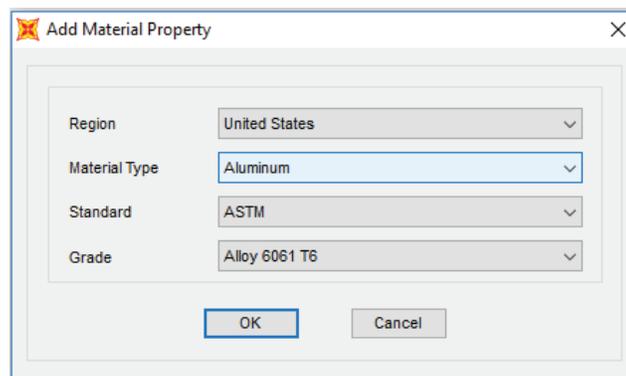


Figura 3.6. Definición del material de los perfiles estructurales
Fuente: Propia (SAP2000)

3.3. Selección y asignación de perfiles estructurales

En base a la geometría determinada, es necesario agrupar los elementos estructurales considerando su ubicación y función dentro de la estructura. Posteriormente se asignan las dimensiones adecuadas de la sección transversal para garantizar la resistencia estructural ante las combinaciones de cargas actuantes sobre la estructura. Para la simulación de la

estructura se agruparon los perfiles como se especifica en la Figura 3.7 y con las dimensiones mostradas en Tabla 3.3., con dichas dimensiones se asegura la resistencia estructural y además son adecuados para realizar uniones ya sean empernadas o soldadas uniformes, es decir los perfiles tienen concordancia de sus dimensiones para generar un junta correcta idónea. Toda la perfilería fue seleccionada de catálogos disponibles en el mercado nacional (Cedal).

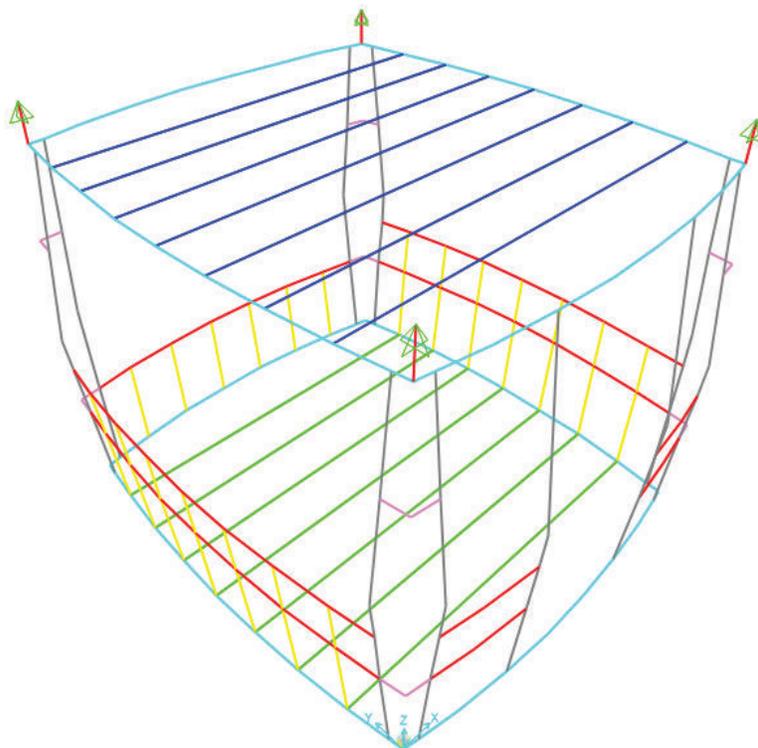


Figura 3.7. Estructura de la cabina con grupos y perfiles de aluminio asignados.
Fuente: Propia (SAP2000)

Tabla 3.3. Código de colores y dimensiones de los perfiles asignados

N°	Grupo	Dimensiones (mm)	Color del perfil
1	Soporte horizontal techo (SH-T)	56,45x44x2	
2	Soporte horizontal piso (SH-P)	76,2x38,1x3	
3	Marco principal (MP)	101,6x44,4x2,4	
4	Marco secundario (MS)	56,45x44x2	
5	Soporte vertical secundario (SVS)	50,8x25,4x2,2	
6	Soporte vertical principal (SVP)	101,6x44,4x2,4	

Fuente: Propia

En el programa SAP2000 se definen los grupos y perfiles seleccionados, inicialmente se debe elegir material de los perfiles correspondiente a aluminio ASTM 6061 T6, posteriormente se asignan las dimensiones de la sección transversal correspondientes a altura (outside depth), ancho (outside width) y espesor (flange/web thickness) como se puede observar en la Figura 3.8.

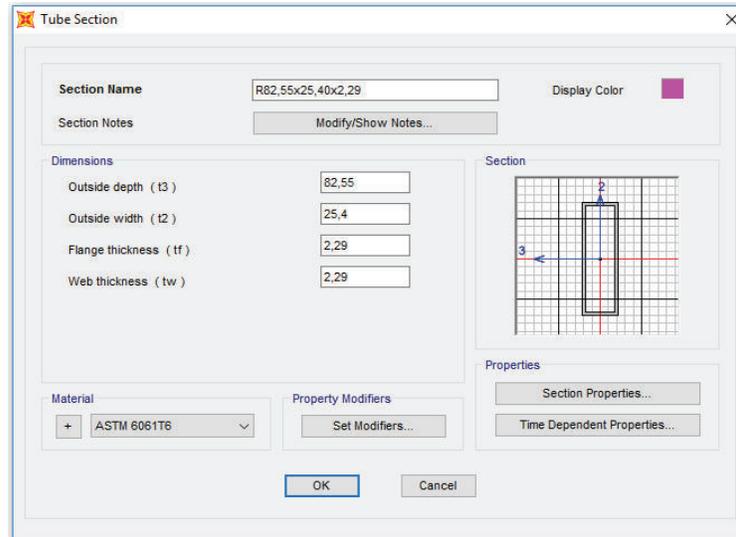


Figura 3.8. Dimensiones de la sección transversal
Fuente: Propia (SAP2000)

3.4. Cargas y combinaciones de carga

Para el análisis estructural utilizando el programa SAP2000 se evalúan todas las cargas y las combinaciones entre estas para determinar una condición crítica de operación. A continuación se detallan las combinaciones utilizadas en la simulación en base a las características descritas en la sección 2.7.1 y 2.7.2.

Combinación 1: $G + G_1 + Q + F_{w_x(+)} + S$

Combinación 2: $G + G_1 + Q + F_{w_y(+)} + S$

Combinación 3: $G + G_1 + Q + F_{w_y(-)} + S$

Combinación 4: $G + G_1 + Q + S$

Combinación 5: $G + G_1 + 0,5Q + R + S$

Combinación 6: $G + G_1 + Q_p$

La combinación 6 corresponde a un estado posible de carga en el cual todos los pasajeros dentro de la cabina están parados al momento del embarque o desembarque, mientras que las combinaciones 1, 2 y 3 son las correspondientes a la carga de viento actuante en las diferentes caras de la cabina. La carga G_1 corresponde al peso de las sillas instaladas dentro de la cabina.

3.4.1. Asignación de cargas sobre la estructura

Del análisis descrito en la sección 2.7.1 y 2.7.2, se procede a asignar las cargas actuantes en todos los elementos estructurales como sigue:

En la Figura 3.9, se muestra la distribución de carga viva que se produce cuando todos los pasajeros están de pie en el instante de desembarque de la cabina. En este caso se considera que los elementos transversales del piso de la estructura soportan cargas puntuales de 57,14 kg (aproximadamente 560 N) a una distancia equivalente de un cuarto de la longitud total del elemento.

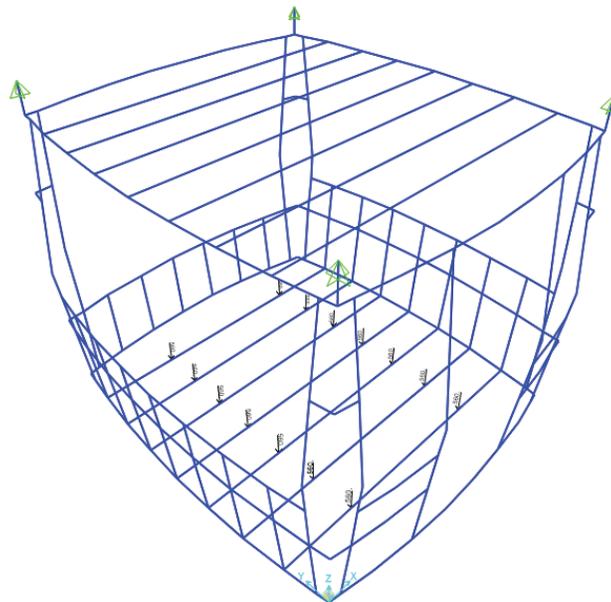


Figura 3.9. Asignación de la carga viva cuando los pasajeros están de pie
Fuente: Propia (SAP2000)

En la Figura 3.10 se muestra el estado de cargas que se produce cuando los pasajeros se encuentran sentados, esta carga puntual se ubica en los elementos estructurales que sirven

de apoyo para los asientos. Los asientos contarán con dos apoyos cada uno, por lo tanto en cada nodo la carga será de 1960 N.

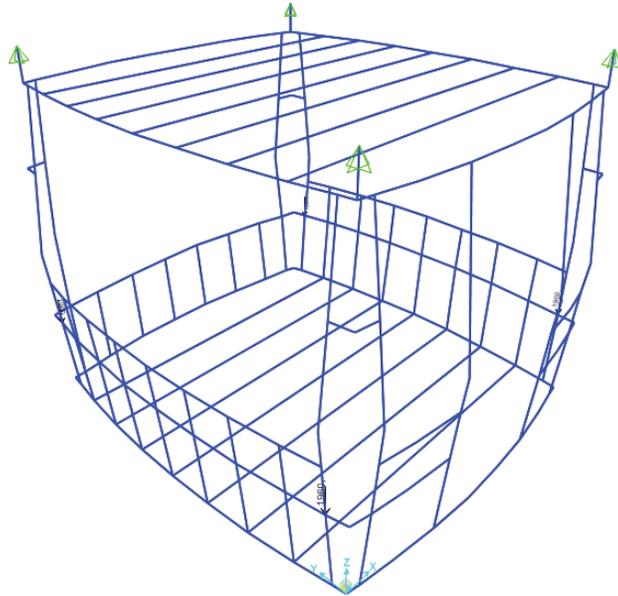


Figura 3.10. Asignación de la carga viva cuando los pasajeros están sentados
Fuente: Propia (SAP2000)

El programa SAP2000 determina de manera automática el peso propio de la estructura, es decir, la carga muerta. Para el análisis y cálculo se consideró un factor de multiplicación del 40% adicional el cual considera el peso en la cabina de los componentes que se encuentran en la misma como acrílicos, materiales de recubrimiento, equipo de comunicación, etc., esto permite insertar un factor de seguridad adicional para garantizar la seguridad estructural.

Sin embargo, se ha determinado el peso de la estructura de la cabina mediante el uso del programa Inventor Professional el cual es de 500 kg aproximadamente (478,35 kg) equivalente a 4903.33 N.

Para determinar las cargas de viento que actúan sobre la estructura de la cabina se consideraron los criterios de la normativa UNE-EN 13796-1 (AENOR, Norma española UNE-EN 12930: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas, 2015) y el pliego de condiciones técnicas para el transporte por cable (Orro, Novales, & Rodríguez, 2003). Para el análisis se consideró la velocidad máxima de la zona donde estará operando la cabina, esta velocidad es 70.4 km/h equivalente a 19.6 m/s. De

acuerdo al análisis realizado en la sección 2.7.1 se obtuvo una presión del viento de 780 N/m². Por lo tanto, la fuerza de viento que se genera en la estructura debido a la presión del viento será determinada por la ecuación (3.1) como sigue:

$$F = P \times A \quad (3.1)$$

Donde:

F : Fuerza de viento que se genera sobre la estructura, N

A : Área de incidencia de la presión del viento, m²

Debido a que la incidencia del viento puede ser en diferentes direcciones, se evalúa la fuerza máxima crítica a diferentes ángulos de incidencia de la presión del viento sobre la cabina, de este análisis se deduce que se tiene la presión máxima cuando la velocidad del viento incide de manera perpendicular sobre la cara lateral o frontal de la cabina siendo los casos más críticos. Cuando la velocidad de viento incide con un ángulo de 45° las componentes de la presión disminuye en proporción al ángulo de incidencia, por lo tanto no se le tomará en cuenta al momento de realizar los cálculos.

La fuerza de viento que actúa sobre la estructura de la cabina debe ser distribuida apropiadamente sobre los perfiles donde se apoyan las placas que rodean a la cabina y que sirven como cierre (paredes de la cabina), mas no estructurales. Por lo tanto, considerando las diferentes áreas de los perfiles sobre la que índice la acción del viento, se determinan las fuerzas por unidad de longitud actuantes en cada perfil estructural que se muestran en la Tabla 3.4, Tabla 3.5 y Tabla 3.6 y las correspondientes figuras.

Tabla 3.4. Fuerza por unidad de longitud en la cara lateral

Áreas laterales- Eje X(+)/(0 grados)					
Grupo	Longitud [mm]	Ancho [mm]	Área corregida [mm ²]	Fuerza [N]	Fuerza/Longitud [N/mm]
MP	303,1981	101,6	114438,20	89,26	0,2944
SVP	1004,9876	101,6	379319,55	295,87	0,2944
MS	223,1981	56,45	63583,03	49,59	0,1636
SVS	502,4938	25,4	47414,94	36,98	0,0736

Fuente. Propia

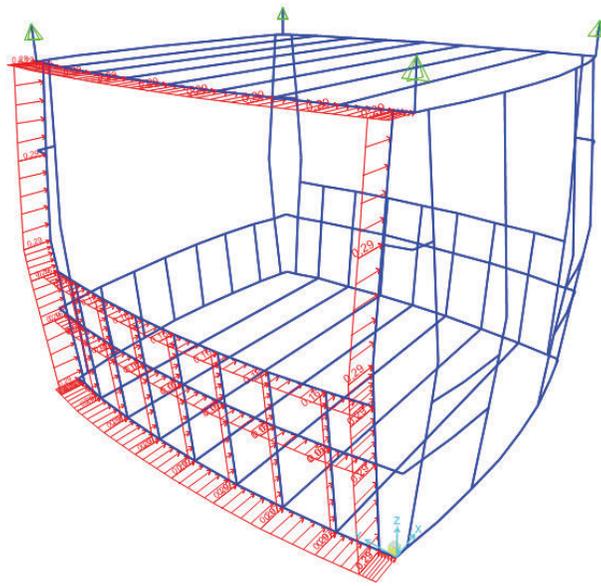


Figura 3.11. Asignación de la carga lateral de viento en el eje X positivo
Fuente: Propia (SAP2000)

Tabla 3.5. Fuerza por unidad longitud en la cara frontal

Área frontal-Eje Y(+)/(90 grados)					
Grupo	Longitud [mm]	Ancho [mm]	Área corregida [mm ²]	Fuerza [N]	Fuerza/Longitud [N/mm]
MP	304,0086	101,6	96071,97	74,93	0,2465
MS	224,0086	56,45	39331,97	30,67	0,1370
SVP	1004,9876	101,6	317593,43	247,72	0,2465

Fuente: Propia

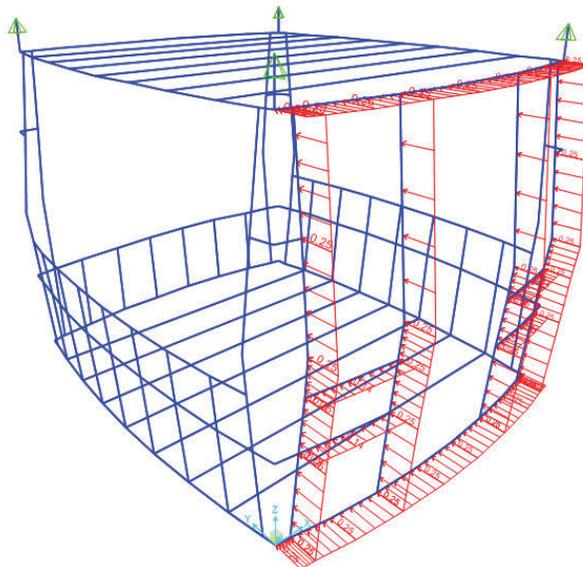


Figura 3.12. Asignación de la carga frontal de viento en el eje Y positivo
Fuente: Propia (SAP2000)

Tabla 3.6. Fuerza por unidad de longitud de la cara posterior

Área posterior-Eje Y(-)/(-90 grados)					
Grupo	Longitud [mm]	Ancho [mm]	Área corregida [mm ²]	Fuerza [N]	Fuerza/Longitud [N/mm]
MP	304,0086	101,6	128019,24	99,86	0,3285
MS	224,0086	56,45	52411,23	40,88	0,1825
SVP	1004,9876	101,6	423204,32	330,10	0,3285
SVS	502,4938	25,4	52900,54	41,26	0,0821

Fuente: Propia

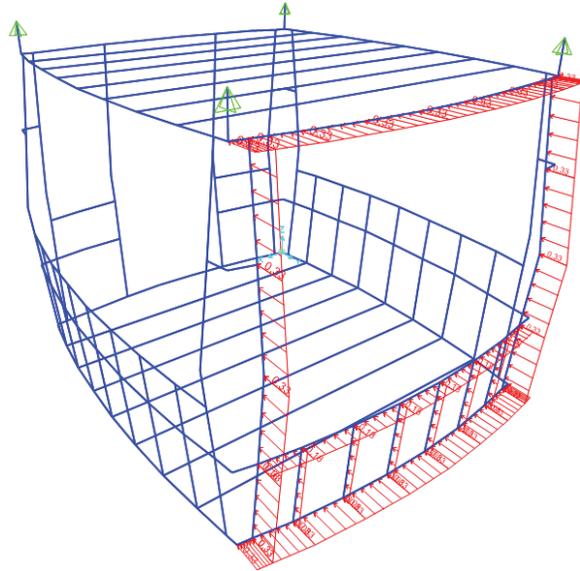


Figura 3.13. Asignación de la carga posterior de viento en el eje Y negativo

Fuente: Propia (SAP2000)

La carga de granizo de 1000 N/m² se distribuye sobre los elementos transversales que forma el techo de la estructura, como se muestra en la Figura 3.14. En la Tabla 3.7 se observan los valores de la fuerza por unidad de longitud de la carga de granizo que actúa sobre cada elemento.

Tabla 3.7. Fuerza/Longitud en la cara superior

Área superior					
Grupo	Longitud [mm]	Ancho [mm]	Área corregida [mm ²]	Fuerza [N]	Fuerza/Longitud [N/mm]
SHP	2187,842	44	447881,17	447,88	0,2047
MP	303,1981	44,4	62633,06	62,63	0,2066

Fuente: Propia

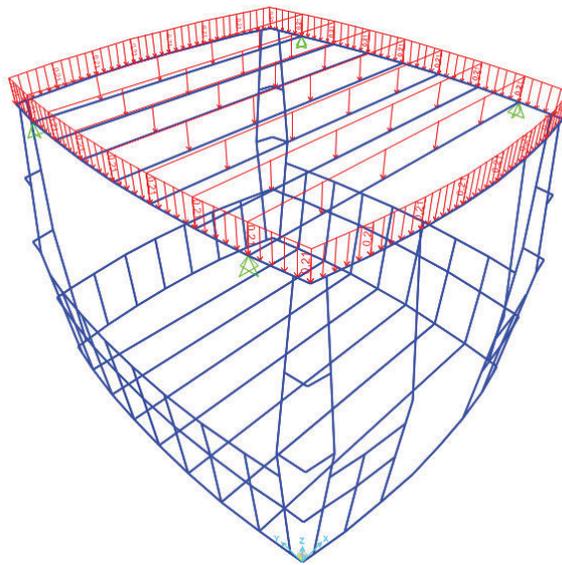


Figura 3.14. Asignación de la carga de granizo
Fuente: Propia (SAP2000)

La fuerza de reacción que se obtuvo equivalente a 4117 N será distribuida tanto en la parte frontal como posterior de la cabina, puesto que en estos lugares se instalan los estribos de la cabina en los cuales se produce el impacto cuando las cabinas se canalizan en la guía de embarque y desembarque de pasajeros. En la Figura 3.15 se muestra la aplicación de las cargas puntuales con una magnitud 1029,25 N en cada punto de aplicación.

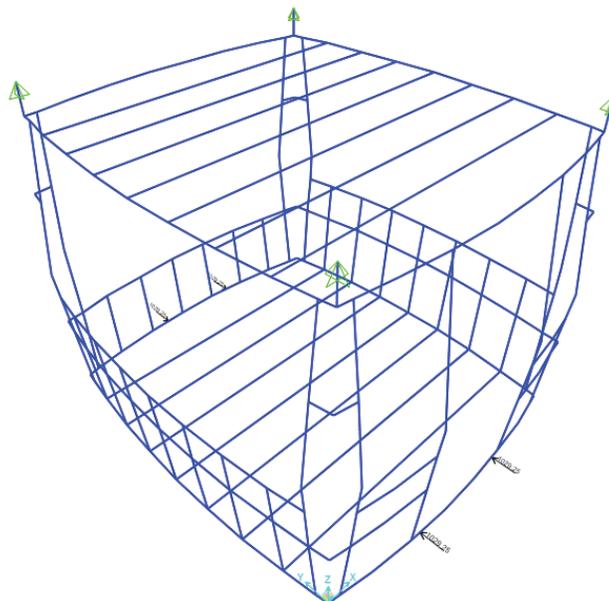


Figura 3.15. Asignación de la fuerza de reacción sobre el estribo
Fuente: Propia (SAP2000)

3.5. Simulación de la estructura y factor de seguridad

De acuerdo a la norma UNE-EN 13796-1 (AENOR, Norma Española UNE 13796-1: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas, 2007) para determinar los factores de seguridad se indica que debe evaluarse bajo el criterio de la máxima energía de deformación o esfuerzo equivalente de Von Mises y por tratarse de un diseño con aluminio con relación al límite aparente de elasticidad del material. En cuanto a aleaciones de aluminio la norma nos indica que si el límite aparente de elasticidad es superior a $0,72 R_m$ (R_m : resistencia a la tracción), este debe ser reducido introduciendo de esta manera un factor de seguridad global para el diseño.

Para este análisis se toma en cuenta la resistencia a la tracción de la aleación de aluminio la cual es de 2670 kg/cm^2 , al calcular el límite aparente de elasticidad reducido se obtuvo $1922,4 \text{ kg/cm}^2$ y al compararse con el límite de elasticidad real del material el cual es de 2460 kg/cm^2 siendo el límite real mayor, por lo tanto de acuerdo a la normativa el parámetro de comparación en el factor de seguridad corresponde a $1922,4 \text{ kg/cm}^2$ ($188,52 \text{ MPa}$) para los elementos más críticos de la estructura de la cabina bajo la combinación de cargas más críticas determinada mediante el programa SAP2000. En primera instancia a continuación se presenta los resultados arrojados por el software de todos los elementos estructurales de la cabina, adoptándose el criterio de validación estructural definida por la Norma AA-ASD 2000 (Normativa para el diseño de estructuras de aluminio).

De acuerdo al código de colores mostrado en Figura 3.16 se observa que los índices de trabajos combinados a esfuerzos de flexión, axiales y de corte de cada elemento se encuentran en el rango de 0,057 a 0,383 por lo que se puede considerar que la geometría y los perfiles asignados a este modelo podrán validar este diseño. Sin embargo es necesario verificar las condiciones de seguridad utilizando el criterio establecido por la norma UNE-EN 13796-1 (AENOR, Norma Española UNE 13796-1: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas, 2007), para lo cual se determinará los esfuerzos actuantes utilizando los resultados de momento flector, momento torsor, cargas axiales de tracción-compresión generados por el programa SAP2000, los cuales son únicamente dependientes de la geometría de la cabina y el estado de carga, y relacionándolos con las propiedades de la sección transversal de cada uno de los perfiles críticos bajo la condición más crítica de carga.

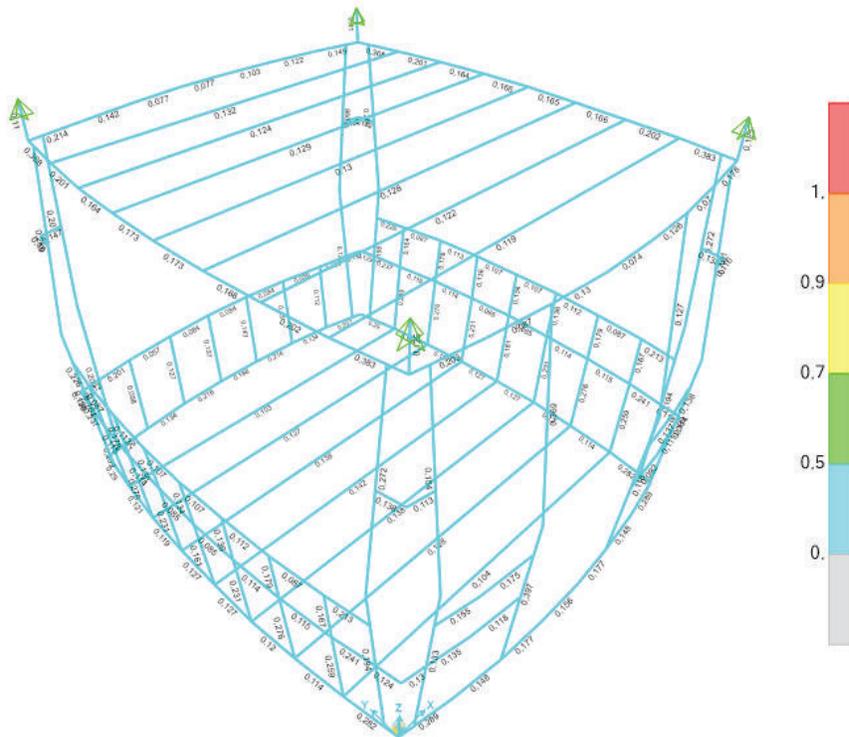


Figura 3.16. Simulación de la estructura de cabina
Fuente: Propia (SAP2000)

En la Tabla 3.8 se especifica el elemento más crítico de cada grupo de los perfiles seleccionados, con sus respectivos índices de trabajo combinado a esfuerzos axiales, esfuerzos normales de flexión (B: Bending; Maj: Major axis; Min: Minor axis) y cortantes (S: Shear; Maj: Major axis; Min: Minor axis) y combinación de carga crítica. La identificación de los elementos críticos de cada grupo se encuentra mostrados en la Figura 3.17.

Tabla 3.8. Datos de esfuerzos e índice de trabajo combinado bajo norma AA-ASD 2000

Grupo	Elemento	Índice	Fuerza	Axial	B _{Maj}	B _{Min}	S _{Maj}	S _{Min}	Combinación de carga
MP	176	0,383	Tracción	0.027	0.256	0.100	0.011	0.022	3
MS	192	0,241	Compresión	0.022	0.167	0.052	0.042	0.015	6
SH-Piso	4	0,142	Tracción	0.000	0.141	0.000	0.000	0.000	6
SH-Techo	160	0,132	Tracción	0.000	0.111	0.022	0.015	0.000	1
SVP	218	0,272	Tracción	0.039	0.047	0.186	0.003	0.021	3
SVS	201	0,276	Tracción	0.006	0.150	0.120	0.006	0.017	6

Fuente: Propia (SAP2000)

En la Tabla 3.8 se puede apreciar que los esfuerzos axiales y el esfuerzo de flexión sobre el eje mayor y menor se constituyen en la condición crítica de los elementos de la estructura de cabina, en comparación a los esfuerzos cortantes producidos por la torsión y el cortante por flexión producido en cada elemento, aproximadamente el 2% del índice global de trabajo combinado. Por lo tanto, los esfuerzos producidos por las sollicitaciones mecánicas de flexión y axiales son los valores a determinarse para calcular el esfuerzo actuante y su correspondiente factor de seguridad.

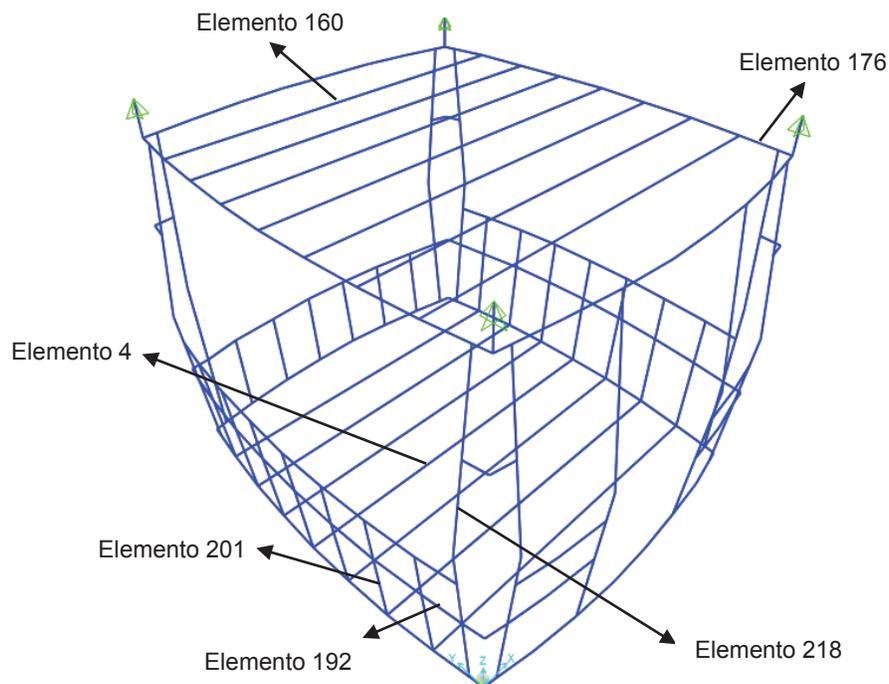


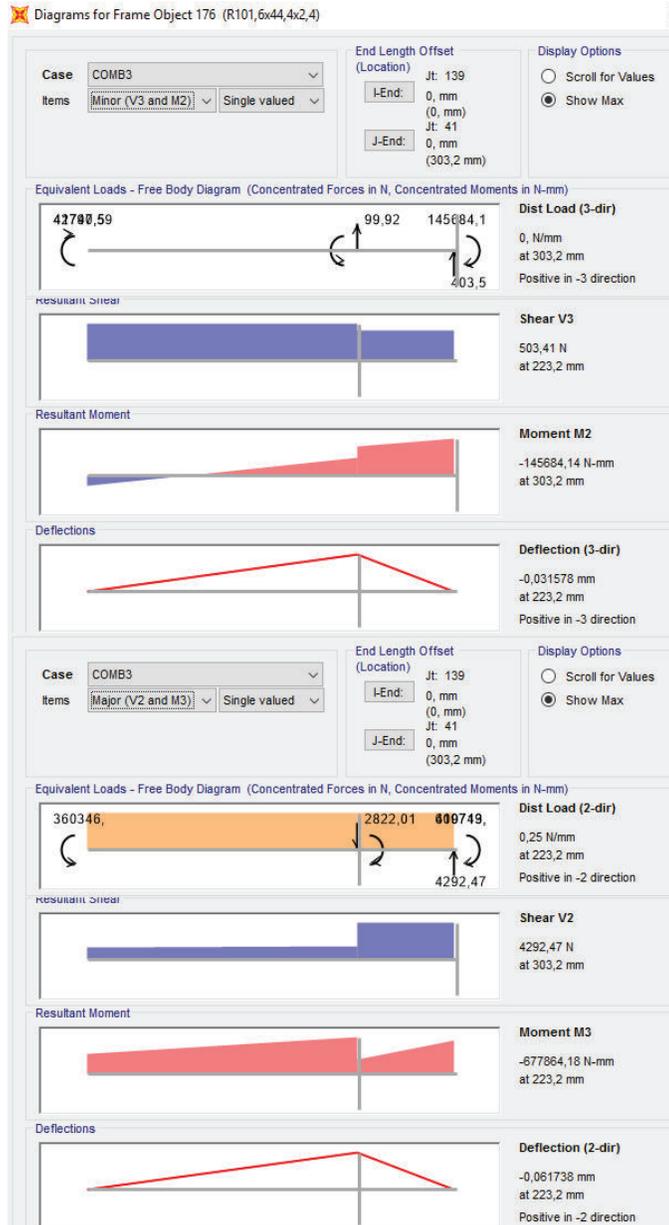
Figura 3.17. Identificación de elementos críticos de la estructura
Fuente: Propia

En la Tabla 3.9 se muestran las cargas actuantes en cada elemento, se define un momento resultante (M_R) con el fin de establecer el estado de carga más crítico sobre cada componente de la estructura, de este cálculo se puede apreciar que un valor del momento actuante en un eje prevalece con respecto al otro de la sección transversal y se aproxima más al momento resultante calculado. Por lo tanto, se relacionará este valor del momento resultante (M_R) con el módulo de la sección correspondiente a la dirección de aplicación de la carga para determinar su resistencia estructural. Del análisis anterior se puede deducir que el diseño de cada elemento estructural se puede simplificar a un análisis de una viga empotrada en sus extremos con diferentes condiciones de carga dependiendo del grupo y su función en la estructura.

Tabla 3.9. Carga axial y momentos flectores actuantes en los perfiles críticos

Grupo	Elemento	Combinación de carga	P [N]	M ₃₃ [N-mm]	M ₂₂ [N-mm]	M _R [N-mm]
MP	176	3	1970,61	677864,18	145684,14	693342,42
MS	192	6	1016,02	154903,16	38587,86	159637,13
SH-Piso	4	6	57,49	237998,96	0,49	237998,96
SH-Techo	160	1	4,41	94200,40	15911,20	95534,71
SVP	218	3	3260,33	93156,47	436247,39	446082,85
SVS	201	6	223,45	81277,43	42531,97	91733,25

Fuente: Propia (SAP2000)



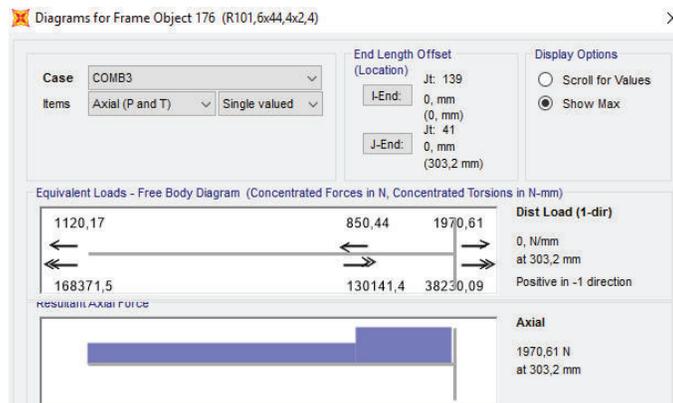


Figura 3.18. Estado de cargas del elemento estructural 176
Fuente: Propia (SAP2000)
Para efectos de ejemplo de cálculo se muestra en la

Figura 3.18 los valores de los momentos actuantes en cada eje de la sección transversal así como también la carga axial actuante en el elemento proporcionados por el programa SAP2000. Con estos valores se procede a determinar los esfuerzos normales a flexión como sigue:

$$\sigma = \frac{M_R}{S} \quad (3.2)$$

Donde el valor del módulo de la sección (S), es función directa de las dimensiones de la sección transversal y de la orientación del perfil con respecto a la dirección de aplicación de la fuerza. Con las propiedades de la sección transversal que se muestran en la Figura 3.19 se determina el esfuerzo a flexión con la ecuación (3.2) como sigue:

$$\sigma_b = \frac{M_R}{S_{3-3}} = \frac{693342,42}{17465,104} = 39,7 \text{ MPa}$$

De manera similar se determina el esfuerzo axial al que se encuentra sometido el elemento estructural con la siguiente ecuación:

$$\sigma_a = \frac{P}{A} \quad (3.3)$$

Reemplazando los valores para la sección transversal del elemento 176 se obtiene:

$$\sigma_a = \frac{P}{A} = \frac{1970,61}{677,76} = 2,91 \text{ MPa}$$

Tanto los esfuerzos normales de flexión y los axiales de compresión se orientan a lo largo del eje neutro longitudinal del elemento, por lo que se deduce que existen únicamente los elementos pueden estar sometidos a tracción o compresión pura, lo que reduce el esfuerzo de Von Mises a la siguiente expresión:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{(|\sigma_a| + |\sigma_b|)^2} = 39,7 + 2,91 = 42.61 \text{ MPa}$$

Finalmente, para calcular factor de seguridad de este elemento se utiliza el requerimiento de la norma UNE-EN 13796-1 (AENOR, Norma Española UNE 13796-1: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas, 2007) que establece lo siguiente:

$$n = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{VM}} = \frac{0,72 \times 241,24}{42,61} = 4,1$$

Section Name		R101,6x44,4x2,4	
Properties			
Cross-section (axial) area	677,76	Section modulus about 3 axis	17465,104
Moment of Inertia about 3 axis	887227,3	Section modulus about 2 axis	10817,145
Moment of Inertia about 2 axis	240140,62	Plastic modulus about 3 axis	21815,04
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	12123,072
Shear area in 2 direction	487,68	Radius of Gyration about 3 axis	36,1809
Shear area in 3 direction	213,12	Radius of Gyration about 2 axis	18,8233
Torsional constant	590103,9	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

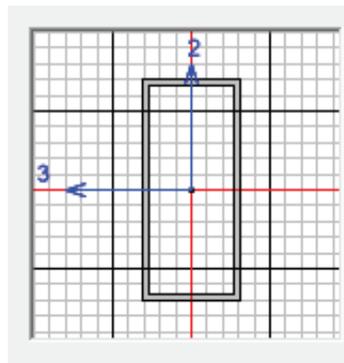


Figura 3.19. Propiedades de la sección transversal del elemento estructural 176
Fuente: Propia (SAP2000)

En la Tabla 3.10 se detallan los esfuerzos resultantes actuantes en cada uno de los elementos críticos de cada grupo, como se puede apreciar de forma general los esfuerzos por flexión son los predominantes en el diseño por lo tanto considerando que los esfuerzos

axiales y de flexión tienen la misma dirección en la sección crítica de la viga, la suma de estos en la sección crítica determinan el valor del esfuerzo equivalente de Von Mises para este análisis.

Tabla 3.10. Propiedades geométricas de la sección transversal y esfuerzos actuantes críticos.

Elemento	Área transversal [mm ²]	Módulo de la sección [mm ³]		Esfuerzo axial [MPa]	Esfuerzos de flexión [MPa]	Esfuerzo equivalente de Von Mises [MPa]	Factor de seguridad
		Eje 1	Eje 2				
MP	677,76	10817,145	17465,104	2,91	39,70	42,61	4,1
MS	387,40	5564,800	6369,995	2,62	28,69	31,31	5,5
SH Piso	388,40	5565,800	6370,995	0,15	42,76	42,91	4,0
SH Techo	649,80	12581,865	8278,200	19,25	19,26	19,26	9,0
SVP	677,76	17465,104	10817,145	4,81	41,24	46,05	3,8
SVS	315,92	2642,732	4042,018	0,71	34,71	35,42	4,9

Fuente: Propia (SAP2000)

Todos los factores de seguridad calculados garantizan la seguridad de la estructura pudiendo validar la simulación del programa SAP2000. Se tiene un factor de seguridad mínimo de 3,8 para el elemento crítico ubicado en el piso de la cabina, se acepta este factor de seguridad ya que se utiliza el límite de elasticidad aparente del aluminio establecido en la norma. Es necesario recalcar que los perfiles seleccionados consideran los aspectos constructivos y de ensamble de la cabina, es decir todos los perfiles tienen una congruencia en dimensiones pensando en las juntas que se realizarán entre estos, teniendo como modelo final el mostrado en la Figura 3.20.

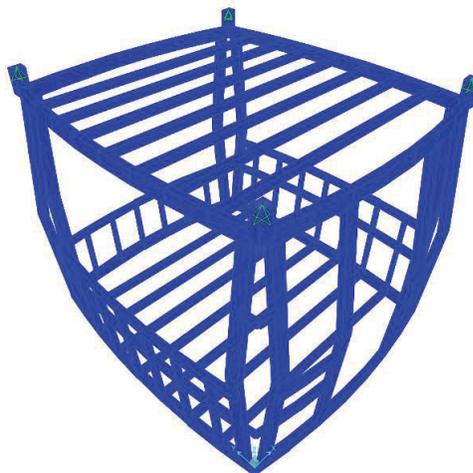


Figura 3.20. Modelo final de la estructura de la cabina
Fuente: Propia (SAP2000)

3.6. Simulación de la placa del piso

El piso de la cabina se constituye un elemento importante en este sistema pues es quien soportará la carga generada por los usuarios en su ingreso. Se considera un estado de carga crítico considerando que todas las personas se encuentran de pie, generando así una presión distribuida a lo largo de todo el piso de 0,0014 MPa. El material de la placa es de aluminio 6061-T6 y tiene un espesor de 3 mm, constructivamente la placa deberá ser de tipo antideslizante para evitar caídas por resbalamiento.

A continuación se presentan los resultados tras la simulación completa del piso de la cabina realizada en el programa ANSYS V18.0. La validación de dichos resultados se presenta con base en la Relación de Aspecto (Aspect Ratio) de los elementos finitos que forman parte de la malla, en la que el programa presenta la relación entre el lado más largo y el lado más pequeño del elemento tomando como referencia las alturas del mismo.

Los límites del valor de la relación de aspecto depende del tipo de elemento y el tipo de problema a resolver, para la presente simulación se toma como límite una relación de 3:1. Gracias a este proceso se puede obtener resultados confiables en el análisis, incluso mucho más confiables que los presentados por el proceso de refinamiento de malla, ya que un elemento que presenta una relación de aspecto muy elevada entrega resultados falsos debido a la mala conexión que presentan estos elementos. Los valores obtenidos durante la simulación de la cabina para el esfuerzo equivalente de Von Mises máximo son valores pequeños con respecto al límite aparente de elasticidad que establece la normativa española AENOR UNE 13796-1 asegurando que los elementos principales que forman parte de la cabina (piso y perfiles) pueden soportar dicho esfuerzo y no fallan durante el proceso de transporte de pasajeros. Relacionando el esfuerzo real producido con el límite de fluencia aparente se tiene:

$$n = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{VM}} = \frac{0,72 \times 241,24}{27,52} = 6,3$$

Finalmente, el valor del factor de seguridad presente es de 6,3 por lo que los elementos seleccionados para formar parte de la estructura de la cabina son plenamente confiables y cumplen con los requisitos de seguridad mínimos de las diferentes normas que determinan el transporte aéreo de pasajeros.

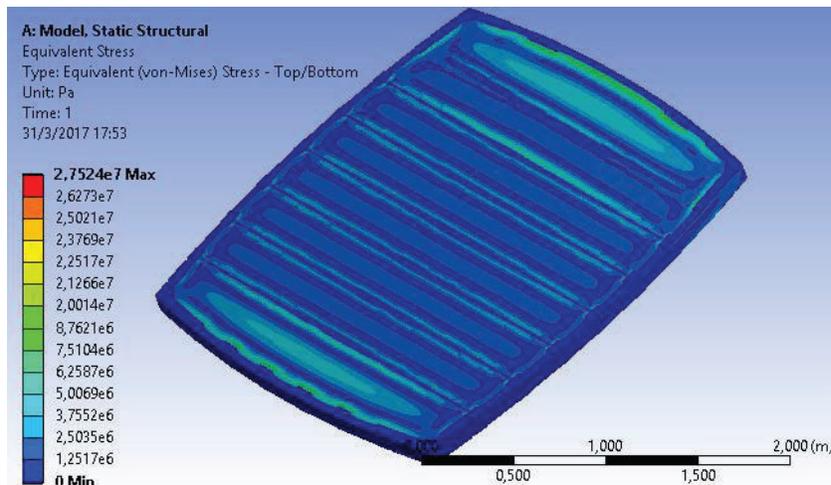


Figura 3.21. Esfuerzo equivalente de Von Mises para el piso de la cabina
 Fuente: Propia (ANSYS)

Una vez garantizada la resistencia estructural es importante verificar la deformación máxima como parámetro de diseño. La deformación total del elemento es de un valor muy pequeño, por lo que los valores presentados pueden ser ampliamente aceptados y no afectan el funcionamiento adecuado de la cabina. La deformación total máxima de la cabina es de 0,814 mm. Los valores finales son mostrados en la Tabla 3.11.

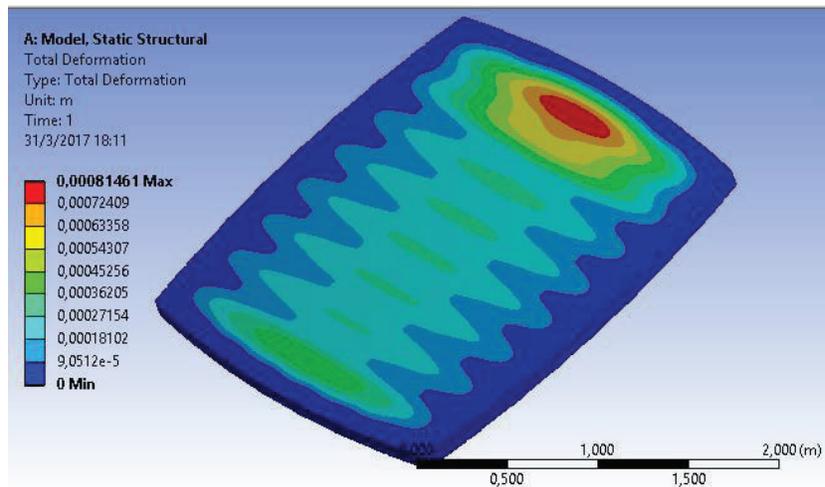


Figura 3.22. Deformación total máxima del piso de la cabina
 Fuente: Propia (ANSYS)

Tabla 3.11 Tabla de resultados de simulación del piso de la cabina

Límite	Deformación total (m)	Esfuerzo equivalente (Von Mises) (MPa)
Mínima	0,00000000	0,000
Máxima	0,00081461	27,52

Fuente: Propia (ANSYS)

3.7. Simulación del elemento de acople cabina-soporte “H”

El elemento de soporte de la cabina se coloca en la esquina superior de esta de tal manera que se soporta todo el peso de la cabina y accesorios, además de la carga producida por el peso de las personas. Adicionalmente, este elemento permite el acople de la cabina con el sistema de soporte denominado “H”. La carga actuante corresponde a un cuarto de la carga total considerando peso de la cabina totalmente cargada (12740 N), equivalente a 3185 N. Este elemento está formado por una placa de aluminio de espesor 10 mm y un perfil rectangular de 95,3x76,2x6,6 de dimensiones, rigidizado por dos placas de espesor 8 mm.

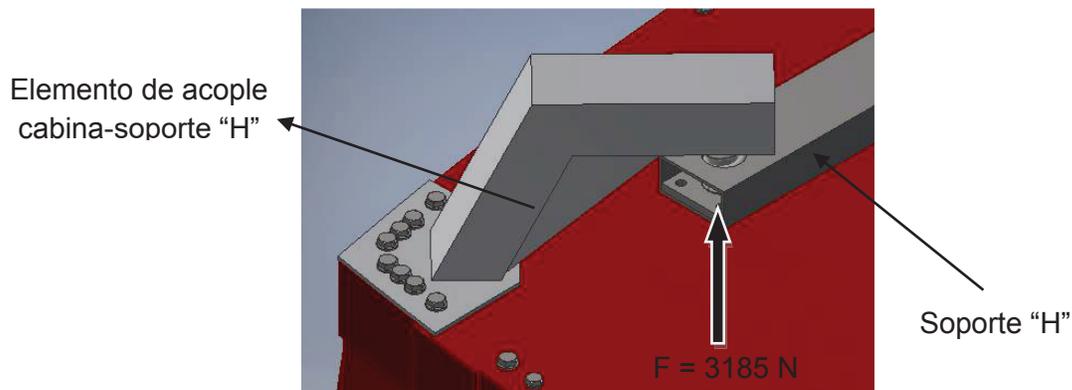


Figura 3.23. Ubicación de la carga actuante sobre el elemento de soporte de la cabina
Fuente: Propia (INVENTOR)

Considerando el mismo criterio utilizado para la simulación del piso de la cabina, se simula este componente generando una malla con un número de elementos equivalente a 71949 elementos y 151293 nodos, produciendo los resultados que se muestran en las Figura 3.24 y Figura 3.25.

$$n = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{VM}} = \frac{0,72 \times 241,24}{55,01} = 3,16$$

El Esfuerzo equivalente de Von Mises presenta un valor máximo de 55,01 MPa en la base del perfil rectangular, asociando este esfuerzo máximo con el límite de elasticidad reducido establecido por la normativa AENOR UNE-EN 13796-1 se obtiene un factor de seguridad de 3,16 el cual es aceptable puesto que con respecto al límite de fluencia real representa un factor de seguridad de 4,39. Por otra parte la deformación máxima para este estado de carga representa un valor pequeño, equivalente a 0,127 mm. Por lo tanto, el diseño se valida con respecto a la resistencia y deformación.

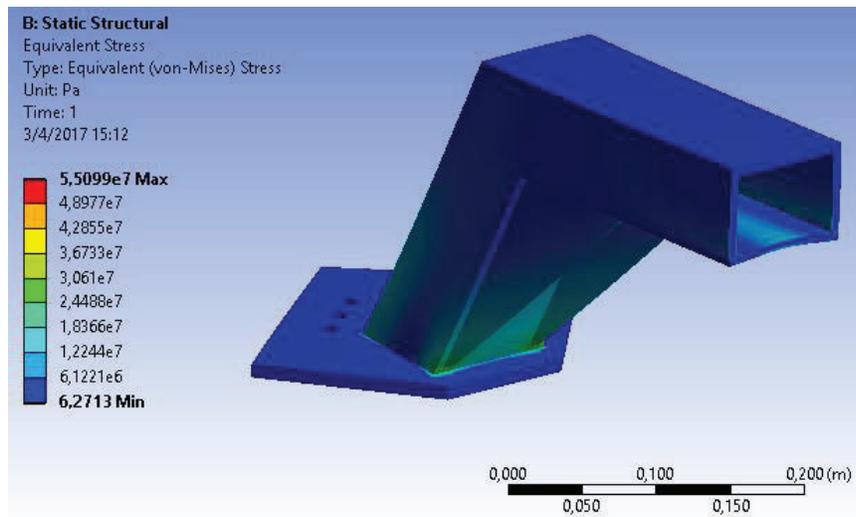


Figura 3.24. Esfuerzo equivalente de Von Mises para el elemento de soporte de la cabina
 Fuente: Propia (ANSYS)

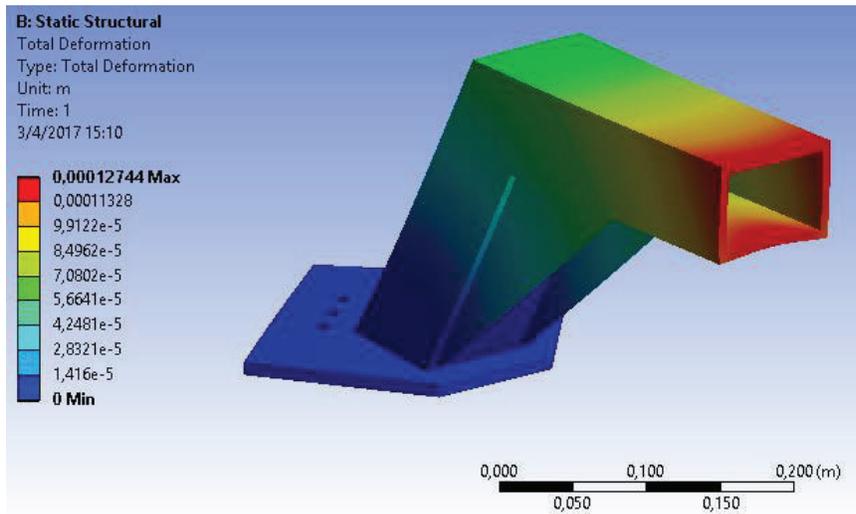


Figura 3.25. Deformación total máxima del elemento de soporte de la cabina
 Fuente: Propia (ANSYS)

Tabla 3.12 Tabla de resultados del soporte de la cabina

Límite	Deformación total (m)	Esfuerzo equivalente (Von Mises) (MPa)
Mínima	0,00000000	0,016
Máxima	0,00012744	55,01

Fuente: Propia (ANSYS)

3.7.1. Diseño del soporte “H”

El diseño de este elemento consiste en determinar las secciones de los perfiles que se van a utilizar en su construcción, consta de un elemento central y dos laterales que le dan la forma

de una letra “H”, de donde proviene su nombre. Para su construcción se van a utilizar perfiles de acero ASTM A572-Gr50 pues se necesita un material con buena resistencia mecánica, alta resistencia a la corrosión y de dimensiones mayores a las disponibles en el mercado nacional para los perfiles de aluminio, además que a diferencia de la cabina el peso no sería un impedimento debido a sus características dimensionales. Las especificaciones de este material se muestran en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Características mecánicas del acero ASTM A572-Gr50

Características mecánicas			
Material	Resistencia a la tracción kg/cm ²	Límite de fluencia kg/cm ²	Densidad g/cm ³
A572	4588	2957	7,85

Fuente: (ASTM, American Society of Testing Materials)

Como se detalló anteriormente, cualquier carga que produzca un efecto giro de la cabina es absorbido por los sistemas de amortiguamiento que se ubican en lugares estratégicos del brazo de acople y pinza desembragable. Sin embargo, en este sistema estructural se instala el dispositivo de amortiguamiento para disipar cargas por el ascenso y descenso de pasajeros y adicionalmente un efecto crítico producido por la incidencia de carga de granizo en el techo de la cabina.

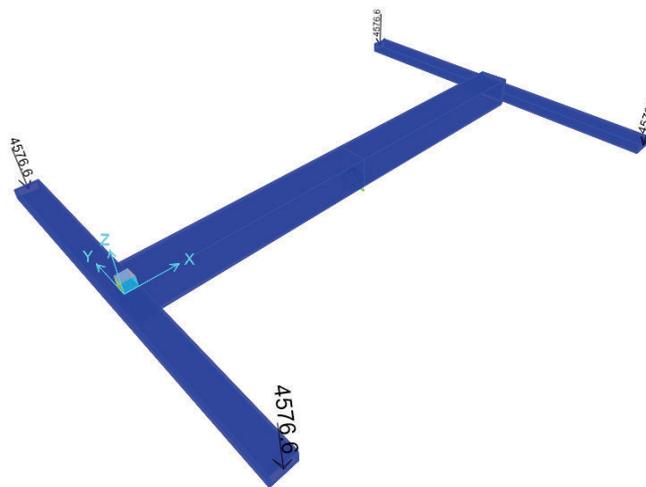


Figura 3.26. Estado de carga del sistema de soporte “H”
Fuente: Propia (SAP2000)

Como se muestra Figura 3.26, la carga puntual que se aplica en cada extremo de los elementos laterales es equivalente a 4576,6 N (un cuarto de la carga total generada por la combinación de carga 4 especificada en la sección 3.4) este valor contempla una posible

carga crítica por el peso propio de la cabina incluido todos sus sistemas auxiliares, carga de las personas a su máxima capacidad y la carga de granizo. En la Tabla 3.14 se muestran las propiedades geométricas y de la sección transversal seleccionadas para los perfiles del soporte.

Tabla 3.14. Características geométricas de los perfiles del soporte “H”

Elemento	Dimensiones mm	Longitud m	Área mm ²	Módulo de sección mm ³	
				Eje 2-2	Eje 3-3
Perfil central	150x150x6	2200	3456	159528,96	159528,96
Perfil lateral	100x70x6	1700	1656	40786,06	50791,04

Fuente: Propia (SAP2000)

Establecido el estado de carga crítica, se determina que los elementos del soporte trabajan únicamente a flexión, con los correspondientes diagramas de momento flector mostrados en la Figura 3.27, como se observa el momento máximo se localiza en el punto medio de los perfiles. Para este estudio se ubica una articulación que restringe la traslación en los todos los ejes en el punto medio del perfil central.

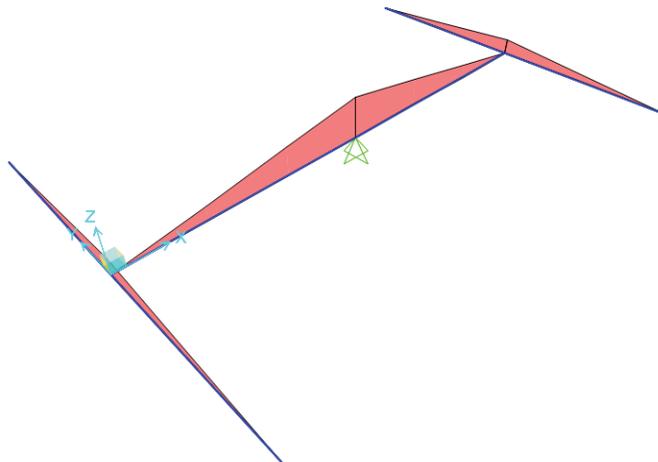


Figura 3.27. Diagrama de momentos flectores del soporte
Fuente: Propia (SAP2000)

Para determinar el factor de seguridad al que trabajará este elemento en la operación de la cabina, es necesario conocer el valor del momento máximo que se produce a lo largo del elemento central y lateral por el estado de cargas definido.

Para efectos de cálculo mediante el programa SAP2000 se determinan los momentos máximos generados en el perfil central es igual a 10068,52 N-m, mientras que para el perfil

lateral se produce un valor máximo de 3890,11 N-m. En las Figura 3.28 y Figura 3.29 se presentan los valores obtenidos para estos elementos.

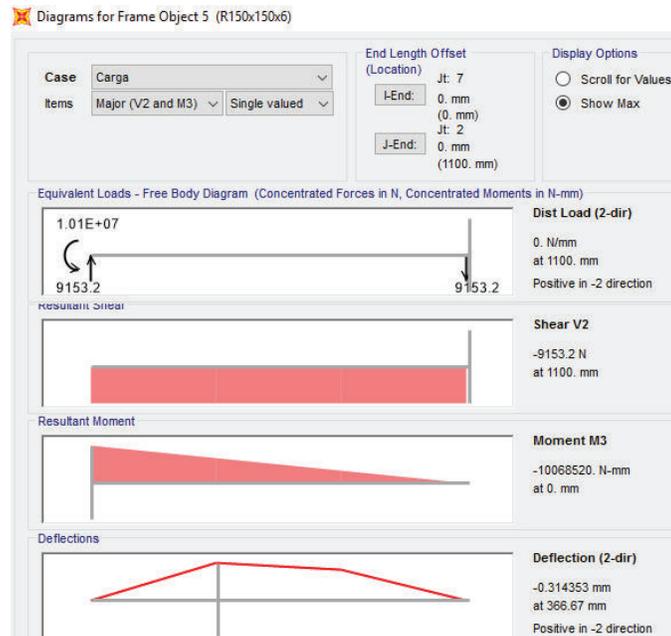


Figura 3.28. Momento flector y deflexión máxima generada en el perfil central.
Fuente: Propia (SAP2000)



Figura 3.29. Momento flector y deflexión máxima generada en el perfil lateral.
Fuente: Propia (SAP2000)

Para determinar el factor de seguridad se establece la relación del esfuerzo normal por flexión con respecto al límite de fluencia del material (345 MPa).

Para el elemento central el esfuerzo máximo de flexión y el factor de seguridad se tiene:

$$\sigma_b = \frac{M_{\max}}{S_{2-2}} = \frac{10068,52}{159528,96} = 63,11 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_b} = \frac{345}{63,11} = 5,46$$

Para los elementos laterales se tiene:

$$\sigma_b = \frac{M_{\max}}{S_{2-2}} = \frac{3890,11}{40786,06} = 95,38 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_b} = \frac{345}{95,38} = 3,62$$

Los factores de seguridad calculados son satisfactorios para todos los elementos bajo la condición crítica de funcionamiento definida. De igual manera se concluye que los valores de deflexión producida en la estructura del soporte "H" son satisfactorios, por lo que se valida el diseño con la geometría determinada.

Tabla 3.15. Tabla resumen del diseño del soporte "H"

Elemento	Momento Flector N-m	Esfuerzo MPa	Factor de Seguridad
Perfil central	10068,52	63,11	5,46
Perfil lateral	3890,11	95,38	3,62

Fuente: Propia (SAP2000)

3.7.2. Cálculo del sistema de amortiguamiento

Del análisis de alternativas se definió que el sistema de amortiguamiento para las variaciones de cargas consta de un resorte, pero adicionalmente se debe añadir elementos que permitan el acople a la estructura del soporte "H" y que sirvan de guía y posicionamiento del resorte para su adecuado funcionamiento como se muestra en la Figura 3.30.

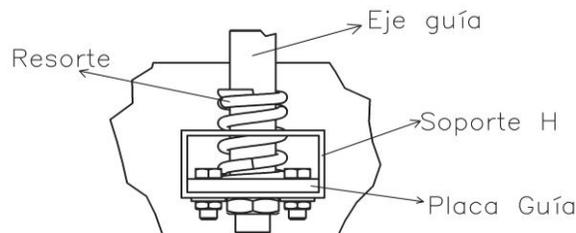


Figura 3.30. Elementos del sistema de amortiguamiento
Fuente: Propia (SAP2000)

Para el dimensionamiento de los resortes es recomendable conocer la función que realizan en las diferentes máquinas que son empleados, siendo elementos flexibles, debido a cargas externas se puede ocasionar grandes deformaciones sin causar transformaciones permanentes. Entre las aplicaciones más importantes se los utiliza como: elementos captadores de energía, sistema de suspensión, elemento motriz y captadores de vibraciones, etc.

Para este proyecto se seleccionará cuatro resortes que soporten el peso de los diez pasajeros como carga externa actuante, además del peso propio como tal de la cabina y todos sus accesorios (por ejemplo: panel solar, baterías solares, sillas, acoples de la puerta, el radio e iluminación, etc.) y la carga dada por un eventual efecto del granizo sobre el techo de la cabina. Iniciando el cálculo, en la Figura 3.31 se muestra el diagrama de cuerpo libre del modelo matemático masa-resorte utilizado para determinar la constante adecuada del resorte, además esta constante será la misma para cada uno debido a que se considera soportan la misma carga.

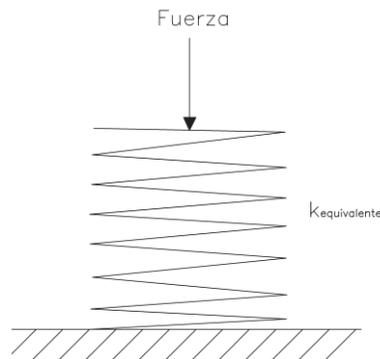


Figura 3.31. Sistema masa-resorte
Fuente: Propia

La constante equivalente del resorte (k_{eq}) corresponde a la sumatoria de la constante de los cuatro resortes que se encuentran en paralelo. En donde $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = k$, se asume esta igualdad porque serán resortes del mismo material y la carga a soportar será la misma.

$$k_{eq} = k_1 + k_2 + k_3 + k_4$$

$$k_{eq} = 4k$$

Donde:

k : Constante del resorte, N/m

Del análisis estático se calcula la constante elástica del resorte, con el cual mediante catálogos se busca un valor similar o mayor que cumpla con los requisitos de diseño.

$$\sum F = 0$$

$$m_c g = \delta k_{eq}$$

$$k_{eq} = \frac{mg}{\delta}$$

$$k_{eq} = \frac{500 \times 9,8}{0,02}$$

$$k_{eq} = 245 \text{ kN} / m$$

$$k = \frac{k_{eq}}{4} = \frac{245000}{4}$$

$$k = 61,25 \text{ kN} / m$$

Con el valor de la constante elástica se determina la deformación total del resorte cuando se le aplica la carga muerta de la estructura de la cabina, el peso de las personas y granizo, con lo cual se encuentra la longitud real deformada en el resorte a carga máxima.

$$m_T g = \delta k_{eq}$$

$$\delta = \frac{m_T g}{k}$$

$$\delta = \frac{325 \times 9,8}{148750}$$

$$\delta = 0,0214 \text{ m}$$

$$\delta = 2,14 \text{ cm}$$

Del catálogo (Spring) se seleccionó un resorte a compresión con una constante elástica de $k=148,75$ kN/m, que trabajará como un amortiguador asegurando que el desplazamiento que se genere por el peso de las personas y el peso muerto generado por la estructura de la cabina sea similar al que se obtuvo, en el Anexo 5 se puede observar las especificaciones técnicas del resorte seleccionado. Para efectos de la verificación estática y dinámica del resorte en la Tabla 3.16 se muestran características físicas necesarias para el análisis.

Tabla 3.16. Características del resorte seleccionado

Material	Constante N/mm	Diámetro del Alambre mm	Longitud sin carga mm	Diámetro exterior nominal mm	Diámetro del Eje mm
Cromo – Silicio	150,51	9,98	177,8	49,78	25,4

Fuente: Propia

Para asegurar el diseño estático y dinámico del resorte es necesario verificar los factores de seguridad en cada caso, como se muestra a continuación:

– Diseño estático

$$\tau_{xy} = k_s \times \frac{8 \times F \times D}{\pi \times d^3} \quad (3.4)$$

Donde:

τ_{xy} :Esfuerzo cortante, MPa

k_s :Factor de multiplicación del esfuerzo cortante

F :Carga sobre el resorte, N

D :Diámetro medio del resorte, mm

d :Diámetro del alambre del resorte, mm

$$D = d_{eje} + d + hol\ gura \quad (3.5)$$

$$D = 25,4 + 9,98 + 0,62 = 36\ mm$$

$$C = \frac{D}{d} \quad (3.6)$$

$$C = \frac{36}{9,98} = 3,6$$

En este caso se utiliza un valor de holgura muy pequeño para garantizar el adecuado movimiento (ascendente y descendente) en la operación de la cabina.

$$k_s = 1 + \frac{0,5}{C} \quad (3.7)$$

$$k_s = 1 + \frac{0,5}{3,6} = 1,14$$

$$\tau_{xy} = 1,14 \times \frac{8 \times 4576,6 \times 36}{\pi \times 9,98^3} = 481,17 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} \quad (3.8)$$

Donde:

S_{ut} : Esfuerzo ultimo a la tracción, MPa

A : Constante en función del material, MPa mm^m

m : Constante adimensional

$$S_{ut} = \frac{1974}{9,98^{0,108}} = 1539,72 \text{ MPa}$$

$$S_y = 0,75 S_{ut} \quad (3.9)$$

$$S_y = 0,75 \times 1578,64 = 1183,98 \text{ MPa}$$

$$S_{sy} = 0,577 S_y \quad (3.10)$$

$$S_{sy} = 0,577 \times 1183,98 = 683,16 \text{ MPa}$$

$$\eta_f = \frac{S_{sy}}{\tau_{xy}} \quad (3.11)$$

$$\eta_f = \frac{683,16}{481,17} = 1,4$$

– Diseño dinámico

$$D = d_{eje} + d + \text{holgura} \quad (3.12)$$

Donde:

D : Diámetro medio del resorte, mm

d : Diámetro del alambre del resorte, mm

C : Índice del resorte

$$D = 25,4 + 9,98 + 0,62 = 36 \text{ mm}$$

$$C = \frac{D}{d} \quad (3.13)$$

$$C = \frac{36}{9,98} = 3,6$$

$$k_B = \frac{4C + 2}{4C - 3} \quad (3.14)$$

$$k_B = \frac{(4 \times 3,6) + 2}{(4 \times 3,6) - 3} = 1,44$$

$$\tau = k_B \frac{8 \times F \times D}{\pi \times d^3} \quad (3.15)$$

Donde:

τ_a : Esfuerzo cortante axial, MPa

k_B : Factor de bergsträsser

F_a : Fuerza axial, N

D : Diámetro medio del resorte, mm

d : Diámetro del alambre del resorte, mm

$$F_a = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2} \quad (3.16)$$

$$F_a = \frac{342 - 125}{2} = 108,5 \text{ kgf}$$

$$F_a = 1063,3 \text{ N}$$

$$F_m = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2} \quad (3.17)$$

$$F_m = \frac{342 + 125}{2} = 233,5 \text{ kgf}$$

$$F_m = 2288,3 \text{ N}$$

$$\tau_a = 1,14 \times \frac{8 \times 1063,3 \times 36}{\pi \times 9,98^3} = 111,79 \text{ MPa}$$

$$\tau_m = 1,14 \times \frac{8 \times 2288,3 \times 36}{\pi \times 9,98^3} = 240,56 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} \quad (3.18)$$

Donde:

S_{ut} : Esfuerzo ultimo a la tracción, MPa

A : Constante en función del material, MPa mm^m

m : Constante adimensional

$$S_{ut} = \frac{1974}{9,98^{0,108}} = 1539,72 \text{ MPa}$$

$$S_y = 0,67 S_{ut} \quad (3.19)$$

$$S_{su} = 0,67 \times 1539,72 = 1031,61 \text{ MPa}$$

$$r = \frac{\tau_a}{\tau_m} \quad (3.20)$$

$$r = \frac{111,79}{240,56} = 0,46$$

$$S_{se} = \frac{S_{sa}}{1 - (S_{sm}/S_{su})^2} \quad (3.21)$$

$$S_{se} = \frac{398}{1 - (534/1031,61)^2} = 543,68 \text{ MPa}$$

$$S_{sa} = \frac{r^2 S_{su}^2}{2S_{se}} \times \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2S_{se}}{rS_{su}} \right)^2} \right] \quad (3.22)$$

$$S_{sa} = \frac{0,46^2 \times 1031,61^2}{2 \times 543,68} \times \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2 \times 543,68}{0,46 \times 1031,61} \right)^2} \right]$$

$$S_{sa} = 310,64 \text{ MPa}$$

$$\eta_f = \frac{S_{sa}}{\tau_a} \quad (3.23)$$

$$\eta_f = \frac{310,64}{111,79} = 2,78$$

Luego de calcular el factor de seguridad tanto para el diseño estático como dinámico se observa que estos valores son mayores a $\eta_f \geq 1,2$ que de acuerdo al libro de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley (Budynas & Nisbett, 2008) satisface las condiciones de diseño.

3.8. Selección del tipo de cubierta para la cabina

3.8.1. Determinación de materiales

Para determinar los materiales que forman parte del recubrimiento de la cabina es necesario tomar en cuenta todas las propiedades de varios tipos de materiales y compararlas para elegir los que mejor se adapten al diseño óptimo de la cabina ya que dichos materiales determinan el peso de la cabina y con esta información se podrá realizar un modelado de la cabina cercano a la realidad. Es necesario tomar en cuenta además la duración de estos materiales a largo plazo y su comportamiento frente a condiciones climáticas.

Después de realizar un estudio de varios materiales se han elegido los que se describen a continuación:

Fibra de vidrio tipo E: para la construcción de la cabina se utiliza la fibra de vidrio en vista de sus propiedades que resiste altas temperaturas, tiene gran flexibilidad, resistencia a la tracción y además de su peso ligero.

Tabla 3.17. Propiedades de la fibra de vidrio

Propiedad	
Alargamiento a la rotura (%)	4,5
Resistencia a la tracción (MPa)	3445
Densidad (kg/m ³)	2520

Fuente: (Armijos & Ramírez, 2009)

Tras realizar una comparación con la fibra de carbono que de igual manera presenta excelentes propiedades mecánicas, como se presenta a continuación:

Tabla 3.18. Propiedades de la fibra de carbono.

Propiedad	
Alargamiento a la rotura (%)	3,5
Resistencia a la tracción (MPa)	3500
Densidad (kg/m ³)	1750

Fuente: (Materiales compuestos)

Ambos materiales cumplen con los requerimientos para la construcción de la cabina, sin embargo la fibra de vidrio al ser más económica y presentar propiedades similares a la fibra de carbono se convierte en la candidata adecuada para formar parte del recubrimiento de la cabina, cumpliendo con los requerimientos de seguridad necesarios para el transporte de pasajeros.

Acrílico de alto impacto: Se utiliza este material para las ventanas gracias a las distintas ventajas que entregan sus propiedades, es de gran transparencia, elevada resistencia al impacto y bajo peso.

Tabla 3.19. Propiedades del acrílico de alto impacto.

Propiedad	
Alargamiento a la rotura (%)	2,5-4
Resistencia a la tracción, kg/m ³	700
Dureza rockwell	M100
Densidad, (kg/m ³)	1200

Fuente: (Armijos & Ramírez, 2009)

3.8.2. Determinación del peso del recubrimiento de la cabina

Para el cálculo del peso del recubrimiento de la cabina es necesario conocer la densidad tanto del acrílico como de la fibra de vidrio y el área ocupada por estos dos recubrimientos.

Tanto la fibra de vidrio como el acrílico deben tener un espesor de 5 mm, lo que permite que la cabina sea resistente y ligera al mismo tiempo.

$$A_{fibra\ de\ vidrio} = 9,639\ m^2$$

$$A_{acrílico} = 8,745\ m^2$$

La densidad de la fibra de vidrio, su espesor y el área que ocupa en el sistema permite calcular el peso total de este recubrimiento de la siguiente manera:

$$P_{fibra\ de\ vidrio} = A_{fibra\ de\ vidrio} \times e_{fibra\ de\ vidrio} \times \delta_{fibra\ de\ vidrio} \quad (3.24)$$

$$P_{fibra\ de\ vidrio} = 8,745 \times 0,005 \times 2520$$

$$P_{fibra\ de\ vidrio} = 110,2\ kg$$

Para determinar el peso de las ventanas hechas de láminas de acrílico de alto impacto se realizan los siguientes cálculos.

$$P_{acrílico} = A_{acrílico} \times e_{acrílico} \times \delta_{acrílico} \quad (3.25)$$

$$P_{acrílico} = 9,639 \times 0,005 \times 1200$$

$$P_{acrílico} = 57,834\ kg$$

Una vez obtenidos los valores correspondientes al peso de la cabina se puede realizar una simulación más real de la cabina, tomando en cuenta también los valores de las demás cargas que influyen en el sistema. Además se debe considerar el valor del peso de las puertas deslizantes de la cabina.

3.9. Cálculo y diseño de juntas empernadas

Son conexiones que permiten unir dos o más elementos mediante pernos, lo que facilita el montaje, desmontaje y mantenimiento de las mismas. Existen diferentes tipos de pernos que se pueden utilizar para las uniones. Sin embargo para el desarrollo del presente capítulo se toman en cuenta los pernos de alta resistencia, los mismos que son fabricados con aceros aleados y son tratados térmicamente para incrementar sus propiedades mecánicas. Para obtener la resistencia de una junta empernada generalmente se lo realiza tomando como base la resistencia de los medios de unión individuales y las piezas conectadas.

3.9.1. Uniones con tornillos sin pretensar

Son las uniones más comúnmente utilizadas ya que cuestan poco dinero y son fáciles de montar. Con frecuencia se puede referir a las uniones efectuadas con este tipo de tornillo como “uniones resistentes por cortadura”, para distinguirlas de las uniones resistentes al deslizamiento que utilizan tornillos pretensados. En caso de arrostros para las cargas de vientos y/o de imperfecciones, pueden utilizarse uniones resistentes por cortadura. (Instituto Técnico de la Estructura en Acero, 2015).

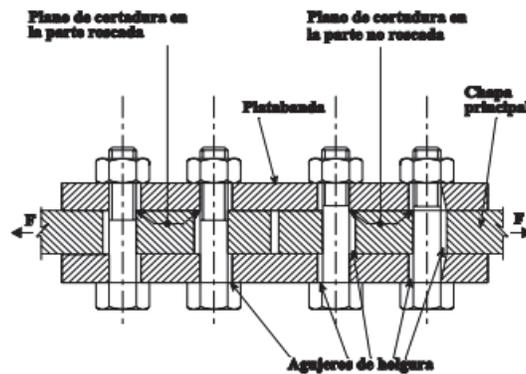


Figura 3.32. Esquema de transmisión de esfuerzos
Fuente (Instituto Técnico de la Estructura en Acero, 2015)

Para el presente proyecto se utilizan pernos de acero inoxidable, cuya compatibilidad con el aluminio ha sido comprobada científicamente bajo varias investigaciones que, tras analizar el comportamiento corrosivo del aluminio junto con el acero inoxidable, se puede afirmar que son completamente compatibles. Los ambientes corrosivos a los que se puede ver sometida la cabina por encontrarse al aire libre, pueden ser superados gracias a la gran afinidad entre estos dos materiales, además de que cada uno, individualmente son muy resistentes a la acción corrosiva por la que pueden ser afectados por encontrarse en un ambiente abierto.

Material de superficie grande	Material de superficie pequeña				
	Acero al carbono / hierro fundido	Zn / acero galvanizado	Al	Cu	Acero inoxidable
Acero al carbono / hierro fundido	+	-	-	+	+
Zn / acero galvanizado	+	+	+	o	+
Al	o / -	o	+	o / -	+
Cu	-	-	-	+	+
Acero inoxidable	-	-	o / -	+	+

Clave: + bueno o dudoso - malo
* Aunque combinar estos metales tiene una influencia insignificante sobre los materiales, estas uniones no se recomiendan debido a la elevada autocorrosión del metal menos noble.

Figura 3.33. Compatibilidad del aluminio con otros materiales
Fuente: (Euro, 2010)

3.9.2. Uniones con tornillos pretensados

En el caso de una unión cuyas piezas están sometidas a una inversión de la carga o a carga dinámica, una unión resistente por cortadura, que actúa por tensión tangencial en el tornillo y compresión en las paredes del agujero de las chapas, se debe pretensar los tornillos, sin embargo, por lo que existe un apriete entre las piezas conectadas que permite la transmisión de carga por rozamiento. Los tornillos pretensados ejercen una fuerza de compresión en la unión. Lo que provoca gran resistencia por rozamiento, que a su vez permite la transmisión de carga entre las piezas unidas. El apriete controlado de los tornillos permite cuantificar el rozamiento para la comprobación. Las ventajas principales de las uniones pretensadas son su mayor rigidez y su capacidad de resistir esfuerzos alternativos periódicos. Su comportamiento bajo sollicitaciones de fatiga también es mejor que el de las uniones que no cuentan con tornillos pretensados.

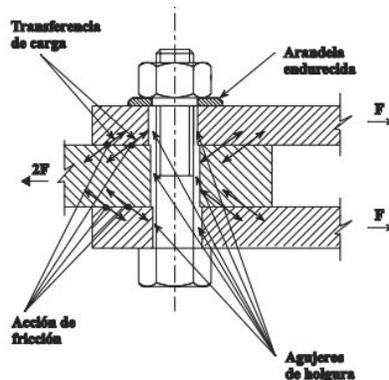


Figura 3.34. Uniones con pernos pretensados
Fuente (Instituto Técnico de la Estructura en Acero, 2015)

La fuerza de pretensado de cálculo de un tornillo viene dada por:

$$F_p C_d = 0,7 f_{ub} \times A_s \quad (3.26)$$

Donde:

A_s : Área resistente a tracción del tornillo, m^2

f_{ub} : Capacidad última del tornillo

3.9.3. Resistencia al aplastamiento

La fluencia generada por la presión entre la espiga del tornillo y el material base puede provocar una deformación en el agujero del tornillo y, posiblemente, cierta distorsión del propio tornillo. El área que resiste la presión se supone que es el producto del espesor de la chapa por el diámetro nominal del tornillo. La presencia de roscas en la longitud de apretadura no afecta de forma significativa la resistencia del apoyo pero originará cierto aumento en la deformación. Si la resistencia a corte es mayor que la resistencia a aplastamiento de las chapas, tendrá lugar uno de los modos de agotamiento. (Instituto Técnico de la Estructura en Acero, 2015)

Para calcular la resistencia al aplastamiento de una junta soldada se debe tomar en cuenta el esfuerzo último del metal base, dicha resistencia debe ser menor o igual a 1,2 veces el esfuerzo del metal base.

$$F_p \leq 1,2S_u \quad (3.27)$$

Sin embargo es poco común que las juntas fallen porque se ha superado el esfuerzo permisible de aplastamiento. Por lo que se considera al mencionado esfuerzo F_p como un índice de eficiencia de la unión emperrada y no como un esfuerzo permisible en realidad. (Mc Cormac & Csernak, 2013)

3.9.4. Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción axial de un tornillo se basa en el área resistente a tracción (A_s)

$$F_t = fub \times A_s \quad (3.28)$$

Sin embargo, después de realizar un estudio estadístico basada en el método experimental, se llega a la conclusión de que es necesario aplicar la fórmula:

$$F_t = 0,9 fub \times A_s \quad (3.29)$$

Cuando la línea de acción de la fuerza aplicada es excéntrica al eje del tornillo, se induce en el mismo una tracción adicional a causa del efecto.

3.9.5. Comprobación de uniones

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \times n \times \mu}{\gamma_{M3}} \times F_{p,Cb} \quad (3.30)$$

k_s : Coeficiente de valor 1, para taladros con holguras normales.

n : Es el número de superficies en contacto entre las que se produce la fuerza de rozamiento. 1 en caso de existir una superficie interior en contacto, 2 en caso de existir dos superficies interiores en contacto.

μ : Coeficiente de rozamiento que depende del tratamiento superficial de cada pieza.

- Superficie clase A: tratados con chorro de granalla o arena, superficies metalizadas con aluminio proyectado. $\mu = 0,5$
- Superficie clase B: tratadas con chorros de granalla o arena y pintadas con silicato alcalino de zinc. $\mu = 0,4$
- Superficie clase C: limpiadas con cepillo de púas metálicas. $\mu = 0,3$
- Superficie clase D: superficie sin tratar. $\mu = 0,2$

$F_{p,Cb}$: Axil de pretensado de los tornillos.

γ_{M3} : Coeficiente de minoración del acero estructural para uniones de valor igual a 1,25 para la resistencia al deslizamiento.

3.9.6. Cálculo de uniones empernadas

Para el cálculo de las uniones empernadas presentes en la cabina se utilizan las propiedades mecánicas del acero inoxidable 304, de acuerdo a la norma DIN 933 que son las siguientes:

- Resistencia a la fluencia 310 MPa (45 ksi)
- Resistencia máxima 620 MPa (90 ksi)
- Elongación 30% (en 50 mm)
- Reducción de área 40%

- Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 ksi)
- Densidad 7,8 g/cm³ (0,28 lb/in³)

Para el cálculo de dichas uniones, se utilizan los pernos de clase 10.9 los mismos que en el mercado presentan mayor resistencia y calidad. A continuación se presentan las siguientes uniones empernadas que se encuentran en el diseño de la estructura de la cabina.

- Unión empernada 1

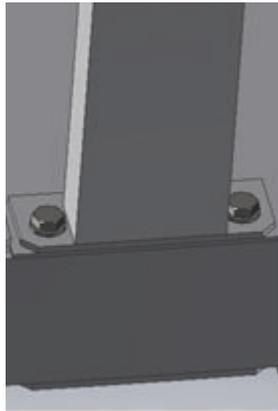


Figura 3.35. Junta empernada 1.
Fuente: Propia

$$e_1 = 5 \text{ mm}$$

$$e_2 = 101,6 \text{ mm}$$

$$e_3 = 5 \text{ mm}$$

$$F = 999,62 \text{ N} = 224,4 \text{ lbf}$$

$$M = 245172,09 \text{ N.m}$$

$$\tau_p = \frac{F}{A} \leq [\tau] = \frac{S_{yc}}{FS} \quad (3.31)$$

Perno calidad 10.9

$$S_{ut} = 1000 \text{ N/mm}^2 = 143 \text{ ksi}$$

$$S_y = 0,75S_{ut} \quad (3.32)$$

$$S_y = 107,25 \text{ ksi}$$

$$S_{yc} = 0,6S_y \quad (3.33)$$

$$S_{yc} = 64,35 \text{ ksi}$$

$$[\tau] = \frac{S_{yc}}{FS} \quad (3.34)$$

Se asume un factor de seguridad $FS = 5$

$$[\tau] = 12,87 \text{ ksi}$$

$$A_c \geq \frac{F}{[\tau]} \quad (3.35)$$

$$A_c \geq \frac{0,2244}{12,87} = 0,0174$$

$$A_c = 0,0174 \frac{\pi}{4} D^2 \quad (3.36)$$

$$D_p \geq \sqrt{\frac{4 \times 0,0174}{\pi}}$$

$$D_p \geq 0,417 \text{ plg} = 10,6 \text{ mm}$$

Se elige un perno de 12 mm de acero inoxidable que presenta las siguientes características:

$$- F_{p,Cb} = 59000 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$- A_s = 58 \text{ mm}^2$$

Fuerza cortante

$$S_{yc} = 64,35 \text{ ksi}$$

Factor de seguridad corregido

$$\tau_p = \frac{F}{A_c} = \frac{0,444}{\frac{\pi}{4} \times 0,472^2} = 8,65 \text{ ksi}$$

$$FS_c = \frac{64,35}{8,65} = 7,44$$

Resistencia al deslizamiento $F_{s,Rd}$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \times \eta \times \mu}{\gamma_{M3}} F_{P,Cb}$$

$$F_{s,Rd} = \frac{1 \times 2 \times 0,5}{1,25} \times 59000$$

$$F_{s,Rd} = 47200 \text{ N}$$

– Unión empernada 2

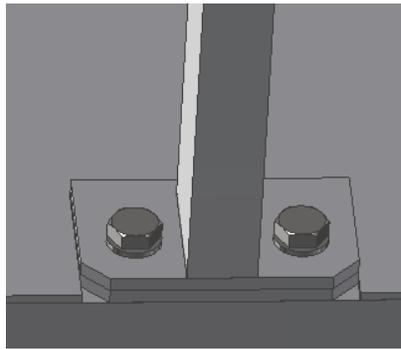


Figura 3.36. Junta empernada tipo 2.
Fuente: Propia

$$e_1 = 5 \text{ mm}$$

$$e_2 = 101,6 \text{ mm}$$

$$e_3 = 5 \text{ mm}$$

$$e_4 = 5 \text{ mm}$$

$$F = 1062,88 \text{ N} = 0,2389 \text{ klb}$$

$$M = 124,169 \text{ N.m}$$

$$\tau_p = \frac{F}{A} \leq [\tau] = \frac{S_{yc}}{FS}$$

Perno calidad 10.9

$$S_{ut} = 1000 \text{ N} / \text{mm}^2 = 143 \text{ ksi}$$

$$S_y = 0,75S_{ut}$$

$$S_y = 107,25 \text{ ksi}$$

$$S_{yc} = 0,6S_y$$

$$S_{yc} = 64,35 \text{ ksi}$$

$$[\tau] = \frac{S_{yc}}{FS}$$

Se asume un factor de seguridad $FS = 5$

$$[\tau] = 12,87 \text{ ksi}$$

$$A_c \geq \frac{F}{[\tau]}$$

$$A_c \geq \frac{0,2389}{12,87} = 0,018$$

$$A_c = 0,018 \frac{\pi}{4} D^2$$

$$D_p \geq \sqrt{\frac{4 \times 0,018}{\pi}}$$

$$D_p \geq 0,329 \text{ plg} = 8,38 \text{ mm}$$

Se elige un perno de 10 mm de acero inoxidable que presenta las siguientes características:

– $F_{P,Cb} = 40000 \text{ N} / \text{mm}^2$

– $A_s = 58 \text{ mm}^2$

Fuerza cortante

$$S_{yc} = 64,35 \text{ ksi}$$

Factor de seguridad corregido

$$\tau_p = \frac{F}{A_c} = \frac{0,2389}{\frac{\pi}{4} \times 0,394^2} = 7,57 \text{ ksi} \leq [\tau] = \frac{S_{yc}}{FS_c}$$

$$FS_c = \frac{64,35}{8,65} = 8,50$$

Resistencia al deslizamiento $F_{s,Rd}$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \times \eta \times \mu}{\gamma_{M3}} F_{P,Cb}$$

$$F_{s,Rd} = \frac{1 \times 2 \times 0,5}{1,25} \times 40000$$

$$F_{s,Rd} = 32000 \text{ N}$$

– Unión emperrada 3

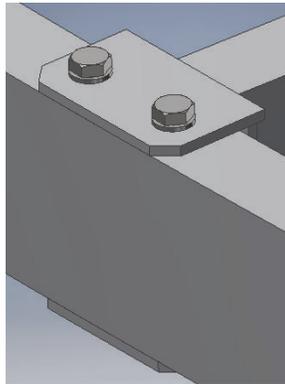


Figura 3.37. Junta emperrada tipo 3.
Fuente: Propia

$$e_1 = 5 \text{ mm}$$

$$e_2 = 101,6 \text{ mm}$$

$$e_3 = 5 \text{ mm}$$

$$e_4 = 3 \text{ mm}$$

$$F = 229,27 \text{ N} = 0,05154 \text{ klf}$$

$$M = 48747,55 \text{ N.m}$$

$$\tau_p = \frac{F}{A} \leq [\tau] = \frac{S_{yc}}{FS}$$

Perno calidad 10.9

$$S_{ut} = 1000 \text{ N/mm}^2 = 143 \text{ ksi}$$

$$S_y = 0,75S_{ut}$$

$$S_y = 107,25 \text{ ksi}$$

$$S_{yc} = 0,6S_y$$

$$S_{yc} = 64,35 \text{ ksi}$$

$$[\tau] = \frac{S_{yc}}{FS}$$

Se asume un factor de seguridad $FS = 5$

$$[\tau] = 12,87 \text{ ksi}$$

$$A_c \geq \frac{F}{[\tau]}$$

$$A_c \geq \frac{0,05154}{12,87} = 0,004$$

$$A_c = 0,004 \frac{\pi}{4} D^2$$

$$D_p \geq \sqrt{\frac{4 \times 0,004}{\pi}}$$

$$D_p \geq 0,317 \text{ plg} = 8,05 \text{ mm}$$

Se elige un perno de 10 mm de acero inoxidable que presenta las siguientes características:

- $F_{P,Cb} = 40000 \text{ N/mm}^2$
- $A_s = 58 \text{ mm}^2$

Fuerza cortante

$$S_{yc} = 64,35 \text{ ksi}$$

Factor de seguridad corregido

$$\tau_p = \frac{F}{A_C} = \frac{0,05154}{\frac{\pi}{4} \times 0,394^2} = 6,65 \text{ ksi} \leq [\tau] = \frac{S_{yc}}{FS_c}$$

$$FS_c = \frac{64,35}{8,65} = 9,67$$

Resistencia al deslizamiento $F_{s,Rd}$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \times \eta \times \mu}{\gamma_{M3}} F_{P,Cb}$$

$$F_{s,Rd} = \frac{1 \times 2 \times 0,5}{1,25} \times 40000$$

$$F_{s,Rd} = 32000 \text{ N}$$

– Unión emperrada 4



Figura 3.38. Junta emperrada tipo 4.
Fuente: Propia

$$e_1 = 5 \text{ mm}$$

$$e_2 = 101,6 \text{ mm}$$

$$e_3 = 5 \text{ mm}$$

$$F = 183,90 \text{ N} = 0,04134 \text{ k}lbf$$

$$M = 19769,2 \text{ N.m}$$

$$\tau_p = \frac{F}{A} \leq [\tau] = \frac{S_{yc}}{FS}$$

Perno calidad 10.9

$$S_{ut} = 1000 \text{ N} / \text{mm}^2 = 143 \text{ ksi}$$

$$S_y = 0,75S_{ut}$$

$$S_y = 107,25 \text{ ksi}$$

$$S_{yc} = 0,6S_y$$

$$S_{yc} = 64,35 \text{ ksi}$$

$$[\tau] = \frac{S_{yc}}{FS}$$

Se asume un factor de seguridad $FS = 5$

$$[\tau] = 12,87 \text{ ksi}$$

$$A_c \geq \frac{F}{[\tau]}$$

$$A_c \geq \frac{0,05154}{12,87} = 0,003$$

$$A_c = 0,003 \frac{\pi}{4} D^2$$

$$D_p \geq \sqrt{\frac{4 \times 0,003}{\pi}}$$

$$D_p \geq 0,300 \text{ plg} = 7,62 \text{ mm}$$

Se elige un perno de 10 mm de acero inoxidable que presenta las siguientes características:

- $F_{P,Cb} = 40000 \text{ N} / \text{mm}^2$
- $A_s = 58 \text{ mm}^2$

Fuerza cortante

$$S_{yc} = 64,35 \text{ ksi}$$

Factor de seguridad corregido

$$\tau_p = \frac{F}{A_C} = \frac{0,05154}{\frac{\pi}{4} \times 0,394^2} = 6,65 \text{ ksi} \leq [\tau] = \frac{S_{yc}}{FS_c}$$

$$FS_c = \frac{64,35}{8,65} = 9,67$$

Resistencia al deslizamiento $F_{s,Rd}$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \times \eta \times \mu}{\gamma_{M3}} F_{P,Cb}$$

$$F_{s,Rd} = \frac{1 \times 2 \times 0,5}{1,25} \times 40000$$

$$F_{s,Rd} = 32000 \text{ N}$$

- Unión Empernada 5

Para el cálculo de las uniones atornilladas de este tipo se asume una fuerza que soporta la cabina tomando en cuenta, el peso de la cabina, el peso de los pasajeros y un peso adicional como respaldo de seguridad para los cálculos realizados.

La fuerza que soporta cada junta empernada tipo 5 es de 7503,8 N la cual se obtuvo de la simulación con el programa SAP2000, esta se divide para seis que es el número de pernos considerado para el análisis de la junta como se muestra en la Figura 3.39:

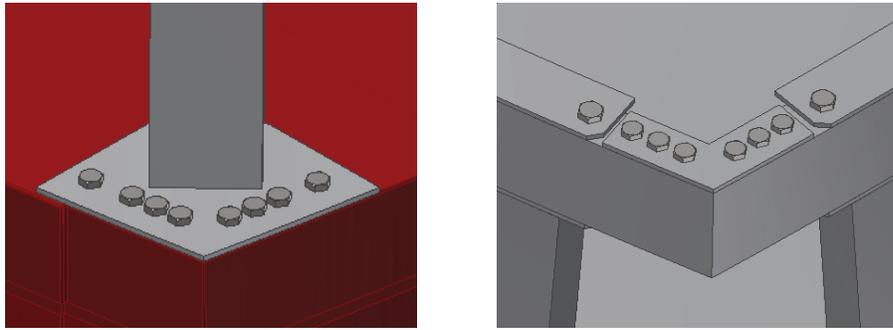


Figura 3.39 Junta emperrada tipo 5

Fuente: Propia

De igual manera en esta figura se muestra que el elemento de acople de la cabina con el soporte H es integrado utilizando los pernos calculados para cada junta tipo, por lo que no es necesario generar una junta tipo adicional.

$$e_1 = 5 \text{ mm}$$

$$e_2 = 101,6 \text{ mm}$$

$$e_3 = 5 \text{ mm}$$

$$F = 1250 \text{ N} = 1,686 \text{ klb}$$

$$M = 19769,2 \text{ N.m}$$

$$\tau_p = \frac{F}{A} \leq [\tau] = \frac{S_{yc}}{FS}$$

Perno calidad 10.9

$$S_{ut} = 1000 \text{ N} / \text{mm}^2 = 143 \text{ ksi}$$

$$S_y = 0,75S_{ut}$$

$$S_y = 107,25 \text{ ksi}$$

$$S_{yc} = 0,6S_y$$

$$S_{yc} = 64,35 \text{ ksi}$$

$$[\tau] = \frac{S_{yc}}{FS}$$

Se asume un factor de seguridad $FS = 5$

$$[\tau] = 12,87 \text{ ksi}$$

$$A_c \geq \frac{F}{[\tau]}$$

$$A_c \geq \frac{1,686}{12,87} = 0,131$$

$$A_c = 0,131 \frac{\pi}{4} D^2$$

$$D_p \geq \sqrt{\frac{4 \times 0,222}{\pi}}$$

$$D_p \geq 0,408 \text{ plg} = 10,37 \text{ mm}$$

Se elige un perno de 12 mm de acero inoxidable que presenta las siguientes características:

- $F_{P,Cb} = 59000 \text{ N} / \text{mm}^2$
- $A_s = 84,3 \text{ mm}^2$

Fuerza cortante

$$S_{yc} = 64,35 \text{ ksi}$$

Factor de seguridad corregido

$$\tau_p = \frac{F}{A_c} = \frac{0,1,686}{\frac{\pi}{4} \times 0,474^2} = 9,63 \text{ ksi} \leq [\tau] = \frac{S_{yc}}{FS_c}$$

$$FS_c = \frac{64,35}{9,63} = 6,68$$

Resistencia al deslizamiento $F_{s,Rd}$

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \times \eta \times \mu}{\gamma_{M3}} F_{P,Cb}$$

$$F_{s,Rd} = \frac{1 \times 2 \times 0,5}{1,25} \times 59000$$

$$F_{s,Rd} = 47200 \text{ N}$$

En la tabla se muestra los valores correspondiente a los diámetros calculas para las juntas tipo empernadas.

Tabla 3.20 Tabla resumen de los pernos calculados

Junta	Descripción	Diámetro del perno mm
Tipo 1	Junta de unión columnas con marcos principales	12
Tipo 2	Junta de unión elementos verticales secundarios con marcos secundarios	10
Tipo 3	Junta de unión elementos marcos secundarios con columnas	10
Tipo 4	Junta de unión elementos horizontales con marcos principales	10
Tipo 5	Junta de unión elementos marco principal con acople de cabina	12

Fuente: Propia

3.10. Cálculo y diseño de juntas soldadas

Para el diseño de las juntas soldadas, se requiere realizar la especificación del procedimiento de soldadura mediante un WPS, para las uniones que requieren ser soldadas en la estructura de la cabina las cuales están sometidas a cargas estáticas y cíclicas, en base a los criterios establecidos por la norma AWS D1.2 para soldaduras de aluminio.

3.10.1. Material base

En el transcurso del diseño de la cabina se definieron los materiales de acuerdo a los requerimientos de resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y su peso, de los catálogos existentes en el mercado. Para el material base se utilizaron perfiles rectangulares de Aluminio (6061-T6) que cumple con las necesidades requeridas.

3.10.2. Material de aporte

Para determinar el material de aporte se verifica la relación entre el material base y el metal de aporte, de acuerdo a la tabla 4.2 de la norma AWS D1.2 en la que especifica que se

puede utilizar un material de aporte ER 4043 o ER 5356 que son la mejor opción para soldar aplicaciones estructurales.

Dependiendo de la conductividad como resistencia con la que se va trabajar el material de aporte es recomendable utilizar un electrodo ER 4043 que permite garantizar una excelente penetración. Para la soldar aluminio se requiere de un gas de protección para tener un cordón de soldadura con una penetración de raíz profunda y evitar la porosidad.

El metal de aporte debe tener bajos niveles de magnesio, en la tabla se puede observar las características de los electrodos:

Tabla 3.21. Propiedades del electrodo ER 4043 y ER 5356

	ER 4043	ER 5356
Resistencia a la tracción (psi)	25,5	40,5
Límite de fluencia (psi)	12	21
Elongación	9%	27%

Fuente: Propia

3.10.3. Posición de soldadura

Del análisis constructivo de los diferentes elementos que forman parte de la estructura de la cabina se tiene dos juntas tipo importantes que se pueden realizar en taller. Para las juntas de los elementos estructurales la posición de soldadura podrá estar calificada como:

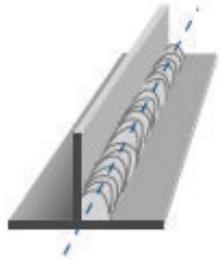
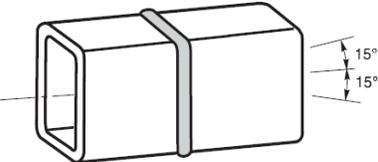
- Plana (F)
- Horizontal (H)

En la posición plana en donde la progresión para todos los pases de soldaduras tendrá que considerarse el metal base como soporte para soldar ya que el metal de aporte se deposita sobre el mismo.

En la posición horizontal en donde la progresión para todos los pases de soldadura tendrá que considerarse que el metal base actúa como soporte parcialmente mientras el metal de aporte es depositado sobre el mismo y también se lo usa como ayuda al instante de soldar.

Las juntas de soldaduras requeridas para el diseño de los elementos estructurales de la cabina se muestran en la Tabla 3.22, la cual se encuentra definida bajo los parámetros de la Tabla 3.3 de la norma AWS D1.3.

Tabla 3.22. Posiciones de Soldadura

Tipo de soldadura	Posición	Esquema
Junta filete con penetración parcial	2F	
Junta a tope con penetración completa	1F	
Junta de penetración completa para uniones tubulares	1G	

Fuente: Propia

3.10.4. Rango de espesor y diámetro calificado

Definido los espesores de diseño de los elementos que conforman la cabina y con las especificaciones de la Tabla 3.4 de la norma AWS D1.2 para el tipo de juntas que se requiere utilizar en el diseño de la estructura de la cabina y por ser una variable esencial que no se puede modificar, como se describe a continuación en la Tabla 3.23:

Tabla 3.23. Rango de espesores

Junta	Rango de espesor	Ubicación
Junta filete con penetración completa para uniones no tubulares	$3 \leq T \leq 10$	Perfil horizontal secundario
Junta tope con penetración completa para uniones no tubulares	$3 \leq T \leq 10$	Acople con marco principal

Fuente: Propia

3.10.5. Diseño de juntas con penetración completa para uniones tubulares y no tubulares

Para el diseño de las juntas filete con penetración completa para uniones no tubulares que serán diseñadas bajo cargas estáticas y cíclicas en los diferentes elementos de la estructura de la cabina. De las especificaciones establecidas en la sección 4.16.2 de la norma, para una soldadura filete entre placas que tengan un espesor menor a 3 pulgadas, la separación no deberá exceder los 2 mm, se debe evitar sobrepasar las dimensiones de la garganta cuando se deposita el material de aporte.

Para el diseño de juntas a tope de acuerdo a las especificaciones en la norma AWS D1.2, se debe preparar los bordes de las piezas y se debe tomar en cuenta los requerimientos aplicables de la sección 4.16.1.3.

3.10.6. Pre calentamiento y temperatura entre pases

De acuerdo a las especificaciones de la norma AWS D1.2 (Code Aluminum, 2014) sección 4.9, para las aleaciones de aluminio de la serie 500 que cuenta con más del 3% de magnesio, la temperatura de pre calentamiento y temperatura entre pases no debe exceder 250°F y el tiempo de exposición no debe exceder los 15 minutos.

Para este caso el material base posee entre 0,8 - 1,2 % de magnesio la temperatura de pre calentamiento y entre pases no debe ser mayor a los 100°F como se indica en la Tabla 3.1 de la norma AWS D1.2 (Code Aluminum, 2014).

3.10.7. Inspección de soldadura

Un cordón de soldadura puede ser evaluado mediante diferentes ensayos que le permite al inspector detectar si existe la presencia de discontinuidades que pueden estar vinculados con las dimensiones, técnica de soldadura y otras que se encuentran relacionadas con la presencia de defectos de soldadura.

La importancia de realizar una inspección al cordón de soldadura es para determinar si el mismo cumple con los requisitos de calidad para desempeñar correctamente las funciones a las cuales estará sometido. La calidad se determina mediante la comparación de sus características con las establecidas en la norma AWS D1.2 parte 3.

Para que una calificación de una junta soldada aceptable mediante inspección visual, deberá cumplir con los requerimientos de la norma que se observa en la siguiente Figura 3.40:

Table 5.3
Visual Inspection Acceptance Criteria (see 5.14) (Dimensions in inches [mm])

Issue	Statically Loaded Structures	Cyclically Loaded Structures
Cracks	None	None
Fusion between adjacent layers of weld metal and between weld metal and base metal	Required	Required
Fillet maximum convexity		
Width of Weld Face or Individual Surface Bead	Maximum Convexity	Maximum Convexity
≤5/16 [8]	1/16 [2]	1/16 [2]
>5/16 [8] to <1 [25]	1/8 [3]	1/8 [3]
≥1 [25]	3/16 [5]	3/16 [5]
Fillet maximum concavity	Throat shall not be underrsize	Throat shall not be underrsize
Craters	Underfilled craters in fillet welds are acceptable	Craters must be filled
Fillet weld maximum underrsize over no more than 10% of the weld length		
Specified Weld Size	Maximum Underrsize	Maximum Underrsize
≤3/16 [5]	1/16 [2]	1/16 [2]
1/4 [6]	3/32 [2.5]	3/32 [2.5]
≥5/16 [8]	1/8 [3]	1/8 [3]
Groove weld maximum reinforcement		
t ≤ 3/8 [10]	3/32 [2]	3/32 [2.5]
3/8 [10] < t ≤ 3/4 [20]	1/8 [3]	1/8 [3]
t > 3/4 [20]	3/16 [5]	3/16 [5]
Groove welds maximum underfill	None	None
Undercut limits	For material ≤1 [25] thick, undercut <1/32 [1] except undercut <1/16 [2] for any cumulative length up to 2 [50] in 12 [300]. For material >1 [25] thick, undercut <1/16 [2].	No more than 0.01 [0.25] for welds transverse to tensile stress; otherwise no more than 1/32 [1]
Scratch or arc strike maximum depth	Same as undercut	Same as undercut
Surface porosity	Shall not exceed limits given in 5.15.1	Shall not exceed limits given in 5.15.2

Figura 3.40. Criterios de aceptación por inspección visual.

Fuente: (Code-Aluminum, 2013)

Otro método para detectar las discontinuidades son los de ensayos no destructivos, en el cual examina las soldaduras de acuerdo a una designación de categorías para aceptar o rechazar.

Para la calificación y aceptación de las probetas se deberá verificar los requerimientos establecidos por la norma AWS D1.2.

- Ensayo de radiografía (sección 5.15)
- Ultrasonido (sección 5.16)
- Partículas magnéticas (sección 5.17)

3.10.8. Precalificación de WPS

Para que un WPS esté precalificado deberá cumplir las especificaciones descritas en la norma AWS D1.2 parte C de la sección 3 considerando todas las variables esenciales que se requieran para cada junta soldada, además este debe estar por escrito.

El ingeniero deberá hacer las respectivas inspecciones a las juntas soldadas y se asegurara que se utilicen los requisitos de la norma.

3.10.9. WPS

Los procedimientos de soldadura generados para las juntas tipos se adjuntan en la sección de anexos. En la Tabla 3.24 se especifica la identificación de las juntas de soldadura en los planos correspondientes, además de información concerniente a la temperatura de precalentamiento para los procedimientos de soldadura desarrollados (WPS).

Tabla 3.24. Condiciones de precalentamiento e identificación de WPS

Junta	Rango de espesor	Temperatura de precalentamiento y entre pases	N° Identificación	N° Plano
Filete con penetración parcial para placas	$3 \leq T \leq 10$	$>100^{\circ}\text{F}$	EPN.AV.001	EPN.Z.A.V.200
Tope con penetración completa para placas	$3 \leq T \leq 10$	$>100^{\circ}\text{F}$	EPN.AV.002	EPN.Z.A.V.200.21
Tope con penetración completa con tubular	$3 \leq T \leq 10$	$>100^{\circ}\text{F}$	EPN.AV.003	EPN.Z.A.V.200.20

Fuente: Propia

3.11. Dimensionamiento y geometría de las puertas

Las puertas deslizantes de la cabina mediante sistema hidráulico permiten el ingreso y salida de las personas de manera rápida y segura. Una vez que las personas han ingresado a la cabina se bloquean las puertas durante todo el trayecto para que las personas a bordo no puedan abrirlas, como lo indica la norma UNE-EN13796-1 (AENOR, Norma Española UNE 13796-1: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas, 2007). Cada una de las puertas mide 0,435 metros, por lo que al abrirse, los pasajeros cuentan con un espacio de 0,870 metros al entrar o salir de la cabina. El dimensionamiento de las puertas tiene como objetivo además el ingreso de una persona con capacidad reducida.

3.11.1. Sistema de apertura y cierre de puertas

Para determinar el pistón neumático necesario para el sistema de apertura y cierre de las puertas se ha tomado como referencia un peso de 10 kg de cada puerta de la cabina. Por lo que cada pistón debe tener:

Tipo de movimiento: lineal

Dirección del movimiento: 90° por 15 cm

45° por 40 cm

Velocidad: 2 m/s (lineal)

Fuerza de accionamiento: lineal

Tipo de accionamiento: hidráulico mediante pistón

3.11.2. Cálculo del movimiento del pistón

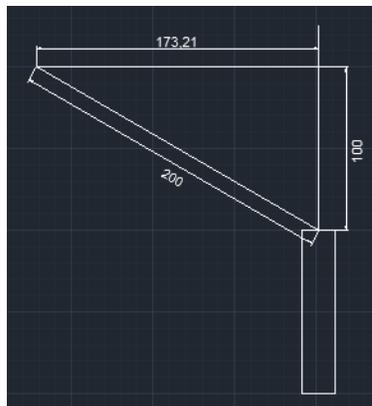


Figura 3.41. Cálculo del movimiento del pistón
Fuente: Propia

Carrera del pistón: 20 cm

Ángulo de inclinación: 60°

$$\text{sen}(60) = \frac{x}{20}$$

$$x = 20 \times \text{sen}60$$

$$x = 17,32 \text{ cm}$$

Fuerza necesario del pistón

$$F = \frac{P \times H \times 0,6}{B} \quad (3.37)$$

Donde:

F : Fuerza, N

P : Peso de la puerta, kg

H : Altura de la puerta, m

B : Punto de anclaje del amortiguador, m

$$F = \frac{10 \times 2 \times 0,6}{0,15}$$

$$F = 80 \text{ kg} \cong 784 \text{ N}$$

Una vez obtenidos los datos de la fuerza del pistón en los que se considera la ubicación del del punto de anclaje del amortiguador a 15 cm del extremo de la puerta de la cabina unido mediante una junta empernada como se presenta a continuación:

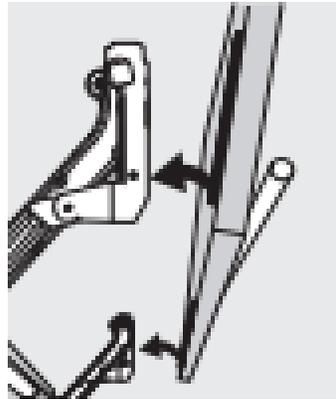


Figura 3.42. Junta empernada.
Fuente: (Pistones a gas de empuje, s.f.)

Con una apertura completa de las puertas para que las personas cuenten con los 80 cm para el ingreso o salida de la cabina. Se elige un tipo de pistón hidráulico a gas como se describe a continuación, distribuido por la empresa DICTATOR.

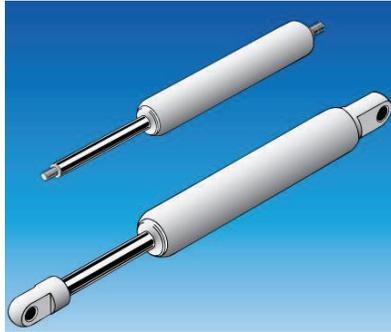


Figura 3.43. Pistón hidráulico.
Fuente: (Pistones a gas de empuje, s.f.)

Medio de presión	gas nitrogénico (N) (incombustible!) (hasta 10 000 N)
Medio de amortiguación	aceite hidráulico (mineral o silicona) o vegetal
Temperatura de trabajo	-10 °C (con aceite especial -30 °C) hasta +80 °C
Número de ciclos	máx. 6 ciclos/minuto
Cilindros (Ø 10 hasta 65 mm)	tubo de acero cincado, lacado o inox
Vástagos (Ø 3 hasta 30 mm)	acero (cromado duro o inox, pulido)
Fuerzas, progresividad	dependiendo de diámetro y longitud (máx. 10 000 N)
Carreras / tolerancias	de 10 mm hasta 1000 mm / tolerancia ±2 mm

Figura 3.44. Especificaciones del pistón hidráulico.
Fuente: (Pistones a gas de empuje, s.f.)

Para permitir el accionamiento del sistema motriz de cierre y apertura de puertas se utiliza un motor-reductor capaz de aplicar la fuerza inicial necesaria para que el pistón recorra su carrera calculada y las puertas se abran o se cierren automáticamente cuando sea necesario. Las características del motor-reductor se presentan a continuación:

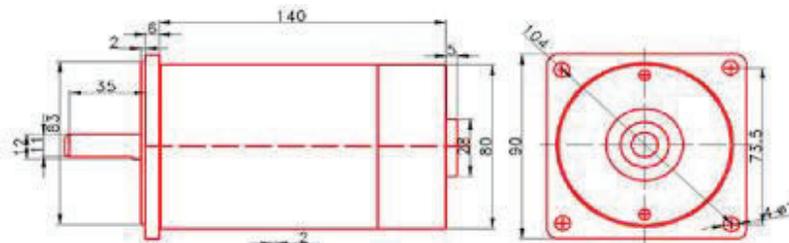


Figura 3.45. Plano del motor-reductor
Fuente: (AliExpress, s.f.)

Tabla 3.25. Características del motor-reductor

Modelo	Voltaje V	Potencia W	Velocidad rpm	Peso kg
5D60GN-G-24-18S	12	60	1800	2,20

Fuente: (AliExpress, s.f.)

Gracias a este sistema, se facilita el proceso de apertura y cierre de las puertas de la cabina para comodidad y seguridad de los usuarios de la cabina.

3.12. Dimensionamiento y geometría de los asientos

Para diseñar los asientos se debe considerar algunos aspectos importantes que permitirá realizar un diseño ajustado a los requerimientos que garantice el confort de los usuarios.

Según la norma UNE-EN 13796 (AENOR, Norma Española UNE 13796-1: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas, 2007), para el diseño de asientos se debe tomar en consideración que para una capacidad mayor a dos pasajeros el ancho es de 0,45 m, además que la profundidad de la silla está comprendida entre 0,45 y 0,50 m.

Este proyecto considera una profundidad de 0,50 m, el espaldar debe tener un ancho mínimo de 0,35 m de altura, entre el asiento y espaldar puede existir un hueco de 0,15 m de alto. Tomando en cuenta las dimensiones de la cabina y en cada asiento van 5 personas, se tienen por dimensiones: Longitud = 2,3 m; Ancho = 0,45 m y Profundidad = 0,50 m.

La estructura de los asientos debe soportar la capacidad de cinco personas con un peso promedio de 80 kg cada una, además teniendo en cuenta que la silla debe brindar confort a los pasajeros en todo su trayecto por lo que cuenta con el espaldar. Definida las dimensiones y teniendo aspectos constructivos de asientos de transporte público se realiza el diseño adaptativo de los asientos, como se observa en la siguiente Figura 3.46:

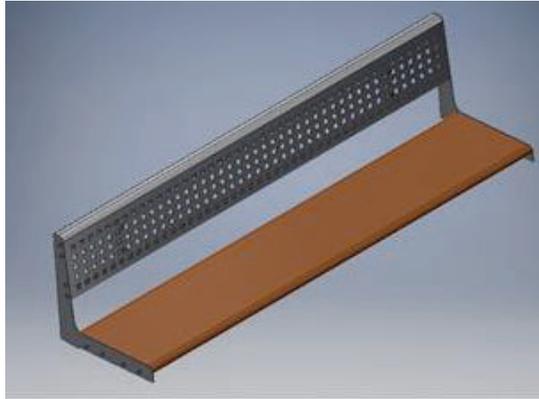


Figura 3.46. Asientos colectivos de la cabina
Fuente: Propia

3.13. Iluminación y Radio

3.13.1. Radio

El sistema de comunicación entre la estación de control y las cabinas, será mediante un intercomunicador que permita al pasajero comunicarse con el jefe operativo al mando de las cabinas en especial cuando se presentan emergencias.

El intercomunicador consta de un enlace de radio UHF con un rango de frecuencia entre 300 MHz a 3 GHz, gracias a su alta frecuencia cuenta con una longitud de onda corta, por lo que es ampliamente utilizada en sistemas de transmisión y recepción para teléfonos inalámbricos. La señal UHF requiere de una línea de vista, es decir, que la trayectoria no tenga obstrucciones entre el transmisor y receptor.

La radiocomunicación que se instalará es inalámbrica ya que puede acoplarse fácilmente a un sistema de energía solar, utiliza una potencia de 10 watts, cuenta con una señal bidireccional, a comparación de las otras frecuencias que solo transmiten en una sola dirección y trabaja con corriente continua que estará funcionando con energía solar.

3.13.2. Iluminación

El sistema de iluminación está compuesto por seis LED dentro de la cabina para alumbrar la misma y un LED por fuera indicando que las puertas están abiertas como sistema de prevención, las cuales estarán funcionando con energía solar.

Un LED está diseñado para diferentes aplicaciones como alumbrado público, iluminación en exteriores, etc., se los fabrica con potencias mayores a 1 W y diversos colores, además de alimentarse con corriente continua. Son diodos semiconductores capaces de iluminar una habitación, la luz que emiten es monocromática y depende del material utilizado. (Santamaria, 2012)

Para alumbrar todo el espacio en el interior de la cabina cuando no exista suficiente luz natural se requiere instalar un LED de 20 W de potencia, en el anexo correspondiente se puede observar las especificaciones técnicas del mismo.

Para determinar el sistema de alimentación eléctrica a la cabina es necesario realizar los siguientes cálculos que se detallan a continuación:

- Dimensionamiento del sistema fotovoltaico aislado

Este sistema aislado debe transformar la energía solar en energía eléctrica, y almacenarlas en baterías. Generalmente se encuentra conformado por los siguientes elementos que se muestran en la Figura 3.47:

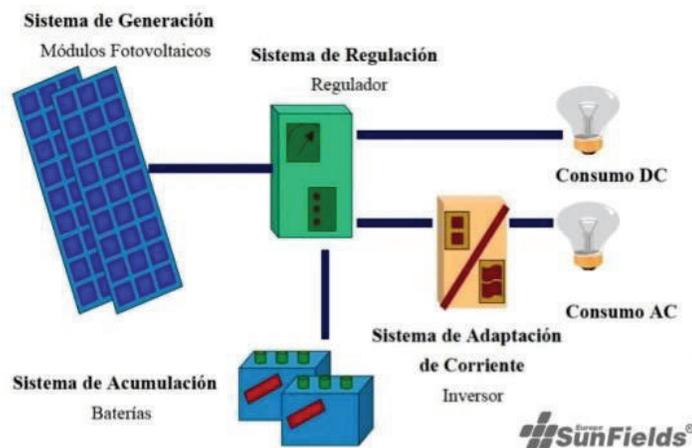


Figura 3.47. Sistema fotovoltaico aislado.

Fuente: (Manual de cálculo sistemas fotovoltaicos aislados autónomos - Parte I, s.f.)

Para el presente proyecto se requiere calcular el número de paneles solares y baterías que se necesitan para energizar los diferentes elementos en la cabina. No se requiere de un inversor ya que tanto el LED como el intercomunicador trabajan con corriente continua. De acuerdo a la norma ecuatoriana de construcción (NEC-11, 2011) se deben realizar los

siguientes cálculos para determinar el número de paneles y baterías que requiere el sistema fotovoltaico.

- Cálculo de la demanda energética en la cabina

Para el cálculo de la demanda energética se debe saber la potencia de placa del equipo, el número de horas por día que se utiliza, el factor de corrección y finalmente se calcula el consumo de la potencia por mes que requiere cada dispositivo. A continuación se muestra en la Tabla 3.26 la demanda energética que necesita la cabina:

Tabla 3.26. Demanda energética.

Equipo	Cantidad	Potencia de placa W	Tiempo de uso diario							Fc.	Consumo calculado kWh/mes
			Lu.	Ma.	Mc.	Ju.	Vi.	Sá.	Do.		
LED fluorescente en el interior cabina	6	20	8	8	8	8	8	8	8	0,89	25,60
LED fluorescente en la puerta cabina	1	3	5	5	5	5	5	5	5	0,90	0,40
Radio de la cabina	1	10	3	3	3	3	3	3	3	0,56	0,50
Motor de la puerta	1	60	2	2	2	2	2	2	2	0,65	2,3
Consumo total											28,9

Fuente: Propia

La demanda energética de todos los dispositivos que están en la cabina es de 28,9 kWh/mes equivalente a 963,33 Wh/día.

- Cálculo de la radiación sobre el panel solar fotovoltaico y horas solares

Según la NASA (Stackhouse, s.f.) la radiación diaria solar promedio incidente sobre el sector de la Ofelia – Roldós es 4,25 kWh/m²/día.

Para el cálculo de la radiación solar sobre el panel solar fotovoltaico se utiliza la siguiente ecuación:

$$\overline{H}_T = k \times \overline{H} \text{ kWh/m}^2/\text{día} \quad (3.38)$$

Donde:

k : Factor de corrección que se escoge de las tablas de acuerdo a la latitud y ángulo de inclinación del panel.

\bar{H} : Radiación diaria promedio solar, kWh/m²/día

Latitud: 0°												
Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	1,02	1,01	1,00	0,98	0,97	0,96	0,97	0,98	1,00	1,01	1,02	1,02
10	1,03	1,01	0,99	0,96	0,93	0,92	0,93	0,95	0,99	1,02	1,04	1,04
15	1,04	1,01	0,97	0,92	0,88	0,87	0,88	0,92	0,97	1,02	1,05	1,05
20	1,04	1,00	0,95	0,88	0,83	0,81	0,83	0,88	0,95	1,01	1,05	1,06
25	1,03	0,99	0,92	0,84	0,77	0,75	0,77	0,83	0,92	0,99	1,04	1,06
30	1,02	0,97	0,88	0,79	0,71	0,68	0,70	0,78	0,88	0,97	1,03	1,05
35	1,00	0,94	0,84	0,74	0,64	0,61	0,64	0,72	0,84	0,94	1,02	1,03
40	0,98	0,90	0,80	0,68	0,57	0,53	0,56	0,66	0,79	0,91	0,99	1,01
45	0,95	0,87	0,75	0,61	0,50	0,45	0,49	0,59	0,73	0,87	0,96	0,98

Figura 3.48. Factor de corrección para una latitud 0°.

Fuente: (NEC-11, 2011)

Para el cálculo de la radiación solar sobre el panel se utiliza el valor de $k = 0,92$ correspondiente al mes de Junio y una inclinación de 10°.

$$\bar{H}_T = 0,92 \times 4250 \text{ Wh} / \text{m}^2 / \text{día}$$

$$\bar{H}_T = 3910 \text{ Wh} / \text{m}^2 / \text{día}$$

Se conoce que el número de horas de irradiación solar es de 1000 W/m², este dato nos permite determinar el número de horas solares al día con la siguiente ecuación:

$$HS = \frac{\bar{H}_T}{1000} \text{ h} / \text{día} \quad (3.39)$$

$$\bar{H}_T = \frac{3910}{1000} \text{ h} / \text{día}$$

$$\bar{H}_T = 3,91 \text{ h} / \text{día} \approx 4 \text{ h} / \text{día}$$

– Rendimiento global del sistema PR

Según la NASA (Stackhouse, s.f.) la temperatura media del sector donde se desarrollará el proyecto es de 13,4°C.

Para el cálculo del rendimiento del sistema a condiciones climáticas normales y asumiendo una irradiación instantánea de 1000 W/m², se determina con las siguientes ecuaciones:

$$T_c = T_a + 1,25(NOCT - 20) \quad (3.40)$$

Donde:

T_c : Temperatura de la celda a una irradiación de 1000 W/m²

T_a : Temperatura ambiente, °C

$NOCT$: Temperatura de operación normal de la celda esta especificada por el proveedor, caso contrario se asume el valor de 45°C.

$$T_c = 13,4 + 1,25(45 - 20)$$

$$T_c = 44,65^\circ\text{C}$$

Con la temperatura de la celda se calcula la eficiencia de la temperatura con la siguiente ecuación:

$$\eta_{temp} = 1 - C_T(T_c - 25) \quad (3.41)$$

Donde:

η_{temp} : Eficiencia de la temperatura

C_T : Coeficiente de variación de potencia a temperaturas diferentes de los estándares de prueba, o se puede usar 0,005.

T_c : Temperatura de la celda a una irradiación de 1000 W/m², °C

$$\eta_{temp} = 1 - 0,005(44,65 - 25)$$

$$\eta_{temp} = 0,9$$

Calculada la eficiencia de la temperatura se procede a calcular el rendimiento del sistema con la siguiente ecuación según norma ecuatoriana de la construcción (NEC-11, 2011):

$$PR = \eta_{temp} \times \eta_{suc} \times \eta_{reg} \times \eta_{cab} \times \eta_{bat} \times \eta_{aut} \quad (3.42)$$

Donde:

η_{temp} : Eficiencia de la temperatura

η_{suc} : Eficiencia por suciedad (0,98)

η_{reg} : Eficiencia del regulador (batería e inversor) (0,92)

η_{cab} : Eficiencia por pérdida en los cables (0,97)

η_{bat} : Eficiencia de las baterías (0,98)

η_{aut} : Eficiencia debido a las pérdidas por auto descarga en las baterías de 0,98

$$PR = 0,9 \times 0,98 \times 0,92 \times 0,97 \times 0,98 \times 0,98$$

$$PR = 0,76$$

– Cálculo de la potencia pico

La potencia pico se calcula para determinar el requerimiento energético, a través de la siguiente ecuación:

$$Pot_p = \frac{Demanda\ energética}{HS \times PR} \quad (3.43)$$

Donde:

Pot_p : Potencia pico, Wh

HS : Horas solares, h/día

PR : Rendimiento global del sistema

$$Pot_p = \frac{963,33 \text{ Wh / día}}{4 \text{ h / día} \times 0,76}$$

$$Pot_p = 316,88 \text{ Wh}$$

– Número de paneles solares

Para determinar el número de paneles solares que se requieren para alimentar el sistema energético se utiliza la siguiente ecuación:

$$N_{\text{paneles}} = \frac{Pot_p}{P_{\text{panel}}}$$

Donde:

N_{panel} : Número de paneles requeridos

Pot_p : Potencia pico, Wh

P_{panel} : Potencia del panel solar, Wh

A continuación se presenta una tabla resumen con diferentes potencias para diferentes paneles y el número de paneles que se requiere con cada uno.

Tabla 3.27. Número de paneles con diferentes potencias.

Potencia del panel [Wh]	Potencia pico [Wh]	Número de paneles
120	316,88	3
230	316,88	2
300	316,88	1

Fuente: Propia

Debido al espacio reducido en la cabina, el número de paneles que se requiere es mínimo por lo que se selecciona el panel solar de 300 Wh en el Anexo 1 se puede observar las especificaciones técnicas del mismo.

- Dimensionamiento de la batería

La capacidad de las baterías se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_{bat} = \frac{Pot_p}{V_{bat}} \quad (3.44)$$

Donde:

Pot_p :Potencia pico, Wh

V_{bat} :Voltaje de la batería, 12 V

$$C_{bat} = \frac{316,88}{12} Wh/V$$

$$C_{bat} = 26,41 Ah$$

De acuerdo al valor obtenido de la capacidad de batería requerida, en el Anexo 2 se selecciona la batería correspondiente a: Batería UCG55-12 (tipo gel) con una capacidad de batería de 55 Ah, un voltaje de 12 V y un peso de 17 kg.

4. PROCESOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE DE LAS CABINAS

4.1. Fabricación

4.1.1. Corte

En primer lugar para construir las cabinas se debe empezar por cortar los perfiles de aluminio que conforman la estructura de la cabina de acuerdo a las medidas que se requieran para su construcción. Este proceso se deberá realizar con la ayuda de una sierra eléctrica circular con una hoja de carburo por sus propiedades ideales en el corte de aluminio ya que reducen el calentamiento y torceduras.

También se deberán cortar las placas del piso y techo con la ayuda del corte por oxicorte para darles la geometría apropiada, esta técnica muy utilizada para cortar diferentes materiales a excepción de acero al carbono y de baja aleación, generalmente los espesores pequeños pueden cortarse manualmente con el mismo método y con espesores superiores a 102 mm se utiliza máquinas para corte.

Algunos elementos de las sillas también deberán cortarse de acuerdo a las dimensiones que se establecen en los planos, la madera que pertenece al asiento deberá cortarse con una sierra eléctrica circular con una hoja de acero rápido permitiendo obtener un excelente acabado superficial, también se deberá cortar los perfiles y placas que conforman los soportes y base de la misma.

4.1.2. Barolado

De la estructura de la cabina los perfiles de aluminio que corresponden a la columna posterior a ser cortados en la media que se lo requiera, deberán ser barolados, es decir, dar la curvatura de acuerdo a los planos este proceso se lo realiza en frío ya que los espesores son delgados y no requieren de un calentamiento previo para realizar el proceso con la ayuda de una roladora.

También deberán barolarse las placas de acrílico que conforman las ventanas de la cabina, para darle la estética y geometría apropiada esto se lo realiza con la ayuda de una

resistencia con control de temperatura ideal para materiales termoplásticos ya que nos permite realizar curvaturas de diferente ángulo, doblarlas de acuerdo a los requerimientos.

4.1.3. Taladrado

En esta etapa se realizará agujeros a las placas en L para la unión de todos los perfiles de aluminio que constituyen la estructura de la cabina permitiendo el acople fácilmente entre cada elemento que la conforma. El agujero se lo realizara con un taladro de acuerdo a las dimensiones expuestas en los planos.

También se deberá realizar agujeros en los perfiles y placas en L para el acople entre los mismos tanto para el asiento como espaldar de las sillas, permitiendo la sujeción de los elementos apropiadamente y de acuerdo a los planos.

En los perfiles de aluminio del marco inferior de igual forma se deberá realizar agujeros para que se acoplen con el espaldar de la silla y de esta manera asegurar la firmeza de las mismas en la cabina.

En la placa del techo también se realizarán agujeros que permitan el acople al sistema de iluminación y radio que se explicó en la sección 3.11.

4.1.4. Corte por electroerosión

El proceso de corte por electroerosión es un proceso de mecanizado de piezas hechas de materiales conductores de electricidad, en el que mediante la descarga de chispas controladas de un electrodo se produce el arranque de viruta para la separación del material por corte. Este proceso se realiza favorablemente en presencia de un fluido dieléctrico que permite la interacción entre el elemento cortante (electrodo) y la pieza que va a ser mecanizada.

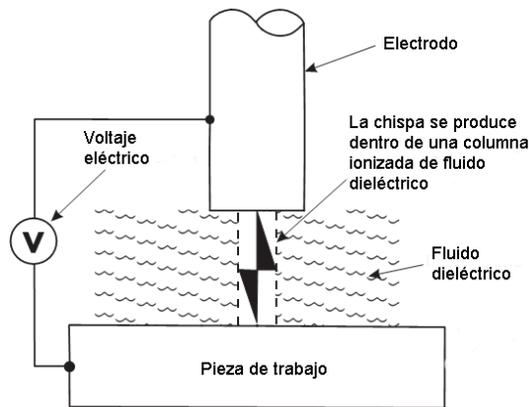


Figura 4.1. Elementos que forman parte del proceso de corte por electroerosión.
Fuente: (De Máquinas y Herramientas)

Su principio de funcionamiento se basa en el circuito de Lazarenko, el mismo que consiste en una sucesión avanzada de descargas entre dos conductores separados el uno del otro mediante una película de líquido no conductor. Este proceso desencadena la energía térmica del material, es decir el material se extrae por calor, dicho calor se utiliza para introducir la chispa por el flujo eléctrico y obtener el arranque de viruta del material base.

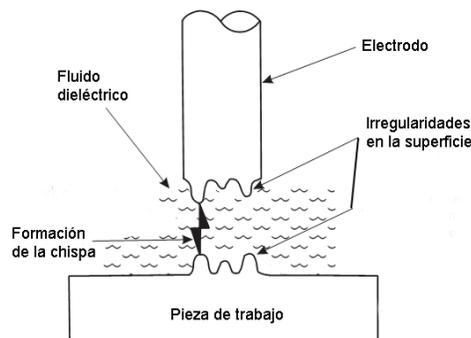


Figura 4.2. Corte por electroerosión.
Fuente: (De Máquinas y Herramientas)

El fluido dieléctrico puede ser parafina, aceite minerales ligeros o agua desionizada. Al aplicar voltaje al fluido dieléctrico, el mismo se convierte en conductor de la corriente eléctrica, de esta manera los iones libres positivos se aceleran a altas velocidades en una burbuja de gas en la que la presión alcanza una presión muy elevada y se forma la conocida zona de plasma que se encuentra a una temperatura muy elevada, por lo que se vaporiza parte del material y se desprende. Una vez que se apaga la chispa, la temperatura disminuye, la burbuja de gas implosiona y se forma un cráter en la superficie erosionada de la pieza. (De Máquinas y Herramientas)

4.1.5. Soldadura

Para la soldadura de los perfiles de aluminio hay que realizarla en base a las especificaciones de la norma AWS D1.2, la misma que nos dice que hay que utilizar la soldadura GMAW O GTAW y los electrodos deberán elegirse de acuerdo a la especificación de la norma AWS A5.12

Este proceso de soldadura es muy recomendable para este tipo de aleaciones, hay que tomar en cuenta si el material se va soldar fácilmente y calidad consistente, además de tener en cuenta la temperatura de fusión del material y se requiere de una limpieza antes de empezar a soldar tanto del material base como el material de aporte.

La mayoría de aleaciones de aluminio requieren de material de aporte para ser soldadas y de esta manera evitar la aparición de grietas a lo largo del cordón de soldadura, además que la adición del material de relleno permite disminuir la sensibilidad a la fisura de la soldadura y reducir la probabilidad de rotura en caliente.

4.2. Montaje

Para el montaje de la estructura de la cabina se debe realizar las siguientes etapas:

- Para mover los elementos estructurales se lo realizará mediante la ayuda de grúas o tecles que nos permitan el transporte interno de los mismos, teniendo en cuenta todas las medidas de seguridad que especifique la empresa. Es recomendable realizar esta actividad fuera del horario del trabajo, reduciendo así los tiempos muertos y haciendo eficaz el trabajo de los soldadores.
- El armado de la cabina consiste en la elaboración de las juntas empernadas que permiten el montaje de la estructura, el personal encargado de este proceso deberá tomar las medidas necesarias para colocar apropiadamente sin ocasionar desperfectos en los elementos estructurales.
- Para el proceso de montaje de los resortes en la parte superior de la cabina se los debe colocar correctamente en la estructura en forma de H previamente instalada

sobre el techo. Los resortes absorben el peso de la estructura y de los pasajeros en el interior, realizando el trabajo de un amortiguador.

- La soldadura que se realiza en algunos elementos estructurales de acero de la silla, facilitando la unión de estos de forma más rápida. El personal debe ser calificado siendo este uno de los factores importantes para obtener un cordón de soldadura preciso.
- Para ser aprobados los cordones de soldadura estos deberán verificar los requerimientos expuestos en la norma AWS D1.2, mediante el método de tintas penetrantes correspondiente a un tipo de ensayo no destructivo que permite inspeccionar al cordón de soldadura. Si una soldadura es rechazada se debe desbastar apropiadamente para que cumpla los criterios.
- El recubrimiento de la cabina es elaborado con fibra de vidrio, para facilitar el montaje gracias a su bajo peso. Al momento situar dicho recubrimiento, el personal encargado debe cumplir los parámetros de seguridad y constatar que se encuentre correctamente unido a la estructura.
- Posteriormente se procederá al montaje de los acrílicos, recubrimientos que constituyen la cabina, con la ayuda de remaches dando la estética y el factor de seguridad requerido por el usuario.
- Las ventanas de acrílico colocadas en la cabina con la curvatura de acuerdo a la estructura especificada en los planos, permiten el paso de la luz natural hacia el interior de la misma. Al ubicar el acrílico se requiere instalar los cauchos de seguridad, los mismos que aseguran la hermeticidad de la cabina, evitando corrientes de aire y lluvia, además de confort al pasajero.
- Una vez armada la estructura de la cabina se procederá a realizar el montaje de las sillas mediante la sujeción de pernos que están conectados tanto al espaldar como a los perfiles laterales escogidos apropiadamente para asegurar la estética y seguridad de los mismos.

- Se debe realizar el montaje del mecanismos de las puertas junto con las mismas a través de juntas empernadas que permitan su acople de manera fácil y sencilla a la estructura de la cabina.
- El mecanismo que acciona las puertas corredizas consta de un motor que debe ser instalado al mismo tiempo que las puertas en la dirección adecuada para que la fuerza ejercida por el pistón a través del motor permita la apertura y cierre correcto del sistema.
- El sensor de posición de la cabina que reconoce el momento en que se debe abrir y cerrar las puertas debe estar colocado tanto en la cabina como en la estación, permitiendo el bloqueo de las mismas una vez que los pasajeros inician el recorrido evitando que estas se abran desde adentro por seguridad de las personas.
- Se realiza el montaje del sistema eléctrico formado por la iluminación, la radio, y el sistema de accionamiento de la puerta tomando en cuenta los detalles que se describen en los planos.
- Finalmente, para la instalación del sistema fotovoltaico que ya ha sido dimensionado previamente, se coloca el panel solar, la batería y el regulador que permiten la transformación de energía solar a eléctrica para que los accesorios eléctricos funcionen correctamente al momento se requiera sean accionados.

5. ANÁLISIS DE COSTOS

El presente proyecto cuenta con un presupuesto en el que se incluyen todos los elementos que forman parte de la cabina, además de la mano de obra empleada y el uso de la maquinaria durante el proceso de construcción de la misma, obteniendo así un costo unitario real posterior al diseño del proyecto.

5.1. Costos Directos

5.1.1. Materia prima

En base al material necesario calculado durante el proceso de ingeniería de la cabina, se eligen varios proveedores de acuerdo a la disponibilidad de materia prima y tiempo de entrega, además a lo largo del proceso se encontraron elementos que no se pueden adquirir en el país, por lo que se calcula los impuestos de importación de los mismos, tomando en cuenta los tiempos de entrega al país para no retrasar los tiempos de construcción del proyecto.

5.1.2. Mano de obra

Para llevar a cabo el proyecto y cumplir los tiempos programados de construcción, una parte fundamental es la mano de obra calificada para la construcción de la cabina, desde el proceso de armado de la estructura hasta los acabados finales de la misma. Existen procesos durante la construcción que necesitan cumplirse bajo norma, para estos casos el personal contratado debe ser calificado y contar con la certificación deseada.

Todos los trabajadores del proyecto deben contar con los beneficios de ley vigentes durante el año 2017 según el Código de Trabajo y el Ministerio de Relaciones laborales. Por otro lado se garantiza las condiciones seguras de trabajo bajo las exigencias de la norma correspondiente.

5.1.3. Maquinaria

Los equipos utilizados durante el proceso de construcción en la cabina se listan a continuación y se calcula el costo de los mismos tomando en cuenta el tiempo de uso de la

maquinaria, el mantenimiento necesario a cada equipo y el consumo de energía durante el proyecto.

Cada uno de los parámetros es analizado y se presenta una tabla con los precios aproximados y un rubro en caso de que el equipo sufra un daño y deba ser reparado, sin embargo los precios no son exactos debido a la variación constante del mercado.

Tabla 5.1. Proveedores de servicios y materiales.

Proveedor	Servicios
CASTEK	Pernos estructurales
ADELCA	Perfilería de acero en general
NOVACERO	Perfilería de acero en general
IDECORA TK	Fibra de vidrio
	Implementos eléctricos

Fuente: Propia

5.2. Costos Indirectos

Al hablar de costos indirectos se incluyen los costos que no están directamente involucrados en el proceso de fabricación y montaje, sin embargo forman parte de la parte administrativa del proyecto. Gracias a estudios realizados, los costos indirectos se toman como un porcentaje del total de costos directos del proyecto.

5.3. Análisis de Precios Unitarios (APUs)

Se presenta a continuación un modelo matemático en el que el cliente puede conocer el valor de cada proceso de la obra en el que en base al rendimiento de la misma, en el que se incluye el tiempo de duración de la obra, los materiales y los equipos a utilizarse.

“El rendimiento es una variable importante en la elaboración de un APU, ya que establece la cantidad de obra que se planea realizar en la unidad de tiempo.” (Valera, s.f.)

Gracias a los APU se puede presentar al final de este capítulo un resumen del presupuesto total necesario para la construcción de la cabina. Los APU para el proyecto se presentan a continuación:

- Suministro y Fabricación: estructura de la cabina

- Suministro y Fabricación: recubrimiento de la cabina
- Montaje: estructura y recubrimiento
- Montaje: sistema eléctrico

Tabla 5.2. Cantidad de obra, tiempo de ejecución y rendimiento de la obra.

Rubro	Cantidad de obra	Tiempo estimado de ejecución	Rendimiento
Suministro y fabricación: estructura de cabina.	300 [kg]	48 [h]	0,16 [h/kg]
Suministro y fabricación: recubrimiento cabina.	150 [kg]	48 [h]	0,32 [h/kg]
Montaje: estructura y recubrimiento.	450 [kg]	80 [h]	0,18 [h/kg]
Montaje: sistema eléctrico.	50 [kg]	40 [h]	0,80 [h/kg]

Fuente: Propia

Tabla 5.3. APU del suministro y fabricación de la estructura de la cabina.

Cabina Tipo con Capacidad para Diez Personas Proyecto Quito Cables				
Nombre del Contratista:		EPN-TECH-EP		
Análisis De Precios Unitarios				
Rubro No.:	1	Unidad:	kg	
Detalle:	Suministro y Fabricación: estructura de la cabina.			
Fecha:	Febrero 2017	Rendimiento:	0,16	
Equipos				
Descripción	Cant.	Tarifa/H	Costo hora	Costo
Amoladora	2	\$ 1,00	\$ 2,00	\$ 0,32
Plasma	1	\$ 1,50	\$ 1,50	\$ 0,24
Soldadora MIG	1	\$ 2,00	\$ 2,00	\$ 0,32
Taladro	2	\$ 1,00	\$ 2,00	\$ 0,32
Montacargas	1	\$ 10,00	\$ 10,00	\$ 1,60
Herramienta menor	5	\$ 0,75	\$ 3,75	\$ 0,60
SUBTOTAL:				\$ 3,40
Mano de Obra				
Descripción	Cant.	Jornal/H	Costo hora	Costo
Soldadores AWS	1	\$ 3,88	\$ 3,88	\$ 0,62
Armador	1	\$ 3,27	\$ 3,27	\$ 0,52
Operador Plasma	1	\$ 3,27	\$ 3,27	\$ 0,52
Operador Máquinas y Herramientas	1	\$ 3,27	\$ 3,27	\$ 0,52
Ayudante	2	\$ 3,15	\$ 6,30	\$ 1,01
SUBTOTAL:				\$ 3,19
Materiales				
Descripción	Unid.	Cantidad	Costo unitario	Costo
Perfil de aluminio 4 x 1.3/4	U	0,033	82,40	\$ 2,72
Perfil de aluminio 56.45 x 44	U	0,017	50,20	\$ 0,85
Perfil de aluminio 2 x 1	U	0,02	33,82	\$ 0,68
Ángulo 50 x 50	U	0,013	46,28	\$ 0,60
Electrodos MIG	kg	0,02	2,64	\$ 0,05
Discos de corte	U	0,05	1,90	\$ 0,01
Discos de desbaste	U	0,05	2,25	\$ 0,11
Pernos de acero inoxidable 10mm	U	0,667	1,08	\$ 0,72
Pernos de acero inoxidable 12mm	U	0,307	1,12	\$ 0,34
Plancha de aluminio piso	U	0,003	99,00	\$ 0,33
SUBTOTAL:				\$ 7,40
Transporte				
Descripción	Cant.	Jornal/H	Costo hora	Costo
N/A				
SUBTOTAL				N/A
Total Costo Directo				\$ 13,99
Costos Indirectos + Utilidades				\$ 2,80
Otros Costos Indirectos				
Costo Total del Rubro				\$ 16,80
Valor Ofertado				\$ 16,80

Fuente: Propia

Tabla 5.4. APU del suministro y fabricación del recubrimiento de la cabina.

Cabina Tipo con Capacidad para Diez Personas Proyecto Quito Cables				
Nombre del Contratista:		EPN-TECH-EP		
Análisis de Precios Unitarios				
Rubro No.:	2	Unidad:	kg	
Detalle:	Suministro y Fabricación: recubrimiento de cabina.			
Fecha:	Febrero 2017	Rendimiento:	0,32	
Equipos				
Descripción	Cant.	Tarifa/H	Costo hora	Costo
Amoladora	2	\$ 1,00	\$ 2,00	\$ 0,64
Taladro	2	\$ 1,00	\$ 2,00	\$ 0,48
Montacargas	1	\$ 10,00	\$ 10,00	\$ 0,64
Remachadora	1	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 0,64
Herramienta menor	4	\$ 0,75	\$ 3,00	\$ 0,64
SUBTOTAL:				\$ 3,04
Mano de Obra				
Descripción	Cant.	Jornal/H	Costo hora	Costo
Armador	2	\$ 3,27	\$ 6,54	\$ 2,09
Operador Máquinas y Herramientas	1	\$ 3,27	\$ 3,27	\$ 1,05
Ayudante	2	\$ 3,15	\$ 6,30	\$ 2,02
SUBTOTAL:				\$ 5,16
Materiales				
Descripción	Unid.	Cantidad	Costo unitario	Costo
Fibra de vidrio	kg	0,667	\$ 11,29	\$ 7,53
Acrílico plancha 3mm	kg	0,100	\$ 250,19	\$25,02
Discos de corte	U	0,033	\$ 1,90	\$ 0,06
Discos de desbaste	U	0,033	\$ 2,25	\$ 0,07
Remaches	U	0,033	\$ 0,50	\$ 0,02
SUBTOTAL:				\$ 32,70
Transporte				
DESCRIPCIÓN	Cant.	Jornal/H	Costo hora	Costo
N/A				
Total Costo Directo				\$ 40,90
Costos Indirectos + Utilidades				\$ 8,18
Otros Costos Indirectos				\$
Costo Total del Rubro				\$ 49,08
Valor Ofertado				\$ 49,08

Fuente: Propia

Tabla 5.5. APU del montaje de la estructura y recubrimiento de la cabina.

Cabina Tipo con Capacidad para Diez Personas Proyecto Quito Cables				
Nombre del Contratista:		EPN-TECH-EP		
Análisis de Precios Unitarios				
Rubro No.:	1	Unidad:	kg	
Detalle:	Montaje: estructura y recubrimiento de la cabina.			
Fecha:	Febrero 2017	Rendimiento:	0,18	
Equipos				
Descripción	Cant.	Tarifa/H	Costo hora	Costo
Amoladora	2	\$ 1,00	\$ 2,00	\$ 0,36
Plasma	1	\$ 1,50	\$ 1,50	\$ 0,27
Soldadora MIG	1	\$ 2,00	\$ 2,00	\$ 0,36
Herramienta menor	4	\$ 0,75	\$ 3,00	\$ 0,36
SUBTOTAL:				\$ 1,35
Mano de Obra				
Descripción	Cant.	Jornal/H	Costo hora	Costo
Soldadores AWS	1	\$ 3,88	\$ 3,88	\$ 0,70
Armador	1	\$ 3,27	\$ 3,27	\$ 0,59
Ayudante	2	\$ 3,15	\$ 6,30	\$ 1,13
Subtotal:				\$ 2,42
Materiales				
Descripción	Unid.	Cantidad	Costo unitario	Costo
Pintura de recubrimiento	Lts.	0,004	\$ 5,25	\$ 0,021
SUBTOTAL:				\$ 0,021
Transporte				
Descripción	Cant.	Jornal/H	Costo hora	Costo
N/A				
Total Costo Directo				\$ 3,79
Costos Indirectos + Utilidades				\$ 0,76
Otros Costos Indirectos				
Costo Total del Rubro				\$ 4,55
Valor Ofertado				\$ 4,55

Fuente: Propia

Tabla 5.6. APU Montaje del sistema eléctrico.

Cabina Tipo con Capacidad para Diez Personas Proyecto Quito Cables				
Nombre del Contratista:		EPN-TECH-EP		
Análisis de Precios Unitarios				
Rubro No.:	1	Unidad:	kg	
Detalle:	Montaje: sistema eléctrico.			
Fecha:	Febrero 2017	Rendimiento:	0,8	
Equipos				
Descripción	Cant.	Tarifa/H	Costo hora	Costo
Multímetro	2	\$ 1,00	\$ 2,00	\$ 0,32
Plasma	1	\$ 1,50	\$ 1,50	\$ 0,24
Soldadora MIG	1	\$ 2,00	\$ 2,00	\$ 0,32
Taladro	2	\$ 1,00	\$ 2,00	\$ 0,32
Montacargas	1	\$ 10,00	\$ 10,00	\$ 1,60
Herramienta menor	5	\$ 0,75	\$ 3,75	\$ 0,60
SUBTOTAL:				\$ 3,40
Mano de Obra				
Descripción	Cant.	Jornal/H	Costo hora	Costo
Electrónico	1	\$ 3,88	\$ 3,88	\$ 0,62
Armador	1	\$ 3,27	\$ 3,27	\$ 0,52
SUBTOTAL:				\$ 3,19
Materiales				
Descripción	Unid.	Cantidad	Costo unitario	Costo
Focos LED	U	0,12	\$ 2,00	\$ 0,24
Intercomunicador	kg	0,02	\$ 20,00	\$ 0,40
Alarma	U	0,02	\$ 15,00	\$ 0,30
Panel solar	U	0,02	\$ 390,00	\$ 6,00
Batería	U	0,02	\$ 150,00	\$ 3,00
Cable eléctrico	M	0,06	\$ 1,00	\$ 0,06
Motorreductor	U	0,02	\$ 90,00	\$ 1,80
SUBTOTAL:				\$ 11,80
Transporte				
Descripción	Cant.	Jornal/H	Costo hora	Costo
N/A				
SUBTOTAL				
Total Costo Directo				\$ 18,39
Costos Indirectos + Utilidades				\$ 3,68
Otros Costos Indirectos				\$
Costo Total del Rubro				\$
Valor Ofertado				\$ 22,07

Fuente: Propia

Tabla 5.7. Costo total de la Cabina.

Cabina Tipo con Capacidad para Diez Personas				
Proyecto Quito Cables				
Análisis de Precios Unitarios				
No.	Descripción	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Suministro y Fabricación: estructura de cabina	300	\$ 16,80	\$ 5040,00
2	Suministro y Fabricación: recubrimiento cabina	150	\$ 49,08	\$ 7362,00
3	Montaje: estructura y recubrimiento	450	\$ 4,55	\$ 2047,50
4	Montaje: sistema eléctrico	50	\$ 22,07	\$ 1103,50
Total				\$ 15553,00

Fuente: Propia

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se diseñó una cabina con una capacidad de 10 personas utilizando todos los criterios establecidos por normativas nacionales e internacionales y códigos vigentes utilizados en el desarrollo de la tecnología para el transporte por cable.
- El dimensionamiento de la cabina cumple con los requerimientos de espacio necesarios para el confort de las personas dentro de un cubículo como lo es la cabina, además el actual diseño contempla la inclusión de personas con capacidades reducidas.
- En cuanto al diseño estructural, se utilizaron todos los escenarios que pueden generar un estado crítico de operación, es decir cuando el sistema se someta a sobrecargas por viento, granizo y sobrepeso por pasajeros en base a lo establecido Norma Española UNE 13796-1: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas, la cual determina los factores de seguridad mínimos para estas condiciones de operación. Todos los elementos estructurales de la cabina mostraron valores por encima de los fijados por la norma, los cuales garantizan que el diseño realizado y validado por medio de paquetes computacionales es adecuado. De igual manera todos los elementos se han diseñado pensando en generar juntas de fácil construcción y ensamble. Adicionalmente, todos los perfiles seleccionados están disponibles en el mercado nacional.
- Se diseñaron elementos adicionales al sistema estructural de la cabina, en base a parámetros establecidos por la teoría para el diseño de elementos de máquinas, y de igual manera se utilizó el método de los elementos finitos (MEF) para la simulación de ciertos elementos de geometría compleja.
- Los procedimientos de soldadura especificados para las juntas tipo identificadas en este proyecto han sido diseñadas bajo la norma AWS D1.2. Este análisis es importante ya que estos procedimientos pueden ser precalificados, conociendo de

esta manera todos los requisitos y deficiencias que se puedan presentar en el proceso y así orientarnos a un mayor desarrollo de conocimiento en la calificación de procesos de soldadura en aluminio y sus aleaciones.

- Los procesos constructivos implementando soldadura de aluminio pueden significar un gran impedimento para la construcción de este dispositivo a nivel nacional, ya que debe estar sometido a los requerimientos que se establecen en la norma AWS D1.2, siendo estos un obstáculo ya que no se cuenta con el personal calificado así como también equipos de alta tecnología para lograr un procedimiento de soldadura óptimo.
- De la investigación realizada, la total producción de las cabinas de un teleférico se vería limitado por la no disponibilidad de todos los materiales indispensables para su conformación, como es el caso de los acrílicos, estos deben cumplir requerimientos muy estrictos de protección ultravioleta, alta resistencia mecánica, bajo peso por lo que una producción 100% nacional se vería obstaculizada.
- Se dimensionó un sistema de suministro eléctrico por energías alternativas en base a los requerimientos establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11, este aspecto es importante ya que se utilizan recursos para la generación de energía limpia evitando la contaminación ambiental y donde otro tipo de suministro energético es imposible.
- El presupuesto final para la producción de una cabina es elevado, sin embargo si la producción se realizará en mayor cantidad, los costos unitarios disminuyen. El proceso de producción de las cabinas impulsaría en gran porcentaje a la industria del país aportando mayor conocimiento sobre este tipo de tecnología.

6.2. Recomendaciones

- Considerando que este tipo de tecnologías es aún desconocido en nuestro se recomienda incursionar de una manera más profunda para realizar un proceso de desagregación tecnológica de todo el sistema teleférico y en especial de la cabina el cual es un elemento importante en la funcionalidad de este medio de transporte.

- Se recomienda iniciar procesos de análisis ingenieriles, técnicos, financieros que permitan determinar la factibilidad de la construcción a nivel nacional de este tipo de dispositivos, lo cual potenciaría el mercado nacional y nos ubicaría en un país pionero en el uso y mantenimiento de esta tecnología.
- Se recomienda establecer una normativa nacional para el diseño, construcción, mantenimiento, operación y certificación de teleféricos adaptadas a nuestra realidad, ya que existen factores que pueden diferir en la utilización de un criterio establecido en la norma, como en el caso de este estudio la normativa española no prevé la utilización de carga de granizo en las combinaciones de carga.

BIBLIOGRAFÍA

- AENOR, A. E. (2007). *Norma Española UNE 13796-1: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas*. Madrid: AENOR.
- AENOR, A. E. (2015). *Norma española UNE-EN 12930: Requisitos de seguridad de las instalaciones de transporte por cable destinadas a personas*. Madrid: AENOR.
- AliExpress. (s.f.). Obtenido de <https://es.aliexpress.com/item/5D60GN-C-24-Volt-DC-Permanent-Magnet-High-Speed-Gear-Motor-24V-1800rpm-Speed-Regulation-Reversible/32716718440.html>
- Armijos, M., & Ramírez, R. (2009). *Diseño de un teleférico turístico de 2000 metros de longitud ubicado en la colonia los Llanganates de la parroquia río negro, cantón Baños, provincia de Tungurahua*. Quito: EPN.
- Biblioteca de la Universidad de Piura. (13 de Octubre de 2016). Obtenido de http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_152_179_103_1427.pdf
- Cazorla, M. (2013). Análisis de los datos horarios de radiación solar y abundancia de ozono del Distrito Metropolitano de Quito del 2007 al 2012. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 12. Obtenido de http://www.usfq.edu.ec/publicaciones/avances/archivo_de_contenidos/Documents/volumen_5_numero_2/c67_5_2_2013.pdf
- Code of Practice on the Design, Manufacture and Installation of Aerial Ropeways*. (2002). Hong Kong.
- Code-Aluminum, A. S. (2013). *ANSI/AWS D1.2/D1.2M: 2014*. American Welding Society.
- Cubadebate. (3 de Enero de 2017). Obtenido de Cubadebate. (2017). Evo inaugura en Bolivia el teleférico urbano más alto del mundo. [online] Available at: <http://www.cubadebate.cu/noticias/2014/05/30/bolivia-inaugura-el-teleferico-urbano-mas-alto-del-mundo/#.WGsX0BvhDIU> [Accessed 3 Jan. 2017].
- De Máquinas y Herramientas*. (s.f.). Obtenido de <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/mecanizado-por-electroerosion>
- Dictator*. (s.f.). Recuperado el 8 de Enero de 2017, de <https://es.dictator.de/productos/pistones-a-gas/pistones-a-gas-de-empuje/>
- EFE. (30 de Mayo de 2014). La Paz estrena la red urbana de teleférico más alta del mundo. *Ecuavisa*.

- EMMOP, E. M. (2016). *Estudio Hidrológico y Meterológico para el Proyecto: "Estudios Complementarios para el Detalle de Ingenierías de las Línea Roldós - Ofelia"*. Quito. Obtenido de http://www.epmmop.gob.ec/doc_quito_cables/PRODUCTO%201/CAP.%20C%20-%20HIDROLOG%cdA%20Y%20METEOROLOG%cdA/Informe%20Meteorologico%20e%20Hidrologico.pdf
- EMSD, E. a. (2002). *Code of practice on the design, manufacture and installation of aerial ropeways*. Hong Kong.
- Euro, I. (2010). *bonnet.es*.
- Europe SunFields. (s.f.). Recuperado el 18 de Enero de 2017, de <https://www.sfe-solar.com/suministros-fotovoltaica-aislada-autonoma/manual-calculo/>
- Facultad de Ingeniería. (s.f.). Recuperado el 8 de Enero de 2017, de <http://materias.fi.uba.ar/7213/MATERIALESCOMPUESTOS.pdf>
- Gonzalez, C. (17 de Septiembre de 2015). *Tallerdeamortiguadores*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2016, de <http://tallerdeamortiguadores01.blogspot.com/2015/09/tipos-de-amortiguadores-y-muelles.html>
- Instituto Técnico de la Estructura en Acero. (01 de 03 de 2015). *Diseño de Uniones*. Obtenido de <http://www.ingenieriarural.com/Acero/Textos/TOMO13.pdf>
- Loayza, C., & Zapata, D. (2012). *Diseño del sistema teleférico tipo turístico de 700 m de longitud entre el barrio 6 de diciembre y balneario de la sucia, ubicados en el cantón San Miguel de los Bancos*. Quito: EPN.
- LRFD, A. (1994). *Manual of steel construction, load and resistance factor design*. Chicago: American Institute of Steel Construction.
- Maxal.com. (Septiembre de 2012). Recuperado el 6 de Febrero de 2017, de http://maxal.com/files/QuickSiteImages/Maxal_Guide_for_Aluminum_Wldg_9-12_doc.pdf
- Mc Cormac, J., & Csernak, S. (2013). *Diseño de Estructuras de Acero - 5ta Edición*. México: Grupo Alafaomega S.A de C.V.
- Mep.mines.edu. (s.f.). Recuperado el 6 de Marzo de 2016, de <http://mep.mines.edu/LIB-Ropeway-About>
- Miravete , A., Larrodé, E., Castejón, L., & Cuartero, J. (1998). *Los Transpotes en la Ingeniería Industrial (teoría)*. Barcelona: Reverté.

MOBIPARK. (s.f.). *Mobiliario urbano y parques infantiles*. Obtenido de <http://www.mobiliariosurbanos.com/mobiliario-urbano/>

NEC, N. E. (2014). *Cargas (No Sísmicas)*. Quito: Código: NEC-SE-CG.

NEC-11, N. E. (2011). *Capítulo 14: Energías Renovables*. Quito.

NORTON, R. (2011). *Diseño de Máquinas: Un enfoque integrado*. México: Prentice Hall.

Orro, A., Novales, M., & Rodríguez, M. (2003). *Transporte por cable*. Tórculo Artes Gráficas.

POMA. (2016). *Descriptivo Técnico: QuitoCables, líena norte*. Quito.

Riba, & Romeva, C. (2002). *Diseño Concurrente*. Barcelona: Edicions UPC.

s.f. (15 de Enero de 2017). *Ecured.cu*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/UHF>

s.f. (s.f.). *Cedal*. Obtenido de <http://www.cedal.com.ec/categorias/perfiles-de-aluminio.html>

s.f. (s.f.). *Corporación Furukawa*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2016, de <http://www.furukawa.com.pe/PDF/aluminio.pdf>

Santamaria, P. (17 de Octubre de 2012). *Smart Home*. Obtenido de <https://www.xatakahome.com/iluminacion-y-energia/que-es-la-iluminacion-led-especial-iluminacion-led>

Spring, L. (s.f.). *Resortes de Catálogo & Hechos a la medida*.

Stackhouse, P. (s.f.). *NASA*. Obtenido de [Eosweb.larc.nasa.gov: https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=-0.206156&lon=-78.388125&submit=Submit](https://eosweb.larc.nasa.gov/bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=-0.206156&lon=-78.388125&submit=Submit)

TV, E. (15 de Enero de 2017). *Transmisoresradio.com*. Obtenido de http://www.transmisoresradio.com/enlaces_link.htm

Valera, F. (s.f.). *scribd.com*. Recuperado el 20 de Febrero de 2017, de <https://es.scribd.com/doc/314529830/Analisis-de-Precios-Unitarios>

ANEXOS

ANEXO 1: CATÁLOGO DE PANEL SOLAR

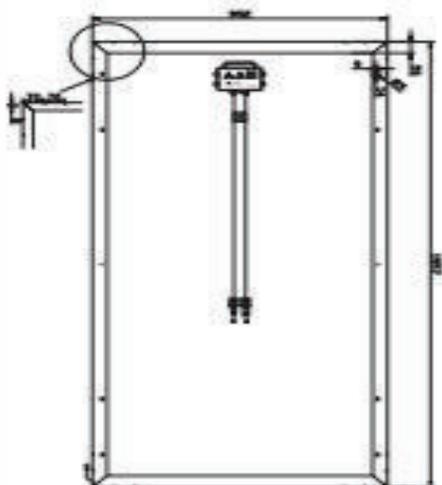
SIMAX 156 SP672-280W-285W-290W-295W-300W-305W-310W



Electrical Characteristics

Parameters	SP672-280		SP672-285		SP672-290		SP672-295		SP672-300		SP672-305		SP672-310	
	STC	NOCT												
Peak power [W] P_{max}	280W	288W	285W	292W	290W	298W	295W	302W	300W	308W	305W	312W	310W	318W
Open circuit voltage [V] V_{oc}	44.4	44.7	44.4	45.0	44.4	45.3	45.0	45.5	45.0	45.8	45.2	45.8	45.5	45.8
Maximum Power Voltage [V] V_{mp}	29.5	29.2	29.8	29.4	29.8	29.4	29.3	29.8	29.3	29.0	29.5	29.0	29.8	29.0
Maximum Power Current [A] I_{mp}	7.82	5.59	7.96	5.85	8.19	5.76	8.11	5.79	8.26	5.95	8.35	5.91	8.42	6.05
Short circuit Current [A] I_{sc}	8.45	5.94	9.00	5.99	8.71	6.06	8.79	6.12	8.93	6.25	8.35	6.29	8.51	7.21
Power Tolerance	0~+3%		0~+3%		0~+3%		0~+3%		0~+3%		0~+3%		0~+3%	
Module Efficiency (%)	14.3%		14.7%		14.9%		15.3%		15.5%		15.7%		16.0%	

STC: Irradiance : 1000 W/m^2 ; Spectrum AM 1.5; Cell temperature: 25°C; Wind 0 m/s
 NOCT: Irradiance: 800 W/m^2 ; Spectrum AM 1.5; ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s



Mechanical Characteristics

Solar Cell	Polycrystalline silicon 156 x 156 (mm)
No. of Cells	72 (6 x 12)
Dimensions	1956 x 992 x 40 mm
Weight	22.5 kg
Front Glass	3.2mm (0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

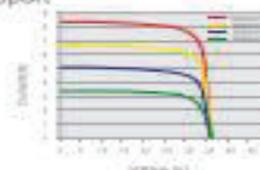
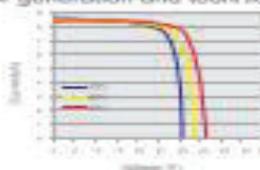
Output

Cable Type	$\varnothing = 4 \text{ mm}^2$
Lengths	L = 900 mm
Junction Box	PV - JBO01 MC4

Temperature Coefficients

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45 ± 2°C
Temperature Coefficient of (P_{max})	-0.39% / °C
Temperature Coefficient of (V_{oc})	-0.34% / °C
Temperature Coefficient of (I_{sc})	0.035% / °C

- Provide the best solutions for photovoltaic power generation and technical support
- Provide Cost-effective products
- Provide 12 Years Quality Warranty
- Power out ≥ 90% in 10 years
- Power out ≥ 80% in 25 years



Global standby to ensure response within 24 hours
 Australia and Europe office were established to give better services to customers

Simax Green New Energy (Europe) GmbH
 Mergenthaler Allee 23 / 25
 67503 Sachsborn / Germany
 Tel: +49 6196 9728 525
 Fax: +49 6196 9009 688
 info@simaxsolar.de
 www.simaxsolar.de



Simax (Australia) Green New Energy Pty Ltd
 5 / 76 Frankston Gardens Drive,
 Camus Downs, VIC 3019
 Tel: +61 3 8028 2680
 Fax: +61 3 8028 2682
 info@simaxsolar.com.au
 www.simaxsolar.com.au



ANEXO 2: CATÁLOGO DE BATERÍA SOLAR

UCG655-12

12V 55AH
Deep Cycle Gel

Physical Specification

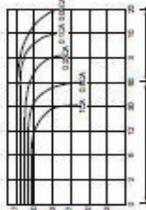
Part Number	UCG655-12
Length	228 ± 2 mm
Width	138 ± 2 mm
Container Height	208 ± 2 mm
Total Height (with terminals)	228 ± 2 mm
Approx Weight	17 kg



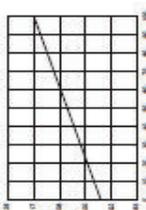
Specifications

Nominal Voltage	12V
Nominal Capacity (20HR)	51 AH
Standard Terminal	F8
Optional Terminal	F8
Standard Option	ABS
Flame Retardant Option (FR)	ABS(LULIA VO)
Rated Capacity	20hr, 1.80V/cell, 25°C 1hr, 1.80V/cell, 25°C 5hr, 1.75V/cell, 25°C 1hr, 1.80V/cell, 25°C
Max Discharge Current	15.5A
Internal Resistance	0.008Ω
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range Discharge: -15 ~ 50°C Charge: 0 ~ 40°C Storage: -15 ~ 40°C
Nominal Operating Temp. Range	-25 ± 3°C
Cycle Use	14.4V ~ 15.0V Temp. Coefficient: -24mV/°C
Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.8V ~ 13.9V Temp. Coefficient: -18mV/°C
Capacity affected by Temperature	40°C: 105% 25°C: 100% 0°C: 95%
Design/Float Life at 20°C	15 Years
Self Discharge	UltraCell Gel can be stored for up to 6 months at 25°C (77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.

Discharge Characteristics



Temperature Effects in Relation to Battery Capacity



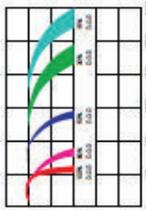
Constant Current Discharge (Amperes) at 20°C

F/V/Temp	5 min	10 min	15 min	30 min	1h	3h	5h	15h	20h
1.80V/cell	193	132	96.3	57.8	36.3	23.5	15.5	10.5	8.30
1.75V/cell	173	120	85.5	51.1	32.2	19.5	13.4	9.74	7.59
1.70V/cell	164	116	80.2	48.0	30.1	18.5	12.4	9.70	7.59
1.75V/cell	146	107	75.3	45.3	28.3	14.9	10.3	8.00	6.28
1.80V/cell	132	100	71.4	42.3	26.3	14.9	10.2	8.50	6.77
1.85V/cell	100	82	70.4	45.1	24.9	14.7	10.2	8.41	6.73

Constant Power Discharge (Watts) at 20°C

F/V/Temp	5 min	10 min	15 min	30 min	1h	3h	5h	15h	20h
1.80V/cell	317	219	171	109	71.5	28.5	20.1	11.7	8.30
1.75V/cell	301	215	169	107	69.1	25.5	20.1	11.5	8.75
1.70V/cell	291	211	169	104	67.3	25.5	20.1	11.4	8.70
1.75V/cell	262	197	156	101	65.7	23.4	19.8	11.2	8.75
1.80V/cell	235	183	147	94.5	65.5	23.0	19.5	11.0	8.55
1.85V/cell	188	143	128	90.3	65.0	22.9	19.3	10.8	8.45

Life Characteristics of Cycle Use



Self Discharge Characteristics



A No supplementary charge required (Carry out supplementary charge before use if 100% capacity is required.)

B Supplementary charge required below use. Optional charging may be below:

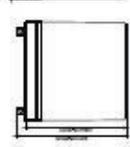
- 1. Charged for above 3 days at limited current 0.25CA and constant voltage 2.25V/cell.
- 2. Charged for above 20 hours at limited current 0.25CA and constant voltage 2.40V/cell.
- 3. Charged for 6-10 hours at limited current 0.05CA.

C Supplementary charge may often fail to recover the capacity. The battery should never be left standing for this to be checked.

Dimensions

F8 Terminal





UltraCell (UK) Ltd | Vesty Business Park, Vesty Road, Liverpool, L30 9NY, United Kingdom
Tel: +44 (0) 151 523 2777 | Fax: +44 (0) 151 523 2855 | Email: info@ultracell.co.uk
www.ultracell.co.uk

ALWAYS CONSULT TECHNICAL SPECIFICATIONS
MCP-ISO9001 VdB CE W

ANEXO 3: CATÁLOGO DE PERFILES



PERFILERIA
DE ALUMINIO

**TUBOS
RECTANGULARES**



REFERENCIA	Base (B)		Altura (A)		Espesor (E) mm	Peso kg/m
	Millímetros	Pulgadas	Millímetros	Pulgadas		
1008	82.50	3 1/4	38.10	1 1/2	2.00	1.264
1009	101.60	4	44.40	1 3/4	2.40	1.837
1016	50.80	2	38.10	1 1/2	1.40	0.920
1018	76.20	3	25.40	1	1.80	0.956
1239	76.20	3	38.10	1 1/2	1.40	1.080
1243	50.80	2	25.40	1	2.20	0.746
1284	57.15	2 1/4	25.40	1	1.90	0.770
1507	101.60	4	44.40	1 3/4	1.65	1.276
1564	135.00	5 5/16	95.00	3 47/64	5.00	5.965
1565	95.00	3 47/64	80.00	3 5/32	4.00	3.621
1762	76.20	3	38.10	1 1/2	1.40	0.787
1763	50.80	2	25.40	1	1.20	0.480
1772	76.20	3	25.40	1	1.45	0.776
1847	127.00	5	63.50	2 1/2	3.00	3.015
1853	50.85	2	38.10	1/2	1.25	0.585
*2027	74.00	2 29/32	24.00	15/16	1.20	0.621
2054	56.45	2 7/32	44.00	1 47/64	2.00	1.046
2289	38.10	1 1/2	19.05	3/4	1.15	0.342
2290	44.45	1 3/4	25.40	1	1.20	0.439
*2308	74.00	2 29/32	19.00	3/4	1.20	0.699
2388	50.00	1 31/32	30.00	1 3/16	1.30	0.547
2391	60.00	2 23/64	30.00	1 3/16	1.30	0.616
2455	76.20	3	63.50	2 1/2	2.00	1.471
2456	95.30	3 3/4	76.20	3	6.60	5.663
2467	101.60	4	50.80	2	2.40	1.931
2522	69.85	2 3/4	31.75	1 1/4	1.27	0.750
2525	50.80	2	25.40	1	1.40	0.507

*Aristas Redondas



Compañía Ecuatoriana de Aluminio S.A.

TUBOS RECTANGULARES



REFERENCIA	Base (B)		Altura (A)		Espesor (E) mm	Peso Kg/m
	Millímetros	Pulgadas	Millímetros	Pulgadas		
2601	101.60	4	38.10	1 1/2	1.50	1.111
2690	82.50	3 1/4	38.10	1 1/2	1.20	0.774
*2663	73.00	2 7/8	23.00	29/32	1.10	0.558
*2664	73.00	2 7/8	35.00	1 3/8	1.10	0.629
2701	50.80	2	12.70	1/2	1.20	0.397
2723	60.30	2 3/8	25.40	1	1.25	0.564
2758	82.50	3 1/4	25.40	1	1.24	0.709
*2817	72.20	2 27/32	32.54	1 9/32	1.10	0.557
*2818	72.20	2 27/32	20.64	13/16	1.00	0.492
2837	76.20	3	38.00	1 1/2	1.10 b 1.15 a	0.667
2857	50.80	2	25.40	1	1.00	0.441
2860	82.50	3 1/4	38.10	1 1/2	1.15	0.737
2861	82.50	3 1/4	25.40	1	1.15	0.658
2862	60.30	2 3/8	25.40	1	1.10	0.499
2901	76.20	3	25.40	1	1.15	0.619
2947	50.70	1 1/2	25.50	1	1.60 a 1.15 b	1.240
3015	44.45	1 3/4	25.50	1	1.20	0.497
*3271	126.50	4 63/64	50.80	2	3.00	2.785
3272	76.20	3	38.10	1 1/2	3.00	1.760
3274	51.20	2 1/64	26.00	1 1/32	3.00	1.157
3307	50.80	2	12.70	1/2	1.25	0.413

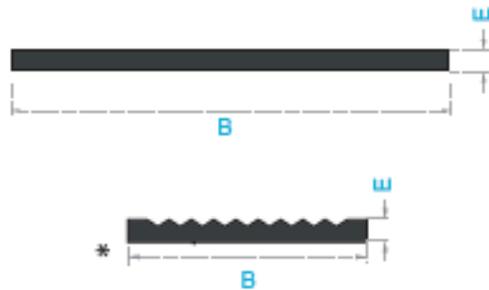
*Aristas Redondas

ANEXO 4: PLETINAS



PERFILERIA
DE ALUMINIO

PLETINAS



REFERENCIA	Lado (B)		Espesor (E)		Peso
	Milímetros	Pulgadas	mm		Kg/m
1002	38.10	1 1/2	3.20		0.331
*1267	25.40	1	2.40		0.142
1408	60.00	2 23/64	1.20		0.195
1423	70.00	2 3/4	1.20		0.228
1618	19.60	49/64	1.80		0.096
1767	25.40	1	2.90		0.199
1813	160.00	6 19/64	5.00		2.168
1814	160.00	6 19/64	2.50		1.084
1885	60.00	2 23/64	5.00		0.813
1922	80.00	3 5/32	4.00		0.867
1982	37.70	1 31/64	2.40		0.245
2015	25.40	1	5.00		0.344
2159	25.40	1	1.58		0.109
2160	19.05	3/4	4.76		0.246
2161	12.70	1/2	3.17		0.109
2187	19.00	3/4	3.00		0.155
2188	19.00	3/4	1.58		0.082
2189	12.70	1/2	3.18		0.109
2190	25.40	1	4.76		0.328
2191	12.70	1/2	1.58		0.054
2298	19.70	25/32	1.40		0.073
2310	38.10	1 1/2	3.20		0.330
2521	31.75	1 1/4	2.00		0.172
2639	152.40	6	1.27		0.525
2877	50.80	2	3.00		0.413
3300	48.60	1 29/32	2.00		0.263



Compañía Ecuatoriana de Aluminio S.A.

PLETINAS

ANEXO 5: CATÁLOGO DE LEDS

LED DE POTENCIA 20W



LED DE POTENCIA 20W

LED-P20YLLLL-120/416



Especificaciones

Tipo de LED: POTENCIA de 20 W

Ángulo de apertura: 120 grados

Encapsulado transparente

Base para disipador de calor

Temperatura de operación: - 35 a 60 °C

Corriente nominal: 1250mA

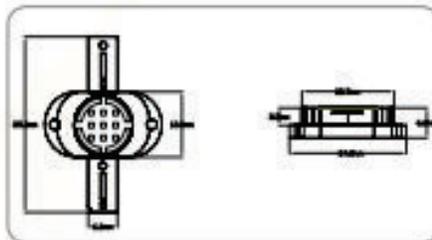
Temperatura de soldadura sin plomo: 260°C
5 seg. máximo

Número de chips internos: 16

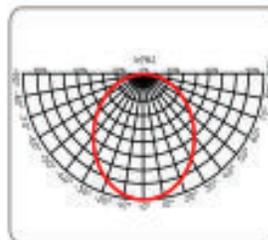
Y Colores disponibles	Temperatura de Color [K]	Voltaje de Operación [V]		Consumo [W]	Flujo Luminoso [lm]	
		Min	Max		Min	Max
ww	3000-5000 K	15.0	18.0	20.0	600	800
w	5000-7000 K	15.0	18.0	20.0	800	1400

LLLL=Flujo Luminoso Máx

Dimensiones



Curva de Distribución luminosa



Nota:
Es necesario dotar al LED de un disipador de calor adecuado con el fin de mantenerlo dentro de la temperatura de operación especificada, de lo contrario una temperatura excesiva causará una degradación o daño permanente.

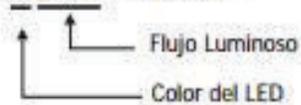


LED DE POTENCIA 5W



LED DE POTENCIA 5W

LED-P5YLLLLL-120/44



Especificaciones

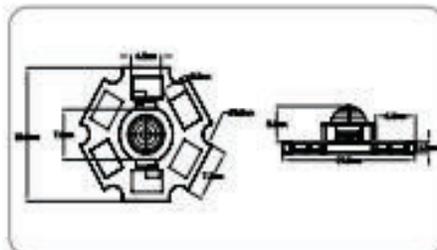
Tipo de LED: POTENCIA de 5W
 Ángulo de apertura: 120 grados
 Encapsulado transparente
 Base para disipador de calor

Temperatura de operación: - 35 a 60 °C
 Corriente nominal: 700mA
 Temperatura de soldadura sin plomo: 260°C
 5 seg. máximo
 Número de chips internos: 4

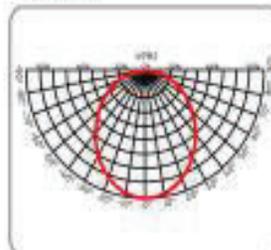
Y Colores disponibles	Longitud de onda [nm] / Temperatura de Color [Tc]	Voltaje de Operación [V]		Consumo [W]	Flujo Luminoso [lm]	
		Mín	Máx		Mín	Máx
R	600-650	2.2	3.0	5.0	120	180
G	490-540	6.5	7.5	5.0	200	300
B	450-500	6.5	7.5	5.0	50	80
Y	550-600	2.2	3.0	5.0	120	180
WW	3000-5000 K	6.5	7.5	5.0	140	200
W	5000-7000 K	6.5	7.5	5.0	180	300

LLLL=Flujo Luminoso Máx

Dimensiones



Curva de Distribución luminosa



Nota:
 Es necesario dotar al LED de un disipador de calor adecuado con el fin de mantenerlo dentro de la temperatura de operación especificada, de lo contrario una temperatura excesiva causará una degradación o daño permanente.



ANEXO 6: CATÁLOGO DE RESORTES

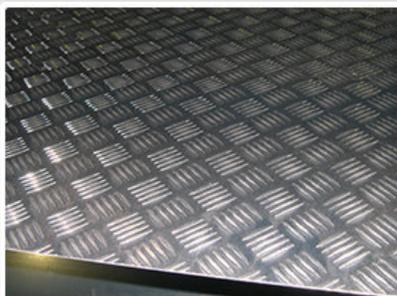
RESORTES PARA TROQUEL HEFTY™: CARGA MEDIA PESADA (COLOR MORADO)

ALAMBRE REDONDO = Alambre de Piano (M) ó Cromo Sódico (C) [Rango Ideal de Funcionamiento: 20% a 25% de Longitud sin Carga]

NÚMERO DE PARTE LEE	DIÁMETRO DEL AGUJERO		DIÁMETRO DEL PERNO		DIÁMETRO EXTERIOR NOMINAL	MEMB.	DIÁMETRO DEL ALAMBRE		LONGITUD SIN CARGA		CARGA A DEFLExIÓN DEL 37%		CONSTANTE		ALTURA SÓLIDA	
	PULG.	MM	PULG.	MM			PULG.	MM	PULG.	MM	PULG.	MM	LIBS.	KG	DISPULG. KG/MM	PULG.
LHL 15008 01					1.425	36.20	.234	5.94	2	50.80	551.30	250.07	745.0	13.304	1.250	31.75
LHL 15008 02					1.415	35.94	.243	6.17	2 1/2	63.50	647.50	293.70	700.0	12.501	1.570	39.88
LHL 15008 03					1.410	35.81	.243	6.17	3	76.20	621.50	281.56	560.0	10.000	1.865	47.37
LHL 15008 04					1.415	35.94	.250	6.35	3 1/2	88.90	683.75	310.15	528.0	9.429	2.190	55.63
LHL 15008 05	1 1/2	38.10	3/4	19.05	1.385	35.18	.250	6.35	4	101.60	710.40	322.24	480.0	8.572	2.505	63.63
LHL 15008 06					1.370	34.80	.250	6.35	4 1/2	114.30	719.28	326.26	432.0	7.715	2.820	71.63
LHL 15008 07					1.390	35.31	.250	6.35	5	127.00	680.80	308.81	368.0	6.572	3.085	78.36
LHL 15008 08					1.370	34.80	.250	6.35	5 1/2	139.70	700.04	317.54	344.0	6.143	3.415	86.74
LHL 15008 09					1.385	35.18	.250	6.35	6	152.40	674.88	306.12	304.0	5.429	3.670	93.22
LHL 15008 10					1.385	35.18	.250	6.35	7	177.80	673.40	305.45	260.0	4.643	4.193	106.50
LHL 15008 11					1.400	35.56	.250	6.35	8	203.20	651.20	295.38	220.0	3.929	4.790	121.67
LHL 20008 01					1.950	49.53	.312	7.92	2 1/2	63.50	948.13	430.07	1025.0	18.304	1.570	39.88
LHL 20008 02					1.900	48.26	.312	7.92	3	76.20	943.50	427.97	850.0	15.179	1.880	47.75
LHL 20008 03					1.840	46.74	.312	7.92	3 1/2	88.90	957.15	452.30	770.0	13.751	2.180	55.37
LHL 20008 04					1.830	46.48	.312	7.92	4	101.60	982.72	445.76	664.0	11.858	2.460	62.48
LHL 20008 05	2	50.80	1	25.40	1.800	45.72	.312	7.92	4 1/2	114.30	999.00	453.14	600.0	10.715	2.785	70.74
LHL 20008 06					1.950	49.53	.331	8.41	5	127.00	1036.00	469.93	560.0	10.000	3.080	78.23
LHL 20008 07					1.950	49.53	.331	8.41	5 1/2	139.70	1005.64	465.23	504.0	9.000	3.345	84.56
LHL 20008 08					1.930	49.02	.331	8.41	6	152.40	1047.84	475.30	472.0	8.429	3.635	92.33
LHL 20008 09					1.930	49.02	.331	8.41	7	177.80	1029.53	466.99	397.5	7.098	4.177	106.10
LHL 20008 10					1.930	49.02	.331	8.41	8	203.20	1041.92	472.61	352.0	6.286	4.790	121.67

RESORTES PARA TROQUEL HEFTY™

ANEXO 7: PLANCAS DE ALUMINIO ANTIDESLIZANTE



CALIDAD: AA5052 H114 DIAMANTADA

OTRAS CALIDADES: PREVIA CONSULTA

FORMATO: 1220 X 2440

OTROS FORMATOS: PREVIA CONSULTA

ACABADOS: NATURAL

ESPEJOR	DIMENSIONES		PESO
	ancho	largo	
mm	mm	mm	kg
2.00	1220	2440	57.21
2.60	1220	2440	76.09
3.00	1220	2440	86.37

ANEXO 8: TABLAS PARA EL DISEÑO DE PERNOS

Resistencia al deslizamiento pernos de calidad 10.9

RESISTENCIA a DESLIZAMIENTO $F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,Cd}$

Tabla 5. UNA SUPERFICIE DE CONTACTO: n = 1 taladros con holguras nominales

TORNILLOS		ACERO 10.9		Clase D	Clase C	Clase B	Clase A
	d mm	A _s mm ²	F _{p,Cd} N/mm ²	μ = 0,2	μ = 0,3	μ = 0,4	μ = 0,5
M 10	10	58	40 000 N	6 400 N	9 600 N	12 800 N	16 000 N
M 12	12	84,3	59 000 N	9 440 N	14 160 N	18 880 N	23 600 N
M 16	16	157	110 000 N	17 600 N	26 400 N	35 200 N	44 000 N
M 20	20	245	172 000 N	27 520 N	41 280 N	55 040 N	68 800 N
M 24	24	353	247 000 N	39 520 N	59 280 N	79 040 N	98 800 N

Tabla 6. DOS SUPERFICIES DE CONTACTO: n = 2 taladros con holguras nominales

TORNILLOS		ACERO 10.9		Clase D	Clase C	Clase B	Clase A
	d mm	A _s mm ²	F _{p,Cd} N/mm ²	μ = 0,2	μ = 0,3	μ = 0,4	μ = 0,5
M 10	10	58	40 000 N	12 800 N	19 200 N	25 600 N	32 000 N
M 12	12	84,3	59 000 N	18 880 N	28 320 N	37 760 N	47 200 N
M 16	16	157	110 000 N	35 200 N	52 800 N	70 400 N	88 000 N
M 20	20	245	172 000 N	55 040 N	82 560 N	110 080 N	137 600 N
M 24	24	353	247 000 N	79 040 N	118 560 N	158 080 N	197 600 N

Resistencia a la tracción pernos de calidad 10.9

Tabla 7 RESISTENCIA a TRACCION

$$F_{t,Rd} = F_{p,Cd}$$

TORNILLOS PRETENSADOS

TORNILLOS		M 12	M 16	M 20	M 24	M 27
ACERO						
8.8	f _{ub} = 800 N/mm ²	47 000 N	88 000 N	137 000 N	198 000 N	257 000 N
10.9	f _{ub} = 1000 N/mm ²	59 000 N	110 000 N	172 000 N	247 000 N	321 000 N

ANEXO 9: PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)								
Nombre de la Empresa: EPN Proyecto: Tesis Diseño de las Cabinas del Proyecto Quito-Cables WPS Precalificado: Si: <input checked="" type="checkbox"/> No: <input type="checkbox"/>				No. Identificación: EPN.AV.001 Realizado por: María José Almeida Pamela Villarreal				
Diseño de la Junta				Técnica de Soldadura				
Tipo de Junta: Filete Abertura de Raíz: 0 mm Talón: 5 mm Método: Preparar la Junta: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				Posición de soldadura: 2F Técnica: GMAW Un pase <input checked="" type="checkbox"/> Varios pases <input type="checkbox"/> Proceso de soldadura: Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Soldadura a: Un lado <input type="checkbox"/> Cordón de respaldo: <input type="checkbox"/> Limpieza de raíz: <input type="checkbox"/>				
Metal Base				Protección				
Especificación: Aluminio 6061-T6 Espesor: 3 - 10 mm				Fuente: NA Gas: Argón Composición: 99,9% Velocidad de Flujo: 12 – 15 Lt/min				
Metal de Aporte				Notas				
Especificación AWS: ER 4043 Marca: AGA Diámetro: 1.2 mm								
Pre calentamiento								
Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Temperatura de Pre calentamiento: Temperatura entre pases: Min Max								
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Nº de Pase	Metales de Aporte		Corriente		Tensión de trabajo (voltios)	Velocidad De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Intensidad (Amperios)			Oscilado	Recto
1-n	ER 4043	1,2	DC +	90-140	25	0,6	NA	NA
DETALLE DE LA JUNTA								

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)								
Nombre de la Empresa: EPN Proyecto: Tesis Diseño de las Cabinas del Proyecto Quito-Cables WPS Precalificado: Si: X No:				No. Identificación: EPN.AV.002 Realizado por: María José Almeida Pamela Villarreal				
Diseño de la Junta				Técnica de Soldadura				
Tipo de Junta: Filete Abertura de Raíz: 5 mm Talón: 5 mm Método: Preparar la Junta: Si X No				Posición de soldadura: 1F Técnica: GMAW Un pase X Varios pases Proceso de soldadura: Tipo: Manual X Automático Soldadura a: Un lado Cordón de respaldo: Limpieza de raíz:				
Metal Base				Protección				
Especificación: Aluminio 6061-T6 Espesor: 3 - 10 mm				Fuente: NA Gas: Argón Composición: 99,9% Velocidad de Flujo: 12 – 15 Lt/min				
Metal de Aporte				Notas				
Especificación AWS: ER 4043 Marca: AGA Diámetro: 1,2 mm								
Precalentamiento								
Si No X Temperatura de Precalentamiento: Temperatura entre pases: Min Max								
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Nº de Pase	Metales de Aporte		Corriente		Tensión de trabajo (voltios)	Velocidad De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Intensidad (Amperios)			Oscilado	Recto
1	ER 4043	1,2	DC +	75 - 120	25	0,6	NA	NA
2-n	ER 4043	1,2	DC +	90-140	25	0,6	NA	NA
DETALLE DE LA JUNTA								

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)								
Nombre de la Empresa: EPN Proyecto: Tesis Diseño de las Cabinas del Proyecto Quito-Cables WPS Precalificado: Si: <input checked="" type="checkbox"/> No:				No. Identificación: EPN.AV.003 Realizado por: María José Almeida Pamela Villarreal				
Diseño de la Junta				Técnica de Soldadura				
Abertura de Raíz: 5 mm Talón: 5 mm Método: Preparar la Junta: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>				Posición de soldadura: 1G Técnica: GMAW Un pase <input checked="" type="checkbox"/> Varios pases Proceso de soldadura: Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Automático Soldadura a: Un lado Cordón de respaldo: Limpieza de raíz:				
Metal Base				Protección				
Especificación: Aluminio 6061-T6 Espesor: 3 - 10 mm				Fuente: NA Gas: Argón Composición: 99,9% Velocidad de Flujo: 12 – 15 Lt/min				
Metal de Aporte				Notas				
Especificación AWS: ER 4043 Marca: AGA Diámetro: 1,2 mm								
Precalentamiento								
Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Temperatura de Precalentamiento: Temperatura entre pases: Min Max								
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA								
Nº de Pase	Metales de Aporte		Corriente		Tensión de trabajo (voltios)	Velocidad De avance (mm/min)	Técnica de soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Intensidad (Amperios)			Oscilado	Recto
1	ER 4043	1,2	DC +	75 - 120	25	0,6	NA	NA
2-n	ER 4043	1,2	DC +	90-140	25	0,6	NA	NA
DETALLE DE LA JUNTA								

ANEXO 10: PROFORMAS DISMETAL



URB. JARDINES DE LA PAMPA CALLE C- 43
TELEFAX - 3 490-435
CEL. 0993-335-274
QUITO-ECUADOR

POFORMA # 03-15

PARA: SRTA. PAMELA VILLARREAL
ATENCION:
DE: DISMETAL
ASUNTO: COTIZACION
FECHA: 16-mar-2017

ITEM	MATERIAL	UNID.	CANT.	P.UNIT.	TOTAL	ENTREGA
1	PLANCHA ALUMINIO ANTIDESLIZANTE 3 MM. 1,22 X 2,44 MT.	UNID.	5	128,00	640,00	INMEDIATA
3	PLANCHA ALUMINIO LISO 3 MM.	UNID.	6	99,00	594,00	INMEDIATA
4	PLANCHA ALUMINIO LISO 4 MM.	UNID.	6	138,00	828,00	INMEDIATA

S. TOTAL 2.062,00
14% IVA 288,68
TOTAL 2.350,68

VALIDEZ : 2 DIAS
FORMA DE PAGO : CONTADO
ENTREGA : SALVO VENTA

Atentamente,

EDISON AGUAS E.
DISMETAL

CEL. 0993-335-274
ventas@dismetalec
www.dismetalec

PROVIENTO

	Policristalino 250Wp / 30V SOLO SISTEMAS DE INYECCION 320,- USD ✓		36.6V	29.50V	8.42A	7.80A	Poli 60 cel/ Sj	1640x992x40		0	
	Monocristalino 230Wp / 30V SOLO SISTEMAS MPPT 290,- USD ✓		36.8V	29.7V	8.30A	7.69A	Mono 60 cel/ Sj	1640x992x50		5	
	Policristalino 300Wp / 24V 390,- USD ✓		45.0V	37.8V	8.93A	8.26A	Poli 72 cel/ Sj	1956x992x40		0	

ANEXO 10: PLANOS