

**DISEÑO DE LOS SISTEMAS MECANICOS DE UN ASCENSOR
CONVENCIONAL PARA LA EMPRESA TVC ASCENSORES.**

**DIEGO OMAR CARRASCAL DÍAZ
MIGUEL ANDRÉS DURÁN ÁLVAREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2020

**DISEÑO DE LOS SISTEMAS MECANICOS DE UN ASCENSOR
CONVENCIONAL PARA LA EMPRESA TVC ASCENSORES.**

**DIEGO OMAR CARRASCAL DÍAZ
MIGUEL ANDRÉS DURÁN ÁLVAREZ**

Trabajo de grado para optar el título de ingeniero mecánico

**ISNARDO GONZALEZ JAIMES
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2020

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía, darme fortaleza para no desistir ante las dificultades y lograr cumplir mis sueños.

A mis padres por siempre apoyarme y brindarme amor en todo momento, por su esfuerzo y sacrificios para darme la posibilidad de prepararme para ser profesional, por la confianza y comprensión que siempre han tenido en mí. A mi hermana y hermano que siempre me apoyaron, me aconsejaron y me motivaron para salir adelante y alcanzar mis objetivos. A mis familiares y amigos que siempre estuvieron junto a mi durante todo este proceso, en las buenas y en las malas, que siempre aportaron para que yo fuese mejor persona.

Miguel Andrés Durán Álvarez

A Dios, por darme vida, sabiduría, esperanza y una familia que me acompaña incondicionalmente.

A mis padres Luis Carrascal y Bedy Diaz, fuente de conocimiento moral y ético, quienes con esfuerzo y dedicación lo dieron todo para que culminara mis estudios. Sus consejos y enseñanzas son la mejor guía. A mi hermano Omar Carrascal, por sus consejos y motivación, quien me impulsó a conocer el sector industrial.

A mis amigos, quienes estuvieron a mi lado aún en las dificultades, celebrando triunfos, aprendiendo y trabajando para superar cualquier problema.

Diego Omar Carrascal Díaz

AGRADECIMIENTOS

A la empresa transporte vertical colombiano (T.V.C.S.A) y todos sus empleados.

A nuestro director de proyecto Isnardo González Jaimes, profesor de la escuela de ingeniería mecánica, por asesorarnos siempre de la mejor manera y tener la buena disposición de aconsejarnos y brindarnos su amistad y apoyo.

A nuestras familias, amigos y a todas las personas que formaron parte de este proceso y aportaron de una forma u otra para la realización de este proyecto.

Diego Omar Carrascal
Miguel Andrés Durán

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	19
1. EQUIPOS DE ELEVACION EN T.V.C. ASCENSORES.....	20
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.2. JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.....	22
1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO.....	23
1.3.1. Objetivo general.....	23
1.3.2. Objetivos específicos	23
2. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE ASCENSORES ELECTROMECÁNICOS.....	24
2.2. GENERALIDADES.....	24
2.3. COMPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO.....	25
2.3.1. Ascensor eléctrico.....	25
2.3.2. Dispositivos de seguridad.....	29
2.4. NORMATIVA PARA ASCENSORES ELÉCTRICOS.....	32
3. DISEÑO CONCEPTUAL	33
3.1. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	33
3.2. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD).....	34
3.2.1. Requerimientos del Consumidor	34
3.2.2. Criterio de diseño	34
3.3. MATRIZ DE CALIDAD.....	36
3.3.1. Ponderación de resultados para selección de la solución.....	37

3.4. MATRIZ DE CALIDAD DE LOS SUBSISTEMAS	37
3.5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	38
3.5.1. Sistema de potencia.....	38
3.5.1.1.Subsistema motriz	38
3.5.1.2.Subsistema de transmisión principal.....	40
3.5.2. Sistema de seguridad.....	42
3.5.2.1. Subsistema de frenado	42
3.5.3. Sistema de soporte	43
3.5.3.1.Subsistema de guías	43
3.6. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.....	45
3.6.1. Subsistema de Transmisión Principal	47
3.6.2. Subsistema Motriz.....	48
3.6.3. Subsistema de Frenado	49
3.6.4. Subsistema de Estructura	49
4. DISEÑO EN DETALLE DEL ASCENSOR.....	52
4.1. REQUERIMIENTOS DE LA EMPRESA PARA LA APLICACIÓN DEL PROYECTO.....	53
4.2. FUERZAS Y CARGAS	54
4.2.1. Fuerzas para relación 1:1.....	55
4.2.2. Fuerza para relación 2:1.....	56
4.3. SISTEMA DE POTENCIA	57
4.3.1. Cálculo de potencia.....	57
4.3.2. Selección de la máquina	58
4.4. SISTEMA DE TRACCIÓN	59

4.4.1. Consideraciones Norma 2769-1	59
4.4.2. Cálculos para cables.	60
4.4.3. Selección del cable	66
4.4.4. Cálculo de polea.....	66
4.4.5. Dimensionamiento de la polea tractora	69
4.4.6. Selección de la polea	70
4.4.7. Selección completa del grupo tractor	70
4.5. SISTEMA DE GUÍAS.....	71
4.5.1. Cotas de las guías de cabina	72
4.6. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA GUÍA.....	72
4.6.1. Cálculo de la deformación máxima	73
4.6.2. Cálculo del factor de seguridad por esfuerzo de frenado	74
4.6.3. Selección de las zapatas de guías	75
4.7. AMORTIGUADORES	77
4.7.1. Carrera requerida de los amortiguadores.....	77
4.7.2. Selección de amortiguador.....	78
4.8. BASTIDOR Y CABINA	80
4.8.1. Condiciones para el estudio estático estructural	80
4.8.1.1.Descripción de los materiales empleados.....	81
4.8.1.2.Geometría y aplicación de cargas en SolidWorks	82
4.8.2. Bastidor.	83
4.8.2.1.Mallado de la estructura.....	84
4.8.2.3.Desplazamiento máximo.....	86
4.8.2.4.Factor de seguridad.....	86

4.8.3. Cabina.....	88
4.8.3.1.Techo.....	88
4.8.3.2.Panel de cabina.....	92
4.8.3.3.Piso de cabina.....	97
5. VALIDACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN.....	101
5.1. DESCRIPCIÓN DISEÑO POR LA EMPRESA.....	101
5.1.1. Máquina seleccionada por T.V.C.....	101
5.1.2. Guías.....	102
5.1.3. Limitador y amortiguador.....	103
5.1.4. Bastidor.....	103
5.1.4.1.Esfuerzo máximo bastidor T.V.C.....	105
5.1.4.2.Desplazamiento máximo bastidor T.V.C.....	106
5.1.5. Cabina.....	108
5.1.5.1.Techo.....	108
5.1.5.2.Paredes.....	112
6. GENERACIÓN DEL SOFTWARE DE SELECCIÓN.....	118
6.1. FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE.....	124
6.2. CUMPLIMIENTO DE LA NORMA.....	126
7. ANÁLISIS DE COSTOS Y VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO	127
7.1. COSTOS ASCENSOR.....	127
7.1.1. Costos de maquinaria.....	127
7.1.2. Presupuesto bastidor.....	129
7.1.3. Presupuesto bastidor hecho por la empresa.....	129
7.2. PRESUPUESTO DEL SOFTWARE.....	130

7.2.1. Valor inversión inicial software	130
7.2.2. Calculo del costo de mantenimiento.....	133
7.2.3. Calculo de ingresos	134
7.2.4. Análisis de la inversión en el software.....	134
8. CONCLUSIONES.....	140
BIBLIOGRAFÍA.....	142

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Matriz de calidad.....	36
Tabla 2. Ponderación de resultados para la selección de la solución.....	37
Tabla 3. Subsistema de transmisión principal.....	46
Tabla 4. Subsistema motriz	46
Tabla 5. Subsistema de frenado	46
Tabla 6. Subsistema de guías y estructura.....	46
Tabla 7. Variables dadas por el cliente	52
Tabla 8. Cálculos relación 1:1	55
Tabla 9. Cálculos relación 2:1.....	56
Tabla 10. Cálculos de potencia.....	57
Tabla 11. Descripción maquina SH140.....	58
Tabla 12. Cálculos para Factor de seguridad mínimo en cables.	61
Tabla 13. Evaluación de $N_{eq}(t)$	62
Tabla 14. Características cables.....	64
Tabla 15. Cálculos de cables	65
Tabla 16. Cálculos polea	68
Tabla 17. Dimensionamiento de la polea.....	69
Tabla 18. Dimensionamiento del grupo tractor	70
Tabla 19. Cotas de las guías	72
Tabla 20. Características mecánicas de la guía	72
Tabla 21. Calculo deformación en las guías	73
Tabla 22. Cálculo del factor de seguridad en la guía	74
Tabla 23. Selección de las zapatas	75
Tabla 24. Selección de las zapatas 2	76
Tabla 25. Cálculo de amortiguadores	78

Tabla 26. Selección amortiguadora tipo buffer	79
Tabla 27. Características buffer	80
Tabla 28. Condiciones para el estudio estático estructural	80
Tabla 29. Descripción de material acero A36	81
Tabla 30. Descripción material acero inoxidable AISI 316L	81
Tabla 31. Cálculos de cargas para la simulación	82
Tabla 32. Detalles de la malla bastidor	84
Tabla 33. Resultado esfuerzo de tensión	85
Tabla 34. Resultados desplazamiento en bastidor	86
Tabla 35. Resultado factor de seguridad bastidor	88
Tabla 36. Detalles malla techo	89
Tabla 37. Resultados simulación esfuerzos en techo	90
Tabla 38. Resultados desplazamiento techo	91
Tabla 39. Resultado factor de seguridad techo	92
Tabla 40. Detalles malla panel	93
Tabla 41. Resultado simulación esfuerzo panel	94
Tabla 42. Resultado desplazamiento panel	95
Tabla 43. Resultado factor de seguridad panel	96
Tabla 44. Detalles de malla piso	97
Tabla 45. Resultados simulación esfuerzo piso	98
Tabla 46. Resultado desplazamiento piso	99
Tabla 47. Resultado factor de seguridad piso	100
Tabla 48. Descripción del grupo tractor	102
Tabla 49. Detalles malla bastidor T.V.C.	104
Tabla 50. Resultados simulación esfuerzo bastidor T.V.C.	106
Tabla 51. Resultados desplazamiento bastidor T.V.C.	107
Tabla 52. Resultado factor de seguridad bastidor T.V.C.	107
Tabla 53. Comparación factores de seguridad bastidores	108
Tabla 54. Detalles malla techo T.V.C.	109
Tabla 55. Resultado simulación esfuerzo techo T.V.C.	110

Tabla 56. Resultado desplazamiento techo T.V.C.	110
Tabla 57. Resultado factor de seguridad techo T.V.C.	111
Tabla 58. Comparación techos	111
Tabla 59. Comparación paneles de paredes	112
Tabla 60. Detalle malla piso T.V.C.....	113
Tabla 61. Resultado simulación esfuerzo piso T.V.C.....	114
Tabla 62. Resultado desplazamiento piso T.V.C.	115
Tabla 63. Resultado factor de seguridad piso T.V.C.....	116
Tabla 64. Tipos de pisos	115
Tabla 65. Comparación pisos o bases.....	116
Tabla 66. Tabla de comparación.....	117
Tabla 67. Presupuesto maquinaria calculada	128
Tabla 68. Presupuesto maquinaria T.V.C.	128
Tabla 69. Presupuesto bastidor diseñado.....	129
Tabla 70. Presupuesto bastidor T.V.C.	129
Tabla 71. Costos de fabricación.....	130
Tabla 72. Depreciación anual	131
Tabla 73. Depreciación mensual.....	132
Tabla 74. Presupuesto del software.....	133
Tabla 75. Análisis de la inversión.....	134
Tabla 76. Cálculos de inversión	136
Tabla 77. Intereses	136
Tabla 78. Tasa interna de retorno.....	137
Tabla 79. Valor presente neto.....	138

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Fotografía del taller T.V.C.....	20
Ilustración 2. Grupo tractor sin fin corona	27
Ilustración 3. Cabina	28
Ilustración 4. Contrapeso	29
Ilustración 5. Sistema de paracaídas	30
Ilustración 6. Limitador de velocidad.....	30
Ilustración 7. Amortiguador tipo buffer	31
Ilustración 8. Motor eléctrico corriente continua.....	38
Ilustración 9. Motor a combustión	39
Ilustración 10. Motor corriente alterna.....	39
Ilustración 11. Polipasto con polea	40
Ilustración 12. Circuito hidráulico con motor	40
Ilustración 13. Circuito hidráulico con pistón	41
Ilustración 14. Frenos de zapata externa.....	42
Ilustración 15. Freno de zapata interna.....	43
Ilustración 16. Estructura convencional y guías en T.....	44
Ilustración 17. Vista superior.....	44
Ilustración 18. Rieles circulares	45
Ilustración 19. Cabina tipo plataforma.....	45
Ilustración 20. Polipasto	47
Ilustración 21. Grupo tractor.....	48
Ilustración 22. Sin fin corona.....	48
Ilustración 23. Freno Zapata externo.	49
Ilustración 24. Riel en T.	50
Ilustración 25. Rodachines.....	50
Ilustración 26. Perfil en C estructura.	51
Ilustración 27. Logo de Icontec	53
Ilustración 28. Maquina SH140.....	58

Ilustración 29. Poleas de tracción y ranuras de tracción por diámetro de cuerdas	60
Ilustración 30. Detalle de la ranura de la polea de tracción	62
Ilustración 31. Gráfico de selección del factor de seguridad	63
Ilustración 32. Cable 6x19 acero	66
Ilustración 33. Perfil de cable y garganta	67
Ilustración 34. Dimensionamiento del grupo tractor	70
Ilustración 35. Perfil en T	71
Ilustración 36. Vistas Perfil en T	75
Ilustración 37. Zapata deslizante	76
Ilustración 38. Gráfica carrera de amortiguamiento	77
Ilustración 39. Buffer	79
Ilustración 40. Detalle superficie de sujeción de cables	83
Ilustración 41. Elemento de sujeción entre cables y bastidor	83
Ilustración 42. Descripción del modelo bastidor	83
Ilustración 43. Simulación del esfuerzo en el bastidor	85
Ilustración 44. Detalle esfuerzo máximo placa	85
Ilustración 45. Simulación desplazamiento máximo en el bastidor	86
Ilustración 46. Simulación factor de seguridad bastidor	87
Ilustración 47. Detalle factor de seguridad mínimo	87
Ilustración 48. Descripción modelo Techo	88
Ilustración 49. Simulación del esfuerzo en el techo	89
Ilustración 50. Detalle esfuerzo máximo	89
Ilustración 51. Simulación desplazamiento máximo en el techo	90
Ilustración 52. Simulación factor de seguridad techo	92
Ilustración 53. Descripción modelo panel	92
Ilustración 54. Simulación esfuerzo en el panel	93
Ilustración 55. Simulación desplazamiento máximo en el panel	95
Ilustración 56. Simulación factor de seguridad en el panel	96
Ilustración 57. Descripción modelo piso	97
Ilustración 58. Simulación esfuerzo en el piso	98

<i>Ilustración 59. Simulación desplazamiento máximo piso</i>	99
<i>Ilustración 60. Simulación factor de seguridad piso</i>	100
<i>Ilustración 61. Máquina MR16</i>	101
<i>Ilustración 62. Descripción modelo bastidor T.V.C.</i>	104
<i>Ilustración 63. Simulación del esfuerzo en el bastidor T.V.C</i>	105
<i>Ilustración 64. Simulación del esfuerzo en el bastidor T.V.C- Isométrica</i>	105
<i>Ilustración 65. Simulación desplazamiento máximo bastidor T.V.C.</i>	106
<i>Ilustración 66. Simulación factor de seguridad bastidor T.V.C.</i>	107
<i>Ilustración 67. Descripción modelo techo T.V.C.</i>	109
<i>Ilustración 68. Simulación esfuerzo techo T.V.C.</i>	109
<i>Ilustración 69. Simulación desplazamiento techo T.V.C.</i>	110
<i>Ilustración 70. Simulación factor de seguridad techo T.V.C.</i>	111
<i>Ilustración 71. Descripción modelo piso T.V.C.</i>	113
<i>Ilustración 72. Simulación esfuerzo piso T.V.C.</i>	114
<i>Ilustración 73. Simulación desplazamiento piso T.V.C</i>	114
<i>Ilustración 74. Simulación factor de seguridad piso T.V.C.</i>	116
<i>Ilustración 75. Plano planta ascensor</i>	118
<i>Ilustración 76. Diagrama de flujo del programa</i>	119
<i>Ilustración 77. Front end del software</i>	124
<i>Ilustración 78. Datos de salida</i>	124
<i>Ilustración 79. Plano bastidor</i>	125
<i>Ilustración 80. Restricción</i>	126
<i>Ilustración 81. Gráfica de ingresos y egresos</i>	135
<i>Ilustración 82. Tasa de retorno del banco</i>	137

LISTA DE ANEXOS

pág.

Pueden ser consultados en la Base de Datos Biblioteca

Anexo A. Catálogo Maquinaria

Anexo B. Perfiles estructurales

Anexo C. Planos

Anexo D. Manual de usuario -Software

Anexo E. Normas

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE LOS SISTEMAS MECANICOS DE UN ASCENSOR CONVENCIONAL PARA LA EMPRESA TVC ASCENSORES^{1*}.

AUTORES: DIEGO OMAR CARRASCAL
MIGUEL ANDRÉS DURÁN ÁLVAREZ^{**}

PALABRAS CLAVE: Ascensores, CAD ,Software, diseño.

DESCRIPCIÓN:

La finalidad de este proyecto es servir de apoyo al equipo de diseño de la empresa transporte vertical colombiano T.V.C. ascensores, desarrollando un proyecto de diseño de ascensores, según las pautas planteadas por la norma técnica colombiana 2769-1 Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores, para comparar los resultados de nuestro proyecto con uno realizado por la empresa, verificando si se cumple con los requisitos de la norma y definiendo mejoras en el diseño con la finalidad de disminuir costos, manteniendo la calidad y buen funcionamiento. Adicional a esto se crea un software llamado PROSD ascensores para facilitar el proceso de diseño y selección de los componentes. Este software entrega especificaciones detalladas de los principales componentes incluyendo el grupo tractor, guías, cables y aparatos de seguridad. Esta selección se realiza dependiendo de la carga , las dimensiones disponibles y las condiciones establecidas por la norma, además el software entregará los planos detallando dimensiones y calibres tanto de bastidor como cabina.

Este proyecto se basó en la información de catálogos, procedimientos establecidos por la empresa y la experiencia de los trabajadores. Se emplearon herramientas CAD, CAE para la simulación estático estructural, la norma técnica Colombiana para las condiciones de carga y sobredimensionamiento, por último, visualBasic.Net para el desarrollo del software.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ing. Isnardo González, Ing. Mecánico.

ABSTRACT

TITULO: DESIGN OF THE MECHANICAL SYSTEMS OF A CONVENTIONAL ELEVATOR FOR THE COMPANY TVC ASCENSORES ^{2*}.

AUTHORS: DIEGO OMAR CARRASCAL
MIGUEL ANDRÉS DURÁN ÁLVAREZ**

KEY WORDS: Elevators, CAD, software, design.

DESCRIPTION:

The purpose of this project is to support the design team of the Colombian vertical transport company T.V.C. elevators, developing an elevator design project, according to the guidelines established by the Colombian technical standard 2769-1 Safety rules for the construction and installation of elevators, to compare the results of our project with one carried out by the company, verifying if complies with the requirements of the standard and defining improvements in the design in order to reduce costs, maintaining quality and good operation. In addition to this, a software called PROSD elevators is created to facilitate the process of design and selection of components. This software provides detailed specifications of the main components, including the tractor unit, guides, cables and safety devices. This selection is made according to the load, the available dimensions and the conditions established by the standard. In addition, the software will deliver the drawings, dimensions and gauges of both the frame and the cabin.

This project was based on information from catalogs, procedures established by the company and the experience of the workers. CAD and CAE tools were used for the structural static simulation, the Colombian technical standard for loading conditions and oversizing, and finally, visualBasic.Net for the development of the software.

* Degree work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Ing. Isnardo González, Mechanical Engineer.

INTRODUCCIÓN

El transporte vertical es fundamental debido al crecimiento poblacional que se está dando en el mundo, lo que permite la posibilidad del mejor aprovechamiento de los espacios. En el presente proyecto se rediseña un modelo específico de ascensor implementado por la empresa T.V.C. ascensores, con el fin de buscar disminución de costos en su fabricación tomando como referencia la norma técnica colombiana 2769-1 y siguiendo todos los parámetros de diseño propuestos por ella. A su vez también se busca diseñar y crear un software que permita facilitar el proceso de diseño y selección de los componentes más importantes del conjunto, con el que teniendo parámetros básicos de cada proyecto podamos obtener el dimensionamiento del bastidor, cabina y selección de componentes como el grupo tractor, cables, limitador de velocidad, zapatas y guías.

Todo esto con el fin de aportar a la empresa de tamaño medio para que sea más competitiva en el sector industrial logrando disminuir los tiempos de diseño además de la aplicación de la norma NTC 2769-1 haciendo sus diseños económicos y eficientes para obtener la mayor rentabilidad.

1. EQUIPOS DE ELEVACION EN T.V.C. ASCENSORES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento de la población humana es mayor a lo largo del tiempo. Esto, conlleva un aumento en la demanda de bienes y servicios. Dentro de estos factores, otra importante consecuencia del crecimiento de la población es el incremento en el uso de los espacios. La necesidad por el uso de los espacios ha llevado a optimizarlos y a mejorar su aprovechamiento mediante las construcciones verticales o edificios, las cuales son comunes hoy día.

Mediante el desarrollo tecnológico e industrial se ha logrado incorporar en las construcciones verticales o edificios sistemas que mejoran las condiciones de vida de las personas como ascensores, elevadores de carga, transporte especial para personas discapacitadas, entre otros. Debido a esta necesidad, se ha generado el incremento en la demanda de sistemas de transporte de carga, lo que representa una oportunidad de negocio para la empresa Transporte Vertical Colombiano TVC Ascensores S.A.S.

Ilustración 1. Fotografía del taller T.V.C.



La empresa TVC identificada con el NIT 900582475 es una empresa especializada en el diseño, mantenimiento y construcción de ascensores y elevadores de carga pesada. Comenzó con trabajos en el año 2013 con la construcción de ascensores convencionales. Hasta el momento la empresa ha fabricado un aproximado de 40 ascensores con capacidades de 2 a 12 personas con alturas máximas del sistema de hasta 42 metros.

Para fabricar los ascensores, el dueño de la empresa toma decisiones en base a su experiencia laboral, y en proyectos fabricados anteriormente, imposibilitando la mejora continua y fabricando los ascensores sin una base de cálculo de ingeniería que permita tomar decisiones sobre el dimensionamiento adecuado de los subsistemas que componen los ascensores.

La consecuencia de esto es elegir sistemas sobredimensionados que hacen que, al evaluar los proyectos requeridos por los clientes los costos se eleven considerablemente por encima de los costos que ofrece la competencia.

Otro problema es la falta de estandarización de los proyectos, que alarga los tiempos de producción e imposibilita a los trabajadores de tomar decisiones importantes que puedan afectar positivamente el diseño y construcción de los ascensores.

Para solucionar el problema se plantea la necesidad de diseñar los ascensores convencionales de la empresa TVC ASCENSORES con capacidad de máximo 12 personas en base a cálculos de ingeniería, dimensionando eficientemente el sistema y ajustándose a los requerimientos solicitados. Por lo tanto, debe ser un diseño que permita modificaciones en sus variables de entrada y que sea manipulable por los trabajadores de la empresa.

1.2. JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

Debido al crecimiento de la población con el paso del tiempo se hace importante el aprovechamiento del espacio, de esta manera las construcciones que están tomando fuerza son las verticales, por tanto, para el confort de las personas es necesario el uso de ascensores que cuenten con comodidad, eficiencia y seguridad. Hoy día el mercado industrial ha logrado un gran desarrollo debido al avance tecnológico, esto implica aumento en el nivel de competencia lo cual hace importante mejorar la calidad de los productos y minimizar gastos en producción.

La empresa santandereana Transporte Vertical Colombiano TVC Ascensores dedicada al diseño, manufactura, distribución y mantenimiento de ascensores, plataformas, elevadores de carga hidráulicos y de tracción requiere el apoyo en el proceso de diseño de ascensores a tracción puesto que no cuenta con una base de cálculos de ingeniería pertinentes que permitan optimizar la selección adecuada de los subsistemas que componen los ascensores a tracción.

Por lo tanto, el proceso de diseño de los ascensores se realiza por la experiencia técnica del gerente, imposibilitando a sus empleados involucrarse en el proceso de diseño y selección de los componentes de ascensores convencionales. La consecuencia de no tener conocimientos previos de ingeniería es la sobredimensión de los subsistemas que componen los ascensores que fabrica la empresa, esto aumenta los costos de producción, alarga los plazos de entrega e implica baja competitividad en proyectos de mayor inversión y tamaño.

Corresponde a nosotros como ingenieros ayudar e impulsar la industria Santandereana y colombiana con el objetivo de volverla competitiva y sostenible, desde la pequeña, mediana y gran empresa. Entregar a la empresa un software que permita el diseño y selección óptima de los subsistemas que componen e integran los ascensores convencionales, permitirá competir en proyectos más grandes.

1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.3.1. Objetivo general Contribuir a la misión de la Universidad Industrial de Santander con el desarrollo de tecnología para la solución del problema de diseño de ascensores de tracción para la empresa TVC ascensores empleando herramientas computacionales.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar los subsistemas tales como cabina, sistema de tracción, estructura del ascensor, dispositivos de seguridad, limitador de velocidad, y paracaídas para ascensores de capacidad máxima de 12 personas.
- Parametrizar el proceso de diseño y selección de los componentes de ascensores convencionales según los requerimientos tales como: capacidad de carga, cantidad de pisos y velocidad de desplazamiento por medio de la creación de un software en Excel.
- Analizar la viabilidad económica del proyecto mediante el respectivo análisis de costos para decidir sobre la fabricación de este.
- Validar los datos del diseño realizado de dos maneras:
 - i. Modelando los subsistemas de ascensores en la herramienta computacional SolidWorks mediante un análisis de elementos finitos de las partes sometidas a mayores esfuerzos.
 - ii. Comparando el factor de seguridad resultado del diseño con el de un proyecto hecho por la empresa

2. MARCO TEÓRICO

2.1. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE ASCENSORES ELECTROMECÁNICOS

Los primeros dispositivos de elevación y transporte se crearon y usaron a mediados del siglo XXII a.C. en su mayoría se basaban en sistemas de palancas, poleas, rodillos y planos inclinados. La realización de grandes trabajos de construcción con este tipo de equipamiento exigía enorme cantidad de gente; lo que generó la necesidad de crear sistemas más eficientes³.

“Hacia 2820 a.C. se obtienen en China fibras resistentes a partir de la planta del cáñamo”. Las nuevas cuerdas chinas demostraron ser muy resistentes tanto a la tracción como a las inclemencias del tiempo. Se emplean para las primeras instalaciones de elevación vertical utilizando el sistema Shadoof, un sistema que implementa el concepto de la palanca para transportar el agua a mediados del siglo XXII a.C.

2.2. GENERALIDADES

Como consecuencia de la evolución de las construcciones verticales nace la necesidad de transportar de un piso a otro rápidamente personas u objetos, manteniendo el confort de los habitantes de estas edificaciones. Para esto se implementa por normativa el uso de elevadores o ascensores eléctricos para edificios de más de 5 pisos.

Un ascensor o elevador es un sistema de transporte vertical, diseñado para mover personas u objetos entre los diferentes niveles de un edificio o estructura. Existe

³ MIRAVETE, Antonio, LARRODÉ, Emilio. Elevadores: Principios e innovaciones. Editorial Reverté.España 2007. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=BsaqGTRli58C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

gran cantidad de elevadores de carga, algunos utilizados para distancias cortas (ascensores hidráulicos y aplicaciones de carga alta) y otros para distancias largas y de carga liviana (ascensores eléctricos). El gran desarrollo de elevadores se ha enfocado a los accionados electrónicamente dejando de lado los de tipo hidráulico por sus altos costos de instalación y mantenimiento, Especialmente para edificaciones de entre 2 y 5 plantas.

El sistema de elevación está formado por lo general de partes mecánicas, eléctricas y electrónicas que funcionan en conjunto para ponerlo en marcha.

2.3. COMPOSICIÓN Y FUNCIONAMIENTO

2.3.1. Ascensor eléctrico: Los grupos tractores de los ascensores eléctricos están normalmente formados por un grupo motor, acoplado a un reductor de velocidad, en cuyo eje de salida va montada la polea acanalada que arrastra los cables por adherencia, o bien un tambor en el que se enrollan los cables, aunque éste último sistema ya prácticamente no se utiliza⁴.

La instalación se compone de un circuito de tracción, anteriormente descrito y compuesto por motor, freno, reductor y polea de tracción, un circuito de elevación compuesto por la cabina, el contrapeso y el cable de tracción y en algunos casos el cable de compensación y finalmente se implanta un circuito de limitador de velocidad compuesto por el propio limitador, el cable de paracaídas y el mecanismo propiamente dicho de paracaídas que hace detener la cabina en caso de exceso de

⁴ ASCENSORES DOMINGO. Partes de un ascensor. [Consulta: 15 de septiembre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <https://ascensoresdomingo.com/blog/partes-de-un-ascensor>

velocidad. También se incorpora la instalación fija formada por guías y amortiguadores, cuartos de máquinas y poleas y puertas de acceso⁵.

- **Dos velocidades:** Los grupos tractores de dos velocidades poseen motores trifásicos de polos conmutables, que funcionan a una velocidad rápida y otra lenta según la conexión de los polos. De esta manera se obtiene con una velocidad de nivelación baja, un frenado con el mínimo de error (aproximadamente 10 mm de error) y un viaje más confortable. Estos grupos tractores en la actualidad están en retirada, ya que consumen demasiada energía y son algo ruidosos⁶.
- **Variación de frecuencia:** Es un convertidor estático electrónico que permite el control de la velocidad rotacional de los motores C.A. así como su arranque progresivo a través del control de frecuencia de alimentación. La aceleración de arrancada y la deceleración antes que actúe el freno se llevan a cabo por este dispositivo acoplado al cuadro de maniobra. El freno actúa cuando el ascensor está prácticamente parado y se consigue así una nivelación y un confort que superan incluso los del sistema de dos velocidades⁷.
- **Grupo tractor:** Los grupos tractores para ascensores están formados normalmente por un motor acoplado a un reductor de velocidad, en cuyo eje de salida va montada la polea acanalada que arrastra los cables por adherencia encargado de suministrar la potencia necesaria para el movimiento del ascensor, la velocidad nominal del ascensor así como el tipo de servicio que deba prestar (número de pasajeros, frecuencia de arranques, tipo de edificio, altura del

⁵ MIRAVETE, Antonio, LARRODÉ, Emilio. Elevadores: Principios e innovaciones. Editorial Reverté. Capítulo 2. España 2007. P.46. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=BsaqGTRI58C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

⁶ PROLIFT, Ingeniería. Mecanismos de los ascensores. [Consulta:18 de septiembre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <https://www.proliftingenieria.cl/2020/04/19/mecanismos-de-los-accesores/>

⁷ *Ibíd.*

mismo, etc..) y posibilidades de ubicación son los factores principales que determinan su selección, motivo de la importancia de esta⁸.

Ilustración 2. Grupo tractor sin fin corona.



Fuente: GE XXI Elevadores. Grupo tractor sin fin corona. [Consulta:18 de septiembre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <http://www.gexxi.com/elevadores/productos/92/grupo-tractor-sin-fin-corona/galeria>

- **Cabina:** Es la parte más estética del ascensor, como solemos decir, es lo que el cliente ve. Normalmente compuesta por suelo, techo y paneles verticales, son infinitas las posibilidades de decoración, utilizando diversos materiales como vidrio, chapa pintada, acero inoxidable, melaninas, etc.

Las cabinas suelen equiparse con diferentes accesorios, como: pasamanos, ventilación, luz de emergencia, sintetizador de voz, pantallas TFT, entre otros.

El principal equipamiento de la cabina es la botonera, que consiste en el conjunto de pulsadores necesarios para registrar las llamadas de los diferentes pisos. Integran también el resto de los pulsadores necesario para realizar llamadas de socorro al exterior, así como controlar la apertura y el cierre de la puerta de cabina.

⁸ Ibíd.

El conjunto de la cabina es soportado normalmente por un bastidor metálico, que la envuelve. Dicho bastidor dispone los elementos de suspensión, guiado y el paracaídas de seguridad que detendrá la cabina en caso de un exceso de velocidad.

Ilustración 3. Cabina.



Fuente: MACREY Ascensores. Componentes de un elevador o ascensor parte I. [Consulta:03 de octubre de 2019]. [En línea].
Disponible en: <https://www.ascensoresmacrey.com.mx/2017/12/13/componentes-de-un-elevador-o-ascensor/>

- **Contrapeso:** La mayoría de los ascensores tienen un contrapeso, que tiene una masa igual a la de la cabina, más la mitad de la carga máxima autorizada, para que el motor no tenga que mover toda la masa de la cabina, sino sólo una fracción. Debido a ello, un ascensor vacío, pesa menos que el contrapeso. El contrapeso también está conducido por unas guías. Su función es equilibrar la carga para facilitar el trabajo del motor y no forzarlo en su funcionamiento.
- **Sistema de guiado:** Las guías se encargan de conducir la cabina en su trayectoria y servirle de apoyo en caso de rotura del cableado; de acuerdo con lo expuesto su resistencia deberá adecuarse al peso de la cabina más su carga si se quiere garantizar la seguridad de la máquina. El desplazamiento debe garantizarse por medio de guías rígidas de acero, calibradas en tramos empalmados mediante placas adecuadas que no interfieran en su

funcionamiento. Podrán ser fijadas al edificio mediante anclajes o bien disponerse suspendidas, lo que determinará si trabajan a compresión o tracción en caso de frenado brusco por actuación del mecanismo de paracaídas.

Ilustración 4. Contrapeso.



Fuente: ELEVADORES VIZION. ¿Qué es un elevador? [Consulta: 03 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <https://elevadoresvizion.wordpress.com/2016/11/22/que-es-un-elevador/>.

2.3.2. Dispositivos de seguridad

- **Sistema de paracaídas:** En los extremos inferior o superior del bastidor de la cabina, se encuentra el sistema de paracaídas, ya sea instantáneo o progresivo. Este libera unas cuñas contra las guías para frenar la cabina en caso de que baje a una velocidad mayor que la permitida por el limitador, impidiendo así que la cabina caiga libremente incluso en el caso de que se cortaran todos los cables que la sujetan. En los ascensores modernos y según normativa de cada país o región también frena en subida⁹.

En ocasiones, se instala también un sistema de frenado en el contrapeso.

⁹ LIFTING AND DESING ELEVADORES. ¿Cuáles son las partes de un ascensor? [Consulta: 03 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <http://www.aiconelevadores.es/blog/cuales-son-las-partes-de-un-ascensor/>

Ilustración 5. Sistema de paracaídas.



Fuente: BLOG. Componentes de seguridad en un ascensor eléctrico. [Consulta: 12 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en:
<http://ascensoresjpascual.blogspot.com/2014/03/componentes-de-seguridad-en-un-ascensor.html>

- **Limitador de velocidad:** Su función principal es evitar que el ascensor exceda la velocidad normal, es un aparato instalado por lo general en el cuarto de máquinas provisto de una polea acanalada entre la cual se mueve un cable de acero unido por uno de sus ramales al paracaídas de la cabina y otra polea igual que actúa de tensora en el foso del recinto, mientras la cabina se desplaza a su velocidad nominal, el cable del limitador se desplaza con ella, si se llega a dar rotura de los cables de suspensión o por otra razón, aceleración descontrolada de la cabina hace que se bloquee la polea del limitador y con esta el cable, accionando el paracaídas y así apretara las zapatas sobre las guías deteniendo la cabina.

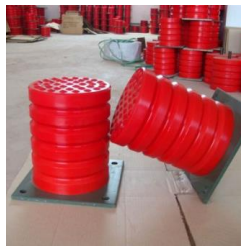
Ilustración 6. Limitador de velocidad.



Fuente: ASCENSORES BALAGUER. Limitadores de velocidad Gervall. [Consulta: 12 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en:
<https://www.ascensoresbalaguer.com/co/componentes-seguridad-ascensor/limitador-velocidad-gervall/>

- **Amortiguadores:** Los amortiguadores se sitúan generalmente en el foso al final del recorrido de la cabina o del contrapeso. Pero también pueden instalarse en la parte inferior del bastidor de la cabina o del contrapeso; se considera la amortiguación como el último sistema de seguridad de un ascensor puesto que su intervención solo se da en caso de que los demás dispositivos fallen. En dado caso que esto suceda el sistema de amortiguación deberá ser capaz de detener la cabina sin deceleraciones bruscas ni riesgo alguno para sus ocupantes.

Ilustración 7. Amortiguador tipo buffer.



Fuente: NOVA ELEVATOR PARTS CO. Poliuretano elevador del amortiguador de vibraciones amortiguador de goma. [Consultado el 12 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: https://es.made-in-china.com/co_novaelevator/product_ElevatorPolyurethane-Vibration-Damper-Rubber-Buffer_eorreeirg.html

2.4. NORMATIVA PARA ASCENSORES ELÉCTRICOS

Para el desarrollo del proyecto se fundamentó principalmente en el conocimiento práctico de los trabajadores de T.V.C. ascensores y la aplicación de las siguientes normas y disposiciones de seguridad para la planificación e instalación de ascensores.

- Norma NTC 2769-1/ Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores. Parte I: Ascensores eléctricos edición 2017¹⁰.
- Norma Internacional ISO 4190/1 Edición 1984. Selección de ascensores de personas y montacargas para edificios residenciales¹¹.
- Norma Internacional ISO 4190/1 Edición 1990. Ascensores de personas, monta camillas y montacargas¹².
- Norma Europea EN 81-1 Edición 1985. Normas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores de personas, montacargas y montaplatos. Parte I. Ascensores Eléctricos¹³.

¹⁰ ICONTEC. Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores parte I: Ascensores eléctricos. [En línea]. Disponible en: <http://www.elv.com.co/es/Archivos/Boletin/Instalacion.pdf>

¹¹ ISO. Norma 4190 de 1984. Selección de ascensores de personas y montacargas para edificios residenciales.

¹² ISO. Norma 4190 de 1990. Ascensores de personas, monta camillas y montacargas.

¹³ UNE. Norma española 81-1 de 1985.

3. DISEÑO CONCEPTUAL

3.1. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

El proceso de diseño con el que cuenta la empresa actualmente depende exclusivamente de la experiencia práctica del gerente. Lo que genera un aumento en los costos de producción y una desventaja para competir ante empresas que presten servicios similares.

Para la empresa, este proyecto pretende volver eficiente el proceso de diseño de ascensores convencionales, reduciendo costos y tiempos de desarrollo, ayudando a la selección de los componentes mecánicos del sistema fundamentados en una metodología de diseño de ingeniería.

Este diseño se realizará de manera compacta para diferentes requisitos y capacidades que deseen los clientes, estableciéndose en software especializado en diseño y selección de componentes que integran el sistema de elevación, permitiendo su uso para cualquier trabajador de la empresa con conocimientos básicos.

En paralelo a esta documentación se presentarán los planos de la vista en planta de la cabina y de la vista frontal de la estructura donde se instalará el ascensor. Esto se hace en función de los requerimientos y parámetros establecidos e introducidos por el encargado en el software que tendrán internamente el proceso de diseño de los ascensores convencionales.

De esta forma se contribuye también a cumplir los objetivos corporativos con respecto a la mejora continua, ya que daríamos cumplimiento a los requisitos establecidos por la norma ISO 9000, donde se busca normalizar y documentar los procesos con el fin de facilitar no sólo el análisis de los indicadores de gestión para

los procesos, sino facilitar los procesos de inducción, formación y capacitación del personal, además el cumplimiento de los requisitos de entradas y salidas del diseño.

Efectuado el análisis de las necesidades y requerimientos de la empresa que justifica la elaboración de este proyecto, se ejecuta el despliegue de la función calidad (QFD) con la finalidad de estudiar las diferentes alternativas que dan guía a la realización del proyecto y correspondiente diseño de ascensores. A continuación, se muestra la función.

3.2. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD)

3.2.1. Requerimientos del Consumidor: A continuación, se establece una lista de los requerimientos básicos de los interesados en el desarrollo del producto:

- Capacidad máxima de 12 personas (1000 kg)
- Seguridad de operación
- Sistema Compacto
- Fácil mantenibilidad
- Bajo costo
- Alta confiabilidad
- Fácil manejo
- Resistente a la corrosión
- Libre de ruidos vibratorios
- Rapidez de desplazamiento

3.2.2. Criterio de diseño: Con el fin de optimizar el proceso de diseño, se divide el ascensor en los sistemas y subsistemas que lo componen, los cuales son:

- ❖ **Sistema de potencia**
 - Subsistema Motriz

- Subsistema de transmisión principal
- Subsistema de transmisión en puertas

- ❖ **Sistema de control**
 - Subsistema de control

- ❖ **Sistema de seguridad**
 - Subsistema de frenado
 - Subsistema de parada de emergencia

- ❖ **Sistema de soporte**
 - Subsistema de Guías y estructura

El resultado de esta organización constituye las necesidades o requerimientos del cliente y deben introducirse en la matriz de calidad en las celdas verticales a estas necesidades se le han asignado un valor que estima la importancia para el consumidor, además se establecieron los requisitos previos del proyecto como características de ingeniería medibles, estos requisitos se introducen en la parte superior de la matriz calidad, es preciso establecer una relación entre las necesidades del consumidor y los requisitos del proyecto para esto se introdujeron unos valores en las casillas de la matriz calidad.

3.3. MATRIZ DE CALIDAD

Tabla 1. Matriz de calidad.

	PRIORIDAD	SISTEMA DE POTENCIA						CONTROL		SISTEMA DE SEGURIDAD				SOPORTE	
		Subsistema motriz		Subsistema de transmisión principal		Subsistema de transmisión en puertas		Subsistema de control		Subsistema de frenado		Subsistema de parada de emergencia		Subsistema de guías y estructura	
Capacidad de carga	10	9	90	9	90	3	30	0	0	9	90	9	90	9	90
Seguridad de operación	9	3	27	9	81	3	27	9	81	9	81	3	27	3	27
Alta confiabilidad	8	9	72	3	24	3	24	3	24	3	24	9	72	9	72
Facil mantenibilidad	7	9	63	9	63	1	7	9	63	3	21	1	7	9	63
Bajo costo	6	9	54	9	54	3	18	3	18	9	54	3	18	3	18
Sistema compacto	5	9	45	9	45	3	15	9	45	3	15	3	15	1	5
Facil manejo	4	1	4	1	4	3	12	9	36	3	12	1	4	0	0
Resistente a ala corrosion	3	3	9	3	9	9	27	1	3	3	9	1	3	9	27
Libre de ruidos vibratorios	2	9	18	9	18	3	6	1	2	9	18	3	6	3	6
Rapidez de desplazamiento	1	9	9	9	9	9	9	9	9	3	3	0	0	0	0
TOTAL		391		397		175		281		327		242		308	

3.3.1. Ponderación de resultados para selección de la solución: Después de llenar la matriz calidad, se procede a ponderar los resultados obtenidos, con el fin de definir los requerimientos de diseño que serán decisivos y la importancia de cada subsistema en el momento de escoger una alternativa.

Tabla 2. Ponderación de resultados para la selección de la solución.

397	Subsistema de transmision principal	18,7%
391	Subsistema motriz	18,4%
327	Subsistema de frenado	15,4%
308	Subsistema de guias y estructura	14,5%
281	Subsistema de control desplazamiento	13,2%
242	Subsistema de parada de emergencia	11,4%
175	Subsistema de transmision en puertas	8,3%
2121		100,0%

De este resultado obtenemos los cuatro subsistemas de mayor importancia para el funcionamiento del ascensor para los cuales a continuación analizaremos según las necesidades del cliente varias alternativas de diseño.

3.4. MATRIZ DE CALIDAD DE LOS SUBSISTEMAS (ver ANEXO F)

3.5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Una vez obtenidos los resultados de la matriz calidad y la ponderación de las prioridades a tener en cuenta, se procede a proponer las alternativas para la solución de cada uno de los subsistemas.

3.5.1. Sistema de potencia

3.5.1.1. Subsistema motriz: Alternativa 1. Motor eléctrico de corriente continua: Este sistema de potencia es alimentado por una fuente de energía eléctrica, usa el principio de inducción magnética, el cual aplica un voltaje en las terminales y produce una corriente.

Ilustración 8. Motor eléctrico corriente continua.



Fuente: JUNTA DE ANDALUCÍA. Motores de corriente continua. [Consulta: 26 de octubre de 2019]. [Enlínea]. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centroctic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/29/html/Motores%20de%20corriente%20continua.htm>

Alternativa 2. Motor de combustión interna: El motor a gasolina o diésel, al ser un motor de combustión genera altos niveles de ruido e incrementa los costos de mantenimiento, respecto a otros motores, por otro lado, cuentan con autonomía

respecto a la electricidad pudiendo funcionar en periodos de des energización del ascensor.

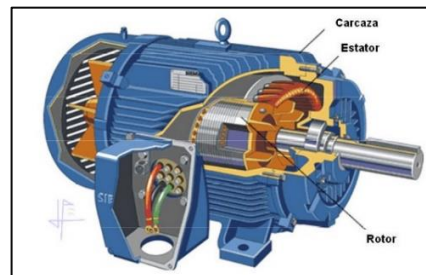
Ilustración 9. Motor a combustión.



Fuente: MAQUINARIA DEL PACÍFICO. Motores de gasolina Honda GX160. [Consulta: 27 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: https://www.mapsacatalogo.com/productos-mmco_honda_motor_03.htm

Alternativa 3. Motor de corriente alterna: Para el caso de un motor de inducción trifásico, cuenta de un estator con tres devanados separados 120 grados cada uno conectado a una de las tres líneas de alimentación trifásica. Pueden ser motores de varias velocidades con variadores de frecuencia.

Ilustración 10. Motor corriente alterna.



Fuente: MOLINA, Jorge. Mecanismos y transformación del movimiento: poleas y polipastos. [Consulta: 30 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <http://ticcesummecanismos.blogspot.com/2018/05/tema-3-poleas-y-polipastos.html>

3.5.1.2. Subsistema de transmisión principal, Alternativa 1. Polipasto con polea de tracción: Un polipasto es una combinación de poleas fijas y móviles recorridas por cables que tiene uno de sus extremos conectados a un punto fijo. La función principal de un polipasto es trasladar los objetos pesados para ser manipulados por la fuerza de un elemento motriz como un motor o una persona.

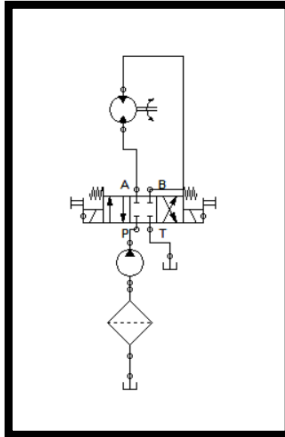
Ilustración 11. Polipasto con polea.



Fuente: tomado de Jorge Molina Flórez.

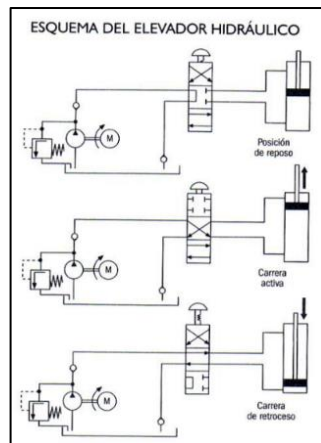
Alternativa 2. Transmisión hidráulica con motores: Este sistema está compuesto por un motor eléctrico, elementos de transmisión y una bomba hidráulica, de tal manera que esta transfiere la energía al sistema. Este tipo de circuito permite variaciones de velocidad y fuerza en el funcionamiento de la máquina.

Ilustración 12. Circuito hidráulico con motor.



Alternativa 3. Transmisión hidráulica con actuadores: Estos elementos se encuentran en una disposición tal que permiten la ejecución del movimiento. La ventaja de este sistema respecto a los demás es la mayor capacidad de carga, los arranques y paradas son suaves y no necesitan de paracaídas. La desventaja es el elevado costo de mantenimiento y la dependencia de las temperaturas del aceite volviendo el sistema menos eficiente.

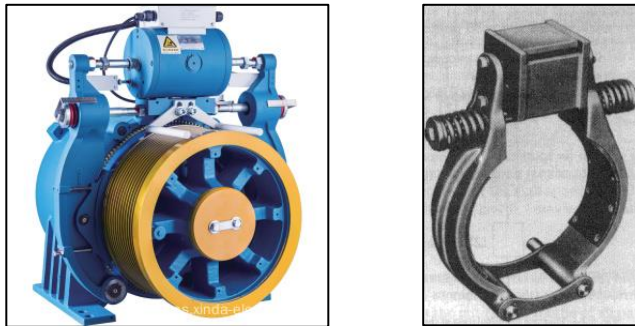
Ilustración 13. Circuito hidráulico con pistón.



3.5.2. Sistema de seguridad

3.5.2.1. Subsistema de frenado: Alternativa 1. Freno de tambor tipo zapata externa Electrohidráulico: Se fija por medio de un resorte y se descarga eléctricamente a través de un actuador electrohidráulico sellado y de capacidad constante. El frenado se hace suave debido al tiempo de respuesta del actuador. Tiene una estructura rígida, y es ideal para su uso en varias operaciones de frenado. Sus principales ventajas son el rendimiento mecánico, su bajo nivel de ruido y su bajo costo de producción y tienen mayor superficie de fricción por lo que garantiza una mayor capacidad de frenado respecto a otros frenos. Su desventaja más notable es el alto costo de instalación puesto que necesita de un sistema eléctrico controlado por el cuadro de maniobra. Este sistema produce el frenado cuando la corriente deja de pasar a través de la válvula solenoide. Cuando se activa mediante la señal de control se expande el cilindro hidráulico permitiendo el giro de la polea.

Ilustración 14. Frenos de zapata externa.



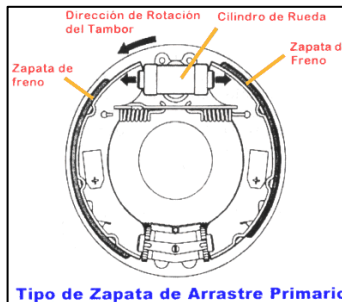
Fuente: AUTOMECANICO. Descripción y funcionamiento, frenos traseros-Rear brakes drums. [Consulta: 30 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <https://automecanico.com/auto2036/rearb4.html>

Alternativa 2. Freno de zapata interna Electrohidráulico: Este freno funciona similar al de zapata externa, el problema es que se activa frenándose mediante el paso de la corriente. Cuando deja de pasar corriente los resortes tensionan y vuelven a su posición normal. Por lo tanto, se activará el freno únicamente cuando tengamos corriente y se desactivará cuando no se tenga corriente.

Ventaja: Se ahorra energía mientras el sistema esté funcionando continuamente.

Desventaja: Es peligroso puesto que no habría frenado en caso de que el circuito quede sin corriente. Y se genera un consumo de energía mayor en los tiempos de inactividad del ascensor.

Ilustración 15. Freno de zapata interna.



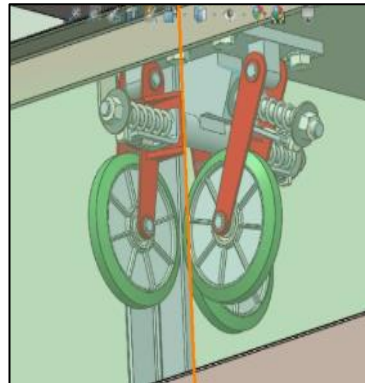
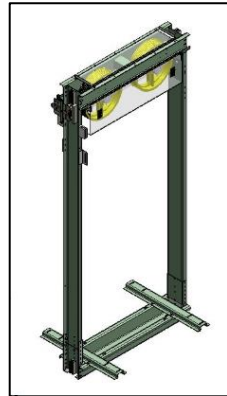
Fuente: AUTOMECANICO. Frenos de tambor. [Consulta: 30 de octubre de 2019]. [En línea].
Disponble en: <https://automecanico.com/auto2036/rearb4.html>

3.5.3. Sistema de soporte

3.5.3.1. Subsistema de guías: Alternativa 1. Riel perfil T con estructura de cabina convencional: Este perfil del riel permite el movimiento de la cabina a con 3 ruedas brindando mayor estabilidad respecto a otros sistemas. La estructura convencional posee dos poleas que giran cuando el cable pasa a través de ellas para subir la cabina. Este sistema es el que presenta mayor uso, aunque el sistema

de las 3 ruedas suele ser un poco costoso respecto a otros este sistema brinda la mayor estabilidad.

Ilustración 16. Estructura convencional y guías en T



GRABCAD.

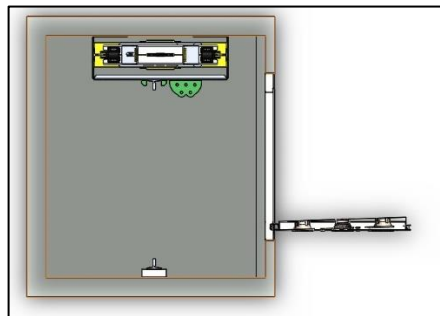
Elevator.

Disponible

en:

https://grabcad.com/library?page=1&time=all_time&sort=recent&query=elevator%20lif

Ilustración 17. Vista superior.



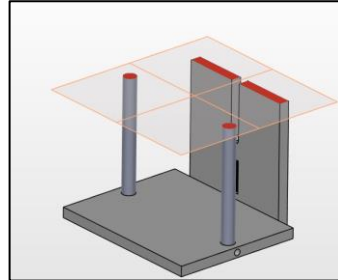
Fuente: <https://grabcad.com>

Alternativa 2. Rieles circulares con estructura de cabina convencional:

Consiste en desplazar la estructura de la cabina a través de las guías circulares. El problema de estas guías o rieles es el costo de producción elevado ya que se requiere de mucha cantidad de material. Los elementos constitutivos son sencillos. El sistema posee buena estabilidad, pero debido a la mayor fricción genera baja

eficiencia en el sistema obligando al motor a trabajar a una mayor potencia y por ende mayores costos de funcionamiento respecto a otros sistemas.

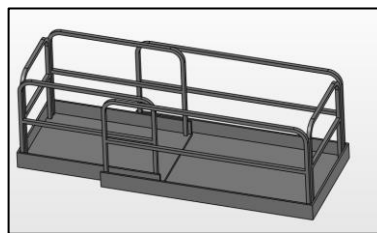
Ilustración 18. Rieles circulares.



Fuente: <https://grabcad.com>

Alternativa 3. Riel perfil T con estructura de cabina tipo plataforma: El Riel perfil en T permite mejor estabilidad y en cuanto a costos es el menor, en caso de colocarse una cabina tipo plataforma se reduciría la seguridad de los tripulantes puesto que el techo estaría descubierto. El costo de construcción de esta cabina es menor pero su seguridad baja.

Ilustración 19. Cabina tipo plataforma.



Fuente: <https://grabcad.com>

3.6. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Se evalúan las alternativas anteriormente descritas, teniendo en cuenta la información obtenida del QFD con la que es posible escoger la alternativa que se ajusta a las peticiones del consumidor y a las consideraciones del diseñador.

Tabla 3. Subsistema de transmisión principal.

SUBSISTEMA DE TRANSMISION PRINCIPAL							
Criterio de evaluacion		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		CALIF	Puntuacion	CALIF	Puntuacion	CALIF	Puntuacion
Seguridad	36%	5	1,8	4	1,44	4	1,44
Resistencia al desgaste	34%	4	1,36	5	1,7	5	1,7
Economia	30%	5	1,5	4	1,2	3	0,9
		4,66		4,34		4,04	

Tabla 4. Subsistema motriz.

SUBSISTEMA MOTRIZ							
Criterio de evaluacion		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		CALIF	Puntuacion	CALIF	Puntuacion	CALIF	Puntuacion
Resistencia al desgaste	36%	4	1,44	3	1,08	4	1,44
Facil alimentacion	33%	3	0,99	4	1,32	5	1,65
Economia	31%	2	0,62	1	0,31	5	1,55
		3,05		2,71		4,64	

Tabla 5. Subsistema de frenado.

SUBSISTEMA DE FRENADO					
Criterio de evaluacion		Alternativa 1		Alternativa 2	
		CALIF	Puntuacion	CALIF	Puntuacion
Eficiencia	30%	4	1,2	3	0,9
Seguridad	25%	5	1,25	4	1
Resistencia al desgaste	24%	4	0,96	4	0,96
Confiabilidad	22%	4	0,88	4	0,88
		4,29		3,74	

Tabla 6. Subsistema de guías y estructura.

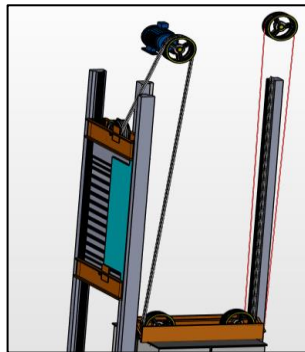
SUBSISTEMA DE GUIAS Y ESTRUCTURA							
Criterio de evaluacion		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		CALIF	Puntuacion	CALIF	Puntuacion	CALIF	Puntuacion
Resistencia a la corrosion	37%	5	1,85	5	1,85	5	1,85
Seguridad	33%	5	1,65	3	0,99	3	0,99
Confiabilidad	30%	4	1,2	4	1,2	4	1,2
		4,7		4,04		4,04	

ESPECIFICACIÓN DE LA ALTERNATIVA GANADORA

A continuación, se describe con más detalle las características de cada subsistema.

3.6.1. Subsistema de Transmisión Principal: El subsistema de transmisión principal elegido por sus cualidades respecto a los demás es el de Polipasto con polea de tracción.

Ilustración 20. Polipasto.



Fuente: <https://grabcad.com>

Este subsistema brinda la posibilidad de desplazar la cabina por largos trayectos a una velocidad adecuada. En cuanto a su seguridad se considera confiable puesto que se coloca más de un cable y estos son bastante resistentes ya que poseen un factor de seguridad mayor a 10.

Una manera de ahorrar energía en el subsistema de transmisión es agregando un contrapeso de entre el [30 y 40] % de la carga de la cabina más la carga de los

pasajeros. Los cables irán fijados en el contrapeso, seguirán hasta el motor, pasarán a través de las poleas que se encuentran en la parte superior del chasis de la cabina y se fijará al techo de la estructura del ascensor, por lo general se fija a la base del cuarto de máquinas.

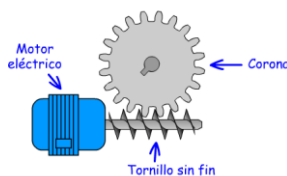
3.6.2. Subsistema Motriz: Se planea usar un motor de corriente alterna (AC) debido a la fuente de energía eléctrica disponible para alimentar la máquina motriz. El sistema eléctrico que comunica con el motor irá hacia un cuadro de maniobra, el cual permite el control del sistema. El cuadro de maniobra es el cerebro del sistema permitiendo la lógica y activando el paso de la corriente hacia el motor, logrando la activación de este. La salida del eje del motor de corriente alterna va conectada hacia un sistema de engranajes reductor de velocidad, por lo general tornillo sin fin corona. Esto permite aumentar el torque y la fuerza que levanta la cabina.

Ilustración 21. Grupo tractor.



Fuente: TRANSPORTE VERTICAL COLOMBIANO S.A.S. Disponible en: <https://www.google.com/search?q=TVC+ascensores&oq=TVC+ascensores&aqs=chrome..69i57j0l2.420j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

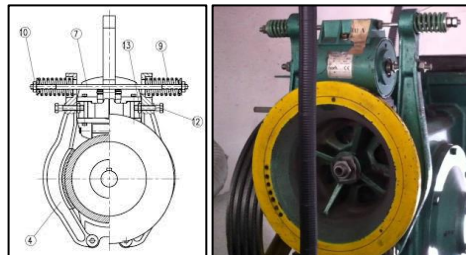
Ilustración 22. Sin fin corona.



Fuente: LANDÍN, Pedro. Tornillo sin fin: descripción y aplicaciones. [Consulta: 2 de noviembre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <http://pelandintecno.blogspot.com/2018/02/tornillo-sin-fin-descripcion-y.html>

3.6.3. Subsistema de Frenado: El subsistema que mayor relación beneficio costo presenta es el de tambor de zapata externa. Puesto que su costo es menor al de otros tipos de frenos, su funcionamiento es el correcto ya que el sistema no requiere de altas velocidades. La zapata externa posee una cualidad respecto a otros sistemas y es el área de contacto de freno. Por ser mayor esta área a los demás frenos permite mayor capacidad de frenado. Los ascensores no se consideran de trabajo constante, son sistemas intermitentes por lo tanto el sobrecalentamiento no representa un problema considerable en estos sistemas.

Ilustración 23. Freno Zapata externo.



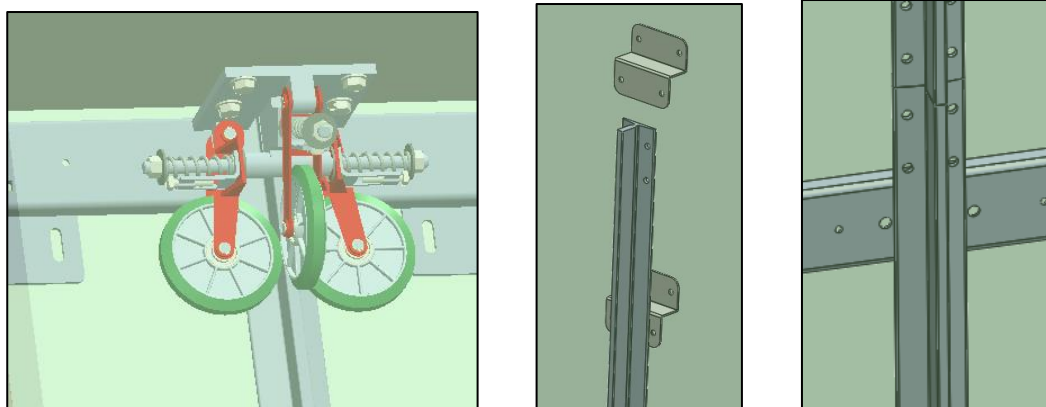
Fuente: MONOGRAFÍAS. Diseño de frenos de contracción externa. [Consulta: 6 de noviembre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos81/disenodefrenoscontraccionexterna/disenodefrenoscontraccionexterna.shtml>

3.6.4. Subsistema de Estructura: Consiste en un esqueleto en barras de acero cubierto por láminas metálicas para revestir las paredes. El subsistema elegido por brindar mayor seguridad y menores costos es el Riel perfil T con estructura de cabina convencional. El riel en T permite fijarse fácilmente a las paredes del recinto del ascensor, una menor fricción entre el contacto de las ruedas estabilizadoras que van en el chasis por lo tanto se dan menores pérdidas de potencia. Los costos de

fabricación de este perfil son relativamente bajos en comparación del perfil circular, debido a la menor cantidad de material empleado.

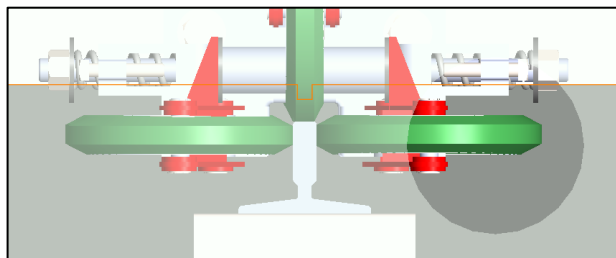
En caso de falla del motor estos rieles otorgan la función de vía para el frenado de seguridad puesto que su geometría permite el contacto a otros elementos de seguridad de la cabina.

Ilustración 24. Riel en T.



Fuente: <https://grabcad.com>

Ilustración 25. Rodachines.

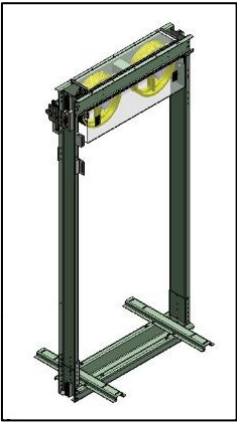
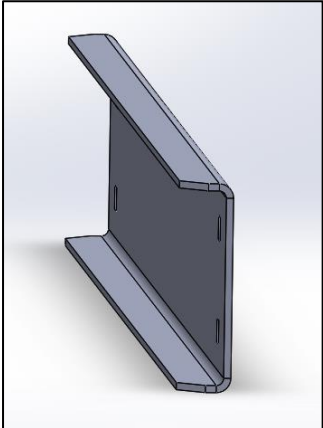


Fuente: <https://grabcad.com>

La estructura o chasis de la cabina que se elige es la convencional, la cual posee dos poleas en la parte superior dando mayor estabilidad y seguridad en el

desplazamiento. El perfil que se usa para el chasis de la cabina es el perfil en C que brinda buena resistencia y permite la sujeción con otros elementos del sistema.

Ilustración 26. Perfil en C estructura.



Fuente: <https://grabcad.com>

4. DISEÑO EN DETALLE DEL ASCENSOR

Para el cálculo de los subsistemas del ascensor se parte de los requerimientos y la necesidad dados por el cliente, en este caso se diseña un ascensor convencional de uso residencial, se desarrollan memorias de cálculo y se elaboran en las tablas mostradas a continuación. Por lo tanto, se realiza un análisis con variables fijas en este apartado, en el posterior se modificará para que se puedan dinamizar esas variables.

Las relaciones de velocidad máquina cabina en que se encuentran las máquinas y poleas son 1:1 y 2:1 siendo 1:1 para casos comunes de cargas no muy altas y distancias largas en las que se necesita una velocidad considerable para aumentar la eficiencia, la relación 2:1 se suele utilizar para zonas industriales donde prima la capacidad de carga sobre la velocidad necesaria. Para los cálculos mostrados a continuación se toman las siguientes variables dadas según la necesidad del cliente.

Tabla 7. Variables dadas por el cliente.

Significado de variable	Valor
Masa promedio de persona	75(kg)
Cantidad de pasajeros	12
Velocidad de subida y bajada de cabina	1(m/s)
Número de pisos	8
Ancho y largo del pozo	2mx2m
Relación	1:1
Tipo de uso	residencial

4.1. REQUERIMIENTOS DE LA EMPRESA PARA LA APLICACIÓN DEL PROYECTO

Para lograr la aplicación del proyecto se deben cumplir las siguientes solicitudes por parte de la empresa en cuanto al proceso de diseño y selección de los componentes.

1- El cálculo de los componentes del ascensor en el diseño de detalle se debe hacer implementando los procedimientos y cumpliendo con los requisitos de la norma NTC 2769-1 Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores, de esta norma se toman valores de deformación máxima permitida, cargas y factores de seguridad, dependiendo del componente diseñado.

2- El proceso de selección de los componentes se debe realizar sin cambiar el fabricante o la marca de los productos que la empresa solicita. Se mantiene la marca SICOR, para la selección de la maquinaria, cables, poleas y la marca NOVA ELEVATORS, para la selección de los componentes restantes.

3- El proceso de fabricación, la ubicación de los componentes y la operación de construcción se debe mantener. Por lo tanto, lo que se debe modificar es el dimensionamiento de los componentes para dar con el cumplimiento de la norma NTC 2769-1.

Ilustración 27. Logo de Icontec.



Fuente: ICONTEC. Logo institucional. [En línea]. Disponible en: <https://www.icontec.org/>

4.2. FUERZAS Y CARGAS

Para este caso se considera el esquema presente en la tabla siguiente ya que es la representación típica de un sistema 1:1 de un ascensor.

En las siguientes plantillas se realizan los respectivos cálculos para determinar el torque necesario para mover la carga correspondiente a 12 personas.

La masa correspondiente a 75[Kg] es un valor que establece la norma NTC 2769-1 para el cálculo de la masa promedio de una persona¹⁴

La masa de la cabina correspondiente a 500[Kg] es un estimado de carga que la empresa da para el conjunto de bastidor y cabina del valor máximo para esta aplicación. La aceleración se calcula teniendo en cuenta la aproximación de la estabilización de la cabina al llegar a la mitad de la distancia entre placas de 1,5[m] esto se basa en el criterio establecido por el libro Elevadores principios e innovaciones¹⁵.

¹⁴ ICONTEC. Norma NTC 2769 -1. Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores, P.57

¹⁵ MIRAVETE, Antonio, LARRODÉ, Emilio. Elevadores: Principios e innovaciones. Editorial Reverté.España 2007.P. 64,65. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=BsaqGTRIl58C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

4.2.1. Fuerzas para relación 1:1

Tabla 8. Cálculos relación 1:1.

PARA RELACION 1:1				
DCL general		Calculos de carga maxima		
		Variables		
		masa cabina	500	[Kg]
		Cantidad personas	12	[personas]
		Ecuaciones		
		Masa de personas	$m_p = 75 \cdot Cant$	
		Peso total	$w_{asc} = (m_{cab} + m_{pe}) \cdot g$	
		Peso contrapeso	$w_{cont} = (m_{cab} + \frac{1}{2} \cdot m_p) \cdot g$	
		Resultados		
		Wasc	14000	[N]
		Wcont	9500	[N]
Calculos dinamicos				
Variable	Velocidad final	Vf=	1	[m/s]
	desplazamiento	$\Delta x =$	1,5	[m]
	Radio de polea	$r_p =$	0,26	[m]
Ecuaciones		Resultados		
$vf^2 = v_i^2 + 2 \cdot \Delta X \cdot a$		a = 0,334 [m/s*2]		
$\omega = \frac{v_f}{r_p}$		w = 3,846 [rad/s]		
Calculos de torque				
Ecuacion		Resultado		
$w_{asc} \cdot r_p - w_{con} \cdot r_p = T - ((m_{asc} + m_{con}) \cdot r_p \cdot a)$		T= 1374 [Nm]		

4.2.2. Fuerza para relación 2:1

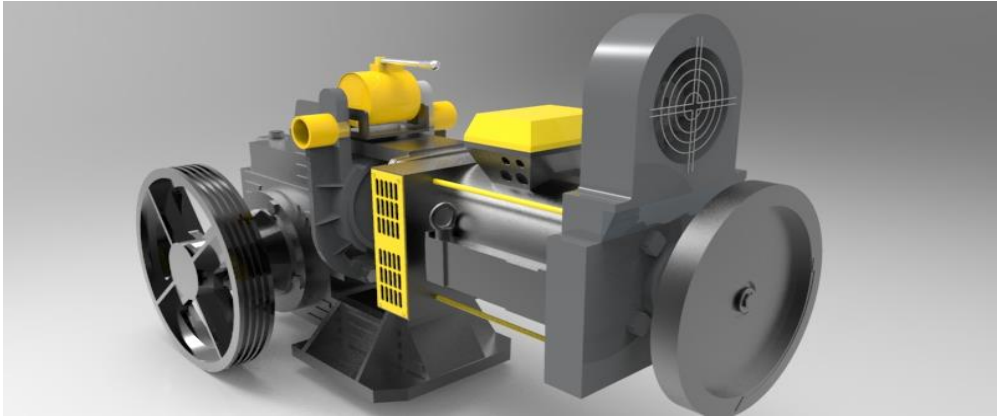
Tabla 9. Cálculos relación 2:1.

PARA RELACION 2:1				
DCL general		Calculos de carga maxima		
		Variables		
		masa cabina	500	[Kg]
		Cantidad personas	12	[personas]
		Ecuaciones		
		Masa de personas	$m_p = 75 \cdot Cant$	
		Peso total	$w_{asc} = (m_{cab} + m_{pe}) \cdot g$	
		Peso contrapeso	$w_{cont} = (m_{cab} + \frac{1}{2} \cdot m_p) \cdot g$	
		Resultados		
		Wasc	14000	[N]
		Wcont	9500	[N]
Calculos dinamicos				
Variable	Velocidad final	Vf=	1	[m/s]
	desplazamiento	$\Delta x =$	2	[m]
	Radio de polea	rp=	0,26	[m]
Ecuaciones		Resultados		
$v_f^2 = v_i^2 + 2 \cdot \Delta X \cdot a$		aceleracion	a = 0,334 [m/s]	
$\omega = \frac{v_f}{r_p}$		velocidad angular	w = 7,692 [rad/s]	
Calculos de torque				
Ecuacion		Resultado		
$\frac{w_{asc}}{2} \cdot r_p - \frac{w_{con}}{2} \cdot r_p = T - \frac{m_{asc} + m_{con}}{2} \cdot a \cdot r_p$		Torque	T = 687 [Nm]	

4.3. SISTEMA DE POTENCIA

4.3.1. Cálculo de potencia: De la siguiente plantilla se puede obtener el valor de la potencia requerida. El valor del torque y velocidad angular se toma del cálculo de fuerzas realizado anteriormente.

Tabla 10. Cálculos de potencia.

CALCULO DE POTENCIA				
				
Ecuacion:	$P = \frac{T * w}{\eta}$			
Para 1 a 1				
VARIABLES:	Torque	T=	1374	[Nm]
	Velocidad angular	w=	3,846	[rad/s]
	Eficiencia	η=	0,7	
Resultado	Potencia=		7,6	[Kw]
Para 2 a 1				
VARIABLES:	Torque	T=	687	[Nm]
	Velocidad angular	w=	7,692	[rad/s]
	Eficiencia	η=	0,7	
Resultado	Potencia=		7,6	[Kw]

Los datos de la tabla 10 como potencia y carga transportada validan la selección de esta máquina estando un poco por encima de los calculados, esto como medida de seguridad.

4.3.2.1 Selección del freno: Este se ubica en el mismo eje del reductor de velocidad, a veces actúa como brida de acoplamiento en el motor, siendo un freno de doble zapata interna, cuya tensión es regulable, para variar la distancia de frenado se accionan por medio de un electroimán. El freno viene incluido en el grupo tractor cumpliendo con la norma.

4.4. SISTEMA DE TRACCIÓN: CABLES Y POLEAS

4.4.1. Consideraciones Norma 2769-1 Suspensión las cabinas contrapesos o masas de equilibrado deben suspenderse mediante cables de acero o cadenas de acero de eslabones paralelos. Los cables deben satisfacer los siguientes requisitos:

- El diámetro nominal de los cables debe ser de 8 mm como mínimo
- La resistencia a la tracción de sus alambres debe ser:
- 1570 – 1770 [N/mm²] para cables de una sola resistencia
- 1370 [N/mm²] como mínimo para los alambres exteriores y 1770 [N/mm²] para los alambres interiores, en los cables de dos resistencias.
- Las características (composición, alargamiento, ovalidad, flexibilidad, ensayos...) deben, al menos corresponder a las que se especifiquen en normas que les conciernan.
- El número mínimo de cables debe ser dos y los cables cadenas deben ser independientes.
- En el caso de suspensión en diferencial, el número a tomar en consideración es el de cables o cadenas y no el de sus ramales o tramos.

4.4.2. Cálculos para cables: El procedimiento realizado a continuación se establece en base a la norma NTC 2769-1 y tiene como objetivo calcular el factor de seguridad mínimo que debe cumplir el cable según la aplicación dada. Dependiendo de este factor se decide si montar o no el cable seleccionado. El fabricante SICOR para la máquina SH140 recomienda la instalación de diámetros de cables de 8 a 13 mm (anexo A) se elegirá el valor de 11mm que se encuentra dentro del rango para posteriormente comprobar la selección.

Para poder introducir un valor de Dt se supone el diámetro de la polea motriz de 480mm (posteriormente se comprobará si es el diámetro adecuado), un valor que está también dentro de los diámetros del catálogo del fabricante y se aprecia en la siguiente imagen:

Ilustración 29. Poleas de tracción y ranuras de tracción por diámetro de cuerdas.

Sistema Avvolgimento Winding System	Puleggia di Trazione Traction sheave		Max n°Gole x D Max n°Grooves x D	Interasse Gole Grooves Pitch
	D [mm]	E [mm]	n° x mm	l [mm]
CSW	360	100	6xD8	14
	360	100	5xD9	17
	400	100	6xD8	14
	400	100	5xD9	17
	400	100	5xD10	17
	450	100	6xD8	14
	450	100	5xD9	17
	450	100	5xD10	17
	450	100	5xD11	17
	480	100	6xD8	14
	480	100	5xD9	17
	480	100	5xD10	17
	480	100	5xD11	17
	480	100	4xD12	19
	520	100	6xD8	14
	520	100	5xD9	17
	520	100	5xD10	17
	520	100	5xD11	17
	520	100	4xD12	19
	520	100	4xD13	19
	560	100	6xD8	14
	560	100	5xD9	17
	560	100	5xD10	17
	560	100	5xD11	17
	560	100	4xD12	19
	560	100	4xD13	19
	600	100	6xD8	14
	600	100	5xD9	17
	600	100	5xD10	17
	600	100	5xD11	17
600	100	4xD12	19	
600	100	4xD13	19	

Fuente: tomado de SICOR S.p.A.

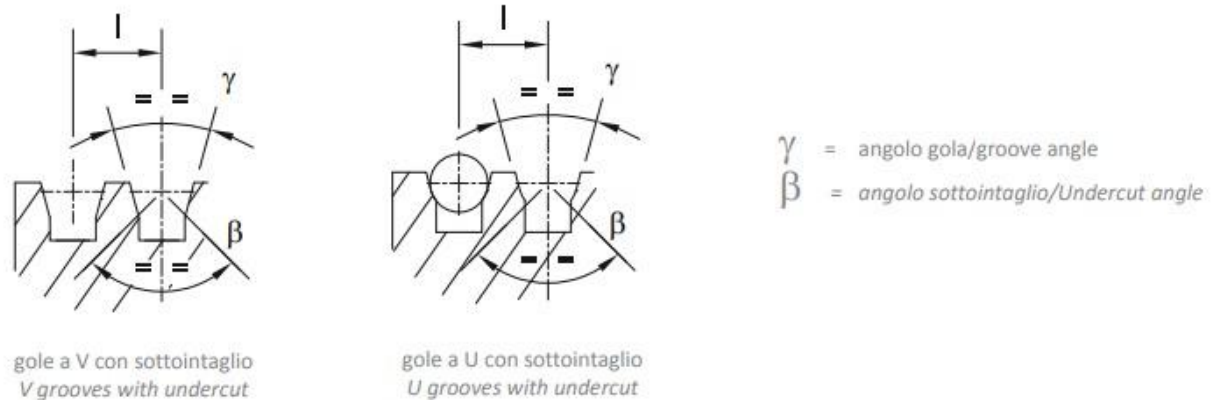
Se procede a calcular el factor de seguridad mínimo requerido con el diámetro del cable utilizado y el diámetro de la polea supuesta, la norma propone el procedimiento mostrado a continuación.

Tabla 12. Cálculos para Factor de seguridad mínimo en cables.

Factor de seguridad para cables			
Calculos Factor de relación entre poleas (Kp)			
Variables	Diametro polea de tracción	Dt =	480 [mm]
	Diametro medio de poleas de desvio	Dp =	400 [mm]
Ecuaciones		Resultados	
$k_p = \left(\frac{Dt}{Dp}\right)^4$		Kp =	2,074
Calculos Neqp			
Variables	Número de poleas con flexiones simples	Nps =	1
	Número de poleas con flexiones invertidas	Npr =	0
Ecuaciones		Resultados	
$N_{eq(p)} = k_p \cdot (N_{ps} + 4 \cdot N_{pr})$		Neqp =	2,074
Calculos Neqt			
Variables	Angulo en V	γ =	45°
Se observa el valor en la tabla N° 21		Resultados	
		Neqt =	4
Calculo Número equivalente de poleas (Neq)			
Ecuaciones		Resultados	
$N_{eq} = N_{eq(p)} + N_{eq(t)}$		Neq =	6,074
Calculos relación entre poleas (Dt/dr)			
Variables	Diametro polea de tracción	Dt =	480 [mm]
	Diametro cable	dr =	11 [mm]
Resultado			
$\left(\frac{Dt}{dr}\right)$		43,63	

Para obtener el $N_{eq}(t)$, número equivalente de poleas de tracción es necesario el ángulo de ranura, para este caso SYCOR fabrica las poleas de tracción con ángulos de 45° . Por lo tanto, γ , es de 45° .

Ilustración 30. Detalle de la ranura de la polea de tracción.



Fuente: tomado de SICOR S.p.A.

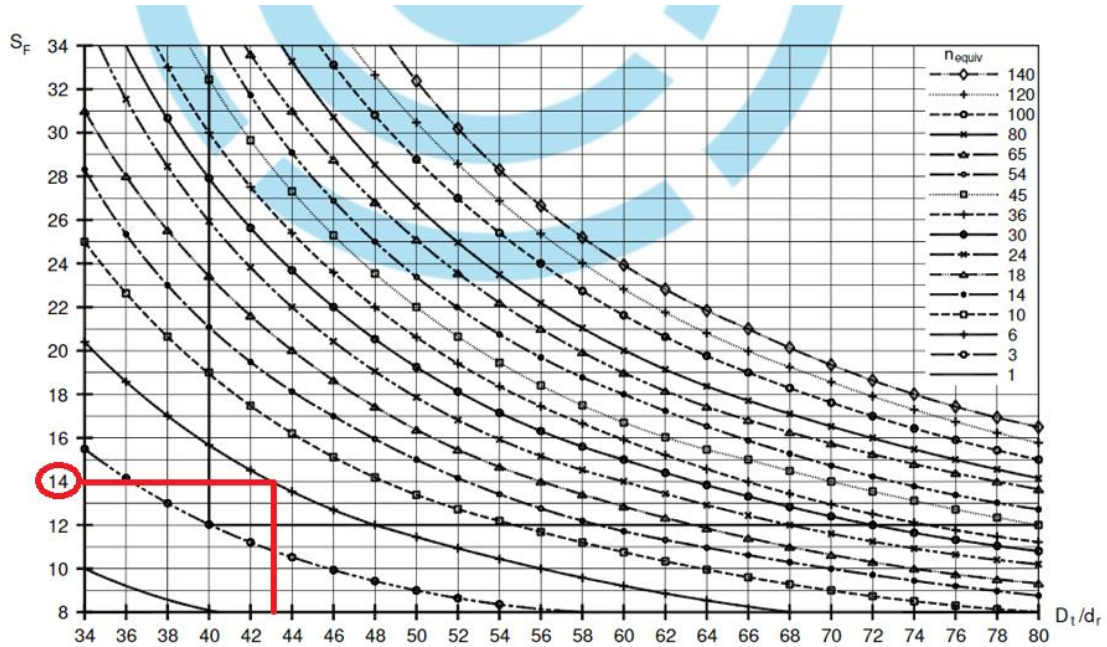
Tabla 13. Evaluación de $N_{eq}(t)$.

Garganta en V	Ángulo en V (γ)	-	35°	36°	38°	40°	42°	45°
	$N_{equiv}(t)$	-	18,5	15,2	10,5	7,1	5,6	4,0
Garganta desfondadas en U o en V	Ángulo en U (β)	75°	80°	85°	90°	95°	100°	105°
	$N_{equiv}(t)$	2,5	3,0	3,8	5,0	6,7	10,0	15,2

Fuente: ICONTEC. Norma técnica colombiana 2769-1. P.204

Para un diseño dado de cable de tracción, el valor mínimo de seguridad se selecciona de la figura 31, teniendo en consideración la relación correcta Dt/dr y el valor calculado de N_{equiv} , obtenidos de la tabla 12.

Ilustración 31. Gráfico de selección del factor de seguridad .



Fuente: ICONTEC Norma técnica colombiana 2769-1 P.205.

Con los parámetros calculados en la ilustración anterior se obtiene un factor de seguridad mínimo de 14; posteriormente se calcula otro factor de seguridad proveniente de la carga de rotura del cable y la carga aplicada para compararse con el factor de seguridad mínimo verificando que este se encuentre por encima del valor mínimo.


A continuación, se muestra el cálculo del factor de seguridad teniendo en cuenta la tabla 14 para la carga de rotura y la tabla 15 para la carga aplicada.

Tabla 14. Características cables.

Referencia CYE	Ø Diámetro mm	Área sección transversal metálica mm ²	Fuerza mínima de rotura kN 1370_1770 N/mm ²	Peso kg kg/100m
Y1TYL6GSNy08	8	24,6	33	23
Y1TYL6GSNy09	9	31,1	40,1	29,1
Y1TYL6GSNy10	10	38,4	52	35,9
Y1TYL6GSNy11	11	46,5	59,9	43,4
Y1TYL6GSNy12	12	55,3	71,3	51,7
Y1TYL6GSNy13	13	64,9	83,7	60,7
Y1TYL6GSNy14	14	75,3	97	70,4
Y1TYL6GSNy15	15	86,4	111	80,8
Y1TYL6GSNy16	16	98,3	127	91,9
Y1TYL6GSNy18	18	124	160	116
Y1TYL6GSNy20	20	154	198	144

Fuente: NOVA. Steel Wire Rope. [En línea]. Disponible en:
<http://www.novaelevator.com/product/262.html>

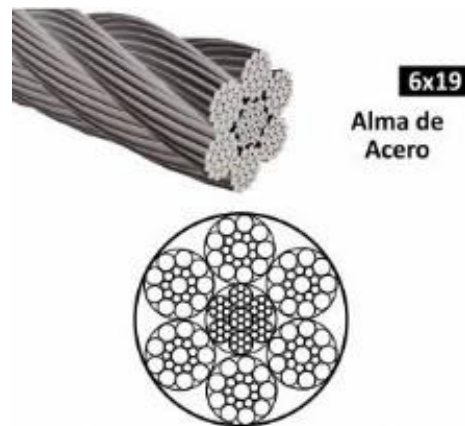
Tabla 15. Cálculos de cables.

CALCULO Y SELECCIÓN DE CABLES				
Analysis				
				
Calculo de factor de seguridad				
Ecuación:	$N = \frac{F_{ult}}{F_t}$			
Variables:	Fuerza de tensión	Ft =	2985	[N]
	Fuerza mínima de rotura	Fult =	59900	[N]
Resultado	N=	20		

El valor del factor de seguridad según la norma es de 14, y el obtenido a continuación de 20, por lo tanto, el cable seleccionado funcionará adecuadamente y cumpliendo con los parámetros de la norma NTC 2769-1. El diámetro de la polea de 480 mm supuesto anteriormente para facilitar el cálculo de los cables se debe comprobar para garantizar su adecuado funcionamiento y la larga vida útil del cable.

4.4.3. Selección del cable: Finalmente, el cable seleccionado es 6x19FS de 11mm de diámetro con una fuerza mínima de rotura de 59,9[kN].

Ilustración 32. Cable 6x19FS acero.



Fuente: MANIOPERU S.A.C. Cable de acero Boa Alma de Acero 6x19. [En línea].

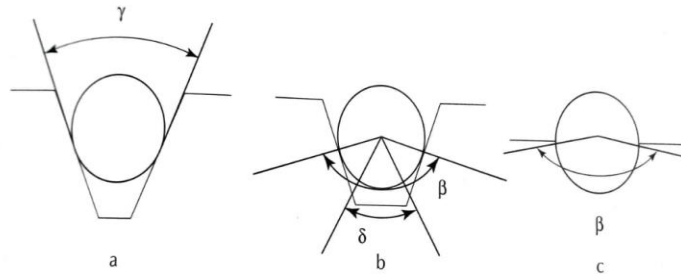
Disponible en: <https://www.manioperu.com/Catalogo/productos/31-cable-tipo-boa-cobra-cascabel-ascensor>

4.4.4. Cálculo de polea: Como características importantes para la polea tractora se tiene el diámetro, el perfil de sus gargantas o canales, y el material del que están construidas. El diámetro supuesto de 480mm anteriormente debe comprobarse, el proceso de verificación se determina dependiendo de la velocidad de desplazamiento que se requiere en la cabina, aunque este diámetro tiene un límite inferior ya que la duración del cable es mayor entre mayor sea el diámetro de la polea en referencia a el diámetro del cable, estableciendo según la norma EN-81 en un mínimo de relación de 40 veces.

El perfil de las gargantas de la polea influye directamente en la duración del cable, ya que, si en dado caso esta es muy estrecha, el cable queda enclavado en ella y se deforma; y si es demasiado ancha no encuentra el apoyo necesario lo que causa el aplastamiento de este. Los tres perfiles de gargantas más utilizados son: a) el

trapezoidal o de cuña; b) el semicircular con entalla o ranura; c) el semicircular sin entalla.

Ilustración 33. Perfil de cable y garganta .




Fuente: MIRAVETE, Antonio, LARRODÉ, Emilio. Elevadores: Principios e innovaciones. Editorial Reverté.España 2007.P109. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=BsaqGTRli58C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>.

El perfil de la polea utilizada es trapezoidal con (γ ,) de 45 y se obtiene del catálogo del fabricante SICOR, como se mencionó en el cálculo de los cables.

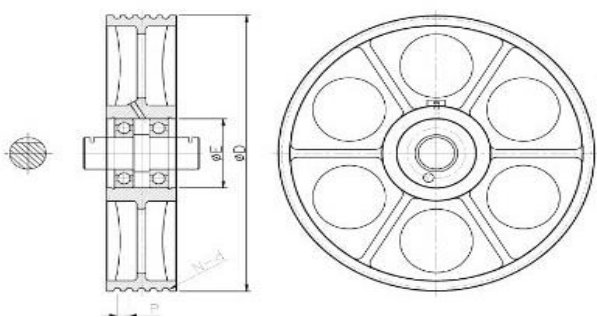
El procedimiento consiste en evaluar si la presión admisible está por encima de la presión que soporta la polea con el diámetro supuesto de 480mm, si no cumple se debe elegir un diámetro de polea motriz mayor y redimensionar los cables, si cumple, quedará establecida correctamente la selección de los cables y el dimensionamiento de las poleas.

Tabla 16. Cálculos polea.

POLEAS				
				
Presión admisible				
Ecuación	$p_{adm} = \frac{12.5 + 4 \cdot v}{1 + v}$			
Variables	Velocidad	V=	1	[m/s]
Resultados	Padm=	8,25		[Kpa]
Carga sobre la polea				
Ecuación	$T = w_{cabina} + w_{cable} + w_{personas}$			
Variables	Peso cabina	Wcabina=	5000	[N]
	Peso cable	Wcable=	788,1	[N]
	Peso personas	Wpers=	9000	[N]
Resultados	T=	14788		[Nm]
Presión Requerida				
Ecuación	$p_{req} = \left(\frac{T}{n \cdot d \cdot Dt} \right) \cdot \frac{3 \cdot \pi}{2 \cdot \text{sen}\left(\frac{\gamma}{2}\right)}$			
Variables	Número de cables	n=	5	
	Diametro cable	d=	11	[mm]
	Diametro polea	Dt=	0,48	[m]
	Angulo de apertura	y=	45°	
Resultados	Preq=	6,898		[Kpa]
Se verifica que la presión requerida sea menor a la presión admisible	Padm=8,25 Kpa	>	Preq=6,898 Kpa	

4.4.5. Dimensionamiento de la polea tractora

Tabla 17. Dimensionamiento de la polea.

POLEAS			
			
Dimensionamiento			
Variables			Ecuación
Potencia	N = 7,6	[Kw]	Dp < 40 · d
Diametro de cable	d = 11	[mm]	
Velocidad	V = 1	[m/s]	
Diametro de eje	ds = 25,4	[mm]	
Calculos			
Fuerza tangencial	$F_t = \frac{75 \cdot N}{v}$	Número de brazos	$i = 3 + 0,003D_p^{30}$
Altura brazo al centro del cubo			$H = 3,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_t \cdot r}{i}}$
Altura del brazo en la corona			$h = 0,75 \cdot H$
Altura menor del brazo			$H_m = 0,4 \cdot H$
Longitud del cubo			$L = 0,17 \cdot r + 5 \cdot d^{31}$
Espesor de las paredes del cubo			$w = 20 + 0,85 \cdot d_s^{32}$
Paso distancia entre centros de los cables			$\rho = 1,2 \cdot d_c$
Ancho de la polea			$\beta = \rho \cdot (n + \rho)$
Resultados			
Ft = 570 [Kg]		L = 95,8 [mm]	
i = 5 brazos		w = 41,59 [mm]	
H = 99,44 [mm]		ρ = 13,2 [mm]	
h = 74,58 [mm]		β = 240,2 [mm]	
Hm = 39,78 [mm]			

4.4.6. Selección de la polea: Queda comprobado que el diámetro de la polea elegido como consecuencia de la selección del cable funciona adecuadamente para esta aplicación ya que la presión soportada (Preq) está por encima de la presión admisible.

4.4.7. Selección completa del grupo tractor: De los procedimientos anteriores se tiene lo siguiente:

Tabla 18. Dimensionamiento del grupo tractor.

Máquina	Potencia kW	Velocidad m/s	Diámetro Polea motriz	Diámetro de cables
SH140	8,2	1	480 mm	11 mm

Se debe seleccionar el grupo tractor que cumpla con las condiciones dadas. Este proceso se realiza con la siguiente tabla.

Ilustración 34. Dimensionamiento del grupo tractor.

TABELLE PORTATE
DUTY TABLE

Sospensione 1:1
Roping 1:1

R.R.	Diametro Puleggia di Trazione Traction Sheave Diameter	50Hz										60Hz					
		Velocità sincrona Speed syn.		Potenza Motore "kW" Motor Output "kW" Asynchronous Portata Max "kg" Max Rated Load "kg"								Velocità sincrona Speed syn.		Potenza Motore "kW" Motor Output "kW" Asynchronous Portata Max "kg" Max Rated Load "kg"			
		VVVF AC2	VVVF AC2	AC2	VVVF AC2	AC2	AC2	VVVF AC2	VVVF AC2	VVVF AC2	VVVF AC2	AC2	VVVF AC2	VVVF AC2	VVVF AC2	VVVF AC2	
[l]	[mm]	[m/s]	4	5,5	6,8	7,5	7,5	9	9,2	11	[m/s]	4,4	6	7,4	8,2	10	12
1/71	360	0,40	950	--	--	--	--	--	--	--	0,48	860	950	--	--	--	--
1/71	400	0,44	855	--	--	--	--	--	--	--	0,53	770	850	--	--	--	--
1/59	360	0,48	840	950	--	--	--	--	--	--	0,58	680	950	--	--	--	--
1/71	450	0,50	760	--	--	--	--	--	--	--	0,60	640	760	--	--	--	--
1/71	480	0,53	710	--	--	--	--	--	--	--	0,64	590	710	--	--	--	--
1/59	400	0,53	755	950	--	--	--	--	--	--	0,64	550	930	--	930	--	--
1/52	360	0,54	765	950	--	--	--	--	--	--	0,65	510	950	--	950	--	--
1/71	520	0,58	655	--	--	--	--	--	--	--	0,69	750	650	--	--	--	--
1/59	450	0,60	670	910	--	--	--	--	--	--	0,72	680	830	--	--	--	--
1/52	400	0,60	690	950	--	--	--	--	--	--	0,72	600	880	950	950	--	--
1/71	560	0,62	610	--	--	--	--	--	--	--	0,74	560	610	--	--	--	--
1/45	360	0,63	680	950	--	--	--	--	--	--	0,75	520	870	950	950	--	--
1/59	480	0,64	630	855	--	--	--	--	--	--	0,77	480	780	--	--	--	--
1/71	600	0,66	570	--	--	--	--	--	--	--	0,80	450	570	--	--	--	--
1/52	450	0,68	610	870	950	950	--	--	--	--	0,82	690	780	900	900	--	--
1/59	520	0,69	580	790	--	--	--	--	--	--	0,83	620	720	--	--	--	--
1/45	400	0,70	610	875	950	950	--	--	--	--	0,84	550	780	950	950	--	--
1/52	480	0,72	575	815	920	920	--	--	--	--	0,87	510	730	840	840	--	--
1/59	560	0,75	540	730	--	--	--	--	--	--	0,89	470	660	--	--	--	--
1/37	360	0,76	580	830	950	950	--	--	--	--	0,92	440	740	930	950	--	--
1/45	450	0,79	545	775	950	950	--	--	--	--	0,94	410	690	880	950	--	--
1/52	520	0,79	530	755	850	850	--	--	--	--	0,94	610	670	780	780	--	--
2/71	360	0,80	565	800	950	950	--	--	--	--	0,96	550	680	860	950	--	--
1/59	600	0,80	500	685	--	--	--	--	--	--	0,96	490	620	--	--	--	--
1/45	480	0,84	510	730	920	950	950	--	--	--	1,01	460	650	820	910	--	--
1/52	560	0,85	490	700	790	790	--	--	--	--	1,01	420	620	720	720	--	--
1/37	400	0,85	525	745	930	935	--	--	--	--	1,02	390	670	840	890	--	--
2/71	400	0,88	505	720	850	855	--	--	--	--	1,06	360	620	780	850	--	--

Dando como resultado una relación de 1/45 para la reducción la cual cumple con todas las demás condiciones.

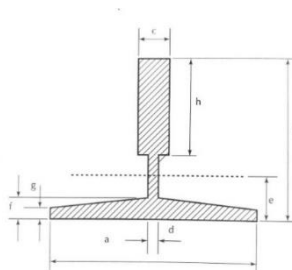
4.5. SISTEMA DE GUÍAS

Condiciones que deben cumplir las guías

- La sección de las guías debería ser suficiente para soportar, con un coeficiente de seguridad igual o mayor que 10, el esfuerzo de frenado de la cabina al ser detenida por el paracaídas.
- Deberán resistir sin deformarse más de 3 mm los empujes horizontales que les produzcan las excentricidades de la carga de la cabina.
- La fijación de las guías al edificio por medio de bridas se hará de manera que permita la compensación automática o por medio de sencillos ajustes, del acortamiento de la obra producida por los asentos y contracción del hormigón.
- La tolerancia máxima en el paralelismo de las guías será de 5 mm, cualquiera que sea el recorrido del ascensor.

Las guías más comunes para cabina son las secciones 1-70/9 e 1-90/16, las cuales se describen en las siguientes tablas en cuanto a cotas de dimensionamiento y características mecánicas.

Ilustración 35. Perfil en T.



4.5.1. Cotas de las guías de cabina

Tabla 19. Cotas de las guías.

TIPO	a	b	c	d	f	R	h	sección	Peso
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	Kg/m
	±0,1	±0,05							
1-70/9	70	65	9	6	8	6	34	9,37	7,3
1-90/16	90	75	16	8	10	8	42	16,9	13,25

Fuente: Antonio Miravete y Emilio Larrodé Elevadores: Principios e innovaciones Editorial Reverté S.A. 2007 P 154.

4.6. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA GUÍA

Tabla 20. Características mecánicas de la guía.

TIPO	Sección [cm ²]	peso [Kg/m]	e [cm]	Momentos de inercia [cm ⁴]		Modulos de resistencia de la		Radio de giro [cm]	
				Ix	Iy	Wx	Wy	ix	iy
I-70/9	9,37	7,3	1,95	41,1	19,1	9,2	5,41	2,8	1,42
I-90/16	16,9	13,25	2,65	102	57,7	21,2	12,8	2,45	1,83


Fuente: Fuente: Antonio Miravete y Emilio Larrodé Elevadores: Principios e innovaciones Editorial Reverté S.A. 2007 P 155.

Se selecciona para este caso la guía de sección I-90/16 ya que el ascensor tendrá una carga elevada con capacidad para 12 pasajeros, con esta información se procede a realizar cálculos de la deformación máxima para empujes horizontales cuando la cabina se detiene por el paracaídas de manera brusca y el factor de seguridad en cuanto a la relación del esfuerzo de frenado. Los siguientes cálculos de las guías se realizan en base al procedimiento expuesto en el libro Elevadores: Principios e innovaciones¹⁶

¹⁶ Antonio Miravete y Emilio Larrodé Elevadores: Principios e innovaciones Editorial Reverté S.A. 2007 P.152-166.


4.6.1. Cálculo de la deformación máxima

Tabla 21. Calculo deformación en las guías.

GUIAS				
				
Carga maxima de los pasajeros en la cabina				
Ecuación	$Q_u = p_{personas} \cdot W_p$			
Variables	Cantidad de personas	Personas =	12	[personas]
	Peso por persona	Wp =	75	[Kg]
Resultado	Qu =		900	[Kg]
Reacción horizontal de los apoyos				
Ecuación	$R_h = 10 \cdot \frac{Q_u}{8} \cdot \frac{a}{d}$			
Variables	Ancho posición de freno a freno	a =	2	[m]
	Distancia vertical en los apoyos	d =	2	[m]
Resultado	Rh =		1125	[N]
Deformación				
Ecuación	$f = \frac{R_h \cdot I_k^3}{48 \cdot E \cdot I_t}$			
Variables	Modulo de elasticidad	E =	2x10E11	[Pa]
	Momento transversal	It =	10,2x10E-7	[m^4]
	Longitud de guia	Ik =	2,5	[m]
Resultado	f = 1,795[mm]			
Se verifica que la deformación resultante sea menor a la admisible dada por la norma	fadm = 3 mm	>	f = 1,795 mm	

4.6.2. Cálculo del factor de seguridad por esfuerzo de frenado

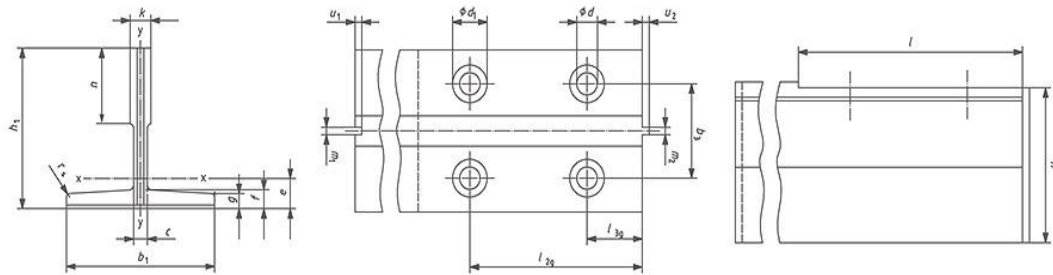
Tabla 22. Cálculo del factor de seguridad en la guía.

GUIAS				
				
Relación de esbeltez				
Ecuación	$\lambda = \frac{l_k}{i}$			
Variables	Tramo de la guía entre dos apoyos	lk =	2,5	[m]
	Radio de giro mínimo del perfil	i =	0,0245	[m]
Resultado	$\lambda = 102$			
Calculo de la fuerza de frenado				
Ecuación	$R_v = m_g \cdot l_k + 2,5 \cdot (Q_u + Q_{be}) \cdot 9,8$			
Variables	Peso por metro de guía	mg =	13,25	[Kg/m]
	Carga máxima de los pasajeros	Qu =	900	[Kg]
	Peso de cabina, cable	Qbe =	500	[Kg]
Resultado	$R_v = 34333 \text{ [N]}$			
Calculo de la fuerza permisible de frenado				
Ecuación	$R'_v = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{l_k^2}$			
Variables	Modulo de elasticidad	E =	2,1x10 ¹¹	[Pa]
	Momento de inercia mínimo	Imin =	10,2x10 ⁻⁷	[m ⁴]
Resultado	$R'_v = 322144 \text{ [N]}$			
Calculo de factor de seguridad				
Ecuación:	$N = \frac{R'_v}{R_v}$			
Resultado	N=	9,4		
Rango recomendado=	[9 - 18]			

4.6.3. Selección de las zapatas de guías: Para la selección de estas zapatas es necesario conocer el tipo de guía. en la tabla anterior se comprobó que el perfil T-90 cumple con los requisitos solicitados por la norma.

El proceso de selección de las zapatas se hace conociendo las dimensiones del perfil T90.

Ilustración 36. Vistas Perfil en T.



Fuente: NOVA. Cold Drawn Guide Rail. [En línea]. Disponible en: <http://www.novaelevator.com/product/176.html>

Tabla 23. Selección de las zapatas.

Type	b ₁	h ₁	h	k
T70-1/B	70	65	64	9
T75-3/B	75	62	61	10
T78/B	78	56	55	10
T82/B	82	68.25	66.6	9
T89/B	89	62	61	16
T90/B	90	75	74	16

El valor que determina el tipo de zapata de guía es “k”, ancho del riel , para el caso del perfil T90, es de 16 mm.

La siguiente tabla muestra las zapatas de guía con los valores del ancho del riel.

Tabla 24. Selección de las zapatas 2.

Nova Code	Rated Speed (m/s)	Width of guide rail (mm)
NV25S-M001	≤ 1.75	9/10/16/16.4
NV25S-M002	≤ 2.5	10/16
NV25S-M003	≤ 1.75	10/16.4
NV25S-M004	≤ 1.75	10/16.4

La zapata óptima seleccionada es NV25S-M001 de 16,4 mm para dejar una tolerancia de 4 mm y facilitar el ingreso del lubricante que facilita el deslizamiento de las superficies en contacto.

Ilustración 37. Zapata deslizante.



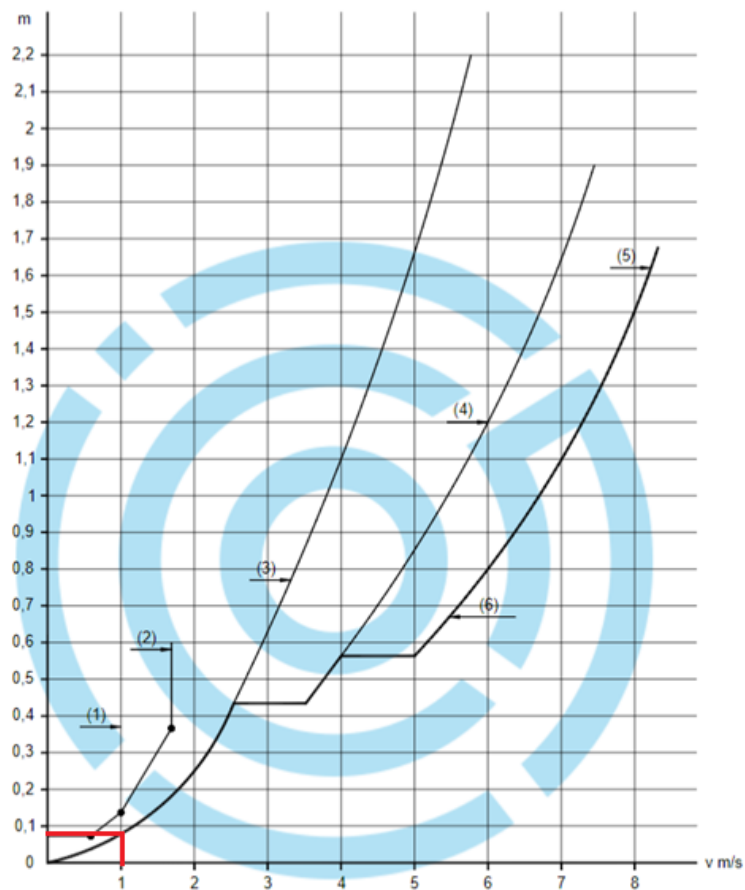
Fuente: NOVA. GUIDE SHOES. [En línea]. Disponible en:
<http://www.novaelevator.com/product/179.html> www.novaelevator.com

4.7. AMORTIGUADORES

La carrera de los amortiguadores tanto elásticos, como de resorte o hidráulicos, ha de ser como mínimo igual a la distancia de parada por gravedad a 115% de la velocidad nominal, su comportamiento se analiza en la siguiente gráfica.

4.7.1. Carrera requerida de los amortiguadores

Ilustración 38. Gráfica carrera de amortiguamiento.



Fuente: ICONTEC NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 2769-1 P.196.

V velocidad nominal

- 1) Acumulación de energía

- 2) Acumulación de energía con movimiento de retorno amortiguado
- 3) Disipación de energía sin reducción en la carrera
- 4) Disipación de energía con carrera reducida 0.5
- 5) Disipación de energía con carrera reducida 0.33
- 6) Trazo grueso, carrera mínima posible cuando se toman todas las ventajas de todas las posibilidades

En la siguiente plantilla se calcula la fuerza máxima a la que se somete el amortiguador, se toma de la gráfica anterior la carrera de 70 mm para ascensores de velocidad 1 m/s.

Tabla 25. Cálculo de amortiguadores.

AMORTIGUADORES				
				
Calculo de fuerza				
Ecuación	$W_{max} = 4 \cdot (Q_u + Q_b)$			
Variables	masa de las personas	Qu =	900	[Kg]
	masa de la cabina	Qb=	500	[Kg]
Resultado	$W_{max} = 5488$ [Kg]			

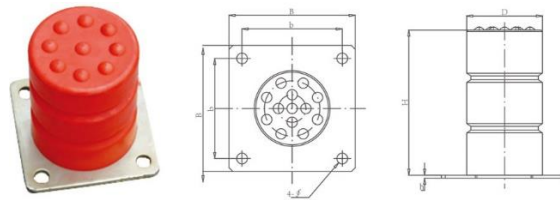
4.7.2. Selección de amortiguador: Según los cálculos realizados anteriormente por norma el amortiguador debe tener una mínima carrera de **7[cm]**. y soportar una

carga mínima de **5488[*Kg*]**. La empresa realiza el pedido a nova elevators en base a estas condiciones, revisando el catálogo se encuentra lo siguiente:

Tabla 26. Selección amortiguadora tipo buffer.

Model	Maximum Compression stroke(mm)	Specification(Φ D×H)	Load Capacity P+Q(kg)	Mounting Dimensions				Nominal Velocity $\leq 1.0\text{m/s}$
				B	b	h	ϕ	
NV54-A-01	70	$\Phi 65 \times 80$	200~1200	95	65	4	12	$\leq 1.0\text{m/s}$
NV54-A-02	70	$\Phi 80 \times 80$	200~1200	108	80	4	12	$\leq 1.0\text{m/s}$
NV54-A-03	84	$\Phi 80 \times 100$	200~2000	108	80	4	12	$\leq 1.0\text{m/s}$
NV54-A-17	185	$\Phi 160 \times 200$	1800~5800	200	156	4	14	$\leq 1.0\text{m/s}$
NV54-A-18	144	$\Phi 200 \times 160$	1800~6000	246	196	4	16	$\leq 1.0\text{m/s}$
NV54-A-19	182	$\Phi 200 \times 200$	1800~7500	246	196	4	16	$\leq 1.0\text{m/s}$
NV54-A-20	198	$\Phi 200 \times 220$	1800~7800	246	196	4	16	$\leq 1.0\text{m/s}$

Ilustración 39. Buffer.



Fuente: NOVA. Buffer. [En línea]. Disponible en:
<http://www.novaelevator.com/product/267.html>

El buffer que cumple con lo solicitado es el siguiente:

Tabla 27. Características buffer.

Model	Maximum Compression stroke(mm)	Specification($\Phi D \times H$)	Load Capacity P+Q(kg)	Mounting Dimensions				Naminal Velocity
				B	b	h	ϕ	$\leq 1.0\text{m/s}$
NV54-A-17	185	$\Phi 160 \times 200$	1800~5800	200	156	4	14	$\leq 1.0\text{m/s}$

Siendo el NV54-A-17 el buffer elegido.

4.8. BASTIDOR Y CABINA

4.8.1. Condiciones para el estudio estático estructural: Este componente del ascensor se diseñó y analizó mediante el software SolidWorks, utilizando el análisis estático estructural, bajo las siguientes condiciones planteadas.

Tabla 28. Condiciones para el estudio estático estructural.

Pasajeros	Carga de pasajero	Carga Pasajeros	Carga Cabina	aceleración
12	75[Kg]	900[Kg]	350[Kg]	0,3334 [m/s^2]

- La variable de aceleración se obtiene mediante el siguiente procedimiento:
Se plantea la ecuación de cinemática que relaciona velocidad, desplazamiento y aceleración.

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(\Delta x)$$

Al inicio del movimiento $v_i^2 = 0$, por lo general, la velocidad la cabina de los ascensores se estabiliza a la mitad de la altura entre placas por lo tanto $\Delta x = H/2$, la norma dice que la altura promedio entre placas de una construcción es de 3[m]. dando como resultado $\Delta x = 1,5[m]$.

De lo anterior se puede calcular y despejar la aceleración obteniéndose lo siguiente:

$$a = \frac{v_f^2}{2(\Delta x)}, \quad a = 0,3334 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

- Para la carga por persona se considera el valor de la norma de carga promedio por persona de 75[Kg].
- La carga de la cabina se realiza calculando la masa del ensamblaje correspondiente a la cabina, el cual tiene en cuenta paredes, techo, piso, puertas, etc. Este cálculo da como estimado 350[Kg].

4.8.1.1. Descripción de los materiales empleados

- Acero estructural A36

Tabla 29. Descripción de material acero A36.

PROPIEDADES DEL MATERIAL	Nombre	ASTM A36 Acero
	Tipo de modelo	Isotropico elastico lineal
	Modulo elastico	200x10 ⁹ Pa
	Limite elastico	2,5x10 ⁸ Pa
	Limite de tracción	4,0x10 ⁸ Pa
	Coefficiente de Poisson	0,26 N/D
	Densidad	7850 [Kg/m ³]
	Modulo cortante	79,3x10 ⁹ Pa

Fuente: tomado de SOLIDWORKS. Versión 2018. Disponible en:

<https://www.solidworks.com/>.

- Acero inoxidable 316L

Tabla 30. Descripción material acero inoxidable AISI 316L.

PROPIEDADES DEL MATERIAL	Nombre	AISI 316L Acero inox.
	Tipo de modelo	Isotropico elastico lineal
	Modulo elastico	200x10 ⁹ Pa
	Limite elastico	1,7x10 ⁸ Pa
	Limite de tracción	4,85x10 ⁸ Pa
	Coefficiente de Poisson	0,26 N/D
	Densidad	8027 [Kg/m ³]
	Modulo cortante	82x10 ⁹ Pa

Fuente: Propiedades físicas Solidwork. Versión 2018 Disponible en

<https://www.solidworks.com/>.

4.8.1.2. Geometría y aplicación de cargas en SolidWorks: La carga aplicada debe tener en cuenta la aceleración, la carga de los pasajeros y la carga de la cabina, por lo tanto, se usan los valores calculados anteriormente, la aceleración de $0,3334 [m/s^2]$ y la carga total de cabina y personas de 1250 [Kg].

Tabla 31. Cálculos de cargas para la simulación.

CARGAS PARA EL MODELO EN SOLIDWORKS				
Calculos dinamicos				
Variables	Aceleración	a=	0,334	$[m/s^2]$
	Gravedad	g=	9,8	$[m/s^2]$
	masa personas	mp=	900	[Kg]
	masa ascensor	mc=	350	[Kg]
Ecuaciones		Resultados		
$m = m_p + m_c$		masa total	m = 1250 [Kg]	
$F_p = m_p \cdot g$		Peso personas	Fp = 8820 [N]	
$F_c = m_c \cdot g$		Peso ascensor	Fc = 3430 [N]	
Calculo Carga total				
Ecuacion		Resultado		
$F = F_p + F_c + m \cdot a$		Fuerza total	F = 12662,5 [N]	

Dando como resultado una fuerza sobre el soporte en el que se recarga la cabina sobre el chasis de:

$$F = 12662,5 [N]$$

La cabina tiene dos apoyos en el conjunto del bastidor por lo tanto se divide la fuerza dando como resultado $6331,25 [N]$ por cada apoyo. La ubicación y valor se observa a continuación. El apoyo o la fijación se hace en la placa superior del chasis puesto que ahí es donde se ancla el bastidor a los cables, donde las arandelas simulan el área de contacto entre los sujetadores de los cables a la placa.

Ilustración 40. Detalle superficie de sujeción de cables.

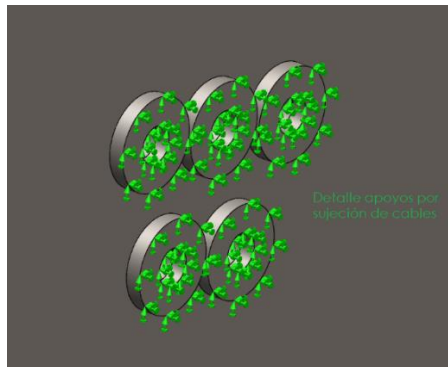


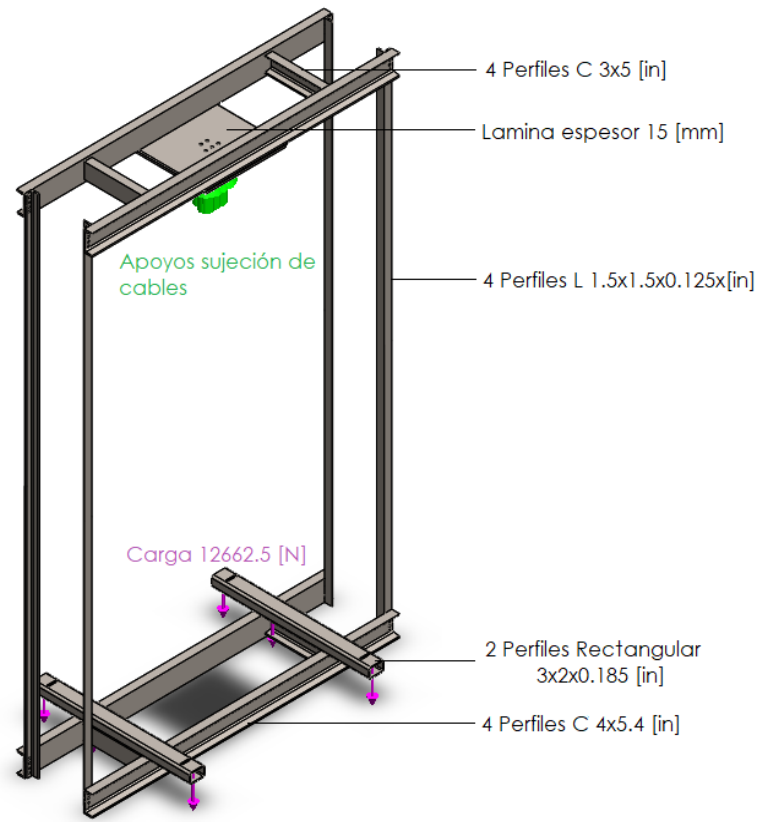
Ilustración 41. Elemento de sujeción entre cables y bastidor.



La distribución y ubicación de los perfiles son iguales a los empleados por la empresa. La principal diferencia en el modelo generado en la norma y el expuesto por la empresa son las dimensiones transversales de los perfiles utilizados y el espesor de las láminas.

4.8.2. Bastidor: El bastidor es el soporte principal del ascensor construido en perfiles de acero estructural A36 (ver propiedades del material en la tabla 29) y descripción de tipos de perfiles ubicación de cargas y apoyos en la ilustración 42.

Ilustración 42. Descripción del modelo bastidor.

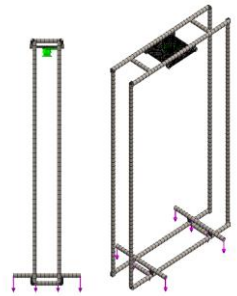


En la ilustración, se aprecia la ubicación de las cargas.

4.8.2.1. Mallado de la estructura: Se utilizó la configuración recomendada por SolidWorks para realizar el mallado. Al utilizar operaciones como pieza soldada y vigas normalizadas el software convierte a tubo los perfiles utilizados, esto para facilitar el análisis brindando respuestas confiables.

Tabla 32. Detalles de la malla bastidor.

Detalles de la malla	
Tipo de malla	
Malla mixta	
Método de aproximación	
Malla basada en curvatura	
Número total de nodos	19157
Número total de elementos	10477



4.8.2.2. Esfuerzo máximo

Ilustración 43. Simulación del esfuerzo en el bastidor.

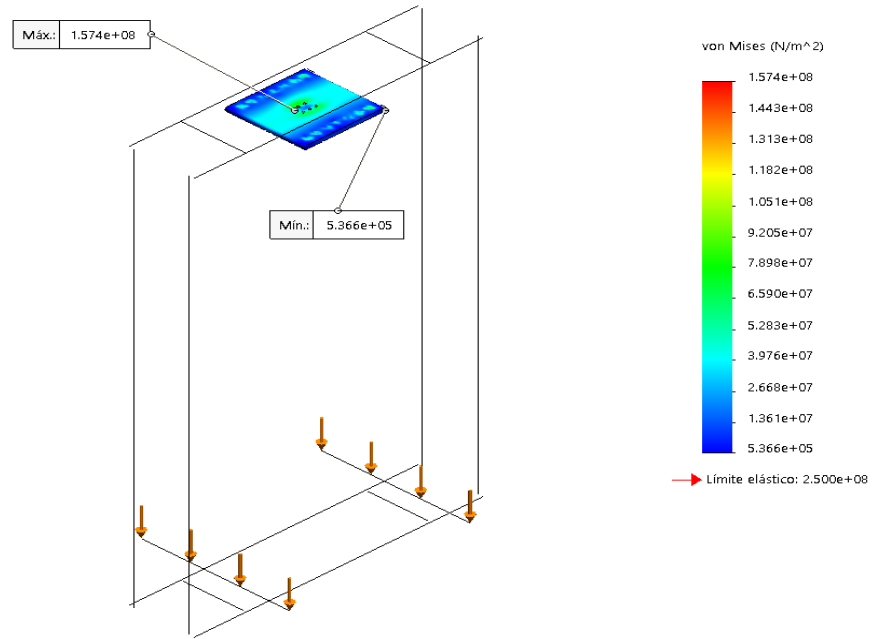


Ilustración 44. Detalle esfuerzo máximo placa.

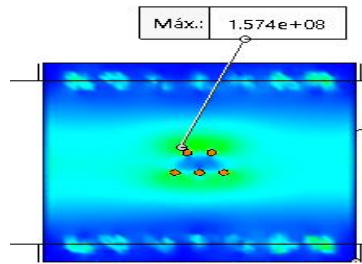


Tabla 33. Resultado esfuerzo de tensión.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Stress	Von: Tensiones de von mises		1,57E+08

El esfuerzo equivalente máximo se da en los huecos, en la unión entre la placa del bastidor y el cable, precisamente en el punto de unión. Los siguientes puntos más esforzados son las regiones de contacto entre el perfil en C superior y la placa.

4.8.2.3. Desplazamiento máximo

Ilustración 45. Simulación desplazamiento máximo en el bastidor.

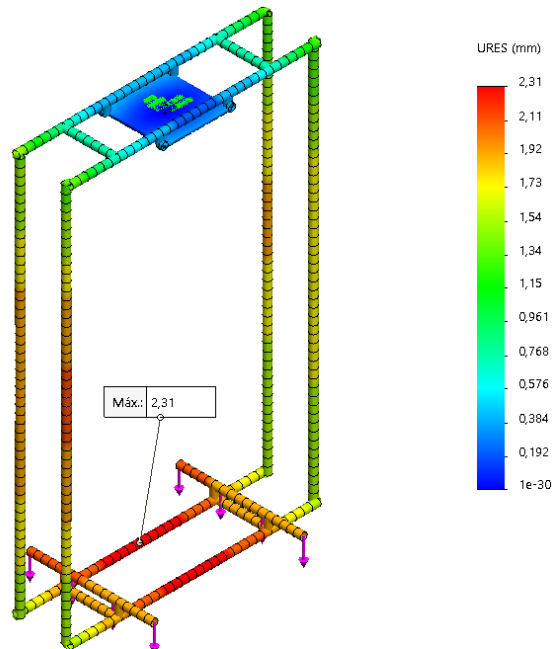


Tabla 34. Resultados desplazamiento en bastidor.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
DISPLACEMENT	URES: Desplazamiento resultante	0	2,31 mm

El desplazamiento máximo ocurre justo en la mitad de las vigas inferiores y se flecta verticalmente hacia abajo. Este comportamiento es lógico debido a la dirección y ubicación de las fuerzas y a la flexión que ocurre en las vigas.

4.8.2.4. Factor de seguridad: El objetivo de esta simulación es cumplir con lo dispuesto por la norma para el chasis, según la norma NTC 2769 el bastidor debe ser robusto, calculado con un coeficiente de seguridad de 5, para resistir las cargas

normales y las que pueden producirse al entrar en funcionamiento el paracaídas y quedar acuñaada bruscamente la cabina.

Ilustración 46. Simulación factor de seguridad bastidor.

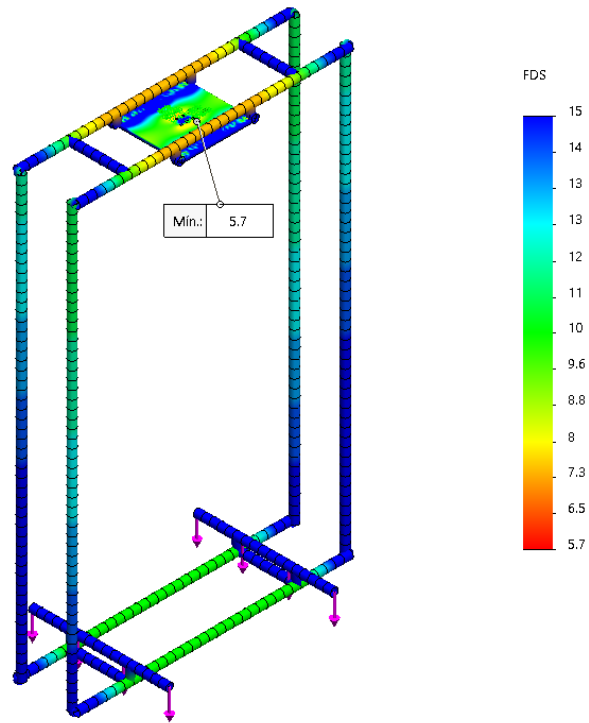


Ilustración 47. Detalle factor de seguridad mínimo.

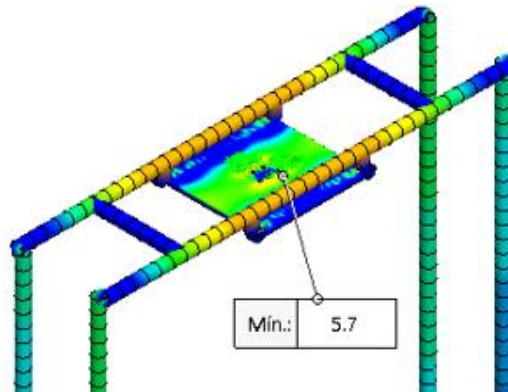


Tabla 35. Resultado factor de seguridad bastidor.

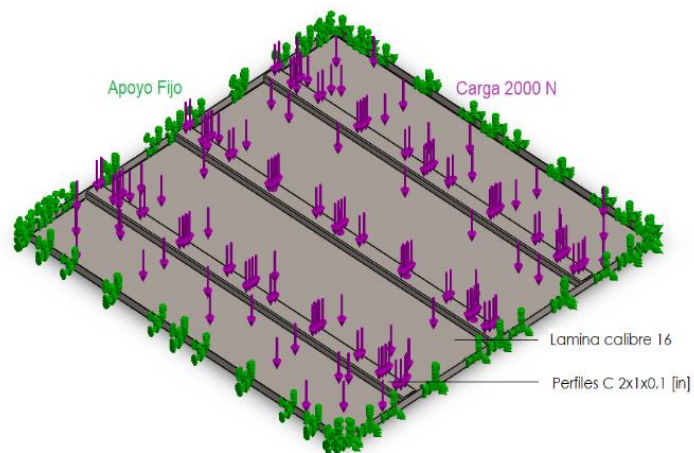
Nombre	Valor	Valor min permitido
Safety Factor	5,7	5

El factor de seguridad mínimo se da en los huecos, precisamente donde se une la placa con el cable, y se da el mayor esfuerzo. La norma permite un factor de seguridad de 5, en el diseño propuesto por el autor se genera un valor de 5,7 siendo un valor un poco más conservativo que garantiza el correcto funcionamiento.

4.8.3. Cabina

4.8.3.1. Techo: Según la norma NTC 2769 -1 el techo de la cabina del ascensor debe resistir el peso de al menos dos personas para trabajos de mantenimiento por tanto se determina que se prueba para 200 Kg, a continuación, se muestra el comportamiento y análisis de este, se diseña y prueba con lamina de acero inoxidable 316 calibre 16 ver propiedades en la tabla 29 y soportes de perfiles en C 60x30x1,5mm de acero estructural A36 ver propiedades en la tabla 30.

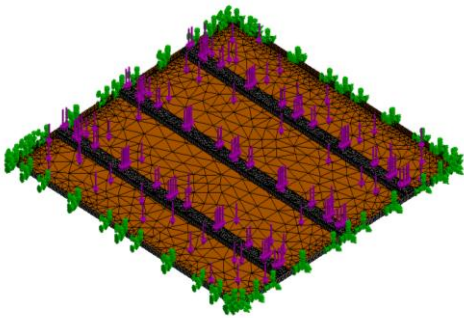
Ilustración 48. Descripción modelo Techo.



➤ **Mallado de techo**

Tabla 36. Detalles malla techo.

Detalles de la malla	
Tipo de malla	
Malla mixta	
Metodo de aproximación	
Malla basada en curvatura	
Número total de nodos	91830
Número total de elementos	45246



➤ **Esfuerzo máximo en el techo**

Ilustración 49. Simulación del esfuerzo en el techo.

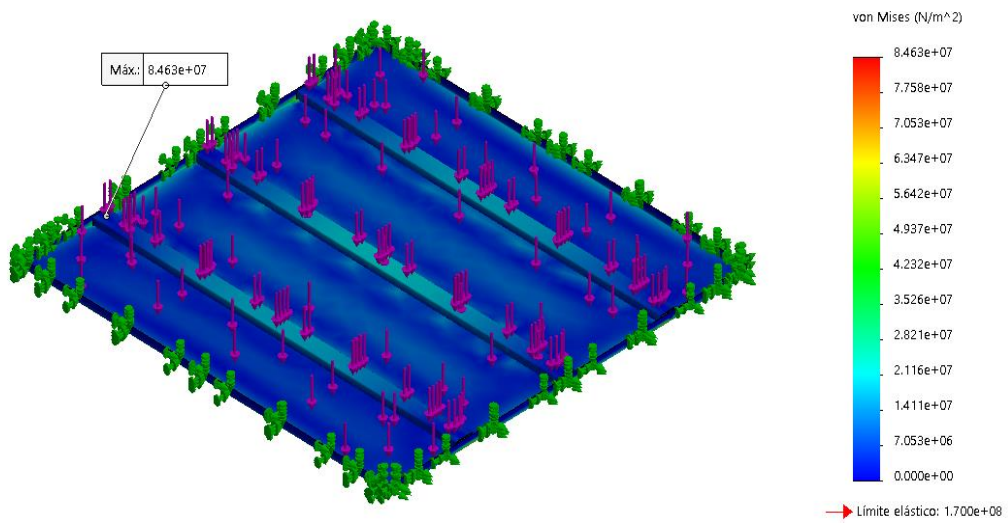


Ilustración 50. Detalle esfuerzo máximo.

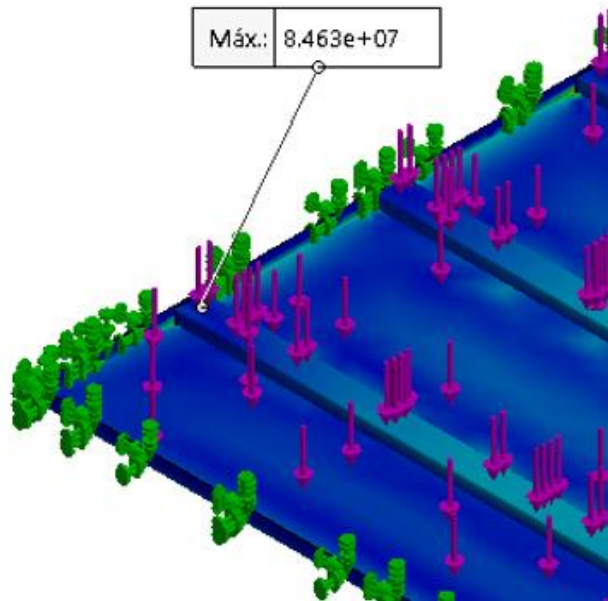


Tabla 37. Resultados simulación esfuerzos en techo.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Stress	Von: Tensiones de von mises	0	8,463e+7 [N/m ²]

El esfuerzo máximo se da en el punto de unión entre la esquina cuadrada y la lámina del techo.

➤ **Desplazamiento máximo en el techo**

El análisis del desplazamiento del techo se realizó empleando el mismo procedimiento y método de mallado.

Ilustración 51. Simulación desplazamiento máximo en el techo.

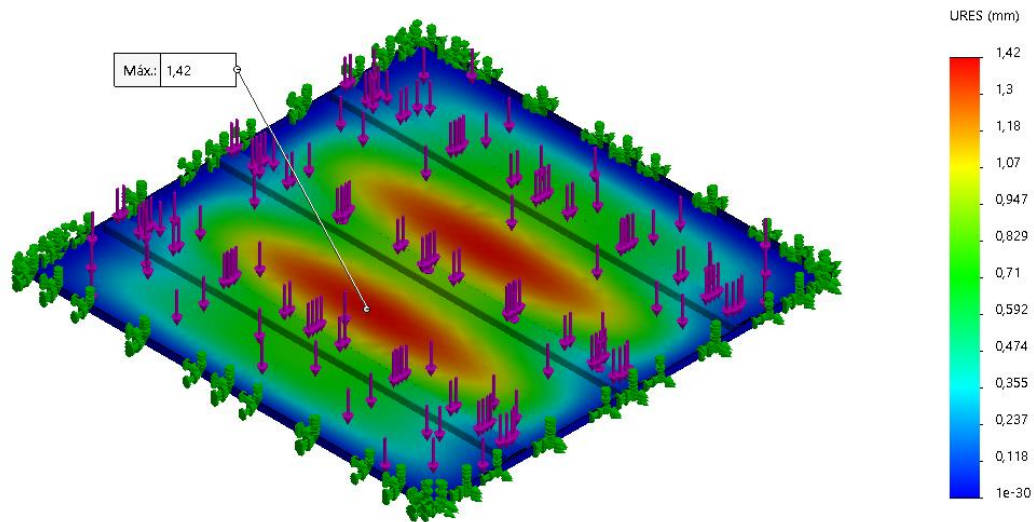


Tabla 38. Resultados desplazamiento techo.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
DISPLACEMENT	URES: Desplazamiento resultante	0	1,42 mm

La deformación máxima se da en el centro del techo, este resultado es probable debido a la ubicación de la carga y su dirección. Las láminas del techo van conectadas con la superficie inferior de los perfiles para evitar una deformación mayor.

➤ **Factor de seguridad en el techo**

Para el caso del techo no hay requisito en el factor de seguridad , pero este valor sirve para inspeccionar que el techo se encuentre dentro del límite elástico soportando una carga de $200[kg]$ como lo exige la norma¹⁷.

¹⁷ ICONTEC. Norma NTC 2769- 1. P 46 – 47

Ilustración 52. Simulación factor de seguridad techo .

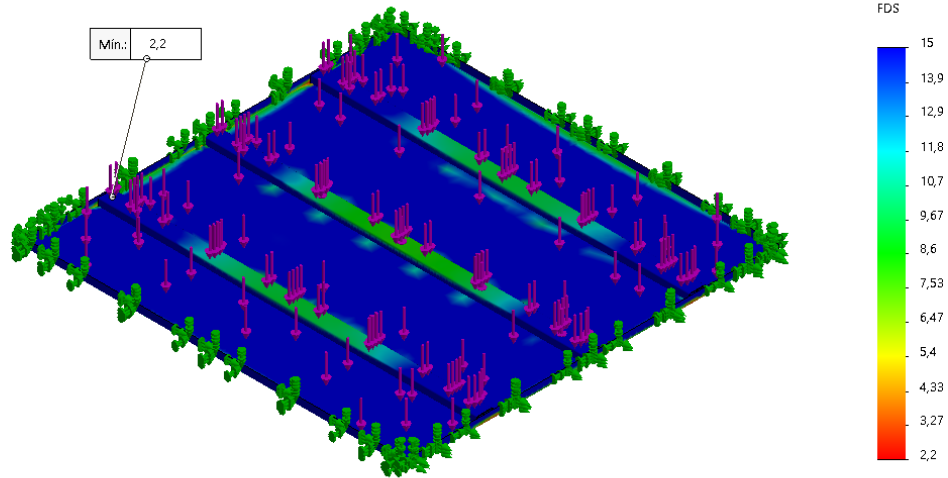


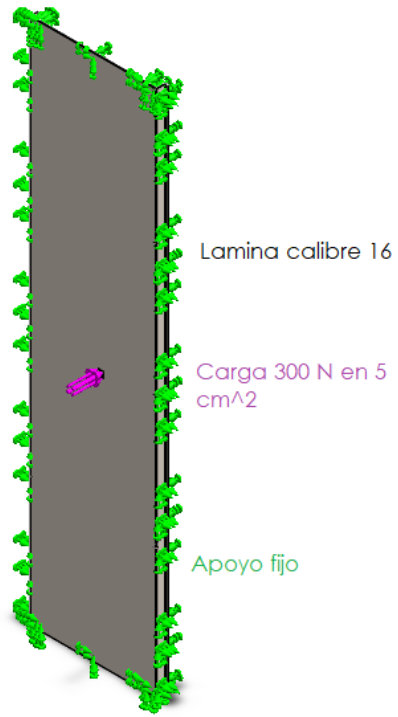
Tabla 39. Resultado factor de seguridad techo.

Nombre	Valor
Safety Factor	2,2

4.8.3.2. Panel de cabina: Según la norma NTC 2769 -1, los paneles de las paredes de la cabina fabricados en lámina de acero inoxidable AISI 316L ver descripción tabla 30, deben soportar una carga de **300N** por cada **5[cm²]** de área sin deformación elástica mayor de **15[mm]**¹⁸, la altura inferior de la cabina deberá ser como mínimo 2 m, y la de su puerta o puertas 1.90 m, los apoyos irán en los laterales , superficie superior e inferior, se representa a continuación en verde.

Ilustración 53. Descripción modelo panel.

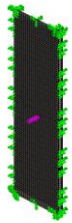
¹⁸ Ibíd. P.11



➤ **Mallado del panel**

Tabla 40. Detalles malla panel.

Detalles de la malla	
Tipo de malla	
Malla solida	
Número total de nodos	2819
Número total de elementos	1346



➤ **Esfuerzo máximo en el panel**

Ilustración 54. Simulación esfuerzo en el panel.

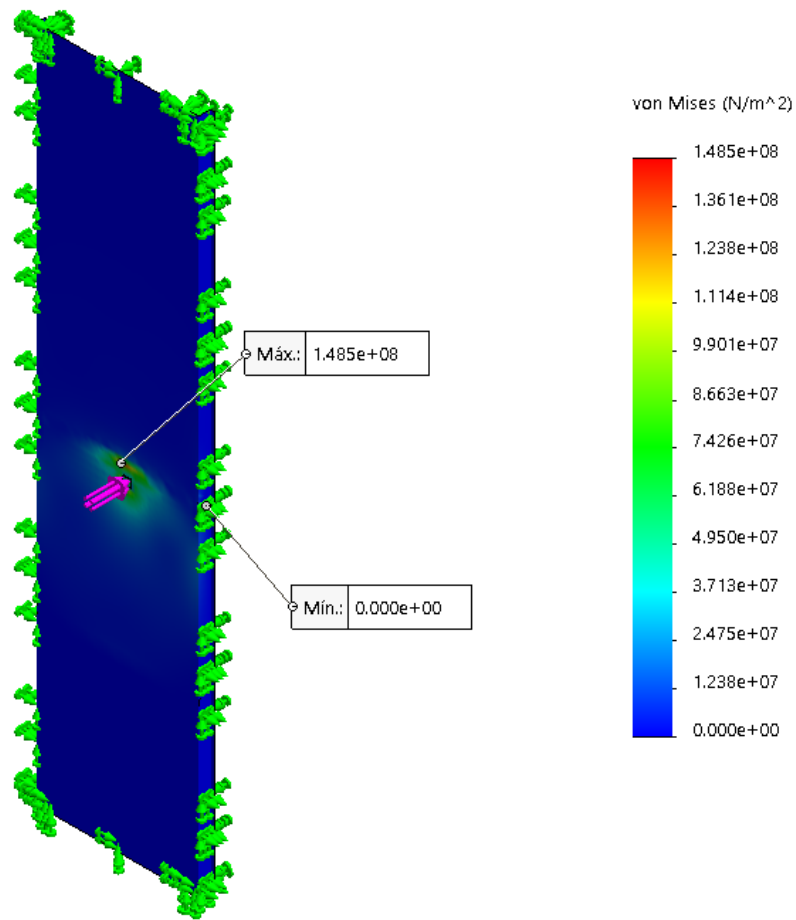


Tabla 41. Resultado simulación esfuerzo panel.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Stress	Von: Tensiones de von mises	0,00E+00	1,485e+8 [N/m ²]

El esfuerzo equivalente máximo se produce justo en la posición de aplicación de la carga, esto se debe a la distancia entre los apoyos. Estos apoyos a su vez van fijados a otros paneles lateralmente, al techo y piso.

➤ **Desplazamiento máximo en el panel**

Ilustración 55. Simulación desplazamiento máximo en el panel.

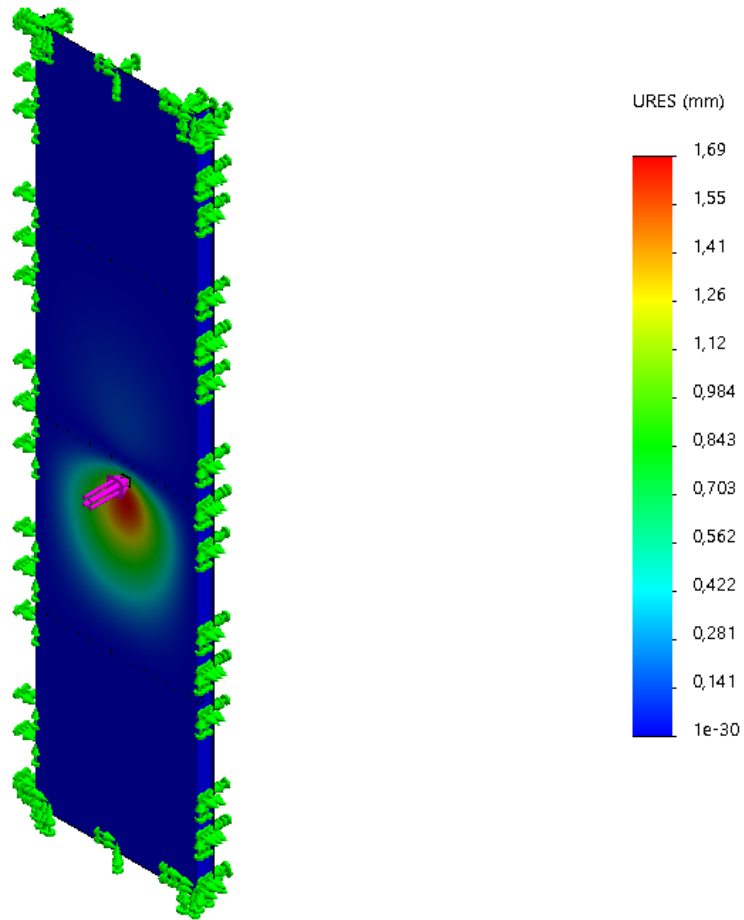


Tabla 42. Resultado desplazamiento panel.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
DISPLACEMENT	URES: Desplazamiento resultante	0	1,69 mm

El valor de la deformación debe estar por debajo de los 15[mm]¹⁹bajo las condiciones de carga dadas, el calibre de la lámina número 16 permite cumplir esta

¹⁹ Norma NTC 2769-1 Pg 11

condición. Según los resultados obtenidos se pueden obtener espesores más pequeños al estar muy por debajo de la deformación que permite la norma, pero se consideran deformaciones muy notables por encima de 1,7 mm.

➤ **Factor de seguridad mínimo en el panel**

Ilustración 56. Simulación factor de seguridad en el panel.

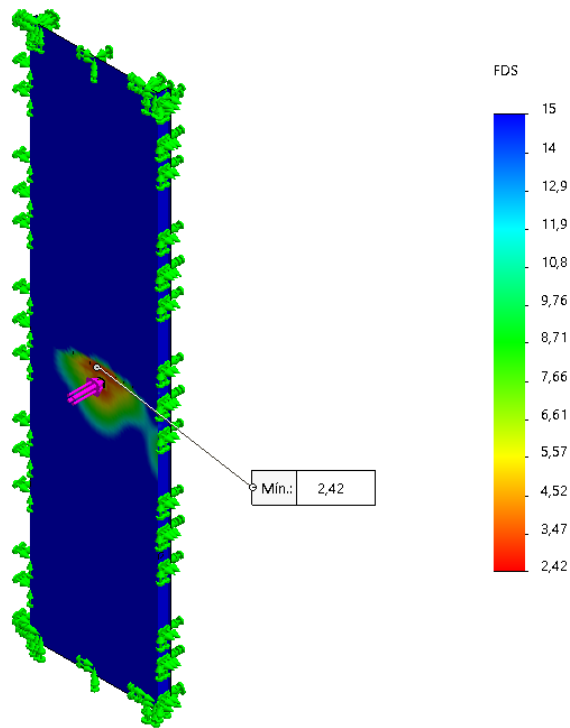


Tabla 43. Resultado factor de seguridad panel.

Nombre	Valor
Safety Factor	2.42

Para el caso de las paredes no hay requisito en el factor de seguridad, pero este valor sirve para inspeccionar que la pared se encuentre dentro del límite elástico soportando una carga de 300[N] por cada 5[cm²] tal como lo indica la norma.

4.8.3.3. Piso de cabina: El piso de la cabina está conformado por una lámina calibre 16 apoyada sobre perfiles cuadrados de 2x2x0,1in distribuidos como se muestran en la ilustración, esta configuración va de acuerdo con la utilizada por la empresa T.V.C. Ascensores todo fabricado en acero estructural A36 ver descripción en la tabla 29.

Ilustración 57. Descripción modelo piso.

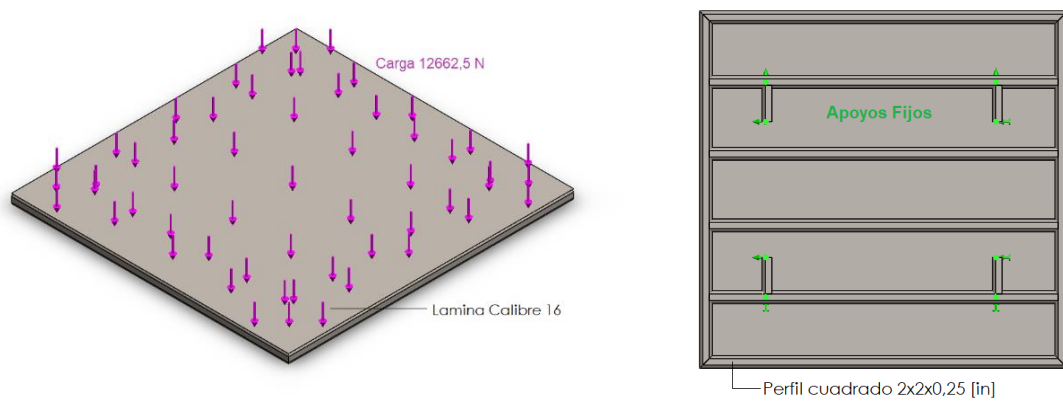
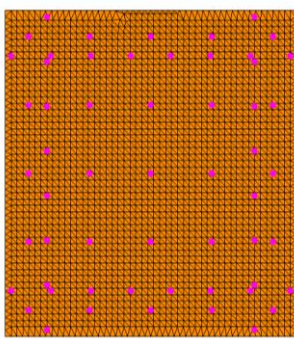
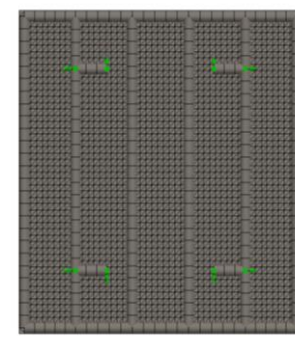


Tabla 44. Detalles de malla piso.

Detalles de la malla	
Tipo de malla	
Malla solida	
Número total de nodos	10271
Número total de elementos	5136

➤ **Esfuerzo máximo en el piso**

Ilustración 58. Simulación esfuerzo en el piso.

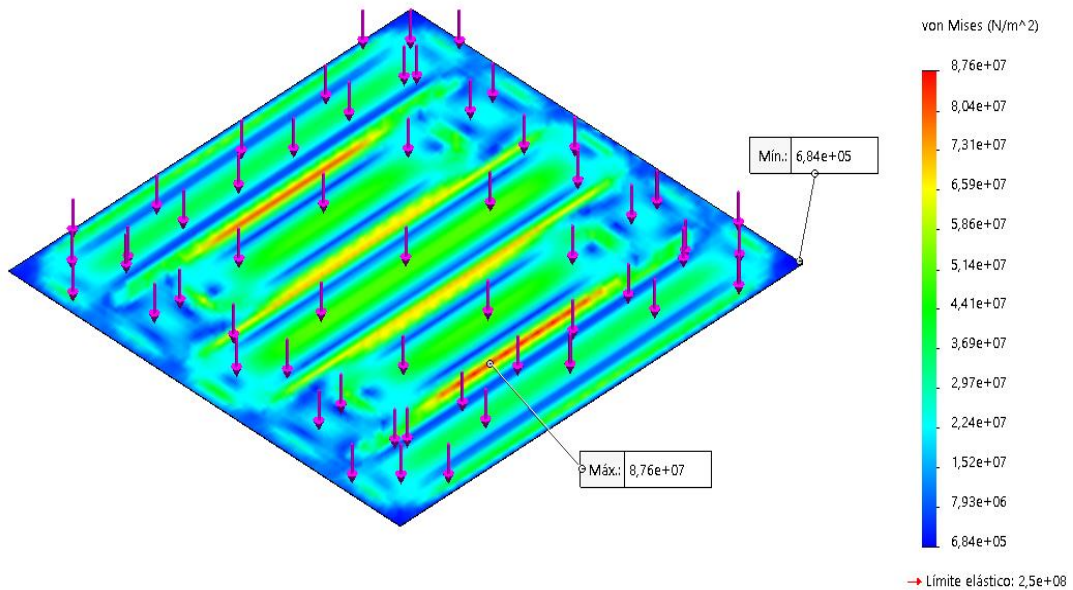


Tabla 45. Resultados simulación esfuerzo piso.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Stress	Von: Tensiones de von mises	6,84e+5 [N/m ²]	8,76e+7 [N/m ²]

El esfuerzo máximo se da en la región cercana a los apoyos que unen el piso de la cabina con el bastidor.

El comportamiento del análisis en el piso es lógico puesto que en ese punto tiende a doblarse la lámina por aplicación de la carga. Las regiones en verde representan las zonas con esfuerzo intermedio, la superficie superior de esas zonas es la misma correspondiente a la de las vigas de apoyo ubicadas por debajo del piso.

➤ **Deformación máxima en el piso.**

Ilustración 59. Simulación desplazamiento máximo piso.

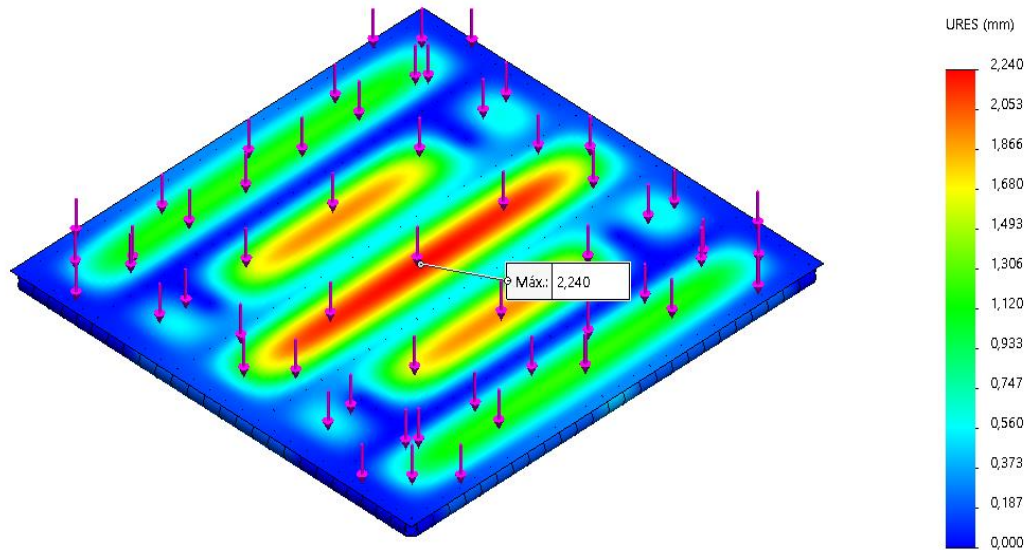


Tabla 46. Resultado desplazamiento piso.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
DISPLACEMENT	URES: Desplazamiento resultante	0	2,24 mm

La deformación máxima se presenta en la parte central en medio de las vigas de refuerzo con las que cuenta la lámina que cumple la función de base o piso de la cabina, esta deformación es aceptable dentro de los parámetros de diseño y seguridad establecidos.

➤ **Factor de seguridad en el piso**

Ilustración 60. Simulación factor de seguridad piso.

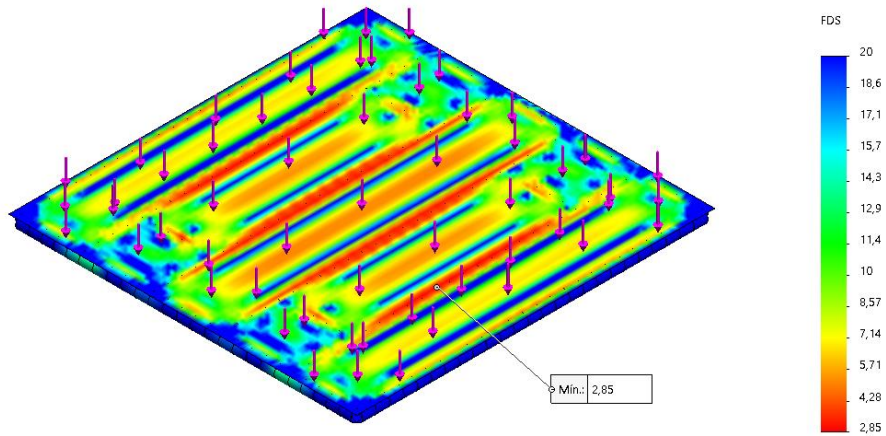


Tabla 47. Resultado factor de seguridad piso.

Nombre	Valor
Safety Factor	2,9

El menor factor de seguridad que representa la mayor posibilidad de falla se genera en la zona cercana al apoyo, tal como se explicó en el análisis de esfuerzos. Se considera un resultado viable debido a que la deformación es mínima y existe un sobredimensionamiento adecuado.

5. VALIDACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

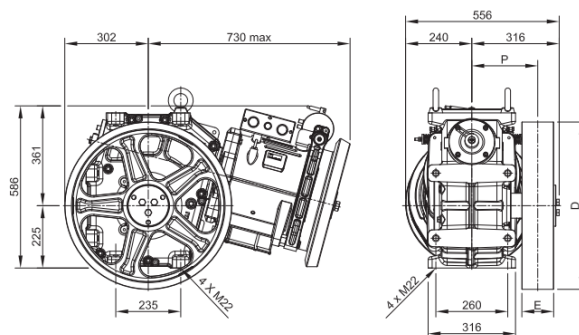
Como proceso de validación del diseño se compara un ascensor fabricado por la empresa con el diseñado por el autor, ambos aplicando las mismas condiciones de carga, velocidad y aceleración. Los parámetros de entrada para la selección de los componentes se encuentran en la tabla 7.

El objetivo de la validación es comparar el diseño planteado por el autor y el realizado por la empresa. Esta comparación dará el grado de sobredimensionamiento o subdimensionamiento de los componentes principales y permitirá realizar un análisis económico posteriormente.

5.1. DESCRIPCIÓN DISEÑO POR LA EMPRESA

5.1.1. Máquina seleccionada por T.V.C: Se selecciona el grupo tractor en general para la aplicación específica, el proceso de selección consiste en contactar al distribuidor y solicitar un ascensor para 12 pasajeros a una velocidad nominal de 1 m/s. Se obtiene lo siguiente.

Ilustración 61. Máquina MR16.



Fuente: SICOR S.p.A. GEARED Machines, Maquina MS16.P75 [En línea]. Disponible en: http://www.sicor-spa.it/wpcontent/uploads/2019/10/BRH0057_REV05-1.pdf

Tabla 48. Descripción del grupo tractor.

MÁQUINA	Potencia [kW]	Diámetro del cable[mm]	Diámetro de polea[mm]	ranuras	relación	CARGA
MR-16	10	10	560	6	1 a 43	1250[Kg]

En el anexo (A) se aprecia la información completa de la máquina.

El grado de sobredimensionamiento se nota más en la potencia máxima consumida. Para la comparativa entre la máquina SH140 y la máquina MR-16 se realiza el siguiente procedimiento:

Potencia máxima de máquina SH140 de 8,2[kW]

Potencia máxima de máquina MR16 10 [kW]

A simple vista se logra ver la diferencia en el consumo, por un lado, la que propone el diseñador, maquina SH140 transporta máximo 910[kg] y consume 8,2[kW], por otro lado, la máquina MR16 transporta 1250[kg] con un consumo de 10[kW] , la carga real a transportar es de 900[kg].

De los datos anteriores

$$N = POT_{mr16} - POT_{sh140}$$

Dando lo anterior N=1.8

Significa que la máquina MR-16 consume 1.8 [kW] más que la máquina SH140, Este sobredimensionamiento no es de diseño ya que el seleccionamiento de la máquina en el catálogo de SICOR se realiza con la carga real, no con una carga de diseño.

5.1.2. Guías: Las guías son estándar, NOVA ELEVATORS, distribuidor de T.V.C. recomienda la aplicación de las guías T-90 para esta aplicación, igual que las

calculadas según el procedimiento de la norma, por lo tanto, no se realiza la comparativa.

5.1.3. Limitador y amortiguador: El limitador de velocidad y amortiguador utilizado en el diseño realizado por la empresa es son los mismos seleccionados por el autor. Esto se debe a que la selección se hace de acuerdo con las condiciones de carga y a la velocidad. Para ambos diseños se tienen las mismas condiciones y la referencia que cumple es NV52-240.

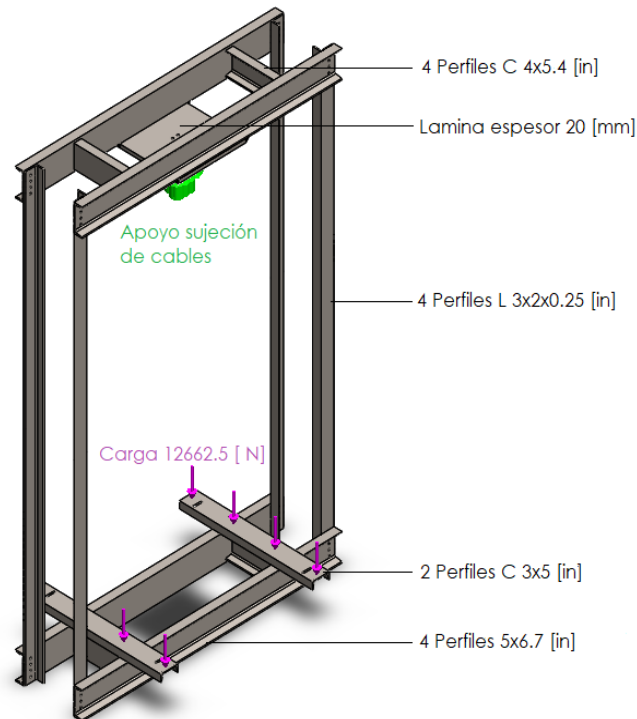
5.1.4. Bastidor, modelo empleado por T.V.C. ascensores: Como se discutió en la sección de los requisitos, la empresa exige mantener la distribución y configuración de los perfiles utilizados, permitiéndose cambiar el espesor del techo, piso y chasis de la cabina.

Por lo tanto, el modelo CAD de la norma y del ascensor fabricado es igual en la mayoría de las características, exceptuando el espesor de los perfiles, alto y ancho y algunas uniones.

La geometría del bastidor que fabrica la empresa T.V.C. consiste principalmente en dos soportes, inferiores y superiores constituidos por perfiles en C y dos perfiles en Angulo que funcionan como columna fabricados en acero estructural A36 ver descripción de sus propiedades en la tabla 29.

La carga sobre los soportes inferiores se calculó en el procedimiento de diseño del bastidor, tal como se muestra en la tabla 31. Quedando una fuerza $F = 12662,5 [N]$. Al haber dos soportes, la carga se divide quedando una fuerza aplicada de $6331,25 [N]$.

Ilustración 62. Descripción modelo bastidor T.V.C.



La imagen muestra la distribución de los perfiles y sus dimensiones principales. La longitud de los perfiles varía dependiendo de la aplicación, para este caso es igual a los empleados por la norma, la diferencia entre un análisis y otro es el tipo de perfil utilizado en cada caso.

Tabla 49. Detalles malla bastidor T.V.C.

Detalles de la malla	
Tipo de malla	
Malla mixta	
Método de aproximación	
Malla basada en curvatura	
Número total de nodos	13811
Número total de elementos	8147

Las imágenes adjuntas muestran la malla del bastidor T.V.C. en dos perspectivas: una lateral y una superior.

5.1.4.1. Esfuerzo máximo bastidor T.V.C.

Ilustración 63. Simulación del esfuerzo en el bastidor T.V.C.

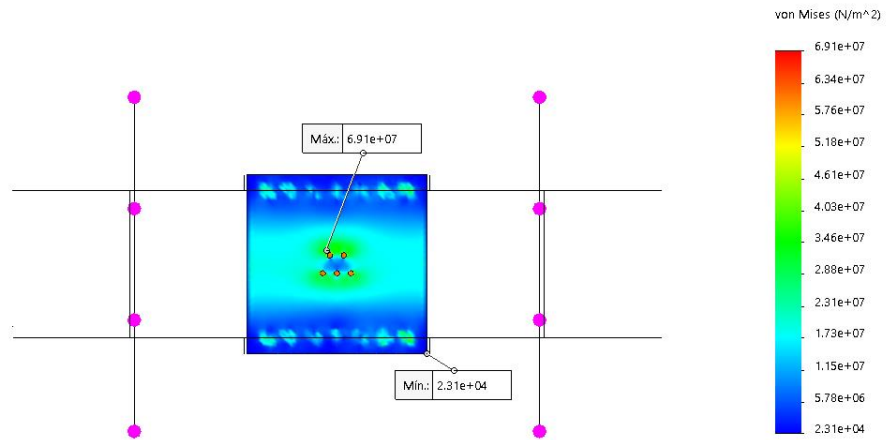


Ilustración 64. Simulación del esfuerzo en el bastidor T.V.C- Isométrica.

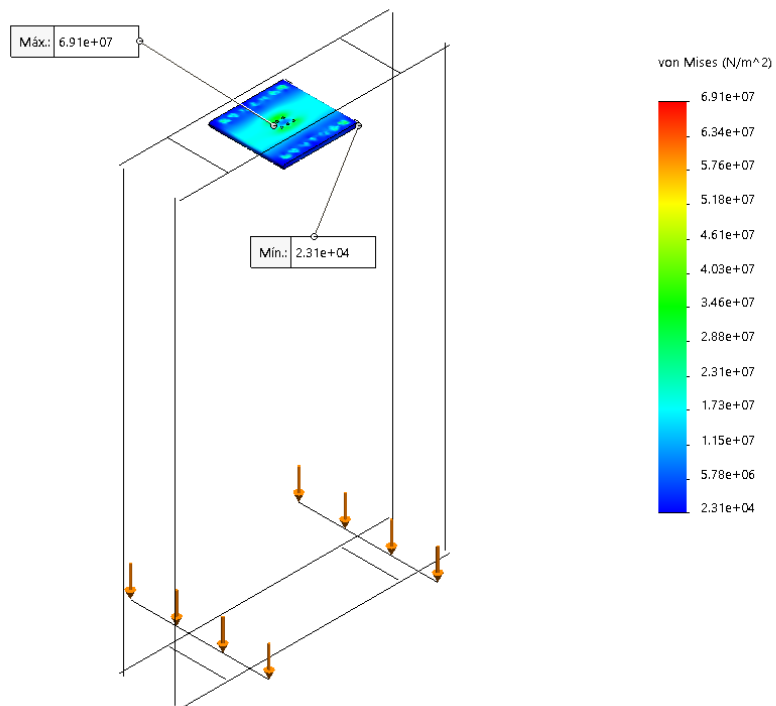


Tabla 50. Resultados simulación esfuerzo bastidor T.V.C.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Stress	Von: Tensiones de von mises	2,31e+04 [N/m ²]	6,91e+07 [N/m ²]

El esfuerzo máximo se tiene en el mismo punto donde se obtuvo en la norma, justo En la zona de agarre entre el bastidor y los cables.

5.1.4.2. Desplazamiento máximo bastidor T.V.C.

Ilustración 65. Simulación desplazamiento máximo bastidor T.V.C

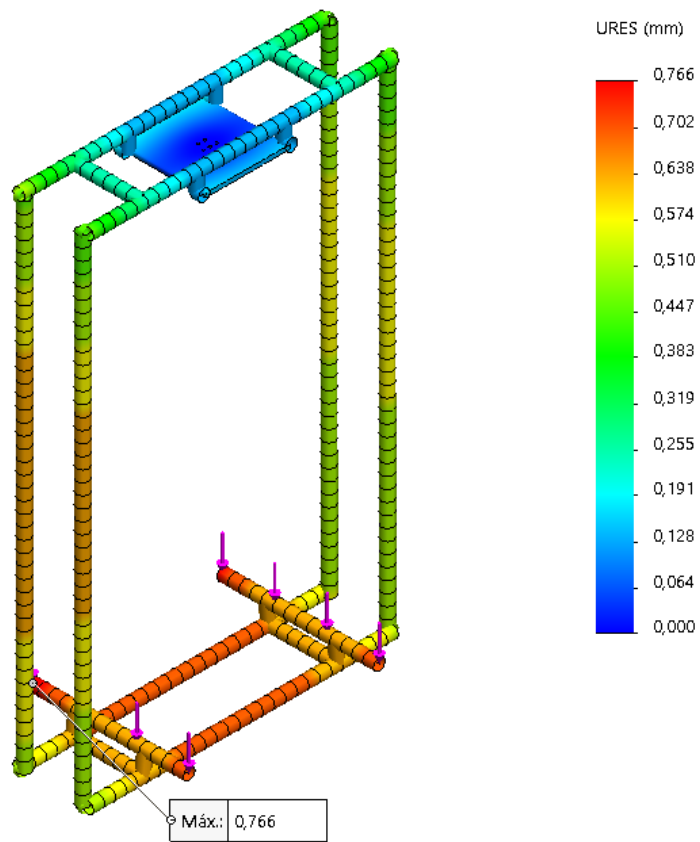


Tabla 51. Resultados desplazamiento bastidor T.V.C.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
DISPLACEMENT	URES: Desplazamiento resultante	0	0,766 mm

El desplazamiento máximo se obtuvo justo en la mitad de los perfiles inferiores y en los extremos de los perfiles que hacen contacto directo con el bastidor.

5.1.4.3. Factor de seguridad bastidor T.V.C.

Ilustración 66. Simulación factor de seguridad bastidor T.V.C.

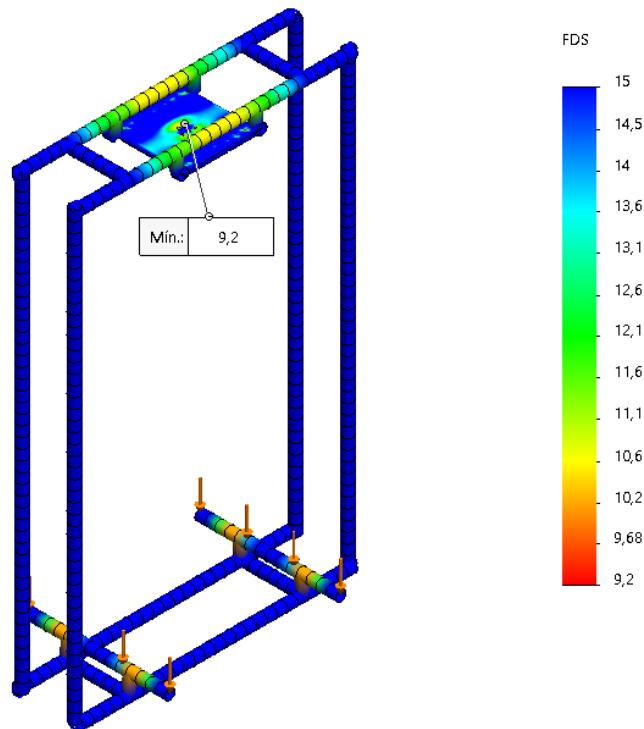


Tabla 52. Resultado factor de seguridad bastidor T.V.C.

Nombre	Tipo	Min.
Factor of safety	Automatico	9,2

Se aprecia el valor del factor de seguridad bastante elevado en comparación al de la norma. La conclusión que se obtiene de este análisis es el sobredimensionamiento de los perfiles que componen el bastidor fabricado por la empresa T.V.C. Ascensores.

Se logra ver que el punto de menor factor de seguridad se da en la unión de los perfiles sobre el soporte inferior y a lo largo de la flexión generada en el soporte superior.

Tabla 53. Comparación factores de seguridad bastidores.

Bastidor	Diseño aplicado por la empresa T.V.C.	Diseño creado por el autor	Recomendación norma NTC 2769-1
Factor de seguridad	9,2	5,7	5

El proceso de rediseño debe tener en cuenta la unión inferior y un perfil en el soporte inferior que garantice un menor tamaño, menor costo, menor factor de seguridad siempre y cuando su valor esté por encima del permitido en la norma como se muestra en la tabla 53.

5.1.5. Cabina

5.1.5.1. Techo: La empresa T.V.C fabrica el techo de la cabina ubicando una lámina calibre 14 soportada en 3 vigas de sección transversal tipo C de 60x30x1.9mm para dar mayor rigidez. El material utilizado para todo el subconjunto del techo de la cabina es fabricado en acero inoxidable AISI 316L ver descripción tabla 30.

El cumplimiento de la norma del techo fabricado por T.V.C. se comprueba agregando una carga de 2000[N] perpendicular a la superficie verificando que su deformación se encuentre dentro del límite elástico.

Ilustración 67. Descripción modelo techo T.V.C.

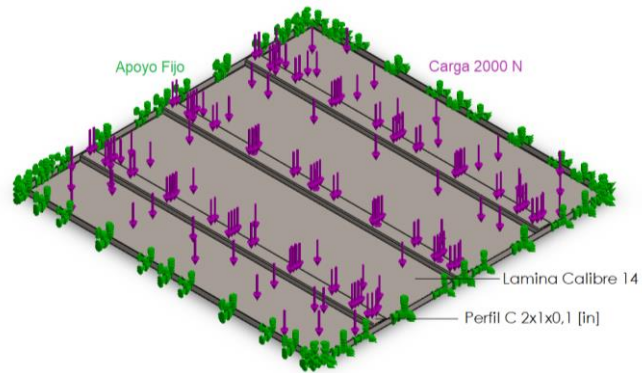
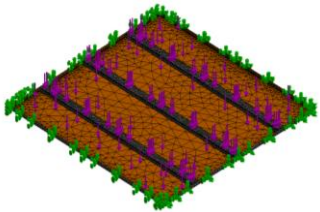


Tabla 54. Detalles malla techo T.V.C.

Detalles de la malla	
Tipo de malla	
Malla mixta	
Metodo de aproximación	
Malla basada en curvatura	
Número total de nodos	91835
Número total de elementos	45258



A 3D perspective view of the roof mesh, showing a brown surface with a grid of elements and green nodes at the supports.

➤ **Esfuerzo máximo techo T.V.C.**

Ilustración 68. Simulación esfuerzo techo T.V.C.

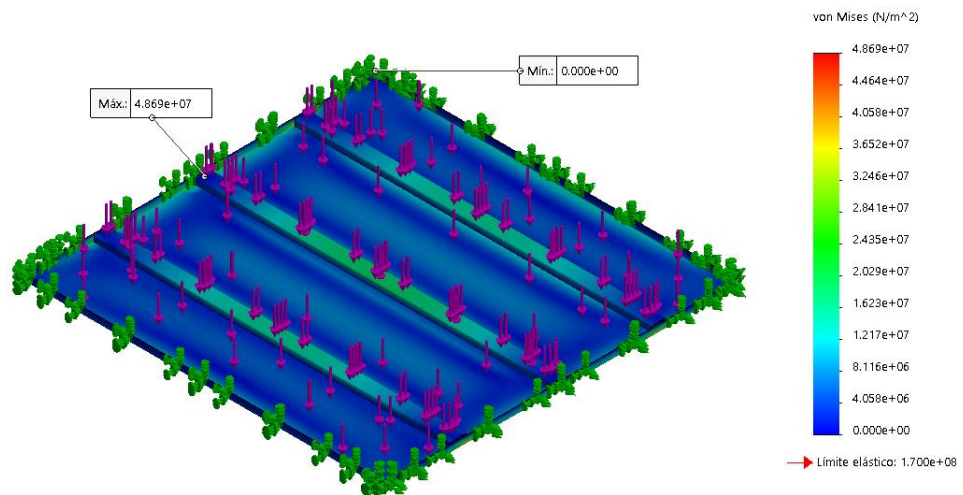


Tabla 55. Resultado simulación esfuerzo techo T.V.C.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Stress	Von: Tensiones de von mises	0	4,869e+7 [N/m ²]

En la imagen se logra apreciar que el techo sufre la mayor parte del esfuerzo en la mitad de las vigas, generándose el mayor esfuerzo por flexión.

➤ **Desplazamiento máximo techo T.V.C.**

Ilustración 69. Simulación desplazamiento techo T.V.C.

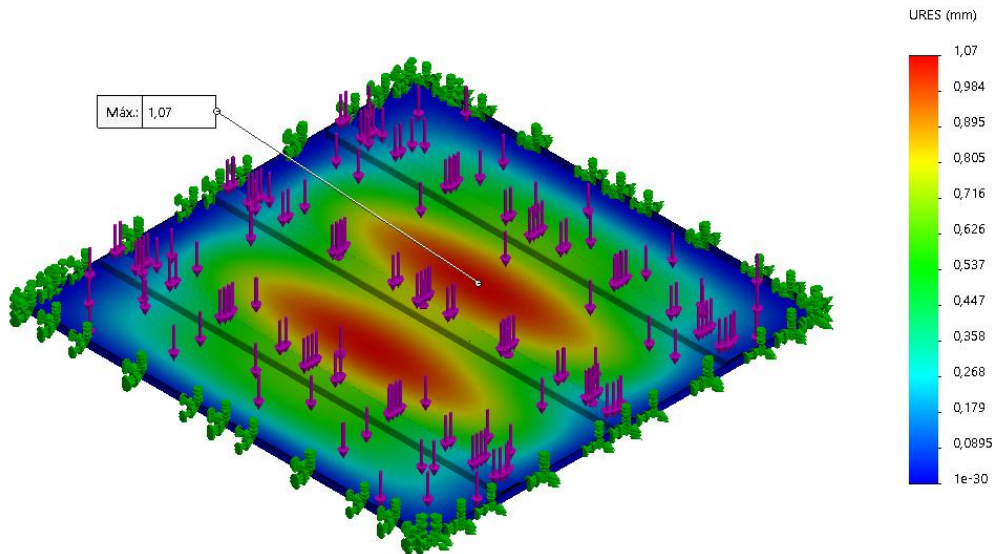


Tabla 56. Resultado desplazamiento techo T.V.C.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
DISPLACEMENT	URES: Desplazamiento resultante	0	1,07 mm

El valor de la deformación más grande sucede en el centro del techo debido a la ubicación de la carga.

➤ **Factor de seguridad en el techo T.V.C.**

Ilustración 70. Simulación factor de seguridad techo T.V.C.

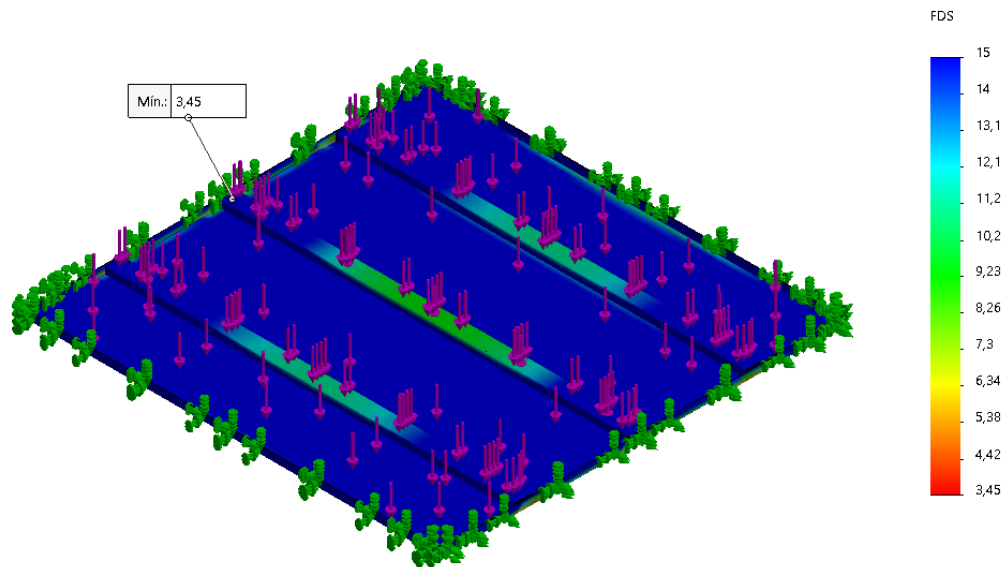


Tabla 57. Resultado factor de seguridad techo T.V.C.

Nombre	Min.
Factor of safety	3,45

Tabla 58. Comparación techos.

TECHO	Diseño aplicado por la empresa I.V.C.	Diseño creado por el autor
Deformación	1,07 mm	1,42 mm
Factor de seguridad	3,45	2,2

En la tabla 58 se muestra la deformación máxima y el factor de seguridad mínimo resultante de los dos modelos. Se aprecia que la deformación es mayor en el diseño propuesto por el autor y su factor de seguridad menor respecto al diseño de la empresa. Los datos generados por el autor son aceptables debido a que cumplen con los requisitos de la norma y representan ahorros en material.

5.1.5.2. Paredes: Para las paredes se usa el mismo calibre, material de lámina y la misma construcción del diseño propuesto bajo norma por tanto no es necesario el rediseño ya que cumple de manera eficiente con su función y con los parámetros indicados en la norma NTC 2769-1.

Tabla 59. Comparación paneles de paredes.

PAREDES	Diseño aplicado por la empresa T.V.C.	Diseño creado por el autor
Deformación	1,69 mm	1,69 mm
Factor de seguridad	2,42	2,42

5.1.5.3. Piso: El piso de la cabina está fabricado principalmente de lámina de acero inoxidable ver descripción en la tabla 30 y perfiles de acero A36 ver descripción en la tabla 29 dispuestos como se muestra en la imagen.

La lámina sobrepuesta sobre los perfiles es de calibre 12 y los perfiles, en tubo cuadrado de 2x2x0,25 [in].

La carga ubicada en el análisis corresponde a la ejercida por el peso de las personas más la fuerza generada por la aceleración. Su valor se calculó en la página 78 con un valor de 12662,5[N]

Ilustración 71. Descripción modelo piso T.V.C.

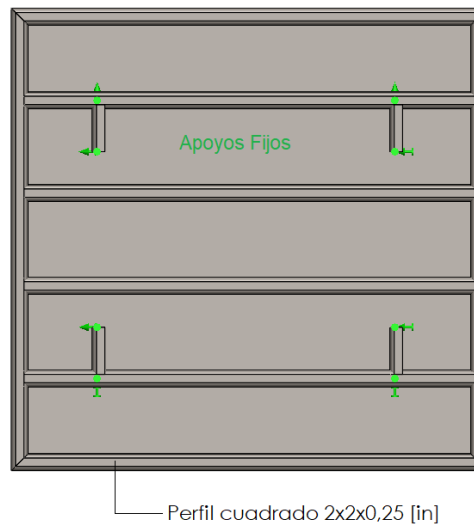
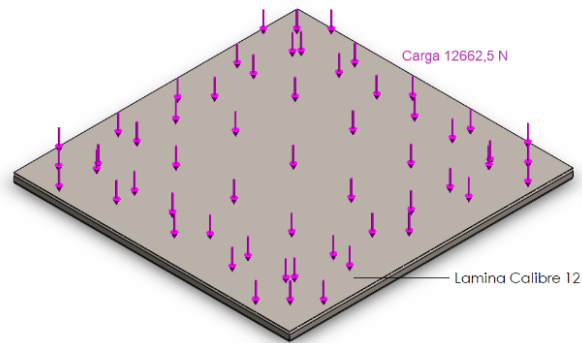
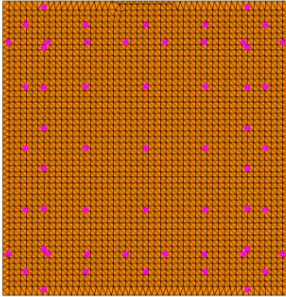
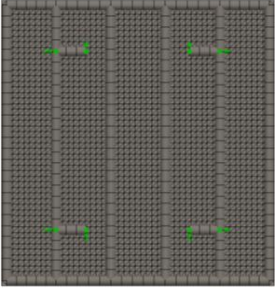


Tabla 60. Detalle malla piso T.V.C.

Detalles de la malla	
Tipo de malla	
Malla solida	
Número total de nodos	10251
Número total de elementos	5138

➤ **Esfuerzo máximo en el piso T.V.C.**

Ilustración 72. Simulación esfuerzo piso T.V.C.

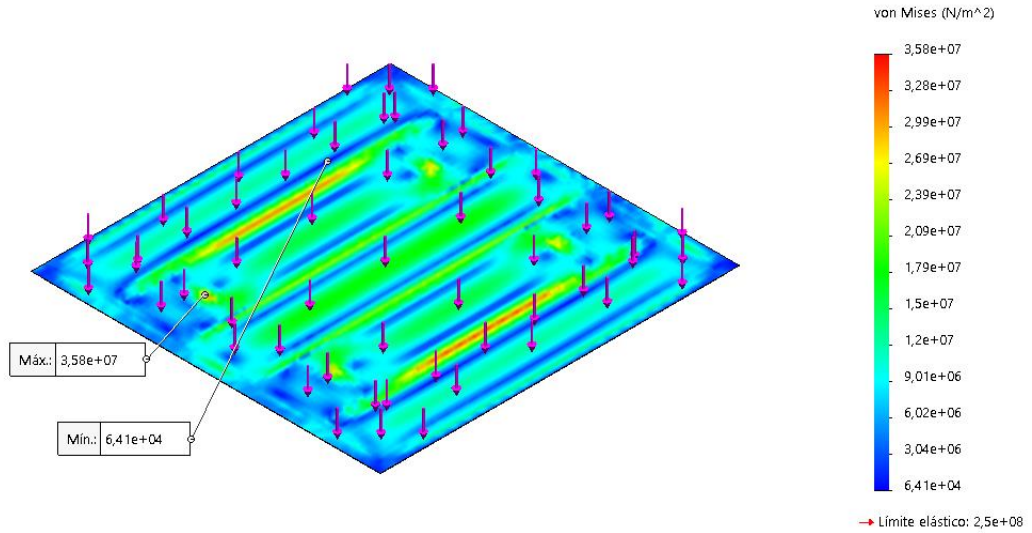


Tabla 61. Resultado simulación esfuerzo piso T.V.C.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
Stress	Von: Tensiones de von mises	6,428e+4 [N/m ²]	3,583e+7 [N/m ²]

➤ **Desplazamiento máximo en el piso T.V.C.**

La deformación máxima ocurre en el centro de la placa, tal como se espera, al ser el punto donde se encuentra la mayor concentración de carga y separación de apoyos.

Ilustración 73. Simulación desplazamiento piso T.V.C.

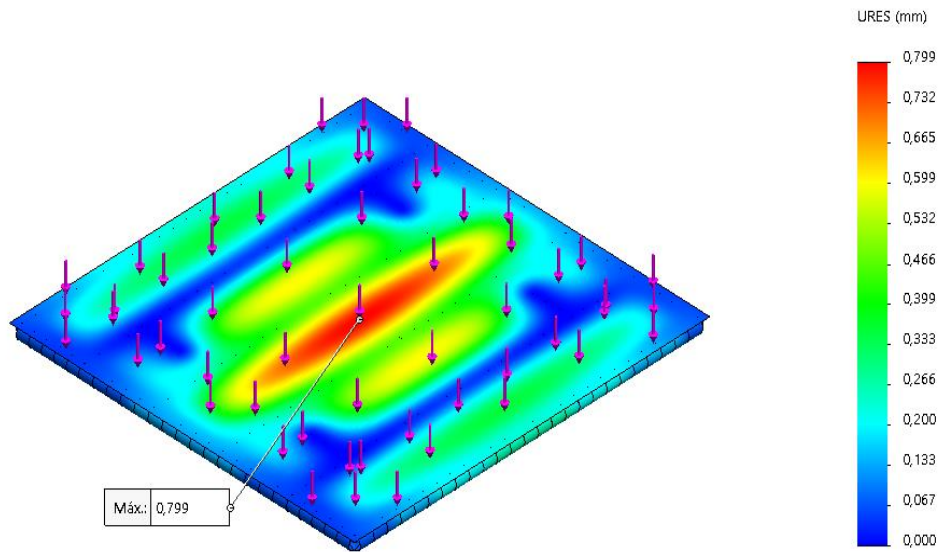


Tabla 62. Resultado desplazamiento piso T.V.C.

Nombre	Tipo	Min.	Max.
DISPLACEMENT	URES: Desplazamiento resultante	0	0,799 mm

La empresa considere que este valor es bastante aproximado a la realidad puesto que es una deformación que no se percibe a simple vista pero que se puede medir en el piso que la empresa fabrica. La norma permite un mayor desplazamiento, y por tanto se puede aplicación la recomendación calculada anteriormente, para ahorrar costos.

➤ **Factor de seguridad en el piso T.V.C.**

Tabla 63. Tipos de pisos.

Número de pasajeros	Superficie útil mínima de cabina m ²	Número de pasajeros	Superficie útil mínima de cabina m ²
1	0,28	11	1,87
2	0,49	12	2,01
3	0,60	13	2,15
4	0,79	14	2,29
5	0,98	15	2,43
6	1,17	16	2,57
7	1,31	17	2,71
8	1,45	18	2,85
9	1,59	19	2,99
10	1,73	20	3,13

Más allá de 20 pasajeros, adiciones 0,115 m² para cada pasajero extra.

Fuente: ICONTEC Norma técnica Colombiana 2769-1 P.61.

Para evitar que puedan embarcar un número de pasajeros superior a los que permita la carga del ascensor, el Reglamento establece una relación entre la superficie del suelo de la cabina y el número de pasajeros, de acuerdo con la Tabla anterior.

Ilustración 74. Simulación factor de seguridad piso T.V.C.

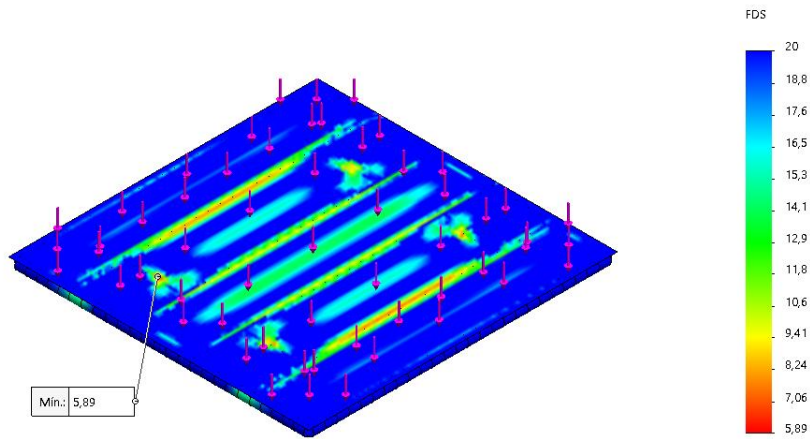


Tabla 64. Resultado factor de seguridad piso T.V.C.

Nombre	Min.
Factor of safety	5,9

Tabla 65. Comparación pisos o bases.

PISO	Diseño aplicado por la empresa T.V.C.	Diseño creado por el autor
Deformación	0,799 mm	2,24 mm
Factor de seguridad	5,9	2,9

En la tabla 65, se muestra la diferencia de comportamiento en condiciones de carga del modelo aplicado por la empresa y el diseño desarrollado por el autor en el que se verifica que disminuyendo calibres en algunos componentes sigue cumpliendo con un factor de seguridad aceptable que permitirá su buen funcionamiento, generando menores costos de fabricación.

Tabla 66. Tabla de comparación.

TABLA DE COMPARACIÓN		
Descripción	Factor de seguridad diseño aplicado por la empresa	Factor de seguridad diseño creado por el autor
Bastidor	9,2	5,7
Techo	3,45	2,2
Paredes	2,42	2,42
Piso	5,9	2,9
Presupuesto	\$ 3.090.262	\$ 2.323.007
Ahorro	\$ 767.255	
Descripción	Potencia (Kw)	
Maquina MR16	10	Elección por la empresa
Maquina SH 140	8,2	Elección propuesta por el autor
Costos	\$ 15.727.500	MR 16
	\$ 11.770.000	SH 140
Ahorro	\$ 3.957.500	
Descripción	Ganancias aproximadas mensuales	
Software	\$ 1.200.000	
El software facilita el proceso de diseño del ascensor y selección de sus respectivos componentes, haciendo más eficiente el trabajo del equipo de diseño de la empresa.		

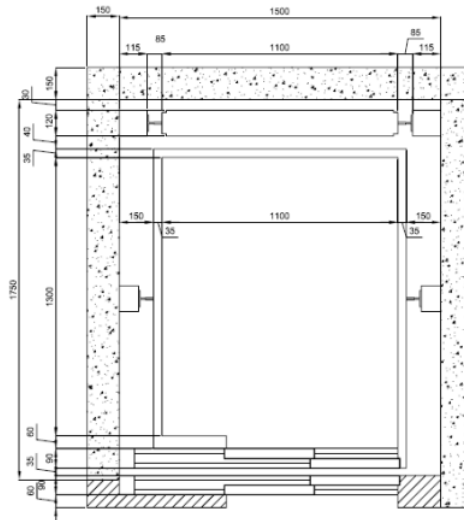
6. GENERACIÓN DEL SOFTWARE DE SELECCIÓN

El Software generado facilita la selección de los componentes que integran el ascensor bajo la norma. La selección se hace según los siguientes requerimientos:

- Número de personas
- Número de pisos
- Largo del pozo
- Profundidad del pozo
- Altura de pisos
- Ancho de placa
- Profundidad del foso
- Velocidad

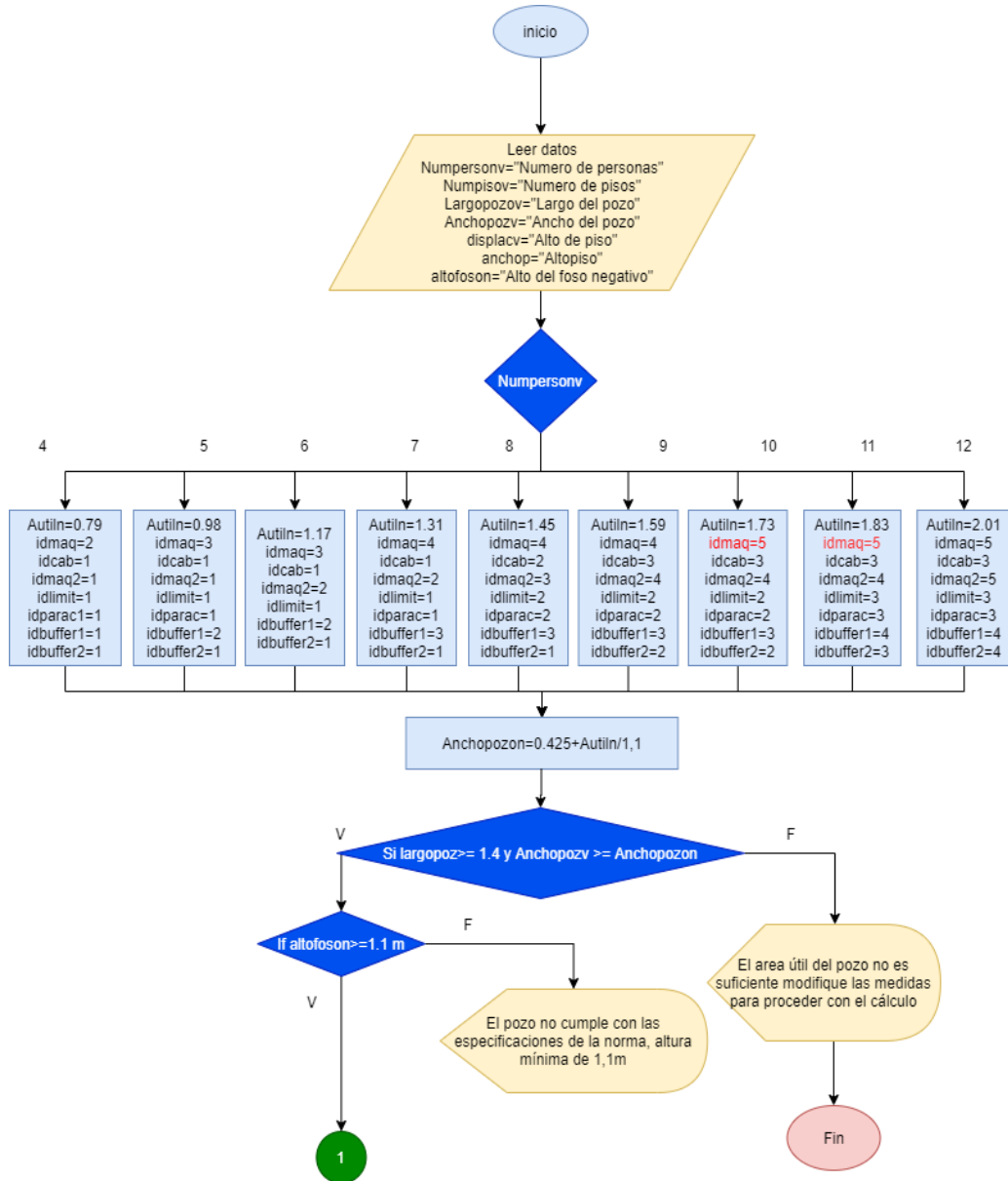
Todas estas variables son las utilizadas por la empresa para realizar la solicitud y fabricación de los ascensores. La distribución del ascensor utilizada en el software es la mostrada en la siguiente imagen.

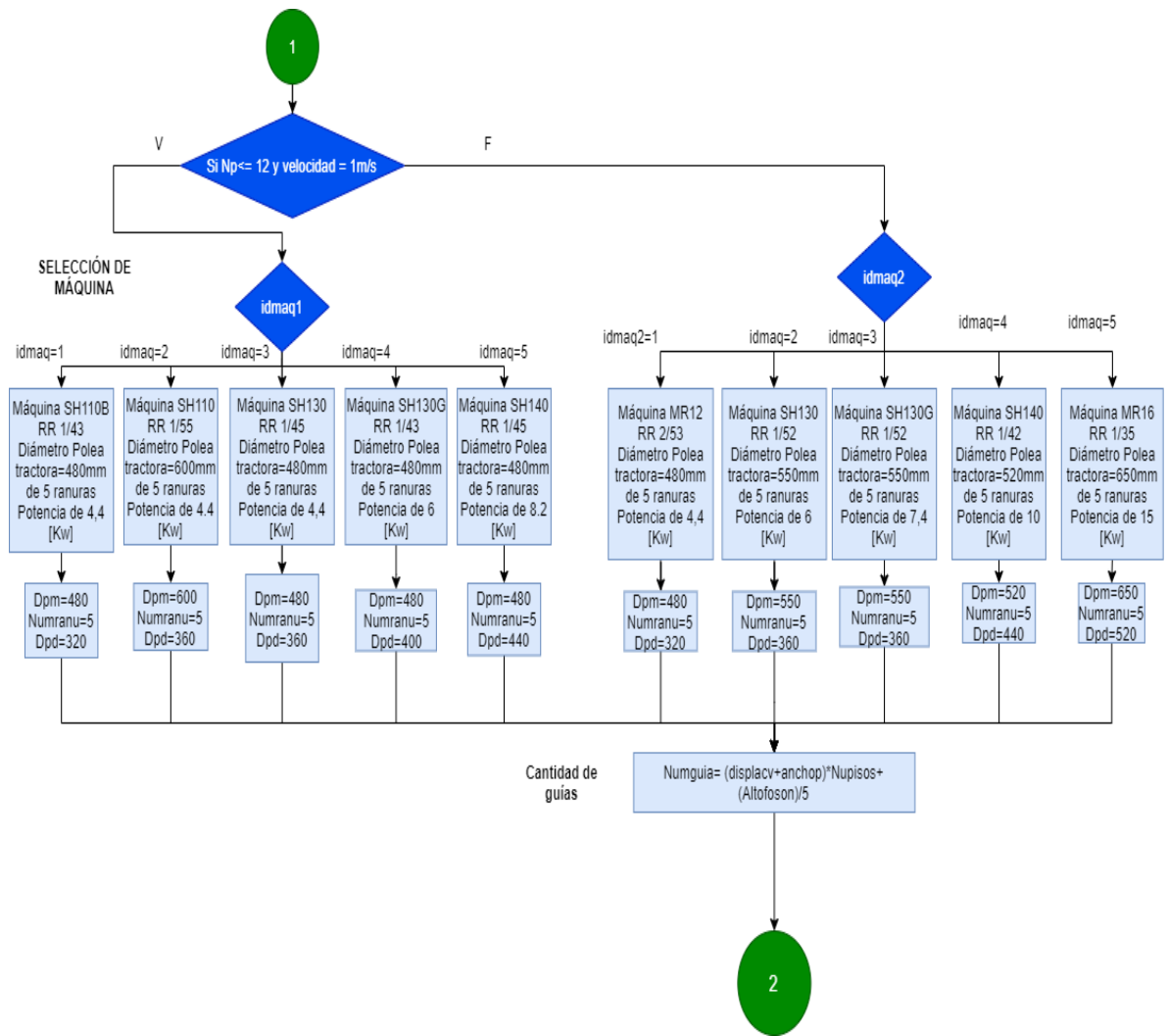
Ilustración 75. Plano planta ascensor.

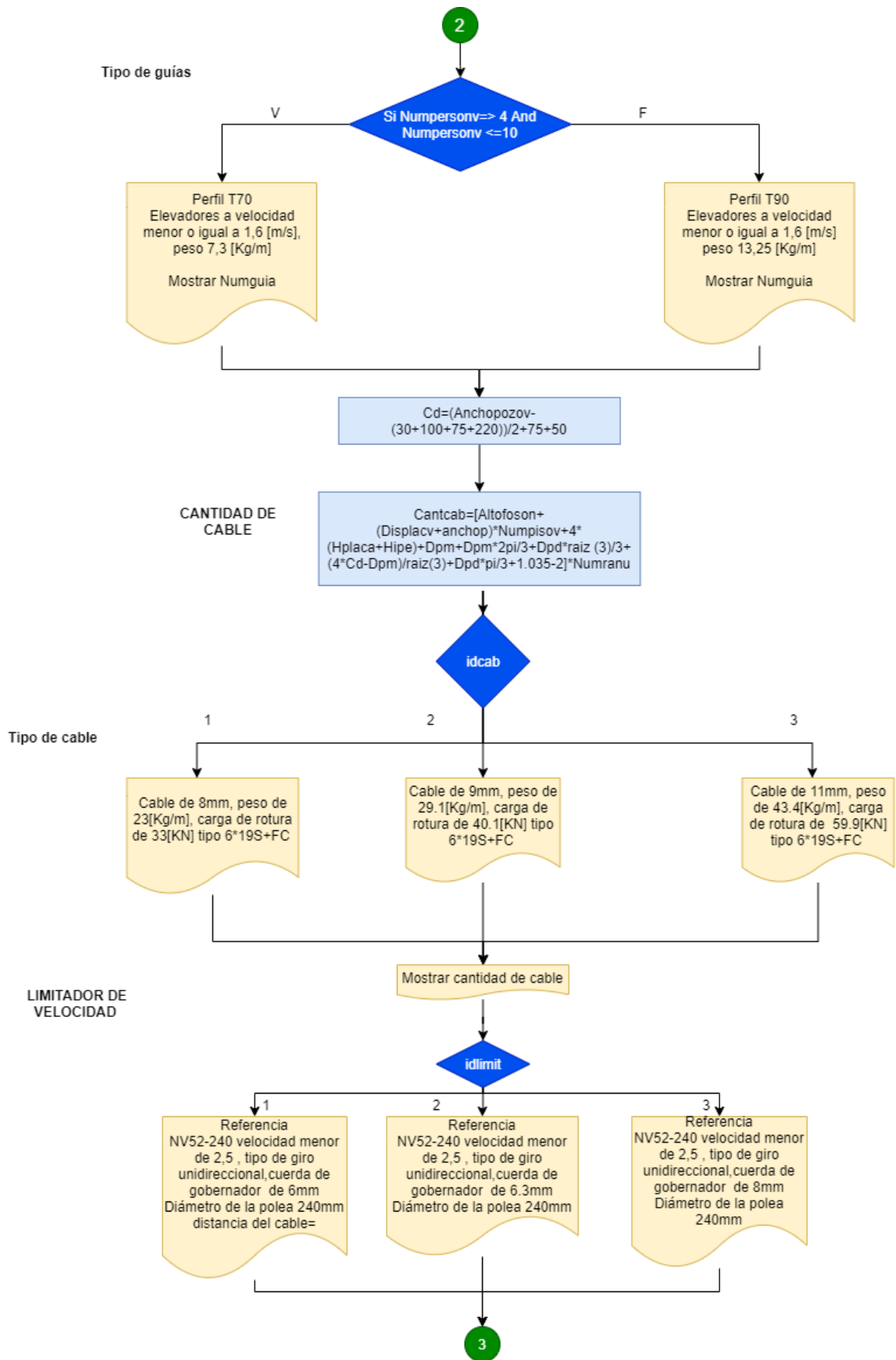


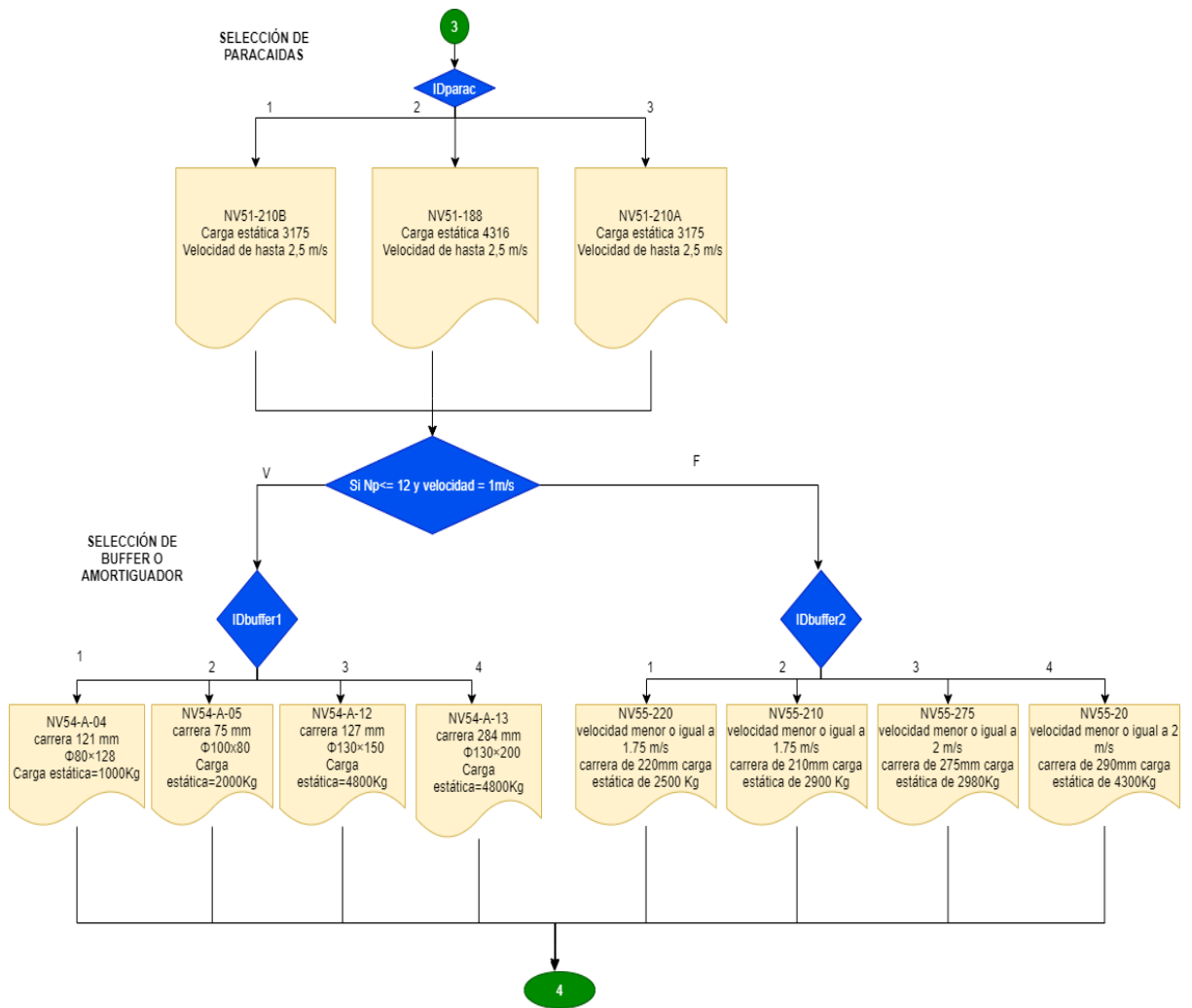
La distribución de espacios debe mantenerse de acuerdo con la norma y lo construido por la empresa, las distancias de ancho y largo del pozo varían, pero los espacios entre cada componente se mantienen. La lógica del programa se expone a continuación.

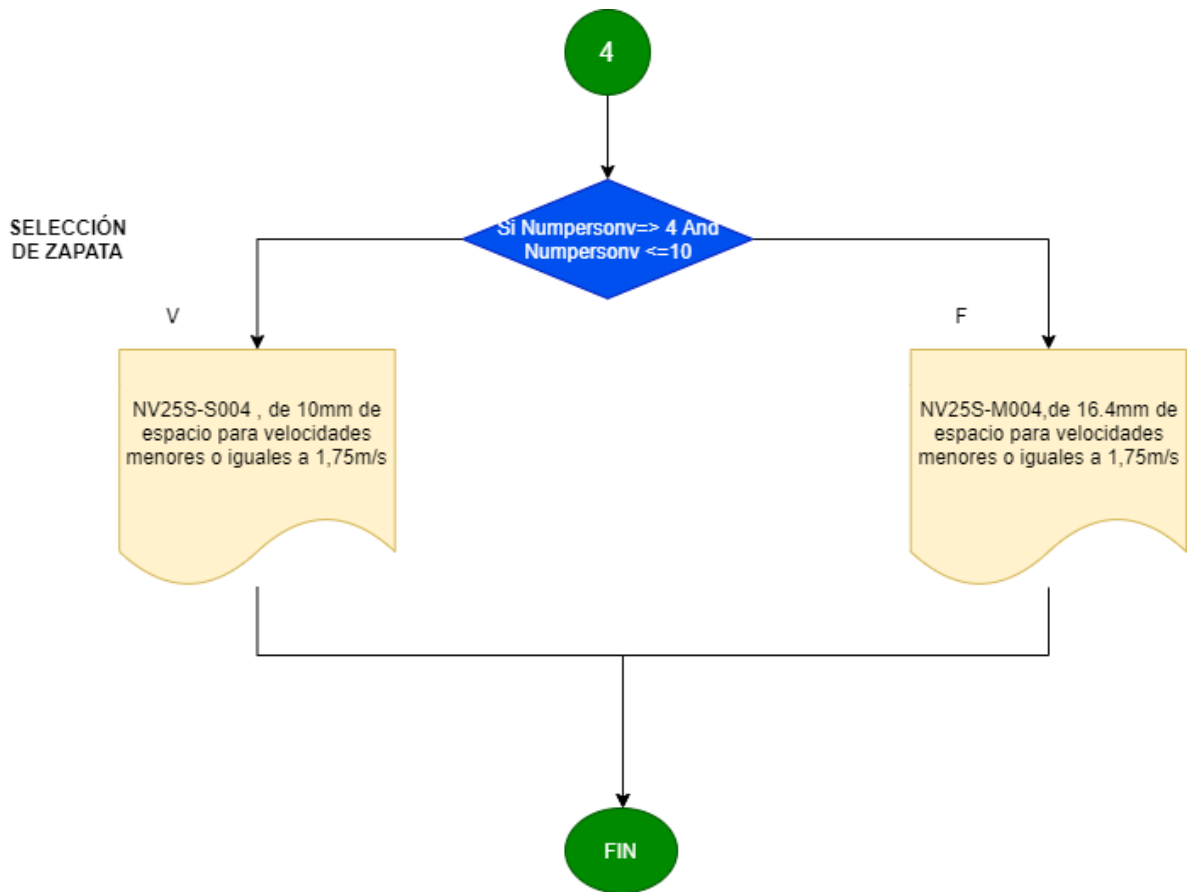
Ilustración 76. Diagrama de flujo del programa .











Elaboración propia realizada con ayuda de la plataforma draw.io

Los datos que entrega el programa son los siguientes:

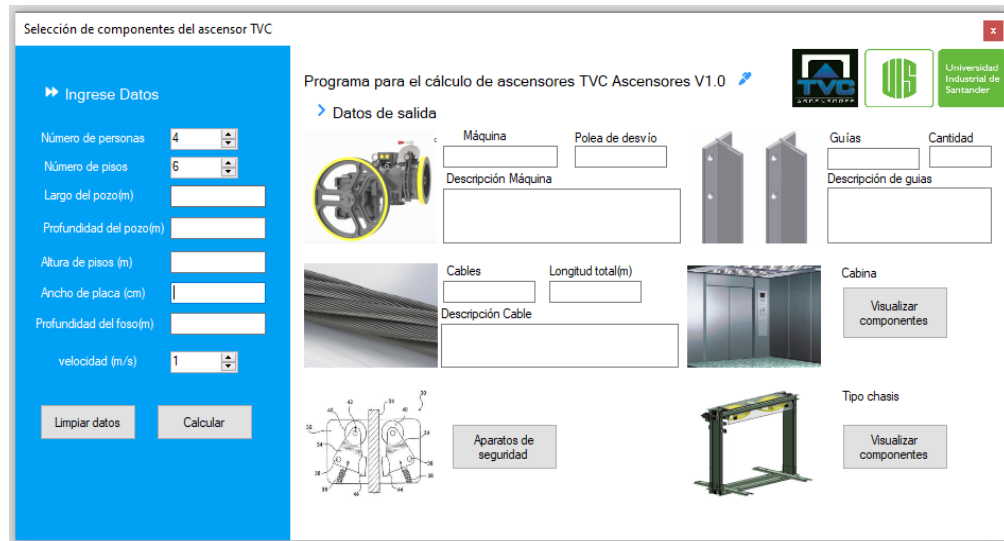
- Grupo tractor, polea motriz, reductor y potencia.
- Guías, cantidad y especificaciones.
- Cables, especificaciones y cantidad.
- aparatos de seguridad, limitador de velocidad, freno de seguridad, amortiguadores
- planos de la cabina y el chasis

A continuación, se muestran las imágenes del software.

6.1. FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE

A continuación, se muestra un resumen de lo que hace el software, el manual de usuario del programa se expone en el anexo D.

Ilustración 77. Front end del software.



Para el funcionamiento es necesario introducir datos en la sección izquierda de la ventana principal del software.

Ilustración 78. Datos de salida.

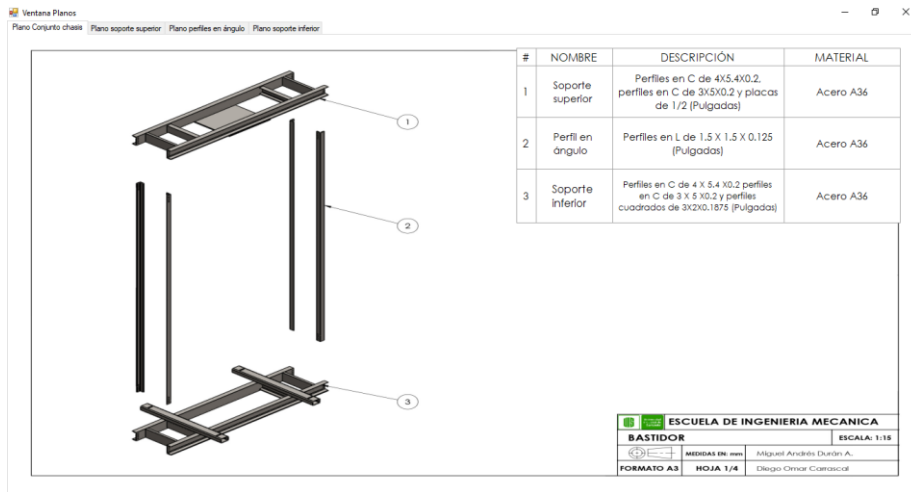


El cálculo del ascensor de acuerdo con las variables introducidas se hace pulsando el botón “Calcular”.

Como se ve en la imagen anterior, el software calcula lo relacionado con el grupo tractor, cables, guías ,aparatos de seguridad , cabina y chasis. El software selecciona y calcula la cantidad utilizada de los elementos. , también muestra los planos de la cabina y chasis. Todo esto es referenciado en base a la norma NTC 2769-1. El software selecciona los aparatos de seguridad de la instalación tal como se muestra en el anexo D.

Se obtendrá la selección e información del limitador de velocidad, freno y amortiguador. La referenciación que se muestra (NV) en los aparatos de seguridad hace alusión a la marca de los componentes NOVA- ELEVATORS, empresa distribuidora de estos aparatos. El software también genera los planos de los elementos que la empresa fabrica y ensambla. A continuación, se pueden ver imágenes de los planos del conjunto del bastidor y cabina.

Ilustración 79. Plano bastidor.



Desplegando sobre cada pestaña superior se obtendrá el plano que indique el título.

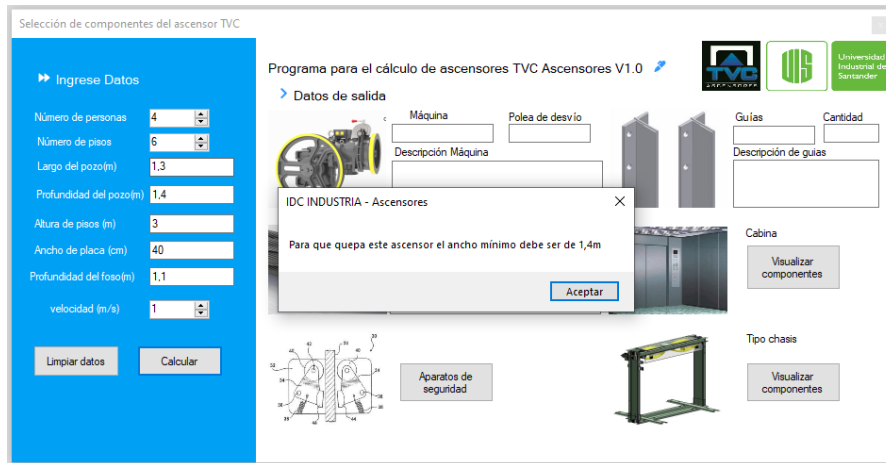
T.V.C. fabrica la cabina, corta las láminas y ensambla. Para ayudar con esto proceso se decidió generar los planos de la cabina ver anexo D.

6.2. CUMPLIMIENTO DE LA NORMA

En caso de haber incumplimiento de la norma en el diseño del ascensor, el software enviará una advertencia y no realizará el cálculo, para ver más al respecto se recomienda observar el anexo D.

Para evitar este incumplimiento se debe verificar que el área útil que conforma el largo y profundidad del pozo estén por encima de lo que permite la norma.

Ilustración 80. Restricción .



Si se incrementa el largo y profundidad del pozo el software permite realizar el cálculo dando lo siguiente:



7. ANÁLISIS DE COSTOS Y VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO

Los componentes usados por la empresa son suministrados por NOVA ELEVATOR.S.A., SICOR.S. A y los materiales para la estructura metálica por FERROCORTES.S.A.

El análisis de costos del proyecto se desarrolla determinando el precio de cada componente y material a usar en el diseño generado por la empresa y en el diseño propuesto por el autor. Posteriormente se obtiene una comparativa que permite visualizar en términos económicos el ahorro generado por utilizar las recomendaciones del autor.

Por último, se analiza el tiempo en retornar la inversión y la viabilidad económica de la implementación del software en el proceso de diseño y selección de los componentes.

7.1. COSTOS ASCENSOR

7.1.1. Costos de maquinaria: En cuanto a los costos generados por maquinaria se determina que un grupo tractor con menor potencia al que usaría la empresa cumple con los requerimientos de carga y funcionalidad del proyecto, lo que implica una disminución en costos que aumentaría el margen de utilidad o en caso de mantenerla, reduciría los costos, incrementando el nivel de competencia de la empresa para conseguir nuevos proyectos. El costo de la maquinaria se obtiene con el distribuidor de SICOR en Colombia.

A continuación, se muestran dos tablas donde se visualiza el precio del bastidor propuesto por la empresa, y el precio del bastidor según el autor. Lo importante de este análisis es que se pueden reducir costos cumpliendo la norma.

Tabla 67. Presupuesto maquinaria calculada.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio estandar
Maquina SH140 [1/45]	1	\$ 11.770.000	\$ 11.770.000
Cable de acero 6x19s+FC (11XD6)	52	\$ 10.100	\$ 525.200
Perfil T I-90/16 (5m)	20	\$ 210.000	\$ 4.200.000
Limitador de velocidad NV51-210A	1	\$ 187.000	\$ 187.000
Guide shoes NV255-M001	4	\$ 70.000	\$ 280.000
Buffer NV54-A-17	2	\$ 162.000	\$ 324.000
		TOTAL	\$ 17.286.200

Tabla 68. Presupuesto maquinaria T.V.C.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio estandar
Maquina MR 16 [1/45]	1	\$ 15.727.500	\$ 15.727.500
Cable de acero 6x19s+FC (11XD6)	52	\$ 10.100	\$ 525.200
Perfil T I-90/16 (5m)	20	\$ 210.000	\$ 4.200.000
Limitador de velocidad NV51-210A	1	\$ 187.000	\$ 187.000
Guide shoes NV255-M001	4	\$ 70.000	\$ 280.000
Buffer NV54-A-17	2	\$ 162.000	\$ 324.000
		TOTAL	\$ 21.243.700

En esta comparación se aprecia un ahorro de 3.957.500 \$ (COP) correspondiente al 18.63(%). Esto se debe a que la empresa compra máquinas con unas potencias mayores en caso de haber aplicaciones de mayor exigencia. El hecho de tener un STOCK con estas máquinas, para esta aplicación generaría un ahorro notable.

7.1.2. Presupuesto bastidor: Se realiza la comparativa de costos entre el bastidor diseñado por el autor (Tabla 69.) en base a la norma NTC 2769 y al bastidor construido por la empresa (Tabla 70.). A continuación, se realiza el listado de los perfiles y láminas que se utilizan para la construcción del proyecto.

Tabla 69. Presupuesto bastidor diseñado.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio estandar
Perfil C 4x5,4 acero A36 (6 m)	m	1	\$ 151.956	\$ 151.956
Perfil C 3x5 acero A36 (6 m)	m	0,25	\$ 110.340	\$ 27.585
Perfil C 2x1 acero A36 (6 m)	m	0,75	\$ 95.000	\$ 71.250
Tubo rectangular 3x2 acero A36 (6 m)	m	0,25	\$ 65.000	\$ 16.250
Tubo cuadrado 2x2 acero A36 (6 m)	m	2	\$ 60.000	\$ 120.000
Perfil L 1 1/2x1 1/2 acero A36 (6 m)	m	1,75	\$ 60.552	\$ 105.966
Lamina 15mm (2,44 m x 1,22 m)	m ²	0,5	\$ 760.000	\$ 380.000
Lamina calibre 16 (2,44 m x 1,22 m)	m ²	5	\$ 290.000	\$ 1.450.000
			TOTAL	\$ 2.323.007

7.1.3. Presupuesto bastidor hecho por la empresa

Tabla 70. Presupuesto bastidor T.V.C.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio estandar
Perfil C 6x8,2 acero A36 (6 m)	m	1	\$ 230.580	\$ 230.580
Perfil C 5x6,7 acero A36 (6 m)	m	0,25	\$ 180.700	\$ 45.175
Perfil C 4x5,4 acero A36 (6 m)	m	0,75	\$ 151.956	\$ 113.967
Perfil C 3x2 acero A36 (6 m)	m	0,25	\$ 125.300	\$ 31.325
Tubo cuadrado 2x2 acero A36 (6 m)	m	2	\$ 60.000	\$ 120.000
Perfil L 3x2 acero A36 (6 m)	m	1,75	\$ 293.790	\$ 514.133
Lamina 20mm (2,44 m x 1,22 m)	m ²	0,25	\$ 821.330	\$ 205.333
Lamina calibre 16 (2,44 m x 1,22 m)	m ²	4	\$ 290.000	\$ 1.160.000
Lamina calibre 14 (2,44 m x 1,22 m)	m ²	0,75	\$ 350.000	\$ 262.500
Lamina calibre 12 (2,44 m x 1,22 m)	m ²	0,75	\$ 543.000	\$ 407.250
			TOTAL	\$ 3.090.262

Se puede apreciar que el bastidor diseñado por el autor genera un ahorro de 767.255\$ COP, esto se debe al sobredimensionamiento de las partes del ascensor fabricado por la empresa.

Tabla 71. Costos de fabricación.

Costos de Fabricación		
Mano de obra	\$	7.700.000
Transporte	\$	2.000.000
Costos de energía	\$	2.500.000
	TOTAL	\$ 12.200.000

7.2. PRESUPUESTO DEL SOFTWARE

7.2.1. Valor inversión inicial software

- ✓ **Costo del software:** El costo del software se hace durante el tiempo de elaboración que corresponde a 30 días y tiene en cuenta el trabajo entre Ingeniero mecánico, programador la implementación de la norma para la selección de los componentes, la depreciación del computador por uso, el consumo de energía y el internet para la reunión de datos.

$$\text{COSTO software} = C_{im} + C_{pro} + C_{nor} + C_{dep} + C_{ene} + C_{in}$$

- ✓ **Costo ingeniero mecánico (Cim):** En base al tiempo de trabajo, la información recopilada, el estudio de diseño y el análisis de resultados se asume un costo de 4'000.000 \$ (COP) por mes.

- ✓ **Costo programador (Cpro):** En base a tiempo empleado, conocimientos empleados y a la valoración del mercado se propone un costo de 2'500.000 \$ (COP) por mes.
- ✓ **Costo de la norma (Cnor):** La norma NTC 2769 – 1 es el documento más importante para la elaboración del software ya que establece las dimensiones y factores de seguridad mínimos para el funcionamiento adecuado del ascensor. Con esta norma se logró generar los planos y la selección adecuada de los componentes siendo estos los parámetros de salida del software. El costo es de \$403.200 se puede encontrar el precio de adquisición en la tienda ICONTEC.
- ✓ **Costo de depreciación por uso de computador (Cdep):** Cuota de depreciación= (Valor inicial-Valor residual) /vida útil en años

El valor inicial del computador se buscó en la tienda de la marca correspondiente

Valor inicial del computador= \$ 1.300.000

Valor residual=\$ 200.000

Cuota de depreciación anual= \$ 220.000

Se eligen 5 años como el tiempo en que se fija la vida útil del computador²⁰

Tabla de depreciación:

Tabla 72. Depreciación anual.

AÑO	CUOTA DEPRECIACIÓN	DEPRECIACIÓN ACUMULADA	VALOR
1	\$ 220.000	\$ 220.000	\$ 1.080.000
2	\$ 220.000	\$ 440.000	\$ 860.000
3	\$ 220.000	\$ 660.000	\$ 640.000
4	\$ 220.000	\$ 880.000	\$ 420.000
5	\$ 220.000	\$ 1.100.000	\$ 200.000

²⁰ Cita revista portafolio para vida útil de un activo.

Del mismo modo se calcula la depreciación mensual:

Tabla 73. Depreciación mensual.

AÑO	1		
MES	CUOTA DEPRECIACIÓN	DEPRECIACIÓN ACUMULADA	VALOR
1	\$ 18.333	\$ 18.333	\$ 1.281.667
2	\$ 18.333	\$ 36.666	\$ 1.263.334
3	\$ 18.333	\$ 54.999	\$ 1.245.001
4	\$ 18.333	\$ 73.332	\$ 1.226.668
5	\$ 18.333	\$ 91.665	\$ 1.208.335
6	\$ 18.333	\$ 109.998	\$ 1.190.002
7	\$ 18.333	\$ 128.331	\$ 1.171.669
8	\$ 18.333	\$ 146.664	\$ 1.153.336
9	\$ 18.333	\$ 164.997	\$ 1.135.003
10	\$ 18.333	\$ 183.330	\$ 1.116.670
11	\$ 18.333	\$ 201.663	\$ 1.098.337
12	\$ 18.333	\$ 219.996	\$ 1.080.004

Depreciación del computador por el primer mes de uso que se debe compensar dentro de la inversión realizada es de 18333 \$ COP.

Por lo tanto, la empresa debería pagar un aproximado de 7.076.000 \$ COP por la adquisición del software y su licencia de por vida.

- ✓ **Consumo de energía (Cene):** El costo de energía en utilización del computador para la programación se calcula a continuación.

Pot= 40[W] Energía del computador

$$C_e = (\$/Kw-h) * (\text{horastrabajadas}) * (\text{Pot}/1000)$$

$\$/Kw-h = 600\$$ tarifa correspondiente a donde se programó.

Hr/día=8

Días=6

Semanas= 4

Horas trabajadas= Hr/día*días*semanas

Cene= 4608 \$ COP.

Tabla 74. Presupuesto del software.

PRESUPUESTO DEL SOFTWARE	
ITEM	Costo mensual
Ingeniero Mecánico	\$ 4.000.000
Programador	\$ 2.500.000
Norma NTC - 2769	\$ 403.200
Depreciación Computador	\$ 18.333
Consumo de energía	\$ 4.608
Internet	\$ 150.000
Total	\$ 7.076.141

7.2.2. Cálculo del costo de mantenimiento: Se trabaja una base fija mensual para los costos de mantenimiento del software que incluyen:

- Detección y reparación de errores presentes en el funcionamiento.
- Actualización de la información.
- Mejoramiento del rendimiento.
- Pruebas de funcionamiento.
- Dotación del personal.

Por este servicio se cobra una base fija mensual de 200.000 \$ COP, el trabajo se hará durante 1 año, eligiendo el último día de cada mes durante 6 horas de trabajo.

7.2.3. Calculo de ingresos: La carga de trabajo se puede liberar con la selección de los componentes de seguridad, motrices y la generación directa de los planos para la aplicación específica de ascensores con contrapeso ubicado en la parte posterior.

La empresa cuenta con un diseñador y un dibujante externo. El costo del dibujante externo (Trabaja por horas cada mes) depende de factores como la carga de trabajo del diseñador, utilización de herramientas CAD para la generación de planos el costo promedio por mes para la empresa es de 1.440.000 \$ Pesos COP.

Con el software implementado se planea bajar la carga de trabajo al punto de tener solamente al diseñador y ahorrar los costos de mano de obra externa.

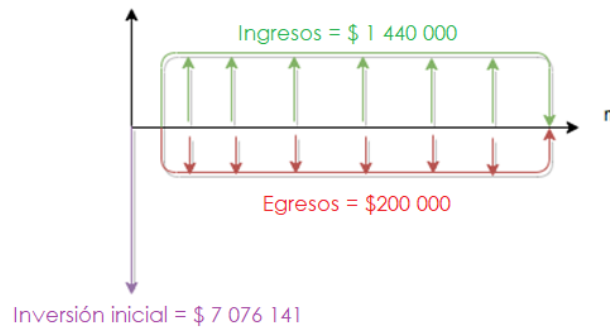
7.2.4. Análisis de la inversión en el software: Para realizar el análisis de la inversión del software se tienen en cuenta los costos de creación y mantenimiento del software, respecto a la ganancia económica que representa el ahorro en tiempo de trabajo. Se calcula el tiempo de recuperación de la inversión posteriormente se analiza la viabilidad de la implementación.

Resumen de variables utilizadas:

Tabla 75. Análisis de la inversión.

	ITEM	COSTO
	Inversión inicial	7.076.141
Egreso	Mantenimiento	200.000
Ingreso	Reducción de tiempos	1.440.000

Ilustración 81. Gráfica de ingresos y egresos.



Ai: Representa la anualidad en los ingresos, el ahorro que se genera por la implementación del software correspondiente a la reducción de tiempo.

Ae: Representa la anualidad en egresos, generados por el mantenimiento del software.

i= Porcentaje de interés mensual que cobraría el banco por realizar el préstamo, para ser conservadores y garantizar la viabilidad del proyecto se toman las tasas más altas de interés correspondientes al 27,18(%) Efectivo anual, 2,02(%) mensual.

Tabla 76. Cálculos de inversión.

Análisis de inversión				
Egresos				
Gastos de mantenimiento mensual	A _{eg} =	\$	200.000	
Ingresos				
Costo hora de trabajo	Co _{hora} =	\$	9.000	
Cantidad de horas por día	Hr =	8		
Cantidad de días por mes	días =	20		
Ecuación	$A_i = H_r \cdot Co_{hora} \cdot dias$	Resultado	A _i =	\$ 1.440.000
Cantidad de meses de pago (n)				
Inversión inicial	li =	\$	7.076.141	
Interes	i =	2,02%		
Ecuación	$I_i = A_i \cdot \left[\frac{(1+i)^2 - 1}{(1+i)^2 \cdot i} \right] - A_e \cdot \left[\frac{(1+i)^2 - 1}{(1+i)^2 \cdot i} \right]$			
	Resultado	n =	6,125	

Para lo anterior se utilizó un interés del 2,02 (%) correspondiente a la tasa más alta que puede solicitar el banco, TVC ascensores ha trabajado con BANCOLOMBIA, es por eso, que se emplean las tasas correspondientes.

Tabla 77. Intereses.

	Desde	Hasta
Variable	DTF (TA*) + Puntos (TA*)	DTF (TA*) + Puntos (TA*)
	10,76% Efectiva Anual	27,18% Efectiva Anual
Fija	0,84% Mes vencida	2,02% Mes vencida
	10,62% Efectiva Anual	27,18% Efectiva Anual

El periodo de recuperación es de 6 meses y 4 días aproximadamente. El dueño y los administrativos de la empresa consideran que es un buen periodo de recuperación y por lo tanto es viable. El siguiente indicador para calcular es la tasa

interna de retorno, la cual sirve para comparar con la tasa de retorno anual máxima que da el banco por la inversión realizada.

Tabla 78. Tasa interna de retorno.

Análisis de inversión			
Tasa interna de retorno (TIR)			
Inversión inicial	li =	\$	7.076.141
Cantidad de meses de pago	n =		12 meses
Egresos	Aeg =	\$	200.000
Ingresos	Ai =	\$	1.440.000
Ecuaciones	$I_i = A_i \cdot \left[\frac{(1+i)^{12} - 1}{(1+i)^{12} \cdot i} \right] - A_e \cdot \left[\frac{(1+i)^{12} - 1}{(1+i)^{12} \cdot i} \right]$		
Resultados	Interes mensual	i =	13,81%
Ecuaciones	$E = ((1+i)^{12} - 1) \cdot 100$		
Resultados	interes efectivo anual	E =	165,80%

El cálculo de la tasa de retorno da un 165,8 (%) de interés anual durante 12 meses. Este es un interés alto y denota la rápida valorización del dinero en el tiempo por realizar la inversión en el software, aún teniendo en cuenta que se generan egresos por mantenimiento.

Ilustración 82. Tasa de retorno del banco.

Ahorra fácil con Inversión Virtual

- Por Internet desde la Sucursal Virtual Personas
- Rentabilidad fija conocida desde el momento de la apertura
- Elige el plazo de acuerdo a tu objetivo. De 30 a 899 días.
- Podrás obtener hasta el 5.30% de interés E.A.
- En la imagen ilustrativo: A mayor plazo, mayor rentabilidad

Del banco se tiene una tasa de retorno del 5,3 % Efectivo anual, se toma la máxima tasa que entrega el banco para tomar la decisión de invertir.

TIR	Interés BANCO
165,8(%)	5,3(%)

Se comparan las dos alternativas, para este indicador sigue dando como mejor proyecto de inversión el software creado por el autor debido a que la tasa de retorno es mayor a la tasa del banco, esto representa mayor dinero en el presente por realizar la compra del software en comparación con realizar la inversión en el fondo de ahorros de BANCOLOMBIA, existen tasas que van hasta el 6% pero representan un riesgo mayor para el inversionista y aun así sigue siendo mayor la TIR generada por la inversión en el software. El siguiente indicador para calcular es el VPN, valor presente neto para calcular el dinero que se tendría hoy por ahorros, en caso de analizar la inversión a 1 año. Para ser conservadores la inversión se realiza con un mismo préstamo del banco el cual cobra un interés del 2,02(%) mensual ver tabla 79.

Tabla 79. Valor presente neto.

Análisis de inversión			
Valor presente neto (VPN)			
Inversión inicial	li =	\$	7.076.141
Cantidad de meses de pago	n =		12 meses
Egresos	Aeg =	\$	200.000
Ingresos	Ai =	\$	1.440.000
Intereses	i =		2%
Ecuaciones	$VPN = A_i \cdot \left[\frac{(1+i)^{36} - 1}{(1+i)^{36} \cdot i} \right] - A_e \cdot \left[\frac{(1+i)^{36} - 1}{(1+i)^{36} \cdot i} \right]$		
Resultados	Valor presente neto	VPN =	\$ 13.097.330
Ecuaciones	$VP_{neto} = (VPN - I_{inicial})$		
Resultados	valor presente neto resultante	VPneto =	\$ 6.021.189

El valor presente neto calculado en caso de que se realice la inversión por un préstamo en el banco es de 6.021.189 \$ COP a un plazo de 12 meses. Lo que se considera un buen valor para la empresa.

Como se vio anteriormente el PAYBACK, TIR , y VPN arrojan datos que impulsan a realizar la inversión en este proyecto. Su valorización en el tiempo es buena, al ser un software, los costes de mantenimiento son pequeños en comparación con los ahorros generados por lo tanto este proyecto es viable financieramente y puede convertirse como referente para otras empresas de la región que deseen automatizar los procesos de selección y diseño implementando herramientas virtuales.

8. CONCLUSIONES

- Con el diseño del elevador se cumple con la misión de la Universidad Industrial de Santander, de contribuir con el desarrollo tecnológico de la región mediante un aporte al diseño de ascensores de transporte de personal. Se diseñaron los subsistemas de cabina, sistema de tracción, estructura del ascensor para aplicaciones de 12 personas y 8 pisos utilizando procedimientos estándar de diseño mecánico y los establecidos por la norma NTC-2769-1 Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores.
- Mediante la creación, estructuración y generación del software basado en la norma y recopilación de datos de los fabricantes con los que T.V.C. ha trabajado, se logra parametrizar en función de variables de entrada, el diseño y selección de los componentes principales que hacen parte de los ascensores para diferentes aplicaciones que van en un rango de 4- 12 personas y de 6 a 12 pisos.
- El desarrollo e implementación del software permite facilitar el proceso de diseño y selección de los componentes más importantes que constituyen el ascensor, generando eficiencia, reduciendo tiempos de trabajo a costos mínimos y ampliando la capacidad de diseño y construcción de los ascensores.
- Del análisis de viabilidad económica se logra calcular un tiempo de recuperación de la inversión en el software de 6 meses, que en 1 años se tendrá un ahorro significativo de 6.021.189 \$ COP y la tasa interna de retorno es más alta que el interés de inversión que genera el banco por lo tanto este proyecto es viable económicamente.
- El análisis de la cabina y bastidor se hizo implementando técnicas de simulación mediante elementos finitos los cuales arrojaron factores de seguridad

sobredimensionados para los ascensores que fabrica la empresa. Esto permitió plantear una mejora por parte de los autores que estuviera con un menor sobredimensionamiento, pero cumpliendo con los mínimos recomendados por la norma NTC-2769-1.

- El ahorro generado es de 767.255 \$ COP por la selección correctamente dimensionada a partir del análisis de elementos finitos de los perfiles de soporte y láminas del bastidor para la aplicación específica de 12 personas y 8 pisos por proyecto.
- El ahorro generado por la implementación del software representa un total de 6.021.189 pesos COP en 1 año, esto representa también independencia de flujo de trabajo en el área de Diseño y menor índice de error en la generación de planos para la construcción de los proyectos.
- El desarrollo, evaluación y generación de este proyecto permitió la consolidación de conceptos relacionados con estática, diseño de máquinas, resistencia de materiales y procesos de manufactura, adquiridos durante el proceso de aprendizaje académico. También fueron herramientas académicas fundamentales para reducir costos, elevar la competitividad de los procesos productivos y generar un impacto económico significativo para la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

ASCENSORES BALAGUER. Limitadores de velocidad Gervall. [Consulta: 12 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <https://www.ascensoresbalaguer.com/co/componentes-seguridad-ascensor/limitador-velocidad-gervall/>

ASCENSORES DOMINGO. Partes de un ascensor. [Consulta: 15 de septiembre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <https://ascensoresdomingo.com/blog/partes-de-un-ascensor>

AUTOMECANICO. Descripción y funcionamiento, frenos traseros-Rear brakes drums. [Consulta: 30 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <https://automecanico.com/auto2036/rearb4.html>

AUTOMECANICO. Frenos de tambor. [Consulta: 30 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <https://automecanico.com/auto2036/rearb4.html>

BLOG. Componentes de seguridad en un ascensor eléctrico. [Consulta: 12 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <http://ascensoresjpascual.blogspot.com/2014/03/componentes-de-seguridad-en-un-ascensor.html>

ELEVADORES VIZION. ¿Qué es un elevador? [Consulta: 03 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <https://elevadoresvizion.wordpress.com/2016/11/22/que-es-un-elevador/>

GE XXI Elevadores. Grupo tractor sin fin corona. [Consulta: 18 de septiembre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <http://www.gexxi.com/elevadores/productos/92/grupo-tractor-sin-fin-corona/galeria>

GRABCAD. Elevator. Disponible en:

https://grabcad.com/library?page=1&time=all_time&sort=recent&query=elevator%20lift

ICONTEC. Norma técnica colombiana 2769-1. P.205.

ICONTEC. Logo institucional. [En línea]. Disponible en: <https://www.icontec.org/>

ICONTEC. Norma NTC 2769 -1. Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores, P.57

ISO. Norma 4190 de 1984. Selección de ascensores de personas y montacargas para edificios residenciales.

ISO. Norma 4190 de 1990. Ascensores de personas, monta camillas y montacargas.

ICONTEC. Reglas de seguridad para la construcción e instalación de ascensores parte I: Ascensores eléctricos. [En línea]. Disponible en: <http://www.elv.com.co/es/Archivos/Boletin/Instalacion.pdf>

JUNTA DE ANDALUCÍA. Motores de corriente continua. [Consulta: 26 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/29/html/Motores%20de%20corriente%20continua.htm>

LANDÍN, Pedro. Tornillo sin fin: descripción y aplicaciones. [Consulta: 12 de noviembre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <http://pelandintecno.blogspot.com/2018/02/tornillo-sin-fin-descripcion-y.html>

LIFTING AND DESING ELEVADORES. ¿Cuáles son las partes de un ascensor? [Consulta: 03 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <http://www.aiconelevadores.es/blog/cuales-son-las-partes-de-un-ascensor/>

MACREY Ascensores. Componentes de un elevador o ascensor parte I. [Consulta: 03 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <https://www.ascensoresmacrey.com.mx/2017/12/13/componentes-de-un-elevador-o-ascensor/>

MANIOPERU S.A.C. Cable de acero Boa Alma de Acero 6x19. [En línea]. Disponible en: <https://www.manioperu.com/Catalogo/productos/31-cable-tipo-boa-cobra-cascabel-ascensor>

MAQUINARIA DEL PACÍFICO. Motores de gasolina Honda GX160. [Consulta: 27 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: https://www.mapsacatalogo.com/productos-mmco_honda_motor_03.html

MIRAVETE, Antonio, LARRODÉ, Emilio. Elevadores: Principios e innovaciones. Editorial Reverté.España 2007. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=BsaqGTRli58C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

MOLINA, Jorge. Mecanismos y transformación del movimiento: poleas y polipastos. [Consulta: 30 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <http://ticcesummecanismos.blogspot.com/2018/05/tema-3-poleas-y-polipastos.html>

MONOGRAFÍAS. Diseño de frenos de contracción externa. [Consultado el 6 de noviembre de 2019]. [En línea].

Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos81/disenio-de-frenos-contraccion-externa/disenio-de-frenos-contraccion-externa.shtml>

NOVA ELEVATOR PARTS CO. Poliuretano elevador del amortiguador de vibraciones amortiguador de goma. [Consulta: 12 de octubre de 2019]. [En línea]. Disponible en: https://es.made-in-china.com/co_novaelevator/product_Elevator-Polyurethane-Vibration-Damper-Rubber-Buffer_eorreeirg.html

NOVA. Steel Wire Rope. [En línea]. Disponible en: <http://www.novaelevator.com/product/262.html>

NOVA. Cold Drawn Guide Rail. [En línea]. Disponible en: <http://www.novaelevator.com/product/176.html>

NOVA. GUIDE SHOES. [En línea]. Disponible en: <http://www.novaelevator.com/product/179.html>

NOVA. Buffer. [En línea]. Disponible en: <http://www.novaelevator.com/product/267.html>

PROLIFT, Ingeniería. Mecanismos de los ascensores. [Consultado el 18 de septiembre de 2019]. [En línea]. Disponible en: <https://www.proliftingenieria.cl/2020/04/19/mecanismos-de-los-acesores/>

SÁNCHEZ, Hans Bartel. Diseño, fabricación y montaje de un elevador de carga para frigorífico metropolitano. Universidad Industrial de Santander, 2005. [En línea]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2005/119575.pdf>

SICOR S.p.A. GEARED Machines, Maquina MS16.P75 [En línea]. Disponible en: http://www.sicor-spa.it/wp-content/uploads/2019/10/BRH0057_REV05-1.pdf

SICOR S.p.A. GEARED Machines, Máquina SH140. [En línea]. Disponible en: http://www.sicor-spa.it/wp-content/uploads/2019/10/BRH0057_REV05-1.pdf

SICOR S.p.A. GEARED Dimensionamiento del grupo tractor. P.60. [En línea].
Disponible en: http://www.sicor-spa.it/wp-content/uploads/2019/10/BRH0057_REV05-1.pdf

SOLIDWORKS. Versión 2018. Disponible en: <https://www.solidworks.com/>

TRANSPORTE VERTICAL COLOMBIANO S.A.S. Disponible en:
<https://www.google.com/search?q=TVC+ascensores&oq=TVC+ascensores&aqs=cchrome..69i57j0l2.420j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

UNE. Norma española 81-1 de 1985.