



**Propuesta de diseño para la implementación de un sistema de izaje para manipulación
de carga hecho a medida.**

Juan David Rivera Vásquez.

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Seleccione tipo de orientador(es)

Junes Adbul Villaraga Ossa, Doctor (PhD) en Ingeniería

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecánica
Medellín, Antioquia, Colombia

2023

Cita

Rivera Vásquez [1]

Referencia

[1] J.D. Rivera Vásquez, “Propuesta de diseño para la implementación de un sistema de izaje para manipulación de carga hecho a medida.” (Trabajo de grado profesional, Universidad de Antioquia, 2023).

Estilo IEEE (2020)



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Pedro León Simanca.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Planteamiento del problema	11
Identificación del lugar.....	12
Objetivos.....	14
Objetivo general	14
Objetivos específicos.....	14
Marco teórico.....	15
Metodología.....	16
Sistemas de izaje aplicables.....	16
Puente grúa con viga en voladizo.....	16
Grúa monorraíl.....	19
Pluma telescópica.....	20
Definir cuál de los sistemas de izaje aplicables es la mejor opción desde el punto de vista técnico y económico.....	22
Estudio del sistema aplicable seleccionado como mejor opción.....	25
Modelación y simulación.....	25
Supuestos y simplificaciones.....	25
Condiciones de frontera.....	26
Malla.....	27
Resultados y discusión	28
Recomendaciones de instalación.....	31
Conclusiones.....	35
Referencias	36

Lista de tablas

<i>Tabla 1. Especificaciones del trolley manual.</i>	18
<i>Tabla 2. Características del polipasto manual.</i>	19
<i>Tabla 3. Ventajas y desventajas de los diferentes sistemas.</i>	22
<i>Tabla 4. Definición de los criterios de evaluación.</i>	23
<i>Tabla 5. Selección de la mejor alternativa.</i>	24
<i>Tabla 6. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.</i>	26
<i>Tabla 7. Características de la malla utilizada.</i>	27
<i>Tabla 8. Limite elástico y resistencia a la tracción.</i>	32
<i>Tabla 9. Resistencia a cortante en KN.</i>	33

Lista de figuras

<i>Figura 1. Proceso de izado.</i>	10
<i>Figura 2. Identificación de la galería de barras.</i>	12
<i>Figura 3. Identificación motor ABB y bomba AHLSTROM.</i>	13
<i>Figura 4. Puente grúa con viga en voladizo.</i>	17
<i>Figura 5. Trolley manual para polipasto de 1 TON.</i>	17
<i>Figura 6. Polipasto manual de 1 TON.</i>	18
<i>Figura 7. Viga monorriel.</i>	20
<i>Figura 8. Grúa de pluma de nudillos marca OUCO.</i>	21
<i>Figura 9. Modelo de estudio para la simulación.</i>	25
<i>Figura 10. Modelo de estudio con las condiciones frontera.</i>	27
<i>Figura 11. Mallado de la estructura para simulación</i>	28
<i>Figura 12. Resultados de los desplazamientos en la simulación.</i>	29
<i>Figura 13. Resultados del factor de seguridad en la simulación.</i>	29
<i>Figura 14. Factor de seguridad en la zona crítica.</i>	30
<i>Figura 15. Uniones pernadas para las vigas.</i>	31

Siglas, acrónimos y abreviaturas

UMA	Unidad de mantenimiento de aire
kg	Kilogramos
Ton	Toneladas
mm	Milímetros
m	Metros
mm²	Milímetros cuadrados
MPa	Mega pascales
GPa	Giga pascales
MW	Mega watts
psi	Libras por pulgada cuadrada
ksi	Kilo libra por pulgada cuadrada
N	Newton
kN	Kilo newton
IVA	Impuesto al valor agregado
3D	3 Dimensiones
FS	Factor de seguridad
f_{ub}	Resistencia a la rotura
f_{yb}	Límite elástico

Resumen

El presente informe de prácticas da a conocer la propuesta de diseño de un sistema de izaje para manipulación de cargas hecho a medida, en la cual, se proponen 3 tipos de sistemas que suplen la necesidad y se escoge por medio de una matriz de selección la mejor alternativa. A su vez se tiene en cuenta que el manejo de cargas es un tema riesgoso por lo cual se trabaja con un factor de seguridad mínimo de 4, para esto se calcula con la ayuda del software SolidWorks el tipo de perfil que se debe utilizar en los elementos que componen la estructura seleccionada como mejor opción. Con esta propuesta de diseño se busca que en el espacio que se instalará el sistema se garantice un izaje seguro y que no exista la necesidad de utilizar andamios u otros elementos “riesgosos” para la manipulación de cargas por lo tanto se obtendrá una seguridad elevada para el personal de trabajo que opera en esta zona al igual que una reducción en los tiempos de operación.

Palabras clave: Sistemas de izaje, manipulación de cargas, matriz de selección, factor de seguridad, SolidWorks, izaje seguro.

Abstract

This practical report discloses the design proposal for a custom-made hoisting system for handling loads, in which 3 types of systems are proposed that meet the need and the choice is made through a selection matrix. best alternative. At the same time, it is taken into account that the handling of loads is a risky subject, for which we work with a minimum safety factor of 4, for this, the type of profile that must be used in the elements that make up the structure selected as the best option. With this design proposal, it is sought that in the space that the system will be installed a safe hoisting is guaranteed and that there is no need to use scaffolding or other "risky" elements for the handling of loads, therefore high security will be obtained for the work personnel operating in this area as well as a reduction in operating times.

Keywords: Lifting systems, load handling, selection matrix, safety factor, SolidWorks, safe lifting.

Introducción

La generación de energía eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía ya sea química, cinética, térmica, lumínica, nuclear, solar entre otras, en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas. Las centrales generadoras se pueden clasificar en Termoeléctricas, Hidroeléctricas, Eólicas, solares Fotovoltaicas o Mareomotrices. La mayor parte de la energía eléctrica generada a nivel mundial proviene de los tres primeros tipos de centrales mencionados: Termoeléctricas, Hidroeléctricas y Eólicas.

Se entrará en mayor detalle con las centrales hidroeléctricas ya que es el lugar donde se desarrollará este proyecto y teniendo en cuenta que dichas centrales son las que existen en mayor proporción en las empresas generadoras de energía. Una central hidroeléctrica se caracteriza por el uso de un recurso renovable (Agua), en este proceso la energía potencial de dicho recurso al estar almacenado en un embalse se transforma en energía cinética al ser transportada por tuberías de las cuales al salir generan el movimiento de una turbina acoplada al rotor de un generador, y de esta manera gracias al fenómeno conocido como inductancia se logra posteriormente que esta energía se transforme en energía eléctrica. Finalmente, por medio de cables llega a la subestación desde la cual es posible su comercialización.

ISAGEN es una empresa privada de generación y comercialización de energía con 16 centrales de generación que suman 3.186,7 MW (2.914,7 hidráulicos y 272 térmicos de Capacidad Efectiva Neta, CEN). Quienes trabajan por el fortalecimiento de un sistema energético confiable con una matriz de energía limpia que contribuya a la sostenibilidad y al progreso del país. Su principal avance se encuentra en el desarrollo de un portafolio de energías renovables que aprovechan fuentes como el agua, el viento y la luz solar.

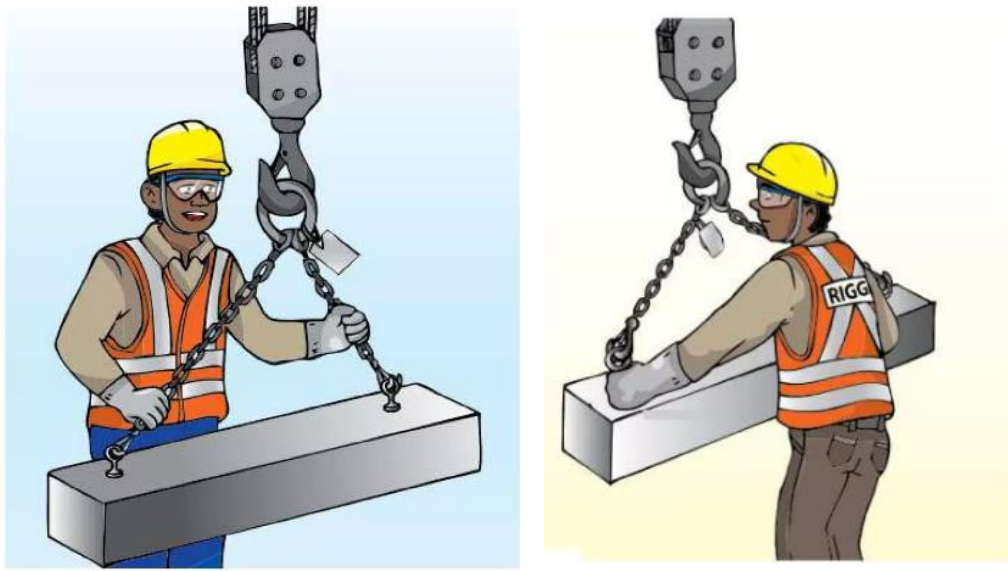


Figura 1. Proceso de izado.

El proceso de izado es un procedimiento crítico y fundamental en todo lo que tiene que ver con la movilización de estructuras, cargas pesadas y demás. Es un proceso que contempla todo un conjunto de requerimientos entre accesorios y procedimientos que deben tenerse en cuenta para evitar algún problema de seguridad o riesgo en tanto a la carga que se está movilizandoy también para salvaguardar la salud y la seguridad del personal. En general, es necesario y muy importante hacer un plan de izaje porque previene de cualquier contingencia, además de hacer cumplir una hoja de ruta con respecto a la movilización de la carga, y finalmente se puede establecer que hará cada miembro del equipo de trabajo ante cualquier contingencia o en todo el proceso. (All grúas, 2022)

Al abordar este proyecto se deberán realizar diferentes análisis de ingeniería en cuanto a diseño, autonomía, seguridad, requerimientos y precios, además de que se tendrá en cuenta las diferentes normativas en cuanto al izaje de cargas para lograr entregar a ISAGEN las mejores alternativas y soluciones de acuerdo con sus necesidades. Se implementarán análisis de elementos finitos para los diferentes diseños con la ayuda del software SolidWorks.

Planteamiento del problema

En la central hidroeléctrica miel (Propiedad de la empresa ISAGEN) ubicada en el departamento de Caldas municipio de Norcasia, se cuenta en el interior de la casa de máquinas con equipos muy robustos como motores, bombas y demás elementos para la correcta circulación de aguas que proporcionan un excelente funcionamiento de la central, normalmente en las diferentes ubicaciones donde se encuentran estos elementos, se cuenta también con algún instrumento o sistema de izaje que permita su fácil manipulación y traslación requerida, pero en algunos espacios de este lugar no se cuenta con sistema de izaje para manipulación de estos elementos robustos.

En la casa de máquinas de la central miel, se cuenta con una galería de barras por cada una de las unidades de generación de energía con las que cuenta la central. Allí se cuenta con motores, bombas, tuberías, válvulas, ductos, entre otros elementos robustos que en algunas ocasiones para desmontar se necesita de andamios ya que el desplazamiento de los mismos se debe hacer por encima de los demás elementos.

Por tal motivo en dichos espacios se requiere la implementación de un sistema de izaje que permita la correcta manipulación y traslación requerida de los elementos robustos. Sin embargo, es necesario aclarar que la necesidad principal es facilitar la manipulación de los motores ya que es el elemento más pesado y a su vez más robusto, por lo cual a la hora de manipular esta carga es una tarea que conlleva mucho tiempo, esfuerzo y peligro para los trabajadores.

Es importante tener en cuenta que el sistema se debe adaptar a los requerimientos específicos con los que se cuenta en cada una de las galerías ya que se tiene un espacio muy reducido en el interior de cada una y a su vez cada galería puede diferir de la otra en sus dimensiones generales por consecuencia de que las paredes son roca y por ende presentan irregularidades.

Identificación del lugar.

Figura 2. Identificación de la galería de barras.

En la comisión realizada en la central miel, se llevó a cabo el levantamiento de información de la galería de barras, figura 2, se puede apreciar que realmente el espacio con el que se cuenta es muy reducido tanto en sus longitudes como en su altura por cada uno de los elementos que hacen parte de este espacio y se encuentran obstruyendo el área.

Este lugar cuenta con una UMA (Unidad de mantenimiento de aire) la cual también se puede observar en la figura antes mencionada, a partir de esta UMA sale un ducto de sección transversal rectangular por la parte superior, el cual ayuda con la circulación del aire, pero a su vez sería uno de los elementos que restringen el diseño en cuanto a la altura máxima que se tiene disponible para el izaje de los elementos a trasladar.

Se identifico en dicho lugar que se tienen 4 motores de la marca ABB acoplados a 4 bombas de la marca AHLSTROM y se puede observar en la figura 3 la designación en la placa característica de cada equipo, también se evidenciaron grandes válvulas y tuberías interconectadas entre si para la correcta circulación de los fluidos en este espacio.



Figura 3. Identificación motor ABB y bomba AHLSTROM.

Se realizó la búsqueda de información de los elementos que se tienen en este lugar para tener mayor acercamiento con cada uno de ellos inicialmente con la intención de tener como condición de frontera el peso máximo de trabajo. Se logró obtener una ficha técnica del conjunto motor-bomba. En ella encontramos que el peso máximo de trabajo será de 740 kg, por lo cual el instrumento de izaje que se va a evaluar debe tener la capacidad de levantar y trasladar este peso con un factor de seguridad que nos proporcione buenas condiciones de seguridad en el trabajo.

Objetivos

Objetivo general

Realizar un diseño conceptual de un sistema de izaje para la correcta manipulación de cargas en el interior de cada una de las galerías de barras de la central miel, (propiedad de la empresa ISAGEN) con el cual se busca evaluar su posibilidad de implementación.

Objetivos específicos

- Realizar levantamiento de información en cada una de las galerías de barras, con el fin de reunir la información de distribución de planta y equipos necesaria para la implementación de algún sistema de izaje.
- Encontrar y comprender la información técnica con la cual se respalde el diseño del modelo que se va a proponer para este requerimiento.
- Seleccionar la mejor alternativa solución entre las planteadas y con ayuda del programa SolidWorks validar si cumple con la capacidad de desplazar las cargas que se tienen en la galería de barras.
- Realizar los planos de fabricación y las cotizaciones necesarias que permitan seleccionar el mejor proveedor, considerando los aspectos técnicos y económicos.

Marco teórico

Izaje de cargas: el izaje de cargas es una operación mecánica que se realiza para mover objetos que no pueden ser transportados manualmente por su complejidad y su alta responsabilidad en la industria. Un Izaje permite elevar o bajar cargas de manera segura, ya que previamente se realiza una planeación y cálculos precisos. (M.Giraldo, 2022).

Equipos de izaje: entre los equipos para izaje más comunes encontramos las grúas móviles, puentes grúa, pórticos y monorrieles. Las grúas y los equipos de elevación son instrumentos muy importantes para distintas industrias. Son capaces de levantar cargas de bastantes toneladas desde unos pocos metros hasta cientos de metros. (García, 2022).

Accesorios de izaje: son todos los elementos necesarios que se utilizan para poder realizar las maniobras de elevación o descarga. Por la complejidad de las maniobras al elevar o descender una carga, es necesario requerir una serie de implementos o accesorios para realizar dichos trabajos, los accesorios de izaje son: ganchos, eslingas, cables de acero, estrobos, tensores, grapas, argollas, grilletes, cáncamos, etc. (gruas y maniobras, 2019).

Personal calificado: aquel con experiencia en el diseño, fabricación o el mantenimiento de los equipos de izaje, con suficiente conocimiento de las reglamentaciones y normas correspondientes, y que tiene el criterio para juzgar las condiciones de seguridad del equipo y decidir las acciones correctivas que deberán tomarse con el objetivo de garantizar un funcionamiento seguro. (M.Giraldo, 2022).

Factor de Seguridad: es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por este motivo es un número mayor que uno, que indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos. (ISAGEN, 2021).

Polipasto: es una máquina utilizada para izar o bajar una carga por medio de una polea o rueda de elevación alrededor del cual se enrolla la cuerda o la cadena. Puede ser operado manual, eléctrica o neumáticamente, y puede usar una cadena, cuerda o cable como medio de elevación. (García, 2022).

Metodología

Sistemas de izaje aplicables.

En el mercado internacional existen diferentes clases de sistemas de izaje de cargas, normalmente este tipo de sistemas son construidos a necesidad del lugar donde será instalado y el tipo de carga que será trasladada, por ello se aprecian diferentes tipos de sistemas de izaje como lo son puentes grúa, monorrieles, grúas pórtico, plumas, grúa móvil, grúa torre, grúa telescópica, entre otras.

Según la definición del problema se sabe que se debe tener en cuenta que el espacio es muy reducido y que se encuentran elementos obstruyendo el libre desplazamiento en un plano superior y paralelo al piso. Por tal razón se proponen los siguientes tipos de diseño para el sistema que se desea implementar:

- Puente grúa con viga en voladizo.
- Grúa monorriel.
- Pluma Telescópica.

Puente grúa con viga en voladizo.

En este modelo se plantea una estructura tipo puente grúa como se muestra en la figura 4 con dos vigas carril por las cuales se desplaza un trolley para cubrir la galería a lo largo de su máxima extensión, este trolley a su vez tiene en su parte inferior una viga en voladizo que tiene la capacidad de desplazarse, con la ayuda de guías y ruedas de pestaña, en sentido transversal a las vigas carril y hacia ambos costados, esto con la intención de llegar a ambos extremos de la galería de barras en todo su ancho y así lograr izar todos los elementos del lugar.

En esta viga en voladizo se deben instalar un par de elementos comerciales, los cuales serían un trolley manual y un polipasto, como los que se muestran en las figuras 5 y 6, que tenga la capacidad de levantar una carga de 1 tonelada cada uno.



Figura 4. Puente grúa con viga en voladizo.



Figura 5. Trolley manual para polipasto de 1 TON.

Especificaciones	
Capacidad	1 TON
Rango de apertura	75 mm – 125 mm
Peralte viga	127
Diámetro interno rueda	69 mm
Rueda	91 mm x 30 mm
Diámetro perno	25 mm
Ancho	203 mm
Distancia entre centros de ruedas	112 mm
Peso neto	6 kg
Empaque individual	Caja
Inner	1

Tabla 1. Especificaciones del trolley manual.

Los trolleys manuales son construidos para suspensión de polipastos, estos carros manuales permiten el desplazamiento suave de las cargas en cualquier aplicación y garantizan un rendimiento superior con bajos requisitos de mantenimiento. Estos dispositivos son el complemento ideal de polipastos manuales y eléctricos; cuando la aplicación requiere desplazamiento a lo largo de una viga IPE o IPN, o para una aplicación con altura súper reducida o restringida.



Figura 6. Polipasto manual de 1 TON.

Características	
Capacidad	0.5 - 10 TON
Altura de izaje	1.5 - 10 m

Tabla 2. Características del polipasto manual.

Este polipasto se utiliza para operaciones esporádicas ya que su izaje es lento y requiere de considerable esfuerzo físico. Los polipastos manuales pueden ser de cadena o de palanca. Son equipos robustos que son fácilmente desmontables lo que los hace muy versátiles y útiles en distintas aplicaciones.

Grúa monorriel.

Para este caso se propone una grúa monorriel con la intención de dar una solución que se limite a suplir la necesidad primordial de trasladar los motores que se encuentran en este espacio, ya que son los elementos más críticos para desmontar.

Gracias a las restricciones que se tienen en el espacio de la galería de barras, no es posible ubicar la viga monorriel con apoyo en el piso, por lo cual se busca analizar el comportamiento de esta si se tienen apoyos tipo ménsula a lo largo de su longitud; estos apoyos serán un par de vigas ubicadas transversalmente con respecto a la viga monorriel y empotradas en la roca a lo ancho de la galería como se aprecia en la figura 7.

En este monorriel se deben instalar un par de elementos comerciales, los cuales serían un trolley manual y un polipasto, como los que se muestran en las figuras 5 y 6, que tengan la capacidad de levantar una carga de 1 tonelada cada uno.



Figura 7. Viga monorriel.

Pluma telescópica.

La grúa de pluma de nudillos 1t10m (Knuckle Telescopic Boom Marine Crane) OUCO 1TON10M que se observa en la figura 8, se utiliza principalmente en la cubierta de granelero o barcaza de sobrecarga para manejar una variedad de graneles de carga. La serie KB, grúa de pedestal con pluma de caja de nudillos, es confiable para el servicio de manejo de carga general y uso en alta mar.

Todas las grúas de la serie KB pueden equiparse con diferentes accesorios y clases certificadas por todas las principales sociedades de clasificación. Hecho a medida según sus especificaciones requeridas en diferentes longitudes de pluma y capacidades de elevación de 10m a 2000m para diferentes condiciones de trabajo del estado del mar. El grupo OUCO Marine puede

diseñar las grúas plegables basándose en las regulaciones y reglas API-2C. Estas grúas son adecuadas cuando el espacio de la cubierta es limitado. (Offshore Pedestal-mounted Cranes, 2020)

Su diseño combina el máximo rendimiento con operaciones de trabajo flexibles. Estas grúas son prácticas y permiten operaciones de trabajo cómodas en todas las condiciones operativas. Están diseñados y fabricados de conformidad con las normas marinas vigentes y se pueden personalizar bajo pedido.



Figura 8. Grúa de pluma de nudillos marca OUCO.

Definir cuál de los sistemas de izaje aplicables es la mejor opción desde el punto de vista técnico y económico.

SISTEMA DE IZAJE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
ALTERNATIVA 1: Puente grúa con viga en voladizo.	Al tener más componentes se logra mayor alcance en el área de trabajo y posiblemente se pueden desmontar todos los elementos del lugar.	Costoso. De difícil instalación. Ocupa más espacio en el área de trabajo.
ALTERNATIVA 2: Grúa monorriel.	Al ser más sencilla se reducen los costos de fabricación. Fácil instalación.	No tiene alcance a todos los espacios del área.
ALTERNATIVA 3: Pluma Telescópica.	Un solo elemento. No es obstruido por los elementos del lugar.	Costo demasiado elevado. Se fabrica fuera del país. Obstruye el paso del personal.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de los diferentes sistemas.

Para seleccionar el sistema que mejor se adapte a las necesidades del izaje que se tiene en la galería de barras, se deben presentar los criterios o aspectos necesarios para cumplir en cada sistema y que se van a evaluar

Criterios:

- Seguridad de operación.
- Facilidad de operación.
- Fácil mantenimiento.
- Tamaño del sistema.
- Tiempo de montaje y desmontaje de los motores.
- Bajo costo.

CRITERIOS DE EVALUCIÓN	DEFINICIÓN	EVALUACIÓN		
		1	3	9
Facilidad de operación.	Que el esfuerzo del operario sea el menor posible.	Mucho esfuerzo.	Esfuerzo medio.	Bajo esfuerzo.
Seguridad de operación.	Que la operación sea segura para los operarios.	No cumple.	-	Cumple.
Fácil Mantenimiento.	Nivel de dificultad para la realización del mantenimiento.	Alto.	Medio.	Bajo.
Tamaño del sistema.	Que la maquinaria ocupe el menor espacio posible en el área que transita el personal.	Mucho espacio.	Espacio moderado.	Poco espacio.
Tiempo de montaje y desmontaje de los motores.	Que el tiempo de operación para el montaje y desmontaje de los elementos del lugar sea el menor posible.	Mucho tiempo.	Tiempo moderado.	Poco tiempo.
Bajo costo.	Que el precio de la inversión para el sistema sea adecuado.	Muy costoso.	Adecuado.	Muy económico.

Tabla 4. Definición de los criterios de evaluación.

CRITERIOS DE EVALUCIÓN	PESO	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
		X	X * PESO	X	X * PESO	X	X * PESO
Facilidad de operación.	0,12	3	0,36	3	0,36	9	1,08
Seguridad de operación.	0,12	1	0,12	3	0,36	9	1,08
Fácil Mantenimiento.	0,17	3	0,51	9	1,53	1	0,17
Tamaño del sistema.	0,23	3	0,69	9	2,07	1	0,23
Tiempo de montaje y desmontaje de los motores.	0,16	3	0,48	3	0,48	3	0,48
Bajo costo.	0,2	3	0,6	9	1,8	1	0,2
Total	1,0000		2,76		6,60		3,24

Tabla 5. Selección de la mejor alternativa.

Gracias a los criterios de evaluación definidos en la tabla 4, se procede con la selección de la mejor alternativa (Tabla 5) en donde se le concede un peso a cada uno de los criterios según la importancia que tiene a la hora de implementar alguno de los sistemas, de acuerdo con esto se ponderan para cada alternativa las evaluaciones que se tienen y se realiza la multiplicación del ponderado por el peso. Finalmente se realiza la sumatoria de cada alternativa y la que tenga mayor valor (X * PESO) será la elegida como alternativa solución a este problema o necesidad.

En este caso la alternativa que mejor se adapta a las necesidades bajo los criterios establecidos y la cual se define para continuar con el estudio es la Grúa Monorriel.

Estudio del sistema aplicable seleccionado como mejor opción.

Modelación y simulación.

Teniendo definido el modelo que se va a estudiar en este proyecto se procede a realizar las modelaciones 3D requeridas con ayuda del programa SolidWorks como se muestra en la figura 9 en este modelo se realizó una estructura de piezas soldadas a las que se les asignará el tipo de material, y un perfil comercial estándar que será el punto de partida y a partir del cual se definirá el perfil más adecuado en esta aplicación.



Figura 9. Modelo de estudio para la simulación.

Supuestos y simplificaciones.

Se supone que este elemento será construido con las vigas más comerciales en el mercado las cuales normalmente se encuentran fabricadas de acero estructural ASTM A36. (ASTM A36 / A36M-05, 2019)

Para conocer las propiedades que tiene dicho acero estructural al carbón, vamos a basarnos en la tabla 6, donde se consignan las propiedades mecánicas más importantes de este elemento.

ASTM A36 Steel		
Mechanical Properties	Metric	English
Tensile Strength, Ultimate	400 – 550 MPa	58000 – 79800 psi
Tensile Strength, Yield	250 MPa	36300 psi
Elongation at Break	20 %	20 %
	23 %	23 %
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi
Compressive Yield Strength	152 MPa	22000 psi
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi
Poissons Ratio	0,26	0,26
Shear Modulus	79,3 GPa	11500 ksi

Tabla 6. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.

Otra de las suposiciones importantes es que la unión entre las vigas se realizó como unión rígida, esto con el fin de inicialmente estudiar el comportamiento únicamente de las vigas y así determinar el perfil adecuado para esta aplicación y carga requerida. Posterior a esto se encontrarán la tornillería adecuada para realizar una unión pertinente de las vigas.

Condiciones de frontera.

Para establecer las condiciones de frontera se debe tener en cuenta que para este tipo de vigas se tiene unas deflexiones máximas permisibles, así que se procede a calcular la deflexión máxima permisible para la viga que queda en voladizo y a su vez soporta el monorriel, donde L es la longitud de dicha viga, se calcula de la siguiente manera:

$$D_{perm} = \frac{L}{500}$$

$$D_{perm} = \frac{1350 \text{ mm}}{500} = 2.7 \text{ mm}$$

Así como condición de frontera sabemos que el desplazamiento máximo esperado no puede superar los 2.7 mm para que la viga cumpla con los requerimientos de diseño.

Así, una vez listo el modelo que se quiere estudiar, se realizó una simulación de piezas soldadas para la estructura del monorraíl, en ella se simularon empotramientos fijos en 5 extremos del sistema como se puede observar en la figura 10, se tuvo en cuenta la aceleración de la gravedad para acercarlo más a la realidad y finalmente en su punto más crítico, que es la parte del monorraíl que queda en voladizo, se le colocó una carga puntual de 7500N o lo que es aproximadamente 765Kg lo cual sería el peso de la carga muerta más el peso de los componentes comerciales que se instalan en el monorraíl.

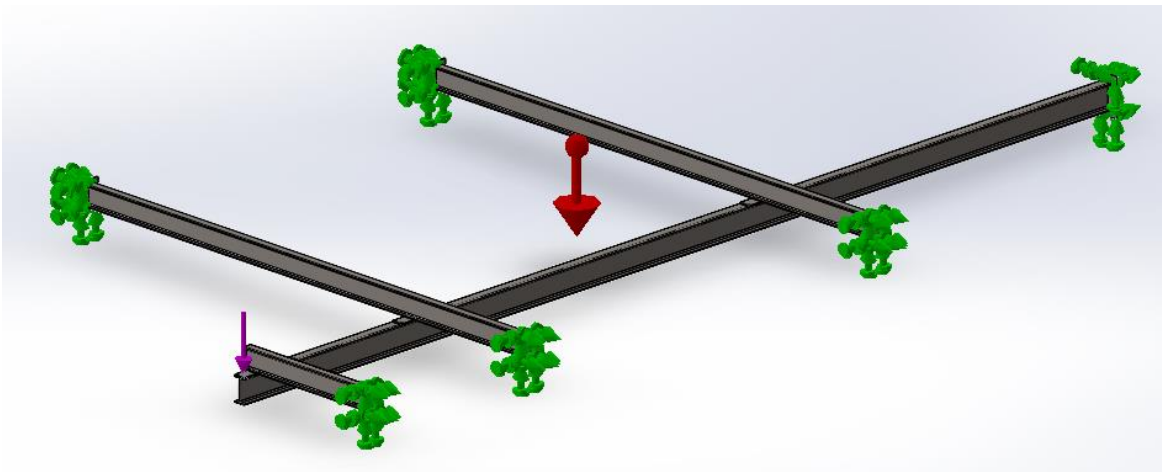


Figura 10. Modelo de estudio con las condiciones frontera.

Malla.

En cuanto a la malla utilizada en la simulación se presentan en la tabla 7 a continuación las características del mallado. También se observa en la figura 11 la forma en que el programa nos malla cada uno de los elementos de la estructura.

<i>Método de mallado</i>	<i>Malla basada en curvatura (fina)</i>
<i>Tipo de elementos</i>	<i>Malla sólida</i>
<i>Calidad de la malla</i>	<i>Elementos cuadráticos de alto orden</i>
<i>Número de nodos</i>	<i>841458</i>
<i>Número de elementos finitos</i>	<i>436970</i>
<i>Tamaño máximo de elemento</i>	<i>16,6795 mm</i>
<i>Tamaño mínimo de elemento</i>	<i>3,33589 mm</i>
<i>Puntos jacobianos para malla de alta calidad</i>	<i>16 puntos</i>

Tabla 7. Características de la malla utilizada.

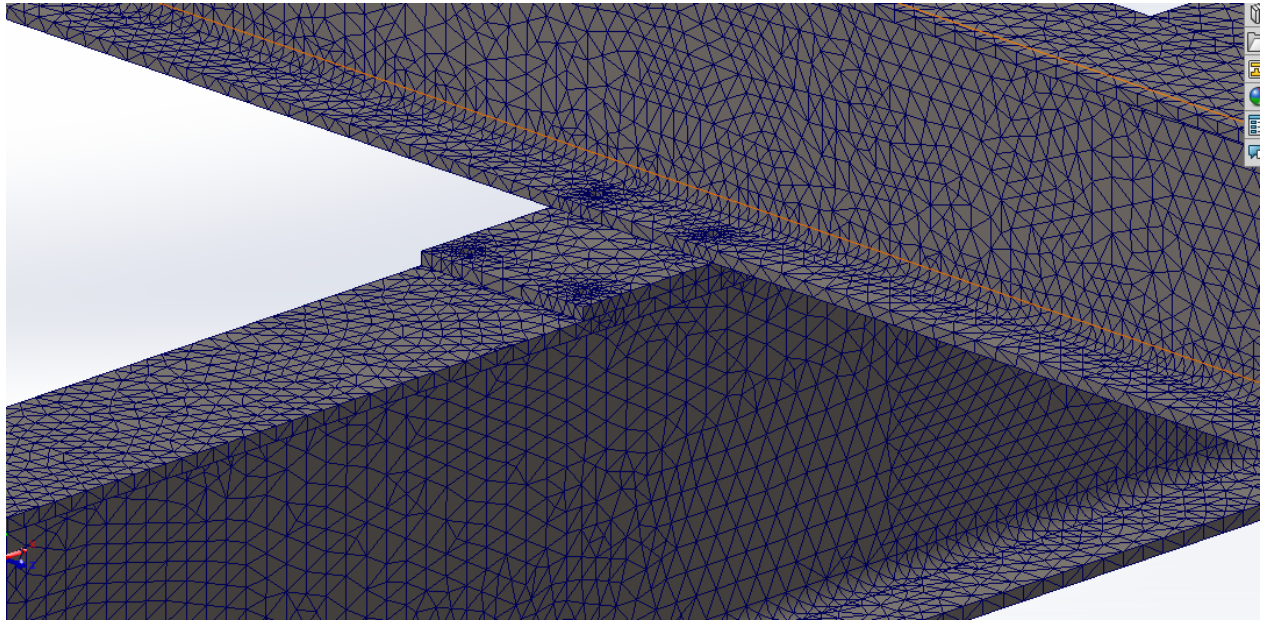


Figura 11. Mallado de la estructura para simulación

Resultados y discusión

Luego de realizar varias iteraciones en las simulaciones, ubicando la carga en los diferentes puntos donde se considera un momento cortante bastante grande, se pudo tener certeza de que el punto más crítico está en la parte de la viga que no se encuentra empotrada en ambos extremos, en la figura 12, se puede observar el resultado que nos muestra el software en el cual se evidencian los desplazamientos máximos y mínimos que se tienen con esta carga aplicada y en que lugares de la estructura se presentan. Se observa un resultado coherente, ya que el desplazamiento máximo se está generando en el punto de aplicación de la carga (1,997 mm) y el mínimo se da en el empotramiento con la roca (0 mm).

Se cumple la condición de frontera anteriormente mencionada para el desplazamiento máximo permisible de la viga que se encuentra en voladizo sosteniendo el monorriel.

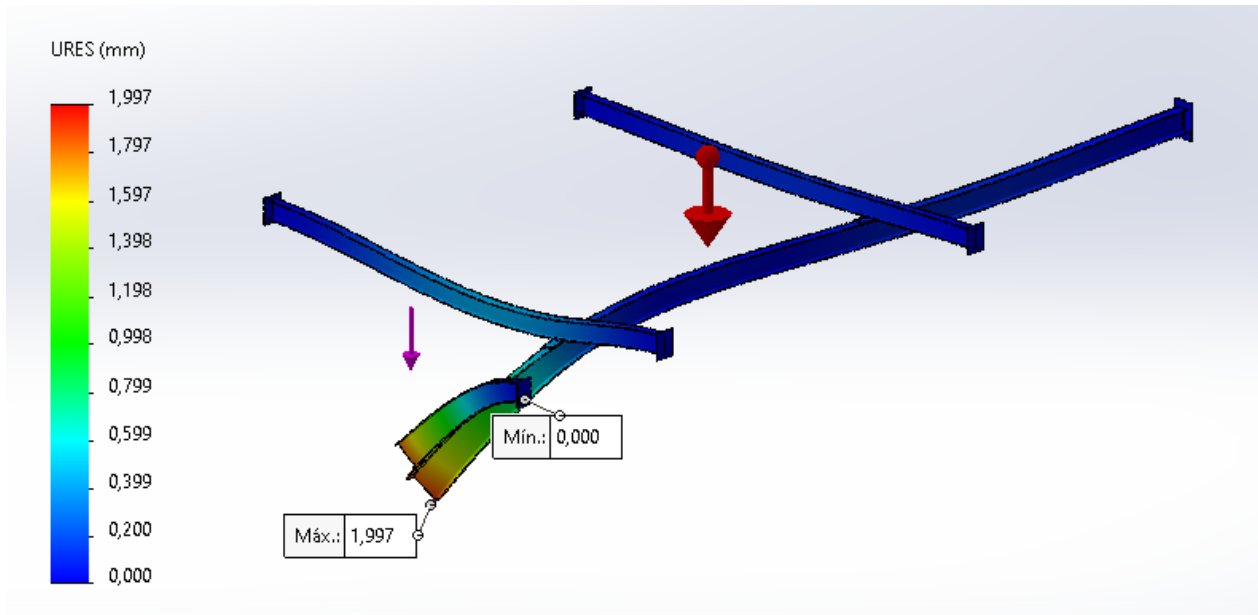


Figura 12. Resultados de los desplazamientos en la simulación.

Del mismo modo y con ayuda de la solución que nos brinda el programa SolidWorks podemos observar en la figura 13 cual es el factor de seguridad que se presenta en la estructura analizada para esta carga de 765kg.

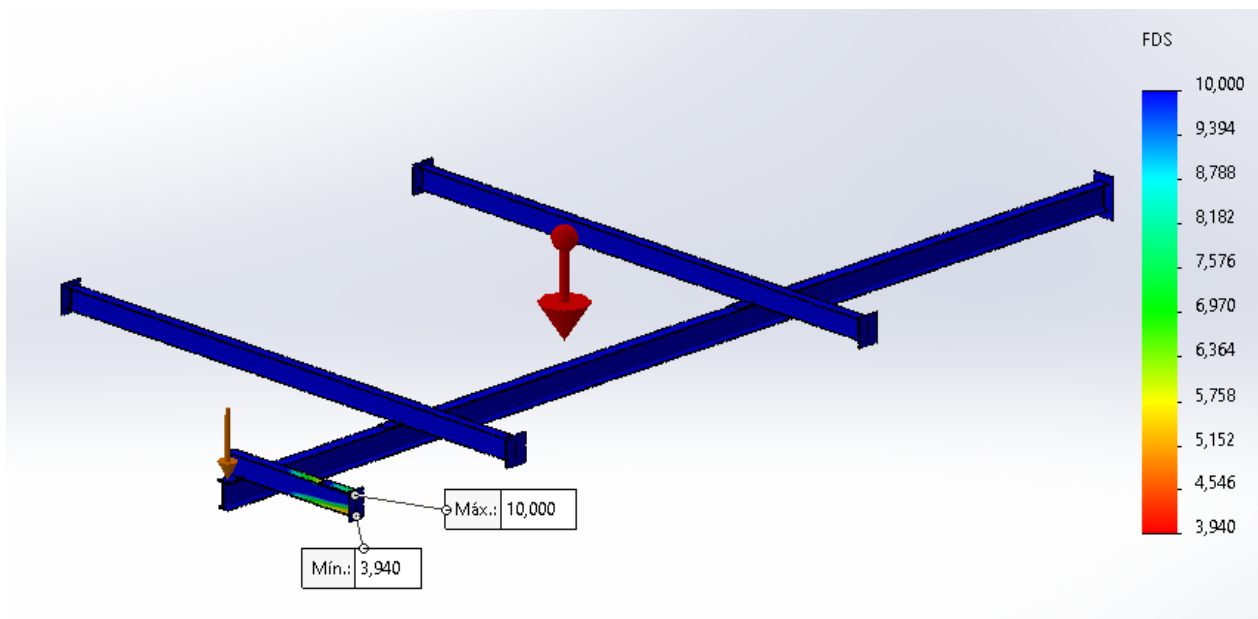


Figura 13. Resultados del factor de seguridad en la simulación.

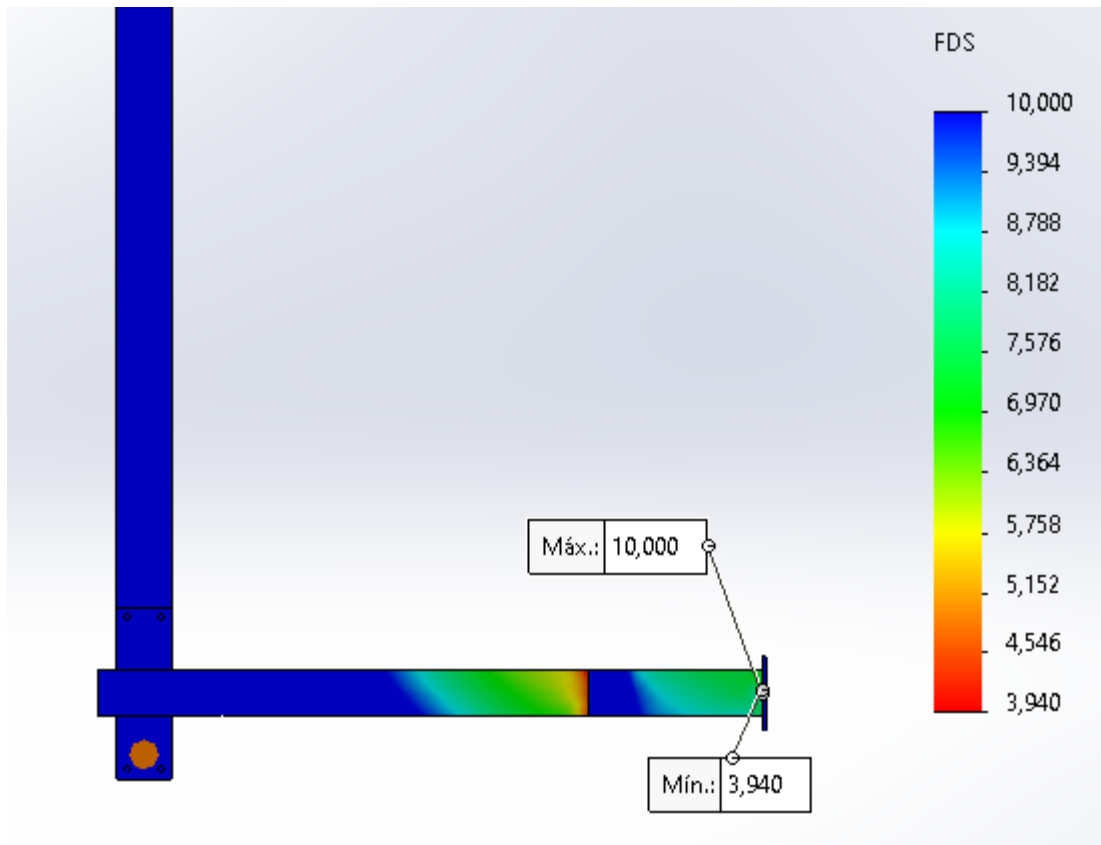


Figura 14. Factor de seguridad en la zona crítica.

Como se aprecia en la figura 14 el factor de seguridad mínimo (3,94) se da en el empotramiento más cercano del punto de aplicación de la carga, por esto es importante que la fijación tanto de la viga con la placa y de esta con la roca sea muy confiable y segura.

Para garantizar que se cumpla el factor de seguridad en la estructura se tuvo la necesidad de reforzar la zona más cercana al empotramiento con una lámina soldada al patín de la viga con la cual se distribuyen mejor los esfuerzos que se concentran en esta zona.

Teniendo en cuenta las cargas de operación y el uso de la estructura el factor de seguridad es adecuado, por lo que se puede asegurar que la concentración de esfuerzos en esta zona no es muy alta y que los perfiles utilizados son adecuados para esta aplicación.

Recomendaciones de instalación.

Con la intención de facilitar el montaje del sistema en la galería de barras, se recomienda utilizar uniones pernadas para las vigas como se muestra en la figura 15.

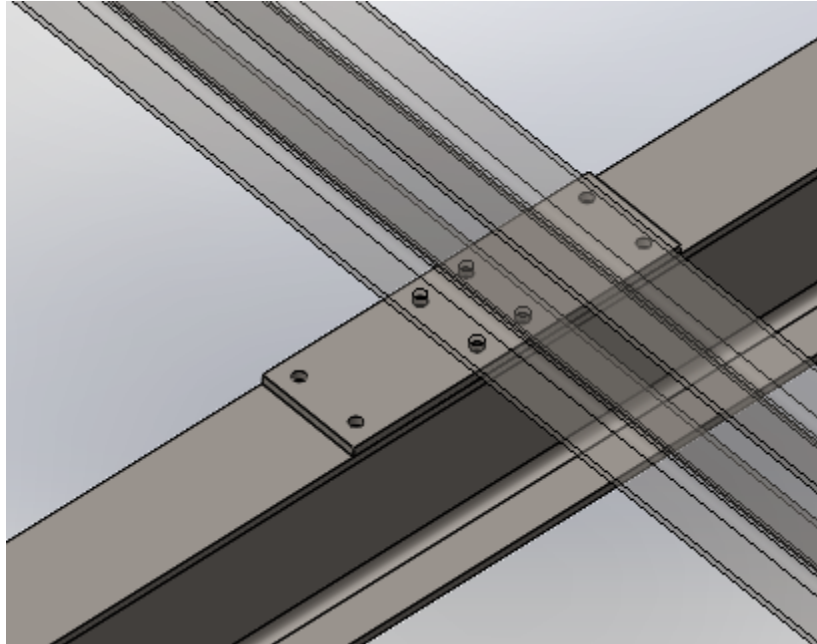


Figura 15. Uniones pernadas para las vigas.

Para recomendar este tipo de unión se tiene en cuenta que, para una buena distribución de la fuerza, el espaciado de los pernos en un patrón no debería exceder aproximadamente 6 diámetros del perno entre pernos adyacentes y no menos de 3 diámetros. También se debe garantizar que los pernos no deberían estar más cerca de un borde que 1.5 a 2 diámetros, aproximadamente. Esto para arreglos que no están expuestos a un ambiente agresivo.

De esta manera se realizó la correcta distribución de los pernos en el arreglo conservando las garantías necesarias de disposición de montaje.

Ahora bien, los tornillos recomendados para este tipo de estructura son los tornillos de alta resistencia ya que estos se usan para todo tipo de estructuras, desde pequeños edificios hasta rascacielos y puentes monumentales. A diferencia de los tornillos ordinarios o simples que generalmente sus resistencias de diseño son menores. (Hernández, 2015)

Los tornillos para emplear en las uniones deberán ser preferiblemente de alguno de los grados 4.6, 5.6, 6.8, 8.8 ó 10.9.

No se deben utilizar en uniones que estén sometidas a algún tipo de esfuerzo, tornillos de grado inferior al 4.6 ni de grado superior al 10.9.

La notación anterior es la empleada según ISO 898. En esta notación, la primera cifra designa la centésima parte de la resistencia a la rotura (f_{ub}) en N/mm² y la segunda, tras el punto decimal, expresada en décimas, es el factor por el cual hay que multiplicar la resistencia a la rotura para obtener el límite elástico (f_{yb}), también en N/mm². (Galbarro, 2023)

Por ejemplo, un tornillo de calidad 4.8 se correspondería con:

$$f_{ub} = 400 \frac{N}{mm^2}, \text{ es su resistencia a la rotura;}$$

$$f_{yb} = 0.8 * 400 = 320 \frac{N}{mm^2}, \text{ se corresponde con su límite elástico.}$$

En la siguiente tabla se muestran los valores nominales del límite elástico f_{yb} y de la resistencia última a la tracción f_{ub} , para adoptar como valores característicos en los cálculos:

Valores nominales del límite elástico f_{yb} y de la resistencia a tracción última f_{ub} de tornillos								
Grado del tornillo	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9	
f_{yb} N/mm ²	240	320	300	400	480	640	900	
f_{ub} N/mm ²	400	400	500	500	600	800	1000	

Tabla 8. Limite elástico y resistencia a la tracción.

Los tornillos de grados 8.8 y 10.9 se denominan también de alta resistencia, en este caso utilizaremos los de grado 8.8 (Alta resistencia).

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * f_{ub} * A_s}{\gamma M_b}$$

La resistencia a tracción de elementos, tales como pernos de anclaje, en los que la rosca se fabrique mediante procedimientos que impliquen arranque de viruta, será igual a la dada por la expresión anterior multiplicada por 0,85.

Asimismo, para tornillos de cabeza avellanada, la resistencia a tracción será igual al 70% de la dada por la expresión anterior.

En la tabla 9 se indica la resistencia a tracción de los tornillos con cabeza normal de diámetros y grados más usuales.

Diámetro (mm)	As (mm ²)	Grado			
		4,6	5,6	8,8	10,9
12	84,3	24,28	30,35	48,56	60,70
16	157	45,22	56,52	90,43	113,04
20	245	70,56	88,20	141,12	176,4
22	303	87,26	109,08	174,53	218,16
24	353	101,66	127,08	203,33	254,16
27	456	131,33	164,16	262,66	328,30

Tabla 9. Resistencia a cortante en KN.

Ahora para el cálculo de los tonillos según la disposición propuesta en la figura 15 tenemos que para tonillos de grado 8.8 y diámetro de 12 mm la resistencia máxima a la tracción es de 48,56 KN.

$$\text{Resistencia} * \text{arreglo} = 8\text{tornillos} * 48.56 \text{ KN} = 388.48 \text{ KN}$$

$$\text{Resistencia} * \text{arreglo} = 388.48 \text{ KN} \cong 388480 \text{ N}$$

La carga con la que se está trabajando debe ser soportada por cada uno de los arreglos de 8 tornillos por lo cual se verifica para un solo arreglo:

Carga muerta 765 Kg \cong 7500 N

Peso Viga Monorriel \cong 2590 N

*Carga a soportar = (7500 N + 2590 N) * 4FS*

Carga a soportar \cong 40360 N

\therefore 40000 N < 388480 N Cumple

Conclusiones

Gracias a la matriz de selección se logró identificar cual sería la mejor alternativa de diseño para satisfacer las necesidades o requerimientos que se tienen en este proyecto. Se evidencia que de esta forma se pueden tener todos los criterios necesarios para la selección y se elige siempre la que más cumpla con ellos.

El diseño del concepto para el modelo elegido como mejor alternativa se llevó a cabo con ayuda del módulo de simulación en el programa SolidWorks, el cual nos arrojó un análisis bastante acertado con lo que se espera en la realidad y de esta forma se logró determinar cuáles son los perfiles necesarios para esta aplicación teniendo en cuenta que el factor de seguridad adecuado en este tipo de sistemas debe ser mínimo de 4 para salvaguardar la integridad de los operarios.

Gracias a este estudio se logró determinar que los tipos de perfiles a utilizar para el sistema a implementar, los cuales bajo la norma DIN son:

IPE 220 x 9500mm para la viga monorriel.

IPE 180 x 4800mm para 2 vigas de apoyo transversales.

IPE 180 x 1350mm para apoyo en voladizo.

Finalmente, para esta estructura se necesitan 24 tornillos de alta resistencia, grado 8.8 con diámetro de 12 mm, para asegurar de manera eficiente cada una de las uniones con que cuenta el sistema de izaje, de los cuales 12 deben tener una longitud de 45 mm y los otros 12 una longitud de 35 mm.

Referencias

- All grúas. (2022). Obtenido de <https://all-gruas.com/blog/izaje-que-es-que-significa/#:~:text=El%20izaje%20es%20todo%20el%20procedimiento%20por%20el,estri%20y%20c%C3%A1lculos%20concisos.%20Tambi%C3%A9n%20te%20puede%20interesar%3A>
- ASTM A36 / A36M-05. (2019). *Standard Specification for Carbon Structural Steel*. ASTM International.
- Galbarro, H. R. (2023). Estudio y tipología de las uniones atornilladas. *Ingemecánica*, pág. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn31.html>.
- García. (2022). *gruas y equipos garcia*. Obtenido de <https://www.gruasyequiposgarcia.com/que-es-izaje/>
- gruas y maniobras*. (2019). Obtenido de <https://gruasymaniobras.com/izajes-y-accesorios-de-izaje/>
- Hernández, W. G. (2015). *DISEÑO DE CONEXIONES ATORNILLADAS RESISTENTES A MOMENTO TIPO END PLATE Y DOBLE PLACA EN MARCOS DE ACERO*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- ISAGEN. (2021). *Procedimiento para el izaje y manejo de cargas*. ISAGEN.
- M.Giraldo. (2022). *Formato ejemplo izaje de carga-permiso-procedimiento y plan de izaje*. SST-SAFEWORK. Obtenido de <https://sst-safework.com/formato-ejemplo-izaje-de-carga-permiso-procedimiento-y-plan-de-izaje/>
- Offshore Pedestal-mounted Cranes. (20 de 10 de 2020). *API SPECIFICATION 2C*. American Petroleum Institute.
- S Gómez. (2021). *Código ASME*. ASSA. Obtenido de <https://assa.cl/que-es-el-codigo-asme/>