

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Diseño De Un Mecanismo Articulado Para Corte De Metales Con Equipos De
Plasma Y Oxicorte”

INGE-2772

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Laura Olivia Salinas Yagual

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

A Dios por permitirme llegar a este momento.

A mi familia por ser pilar fundamental en cada etapa de mi vida.

A mis padres por su amor incondicional, esfuerzo y confianza, por estar conmigo en cada momento brindándome sabiduría y palabras de aliento.

A mis hermanos por ser mi motivación constante de superación.

A todos los que formaron parte de este proceso, que me brindaron su apoyo sin límites.

A cada uno de ustedes, gracias por creer en mí, por su paciencia y afecto en los momentos difíciles. Esto refleja su amor, su sacrificio y fe en mis capacidades.

Con todo mi cariño,

Laura Salinas

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a ESPOL por brindarme las herramientas, conocimientos y espacio para crecer como profesional.

A mis profesores por compartir su sabiduría, paciencia y dedicación, por motivarme a ir más allá de mis conocimientos y ser fuente de inspiración constante.

A todos aquellos que han contribuido a mi formación, les expreso mi más sincero agradecimiento.

Declaración Expresa

Yo Laura Olivia Salinas Yagual acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mí, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 17 de Octubre del 2024.



Laura Olivia Salinas Yagual

Evaluadores

Emérita Alexandra Delgado Plaza. Mtr.

Profesor de Materia

Jorge Julián Peña Estrella. M.Sc.

Tutor de proyecto

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de un mecanismo articulado para corte de metales con equipos de plasma y oxicorte, un pantógrafo que mejora la precisión e incrementa la seguridad del operador, para fomentar las actividades y prácticas de manufactura de alta precisión adquiriendo habilidades técnicas de corte requeridas en la industria.

Para el diseño del mecanismo se utilizaron materiales de alta resistencia como el acero inoxidable para el carril principal, los cuales se analizaron mediante software para determinar su resistencia, se emplearon rodamientos lineales de gran precisión HGW 25 CC Z0 H para desplazamientos en los carriles permitiendo cortes rectos y precisos.

Los resultados mostraron una notable diferencia respecto a la precisión ya que se evidenció un trazo mucho más recto y consistente, los bordes significativamente más uniformes y menos rugosos, una zona de corte mucho más controlada incluyendo una reducción en los tiempos de operación.

El diseño presenta una solución viable para mejorar los procesos de corte de metales, aumentando la seguridad del operario, garantizando estabilidad e incrementando la precisión en los cortes.

Palabras Clave: precisión, seguridad, pantógrafo, rodamientos.

Abstract

The present work aims to design an articulated mechanism for cutting metals with plasma and oxy-fuel equipment, a pantograph that enhances precision and increases operator safety, promoting high precision manufacturing activities and practices while developing the technical cutting skills required in the industry.

For the design of the mechanism, high strength such as stainless steel were used for the main rail, which were analyzed using software to determine their resistance, high precision HGW 25 CC Z0 H linear bearing were employed for movement along the rails, allowing for straight and precise cuts.

The results showed a notable improvement in precision, as a much straighter and more consistent cut path was observed, with significantly more uniform and less rough edges, a more controlled cutting zone and a reduction in operation times.

The design provides a viable solution to improve metal cutting processes, increasing operator safety, ensuring stability and enhancing cutting precision.

Keywords: precision, safety, pantograph, bearings.

Índice general

Capítulo 1	17
1.1 Introducción	18
1.2 Descripción del Problema.....	19
1.3 Justificación del Problema	19
1.4 Objetivos.....	20
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	20
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	20
1.5 Marco teórico	20
1.5.1 Mecanismos Articulados	20
1.5.2 Pantógrafo.....	20
1.5.3 Tipos y Aplicaciones Industriales del Mecanismo	21
1.5.4 Movimientos del Mecanismo	22
1.5.5 Procesos de Corte	22
1.5.6 Factores que afectan el corte de metales	23
1.5.7 Corte por plasma	23
1.5.8 Equipo de corte por plasma	24
1.5.9 Parámetros de Corte por Plasma.....	25
1.5.10 Aplicaciones de corte por plasma	26
1.5.11 Oxicorte	26
1.5.12 Equipo de Oxicorte.....	27
1.5.13 Parámetros del Proceso de Oxicorte.....	28
1.5.14 Aplicaciones del Oxicorte	29
1.5.15 Comparación entre métodos de corte	30
Capítulo 2.....	31
2. Metodología	32
2.1 Proceso de Diseño	32

2.2	Requerimientos del Laboratorio de Soldadura	33
2.3	Alternativas de Solución.....	33
2.3.1	Alternativa 1	33
2.3.2	Alternativa 2	34
2.3.3	Alternativa 3	35
2.4	Matriz de Decisión.....	35
2.4.1	Factores de Influencia	35
2.4.2	Tabla de Calificación	36
2.4.3	Matriz de decisión- Factores	36
2.4.4	Matriz de decisión- Alternativa.....	37
2.5	Diseño y modelado	40
2.5.1	Diseño de la mesa de trabajo	42
2.5.2	Diseño de los ejes laterales.....	43
2.5.3	Diseño del eje principal	44
2.5.4	Diseño del portaherramientas	44
2.5.5	Diseño Preliminar- Ensamble	45
2.6	Funcionalidad.....	46
2.7	Análisis Estructural.....	49
2.7.1	Análisis Estático	49
2.7.2	Análisis de falla.....	55
2.7.3	Selección de rodamientos.....	56
Capítulo 3	57
3. Resultados y análisis.....		58
3.1	Estructura	58
3.2	Rodamientos	64
3.3	Pruebas Experimentales.....	65
3.4	Costo.....	71

3.5	Análisis de resultados.....	72
Capítulo 4.....		74
4.1	Conclusiones y recomendaciones	75
4.1.1	<i>Conclusiones</i>	75
4.1.2	<i>Recomendaciones</i>	76
Referencias		77
Apéndice A.....		79
Cálculos		80
Análisis de falla.....		91
Selección de rodamientos		93
Manual de uso del mecanismo para equipos de plasma y oxicorte.....		94

Abreviaturas

ASTM American Society for Testing and Materials

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

HW Hiwin

Simbología

in	pulgadas
mm	milímetro
MPa	Megapascal
N	Newton
Nm	Newton metro

Índice de figuras

Figura 1.....	21
Figura 2.....	24
Figura 3.....	27
Figura 4.....	28
Figura 5.....	32
Figura 6.....	34
Figura 7.....	34
Figura 8.....	35
Figura 9.....	37
Figura 10.....	39
Figura 11.....	40
Figura 12.....	41
Figura 13.....	42
Figura 14.....	43
Figura 15.....	44
Figura 16.....	45
Figura 17.....	45
Figura 18.....	47
Figura 19.....	47
Figura 20.....	48
Figura 21.....	48
Figura 22.....	50
Figura 23.....	51
Figura 24.....	52
Figura 25.....	53
Figura 26.....	53
Figura 27.....	54
Figura 28.....	55
Figura 29.....	60
Figura 30.....	60
Figura 31.....	61
Figura 32.....	62

Figura 33	62
Figura 34	63
Figura 35	64
Figura 36	65
Figura 37	67
Figura 38	69
Figura 39	69
Figura 40	70
Figura 41	70

Índice de tablas

Tabla 1.	25
Tabla 2.	26
Tabla 3.	29
Tabla 4.	30
Tabla 5.	35
Tabla 6.	36
Tabla 7.	36
Tabla 8.	37
Tabla 9.	38
Tabla 10.	38
Tabla 11.	38
Tabla 12.	39
Tabla 13.	39
Tabla 14.	41
Tabla 15.	58
Tabla 16.	58
Tabla 17.	59
Tabla 18.	63
Tabla 19.	64
Tabla 20.	66
Tabla 21.	66

Tabla 22.	68
Tabla 23.	68
Tabla 24.	71

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Estructura de la mesa de trabajo y corte
- PLANO 2 Carril principal
- PLANO 3 Carril secundario
- PLANO 4 Rodamiento Lineal
- PLANO 5 Porta-antorcha
- PLANO 6 Mecanismo Articulado

Capítulo 1

1.1 Introducción

El corte de piezas metálicas es una operación fundamental en la industria metalúrgica, desde la elaboración de pequeñas piezas a estructuras mucho más complejas, los constantes cambios dentro de procesos de mecanizado donde inicialmente se utilizaban sierras o cizallas para realizar cortes que aunque útiles presentaban limitaciones como la velocidad, se empezaron a introducir cortes térmicos como el plasma y oxicorte permitiendo trabajar con materiales más resistentes con distintas propiedades y espesores, estos procesos que aunque no tan modernos siguen siendo vigentes debido a su gran eficacia en el mecanizado de diversos tipos de metales, en especial en trabajos donde se requiere alta precisión y adaptabilidad a distintos espesores.

Estas técnicas no solo dependen del equipo de corte sino también de la habilidad del operador al manipularlo, el diseño un mecanismo articulado que permita realizar cortes precisos y repetibles representa una gran ventaja para mejorar la eficiencia y calidad en proceso de manufactura ya que permite además la duplicación de formas, esencial para reproducir patrones complejos o cortes personalizados, que a diferencia de la operación manual el usuario tiene un mayor control sobre el movimiento y posicionamiento de la antorcha. En aplicaciones industriales estos mecanismos son capaces de trabajar en conjunto con equipos de corte como plasma y oxicorte lo que convierte a este mecanismo una herramienta versátil y adaptable en distintos entornos.

La operación de equipos de corte térmico genera riesgos potenciales tanto para el operador como el entorno debido al contacto con altas temperatura, presencia de gases y chispas, al contar con un mecanismo el usuario mantiene una distancia segura del proceso de corte y minimiza el contacto directo, con esto se pretende contribuir con el desarrollo de herramientas eficientes que optimicen los tiempos de producción y mejoren la precisión de corte garantizando un entorno seguro y controlado para los estudiantes, teniendo un espacio físico adecuado para realizar prácticas que impliquen diseño y fabricación de piezas.

1.2 Descripción del Problema

Las actividades de investigación y formación académica de estudiantes se encuentran limitadas por falta de espacios físicos adecuados con mecanismos articulados que permitan realizar operaciones de corte de metales con equipos de plasma y de oxicorte de manera eficaz y segura, lo que restringe el acceso a prácticas que involucren procesos de manufactura de alta precisión; importantes para el desarrollo de competencias como diseño, fabricación y optimización de componentes mecánicos. Esta situación en definitiva limita que los estudiantes adquieran habilidades técnicas que luego son requeridas por la industria y restringe el potencial de actividades investigativas que afecta la capacidad de generar innovaciones tecnológicas en el campo de la manufactura.

1.3 Justificación del Problema

El laboratorio de Soldadura de la FIMCP, al no contar con mecanismos apropiados para corte de metales está limitado en el desarrollo de habilidades prácticas para los estudiantes, lo que restringe las oportunidades de capacitación técnica y de investigación aplicada en áreas como metalurgia y manufactura. El diseño del mecanismo articulado proporciona una herramienta que facilita la enseñanza de técnicas de corte asistido manual lo que presenta una opción económica y viable para reducir tiempos de proceso y mejorar la precisión en el maquinado de piezas reduciendo costos operativos y aumentando la productividad.

Por otra parte, este proyecto cumpliría con alcanzar los objetivos de desarrollo socioeconómico que menciona: garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanentes para todos ya que el laboratorio de soldadura de FIMCP se transforma en un espacio más completo y funcional al incorporar equipos que permitan realizar prácticas con herramientas adecuadas fortaleciendo el aprendizaje práctico. Otro objetivo por cumplir es: construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación, porque permite que el laboratorio cuente con

herramientas accesibles y funcionales que mejoren el aprendizaje en técnicas de corte, fomentando la innovación al crear espacios para investigación o aplicaciones tecnológicas.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un mecanismo articulado para el corte de piezas metálicas utilizando equipos de plasma y oxicorte, optimizando el uso de recursos y eficiencia en el proceso de corte.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Diseñar la estructura mecánica del mecanismo, incluyendo sistemas de sujeción y guías permitiendo un corte preciso de piezas metálicas.
2. Integrar los equipos de corte de plasma y oxicorte, configurando parámetros de operación adecuados.
3. Realizar pruebas experimentales para reducción de tiempos de procesos; uniformidad y precisión durante el corte del material.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Mecanismos Articulados

Un mecanismo articulado es un sistema mecánico que consiste en barra rígidas que se unen mediante ejes o articulaciones en sus extremos a lo largo de la barra lo que permiten libertad de movimiento, estas articulaciones permiten pivotar o deslizar las barras entre sí, es decir consiste en la combinación de cuerpos resistentes conectados por medio de articulaciones móviles para formar una cadena cinemática cerrada con un eslabón fijo cuyo propósito es transformar el movimiento. (Manzano Mozo et. Al, 2017).

1.5.2 Pantógrafo

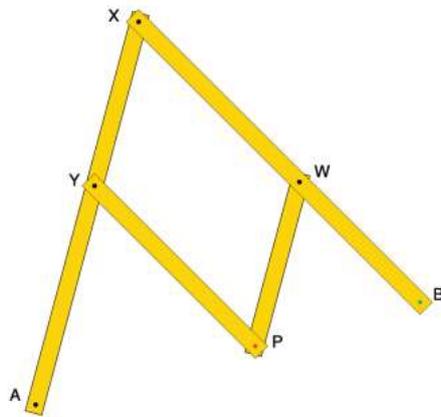
El pantógrafo es un mecanismo articulado formado por cuatro varillas conectadas que forman un paralelogramo, permite duplicar o escalar, implementándose como herramienta de

dibujo para copiar ilustraciones, este instrumento fue inventado en 1603 por el físico matemático Christofer Scheiner, quien manipulando unas varillas de madera y clavos se percató de la homotecia, un esquema básico de un pantógrafo se puede observar en la figura 1.

En la industria estos mecanismos se utilizan en gatos hidráulicos, en la construcción de edificios, talleres, fabricación de piezas y componentes de precisión, operaciones de trazado y mecanizado, estos equipos por lo regular constan de dos juegos de barras paralelas: un brazo rígido que se encuentra fijado a la base mientras que el brazo móvil puede moverse de manera controlado según lo requiera el operador (Metalúrgica Daniele, 2023)

Figura 1.

Esquema de un pantógrafo



Nota. En el extremo A denominado pivote de la varilla mayor es fijo, los demás pueden moverse libremente, en el punto de articulación P de la varilla corta se coloca una guía y en el extremo de la varilla larga B se coloca otro lápiz o instrumento que replica los movimientos del punto P.

1.5.3 Tipos y Aplicaciones Industriales del Mecanismo

Manuales: Utilizados en aplicaciones donde el operario guía de manera manual el corte, adecuado para trabajos de baja complejidad.

CNC: Equipados con sistemas de control numérico computarizado, estos permiten cortes automáticos y repetitivos con alta precisión, ideal para producción en serie.

Con equipos de corte: Integrados con fuentes de corte por plasma u oxicorte que permiten trabajar en metales de distintos espesores desde placas finas y gruesas.

1.5.4 Movimientos del Mecanismo

Estos mecanismos cuentan con diferentes grados de libertad lo que permite movimientos precisos en múltiples direcciones, tienen libertad de movimiento en los ejes X(horizontal), Y (vertical) y Z (altura) al momento de cortar o mecanizar materiales de forma tridimensional. La precisión en el corte también dependerá de la estabilidad de los brazos articulados, el tipo de material a cortar y el tipo de equipo a utilizar como plasma u oxicorte, los movimientos bruscos o vibraciones puede afectar la precisión, la calibración del mecanismo es crucial para mantener la precisión en el duplicado de piezas.

1.5.5 Procesos de Corte

Dentro de la industria los procesos de corte resultan fundamentales para el mecanizado de piezas, los cuales deben cumplir con estándares y requisitos para ser implementados, las técnicas para separar, dar forma o perforar materiales son muy diversas, cada una adaptadas a las necesidades o aplicaciones específicas, los procesos tradicionales de mecanizado emplean herramientas de corte afiladas para darle forma al material donde se aplican métodos por abrasión con o sin arranque de viruta.

Existen procesos no convencionales denominado proceso de corte por chorro, donde la herramienta se sitúa en dirección perpendicular a la superficie del metal, el chorro incide en esta dirección y realiza el corte, cuando la separación del material se debe a efectos de altas temperaturas localizadas sobre un área determinada se conoce como corte por chorro térmico como el oxicorte, plasma, laser, corte por haz de electrones. (Cuesta et. Al, 2002)

1.5.6 Factores que afectan el corte de metales

La precisión es indispensable en la industria metalmeccánica, donde la producción de componentes de alta calidad depende de las herramientas de corte no obstante existen diferentes aspectos que necesitan ser considerados para el corte de materiales.

Material: Existen múltiples tipos de metales y aleaciones que poseen diferentes propiedades como dureza, ductilidad y conductividad térmica, que afectan directamente al proceso, para materiales con mayor dureza se requieren técnicas de corte potentes como el plasma.

Espesor: Dependiendo del grosor del material se elige el proceso de corte adecuado, para materiales delgados se puede optar por cortes mediante plasma mientras que para materiales con mayor espesor el oxicorte.

Calidad de la superficie: La calidad de la superficie que se desea obtener después del corte afecta el proceso, mientras unos realizan acabados suaves y precisos, otros presentan bordes rugosos donde es necesario realizar procesos adicionales para mejorar la calidad de la superficie.

Velocidad de corte: Al realizar una velocidad de corte elevada puede reducir la precisión y crear deformaciones en el metal debido al calor, por lo contrario, una velocidad baja, aunque mejora la precisión y calidad del acabado puede conllevar un mayor tiempo de producción.

1.5.7 Corte por plasma

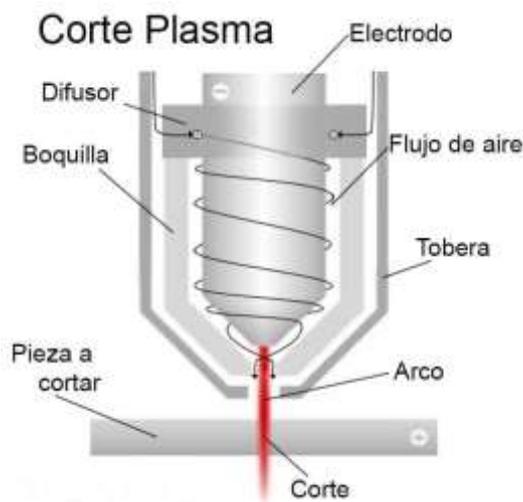
El corte por plasma consiste en elevar la temperatura del material a cortar de manera localizada y por encima de los 30.000°C, transformado el gas en plasma donde los electrones se disocian del átomo y el gas se ioniza. Se inicia un arco eléctrico a través de la boquilla de soplete, donde se concentra la energía cinética del gas, ionizándolo y por polaridad adquiriendo la propiedad de cortar (figura 2). Este tipo de corte es un proceso de fusión, donde se usa un chorro de gas para fundir y expulsar el material del área de trabajo, durante el proceso se quema el arco eléctrico entre un electrodo como cátodo y una pieza de trabajo como ánodo (Portal Gallardo et. Al, 2004)

Este proceso produce menos tiempos muertos ya que el corte es prácticamente instantáneo ya que no necesita precalentamiento, además produce una deformación mínima de la pieza lo que permite alcanzar altas velocidades de corte.

Es necesario considerar las variables dentro del proceso como el gas, caudal, presión, la distancia de la boquilla y la pieza, velocidad de corte y energía empleada o intensidad del arco, las cuales se ajustan dependiendo del equipo a utilizar y las características de la pieza a cortar.

Figura 2.

Corte por plasma



Nota. La figura muestra el esquema básico de un sistema de corte por plasma.

1.5.8 Equipo de corte por plasma

Consiste en un equipo digital, capaz de cortar metales como el acero con bajo contenido de carbono, acero inoxidable, aluminio, etc. puede alcanzar cortes con un espesor de 20 mm y perforaciones de 12mm, utiliza una tecnología de inversor de fuente de alimentación conmutada con componentes IGBT, que permite tener una mejor eficiencia energética, reduce el tamaño y peso del equipo, mejora el rendimiento y elimina la contaminación acústica (Torres Peñaloza, 2020).

Componentes principales del equipo de cortadora de plasma:

- Fuente de energía: Aplicar la corriente eléctrica necesaria para generar el arco de plasma.

- Antorcha de corte: Conducto donde pasa el gas y se genera el arco, en este se incluye la boquilla y el electrodo.
- Compresor de aire: Suministra el gas necesario para el proceso.
- Unidad de Control: Permite ajustar los parámetros de corte, como la corriente y presión del gas.

1.5.9 Parámetros de Corte por Plasma

Es importante conocer los diferentes parámetros de corte por plasma ya que impactan en la calidad de corte, eficiencia del proceso y la vida útil del equipo. Algunos parámetros claves se mencionan a continuación en las tablas 1 y 2.

Tabla 1.

Parámetros Técnicos Generales del equipo de plasma

Voltaje de entrada	230V
Frecuencia	50/60
Factor de Potencia	0,93
Potencia máxima de entrada	8,6 kVA
Corriente de corte	10-45A
Corriente máxima de entrada	37,6 A
Voltaje sin carga	267 V
Voltaje de salida (con carga)	88-100V
Requisito de aire	0,5 MPa
Espesor máximo de corte	20mm
Espesor de calidad	10-12mm
Presión de la válvula de trabajo	0.-1 MPa

Nota. La tabla muestra los parámetros técnicos generales del equipo de corte de plasma CUT MC 45.

Tabla 2.

Velocidad de corte (m/min) cuando la corriente de corte es de 50 A.

Espesor de corte (mm)	0.1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acero Suave		8		1,5			0,4			
Acero Galvanizado		8		1,5			0,4			
Acero Inoxidable		8		1,5			0,4			
Aluminio		8		1,5						
Latón		0,75								
Cobre Rojo		0,75								

Nota. La tabla muestra el material de trabajo, la fila superior índice los espesores en milímetros mientras que la demás información indica la velocidad de corte en m/min (**Tapia Burbano & Silva Hinojosa, 2022**).

1.5.10 Aplicaciones de corte por plasma

Es ideal para trabajar con acero, aluminio y otros metales conductores, altamente efectiva en una amplia gama de materiales metálicos, pero existen limitaciones en materiales no conductores esto depende de la conductividad eléctrica del material para generar el arco de plasma necesario para cortar, en ciertas aleaciones especiales o materiales refractarios pueden presentar desafíos por su características de conductividad eléctrica o resistencia del calor, es importante tomar en cuenta que el plasma puede provocar imperfecciones y aumentarlas si no se utiliza correctamente, las variaciones como altura del soplete o velocidad de corte afectan el resultado final del proceso.

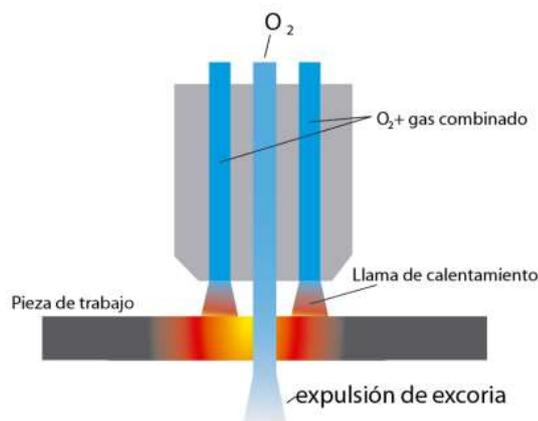
1.5.11 Oxicorte

El proceso de oxicorte es un procedimiento utilizado para cortar con oxiacetileno, por medio de un chorro a presión de oxígeno puro sobre el material precalentado, esta operación se basa en la reacción exotérmica de la oxidación del hierro en presencia de oxígeno, transformándolo

en óxido férrico (Fe_2O_3) que se derrite en forma de chispas al ser su temperatura de fusión inferior a la del acero, continuando la combustión por la reacción de oxidación, por lo que es necesario que la reacción de oxidación sea exotérmica y que el óxido formado tenga una temperatura de fusión inferior a la del metal (Escuela Industrial Superior de Valparaíso, 2020). El material se calienta a una temperatura aproximada de unos 900°C , con la llama producida por el oxígeno y un gas combustible como el acetileno, se produce la inyección de un chorro de oxígeno puro a presión a fin de causar la oxidación necesaria para el corte, con la misma presión produce la expulsión generando una ranura de corte (figura 3), el soplete se mueve sea este de manera manual o por una máquina a cierta velocidad, este parámetro dependerá del espesor que se requiere cortar, la presión del gas y el tipo de soplete.

Figura 3.

Esquema del proceso de oxicorte



Nota. La figura muestra el esquema del proceso de oxicorte mediante la combinación de gas combustible y oxígeno (Salazar Meneses, 2020).

1.5.12 Equipo de Oxicorte

El equipo de oxicorte está compuesto por dos cilindros de gases comprimidos a alta presión y muy inflamables, también son necesarios otros implementos como: manorreductores, mangueras, encendedor, sopletes y válvulas antirretroceso.

Los manorreductores transforman la presión del cilindro de unas 150 atm a una presión de trabajo de 0,1 a 10 atm de manera constante. El soplete requiere de dos conductos, uno por el que circula el gas combustible y una para el corte, en este se efectúa la mezcla de gases, se compone de dos conexiones con las mangueras, llaves de regulación, el inyector, la cámara de mezcla y la boquilla que dependerá el espesor del material a cortar, estos componentes se pueden observar en la figura 4. Por su parte las válvulas antirretroceso son dispositivos de seguridad instalados en las conducciones que permite el paso del gas en un solo sentido.

Figura 4.

Equipo de oxicorte



Nota. La figura muestra el equipo de oxicorte junto con las válvulas antirretorno, mangueras, antorchas de corte, cilindros, etc.

1.5.13 Parámetros del Proceso de Oxicorte

Los parámetros dentro del proceso de oxicorte son cruciales para garantizar la eficiencia, calidad y seguridad del proceso, estos parámetros impactan directamente en el rendimiento (tabla 3).

Tabla 3.*Valores recomendados para Oxicorte*

Espesor (mm)	Diámetro boquilla (mm)	Presiones O ₂ en el soplete (bar)	Velocidad de corte (m/h)
5	0,6	1,5	20
8	0,8	1,5	17
10	1	1,5	15
15	1	2	12
20	1	2,5	11,05
25	1,5	2,5	10
30	1,5	2,5	9,5
40	2	3	8,5
50	2	3,5	7
75	2	4	5,5
100	2,5	4	4,5

Nota. La tabla muestra diferentes parámetros de corte a considerar dependiendo del espesor del material a corte como el diámetro de la boquilla, presiones de oxígeno y velocidad de corte (Cuesta et. Al, 2002).

1.5.14 Aplicaciones del Oxicorte

No todos los metales pueden cortarse por oxicorte, los aceros al carbono y los de baja aleación son los más aplicables para este proceso, mientras que las fundiciones o los aceros inoxidables no, el aluminio es otro material que no puede ser utilizado en este proceso ya que el óxido producido tiene una temperatura de fusión de 1000°C que es superior a la temperatura de fusión del aluminio de 660°C (Escuela Industrial Superior de Valparaíso, 2020). Este proceso es ideal para corte de metales gruesos ofreciendo cortes limpios y eficientes, es adecuado para

procesos especializados como ranurado sin embargo es más lento que otros métodos de corte y pueden producir bordes más ásperos en el metal cortado.

1.5.15 Comparación entre métodos de corte

Una comparación entre estos métodos ayuda a comprender de mejor manera las diferencias y principales características, en la tabla 4 se detallan estos aspectos.

Tabla 4.

Principales características y diferencias entre métodos de corte.

Aspecto	Plasma	Oxicorte
Principio de funcionamiento	Arco eléctrico para ionizar un gas generando plasma.	Combinación de oxígeno y acetileno que provoca una reacción exotérmica.
Temperatura	Hasta 30,000°C	Alrededor de los 3,500°C
Materiales	Materiales conductores como el acero, aluminio, cobre, acero inoxidable, etc.	Materiales como acero al carbono o ferrosos ya que requieren oxidación.
Espesor	Dependiendo el equipo hasta los 50 mm	Espesores superiores a 50 mm, según el tamaño de la boquilla.
Velocidad de Corte	Rápida en materiales delgados	Mas lenta con espesores delgados
Precisión de Corte	Alta precisión y mejor calidad en los bordes	Precisión media, bordes rugosos.
Costos operativos	Consumibles como boquillas y electrodos, uso de energía eléctrica	Combustible como el acetileno y oxígeno, boquillas y válvulas.
Seguridad	Protección visual contra la radiación, chispas, etc.	Riegos de explosiones por el manejo de gases combustibles.
Versatilidad	Ideal para cortes complejos y precisos.	Ideal para trabajos de campo y corte de materiales gruesos
Parámetros claves	Flujo y tipo de gas Intensidad de corriente Velocidad de avance	Presiones de gases Distancia de la boquilla al material Velocidad de avance.

Capítulo 2

2. Metodología

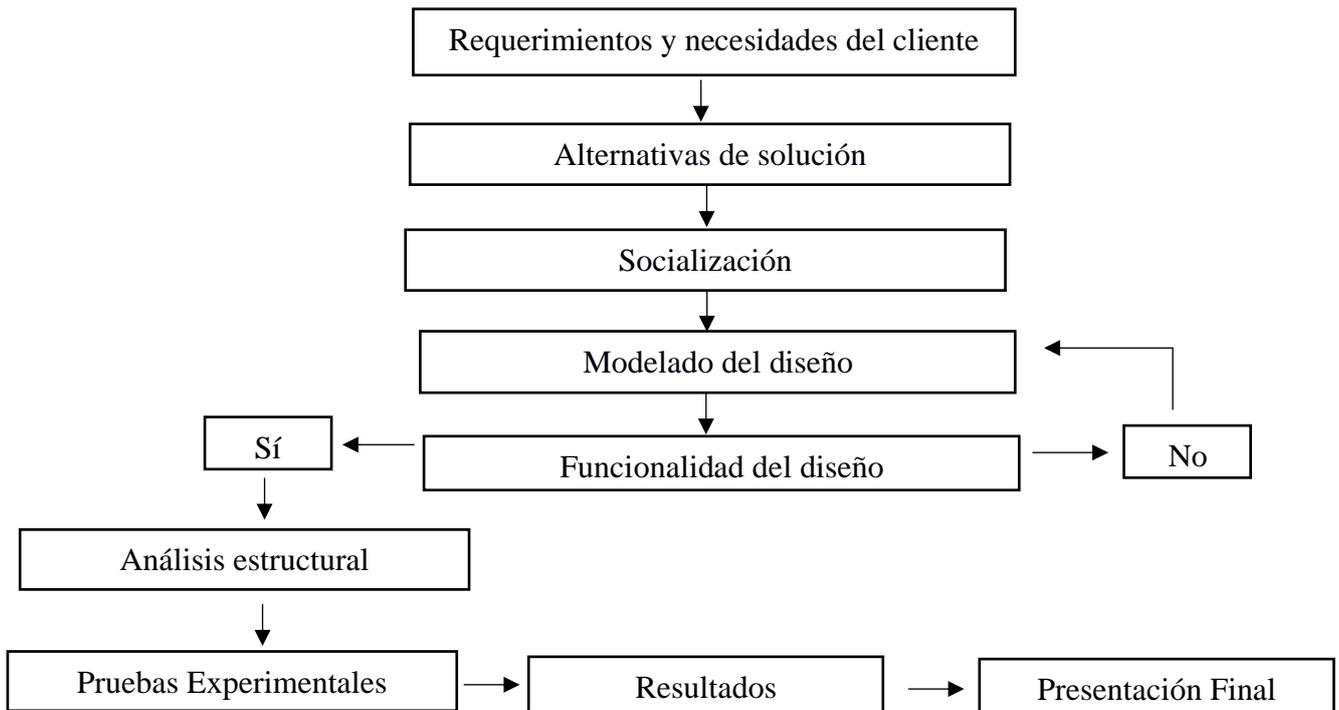
Para el diseño de un mecanismo articulado es necesario entender los requisitos y especificaciones para establecer las necesidades técnicas del proyecto, evaluando diferentes alternativas de solución y escogiendo la más adecuada, además se desarrolla un modelo cinemático para simular los movimientos y las fuerzas que actúan sobre el mecanismo, se eligen el material considerando el peso y temperaturas de operación ofreciendo una relación óptima entre resistencia y peso, se integran las antorchas de los equipos de corte de plasma y oxiacorte para posteriormente realizar pruebas de funcionamiento y precisión con distintos materiales.

2.1 Proceso de Diseño

Para el desarrollo del proyecto se plantea un diagrama del proceso para el diseño. En la figura 5 se presenta dicha información.

Figura 5

Diagrama de flujo del diseño



2.2 Requerimientos del Laboratorio de Soldadura

Se plantean las especificaciones establecidas por el cliente para generar posibles soluciones que satisfagan las necesidades del proyecto.

Precisión de corte: El mecanismo debe realizar cortes precisos siguiendo la guía o modelo lo que implica un mecanismo estable y control preciso de movimientos.

Adaptabilidad: Capacidad de cortar diferentes tipos de metales, por lo que necesita ser adaptable tanto para una antorcha de plasma como para oxicorte.

Dimensiones: La estructura debe tener un tamaño de máximo 3 metros de largo y 1 metros de ancho espacio disponible dentro de las instalaciones del taller de soldadura.

Seguridad: El operador debe guiar la antorcha a una distancia segura teniendo el mínimo de contacto directo con elevadas temperaturas.

Funcionalidad: El equipo debe ser de uso intuitivo, sencillo de operar y de bajo mantenimiento.

2.3 Alternativas de Solución

En esta sección se presentan tres posibles soluciones que se adaptan a las especificaciones del cliente, las propuestas se basan en el principio de diseño de un pantógrafo o duplicador, donde mediante una guía o palpador permite copiar diferentes formas, consiste en un mecanismo articulado basado en paralelogramos de modo que moviendo el palpador en un extremo replica el movimiento en el otro permitiendo el corte del metal según la guía que proporcione el operador.

2.3.1 Alternativa 1

Esta alternativa permite realizar el duplicado de formas mediante una estructura igual a la de un pantógrafo para dibujo permitiendo movimientos sin restricciones en el eje X y Y, manteniéndose fijo en el eje Z, en un extremo se ubica el palpador mientras que en el otro la porta antorcha, ideal para duplicar cualquier forma o figura.

Figura 6

Pantógrafo para dibujo



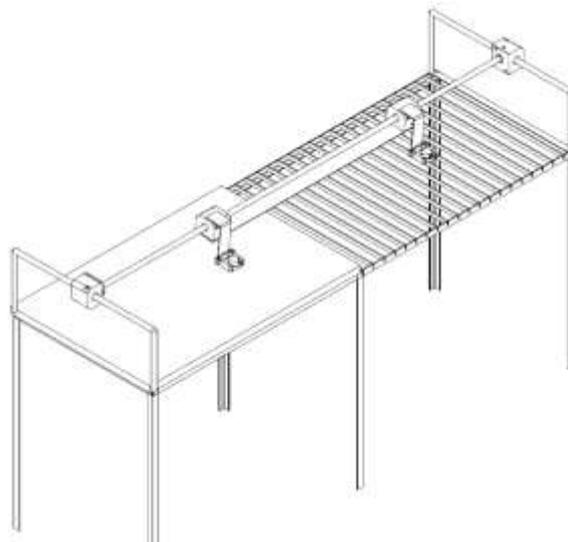
Nota. La figura muestra un mecanismo de cuatro barras conectadas mediante articulaciones que permiten el movimiento, su función es amplificar o replicar movimiento de manera precisa.

2.3.2 Alternativa 2

Estructura acoplada a una mesa de trabajo con una sección para corte y otra de guía, con ejes verticales que permite el desplazamiento en el eje Y, un eje principal para desplazamiento en X junto con un palpador y porta antorcha, ideal para cortes rectos.

Figura 7.

Diseño preliminar de mecanismo articulado acoplado a mesa de trabajo



Nota. La figura muestra una estructura para corte de metales donde se presentan guías lineales en los ejes X y Y que permiten movimientos controlados.

2.3.3 Alternativa 3

Estructura con un eje principal de manera horizontal para el movimiento lateral de palpador y la porta antorcha, permite realizar movimientos controlados en distintas direcciones, no posee restricciones en el eje Z no obstante el ajuste de altura no es preciso.

Figura 8

Mecanismo para duplicado de formas



Nota. La figura muestra una estructura mecánica manual adaptada a una herramienta de corte, para grabados o cortes de diferentes materiales.

2.4 Matriz de Decisión

2.4.1 Factores de Influencia

Se plantean criterios de selección para elegir la alternativa que más se ajuste a las necesidades del cliente.

Tabla 5.

Especificaciones requeridas por el cliente.

Factor	Requerimiento
Precisión	Cortes precisos
Adaptabilidad	Adaptable para antorchas de oxicorte y plasma
Dimensiones	Aproximadamente 1m de ancho y 3m de largo
Seguridad	Minimizar el contacto directo con altas temperaturas
Funcionalidad	Sencillo de operar y poco mantenimiento

2.4.2 Tabla de Calificación

Se establecen valores para calificar y evaluar las opciones para la toma de decisiones, clasificándola de menos importante a más importante.

Tabla 6.

Ponderaciones

Menos Importante	1
Importante	2
Mas importante	3

Nota. Si el factor de influencia es igual que importante que otro se otorga una calificación de 2.

2.4.3 Matriz de decisión- Factores

Mediante la matriz se determina que factor tiene mayor importancia que el otro determinando así una ponderación o peso que ayuda enfocar el análisis y definir prioridades.

Tabla 7.

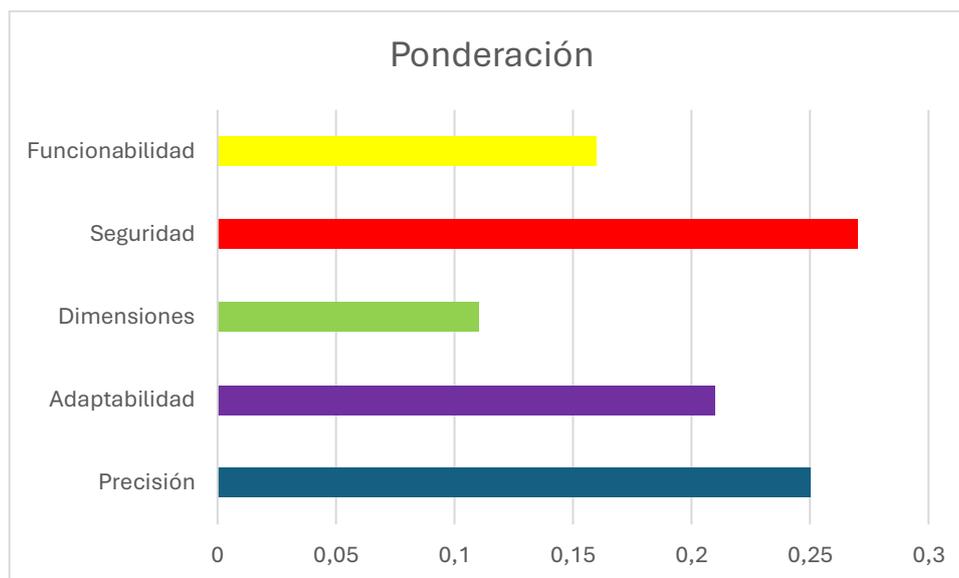
Matriz de decisión de factores de influencia.

	Precisión	Adaptabilidad	Dimensiones	Seguridad	Funcionabilidad	Total	Ponderación
Precisión	-	3	3	2	3	11	0,25
Adaptabilidad	2	-	3	2	2	9	0,21
Dimensiones	1	2	-	1	1	5	0,11
Seguridad	3	3	3	-	3	12	0,27
Funcionalidad	2	1	2	2	-	7	0,16
Total						44	1

Nota. Se obtienen que el factor más importante a considerar es la seguridad, seguido de la precisión y adaptabilidad.

Figura 9.

Ponderaciones determinadas



Nota. Se obtienen que el factor más importante a considerar es la seguridad, seguido de la precisión y adaptabilidad.

Se analizan las alternativas de posibles soluciones frente a los factores de influencia.

Tabla 8.

Matriz de alternativas respecto a la seguridad

Seguridad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Total	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	2	0,18
Alternativa 2	3	-	2	5	0,46
Alternativa 3	2	2	-	4	0,36
Total				11	1
Alternativa 2 > Alternativa 3 > Alternativa 1					

Nota. Se obtienen que la alternativa 2 es la más indicada respecto a seguridad

Tabla 9.*Matriz de alternativas respecto a la precisión.*

Precisión	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Total	Ponderación
Alternativa 1	-	1	2	3	0,21
Alternativa 2	3	-	3	6	0,43
Alternativa 3	3	2	-	5	0,36
Total				14	1
Alternativa 2>Alternativa 3>Alternativa 1					

Nota. Se obtienen que la alternativa 2 es la más indicada respecto a la precisión

Tabla 10.*Matriz de alternativas respecto a la adaptabilidad*

Adaptabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Total	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	2	0,15
Alternativa 2	3	-	3	6	0,46
Alternativa 3	2	3	-	5	0,38
Total				13	1
Alternativa 2> Alternativa 3>Alternativa 1					

Nota. Se obtienen que la alternativa 2 es la más indicada respecto a la adaptabilidad

Tabla 11.*Matriz de alternativas respecto a la funcionalidad*

Funcionalidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Total	Ponderación
Alternativa 1	-	3	3	6	0,43
Alternativa 2	2	-	2	4	0,29
Alternativa 3	2	2	-	4	0,29
Total				14	1
Alternativa 1> Alternativa 2= Alternativa 3					

Nota. Se obtienen que la alternativa 1 es la más indicada respecto a la funcionalidad

Tabla 12.*Matriz de alternativas respecto al dimensionamiento*

Dimensiones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Total	Ponderación
Alternativa 1	-	2	2	4	0,4
Alternativa 2	1	-	2	3	0,3
Alternativa 3	1	2	-	3	0,3
Total				10	1
Alternativa 1 > Alternativa 2 = Alternativa 3					

Nota. Se obtienen que la alternativa 1 es la más indicada respecto a las dimensiones.

Tabla 13.*Matriz de decisión*

	Seguridad	Precisión	Adaptabilidad	Funcionabilidad	Dimensiones	Total	Prioridad
Alternativa 1	0,27(0,18)	0,25(0,21)	0,21(0,15)	0,16(0,43)	0,11(0,4)	0,2454	3
Alternativa 2	0,27(0,46)	0,25(0,43)	0,21(0,46)	0,16(0,29)	0,11(0,3)	0,7847	1
Alternativa 3	0,27(0,36)	0,25(0,36)	0,21(0,38)	0,16(0,29)	0,11(0,3)	0,3464	2

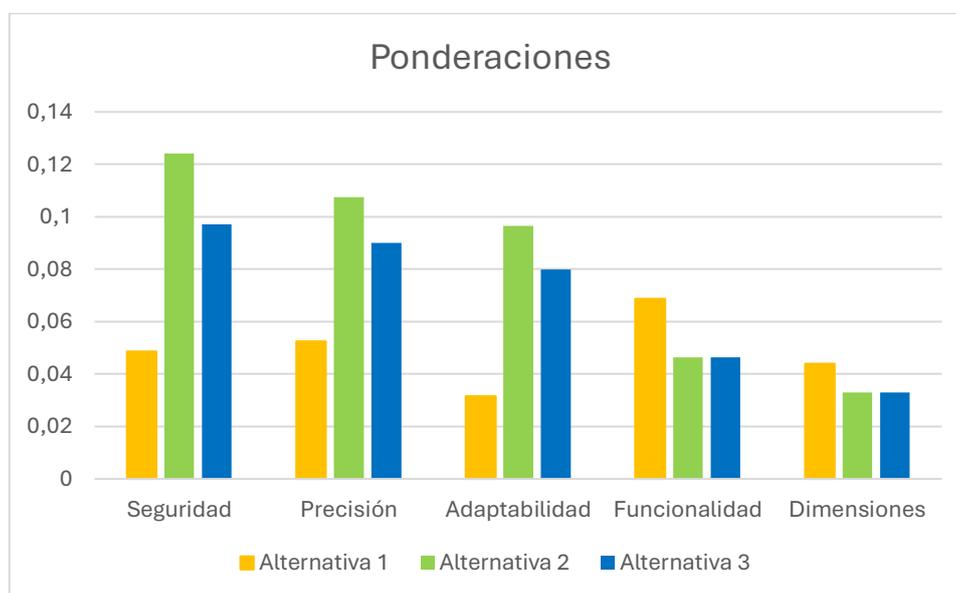
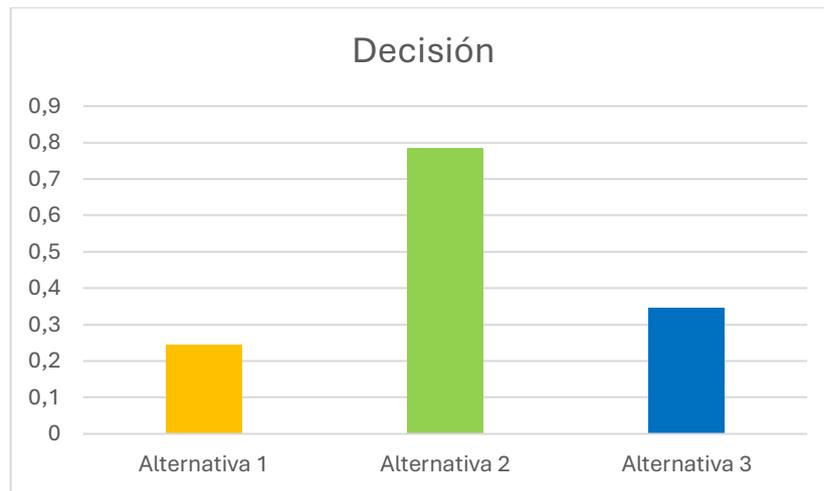
Figura 10.*Ponderaciones determinadas*

Figura 11

Decisión



Nota. La alternativa 2 establece como la mejor opción según los requerimientos del cliente

Mediante la matriz de decisión se logra determinar que la alternativa de diseño 2 es la que más se acopla a los requerimientos que solicita el cliente, obteniendo seguridad como factor principal seguido de precisión y adaptabilidad a las antorchas de los equipos de plasma y oxicorte.

2.5 Diseño y modelado

Para realizar el diseño del mecanismo articulado escogido se utiliza una plataforma de dibujo mecánico mediante el cual se realiza la elaboración de cada componente de la estructura, iniciando por la mesa de trabajo considerada con la estructura principal del mecanismo, además del eje principal donde se encontrará el palpador y porta-antorcha, ejes verticales que permiten el deslizamiento de la estructura, el diseño de la guía o diseño de porta-antorcha.

Figura 12.

Diseño preliminar de mecanismo articulado acoplado a mesa de trabajo

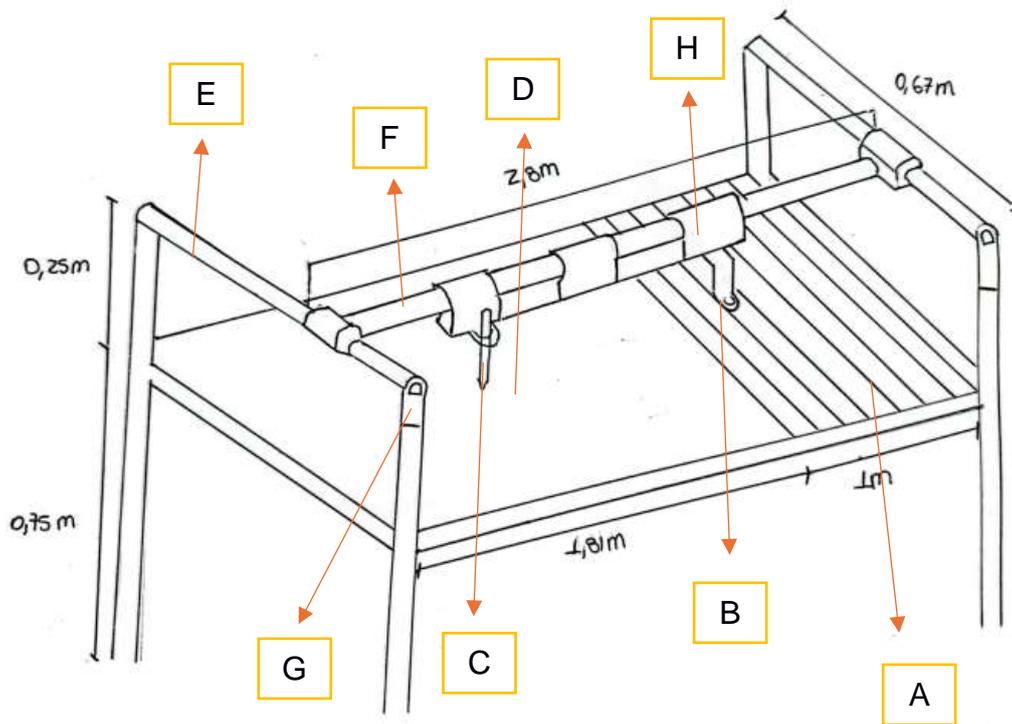


Tabla 14.

Componentes de la estructura

Asignación	Componente
A	Área de corte
B	Porta antorcha
C	Guía o palpador
D	Mesa de trabajo
E	Ejes Verticales
F	Eje Principal
G	Unión
H	Porta herramientas

Nota. Se establecen las partes principales del mecanismo a diseñar

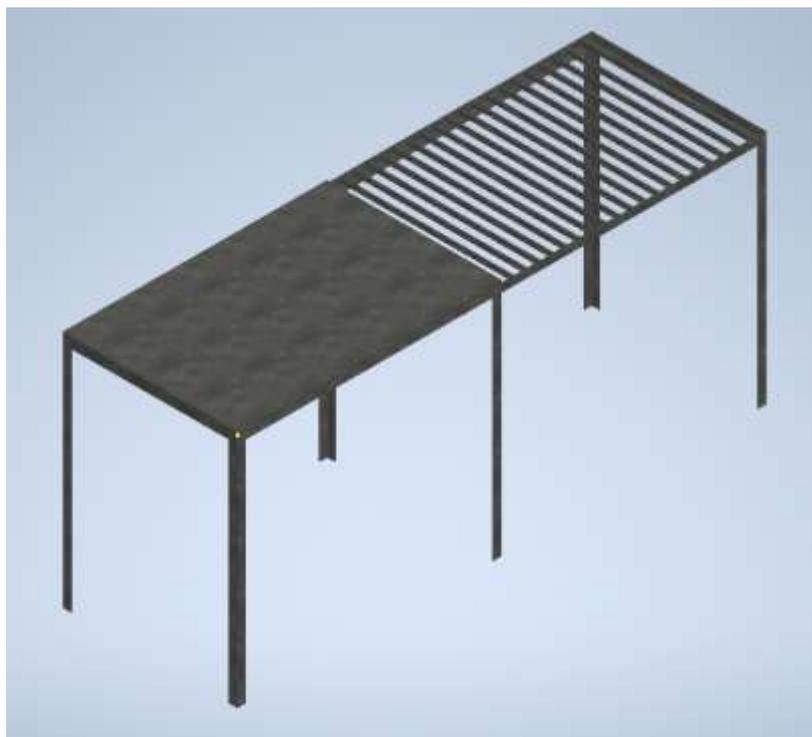
2.5.1 Diseño de la mesa de trabajo

Para realizar el diseño de la mesa es necesario tener en cuenta el espacio disponible dentro del taller, por lo que se opta por diseñar una mesa de 2 metros de largo y 0,67 metros de ancho, seccionando el área de trabajo guía donde se encuentra el palpador y la mesa de corte donde se ubica la antorcha, esta distancia es de un 1 metro de largo respectivamente tanto para el área guía como el espacio de corte, es necesario detallar que el área de corte se encuentra seccionado a manera de parrilla ideal para corte de metales.

La mesa se conforma de acero al carbono A36 laminado en caliente por su alta capacidad de carga, resistente y económico como perfiles en L de 1 1/4x3/16 para el soporte y la estructura, plancha de acero A36 de 1/4" y para el área de corte platinas de acero A36 1/4x3/4, estos materiales son analizados para determinar si son aptos para el propósito de la estructura mediante un análisis estructural.

Figura 13.

Diseño preliminar de la mesa de trabajo, área de corte y guía.



Nota. Se determina un área de trabajo guía donde se encuentra el operador y un área de corte donde se encuentra la antorcha, manteniendo una distancia segura entre el operador y el equipo.

2.5.2 Diseño de los ejes laterales

Para torres y ejes laterales que permiten el movimiento en el eje Y se dispone a realizarlo a una altura de 150 mm para facilitar el movimiento del operador, se considera paralelismo en los ejes para garantizar movimientos suaves y precisos, se encuentran a una distancia de 2 metros de separación, estos a su vez necesitan ser fijados a las torres mediante soportes o soldaduras para garantizar estabilidad.

Las torres se disponen de acero inoxidable AISI 304 de $\frac{3}{4}$ " con 3 mm de espesor igual que los ejes laterales por su resistencia mecánica y durabilidad, estos ejes precisan estar correctamente alineados y soportados de manera uniforme evitando deflexiones, para realizar el desplazamiento en Y se incluyen rodamientos lineales con soporte de tipo SCS20UU para tubos de 20 mm de diámetro, rodamientos con casquillos lineales LMUU de acero con bolas internas.

Figura 14.

Diseño preliminar de guías laterales



Nota. Los ejes deben fijarse de manera correcta mediante soportes para garantizar estabilidad.

2.5.3 Diseño del eje principal

Para el eje principal se realiza un acoplamiento desde los rodamientos lineales laterales con soportes de eje tipo SHF20 que permite sujetar firmemente el tubo o eje en la posición, para realizar el desplazamiento de manera simultánea y paralela en ambos ejes laterales. De la misma manera el eje principal se dispone de acero inoxidable AISI 304 de $\frac{3}{4}$ " con 3 mm de espesor igual que los ejes laterales, para realizar el movimiento en el eje X se incluyen dos rodamientos lineales con soporte de tipo SCS20UU para tubos de 20 mm de diámetro, rodamientos con casquillos lineales LMU de acero con bolas internas, estos se encuentran unidos en la parte inferior mediante un placa de acero inoxidable de 1 metro de largo por 0,06 m de ancho de manera tal que ambos rodamientos se puedan desplazar de manera simultanea

Figura 15.

Diseño preliminar de guía principal



2.5.4 Diseño del portaherramientas

En el eje principal es necesario colocar una estructura tanto para el palpador como para la antorcha de plasma y oxicorte de manera tal que la antorcha permite replicar los movimientos que realice el palpador, esta sujeción se encuentra en los rodamientos lineales SCS20UU en una separación de 1 metro, de tal manera que el palpador y la antorcha puedan trabajar en el área guía y el área de corte respectivamente.

Figura 16.

Diseño preliminar del portaherramientas



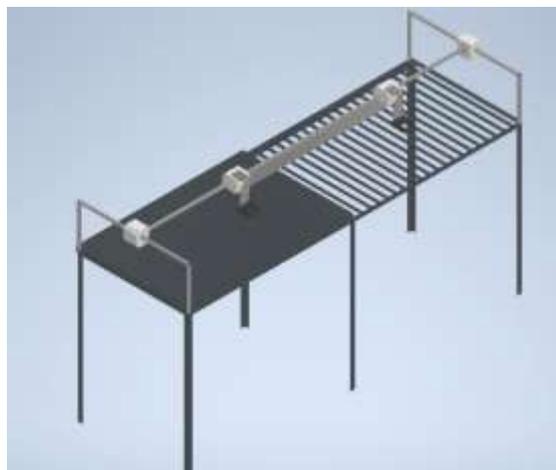
Nota. El palpador guía el movimiento mientras la antorcha lo replica, estos movimientos permiten cortes precisos tanto en el eje X como en el Y.

2.5.5 Diseño Preliminar- Ensamble

Mediante el ensamble de los componentes como la mesa de trabajo y corte, los soportes laterales, ejes longitudinales y el portaherramientas se determina el posicionamiento de las partes dentro de la estructura.

Figura 17

Diseño preliminar general



Nota. Todos los componentes del mecanismo deben estar correctamente unidas mediante soldadura o sujeciones empernadas para garantizar estabilidad.

2.6 Funcionalidad

Para comprobar la funcionalidad del diseño se realiza un prototipo que permita identificar mejoras, problemas mecánicos y ajustes necesarios, utilizando materiales disponibles en el laboratorio de soldadura, para la mesa de trabajo se utilizan y adecuan dos mesas disponibles en el laboratorio ajustando la altura deseada del mecanismo, se utilizan tubos de acero galvanizado de 1/2" para la estructura principal tanto para los ejes laterales como el eje principal al igual que las torres conectados mediante accesorios de tuberías como codos de 90° de 1/2" para conectar las torres con los ejes laterales, para reemplazar los rodamientos lineales se opta por conexiones de tubería T hembra roscada de 3/4" de esta manera al ser de mayor diámetro permite el desplazamiento deseado en el eje Y para ambos extremos, para acoplar el eje principal se utiliza acoples de 3/4" a 1/2" además se incorporan dos T hembra adicional de 3/4" para simular los dos rodamientos lineales conectados mediante una varilla roscada soldada con una separación de 1 metro de manera que permitan realizar el desplazamiento en el eje X, el mecanismo es unido a la mesa mediante sujeciones para tubos de 1/2" empernadas a la superficie de la mesa manteniéndolo fijo y estable.

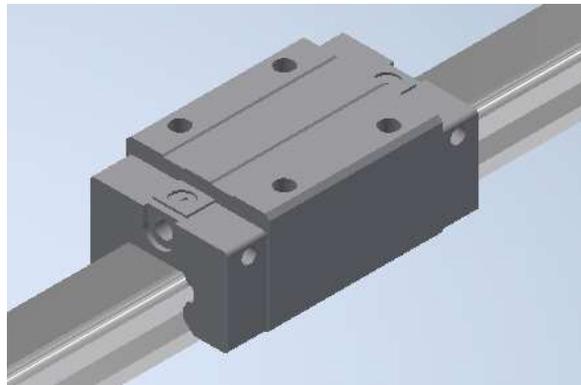
Una vez instalado la estructura se verifica los movimiento lineales en el eje X y Y, se comprueba un desplazamiento adecuado de manera independiente, no obstante debido al sistema de fijación reemplazado por una T y un acople se presenta un desplazamiento lineal no deseado, de manera que si aplico una fuerza donde se ubica el palpador este se desliza no de manera simultánea en ambos ejes, lo que dificulta el desplazamiento en esa dirección, en el eje principal se desliza de manera adecuada a lo largo de eje X, sin embargo al utilizar el accesorio T de mayor diámetro al eje y aplicar una fuerza en el eje Y este tiende a rotar en el eje lo que no permite estabilidad ni precisión en el movimiento direccionado en el eje Y.

Se plantea un rediseño utilizando HGW 25 CC Z0 H ideal para aportar precisión, velocidad y rigidez. Consiste en un sistema de guiado lineal de manera que el rodamiento deslice de manera recta y con baja fricción evitando la rotación ya que se reemplaza el eje por un nuevo sistema de

guías, para este rediseño la mesa está elaborada de los mismos materiales que en el primero, para los carriles se utiliza acero inoxidable de 1" por su alta resistencia a la corrosión y al calor, y para las torres tubos cuadrados de acero estructural de 1"x2".

Figura 18

Rodamiento lineal HGW 25 CC Z0 H



Nota. Se reemplaza los tubos circulares de los ejes laterales y eje principal por un sistema de carril y guías lineales HGW 25 CC Z0 H.

Figura 19

Rediseño del mecanismo



Una vez realizado estos cambios en el diseño se procede a realizar un nuevo prototipo, donde se incorporan los rodamientos lineales HGW 25 CC Z0, para esto es necesario fabricar los carriles mediante torno para garantizar un correcto funcionamiento, no obstante para fines experimentales y reducción de costos se realizan estos carriles de manera artesanal mediante la unión de platinas

de acero de 25mm de ancho y 3 mm de espesor, tanto para el carril principal como los laterales, las torres son reemplazadas por tubos cuadrados de 20mm y 1,2 mm de espesor, para el acople de las antorchas se fabricaron abrazaderas con mariposas de manera que ambas antorchas puedan ser puestas y retiradas de manera segura, ajustándolo al diámetro de las boquillas según sea necesario.

Figura 20.

Instalación del prototipo.



Figura 21.

Porta-antorchas



2.7 Análisis Estructural

Es necesario realizar un análisis estructural para garantizar que la estructura cumpla con su funcionalidad y durabilidad con las condiciones de trabajo establecidas, por lo que primero es necesario realizar un análisis estático para determinar el comportamiento de la estructura determinando esfuerzos y deformaciones, un análisis de falla para evaluar las condiciones cuando la estructura puede fallar debido a esfuerzos excesivos permitiendo localizar las zonas donde el material está siendo exigido y puede fallar.

2.7.1 Análisis Estático

A continuación, se presentan los diagramas de cuerpo libre del carril principal como los laterales para determinar las reacciones en los extremos, se presentan las reacciones de contacto normal entre el carril y el rodamiento lineal además de los momentos presentes, se mencionan las ecuaciones necesarias para el análisis, los cálculos detallados a partir de las ecuaciones y resultados se los encuentra en la sección de anexos.

Principales Ecuaciones

Peso

$$W = m * g \text{ EC. 1}$$

Donde:

m: masa del cuerpo en kg

g: gravedad (9,81 m/seg²)

Sumatoria de momentos:

$$\sum M_A = 0 \text{ EC. 2}$$

Sumatoria de fuerzas en el carril X:

$$\sum F_x = 0 \text{ Ec. 3}$$

No existen fuerzas aplicadas a lo largo del carril x.

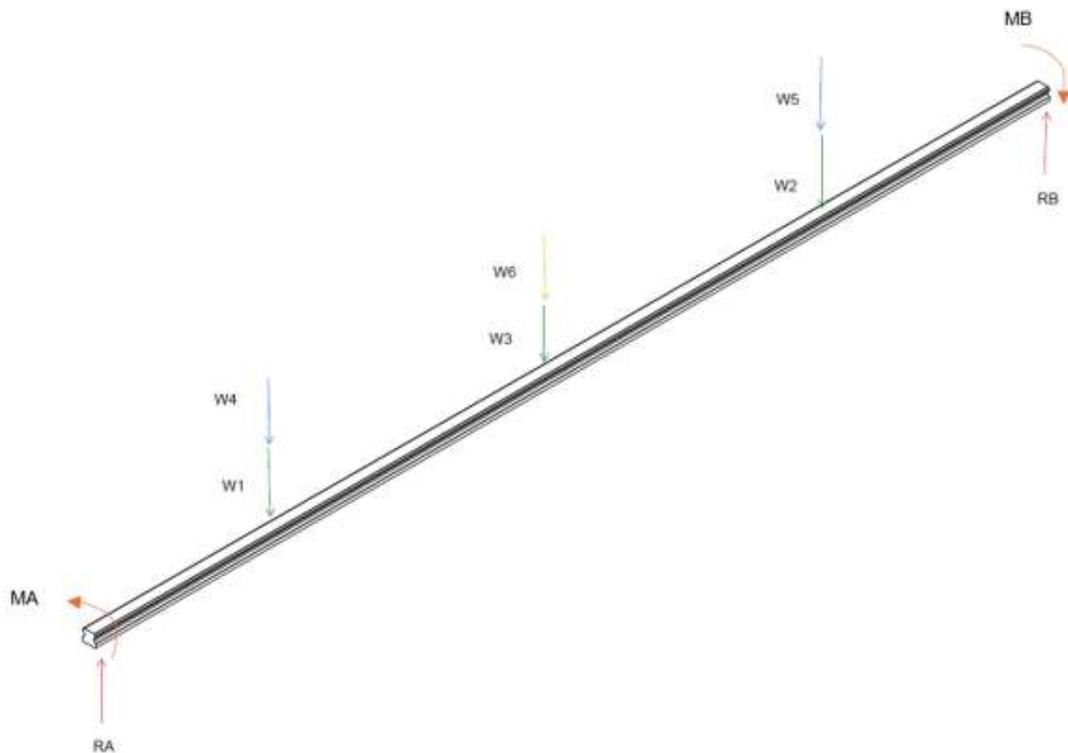
Sumatoria de fuerzas en el carril Y:

$$\sum Fy = 0 \text{ Ec. 4}$$

Diagrama de cuerpo libre del carril principal

Figura 22

Carril principal



Nota. DCL con reacciones y fuerzas aplicadas a lo largo del carril principal

Para el análisis se establecen las siguientes notaciones:

RA= Fuerza de reacción en el extremo izquierdo del carril (N).

RB= Fuerza de reacción en el extremo derecho del carril (N)

W1,2= Peso de los rodamientos lineales (N)

W3= Peso de la placa de sujeción (N)

W4= Peso del porta-palpador y palpador (N)

W5= Peso del porta-antorcha y antorcha (N)

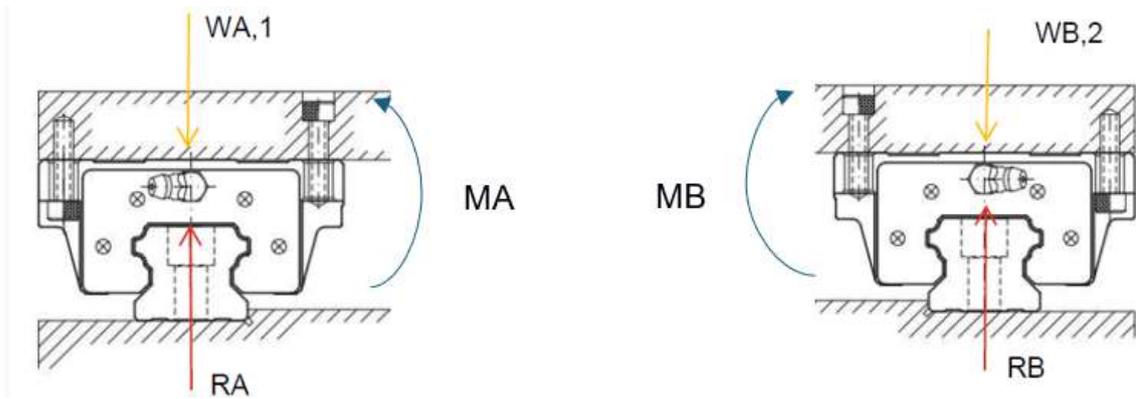
W6= Peso del carril (N)

MA= Momento en el lado izquierdo del carril (N)

MB= Momento en el lado derecho del carril (N)

Figura 23

Reacciones en los rodamientos lineales



Nota. DCL con reacciones y fuerzas en los rodamientos lineales a los extremos

MA = Momento en el extremo izquierdo del carril (N)

MB = Momento en el extremo derecho del carril (N)

$WA,1$ = Peso del rodamiento en el extremo izquierdo (N)

$WB,2$ = Peso del rodamiento en el extremo derecho (N)

RA = Fuerza de reacción en el extremo izquierdo del carril (N).

RB = Fuerza de reacción en el extremo derecho del carril (N)

A partir del sistema de ecuaciones se obtiene las respectivas reacciones y momentos para en el lado izquierdo como el derecho teniendo un resultado de $RA= 40,94N$, $RB= 48,23N$, $MA= -1,40Nm$, $MB= -1,71Nm$, el desarrollo de ecuaciones detallado se encuentra en el apartado de anexos.

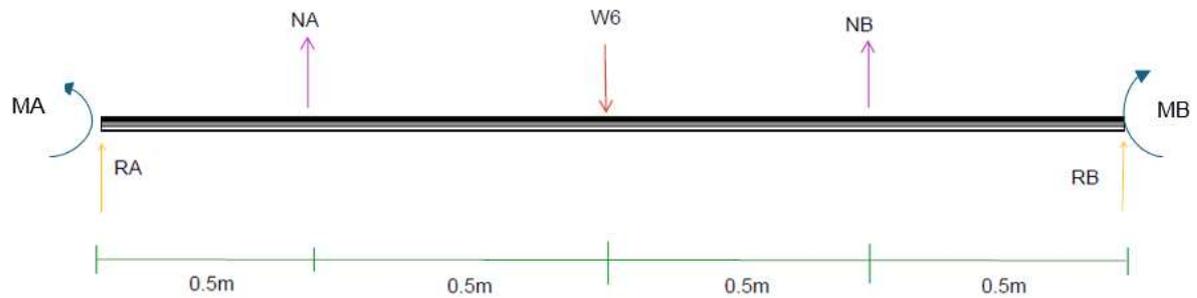
Cargas críticas

Una vez calculado las reacciones en ambos extremos es necesario obtener las cargas generadas por el contacto de los rodamientos en el carril para determinar si estos soportan la carga a las que serán sometidas.

Los rodamientos lineales seleccionados son HGW 25 CC Z0 H, se escoge estos rodamientos ya que se realiza la función deseada de la estructura.

Figura 24

DCL carril principal



Nota. DCL del carril principal y dimensionamiento

MA = Momento en el extremo izquierdo del carril (N)

MB = Momento en el extremo derecho del eje (N)

NA = Reacción de contacto normal entre el carril y el rodamiento lineal primero (N)

NB = Reacción del contacto normal entre el carril y el rodamiento lineal segundo (N)

RA = Fuerza de reacción en el extremo izquierdo del carril (N).

RB = Fuerza de reacción en el extremo derecho del carril (N)

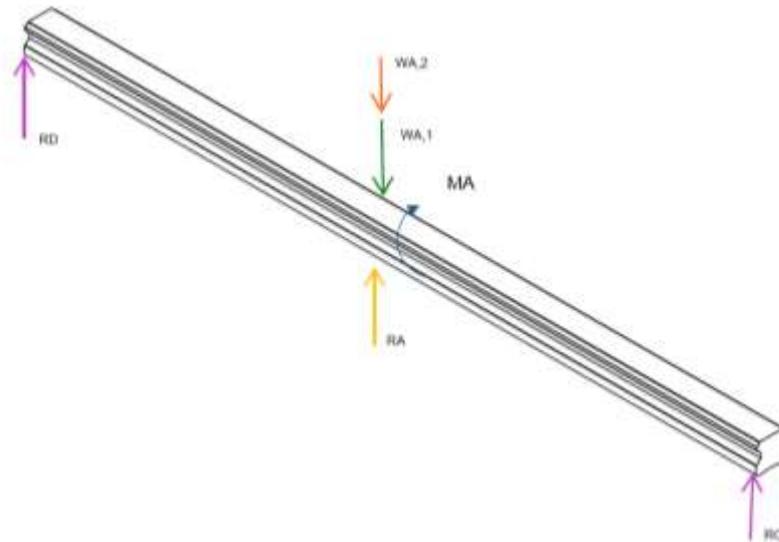
$W6$ = Peso del carril principal (N)

Cargas críticas sobre los rodamientos lineales en los carriles laterales

De la misma manera que se calculó las reacciones en el carril principal es necesario obtener las reacciones de los extremos laterales, en la figura 25 y 26 se observan las reacciones y fuerzas presentes en el carril lateral izquierdo.

Figura 25

DCL carril lateral izquierdo



Nota. DCL del carril lateral con sus respectivas reacciones

MA= Momento en el extremo izquierdo del carril (N)

RC= Fuerza de reacción en el extremo derecho del carril lateral (N)

RD= Fuerza de reacción en el extremo de izquierdo del carril lateral (N)

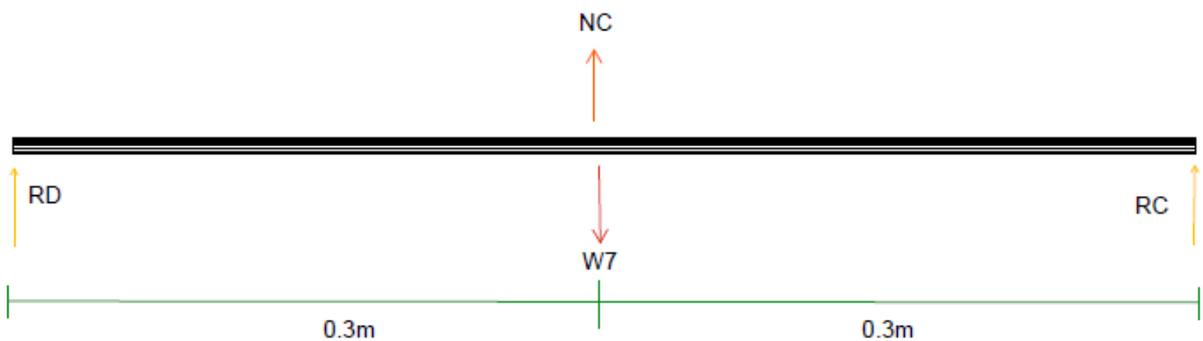
RA= Fuerza de reacción en el extremo izquierdo del carril principal (N).

WA,1= Peso del rodamiento lineal izquierdo(N)

WA,2= Peso del carril izquierdo (N)

Figura 26

DCL carril lateral izquierdo



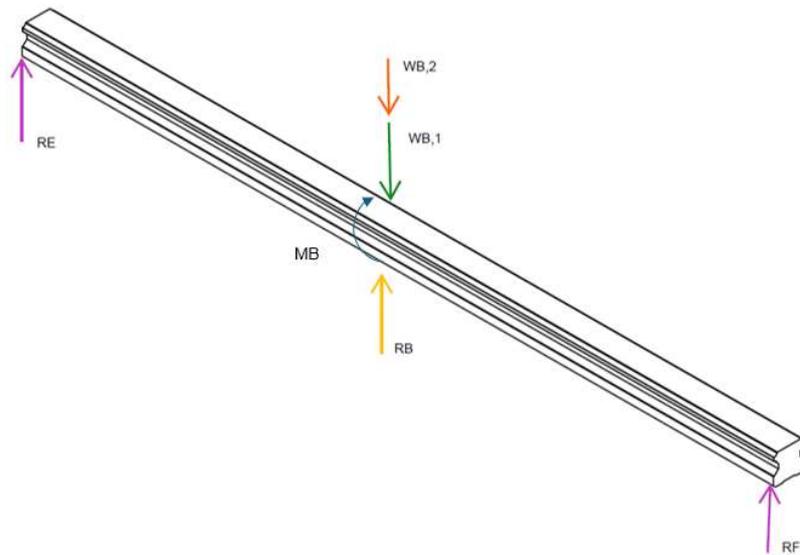
Nota. DCL del carril lateral con sus respectivas reacciones y dimensiones

NC= Normal en el eje transversal izquierdo.

Siguiendo con el análisis es necesario además obtener las reacciones del extremo lateral derecho, en la figura 27 y 28 se observan las reacciones y fuerzas presentes en el carril.

Figura 27

DCL carril lateral derecho



Nota. DCL del carril lateral con sus respectivas reacciones

MB= Momento en el extremo derecho del carril (N)

RF= Fuerza de reacción en el extremo derecho del carril lateral (N)

RE= Fuerza de reacción en el extremo de izquierdo del carril lateral (N)

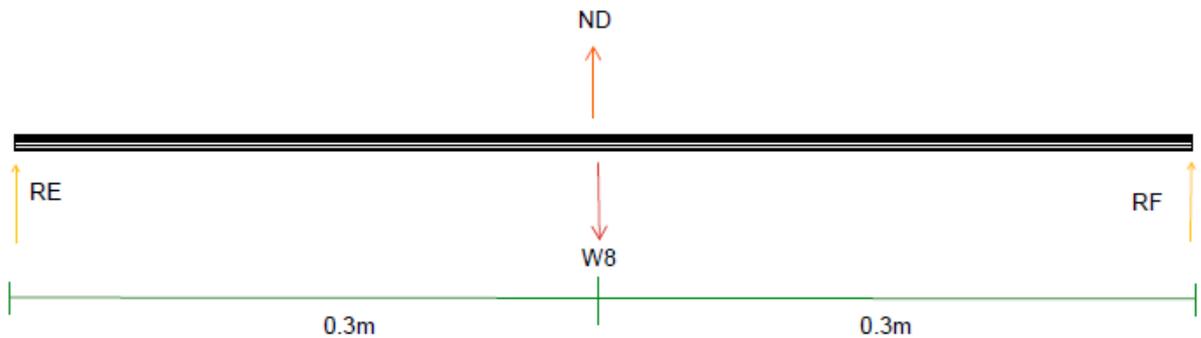
RB= Fuerza de reacción en el extremo derecho del carril principal (N).

WB,1= Peso del rodamiento lineal derecho(N)

WB,2= Peso del carril derecho (N)

Figura 28

DCL carril lateral derecho



Nota. DCL del carril lateral con sus respectivas reacciones y dimensiones

ND= Normal en el eje transversal derecho.

2.7.2 Análisis de falla

Par realizar el análisis de carga sobre el eje principal se utiliza un análisis de falla:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n} \text{ EC. 5}$$

Donde:

Sy = Resistencia a la fluencia del material

n= factor de seguridad

Para este caso Sy= 215 MPa (Acero inoxidable AISI 304) y se asume un factor de seguridad n=2.5.

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2} = \sigma_m \text{ EC. 6}$$

$$\sigma_{\text{permitido}} = \frac{S_y}{n} \text{ EC. 7}$$

Se utiliza la ecuación 8 para determinar el esfuerzo por flexión del carril principal como laterales.

Esfuerzo por flexión

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I} \text{ EC. 8}$$

Donde:

M= momento flector máximo

c= distancia desde el centroide

I= Momento de inercia

2.7.3 Selección de rodamientos

Los rodamientos se analizan mediante la capacidad de carga estática, para calcular la capacidad nominal de carga estática y la capacidad de carga estática equivalente para los cojinetes de rodamiento.

Para obtener la carga estática se utiliza la siguiente ecuación:

$$S_0 = \frac{C_0}{P_0} \text{ EC. 9}$$

Donde:

S_0 = Factor de seguridad estática

C_0 = Capacidad de carga estática (N)

P_0 = Carga estática equivalente (N)

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

3.1 Estructura

Después de realizar el análisis estático de la estructura del carril principal y de los carriles laterales se obtienen los siguientes resultados, los mismo que se muestran en las tablas 15, 16 y 17, en esta se muestran las reacciones, momentos, normales, momento flector máximo y esfuerzo cortante máximo.

Tabla 15.

Resultados del carril principal

Resultados	Valor
RA	40,09 N
RB	49,08N
MA	-1,40 Nm
MB	-1,71 Nm
NA	14,77 N
NB	29,32 N
Mmáx	33,52 Nm
Smáx	12,281 MPa

Tabla 16.

Resultados del carril lateral izquierdo

Resultados	Valor
W7	17,35 N
RD	-11,37N
RC	-11,37 N
NC	40,1 N
Mmáx	-34,12Nm
Smáx	1,2 MPa

Tabla 17.*Resultados del carril lateral derecho*

Resultados	Valor
W8	17,35 N
RE	-15,35N
RF	-15,35 N
ND	49,1 N
Mmáx	-47,62Nm
Smáx	1,74 MPa

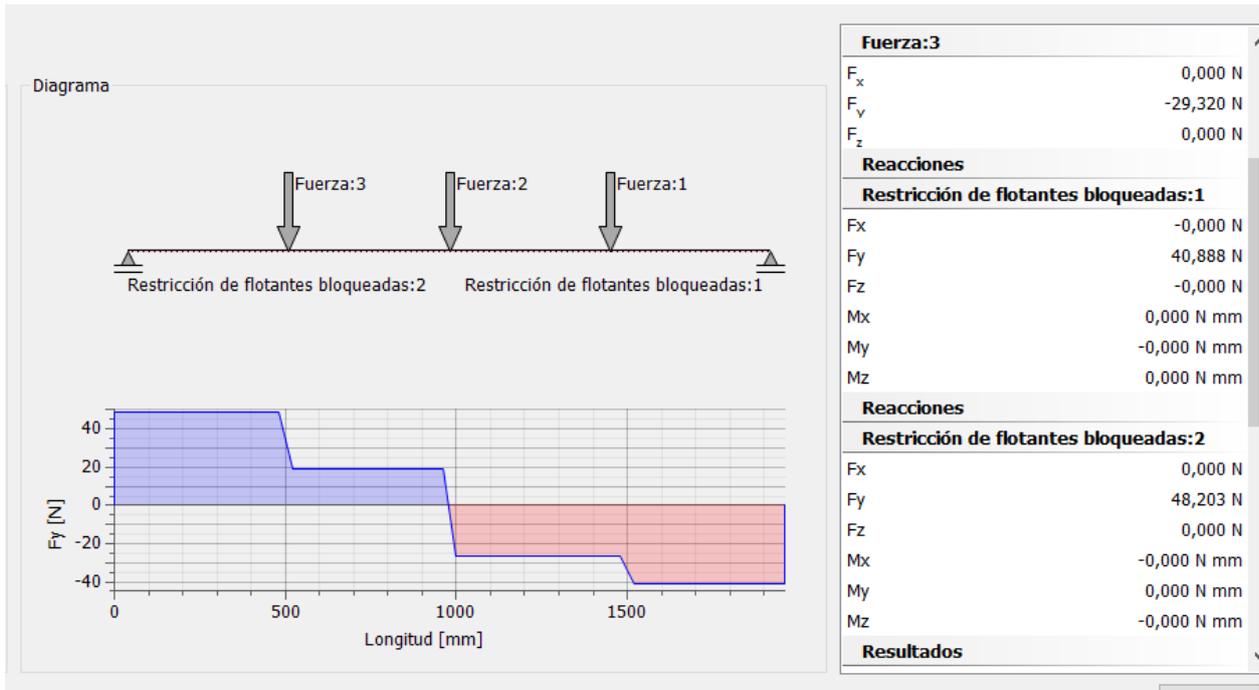
Nota. Se determinan las reacciones en los rodamientos y apoyos.

A partir de los estos valores se logra obtener los diagramas de fuerza cortante y momento flector para comprobar que los valores sean los correctos, utilizando un programa de simulación en el cual se coloca las fuerzas, pesos o normales presentes en el carril de manera que se logra obtener las reacciones en los extremos verificando el valor calculado, además mediante estas graficas se logra obtiene el máximo momento flector importante para el análisis de falla.

En la gráfica 29 y 30 se logra observar el diagrama de fuerza cortante dando como reacciones 40,8 N y 48,2 N en los extremos laterales del carril principal, con la gráfica del momento flector observamos que el momento máximo es de 33,53 Nm en el centro debido a la disposición de las cargas, las tensiones máximas teniendo un mínimo de 12,28 MPa indicando compresión y de -12,28 MPa en tensión. El diseño de la viga debe garantizar que el material pueda soportar las tensiones y el momento máximos.

Figura 29

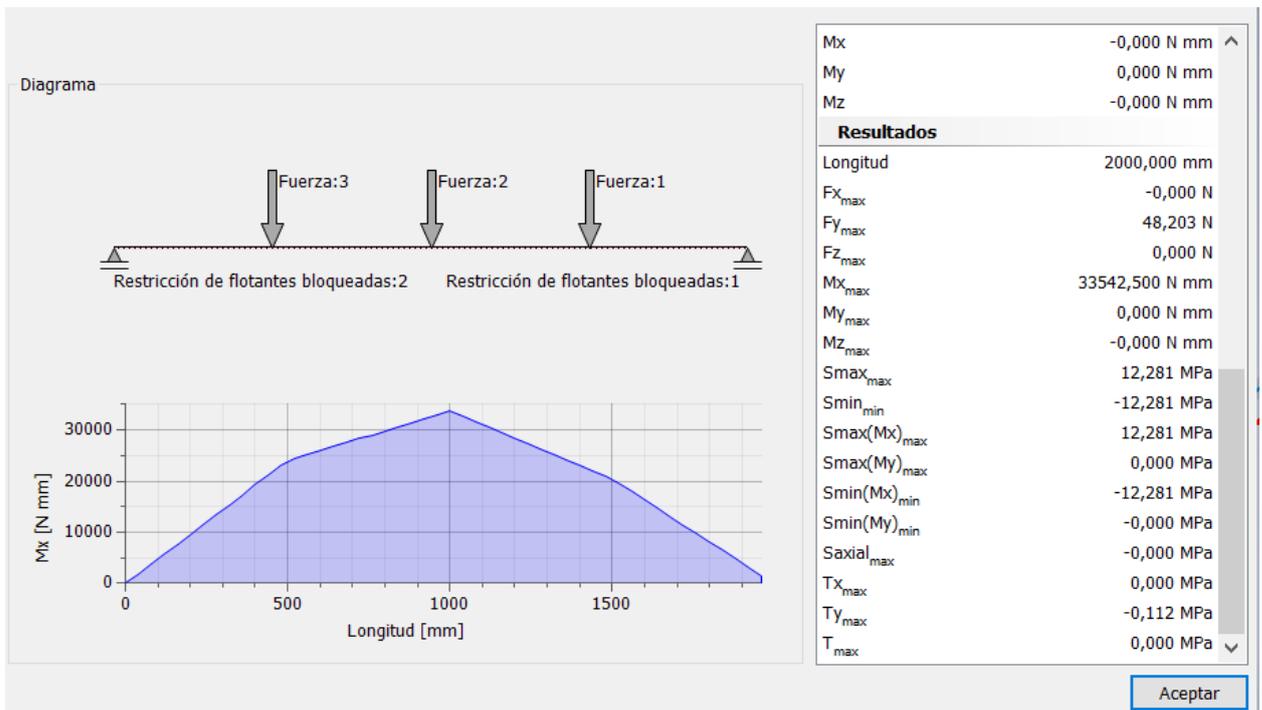
Diagrama de fuerza cortante- Carril principal



Nota. Mediante el diagrama de fuerza cortante se logra verificar que las reacciones en los apoyos laterales son iguales a los calculados.

Figura 30

Diagrama del momento flector-Carril principal

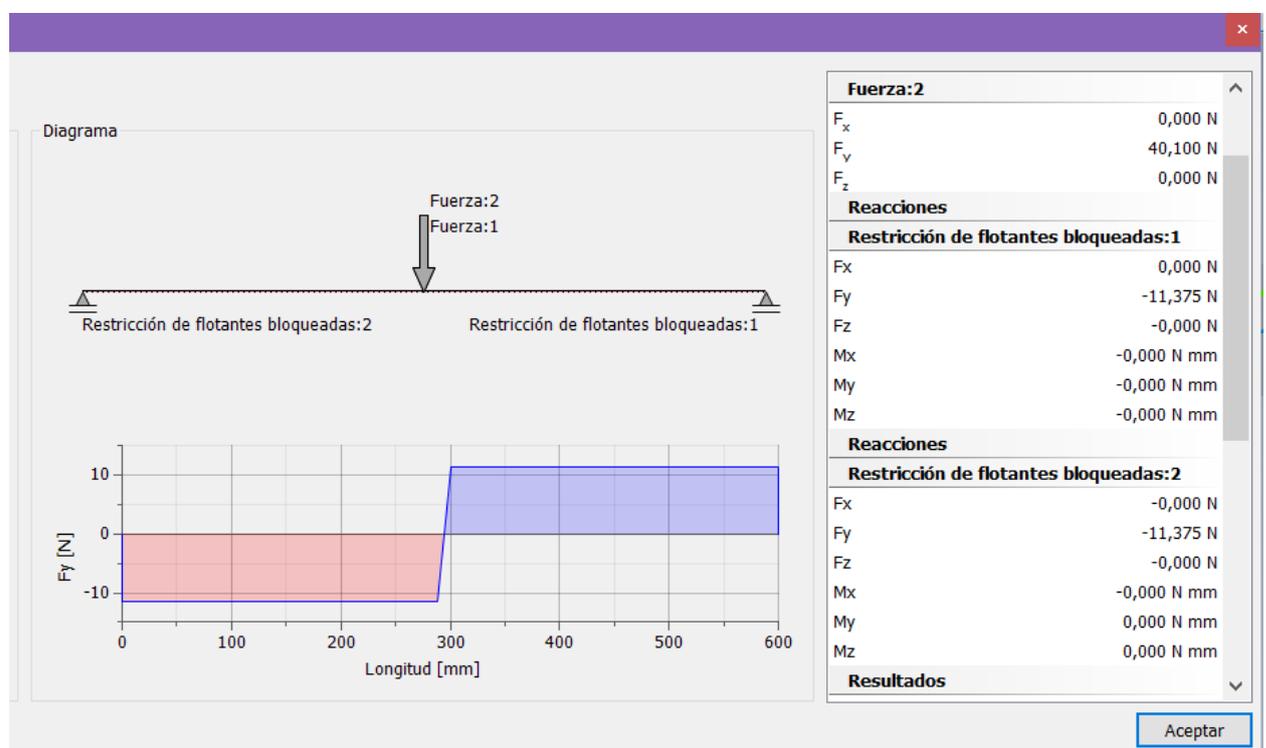


Nota. Mediante el diagrama de momento flector se logra obtener el momento máximo de 33,53Nm.

El análisis y comprobación se lo realiza además para los carriles laterales, donde en la figura 31 se observa los resultados del carril lateral izquierdo teniendo una reacción negativa igual en ambos extremos de $-11,37\text{N}$ y en la figura 33 se muestran las reacciones del carril lateral derecho con un valor de $-15,87$, en las figuras 32 y 34 se observa el diagrama del momento flector dando un momento máximo negativo de $-34,12\text{ Nm}$ para el izquierdo y $-47,62\text{Nm}$ para el derecho lo que indica que se está provocando una compresión en la parte superior del carril y una tracción en la parte inferior, el valor negativo solo es resultado del sistema de referencia empleado y convención de signos.

Figura 31

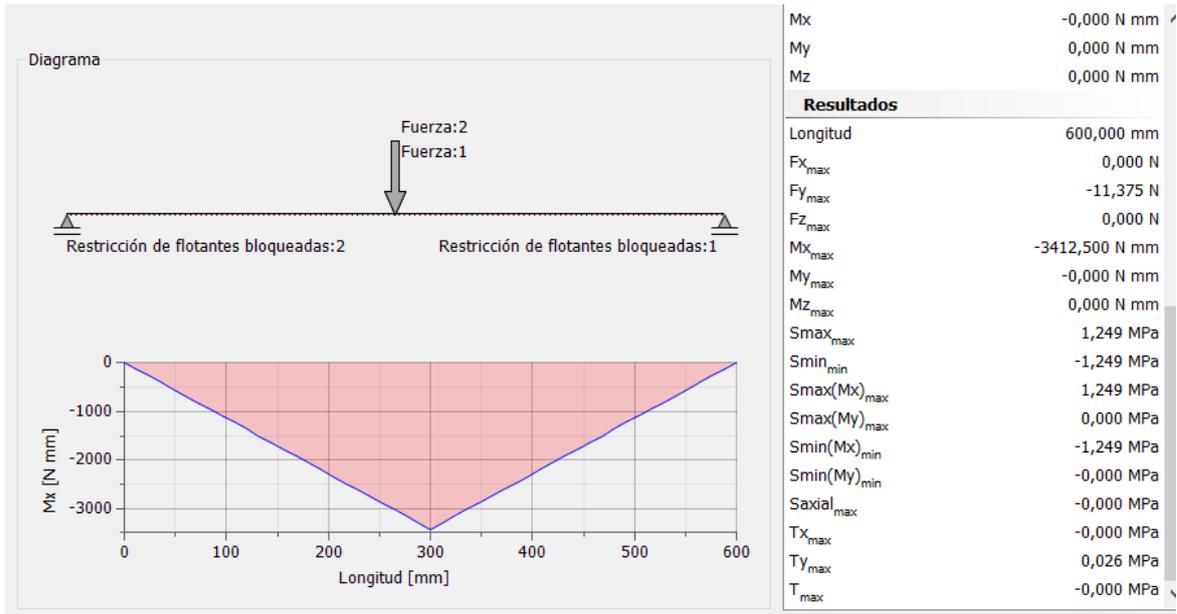
Diagrama de fuerza cortante -Carril lateral izquierdo



Nota. Mediante el diagrama de fuerza cortante se verifica las reacciones $R_D=R_C=-11,37\text{N}$

Figura 32

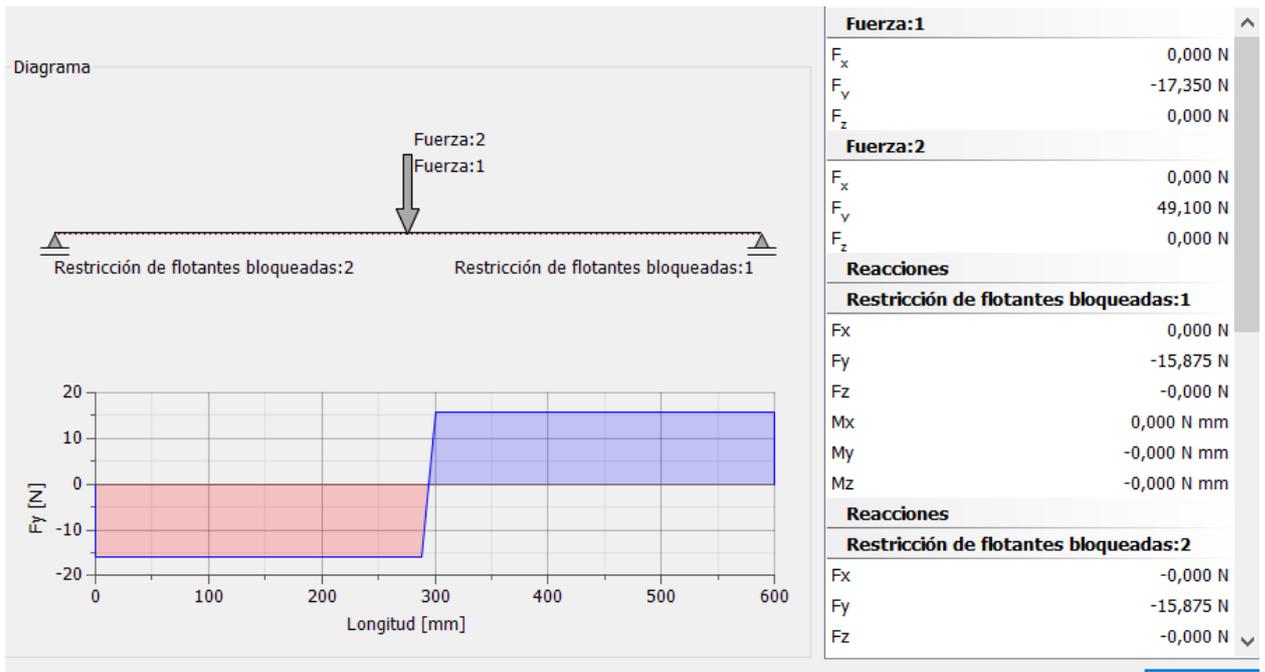
Diagrama del momento flector-Carril lateral izquierdo



Nota. Mediante el diagrama de momento flector se logra obtener el momento máximo de - 34,12Nm.

Figura 33

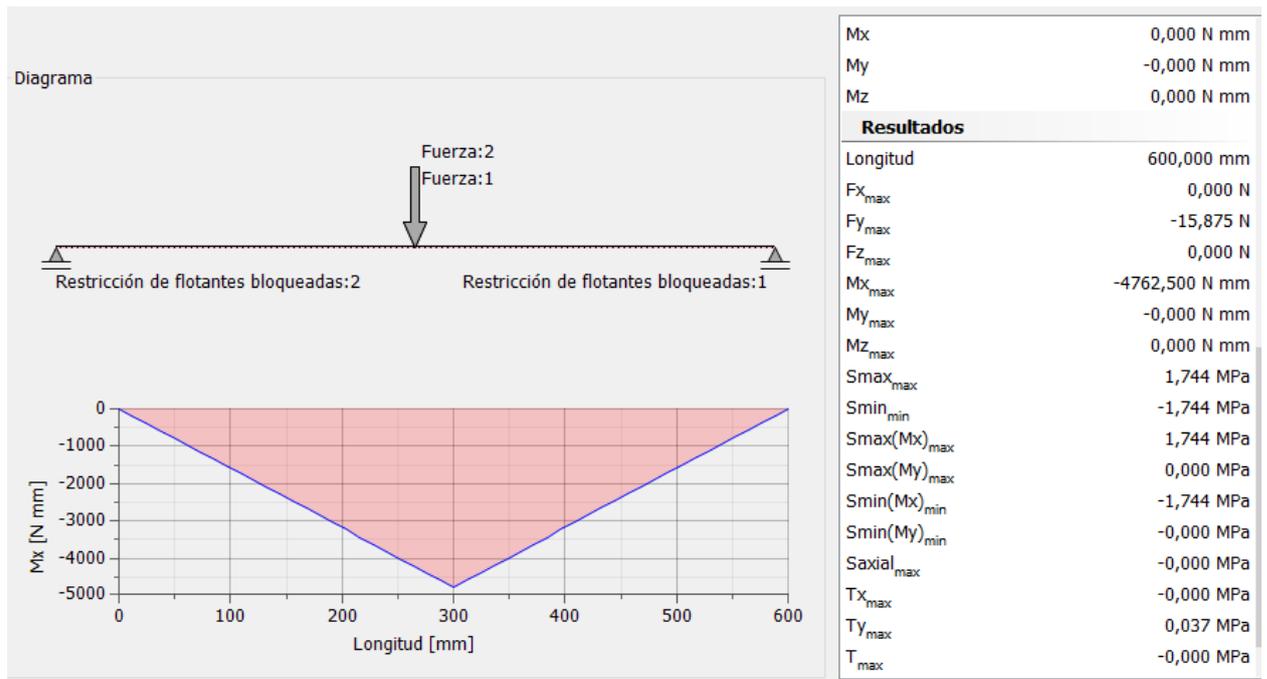
Diagrama de la fuerza cortante-Carril lateral derecho



Nota. Mediante el diagrama de fuerza cortante se verifica las reacciones RE=RF=-15,877N.

Figura 34

Diagrama del momento flector-Carril derecho



Nota. Mediante el diagrama de momento flector se logra obtener el momento máximo de -47,62Nm.

Una vez verificado los valores de reacciones en los extremos y obtenido los momentos máximos en cada parte de la estructura se procede a realizar el análisis de falla para el carril principal y laterales con ayuda de la ecuación 5,7 y 8, los cuales se presentan en el capítulo 2, en la tabla 18 se muestra los resultados de análisis de falla de esfuerzo y momento de inercia, mediante la comparación del esfuerzo máximo permitido y los aplicados se verifica que la estructura resiste las cargas aplicadas sin exceder sus límites de resistencia.

Tabla 18.

Análisis de falla carril principal

σ_{permitido}	86 MPa
I	$3,25 \times 10^{-8}$
σ_{principal}	12,87 MPa
σ_{izquierdo}	13,10 MPa
σ_{derecho}	18,28 MPa

3.2 Rodamientos

Para la selección de rodamientos se utiliza la ecuación 9 para obtener los siguientes resultados, se compara el valor calculado de factor de seguridad estático y se lo compara con el proporcionado por el fabricante, demostrando que son aceptables para los requerimientos. Los valores de carga estática equivalente (P_o) son las reacciones normales calculadas en cada rodamiento correspondientes a NA, NB, NC y ND además el valor de capacidad de carga estática es un dato obtenido de las características del rodamiento igual de 36,49 kN, los valores se detallan en la tabla 19.

Tabla 19.

Selección de los rodamientos

Rodamiento	Designación	Po (N)	Co (N)	So
A-Principal	HGW 25 CC Z0 H Hiwin	14,77	36490	2470,54
B-Principal	HGW 25 CC Z0 H Hiwin	29,32	36490	1244,54
C-L. Izquierdo	HGW 25 CC Z0 H Hiwin	40,10	36490	909,97
D- L. Derecho	HGW 25 CC Z0 H Hiwin	49,10	36490	743,18

Nota. Evaluación de la selección de los rodamientos del carril principal y laterales.

Figura 35

Factor de seguridad estático del rodamiento

Tabla 1-1 Factor de Seguridad Estático

Condiciones de Carga	f_{SL}, f_{SM} (Min.)
Carga Normal	1.0-3.0
Con Impactos / Vibraciones	3.0-5.0

$$f_{SL} = \frac{C_0}{P} \text{ or } f_{SM} = \frac{M_0}{M} \quad \text{Ec.1.1}$$

- f_{SL} : Factor de seguridad estático para cargas simples
- f_{SM} : Factor de seguridad estático para un momento
- C_0 : Capacidad de carga estática (kN)
- M_0 : Momento estático admisible (kN•mm)
- P : Carga efectiva (kN)
- M : Momento aplicado (kN•mm)

3.3 Pruebas Experimentales

De la misma manera para determinar el funcionamiento y realizar pruebas experimentales es necesario verificar que los equipos de plasma y oxicorte trabajen en óptimas condiciones, por lo que se procede a realizar una revisión validando un correcto funcionamiento del equipo de plasma además de realizar la respectiva instalación del equipo de oxicorte, donde se realizaron pruebas de corte con diferentes metales como hierro, acero inoxidable y aluminio, determinando parámetros de operación adecuadas para cada material y espesor.

Figura 36

Pruebas de Corte



Nota. Se realizan pruebas de corte con diferentes materiales como acero inoxidable, aluminio, etc., validando el correcto funcionamiento e instalación de los equipos de corte.

Para las pruebas experimentales se realizan cortes rectos de 10 cm con diferentes materiales con los equipos de oxicorte y plasma, en primer lugar, sin la estructura contando con la habilidad o destreza del usuario, se definen las condiciones iniciales de operación, como la presión del

oxígeno y acetileno para el caso del oxicorte mientras que para el plasma la corriente y la presión del aire, estos valores y resultados se los detalla en la tabla 20 y 21.

Tabla 20.

Pruebas de oxicorte sin mecanismo

Número de Prueba	Material	Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Condiciones Iniciales	
				Presión Oxígeno (psi)	Presión Acetileno (psi)
1	Acero al carbono	15x4	3	20	12
2	Acero al carbono	7,5x10	4	25	12
3	Acero al carbono	35x10	7	30	12

Número de Prueba	Boquilla	Longitud de Corte (mm)	Velocidad de corte Recomendada (mm/min)	Tiempo Preparación Equipos (s)	Tiempo de precalentamiento (s)	Tiempo de operación esperado (s)	Tiempo de operación real (s)
1	1	100	900-1200	60	2-4	7	12
2	1	100	700-1000	60	3-5	9	15
3	1	100	400-600	60	5-8	15	19

Nota. Resultados obtenidos luego de realizar cortes con el equipo de oxicorte y sus respectivos parámetros.

Tabla 21.

Pruebas de plasma sin estructura

Número de Prueba	Material	Dimensiones (cm)	Espesor (mm)	Condiciones Iniciales	
				Amperaje (A)	Presión Aire (bar)
1	Acero Inoxidable	14x18	2	25	2,5
2	Aluminio	14x11,5	2	25	2,5
3	Acero al carbono	15x4	3	30	2,5

Número de Prueba	Longitud de Corte (cm)	Velocidad de corte Recomendada (mm/min)	Tiempo Preparación Equipos (s)	Tiempo de precalentamiento (min)	Tiempo de operación esperado (s)	Tiempo de operación real (s)
1	10	1200	30	0	6	10
2	10	1500	30	0	5	10
3	10	1000	30	0	7	15

Nota. Resultados obtenidos luego de realizar cortes con el equipo de plasma y sus respectivos parámetros.

En la figura 38 se observa las irregularidades y falta de precisión en cortes sin la estructura, además de un prolongado tiempo de operación.

Figura 37

Corte con plasma sin el mecanismo



Para realizar la correcta comparación de precisión y tiempo de operación se utilizaron los mismos materiales y parámetros, con cortes rectos de 10 cm, en este caso utilizando el prototipo implementado en el laboratorio, resultados que se muestran en la tabla 22 y 23.

Tabla 22.*Pruebas de oxicorte con estructura*

Número de Prueba	Material	Dimensiones (mm)	Espesor (mm)	Condiciones Iniciales	
				Presión Oxígeno (psi)	Presión Acetileno (psi)
1	Acero al carbono	15x4	3	20	12
2	Acero al carbono	7,5x10	4	25	12
3	Acero al carbono	35x10	7	30	12

Número de Prueba	Boquilla	Longitud de Corte (mm)	Velocidad de corte Recomendada (mm/min)	Tiempo Preparación Equipos (s)	Tiempo de precalentamiento (s)	Tiempo de operación esperado (s)	Tiempo de operación real (s)
1	1	100	900-1200	60	2-4	7	10
2	1	100	700-1000	60	3-5	9	13
3	1	100	400-600	60	5-8	15	17

Nota. Resultados obtenidos luego de realizar cortes con el equipo de oxicorte y sus respectivos parámetros

Tabla 23.*Pruebas de plasma con estructura*

Número de Prueba	Material	Dimensiones (cm)	Espesor (mm)	Condiciones Iniciales	
				Amperaje (A)	Presión Aire (bar)
1	Acero Inoxidable	14x18	2	25	2,5
3	Aluminio	14x11,5	2	25	2,5
5	Acero al carbono	15x4	3	30	2,5

Número de Prueba	Longitud de Corte (cm)	Velocidad de corte Recomendada (mm/min)	Tiempo Preparación Equipos (s)	Tiempo de precalentamiento (min)	Tiempo de operación esperado (s)	Tiempo de operación real (s)
1	10	1200	30	0	5	7
2	10	1500	30	0	6	6
3	10	1000	30	0	7	7

Se realiza la comparación mediante el corte obtenido sin la estructura y con la estructura, logrando evidenciar una notable diferencia entre los cortes, se evidencia mayor precisión en los cortes además de requerir menos tiempo de operación real, estas diferencias se logran evidenciar en las figuras 38, 39 y 40, en la parte superior se evidencia el corte con el mecanismo mientras que en la inferior sin el mecanismo.

Figura 38

Corte con plasma en acero inoxidable

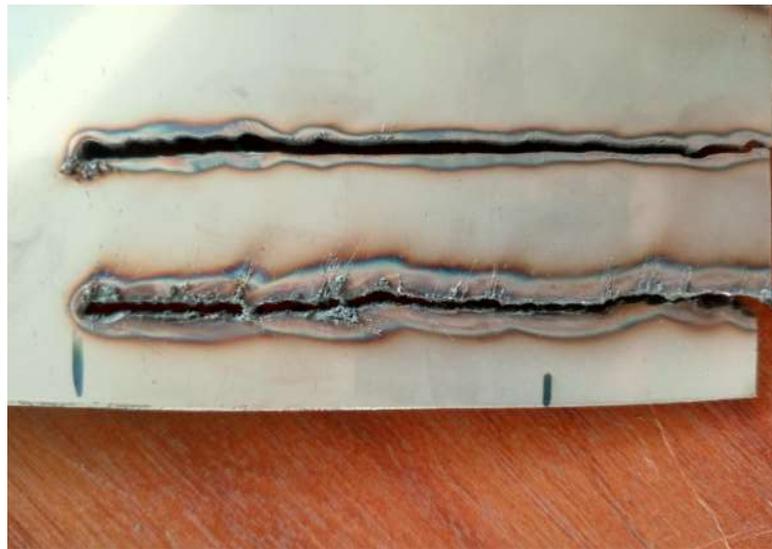


Figura 39

Corte con plasma en aluminio



Figura 40

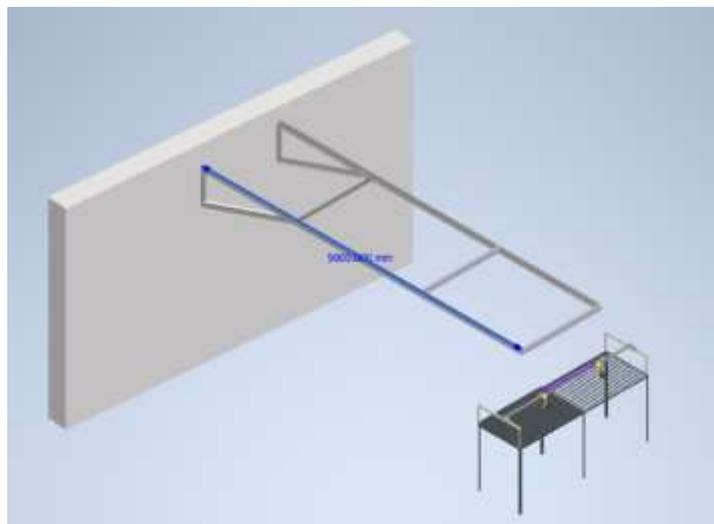
Corte con plasma en acero al carbono



Para realizar las pruebas de corte es necesario utilizar los equipos de protección adecuados para evitar accidentes, además según la norma de seguridad NPT 495(Soldadura Oxiacetilénica y oxicorte) es necesario que las botellas de oxígeno y acetileno se encuentren a una distancia entre los 5 y 10 metros de la zona de trabajo por lo que se diseña una estructura donde se pueda colgar las mangueras manteniendo una separación segura de la zona de trabajo de 5 metros con la mesa corte, esta estructura permite tener las mangueras de oxígeno y acetileno lejos de las chispas generadas durante la operación de corte.

Figura 41

Estructura para mangueras



3.4 Costo

Mediante un análisis de costo permite evaluar la viabilidad económica de realizar el proyecto permitiendo optimizar recursos, esta sección se basa en la estructura sin contar la adquisición de los equipos.

Tabla 24.

Costo de los materiales empleados en la estructura

Categoría	Elemento	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Materiales de construcción	Acero ASTM A36 (Perfil en L 1 1/4x3/16)	2	\$13,63	\$27,26
	Acero al carbono ASTM A36 (Plancha 1/4)	1	\$142,06	\$142,06
	Acero ASTM A36 (platina 1/4x3/4)	2	\$7,97	\$15,90
	Tubo cuadrado de acero ASTM A366(1x2)	1	\$10,90	\$10,90
	Acero Inoxidable AISI 304 (barra cuadrada 1")	1	\$225,25	\$225,25
Rodamientos	Rodamientos lineales HGW 25 CC Z0	4	\$70,00	\$280,00
Prototipo	Fabricación e instalación	1	\$350	\$350
Total				\$1051,37

El costo total estimado para la construcción del mecanismo es de \$1051,37, los materiales de construcción representan el mayor porcentaje del costo, el diseño permite cortar diferentes materiales y espesores con precisión utilizando equipos de plasma y oxicorte.

3.5 Análisis de resultados

Mediante el análisis estático de la estructura del carril principal y carriles laterales se obtienen las reacciones, momentos flectores y esfuerzos cortantes máximos que permiten obtener los diagramas de fuerza cortante y momento flector comprobando que los valores calculados son los correctos, estos valores se los detalla en las tablas 15, 16 y 17, en las figuras 29 y 30 se observa que para el carril principal el momento máximo es de $M_{\text{máx}}=33,53$ Nm en el centro debido a la distribución de las cargas, $S_{\text{máx}}=12,28$ MPa en compresión y $S_{\text{min}}=-12,28$ MPa en tensión, por otro lado en los carriles laterales, las figuras 32 y 34 muestran un momento máximo negativo de $M_{\text{máx}}=-34,12$ Nm para el carril izquierdo y $M_{\text{máx}}=-34,12$ Nm para el carril derecho, lo que indica una compresión en la parte superior del carril y una tracción en la parte inferior, con estos valores se realiza un análisis de falla teniendo un $\sigma_{\text{permitido}}=86$ MPa, un momento de inercia de $I=3,25 \times 10^{-8}$, los esfuerzos obtenidos en los carriles son menores que el permitido lo que garantiza que la estructura resiste las cargas aplicadas sin exceder los límites de resistencia.

Para la selección de rodamientos se compara el valor de factor de seguridad estático calculado y el factor real para cargas normales y con vibraciones y mediante la Ec.9 donde los valores de carga estática equivalente (P_o) son las reacciones normales calculadas anteriormente en cada rodamiento y la capacidad de carga estática (C_o) es igual a 36,49 kN valor obtenido del fabricante, estos valores se especifican en la tabla 19 donde se demuestran que los valores calculados son aceptables para los requerimientos.

Mediante la instalación de un prototipo de determina el funcionamiento del sistema y se realizan pruebas experimentales, mediante cortes rectos de 10cm con diferentes materiales utilizando los equipos de plasma y oxicorte, se realiza las primeras pruebas sin la estructura con parámetros establecidos, tiempos de operación estimados y reales, teniendo un tiempo de operación real máximo de 19 segundos aproximadamente para oxicorte y de

15 segundos para plasma, además se evidencia desviaciones en la trayectoria y bordes rugosos, se replican este mismo proceso de corte pero ahora con la estructura donde se evidencia un corte mas recto y consistente, bordes más uniformes indicando menos vibraciones y una zona térmica mucho más controlada, el tiempo de operación real disminuye considerablemente con al menos 3 segundos de diferencia, lo que implica menor uso de recursos y mejoras en el proceso, estos resultados se evidencian en las tablas 20, 21, 22 y 23 mientras que en las figuras 38, 39 y 40 la diferencia entre los cortes.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

Se concluye lo siguiente:

- 1.** Se diseñó un mecanismo articulado para el corte de metales mediante un sistema de carriles y rodamientos lineales HGW 25 CC Z0 H que permiten desplazamientos en los ejes X y Y tanto en el carril principal como en los laterales, con la estructura se logra duplicar piezas o formas, ideal para cortes rectos.
- 2.** Se integran los equipos de plasma y oxicorte en el porta-antorchas logrando trabajar con materiales de diferentes características, permitiendo alternar entre ambos métodos de manera eficiente configurando parámetros de operación adecuados como la velocidad de corte, regulación de presión del oxígeno y el acetileno en el caso del oxicorte, además de la regulación de corriente para el equipo de plasma.
- 3.** Se realizó el análisis estructural verificando que el mecanismo no presenta deformaciones significativas debido al peso de las antorchas, se escogieron los materiales adecuados para el diseño utilizando acero inoxidable como material principal debido a su resistencia a la corrosión y resistencia a altas temperaturas.
- 4.** Se realizan pruebas experimentales donde se evidencia que los cortes sin el mecanismo muestran desviaciones significativas en la trayectoria debido a la dificultad de mantener un movimiento uniforme y recto, además de la presencia de bordes rugosos debido a la variación en los parámetros como la distancia entre la boquilla y el material, por otro lado los cortes realizados con el mecanismo presentan mayor precisión al tener un trazo más recto y consistente, los bordes presentan menor rugosidad lo que indica menores vibraciones o movimiento involuntarios.
- 5.** Las pruebas reflejan que el uso del mecanismo reduce significativamente los tiempos de operaciones ya que se minimizan errores permitiendo un corte guiado y controlado.
- 6.** Se mejora la seguridad del operador ya que el uso del mecanismo proporciona mayor control y estabilidad en el proceso reduciendo riegos, permite al operador mantener una mayor distancia entre el cuerpo y la boquilla lo que disminuye el riesgo de quemaduras, salpicaduras de material o la exposición directa a gases y chispas.

4.1.2 Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente:

- 1.** Diseñar una central de gases en un espacio ventilado y lejos de la fuente de calor o chispas para almacenar los cilindros de gas como el acetileno, insertando un sistema de alarmas que permitan detectar fugas de gases.
- 2.** Para optimizar el proceso y tiempo de operación, implementar sensores o sistemas de control automatizado para controlar parámetros de operación como la velocidad, distancia de la boquilla con el material, flujo de gases e inicio de corte.
- 3.** Construir una estructura que permita colgar y guiar las mangueras de oxicorte, de manera que puedan ser desplazadas fácilmente a lo largo de la zona de trabajo para minimizar el contacto con la zona de corte.
- 4.** La integración de nuevas tecnologías para mejorar la calidad y productividad en procesos de corte, mediante la incorporación de equipos modernos como un cortador laser, corte por chorro de agua, etc.
- 5.** Proporcionar entrenamiento adecuado sobre el uso del mecanismo, uso de los equipos de plasma y oxicorte, configuración de parámetros de operación y medidas de seguridad.

Referencias

- Albano, L. (16 de Octubre de 2012). *Duplicador para Madera*. Obtenido de Mi Carpinteria. Apuntes de carpinteria: Aprende, crea, comparte: <https://micarpinteria.wordpress.com/2012/10/16/duplicador-para-madera/>
- Cuesta, E., Rico, C., Valiño, G., & Villanueva, A. (15 de Marzo de 2002). El corte de chapa mediante oxicorte y plasma. *MetalUnivers*, 5, 50-65. Obtenido de [https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/1831-El-corte-de-chapa-mediante-oxicorte-\(1-parte\).html](https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/1831-El-corte-de-chapa-mediante-oxicorte-(1-parte).html)
- Escuela Industrial Superior de Valparaíso. (Mayo de 2020). *Proceso de Oxicorte- Corte y Soldadura en construcciones metálicas*. Obtenido de Escuela Industrial Superior de Valparaíso: <https://www.eiv.cl/wp-content/uploads/2020/05/GUIA-N%C2%B0-5-.CORTE-Y-SOLDADURA.pdf>
- La Cantera Desarrollos Mineros. (28 de Julio de 2020). *CAPSULAS DE SEGURIDAD LA CANTERA – MANEJO SEGURO DE CILINDROS DE GASES COMPRIMIDOS*. Obtenido de La Cantera Desarrollos Mineros: <https://www.mineralacantera.com/capsulas-de-seguridad-la-cantera-manejo-seguro-de-cilindros-de-gases-comprimidos/>
- La Salle Teruel. (26 de Febrero de 2019). *Pantógrafo*. Obtenido de Museo Virtual La Salle: https://www.lasalleteruel.es/museo_virtual/pantografo.html
- Manzano Mozo, F. J., Gómez García, M., & Mozo-Fernández, J. (1 de Junio de 2017). Mecanismos Articulados: Geometria Dinamica y Cinematica en un entorno educativo STEM. *Innoeduca: international journal of technology and educational innovation*, 3(1), 15-27. Obtenido de Unoroja: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6027714>
- Metalúrgica Daniele. (5 de Junio de 2023). *Tipos de Pantógrafos: Terminaciones, Limitaciones y Precisiones*. Obtenido de Metalúrgica Daniele: <https://www.metalurgicadaniele.com.ar/blog/tipos-de-pantografos-terminaciones-limitaciones-y->

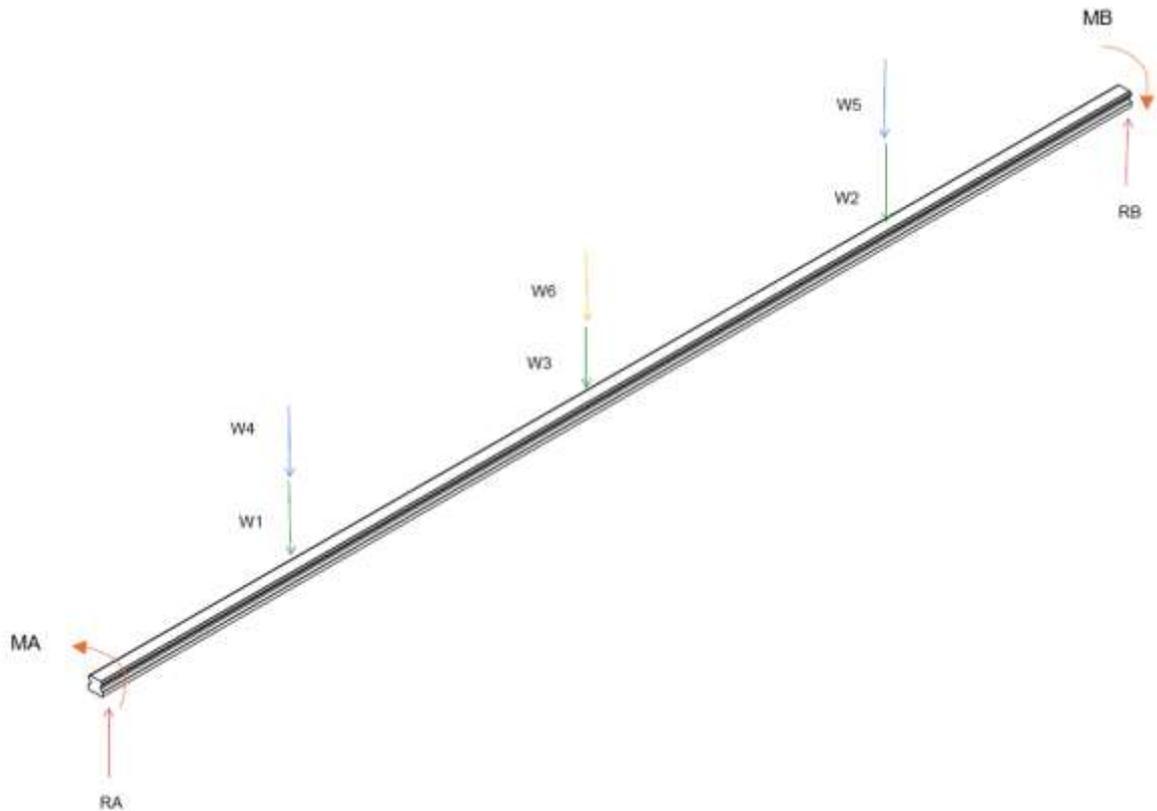
Apéndice A

Cálculos

Diagrama de cuerpo libre del carril principal

Figura 44

Carril principal



Para el análisis se establecen las siguientes notaciones:

RA= Fuerza de reacción en el extremo izquierdo del carril (N).

RB= Fuerza de reacción en el extremo derecho del carril (N)

W1,2= Peso de los rodamientos lineales (N)

W3= Peso de la placa de sujeción (N)

W4= Peso de porta-palpador y palpador (N)

W5= Peso de porta-antorcha y antorcha (N)

W6= Peso del carril (N)

MA= Momento en el lado izquierdo del carril (N)

MB= Momento en el lado derecho del carril (N)

Cálculo de pesos

$$W = m * g$$

Donde:

m: masa del cuerpo en kg

g: gravedad (9,81 m/seg²)

Rodamientos lineales

$$m = 0,59 \text{ kg}$$

$$W1, W2 = 0,59 * 9,81$$

$$W1, W2 = 5,78 \text{ N}$$

Placa de sujeción

$$m = 0,6 \text{ kg}$$

$$W3 = 0,6 * 9,81$$

$$W3 = 5,89 \text{ N}$$

Palpador y porta palpador

$$m = 0,616 \text{ kg}$$

$$W4 = 0,616 * 9,81$$

$$W4 = 6,04 \text{ N}$$

Antorcha y porta antorcha

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

$$W5 = 2,1 * 9,81$$

$$W5 = 20,60 \text{ N}$$

Carril

$$m = 4,6 \text{ kg}$$

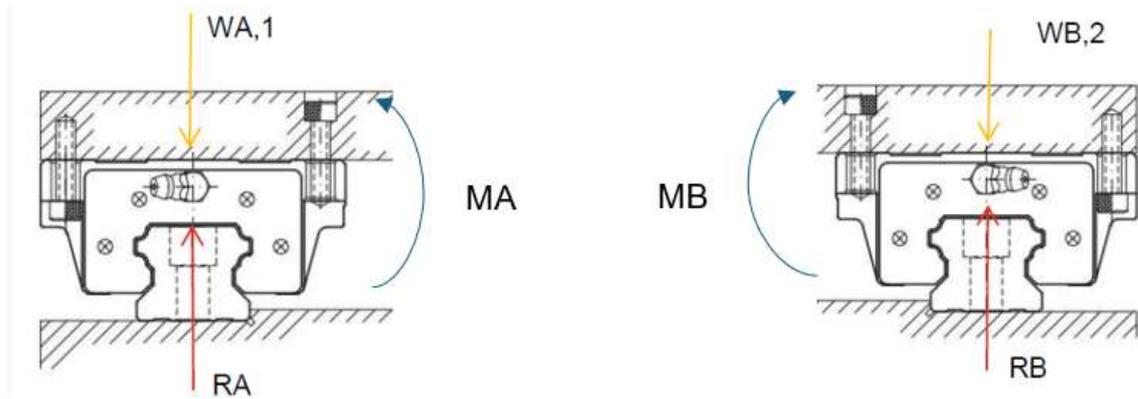
$$W6 = 4,6 * 9,81$$

$$W6 = 45,08 \text{ N}$$

Se despeja las reacciones en los extremos del eje, para obtener los momentos.

Figura 45

Reacciones en los rodamientos lineales



Nota. DCL con reacciones y fuerzas en los rodamientos lineales a los extremos

MA= Momento en el extremo izquierdo del carril (N)

MB= Momento en el extremo derecho del carril (N)

WA,1= Peso del rodamiento en el extremo izquierdo (N)

WB,2= Peso del rodamiento en el extremo derecho (N)

RA= Fuerza de reacción en el extremo izquierdo del carril (N).

RB= Fuerza de reacción en el extremo derecho del carril (N)

$$\sum M_A = 0$$

$$MA + RA(0,035m) = 0$$

$$MA = -RA(0,035m)$$

$$\sum M_B = 0$$

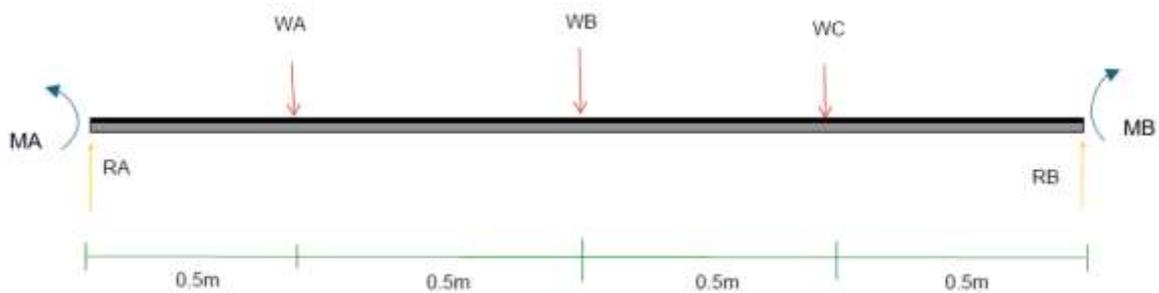
$$MB + RB(0,035m) = 0$$

$$MB = -RB(0,035m)$$

Se realiza la sumatoria de fuerzas y momentos a partir de los diagramas de cuerpo libre de la figura

Figura 46

DCL carril principal



Nota. DCL del carril principal y dimensionamiento

$$WA = W4 + W1 = 5,78 + 6,04 = 11,82 \text{ N}$$

$$WB = W6 + W3 = 5,89 + 45,08 = 50,97 \text{ N}$$

$$WA = W2 + W5 = 5,78 + 20,60 = 26,38 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-WA(0,5m) - WB(1m) - WC(1,5m) + RB(2m) + MB = 0$$

$$RB(2m) + MB = 11,82N(0,5m) + 50,97N(1m) + 26,38N(1,5m)$$

$$RB(2m) - RB(0,035m) = 11,82N(0,5m) + 50,97N(1m) + 26,38N(1,5m)$$

$$RB = \frac{11,82N(0,5m) + 50,97N(1m) + 26,38N(1,5m)}{(1,965m)}$$

$$RB = 49,08N$$

Sumatoria de fuerzas en el carril X:

$$\sum F_x = 0$$

No existen fuerzas aplicadas a lo largo del carril x.

Sumatoria de fuerzas en el carril Y:

$$\sum F_y = 0$$

$$RA - WA - WB - WC + RB = 0$$

$$RA = WA + WB + WC - RB$$

$$RA = 11,82 + 50,97 + 26,38 - 49,08$$

$$RA = 40,09 \text{ N}$$

$$MA = -RA(0,035m) = -1,40 \text{ Nm}$$

$$MB = -RB(0,035m) = -1,71 Nm$$

A partir del sistema de ecuaciones se obtiene las respectivas reacciones y momentos para en el lado izquierdo como el derecho teniendo un resultado de $RA= 40,94N$, $RB= 48,23N$, $MA= -1,40Nm$, $MB= -1,71Nm$

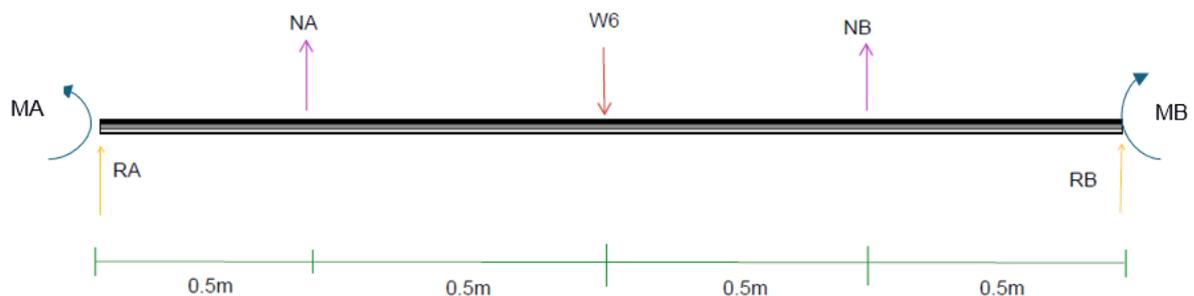
Cargas críticas

Una vez calculado las reacciones en ambos extremos es necesario obtener las cargas generadas por el contacto de los rodamientos en el carril para determinar si estos soportan la carga a las que serán sometidas.

Los rodamientos lineales seleccionados son HGW 25 CC Z0 H, se escoge estos rodamientos ya que se realiza la función deseada de la estructura.

Figura 47

DCL carril principal



Nota. DCL del carril principal y dimensionamiento

MA= Momento en el extremo izquierdo del carril (N)

MB= Momento en el extremo derecho del eje (N)

NA= Reacción de contacto normal entre el carril y el rodamiento lineal primero (N)

NB= Reacción del contacto normal entre el carril y el rodamiento lineal segundo (N)

RA= Fuerza de reacción en el extremo izquierdo del carril (N).

RB= Fuerza de reacción en el extremo derecho del carril (N)

W6= Peso del carril principal (N)

Sumatoria de momentos:

$$\sum M_A = 0$$

$$NA(0,5m) - W6(1m) + NB(1,5m) + RB(2m) + MB = 0$$

$$NA(0,5m) + NB(1,5m) = +W6(1m) - RB(2m) - MB$$

Sumatoria de fuerzas en el carril X:

$$\sum F_x = 0$$

No existen fuerzas aplicadas a lo largo del carril x.

Sumatoria de fuerzas en el carril Y:

$$\sum F_y = 0$$

$$RA + NA - W6 + NB + RB = 0$$

$$NA = W6 - RA - NB - RB$$

$$NA = 45,08N - 40,94N - NB - 48,23N$$

$$NA = -44,09 - NB$$

$$(-44,09N - NB)(0,5m) + NB(1,5m) = +W6(1m) - RB(2m) - MB$$

$$(-22,045N) - (0,5M)NB + NB(1,5m) = +W6(1m) - RB(2m) - MB$$

$$1(NB) = +W6(1m) - RB(2m) + 22,045Nm + 1,71Nm$$

$$NB = (45,08N)(1m) - (49,08N)(2m) + (22,045Nm) + 1,71Nm$$

$$NB = -29,32N$$

$$NA = -44,09N + 27,6N$$

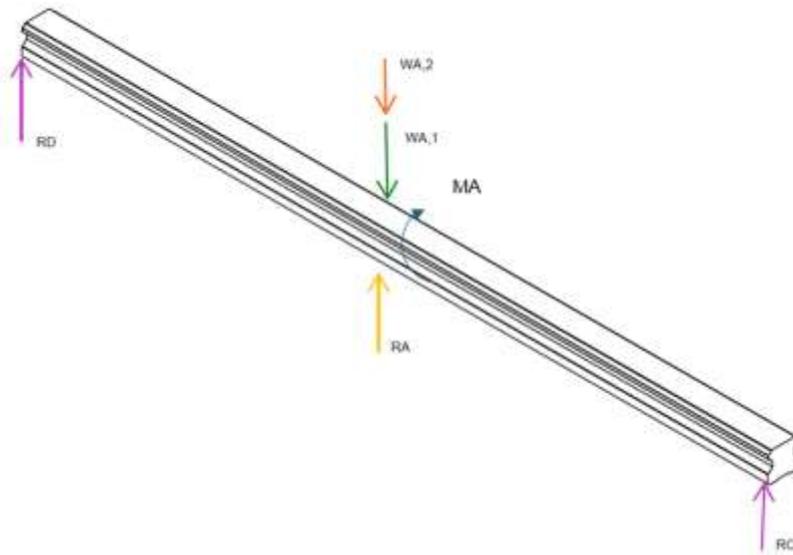
$$NA = -14,77 N$$

Cargas críticas sobre los rodamientos lineales en los carriles laterales

De la misma manera que se calculó las reacciones en el carril principal es necesario obtener las reacciones de los extremos laterales.

Figura 48

DCL carril lateral izquierdo



Nota. DCL del carril lateral con sus respectivas reacciones

MA= Momento en el extremo izquierdo del carril (N)

RC= Fuerza de reacción en el extremo derecho del carril lateral (N)

RD= Fuerza de reacción en el extremo de izquierdo del carril lateral (N)

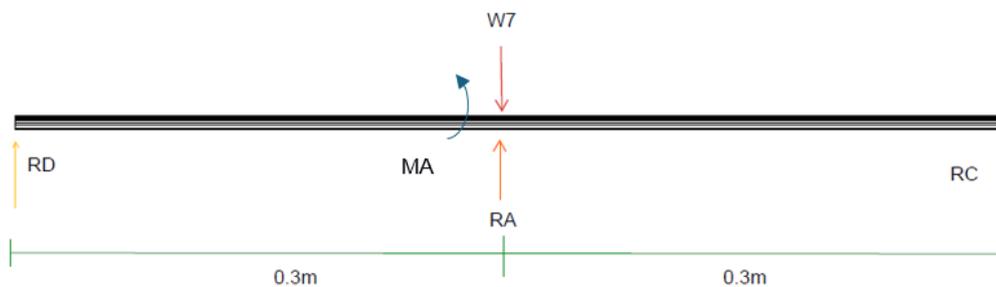
RA= Fuerza de reacción en el extremo izquierdo del carril principal (N).

WA,1= Peso del rodamiento lineal izquierdo(N)

WA,2= Peso del carril izquierdo (N)

Figura 49

DCL carril lateral izquierdo



Nota. DCL del carril lateral con sus respectivas reacciones y dimensiones

Cálculo de pesos

Rodamiento lineal

$$m = 0,59 \text{ kg}$$

$$WA, 1 = 0,59 * 9,81$$

$$WA, 1 = 5,78 N$$

Carril

$$m = 1,18kg$$

$$WA, 2 = 1,18 * 9,81$$

$$WA, 2 = 11,57N$$

$$W7 = WA, 1 + WA, 2 = 17,35 N$$

Sumatoria de momentos:

$$\sum MA = 0$$

$$RD(0,3m) - RC(0,3m) = 0$$

$$RC = RD$$

Sumatoria de fuerzas en el carril X:

$$\sum Fx = 0$$

No existen fuerzas aplicadas a lo largo del carril x.

Sumatoria de fuerzas en el carril Y:

$$\sum Fy = 0$$

$$RD + RA - W7 + RC = 0$$

$$RD = -RA + W7 - RC$$

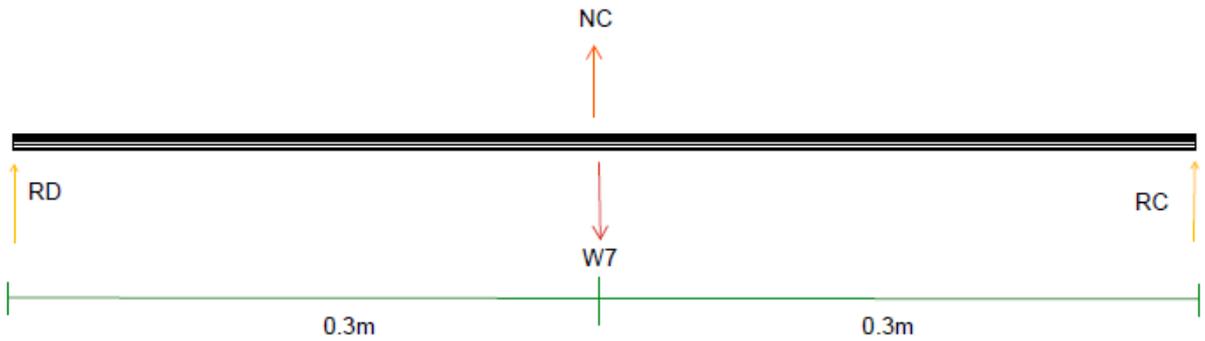
$$2RD = -40,09N + 17,35N$$

$$RD = -\frac{22,74}{2} = -11,37 N$$

$$RD = RC = -11,37 N$$

Figura 50

DCL carril lateral izquierdo



Nota. DCL del carril lateral con sus respectivas reacciones y dimensiones

NC= Normal en el eje transversal izquierdo.

Sumatoria de fuerzas en el carril Y:

$$\sum Fy = 0$$

$$RD + NC - W7 + RC = 0$$

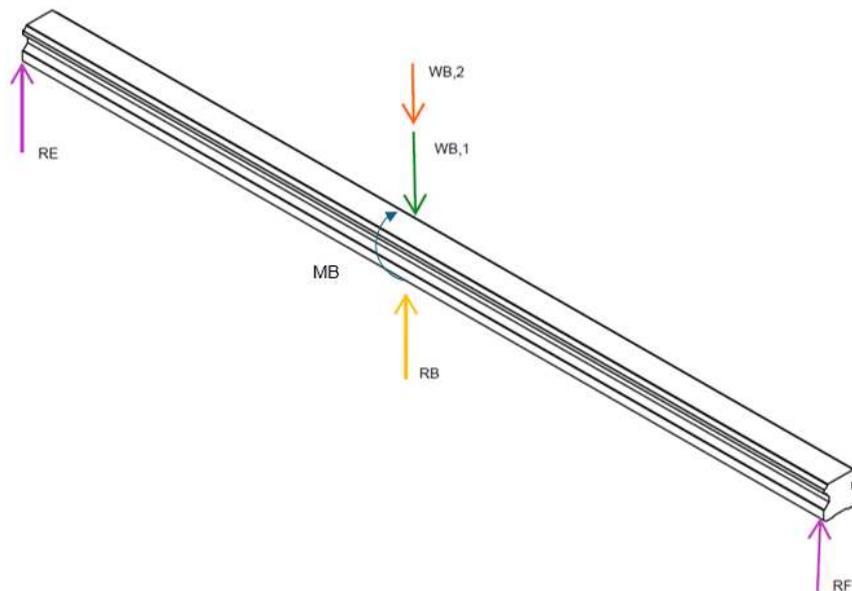
$$NC = -RD + W7 - RC$$

$$NC = +11,37N + 17,35N + 11,37$$

$$NC = 40,1N$$

Figura 52

DCL carril lateral derecho



Nota. DCL del carril lateral con sus respectivas reacciones

MB= Momento en el extremo derecho del carril (N)

RF= Fuerza de reacción en el extremo derecho del carril lateral (N)

RE= Fuerza de reacción en el extremo de izquierdo del carril lateral (N)

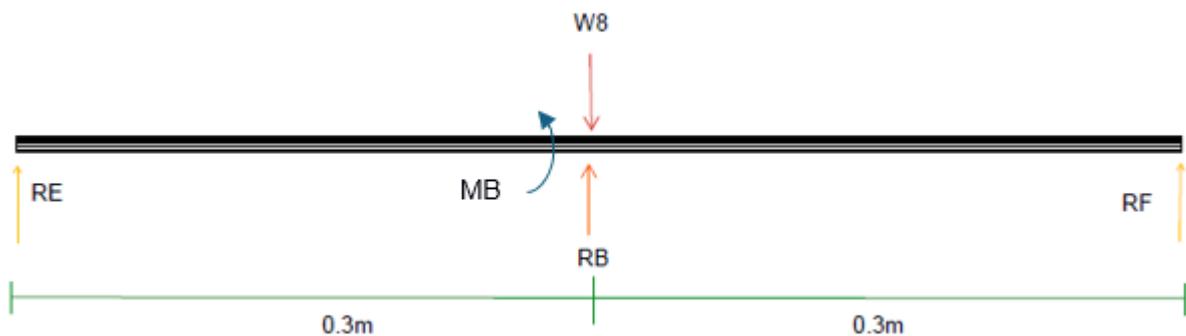
RB= Fuerza de reacción en el extremo derecho del carril principal (N).

WB,1= Peso del rodamiento lineal derecho(N)

WB,2= Peso del carril derecho (N)

Figura 53

DCL carril lateral derecho



Nota. DCL del carril lateral con sus respectivas reacciones y dimensiones

Cálculo de pesos

Rodamiento lineal

$$m = 0,59 \text{ kg}$$

$$WA, 1 = 0,59 * 9,81$$

$$WA, 1 = 5,78 \text{ N}$$

Carril

$$m = 1,18 \text{ kg}$$

$$WA, 2 = 1,18 * 9,81$$

$$WA, 2 = 11,57 \text{ N}$$

$$W8 = WA, 1 + WA, 2 = 17,35 \text{ N}$$

Sumatoria de momentos:

$$\sum MA = 0$$

$$RF(0,3m) - RE(0,3m) = 0$$

$$RE = RF$$

Sumatoria de fuerzas en el carril X:

$$\sum Fx = 0$$

No existen fuerzas aplicadas a lo largo del carril x.

Sumatoria de fuerzas en el carril Y:

$$\sum Fy = 0$$

$$RE + RB - W8 + RF = 0$$

$$RE = -RB + W8 - RF$$

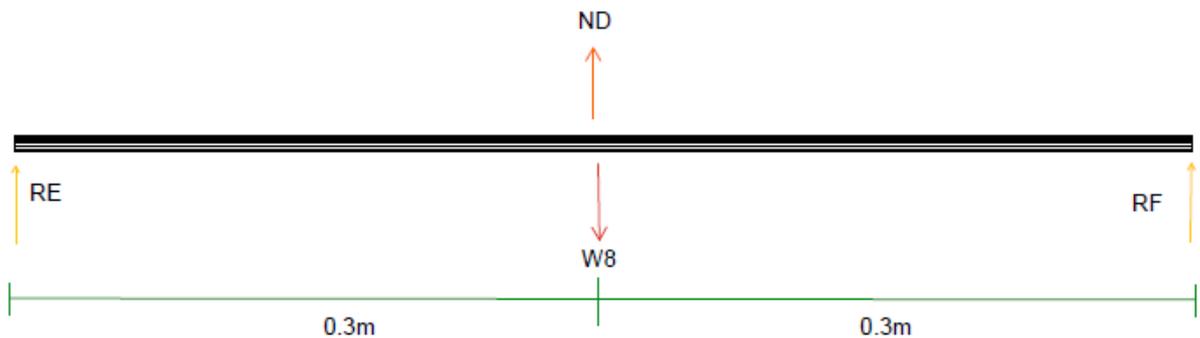
$$2RE = -49,09N + 17,35N$$

$$RE = -\frac{31,7}{2} = -15,87 N$$

$$RE = RF = -15,87 N$$

Figura 54

DCL carril lateral derecho



Nota. DCL del carril lateral con sus respectivas reacciones y dimensiones

NC= Normal en el eje transversal izquierdo.

Sumatoria de fuerzas en el carril Y:

$$\sum Fy = 0$$

$$RE + ND - W8 + RF = 0$$

$$ND = -RE + W8 - RF$$

$$ND = +15,87N + 17,35N + 15,87$$

$$ND = 49,1N$$

Análisis de falla

Par realizar el análisis de carga sobre el eje principal se utiliza un análisis de falla:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

Donde:

Sy = Resistencia a la fluencia del material

n= factor de seguridad

Para este caso Sy= 215 MPa (Acero inoxidable AISI 304) y se asume un factor de seguridad n=2.5.

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2} = \sigma_m$$

$$\sigma_{\text{permitido}} = \frac{S_y}{n}$$

$$\sigma_{\text{permitido}} = \frac{215 \text{ MPa}}{2,5} = 86 \text{ MPa}$$

Esfuerzo por flexión carril principal

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I}$$

Donde:

M= momento flector máximo

c= distancia desde el centroide

I= Momento de inercia

$$\sigma_m = \frac{(33,54Nm)\left(\frac{h}{2}\right)}{\frac{b h^3}{12}}$$

$$\sigma_m = \frac{(33,54Nm)\left(\frac{0,025m}{2}\right)}{\frac{0,025m(0,025m)^3}{12}}$$

$$\sigma_m = 12,87 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m \leq \sigma_{\text{permitido}}$$

$$12,3 \text{ Mpa} \leq 86 \text{ Mpa}$$

Como el esfuerzo de flexión calculado es menor que el esfuerzo permite la estructura resiste bajo estas condiciones.

Esfuerzo por flexión carriles laterales

Izquierdo:

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_m = \frac{(34,12Nm)\left(\frac{h}{2}\right)}{\frac{b h^3}{12}}$$

$$\sigma_m = \frac{(34,12Nm)\left(\frac{0,025m}{2}\right)}{\frac{0,025m(0,025m)^3}{12}}$$

$$\sigma_m = 13,10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m \leq \sigma_{\text{permitido}}$$

$$13,10 \text{ Mpa} \leq 86 \text{ Mpa}$$

Derecho

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_m = \frac{(47,62Nm)\left(\frac{h}{2}\right)}{\frac{b h^3}{12}}$$

$$\sigma_m = \frac{(47,62Nm)\left(\frac{0,025m}{2}\right)}{\frac{0,025m(0,025m)^3}{12}}$$

$$\sigma_m = 18,28 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m \leq \sigma_{\text{permitido}}$$

$$18,28 \text{ Mpa} \leq 86 \text{ Mpa}$$

Selección de rodamientos

Los rodamientos se analizan mediante la capacidad de carga estática, para calcular la capacidad nominal de carga estática y la capacidad de carga estática equivalente para los cojinetes de rodamiento.

Para obtener la carga estática se utiliza la siguiente ecuación:

$$S_o = \frac{C_o}{P_o}$$

Donde:

S_o = Factor de seguridad estática

C_o = Capacidad de carga estática (N)

P_o = Carga estática equivalente (N)

Manual de uso del mecanismo para equipos de plasma y oxicorte

Este manual proporciona las indicaciones necesarias para el uso seguro y eficiente del mecanismo articulado, este mecanismo permite el uso de dos sistemas de corte diferente, plasma y oxicorte por lo que es necesario detallar parámetros de operación y medidas de seguridad necesarias.

Descripción del equipo

Este mecanismo cuenta con un sistema de carriles y rodamientos lineales que me permiten desplazamientos en los ejes X y Y, es decir, desplazamientos longitudinales en el carril principal y movimientos laterales y paralelos en los carriles secundarios. El equipo permite realizar cortes de distintos materiales ya que su diseño permite la adaptación de dos sistemas diferentes:

Corte por plasma: Sistema que utiliza un arco eléctrico para ionizar gas generando un chorro de plasma a altas temperaturas.

Oxicorte: Sistema de combinación de oxígeno y acetileno que provoca una reacción exotérmica de la oxidación del hierro en presencia de oxígeno.

Parámetros de Operación

Plasma

Voltaje (V)	Espesor (mm)	Amperaje (A)	Presión de Aire (psi)
220	1	20	40-50
220	5	35	50-60
220	8	40	60-70
220	10	45	60-70
220	12	45	60-70

Nota. Parámetros de corte con plasma.

Oxicorte

Espesor (mm)	Número de boquilla	Presiones O ₂ (bar)	Presión de acetileno (m/h)
3-8	0	3-5	0.2-0.8
10-15	1	5-6	0.2-0.8
15-30	2	6-7	0.2-0.8
30-50	3	6.5-7.5	0.2-0.8
50-70	4	7-7.5	0.2-0.8

Nota. Parámetros de corte con oxicorte

Procedimiento de uso

Preparación

1. De acuerdo con el material y espesor a cortar selecciona el sistema de corte adecuado.
2. Verificar el estado de los consumibles como boquillas o electrodos.
3. Verificar que las conexiones este correctamente instaladas como cables de alimentación y tomas a tierra.
4. Configurar parámetro de operación según las tablas descritas.
5. Colocar las piezas a cortar en la sección de corte y fíjelos de manera correcta.
6. Colocar la antorcha del equipo seleccionado en el porta-antorcha y ajuste la abrazadera según las dimensiones de la antorcha de manera que quede fija y segura.

Operación

Plasma

1. Prepare el equipo e instale de manera correcta los cables de conexión.
2. Encienda la fuente de energía y ajuste los indicadores como la presión de aire y la intensidad de corriente.
3. Coloque y ajuste la antorcha en el porta-antorcha ajustando la distancia entre la boquilla y el material (1.5 a 3mm)
4. Inicie el corte desde el área de trabajo manteniendo una distancia segura, de manera que realice el movimiento deseado con la guía o palpador, de manera que la antorcha replique el movimiento y corte el material.

Oxicorte

1. Preparar los tanques de oxígeno y acetileno según los parámetros recomendados.
2. Ubique y ajuste la antorcha en el porta-antorcha considerando la distancia entre la boquilla y el material (3 a 5mm)
3. Encienda la antorcha y regule la salida de gas y acetileno mediante las válvulas ubicadas en la antorcha.
4. Inicie el corte desde el área de trabajo manteniendo una distancia segura, de manera que realice el movimiento deseado con la guía o palpador, de manera que la antorcha replique el movimiento y corte el material.

Medidas de seguridad

- Utilizar un equipo de protección personal, caretas o gafas con filtro oscuros, guantes resistentes al calor, mandil, mascarilla y botas de seguridad.
- Mantener los equipos limpios y en buen estado, asegurarse que el mecanismo esté libre de materiales inflamables.
- Tener una ventilación adecuada por la presencia de gases tóxicos.
- La boquilla debe mantener una distancia fija durante todo el proceso según el espesor del material, para evitar daños en la boquilla o deformaciones del material.
- Verificar la presión de los gases utilizados en el proceso.
- Inspeccionar mangueras y conexiones antes de la operación.
- Mantener los cilindros a una distancia mayor de 5 metros, en posición vertical y correctamente asegurados.

Mantenimiento

Diario

- Limpieza de boquillas y electrodos.
- Revisar estado de cables y conexiones.
- Verificar estado de tanques de gases.

Semanal

- Lubricar guías y mecanismo de desplazamiento
- Inspeccionar estado de la mesa de corte y área de trabajo.

Mensual

- Reemplazar consumibles desgastados o dañados.
- Comprobar correcto funcionamiento de equipos y válvulas de gas

Soluciones

- En caso de presentar cortes irregulares, ajustar los parámetros de operación como la velocidad de corte, además de verificar si la boquilla esta dañada, en caso afirmativo cambiar la boquilla.
- Si el arco de plasma se presenta de manera inestable verificar la presión del gas.
- Si existe exceso de escoria, regular la distancia de la boquilla.
- Si la llama de oxicorte no es estable, puede deberse a una mezcla de gases deficiente por lo que se recomienda ajustar la salida de gases mediante los reguladores.