



Evaluación técnica y económica del diseño de un prototipo de carro porta muestras para la Litoteca del Centro de Innovación y Tecnología - ICP Ecopetrol

Modalidad: Práctica Empresarial

Dairon Fernando Marín Díaz
CC. 1.098.808.213

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería Electromecánica
Bucaramanga, 29 de noviembre de 2021



Evaluación técnica y económica del diseño de un prototipo de carro porta muestras para la Litoteca del Centro de Innovación y Tecnología - ICP Ecopetrol

Modalidad: Práctica Empresarial

Dairon Fernando Marín Díaz
CC. 1.098.808.213

**Informe de práctica para optar al título de
Ingeniero Electromecánico**

DIRECTOR

Miguel Arlenzo Duran Sarmiento

Luis Fernando Peña Peña

Ing. MBA Área Procesamiento Muestras Geológica - ICP Ecopetrol

Grupo de investigación – DIMAT

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER

Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías

Ingeniería Electromecánica

Bucaramanga, 29 de noviembre de 2021

Nota de Aceptación



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

A Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

A mi padre Expedito y a mi madrastra Hergemida, quienes con su paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir con éxito mis metas propuestas, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía.

A la mujer que me dio la vida, la cual a pesar de haberla perdido a muy temprana edad, ha estado conmigo siempre cuidándome y guiándome desde el cielo.

A mis hermanos Sebastian y Julián, por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso, por estar conmigo en los momentos más difíciles, gracias por no dejarme solo en ningún momento.

A mi amigo Álvaro, porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mis amigos y compañeros de practica Helbert y Maarja, por apoyarme cuando más las necesite, por extender su mano en momentos difíciles, por la fuerza y la fe brindada cada día, de verdad mil gracias muchachos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres por todo su amor, comprensión y apoyo, pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido. No tengo palabras para agradecerles las incontables veces que me brindaron su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida.

Al Wey, un gran amigo a quien estimo tanto y a quien le debo su apoyo incondicional, por facilitarme los caminos para seguir, sin pedir nada a cambio y sin dudar de mi capacidad.

Agradezco a los docentes de Electromecánica, que con su sabiduría, conocimiento y apoyo, hicieron que pueda crecer día a día como profesional en las Unidades Tecnológicas de Santander, en especial al Ing. Miguel Duran, asesor de tesis quien estuvo guiándome académicamente con su experiencia y profesionalismo.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Luis Fernando Peña Peña, principal colaborador durante todo este proceso en el ICP, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de esta práctica al interior de Instituto Colombiano del Petróleo.

TABLA DE CONTENIDO

<u>INTRODUCCIÓN</u>	11
<u>1. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA O COMUNIDAD</u>	12
<u>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	13
2.1. Descripción de la Problemática	13
2.2. Justificación de la Práctica	14
2.3. Objetivos	15
2.3.1 Objetivo General	15
2.3.2 Objetivos Específicos	15
2.4 Antecedentes de la Empresa	16
2.3.1. Ecopetrol.....	16
2.3.2. Centro de Innovación y Tecnología - ICP Ecopetrol	17
<u>3 MARCO REFERENCIAL</u>	18
3.1. Marco Teórico	18
3.1.1. Montacargas	18
3.1.2. Elevación por Sistema de Horquillas o Uñas.....	18
3.1.3. Sistema Hidráulico Básico.....	20
3.1.4. Sistemas Eléctricos – Electrónicos.....	26
3.1.5. Automatización	27
3.1.6. Elevación de carga por Tijera.....	27
3.1.7. Programas de Diseño CAD	27
<u>4 DESARROLLO DE LA PRÁCTICA</u>	28
4.1. Etapa 1	28

4.1.1.	Actividad 1.1	28
4.1.2.	Actividad 1.2	29
4.1.3.	Actividad 1.3	29
4.2.	Etapa 2	29
4.2.1.	Actividad 2.1	29
4.2.2.	Actividad 2.2	29
4.2.3.	Actividad 2.3	30
4.3.	Etapa 3	30
4.3.1.	Actividad 3.1	30
4.3.2.	Actividad 3.2	30
5	<u>RESULTADOS.....</u>	31
5.1.	Investigación del Tipo de Sistema a Diseñar	31
5.1.1.	Estado del Arte	31
5.1.2.	Antecedentes	32
5.1.3.	Revisión Técnica.....	36
5.1.4.	Evaluación de Prediseños y Bocetos	37
5.2.	Presentación de Prediseños y Bocetos.....	37
5.2.1.	Dimensionamiento del Espacio en el Montacargas	37
5.2.2.	Modelado CAD de Prediseños y Bocetos.....	40
5.2.3.	Análisis de Prediseños y Bocetos	40
5.3.	Ejecución del Diseño Conceptual	41
5.3.1.	Material para la Estructura del Prototipo	41
5.3.2.	Análisis Estático	42
5.3.3.	Factor de Seguridad.....	58
5.3.4.	Análisis por Elementos Finitos	58
5.3.5.	Diseño Conceptual del Prototipo de Carro Porta Muestras	61
5.3.6.	Planos de Diseño Conceptual	62

5.3.7.	Informe de Resultados	62
6	<u>CONCLUSIONES</u>	63
7	<u>RECOMENDACIONES</u>	65
8	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	66
9	<u>ANEXOS.....</u>	70
	Anexo A – Ficha Técnica del ACERO ASTM A572.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Montacarga de Hombre Parado	20
Figura 2. Sistema Hidráulico Básico	21
Figura 3. Elevador de Tijera para Vehículos.....	33
Figura 4. Plataforma Elevadora de Personal	34
Figura 5. Horquillas o Uñas del Montacargas	38
Figura 6. Dimensionamiento de Horquillas o Uñas y Mordaza	39
Figura 7. Ficha técnica del ACERO ASTM A572 pg-1	70
Figura 8. Ficha técnica del ACERO ASTM A572 pg-2.....	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fuerzas que debe Ejercer el Cilindro	57
Tabla 2. Propiedades Mecánicas Acero ASTM A 572 en el Grado 50	59

INTRODUCCIÓN

La Litoteca es el área al interior del Centro de Innovación y Tecnología - ICP Ecopetrol donde se almacenan, clasifican y procesan gran cantidad de muestras de pozo, estas muestras suelen llegar a ser bastante pesadas al momento de transportarse manualmente, por este motivo se almacenan en cajas porta muestras y son transportadas por un montacargas sobre estivas de madera, siendo el operador el encargado de cargar y descargar las cajas sobre la estiva, convirtiendo el cargue y descargue en una actividad muy cotidiana y una de las tareas que desarrollan a diario los operadores.

Los operadores en algunas ocasiones requieren realizar el cargue y descargue de estas cajas porta muestras a gran altura del suelo, provocando que se corran riesgos al momento de tener que agacharse en la plataforma para poner la caja sobre la estiva, adoptando posiciones peligrosas que pueden generar riesgos ergonómicos a futuro o posibles accidentes.

Es por este motivo que nace la necesidad de generar un prototipo de carro porta muestras, que permita a los operadores realizar el cargue y descargue de las cajas porta muestras sin tener que agacharse o adoptar posturas incómodas, permitiendo disminuir los riesgos ergonómicos a largo plazo y brindándole al operador seguridad y tranquilidad al momento de realizar su trabajo.

1. IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA O COMUNIDAD

“Ecopetrol es una empresa que se dedica a la producción, refinación y transporte de petróleo y gas principalmente en Colombia, desarrollando su actividad en el desarrollo de actividades industriales y comerciales correspondientes o relacionadas con la exploración, explotación, refinación, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de hidrocarburos, sus derivados y productos.” (ECOPETROL, Quienes somos, 2021)

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción de la Problemática

El levantamiento y transporte de carga es una de las problemáticas que a nivel industrial expone a los empleados a una alta probabilidad de sufrir lesiones lumbares, espasmos o afectaciones en la columna (Casado, 2012), debido a que tienen que cargar y descargar elementos en una misma posición durante repetidas ocasiones. En su gran mayoría este tipo de problemas son provocados por el uso de diferentes tipos de máquinas que son utilizadas para levantar y transporta carga, una de ellas, el montacargas.

En el Instituto Colombiano Del Petróleo, el montacargas es una máquina muy usada en la Litoteca en el área de procesamiento de muestras geológicas, una de las zonas de trabajo donde los operadores requieren cargar y descargar cajas porta muestras a lo largo de algún proceso o actividad. No obstante, el uso de estas máquinas al interior de las instalaciones genera factores de afectación física debido a los constantes movimientos repetitivos y la postura que tiene que adoptar el operador al momento de realizar su actividad sobre el montacarga, aumentando el riesgo de padecer enfermedades profesionales en un futuro no muy lejano.

Es por esto que nace la necesidad de generar el diseño conceptual de un prototipo de carro porta muestras automatizado que se pueda adaptar a un montacargas y que le facilite al operador el levantamiento de las cajas porta muestras en alturas, previniendo así futuras enfermedades laborales. Mediante la aplicación de un proceso de fundamentación teórica sobre los diferentes sistemas hidráulicos, mecánicos, eléctricos y electrónicos, considerando los principios que garantizan la

eficacia de su trabajo y la baja probabilidad de posibles afectaciones físicas, nace el siguiente interrogante; ¿Es posible diseñar un prototipo de carro porta muestras automatizado que se pueda adaptar a un montacargas para facilitar el trabajo en alturas en la Litoteca del Centro de Innovación y Tecnología - ICP Ecopetrol?.

2.2. Justificación de la Práctica

Actualmente con la implementación de nuevas tecnologías y la tendencia actual de las industrias de producir e implementar sistemas que abarquen nuevas áreas de conocimiento e innovación, se incentiva el desarrollo e implementación de nuevos sistemas automatizados de levantamiento de carga que faciliten el uso de las máquinas convencionales, permitiendo que la carga llegue al lugar donde se requiere con precisión y exactitud, sin poner en riesgo la integridad física del operador.

Es por esto que este proyecto nace de la necesidad de contribuir en el desarrollo del diseño de un prototipo de carro porta muestras para la Litoteca del Centro de Innovación y Tecnología - ICP Ecopetrol, el cual deberá ser realizado mediante los parámetros físicos y geométricos de un montacargas de dos uñas, tener los sistemas adecuados que cumplan con los requerimientos de operación, y adicionalmente se deberán reconocer las preocupaciones y limitaciones sugeridas por los operadores de los montacargas al interior de la Litoteca.

Por esta razón, y poniendo en práctica los conocimientos en diseño, mecánica, hidráulica, automatización y demás, adquiridos a lo largo de los estudios universitarios y en el semillero de investigación SIIMA, esta práctica empresarial con Ecopetrol promete estimular en los estudiantes el uso de sistemas de ingeniería

avanzados que propicien el desarrollo de tecnologías e investigación en el diseño de sistemas automatizados, destacando al Centro de Innovación y Tecnología - ICP Ecopetrol en los campos de innovación, ciencia y tecnologías, las cuales son disciplinas emergentes en nuestro país.

2.3. Objetivos

2.3.1 Objetivo General

Evaluar técnica y económicamente el diseño de un prototipo de carro porta muestras automatizado mediante herramientas de diseño asistido por computador, con la finalidad de que se adapte a un montacargas y que facilite el trabajo en alturas en la Litoteca del Centro de Innovación y Tecnología - ICP Ecopetrol.

2.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar el sistema y componentes del prototipo que satisfagan los parámetros de operación, mediante la revisión bibliográfica de libros y artículos en revistas indexadas.
- Diseñar el prototipo con los componentes mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos seleccionados mediante herramientas de modelado y simulación CAD.

- Realizar la evaluación técnica y económica mediante un análisis del diseño y las especificaciones de los componentes a utilizar en el sistema, asociando los costos que engloban su funcionamiento.
- Elaborar un informe de resultados con los planos y documentación necesaria para el diseño de un prototipo de carro porta muestras automatizado “Carryrock”, mediante ingeniería conceptual y la información obtenida en la evaluación técnica y económica.

2.4 Antecedentes de la Empresa

Objeto Social de la Empresa:

2.3.1. Ecopetrol

“Ecopetrol S.A. es una Sociedad de Economía Mixta, es la empresa más grande del país y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, Ecopetrol S.A. pertenece al grupo de las 39 petroleras más grandes del mundo y es una de las cinco principales de Latinoamérica. El objeto social de Ecopetrol S.A. es el desarrollo, en Colombia o en el exterior, de actividades comerciales o industriales correspondientes o relacionadas con la exploración, explotación, refinación, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de hidrocarburos, sus derivados y productos.” (ECOPETROL, Quienes somos, 2021)

2.3.2. Centro de Innovación y Tecnología - ICP Ecopetrol

“Ecopetrol cuenta con una amplia experiencia científica, liderada por el Instituto Colombiano del Petróleo en un trabajo colaborativo con universidades, centros de investigación y empresas de base tecnológica nacionales e internacionales en temáticas propias de la industria del petróleo y gas. Diseño de nuevos procesos e innovaciones, pruebas experimentales y desarrollo de ingenierías y productos tecnológicos son el corazón del quehacer científico del ICP en más de tres décadas de investigación y generación de soluciones tecnológicas. Creado el 11 de junio de 1985 en Piedecuesta, Santander, el ICP cuenta con una infraestructura tecnológica y científica conformada por 9 laboratorios que comprenden más de 40 áreas experimentales, analíticas y 36 unidades de plantas piloto, más de 15.700 equipos y componentes disponibles para la investigación y el desarrollo de tecnología. La infraestructura apoya los estudios de investigación en los siguientes laboratorios experimentales como Upstream, Midstream, Downstream, Plantas piloto y Desarrollos.” (ECOPETROL, Quienes somos, 2020)

Objeto de la Practica:

Al concluir esta práctica se espera obtener el diseño conceptual de un prototipo de carro porta muestras, que se podrá adaptar a un montacargas de dos uñas para trabajos en alturas y que le permitirá a los operadores al interior de la Litoteca del Centro de Innovación y Tecnología - ICP Ecopetrol, tener mejor control de la cajas porta muestra sobre el montacargas, permitiéndoles así mejorar su postura durante el desarrollo de sus actividades y eliminar futuros riesgos de sufrir enfermedades laborales.

3 MARCO REFERENCIAL

3.1. Marco Teórico

3.1.1. Montacargas

Un montacargas es un tipo de vehículo que tiene como función principal levantar, bajar y mover carga usando sus dos extensiones frontales llamadas horquillas, esto mediante un sistema de contrapeso que le permite elevar la carga de forma estable y equilibrada.

Se usa comúnmente en zonas industriales, almacenes y centros logísticos de gran almacenaje de mercancía; gracias a su gran capacidad de levantamiento de carga puede llegar a estanterías muy altas sin ejercer gran esfuerzo, permitiendo trasladar un peso considerable sin que se requiera dividir la carga en varias secciones.

“Aguanta cargas pesadas que ningún grupo de personas podría soportar por sí misma, y ahorra horas de trabajo. Su uso requiere una cierta capacitación y los gobiernos de distintos países exigen a los negocios que sus empleados tramiten licencias especiales para su manejo. Requieren además neumáticos especiales a prueba de pinchazos.” (Finning International, 2018)

3.1.2. Elevación por Sistema de Horquillas o Uñas

La principal función de un montacargas es al ascenso y el descenso de las uñas por medio de un sistema hidráulico, que permite la elevación de una carga generalmente ubicada sobre una tarima, y sobre la cual puede también encontrarse

un operador, dependiendo del tipo de montacargas, esta plataforma se elevará con o sin el operador. Este mecanismo es posible mediante el control de diferentes electroválvulas que permiten trasladar la carga a la altura deseada. “Lo hace a través de dos uñas de diferentes largos (dependiendo su uso). Debido a los diversos tipos de montacargas y aplicaciones, el mismo puede ser usado en cualquier tipo de actividad, Industria o comercio, que involucre la manipulación de cargas.” (Logistic, 2018)

Las uñas o horquillas son usadas generalmente en montacargas, los cuales son actualmente equipos estándar en las zonas de almacenamiento horizontal por su gran capacidad de carga, además, las horquillas son fabricadas en materiales de alta resistencia, lo que las destaca como un elemento seguro y eficaz. “Se trata quizá de los más importantes debido a que en ellas son depositadas las distintas cargas que se almacenan o liberan. Las cargas constantes hacen que sean de los más propensos a deteriorarse, por tal motivo es importante que se mantengan de forma adecuada para evitar accidentes y alargar su ciclo de vida”. (Colombiana, 2020)

La elevación de las horquillas y el mástil, se realizan a través de pistones hidráulicos que hacen parte del sistema hidráulico del montacargas, estos pistones son accionados por una bomba a la cual un motor eléctrico le suministra energía.

Figura 1. Montacarga de Hombre Parado



Fuente: (Torres, S.A. de C.V., 2016)

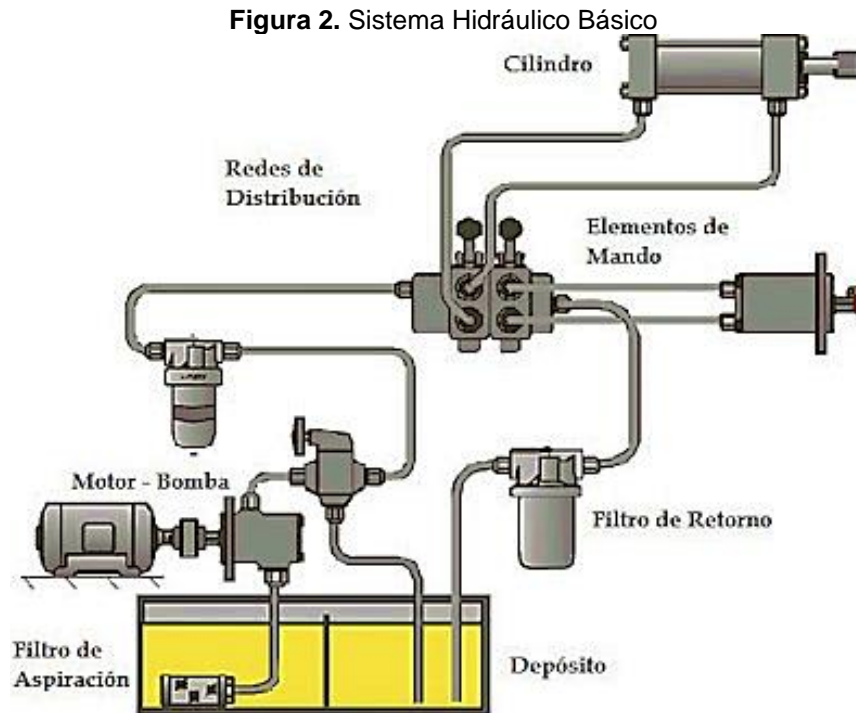
3.1.3. Sistema Hidráulico Básico

“Un sistema hidráulico utiliza un fluido bajo presión para accionar maquinaria o mover componentes mecánicos. Los sistemas hidráulicos se utilizan en todo tipo de entornos industriales grandes y pequeños, así como en edificios, equipos de construcción y vehículos.” (Aula 21, 2019)

En un sistema hidraulico la presión es fundamental, por lo cual la presión que maneja el sistema debe ser lo mas cercana a la presion de la bomba, para ello se debe mantener la velocidad y la friccion del fluido en el punto mas minimo.

Los componentes basicos de un sistema hidraulico varian dependiendo del tipo de sistema a realizar, los componentes mas comunes son: fuerza motriz (motor),

bomba (motobomba), valvulas de control de presion, valvulas de control de flujo, valvulas direccionales y actuadores.



Fuente: (Circuito Hidráulico Básico., 2011)

En esencia un sistema hidráulico comprende la producción, transmisión y control de energía hidráulica, utilizando como fluido principal el aceite. El sistema suministra energía al aceite en forma de presión mediante bombas y lo conduce a través de tuberías hasta los motores o cilindros hidráulicos los cuales son los encargados de transformar la energía suministrada en trabajo.

3.1.3.1 Motobomba

La Motobomba es la encargada de proporcionar el caudal necesario para el sistema, la encontraremos de 3 tipos en especial:

3.1.3.1.1 *Motobomba de Engranés*

Se caracteriza por tener muy pocas piezas móviles y por generar grandes velocidades de trabajo. Cuenta con dos engranes principales, pero solo cuenta con uno acoplado al eje del impulsor. Los motores de este tipo tienen un caudal constante y funcionan a presiones de entre 50 y 210 bar, además pueden alcanzar velocidades de hasta 6000rpm.

Ventajas:

- ❖ Su precio es bastante asequible.
- ❖ Su sistema de cilindros es fijo.

Desventaja:

- ❖ Poseen una baja eficiencia volumétrica.

3.1.3.1.2 *Motobomba de Paletas*

Se caracterizan por tener un rotor con ranuras radiales las cuales tienen forma rectangular, lo que permite el movimiento radial de estas mismas. Este motor se puede operar en cualquiera de las dos direcciones sin llegar a necesitar de componentes adicionales como balancines o válvulas de vaivén, permitiendo reducir costos.

Ventajas:

- ❖ Posee un rendimiento volumétrico superior en comparación con las bombas de engranajes.

- ❖ A velocidades altas producen poco ruido (3.000 rpm).
- ❖ Pueden variar su cilindro a fijo o variable.
- ❖ En el caso de las bombas de cilindro variable, es posible reducir el caudal ayudando a reducir el consumo de energía.

Desventajas:

- ❖ Son bastante más costosas que las bombas de engranajes, pero mucho más baratas que las bombas de pistón.
- ❖ Son muy frágiles, debido a que las paletas soportan esfuerzos de flexión debido a la presión de descarga.

3.1.3.1.3 Motobomba de Pistón

Se caracterizan por proporcionar grandes caudales a altas presiones. Su funcionamiento se basa en un movimiento alternado de los pistones. Estos pistones ofrecen un sellado preciso, que le permite al sistema funcionar a altas presiones sin que ocurran daños o fugas de fluido significativas.

Ventajas:

- ❖ Ofrecen la mejor eficiencia volumétrica de todas.
- ❖ Generan las presiones más elevadas en comparación a cualquier otro tipo de bomba.
- ❖ Son mucho más fiables .
- ❖ Tienen una gran densidad de potencia.
- ❖ Hay sistemas con cilindro variable y sistemas con cilindro fija

Desventaja:

- ❖ Son las bombas hidráulicas más costosas.

3.1.3.2 Tanque de Almacenamiento de Aceite

La función del tanque es la de almacenar el aceite, pero, también cumple otras importantes funciones como controlar la capacidad de reserva del fluido, limpiar el fluido, mantener la temperatura del fluido y eliminar el aire del fluido que retorna.

La capacidad de almacenamiento del tanque puede variar, sin embargo se considera que este debería ser 3 veces la capacidad en galones por minuto de la bomba, para que el tanque o los tanques sean adecuados para el suministro de esta.

3.1.3.3 Válvulas

Los sistemas hidráulicos se diseñan para trabajar bajo un determinado rango de presión, este rango se rige en función de las fuerzas que soportan los actuadores, las cuales deben ser reguladas y limitadas, debido a que si se presentan fuerzas excesivas se puede provocar un grave daño en el sistema. Por ello las válvulas son las encargadas de controlar y regular estas fuerzas, limitando el descargado excesivo del fluido.

En un sistema hidráulico las válvulas desempeñan diferentes funciones como lo son controlar la presión del sistema, regular la presión de entrada del fluido en el sistema, permitir presiones diferenciales en distintas zonas del sistema y prevenir fallas al evitar que la inercia de la carga desbalancee la armonía del sistema.

3.1.3.4 Motor de Corriente Directa

“El motor DC, también llamado motor de corriente continua, pertenece a la clase de los electromotores y sirve principalmente para transformar la energía eléctrica en energía mecánica. La mayoría de las formas de construcción del motor DC se basa en fuerzas magnéticas y dispone de mecanismos internos de tipo electrónico o electromecánico. También característico de los motores de corriente continua convencionales es el acumulador, que cambia periódicamente la dirección del flujo de corriente dentro del motor. Una modificación del motor DC clásico que resulta más potente en numerosos ámbitos de aplicación es el motor DC sin escobillas, que prescinde de contactos de roce y ofrece así, entre otras cosas, una vida útil más larga.” (Harmonic Drive SE, 2019)

Los motores DC son los mejores motores para uso industrial, son los más versátiles y adaptables a procesos que requieren de un alto grado de flexibilidad en el control del par y la velocidad. Además, pueden proporcionar un alto par de desaceleración para aplicaciones que requieran frenar de manera rápida o que requieran inversiones de sentido de rotación.

Hay 3 tipos de motores de corriente directa: tipo serie, tipo derivado o shunt y tipo compuesto. Cada tipo de motor tiene sus características de operación bien definidas. Por lo cual para su aplicación es esencial conocer los requerimientos de carga.

3.1.3.5 Baterías

Las baterías son el corazón de todo sistema, son el elemento que se utiliza para almacenar la energía con la que se operaran los circuitos y componentes eléctricos de la estructura. Las baterías almacenan energía en forma química, hasta que por

medio de un circuito externo la energía almacenada se convierte en energía eléctrica, que fluye desde el terminal positivo de la batería, viaja por todo el circuito o los componentes eléctricos y vuelve a la otra terminal negativa.

3.1.4. Sistemas Eléctricos – Electrónicos

Un sistema electrónico es un conjunto de circuitos que interactúan entre sí para obtener un resultado. Una forma de entender los sistemas electrónicos consiste en dividirlos en las siguientes partes:

- ❖ Entradas o Inputs – “Sensores (o transductores) electrónicos o mecánicos que toman las señales (en forma de temperatura, presión, etc.) del mundo físico y las convierten en señales de corriente o voltaje. Ejemplo: El termopar, la foto resistencia para medir la intensidad de la luz, etc.” (Electronica, 2015)
- ❖ Circuitos de procesamiento de señales – “Consisten en piezas electrónicas conectadas juntas para manipular, interpretar y transformar las señales de voltaje y corriente provenientes de los transductores.” (Electronica, 2015)
- ❖ Salidas u Outputs – “Actuadores u otros dispositivos (también transductores) que convierten las señales de corriente o voltaje en señales físicamente útiles. Por ejemplo: un display que nos registre la temperatura, un foco o sistema de luces que se encienda automáticamente cuando esté oscureciendo.” (Electronica, 2015)

3.1.5. Automatización

“La automatización consiste en usar la tecnología para realizar tareas casi sin necesidad de las personas. Se puede implementar en cualquier sector en el que se lleven a cabo tareas repetitivas. Sin embargo, es más común en aquellos relacionados con la fabricación, la robótica y los automóviles, así como en el mundo de la tecnología, como el software de decisiones empresariales y los sistemas de TI.” (RED HAT, 2020)

3.1.6. Elevación de carga por Tijera

“Una sistema de elevación de tijera, o una mesa elevadora, como también se denomina, es una mesa de trabajo que se puede elevar y bajar a la posición deseada, haciendo así que el trabajo con objetos pesados sea más ergonómico y reduciendo la necesidad de muchos levantamientos repetidos y manuales. Un elevador de tijera es una solución fiable que dura muchos años. Una mesa elevadora de tijera recibe muchos apodos como mesa elevadora, mesa de tijera o elevador. La referencia a una tijera procede del hecho de que la mesa está construida con dos brazos de tijera que van paralelos, lo cual provoca un movimiento suave.” (Translyft, 2020)

3.1.7. Programas de Diseño CAD

“Diseño CAD, o diseño y dibujo asistido por computadora (CADD), es una tecnología para el diseño y la documentación técnica, que sustituye el dibujo manual por un proceso automatizado. Estos programas de diseño gráfico también pueden ayudarte a redactar documentación de construcción, explorar ideas de diseño,

visualizar conceptos mediante renderizaciones fotorrealistas y simular el rendimiento de un diseño en el mundo real.” (AUTODESK, 2020)

4 DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Durante el desarrollo de un proceso de diseño, se plantea una metodología a seguir que permita dar solución a las necesidades, es por esto que la metodología adoptada es una metodología de diseño conceptual, esta se utilizó con el fin de desarrollar 3 etapas por medio del cumplimiento de diferentes actividades en cada etapa, las cuales consideran los diferentes pasos para la solución de la problemática.

4.1. Etapa 1

Investigación del tipo de sistema a diseñar según las especificaciones del montacargas, analizando las propuestas más convenientes que cumpla con las necesidades propuestas para su correcta operación.

4.1.1. Actividad 1.1

Investigación bibliográfica haciendo uso de tesis de grados, artículos, libros y páginas web; revisando fuentes de datos confiables que permitan seleccionar el diseño más conveniente.

4.1.2. Actividad 1.2

Revisión técnica del montacargas y de la zona de trabajo al interior de la Litoteca, con el fin de identificar cada una de las necesidades que presentan los operadores del montacargas al momento de realizar su trabajo.

4.1.3. Actividad 1.3

Evaluación de prediseños y bocetos que nos permitan tener una aproximación del diseño requerido.

4.2. Etapa 2

Presentación de prediseños y bocetos mediante herramientas de simulación y modelado CAD, que nos permitan tener una aproximación del prototipo con relación al espacio en el montacargas.

4.2.1. Actividad 2.1

Dimensionamiento del espacio mediante la toma de medidas en el montacargas, con el fin de obtener las correctas dimensiones para el diseño del prototipo.

4.2.2. Actividad 2.2

Modelado CAD de prediseños y bocetos que nos permita determinar el diseño más conveniente.

4.2.3. Actividad 2.3

Análisis preliminar de cada uno de los prediseños y bocetos CAD presentados.

4.3. Etapa 3

Ejecución del modelado final mediante herramientas de simulación y modelado CAD, habiendo analizado previamente los prediseños y los bocetos con la ayuda del líder de laboratorio y los operadores, se realiza el diseño más acorde a la geometría del montacargas.

4.3.1. Actividad 3.1

Diseño del prototipo de carro porta muestras Carryrock, con su respectivo ensamble en software CAD y sus planos.

4.3.2. Actividad 3.2

Se realiza el respectivo informe de resultados con la información obtenida en las investigaciones realizadas, donde se concluya la práctica con del diseño conceptual del prototipo de carro porta muestras y que se adapte o no correctamente al montacargas para trabajos en alturas, corroborando así el cumpliendo con las todas las actividades propuestas en las etapas del proyecto.

5 RESULTADOS

5.1. Investigación del Tipo de Sistema a Diseñar

5.1.1. Estado del Arte

A mediados de siglo 19 un ingeniero inventor llamado Waterman, crea por primera vez en la historia la máquina montacargas, tomando como inspiración los sistemas de poleas que se usaban en las grúas de las zonas industriales, la cual, era en teoría una plataforma unida con un cable, plataforma que después le serviría a Elisha Graves Otis como inspiración para crear los sistemas de poleas presentes en los ascensores. (PREMOCASA, 2018).

En 1912, nació la idea de poder trasladar el sistema de montacargas por medio de un vehículo impulsado por motores, logrando que 3 años después aparecieran los primeros montacargas que podían trasladarse de un lugar a otro y que podían mover su sistema de plataforma hacia arriba y hacia abajo (PREMOCASA, 2018). Gracias a estas técnicas, el ejército fabrica su primer vehículo montacargas aplicando las técnicas que se propusieron los años anteriores, usándolo para cargar y descargar armamento de los vehículos de transporte militares durante la primera guerra mundial.

En 1917, el ingeniero Clark propuso que el montacargas debía ser independiente de cualquier estructura fija y planteo un diseño en el cual el operador tenía total control del montacargas desde un asiento en una carretilla (Damian de Montecharge, 2021).

En 1920, las empresas norteamericanas Clark Material Handling Company y Yale Material Handling Corporation inician el desarrollo de los primeros auto elevadores o más conocidos en aquella época como carretilla o montacargas, usando energía hidráulica para elevar la plataforma (OBS business school, 2019).

En 1923, gracias a Yale Material Handling Corporation, nace el montacargas con el sistema de elevación por horquillas que conocemos hoy en día, siendo el primero en producirlo para comercializarlo (Damian de Montecharge, 2021).

En 1924, se crea el primer montacargas con mástil de elevación por horquillas con un motor a gasolina en su interior y en 1942, se crea el primer montacargas con un motor eléctrico como sistema de potencia (Damian de Montecharge, 2021).

5.1.2. Antecedentes

Es de gran utilidad conocer los estudios, avances e investigaciones que se han realizado a nivel nacional e internacional que tienen relación con el tema propuesto, por tal motivo se realizó un rastreo bibliográfico, en donde se pudo hallar investigaciones a nivel nacional e internacional.

La revisión bibliográfica que permitió indagar sobre los conceptos y conocimientos previos requeridos para el desarrollo de este proyecto son:

A nivel internacional:

“Caracterización de un elevador tipo tijera para vehículos”

En objetivo de este proyecto fue el de realizar el diseño, cálculos y modelado de los elementos necesarios para un elevador de vehículos, el cual se realizó con el fin de que se pueda utilizar en trabajos de carrocería. Esto mediante el análisis de estudios previos y cálculos de toda la estructura, permitiéndoles crear modelos de simulación 3D y un completo ensamble de todas las piezas de la estructura mediante el uso de SolidWorks (software de diseño asistido por computador) y para complementar el diseño realizaron la simulación de movimiento de cada una de las fuerzas ejercidas por el cilindro y las demás piezas para así corroborar resultados de los cálculos que dieron pie a la realización del proyecto. (Murillo, 2011)

Figura 3. Elevador de Tijera para Vehículos



Fuente: (LAUNCH, 2019)

“Diseño, cálculos y dimensionamiento de una plataforma elevadora móvil de personal con accionamiento hidráulico”

El presente proyecto analiza todos los aspectos necesarios que se deben tener en cuenta durante el diseño, dimensionamiento, cálculos y modelado de una plataforma elevadora de personal, haciendo uso de herramientas de modelado y simulación 3D. La intención de los autores no solo es cubrir todas aquellas necesidades que se pueden presentar al momento de realizar un proyecto como este, también plantean el punto de vista respecto al operador, planteándole este proyecto no solo como una plataforma elevadora móvil, si no como una opción viable de desplazamiento vertical, la cual le permitiría alcanzar diferentes alturas y le permitirá realizar diferentes posiciones de trabajo, que antes realizaba frecuentemente con andamios o escaleras, poniendo en riesgo su integridad y la otras personas involucradas. (DEL POZO, 2012)

Figura 4. Plataforma Elevadora de Personal



Fuente: (SKYGROUP, s.f.)

“Diseño y construcción de un elevador móvil electrohidráulico tipo tijera con capacidad de carga de 500 kilogramos para el mantenimiento de maquinaria”

Para la realización de este proyecto, los autores plantearon su desarrollo en 4 capítulos, los cuales tratan el diseño y construcción de un elevador móvil electrohidráulico tipo tijera para el mantenimiento de maquinaria en espacios pequeños. El primer capítulo parte con los detalles para el elevador de tipo Scoring que evaluarán, una vez seleccionado, el capítulo dos amplía las definiciones técnicas necesarias que componen la máquina, el capítulo 3 detalla el diseño y selección de los materiales, los cuales fueron validados mediante cálculos y simulaciones por medio de programas como MDSolid y SolidWorks, el capítulo 4 culmina el proyecto con un estudio financiero que brindara el coste directo con todos los factores que determinan la construcción del elevador. (García & Rueda, 2016)

A nivel Nacional:

“Diseño y modelamiento en SolidWorks® de un mecanismo mecánico para el cambio de cargadores en el horno de la planta specialities de o-i peldar® en Soacha”

La autora del presente proyecto plantea el desarrollo de un mecanismo hidráulico de tipo tijera que minimiza el riesgo al que se expone el personal de mantenimiento durante el cambio de los cargadores de un horno que hace parte del proceso productivo de una planta fabricante de envases de vidrio, ubicada en Soacha, Cundinamarca. El proyecto busca reducir los peligros al levantar y transportar estos cargadores, los cuales pesan 1 tonelada. Para reducir estos índices, la autora busca que los operadores tengan un mecanismo que no solo contribuya con la productividad de la empresa, si no que permita al personal de mantenimiento realizar sus labores sin estar expuestos a posibles accidentes. (GALÁN, 2015)

“Diseño de un elevador de tijera hidráulico para el izaje de vehículos tipo sedán”

Este proyecto desarrolla la importancia de elementos o sistemas de seguridad al interior de un taller, planteando un sistema de elevación por medio de tijeras, que permita el levantamiento de vehículos tipo sedán con bajos costos de fabricación, brindándole al trabajador una alternativa de levantamiento de piezas o elementos del vehículo diferente al levantamiento tradicional al que está acostumbrado, el cual generalmente consiste en levantarlos con fuerza propia, por tal motivo los autores buscan aplicar este proyecto a la mayor cantidad de talleres tradicionales, permitiéndoles tener una alternativa accesible y segura. (RAMIREZ & AGUIRRE, 2017)

5.1.3. Revisión Técnica

La identificación de la necesidad parte de analizar y revisar las condiciones que llevaron al planteamiento de este proyecto, es por esto que en esta etapa se realizó también una revisión técnica al montacargas y a la zona donde los operadores desarrollan sus labores, con el fin de conocer las limitaciones y sugerencias de los operadores al momento de realizar su trabajo.

5.1.3.1 Zona de Trabajo

La zona de trabajado donde los operadores realizan sus labores está ubicada al interior de la Litoteca del Centro de Innovación y Tecnología en Bucaramanga, Santander. En este lugar los operadores se desplazan vertical y horizontalmente sobre el montacargas para poder acceder a las cajas porta muestras que se encuentran ubicadas sobre estanterías verticales.

5.1.4. Evaluación de Prediseños y Bocetos

Durante el desarrollo de la etapa, se dispuso esta actividad para realizar prediseños y bocetos a mano alzada, los cuales sirvieron como punto de partida para identificar la posible solución a la necesidad propuesta, por lo tanto se realizó una lluvia de ideas junto al ingeniero Luis Fernando Peña, logrando así obtener unos dibujos sencillos realizados a partir de planteamientos y sugerencias que nos permitieron plasmar la idea conceptual.

5.2. Presentación de Prediseños y Bocetos

En esta etapa se realizaron los prediseños y bocetos mediante el uso de herramientas de diseño asistido por computador, con el fin de poder obtener prototipos conceptuales con relación al espacio en el montacargas y que puedan cumplir con las especificaciones de desempeño en la zona de trabajo, todo esto a partir de la toma de medidas en el montacargas, los concejos y recomendaciones impartidos por los operadores y el modelado en SolidWorks de cada una de las piezas que comprenden el ensamble individual de los prototipos conceptuales.

5.2.1. Dimensionamiento del Espacio en el Montacargas

Las medidas son fundamentales al momento de realizar el modelamiento en software CAD de cada una de las piezas de los prototipos, es por esto que junto al ingeniero Luis Fernando, se realizaron varias visitas a la Litoteca con el fin de tomar cada una de medidas de las piezas o componentes a considerar en la geometría de diseño de los prototipos, analizando tolerancias y consideraciones de diseño que no intervengan o afecten el normal funcionamiento de los componentes asociados al montacargas.

5.2.1.1 Dimensiones del Montacargas

Las dimensiones con las cuales se realizó el modelado de los prototipos conceptuales y con las cuales se realizará el diseño conceptual del Carryrock, dependen de las dimensiones de las horquillas o uñas del montacargas, debido a que estas partes son las que entraran en contacto con el prototipo; es por esto que se tomaron los parámetros geométricos de esto componentes incluyendo la Mordaza del montacargas ubicado en la Litoteca, teniendo en cuenta cada medida necesaria.

Cabe resaltar que las uñas u horquillas del montacargas pueden modificar su distancia entre ellas, dependiendo del tipo de carga que se levante, estas pueden estar más cerca o más lejos de su centro, no obstante los operadores manejan una distancia estándar a la cual se han adaptado.

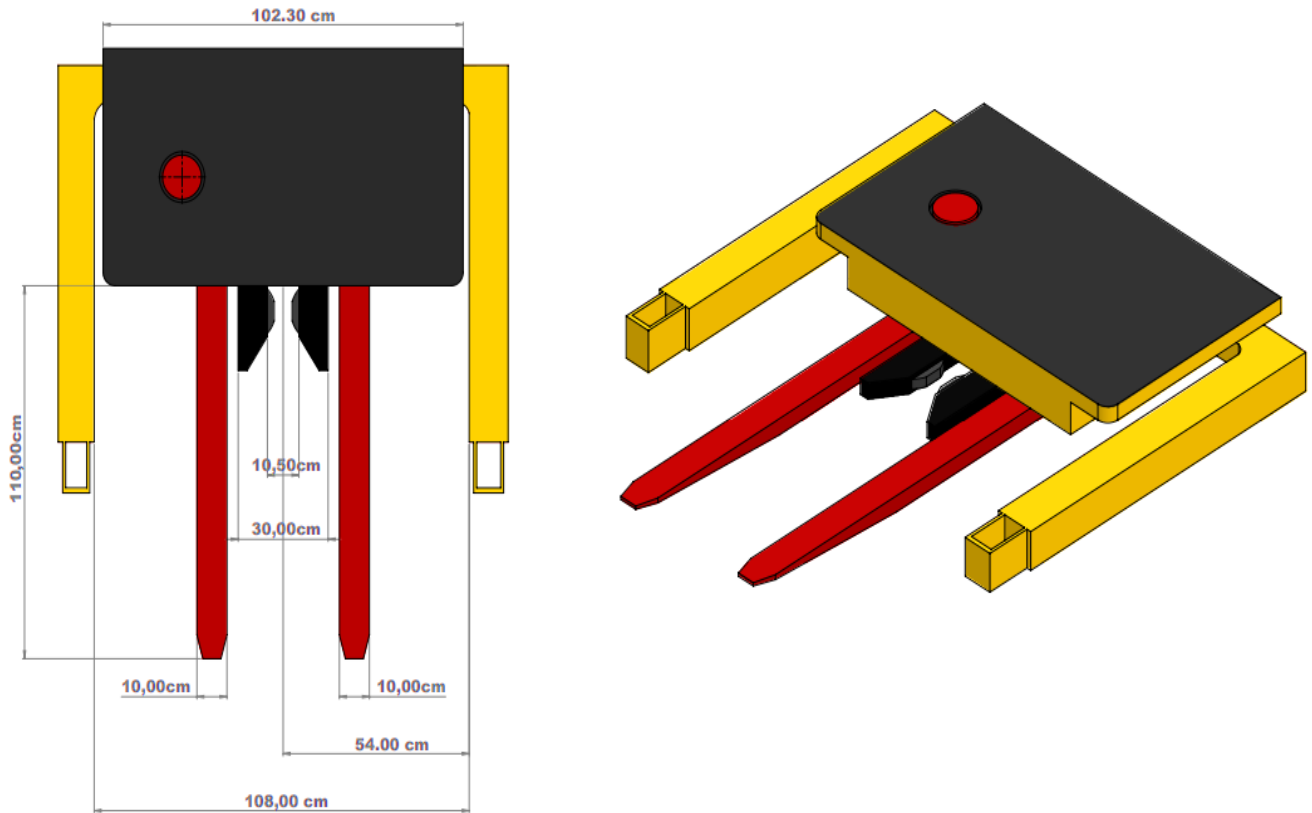
Figura 5. Horquillas o Uñas del Montacargas



Fuente: (Autor)

El montacargas cuenta con un sistema de mordaza que ayuda a fijar el prototipo a las uñas, este es de suma importancia ya que evita posibles accidentes en alturas, por esto, se tomaron las medidas del largo y ancho de las horquillas o uñas, teniendo en cuenta la mordaza.

Figura 6. Dimensionamiento de Horquillas o Uñas y Mordaza



Fuente: (Autor)

5.2.1.2 Dimensiones de las Cajas Porta Muestras

Las cajas porta muestras son uno de los elementos fundamentales al momento de realizar los prototipos, debido a que estas son la carga que se va a trasladar sobre el Carryrock, por ende, se dimensionó también su geometría para tener una aproximación real del espacio que se requerirá para distribuirlas en la plataforma de forma segura y organizada.

Estas cajas porta muestras están diseñadas de forma que se puedan agrupar de manera horizontal, una sobre otra, sin sufrir ninguna deformación y sin llegar a afectar el contenido de estas mismas.

Las dimensiones efectivas de las cajas porta muestras son: 25 centímetros de ancho, 98 centímetros de largo y 9 centímetros de alto. Su resistencia varía dependiendo del tipo de muestra que se almacene en estas y su diseño les permite ser almacenadas en cualquier superficie plana de la estantería al interior de la Litoteca.

5.2.2. Modelado CAD de Prediseños y Bocetos

El modelado de los prototipos conceptuales mediante el uso de herramientas de diseño asistido por computador como SolidWorks, nos permite encontrar y corregir falencias al momento de realizar el diseño conceptual del Carryrock, es por esto que en esta etapa es fundamental analizar el funcionamiento de cada uno de los prototipos, teniendo en cuenta las correcciones del ingeniero Luis Fernando y los sugerencias de los operadores al interior de la Litoteca.

5.2.3. Análisis de Prediseños y Bocetos

Para la selección del prototipo más conveniente para el diseño conceptual del Carryrock, se analizó con el acompañamiento del ingeniero Luis Fernando, el prototipo que diera solución a las necesidades propuestas y que permitiera dar una correcta continuidad al desarrollo de este proyecto en un futuro no muy lejano. Es por esto que el prototipo 3 es el prototipo que permite mayor acercamiento a la solución de las necesidades planteadas y el cual permite sentar las bases para el

desarrollo de proyectos que den continuidad a la operación automatizada de este diseño conceptual.

5.3. Ejecución del Diseño Conceptual

Para la realización del diseño conceptual se analizaron diferentes factores del prototipo seleccionado, con el fin de poder definir los parámetros de diseño que se aplicarían al diseño conceptual del Carryrock, para esto, se realizó una consulta con los diferentes fabricantes de estructuras similares, con el fin de conocer el material más recomendable para la construcción de la estructura y conocer una geometría comercial respecto a los materiales en la industria.

5.3.1. Material para la Estructura del Prototipo

Dada las especificaciones de diseño conceptual del prototipo se consultaron diferentes materiales para la fabricación de este, no obstante, el material más recomendable para la construcción de estructuras similares es el ACERO ASTM A572 en grado 50.

El ACERO ASTM A572 se recomienda principalmente para la construcción de sistemas estructurales metálicos de alta resistencia, columnas, vigas, viguetas de entrepiso, correas para cubiertas y estructuras para puentes peatonales.

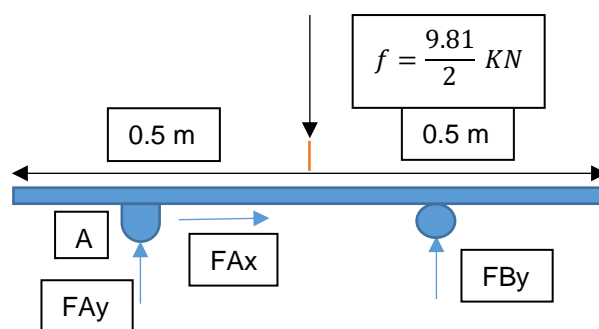
Además de cumplir con unas excelentes propiedades mecánicas y ser un acero comercial en Colombia, se encuentra certificado por la NORMA COLOMBIANA NTC 4526, norma que establece los requisitos que debe cumplir la tubería estructural de acero al carbono, formada en frío, con y sin costura y de forma redonda, cuadrada, rectangular o de forma especial para construcción de puentes y edificios soldados, remachados o atornillados para propósitos estructurales en general.

5.3.2. Análisis Estático

Se realizó un análisis de carga estático en 3 diferentes posiciones de elevación: posición más baja, posición media y su posición más alta, esto permitirá tener resultados de acuerdo con la distribución de la carga en todos sus puntos, así también permite determinar la fuerza que debe ejercer el cilindro hidráulico.

5.3.2.1 Posición más Alta

DCL Plataforma

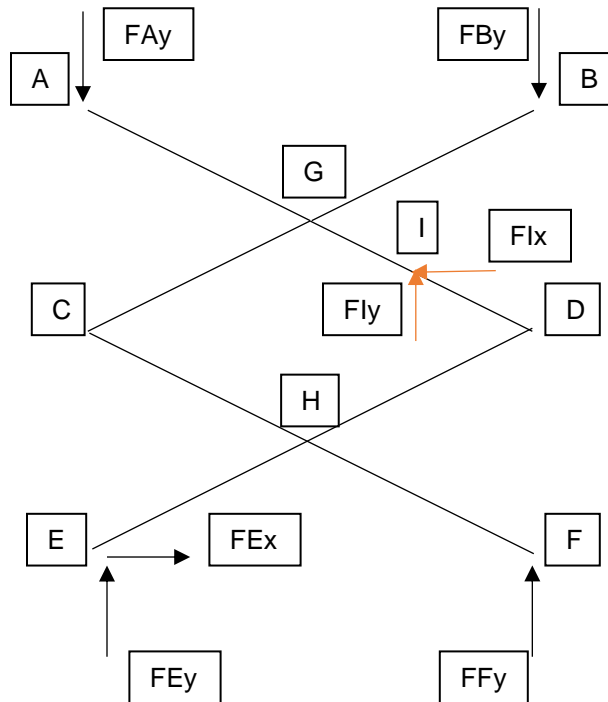


$$\sum f_x = 0 = F_{ax} = 0$$

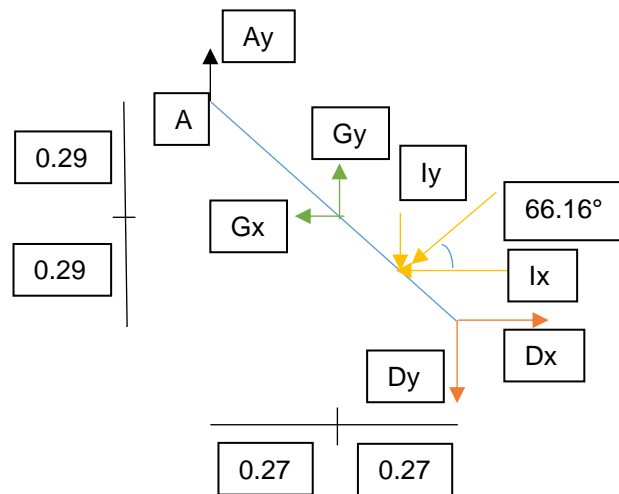
$$\sum f_y = 0 = A_y + B_y - 4.905KN = 0$$

$$\sum MA = -4.905KN * 0.39m + F_{By} * 0.54m = 0$$

DCL Tijera



DCL Barra A-D



$$\sum f_y = Ay + Gy - Iy - Dy = 0$$

$$\sum f_x = -Gx - Ix + Dx = 0$$

$$\sum m_{B+=} 0 = -Ay * 0.54 - 0.27 + Gy + 0.29 * Gx + 0.07 * Iy - 0.074Ix = 0$$

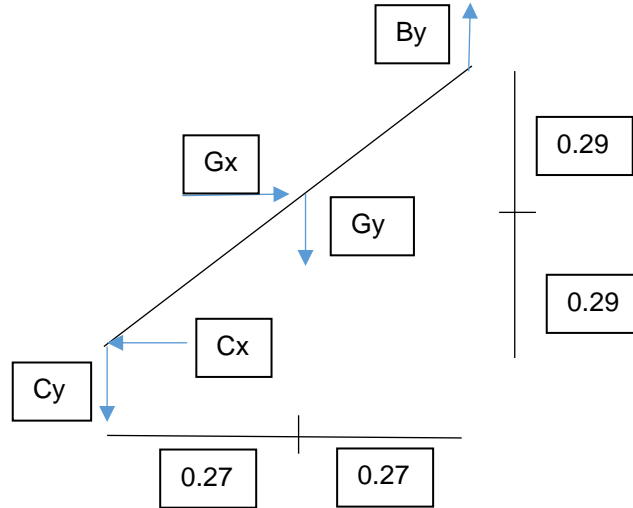
$$Iy = F_{cilindro} * \sin(66.16^\circ)$$

$$Iy = 0.91447 F_{cilindro}$$

$$Ix = F_{cilindro} * \cos(66.16^\circ)$$

$$Ix = 0.4042 F_{cilindro}$$

DCL Barra B-C

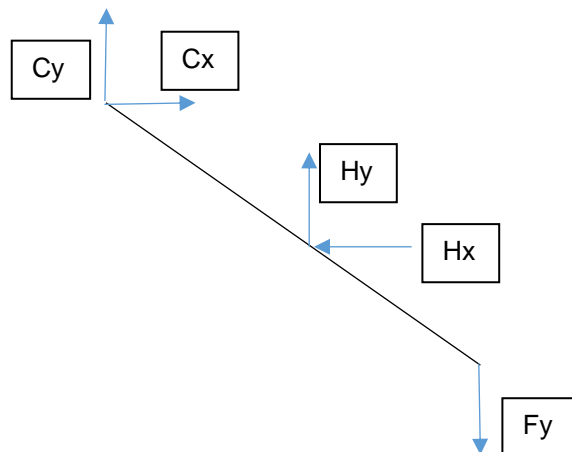


$$\sum Fy = 0 = By - Gy - Cy = 0$$

$$\sum Fx = 0 = -Cx + Gx = 0$$

$$\sum Mc += By * 0.54 - 0.29 * Gx - 0.27 * Gy = 0$$

DCL Barra C-F

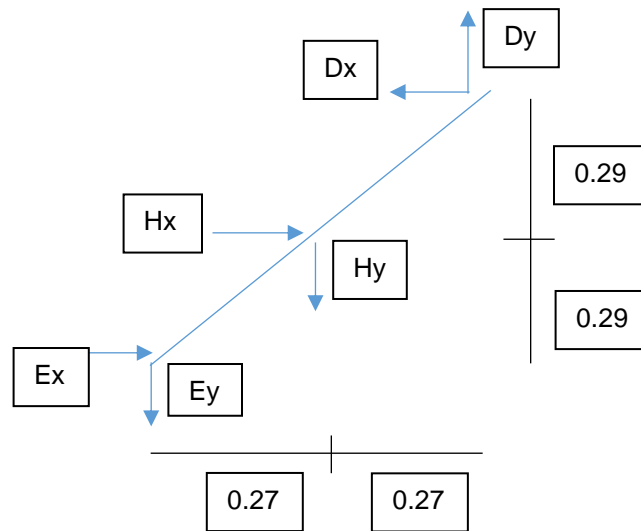


$$\sum Fy = Cy + Hy - Fy = 0$$

$$\sum Fx = Cx - Hx = 0$$

$$\sum Mf = -0.54 * Cy - 0.58 * Cx - 0.27 * Hy + 0.29 * Hx = 0$$

DCL Barra D-E



$$\sum Fy = Dy - Hy - Ey = 0$$

$$\sum Fx = -Dx + Hx + Ex = 0$$

$$\sum Me+ = 0 = Dy * 0.54 + 0.58 * Dx - Hx * 0.29 - 0.27 * Hy = 0$$

Debido a que son diecisiete ecuaciones con diecisiete incógnitas, se ha utilizado el programa EES (Engineering Equation Solve) para resolverlas, los resultados obtenidos del mismo son:

- Reacciones en las barras en posición más alta:

$$A_x = 0 \text{ KN}$$

$$A_y = 1.363 \text{ KN}$$

$$B_y = 3.543 \text{ KN}$$

$$C_x = 4.158 \text{ KN}$$

$$C_y = 0.9235 \text{ KN}$$

$$D_x = 1.35 \text{ KN}$$

$$D_y = -2.373 \text{ KN}$$

$$E_x = -2.808 \text{ KN}$$

$$E_y = 3.94 \text{ KN}$$

$$F_x = 6.947 \text{ KN}$$

$$F_y = -5.39 \text{ KN}$$

$$G_x = 4.158 \text{ KN}$$

$$G_y = 2.619 \text{ KN}$$

$$H_x = 4.158 \text{ KN}$$

$$H_y = -6.313 \text{ KN}$$

$$I_x = 2.808 \text{ KN}$$

$$I_y = 6.355 \text{ KN}$$

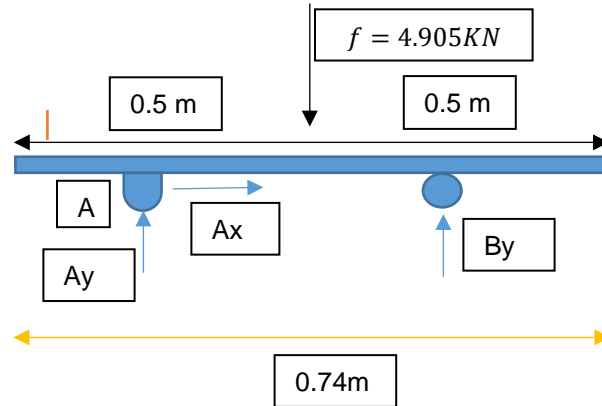
- Fuerza del cilindro en posición más alta:

$$F_{\text{cilindro}} = 6.947 \text{ KN}$$

La fuerza del cilindro se analizó para una sola tijera, para las 2 tijeras se multiplica por 2: $6.957 \text{ KN} * 2 = 13.895 \text{ KN}$

5.3.2.2 Posición Media

DCL Plataforma

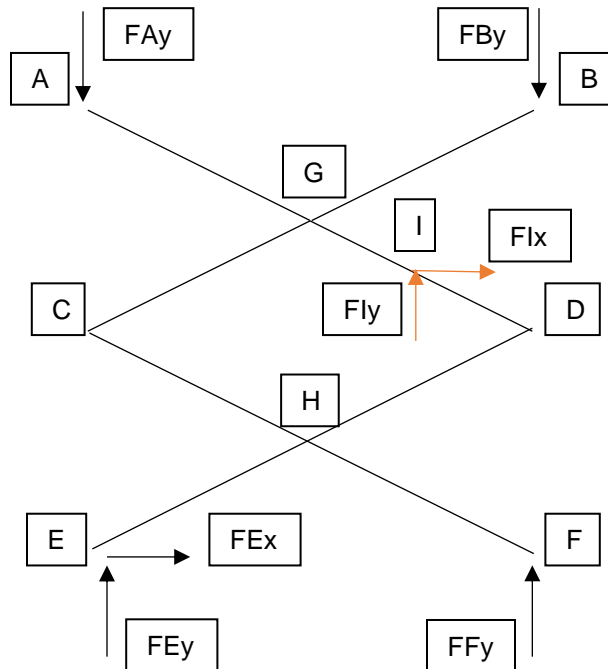


$$\sum F_x = 0 = Ax = 0$$

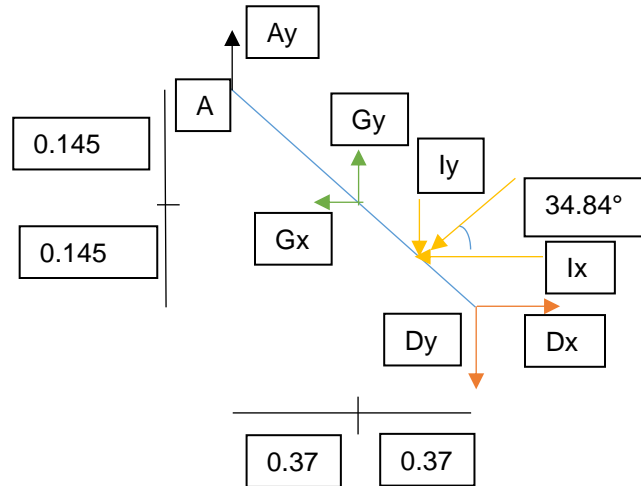
$$\sum F_y = 0 = -4.905 + Ay + By = 0$$

$$\sum m_A = -4.905 \text{ kN} * 0.39 \text{ m} + 0.74 * By = 0$$

DCL Tijera



DCL Barra A-D



$$\sum Fy = Ay + Gy - Iy - Dx = 0$$

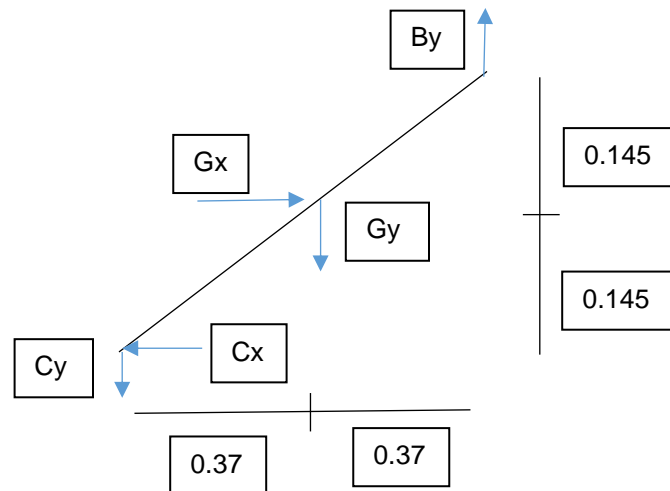
$$\sum Fx = 0 = -Gx - Ix + Dx = 0$$

$$\sum mD += 0 = -Ay * 0.74 - 0.37 * Gy + 0.145 * Gx + 0.1 * Iy + 0.037 * Ix = 0$$

$$Iy = F_{cilindro} * \sin(34.84)$$

$$Ix = F_{cilindro} * \cos(34.84)$$

DCL Barra B-C

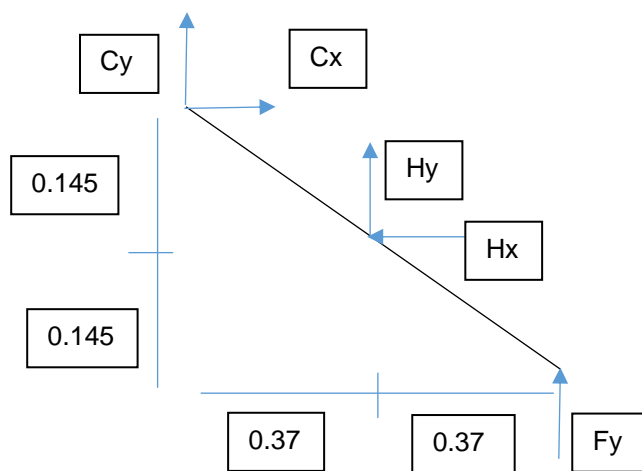


$$\sum Fy = By - Gy - Cy = 0$$

$$\sum Fx = 0 = Gx - Cx = 0$$

$$\sum Mc += 0 = 0.74 * By - 0.145 * Gx - 0.37 * Gy = 0$$

DCL Barra C-F

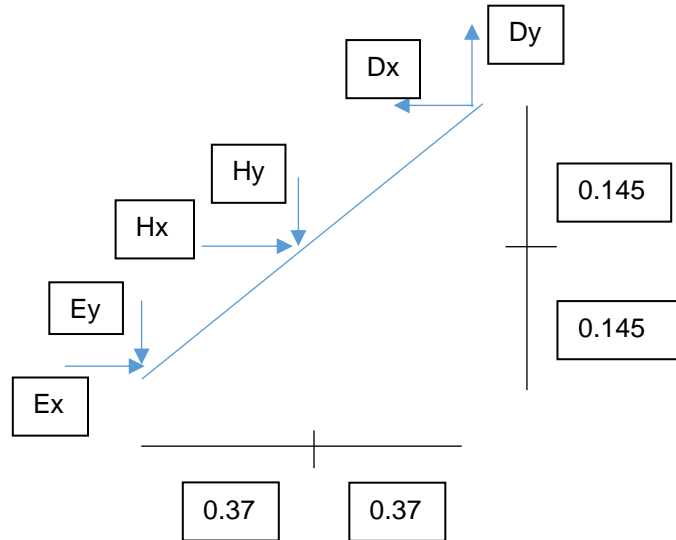


$$\sum Fy = Cy + Hy - Fy = 0$$

$$\sum Fx = Cx - Hx = 0$$

$$\sum Mf += 0 = -0.74 * Cy - 0.29 * Cx - 0.37 * Hy + 0.145 * Hx = 0$$

DCL Barra D-E



$$\sum Fy = Dy - Hy - Ey = 0$$

$$\sum Fx = -Dx + Hx + Ex = 0$$

$$\sum Mf += 0 = 0.74 * Dy + 0.29 * Dx - 0.37 * Hy - 0.145 * Hx = 0$$

Debido a que son diecisiete ecuaciones con diecisiete incógnitas, se ha utilizado el programa EES (Engineering Equation Solve) para resolverlas, los resultados obtenidos del mismo son:

- Reacciones en las barras en posición media:

$$Ax = 0 \text{ KN}$$

$$Ay = 2.32 \text{ KN}$$

$$By = 2.585 \text{ KN}$$

F-DC-128

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO
EN MODALIDAD DE PRÁCTICA

VERSIÓN: 1.0

$$C_x = 4.47 \text{ KN}$$

$$C_y = -0.8332 \text{ KN}$$

$$D_x = 26.36 \text{ KN}$$

$$D_y = -9.496 \text{ KN}$$

$$E_x = 21,89 \text{ KN}$$

$$E_y = -9.411 \text{ KN}$$

$$F_x = 26.67 \text{ KN}$$

$$F_y = -0.9187 \text{ KN}$$

$$G_x = 4.47 \text{ KN}$$

$$G_y = 3.418 \text{ KN}$$

$$H_x = 4.47 \text{ KN}$$

$$H_y = -0.08552 \text{ KN}$$

$$I_x = 21.89 \text{ KN}$$

$$I_y = 15.23 \text{ KN}$$

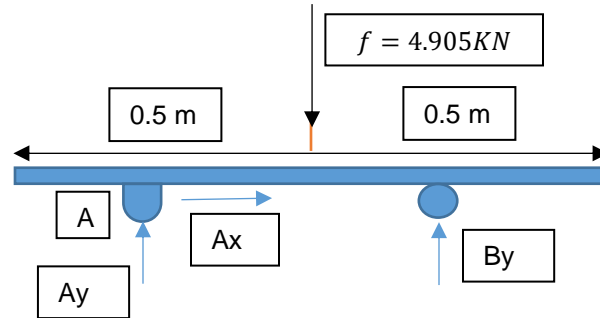
- Fuerza del cilindro en posición media:

$$F_{\text{cilindro}} = 26.68 \text{ KN}$$

La fuerza del cilindro se analizó para una sola tijera, para las 2 tijeras se multiplica por 2: $26.68 \text{ KN} * 2 = 53.37 \text{ KN}$

5.3.2.3 Posición más Baja

DCL Plataforma

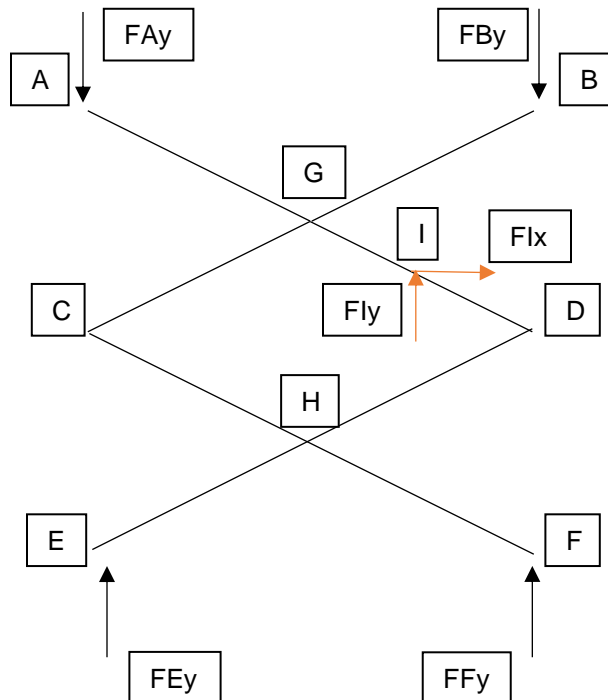


$$\sum F_x = 0 = Ax = 0$$

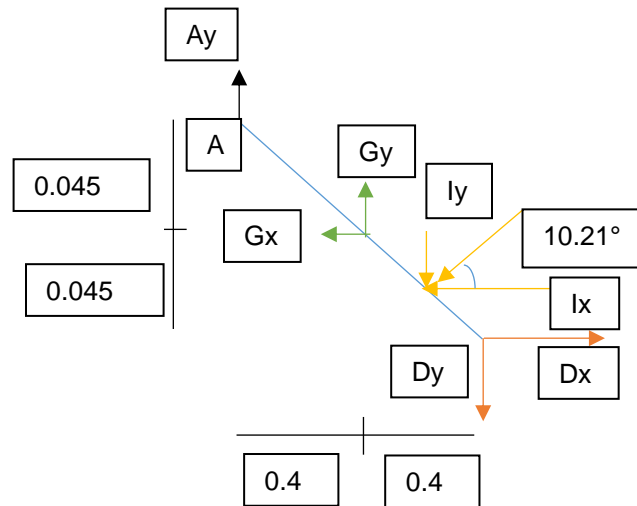
$$\sum F_y = -4.905\text{KN} + Ay + By = 0$$

$$\sum m_{A+} = -4.905 * 0.39 + 0.8 * By = 0$$

DCL Tijera



DCL Barra A-D



$$\sum Fy = Ay + Gy - Dy - Fy = 0$$

$$\sum Fx = -Gx - Ix + Dx = 0$$

$$\sum mD += -0.8 * Ay - 0.4 * Gy + 0.045 * Gx + 0.108 * Iy + 0.011 * Ix = 0$$

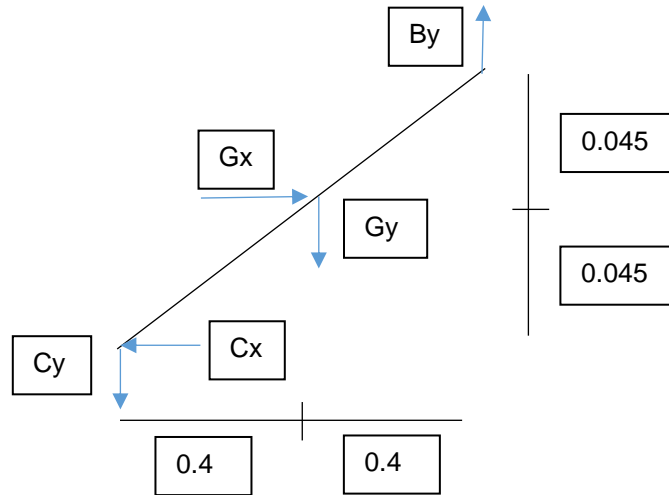
$$Iy = F_{cilindro} * \sin(10.21)$$

$$Iy = 0.17725 * F_{cilindro}$$

$$Ix = F_{cilindro} * \cos(10.21)$$

$$Ix = 0.98416 * F_{cilindro}$$

DCL Barra B-C

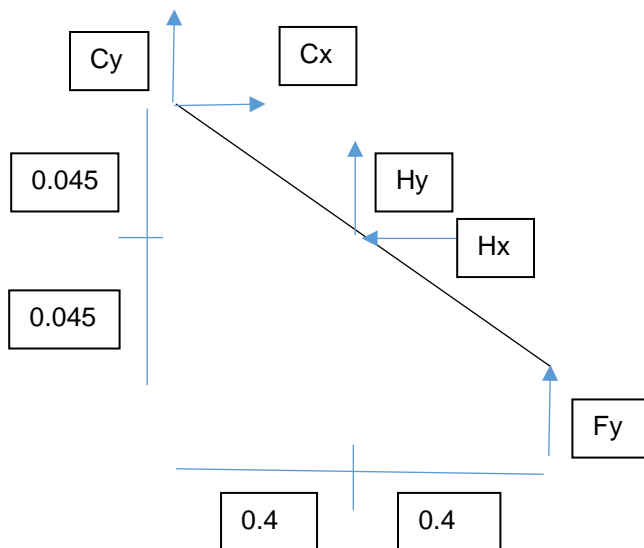


$$\sum Fy = By - Gy - Cy = 0$$

$$\sum Fx = 0 = Gx - Cx = 0$$

$$\sum mC += 0.8 * By - 0.4 * Gy - 0.045 * Gx = 0$$

DCL Barra C-F

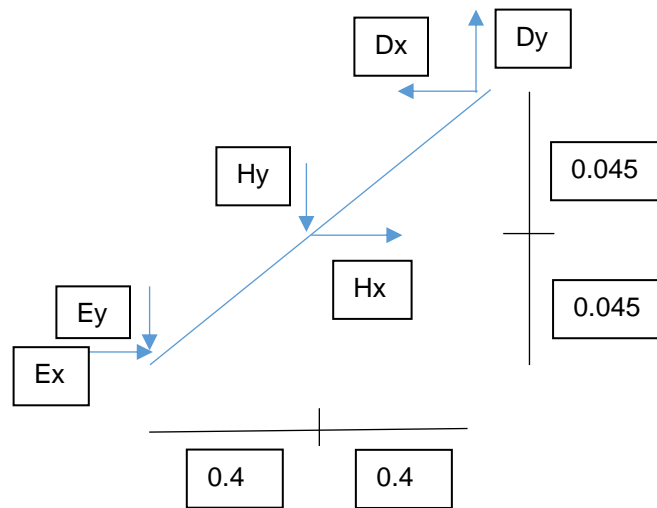


$$\sum Fy = Cy + Hy - Fy = 0$$

$$\sum Fx = Cx - Hx = 0$$

$$\sum mF += 0 = -0.8 * Cy - 0.09 * Cy - 0.4 * Hy + 0.045 * Hx = 0$$

DCL Barra D-E



$$\sum Fy = Dy - Hy - Ey = 0$$

$$\sum Fx = -Dx + Hx + Ex = 0$$

$$\sum mE += 0 = 0.8 * Dy + 0.09 * Dx - 0.4 * Hy - 0.045 * Hx = 0$$

Debido a que son diecisiete ecuaciones con diecisiete incógnitas, se ha utilizado el programa EES (Engineering Equation Solve) para resolverlas, los resultados obtenidos del mismo son:

- Reacciones en las barras en posición más baja:

$A_x = 0 \text{ KN}$
 $A_y = 2.514 \text{ KN}$
 $B_y = 2.391 \text{ KN}$
 $C_x = 12.2 \text{ KN}$
 $C_y = -1.019 \text{ KN}$
 $D_x = 105.0 \text{ KN}$
 $D_y = -10.79 \text{ KN}$
 $E_x = 92.8 \text{ KN}$
 $E_y = -11.46 \text{ KN}$
 $F_x = 94.29 \text{ KN}$
 $F_y = -0.3534 \text{ KN}$
 $G_x = 12.2 \text{ KN}$
 $G_y = 3.41 \text{ KN}$
 $H_x = 12.2 \text{ KN}$
 $H_y = 0.6655 \text{ KN}$
 $I_x = 92.8 \text{ KN}$
 $I_y = 16.72 \text{ KN}$

- Fuerza del cilindro en posición más baja:

$F_{\text{cilindro}} = 94.29 \text{ KN}$

La fuerza del cilindro se analizó para una sola tijera, para las 2 tijeras se multiplica por 2: $94.29 \text{ KN} * 2 = 188.58 \text{ KN}$

Tabla 1. Fuerzas que debe Ejercer el Cilindro

Posición más Alta	Posición Media	Posición más Baja
13.89 KN	53.37 KN	188.58 KN

Nota: Tabla elaborada por autor a partir de los resultados hallados en las 3 posiciones.

Se evidencia que las fuerzas son mucho mayores en la posición más baja, debido a que la fuerza que realiza el cilindro para empezar a elevar la estructura es mayor que en la posición media o más alta, debido a que el ángulo de inclinación es menor.

5.3.3. Factor de Seguridad

Se plantea un factor de seguridad siguiendo las indicaciones del libro "Mechanical Design Handbook" del autor Harold A. Rothbart, en el cual sugiere que "Los valores típicos de factores de diseño de seguridad van desde 1,0 (en contra de rendimiento) en el caso de componentes de las aeronaves a 3 en aplicaciones típicas de diseño de la máquina, a un 10 en el caso de algunos recipientes de presión." (Rothbart, 2006)

De acuerdo con esto se plantea un factor de seguridad de 3 para para una carga de 1000 kg.

5.3.4. Análisis por Elementos Finitos

Para el estudio mediante elementos finitos se utilizó el software SOLIDWORKS 2021, en el cual se analizó la plataforma y la tijera en dos alturas (posición más baja y posición más alta), estudiando las condiciones estáticas de tensión, deformaciones y factor de seguridad mediante el uso de una malla fina basada en curvatura.

5.3.4.1 Definición del Material

El material se ha considerado acero estructural A572, se produce bajo la especificación ASTM A 572 en el grado 50, es un acero de calidad estructural de

alta resistencia y baja aleación de Columbio-Vanadio, utilizado para la fabricación de estructuras en general, cuyas propiedades se detallan a continuación:

Tabla 2. Propiedades Mecánicas Acero ASTM A 572 en el Grado 50

Nombre	Acero A572 de grado 50	
General	Densidad de masa	7850 Kg/m ³
	Limite elástico	345 N/mm ²
	Límite de tracción	450 N/mm ²
Tensión	Modulo elástico	196133 N/mm ²
	Coficiente de poisson	0.26 N/D
	Modulo cortante	79300 N/mm ²

Nota: Tabla elaborada por autor a partir de las propiedades mecánicas del acero A572 en grado 50.

5.3.4.2 Estudio de la Plataforma Superior

Se analizó la plataforma superior en su caso más crítico, en el cual se añadirá un esfuerzo de 9810 N, simulando cargas de trabajo a máxima operación.

Se colocaron restricciones de geometría a la plataforma superior, como apoyos de bisagra fija en las uniones de las sujeciones y de rodillo/control deslizante en la superficie de contacto. Se presentan a continuación los resultados obtenidos para este análisis en cuanto a tensión, desplazamiento y factor de seguridad se refiere:

Resumen de Resultados

Los resultados de este análisis de esfuerzos nos indican que el valor de tensión máxima es de 83.35 Mpa, este valor queda lejos del límite elástico en tracción definido en las propiedades de material en la tabla 2, el cual es de 345 Mpa. Igualmente, con este análisis se encontró que la plataforma sufre desplazamientos

en el centro durante la aplicación de la carga máxima y que tiene un factor de seguridad mínimo de 3.

5.3.4.3 Estudio de la Tijera en la Posición más Baja

Se analizó la tijera en su posición más baja, siendo esta la posición más crítica, debido a que es la posición de la tijera que más concentración de esfuerzos presenta en los apoyos de los cálculos que se obtuvieron anteriormente en el análisis estático por DCL. Con el fin de obtener una referencia más desfavorable del comportamiento de la estructura, este análisis se realizó a un ángulo de 6.36° y con un esfuerzo de 9810 N, para simular cargas de trabajo a máxima operación.

Se colocaron restricciones de geometría a la tijera, como apoyos de bisagra fija en las uniones de las sujeciones y de rodillo/control deslizante en la superficie de contacto. Se presentan a continuación los resultados obtenidos para este análisis en cuanto a tensión, desplazamiento y factor de seguridad se refiere:

Resumen de Resultados

Los resultados de este análisis de esfuerzos nos permiten identificar que el valor de tensión está por encima de 345 Mpa, este valor queda en el límite elástico en tracción definido en las propiedades de material en la tabla 2. Igualmente, con este análisis se encontró que la tijera en la posición baja sufre desplazamientos en las zonas de las sujeciones de los rodillos que están en contacto con la plataforma superior, durante la aplicación de la carga máxima se encontró que la tijera tiene un factor de seguridad mínimo de 0.44 en las sujeciones donde sufre deformación.

5.3.4.4 Estudio de la Tijera en la Posición más Alta

Se analizó la tijera en su posición más alta, siendo esta la posición menos crítica, debido a que es la posición de la tijera que menos concentración de esfuerzos presenta en los apoyos de los cálculos que se obtuvieron anteriormente en el análisis estático por DCL. Con el fin de tener una referencia más favorable del comportamiento de la estructura, este análisis se realizó a un ángulo de 46.62° y con un esfuerzo de 9810 N, para simular cargas de trabajo a máxima operación.

Se colocaron restricciones de geometría a la tijera, como apoyos de bisagra fija en las uniones de las sujeciones y de rodillo/control deslizante en la superficie de contacto. Se presentan a continuación los resultados obtenidos para este análisis en cuanto a tensión, desplazamiento y factor de seguridad se refiere:

Resumen de Resultados

Los resultados de este análisis de esfuerzos permiten identificar que el valor de tensión máxima es de 172.5 Mpa, este valor está lejos del límite elástico en tracción definido en las propiedades de material en la tabla 2. Igualmente, con este análisis se encontró que la tijera en la posición alta sufre pequeños desplazamientos en las zonas de las sujeciones de los rodillos que están en contacto con la plataforma superior durante la aplicación de la carga máxima y se obtuvo que la tijera tiene un factor de seguridad mínimo de 1.3.

5.3.5. Diseño Conceptual del Prototipo de Carro Porta Muestras

Después de analizar los prototipos y los posibles materiales con el ingeniero Luis Fernando, se realiza el diseño conceptual del prototipo de carro porta muestras Carryrock, mediante el uso de herramientas de diseño asistido por computador.

5.3.6. Planos de Diseño Conceptual

La realización de los planos permiten definir la geometría de cada una de las piezas que componen el ensamble del prototipo de carro porta muestras, en los cuales se presentan las dimensiones de cada elemento.

No obstante, los planos presentados en el Anexo B pertenecen única y exclusivamente a Ecopetrol S.A, quedando prohibida la reproducción total o parcial sin el previo consentimiento de Ecopetrol S.A, por lo tanto, se presentan como un anexo en un documento aparte y serán entregados junto a este informe de resultados.

5.3.7. Informe de Resultados

Finalmente, después de presentar el diseño conceptual al ingeniero Luis Fernando, se realiza el presente informe de resultados con la información necesaria y todos los planos pertinentes al diseño conceptual del prototipo de carro porta muestras.

En el Anexo A – Se encuentra la ficha técnica del ACERO ASTM A572 en grado 50.

En el Anexo B – Se encuentran los planos.

6 CONCLUSIONES

- Se identifica el prototipo de carro porta muestras como la solución más viable para las necesidades planteadas durante el desarrollo de la practica en las instalaciones de la Litoteca del ICP - Ecopetrol, ya que este permitirá evitar el uso de las estivas en el montacargas y será de gran ayuda durante el desarrollo de las actividades en alturas.
- El prototipo de carro porta muestras se diseñó mediante los siguientes componentes mecánicos: una estructura elevadora de tipo tijera de dos secciones accionada por un cilindro hidráulico, una plataforma superior con superficie antideslizante y una plataforma inferior cubierta tipo caja que le permitirá desplazarse (Anexo B).
- Se selecciono el acero ASTM A572 en grado 50 (Anexo A) como material estructural para el diseño de las dos plataformas y las tijeras del prototipo de carro porta muestras. Para la evaluación económica y selección de diseño de los componentes hidráulicos, eléctricos y electrónicos se tomó la decisión con el ingeniero Luis Fernando de no seleccionarlos debido al corto tiempo de la práctica. Y así dar continuidad al desarrollo de este proyecto en siguientes prácticas.
- La evaluación técnica se realizó mediante un análisis estático y un análisis de elementos finitos. En el primer análisis se resolvieron los diagramas de cuerpo libre para cada barra de la estructura, analizando así la posición más baja como critica. En el segundo análisis se pudo determinar mediante elementos finitos de SolidWorks que efectivamente las barras de la estructura en la posición más baja sufren mayor deformación, llegando al límite elástico

del material (Tabla 2), con un factor de seguridad de 0.44 en las barras que tienen las sujeciones de los rodillos que están en contacto con la plataforma superior.

- Mediante el análisis estático se calculó la fuerza que tendrá que ejercer el cilindro en la posición más alta, media y más baja (Tabla 2). De la simulación de SolidWorks podemos concluir que la estructura tipo tijera y la plataforma tienen una buena resistencia al soportar una carga de 1 tonelada en las posiciones más alta, con un factor de seguridad de 3.
- A través de ingeniería conceptual, se presentaron los informes con planos y documentación necesaria del prototipo evaluado técnicamente y aprobado por el ingeniero Luis Fernando, al cual se llamó “Carryrock” (Anexo B).

7 RECOMENDACIONES

Como caminos de estudio en posibles mejoras del diseño conceptual realizado, se realizan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda realizar la superficie antideslizante de la plataforma superior en un material de tipo plástico, el cual evite que las cajas porta muestras se deslicen con facilidad y permita que estas encajen en el diseño del mismo.
- La operación del Carryrock se pueda realizar a futuro por medio de un control remoto, que permita que el operador tenga control del prototipo mediante un mando control que accione la tijera y que permita también desplazar el prototipo por la Litoteca.
- El cilindro hidráulico, los pernos y las tuercas presentes en el ensamble son de referencia (Anexo B), debido a que su selección hace parte del diseño detallado, se incluyeron con el fin de complementar el modelado CAD de la tijera.
- Al momento de realizar la estructura de la tijera, se recomienda que los pernos que unen cada uno de los brazos deben llevar algún tipo de bocín de protección que los recubra para que evite la deformación de la integridad del brazo.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Añez, J. (12 de Agosto de 2021). *Web y Empresas*. Obtenido de ¿Qué es el Estudio Técnico de un proyecto?: <https://www.webyempresas.com/estudio-tecnico-de-un-proyecto/>
- Aula 21. (2019). *Formación Para la Industria*. Obtenido de Sistemas Hidraulicos: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-hidraulico/>
- AUTODESK. (2020). *PROGRAMAS DE DISEÑO CAD*. Obtenido de ¿Qué es el software de diseño CAD?: <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/cad-software>
- Banco de Informacion Petrolera. (2018). *AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS*. Obtenido de Litoteca.
- Casado, E. Á. (Julio de 2012). ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN AL RIESGO POR LEVANTAMIENTO MANUAL DE CARGAS EN CONDICIONES DE ALTA VARIABILIDAD. Barcelona, España. Obtenido de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/117066/TEAC1de1.pdf>
- Circuito Hiralulico Basico*. (8 de Mayo de 2011). Obtenido de Elementos de un circuito hidráulico: <http://industrial-automatizada.blogspot.com/2011/05/elementos-de-un-circuito-hidraulico.html>
- Colombiana, N. (16 de Mayo de 2020). *REVISAR LAS HORQUILLAS DE LOS MONTACARGAS ES UNA TAREA INDISPENSABLE*. Obtenido de NIKE Colombiana S.A: <https://www.nikecolombiana.com/revisar-las-horquillas-de-los-montacargas-es-una-tarea-indispensable/>
- Damian de Montecharge. (2 de Febrero de 2021). *HISTORIA Y CLASIFICACIÓN DE LOS MONTACARGAS*. Obtenido de Montecharge: <https://montecharge.com.mx/>

- DEL POZO, P. M. (Septiembre de 2012). Diseño, calculos y dimensionamiento de una plataforma movil de personal con accionamiento hidraulico. Valladolid, España.
- ECOPETROL. (30 de Abril de 2020). *Quienes somos*. Obtenido de Obtenido de Centro de Innovación y Tecnología: <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/innovacionytecnologia/centro-de-innovacion-tecnologia>
- ECOPETROL. (12 de Marzo de 2021). *Quienes somos*. Obtenido de Nuestros Objetivos: <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/QuienesSomos/NuestrosObjetivos>
- Electronica, E. s. (2015). *Sistemas Electrónicos*. Obtenido de <https://elsanturariodelaelectronica.webnode.es/sistemas-electronicos/>
- Electronicos, S. (2018). *Como funciona*. Obtenido de ¿Cómo funciona un sistema electrónico?: <https://como-funciona.com/sistema-electronico/>
- Ferrocortes. (2021). *LAMINA DE ALTA RESISTENCIA ASTM A572 GR 50*. Obtenido de <https://www.ferrocortes.com.co/>
- Finning International. (2018). *¿Qué es un montacargas?* Obtenido de Finning CAT: https://www.finning.com/es_BO/company/news-events/product-customer-stories/-que-es-un-montacargas-.html
- GALÁN, O. G. (Julio de 2015). Diseño y modelamiento en SolidWorks® de un mecanismo mecánico para el cambio de cargadores en el horno de la planta specialities de o-i peldar® en Soacha. Bogota, Soacha, Colombia.
- García, C. A., & Rueda, J. L. (Junio de 2016). Diseño y construcción de un elevador móvil electrohidráulico tipo tijera con capacidad de carga de 500 kilogramos para el mantenimiento de maquinaria. Quito, Ecuador .
- Harmonic Drive SE. (2019). *Motor DC*. Obtenido de Harmonic Drive SE: <https://harmonicdrive.de/es/glosario/motor-dc-el-pionero-de-los-electromotores>

- LAUNCH. (2019). *Elevador de coches Launch*. Obtenido de Elevador TLT-630 NQ:
<https://www.launchiberica.com/productos/elevadores-electrohidraulicos/elevadores-tijera/tlt-630nq/>
- Logistic, I. (21 de Julio de 2018). *AUTOELEVADORES*. Obtenido de Tipos de Montacargas y sus Características: <https://autoelevadoresheli.com.ar/tipos-de-montacargas-y-caracteristicas/>
- Murillo, J. E. (Noviembre de 2011). *CARACTERIZACION DE UN ELEVADOR TIPO TIJERA PARA VEHICULOS*. Zaragoza, España.
- OBS business school. (3 de Enero de 2019). *Historia y evolución del dispositivo de carga más utilizado del mundo*. Obtenido de Datasur :
<https://www.datasur.com/historia-y-evolucion-del-dispositivo-de-carga-mas-utilizado-del-mundo/>
- PREMOCASA. (30 de Agosto de 2018). *Historia de los Montacargas*. Obtenido de Montacarga:
<https://www.premocasamontacargas.com.mx/blog/articulos/historia-de-los-montacargas>
- RAMIREZ, J. E., & AGUIRRE, J. E. (2017). *DISEÑO DE UN ELEVADOR DE TIJERA HIDRAULICO PARA EL IZAJE DE VEHÍCULOS TIPO SEDÁN*. Medellín , Colombia .
- RED HAT. (2020). *AUTOMATIZACIÓN*. Obtenido de El concepto de automatización: <https://www.redhat.com/es/topics/automation>
- Rothbart, H. &. (2006). *Mechanical Design Handbook, Measurement, Analysis, and Control of Dynamic Systems*. Obtenido de McGraw-Hill Education.
- SKYGROUP. (s.f.). *Detalles Tecnicos* . Obtenido de Canastilla Tijera JLG:
<https://www.skygroup.ec/elevadores-de-personal/elevadores-tijera/canastilla-tijera-jlg.html>
- STECKERL. (2012). *STECKERL Hierros y Aceros*. Obtenido de Catalogo de productos : <https://steckerlacers.com/contacto/>

Torres, S.A. de C.V. (2016). *Montacargas y Maquinaria Torres, S.A. de C.V.*

Obtenido de Modelo 4150 de Hombre Parado :
<https://www.ventayrentamontacargas.com/montacargas-contrabalanceados-de-hombre-parado/montacargas-contrabalanceado-modelo-4150-de-hombre-parado/>

Translyft. (2020). *Equipos de Elevacion* . Obtenido de Elevacion por Tijera :

<https://translyft.com/es/equipos-de-elevacion/que-es-un-elevador-de-tijera/>

9 ANEXOS

Anexo A – Ficha Técnica del ACERO ASTM A572.

Figura 7. Ficha técnica del ACERO ASTM A572 pg-1



Características:

Las placas de acero de alta resistencia / baja aleación poseen mayor resistencia que las placas tradicionales de acero al carbón, además de contar con gran ductibilidad, facilidad de roloado y soldado, dureza y resistencia a la fatiga. Estas placas de acero pueden reducir sustancialmente los costos de producción al dotar la resistencia requerida con un peso mucho menor.

La lamina A572 GR 50 es una Especificación Normalizada para Acero Estructural de Alta Resistencia de Baja Aleación de Columbio-Vanadio. Este acero es utilizado en aplicaciones, tales como construcción electrosoldada de estructuras en general o puentes, donde la tenacidad en las entalladuras es importante, los requisitos asociados con esta propiedad debido a la variedad de grados que contempla este tipo de acero deben ser especificados entre el comprador y el productor.

Disponibles con un nivel mínimo de resistencia de 50000 psi. Las características de esta placa son su alta resistencia, buen manejo y facilidad de soldado a precios moderados. La resistencia a la corrosión atmosférica es la misma de las placas de acero al carbón.

Composición Química:

Con la adición de Microaleantes (Niobio o Vanadio) se desarrollaron estos aceros de alta resistencia, haciéndolos más seguros en su comportamiento mecánico y lográndose una reducción en el consumo específico desde el punto de vista estructural.

El tipo de acero que abarca esta especificación normalizada se considera cinco grados de acero estructural de alta resistencia y de baja aleación en perfiles, placas, tablestacado, y barras. Los Grados 42 [290], 50 [345], y 55 [380] están previstos para estructuras remachadas, atornilladas o electrosoldadas. Los Grados 60 [415] y 65 [450] están previstos para construcción remachada o atornillada de puentes, o para construcción remachada, atornillada o electrosoldada en otras. Sus características físicas y químicas se pueden apreciar en la tabla siguiente:

Grado	%C máx.	%Mn máx.	%P máx.	%S máx.	%Si máx.
42	0,21	1,35	0,04	0,05	0,4
50	0,23	1,35	0,04	0,05	0,4
60	0,26	1,35	0,04	0,05	0,4
65	0,26	1,35	0,04	0,05	0,4

	Elemento	Contenido
TIPO 1	Columbio (Niobio)	0,005 - 0,05
TIPO 2	Vanadio	0,01 - 0,15
TIPO 3	Niobio (0,05% máx.) más Vanadio	0,02 - 0,15

NOTAS: Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

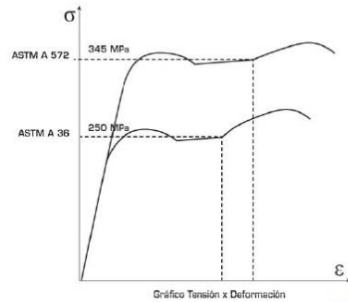
Fuente: (Ferrocortes, 2021)

Figura 8. Ficha técnica del ACERO ASTM A572 pg-2



**LAMINA DE ALTA RESISTENCIA
ASTM A572 GR 50**

Propiedades mecánicas:



Grado	Límite de Fluencia (min.)		Resistencia a la Tracción (min.)		Elongación Min. % En 200mm (8in)
	MPa	PSI	MPa	PSI	
42	290	42000	415	60000	20
50	345	50000	450	65000	18
60	415	60000	520	75000	16
65	450	65000	550	80000	15

Espesor (In)	% Elongación mín. 200mm (8 in)			
	Grado 42	Grado 50	Grado 60	Grado 65
1/2 - 3/8	20,0	18,0	16,0	15,0
5/16	19,5	17,5	15,5	14,5
1/4	17,5	15,5	13,5	12,5
3/16	15,0	13,0	11,0	10,0
1/8	12,5	10,5	8,5	7,5

Aplicaciones:

Principalmente estructuras soldadas, soportes, chasis, plataformas para la industria petrolera, plataformas marinas, construcción de puentes cumpliendo con los requerimientos exigentes a la entalla. No es recomendada en la construcción de calderas o tanques de alta presión. La selección de espesores debe ser calculada y seleccionados por el autor del diseño. Especial para la fabricación de vigas no comerciales o especialmente diseñadas, Apto para el uso a bajas temperaturas 20°C.

Soldadura:

Electrodo manual revestido E7018, MIG/MAG ER 70 S6

Certificaciones:



Normas Equivalentes:

UNE	AFNOR	DIN	ASTM
F1120	E36	ST 52-3	A572 Gr50

NOTAS: Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

Fuente: (Ferrocortes, 2021)