



Herramienta para la instalación neumática de cuñas, como equipo de apoyo en el bloqueo del tanque mega en tanqueros para el personal técnico en los talleres permanentes de la mina Carbones del Cerrejón.

José Luis Celedón Contreras Codigo:1065823770

Carlos Daniel Díaz Negrete Codigo:17976792

Universidad Antonio Nariño

Programa de Ingeniería Electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Valledupar

2022

**Herramienta para la instalación Neumática de Cuñas, como Equipo de Apoyo en
el Bloqueo del Tanque Mega en Tanqueros para el Personal Técnico en los
Talleres Permanentes de la Mina Carbones del Cerrejón**

José Luis Celedon Contreras Codigo:1065823770

Carlos Daniel Díaz Negrete Codigo:17976792

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electromecánico

Director (a): Alex Arturo Orozco Rangel

Título (Ingeniero Mecánico)

Línea de Investigación:

Ingeniería de materiales.

Universidad Antonio Nariño

Programa de Ingeniería electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Valledupar

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

Herramienta para la instalación neumática de cuñas, como equipo de apoyo en el bloqueo del tanque mega en tanqueros para el personal técnico en los talleres permanentes de la mina Carbones del Cerrejón, cumple con los requisitos para optar

Al título de Ingeniero Electromecánico

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Valledupar 13.10.2022

Contenido

	Pág.
Agradecimientos.....	5
Resumen.....	7
Abstract.....	9
Introducción y Antecedentes.....	11
Planteamiento Del Problema.	15
Justificación.....	17
Objetivos	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos.....	19
Alcance.....	20
1. Marco Teórico.....	21
1.1. Equipo hidráulico.....	21
1.2. Estado de carga.....	22
1.2.1. Carga dinámica.....	22
1.2.2. Carga Muerta	23
1.2.3. Cargas compuestas	23
1.3. Factores de seguridad	24
1.4. Análisis por elementos finitos (FEA).....	25
1.4.1. Introducción a la teoría FEA	26
1.4.2. Nodos y elementos.....	27
1.4.3. Elemento Brick.....	28
1.4.4. Tipos de análisis	29
1.4.5. Malla o Red.	29

1.4.6. Pasos recomendados para el análisis Autodesk Inventor. FEA	30
1.4.7. Importación de modelos CAD	31
1.5. Diseño y selección del sistema hidráulico.....	31
1.5.1. Generalidades.	31
1.5.2. Trasmisión de potencia.....	33
1.5.3. Campo de aplicación.	34
1.5.4. Ventajas y desventajas del sistema óleo hidráulico.....	36
1.6. Componentes de los sistemas hidráulicos	37
1.6.1. Cilindro hidráulico	37
1.6.2. Tipos de cilindros	39
1.6.3. Bomba.....	40
1.6.4. Clasificación de las bombas	42
1.6.5. Tanque de almacenamiento	43
1.6.6. Válvulas	45
1.6.7. Otros accesorios.....	46
2. Características	47
2.1 Características generales	47
2.1.2 Brazo Fijo:	47
2.1.3 Torre	48
2.4 Espacio vertical	52
2.5. Espacio horizontal	53
3. Alternativas de diseño y opciones viables.....	54
3.1. Justificación de los factores de selección	55
4. Análisis específico para el brazo hidráulico diseñado.....	59
4.1. Brazo fijo.....	59
4.1.1. Análisis de Esfuerzos de Von Mises:	61
4.1.2. Análisis de Deformaciones:	64
4.1.3. Factor De Seguridad De La Pieza:	68
4.2. Brazo móvil	70
4.2.1. Análisis de Esfuerzos de Von Mises:	75
4.2.2. Análisis De Deformaciones:	76
4.2.3. Factor De Seguridad De La Pieza:	77
4.3. Sistema de Agarre	82
4.3.1. Características mecánicas:	¡Error! Marcador no definido.
4.3.2. Análisis de Esfuerzos de Von Mises:	82
4.3.3. Análisis De Deformaciones:	83
4.3.4. Factor De Seguridad de la Pieza:	84
4.4. Características técnicas de los cilindros hidráulicos	84

5. Simulación Estructural Prototipo Brazo Hidráulico Levantamiento de Torre	
	Inclinada 87
1. Brazo fijo	87
5.1.1. Análisis de Esfuerzos de Von Mises:	88
5.1.2. Análisis De Deformaciones:	88
5.2. Factor De Seguridad De La Pieza:	89
2. Brazo móvil	90
5.2.1. Análisis de Esfuerzos de Von Mises:	91
5.2.2. Análisis De Deformaciones:	92
5.2.3. Factor De Seguridad De La Pieza:	92
3. Sistema de Agarre	93
5.2.4. Análisis de Esfuerzos de Von Mises:	94
5.2.5. Análisis de Deformaciones:	95
5.2.6. Factor de Seguridad de la Pieza:	95
6. Características técnicas de los cilindros hidráulicos	99
7. Metodología	¡Error! Marcador no definido.
8. Diseño De la Herramienta Por Pieza	¡Error! Marcador no definido.
8.1. Ensamble General	101
8.2. Brazo fijo	102
8.3. Brazo Móvil	103
8.4. Ensamble – Agarre	104
8.5. Agarre	105
8.6. Detalles Preliminares	106
8.7. Palanca	107
8.8. Soporte Agarre	108
8.9. Cuña de Ajuste	109
9. Simulación sistema hidráulico	112
10. Conclusiones	119
11. Referencias	122

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Equipo hidráulico.....	21
Ilustración 2 Elementos tipo brick usados por Autodesk Inventor.....	28
Ilustración 3 Componentes básicos de un sistema hidráulico.....	32
Ilustración 4 Transmisión de potencia.....	33
Ilustración 5 Esquema de un cilindro hidráulico.....	38
Ilustración 6 Cilindro de doble vástago.....	39
Ilustración 7 Cilindro de simple efecto.....	40
Ilustración 8 Clasificación de las bombas.....	42
Ilustración 9 Tanque de aceite.....	44
Ilustración 10 Espacio para instalación de la cuña.....	49
Ilustración 11 Taller indicando proporción del operario con el camión TK MEGA.....	50
Ilustración 12 Fotografía frontal camión TK MEGA.....	50
Ilustración 13 Fotografía espacio de puente grúa.....	51
Ilustración 14 Espacio vertical instalación cuña.....	52
Ilustración 15 Prototipo brazo hidráulico: fuente: Los autores.....	59
Ilustración 16 Cargas actuantes en el brazo fijo. Fuente: los autores.....	60
Ilustración 17 Análisis de esfuerzos brazo fijo. Fuente: los autores.....	61
Ilustración 18: Análisis de deformaciones. fuente: los autores.....	64
Ilustración 19: Factor de seguridad del brazo fijo. fuente: Los autores.....	69
Ilustración 20: Diseño brazo móvil articulado.....	70
Ilustración 21: Articulación en el extremo derecho del brazo móvil.....	71
Ilustración 22: Fuerza ejercida por el cilindro hidráulico.....	71
Ilustración 23: Fuerza ejercida por el sistema de agarre de la herramienta.....	72
Ilustración 24: Reacciones en la articulación del brazo móvil.....	73
Ilustración 25: Momento flexionante del brazo móvil.....	73
Ilustración 26: esfuerzo cortante en el brazo móvil.....	74
Ilustración 27: Análisis de esfuerzo mediante elemento finito.....	75
Ilustración 28: Análisis de deformación del brazo en estado inicial.....	76
Ilustración 29: Factor de seguridad del brazo móvil.....	78
Ilustración 30 Sección de un perfil estructural rectangular.....	78
Ilustración 31: Análisis de esfuerzos agarre mediante elemento finito.....	82
Ilustración 32: Análisis de desplazamiento de sistema de agarre.....	83
Ilustración 33: Actor de seguridad del sistema de agarre.....	84
Ilustración 34: Especificaciones técnicas de los cilindros hidráulicos.....	85
Ilustración 35: Diseño del cilindro.....	85
Ilustración 36: Graficas de actuación del cilindro.....	86
Ilustración 37 Características de los cilindros hidráulicos.....	97
Ilustración 38 Fuerzas actuantes.....	98

Lista de tablas

Tabla 1 Diseño de alternativas y opciones.....	54
Tabla 2 Selección de la mejor opción.....	58
Tabla 3 Especificaciones del perfil 50 x 100 x 3 mm.	¡Error! Marcador no definido.

Dedicatoria

José Luis Celedón Contreras

Este proyecto se lo dedico en primera instancia a Dios, me lo dedico a mi José Luis Celedón Contreras, por persistir, insistir y animarme en los momentos más difíciles de mi carrera. A mis madres Elizabeth Miranda Fuentes y Liceth Esther Contreras. A mi padre Rafael Enrique Celedón Maestre (Q.E.P.D). A mis hijas Valery Lucía Celedón, Eliceth Sofía Celedón, y a Emma Belén Celedón a mi compañera Amanikza Céspedes, y todas las amistades que han tenido injerencia en este proceso.

Carlos Daniel Díaz Negrete

Le dedico mi trabajo de grado a Dios grandemente, a mis padres Carlos Daniel Díaz Pérez A mi madre Yenis Leonida Negrete Zuleta Quienes con orgullo me han apoyado, A mi compañera de luchas Mavis Villar Araujo A mis hijos Daniel Camilo Díaz Donalvis, José Díaz Dayerlis valentina Díaz y a María Lucia Díaz Quienes me hacen sentir orgulloso de cumplir con esta meta para ser ejemplo de profesionalismo y superación

Agradecimientos

Jose Luis Celedón

Agradezco a Dios porque con su fe hace posible todas las cosas; me agradezco a mi José Luis Celedón Contreras, por persistir, insistir y animarme en los momentos más difíciles de mi carrera. A mis madres Elizabeth Miranda Fuentes y Liceth Esther Contreras Por darme apoyo emocional; A Mi Padre Rafael Enrique Celedón que en vida me encomendó el propósito de formarme y ser un profesional; A mis hijas Valery Lucía Celedón y Eliceth Sofía Celedón, a mi compañera Amanikza Céspedes, por estar siempre a mi lado dándome las fuerzas necesarias para superarme; a mi amiga Lainith López por ayudarme a complementar con conocimientos y demás amistades que han tenido injerencia en este proceso.

Carlos Daniel Díaz Negrete

Primero le doy gracias a Dios, por permitirnos llegar hasta esta etapa de nuestra carrera universitaria a pesar de las dificultades y clemencias. Y por permitirme hacer las cosas lo mejor posible.

Resumen

Este documento detalla el diseño de la herramienta hidráulica para la instalación de una cuña y ayudar en el mantenimiento del equipo Caterpillar 777F-G, en los Talleres Permanentes de la mina “Carbones del Cerrejón Limited”. En la primera parte se desarrollan las especificaciones generales que requiere la máquina, se discuten los límites de espacio, algunas dimensiones máximas y mínimas y una breve reseña de las partes que conformarán la máquina. Las piezas están diseñadas con la ayuda del software AUTODESK INVENTOR y su módulo de análisis de elementos finitos. Los resultados obtenidos en cada análisis nos permiten comprobar el correcto diseño de cada pieza y asegurar un buen factor de seguridad, así como encontrar puntos críticos; Luego se describe el proceso de selección de otros elementos mecánicos en la máquina, como cojinetes, sujetadores y componentes hidráulicos. También se desarrolla un breve análisis de la mejor opción que solucionaría el problema, y finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones al final de este documento.

Se planteó como problema, el gran riesgo que atraviesan los técnicos mecánicos en los talleres permanentes al realizar la maniobra de instalación de cuñas y la culminación del mantenimiento dentro de la abertura del equipo en la parte de tanqueros adicional se tiene en cuenta los tiempos en que se realiza esta tarea y la eficiencia con que se realiza. Para la propuesta del diseño de la herramienta se partió del análisis de campo en los talleres analizando desde tiempo de parada de los equipos, matriz de riesgo, áreas espacios y medidas; también se analizó detalladamente el proceso de cambio de cuña para poder,

desde el punto de vista de ingeniería, reducir tiempos, costos y riesgos, obteniendo la información base y la idea del prototipo para el diseño de la herramienta.

Se obtiene como resultado un brazo hidráulico que consta de un brazo fijo, un brazo móvil, sistema hidráulico, cilindros de accionamiento hidráulico, bomba hidráulica de 500 psi, sistemas articulados, sistema de agarre, ruedas de poliuretano para el desplazamiento de la herramienta.

Palabras Clave: Herramienta hidráulica, Equipos, Cuña, seguridad y salud en el trabajo.

Abstract

This document details the design of a hydraulic tool to assemble a wedge and help in the maintenance of the Caterpillar 777F-G equipment, in the Permanent Workshops of the “Carbones del Cerrejón Limited” mine. The first part develops the general specifications required by the machine, discusses the space limits, some maximum and minimum dimensions and a brief review of the parts that will make up the machine. The parts are designed with the help of SOLIDWORKS finite element analysis software. The results obtained in each analysis allow us to check the correct design of each part and ensure a good safety factor, as well as to find critical points; this second instance can be considered the main part of the project. Then, the selection process of other mechanical elements in the machine, such as bearings, fasteners and hydraulic components, is described. A brief financial analysis is also developed, and finally, conclusions and recommendations are presented at the end of the design and of this document.

The great risk faced by mechanical technicians in permanent workshops when carrying out the wedge installation maneuver and the culmination of maintenance within the equipment opening in the additional tanker part was raised as a problem, taking into account the times in which this task is performed and the efficiency with which it is performed. For the proposal of the design of the tool, we started from the field analysis in the workshops, analyzing the stoppage time of the equipment, risk matrix, space areas and measurements; The wedge change process was also analyzed in detail in order to be able, from the engineering point of view, to reduce times, costs and risks, obtaining the basic information and the idea of the prototype for the design of the tool.

The result is a hydraulic arm that consists of a fixed arm, a mobile arm, hydraulic system, hydraulic drive cylinders, 500 psi hydraulic pump, articulated systems, gripping system, polyurethane wheels for tool movement.

Keywords: Pneumatic tool, Equipment, Wedge, safety and health at work.

Introducción y Antecedentes

La instalación de la cuña es un proceso esencial dentro de la operación de **La Mina Carbones Del Cerrejón**. La instalación de la cuña representa un gasto significativo en los presupuestos corporativos, y siempre se analizan alternativas para mejorar las operaciones, minimizando el tiempo sin comprometer la confiabilidad, la seguridad del equipo y la salud de los trabajadores. “Carcbones del Cerrejón Limited”. Es una empresa operadora de Cerrejón, una de las minas a cielo abierto más grandes del mundo, está ubicada en la provincia de La Guajira. Esta mina de 69.000 hectáreas produce más de 32 millones de toneladas de carbón al año, el 100% de las cuales se exporta a Europa y América. Maneja alrededor del 55% de las exportaciones de carbón del país. Desde 2002, propiedad de BHP Billiton (Australia), Glencore (Suiza) y Anglo American (Sudáfrica/Reino Unido), es una importante multinacional en el mercado minero. Trabajan a lo largo de todo el proceso de extracción del carbón incluyendo otros procesos adicionales adyacentes a la extracción minera, como sería el mantenimiento de equipos y automotores

A su llegada el 777F-G se ingresa al taller para una inspección, revisión de las 4 cuñas de bloqueo del tanque conocido como TK MEGA por su tamaño tan representativo. El método de instalación actual de las cuñas que se deben reemplazar es netamente manual, aunque hay equipos que podrían apoyar esta actividad como un polipasto o un montacarga por condiciones inherentes al proceso estos equipos normalmente no están disponibles para este proceso. El trabajador al momento de colocar la cuña que posee un peso de 19 kg el operario de mantenimiento debe realizar posturas que no están acordes a la biomecánica del cuerpo por esta razón le genera riesgo de salud y de seguridad , en el cambio de forma

manual y actual se realiza el levantamiento de la cuña sin ningún tipo de arnés de seguridad o protección lumbar ya que para el tema de seguridad ocupacional es una carga permitida pero el inconveniente se encuentra al cargarla o moverla para ajustarla en su posición final por lo que el laborando queda expuesto en su totalidad a sufrir lesión en espalda baja.

Este es un método lento y representa un riesgo para la seguridad del equipo; Pero sobre todo pone en riesgo la salud del trabajador por la dificultad en el posicionamiento final de la cuña. El presente proyecto tiene como finalidad diseñar una herramienta hidráulica de instalación de cuñas que facilite la operación de mantenimiento a los equipos Caterpillar 777F-G, en los talleres permanentes de la mina carbones de Cerrejón Limited. Que permita una instalación de manera más rápida y eficiente, asegurando la salud de los trabajadores y la confiabilidad de dichos cambios.

Siendo la propuesta una alternativa que a la empresa le interesa y soluciona varios problemas desde un punto de vista multifactorial por lo tanto la idea surge y se estructura basados en una necesidad específica, aunque la orientación sobre cómo llevarla a cabo o en realidad como buscar el beneficio no se tenía claro por lo tanto en las investigaciones y búsquedas informativas, se tomaron bases de fuentes secundarias encontrando proyectos de los cuales se podría recibir apoyo técnico como son los siguientes.

Como podría ser la propuesta a nivel internacional de los ingenieros (2017) ***Daniel Aguilar & Gabriel Cortez. “Diseño Y Construcción De Una Herramienta Neumática Orientada Al Cambio De Amortiguadores Con Espirales Para El Taller De Ingeniería***

Automotriz De La Epoch". Los cuales mencionan que la alternativa de diseño apropiada con componentes neumáticos fue gracias a la aplicación de software CAD (SOLIDWORKS 2015) y CAE (WORKBENCH ANSYS 16) y de aplicaciones neumáticas (FESTO FLUIDSIM 3.6), Permite el diseño y por ende la construcción óptima de la herramienta neumática utilizada para cambiar el amortiguador, tomando sus propiedades físicas y comprimiéndolo en una máquina universal de tipo de torsión.

Existen varios amortiguadores disponibles en el mercado, con los cuales se puede determinar la fuerza máxima requerida para su compresión. Una vez alcanzada esta fortaleza, se inicia el diseño teórico del dispositivo, mediante el cual se pueden evaluar diversas alternativas para llevar a cabo este proyecto, la elección #1 y demostrar las buenas cualidades. A continuación, se seleccionan los elementos neumáticos mediante el programa FESTO FLUIDSIM 3.6. Una vez seleccionados los elementos, se determinarán las dimensiones del cilindro neumático, en base a los datos obtenidos del compresor de aire en el taller de mecánica automotriz y la potencia máxima obtenida en las pruebas de laboratorio. Gracias a estos estudios, realizaron el diseño en el motor informático SOLIDWORKS 2015.

Otra referencia propuesta a nivel nacional como la de (2016) *Gustavo Nieto Vergara, Kevis Manjarres Sierra, Jesus Galvis Villero, Manuel Rios Bertel, Javier Roldan Mckinley, Jovanny Duque. Diseño E Instrumentación De Una Línea De Aire Comprimido Para Un Laboratorio Académico En Barranquilla*. Destaca que en el diseño de la tubería neumática para el laboratorio de robótica se ha tenido en cuenta todas las normas de seguridad y salud en el trabajo en el trabajo, con el fin de evitar enfermedades

profesionales que puedan aquejar a los trabajadores. La línea se diseña teniendo en cuenta las alternativas existentes y considerando los potenciales usuarios de las habitaciones y prestadores de servicios del proyecto, considerando la matriz de evaluación para identificar cada aspecto. Considerado importante. Diseñe con un compresor de laboratorio y flujo de aire con tubos de aluminio específicos. Arriba, además del Consejo de Expertos Externos para garantizar la línea de seguridad bajo uso para facilitar la recolección y la disposición de factores, apoyo, estructuras y neumáticos, se desarrolló el automóvil correspondiente.

El presente documento se presenta en nueve capítulos, iniciando con un marco teórico que abarca los conceptos mecánico e hidráulicos de los componentes utilizados en sistemas de levantamientos de carga, continua en el capítulo dos, definiendo las características de los sistemas y componentes para el izaje de cargas con brazos hidráulicos, sigue con el capítulo tres donde se analizan las alternativa de diseño, en el capítulo cuatro se realiza un análisis específico del brazo hidráulico a diseñar, en el capítulo cinco se realiza una simulación estructural del prototipo, luego en capítulo seis se muestra la metodología utilizada en el desarrollo del proyecto, en el capítulo siete se muestran los resultados obtenidos, siguiendo en el capítulo ocho muestra el diseño de la herramienta en su totalidad para finalizar con las conclusiones del presente proyecto.

Planteamiento del problema

Dentro de las instalaciones mineras, zona donde se percibe el problema se evidencia que la actividad de cambio de la cuña, es una actividad de riesgo y nace la inspiración para la creación del instalador como herramienta de apoyo ya que al realizar la operación el trabajador requiere hacer un giro de 180°, para la postura de la cuña entre el chasis y tanque-mega donde esa cuña es pasada, por otro técnico que se encuentra a una altura de aproximadamente 2 metros. La cuña que pesa 19 kg no lleva ningún agarre o gancho que sujete esta herramienta al momento de entregarla al técnico, este se encuentra esperando arriba del tanque hidráulico o de combustible, sin ningún arnés o protección de altura que pueda minimizar el riesgo de alguna caída., Es aquí donde se presenta el problema volviéndose un agente silencioso que termina afectando al operante lentamente y sin ningún preaviso.

Este proceso pone en peligro la salud de los trabajadores y requiere mucho tiempo. El retraso es por la dificultad de asegurar la cuña y los tornillos que se requieren, actividad realizada por un operario. Son muchos los problemas que se enfrentan actualmente durante la instalación de las cuñas, por lo que proponemos mejorar el proceso con un brazo hidráulico de levantamiento de torre inclinada alimentado de forma neumática para facilitar el proceso.

Es por lo que surge un interrogante después de haber presentado la descripción del problema *¿Qué estrategia se podría implementar que permita una instalación de manera*

más rápida y eficiente, asegurando la salud de los trabajadores y la confiabilidad de dichos cambios en el mantenimiento de equipos Caterpillar 777F-G, en Los Talleres Permanentes de la Mina Carbones de Cerrejón Limited?

Justificación

En la empresa carbones del cerrejón Limited, un grupo de trabajadores encontró la necesidad de mitigar o minimizar los temas ergonómicos del personal técnico, y las interacciones entre máquina y hombre al momento de realizar el bloqueo con cuñas del tanque mega de los camiones 777 (tanqueros), debido a que la probabilidad de riesgo esta inminente cada vez que hay interacción en la labor.

El diseño y elaboración de esta herramienta, que realice la función del cambio es una opción más segura y eficiente para cualquiera que realiza el ejercicio de mantenimiento en esta parte del equipo. Uno de los enfoques se orienta a la seguridad y protección en el trabajo, ya que se mejora la calidad del trabajo teniendo en cuenta seguridad y tiempo de realización de mantenimiento.

Según Riaño (2015), “el trabajo puede convertirse en un promotor de la salud o en un factor de riesgo para los colaboradores, ya que estos pasan más de la tercera parte de su día en su lugar de trabajo” (p.184), Están necesariamente expuestos a factores físicos, químicos, ergonómicos o psicosociales presentes en su ambiente de trabajo.

Esta estrategia brinda una solución práctica, segura y eficiente que permite al laborando ejercer su función que es una tarea rutinaria en la parte de mantenimiento del equipo Caterpillar 777F-G Tanquero, en la maniobra de la instalación de las cuñas de bloqueo del tanque de agua que se realiza de manera manual, generando posiciones no ergonómicas muy peligrosas para los técnicos que realizan las tareas en el mantenimiento.

Este proyecto se posiciona como estrategia de solución debido a que la intervención de la máquina es un proceso bastante pesado y que requiere cambios de posición, movimientos, maniobras y levantamiento de peso, permite que cada uno de los técnicos mecánicos conserven su bienestar y prolonguen su estado de salud de una forma sana y sin desgaste. Recuerden que la intervención de la máquina en la parte de levantamiento de peso, anexo de la cuña y retiro de esta eliminará el riesgo humano como también los problemas de salud que conlleva la manipulación directa del bloqueo con cuñas del tanque mega de los camiones 777 (tanqueros). Sin olvidar la mejora que representa la disminución de tiempos de parada del equipo y confiabilidad en dichos mantenimientos.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar una herramienta neumática de instalación de cuñas que facilite la operación de mantenimiento a los equipos Caterpillar 777F-G, en los talleres permanentes de la mina carbones de Cerrejón Limited.

Objetivos Específicos

- Buscar la información requerida para la realización del diseño de la herramienta neumática, mediante visitas a campo y consultas de las normas técnicas.
- Planear un diseño de conexiones neumáticas con acople rápido para llevar una presión de aire adecuada al motor neumático-hidráulico.
- Esquematizar un sistema de válvulas de control neumático-hidráulico, que permitan mantener la presión necesaria para expandir y comprimir los cilindros utilizados en el diseño.
- Crear una simulación de la estructura, funcionamiento y operación de la herramienta mediante un software comercial.

Alcance

Las consideraciones a tener en cuenta para el diseño se basan principalmente en las cargas a transportar y el espacio que debe ocupar la máquina. Estará diseñada para levantar y mover cargas de acuerdo con unos rangos que por criterio propio hemos acordado, el peso mínimo sería de 40 kg. Teniendo en cuenta que el peso de la cuña siempre será menor a este criterio

El diseño de esta herramienta cubriría en gran porcentaje la operación de mantenimiento dentro del escenario donde se manifiesta la necesidad, acobijando la población de técnicos mecánicos, los que realizarían los mantenimientos del equipo, cambios de línea, cambio de transmisión, cambio de bomba de riego u otros. Permitiendo aplicarlo como un brazo de ayuda que puede ser utilizado en otras funciones que sean parecidas a estas o que requieran de levantamiento o manipulaciones pesadas, que no sea específicamente en la instalación de cuñas.

Estos diseños no podrán ser aplicados ni utilizados en múltiples escenarios a menos que el escenario donde se pretenda utilizar sea similar al de instalación de cuñas, su uso solo es de apoyo y requiere intervención humana para hacer que funcione; siendo un limitante de su implementación, pero no quiere decir que no sea viable esta estrategia para las necesidades antes propuestas.

Marco Teórico

1.1. Equipo hidráulico

El dispositivo hidráulico es responsable del desplazamiento vertical de la pluma.

Compuesto por:

- Cilindro hidráulico: sujeto a carga vertical. Se fija a la placa base por su extremo inferior ya la corredera por su extremo superior mediante tornillos.
- Grupo hidráulico: gestiona el caudal de aceite hidráulico permitiendo el movimiento del pistón del cilindro. Consiste en una bomba, tanque de aceite, manguera, válvula solenoide y sistema de control eléctrico.

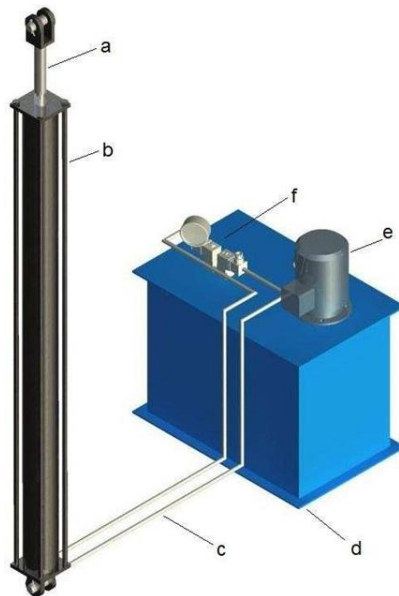


Ilustración 1 *Equipo hidráulico*

a) Émbolo , b) Cilindro, c) Mangueras, d) Tanque, e) Motor de la bomba, f)

Electroválvulas

Hay tres parámetros para seleccionar equipos hidráulicos: carga máxima, carrera y velocidad de elevación.

Para nuestras necesidades, los valores de estos parámetros serán:

- Carga mínima: 40 kg
- Recorrido: 1,0 m
- Velocidad: 5 cm/s.

Accesorios

Para el funcionamiento del brazo hidráulico son necesarios una serie de accesorios, entre ellos elementos mecánicos como pernos, cojinetes, nervaduras o refuerzos estructurales y elementos de fijación. La selección de estos se explorará en detalle en el próximo capítulo.

1.2. Estado de carga

Es necesario determinar las cargas que actúan sobre la estructura. A partir de ahí se pueden obtener valores para analizar el comportamiento de las piezas y verificar que no fallen.

1.2.1. Carga dinámica

Esta es una carga que puede cambiar de magnitud con el tiempo. Estas cargas son entregar puntuales y/o uniformemente distribuidas. Las cargas de trabajo caen bajo este título y se

definen como: según Manual de Diseño Mecánico J. SHIGLEY, "...fuerza externa aplicada a una estructura o a una parte de ésta, si el tiempo de aplicación es menor que $1/3$ del mínimo periodo natural de vibración de la pieza o estructura." Se espera que el acero dulce se desempeñe en forma elástica en todo su rango de resistencia bajo condiciones de impacto o choque. Por lo tanto, con la excepción de las cargas de fatiga, es prudente usar características estáticas en el diseño para cargas de impacto.

1.2.2. Carga Muerta

Las cargas permanentes son cargas que actúan de manera estable sobre la estructura, es decir, sus valores no cambian con el tiempo. También se considera que las cargas muertas persistentes tienen velocidades de aplicación muy lentas. Entre ellos:

- Auto carga

1.2.3. Cargas compuestas

La combinación de cargas permite que el análisis factorial considere varias cargas simultáneamente. En este caso, el conjunto de cargas tiene en cuenta la carga en movimiento de la cuña, el menor efecto que se produce cuando se carga la cuña y la carga específica del bloque de elementos de máquina.

1.3. Factores de seguridad

Los factores de seguridad pueden determinarse por el método diferencial, que es el producto de los factores intrínsecos de inversión:

- Precisión en la determinación de la carga y tensión específica; El parámetro $n_1 =$ de 1,0 a 1,5. Es difícil dar una serie de instrucciones para elegir n_1 , pero una buena referencia es conocer la fuente de la carga (motores eléctricos, actuadores, actividad humana, fenómenos naturales). “Se pueden elegir los factores de seguridad basados en la seguridad y la experiencia con proyectos similares”. Se tomó como referencia Un proyecto anterior del título de ingeniería mecánica MUÑOZ C., ALBÁN I., Diseño y Construcción de una Grúa Telescópica Manual, Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero en la especialización de Ingeniería Mecánica de la EPN, 1994, p 23.
- Propiedades mecánicas de referencia de materiales de acero; $N_2 = 1.2$ a 1.5 .
- Requisitos de seguridad laboral. El parámetro $n_3 =$ de 1,0 a 1,5. Para las mismas aplicaciones de brazos hidráulicos, se utiliza el factor estándar $n_3 = 1,2$. Sin embargo, existen valores de referencia para máquinas de servicio mediano con coeficientes de 3 a 5 y factores de hasta 8 y 9 que se utilizan en el caso de los ascensores.

El factor de seguridad general para este diseño es:

$$n = n_1 * n_2 * n_3$$

Donde:

$$n_1 = 1,3$$

$$n_2 = 1,28$$

$$n_1 \times n_2 = 1,67 \text{ (valor teórico Bresler)}$$

$$n_3 = 1,2 \quad \text{(Reshetov)}$$

$$n = 1,67 \times 1,2$$

$$n = 2$$

“Con el software Autodesk Inventor V.2022, es posible analizar tensiones y desplazamientos de piezas complejas cuando se someten a cargas constantes o cargas dinámicas de naturaleza constante o variable en el tiempo”.

1.4. Análisis por elementos finitos (FEA)

FEA es un método matemático computacional que le permite predecir cómo los objetos reales interactuarán con las fuerzas, el calor, las vibraciones, los fenómenos eléctricos y

magnéticos, el flujo de fluidos, etc.; Es decir, ¿los elementos mecánicos fallan, se desgastan o funcionan de la forma en que fueron diseñados?

El método de elementos finitos funciona dividiendo un objeto real en un gran número (miles o cientos de miles) de los elementos de un pequeño cubo. El comportamiento de cada uno de estos pequeños elementos, que tienen una forma regular, se puede predecir fácilmente mediante ecuaciones matemáticas. La computadora está interesada en sumar todos los comportamientos individuales para predecir el comportamiento de todo el objeto, evitando así el antiguo método de integración y diferenciación.

1.4.1. Introducción a la teoría FEA

La Ley de Hooke es una de las leyes fundamentales de la física que permite una mejor comprensión del análisis de elementos finitos. Un cuerpo elástico sufre un alargamiento proporcional a la fuerza que actúa sobre él, matemáticamente:

$$F = kx$$

Donde:

F fuerza

k constante de proporcionalidad

x distancia de distorsión

El sólido se divide en miles de pequeñas piezas. Si se aplican restricciones de movimiento a ciertos nodos y se aplica una fuerza a otros nodos, el nodo se moverá; todos los materiales tienen una cierta cantidad de flexibilidad. Cuando la fuerza se transmite a través del primer elemento, se distribuye a los demás nodos. En el método de elementos finitos, se lleva a cabo un paso llamado formulación de dureza de elementos. La rigidez, k , es generada por la relación que cada nodo de cada elemento actúa sobre los otros nodos. De esta forma, el sólido se reduce a un gran sistema pulsante. El esfuerzo o tensión se determina conociendo la fuerza en cada nudo y la geometría de cada elemento.

1.4.2. Nodos y elementos

Un nodo es una posición de coordenadas en el espacio donde se especifican los grados de libertad, y está asociado a este punto que representa los posibles movimientos que puede describir al cargar la estructura. También indica las fuerzas y momentos que se transfieren de un elemento a otro. El elemento es el componente básico del análisis de elementos finitos. Existen diferentes tipos de objetos, y su uso dependerá del tipo de objeto a modelar y del tipo de análisis que se realice con él. Estos elementos pueden ser líneas (varillas o vigas), áreas (placas y películas bidimensionales o tridimensionales) o materiales sólidos (“Bricks” o tetraedros).

1.4.3. Elemento Brick

Son elementos de cuatro, cinco, seis u ocho nodos, formados en un espacio tridimensional. Por definición, los elementos de Brick no pueden tener grados de libertad de rotación; Si es necesario, se pueden aplicar grados de libertad traslacionales.

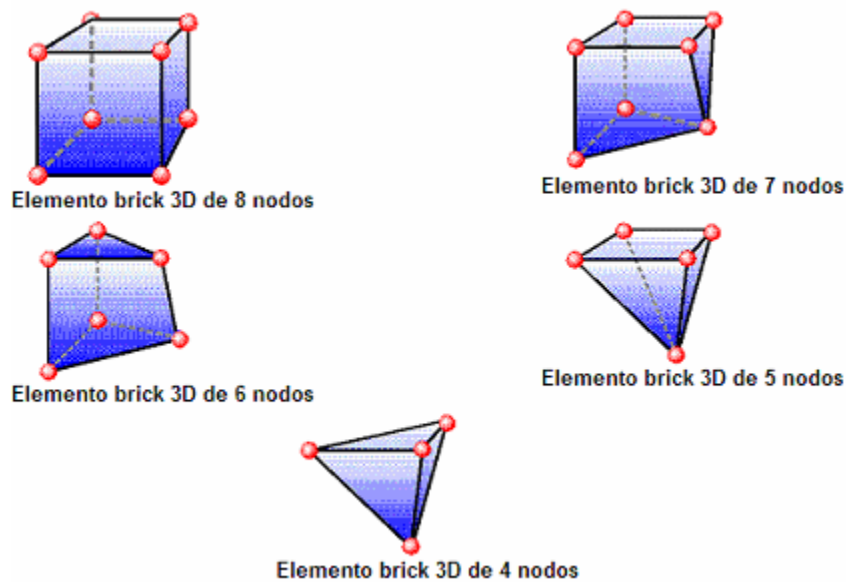


Ilustración 2 Elementos tipo brick usados por Autodesk Inventor.

El elemento Brick se puede utilizar cuando se cumplen las siguientes reglas básicas:

- Cuando se quiere conocer los resultados de esfuerzos por el espesor de la pieza.
- Cuando el modelo aplica solo fuerzas y no momentos.
- El modelo tendrá una carga de presión hidrostática.

1.4.4. Tipos de análisis

Los tipos de análisis disponibles en Autodesk Inventor son: lineal, no lineal, térmico, de flujo de fluidos, electrostático y multifásico (una combinación de calor y flujo de fluidos).

Tensión estática con modelos de materiales lineales

Este análisis es el más simple de todos los tipos de análisis y solo debe usarse en los casos en que todas las cargas aplicadas son constantes y todas las deformaciones esperadas del material estarán en el rango elástico lineal. Permite el estudio de tensiones, deformaciones, desplazamientos y fuerzas axiales y cortantes provocadas por cargas estáticas (fuerza, par, presión, gravedad). Este modelo está limitado por condiciones de contorno específicas y propiedades del material.

Se supone que la tensión estática es constante durante un período indefinido, mientras que la tensión, el movimiento y la deformación son pequeños.

1.4.5. Malla o Red.

Una Malla es una red de nodos y elementos que representan un modelo. Las mallas de alta calidad convergen rápidamente, brindando resultados precisos y sin errores. Las micro mallas producen resultados más precisos y tienden a converger en el mismo valor.

1.4.6. Pasos recomendados para el análisis Autodesk Inventor. FEA

En un análisis de estrés mecánico típico, generalmente se sigue una secuencia básica de pasos:

1. Crea una Malla.
2. Determinar el sistema de unidades.
3. Determinar los parámetros del análisis del modelo.
4. Determinación del tipo de elemento y sus propiedades (material).
5. Aplicación de cargas y restricciones.
6. Conjunto de matrices de rigidez de elementos.
7. Resolver el sistema de ecuaciones algebraicas lineales.
8. Calcular la puntuación.
9. Revise los resultados.
10. Cree un informe con los resultados del análisis.

Estos pasos se suelen dividir en tres fases:

1. Configurar la plantilla: del paso 1 al paso 5.
2. Análisis de formulario: pasos de 6 a 8 (estos pasos implementan automáticamente el programa Autodesk Inventor).
3. Evaluación de resultados: Pasos 9 y 10.

1.4.7. Importación de modelos CAD

Una vez dibujado en CAD, el elemento a analizar se importa a InCAD. Con Direct Memory Image Transfer, la información de ingeniería se recopila y guarda como un archivo dmit que el programa puede leer. Los dibujos CAD para este proyecto provienen de AutoDesk Inventor y el software compatible con AutoCAD, por lo tanto este proceso se hace internamente.

También hay que tener en cuenta que el análisis de la desviación máxima, que en este caso no debe superar los 10 cm al extremo del brazo. Esta imposición se debe a las limitaciones de espacio impuestas por el diseño del tanque en Cerrejon.

1.5. Diseño y selección del sistema hidráulico

1.5.1. Generalidades

Un sistema hidráulico es un sistema en el que la energía se genera, transmite y controla a través de la circulación de aceite en un circuito. El sistema se puede dividir en tres grandes grupos que podemos ver en el esquema de la Figura.

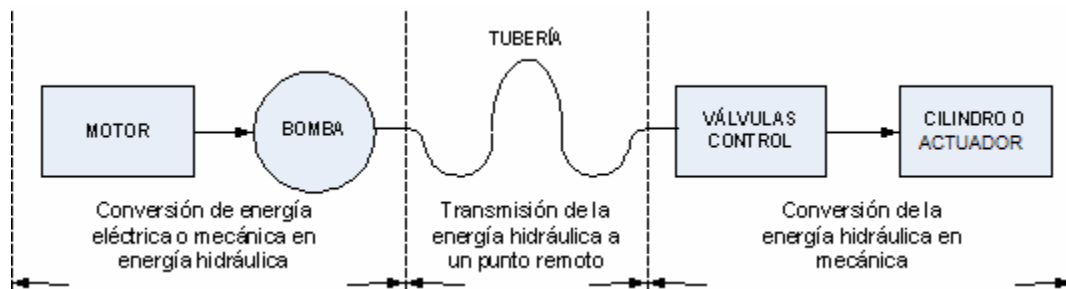


Ilustración 3 *Componentes básicos de un sistema hidráulico.*
 [http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica.htm]

Comenzando en el lado izquierdo del diagrama, la primera sección está dedicada a la conversión de energía eléctrica y/o mecánica en sistemas hidráulicos. Un motor eléctrico, de gasolina u otro, conectado a una bomba, en su salida, se alcanza un determinado caudal a una determinada presión. En la parte central del esquema, el fluido se dirige a través del tubo al lugar de uso.

A la derecha en el diagrama, el aceite en movimiento genera la conversión en energía mecánica por su acción sobre el cilindro o motor hidráulico. Las válvulas controlan la dirección del movimiento, la velocidad y el nivel de potencia a la salida del motor o cilindro.

1.5.2. Trasmisión de potencia

La Figura describe el principio de transmisión de potencia en un sistema hidráulico. Fuerza mecánica, acción o fuerza que actúa sobre el pistón a. La presión dentro del fluido crea presión sobre el pistón B.

Según la ley de Pascal, la presión que se produce en el líquido es la misma en todos los puntos, por lo que la fuerza que actúa sobre el pistón B es igual a la fuerza ejercida sobre el líquido por el pistón A, suponiendo que los diámetros de A y B son iguales.



Ilustración 4 *Trasmisión de potencia.*
[http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica.htm]

La ley de Pascal no exige que los dos pistones sean idénticos. La Figura muestra la versatilidad de los sistemas hidráulicos ya que pueden ubicar componentes aislados y transmitir fuerza instantánea a grandes distancias con poca pérdida. Estos tubos se pueden hacer en cualquier posición. Incluso en las esquinas, se puede pasar a través de tubos relativamente pequeños con poca pérdida de energía. La distancia de separación de la

generación desde el punto de uso es generalmente de 1,5 a 6 m en los sistemas hidráulicos primarios. Las distancias más grandes se superan con sistemas especialmente diseñados.

1.5.3. **Campo de aplicación**

Las aplicaciones de la hidráulica en la actualidad varían mucho, y este rango de uso se debe principalmente al diseño y fabricación de componentes de alta precisión y materiales de mejor calidad, acompañado de investigación especializada sobre los principios de la regulación hidráulica. Y todo esto se a reflejado en equipos que permitieron trabajos más complejos y mayores niveles de potencia, lo que ciertamente permitió un mayor desarrollo de la industria en su conjunto.

Dentro de las aplicaciones se pueden reconocer dos: móviles y fijas industriales.

Aplicaciones móviles

La energía proporcionada por el aceite presurizado puede ser utilizada para transmisión, perforación, izaje, excavación, transporte de materiales, control y conducción

de vehículos en movimiento tales como:

- Tractores
- grúas torre
- excavadora
- Camión de recogida de residuos
- Herramienta de precarga
- Frenos y suspensión del camión
- Vehículos de construcción y mantenimiento de carreteras

Aplicaciones industriales

En la industria, es fundamental contar con maquinaria especializada para controlar, conducir, posicionar y mecanizar artículos o materiales en la línea de producción. Para ello se utiliza frecuentemente la energía suministrada por el fluido a presión. Entre otros:

- Máquinas para la Industria del Plástico
- Herramientas de máquina
- Máquinas de procesamiento de alimentos
- Robots y equipos de procesamiento automatizado
- Equipos de montaje industrial

- Máquina de minería
- Maquinaria siderúrgica

1.5.4. **Ventajas y desventajas del sistema óleo hidráulico.**

El sistema de accionamiento hidráulico garantiza seguridad, calidad y fiabilidad al mismo tiempo que reduce los costes. En cuanto al manejo de materiales y productos, los sistemas hidráulicos permiten que una sola persona mueva grandes cantidades y pesos de un lugar a otro con facilidad y rapidez.

Ventajas

- Le permite operar con altos niveles de potencia o torque.
- El aceite usado en el sistema se puede restaurar fácilmente.
- Control de velocidad de conducción simple.
- Instalación comprimida.
- Proteger la carga útil simple.
- Cambios de sentido rápidamente.

Desventajas.

- El fluido de trabajo es más caro si se compara con el agua o el aire en el caso del aire comprimido.
- Personal de mantenimiento especializado. • Los líquidos son muy sensibles a la contaminación.

1.6.Componentes de los sistemas hidráulicos

Esta etapa incluye una descripción de los componentes y las funciones que realizan como parte del sistema.

1.6.1. Cilindro hidráulico

Los cilindros son los dispositivos más utilizados para convertir la energía hidráulica en energía mecánica. La presión del fluido determina el empuje del cilindro, y el caudal de este fluido es el factor que determina su desplazamiento.

La fuerza y los viajes crean trabajo, y cuando el trabajo se completa en un tiempo determinado, hablamos de potencia. En la figura que sigue vemos una sección transversal esquemática de un cilindro típico.

A esto se le llama doble efecto porque hace los dos golpes con la acción del líquido. Las piezas básicas de trabajo son: 1) el buje del cilindro encerrado entre los extremos, 2) el pistón con su espaciador, 3) la varilla con el buje y el espaciador.

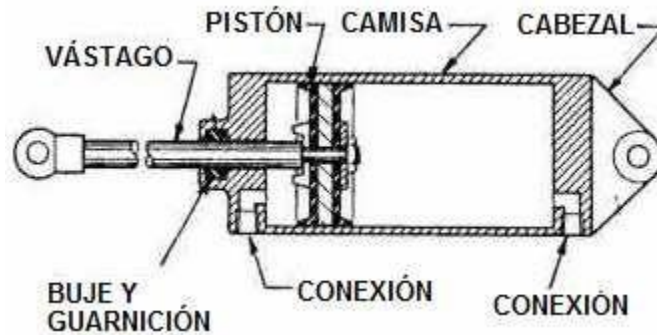


Ilustración 5 *Esquema de un cilindro hidráulico.*
[http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm]

1.6.2. Tipos de cilindros

El cilindro de doble efecto que se muestra en la figura anterior es una construcción típica de un cilindro hidráulico; Sin embargo, para aplicaciones especiales, existen variantes que tienen el mismo principio de funcionamiento que el descrito. La figura a continuación muestra un cilindro de doble vástago. Esta configuración es deseable cuando el desplazamiento de la magnitud o la fuerza debe ser igual en ambas direcciones. En muchos trabajos, la producción se puede aumentar mediante el uso de estaciones de trabajo impulsadas por cilindros de doble vástago.

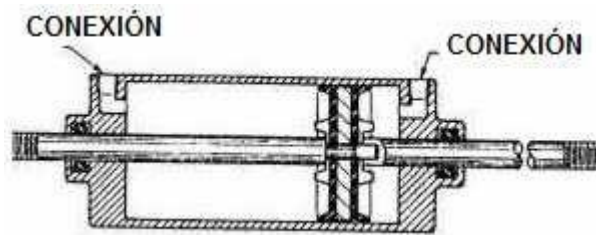


Ilustración 6 *Cilindro de doble vástago.*
[http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm]

Según MERKLE D “Cuando se requiere fuerza en una dirección, el fluido se aplica a la cara frontal del cilindro y al lado opuesto en contacto con la atmósfera” como se muestra en la siguiente figura:

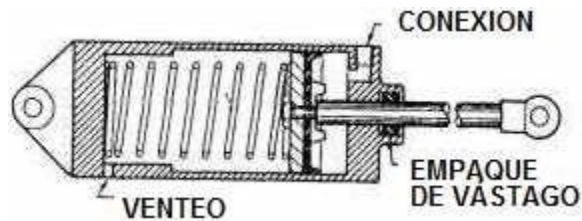


Ilustración 7 *Cilindro de simple efecto.*
[http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm]

Al final de la carrera de retorno, el pistón vuelve a su posición original por la acción de un resorte interno o externo, por gravedad u otros medios mecánicos. El fluido actúa sobre el área “neta” del pistón, por lo que se debe restar el área que representa el vástago para calcular la fuerza.

1.6.3. Bomba

Una bomba hidráulica es un dispositivo que recibe energía mecánica de una fuente externa y la convierte en energía de presión que puede ser transferida de un lugar a otro en un sistema hidráulico, a través de un fluido cuyas moléculas deben estar exactamente a esta presión. La bomba hidráulica es una pieza encargada de impulsar el aceite o fluido hidráulico, y convertir la energía mecánica en energía hidráulica.

El proceso de conversión de la energía se realiza en dos fases: absorción y descarga.

Absorción

Cuando la energía mecánica se transfiera a la bomba, comience a girar con esta baja presión creada en la entrada de la bomba. Dado que el tanque de aceite está bajo presión atmosférica, surge una diferencia de presión que hace que se produzca succión y, por lo tanto, el aceite se precipita hacia la entrada de la bomba.

Descarga

Cuando entra el aceite, la bomba toma el aceite y expulsa el aceite y asegura que el fluido no regrese debido a su construcción. Sin embargo, el líquido no tendrá más remedio que entrar en el sistema, donde hay espacio disponible, y por lo tanto llegará al desagüe.

1.6.4. Clasificación de las bombas

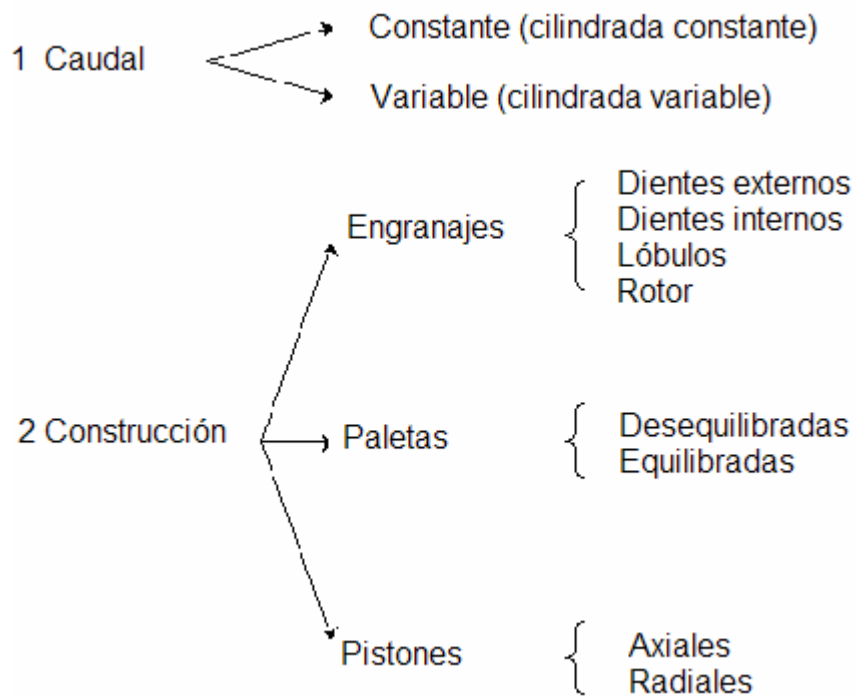


Ilustración 8 *Clasificación de las bombas.*
[http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica5.htm]

1.6.5. Tanque de almacenamiento

La función normal de un tanque hidráulico es contener o contener fluido del sistema hidráulico. En la plomería industrial, los tanques constan de cuatro paredes (generalmente de acero), un fondo escalonado, una parte superior plana con placas de montaje, cuatro patas y líneas de succión, retorno y descarga; Tapón de drenaje, luz indicadora de nivel de aceite; Gorra rellenable y transpirable. Agujero de limpieza y pared divisoria o guarda direccional. Además de la función del contenedor de líquido, el contenedor también tiene el efecto de enfriar el líquido, depositar suciedad y liberar el aire atrapado.

La mayoría de los sistemas hidráulicos pequeños y medianos usan un tanque o tanque como base de montaje para la bomba, el motor eléctrico, la válvula de alivio y, a menudo, otras válvulas de control. Este grupo se denomina “unidad de bombeo”.

La cubierta se puede quitar para su limpieza e inspección.

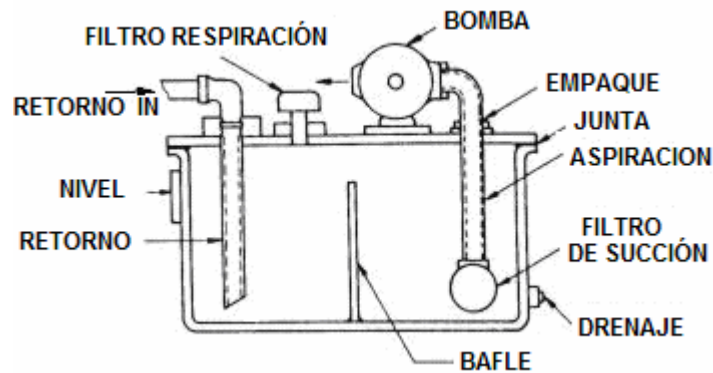


Ilustración 9 *Tanque de aceite.*

[http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica5.htm]

El tanque está equipado con un indicador de nivel y un filtro de respiración que evita la entrada de aire sucio. Para los sistemas actuales, el tanque debe tener un tamaño tal que el aceite permanezca dentro de uno a tres minutos antes de ser reciclado.

Suponga que, si el caudal de la bomba es de 60 litros por minuto, entonces la capacidad del tanque debe ser de 60 a 180 litros.

1.6.6. Válvulas

El fluido que circula en el sistema hidráulico debe ser trasladado adecuadamente a los distintos cilindros, actuadores o accionadores, según las necesidades y secuencia de trabajo a realizar. Las válvulas tienen una fuga de presión local, por lo que deben tener el tamaño correcto. La válvula secundaria conducirá a energía y velocidad, y el tamaño será grande económicamente costoso. Las recomendaciones exactas aparecen en el catálogo del fabricante, pero para crear un estándar general, diremos que una velocidad de 4 m/s se considera estándar para aplicaciones generales.

Los medios utilizados para accionar la válvula pueden ser hidráulicos (presión piloto), eléctricos o manuales. La variedad de válvulas y sistemas de dirección de fluidos es extensa y el objetivo de este proyecto no es profundizar más en este tema.

1.6.7. Otros accesorios

Entre los demás elementos que complementan el sistema hidráulico se encuentran:

- Filtros de aire y aceite
- Manguera hidráulica
- acoplamiento
- Manómetro
- Control automático
- Luz de advertencia de nivel de aceite

Los brazos hidráulicos retráctiles le permiten mover cargas de un lugar a otro de forma rápida y segura, con flexibilidad de movimiento. El término “brazo” se refiere al hecho de que la máquina es similar a un brazo humano y permite la carga y el movimiento de un lugar a otro. El movimiento vertical del basculante se logra mediante un sistema hidráulico cuyos cilindros están correctamente posicionados para soportar el peso de la cuña.

El movimiento horizontal no requiere la misma cantidad de fuerza que el movimiento vertical y, por lo tanto, es responsabilidad del operador. Esta estrategia proporciona una solución práctica, segura y eficaz que permite a los trabajadores cumplir con sus funciones. En base a esto, se identificó el problema de tareas rutinarias en el departamento de mantenimiento de la unidad Caterpillar 777F-G Tanker, en la cual la instalación de la cuña de bloqueo del tanque se realizaba de forma neta manual.

2. Características específicas del diseño

2.1 Características generales

Teniendo como opción el brazo hidráulico como alternativa al diseño, se determinan las características de sus ocho componentes principales:

1. Brazo fijo
2. Brazo móvil
3. Sistema 47hidráulico
4. Cilindros de accionamiento hidráulico de 200 Bar
5. Bomba hidráulica de 5000 psi
6. Sistemas articulados
7. Sistema de agarre
8. Ruedas de poliuretano para el desplazamiento del sistema

2.2 Brazo Fijo:

- Deben sujetarse en los extremos con pasadores
- Debe girar con respecto a la vertical.

- Debe ser liviano para que el operador pueda moverlo, pero al mismo tiempo soportar cargas críticas en diferentes lugares.

- Debe soportar esfuerzos de flexión y torsión.

El brazo en cuestión está dispuesto de manera vertical con un sistema de soporte rectangular. El pilar vertical es dispuesto por un perfil cuadrado ASTM A-36 de dimensiones 80x3.2 mm. Mientras que la base o soporte estructural se dispone por perfiles ASTM A-36 50*2.5 mm para el soporte de la estructura y disposición del sistema de ruedas de poliuretano

2.3 Torre

- La torre debe ocupar el menor espacio posible debido al limitado espacio requerido para su manejo (43 cm x 60 cm).

- Altura mínima de 2,60 m y máxima de 3,0 m

- Debe contar con un sistema de guía para el movimiento vertical del brazo.

- Debe basarse en el suelo a través del panel de control nervioso de la madre para estabilizarse.

- Para la producción, los registros de acero se utilizarán en el mercado.

El tamaño de la máquina está determinado por el tamaño del lugar donde se colocará, el tamaño de la carga que se levantará y algunas características que se enumeran a continuación.

- La grúa debe ubicarse cerca de la puerta del área de mantenimiento de camiones cisterna.
- El área de la máquina es de varios metros cuadrados, por lo que se le instalara suficientes ruedas para moverse a voluntad.
- El operario que sostiene el basculante debe tomar la cuña y moverla en dos pasos para el retiro de la cuña a cambiar o usada y para volver a colocar la cuña nueva , manteniéndola quieta mientras retira el tornillo para evitar movimientos bruscos, muchas veces el tornillo está roto o deben ser cortados para poder cambiar esto y en el siguiente movimiento estará cargando y asegurando la nueva cuña mientras instala los tornillos.

Las cuñas se encuentran en las siguientes condiciones cuando llegan al taller



Ilustración 10 Espacio para instalación de la cuña.

Para Mejor comprensión del área y estructura del taller se ilustra a través de las imágenes mostradas en las ilustraciones 2,3 y 4



Ilustración 11 Fotografía taller indicando proporción del operario con el camión TK MEGA

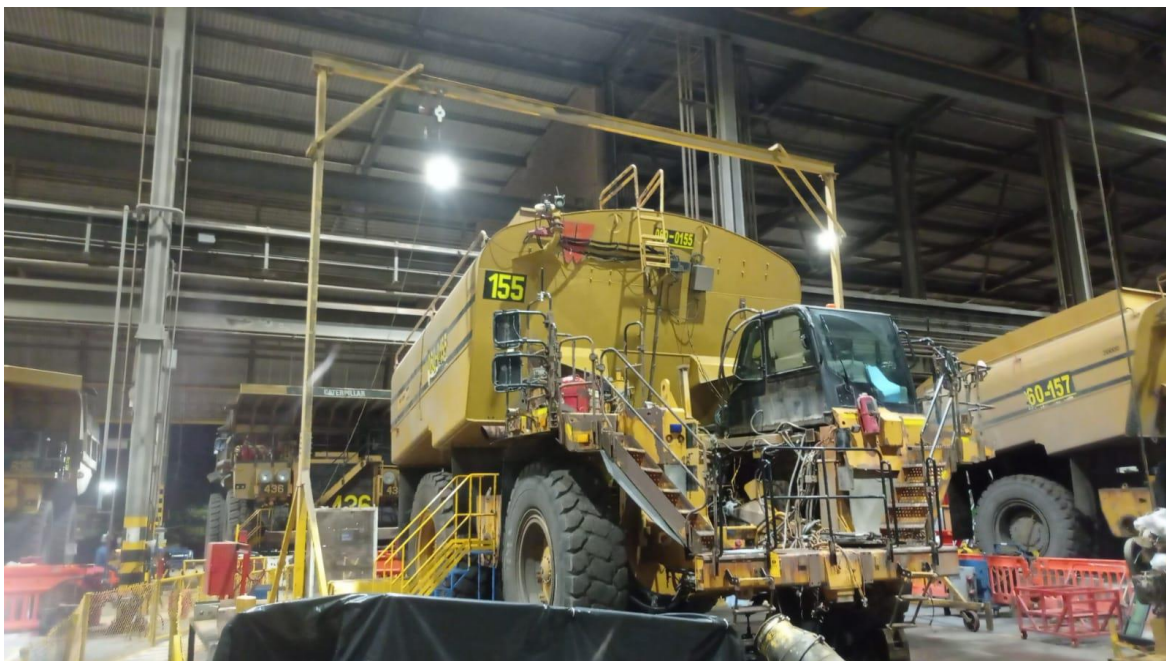


Ilustración 12 Fotografía frontal camión TK MEGA



Ilustración 13 Fotografía espacio de puente grúa.

2.4 Espacio vertical

La luz vertical que debe tener el basculante depende de las dimensiones medidas en la zona de descarga del taller. Usando estas dimensiones, se puede obtener el nivel de vista lateral que se muestra en la figura 5. La altura máxima que debe alcanzar el basculante es de 2,60m, dado el tamaño de la cuña, el recorrido vertical que debe alcanzar el basculante está entre 0,9m y 1m.



Ilustración 14 Espacio vertical instalación cuña

2.5 Espacio horizontal


El alcance horizontal de la pluma también se puede determinar en función del tamaño del área del taller para el mantenimiento del vehículo CATERPILLAR 777F-G. Después de realizar las mediciones, se puede obtener el plano de proyección.

Se hace un análisis de las posiciones específicas que debe cumplir el basculante; Es decir, el punto más lejano y el punto más cercano que no se tienen en cuenta ya que el espacio para el mantenimiento es bastante amplio y no afecta la movilidad del brazo

3.0 Alternativas de diseño y opciones viables

Análisis de alternativas de diseño para encontrar la mejor solución al problema estudiado (Tabla 1).

Tabla 1 Diseño de alternativas y opciones.

Grúa y polipasto eléctrico	
Montacargas	

Brazo hidráulico



Los dispositivos ilustrados anteriormente se pueden utilizar para la tarea encomendada, así como para izar cargas, pero su principio de funcionamiento es diferente y cada dispositivo tiene sus ventajas y desventajas que se analizarán en detalle a continuación.

3.1. Justificación de los factores de selección

Entre varios parámetros posibles, se analizarán cinco factores para comparar entre alternativas, ya que se consideran los más importantes. Cada factor se calificará con 10 puntos, por lo que el resultado final será de más de 50 puntos. También se tiene en cuenta que algunos factores son más importantes que otros y por lo tanto es necesario un análisis ponderado. El "peso" de cada factor permite alcanzar la calificación.

Inversión:

Calificada en base al costo de alternativas en el mercado. La alternativa más cara tendrá una puntuación más baja y la alternativa más barata tendrá una puntuación más alta.

Cabe señalar que el presupuesto de Cerrejón para este proyecto es de 5 millones. En el Anexo 1 se muestran los precios de las alternativas, donde el valor del Brazo hidráulico importado es de 8 millones según dimensiones y escala, el precio de un montacargas de 900kg es de 38 millones y el precio de la grúa es de 21 millones.

Mantenimiento:

Analizado en base a la complejidad y costo de mantenimiento de la máquina. Después de la inversión inicial, se desea mantener este mantenimiento al mínimo, mientras se asegura de que la máquina continúe funcionando durante el mayor tiempo posible. Un mantenimiento más costoso tendrá calificaciones más bajas. La grúa es la máquina de menor mantenimiento, consta de un motor eléctrico y muy pocas piezas móviles, lo que garantiza un desgaste mínimo. El mantenimiento más complejo y costoso es el montacargas.

Facilidad de uso:

se evaluará en función de la habilidad del operador de la máquina. Cuanta menos capacitación se requiera, más personas podrán operar la máquina y evitar que la descarga se detenga por cualquier motivo. Además, un personal mejor capacitado le costará más a la empresa, y una máquina que sea más fácil de operar tendrá una calificación más alta. Las

máquinas más fáciles de maniobrar son la grúa y el brazo hidráulico, ambos controladas por una botonera con dos botones, uno de subida y otro de bajada. Un montacargas requiere un operador calificado para usarlo correctamente.

Capacidad de carga:

la clasificación será mayor si la máquina tiene una mayor capacidad de carga y puede izar más elementos. Un montacargas es una máquina especialmente diseñada para levantar y bajar mercancías, con un amplio rango de operación (de 1 a 10 toneladas). Pero el objetivo no es montar muchos elementos a la vez. La grúa instalada actualmente puede levantar pesos de hasta 1 tonelada, que es suficiente y muy superior a las cargas que se mueven en el taller. El brazo hidráulico se puede diseñar para la carga requerida.

Flexibilidad:

Aquí se tiene en cuenta el espacio físico, los movimientos que puede realizar la máquina y el menor tiempo de trabajo para garantizar la seguridad del equipo y del operario. Un dispositivo más versátil tendrá una calificación más alta. El polipasto ha restringido su movimiento horizontal. Para superar esta deficiencia, es necesario construir un sistema de puente grúa. Los montacargas tienen la capacidad de moverse con flexibilidad, pero necesitan un área de movimiento grande, aunque es un vehículo pequeño. Un Brazo hidráulico es la solución ideal porque tiene diferentes grados de libertad y no ocupa mucho espacio.

Selección de la mejor opción.

Tabla 2 Selección de la mejor opción.

Factor	Peso P	Alternativas /10			Valor Ponderado		
		Alt. 1 Grúa	Alt. 2 Montacargas	Alt. 3 Brazo Hidráulico	Alt. 1 x P Grúa	Alt. 2 x P Montacargas	Alt. x P Brazo Hidráulico
Inversión	0,8	10	6	8	8	4,8	6,4
Mantenimiento	0,7	9	3	8	6,3	2,1	5,6
Facilidad de operación	0,9	10	6	10	9	5,4	9
Capacidad de carga	0,6	8	10	8	4,8	6	4,8
Versatilidad	1	3	5	10	3	5	10
TOTAL					31,1	23,3	35,8

Como se desprende del análisis anterior, la opción con mayor puntuación es el brazo hidráulico (35,8 puntos). Cabe señalar que la evaluación se realizó para este caso en particular. El brazo hidráulico ha demostrado grandes ventajas, particularmente en la facilidad de operación y la flexibilidad que demuestra para adaptarse a las necesidades de este proyecto.

3. Análisis específico para el brazo hidráulico diseñado

Una vez seleccionado el brazo hidráulico como alternativa al diseño, se determinan las características de sus componentes principales:

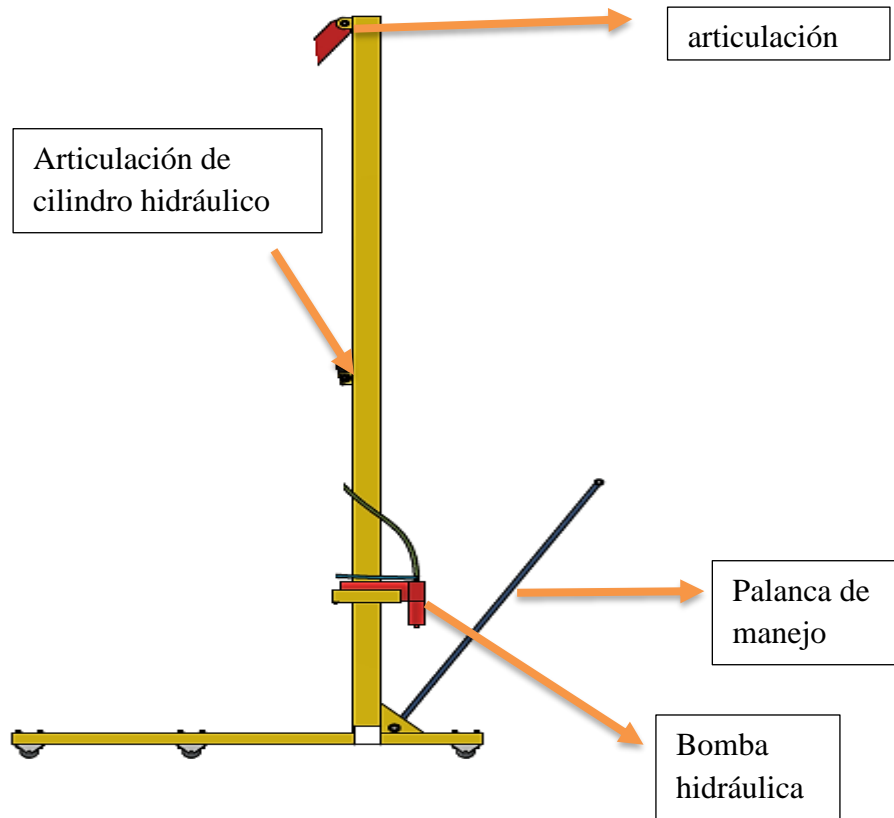


Ilustración 15 Prototipo brazo hidráulico: fuente: Los autores

3.4 Brazo fijo

Las fuerzas actuantes en dicho soporte son básicamente el peso de la estructura, el peso de los cilindros y el peso de la bomba hidráulica. Por lo cual, realizando un diagrama de cuerpo libre, la distribución de fuerzas queda de la siguiente manera:

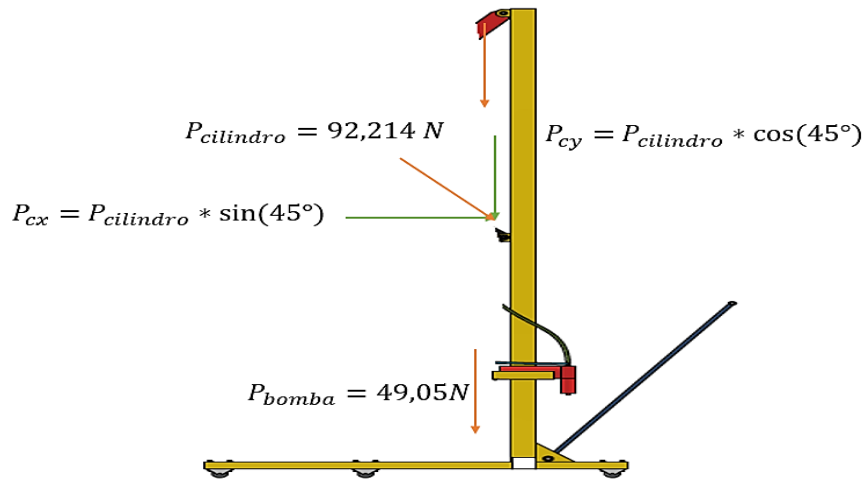


Ilustración 16 Cargas actuantes en el brazo fijo. Fuente: los autores

Por tanto el peso del cilindro que actúa en la dirección x,y del soporte estructural es:

$$P_{cx} = P_{cilindro} * \sin(45^\circ) = 65.205 \text{ N}$$

$$P_{cy} = P_{cilindro} * \cos(45^\circ) = 65.205 \text{ N}$$

Dichas cargas fueron utilizadas para la simulación del elemento, en el cual se obtuvieron los siguientes resultados:

a. Condiciones de empotramiento: base estructural fija

El brazo fijo fue modelado a través del software Autodesk Inventor V.2022, a través del cual se obtuvieron los siguientes resultados gráficos:

3.4.1 Análisis de Esfuerzos de Von Mises:

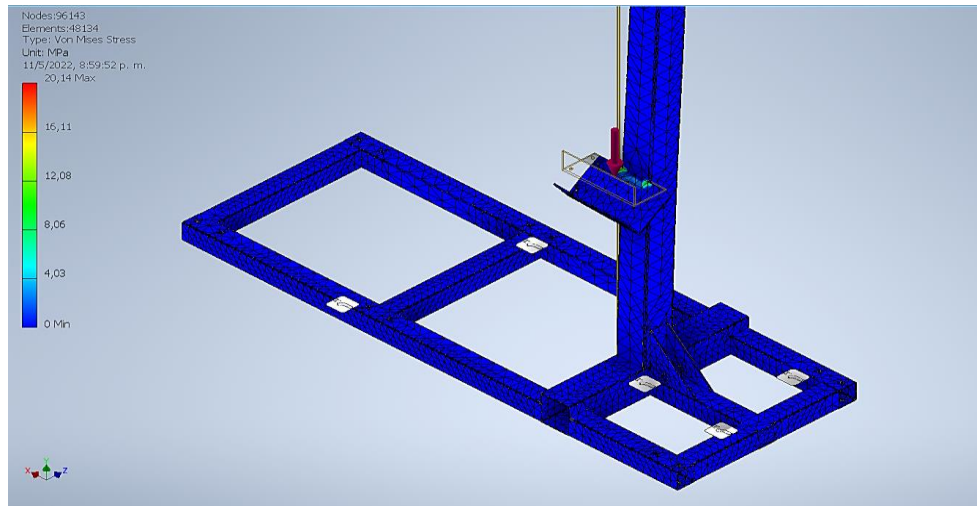


Ilustración 17 análisis de esfuerzos brazo fijo. Fuente: los autores

Los máximos esfuerzos se concentran en la base de la bomba hidráulica donde precisamente será adaptada para la colocación del sistema de inyección del fluido. Los esfuerzos máximos presentan un valor de 16.11 MPa. Para mayor claridad la simulación fue evaluada, bajo las condiciones de análisis estructural de la norma ANSI/AISC 360-05 (LRFD) donde se evalúan las diversas combinaciones de carga a lo largo de la barra según la ubicación de las cargas dispuestas, obtenido el siguiente resumen:

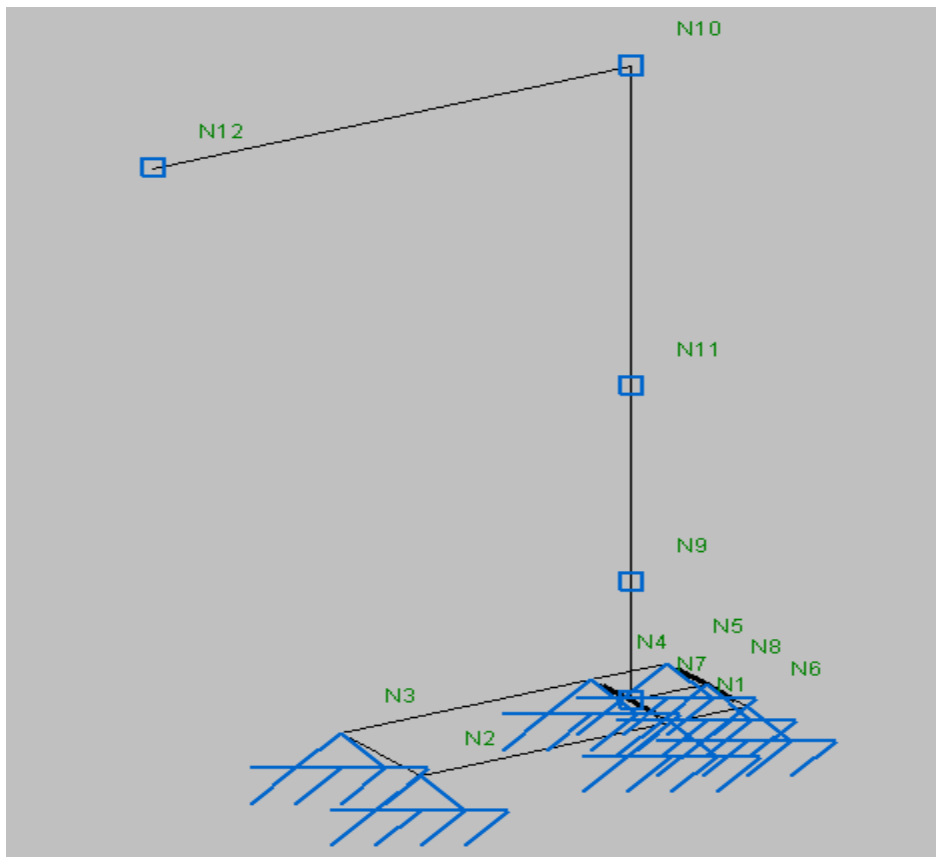


Ilustración 18: Nodos de la estructura

Esfuerzos en barras, por hipótesis					
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra		
			0.000 m	0.277 m	0.553 m
N7/N9	Peso propio	N	-0.033	-0.031	-0.029
		Vy	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	0.000	0.000
		Mz	-0.010	-0.010	-0.010
	PESO CILINDRO	N	-0.007	-0.007	-0.007
		Vy	0.007	0.007	0.007
		Vz	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	0.000	0.000
		Mz	0.010	0.008	0.006
	PESO BOMBA	N	-0.005	-0.005	-0.005
		Vy	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	0.000	0.000
		Mz	0.000	0.000	0.000
	PESO SISTEMA DE AGARRE	N	-0.001	-0.001	-0.001
		Vy	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000
Mt		0.000	0.000	0.000	
My		0.000	0.000	0.000	
Mz		-0.002	-0.002	-0.002	

Ilustración 19: Esfuerzos sobre columna base-posición Bomba

Esfuerzos en barras, por hipótesis							
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra				
			0.000 m	0.231 m	0.462 m	0.693 m	0.924 m
N9/N11	Peso propio	N	-0.029	-0.027	-0.025	-0.023	-0.022
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010
	PESO CILINDRO	N	-0.007	-0.007	-0.007	-0.007	-0.007
		Vy	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz	0.006	0.005	0.003	0.002	0.000
	PESO BOMBA	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	PESO SISTEMA DE AGARRE	N	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002

Ilustración 20: esfuerzos conexión bomba-conexión cilindro

Esfuerzos en barras, por hipótesis											
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.188 m	0.375 m	0.563 m	0.750 m	0.938 m	1.125 m	1.313 m	1.500 m
N11/N10	Peso propio	N	-0.022	-0.020	-0.019	-0.017	-0.016	-0.015	-0.013	-0.012	-0.010
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010
	PESO CILINDRO	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	PESO BOMBA	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Ilustración 21: esfuerzo conexión cilindro-articulación brazo móvil

3.4.2 Análisis de Deformaciones:

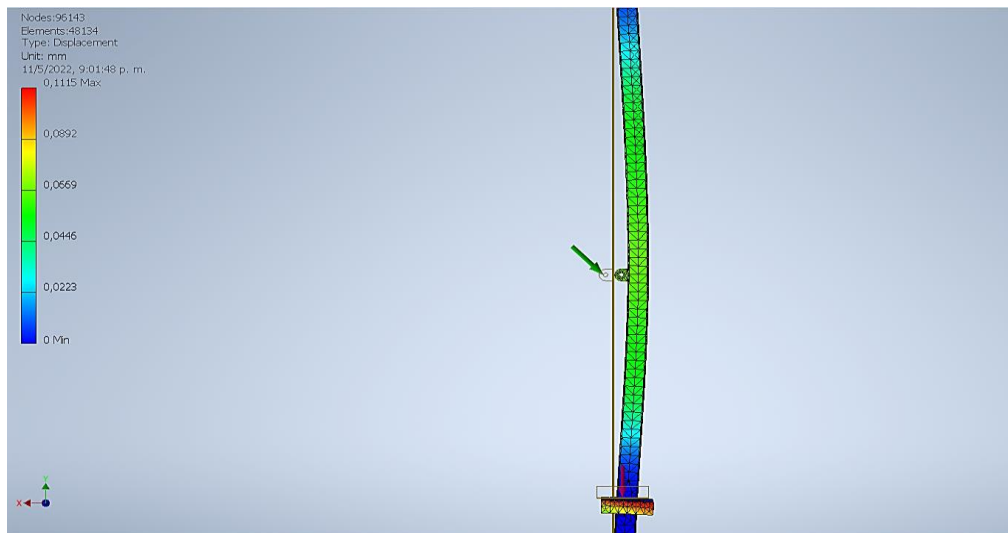


Ilustración 22: análisis de deformaciones. fuente: los autores

Para efecto de validar el efecto limitaciones de esbeltez por compresión, resistencia a flexión en los ejes(x,y), esfuerzos combinados y esfuerzos por tracción. Se tomó en consideración la normativa ANSI/AISC 360-05(LRFD) a fin de evaluar la estructura, obteniendo lo siguiente:

Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

La esbeltez máxima admisible en una barra sometida a compresión es*:

$$\lambda \leq 200$$

$\lambda : \underline{30}$ ✓

Donde:

λ : Coeficiente de esbeltez

$$\lambda = \frac{KL}{r}$$

$\lambda : \underline{30}$

Donde:

L: Longitud de la barra

L : $\underline{924}$ mm

K: Factor de longitud efectiva.

K : $\underline{1.00}$

r_x : Radio de giro respecto al eje X

$r_x : \underline{3.11}$ cm

Donde:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$r_x : \underline{3.11}$ cm

Donde:

I_x : Momento de inercia respecto al eje X

$I_x : \underline{92.48}$ cm⁴

A: Área total de la sección transversal de la barra.

A : $\underline{9.56}$ cm²

Notas:

*: La esbeltez máxima admisible está basada en las Notas de Usuario de la sección E2.

Ilustración 23: Limitación de la columna por esbeltez

La columna cumple por esbeltez según las especificaciones de ANSI/AISC 360-05 (LRFD) siendo el resultado por limitación menor al máximo especificado por la norma

Resistencia a compresión (Capítulo E)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo E de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_r = \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

$$\eta_r : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

El axil de compresión solicitante de cálculo máximo P_r , se produce en el modo NS, para la combinación de hipotesis

1.4-PP+1.4-PESOCILINDRO+1.4-PESOBOMBA+1.4-PESOSISTEMADEAGARRE.

Donde:

P_r : Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD

$$P_r : \underline{0.051} \quad t$$

P_c : Resistencia de diseño a compresión

$$P_c : \underline{20.925} \quad t$$

$$P_c = \phi_c P_n$$

La resistencia de diseño a compresión en secciones comprimidas es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo E.

Donde:

ϕ_c : Factor de resistencia a compresión, tomado como:

$$\phi_c : \underline{0.90}$$

P_n : Resistencia nominal a compresión, calculada según el Artículo E3-A:

$$P_n : \underline{23.250} \quad t$$

$$P_n = F_y A$$

para el pandeo por flexión de secciones con elementos compactos y no compactos (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo E - E3-A).

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra.

$$A : \underline{9.56} \quad \text{cm}^2$$

F_y : Tensión de pandeo por flexión, tomada como:

$$F_y : \underline{2431.93} \quad \text{kp/cm}^2$$

a) Cuando: $F_y \geq 0.44F_y$

$$F_y = \left[0.658^{\frac{K L}{r}} \right] F_y$$

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

$$F_y : \underline{2548.42} \quad \text{kp/cm}^2$$

F_y : Tensión crítica elástica de pandeo, tomada como la menor de:

$$F_y : \underline{22797.24} \quad \text{kp/cm}^2$$

$$F_y = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K L}{r} \right)^2}$$

$$F_y : \underline{22797.24} \quad \text{kp/cm}^2$$

$$F_y : \underline{22797.24} \quad \text{kp/cm}^2$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero

$$E : \underline{2038733.98} \quad \text{kp/cm}^2$$

K: Factor de longitud efectiva.

$$K : \underline{1.00}$$

$$K : \underline{1.00}$$

L: Longitud de la barra

$$L : \underline{924} \quad \text{mm}$$

r: Radio de giro dominante

$$r : \underline{3.11} \quad \text{cm}$$

$$r : \underline{3.11} \quad \text{cm}$$

Ilustración 24: Resistencia de la columna por compresión

Observando los cálculos generados en base a la norma, la columna cumple por resistencia por compresión, teniendo una capacidad o resistencia a compresión de 20.925 toneladas, mucho mayor a la carga axial aplicada a la pieza que se estima de 0.051 toneladas.

Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_{bx} = \frac{M_u}{M_c} \leq 1$$

$$\eta_{bx} = \underline{0.025} \quad \checkmark$$

El momento flector solicitante de cálculo pánico, M_u , se produce en el nodo N11, para la combinación de acciones:

1.4-PP+1.4-PESOCILINDRO+1.4-PESOBOMBA+1.4-PESOSISTEMADEAGARRE.

Donde:

M_u : Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD

$$M_u = \underline{0.017} \text{ t-m}$$

M_c : Resistencia de diseño a flexión

$$M_c = \underline{0.650} \text{ t-m}$$

$$M_c = \phi_b M_n$$

La resistencia de diseño a flexión para secciones sometidas a momento flector es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo F:

Donde:

ϕ_b : Factor de resistencia a flexión

$$\phi_b = \underline{0.90}$$

M_n : La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 7, Sección 1

$$M_n = \underline{0.722} \text{ t-m}$$

1. Fluencia

$$M_n = M_y = F_y Z_y$$

$$M_n = \underline{0.722} \text{ t-m}$$

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado

$$F_y = \underline{2348.42} \text{ kp/cm}^2$$

Z_y : Módulo resistente plástico respecto al eje Y

$$Z_y = \underline{28.33} \text{ cm}^3$$

2. Pandeo local del ala

a) para secciones compactas, el estado límite de pandeo local del ala no se aplica

3. Pandeo local del alma

a) para secciones compactas, el estado límite de pandeo local del alma no es de aplicación

Ilustración 25: Resistencia por flexión (pandeo)

La columna cumple con las especificaciones para el cumplimiento por pandeo frente a las cargas expuestas, según lo especificado basados en la normativa ANSI/AISC 360-05 (LRFD)

Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

$$\eta \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.026} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N11, para la combinación de acciones 1.4·PP+1.4·PESOCILINDRO+1.4·PESOBOMBA+1.4·PESOSISTEMADEAGARRE.

Donde:

η : calculado según Artículo 1, Sección 1

1. Secciones con simetría doble y simple sometidas a flexión y compresión

b) Para $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$

$$\eta = \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \quad (\text{H1-1b})$$

$$\eta : \underline{0.03}$$

Donde:

P_r : Resistencia a compresión requerida

$$P_r : \underline{0.042} \text{ t}$$

P_c : Resistencia de diseño a compresión, calculado según el Capítulo E

$$P_c : \underline{20.925} \text{ t}$$

M_{rx} : Resistencia a flexión requerida en el eje fuerte

$$M_{rx} : \underline{0.000} \text{ t-m}$$

M_{cx} : Resistencia de diseño a flexión en el eje fuerte, calculado según el Capítulo F

$$M_{cx} : \underline{0.650} \text{ t-m}$$

M_{ry} : Resistencia a flexión requerida en el eje débil

$$M_{ry} : \underline{0.017} \text{ t-m}$$

M_{cy} : Resistencia de diseño a flexión en el eje débil, calculado según el Capítulo F

$$M_{cy} : \underline{0.650} \text{ t-m}$$

Ilustración 26: Resistencia a esfuerzos combinados y torsión

Se nota que la columna cumple los apartados de la normativa ANSI/AISC 360-05 (LRFD) referente a esfuerzos combinados (flexo-compresión) y esfuerzos por tracción.

3.4.3 Factor De Seguridad De La Pieza:

El factor de seguridad mínimo de la pieza según los resultados estructurales es de 12.32

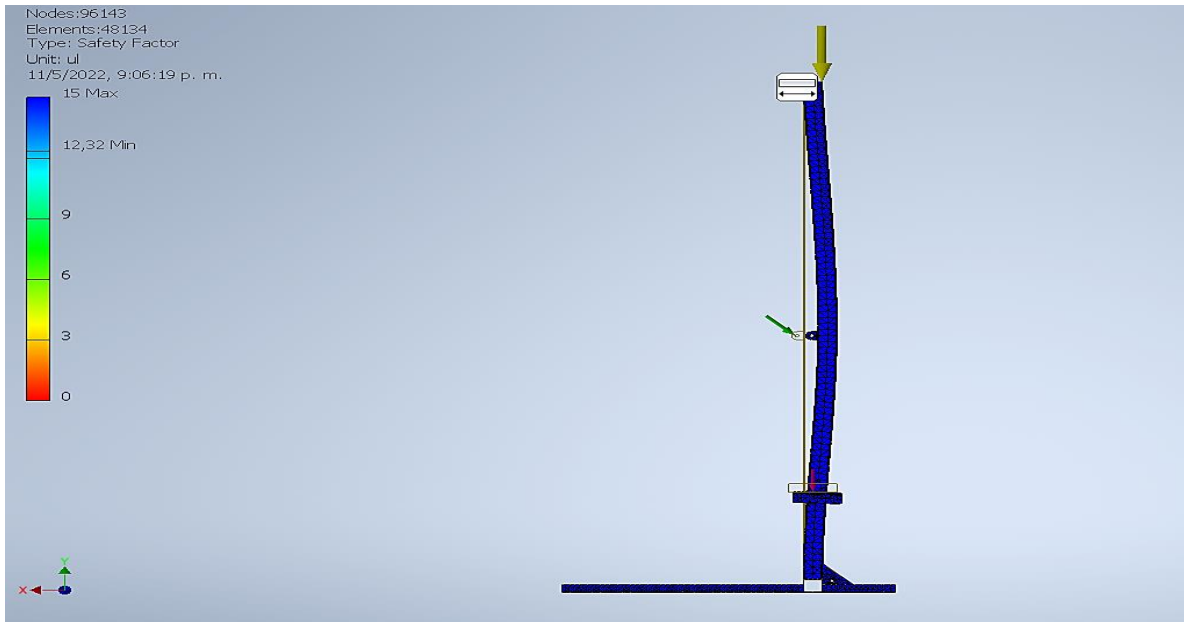


Ilustración 27: factor de seguridad del brazo fijo. fuente: Los autores

Perfil: TCuL 80x3.2 Material: Acero (A36)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	$I_x^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_y^{(1)}$ (cm ⁴)	$I_t^{(2)}$ (cm ⁴)
	N9	N11	0.924	9.56	92.48	92.48	148.20
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.	
	β	1.00	1.00	0.00	0.00		
	L_K	0.924	0.924	0.000	0.000		
	C_b	-		1.000			
Notación: β : Coeficiente de pandeo L_K : Longitud de pandeo (m) C_b : Factor de modificación para el momento crítico							

Ilustración 28: características mecánicas y pandeo de la columna

3.5 Brazo móvil

El brazo móvil está previsto como una viga articulada en el extremo derecho (conexión con el pilar), mientras que en el extremo izquierdo está provisto del cilindro hidráulico junto con el sistema de agarre que contribuyen, al peso de la estructura para el levantamiento de la torre inclinada.

El mismo está diseñado con acero ASTM A-36 perfil 70x50x3.2 mm el cual en el extremo derecho actúa como un sistema articulado, permitiendo el giro en un rango mayor a 90° en dirección, y mientras que en el extremo izquierdo, presenta un sistema de acople tipo placa articulado al cilindro hidráulico y a su vez acoplado el sistema de agarre.

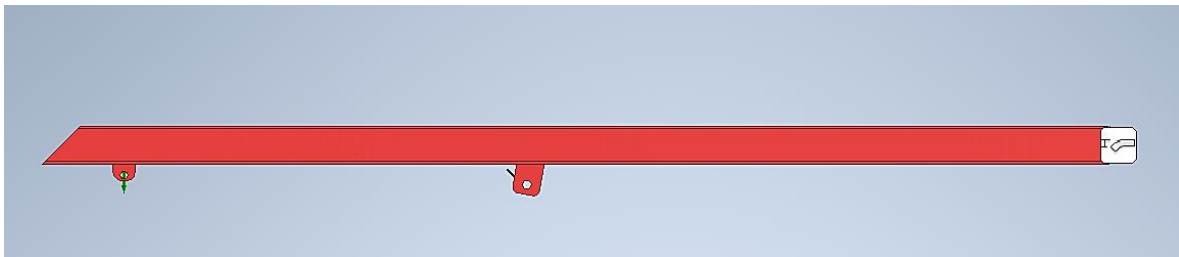


Ilustración 29: diseño brazo móvil articulado

Las cargas actuantes en el diseño del brazo móvil se presentan a continuación:

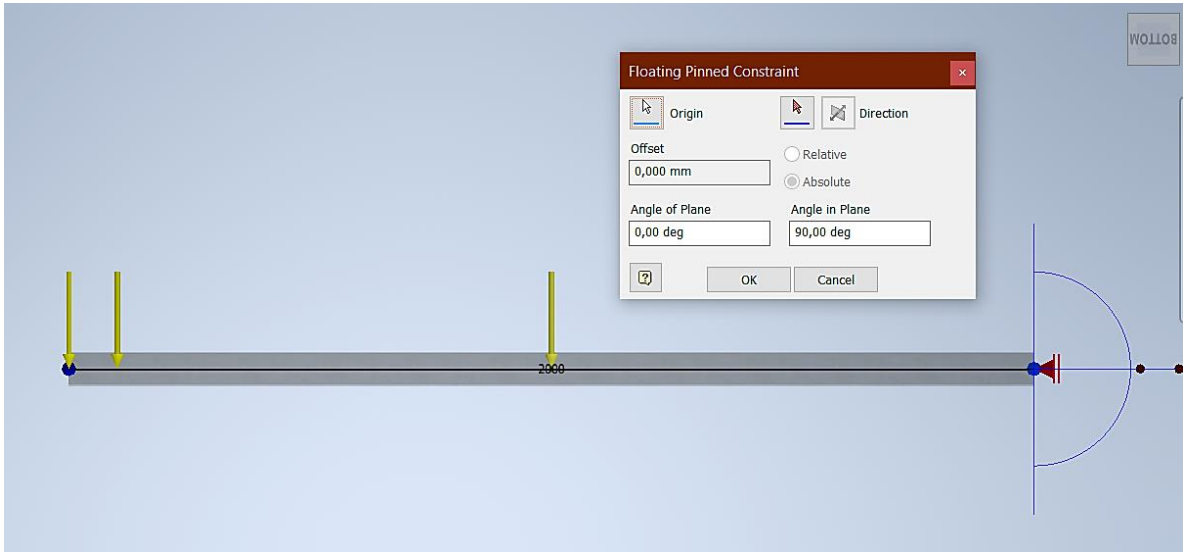


Ilustración 30: articulación en el extremo derecho del brazo móvil

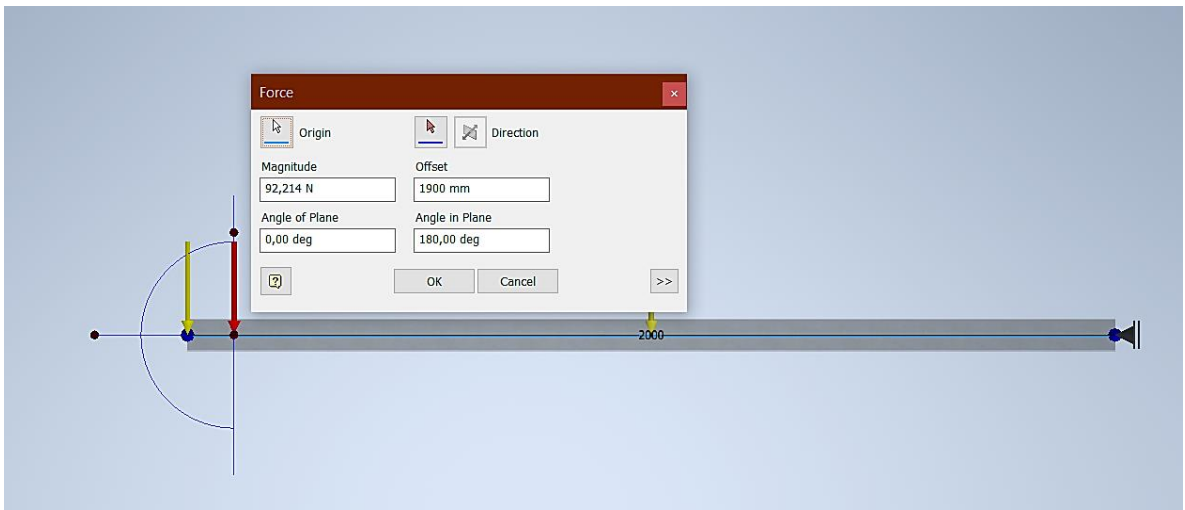


Ilustración 31: fuerza ejercida por el cilindro hidráulico

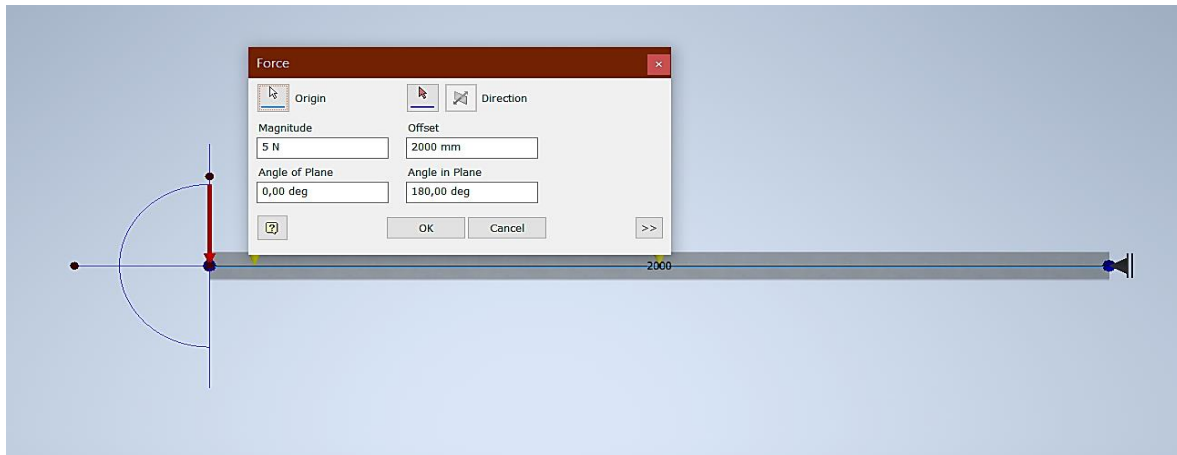


Ilustración 32: fuerza ejercida por el sistema de agarre de la herramienta

La viga móvil fue simulada como un sistema articulado, que, según la teoría de la mecánica estructural, el momento flexionante en la dirección es cero (0), debido a que el sistema se encuentra articulado en dicho extremo para permitir el giro del brazo en esa dirección, mientras que el extremo derecho se presenta como un sistema en voladizo el cual realiza un contrapeso con la reacción dada por el sistema hidráulico del brazo fijo. Esto permite que al estar en posición inicial toda la carga del brazo y sus cargas consecuentes serán asumidas por el primer cilindro hidráulico, el cual tiene una capacidad de 5000 psi. Por su parte al momento de iniciar el giro el cilindro hidráulico genera más que una fuerza, un empuje que permite el movimiento o giro en la dirección dada. Por ello la barra o viga no deforma en el punto de aplicación del empuje del primer cilindro hidráulico, solo recibe el empuje y permite la elevación o disminución del giro a medida que se alarga o se acorta la salida del vástago del cilindro primario.

La comprobación de las reacciones en el punto articulado se muestra a continuación:

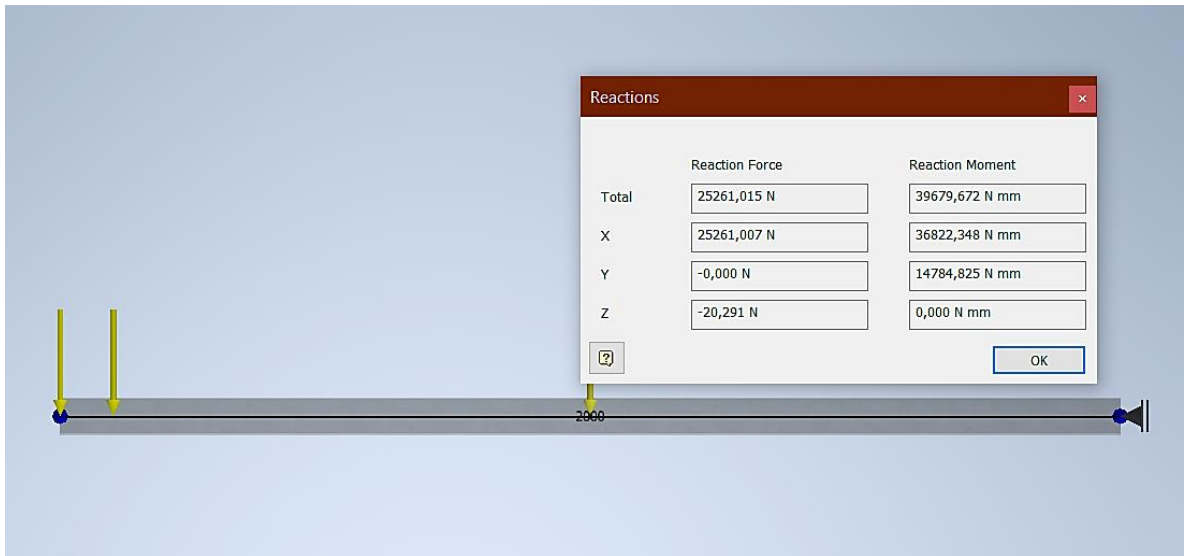


Ilustración 33: reacciones en la articulación del brazo móvil

Puede observarse tal como se expuso anteriormente, que el momento flexionante en la articulación es cero (0) esto debido a que la conexión funciona como una articulación donde la reacción o momento flexionante debe ser cero (0).

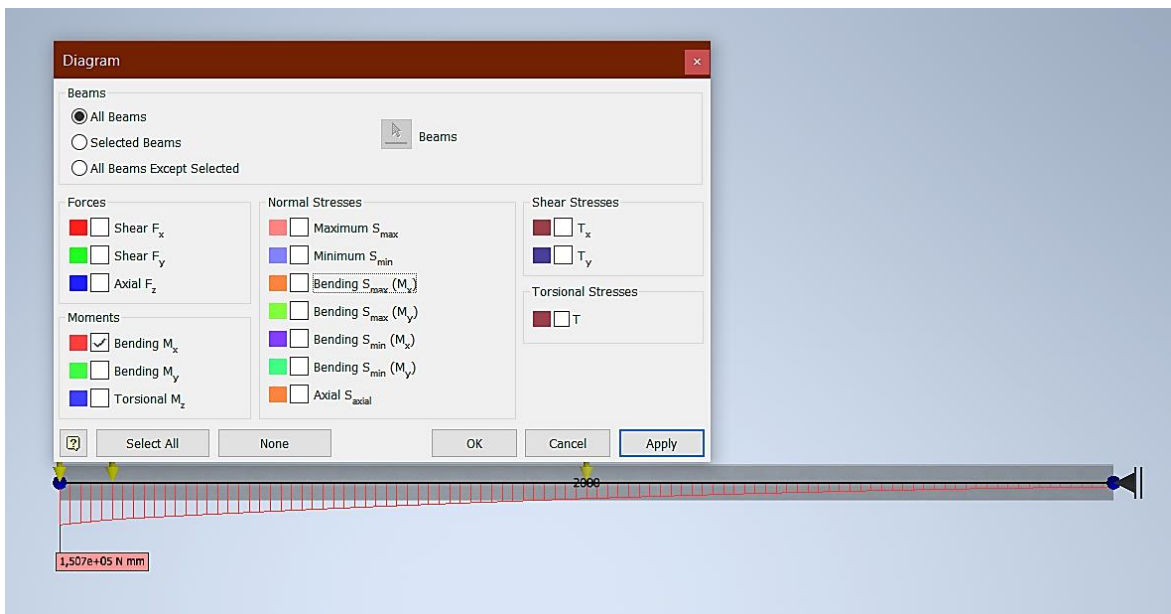


Ilustración 34: momento flexionante del brazo móvil

Por su parte la fuerza o esfuerzo cortante que actúa en el sistema se muestra a continuación:

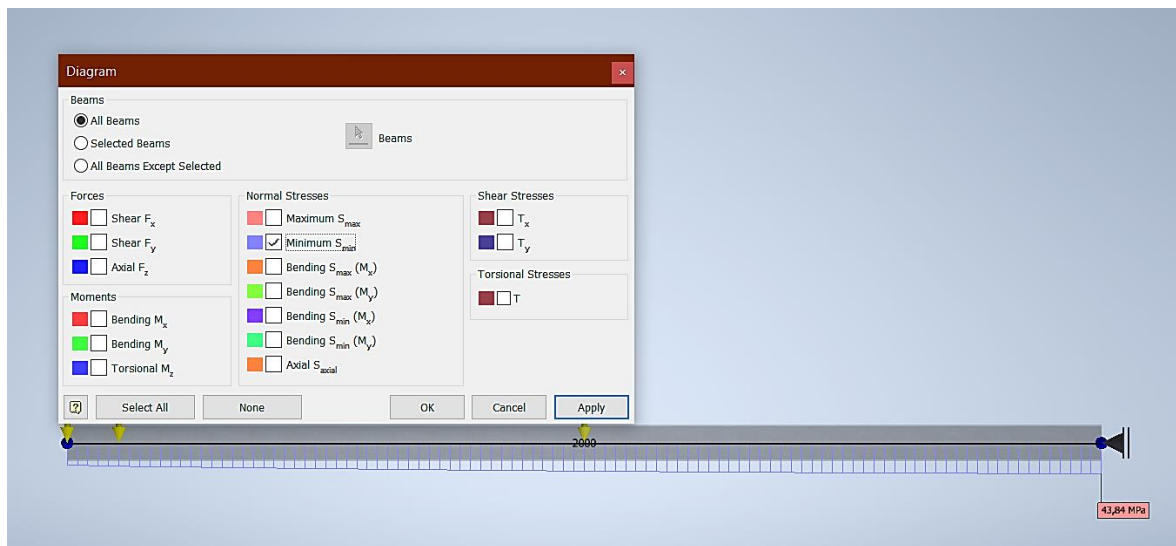


Ilustración 35: esfuerzo cortante en el brazo móvil

El esfuerzo cortante según el análisis estructural se presenta en la articulación, debido a que el tornillo o perno recibe las cargas del sistema durante el movimiento en el cual produce un esfuerzo cortante.

3.5.1 Análisis de Esfuerzos de Von Mises:

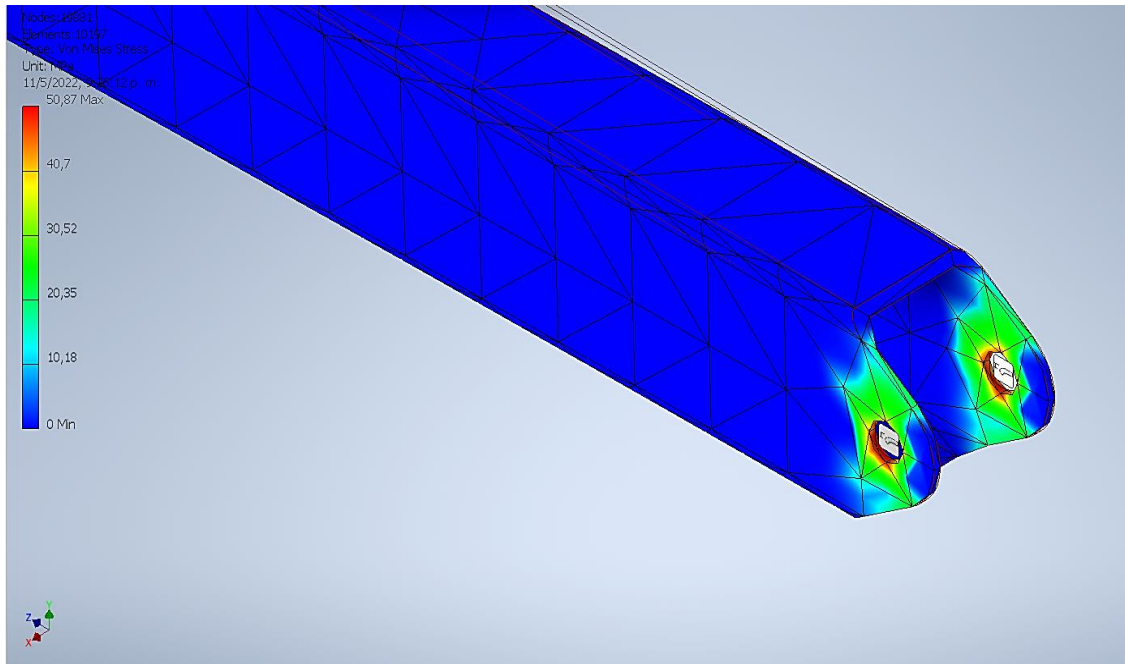


Ilustración 36: análisis de esfuerzo mediante elemento finito

Los máximos esfuerzos se concentran en la articulación del sistema apernado del brazo móvil y el brazo fijo. Los esfuerzos máximos en los barrenos, de la articulación presentan un valor de 40.7 MPa. Dichos esfuerzos deben su reacción al constante movimiento entre las placas de sujeción del brazo y la placa de los barrenos, del brazo móvil (fricción-placa-perno). Fijarse que el esfuerzo cortante es muy cercano a los valores dados en el diagrama de la viga o brazo móvil de 43.7 MPa

3.5.2 Análisis De Deformaciones:

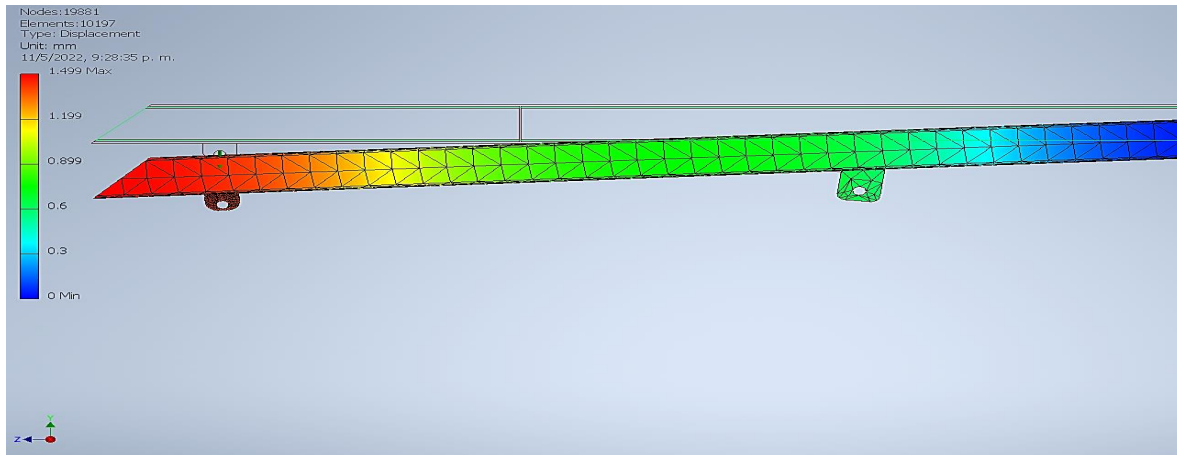


Ilustración 37: análisis de deformación del brazo en estado inicial

La deformación máxima, se presenta en el voladizo del brazo móvil debido al peso ejercido por el cilindro, el peso del sistema de agarre y el peso de la pieza a elevar (torre inclinada), el cual toma una deformación máxima de 1.499 mm, Dicha deformación es aceptable considerando que la flecha permisible, para elementos estructurales puede fijarse en un rango de $[L/200-L/300]$; siendo “L” la longitud total de la pieza, según las especificaciones permisibles indicadas por ANSI/AISC 360-05 (LRFD). En contraparte el brazo móvil fue evaluado según las especificaciones de la normativa ANSI/AISC 360-05 (LRFD), donde se realizan las comprobaciones por flecha obteniendo los siguientes resultados.

Flechas								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
	N1/N6	0.150 0.150	0.00 L/(>1000)	0.150 0.150	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -
N1/N4	0.250 0.250	0.00 L/(>1000)	0.250 0.250	0.01 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N7/N8	0.150 -	0.00 L/(>1000)	0.150 0.150	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N7/N9	0.277 0.277	0.01 L/(>1000)	0.277 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N9/N11	0.462 0.462	0.05 L/(>1000)	0.231 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N11/N10	0.750 0.750	0.18 L/(>1000)	0.750 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)
N12/N10	0.950 -	0.00 L/(>1000)	1.140 1.140	0.20 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)	0.000 -	0.00 L/(>1000)

Ilustración 38: flechas máximas según resultados de ANSI/AISC 360-05 (LRFD)

<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRYvZ8B9bxYHhdknBw-n1y16e0UGtdhiGZ3gg&usqp=CAU>

3.5.3 Factor De Seguridad De La Pieza:

El factor de seguridad mínimo de la pieza según los resultados estructurales es de 4.88, lo cual es aceptable para el diseño del prototipo.

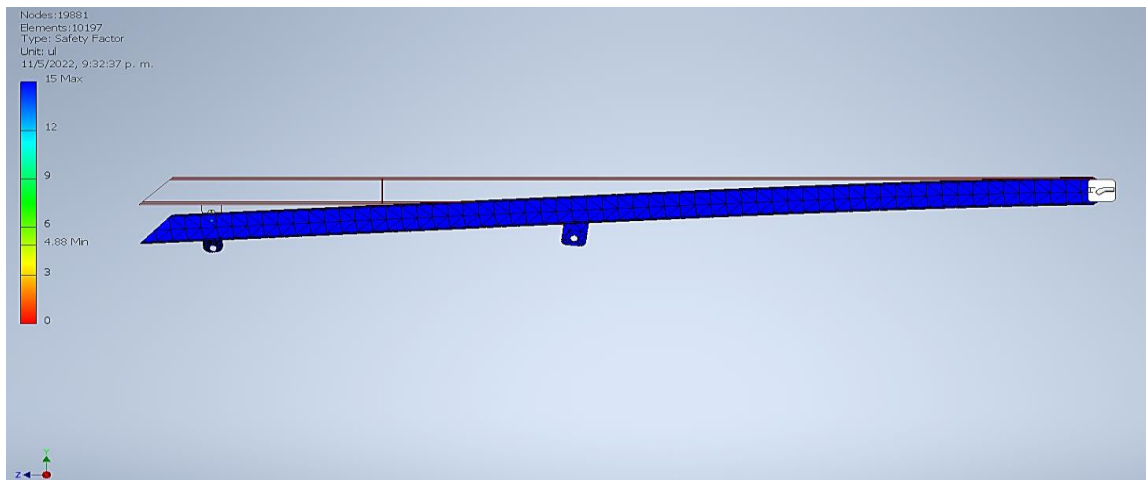


Ilustración 39: factor de seguridad del brazo móvil

Ilustración 40 *Sección de un perfil estructural rectangular.*

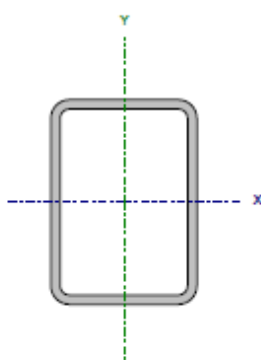
Perfil: TRL 70x50x3.2 Material: Acero (A36)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _x ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N12	N10	1.900	7.00	46.15	27.29	56.57
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
			Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.	
	β		1.00	1.00	0.00	0.00	
	L_K		1.900	1.900	0.000	0.000	
	C_b		-		1.000		
Notación: β : Coeficiente de pandeo L_K : Longitud de pandeo (m) C_b : Factor de modificación para el momento crítico							

Ilustración 41:Caractersiticas perfil 70x50x3mm

Imagen presentada por el software Autodesk Inventor

- b. Perfil: ver adjunto en la planimetría del prototipo
- c. Fuerzas actuantes:

Empuje del cilindro	92.214 N
Peso propio del brazo móvil	91.174 N
Peso del sistema de agarre	5.17 N

d. Condiciones de empotramiento: base articulada a brazo fijo

Para complementar el análisis realizado a través de inventor, al igual como se realizó para la columna fue necesario evaluar el brazo móvil a fin de determinar la resistencia a flexión del brazo móvil por lo cual se empleó la normativa ANSI/AISC 360-05 (LRFD) donde se generaron los siguientes Resultados:

Resistencia a flexión eje X (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_u}{M_c} \leq 1$$

$$\eta_M : \underline{0.042} \quad \checkmark$$

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_u , se produce en el nudo N10, para la combinación de acciones

1.4-PP+1.4-PESOCILINDRO+1.4-PESOBOMBA+1.4-PESOSISTEMADEAGARRE.

Donde:

M_c : Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD

$$M_u : \underline{0.017} \quad \text{t}\cdot\text{m}$$

M_c : Resistencia de diseño a flexión

$$M_c : \underline{0.394} \quad \text{t}\cdot\text{m}$$

$$M_c = \phi_b M_n$$

La resistencia de diseño a flexión para secciones sometidas a momento flector es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo F:

Donde:

ϕ_b : Factor de resistencia a flexión

$$\phi_b : \underline{0.90}$$

M_n : La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 7, Sección 1

$$M_n : \underline{0.437} \quad \text{t}\cdot\text{m}$$

1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

$$M_n : \underline{0.437} \quad \text{t}\cdot\text{m}$$

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado

$$F_y : \underline{2548.42} \quad \text{kp/cm}^2$$

Z_x : Módulo resistente plástico respecto al eje X

$$Z_x : \underline{17.16} \quad \text{cm}^3$$

2. Pandeo local del ala

a) para secciones compactas, el estado límite de pandeo local del ala no se aplica

3. Pandeo local del alma

a) para secciones compactas, el estado límite de pandeo local del alma no es de aplicación

Ilustración 42: resistencia por flexión brazo móvil

Se comprueba según las especificaciones ANSI/AISC 360-05 (LRFD) que el brazo móvil cumple bajo esfuerzos de flexión.

Se muestran los resultados generales, de las comprobaciones del brazo móvil como brazo fijo, según las especificaciones ANSI/AISC 360-05(LRFD), los cuales cumplieron con todas las comprobaciones de la presente norma, por el cual puede indicarse que ambos perfiles se cumplen con la función a realizar bajo las cargas actuantes:

2.1.2.5.- Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barras	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-05 (LRFD))								Estado
	P_t	λ_c	P_c	M_x	M_y	V_x	V_y	PMM,V,V,T	
N2/N1	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 0.5 \text{ m}$ $\eta = 0.2$	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 1 \text{ m}$ $\eta = 0.1$	NP. ^(a)	CUMPLE $\eta = 0.2$
N2/N3	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 0 \text{ m}$ $\eta < 0.1$	NP. ^(a)	CUMPLE $\eta < 0.1$
N3/N4	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 0.5 \text{ m}$ $\eta = 0.2$	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 1 \text{ m}$ $\eta = 0.1$	NP. ^(a)	CUMPLE $\eta = 0.2$
N4/N5	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 0 \text{ m}$ $\eta = 0.9$	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 0 \text{ m}$ $\eta = 0.2$	NP. ^(a)	CUMPLE $\eta = 0.9$
N6/N8	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 0.25 \text{ m}$ $\eta < 0.1$	NP. ^(a)	CUMPLE $\eta < 0.1$
N8/N5	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 0 \text{ m}$ $\eta < 0.1$	NP. ^(a)	CUMPLE $\eta < 0.1$
N1/N6	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 0 \text{ m}$ $\eta = 0.9$	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 0 \text{ m}$ $\eta = 0.2$	NP. ^(a)	CUMPLE $\eta = 0.9$
N1/N7	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 0.25 \text{ m}$ $\eta = 1.3$	$x = 0.25 \text{ m}$ $\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$x = 0 \text{ m}$ $\eta = 0.6$	NP. ^(a)	CUMPLE $\eta = 1.3$
N7/N4	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 0 \text{ m}$ $\eta = 1.3$	$x = 0 \text{ m}$ $\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$x = 0.25 \text{ m}$ $\eta = 0.6$	NP. ^(a)	CUMPLE $\eta = 1.3$
N7/N8	NP. ^(a)	$\lambda \leq 200.0$ Cumple	$\eta = 0.1$	$x = 0 \text{ m}$ $\eta = 0.5$	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 0 \text{ m}$ $\eta = 0.1$	$x = 0 \text{ m}$ $\eta = 0.5$	CUMPLE $\eta = 0.5$
N7/N9	NP. ^(a)	$\lambda \leq 200.0$ Cumple	$x = 0 \text{ m}$ $\eta = 0.3$	NP. ^(a)	$x = 0.533 \text{ m}$ $\eta = 1.2$	$\eta = 0.2$	NP. ^(a)	$x = 0.533 \text{ m}$ $\eta = 1.3$	CUMPLE $\eta = 1.3$
N9/N11	NP. ^(a)	$\lambda \leq 200.0$ Cumple	$x = 0 \text{ m}$ $\eta = 0.2$	NP. ^(a)	$x = 0.924 \text{ m}$ $\eta = 2.5$	$\eta = 0.2$	NP. ^(a)	$x = 0.924 \text{ m}$ $\eta = 2.6$	CUMPLE $\eta = 2.6$
N11/N10	NP. ^(a)	$\lambda \leq 200.0$ Cumple	$x = 0 \text{ m}$ $\eta = 0.2$	NP. ^(a)	$\eta = 2.5$	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 0 \text{ m}$ $\eta = 2.6$	CUMPLE $\eta = 2.6$
N12/N10	NP. ^(a)	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 1.9 \text{ m}$ $\eta = 4.2$	NP. ^(a)	NP. ^(a)	$x = 1.9 \text{ m}$ $\eta = 0.3$	NP. ^(a)	CUMPLE $\eta = 4.2$

Notación:
 P_t : Resistencia a tracción
 λ_c : Limitación de esbeltez para compresión
 P_c : Resistencia a compresión
 M_x : Resistencia a flexión eje X
 M_y : Resistencia a flexión eje Y
 V_x : Resistencia a corte X
 V_y : Resistencia a corte Y
PMM,V,V,T: Esfuerzos combinados y torsión
 x : Distancia al origen de la barra
 η : Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
^(a) La comprobación no procede, ya que no hay axial de tracción.
^(b) La comprobación no procede, ya que no hay axial de compresión.
^(c) La comprobación no procede, ya que no hay momento flexor.
^(d) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
^(e) No hay torsión u otros esfuerzos combinados, por lo que la comprobación no procede.

Ilustración 43: resumen de comprobaciones de perfiles estructurales

https://www.google.com/search?q=COMPROBACIONES+ANSI+ELU&sxsrf=ALiCzsbY_WTqMyF71AG9BrQgF49MhPc1Q:1669650128263&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjViK22m9H7AhULSzABHYpeCp8Q_AUoAXoECAIQAw&biw=1347&bih=485&dpr=1

3.6 Sistema de Agarre

El sistema de agarre fue modelado a través del software Autodesk Inventor V.2022, del cual se obtuvieron los siguientes resultados gráficos:

3.6.1 Análisis de Esfuerzos de Von Mises:

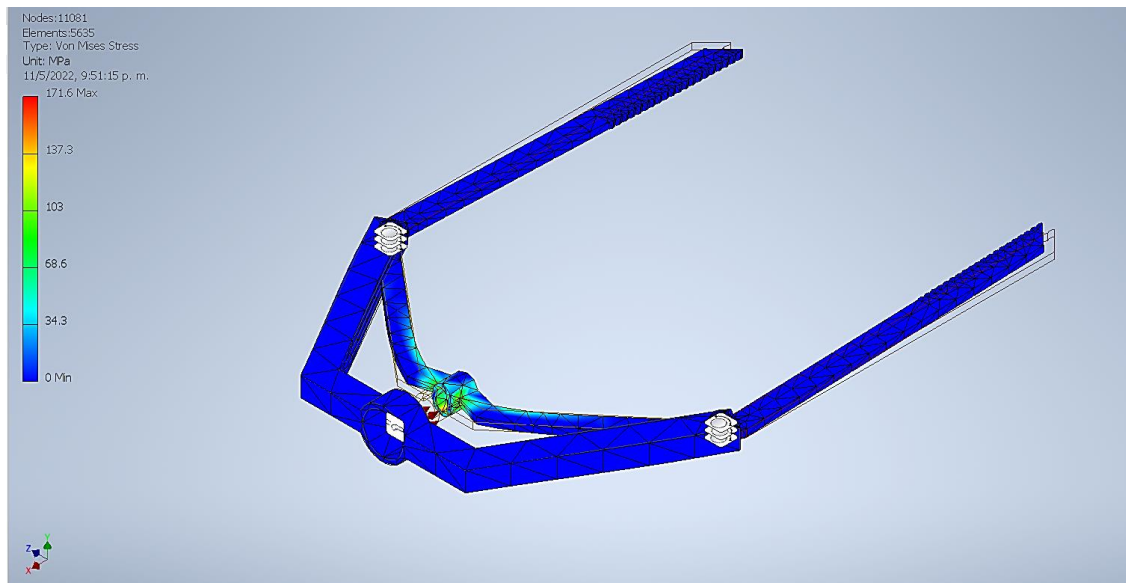


Ilustración 44: análisis de esfuerzos agarre mediante elemento finito

Los máximos esfuerzos se concentran, en el empuje del vástago del cilindro hidráulico a la pieza, que permite la articulación del sistema de agarre. Para generar el movimiento de

apertura y cierre de los brazos de agarre se utilizó un sistema de remaches, que permiten la rotación en el eje. El máximo esfuerzo de empuje es de 137.3 MPa lo cual es aceptable comparado con el esfuerzo de tensión de la pieza de empuje del sistema.

3.6.2 Análisis De Deformaciones:

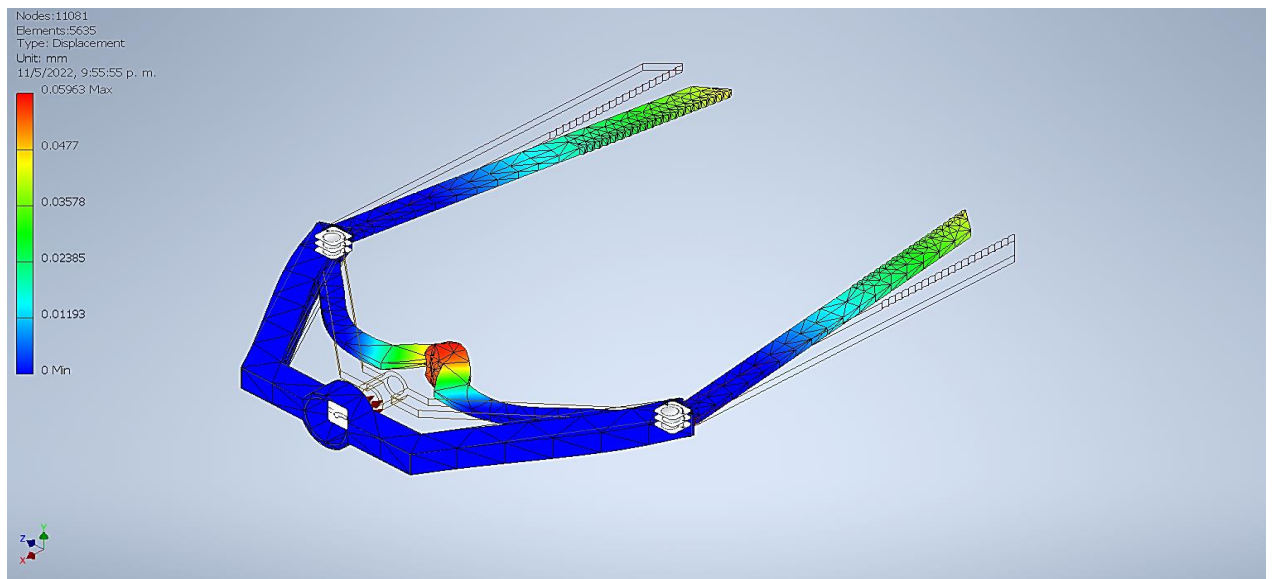


Ilustración 45: análisis de desplazamiento de sistema de agarre

La deformación máxima al aplicar el empuje del vástago, del cilindro contra el sistema se presenta en el acople del agarre, presentando un valor de 0.0477 mm. Puede observarse que al aplicar el empuje los brazos de agarre generan la abertura para acoplar la torre inclinada (elemento a elevar), mientras que al desactivar el empuje del cilindro los brazos se recogen a su posición original, esto se logra a través del sistema articulado Remache-brazos de agarre.

3.6.3 Factor De Seguridad de la Pieza:

El factor de seguridad mínimo de la pieza según los resultados estructurales es de 1.45 lo cual es aceptable para el diseño del prototipo, considerando que la pieza es de bajo espesor según el peso total a levantar (aproximadamente 20 kg)

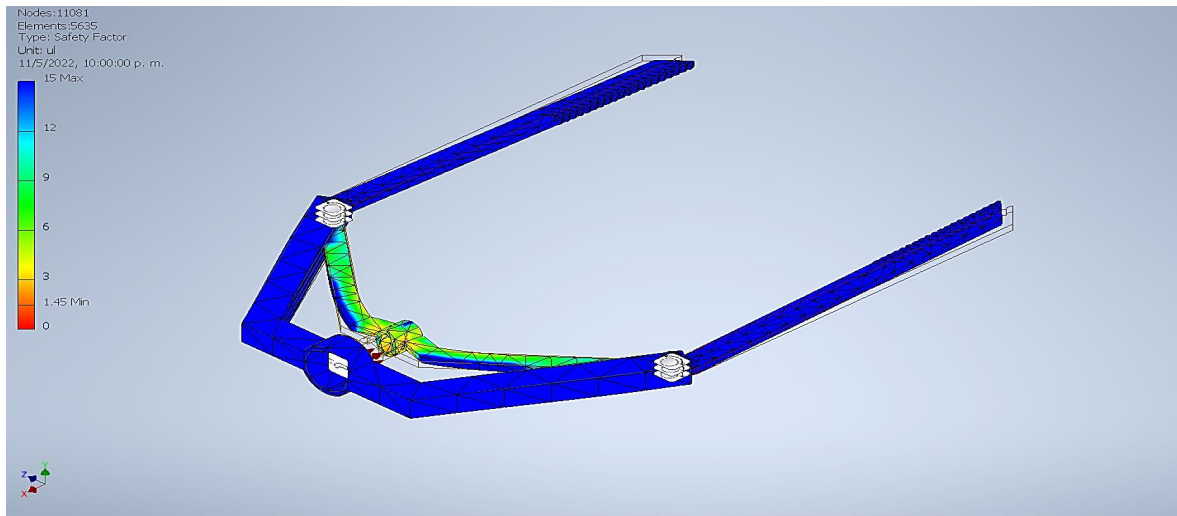


Ilustración 46: factor de seguridad del sistema de agarre

3.7 Características técnicas de los cilindros hidráulicos

Las características de los cilindros hidráulicos se presentan a continuación:

REF.	$\varnothing A$	Z Carrera Stroke Course	E	C	D	G	H	J	O	P	L	M BSP	Vol. (L)	Juego de juntas Seal kit Pochette de joints	Peso (kg) Weight Poids
625/10	25	100	190	14	14,2	40	24	40			9,5	1/4	0,08	J625	1,5
625/20		200	290										0,16		2,3
625/30		300	390										0,24		3
630/2	30	200	300	17	16,2	50	26	42			15	3/8	0,25	J630	3,6
630/3		300	400										0,38		4,7
630/4		400	500										0,5		6
630/5		550	650										0,69		7,6
630/7		700	800										0,88		9,4

Ilustración 47: especificaciones técnicas de los cilindros hidráulico

<https://www.ferjovi.com/es/cilindros-hidraulicos-de-piston-hueco/>

Diseño para cilindros $\varnothing A$ de 25 a 40

Design for cylinders $\varnothing A$ from 25 to 40 / Conception vérins $\varnothing A$ de 25 à 40

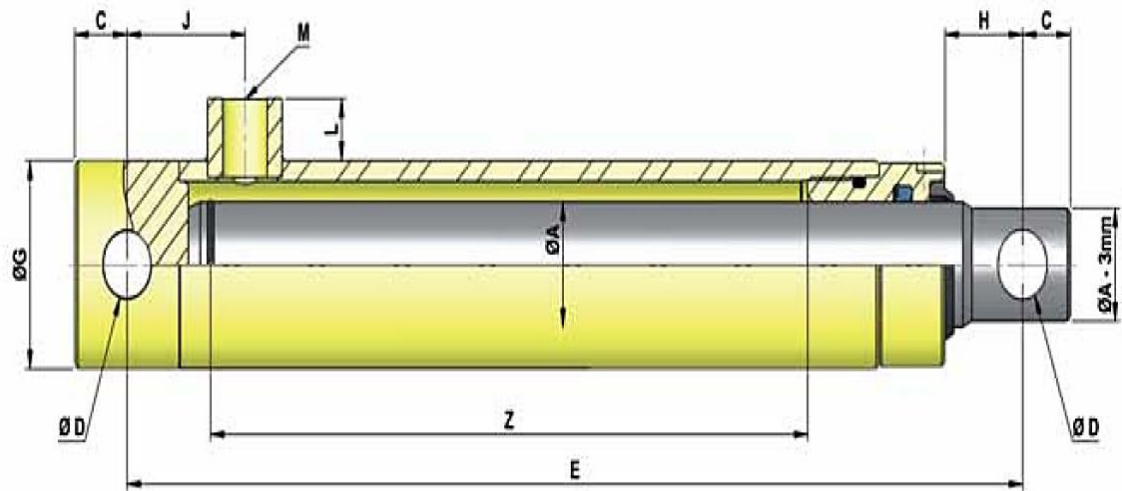


Ilustración 48: diseño del cilindro

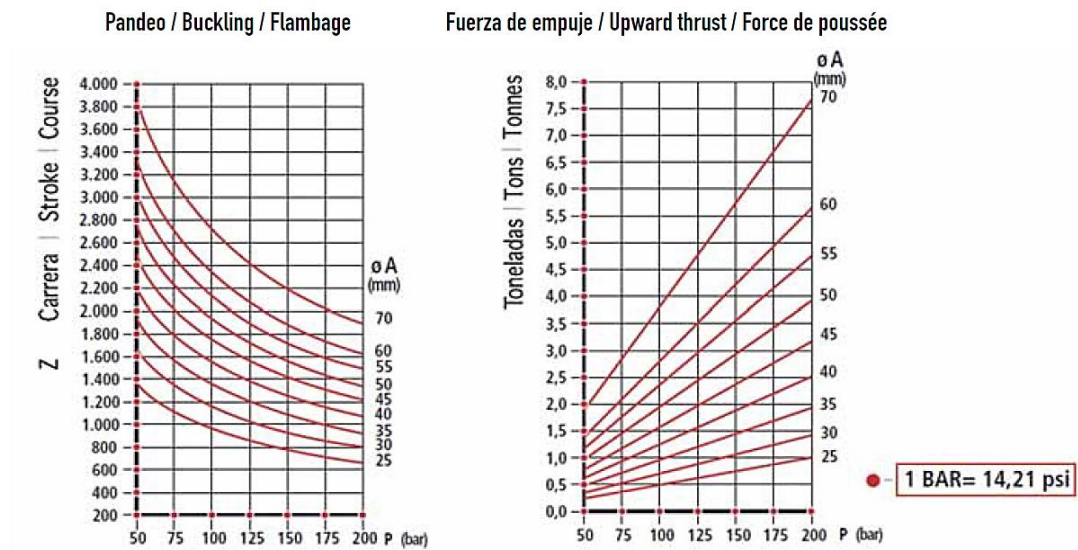


Ilustración 49: graficas de actuación del cilindro

<https://www.cirosa.com/index.php/productos/cilindros-hidraulicos/cilindros-hidraulicos-estandar/cilindros-hidraulicos-estandar-simple-efecto-600/>

4. Simulación estructural prototipo brazo hidráulico levantamiento de torre inclinada

La simulación estructural lineal presentada a continuación, ofrece los resultados del comportamiento mecánico de los materiales usados para la fabricación del prototipo. Para ello se tomó en cuenta los efectos (fuerzas actuantes, tipo de material y condiciones iniciales) que actúan en el elemento, a fin de obtener resultados precisos del comportamiento de estos.

1. Brazo fijo

1.1. Características mecánicas:

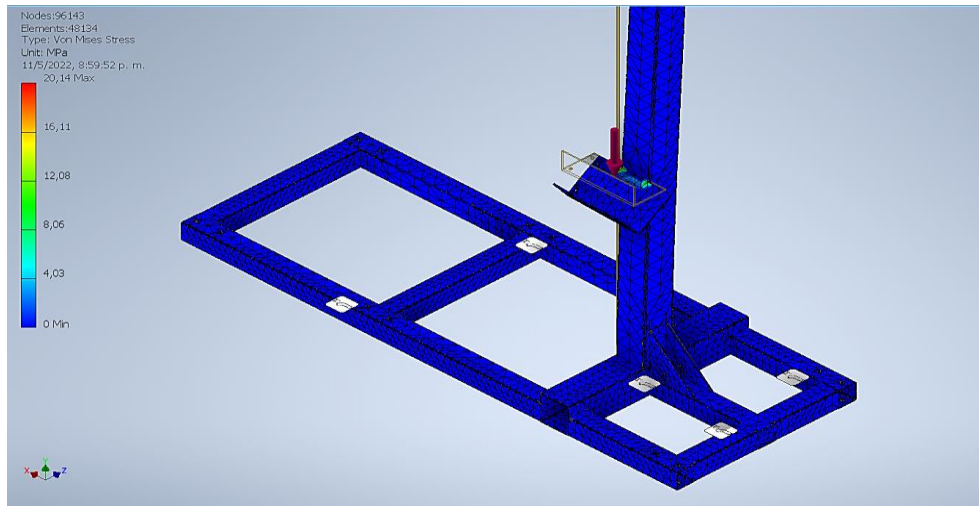
- a) Material: ASTM A-36
- b) Perfil: perfil cuadrado 80x3.2mm
- c) Fuerzas actuantes:

Peso del cilindro hidráulico	92.214 N
Peso del brazo móvil	91.174 N
Peso propio del brazo fijo	47.55 N

- e. Condiciones de empotramiento: base estructural fija

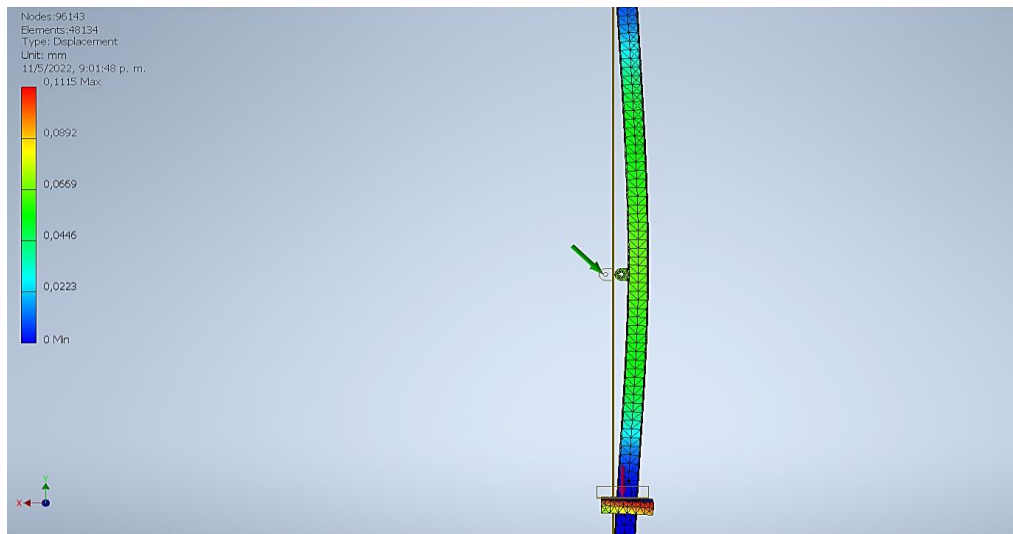
El brazo fijo fue modelado a través del software Autodesk Inventor V.2022 la cual se obtuvieron los siguientes resultados gráficos:

4.4.1 Análisis de Esfuerzos de Von Mises:



Los máximos esfuerzos se concentran en la base de la bomba hidráulica, donde precisamente será adaptada para la colocación del sistema de inyección del fluido. Los esfuerzos máximos presentan un valor de 16.11 MPa.

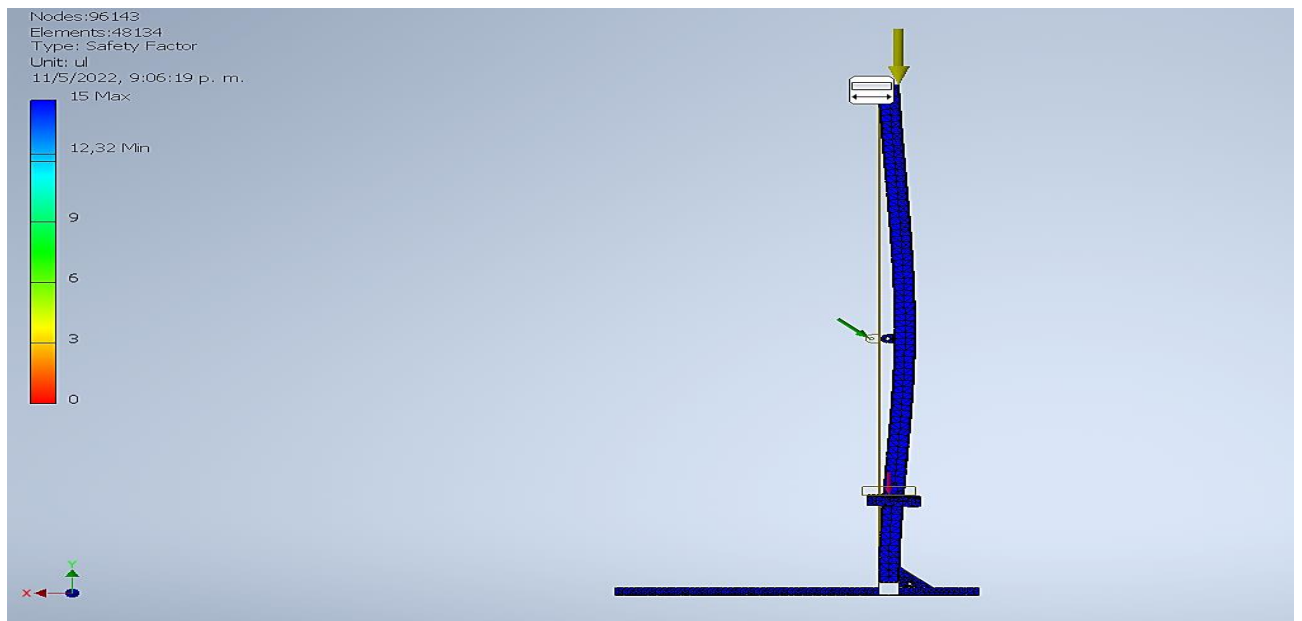
4.4.2 Análisis De Deformaciones:



La deformación máxima se presenta en la aleta para la sustentación de la bomba hidráulica, tomando un valor de 0.0892 mm

4.5 Factor De Seguridad De La Pieza:

El factor de seguridad mínimo de la pieza según los resultados estructurales es de 12.32



2. Brazo móvil

2.1. Características mecánicas:

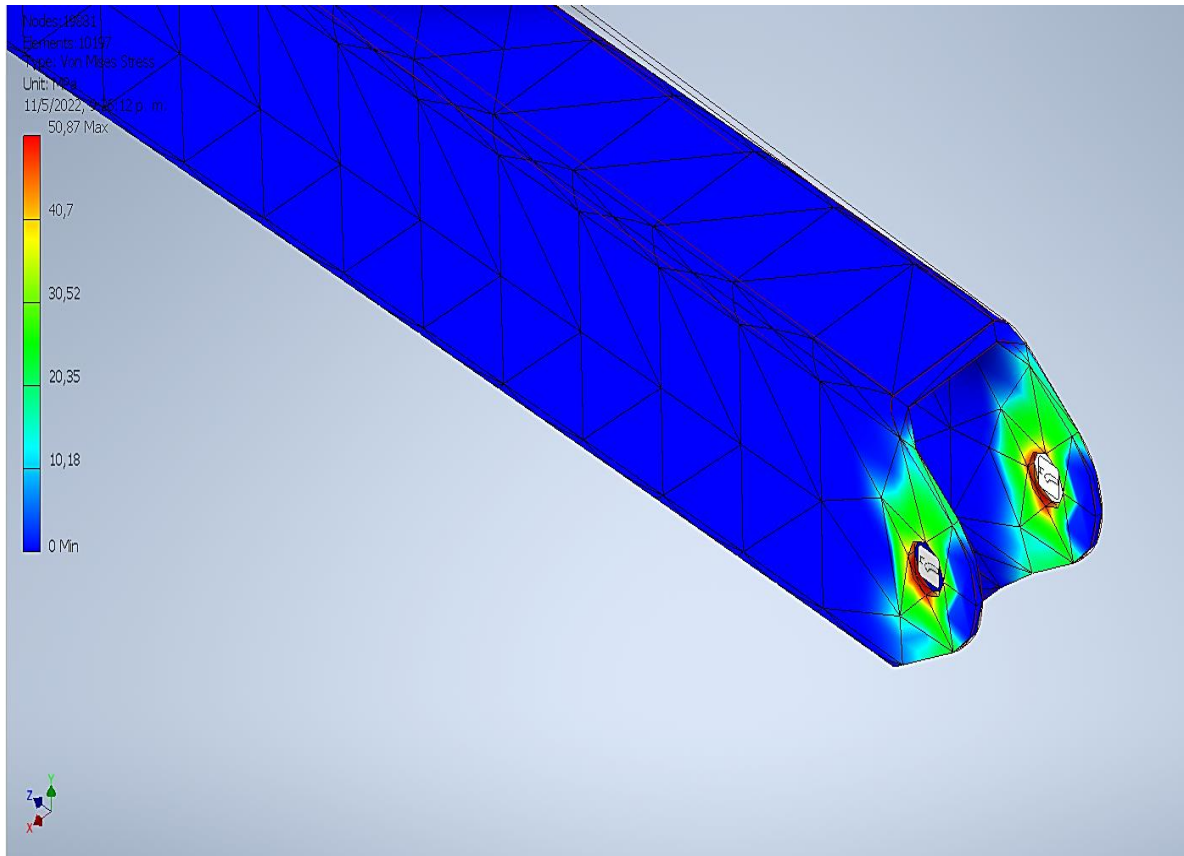
- a) Material: ASTM A-36
- b) Perfil: perfil cuadrado 70x50x2.5mm
- c) Fuerzas actuantes:

Peso del cilindro hidráulico	92.214 N
Peso propio del brazo móvil	91.174 N
Peso del sistema de agarre	5.17 N

Condiciones de empotramiento: base articulada a brazo fijo

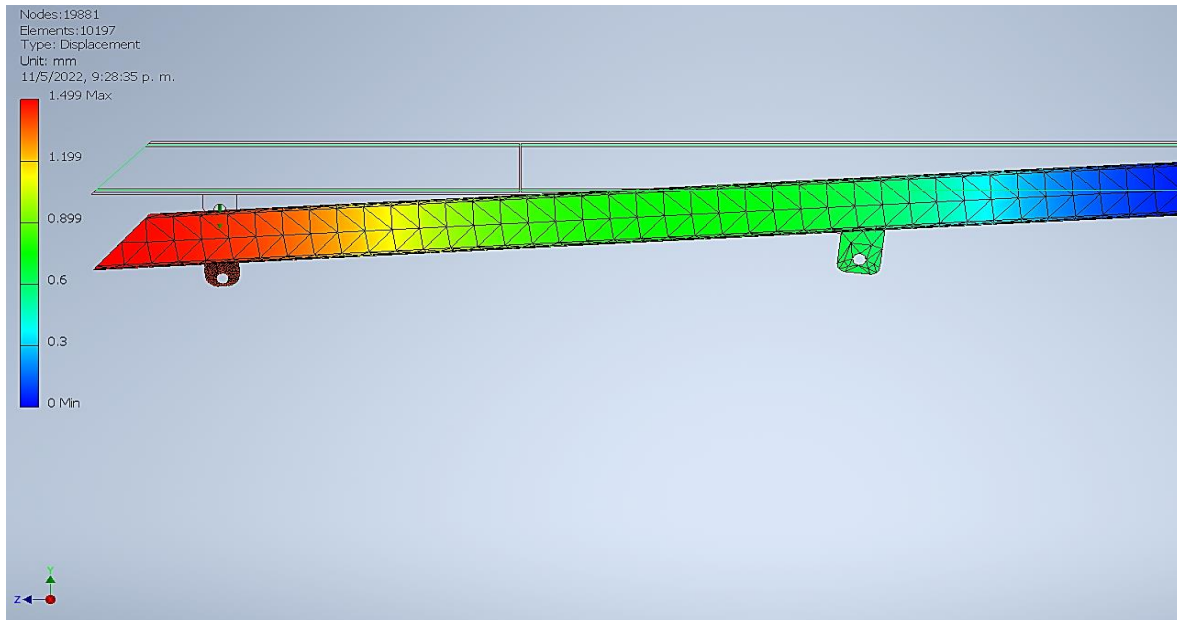
El brazo móvil fue modelado a través del software Autodesk Inventor V.2022 la cual se obtuvieron los siguientes resultados gráficos:

4.5.1 Análisis de Esfuerzos de Von Mises:



Los máximos esfuerzos se concentran, en la articulación del sistema apernado del brazo móvil y el brazo fijo. Los esfuerzos máximos en los barrenos de la articulación, presentan un valor de 40.7 MPa.

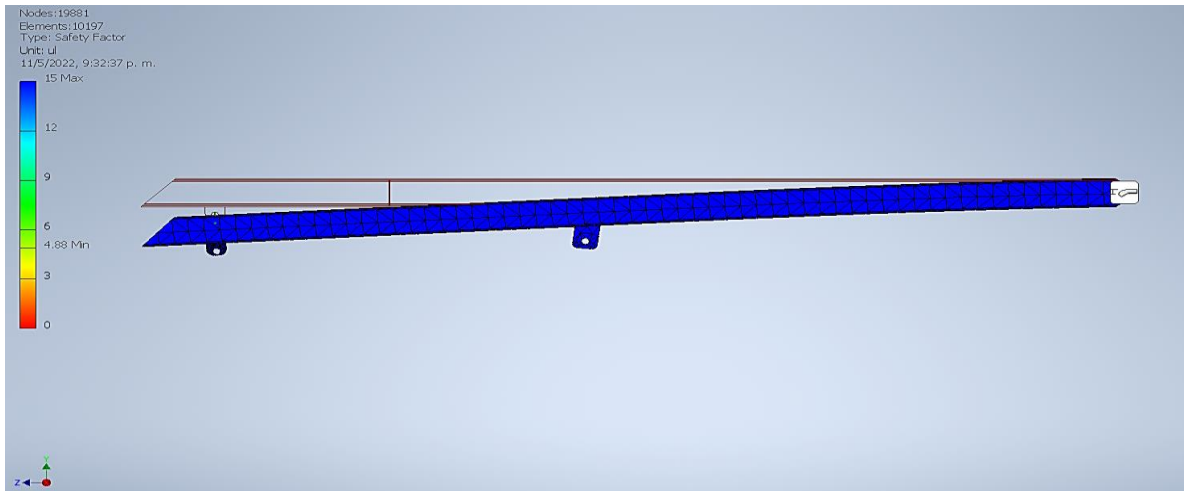
4.5.2 Análisis De Deformaciones:



La deformación máxima se presenta en el voladizo del brazo móvil, debido al peso ejercido por el cilindro, el peso del sistema de agarre y el peso de la pieza a elevar (torre inclinada), el cual toma una deformación máxima de 1.499 mm. Dicha deformación es aceptable considerando que la flecha máxima para elementos estructuras es de $350/L$ siendo “L” la longitud total de la pieza.

4.5.3 Factor De Seguridad De La Pieza:

El factor de seguridad mínimo de la pieza según los resultados estructurales es de 4.88 lo cual es aceptable para el diseño del prototipo.



4.6 Sistema de Agarre

4.6.1 Características mecánicas:

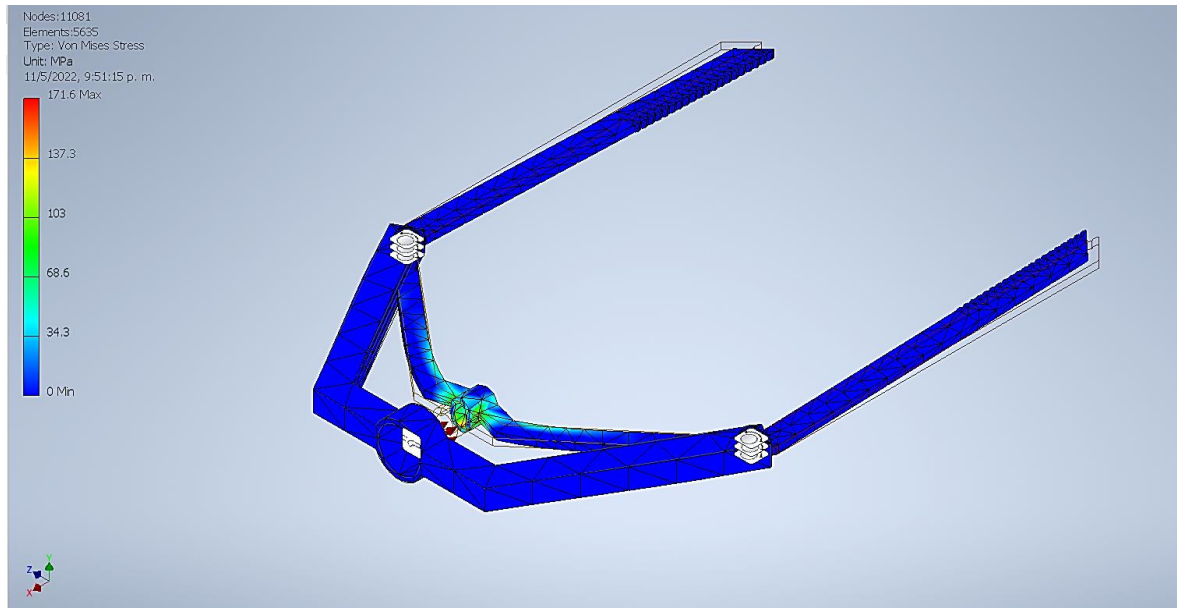
- f. Material: ASTM A-36
- g. Perfil: ver adjunto en la planimetría del prototipo
- h. Fuerzas actuantes:

Empuje del cilindro	92.214 N
Peso propio del brazo móvil	91.174 N
Peso del sistema de agarre	5.17 N

- i. Condiciones de empotramiento: base articulada a brazo fijo

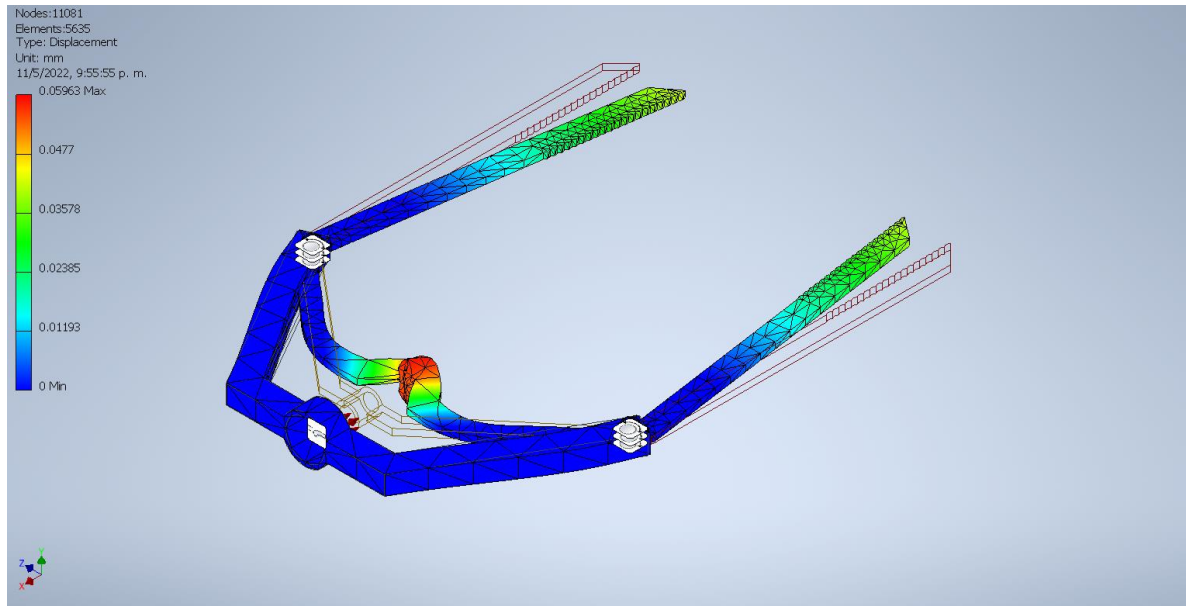
El sistema de agarre fue modelado a través del software Autodesk Inventor V.2022, a partir del cual se obtuvieron los siguientes resultados gráficos:

4.6.2 Análisis de Esfuerzos de Von Mises:



Los máximos esfuerzos se concentran en el empuje del vástago del cilindro hidráulico, a la pieza que permite la articulación del sistema de agarre. Para generar el movimiento de apertura y cierre de los brazos de agarre, se utilizó un sistema de remaches que permiten la rotación en el eje. El máximo esfuerzo de empuje es de 137.3 MPa, lo cual es aceptable comparado con el esfuerzo de tensión de la pieza de empuje del sistema.

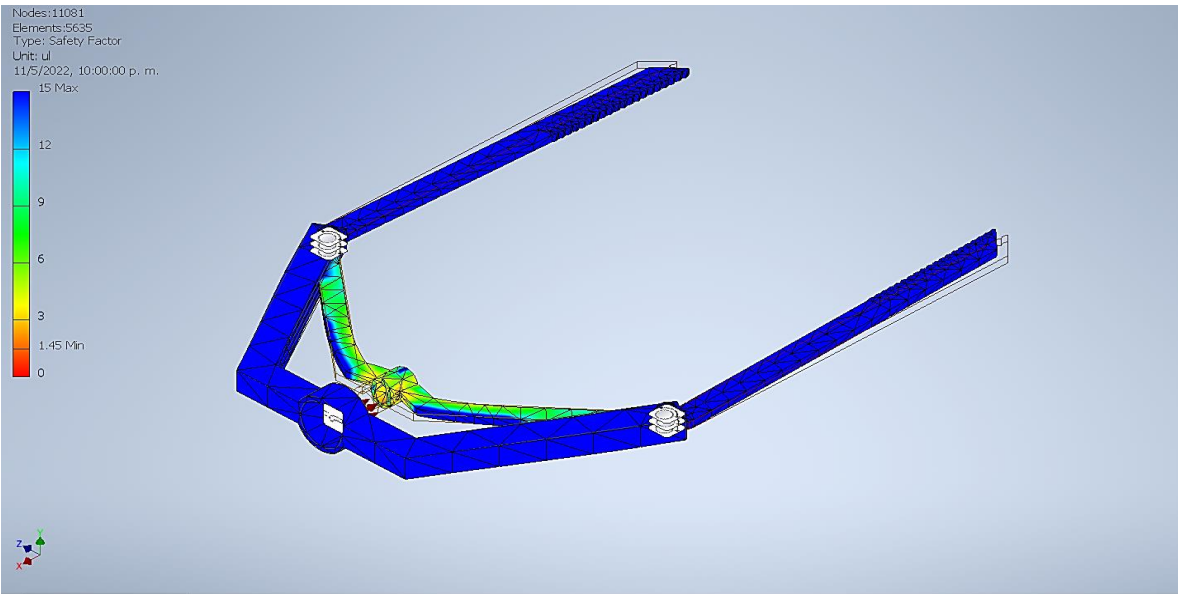
4.6.3 Análisis de Deformaciones:



La deformación máxima al aplicar el empuje del vástago del cilindro, contra el sistema se presenta en el acople del agarre, el cual presenta un valor de 0.0477 mm. Puede observarse que al aplicar el empuje los brazos, de agarre generan la abertura para acoplar la torre inclinada (elemento a elevar), mientras que al desactivar el empuje del cilindro los brazos se recogen a su posición original, esto se logra a través del sistema articulado Remache-brazos de agarre.

4.6.4 Factor de Seguridad de la Pieza:

El factor de seguridad mínimo de la pieza, según los resultados estructurales es de 1.45, lo cual es aceptable para el diseño del prototipo, considerando que la pieza es de bajo espesor según el peso total a levantar (aproximadamente 20 kg)

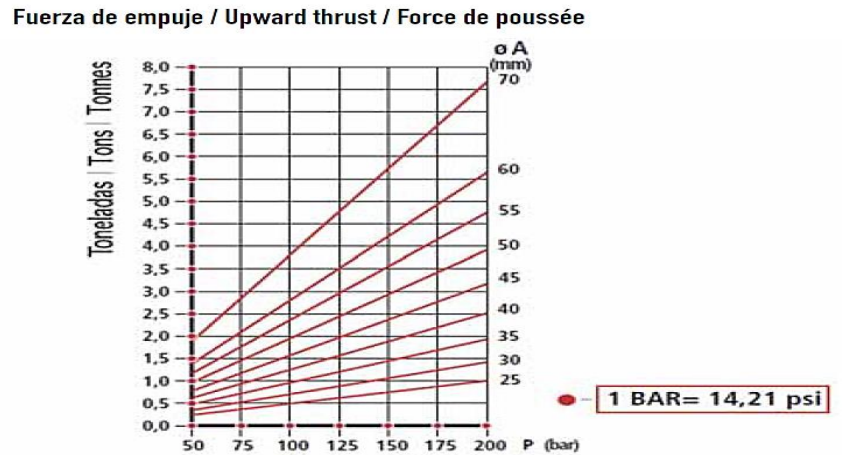
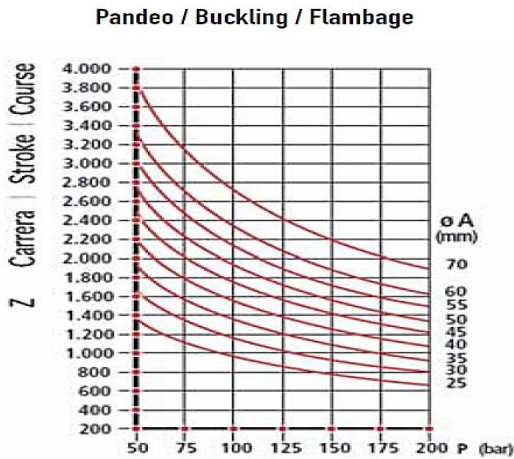


5. Características técnicas de los cilindros hidráulicos

Las características de los cilindros hidráulicos se presentan a continuación:

REF.	Ø A	Z Carrera Stroke Course	E	C	D	G	H	J	O	P	L	M BSP	Vol. (L)	Juego de juntas Seal kit Pochette de joints	Peso (kg) Weight Poids
625/10	25	100	190	14	14,2	40	24	40			9,5	1/4	0,08	J625	1,5
625/20		200	290										0,16		2,3
625/30		300	390										0,24		3
630/2	30	200	300	17	16,2	50	26	42			15	3/8	0,25	J630	3,6
630/3		300	400										0,38		4,7
630/4		400	500										0,5		6
630/5		550	650										0,69		7,6
630/7		700	800										0,88		9,4

Ilustración 50 Características de los cilindros hidráulicos
<https://www.ferjovi.com/es/cilindros-hidraulicos-de-piston-hueco/>



Diseño para cilindros ØA de 25 a 40

Design for cylinders ØA from 25 to 40 / Conception vérins ØA de 25 à 40

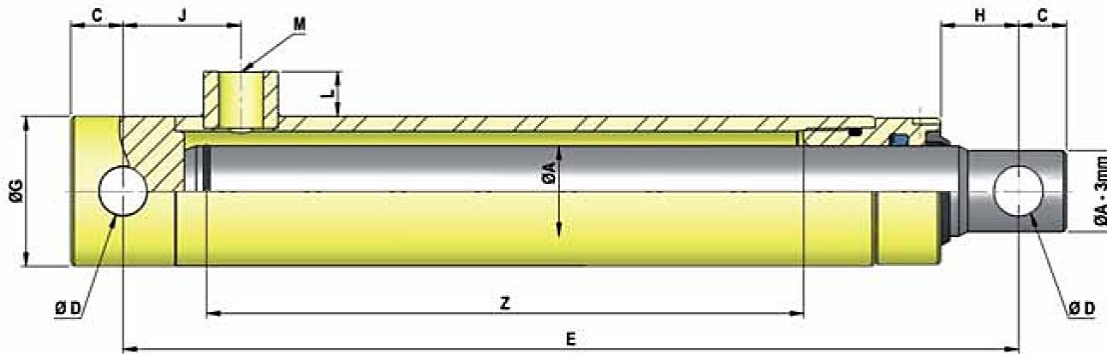


Ilustración 51 Fuerzas actuantes.

<https://www.cicrosa.com/index.php/productos/cilindros-hidraulicos/cilindros-hidraulicos-estandar/cilindros-hidraulicos-estandar-simple-efecto-600/>

6. Metodología

Siendo esta propuesta una idea de ingeniería que se basa en investigación aplicada, tiene un enfoque mixto. En cuanto al método de investigación, predomina el tipo aplicado, debido al diseño de una herramienta neumática de cuñas, ya que logra impacto positivo por medio de los conocimientos de ingeniería y la experiencia en el proceso de mantenimiento.

Este desarrollo se logró, gracias a las siguientes etapas:

Etapas #1 Planear y buscar información

Con la búsqueda de la información se encontró lo que se necesita y se debe saber para el diseño de la herramienta. Las cuales fueron fuentes primarias (campo experiencia de operarios), siendo referencia la Mina Carbones Del Cerrejón Limited.

La recolección de datos y esquemas de diseño nos permitió ejecutar la siguiente etapa.

Etapas #2 Hacer.

Después de que se planeó el diseño de conexiones neumáticas con acople rápido para llevar una presión de aire adecuada al motor neumático-hidráulico implementado en la herramienta. Dando por siguiente a la tercera etapa que es parte crucial de esta etapa.

Etapa #3 Esquematización del Sistema de Control.

Se presenta la esquematización de un sistema de válvulas de control neumático-hidráulico, que permiten llevar la presión para expandir y comprimir los cilindros utilizados en el diseño.

Este diseño está sujeto a la información, a los saberes de ingeniería y de la asesoría de expertos en instalación o fabricación de herramientas neumáticas. Dando paso a la etapa de proyección.

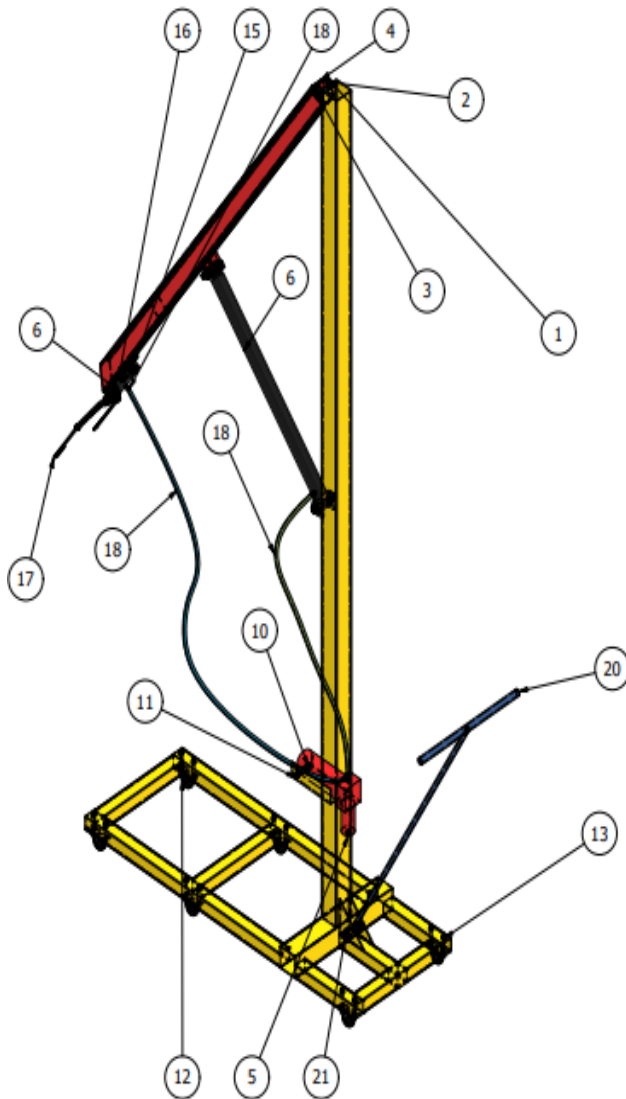
Etapa #4 Proyección de la Simulación

Al tener el diseño establecido se ejecutó el funcionamiento de la herramienta, por medio de la simulación de un software de proyección 3D, el cual permitió manifestar nuestra idea en un gráfico surrealista, simulando el funcionamiento y la forma en como la herramienta operaria, presentando movimientos, corregir algunas falencias e incluso destrezas al ser fabricada y puesta en campo para que los diferentes técnicos de los talleres permanentes puedan implementarla en la instalación de las cuñas.

Después de cada etapa, de la ejecución de la herramienta y la simulación de esta, se dieron los siguientes resultados.

7. Esquematización de las piezas

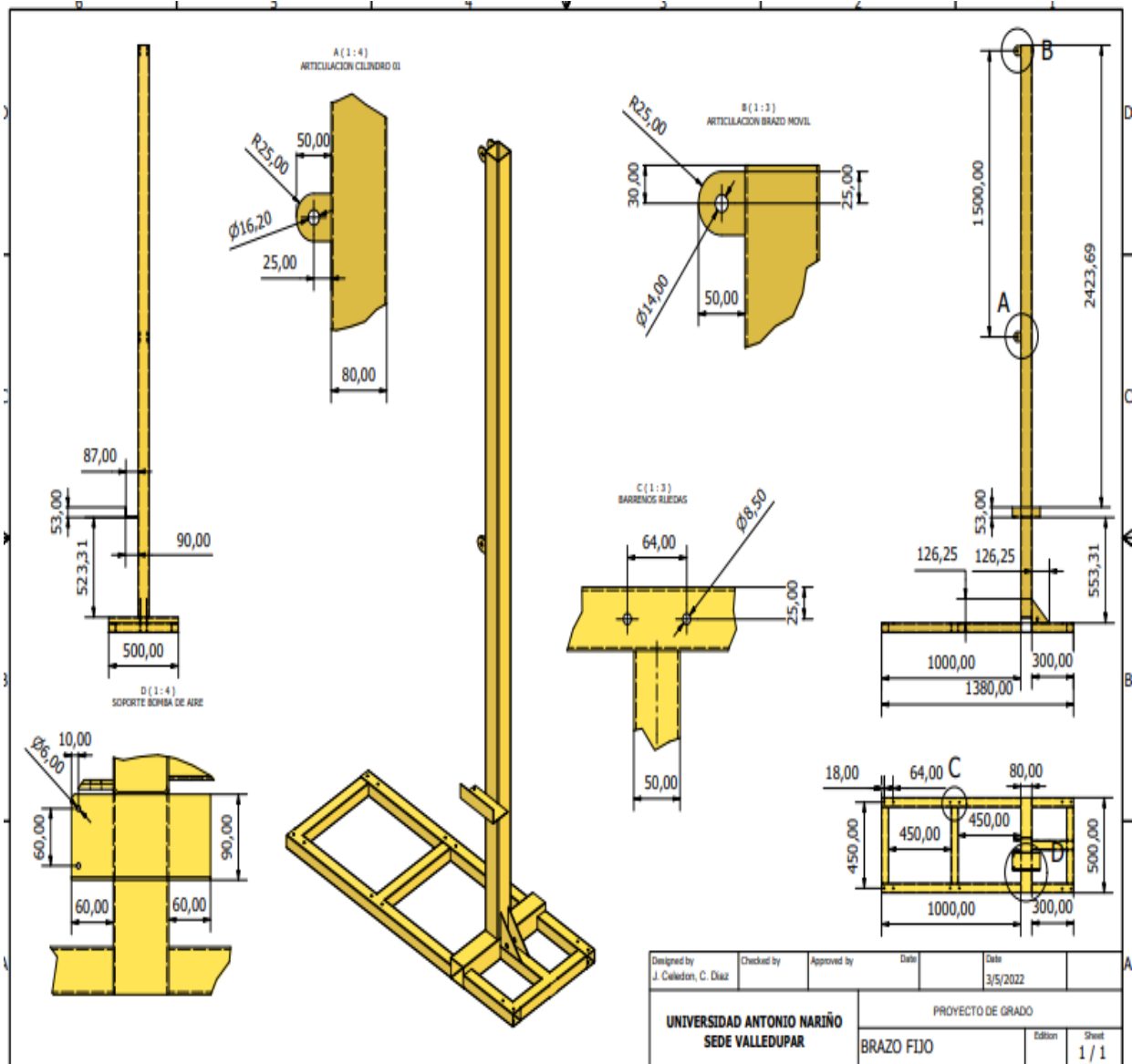
7.4 Ensamble General



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	BRAZO FIJO	ASTM A-36
2	1	DIN 6923 - M12 x 1,25	Hex Nut
3	1	TORNILLO M12 x 1.75x80	CABEZA HEXAGONAL
4	1	BRAZO MOVIL	ASTM A-369
5	1	AIR HIDRAULIC 5000 PSI	BOMBA DE AIRE 5000 PSI
6	2	CILINDRO HIDRAULICO	CARRERA 700mm y 100mm
7	1	TORNILLO M16 x 2x90	CABEZA HEXAGONAL
8	1	M16 x 2x80	CABEZA HEXAGONAL
9	2	TUERCA M16	TUERCA HEXAGONAL
10	2	TORNILLO M5 x 0.8x12	CABEZA HEXAGONAL
11	2	TUERCA M5	TUERCA HEXAGONAL
12	6	RUEDAS DE ARRASTRE	POLIURETANO 50-100mm de diametro
13	12	TORNILLO M8x1.25*65	TORNILLO HEXAGONAL
14	2	TUERCA M8	TUERCA HEXAGONAL
15	1	TUERCA M14	TUERCA HEXAGONAL
16	1	TORNILLO M14 x 2x75	CABEZA HEXAGONAL
17	1	ENSAMBLE AGARRE	VER ADJUNTO
18	2	MANG. HIDRAULICA 01	MANGUERA HIDRAULICA
20	1	PALANCA	ASTM A-36
21	1	TORNILLO M16 x 2x75	CABEZA HEXAGONAL
22	1	TUERCA M16	TUERCA HEXAGONAL

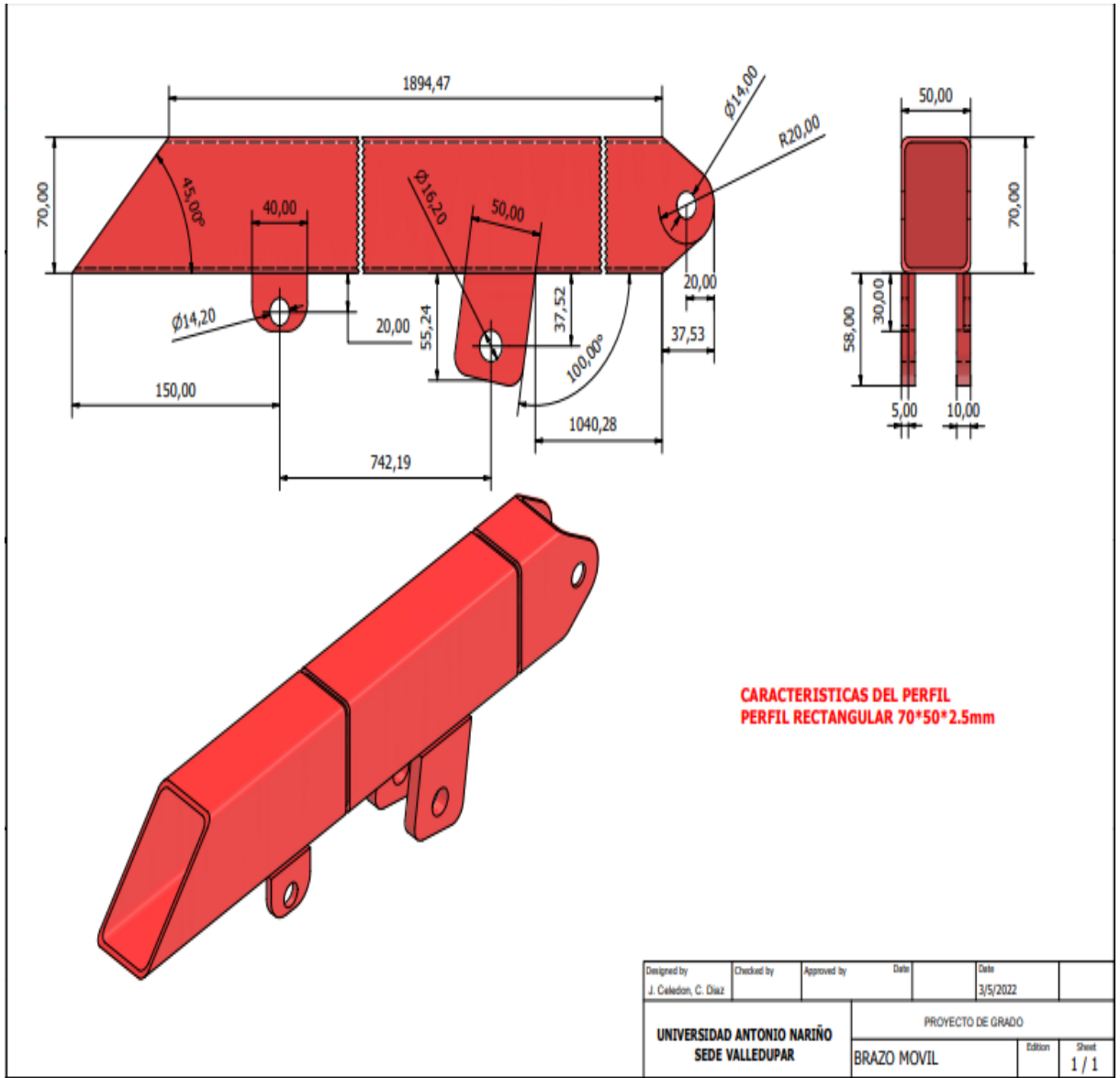
Designed by J. Celadon, C. Diaz	Checked by	Approved by	Date 3/5/2022
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE VALLEDUPAR		PROYECTO DE GRADO	
		ENSAMBLE GENERAL	Edition Sheet 1 / 1

7.5 Brazo fijo

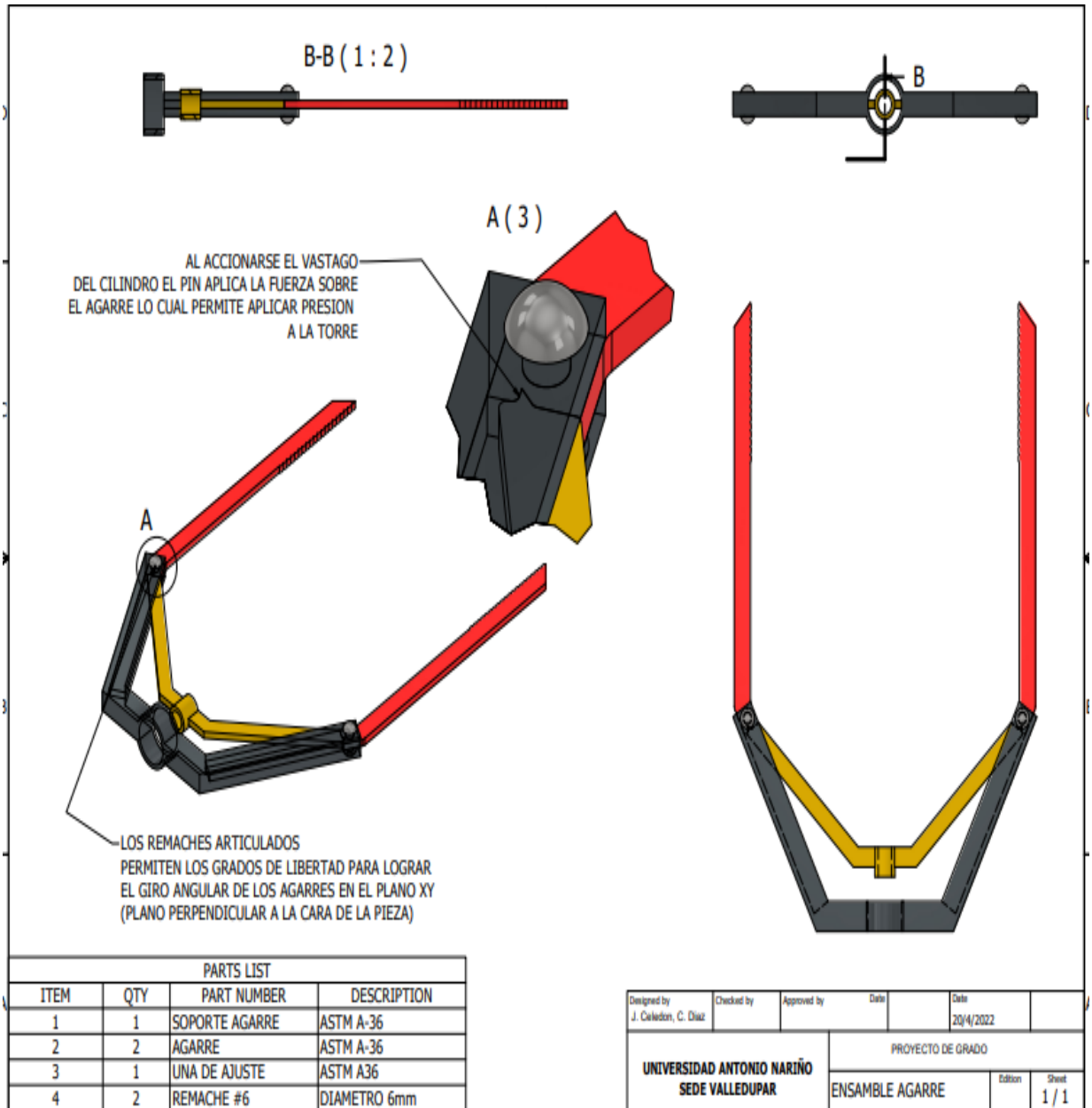


Designed by	Checked by	Approved by	Date	Date
J. Caledon, C. Diaz				3/5/2022
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO		PROYECTO DE GRADO		
SEDE VALLEDUPAR		BRAZO FIJO	Edition	Sheet
				1 / 1

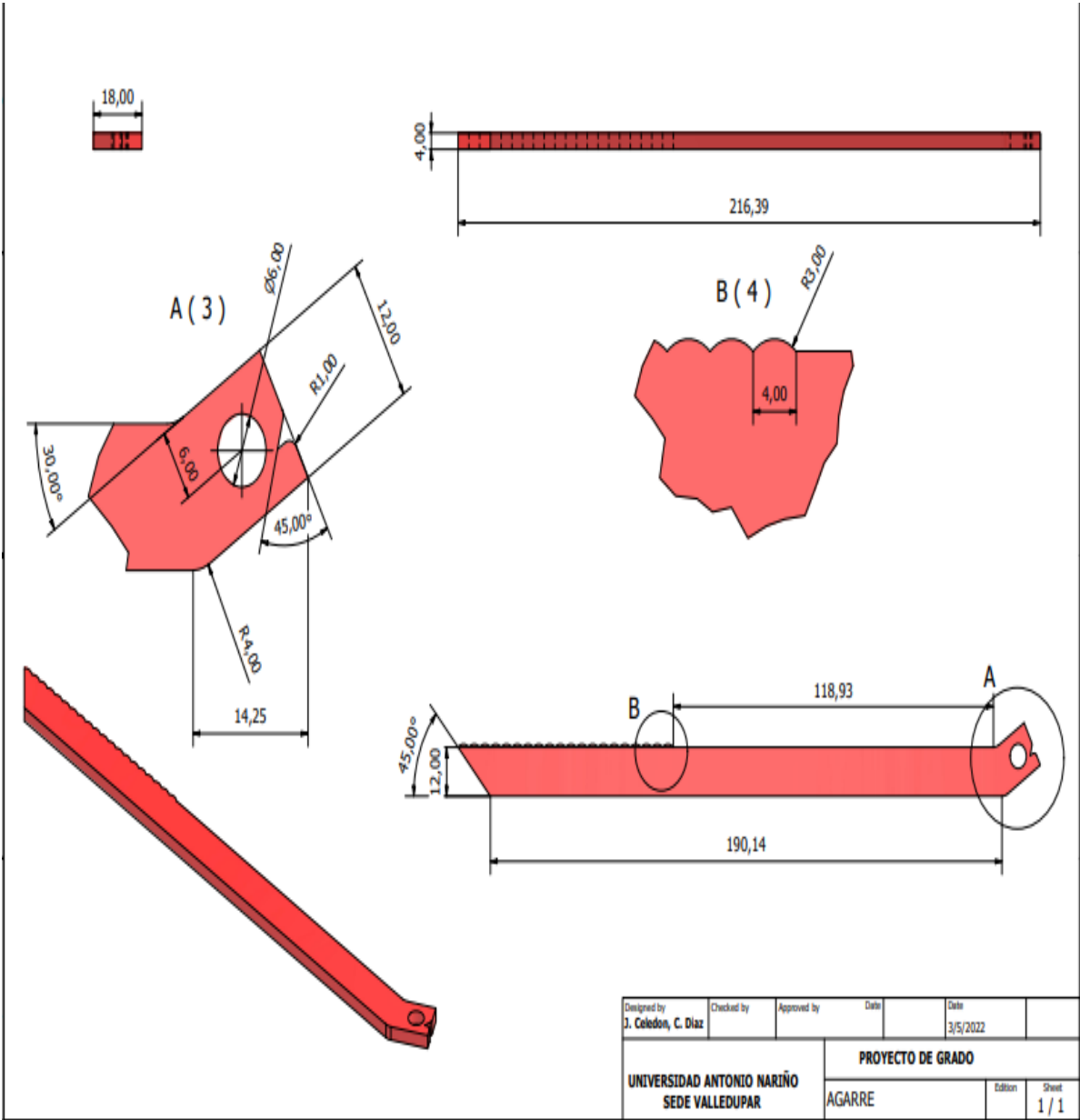
7.6 Brazo Móvil



8.4. Ensamble – Agarre

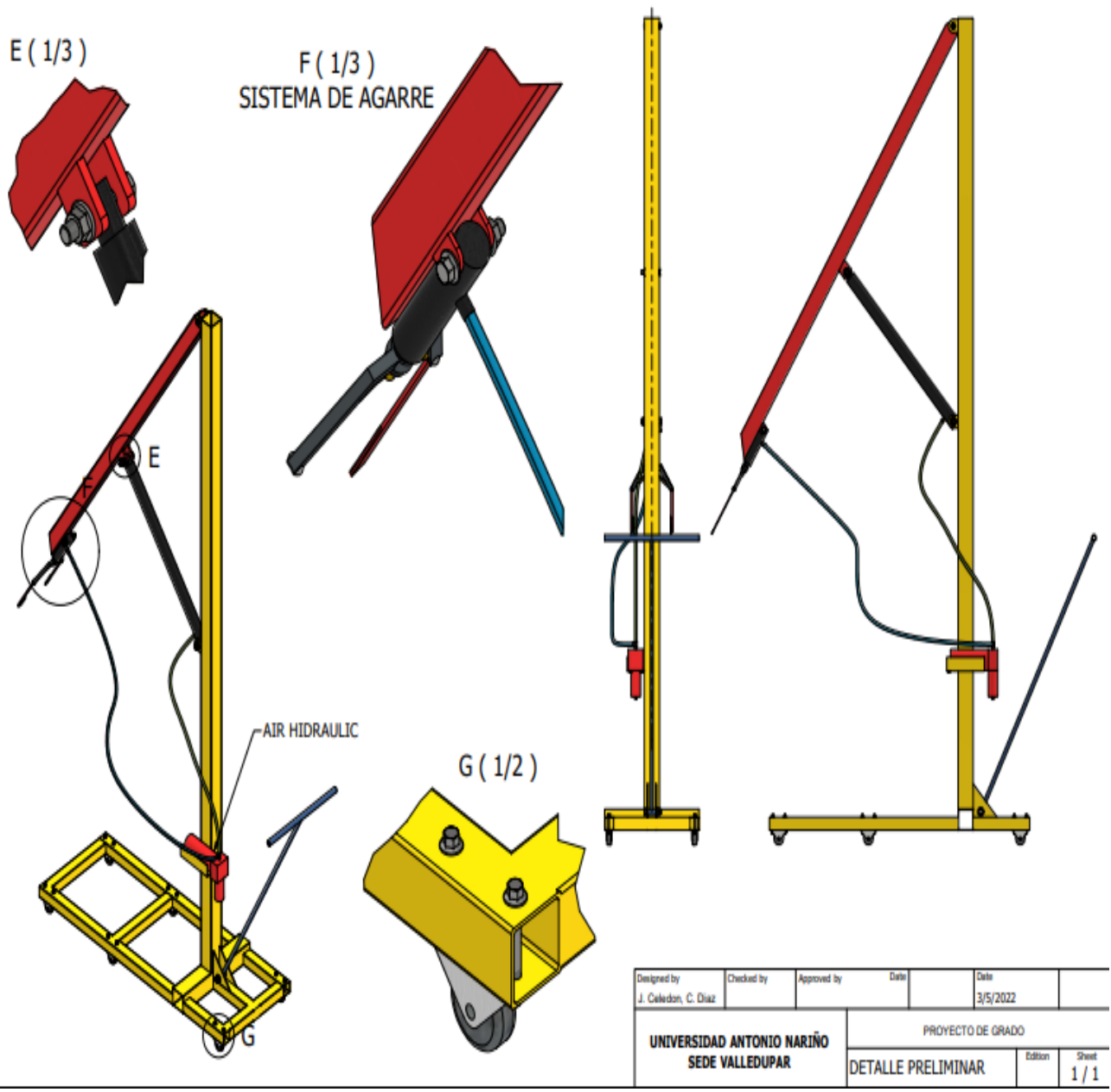


8.5. Agarre



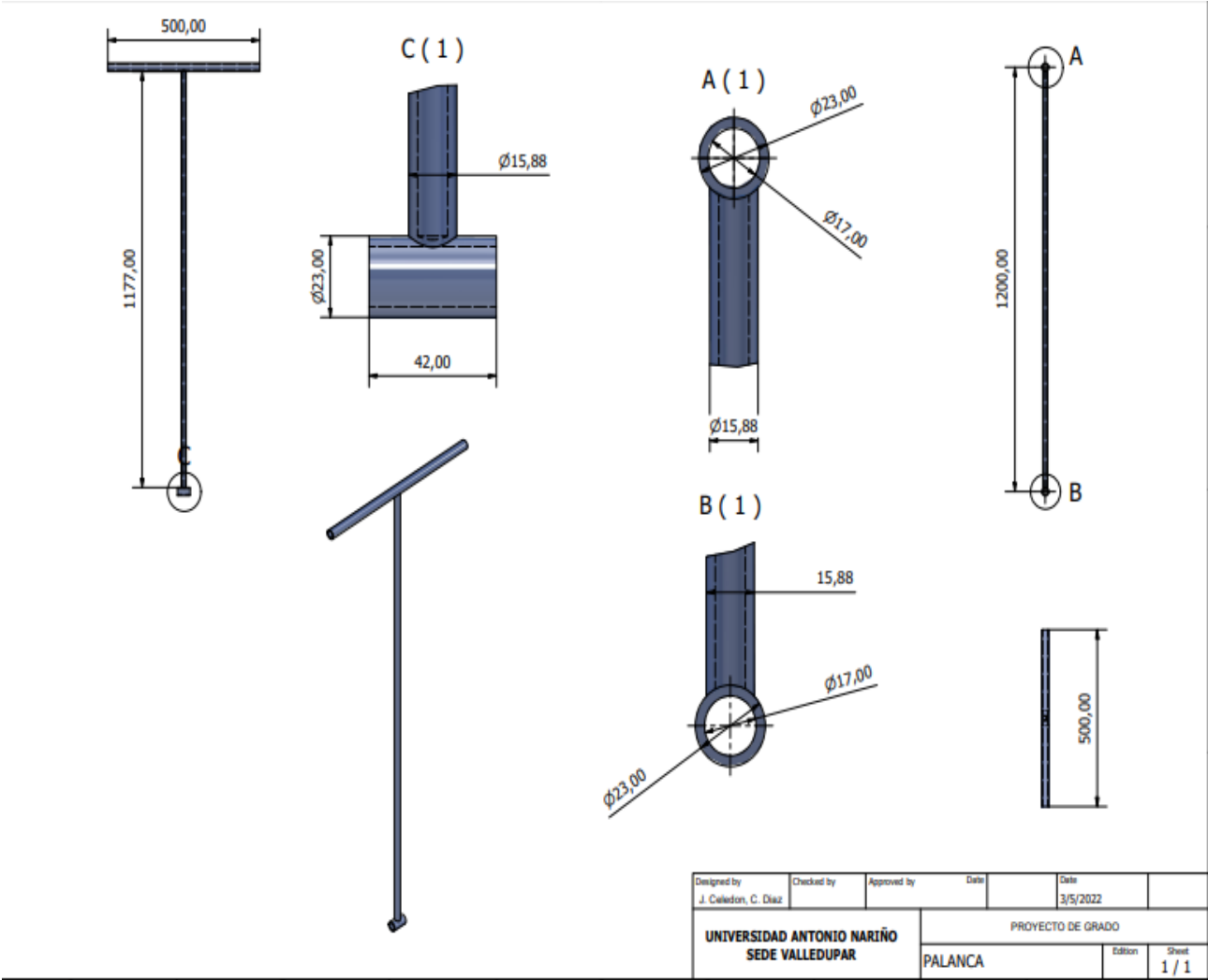
Designed by J. Coledon, C. Diaz	Checked by	Approved by	Date	Date	
				3/5/2022	
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE VALLEDUPAR			PROYECTO DE GRADO		
			AGARRE	Edition	Sheet
					1 / 1

8.6. Detalles Preliminares

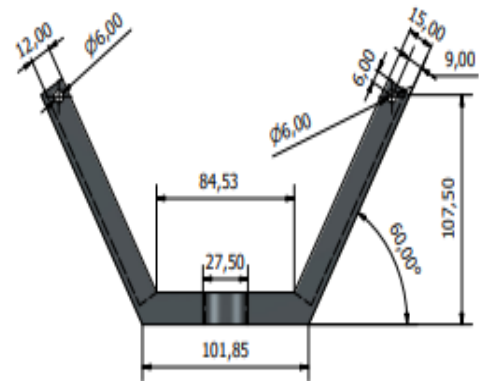
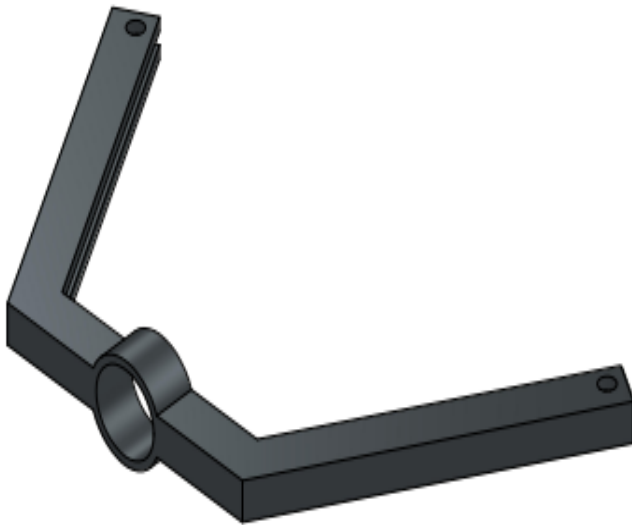
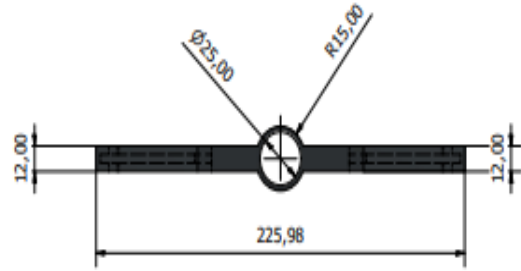
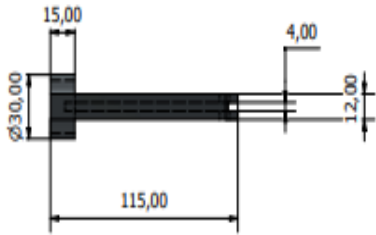


Designed by J. Caledon, C. Diaz	Checked by	Approved by	Date	Date 3/5/2022
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE VALLEDUPAR		PROYECTO DE GRADO		
		DETALLE PRELIMINAR	Edition	Sheet 1 / 1

8.7.Palanca

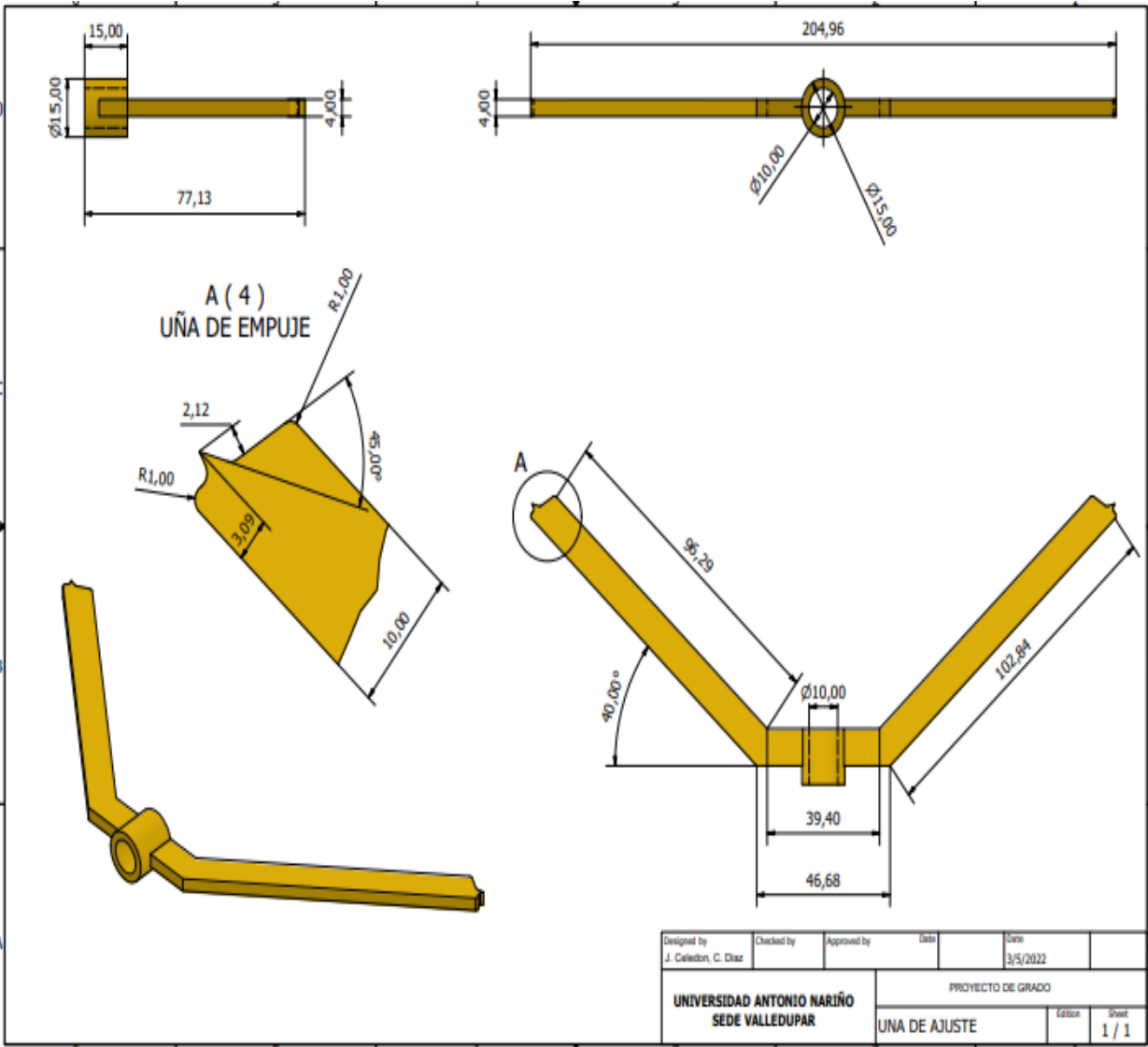


8.8.Soporte Agarre

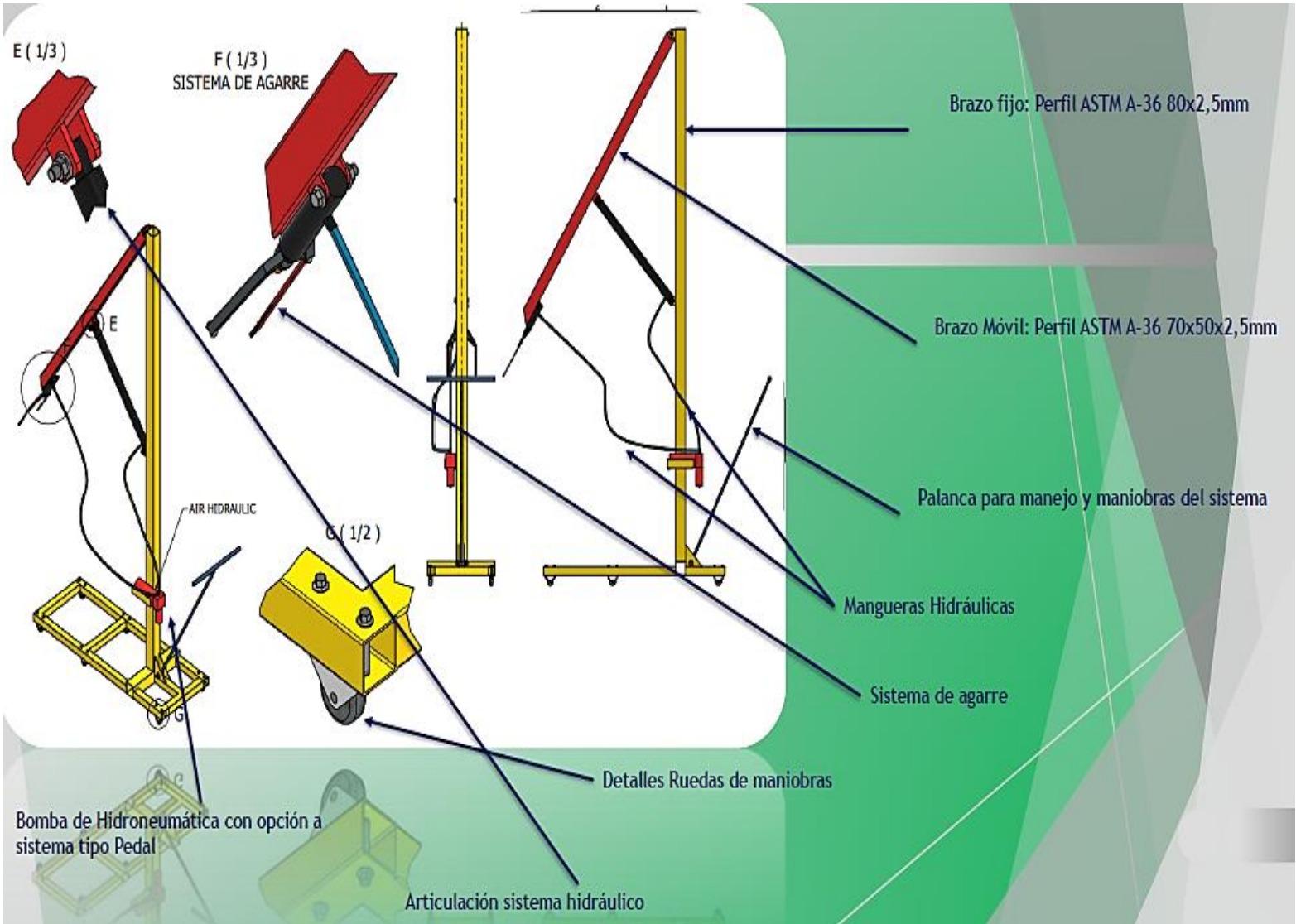


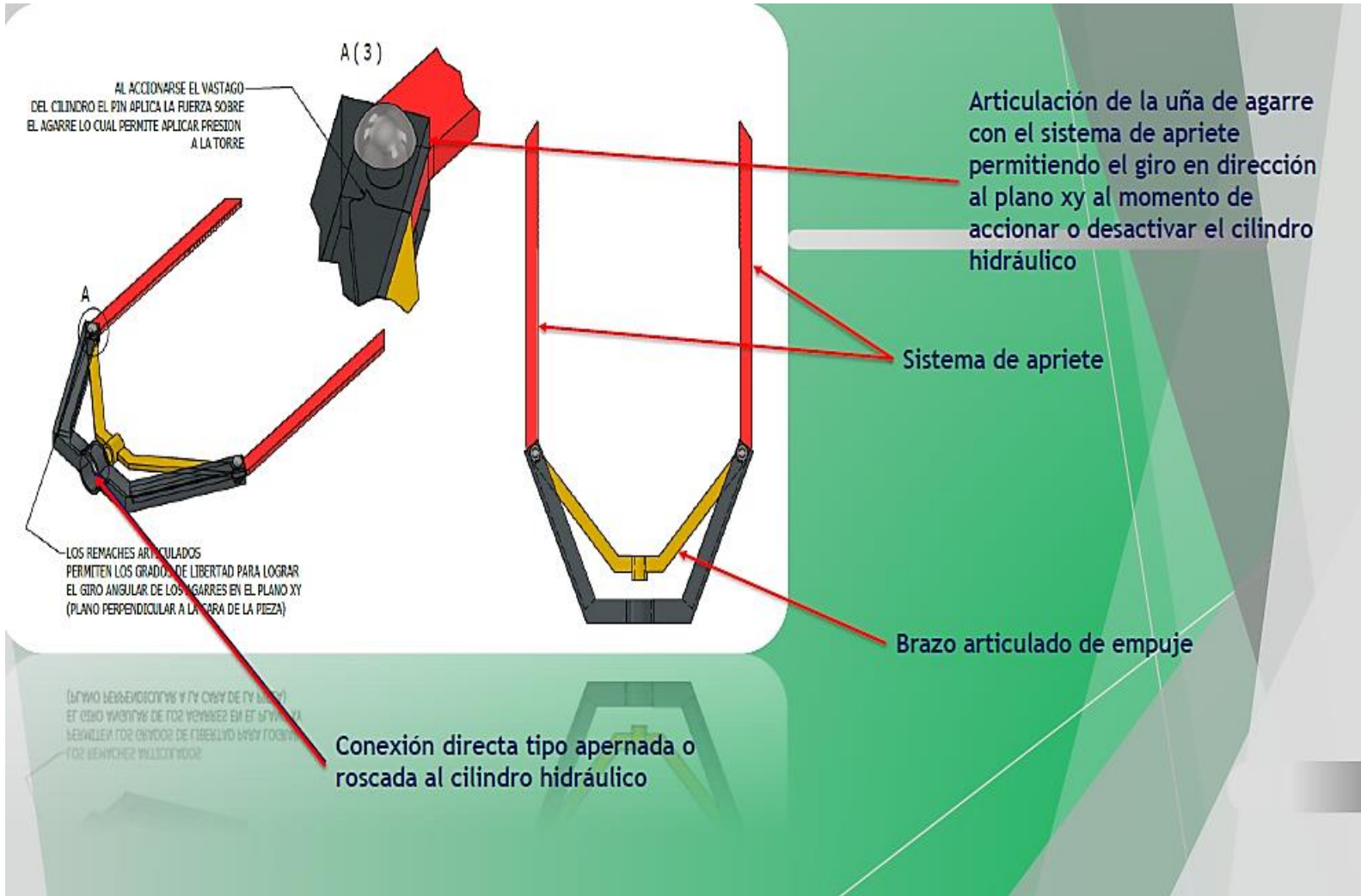
Designed by J. Celedon, C. Diaz	Checked by	Approved by	Date	Date 3/5/2022	
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE VALLEDUPAR			PROYECTO DE GRADO		
SOPORTE AGARRE			Edition	Sheet 1 / 1	

8.9. Cuña de Ajuste



Brazo Hidráulico Para Accionamiento De Inclinación.





8.10. Simulación sistema hidráulico

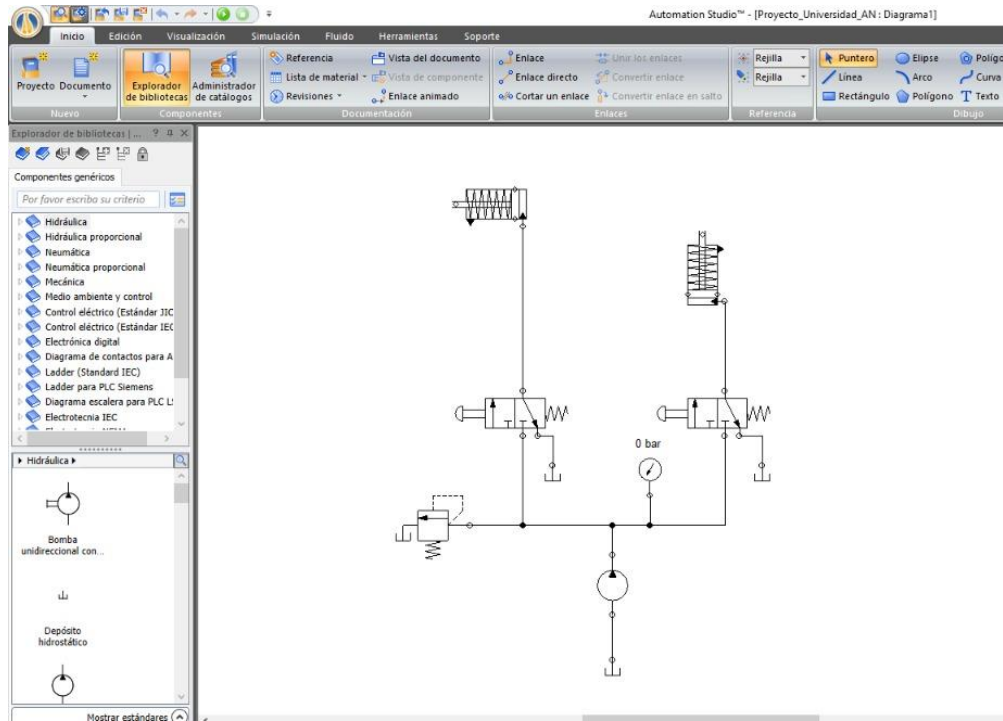
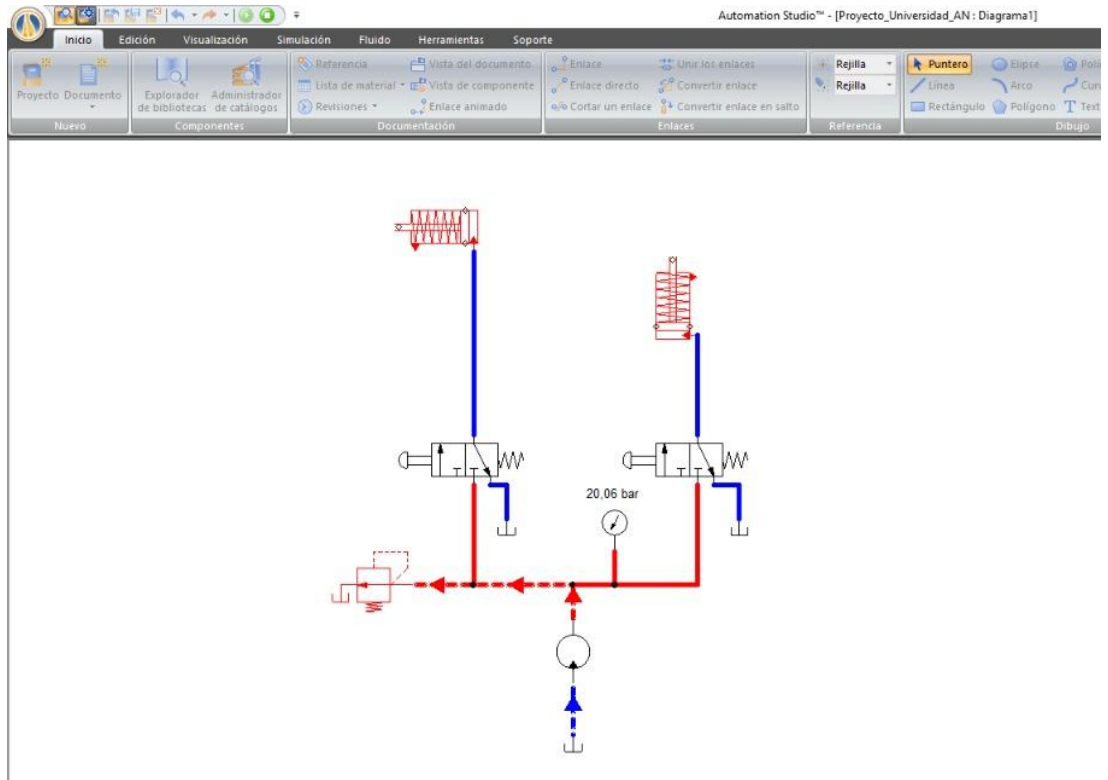


Ilustración 52 Diseño de circuito hidráulico



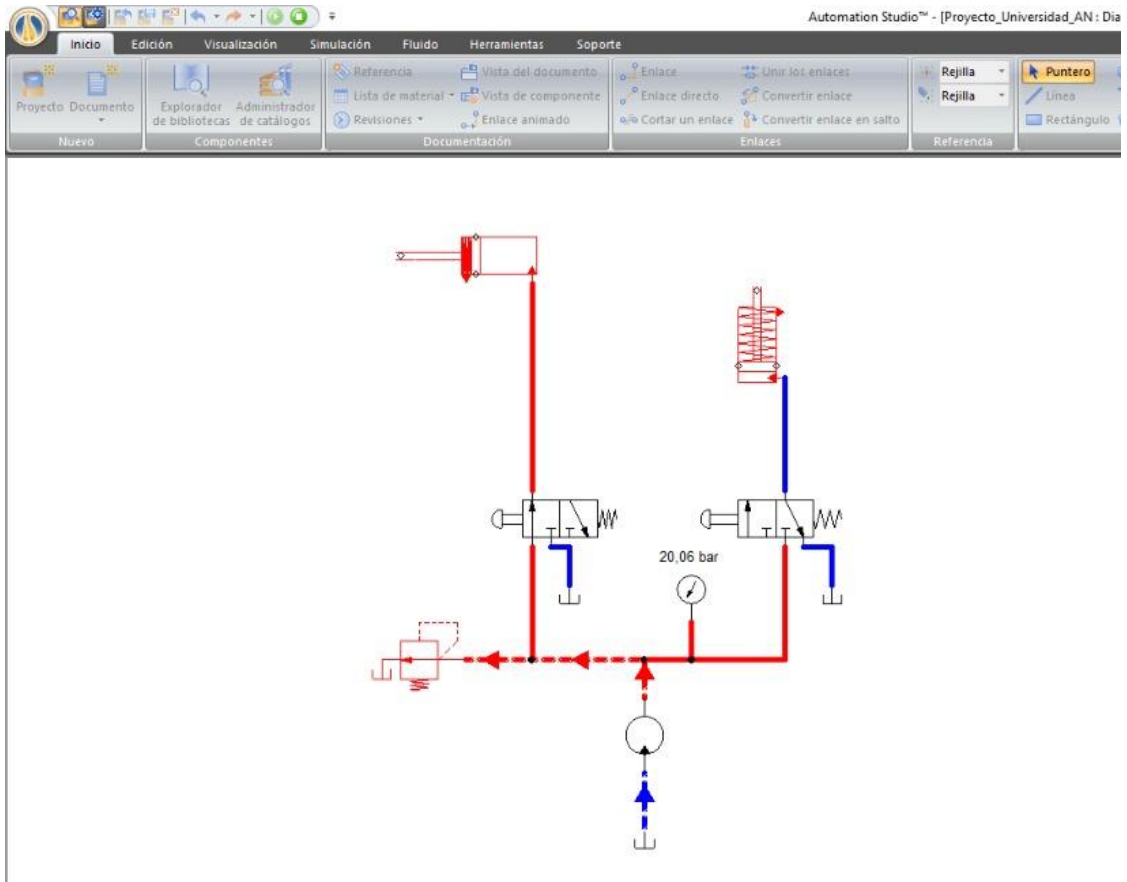
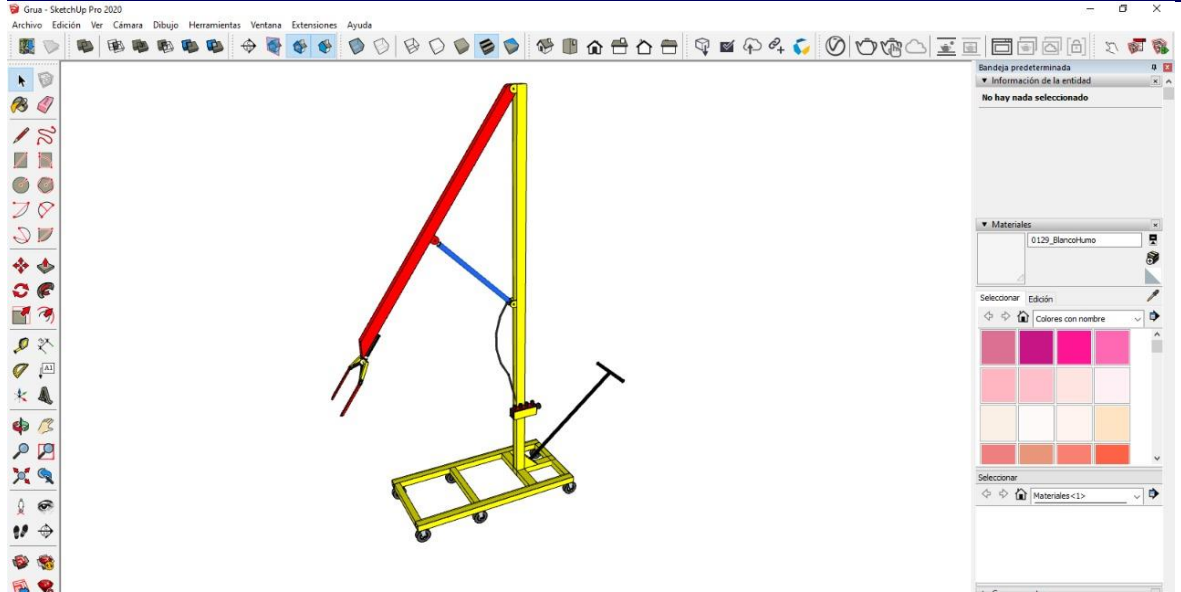
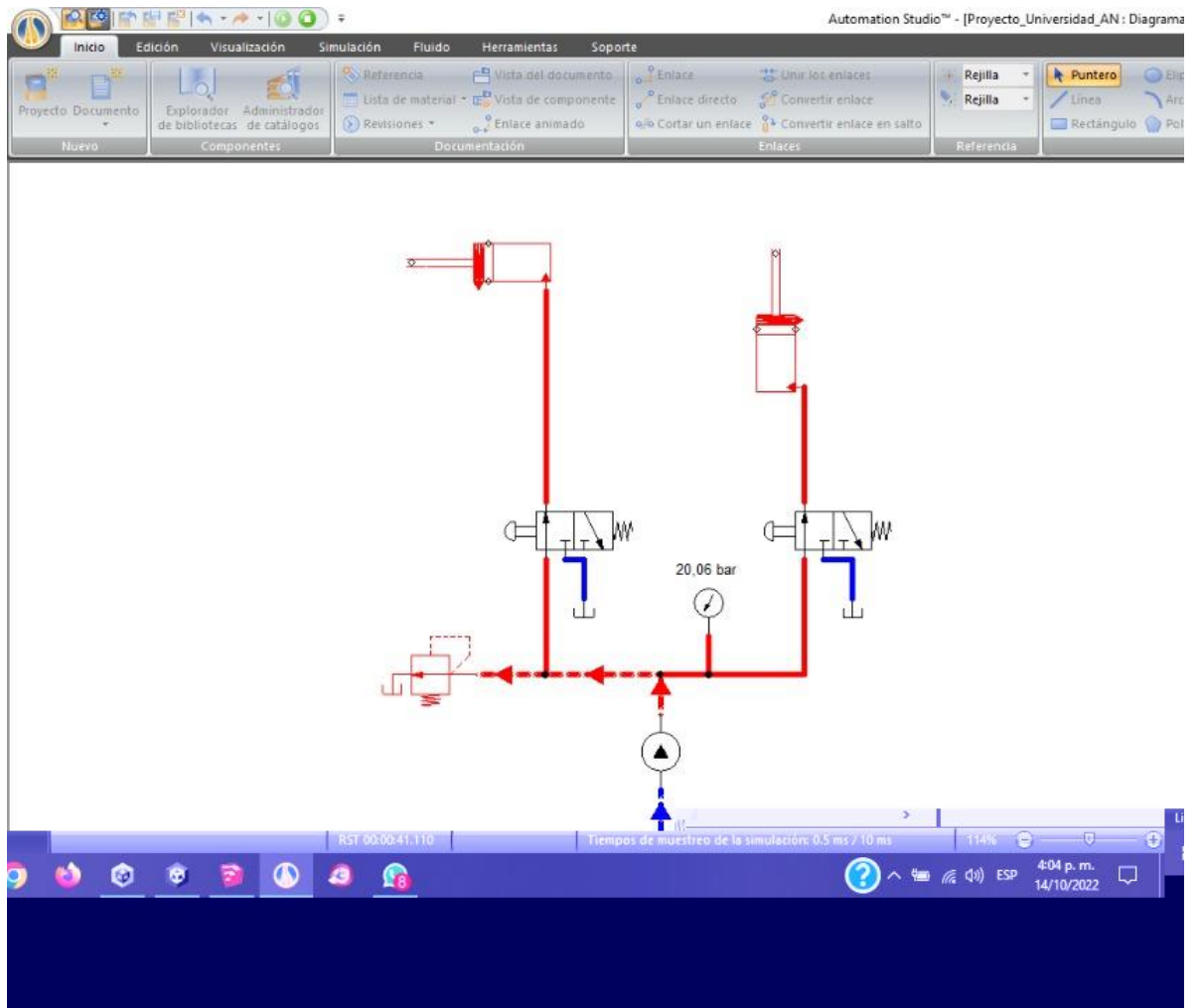


Ilustración 53 Comprobación Funcionamiento.



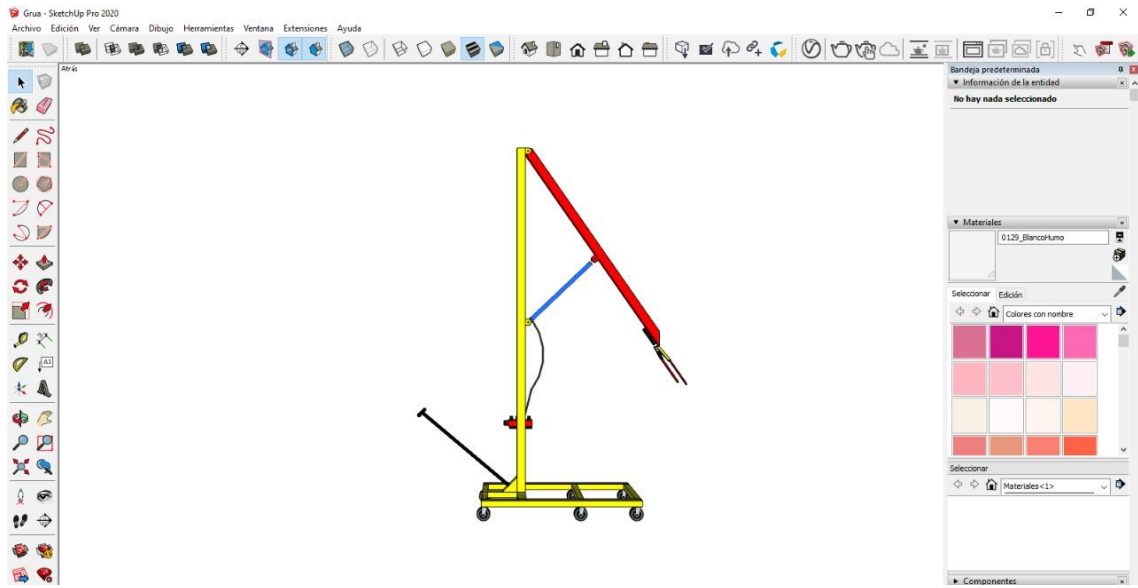


Ilustración 54 Animación de estructura y funcionamiento.

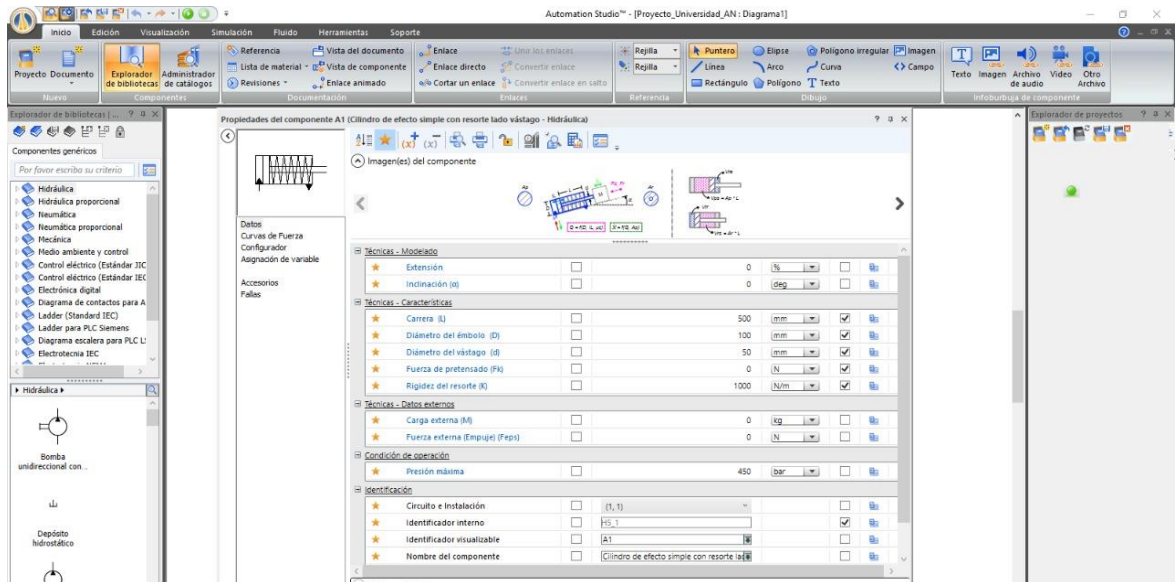


Ilustración 55 Selección componentes

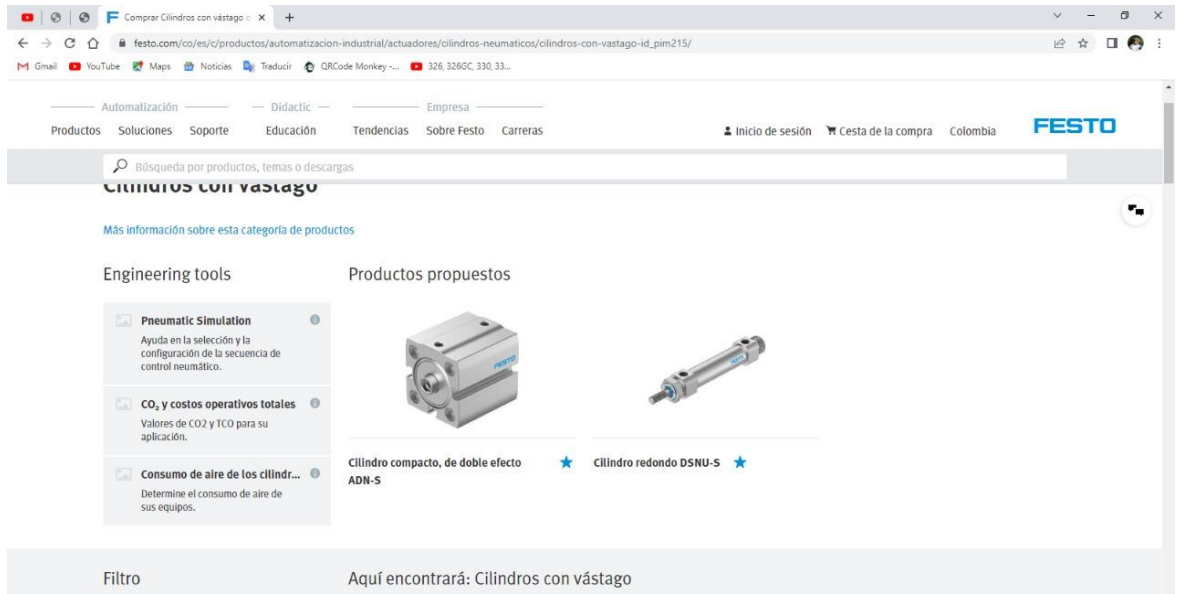


Ilustración 56 Elementos sugeridos

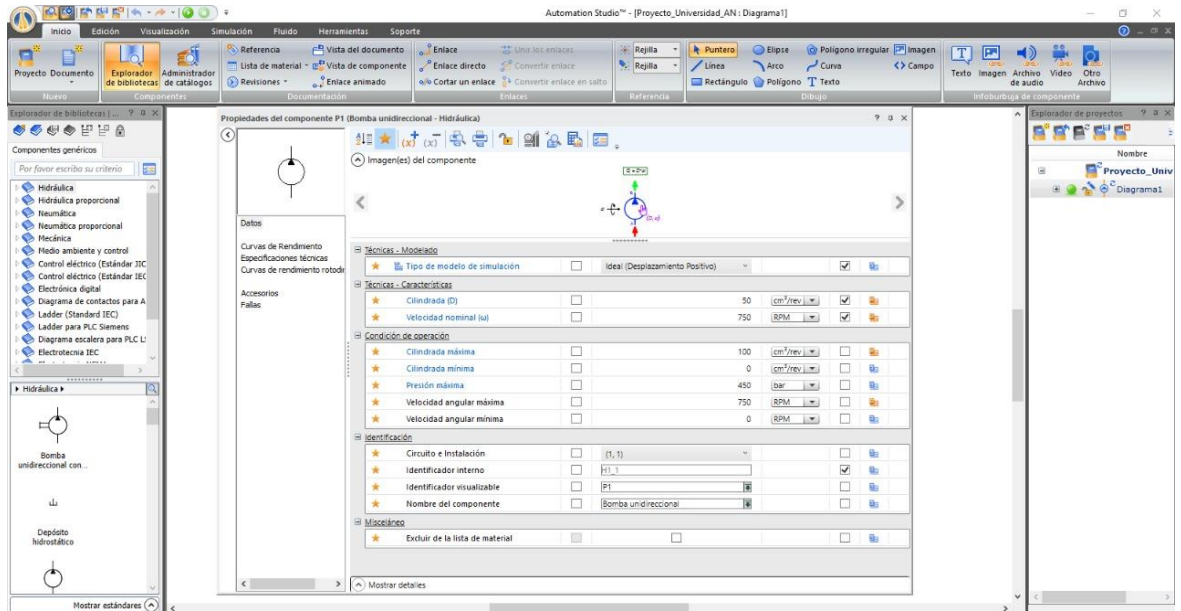


Ilustración 57 Tanque



Ilustración 58 Bombas hidráulicas

9. Conclusiones

La utilización de una herramienta adecuada es necesaria en el proceso de cambio de cuña, mediante visita de campo se observaron los riesgos a que los técnicos se ven expuestos con el procedimiento actual y mediante revisión bibliográfica se fundamenta los requerimientos de la maquina a diseñar.

El diseño final cumple con los requisitos de capacidad de carga, mejora la velocidad, la brazada, la forma y la geometría para mover las cuñas a posiciones extremas con facilidad con lo que se evitará esfuerzos excesivos y mejorará así las condiciones de trabajo para los trabajadores que cargan las cuñas sobre sus hombros.

La maquina diseñada tiene un diseño neumático, con acople rápido y un sistema de válvulas de control neumático-hidráulico, motor neumático – hidráulico, fluido hidráulico (con rodachinas para su fácil traslado), de estructura robusta, manómetro de presión, reguladores de presión de aire comprimido y estructura de acero. Esta es completamente funcional, consta de 2 cilindros, mangueras hidráulicas, llaves de control de levante y movimiento, controlada de forma manual por medio de palancas, contando con agarre mecánico accionado por un cilindro hidráulico.

Es fundamental la verificación del diseño para predecir posibles fallas mediante un proceso de simulación que muestre los movimientos que presentara el prototipo en su estructura y en el sistema hidráulico para prevenir posibles errores de diseño

En respuesta a la pregunta de Cerrejón, la alternativa menos costosa es diseñar y construir un brazo hidráulico con un costo de construcción de \$8 millones aproximadamente, la herramienta neumática diseñada con base a la necesidad específica del proceso de cambio de cuña en los camiones en la empresa cerrejón cumple con los requerimientos iniciales, se tuvieron en cuenta para su análisis, factores de seguridad para su construcción y puesta en funcionamiento, este permite su fabricación con materiales de bajos costos, su función tiene excelentes condiciones y el desempeño que refleja cumple las expectativas en casi la totalidad del trabajo.

Recomendaciones

Una vez que se construye un brazo hidráulico, se deben tomar algunas precauciones para un buen mantenimiento. Se debe aplicar un revestimiento anticorrosión a todo el sistema, ya que funciona en condiciones de alta humedad. Es importante revisar la lubricación de las barras para evitar el desgaste prematuro de las piezas de Doralon.

Durante la fabricación de un brazo hidráulico se deben respetar los planos elaborados y sus relativas tolerancias, especialmente para los elementos que componen el sistema de deslizamiento.

Una vez construida la máquina, se deben considerar las especificaciones de carga útil, con un máximo de 100kg.

Es importante capacitar adecuadamente a los trabajadores que utilizarán esta máquina para un correcto uso y mantenimiento. Toda innovación implica un cambio psicológico que se logra a través de procesos educativos y motivacionales.

El diseño de las piezas de la máquina debe incluir el uso de materiales fácilmente disponibles en el mercado local. El acero ASTM A-36 es de bajo costo y ampliamente utilizado. No obstante, en el caso de que se requieran mejores propiedades, se recomienda utilizar aceros especiales, siempre que su aplicación sea apta para inversión.

10. Referencias Bibliograficas

- BICKFORD WILLIAM. (1998) Advanced Mechanics of Materials, 1ra. Ed., Estados Unidos, Addison-Wesley, (p 322 – 335)
- CLIFFORD D. Y WILLAMS H. (1985) Diseño de Estructuras Metálicas, 2da. Ed., México, Continental.
- CURTIS HOWARD D. (2005) Fundamentals of Aircraft Structural Analysis, 1ra. Ed., Estados Unidos, Irwin.
- DANIEL AGUILAR & GABRIEL CORTEZ. (2017) “diseño y construcción de una herramienta neumática orientada al cambio de amortiguadores con espirales para el taller de ingeniería automotriz de la epoch”.tomado de:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7000/1/65t00232.pdf>
- GLOWINSKI R. (1979) Energy Methods in Finite Element Análisis, 1ra. Ed., Estados Unidos, John Wiley&Sons, (p 93-94).
- HARRY STEWART. (1980) A B C de los Circuitos Hidráulicos, 2da. Ed., México, Diana.
- INEN. (1981) Código de Dibujo Técnico Mecánico, Quito.
- LANDETA B. y MAYA L. (2004) Diseño y Construcción de una Máquina Elevadora para Personal de Mantenimiento, Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en la especialización de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, junio.
- NORTON ROBERT. (1999). Diseño de Máquinas, 4ta. Ed., México, Prentice Hall.

- MUÑOZ C. y ALBÁN I. (1994) Diseño y Construcción de una Grúa Telescópica Manual, Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en la especialización de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, abril.
- MERKLE C. (1989) Hidráulica- Manual de Estudio- Nivel Básico, 1ra. Ed., Colombia, FESTO.
- MARKS. (1984) Manual del Ingeniero Mecánico, 1ra. Ed., México, McGraw-Hill.
- RESHETOV. (1981) Elementos de Máquinas, 1ra. Ed., URSS, Vneshtorgizdaat.
- RESLER B. (1970), Diseño de Estructuras de Acero, 1ra. Ed., Wiley, Limusa.
- SHIGLEY JOSEPH. (1993) Diseño en Ingeniería Mecánica, 6ta. Ed., México, McGraw-Hill.
- SHIGLEY JOSEPH. (1989) Manual de Diseño Mecánico, 4ta. Ed., México, McGraw-Hill.
- TAPIA R. y VILLACÍS J. (1992), Diseño y Construcción de una Grúa Hidráulica para un Taller Automotriz, Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en la especialización de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, diciembre.
- TEMINSA (2014). *Características y ventajas de las herramientas neumáticas.*
<https://www.teminsa.com/blog/243-caractersticas-y-ventajas-de-las-herramientas-neumaticas>