

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad	

## RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): BRAYAN ALEXANDER APELLIDOS: DAVILA SEPULVEDA

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): JESUS BETHSAID APELLIDOS: PEDROZA ROJAS

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): DISEÑO DE UNA GRÚA PÓRTICO CON CAPACIDAD DE 5 TONELADAS PARA LA EMPRESA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL HEROS S.A.S

RESUMEN

El interés de diseñar la grúa pórtico nace de la necesidad básica del taller por su incremento en la producción y realización de proyectos de mayor magnitud, como lo son las cargas de láminas de acero, motores, estructuras y demás componentes de máquinas utilizadas en la industria. Llegando a mejorar la infraestructura del taller con lo que se realizaran tareas en menor tiempo, con más seguridad y de una manera más técnica, ampliando la cobertura de mantenimientos y fabricaciones. El objetivo principal es diseñar una grúa tipo pórtico de cinco toneladas de capacidad, para el manejo de cargas pesadas y como objetivos secundarios identificar las características y diferentes tipos de grúas pórtico y seleccionar el tipo de grúa pórtico a diseñar además definir los parámetros de diseño y realizar el diseño de la grúa pórtico seleccionada. Se llegó a la conclusión de que el factor determinante para el diseño de la viga, es la limitación de la flecha máxima apoyada en ambos extremos que ofrece la norma para puentes grúa CMAA 70. En este caso se tomó L/880, lo que genera un sobredimensionamiento en la selección del perfil de la viga para que no sobrepase la flecha límite.

PALABRAS CLAVE: Grúa pórtico, acero, cargas pesadas, viga, puente grua.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 130 PLANOS: \_0\_ ILUSTRACIONES: \_56\_ CD ROOM: \_1\_

DISEÑO DE UNA GRÚA PÓRTICO CON CAPACIDAD DE 5 TONELADAS PARA LA  
EMPRESA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL HEROS S.A.S

BRAYAN ALEXANDER DAVILA SEPULVEDA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA MECANICA

SAN JOSE DE CÚCUTA

2022

DISEÑO DE UNA GRÚA PÓRTICO CON CAPACIDAD DE 5 TONELADAS PARA LA  
EMPRESA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL HEROS S.A.S

BRAYAN ALEXANDER DAVILA SEPULVEDA

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Mecánico

DIRECTOR

JESUS BETHSAID PEDROZA ROJAS

Ingeniero Mecanico

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIA

PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA MECANICA

SAN JOSE DE CÚCUTA

2022

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

**FECHA:** CÚCUTA, 26 DE ABRIL 2022

**HORA:** 04:40 P.m.

**LUGAR:** AULA SC 303 UFPS

**PI AN DE ESTUDIOS:** INGENIERÍA MECÁNICA

**TÍTULO:** "DISEÑO DE UNA GRÚA PÓRTICO DE CAPACIDAD DE 5 TONELADAS PARA LA EMPRESA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL HEROS S.A.S."

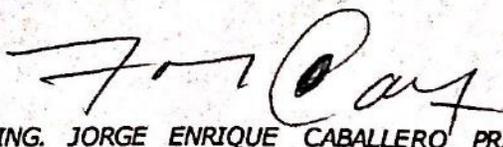
**Jurados:** ING. JORGE EDUARDO GRANADOS GRANADOS  
ING. JORGE ENRIQUE CABALLERO PRIETO

**Director:** ING. JESÚS BETHSAID PEDROZA ROJAS

Nombre del estudiante	Código	Calificación	
		Letra	Número
BRAYAN ALEXANDER DAVILA SEPULVEDA	1121679	Cuatro, Dos	4.2

### APROBADA

  
ING. JORGE EDUARDO GRANADOS G.

  
ING. JORGE ENRIQUE CABALLERO PRIETO

  
Vo.Bo GONZALO DE LA CRUZ ROMERO GARCÍA  
Coordinador Comité Curricular  
Ingeniería Mecánica

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción	16
1. Problema	18
1.1 Título	18
1.2 Planteamiento del problema	18
1.3 Formulación del problema	19
1.4 Objetivos	19
1.4.1 Objetivo general	19
1.4.2 Objetivos específicos	19
1.5 Justificación	19
1.6 Alcances y limitaciones	20
1.6.1 Alcances.	20
1.6.2 Limitaciones.	20
1.7 Delimitación	20
1.7.1 Delimitación espacial.	20
1.7.2 Delimitación temporal.	20
1.7.3 Delimitación Conceptual.	20
2. Marco referencial	21
2.1 Antecedentes	21

2.2 Marco Teórico	23
2.2.1 Grúa tipo pórtico	23
2.2.2 Tipos de grúas pórtico	23
2.2.2.1 Grúa pórtico monorraíl.	23
2.2.2.2 Grúa pórtico birrail	24
2.2.2.3 Grúa semipórtico	25
2.2.2.4 Grúa pórtico con voladizo	25
2.2.3 Características de las grúas pórtico.	26
2.2.4 Partes principales de una grúa pórtico	27
2.2.5 Mecanismos de traslación de la grúa pórtico.	28
2.2.6 Parámetros	29
2.2.7 Clasificación según la norma CMAA 70.	30
2.2.8 Velocidad de movimiento de los diferentes componentes de la grúa según la CMAA 70.	32
2.2.9 Factor de seguridad.	33
2.2.10 Fuerza cortante y momento flexionante en vigas.	33
2.2.11 Diagrama de fuerza cortante y momento flector.	34
2.2.12 Capacidad de carga nominal.	35
2.2.13 Capacidad de carga neta.	35
2.2.14 Cargas aplicadas.	35

2.2.14.1 Fuerzas verticales	36
2.2.15 Fuerzas laterales	36
2.2.16 Fuerzas de torsión	37
2.2.17 Análisis de esfuerzos (resistencia de materiales).	37
2.2.17.1 Esfuerzos normales.	37
2.2.17.2 Esfuerzos cortantes	39
2.2.18 Uniones: rigidez del sujetador.	41
2.3 Marco conceptual	42
2.3.1 Diseño	42
2.3.2 Diseño mecánico	42
2.3.3 Cargas	42
2.3.4 Grúa.	42
2.4 Marco Contextual	43
2.5 Marco Legal	43
3. Diseño metodológico	46
3.1 Tipo de investigación	46
3.2 Fuentes de información	46
3.2.1 Fuentes primarias	46
3.2.2 Fuentes secundarias.	46
3.3 Desarrollo metodológico	46

4. Desarrollo del proyecto	48
4.1 Selección del tipo de grúa.	48
4.2 Parámetros de diseño.	49
4.3 Selección del polipasto.	49
4.4 Diseño de la estructura de la grúa tipo pórtico monorraíl	55
4.4.1 Perfil de la viga principal (laminados en caliente)	55
4.4.1.1 Viga IPE.	55
4.4.2 Material: acero estructural	55
4.4.2.1 Acero A572 G50.	56
4.4.3 Parámetros para el diseño de la viga.	57
4.4.4 Cálculo de la viga por el método de resistencia LRFD y según la norma AISC 360 ..	58
4.4.4.1 Cálculo de las cargas combinadas que actúan en la viga	58
4.4.4.2 Clasificación de la sección, de acuerdo con su esbeltez (pandeo local).	62
4.4.5 Revisión de la longitud no arriostrada (pandeo lateral-torsional).	66
4.4.5.1 Cálculo del coeficiente de flexión $C_b$ .	69
4.4.6 Resistencia de diseño en flexión	73
4.5 Cálculo de la flecha límite para la viga principal.	73
4.5.1 Deflexión máxima permitida según la CMAA	73
4.5.2 Deflexión debido a la flexión.	74
4.5.3 Diseño de elementos a compresión.	75

4.5.3.1 Cálculo de las columnas por el método del LRFD.	75
4.5.3.2 Cálculo de la mayor reacción ejercida en la columna por la viga	76
4.5.3.3 Cálculo de pie de amigo en la columna por el método LRFD	82
4.5.4 Diseño de la viga de soporte de la estructura o del marco.	86
4.5.4.1 D.C.L del soporte y las cargas que actúan en él	86
4.5.4.2 Cálculo de las reacciones.	87
4.5.4.3 Clasificación de la sección, de acuerdo con su esbeltez.	91
4.5.5 Selección de las ruedas de transporte de la grúa pórtico.	91
4.5.6 Diseño de conexiones apernadas según la norma AISC.	96
4.5.6.1 Pernos de alta resistencia	96
4.5.6.2 Resistencia de corte y de tensión en los pernos	97
4.5.6.3 Combinación de tracción y corte en conexiones tipo aplastamiento.	97
4.5.6.4 Resistencia nominal de la placa.	98
4.5.6.5 Cálculo de la conexión apernada viga-columna	98
4.5.6.5.1 Calculo a tracción y cortante de los pernos.	100
4.5.6.6 Cálculo de la conexión apernada pie de amigo-columna.	103
4.5.6.7 Soldadura en la placa de unión apernada.	107
5. Simulación de la estructura a través del software SolidWorks 2014	109
5.1 Simulación de la viga de carga.	109
5.2 Simulación de la estructura.	112

6. Costos del proyecto.	117
6.1 Tabla de costos de proyecto con polipasto eléctrico.	117
6.2 Tabla de costos de proyecto con polipasto manual	118
7. Conclusiones	120
8. Recomendaciones	120
9. Referencias Bibliográficas	121
Anexos	123

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Velocidades recomendadas para grúas pórtico	32
Tabla 2. Dimensiones del polipasto	51
Tabla 3. Especificaciones técnicas del polipasto eléctrico	52
Tabla 4. Tabla de especificaciones del trole manual CM633	53
Tabla 5. Ficha técnica del polipasto manual	53
Tabla 6. Dimensiones del polipasto manual	54
Tabla 7. Propiedades mecánicas del acero A572 G50	56
Tabla 8. Dimensiones y propiedades para el diseño de perfiles IPE	61
Tabla 9. Razones ancho-espesor de la sección de la viga	63
Tabla 10. Sección en capítulo F de la norma AISC 360	65
Tabla 11. Selección para la aplicación de las secciones del capítulo F	66
Tabla 12. Catalogo para perfil rectangular tuboscolmena	76
Tabla 13. Perfil cuadrado de tubos colmena	82
Tabla 14. Diagrama de fuerzas cortante y momento flector de la viga de soporte	89
Tabla 15. Costos de proyecto con polipasto eléctrico.	117
Tabla 16. costos de proyecto con polipasto manual	118

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Grúa pórtico de una tonelada del taller de mantenimiento industrial Heros S.A.S	18
Figura 2. Grúa pórtico monorraíl	24
Figura 3. Grúa pórtico birraíl	24
Figura 4. Grúa semipórtico	25
Figura 5. Grúa pórtico con voladizo	26
Figura 6. Distancias que determinan los parámetros	30
Figura 7. Viga simplemente apoyada donde se indican la carga cortante $V$ y el momento flexionante $M$	34
Figura 8. Direcciones de signos (a) momento flexionante (b) fuerza cortante	34
Figura 9. a) Viga simplemente apoyada, b) diagrama de fuerza cortante c) diagrama de momento flector	35
Figura 10. Viga sometida a fuerza axial	38
Figura 11. Segmento de una viga cuando se somete a un momento flexionante	38
Figura 12. Segmento de una viga sometida a una fuerza cortante	39
Figura 13. Viga circular sometida a un par de torsión	40
Figura 14. Conexión de perno con rosca	41
Figura 15. Ubicación del taller de mantenimiento industrial Heros S.A.S	43
Figura 16. Grúa pórtico monorraíl y sus partes.	48
Figura 17. Polipasto eléctrico	51
Figura 18. Trole manual de jalón 633 CM	52

Figura 19. Polipasto manual Yalelif360 modelo YL5000	53
Figura 20. Viga IPE	55
Figura 21. Grafica esfuerzo-deformación de los aceros A36 y A572 G50	57
Figura 22. Diagrama de cuerpo libre de la viga de carga D.C.L con cargas mayorizadas	59
Figura 23. momento nominal en función de la longitud no arriostrada	69
Figura 24. D.C.L de la viga con sus respectivos cortes con cargas mayorizadas	70
Figura 25. D.C.L del corte a $L/4$ y $L/2$ de la viga	71
Figura 26. D.C.L para $3L/4$ de la viga	72
Figura 27. Ecuaciones para viga simplemente apoyada con carga distribuida	74
Figura 28. Ecuaciones para vigas simplemente apoyadas con carga puntual al centro del claro	75
Figura 29. D.C.L con la carga a un costado de la viga	76
Figura 30. Factor de fijación para columna articulada-articulada (d)	77
Figura 31. Carga axial para el pie de amigo en CYPE 3D	83
Figura 32. Cargas axiales que actúan en el soporte	87
Figura 33. Reacciones y momentos en la viga	87
Figura 34. D.C.L del soporte	88
Figura 35. Diagrama de fuerza cortante	89
Figura 36. Diagrama de momento flector	90
Figura 37. Carga nominal en la grúa pórtico a 0.65m de la columna	92
Figura 38. Reacciones en los apoyos del marco de la estructura.	93
Figura 39. Tenedor con freno para la rueda.	94
Figura 40. Rueda de capacidad 1.2 toneladas, con su tenedor sin freno.	95
Figura 41. Posición de las ruedas en la viga de carga.	96

Figura 42. Dimensiones de la placa viga-columna.	99
Figura 43. D.C.L de la conexión apernada.	100
Figura 44. Geometría de platina pie de amigo – columna	104
Figura 45. Fuerza actuante en la platina pie de amigo-columna.	105
Figura 46. Soldadura de filete placa-viga	108
Figura 47. Geometría del perfil ipe 300	109
Figura 48. Material de la viga ASTM A572 G50	110
Figura 49. Selección de cargas y reacciones en la viga.	110
Figura 50. Deflexión en la viga	111
Figura 51. Esfuerzos máximos en la viga	112
Figura 52. Estructura de la grúa pórtico	113
Figura 53. Condiciones de contorno de la estructura	114
Figura 54. Condiciones de contorno de la estructura	115
Figura 55. Deflexión de la estructura.	115
Figura 56. Factores de seguridad de la estructura de la grúa.	116

## Lista de anexos

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Plano de construcción 1	124
Anexo 2. Plano de construcción 2	125
Anexo 3. Plano de construcción 3	126
Anexo 4. Plano de construcción 4	127
Anexo 5. Plano de construcción 5	128
Anexo 6. Plano de construcción 6	129
Anexo 7. Ensamble final grua portico	130

## Introducción

Las grúas pórticos son un equipo mecánico que se encarga de la elevación de diferentes tipos de carga. Es un tipo útil de grúa móvil utilizado comúnmente en los puertos de comercio internacional por que facilita el traslado de contenedores de mucho peso. Pero no solo eso, la grúa pórtico ligera también se emplea en talleres, muelles, fabricas, entre otras instalaciones en donde el levantamiento de cargas o materiales pesados se es necesario.

Se ha identificado en la empresa de mantenimiento industrial HEROS S.A.S, una deficiencia a la hora de transportar cargas elevadas mayor a una tonelada, debido a que solo cuentan con una grúa pórtico rudimentaria de esta capacidad. La grúa pórtico presentada en el proyecto ha sido encargada por la misma empresa, dedicada al mantenimiento y fabricación de maquinaria e infraestructura industrial, la cual requiere de un mecanismo para elevar y transportar cargas de cinco toneladas en el taller de mantenimiento, ubicada en la ciudad de Cúcuta que cuenta con un área de aproximadamente ciento veinte metros cuadrados, sus dimensiones son cuatro metros de luz junto con cuatro metros de altura.

Para iniciar con el diseño se identificaron los parámetros iniciales como: las dimensiones del área de trabajo, si su mecanismo de elevación será eléctrico o manual, horas de trabajo, cuanta veces por hora trabaja, capacidad a levantar y las dimensiones con las que contará la grúa pórtico. Para abordar el diseño se tuvo en cuenta el método de factores de carga y resistencias LRFD, basado en las normas AISC (American Institute of Steel Construction), junto con algunas especificaciones que da la norma para puentes grúas CMAA (Construction Management Association of America). También, se comprobara el diseño previo con una simulación del pórtico

en el software SolidWorks 2014, y se presentaran sus debidos planos de construcción, tabla de costos de materiales y de mano de obra que se requiere para elaborar el presente proyecto.

## 1. Problema

### 1.1 Título

Diseño de una grúa pórtico de cinco toneladas para la empresa de mantenimiento industrial HEROS S.A.S

### 1.2 Planteamiento del problema

En el taller de la empresa mantenimiento industrial Heros S.A.S, cuenta con una gran área destinada a la fabricación metalmeccánica. Actualmente, tiene instalada una grúa pórtico de una tonelada y tres metros de altura, limitando las actividades de manejo cargas pesadas, además de que la fabricación de esta grúa pórtico existente fue realizada de manera rudimentaria en el mismo taller.

Al no tener un diseño previo de la grúa pórtico localizada en el taller, limita el trabajo tanto en el manejo de cargas como los riesgos que pueden ocurrir al momento de levantar cargas mayores de una tonelada.



**Figura 1.** Grúa pórtico de una tonelada del taller de mantenimiento industrial Heros S.A.S

### 1.3 Formulación del problema

¿Cuál es el diseño adecuado de la grúa pórtico para la empresa Heros S.A.S, para satisfacer sus requerimientos?

### 1.4 Objetivos

**1.4.1 Objetivo general.** Diseñar una grúa tipo pórtico de cinco toneladas de capacidad, para el manejo de cargas pesadas.

**1.4.2 Objetivos específicos.** Identificar las características y diferentes tipos de grúas pórtico.

Seleccionar el tipo de grúa pórtico a diseñar

Definir los parámetros de diseño y realizar el diseño de la grúa pórtico seleccionada

Elaborar los planos de construcción y montaje de la grúa pórtico

Simular la grúa pórtico a través de software de análisis estructural

Elaborar los costos de construcción y montaje de la grúa pórtico

### 1.5 Justificación

Una de las necesidades más importantes en los talleres industriales, es el transporte de los materiales pesados, para el fácil manejo de las diferentes piezas mecánicas durante el proceso de construcción y fabricación, y el ahorro de tiempo al momento de movilizarlo desde su entrada hasta los diferentes puntos de trabajo y a su vez reducir el riesgo de accidentes en el taller.

El interés de diseñar la grúa pórtico nace de la necesidad básica del taller por su incremento en la producción y realización de proyectos de mayor magnitud, como lo son las cargas de láminas de acero, motores, estructuras y demás componentes de máquinas utilizadas en la industria. Llegando a mejorar la infraestructura del taller con lo que se realizaran tareas en menor tiempo,

con más seguridad y de una manera más técnica, ampliando la cobertura de mantenimientos y fabricaciones.

## **1.6 Alcances y limitaciones**

**1.6.1 Alcances.** Este proyecto se centró en el diseño y simulación de una grúa pórtico para elevar piezas mecánicas de máximo 5 toneladas.

El diseño de la grúa pórtico está destinado para utilizarlo en todas las áreas del taller.

Se realizó una simulación del sistema a través del software de análisis estructural

Se presentó tabla de costos.

**1.6.2 Limitaciones.** Como este proyecto consta de varias piezas, estructuras y mecanismos, la principal limitación fue el tiempo.

## **1.7 Delimitación**

**1.7.1 Delimitación espacial.** Se realizó para el taller de mantenimiento industrial HEROS S.A.S, ubicada en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander.

**1.7.2 Delimitación temporal.** Para la realización de este proyecto y dar cumplimiento a los objetivos planteados se tendrá en cuenta 4 meses a partir del 10 de noviembre que se aprobó por parte del comité curricular del plan de estudio de ingeniería mecánica de la UFPS, sede Cúcuta.

**1.7.3 Delimitación Conceptual.** Resistencia de materiales, materiales metálicos, diseño de elementos de máquinas, mecanismos, procesos industriales, factibilidad y evaluación de proyectos.

## 2. Marco referencial

### 2.1 Antecedentes

Martínez, en el 2016, desarrolló el proyecto: “Diseño y cálculo de la estructura de una grúa pórtico de 50 toneladas de capacidad y 50 metros de luz”, tiene como objetivo el diseño estructural de una gura portica de gran luz y carga media, este proyecto se basó en las normas del EURO CODIGO y la UNE (acrónimo de una norma española) utilizando una metodología analítica. Basándose en los resultados y análisis del diseño, llega a la conclusión de que los dos perfiles que se pueden emplear y que considera que son más aptos para el diseño de la grúa pórtico son, la viga armada en cajón y la viga celosía de sección triangular.

Davila y Roca, en el 2016, elaboraron el proyecto: “Diseño y simulación de una grúa pórtico para descarga y almacenamiento de bobinas de acero”. El objetivo de este proyecto es diseñar una grúa pórtico de 30 toneladas de capacidad nominal para el transporte y almacenamiento de bobinas de acero, atreves de la metodología analítica basada en las normas CMAA y la utilización del software SAP2000, ANSYS y AUTODESK. Llegando a los resultados del diseño verídicos y logrando la simulación de los casos más críticos de la grúa pórtico atreves del software AUTODESK.

En el 2020, Álvarez, realizó el proyecto: “Cargas móviles. Aplicación al dimensionado de un puente grúa de 30 m y 20 t”. El objetivo de este proyecto consiste en estudiar y determinar cómo afectan las cargas móviles a determinadas estructuras cuando estas varían su posición a lo largo de las mismas. Como estructura de estudio se selecciona un puente grúa basado en el cálculo teórico-analítico de estructuras apoyado de elementos finitos SAP2000 verificando de que coincidan los resultados. Se procede a analizar las líneas de influencia del factor de carga del fenómeno de

pandeo global, con los diferentes perfiles que se han seleccionado para la viga carril y de sus pilares, llegando a la conclusión que en la viga carril y perfil pilares “HEB300” no se produce el fenómeno de pandeo global con deflexiones en la estructura del pórtico de la viga carril.

Vasco, en el 2011, elaboró el proyecto: “Diseño y simulación de un puente grúa de 15 toneladas de capacidad para los talleres de Arcoland división oriente”, en la cual se busca Diseñar y simular un Puente Grúa de 15 Toneladas de capacidad, para el desmontaje y montaje de partes y piezas de los motores Waukesha al momento de realizar una reparación, Overhaul y Mantenimiento en los talleres de Arcolands Cia. Ltda. División Oriente. Utilizando una metodología analítica para el cálculo de las diferentes piezas que lo componen, realizando la simulación en el software SAP2000 del puente grúa diseñado, llegando a la conclusión de que todos los elementos analizados cumplen con el requerimiento de seguridad con un factor de seguridad amplio, y por medio del programa SAP2000 garantiza la viabilidad del diseño.

En el 2017, Arango, realizó el proyecto “Diseño de puente grúa para taller de mantenimiento de maquinaria de la empresa CONSTRUCCIONES EL CONDOR S.A. con capacidad de 5 toneladas”. El proyecto se enfocó al diseño analítico basado en las distintas referencias bibliográficas y en las normas CMAA 70, CMAA 74, CMAA 78, ASME A36, AWS D1.1, teniendo en cuenta el requerimiento de la norma de puente grúa CMMA 70 de la máxima deflexión permitida en una viga apoyada en ambos extremos se debe sobredimensionar las vigas para así tener un factor de seguridad elevado para no correr riesgos al momento de un golpe o aceleración de la carga.

## 2.2 Marco Teórico

**2.2.1 Grúa tipo pórtico.** Es importante elegir la grúa pórtico adecuada para el manejo de materiales en interiores. Hay varias cosas que debe considerar antes de decidirse por una grúa de pórtico.

Primero, es necesario conocer bien las dimensiones de su edificio, incluida la altura, el ancho y la longitud del edificio. Con la información, puede saber qué tamaño de grúa necesita.

Segundo, la capacidad de carga es necesaria para proporcionar cuando planea comprar una grúa. No debe usar una grúa de pórtico para levantar mercancías pesadas cuyo peso sea mayor que la capacidad de elevación de la grúa, que es peligrosa y puede causar riesgos y accidentes.

En tercer lugar, es importante conocer su entorno de trabajo y la propiedad de los materiales que levantará, por ejemplo, si la grúa se utiliza para elevar metales, las herramientas de elevación correspondientes deben estar equipadas.

Si la grúa se utiliza en un entorno especial, se debe realizar un procesamiento y protección especiales para que la grúa de pórtico se asegure de que su trabajo sea seguro y confiable.

### 2.2.2 Tipos de grúas pórtico

**2.2.2.1 Grúa pórtico monorraíl.** Principalmente, la capacidad nominal de grúas pórticos monorraíl es igual o menos de 20 toneladas. Como sólo tiene una viga de carga, su propio peso es más ligero y su estructura es más pequeña. También existe un modelo especial – grúas pórtico monorraíl de forma L. Ésta puede llegar una capacidad máxima de 50 toneladas.



**Figura 2.** Grúa pórtico monorraiel

Fuente: (Ellsengruaportico, s.f.)

**2.2.2.2 Grúa pórtico birrail.** Debido a la estructura de doble viga principal, esta grúa es más rígida y resistente para las cargas muy pesadas. La luz más ancha que la de grúa mono viga puede mejorar la eficiencia de producción. Grúa pórtico de dos vigas pueden ser diseñados y fabricados para diferentes capacidades.



**Figura 3.** Grúa pórtico birrail

Fuente: (Ellsengruaportico, s.f.)

**2.2.2.3 Grúa semipórtico.** Tiene la característica de que un lado de la grúa se apoya en el marco de soporte y el otro lado se apoya en una viga carrilera. El carro-polipasto se traslada transversalmente entre el marco de soporte y la viga carrilera. Las vigas testeras se encuentran a diferente nivel, la una al nivel del suelo y la otra a nivel de la viga principal. Su estabilidad es mejor que los otros dos tipos de grúas anteriores, ya que su centro de gravedad es más bajo.



**Figura 4.** Grúa semipórtico

Fuente: (Ellsengruaportico, s.f.)

**2.2.2.4 Grúa pórtico con voladizo.** Esta grúa es diseñada para que su carro-polipasto se mueva más allá de los marcos de soporte. Es diseñada para que pueda cargar y descargar desde su voladizo, haciéndola más versátil en distintas aplicaciones. Sus vigas testeras se encuentran ambas a nivel del piso. El análisis de estas grúas es más complejo que las grúas pórtico de cubierta ya que requieren de un estudio de estabilidad más riguroso. Utilizada en exteriores principalmente.



**Figura 5.** Grúa pórtico con voladizo

Fuente: (Ellsengruaportico, s.f.)

**2.2.3 Características de las grúas pórtico.** Cuando la carga es de grandes dimensiones y pesa mucho es cuando notamos la principal característica de la grúa tipo pórtico. Esta herramienta es útil para servir de estructura de soporte cuando el puerto, muelle, fábrica, taller, etc. no cuenta con un espacio capaz de aguantar las dimensiones o el peso del contenedor. Muchas empresas prefieren invertir en un equipo como este en lugar de generar gastos en la construcción de una estructura o edificio de soporte.

Otra característica importante de la grúa pórtico es que ofrece un buen rendimiento. Sus partes le permiten adaptarse a diferentes tipos de trabajos, ambientes y demandas dependiendo de la forma en que se construya. También son fáciles de mantener porque son resistentes a factores ambientales que por lo general desgastan otros equipos similares. Muchos las prefieren porque en caso de avería, la reparación también suele ser sencilla debido a que muchos de sus componentes son mecánicos o eléctricos con estructuras básicas.

Las grúas pórtico también se caracterizan por necesitar el establecimiento de patas flexibles y una pata rígida cuando el equipo supera los 30 metros de la luz. Esto ayuda a mantener la estabilidad de la estructura y garantiza que todos los procesos se completen de forma rápida y segura para los operadores.

Por último, la característica más básica es que puede ser utilizada sin problemas en espacios interiores y exteriores para trasladar materiales sin importar la altura del medio de transporte o el depósito final.

**2.2.4 Partes principales de una grúa pórtico.** Los componentes principales y más relevantes de la grúa pórtico para obtener un mejor concepto de la funcionalidad de cada uno:

**Vigas Principales:** Son las que soportan la carga de trabajo y del carro-polipasto, además permiten el movimiento transversal de la carga. Estas vigas generalmente son perfiles laminados en caliente, secciones armadas a partir de planchas de acero o celosías. Dependiendo del tipo de grúa pórtico, se puede tener uno o dos vigas principales, que es lo que se conoce como monorraíl o birrail. La longitud de la viga principal determinara el desplazamiento del carro polipasto. En el caso de la grúa pórtico se puede tener vigas principales que sobrepasen la distancia entre soportes, obteniendo un voladizo.

#### Carro-Polipasto

El mecanismo de funcionamiento de elevación de grúa pórtico es el polipasto eléctrico o carros. El carro soporta los polipastos. Se desplaza sobre las vigas.

Columnas: Son los elementos verticales que están conectados a las vigas principales formando un pórtico resistente. Dependiendo de su rigidez afectará el comportamiento y eficiencia del pórtico, en términos de estabilidad, pandeo, etc. Para aumentar la rigidez en la estructura las columnas se encuentran en una disposición trapezoidal formando una armadura, y estas pueden ser secciones armadas, vigas laminadas en caliente o celosía.

Riel Carrilero: Son vigas sobre las cuales se desplazan las ruedas de la grúa pórtico. Estas deben resistir la carga que reciben de las ruedas de apoyo y transmitirlas a los otros elementos que soportan la vía. La superficie de rodadura debe ser lo más lisa posible para reducir la fricción, pero se requiere cierta rugosidad para mejorar la adherencia.

**2.2.5 Mecanismos de traslación de la grúa pórtico.** Sistema de traslación Transversal: Consiste en un chasis rígido, generalmente hecho de acero, que soporta el polipasto anteriormente mencionado. Este se desplaza a lo largo del patín de la viga principal (monorriel) o a lo largo de rieles sobre las vigas principales (birrail). Posee un conjunto de 4 ruedas y en una de ellas se acopla un moto-reductor para trasladar transversalmente el sistema. Este debe arrancar y detenerse con precisión cuando es solicitado, para esto se utiliza un freno que puede ser mecánico o eléctrico.

Sistema de traslación Longitudinal: Está conformado por un conjunto de ruedas, un moto-reductor y un freno. Estos elementos se encuentran acoplados a las vigas testeras, de tal manera que formen un mecanismo de transporte longitudinal para todo el sistema. Según la carga admisible de las ruedas, se utilizan dos testeras o grupos de testeras para distribuir la carga.

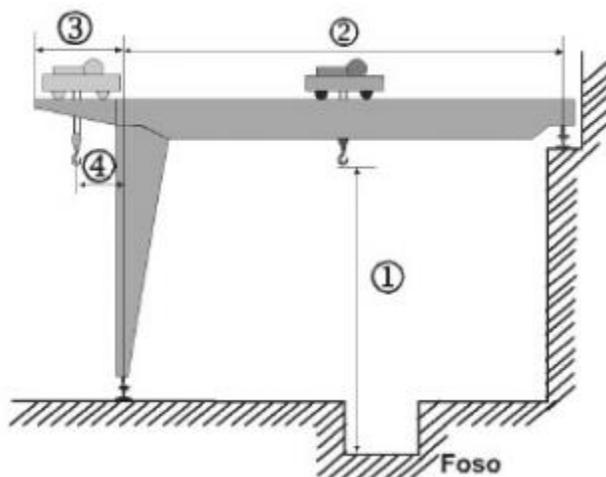
Sistema de traslación Vertical (Carro-Polipasto): Es una máquina que está compuesta por un moto-reductor y un sistema de poleas donde se genera una ventaja mecánica para poder elevar altas cargas. Dependiendo de la magnitud de estas, el sistema puede estar sujetado por ramales de cuerda, cable o cadena. Para controlar la elevación y descenso, posee un freno mecánico o eléctrico acoplado al tambor de arrollamiento. Existen varios tipos de polipastos, dependiendo del número de ramales, del material de los ramales, si es monorriel o birriel; la capacidad necesaria, la altura de elevación y las velocidades de elevación.

**2.2.6 Parámetros.** Altura máxima de recorrido del gancho: distancia vertical entre el nivel más bajo del suelo y el gancho de carga, cuando éste se encuentra en la posición más elevada de trabajo. Figura 6 (1)

Luz: es la distancia horizontal entre los ejes de los carriles de la vía de rodadura. Figura 6 (2)

Voladizo total: distancia máxima horizontal entre el eje del camino de rodadura más próximo al voladizo y el extremo de la estructura emplaza sobre el voladizo. Figura 6 (3)

Voladizo útil: distancia máxima horizontal entre el eje del camino de rodadura más próximo al voladizo y el eje del elemento de presión emplazado sobre el voladizo. Figura 6 (4)



**Figura 6.** Distancias que determinan los parámetros

Fuente: (Rodríguez, D. 2008) NTP 736

**2.2.7 Clasificación según la norma CMAA 70.** La Norma CMAA 70, (CMAA, 2010) clasifica los puentes grúa en grupos de carga de acuerdo con las condiciones de servicio, las cuales son:

Clase A (Uso poco frecuente): Esta clase cubre a puentes grúas instalados en sitios como: plantas eléctricas, servicios públicos, salas de turbinas, sala de motores y estaciones de transformadores; donde se requiere manejo preciso de equipos a bajas velocidades con largos periodos de inactividad. Este tipo de puentes grúa se usan para la instalación inicial de equipos y para mantenimiento poco frecuente.

Clase B (Servicio liviano): En esta clase cubre a los puentes grúas instalados en: talleres de reparación, fábricas de ensamblaje, bodegas de almacenamiento liviano, entre otros; donde las cargas a levantar son livianas y a velocidades lentas. Las cargas pueden variar de 2 a 5 elevaciones por hora, con un promedio de 10 pies de altura de elevación.

Clase C (Servicio moderado): Esta clase cubre a los puentes grúa instalados en talleres mecánicos, fábricas de papel. Donde las cargas promedio son menores al 50% de la capacidad nominal, con una tasa de trabajo de entre 5 y 10 elevaciones por hora, con un promedio de 15 pies de altura de elevación, sin sobrepasar el 50% de la capacidad nominal de levantamiento.

Clase D (Servicio pesado): Esta clase cubre a los puentes grúa utilizados en talleres de maquinaria pesada, talleres de fundiciones, depósitos de aceros, depósitos de contenedores, bodegas de madera. En esta clase de servicio las cargas se aproximan al 50% de la capacidad nominal, se manejan a altas velocidades, y realizan entre 10 y 20 levantamientos por hora, con promedio de traslados de 15 pies de altura de elevación, no sobrepasan el 65% de la capacidad nominal.

Clase E (Servicio Severo): Esta clase requiere puentes grúas con capacidad de manejar cargas que se acerquen a la nominal durante toda su vida útil. Las aplicaciones cubren grúas de cuchara magnética para manejo de chatarra, fabricas cementeras, manejo de contenedores; contempla 20 o más levantamientos por hora a la capacidad nominal o cerca de ella.

Clase F (Servicio Severo Continuo): Esta clase de puentes grúa son capaces de manejar cargas que se aproximen o sean iguales a la capacidad nominal, en condiciones de servicio severas a lo largo de su vida útil. Las aplicaciones incluyen grúas específicamente diseñadas para realizar tareas críticas que sean parte fundamental de un proceso de producción. Estas grúas deben brindar la más alta confiabilidad y requieren facilidad de mantenimiento.

### 2.2.8 Velocidad de movimiento de los diferentes componentes de la grúa según la CMAA

70. Para obtener los datos de la velocidad recomendada en la norma para los diferentes movimientos de la grúa, se toma como referencia la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** mostrada a continuación, la cual pertenece a la norma CMAA 70.

Teniendo en cuenta que la velocidad operativa de cada movimiento es un factor para determinar el costo inicial y operativo de la grúa, ya que, si su velocidad es superior a la requerida, el costo de la grúa y el posterior costo de energía serán mayores. Por otro lado, si la velocidad seleccionada no es suficiente para satisfacer la demanda de producción, la grúa puede causar pérdidas económicas. Para seleccionar la velocidad, debe analizar el ciclo de trabajo.

**Tabla 1.** Velocidades recomendadas para grúas pórtico

velocidades recomendadas depuente grua en pies por minuto									
capacidad en toneladas	velocidad de izaje			velocidad de carro transversal			velocidad de viga longitudinal		
	baja	media	alta	baja	media	alta	baja	media	alta
3	14	35	45	50	80	125	50	115	175
5	14	27	40	50	80	125	50	115	175
7,5	13	27	38	50	80	125	50	115	175
10	13	21	35	50	80	125	50	115	175
15	13	19	31	50	80	125	50	115	175
20	10	17	30	50	80	125	50	115	175
25	8	14	29	50	80	125	50	115	175
30	7	14	28	50	80	125	50	115	150
35	7	12	25	50	80	125	50	115	150
40	7	12	25	40	70	100	40	100	150
50	5	11	20	40	70	100	40	100	150
60	5	9	18	40	70	100	40	75	125
75	4	9	15	40	70	100	30	75	125
100	4	8	13	30	60	80	25	50	100
150	3	6	11	25	60	80	25	50	100

Fuente: Norma CMAA 70

**2.2.9 Factor de seguridad.** Si se realizan 500 pruebas a la tensión sobre una muestra material, se obtendrán 500 resistencias a la fluencia diferentes si la precisión y exactitud de las mediciones fueran lo suficientemente óptimas. Con algunos materiales se puede alcanzar un amplio rango de resistencias; en otros se puede alcanzar una resistencia de garantía mínima razonable. No obstante, esta resistencia no representa usualmente el esfuerzo que los ingenieros aplican en el diseño. El término factor de seguridad es una relación entre la resistencia de la rotura del material y las tensiones admisibles para las diferentes partes de la grúa.

$$n = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma_d} = \frac{S}{\sigma \text{ o } \tau}$$

$\sigma_{perm}$  = esfuerzo normal permisible

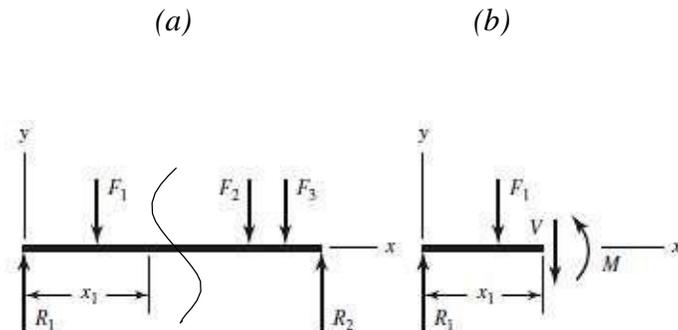
$\sigma_d$  = esfuerzo normal de diseño

$S$  = Resistencia a la fluencia

$\sigma \text{ o } \tau$  = esfuerzos normales

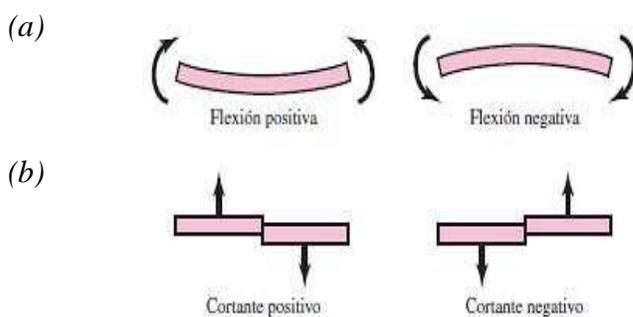
Si  $n > 1$ , el diseño es adecuado. Entre mayor sea  $n$  más seguro será el diseño, si  $n < 1$ , el diseño puede ser inadecuado y necesitar un rediseño. (Bernard J. Hamrok, 2000)

**2.2.10 Fuerza cortante y momento flexionante en vigas.** De (Budynas & Nisbett, 2008) diseño en ingeniería mecánica de Shigley, en la Figura 7 se muestra una viga que se apoya en las reacciones  $R_1$  y  $R_2$  cargada con las fuerzas concentradas  $F_1$ ,  $F_2$  y  $F_3$ . Si la viga se corta en alguna sección localizada en  $x = x_1$  y se quita la parte izquierda como en un diagrama de cuerpo libre, deben actuar una fuerza cortante interna  $V$  y un momento flexionante  $M$  sobre la superficie cortada para asegurar el equilibrio. La fuerza cortante se obtiene sumando las fuerzas a la izquierda de la sección cortada. El momento flexionante es la suma de los momentos de las fuerzas a la izquierda de la sección tomada respecto de un eje a través de la sección aislada.



**Figura 7.** Viga simplemente apoyada donde se indican la carga cortante  $V$  y el momento flexionante  $M$

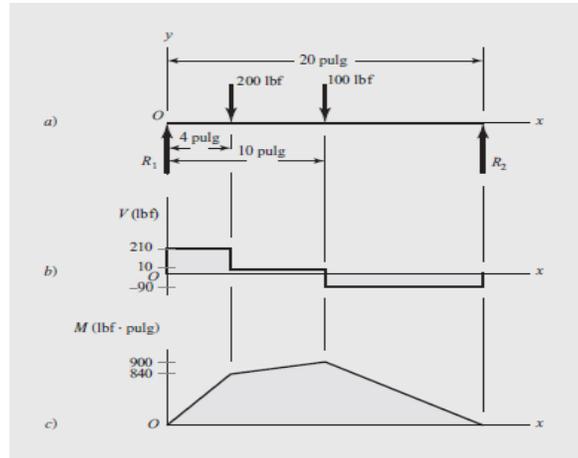
Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008) Diseño en ingeniería mecánica de Shigley



**Figura 8.** Direcciones de signos (a) momento flexionante (b) fuerza cortante

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008) Diseño en ingeniería mecánica de Shigley

**2.2.11 Diagrama de fuerza cortante y momento flector.** Los diagramas permiten observar cómo varían los esfuerzos cortantes y los momentos flectores a lo largo de la viga figura 9. Es importante ubicar los valores máximos y mínimos de cada uno, ya que permiten obtener un gráfico más detallado. El momento flexionante máximo se identifica con el valor máximo del diagrama de momento flexionante que se indica en la figura 9 c.



**Figura 9.** a) Viga simplemente apoyada, b) diagrama de fuerza cortante c) diagrama de momento flector

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008) Diseño en ingeniería mecánica de Shigley

**2.2.12 Capacidad de carga nominal.** La capacidad de carga nominal o carga máxima es el valor de carga que puede soportar el puente grúa definida por el diseñador, en esta se tienen en cuenta el peso de todos los elementos y accesorios como ganchos, eslingas, cadenas, cables entre otros; los cuales pertenecen al diseño. Carga de servicio

**2.2.13 Capacidad de carga neta.** La capacidad de carga neta o carga útil es la magnitud de peso que el puente grúa puede elevar sin tener en cuenta el peso de los accesorios como ganchos, eslingas, cadenas, cables entre otros que podrían llegar a ser utilizados en el izaje de cargas.

**2.2.14 Cargas aplicadas.** Debido a que la estructura de una grúa pórtico es sometida a cargas de servicio repetitivas que varían en el tiempo. Se generan tensiones variables en los miembros y

conexiones a través de la interacción del sistema, la estructura y las formas de la sección transversal para las cargas se deben considerar en el análisis estructural, se tiene:

Fuerzas verticales

Fuerzas laterales

Fuerzas de torsión

**2.2.14.1 Fuerzas verticales.** Estas cargas actúan sobre el eje vertical, paralelo al eje de elevación de la carga. De las cuales se cita las siguientes:

Cargas muertas ( $W_d$ )

El peso de todas las partes efectivas, las partes mecánicas y equipo fijo soportado por los apoyos de la estructura. Para poder calcular el momento de la carga muerta hay que tener en cuenta las cargas por unidad de longitud, entre ellas: la carga producida por la viga principal, el riel por donde se moverá el trolley, las barandillas y demás cargas fijas.

Carga viva ( $W_l$ )

Consiste en las cargas producidas por el trolley y de la carga levantada (Capacidad nominal), estas cargas serán consideradas como cargas puntuales ubicadas en las ruedas en movimiento, por lo que se analizará el momento y cortante máximo con respecto a estas posiciones.

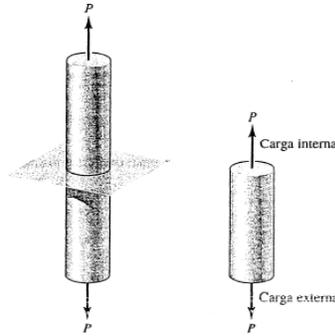
**2.2.15 Fuerzas laterales.** Carga lateral debido a la aceleración o desaceleración, se considerará como 5% de la carga viva más la carga producida por la estructura del puente grúa, exclusivamente en los truck traseros. El momento lateral se lo dividirá por igual entre las dos vigas y se utilizará el momento de inercia de toda la sección de la viga sobre su sección en el eje vertical para determinar las tensiones debido a las fuerzas laterales.

**2.2.16 Fuerzas de torsión.** Es el momento de torsión producido al arrancar y parar el motor del puente. Se considerará como el par de arranque del motor en 200% del par a plena carga multiplicada por la relación de transición entre el motor y el eje transversal.

Las fuerzas de torsión debido a las cargas que sobresalen en uno de los lados laterales de la viga, se tomarán como el peso de la respectiva carga multiplicada por la distancia horizontal entre los respectivos centros de gravedad y el centro de gravedad de la sección de la viga.

**2.2.17 Análisis de esfuerzos (resistencia de materiales).** Para poder llegar al diseño adecuado de la estructura la cual va a soportar todo el peso de las piezas mecánicas e incluso el mismo peso del elevador y demás componentes, se debe aplicar la teoría de los esfuerzos combinados para poder aplicar al desarrollo y análisis de la viga que comprenderá la estructura. Los esfuerzos para el análisis son:

**2.2.17.1 Esfuerzos normales.** Esfuerzo normal producido por una fuerza axial



**Figura 10.** Viga sometida a fuerza axial

Fuente: (Bernard J. Hamrok, 2000) Elementos de maquinas

La fuerza por unidad de área que soporta un material se llama esfuerzo en el material, y se expresa matemáticamente como:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

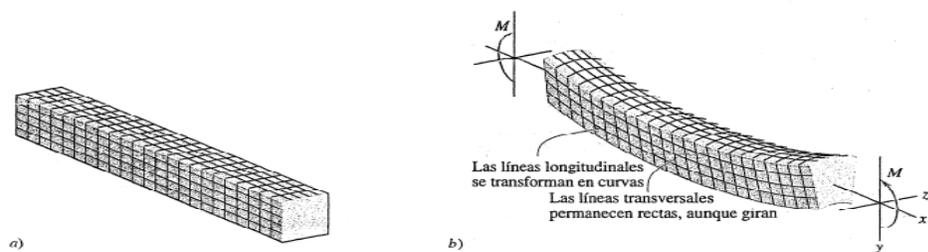
Donde,

$\sigma$  = esfuerzo normal ejercido

F = fuerza normal ejercida en la sección de interés

A = área de la sección transversal en la sección del análisis

Esfuerzo normal a flexión:



**Figura 11.** Segmento de una viga cuando se somete a un momento flexionante

Fuente: (Bernard J. Hamrok, 2000) Elementos de maquinas

Es una tensión dirigida perpendicularmente a la sección transversal del área de estudio y el esfuerzo se puede calcular mediante a expresión:

$$\sigma = \frac{M C}{I}$$

Donde,

M = momento flector producido

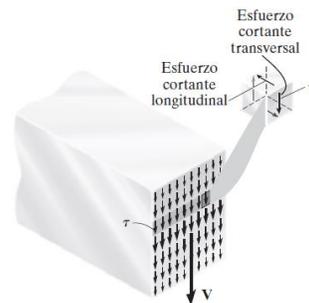
C = distancia del eje centroidal a la superficie externa de la sección de interés

I = momento de inercia de la sección transversal

El esfuerzo normal total  $\sigma$  en el brazo está dado por la siguiente expresión.

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M C}{I}$$

**2.2.17.2 Esfuerzos cortantes.** Esfuerzo cortante producido por una fuerza cortante:



**Figura 12.** Segmento de una viga sometida a una fuerza cortante

Fuente: Diseño de una grúa pluma para ensamble y desensamble de la mandíbula y cuchillas de la trituradora primaria en la empresa preconceptos s.a. (Duarte & Duarte, 2019)

Para realizar el cálculo del esfuerzo cortante en un punto específico poder calcular la magnitud del esfuerzo cortante en un punto cualquiera de la sección transversal que soporta una fuerza cortante, se presenta con la siguiente fórmula general:

$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

Donde,

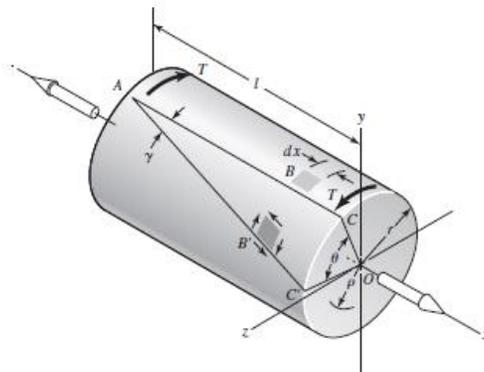
V = es la fuerza cortante en la sección de interés

Q = primer momento, con respecto al eje centroidal

I = momento de inercia de la sección completa de interés

b = espesor de la sección transversal medido en el eje donde se va a calcular el esfuerzo cortante

Torsión:



**Figura 13.** Viga circular sometida a un par de torsión

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008) Diseño en ingeniería mecánica de Shigley

El esfuerzo máximo en secciones circulares ocurre en la superficie externa. La fórmula general está dada por:

$$\tau = \frac{TC}{J}$$

Donde,

T = par de torsión aplicado en la sección de interés

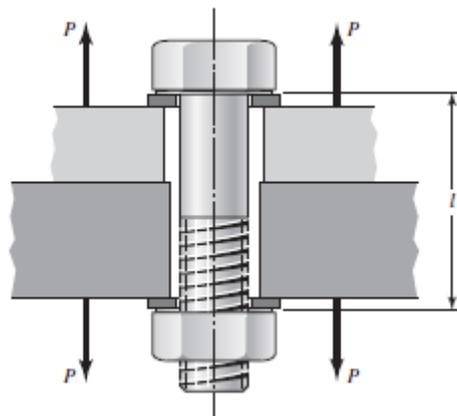
J = momento polar de inercia de la sección transversal

C = radio de la sección transversal circular

El esfuerzo cortante total  $\tau$  en el brazo está dado por la siguiente expresión.

$$\tau = (\tau)_V + (\tau)_{giro}$$

**2.2.18 Uniones: rigidez del sujetador.** Cuando se desea realizar una conexión que se pueda desensamblar sin el empleo de métodos destructivos y que sea suficientemente fuerte para resistir cargas externas de tensión, cargas debidas a momentos y cargas de cortante, o una combinación de ellas, una buena solución es la unión atornillada simple que tenga arandelas de acero endurecido. Una unión de ese tipo puede resultar peligrosa, a menos que se diseñe de manera adecuada y la ensamble un mecánico capacitado.



**Figura 14.** Conexión de perno con rosca

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008) Diseño en ingeniería mecánica de Shigley

## 2.3 Marco conceptual

**2.3.1 Diseño.** Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema particular. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse. EL diseño es un proceso innovador y altamente iterativo. (Budynas & Nisbett, 2008)

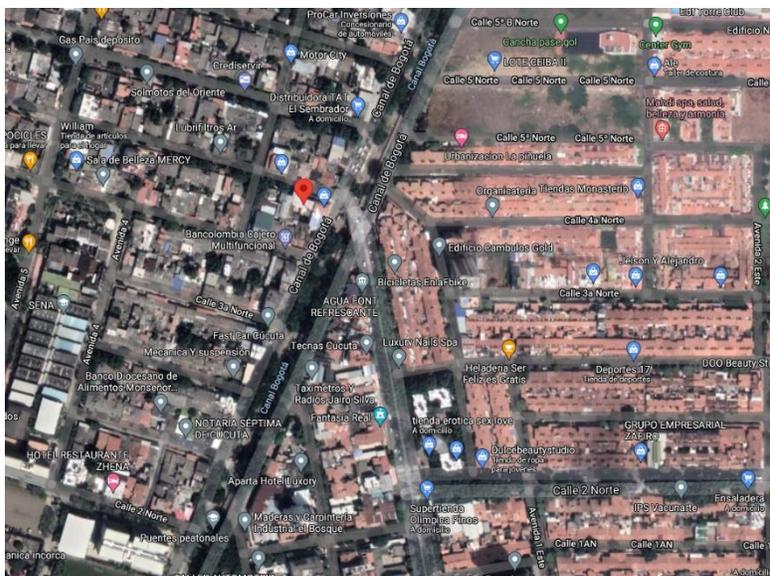
**2.3.2 Diseño mecánico.** Existe muchas disciplinas las cuales fundamentan el diseño mecánico como lo son; la mecánica de los materiales; mecánica de fluidos; la transferencia de calor; la termodinámica; los procesos de manufactura; teorías de electricidad; entre otras.

**2.3.3 Cargas.** Los tipos de cargas se dividen en varias clases, con base en el carácter de las cargas aplicadas, y la presencia o ausencia de movimiento en el sistema, en general, las cargas se clasifican de acuerdo con su naturaleza y duración de la aplicación. Como tales, se les denomina cargas muertas, cargas vivas y cargas ambientales. (McCormac & Csernak, 2012)

**2.3.4 Grúa.** Una grúa es una máquina destinada a subir y distribuir cargas en el espacio suspendidas de un gancho. La grúa es de las primeras máquinas que existieron en el mundo. Por regla general son ingenios que cuentan con poleas acanaladas, contrapesos, mecanismos simples, etc. para crear ventaja mecánica y poder mover grandes cargas.

## 2.4 Marco Contextual

El diseño del siguiente proyecto se realizará para la empresa de mantenimiento industrial Heros S.A.S ubicada en la ciudad de Cúcuta, donde cuentan con una gran área de fabricación enfocados en el ámbito de metalmecánica.



**Figura 15.** Ubicación del taller de mantenimiento industrial Heros S.A.S

Fuente: Google maps

## 2.5 Marco Legal

De la resolución 2400 de 1979 (mayo 22) ministerio de trabajo y seguridad social se establecen las siguientes normas en los establecimientos de trabajo:

Artículo 267. Los órganos móviles de las máquinas, motores, transmisiones, las piezas salientes y cualquier otro elemento o dispositivo mecánico que presente peligro para los trabajadores, deberán ser provistos de la adecuada protección por medio de guardas metálicas o resguardos de tela metálica que encierre estas partes expuestas a riesgos de accidente.

Parágrafo. Los engranajes, siempre que ofrezcan peligro, deberán estar protegidos convenientemente, y estas protecciones deberán disponerse en tal forma que, sin necesidad de levantarlas, permitan el engrasado. Las transmisiones por tornillo sin fin, cremallera, cadena o rueda dentada, y similares deberán protegerse adecuadamente.

Artículo 279. Los interruptores eléctricos manuales se situarán en posición que dificulte en lo posible el arranque o parada de la máquina por el contacto inadvertido de personas u objetos extraños. En el caso de interruptores de palancas horizontales, éstas deberán estar adecuadamente resguardadas. Los botones de presión de arranque y parada de las máquinas, deberán estar embutidos o protegidos en cualquier otra forma.

Artículo 388. En los establecimientos de trabajo, en donde los trabajadores tengan que manejar (levantar) y transportar materiales (carga), se instruirá al personal sobre métodos seguros para el manejo de materiales, y se tendrán en cuenta las condiciones físicas del trabajador, el peso y el volumen de las cargas, y el trayecto a recorrer, para evitar los grandes esfuerzos en estas operaciones.

Parágrafo. Los patronos elaborarán un plan general de procedimientos y métodos de trabajo; seleccionarán a los trabajadores físicamente capacitados para el manejo de cargas; instruirán a los trabajadores sobre métodos correctos para el levantamiento de cargas a mano y sobre el uso del equipo mecánico y vigilarán continuamente a los trabajadores para que manejen la carga de acuerdo con las instrucciones, cuando lo hagan a mano, y usen en forma adecuada las ayudas mecánicas disponibles.

Artículo 398. Los equipos para el movimiento de materiales etc. constantemente, de un lugar a otro, como los transportadores; los que mueven materiales, intermitentemente, de un lugar a otro, en un perímetro determinado, como las grúas y malacates; los que mueven materiales de un lugar

a otro, en un perímetro indeterminado, como las vagonetas, serán construidas de materiales resistentes que ofrezcan seguridad en su manejo y transporte.

Artículo 410. Las grúas de carriles elevados, de caballete, de portada, de torre, de martillo, locomotriz, de oruga mural, de pescante, de columna, de bastidor, cabrestante poste grúa, de tirantes de cable, de tripié, y malacates, etc., se diseñarán para la carga máxima que van a mover, y ésta no deberá excederse.

Artículo 421. El equipo móvil de fuerza motriz para transporte de materiales, deberá ser apropiado para cada tipo de trabajo y de resistencia adecuada para soportar las cargas a las cuales estará sujeto. Todo aparato destinado a levantar cargas, inclusive los izadores (Ministerio de trabajo y seguridad social) de cadena, deberá tener señalado, en lugar visible desde el piso o terreno, su carga máxima en kilogramos, la cual quedará prohibido sobrepasar.

### **3. Diseño metodológico**

#### **3.1 Tipo de investigación**

El proyecto se enmarca en la modalidad de sistematización de conocimientos, de acuerdo con el estatuto estudiantil de la UFPS Adaptando una serie de procesos y procedimientos analíticos, obtenidos a través de las áreas vistas en el transcurso de la carrera como lo son; la resistencia de materiales, el diseño de estructuras, mecanismos, entre otros y las bibliografías consultadas. Aplicando el conocimiento adquirido se logrará un diseño adecuado para la empresa de mantenimiento industrial Heros S.A.S.

#### **3.2 Fuentes de información**

**3.2.1 Fuentes primarias.** Manuales de fabricantes, norma CMAA y libros de ingeniería vistos en el transcurso del programa de ingeniería mecánica.

**3.2.2 Fuentes secundarias.** Libros consultados, proyectos de grados, páginas webs y artículos científicos relacionados con el tema del proyecto.

#### **3.3 Desarrollo metodológico**

Para alcanzar los objetivos propuestos se realizó las siguientes etapas:

1. Búsqueda de antecedentes e información: Se realizó una búsqueda de bibliografía relacionados con el tema objeto del presente proyecto.
2. Selección del tipo de grúa pórtico a diseñar
3. Se definieron los parámetros de diseño

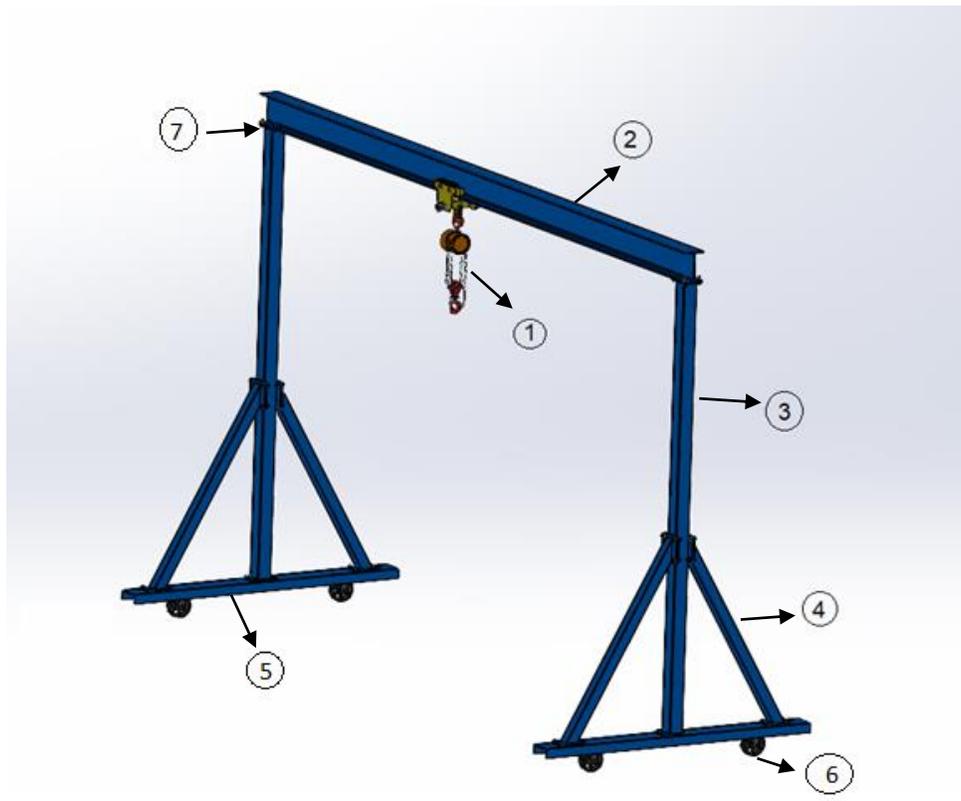
4. Cálculo analítico y selección de materiales para la grúa pórtico: se realizó los cálculos para el diseño de las partes que compone la grúa tipo pórtico, y se seleccionaran tanto el elementó de izaje como el material de la estructura.
5. Simulación de la grúa pórtico: se realizó la simulación con el fin de obtener un análisis de esfuerzo para garantizar la seguridad de la estructura.
6. Planos de construcción y montaje: se elaboraron planos de construcción y montaje de la grúa tipo pórtico
7. Se elaboro de tabla de costos de construcción
8. Resultado del informe final: se analizaron los resultados y se elaboraron las conclusiones respectivas a los objetivos del proyecto
9. Socialización del proyecto: se sustentará ante los jurados de calificación del proyecto de grado.

## 4. Desarrollo del proyecto

### 4.1 Selección del tipo de grúa.

Para la selección del tipo de grúa pórtico teniendo en cuenta las diferentes alternativas de diseño en la información recopilada y partiendo de las necesidades del taller, se opta por diseñar una grúa pórtico monorraíl, debido a que las dimensiones del taller son pequeñas y se necesita una estructura liviana a la hora de recorrer dicho taller.

La grúa se moverá a través del taller por ruedas de transporte auto bloqueantes, esto a petición de la empresa HEROS S.A.S y su movimiento será de forma manual.



**Figura 16.** Grúa pórtico monorraíl y sus partes.

Partes de la grúa pórtico a diseñar y seleccionar:

1. Polipasto eléctrico o manual.

2. Viga principal.
3. Columnas de sección rectangular.
4. Pie de amigo.
5. Viga de soporte.
6. Ruedas de transporte
7. Unión apornada y soldada.

#### **4.2 Parámetros de diseño.**

Para realizar el diseño de la grúa pórtico se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

Dimensiones del taller: 120 m<sup>2</sup> aproximadamente

Capacidad de carga: 5000 kg

Mecanismo de elevación: Eléctrico con la segunda opción manual

Tipo de servicio según CMAA (Crane Manufacturers Association of America): Servicio clase C

Esta clase cubre a los puentes grúa instalados en talleres mecánicos, fábricas de papel. Donde las cargas promedio son menores al 50% de la capacidad nominal, con una tasa de trabajo de entre 5 y 10 elevaciones por hora, con un promedio de 15 pies de altura de elevación, sin sobrepasar el 50% de la capacidad nominal de levantamiento.

Distancia de izaje: 3 metros

Distancia de la luz: 4 metros

Altura de la grúa: 4 metros

#### **4.3 Selección del polipasto.**

El mecanismo de elevación estará compuesto de un polipasto junto con su trole monorraíl, lo cual se moverá a través a lo largo de la viga de la grúa pórtico, los movimientos del mecanismo de

elevación, horizontal y vertical. Para el diseño se tendrá en cuenta el polipasto eléctrico ya que cuenta con mayor peso y las cargas son mayores, por ende, se tendrá la opción de seleccionar un polipasto manual como segunda opción por cuestión de costos.

Teniendo en cuenta la capacidad máxima de izaje, la distancia máxima y las velocidades recomendadas en la sección 2.2.8, se seleccionará el polipasto.

Distancia de izaje: 3 metros

Capacidad de carga: 5000 kg

Velocidad recomendada según la CMAA (Crane Manufacturers Association of America): 50ft/min a 120 ft/min ver Tabla 1

El polipasto eléctrico seleccionado se encuentra en la Figura 17 cuenta con capacidad de 5 toneladas, y 9 metros de cadena de izaje.

Las dimensiones y las especificaciones del polipasto eléctrico se muestran en la Tabla 2 y Tabla 3 respectivamente del presente documento.

También, se tuvo en cuenta, un polipasto, con trole manual el cual se encuentra en la Tabla 4 con sus respectivas especificaciones, para el polipasto se seleccionó teniendo en cuenta, las 5 toneladas de izaje, ver Figura 19, y sus respectivas especificaciones y dimensiones en la Tabla 5 y Tabla 6. Figura 19 Polipasto manual Yalelif360 modelo YL5000.



**Tecla Cadena con Carro Eléctrico 5 Tons 3 Fases 9 Metros 2 Speed Heavy Duty.**

SKU: PWRC5i

[Solicitar](#)

**Características Esenciales**

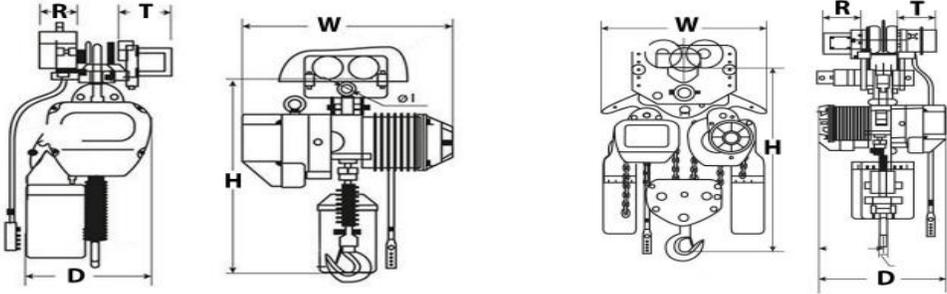
- La Calidad está adentro: Heavy Duty H3/M4. Aluminum Alloy housing, NSK Bearings, USA Chevron Meropa
- Cadena G100 Super Heavy Duty, Standard ASTM A973. Limitadores de Recorrido en todas las direcciones
- Flexibilidad: Voltaje, altura de izaje y alcance de la botonera se pueden customizar.
- Estándares: US y EC ASME HST-1, ASME B30.16/B30.17, EN14492-2, EN60204-32
- 3 Años de Garantía, Partes y Servicios Disponibles en América



**Figura 17.** Polipasto eléctrico

Fuente: (Prowinch.co, 2022)

**Tabla 2.** Dimensiones del polipasto



Peso & Dimensiones		Detalles del Empaque	
T Motor del Carro	9.09 in / 231 mm	NW1 Peso Neto	545 lbs / 247 Kg
R Carro Ancho Caja	5.5 in / 142 mm	GW1 Peso Bruto	593 lbs / 269 Kg
H Altura Muerta	40 in / 1015 mm	PH1 Altura Empaque	17 in / 43 cm
D Depth	17 in / 430 mm	PW1 Ancho Empaque	28 in / 70 cm
W Ancho	24 in / 615 mm	PD1 Profundidad Empaque	44 in / 111 cm
Peso Total	545 lbs / 247 Kg		

Fuente: (Prowinch.co, 2022)

**Tabla 3.** Especificaciones técnicas del polipasto eléctrico

Capacidad de Carga	11000 lb / 5000kg	Velocidad /min	11ft/3.4m@60Hz 9ft/2.7m@50Hz
Numero de Velocidades	1 Speed	Altura de Izaje	30 ft / 9 m
Clase de Servicio	H3/M4/1Am/Class C	Potencia Motor	3 kW
Grado de Aislacion	F	RPM Motor	1728@60Hz 1440@50HZ
Nivel de Protección	IP55	Voltaje	220~240/380/440~480V 50/60Hz 3 Phase
Voltaje preestablecido de Fabrica	230V-US / 380-CHILE	AMP	10 / 5
Voltaje del Control	24V	Control	Pendant Control and Optional Wireless
Contactador	EATON 25 AMP	Tipo de Cadena	G100
Dimensiones de la Cadena	11.2 x 34 mm	Caidas de Cadena	2
Longitud de cadena	60 ft / 18 m	Humedad	<85%
Temperatura	-4 ~ 104° F / -20 ~ 40° C	Nivel de Ruido	81 dB
Velocidad del Trolley /min	36 ft / 11 m	Cantidad de Velocidades	1
Potencia del Trolley	0.8 kW	Ancho de la Viga	100-178 mm
Radio Mínimo de Giro	4.9 ft / 1.5 m	Normas	ASME HST-1 , ASME B30.16 , B30.17 , EN14492-2 , EN60204-32
Garantía	3 Year		

Fuente: (Prowinch.co, 2022)

**Figura 18.** Trole manual de jalón633 CM

Fuente: (Columbus Mckinnon, 2022)

**Tabla 4.** Tabla de especificaciones del trole manual CM633

Capacidad (ton)	Altura de la Viga "I" (cm)	Ancho de la Viga "I" (cm)	Diámetro de ruedas (cm)	Peso (kg)
1/2	7.6-38.1	6.4-14.3	5.8	8
1	12.7-61	7.6-20.3	8.81	16
2	15.2-61	9.2-20.3	10	24
3	20.3-61	10.2-20.3	13.01	45
5	25.4-61	11.7-20.3	15.55	79

Fuente: (Columbus Mckinnon, 2022)

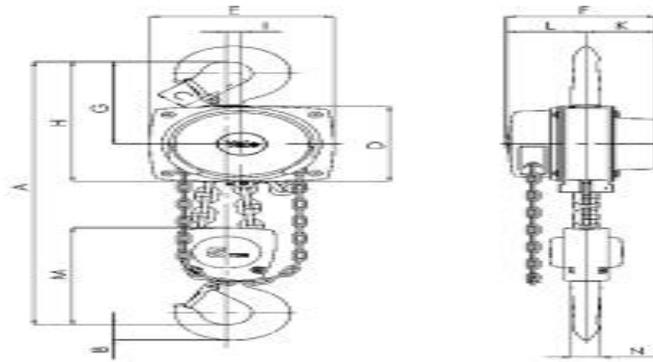
**Figura 19.** Polipasto manual Yalelif360 modelo YL5000

Fuente: (Columbus Mckinnon, 2022)

**Tabla 5.** Ficha técnica del polipasto manual

Modelo	Capacidad kg	Número de ramales	Dimensiones de la cadena d x p mm	Elevación por cada metro de caída de mando (mm)	Esfuerzo a carga nominal (kgf)	Peso con altura elevación estándar (3 m) kg
YL 500*	500	1	5 x 15	33	21	9
YL 1000*	1,000	1	6 x 18	20	30	13
YL 2000*	2,000	1	8 x 24	14	32	20
YL 3000*	3,000	1	10 x 30	12	38	29
YL 5000*	5,000	2	10 x 30	6	34	38
YL 10000	10,000	3	10 x 30	4	44	71

Fuente: (Columbus Mckinnon, 2022)

**Tabla 6.** Dimensiones del polipasto manual**Modelo Yalelift 360/5,000 kg,  
dos ramales**

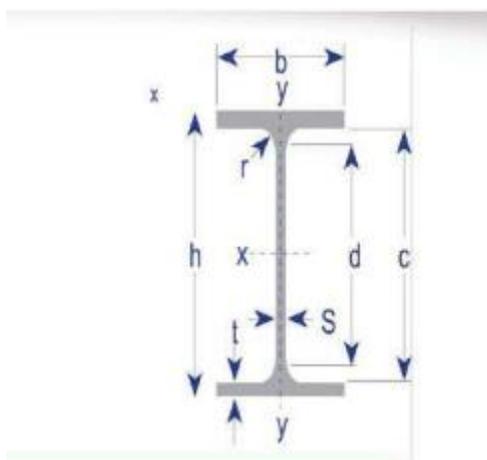
Modelo	YL 500	YL 1000	YL 2000	YL 3000	YL 5000	YL 10000	YL 20000
A mín, mm	300	335	395	520	654	825	1.065
B, mm	17	22	30	38	45	68	85
C, mm	24	29	35	40	47	68	64
D, mm	133	156	182	220	220	220	303
E, mm	148	175	203	250	250	383	555
F, mm	148	167	194	219	219	219	250
G, mm	139	164	192	225	242	326	391
H, mm	206	242	283	335	352	436	501
I, mm	24	24	31	34	21	136	-
K, mm	61	70	83	95	95	95	396
L, mm	87	97	111	124	124	124	125
M, mm	110	125	156	178	285	401	471
N, mm	14	19	22	30	37	50	56

Fuente: (Columbus Mckinnon, 2022)

## 4.4 Diseño de la estructura de la grúa tipo pórtico monorraíl

### 4.4.1 Perfil de la viga principal (laminados en caliente)

**4.4.1.1 Viga IPE.** El perfil IPE tiene forma de I, por lo que cuenta con alas que no varían su espesor y estas son completamente perpendiculares al alma en su parte exterior. La altura de la viga está definida por los dígitos que acompañan su designación (Ejem. IPE 120, en este caso la altura ( $h$ ) será de 120 mm); en la unión de las alas con el flanco en la parte interior tiene un redondeo ( $r$ ) que permite aliviar esfuerzos.



**Figura 20.** Viga IPE

Fuente: (Panelco,2020)

**4.4.2 Material: acero estructural.** Los aceros estructurales son usados en diferentes aplicaciones, desde la construcción de edificios, partes de vehículos, hasta la construcción de puentes y estructuras diseñadas para diferentes fines; la principal característica de estos aceros es que cuentan con diferentes materiales con el azufre, silicio, molibdeno, entre otros. Y gracias a esto permite tener alta confiabilidad de la calidad de los mismos e igualmente contar con propiedades y ventajas mecánicas como lo son:

Alta resistencia a la tensión y compresión

Rango elástico amplio

Ductilidad

Buena resistencia a la corrosión

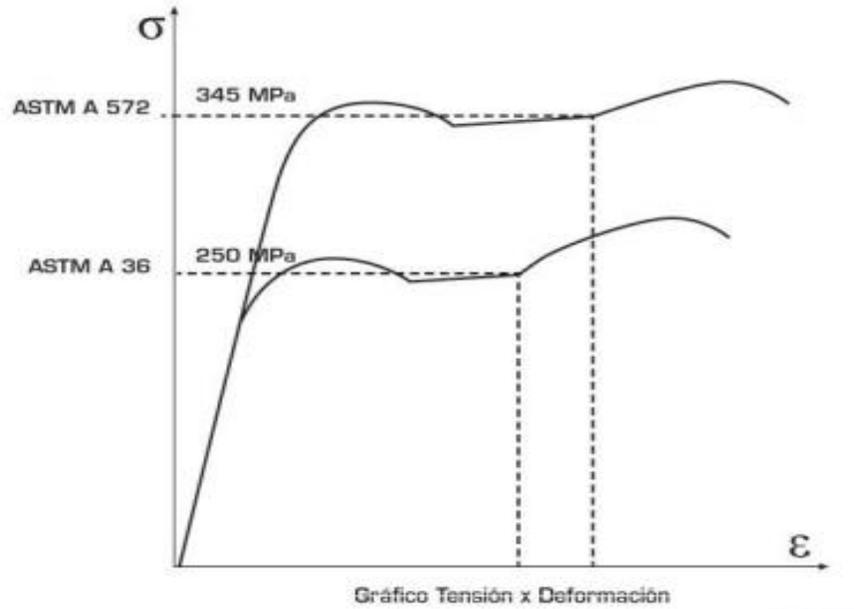
**4.4.2.1 Acero A572 G50.** El A572 grado 50 es un acero de alta resistencia y baja aleación que cuenta con la adición de Columbio y Vanadio, componentes que le permiten tener alta resistencia a la fatiga, dureza y alta ductilidad; se utiliza principalmente para la fabricación de estructuras soldadas como puentes, chasis y maquinaria industrial, de igual forma se utilizan como vigas principales y secundarias de mezanines.

**Tabla 7.** Propiedades mecánicas del acero A572 G50

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

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

Fuente: (Ferrocortes, 2017)



**Figura 21.** Grafica esfuerzo-deformación de los aceros A36 y A572 G50

Fuente: (Ferrocortes, 2017)

Para el diseño de la estructura, se selecciona el acero A572 G50 como el material indicado, debido al alto valor de fluencia ( $S_y$ ) que tiene este acero en comparación al acero A36, otro punto a favor de este acero es que todas las compañías del sector metalúrgico consultadas como Steckerl aceros y ferretería GyJ, consideran que es un material ideal para la elaboración de estructuras, vigas de perfil IPE.

**4.4.3 Parámetros para el diseño de la viga.** Para el siguiente calculo se tomará las unidades del sistema internacional (SI) (metro, kilogramo, segundo, kelvin) y se tendrá en cuenta la aceleración de la gravedad como un valor de:

$$g = 9.8 \frac{m}{s^2}$$

Cargas presentes en la viga:

1. Carga a levantar: (CL)

$$CL = 5000kg \times 9.8 \frac{m}{s^2} = 49 KN$$

## 2. Peso del Polipasto (PL)

Polipasto eléctrico (PLE)

$$PLE = 247 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2.93 \text{ KN}$$



Polipasto manual (PLM)

$$PLM = 150 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1.47 \text{ KN}$$

## 3. Peso de la viga ( $W_v$ ):

Se realizará el cálculo asumiendo una viga de sección IPE 300 con un peso propio de  $W_v = 42.2$  Kg/m

$$W_v = 42.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 413.56 \text{ N/m}$$

## 4. Material:

Acero A572 G50  $S_y = 345 \text{ MPa}$

Se puede considerar un peso total que está conformado por la suma del peso del mecanismo de elevación (PLE) y el peso de la carga a levantar (CL), que fueron calculados con anterioridad, esto se puede realizar debido a que los pesos siempre se encuentran alineados por estar suspendido uno del otro, esto para facilitar la colocación de las cargas en el diagrama de cuerpo libre (D.C.L).

$$W(\text{total}) = PLE + CLE$$

$$W(\text{total}) = 2.93 \text{ KN} + 49 \text{ KN} = 51.93 \text{ KN}$$

### 4.4.4 Cálculo de la viga por el método de resistencia LRFD y según la norma AISC 360

#### 4.4.4.1 Cálculo de las cargas combinadas que actúan en la viga

$$W_U = 1.2 W_D + 1.6 W_L$$

Donde

$W_U =$  carga ultima

$W_D =$  Carga muerta o carga permanente

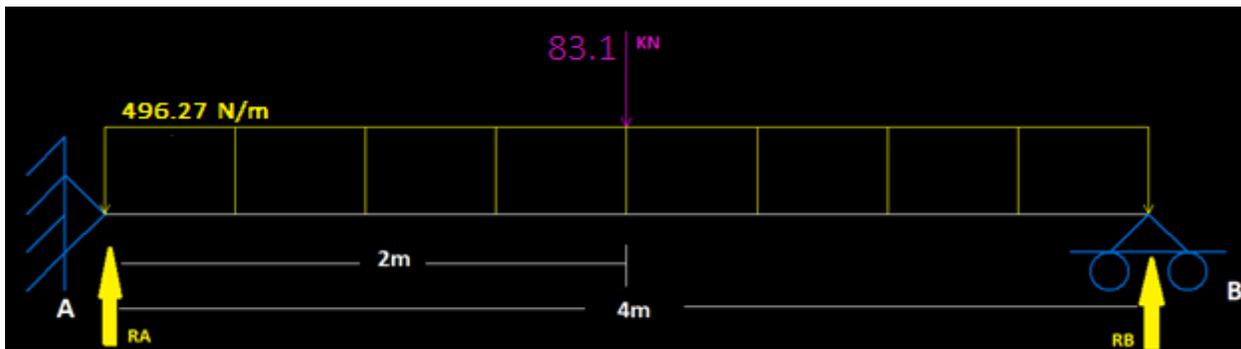
$W_L =$  Carga viva o carga variable

$W_D = W_v = 413.56 \text{ N/m}$

$W_L = W(\text{total}) = 51.93 \text{ KN}$

$$W_D = 1.2 (413.56 \text{ N/m}) = 496.27 \text{ N/m}$$

$$W_L = 1.6 (51.93 \text{ KN}) = 83.10 \text{ KN}$$



**Figura 22.** Diagrama de cuerpo libre de la viga de carga D.C.L con cargas mayorizadas

Cálculo de las reacciones:

$$\sum M_A = -83.1 * 2 - (0.496 * 4) * 2 + R_b * 4 = 0$$

$$R_b = 42.54 \text{ KN}$$

$$R_A = 42.54 \text{ KN}$$

La resistencia nominal de un miembro a tensión,  $M_n$ , se considerará igual al momento plástico  $M_p$ , debido a que será el límite para que la sección falle y por ende el momento ultimo  $M_u$  deberá ser menor que  $M_p$ .

Conociendo el valor del momento ultimo  $M_U$  puedo obtener el módulo plástico para la verificación del perfil de la viga.

$$\phi_b * M_n \geq M_U$$

$$M_n = M_p = F_Y * Z_X$$

$$\phi_b (F_Y * Z_X) \geq M_U$$

$$Z_X \geq \frac{M_U}{\phi_b * F_Y}$$

Donde:

$\phi_b$  = Factor de reducción o factor de minoración de resistencia a la flexión = 0.9 para el

LRFD

$M_n$  = Momento resistente o nominal

$M_U$  = Momento Ultimo

$M_p$  = Momento Plástico

$F_Y$  = Tensión a la cedencia o límite de fluencia

$Z_X$  = Modulo plástico de la sección correspondiente al eje (x) donde se aplica la flexión

Teniendo la carga ultima y la longitud de la viga se haya, el momento ultimo con la siguiente ecuación:

$$M_U = \frac{W_D * longitud^2}{8} + \frac{W_L * longitud}{4}$$

$$M_U = \frac{496.27 \text{ N/m} * (4 \text{ m})^2}{8} + \frac{83.1 \times 10^3 \text{ N} * 4 \text{ m}}{4} =$$

$$M_U = 84.1 \text{ KN} * \text{m}$$

Una vez hallado el momento ultimo y teniendo la resistencia a la tracción de la del acero A572 G50, se halla el módulo plástico de la sección para seleccionar el perfil de la viga.

$$Z_x \geq \frac{84.1 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}}{0.9 \cdot 345 \times 10^6 \text{ pa}}$$

$$Z_x = 0.000271 \text{ m}^3 \cdot 100^3 \text{ cm}^3$$

$$Z_{xi} = 270.9 \text{ cm}^3$$

Teniendo el módulo plástico de la sección de la viga, al comparar con el módulo plástico real cumple por encima con la condición,  $Z_{xr} > Z_{xi}$  por lo tanto se seleccionará en el catálogo la viga IPE 300. Esto porque debe también cumplir las condiciones por flecha o deflexión calculadas en el capítulo posterior a este.

**Tabla 8.** Dimensiones y propiedades para el diseño de perfiles IPE

PERFILES IPE	DIMENSIONES Y PROPIEDADES PARA EL DISEÑO																	
	DIMENSIONES							AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS						MODULO PLASTICO		CONS TORS
	ALTURA		ALA		DISTANCIAS					EJE X-X			EJE Y-Y			Zx	Zy	
	h	s	b	t	r	c	d			lx	Sx	rx	ly	Sy	ry			
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/mt	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>		
IPE 80	80.00	3.80	46.00	5.20	5.00	69.60	59.60	7.64	6.00	80.10	20.00	3.24	8.50	3.70	1.05	23.20	5.80	0.70
IPE 100	100.00	4.10	55.00	5.70	7.00	88.60	74.60	10.30	8.10	171.00	34.20	4.07	15.90	5.80	1.24	39.40	9.10	1.20
IPE A 120	117.60	3.80	64.00	5.10	7.00	107.40	93.40	11.00	8.66	257.00	43.80	4.83	22.40	7.00	1.42	49.90	11.00	1.04
IPE 120	120.00	4.40	64.00	6.30	7.00	107.40	93.40	13.20	10.40	318.00	53.00	4.90	27.70	8.60	1.45	60.70	13.60	1.74
IPE A 270	267.00	5.50	135.00	8.70	15.00	249.60	219.60	39.10	30.70	4.917.00	368.00	11.20	358.00	53.00	3.02	412.00	82.30	10.30
IPE 270	270.00	6.60	135.00	10.20	15.00	249.60	219.60	45.90	36.10	5.790.00	429.00	11.20	420.00	62.20	3.02	484.00	97.00	15.90
IPE O 270	274.00	7.50	136.00	12.20	15.00	249.60	219.60	53.80	42.30	6.947.00	507.00	11.40	513.00	75.50	3.09	575.00	118.00	24.90
IPE R 270	276.00	7.70	133.00	13.10	15.00	249.80	219.80	56.00	44.00	7.312.00	530.00	11.40	516.00	77.60	3.03	602.00	121.00	28.80
IPE A 300	297.00	6.10	150.00	9.20	15.00	278.60	248.60	46.50	36.50	7.173.00	483.00	12.40	519.00	69.20	3.34	542.00	107.00	13.40
IPE 300	300.00	7.10	150.00	10.70	15.00	278.60	248.60	53.80	42.20	8.356.00	557.00	12.50	604.00	80.50	3.35	628.00	125.00	20.10
IPE O 300	304.00	8.00	152.00	12.70	15.00	278.60	248.60	62.80	49.30	9.994.00	658.00	12.60	746.00	98.10	3.45	744.00	153.00	31.10
IPE R 300	306.00	8.50	147.00	13.70	15.00	278.60	248.60	65.90	51.70	10.500.00	686.00	12.60	728.00	99.00	3.32	780.00	155.00	37.10

Fuente: (Panelco,2020)

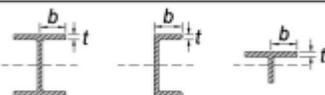
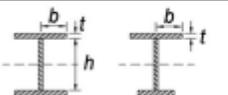
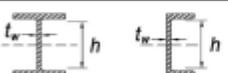
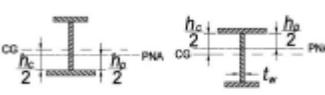
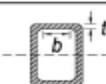
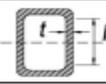
Peso: 42.2 kg/m

Zx: 628 cm<sup>3</sup>

Las demás especificaciones se encuentran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

**4.4.4.2 Clasificación de la sección, de acuerdo con su esbeltez (pandeo local).** Para realizar el cálculo y verificar la esbeltez de la viga, de modo que pueda ocurrir un pandeo local en el alma o el ala, se tiene en cuenta la siguiente tabla B4. 1b de las especificaciones AISC 360 o también mostradas en la Razones ancho-espesor de la sección de la viga **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** del presente documento.

**Tabla 9.** Razones ancho-espesor de la sección de la viga

Caso	Descripción del elemento	Razón Ancho-Espesor	Razones Ancho-Espesor Límite		Ejemplos	
			$\lambda_p$ (compacta-no compacta)	$\lambda_s$ (esbelto-no esbelto)		
Elementos No-Atiesados	10	Flexión en alas de perfiles I laminados, canales y tes.	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Alas de secciones I soldadas con doble y simple simetría.	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ <sup>[a] [b]</sup>	
	12	Alas de ángulos simples	$b/t$	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Alas de toda doble T y canal en torno a su eje más débil.	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Almas de tes	$d/t$	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Elementos Atiesados	15	Almas de doble T simétricas y canales.	$h/t_w$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Almas de secciones doble T con un solo eje de simetría.	$h_c/t_w$	$\frac{h_c}{h_p} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ <sup>[c]</sup> $\left( \frac{0.54 M_p}{M_r} - 0.09 \right) \leq \lambda_s$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	Alas de secciones tubulares y secciones cajón de espesor uniforme.	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Alas de sobre planchas y planchas diafragma entre líneas de conectores y soldadura.	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Almas de tubos rectangulares y secciones cajón.	$h/t$	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	20	Tubos redondos.	$D/t$	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$	

Fuente: (Aguirre, 2010) Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero

Valores límites para considerar diferentes secciones, compactas, no compactas, y esbeltas.

$\lambda$  = relación ancho-espesor  $b/t$  de la sección transversal

1.  $\lambda \leq \lambda_p \rightarrow$  Sección Compacta
2.  $\lambda_p < \lambda < \lambda_r \rightarrow$  Sección no compacta
3.  $\lambda > \lambda_r \rightarrow$  Sección esbelta

De la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para alas (elementos no atiesados,

caso 10)

Caso	Descripción del elemento	Razón Ancho-Espesor	Razones Ancho-Espesor Límite		
			$\lambda_p$ (compacta-no compacta)	$\lambda_r$ (esbelta-no esbelta)	
10	Flexión en alas de perfiles I laminados, canales y tes.	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

$$\lambda_{ala} = \frac{b}{t} = \frac{b}{2 * t}$$

$$\lambda_{ala} = \frac{150mm}{2 * 10.7mm} = 7$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{210 * 10^9 pa}{345 * 10^6 pa}} = 9.37$$

Como se cumple la primera condición de  $\lambda \leq \lambda_p$  es una sección compacta por lo que no abra pandeo local.

De la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para el alma (elementos

atiesados, caso 15)

15	Almas de doble T simétricas y canales.	$h/t_w$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
----	----------------------------------------	---------	-----------------------------	-----------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

$$\lambda_{alma} = \frac{h}{t_w} = \frac{c}{s}$$

$$\lambda_{alma} = \frac{278.6 \text{ mm}}{7.1 \text{ mm}} = 39.24$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{210 * 10^9 \text{ pa}}{345 * 10^6 \text{ pa}}} = 92.76$$

El alma también cumple la primera condición  $\lambda \leq \lambda_p$  es sección compacta.

El valor límite de  $\lambda_p$  supera en ambos casos (ala y alma) la relación, ancho/espesor (b/t), por lo que no es necesario hacer una verificación por pandeo local ya que no habrá.

**Tabla 10.** Sección en capítulo F de la norma AISC 360

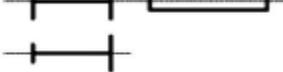
Sección en Capítulo F	Descripción y aplicación
F1.	Disposiciones Generales
F2.	Miembros Compactos de Sección H de simetría doble y Canales flectados en torno a su eje mayor
F3.	Miembros de Sección H de simetría doble con Almas Compactas y Alas No Compactas o Esbeltas flectados en torno a su eje mayor
F4.	Otros Miembros de Sección H con Almas Compactas o No Compactas flectados en torno a su eje mayor
F5.	Miembros de Sección H de simetría doble y simple con Almas Esbeltas flectados en torno a su eje mayor
F6.	Miembros de Sección H y Canales flectados en torno a su eje menor
F7.	Perfiles tubulares cuadrados y rectangulares
F8.	Perfiles tubulares circulares
F9.	Secciones T y Ángulos Dobles cargados en el plano de simetría
F10.	Ángulos Simples
F11.	Barras Rectangulares y Circulares
F12.	Secciones Asimétricas
F13.	Requisitos Dimensionales de Vigas

Fuente: (Aguirre, 2010) Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero

Teniendo que el ala y el alma son miembros compactos, se selecciona la sección F2 de la norma para aplicar las expresiones en el cálculo del momento resistente. Como se puede observar en la

Tabla 11, muestra los estados límites que se deben evaluar dependiendo a cada caso, en el caso de la sección F2 Solo se evaluará los estados límites de la cedencia y el pandeo lateral-torsional.

**Tabla 11.** Selección para la aplicación de las secciones del capítulo F

Sección en Capítulo F	Sección	Esbeltez Alta	Esbeltez Alma	Estados Límites
F2		C	C	Y, LTB
F3		NC, S	C	LTB, FLB
F4		C, NC, S	C, NC	Y, LTB, LLB, TFY
F5		C, NC, S	S	Y, LTB, LLB, TFY
F6		C, NC, S	N/A	Y, LTB
F7		C, NC, S	C, NC	Y, LTB, LLB
F8		N/A	N/A	Y, LTB
F9		C, NC, S	N/A	Y, LTB, LLB
F10		N/A	N/A	Y, LTB, LLB
F11		N/A	N/A	Y, LTB
F12	Perfiles asimétricos diferentes de ángulos simples	N/A	N/A	Todos

Y = fluencia, LTB = pandeo lateral-torsional, FLB = pandeo local ala, WLB = pandeo local alma, TFY = fluencia ala tracción, LLB = pandeo local ala, LB = pandeo local, C = compacto, NC = no-compacto, S = esbelto

Fuente: (Aguirre, 2010) Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero

**4.4.5 Revisión de la longitud no arriostrada (pandeo lateral-torsional).** La viga no se encuentra soportada lateralmente por lo que la longitud no arriostrada ( $L_b$ ) será la longitud de la luz.

$$L_b = 4 \text{ m} = 400 \text{ cm}$$

Las longitudes límites  $L_p$  y  $L_r$  se determinan con la siguiente ecuación (F2-5) y (F2-6) respectivamente, de la norma AISC 360

$$L_p = 1.76 * r_y * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = 1.95 * r_{ts} * \frac{E}{0.7 * F_y} * \sqrt{\frac{J * C}{S_x * h_0} + \sqrt{\left(\frac{J * C}{S_x * h_0}\right)^2 + 6.76 * \left(\frac{0.7 * F_y}{E}\right)^2}}$$

Condiciones:

- (a) Cuando  $L_b \leq L_p$ , el estado límite de pandeo lateral-torsional no aplica
- (b) Cuando  $L_p < L_b \leq L_r$  Pandeo lateral torsional inelástico (zona 2)

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

- (c) Cuando  $L_b < L_r$  Pandeo lateral torsional elástico (zona 3)

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p$$

Donde:

$$r_{ts} = \frac{\sqrt{I_y * C_w}}{S_x}$$

$C= 1$  para perfiles H con simetría doble

$L_p$ = Longitud no soportada lateralmente máxima para lograr que la viga alcance el momento plástico y tenga capacidad de deformación inelástica después de este punto.

$L_r$  = Longitud no soportada a partir de la cual la viga fallara por pandeo lateral por Flexo-torsión elástico.

Resolviendo:

Para el  $L_p$ :

$r_y = 3.35 \text{ cm} = 0.0335 \text{ m}$  de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

$$L_p = 1.76 * 0.0335 \text{ m} * \sqrt{\frac{210 * 10^9 \text{ pa}}{345 * 10^6 \text{ pa}}} = 1.46 \text{ m} = 146 \text{ cm}$$

Para el  $L_r$ :

$$S_x = 628 \text{ cm}^3 = 0.000628 \text{ m}^3$$

$$I_y = 604 \text{ cm}^4 = 0.00000604 \text{ m}^4$$

$$r_y = 3.35 \text{ cm} = 0.0335 \text{ m}$$

$$J = 20.1 \text{ cm}^4 = 2.1 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$C_w = \frac{I_y * h_0^2}{4} \rightarrow h_0 = h - t_{ala} = 30 \text{ cm} - 1.07 \text{ cm} = 28.93 \text{ cm}$$

$h_0$  = distancia entre centroide de las alas.

$$C_w = \frac{604 \text{ cm}^4 * 28.93^2 \text{ cm}^2}{4} = 126978.7 \text{ cm}^6$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{\sqrt{604 \text{ cm}^4 * 126978.7 \text{ cm}^6}}{628 \text{ cm}^3}} = 3.73 \text{ cm}$$

$$E = 210 * 10^9 \text{ pa} = 2.14 * 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 450 * 10^6 \text{ pa} = 3.52 * 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

Reemplazando en la ecuación de  $L_r$ :

$$L_r$$

$$= 1.95 * 3.73$$

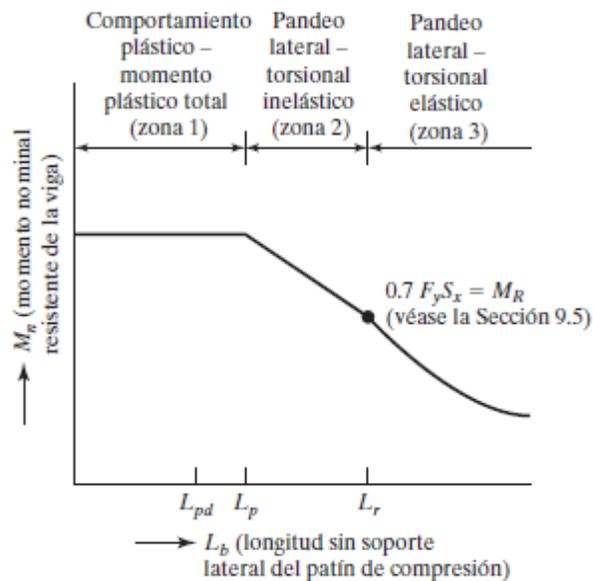
$$* \frac{2.14 * 10^6}{0.7 * 3.52 * 10^3} \sqrt{\frac{20.1 * 1}{628 * 28.93} + \sqrt{\left(\frac{20.1 * 1}{628 * 28.93}\right)^2 + 6.76 * \left(\frac{0.7 * 3.52 * 10^3}{2.14 * 10^6}\right)^2}}$$

$$L_r = 416.9 \text{ cm}$$

Revisión de condiciones:

Se cumple la condición (b)

$L_p < L_b \leq L_r$  Pandeo lateral torsional inelástico (zona 2)



**Figura 23.** momento nominal en función de la longitud no arriostrada

Fuente: (McCormac & Csernak, 2012)

Siguiendo la condición (B) del pandeo lateral torsional inelástico, paso a hallar el momento nominal ( $M_n$ ), con la siguiente ecuación.

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7 * F_y * S_x) * \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

Donde:

$C_b$  = Coeficiente de flexión.

#### 4.4.5.1 Cálculo del coeficiente de flexión $C_b$ .

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

Donde:

$M_A$  = al momento a 1/4 de la longitud de la viga

$M_B$  = al momento a 1/2 de la longitud de la viga

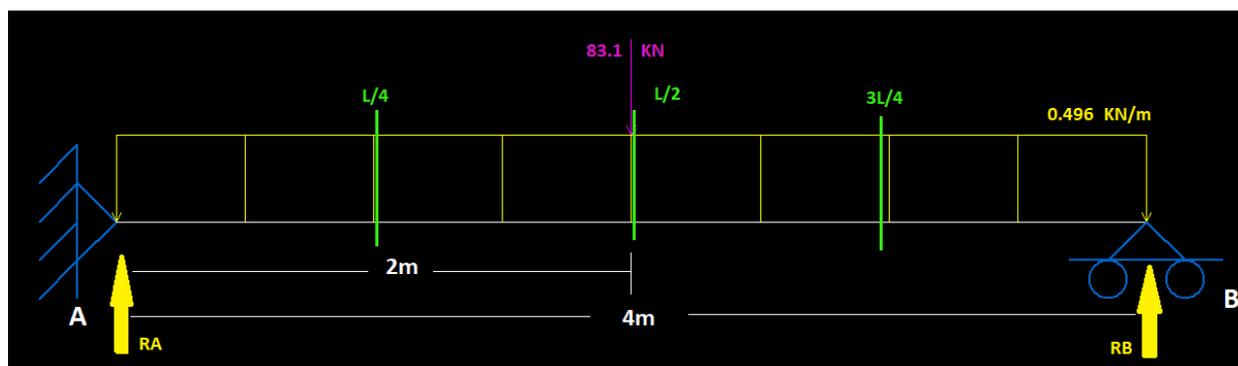
$M_C$  = al momento a 3/4 de la longitud de la viga

$M_{max}$  = el momento máximo en la viga

D.C.L de la viga

$W_v = 496.27 \text{ N/m}$

$W_{total} = 83.1 \text{ KN}$



**Figura 24.** D.C.L de la viga con sus respectivos cortes con cargas mayorizadas

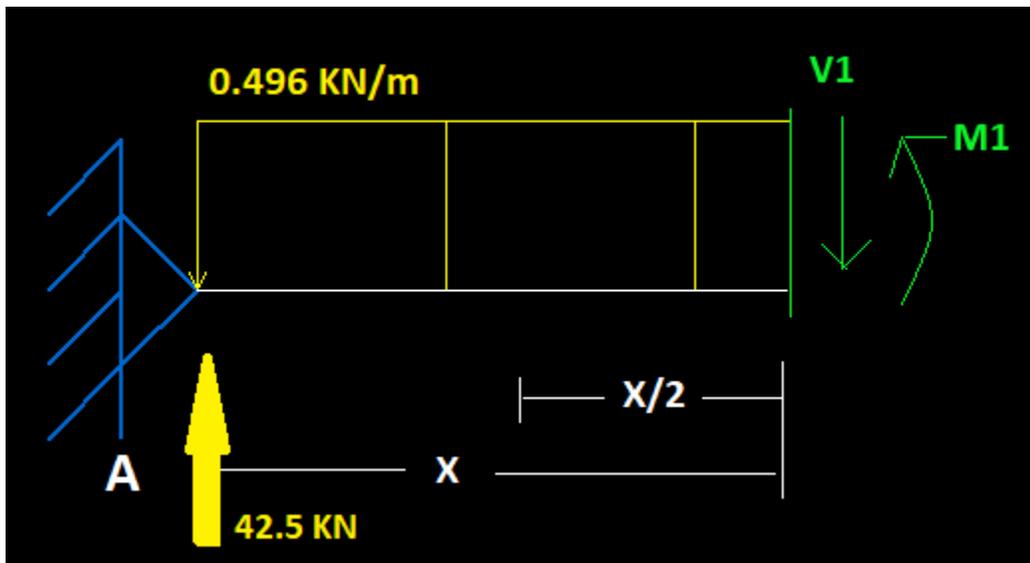
Cálculo de las reacciones en la viga:

$$\circlearrowleft \sum M_A = -83.1 * 2 - (0.496 * 4) * 2 + R_b * 4 = 0$$

$$R_b = 42.5 \text{ KN}$$

$$R_A = 42.5 \text{ KN}$$

D.C.L del primer corte a 1/4 de la longitud no arriostrada de la viga



**Figura 25.** D.C.L del corte a L/4 y L/2 de la viga

$$\circlearrowleft \sum M_1 = 42.5 * x - 0.496 * x * \frac{x}{2} - M1 = 0$$

$$\circlearrowleft \sum M_1 = (42.5) * x - 0.248 * x^2 \rightarrow \text{Ecuacion general para MA y MB}$$

Para  $M_A = M_1 = L/4$  reemplazo en x

$$\circlearrowleft \sum M_A = (42.5) * \frac{4}{4} - 0.248 * \left(\frac{4}{4}\right)^2$$

$$\circlearrowleft \sum M_A = 42.25 \text{ KN} * m$$

Segundo corte a 1/2 de la longitud no arriostrada de la viga

Para  $M_B=L/2$  reemplazo en x

$$\cup \sum M_B = (42.5) * \frac{4}{2} - 0.248 * \left(\frac{4}{2}\right)^2$$

$$\cup \sum M_B = 84 \text{ KN} * m$$

Del tercer corte a 3/4 de la longitud no arriostrada de la viga

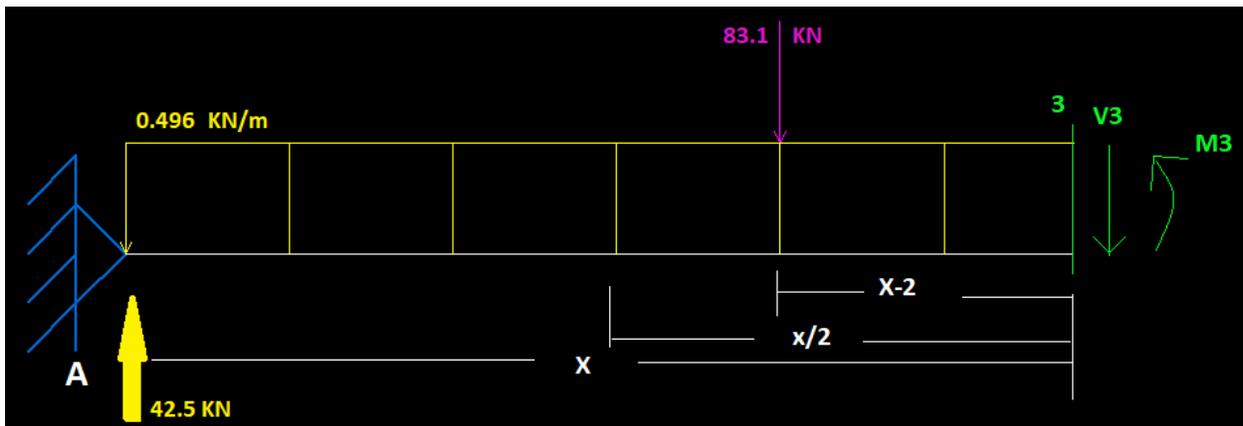


Figura 26. D.C.L para 3L/4 de la viga

Para  $M_c=M_3$  3\*L/4 reemplazo en x

$$\cup \sum M_c = (42.5) * x - 83.1 * (x - 2) - 0.296 * (x)^2 - M_3 = 0$$

$$\cup \sum M_c = (42.5) * \frac{3 * 4}{4} - 83.1 * \left(\frac{3 * 4}{4} - 2\right) - 0.296 * \left(\frac{3 * 4}{4}\right)^2$$

$$\cup \sum M_c = 42 \text{ KN} * m$$

Reemplazando en la ecuación de  $C_b$ , los momentos respectivamente:

$$C_b = \frac{12.5 * 84}{2.5 * 84 + 3 * 42.25 + 4 * 84 + 3 * 42} = 1.3$$

Teniendo el coeficiente de flexión, se reemplaza en la ecuación del momento nominal ( $M_n$ ):

$$M_p = F_Y * Z_X = 345 * 10^6 \text{ pa} * 628 \text{ cm}^3 * \frac{(1m)^3}{(100cm)^3} = 216.7 \text{ KN} * m$$

$$Z_x = 0.000628 \text{ m}^3$$

$$S_x = 0.000557 \text{ m}^3$$

$$L_b = 4 \text{ m}$$

$$L_p = 1.46 \text{ m}$$

$$L_r = 4.17 \text{ m}$$

$$M_n = 1.3 \left[ 216.7 * 10^3 - (216.7 * 10^3 - 0.7 * 345 * 10^6 * 0.000557) * \left( \frac{4 - 1.46}{4.17 - 1.46} \right) \right]$$

$$\leq 216.7 * 10^3$$

$$M_n = 181.57 * m \leq 216.7 * 10^3 \text{ KN} * m$$

$$M_n = 181.57 \text{ KN} * m$$

Como el momento plástico es mayor que el momento nominal, se toma como momento nominal el menor de ambos valores para así ser más conservadores.

#### 4.4.6 Resistencia de diseño en flexión

$$\theta_b * M_n$$

$$0.9 * 181.57 \text{ KN} * m = 163.4 \text{ KN} * m * \frac{1}{9.8 \frac{m}{s^2}} = 16.67 \text{ ton} * m$$

Al comparar la capacidad de la resistencia de diseño, con la demanda del momento ultimo me cumple con el diseño satisfactorio, ya que podrá soportar la capacidad del momento ultimo.

$$M_u \leq \theta_b * M_n$$

$$84.1 \text{ KN} * m \leq 163.4 \text{ KN} * m$$

Porcentaje de aprovechamiento del perfil de la viga.

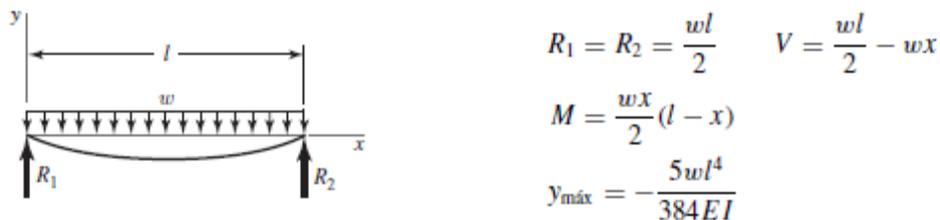
$$\frac{84.1}{163.4} * 100 = 51.5\%$$

#### 4.5 Cálculo de la flecha límite para la viga principal.

**4.5.1 Deflexión máxima permitida según la CMAA.** La norma CMAA 70, establece que, la máxima deflexión vertical permisible para la viga de un puente grúa o grúa pórtico, no debe exceder el valor de  $\frac{L}{880}$ , donde L es la distancia de la luz entre los apoyos de la viga

$$y_{CMAA} < \frac{L}{880} = \frac{4000mm}{880} = 4.55mm = 0.00455m$$

**4.5.2 Deflexión debido a la flexión.** La deflexión para una viga simple apoyada con carga distribuida  $W_v$  se obtiene mediante la siguiente ecuación del método de superposición.



**Figura 27.** Ecuaciones para viga simplemente apoyada con carga distribuida

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$y_w = -\frac{5 * W_v * L^4}{384 * E * I}$$

Donde=

$$W_v = 413.56 \text{ N}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

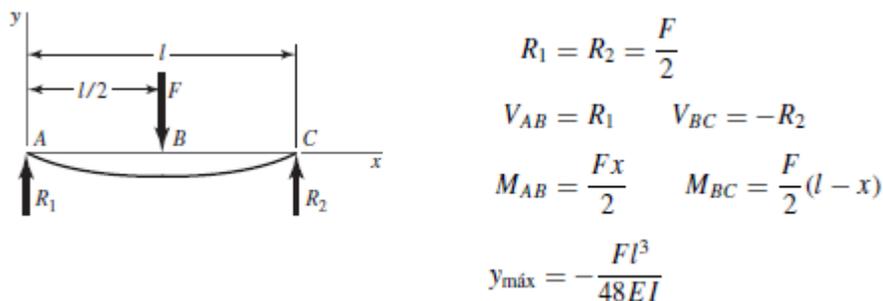
$$E = 210 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$I_x = 8356 \text{ cm}^4 = 0.0000836 \text{ m}^4$$

$$y_w = -\frac{5 * 413.56 * 4^4}{384 * 210 \times 10^9 * 8.36 \times 10^{-5}} = -0.000079 \text{ m} = -0.079 \text{ mm}$$

La deflexión máxima para una viga simplemente apoyada con su carga puntual al centro del claro  $W_{total}$  se indica en la siguiente ecuación, extraída de la Ilustración 28.

*Ilustración 1*



**Figura 28.** Ecuaciones para vigas simplemente apoyadas con carga puntual al centro del claro

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$y_p = -\frac{W_{total} * L^3}{48 * E * I}$$

Donde:

$$W_{total} = 51.93 \times 10^3 \text{ N}$$

$$y_p = -\frac{51.93 \times 10^3 * 4^3}{48 * 210 \times 10^9 * 8.36 \times 10^{-5}} = -0.00394 \text{ m} = -3.94 \text{ mm}$$

La deflexión total que estará sometida la viga del pórtico es la suma de la deflexión por carga central más la deflexión por carga distribuida. Además, debe cumplir la norma CMAA 70 que se indicó anteriormente.

$$y_{\max} = y_p + y_w$$

$$y_{\max} = -3.94 \text{ mm} - 0.079 \text{ mm} = -4.019 \text{ mm}$$

$$y_{\max} < y_{CMAA}$$

### 4.5.3 Diseño de elementos a compresión.

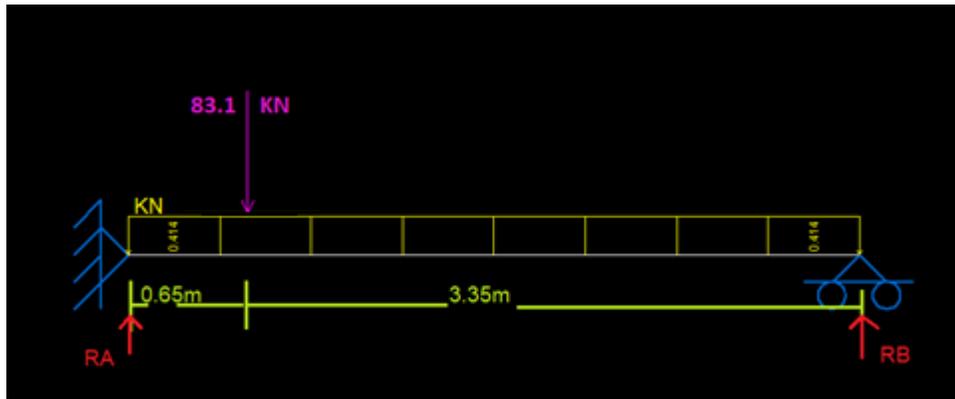
**4.5.3.1 Cálculo de las columnas por el método del LRFD.** Se procede a comprobar la resistencia de ambas columnas para los requerimientos del diseño de la grúa pórtico. Las columnas tienen una longitud libre de 4 metros en el eje X y de 3m en el eje Y, ya que a 1 metro esta soportada con dos pie de amigos en la columna, se asumirá un perfil rectangular 120x60 mm, espesor de 3.0 mm, material acero A500 grado C , con un área de la sección transversal  $A= 10.2 \text{ cm}^2$  y un  $S_y= 350 \text{ MPA}$

**Tabla 12.** Catalogo para perfil rectangular tuboscolmena

PERFIL RECTANGULAR															
TAMA—O PERFIL		ESPESOR DE PARED e mm	PESO NEGRO (kg/m)	iREA cm <sup>2</sup>	FLEXI°N EJE X - X			FLEXI°N EJE Y - Y			M°DULO PL <sub>1</sub> STICO Zx cm <sup>3</sup>	M°DULO PL <sub>1</sub> STICO Zy cm <sup>3</sup>	TORSI°N		UNIDAD DE EMPAQUE
TAMA—O NOMINAL	PULG.				MM	MOMENTO INERCIA Ix cm <sup>4</sup>	M°DULO SECCI°N Sx cm <sup>3</sup>	RADIO DE GIRO rx cm	MOMENTO INERCIA Iy cm <sup>4</sup>	M°DULO EL <sub>1</sub> ST Sy cm <sup>3</sup>			RADIO DE GIRO ry cm	MOMENTO INERCIA J cm <sup>4</sup>	
2X1/2	50 x 13	1,50	1,37	1,72	4,54	1,81	1,62	0,50	0,77	0,54	2,46	0,90	1,61	1,45	30
2X1 1/16	50 X 30	1,50	1,77	2,25	7,72	2,97	1,85	2,78	2,06	1,11	3,70	2,34	6,71	3,56	25
		2,00	2,31	2,94	9,76	3,76	1,82	3,49	2,58	1,09	4,74	2,99	8,63	4,49	
		2,50	2,82	3,59	11,55	4,44	1,79	4,09	3,03	1,07	5,69	3,58	10,41	5,31	
4 3/4X2 3/8	120 X 60	2,00	5,45	6,94	136,64	22,44	4,44	45,76	15,28	2,57	27,60	16,92	109,88	26,42	16
		2,50	6,74	8,59	167,03	27,43	4,41	55,68	18,59	2,55	33,94	20,77	135,18	32,22	
		3,00	8,01	10,20	195,96	32,18	4,38	65,03	21,71	2,52	40,05	24,46	159,64	37,73	
6X2	150 X 50	3,00	8,96	11,41	296,55	39,81	5,12	52,65	21,06	2,15	51,43	23,49	150,80	38,36	16
		4,00	11,73	14,95	381,39	50,85	5,05	66,16	26,47	2,10	66,47	30,13	193,62	48,51	

Fuente: Catálogo de tuboscolmena

**4.5.3.2 Cálculo de la mayor reacción ejercida en la columna por la viga.** Distancia máxima del polipasto a un costado de la columna es de 0.65 metros.



**Figura 29.** D.C.L con la carga a un costado de la viga

$$\circlearrowleft \sum M_B = R_A * 4 - 83.1 * 3.35 - 0.496 * 4 * 2 = 0$$

$$R_A = P = 70.58 \text{ KN}$$

Se usará el método del LRFD para columnas o miembros a compresión con las especificaciones de la AISC

1. Factor de longitud efectiva (K):

Para una columna con un extremo articulado-articulado, según el diseño de la grúa pórtico establece un factor de fijación de  $K=1.0$ .

Las líneas interrumpidas muestran la forma pandeada de la columna

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor $K$ teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son parecidas a las ideales	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Símbolos para las condiciones de extremo						
		Rotación y traslación impedidos	Rotación libre y traslación impedida	Rotación impedida y traslación libre	Rotación y traslación libres	

**Figura 30.** Factor de fijación para columna articulada-articulada (d)

Fuente: (Especificación de diseño del factor de carga y resistencia para acero estructural, 1999)

2. Longitud efectiva:

El valor de la longitud efectiva se determina según la siguiente ecuación:

$$L_e = K * L$$

Donde:

L= Longitud de la columna

$$L_{ex} = 1.0 * 400 \text{ cm} = 400 \text{ cm} = 4\text{m}$$

$$L_{ey} = 1.0 * 300\text{cm} = 300\text{cm} = 3\text{m}$$

En el eje y esta soportada a más o menos 1m de distancia.

3. Radio de giro:

Una columna tiende a pandearse respecto al eje para el cual el radio de giro y el momento de inercia son mínimos. El radio de giro se determina según la siguiente ecuación:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

I= Momento de inercia de la sección transversal

A= Área de la sección transversal

$$A= 10.2 \text{ cm}^2 = 0.00102\text{m}^2$$

Para el eje x-x

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

$$r_x = \sqrt{\frac{195.96 \text{ cm}^4}{10.2 \text{ cm}^2}}$$

$$r_x = 4.38 \text{ cm}$$

para el eje y-y

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{65.03 \text{ cm}^4}{10.1 \text{ cm}^2}}$$

$$r_y = 2.52 \text{ cm}$$

#### 4. Cálculo para el eje X

Se verifica cual eje es el lado más débil ya que en el eje débil (eje y) esta soportada lateralmente a 1m de la articulación inferior.

Relación de esbeltez efectiva Re:

La relación de esbeltez es el cociente de la longitud efectiva de la columna entre su radio de giro mínimo. Esto es:

$$Re = \frac{K * L}{r_x}$$

$$Re = \frac{400 \text{ cm}}{4.38 \text{ cm}} = 91.32$$

Resistencia de diseño en compresión ( $\phi_c P_n$ ).

Para evitar el pandeo flexional es importante no superar la carga crítica determinada, que marca el estado límite de pandeo por flexión

La resistencia de compresión nominal,  $P_n$ , es el menor valor obtenido de acuerdo con los estados límites que aplican pandeo por flexión, pandeo torsional, y pandeo flexo torsional.

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} * A_g$$

Donde:

$\phi_c = 0.9$  para el LRFD

$F_{cr}$  = esfuerzo de compresión nominal del acero

$A_g$  = área global de la sección transversal

Cuando,

$$a) \frac{K*L}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] * F_y$$

$$b) \frac{K*L}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$F_{cr} = [0.877 * F_e]$$

Donde:

$F_e$  = tensión de pandeo elástico

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

Resolviendo las ecuaciones:

$$4.71 \sqrt{\frac{210 * 10^9 \text{ pa}}{350 * 10^6 \text{ pa}}} = 115.37$$

Por lo que se cumple el caso (a)

$$\text{a) } 91.32 \leq 115.37$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] * F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 \text{ Pa}}{91.32^2} = 248.53 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{350 * 10^6}{248.53 * 10^6} \right] * 350 * 10^6$$

$$F_{cr} = 194.12 \text{ Mpa}$$

$$\phi_c P_n = 0.9 * 194.12 * 10^6 \text{ pa} * 0.00102 \text{ m}^2$$

$$\phi_c P_n = 178.2 \text{ KN}$$

5. Para el eje y

Relación de esbeltez efectiva Re:

$$Re = \frac{300 \text{ cm}}{2.52 \text{ cm}} = 119.04$$

Por lo que se cumple el paso (b)

$$\text{b) } 119.04 > 115.37$$

$$F_{cr} = [0.877 * F_e]$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 \text{ Pa}}{119.04^2} = 146.26 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = [0.877 * 146.26 \text{ Mpa}] = 128.27 \text{ Mpa}$$

$$\phi_c P_n = 0.9 * 128.27 * 10^6 \text{ pa} * 0.00102 \text{ m}^2 = 117.75 \text{ KN}$$

$$\phi_c P_n = 117.75 \text{ KN}$$

Siendo el eje y más débil selecciono el menor valor de la resistencia de diseño a compresión que debe ser mayor a la carga axial de la columna

$$P \leq \phi_c P_n$$

$$70.58 \text{ KN} \leq 117.75 \text{ KN}$$

Con porcentaje de aprovechamiento de la columna de:

$$\frac{70.58}{117.75} * 100 = 60. \%$$

Cumple satisfactoriamente el perfil tubular de la columna seleccionada.

#### 6. Verificación de la resistencia de la columna según la norma CMAA 70

La norma CMAA indica que el esfuerzo máximo que soportara toda la estructura sometida a compresión no debe superar el  $0.66 S_y$  para determinar el esfuerzo que soporta un miembro a compresión según la norma, establece la siguiente ecuación para columnas largas. Donde  $N=1$ .

$$\sigma_A = \frac{12 * \pi^2 * E}{23 * Re^2 * N}$$

$$\sigma_A = \frac{12 * \pi^2 * 210 * 10^9}{23 * 142.86^2 * 1} = 52.98 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_A \leq 0.66 S_y$$

$$52.98 \text{ Mpa} \leq 231 \text{ Mpa}$$

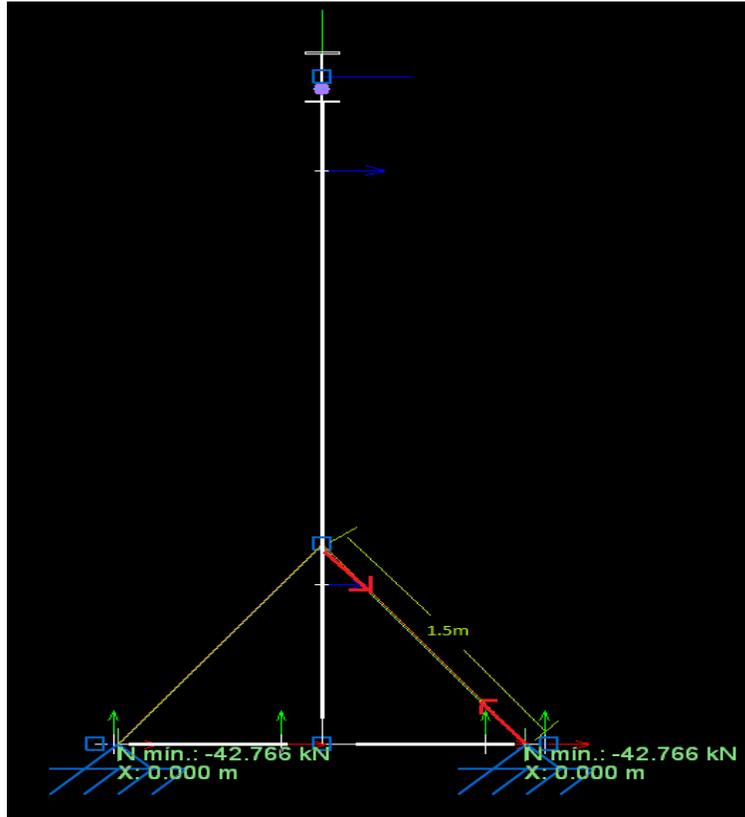
**4.5.3.3 Cálculo de pie de amigo en la columna por el método LRFD.** Para poder realizar el cálculo del pie de amigo se utilizó la ayuda del software CYPE 3D para poder sacar las cargas axiales que actúan en el pie de amigo, cuando la carga o el polipasto se encuentra a 65cm de la columna como se puede ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Se asume un perfil cuadrado de 50x2.5 mm con un área de  $A=4.59\text{cm}^2$  y un  $F_y=345\text{Mpa}$

**Tabla 13.** Perfil cuadrado de tubos colmena

PERFIL CUADRADO											
TAMAÑO PERFIL		ESPESOR DE PARED e mm	PESO NEGRO (kg/m)	ÁREA $i$ $\text{cm}^2$	FLEXIÓN			MÓDULO PLÁSTICO $Z_x = Z_y$ $\text{cm}^3$	TORSIÓN		UNIDAD DE EMPAQUE
TAMAÑO NOMINAL					MOMENTO INERCIA $I_x = I_y$ $\text{cm}^4$	MÓDULO ELÁSTICO $S_x = S_y$ $\text{cm}^3$	RADIO DE GIRO $r_x = r_y$ cm		MOMENTO INERCIA J $\text{cm}^4$	MÓDULO ELÁSTICO B $\text{cm}^3$	
PULG.	MM										
1 X 1	25 X 25	1,50	1,06	1,35	1,22	0,97	0,95	1,17	2,03	1,48	36
		2,00	1,36	1,73	1,48	1,19	0,93	1,47	2,58	1,82	
		2,50	1,64	2,09	1,69	1,35	0,90	1,71	3,07	2,11	
2 X 2	50 X 50	1,50	2,24	2,85	11,07	4,43	1,97	5,15	17,45	6,66	25
		2,00	2,93	3,73	14,15	5,66	1,95	6,66	22,73	8,53	
		2,50	3,60	4,59	16,94	6,78	1,92	8,07	27,75	10,26	
		3,00	4,25	5,41	19,47	7,79	1,90	9,39	32,53	11,84	

Fuente: Catálogo de tubos colmena



**Figura 31.** Carga axial para el pie de amigo en CYPE 3D

1. Factor de longitud efectiva (K):

Utilizando la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** del capítulo 0 para el pie de amigo que es una barra articulada-articulada con un valor de longitud efectiva  $K=1.0$

2. Longitud efectiva ( $L_e$ ):

Se tiene como longitud libre de la barra 1.5 m. cómo es un perfil cuadrado se realizará el cálculo para cual quiera de los ejes en este caso el Y.

$$L_e = K * L$$

$$L_e = 1.0 * 150 \text{ cm} = 150 \text{ cm} = 1.5 \text{ m}$$

## 3. Radio de giro:

La columna siempre tiende a pandearse por el lado donde el radio de giro y el momento de inercia es mínimo:

$$r_y=r_x= 1.92 \text{ cm}$$

## 4. Relación de esbeltez:

La relación de esbeltez es el cociente de la longitud efectiva de la columna entre su radio de giro mínimo. Esto es:

$$Re = \frac{K * L}{r} = \frac{Le}{r}$$

$$Re = \frac{150\text{cm}}{1.92\text{cm}} = 78.13$$

Aplicando el método del LRFD de las especificaciones de la AISC 360 se tiene que, si:

$$a) \frac{K*L}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$Fcr = \left[ 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] * F_y$$

$$b) \frac{K*L}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$Fcr = [0.877 * F_e]$$

Donde:

$F_e$  = tensión de pandeo elástico

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

Resolviendo las ecuaciones.

$$4.71 \sqrt{\frac{210 * 10^9 \text{ pa}}{345 * 10^6 \text{ pa}}} = 116.45$$

Se tiene que el caso (a)

$$78.13 \leq 116.45$$

Se resuelve,

$$F_{cr} = \left[ 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] * F_y$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * 210 * 10^9 \text{ pa}}{78.13^2} = 340 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658^{\frac{345 * 10^6}{340 * 10^6}} \right] * 345 * 10^6$$

$$F_{cr} = 226 \text{ Mpa}$$

Teniendo la tensión crítica, se procede a hallar la resistencia de diseño a compresión que debe ser mayor a la carga aplicada en la barra.

5. Resistencia de diseño a compresión ( $\phi_c P_n$ ):

Donde:

$\phi_c = 0.9$  para el LRFD

$P_n$  = Resistencia nominal a compresión.

$A_g$  = Área de la sección transversal.

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} * A_g$$

$$\phi_c P_n = 0.9 * 226 * 10^6 \text{ pa} * 0.000459 \text{ m}^2$$

$$\phi_c P_n = 93.4 \text{ KN}$$

Comparando la carga ejercida en la barra con la resistencia a compresión se tiene que:

$$P \leq \phi_c P_n$$

$$42.76KN \leq 93.4 KN$$

Se tiene un porcentaje de aprovechamiento del perfil del:

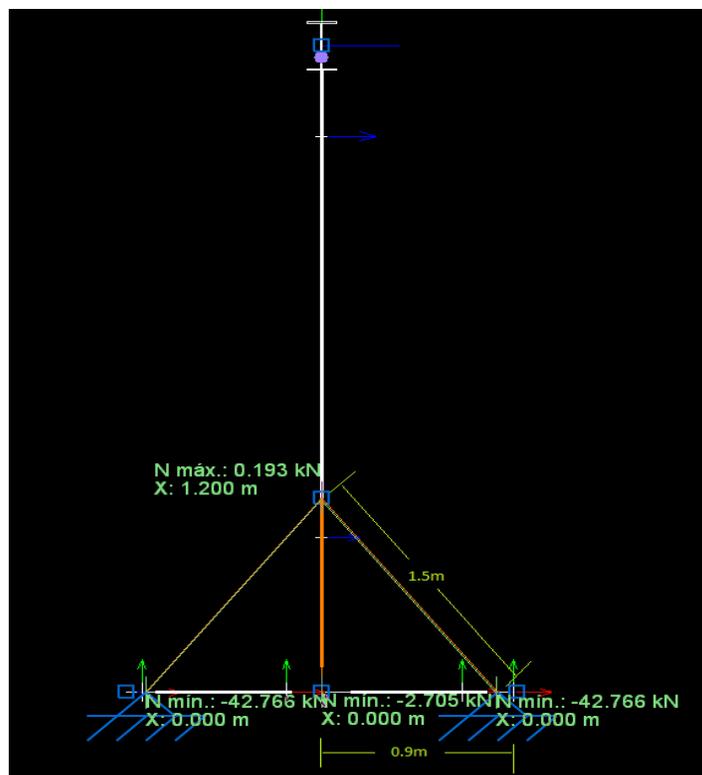
$$\frac{42.76}{93.4} * 100 = 45.7\%$$

#### **4.5.4 Diseño de la viga de soporte de la estructura o del marco.**

**4.5.4.1 D.C.L del soporte y las cargas que actúan en él.** Para facilitar el diseño del soporte de la estructura se tuvo en cuenta el software CYPE 3D para determinar las cargas que actúan sobre dicho soporte, ver Figura 32 . Teniendo en cuenta las cargas mayorizadas de la viga del capítulo 4.4.4.1.

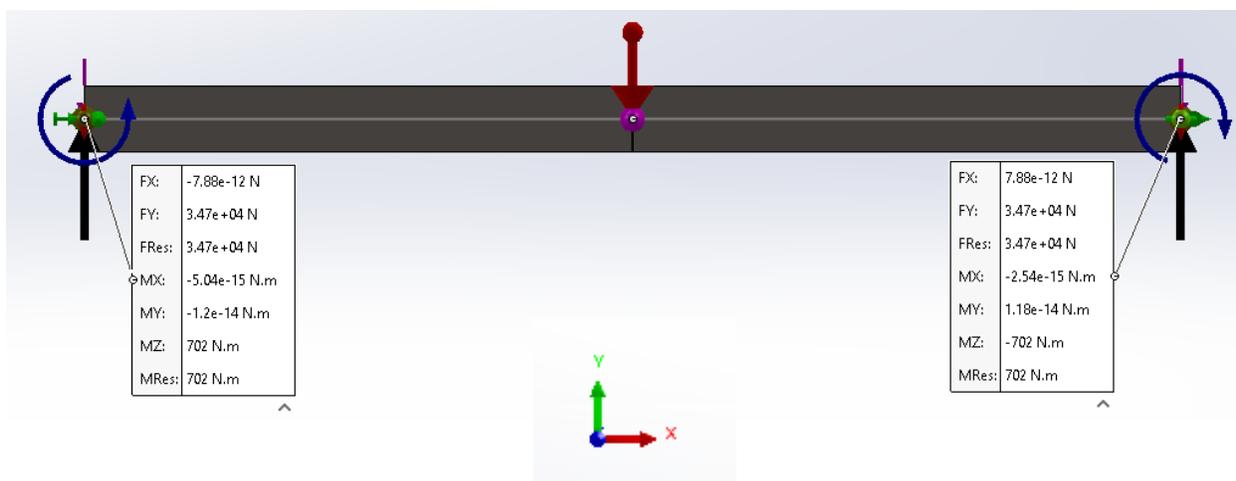
Para el diseño se seleccionó el sobrante de las columnas 120x60x3mm para aprovechar al máximo los recursos disponibles y reducir costos por lo tanto se procede a verificar que cumpla con las condiciones requeridas, especificaciones del perfil ver Tabla 12 . Se diseñará como viga y no se tendrá presente el pandeo lateral.

Al analizarse como una viga doblemente empotrada queda indefinida para realizar el análisis estático, por lo que se opta hallar las reacciones a través del software SolidWorks 2014, y poder determinar los diagramas de fuerza cortante y momento flector. Ver Figura 33



**Figura 32.** Cargas axiales que actúan en el soporte

#### 4.5.4.2 Cálculo de las reacciones.



**Figura 33.** Reacciones y momentos en la viga

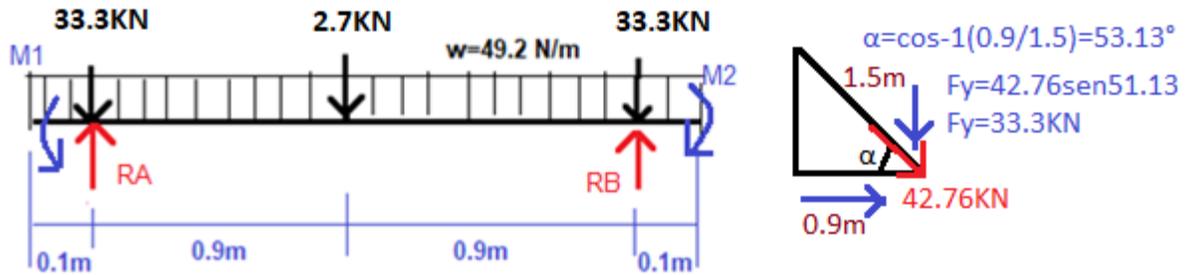


Figura 34. D.C.L del soporte

$$\cup \sum M_A = -R_b * 1.8 + 2.7 * 0.9 + 33.3 * 1.8 + (0.0492 * 2) * 0.9 = 0$$

$$R_A = 34.7 \text{ KN}$$

$$R_B = 34.7 \text{ KN}$$

$$M_1 = 702 \text{ KN} * m$$

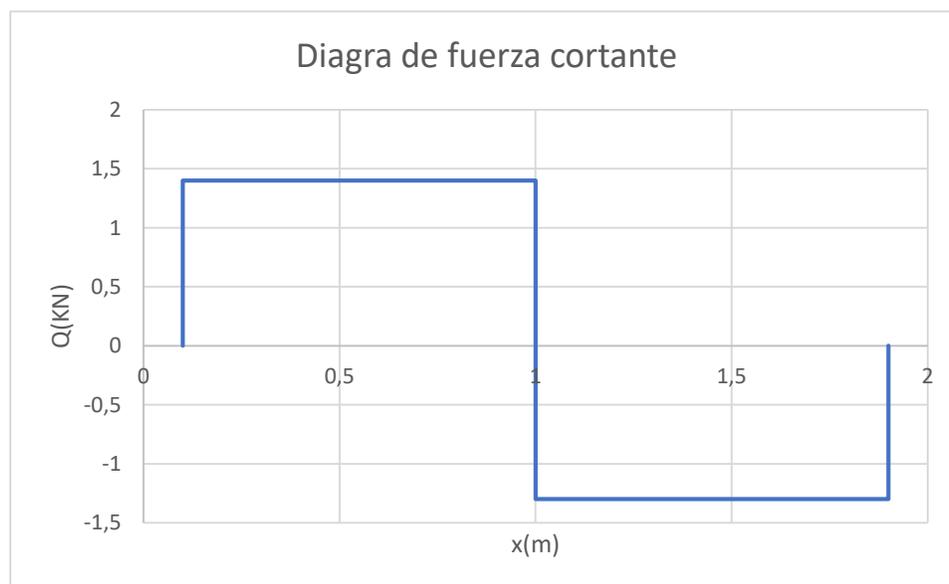
$$M_2 = 702 \text{ KN} * m$$

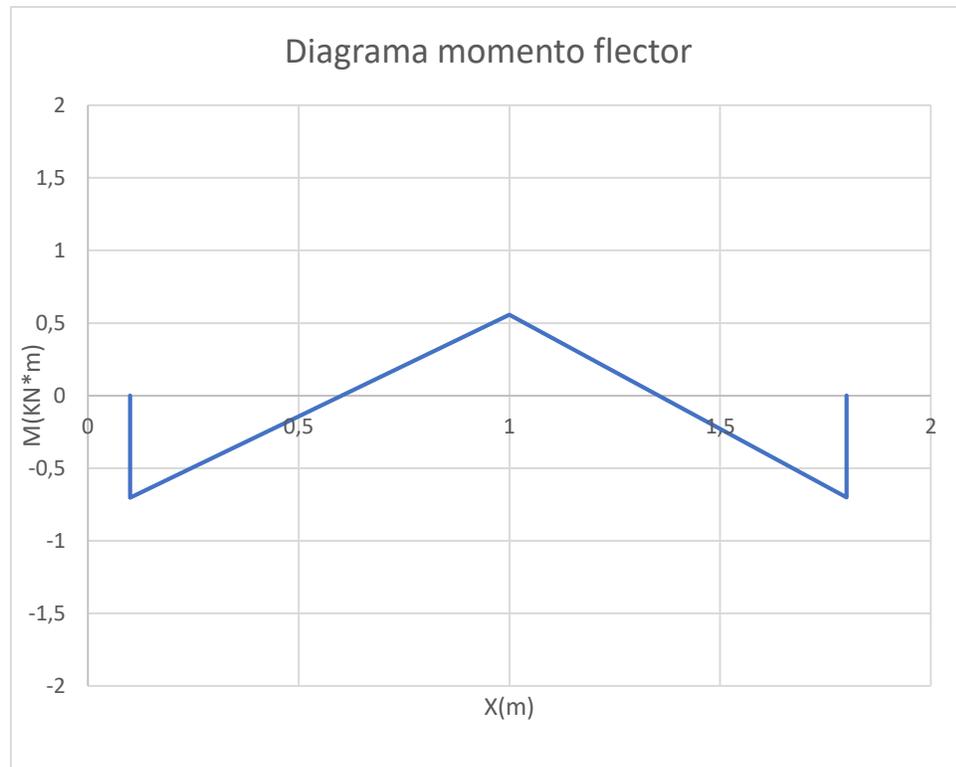
Una vez calculadas las reacciones del soporte o viga, se procede a hacer el diagrama de fuerza cortante y momentos para hallar el momento último y pasar a verificar el módulo plástico del perfil de la viga seleccionado. Se trabajo con el método de áreas.

Teniendo la Figura 36 se tiene como momento ultimo  $M_u = 0.702 \text{ KN} * m$

**Tabla 14.** Diagrama de fuerzas cortante y momento flector de la viga de soporte

Fuerza cortante				
Seccion	Carga distribuida (w) (KN)	Carga puntual (P) (KN)	sumatoria W+P (KN)	Longitud (m)
1			0	0.1
1	$0.049 \cdot 0.1 = -0.0049$	$34.7 - 33.3 = 1.4 \text{KN}$	1.4	0.1
2			1.4	1
2	$0.049 - 0.9 = -0.0441$	-2.7	-1.3	1
3			-1.3	1.9
3	$0.049 - 0.9 = -0.0441$	$34.7 - 33.3 = 1.4$	0	1.9
Momento flector				
Seccion	Momento (KN*m)	Area (KN*m)	Sumatoria (KN*m)	Longitud (m)
1			0	0.1
1	-0.702		-0.702	0.1
2	-0.702	$1.4 \cdot 0.9 = 1.26$	0.558	1
3	0.702	$1.57 \cdot 0.9 = -1.41$	-0.7	1.8
3			0	1.8

**Figura 35.** Diagrama de fuerza cortante



**Figura 36.** Diagrama de momento flector

Una vez hallado el momento ultimo y teniendo la resistencia a la tracción del acero ASTM 500 con un  $F_y=345$  MPA, se halla el módulo plástico de la sección y verificar que cumpla con el perfil seleccionado  $Z_{Xr} \geq Z_{Xi}$

$$Z_{Xr} = 40 \text{ cm}^3$$

$$Z_x \geq \frac{702 \text{ N} \cdot \text{m}}{0.9 \cdot 345 \times 10^6 \text{ pa}}$$

$$Z_x = 0.00000226 \text{ m}^3 \cdot 100^3 \text{ cm}^3$$

$$Z_{Xi} = 2.26 \text{ cm}^3$$

$$40 \text{ cm}^3 \geq 2.26 \text{ cm}^3$$

Se tiene un módulo plástico muy por encima del calculado por lo que el perfil cumple perfectamente y resiste por completo las cargas.

**4.5.4.3 Clasificación de la sección, de acuerdo con su esbeltez.** Tomando el cálculo realizado a la viga de carga en el capítulo 4.4.4, ya se tienen presentes las tablas necesarias para verificar si la sección es compacta, no compacta o esbelta. Para ello se necesitó de la Tabla 9.

Valores límites para considerar diferentes secciones, compactas, no compactas, y esbeltas.

$\lambda$  = relación ancho-espesor  $b/t$  de la sección transversal

1.  $\lambda \leq \lambda_p \rightarrow$  Sección Compacta
2.  $\lambda_p < \lambda < \lambda_r \rightarrow$  Sección no compacta
3.  $\lambda > \lambda_r \rightarrow$  Sección esbelta

de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para perfil rectangular se tiene

Caso	Descripción del elemento	Razón Ancho-Espesor	Razones Ancho-Espesor Límite		Ejemplos
			$\lambda_p$ (compacta-no compacta)	$\lambda_r$ (esbelta-no esbelta)	
19	Almas de tubos rectangulares y secciones cajón.	$h/t$	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

(elementos atiesados, caso 19)

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{120\text{mm}}{3\text{mm}}$$

$$\lambda = 40$$

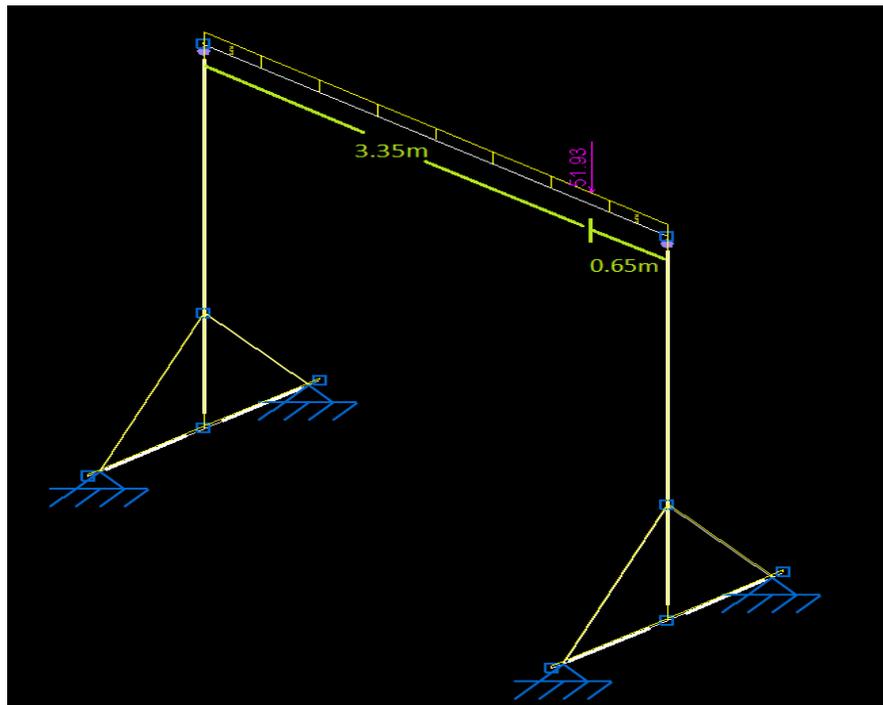
$$\lambda_p = 2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_p = 2.42 \sqrt{\frac{210 * 10^9 \text{ pa}}{345 * 10^6 \text{ pa}}} = 59.7$$

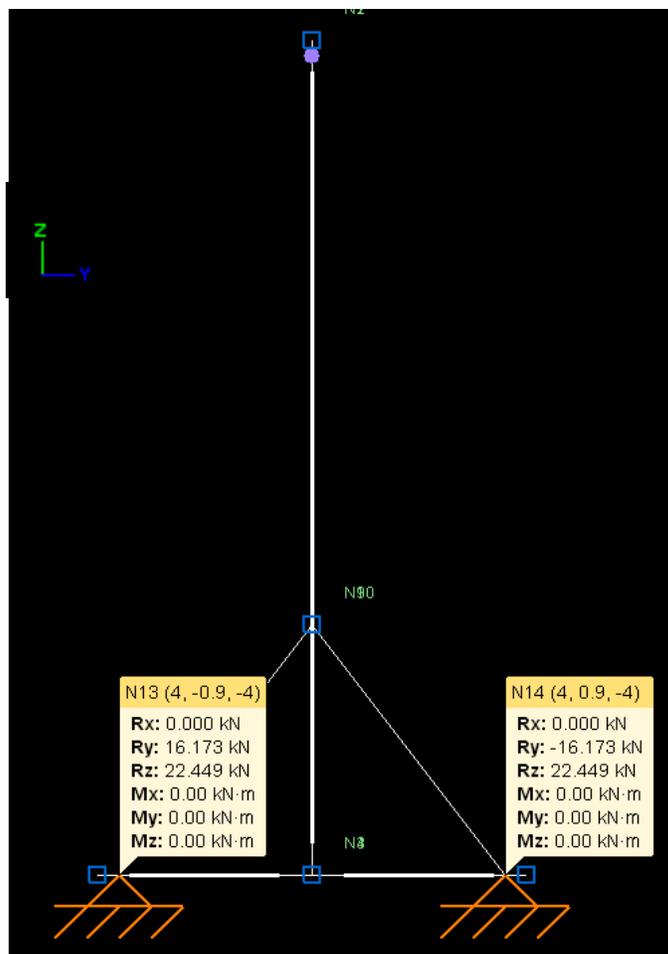
Se cumple la condición 1. de ser sección compacta  $\lambda \leq \lambda_p$  por lo que no es necesario el cálculo de su esbeltez  $\lambda_r$ .

**4.5.5 Selección de las ruedas de transporte de la grúa pórtico.** La selección de las ruedas de transporte se tomará en cuenta la carga nominal o carga de trabajo que requiere la grúa ya que no hacen parte de la estructura por lo tanto no tenderán a fallar por algún factor que incida en la estructura de la grúa pórtico. Las ruedas serán autobloqueantes y se realizara el cálculo de las reacciones en el soporte o viga de soporte, para así poder realizar la selección más optima posible.

Para facilitar el cálculo de la reacción en la viga de soporte ver Figura 38, se analizarán con la carga nominal ver Figura 37 en el software CYPE 3D usando los perfiles anteriormente seleccionados.



**Figura 37.** Carga nominal en la grúa pórtico a 0.65m de la columna



**Figura 38.** Reacciones en los apoyos del marco de la estructura.

Parámetros para la selección de ruedas:

Que soporte cargas de  $R_z: 22.5 \text{ kN} = 2.3$  toneladas

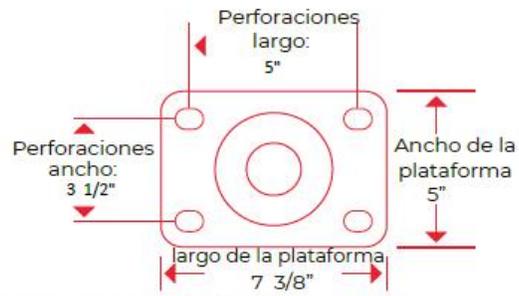
Que sean autobloqueantes.

Haciendo una revisión de catálogos y consultando con los proveedores de ruedas industriales como IMSA, Colson group, ImpoMundo, se llegó a la selección de dos ruedas por apoyo que soportan 1.2 toneladas cada rueda, haciendo una suma de 2.4 toneladas por apoyo, ver Figura 40, el cual se acomodaran de manera paralela en la viga de soporte, de modo que las ruedas de ambos extremos son autobloqueantes y las dos que van por dentro serán sin freno. Ver Figura 41

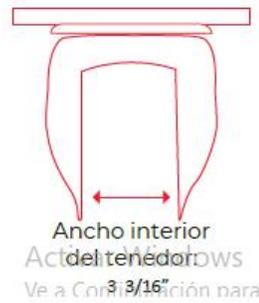


## Ficha técnica

Sujeción: A



Todas las medidas  
son de referencia

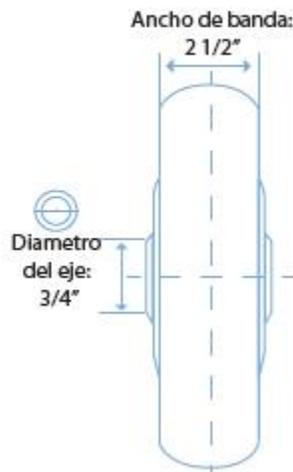


**Figura 39.** Tenedor con freno para la rueda.

Fuente: Catalogo de Colsomgroup Colombia.

**D 12-SC-055-A-F00/RA-3/4-PL-MR-TP**  
**ligo IMSA: 7014910**

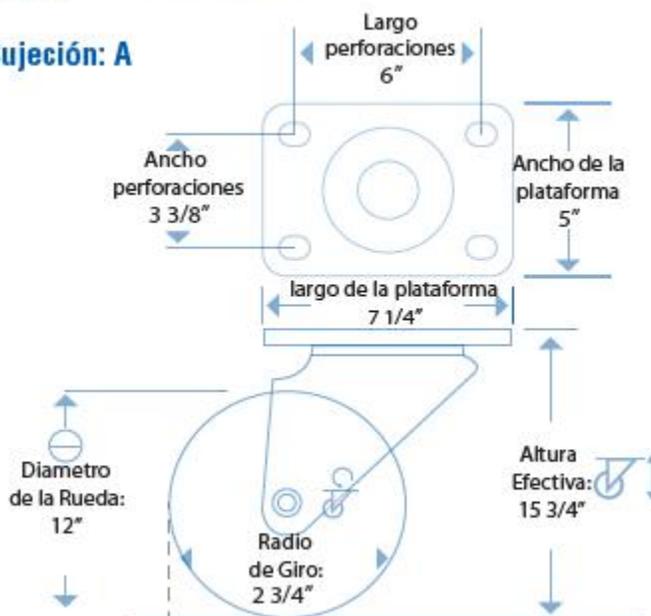
**Todas las medidas  
son de referencia**



## Ficha técnica

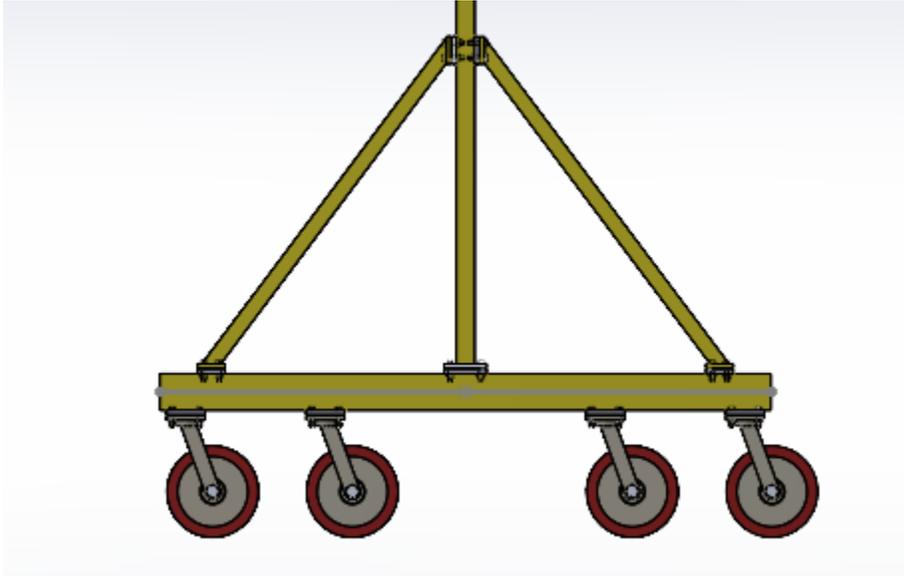
Agosto 2014

**Sujeción: A**



**Figura 40.** Rueda de capacidad 1.2 toneladas, con su tenedor sin freno.

Fuente: Catalogo de Colsomgroup Colombia.



**Figura 41.** Posición de las ruedas en la viga de carga.

**4.5.6 Diseño de conexiones apernadas según la norma AISC.** En este capítulo se realizará el diseño de las conexiones apernadas, el cual se continuará con el método del LRFD. Todas las ecuaciones y tablas fueron tomadas del capítulo J3 de la norma AISC-360 16.

**4.5.6.1 Pernos de alta resistencia.** Los pernos de alta resistencia son agrupados de acuerdo con la resistencia del material según lo siguiente

Grupo A: ASTM A325, A325M, F1852, A354 grado BC y A449

Grupo B: ASTM A490, A490M, F2280, A354 grado BD

**4.5.6.2 Resistencia de corte y de tensión en los pernos.** Un perno de alta resistencia con apriete ajustado o pretensionado de una parte roscada debe ser determinada de acuerdo con los estados límites de ruptura en tracción y ruptura en corte como se indica en la siguiente ecuación:

$$\phi R_n = \phi * F_n * A_b$$

Donde:

$\phi R_n$  = resistencia al cortante

$\phi$  = 0.75 LRFD

$F_{nv}$  = tensión de corte nominal

$F_{nt}$  = Tensión de tracción nominal

$A_b$  = Área de la sección transversal del perno

La fuerza que puede ser resistida por pernos de alta resistencia, deben estar limitados por la resistencia al aplastamiento de la perforación del perno.

**4.5.6.3 Combinación de tracción y corte en conexiones tipo aplastamiento.** La resistencia disponible en tracción será determinada con los estados límites de rotura en tracción y en corte de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\phi R_n = \phi * F'_n * A_b$$

Donde:

$F'_n$  = tensión de tracción nominal modificada para incluir los efectos de la tensión de corte,

Mpa

$$F'_{nt} = 1.3 F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi * F_{nv}} * \frac{V_{pult}}{A_b} \leq F_{nt}$$

$V_{pult}$  = Tensión de corte actuando en el perno. (N)

**4.5.6.4 Resistencia nominal de la placa.** La resistencia nominal de la placa está dada por el estado límite de:

Arrancamiento:

$$\phi R_n = \phi * 1.2 * L_c * F_u * t$$

Aplastamiento:

$$\phi R_n = \phi * 2.4 * d * t * F_u$$

Donde:

$\phi = 0.75$  LRFD

$L_c$  = Longitud libre, entre bordes de perforación o distancia a borde (el menor valor)

$t$  = Espesor del material base (placa)

$d$  = diámetro del perno

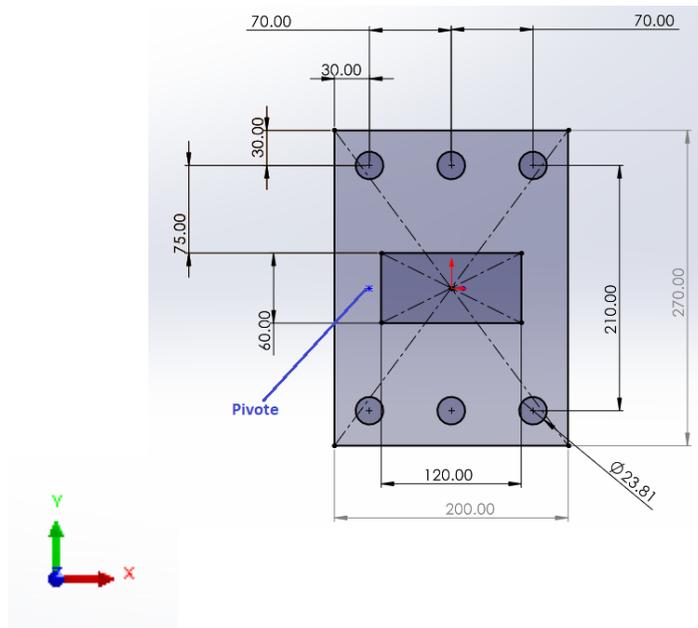
$F_u$  = Resistencia ultima mínima especificada del material conectado.

**4.5.6.5 Cálculo de la conexión apernada viga-columna.** Para el cálculo de las conexiones tanto apernadas como la soldadura de la unión de las placas, se tendrán en cuenta las más críticas, por lo tanto, se hará un solo calculo y de ahí se partirá los mismos pernos y el mismo cordón de soldadura para las demás conexiones que son menos críticas que la calculada.

La conexión más critica que se analizará será la de viga-columna, al ser la conexión que recibe la mayor carga, como es una viga simplemente apoyada en dos columnas, la carga se repartirá exactamente para ambas juntas por lo que se dividirá la carga en 2 para el siguiente análisis.

Se partirá asumiendo pernos A325N de diámetro 7/8"=22.22mm y una placa de espesor de 1/2"=12.7mm, dimensiones de la placa ver Figura 37. Al ser una carga excéntrica, la carga llegara

al punto donde reacciona la conexión que en este caso es en el pivote, por lo que se toma la excentricidad desde ese punto hasta el centro de la viga que es donde actúa la carga.



**Figura 42.** Dimensiones de la placa viga-columna.

Para las cargas se tiene.

$$W_u = W_D + W_L$$

$$W_u = 496.27 \frac{KN}{m} * 4 + 83.1 KN = 85.1 KN$$

$$F_z = \frac{-85.1 KN}{2} = -42.55 KN$$

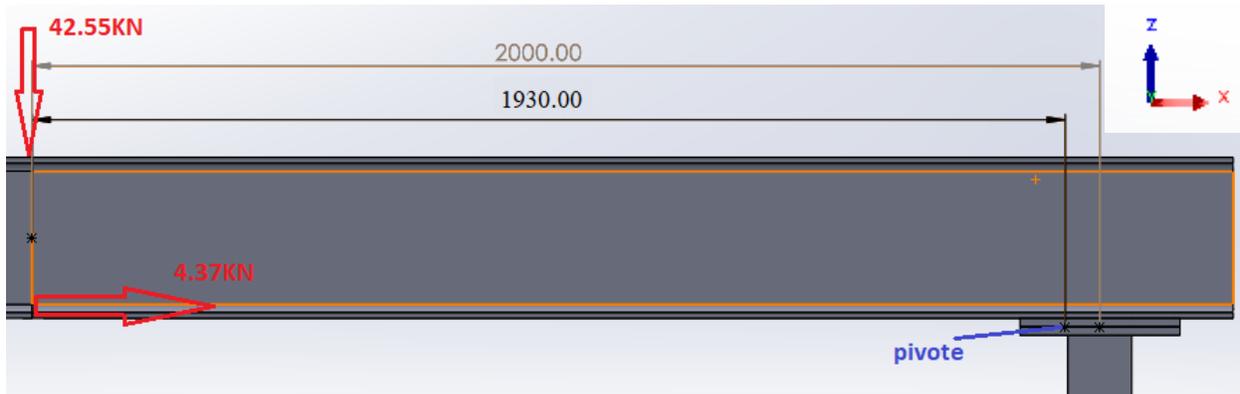
Para la carga horizontal provocada por el trolley del polipasto debido a la aceleración y frenado se tiene:

la potencia del trolley: 0.83Kw

Velocidad del trolley: 0.183 m/s

$$F_x = \frac{Potencia}{velocida}$$

$$F_x = \frac{0.83 \text{ KW}}{0.783 \text{ m/s}} = 4.37 \text{ KN}$$



**Figura 43.** D.C.L de la conexión apernada.

Se analizarán primero si fallan los pernos para después pasar a analizar la placa.

#### 4.5.6.5.1 Cálculo a tracción y cortante de los pernos.

Paso 1. Datos de entrada:

$$\varnothing_{\text{perno}} = 22.22 \text{ mm} ; \varnothing_{\text{placa}} = 23.81 \text{ mm} ; t = 15.9 \text{ mm} ; F_{nt} = 620 \text{ Mpa} ; F_{nv} = 372 \text{ Mpa}$$

$$e = 1930 \text{ mm}$$

Paso 2. Cálculo de las fuerzas resultantes en el pivote del grupo de pernos.

Carga horizontal.

$$F_x = 4.37 \text{ KN}$$

Carga vertical.

$$F_z = -42.55 \text{ KN}$$

Momento resultante en el eje Y generado por la carga  $F_z$ .

$$M_y = F_z * e$$

$$M_y = 42.55 \text{ KN} * 1.93 \text{ m} = 82.12 \text{ KN} * \text{ m}$$

Paso 3. Cálculo de propiedades del grupo de pernos respecto al pivote,

Teniendo en cuenta la Figura 42 se calcula el momento de inercia para el grupo de pernos.

$$I_{p,x} = \sum_{i=1}^n r_{p,x,i}^2 * Ai = I_{p,x} = \sum_{i=1}^n r_{p,x,i}^2 \text{ (cuando todos los pernos son iguales)}$$

$$I_{p,y} = \sum_{i=1}^n r_{p,y,i}^2 * Ai = I_{p,y} = \sum_{i=1}^n r_{p,y,i}^2 \text{ (cuando todos los pernos son iguales)}$$

$$I_{pivote,x} = 2 * ((0.07m)^2 + (0.14m)^2) = 0.049m^2$$

$$I_{pivote,y} = 2 * (3 * 0.105m^2) = 0.0662m^2$$

Paso 4. Cálculo fuerzas de diseño sobre el perno más crítico del grupo.

Distancia en X del perno más alejado del pivote:

$$Xmax = 140mm = 0.14m$$

Distancia en Y del perno más alejado del pivote:

$$Ymax = 105mm = 0.105m$$

Fuerza de corte directo en dirección X.

$$V_{Fx} = \frac{Fx}{n_p} = \frac{4.37KN}{6} = 0.73 KN$$

Fuerza de tracción directa en el perno (negativo quiere decir que los pernos están comprimidos por lo tanto les resta tracción a los pernos).

$$T_{Fz} = \frac{Fz}{n_p} = \frac{-42.55KN}{6} = -7.1KN$$

Fuerza de tracción indirecta debido al momento de flexión My.

$$T_{My} = \frac{My * Xmax}{I_y}$$

$$T_{My} = \frac{(82.12KN * m) * 0.14m}{0.0662m^2} = 161.98KN$$

Fuerza de tracción máxima sobre un perno:

$$T_{Max} = T_{My} + T_{Fz}$$

$$T_{Max} = 161.98KN - 7.1KN = 154.9 KN$$

Paso 6. Verificación de los pernos.

Resistencia a corte y tracción de los pernos.

$$Ab = 0.00039 \text{ m}^2$$

$$F'_{nt} = 1.3 * 620Mpa - \frac{620Mpa}{0.75 * 327Mpa} * \frac{0.73KN}{0.00039 \text{ m}^2} = 1.14 \times 10^{13} \leq F_{nt}$$

Al ser más alto que  $F_{nt}$ , se toma el menor valor en este caso 620Mpa ya que el corte es demasiado pequeño y no contrarresta la tracción.

$$\phi R_{nt} = 0.75 * 620Mpa * 0.00039 \text{ m}^2$$

$$\phi R_{nt} = 181.35 KN$$

$$\phi R_{nv} = 0.75 * 327Mpa * 0.00039 \text{ m}^2$$

$$\phi R_{nv} = 37.3 KN$$

Por lo tanto;

$$T_{Max} \leq \phi R_{nt} \text{ cumple la resistencia a a traccion de la carga del perno.}$$

$$V_{Max} \leq \phi R_{nv} = \text{cumple con la resistencia a cortante del perno.}$$

Se procede a realizar el cálculo de la resistencia de la placa para verificar que cumpla con las condiciones requeridas.

Resistencia al aplastamiento:

Material de la placa será de Acero A-36

$$F_u = 400 \text{ mpa}$$

$$F_y = 250 \text{ Mpa}$$

$$\phi R_{nap} = 0.75 * 2.4 * 0.0222m^2 * 0.0127m * 400Mpa$$

$$\phi R_{nap} = 202.9 KN$$

$$T_{Max} \leq \phi R_{nap} = \text{cumple con la resistencia al aplastamiento.}$$

Resistencia al arrancamiento:

Se tomará el menor valor de las distancias entre centro o la distancia al borde.

$$L_c = 30mm - \frac{23.81mm}{2} = 18.1mm \text{ o } 70mm - 23.81mm = 46.19mm$$

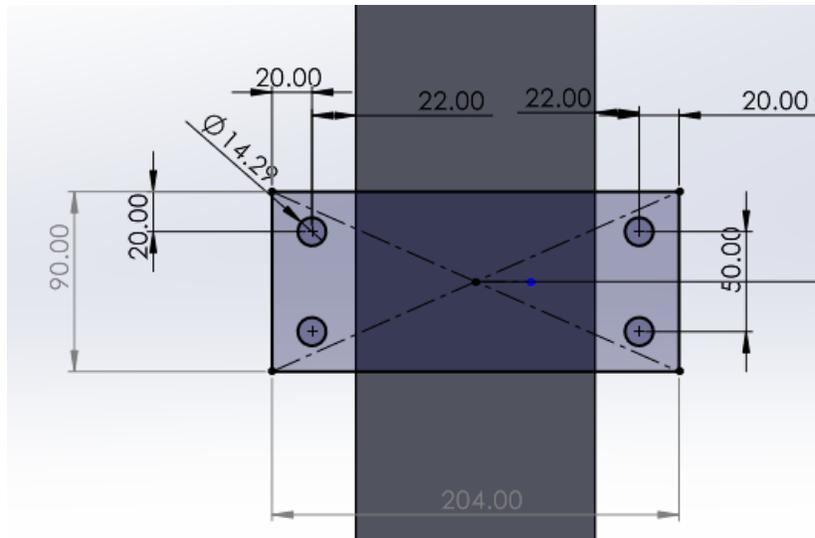
$$\phi R_{nr} = 0.75 * 1.2 * 0.0181m * 400Mpa * 0.0127m$$

$$\phi R_{nr} = 82.8KN$$

$$V_{Max} \leq \phi R_{nr} = \text{cumple con la resistencia al arrancamiento.}$$

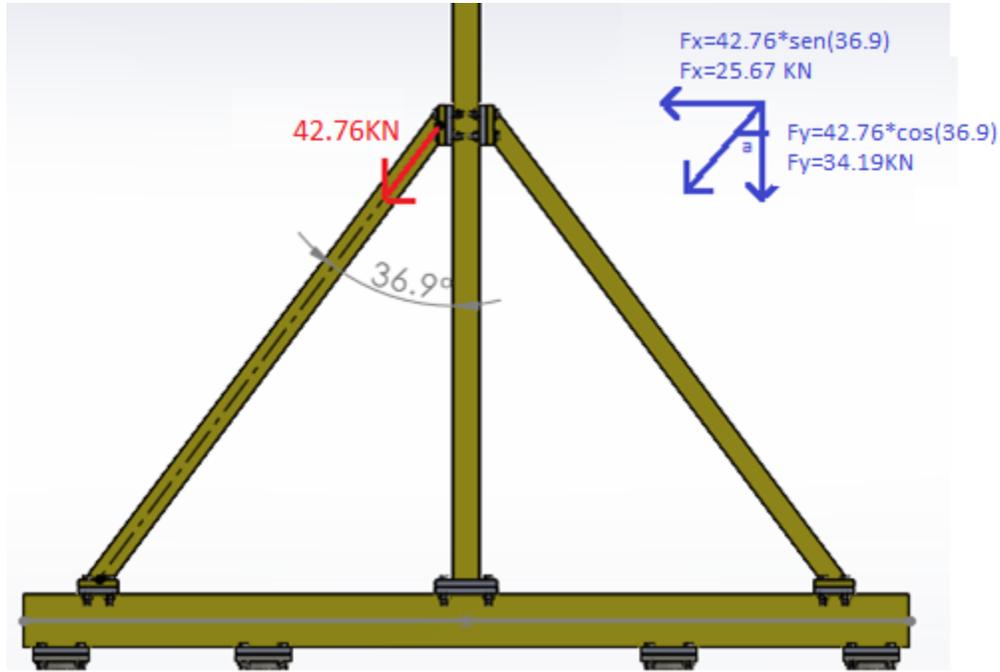
Como los pernos de las uniones de la viga-columna son algo grandes a comparación de las reacciones que actúan en las demás conexiones, se realizara el cálculo de una segunda unión, en este caso la segunda más crítica es la conexión, pie de amigo-columna, esto para poder obtener el mismo diámetro de pernos para las demás uniones.

**4.5.6.6 Cálculo de la conexión apernada pie de amigo-columna.** Para esta conexión se tendrá pernos A325N de diámetro 1/2pulg=12.7mm y una placa o platina de 1/2pulg=12.7mm de espesor, con la siguiente configuración.



**Figura 44.** Geometría de platina pie de amigo – columna

Tomando las reacciones del capítulo 4.5.3.3 en la Figura 31, se tiene la fuerza ejercida en el grupo de pernos por el pie de amigo, como la fuerza pasa por el centroide del grupo de pernos se realizar el siguiente diagrama. Ver Figura 45.



**Figura 45.** Fuerza actuante en la platina pie de amigo-columna.

Resistencia pernos (interacción tracción-corte).

Área en el perno:

$$A_b = 0.25 * \pi * 12.7^2 = 126.7 \text{ mm}^2$$

Fuerza tracción sobre cada perno:

$$T_u = F_x = \frac{25.37 \text{ kN}}{4} = 6.41 \text{ kN}$$

Fuerza corte sobre cada perno:

$$V_u = F_y = \frac{34.19 \text{ kN}}{4} = 8.55 \text{ kN}$$

De la tabla J3.2 del AISC 360-16 se tiene:

$$F_{nt} = 620 \text{ mpa} ; F_{nv} = 372 \text{ Mpa}$$

$$F'_{nt} = 1.3 * 620 \text{ Mpa} - \frac{620 \text{ Mpa}}{0.75 * 327 \text{ Mpa}} * \frac{8550 \text{ N}}{126.7 \text{ mm}^2} = 635.4 \text{ Mpa} \leq F_{nt}$$

se toma como  $F_{nt} = 620 \text{ Mpa}$

Finalmente:

$$\phi R_{nt} = 0.75 * 620 \text{Mpa} * 126.7 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_{nt} = 58.9 \text{KN}$$

$T_u \leq \phi R_{nt} = \text{cumple con la resistencia a tracción.}$

$$\phi R_{nv} = 0.75 * 327 \text{Mpa} * 126.7 \text{mm}^2$$

$$\phi R_{nv} = 31.073 \text{KN}$$

$V_u \leq \phi R_{nv} = \text{cumple con la resistencia a cortante.}$

Resistencia en la placa (aplastamiento y arrancamiento):

Resistencia al aplastamiento:

Material de la placa será de Acero A-36

$F_u = 400 \text{mpa}$

$F_y = 250 \text{Mpa}$

$$\phi R_{nap} = 0.75 * 2.4 * 12.7 \text{mm}^2 * 12.7 \text{mm} * 400 \text{Mpa}$$

$$\phi R_{nap} = 116.12 \text{KN}$$

$T_u \leq \phi R_{nap} = \text{cumple con la resistencia al aplastamiento.}$

Resistencia al arrancamiento:

Se tomará el menor valor de las distancias entre centro o la distancia al borde.

$$L_c = 20 \text{mm} - \frac{14.29 \text{mm}}{2} = 12.9 \text{mm} \text{ o } 50 \text{mm} - 14.29 \text{mm} = 35.71 \text{mm}$$

$$\phi R_{nr} = 0.75 * 1.2 * 12.9 \text{mm} * 400 \text{Mpa} * 12.7 \text{m}$$

$$\phi R_{nr} = 59 \text{KN}$$

$V_u \leq \phi R_{nr} = \text{cumple con la resistencia al arrancamiento.}$

Tomando este cálculo como el más crítico de las uniones secundarias, se tomarán los pernos de A325N de diámetro 1/2pulg para todas las conexiones exceptuando la de la viga-columna.

**4.5.6.7 Soldadura en la placa de unión apernada.** Para la soldadura se tendrá un electrodo E70xx (70ksi=482Mpa) ya que se soldará el material de la placa acero A36 de  $F_y=245\text{Mpa}$  y  $F_u=400\text{Mpa}$ , y será de tipo soldadura de filete.

La resistencia de una unión soldada está dada por el menor valor de:

Resistencia del material base: de acuerdo al estado límite de rotura en tracción y rotura en corte.

$$\phi R_{nmb} = F_{nmb} * A_{bm}$$

Resistencia del material de soldadura: de acuerdo con el estado límite de rotura.

$$\phi R_{nw} = F_{nw} * A_{we}$$

Donde:

$\phi=0.9$  para el material base y  $0.8$  para la soldadura, teniendo en cuenta la tabla J2.5 de la AISC-360 16

$F_{nmb}$ = Tensión nominal del material base (Mpa)

$F_{nw}$ = Tensión nominal de la soldadura (Mpa)

$A_{bm}$ = área del material

Resolviendo las ecuaciones se tiene que:

$$A_{bm} = 2 * (150\text{mm} * 10.7\text{mm}) + 2 * (200\text{mm} * 10.7\text{mm}) = 7490\text{mm}^2$$

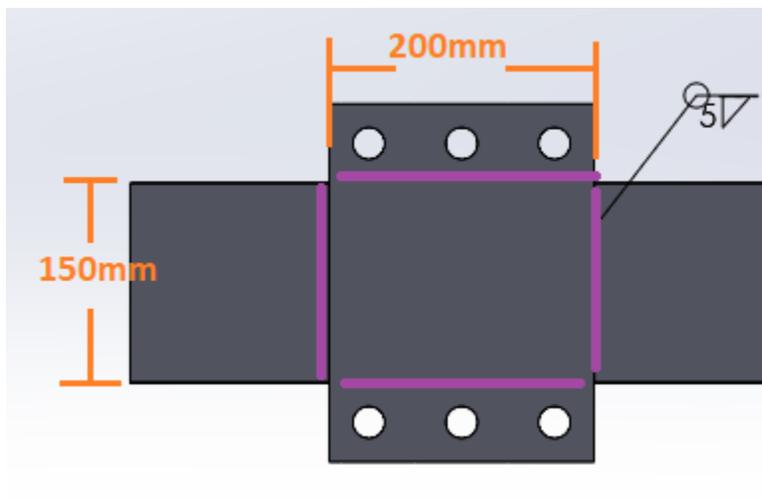
$$\phi R_{nmb} = 0.9 * 245\text{Mpa} * 7490\text{mm}^2 = 1.65 \text{ MN}$$

EL espesor de la soldadura será de 5mm. Tabla J2.4 de las especificaciones de la AISC

$$A_{we} = 2 * 150\text{mm} * \frac{5\text{mm}}{\sqrt{2}} + 2 * 200\text{mm} * \frac{5\text{mm}}{\sqrt{2}} = 2475\text{mm}^2$$

$$\phi R_{nw} = 0.8 * 482\text{Mpa} * 2475\text{mm}^2 = 954 \text{ KN}$$

$$\phi R_n = 954 \text{ KN}$$

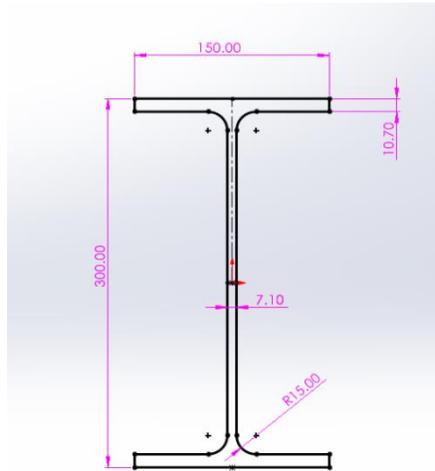


**Figura 46.** Soldadura de filete placa-viga

## 5. Simulación de la estructura a través del software SolidWorks 2014

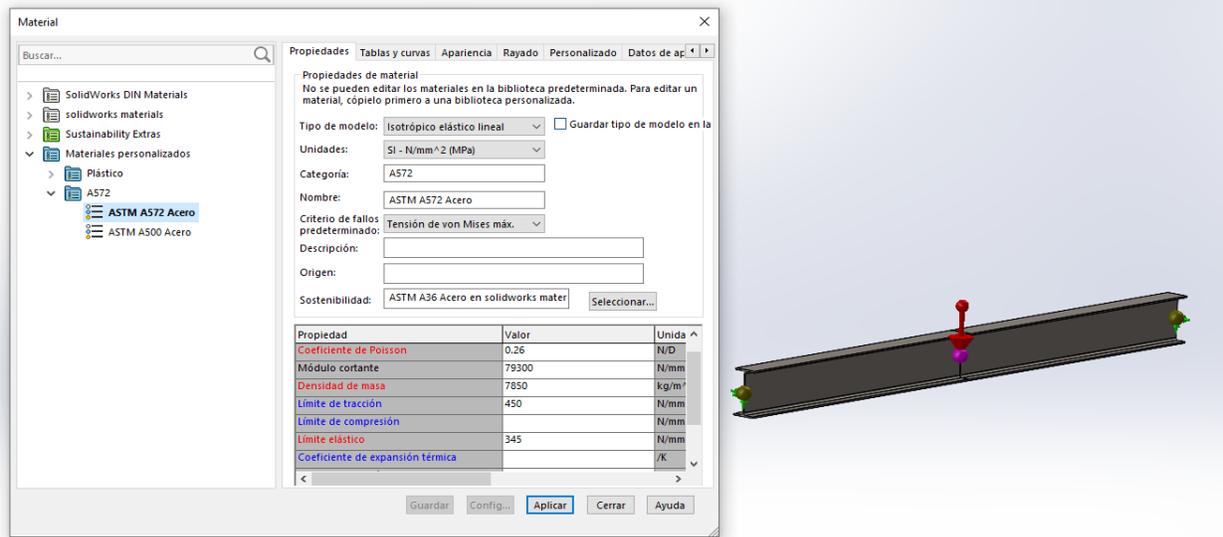
### 5.1 Simulación de la viga de carga.

Paso 1. Geometría: para realizar la simulación de la viga se debe seleccionar el perfil que anteriormente fue calculado, dando como resultado un perfil ipe 300.



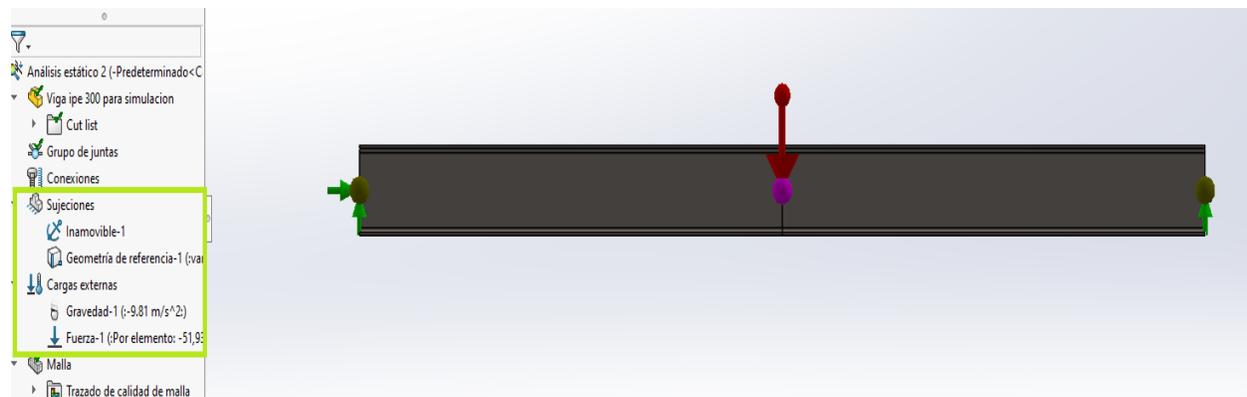
**Figura 47.** Geometría del perfil ipe 300

Paso 2. Selección del material: con la opción de SolidWorks simulation, estudio estático se le dan las características a la viga y una de ellas es el material, para este caso se selección un acero ASTM A 52 G50



**Figura 48.** Material de la viga ASTM A572 G50

Paso 3. Condiciones de contorno: Para una simulación estática exitosa, se establecen las restricciones, apoyos y las cargas que componen la viga simplemente apoyada. Se procede a colocar un apoyo inamovible y un apoyo articulado donde solo permite traslación en X, su respectiva carga de 51.93 KN a 2m de longitud y la carga de gravedad para el peso propio de la viga.



**Figura 49.** Selección de cargas y reacciones en la viga.

#### Paso 4. Calidad del mallado:

El software SolidWorks simulación 2014, tiene la opción de simplificar la simulación analizando el elemento directamente como una viga, lo que significa que su mallado lo realiza automáticamente, esto para sobrecargar la simulación y poder obtener resultados similares a los que se realizaron manualmente.

#### Paso 5. Resultados de la simulación:

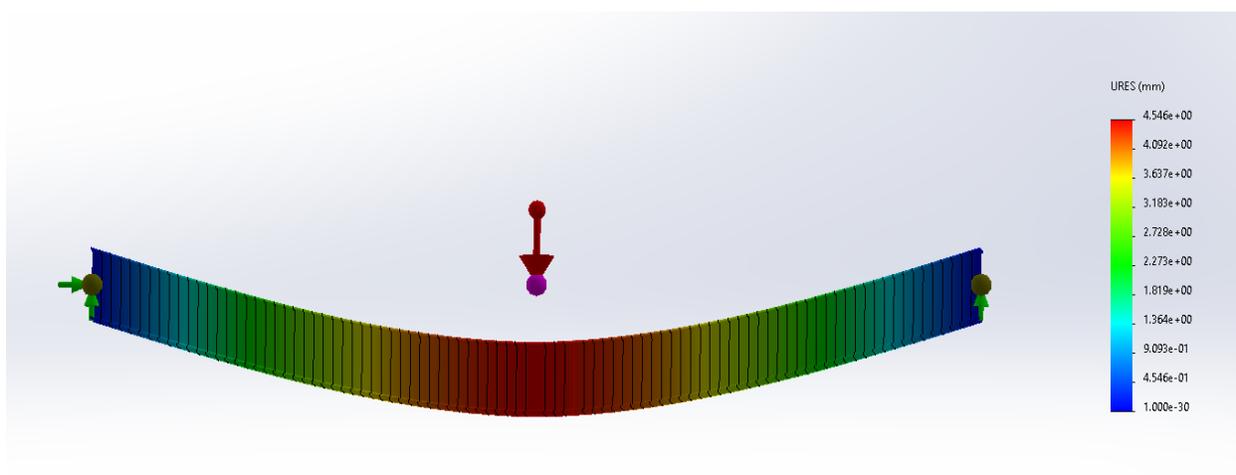
Con el comando ejecutar simulación, automáticamente me enmalla la viga para obtener los resultados más óptimos. La deformación máxima que permite la viga según la CMAA es de 4.55mm, y la deformación que nos muestra la figura es de 4.546mm. ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** teniendo un desfase en comparación con el calculo analítico de 0.53mm.

Y para los esfuerzos que soporta la viga de carga indican un valor de 95 MPA, ver Figura 51.

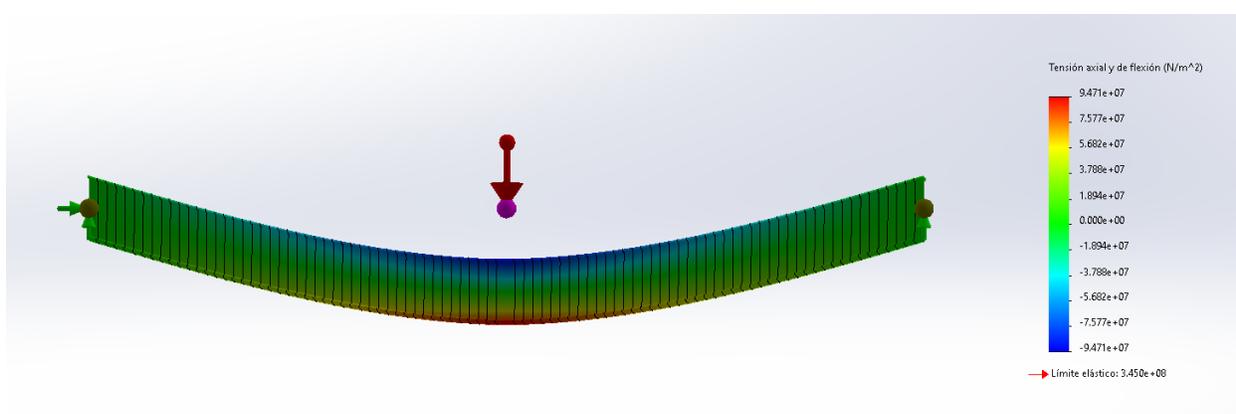
Obtenido el valor del esfuerzo, se calcula el factor de seguridad con el  $S_y$  del material.

$$n = \frac{S_y}{\sigma_a}$$

$$n = \frac{345 \text{ Mpa}}{95 \text{ Mpa}} = 3.63$$



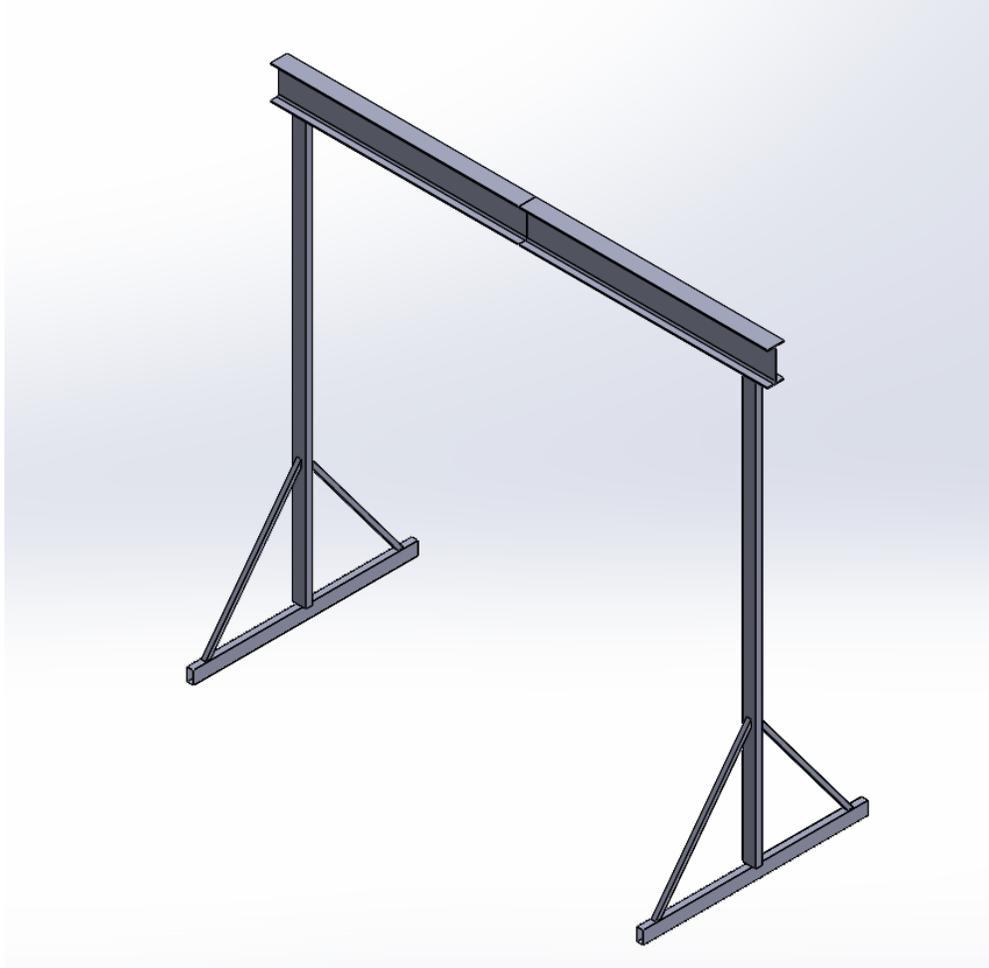
**Figura 50.** Deflexión en la viga



**Figura 51.** Esfuerzos máximos en la viga

## 5.2 Simulación de la estructura.

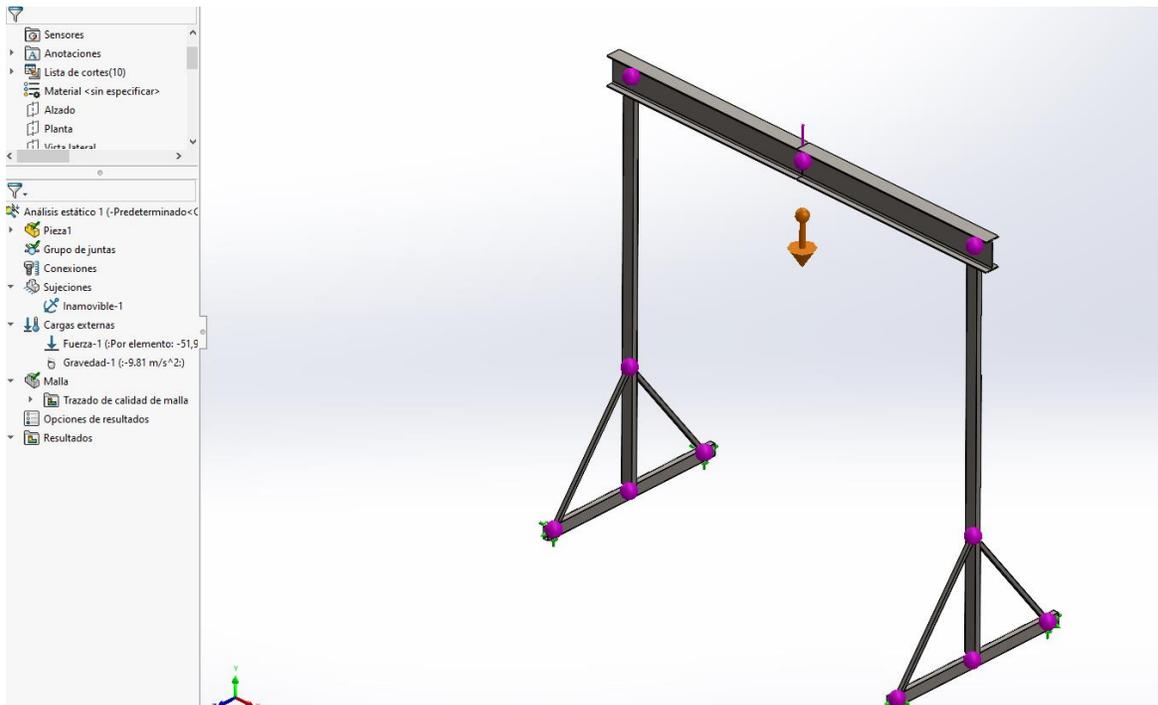
Paso 1. Geometría de la estructura: Para la estructura se tiene en cuenta viga IPE 300 de 4m de luz junto con sus dos columnas rectangulares de 120x60x3mm, estas columnas están soportadas en su eje débil por dos pie de amigos a 1.2m de altura, de perfil cuadrado 40x2mm y un soporte del mismo perfil de la columna de 2m de longitud.



**Figura 52.** Estructura de la grúa pórtico

Paso 2. Selección del material: la viga está conformada por un acero ASTM 572 G50, el resto de perfiles está conformado por acero ASTM 500.

Paso 3. Condiciones de contorno: Se establecen las sujeciones en los extremos del soporte, seleccionando las juntas con sujeción inamovible, y se coloca la carga de 51.93 KN en la viga a 2m de longitud, y por último se establece la gravedad para que tenga en cuenta el peso propio de cada elemento que lo conforma.



**Figura 53.** Condiciones de contorno de la estructura

Paso 4. Resultados de la simulación: Se ejecuta la simulación y se presentan los resultados obtenidos de la estructura, dando como resultados los esfuerzos máximos presentes en la viga y la deflexi

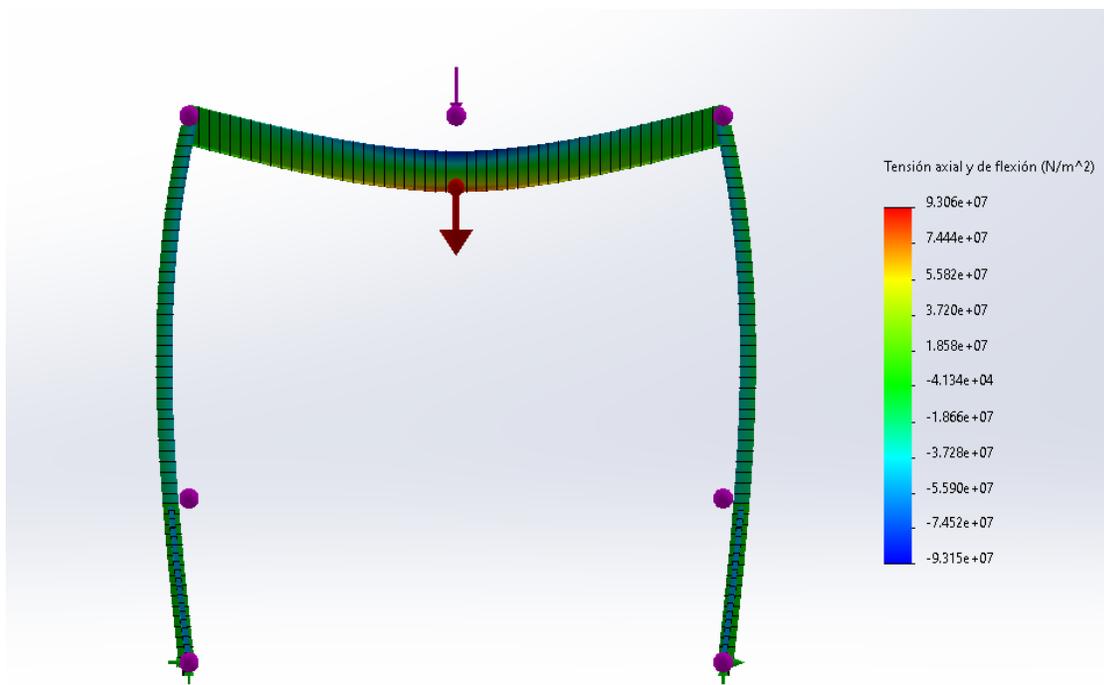


Figura 54. Condiciones de contorno de la estructura

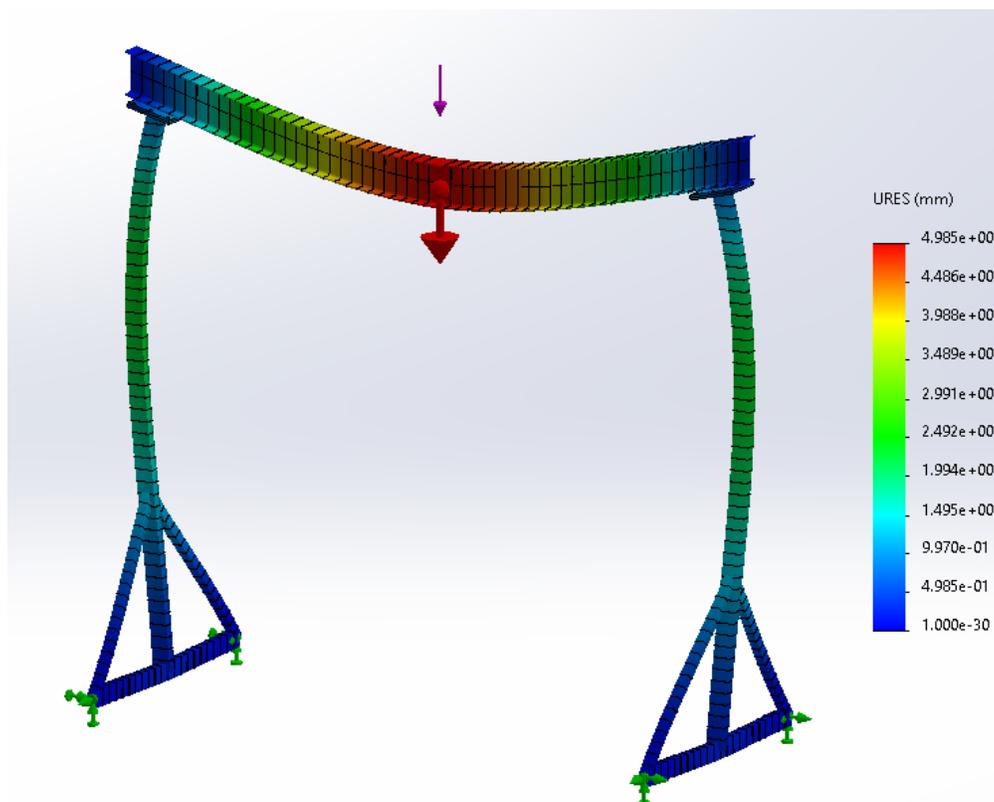
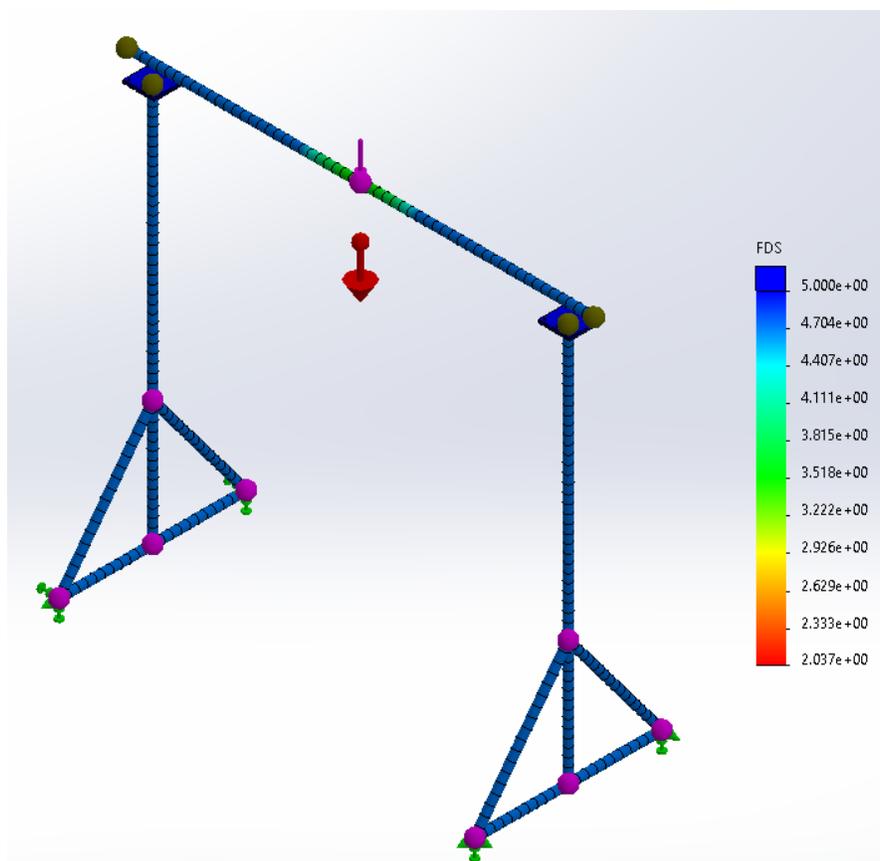


Figura 55. Deflexión de la estructura.

Como se puede observar en la Figura 56, los factores de seguridad de las estructuras dan por encima de 3, lo que nos da una confiabilidad bastante alta de la estructura pudiendo soportar cargas algo mayores y también soportando cual quier incertidumbre presentada en el fenómeno real.



**Figura 56.** Factores de seguridad de la estructura de la grúa.

## 6. Costos del proyecto.

### 6.1 Tabla de costos de proyecto con polipasto eléctrico.

**Tabla 15.** Costos de proyecto con polipasto eléctrico.

Item	Descripcion	UN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>1. MATERIALES</b>					
	Polipasto electrico SKU:PWRC5i	und	1	\$ 8,090,000	\$ 8,090,000
	Viga IPE 300 x 6m	und	1	\$ 1,821,900	\$ 1,821,900
	Perfil rectangular 120x60x3mm x 6m	und	2	\$ 385,200	\$ 770,400
	Perfil cuadrado 60x2.5mm x 6m	und	1	\$ 209,700	\$ 209,700
	Rueda autobloqueante de 1.5 ton ø:12"	und	8	\$ 500,000	\$ 4,000,000
	Tornillos A325 de 7/8 in	und	12	\$ 10,000	\$ 120,000
	arandela 7/8 in	und	24	\$ 2,000	\$ 48,000
	Tuerca 7/8 in	und	12	\$ 2,200	\$ 26,400
	Tornillos A325 1/2 in	und	72	\$ 3,000	\$ 216,000
	Arandela 1/2in	und	144	\$ 700	\$ 100,800
	Tuerca 1/2 in	und	72	\$ 600	\$ 43,200
	Platina de e:1/2"	Kg	11.5	\$ 12,000	\$ 138,000
<b>2. MANO DE OBRA</b>					
	Tecnico soldador	Dia	7	\$ 130,000	\$ 910,000
	Ayudante mecanico	Dia	7	\$ 80,000	\$ 560,000
<b>3. CONSUMIBLES</b>					
	Soldadura E7018x1/8 in	Kg	15	\$ 19,900	\$ 298,500
	Oxigeno 6.5m3	und	2	\$ 85,000	\$ 170,000
	Gas natural 33lb	und	1	\$ 60,000	\$ 60,000
	Disco de corte 4.5 x 1/16 in	und	2	\$ 4,300	\$ 8,600
	Disco de pulir 4.5 x 1/4 in	und	3	\$ 5,750	\$ 17,250
	Fondo anticorrosivo	gal	1/2	\$ 38,900	\$ 19,450
	Pintura en esmalte	gal	1/2	\$ 65,900	\$ 32,950
	Tiner	gal	1/2	\$ 36,000	\$ 18,000
				<b>TOTAL ITEMS</b>	\$ 17,679,150
	Equipos y herramientas	%	4%		\$ 618,770
<b>4. COSTOS INDIRECTOS</b>					
	Imprevistos	%	3%		\$ 530,375
	Utilidad	%	15%		\$ 2,651,873
				<b>Total costos indirectos</b>	\$ 3,182,247
				<b>TOTAL DEL PROYECTO</b>	\$ 21,480,167

## 6.2 Tabla de costos de proyecto con polipasto manual

**Tabla 16.** costos de proyecto con polipasto manual

Item	Descripcion	UN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>1. MATERIALES</b>					
	Trole Manual CM633	und	1	\$ 450,000	\$ 450,000
	Polipasto Manual yalelif 360 YL5000	und	1	\$ 1,505,900	\$ 1,505,900
	Viga IPE 300 x 6m	und	1	\$ 1,821,900	\$ 1,821,900
	Perfil rectangular 120x60x3mm x 6m	und	2	\$ 385,200	\$ 770,400
	Perfil cuadrado 60x2.5mm x 6m	und	1	\$ 209,700	\$ 209,700
	Rueda autobloqueante de 1.5 ton ø:12"	und	8	\$ 500,000	\$ 4,000,000
	Tornillos A325 de 7/8 in	und	12	\$ 10,000	\$ 120,000
	arandela 7/8 in	und	24	\$ 2,000	\$ 48,000
	Tuerca 7/8 in	und	12	\$ 2,200	\$ 26,400
	Tornillos A325 1/2 in	und	72	\$ 3,000	\$ 216,000
	Arandela 1/2in	und	144	\$ 700	\$ 100,800
	Tuerca 1/2 in	und	72	\$ 600	\$ 43,200
	Platina de e:1/2"	Kg	11.5	\$ 12,000	\$ 138,000
<b>2. MANO DE OBRA</b>					
	Tecnico soldador	Dia	7	\$ 130,000	\$ 910,000
	Ayudante mecanico	Dia	7	\$ 80,000	\$ 560,000
<b>3. CONSUMIBLES</b>					
	Soldadura E7018x1/8 in	Kg	15	\$ 19,900	\$ 298,500
	Oxigeno 6.5m3	und	2	\$ 85,000	\$ 170,000
	Gas natural 33lb	und	1	\$ 60,000	\$ 60,000
	Disco de corte 4.5 x 1/16 in	und	2	\$ 4,300	\$ 8,600
	Disco de pulir 4.5 x 1/4 in	und	3	\$ 5,750	\$ 17,250
	Fondo anticorrosivo	gal	1/2	\$ 38,900	\$ 19,450
	Pintura en esmalte	gal	1/2	\$ 65,900	\$ 32,950
	Tiner	gal	1/2	\$ 36,000	\$ 18,000
				<b>TOTAL ITEMS</b>	\$ 11,545,050
	Equipos y herramientas	%	4%		\$ 404,077
<b>4. COSTOS INDIRECTOS</b>					
	Imprevistos	%	3%		\$ 346,352
	Utilidad	%	15%		\$ 2,651,873
				<b>Total costos indirectos</b>	\$ 2,998,224
				<b>TOTAL DEL PROYECTO</b>	\$ 14,947,351

## 7. Conclusiones

Se logró realizar el diseño mecánico de manera exitosa del dispositivo solicitado por la empresa de mantenimiento industrial HEROS S.A.S. denominado grúa pórtico de capacidad de 5 toneladas, para mejorar la carga, descarga y el transporte de maquinaria pesada debido al incremento de proyectos de mayor capacidad, optimizando el tiempo de trabajo y la capacidad de carga, obteniendo grandes beneficios para la empresa tanto, económicos como para el proceso de producción.

Se trabajo con el método de factores de carga y resistencias LRFD basado en la norma americana de aceros AISC 360-16, en el cual se tomó las cargas mayoradas para su diseño, logrando que este pueda elevar su capacidad nominal de carga de un 20%, debido a que los factores de carga muerta y carga viva son algo conservadores para el diseño, obteniendo un factor de seguridad mayor a 3 obteniendo la seguridad de que llegado al caso se necesite elevar un 20% más de su capacidad nominal lo pueda hacer sin que este falle.

El factor determinante para el diseño de la viga, es la limitación de la flecha máxima apoyada en ambos extremos que ofrece la norma para puentes grúa CMAA 70. En este caso se tomó  $L/880$ , lo que genera un sobredimensionamiento en la selección del perfil de la viga para que no sobrepase la flecha limite.

## **8. Recomendaciones**

Para la mejora de este proyecto es necesario darle enfoque a la optimización de materiales realizándolo por la normativa de puentes grúas CMAA 70, y haciendo una leve comparación de cual procedimiento es más óptimo usar para el diseño de grúas móviles.

En los procesos de la simulación se recomienda trabajar con una alta densidad en la calidad del mallado, logrando aumentar la cantidad de elementos que conforman la malla y estén dentro del rango de calidad cercano a 1, de tal modo que se puedan obtener valores más exactos, ya que su simulación estaría más enfocada al fenómeno real. Sin embargo, se requiere de un buen equipo de graficas para que dicha malla pueda realizarse.

Se puede realizar el diseño de las ruedas de transporte de la grúa pórtico, para que así se puedan fabricar de la manera deseada, y disminuir los costos.

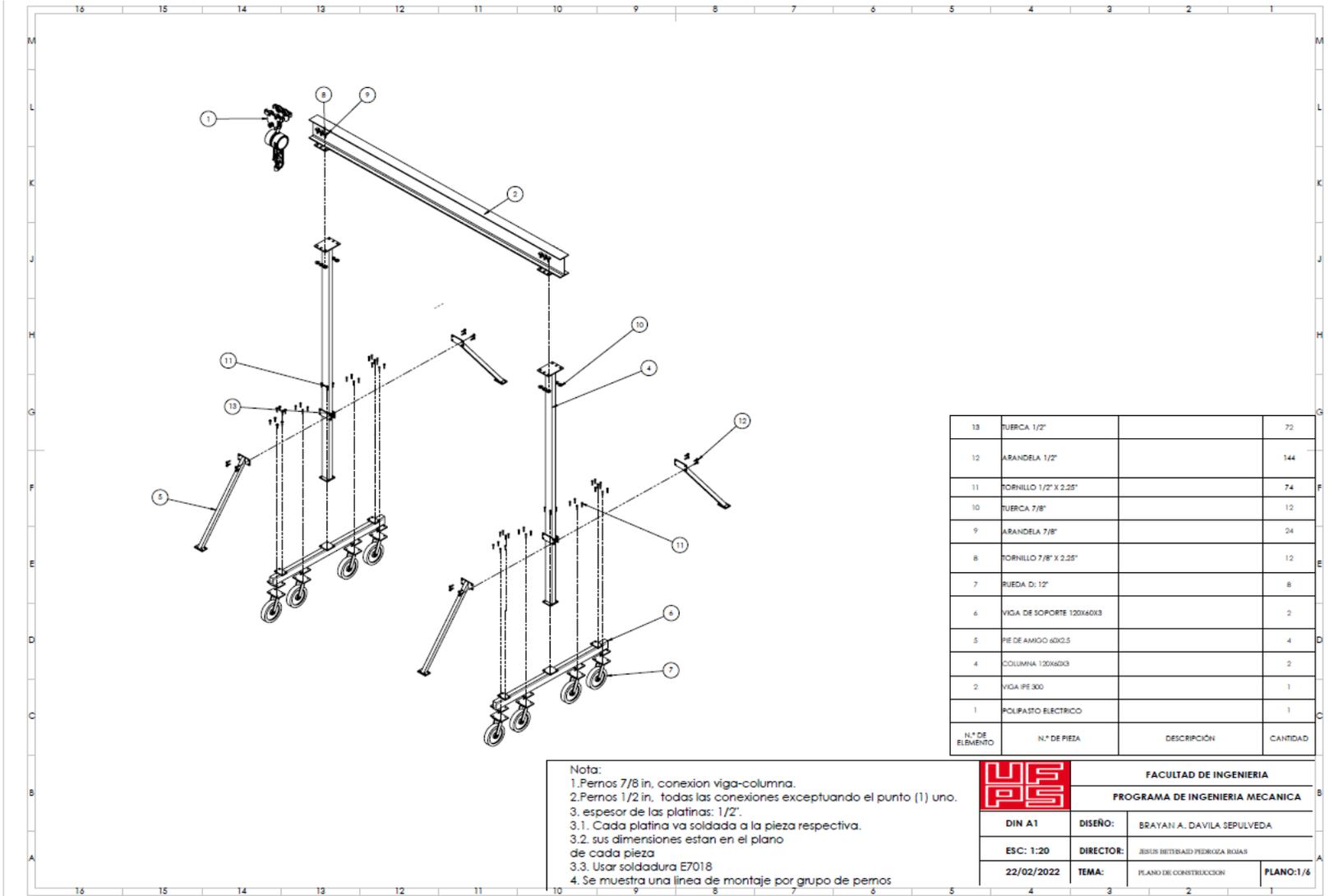
## 9. Referencias Bibliográficas

- Aguirre, C. (2010). Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de acero.
- Alvarez, F. (2020). Cargas móviles. Aplicación al dimensionado de un puente grúa de 30 m y 20 t. Valladolid.
- Arango, J. (2017). Diseño de puente grúa para taller con capacidad de 5 toneladas. Medellín.
- Bernard J. Hamrok, B. O. (2000). Elementos de maquinas.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.
- Columbus McKinnon. (2022) Catálogo de Columbus McKinnon -Trole manual de jalón 633 CM. Recuperado de: <https://cmco-latam.com/cmdp/producto/cm-633/>
- Columbus McKinnon. (2022) Catálogo de Columbus McKinnon polipastos manuales de cadena Yalelift 360. Recuperado de: <https://cmco-latam.com/cmdp/producto/polipastos-manuales-de-cadena-yalelift-360/>
- Dávila, E., & Roca, J. (2016). Diseño y simulación estructural de una grúa pórtico para descarga y almacenamiento de bobinas de acero. Guayaquil.
- Duarte, E., & Duarte, P. (2019). Diseño de una grúa pluma para ensamblaje y desensamble de la mandíbula de cuchillas a la trituradora primaria en la empresa pre concreto S.A. Cucuta.
- Especificación de diseño del factor de carga y resistencia para acero estructural. (1999).
- Ellsengruaportico (s.f.) Tipos de gruas pórtico. Recuperado de: <https://ellsengruaportico.es/tipos-de-gruas-portico/>
- Faires, V. M. (2011). Diseño de elementos de maquinas.
- Hibbeler, R. C. (2011). Mecánica de materiales 8 edición.

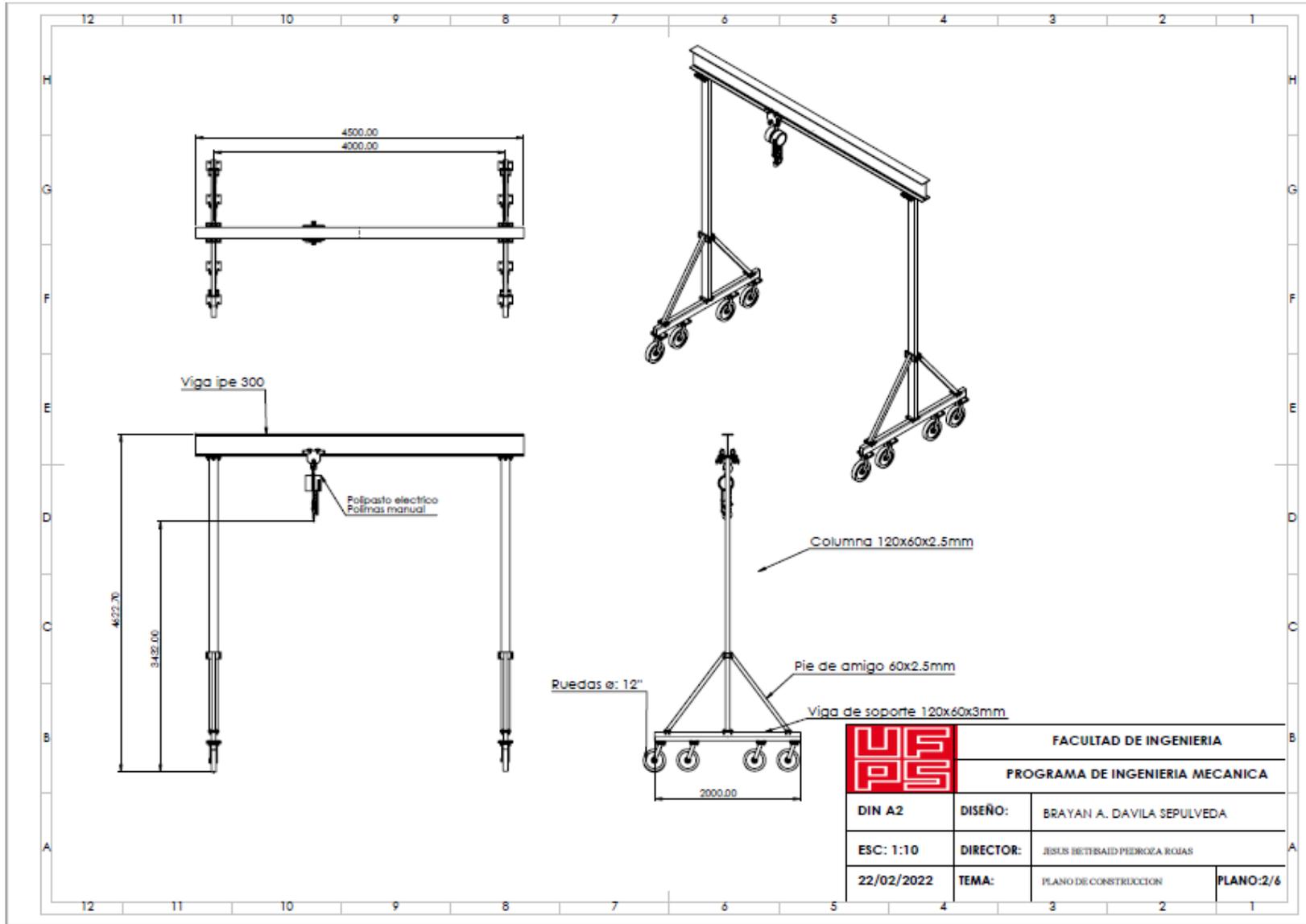
- Jaramillo, G. (2018). Diseño de un puente grúa y sistema stand reel para mejorar el transporte de bobinas de papel en el proceso de rebobinado. Cuenca.
- L., N. R. (2011). Diseño de maquinas.
- Material mundial. (2021). Obtenido de Material mundial: Recuperado de:<https://www.materialmundial.com/acero-astm-a36-propiedades-ficha-tecnica-estructural/>
- Matinez, D. (2016). Diseño y cálculo de la estructura de una grúa pórtico de 50 t de capacidad y 50 m de luz. Castellon de la Plana.
- Mccormac, J., & Csernak, S. (2012). Diseño de estructuras de acero 5a edicion.
- Ministerio de trabajo y seguridad social. (s.f.). Resolución 2400 de 1979.
- Mott, R. (2009). Resistencia de materiales 5 edición .
- Panelco (2020) Tablas de referencia perfil I livivano de alas paralelas. Recuperado de: <https://panelco.com.co/wp-content/uploads/2020/04/vigas-IPE-panelco-2020.pdf>
- Pardo, J. (12 de Julio de 2013). encaja ensamblajes y trading. Recuperado de:<https://blog.cajaeco.com/principales-tipos-de-gruas/>
- Prowinch.co (2022) Tecle Cadena con Carro Electrico 5 Tons 3 Fases 9 Metros 2 Speed Heavy Duty. Recuperado de: <https://www.prowinch.co/catalog/tecle-cadena-con-carro-elctrico-5-tons-3-fases9-metros-2-speed-heavy-duty>
- Rodriguez, D. (2008). NTP 736: Grúas tipo puente (I): generalidades.
- Vasco, D. (2011). Diseño y simulacion de un puente grua de 15 toneladas de capacidad para los talleres de arcolands division oriente. Quito.

## **Anexos**

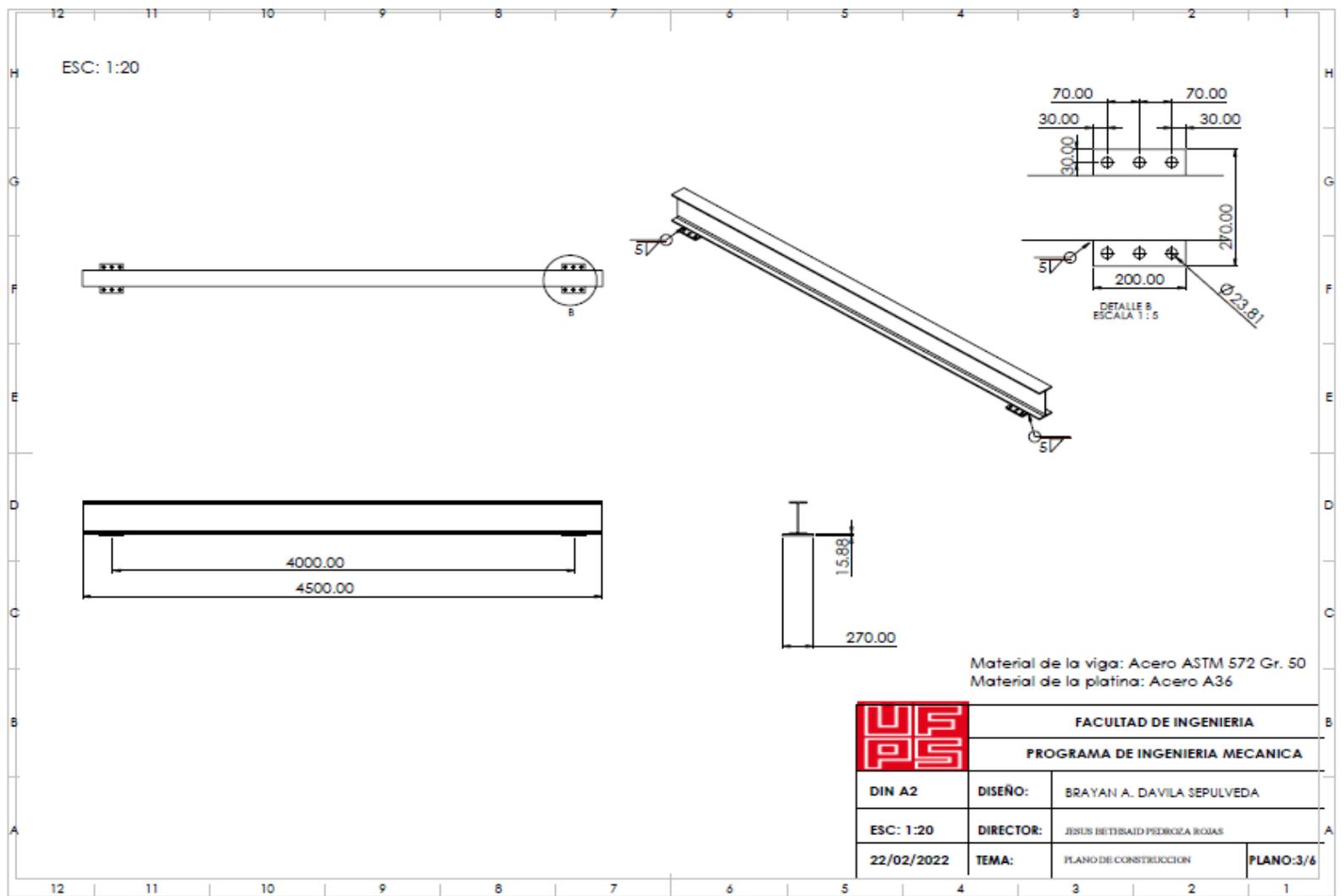
Anexo 1. Plano de construcción 1



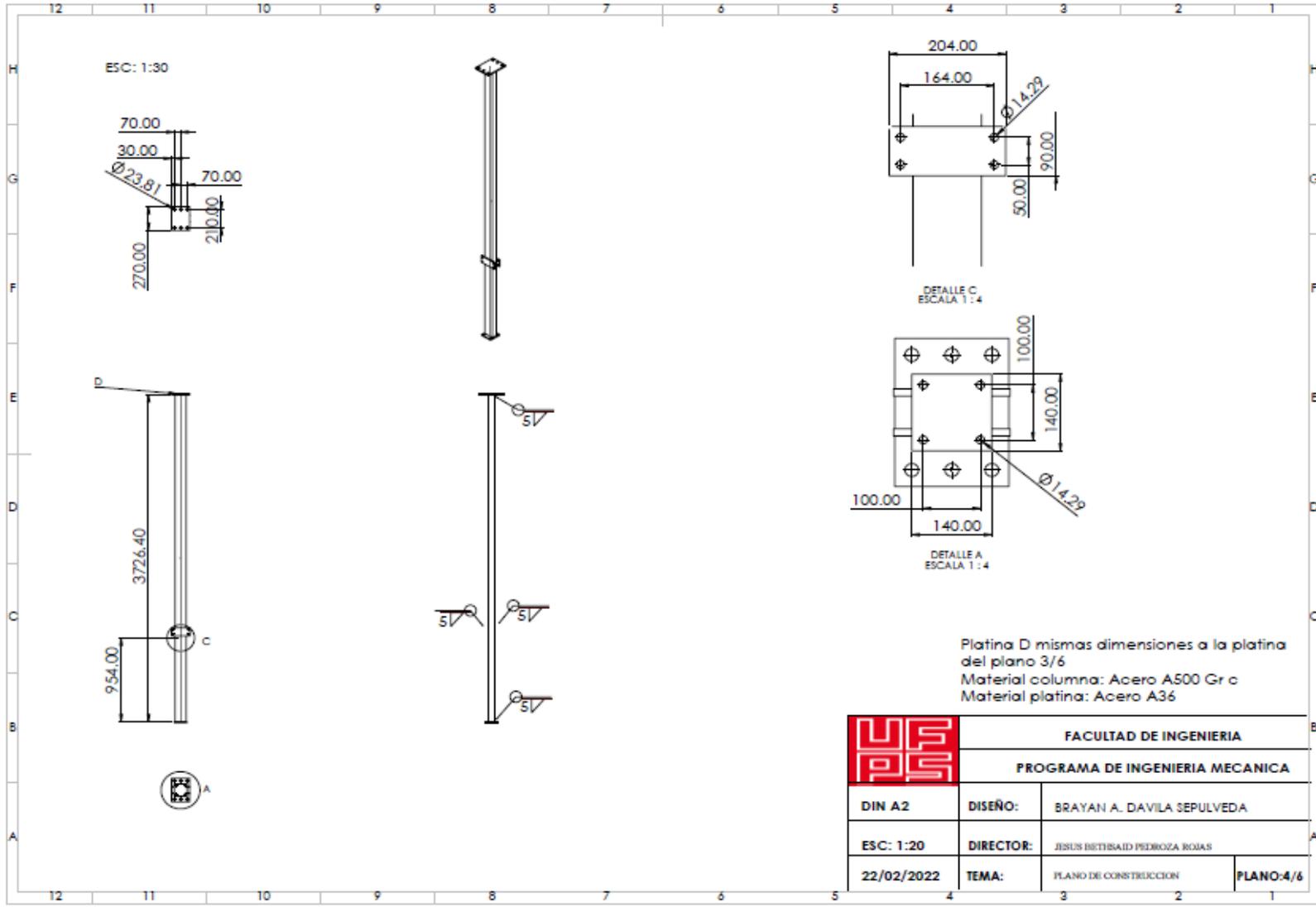
Anexo 2. Plano de construcción 2



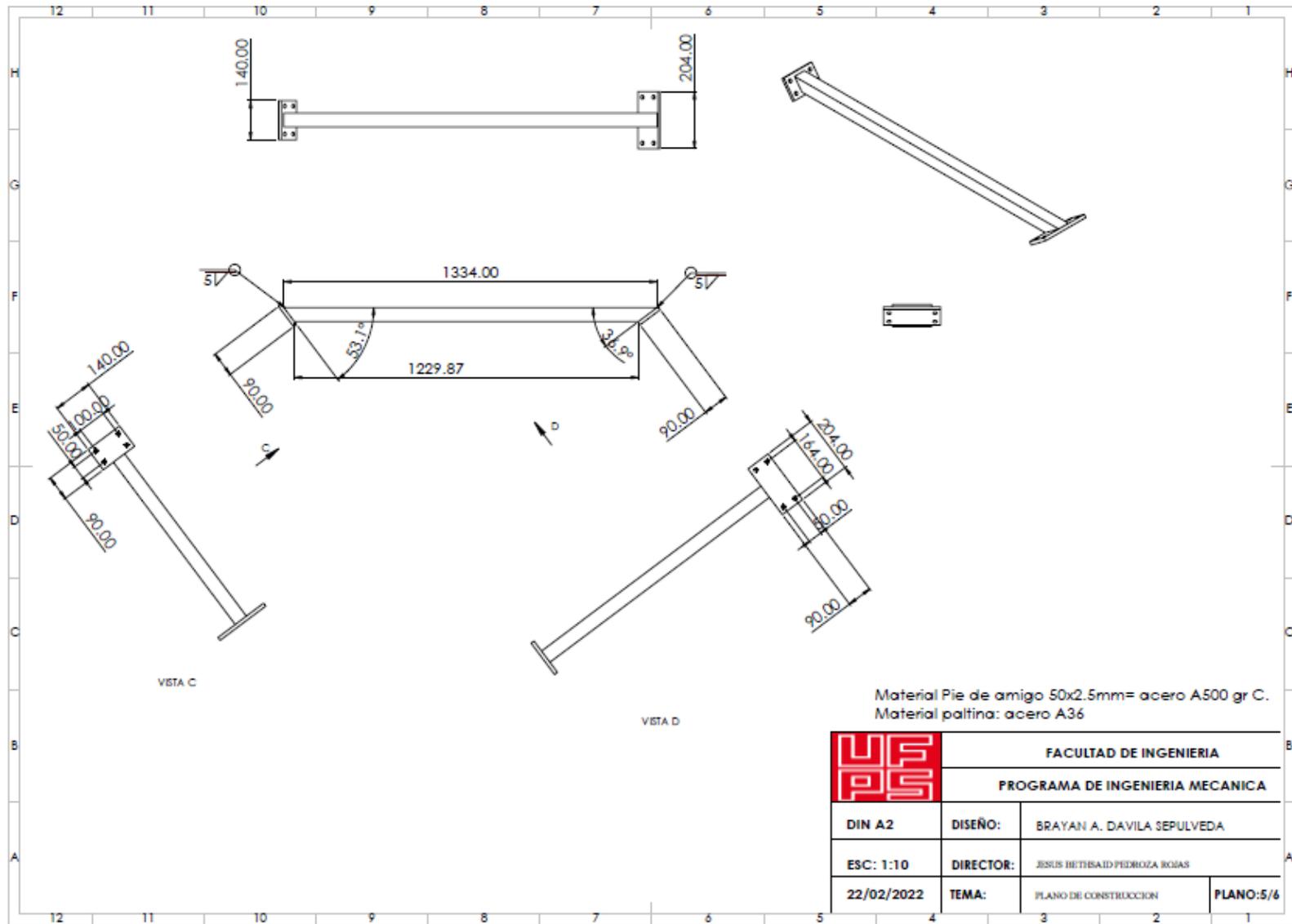
Anexo 3. Plano de construcción 3



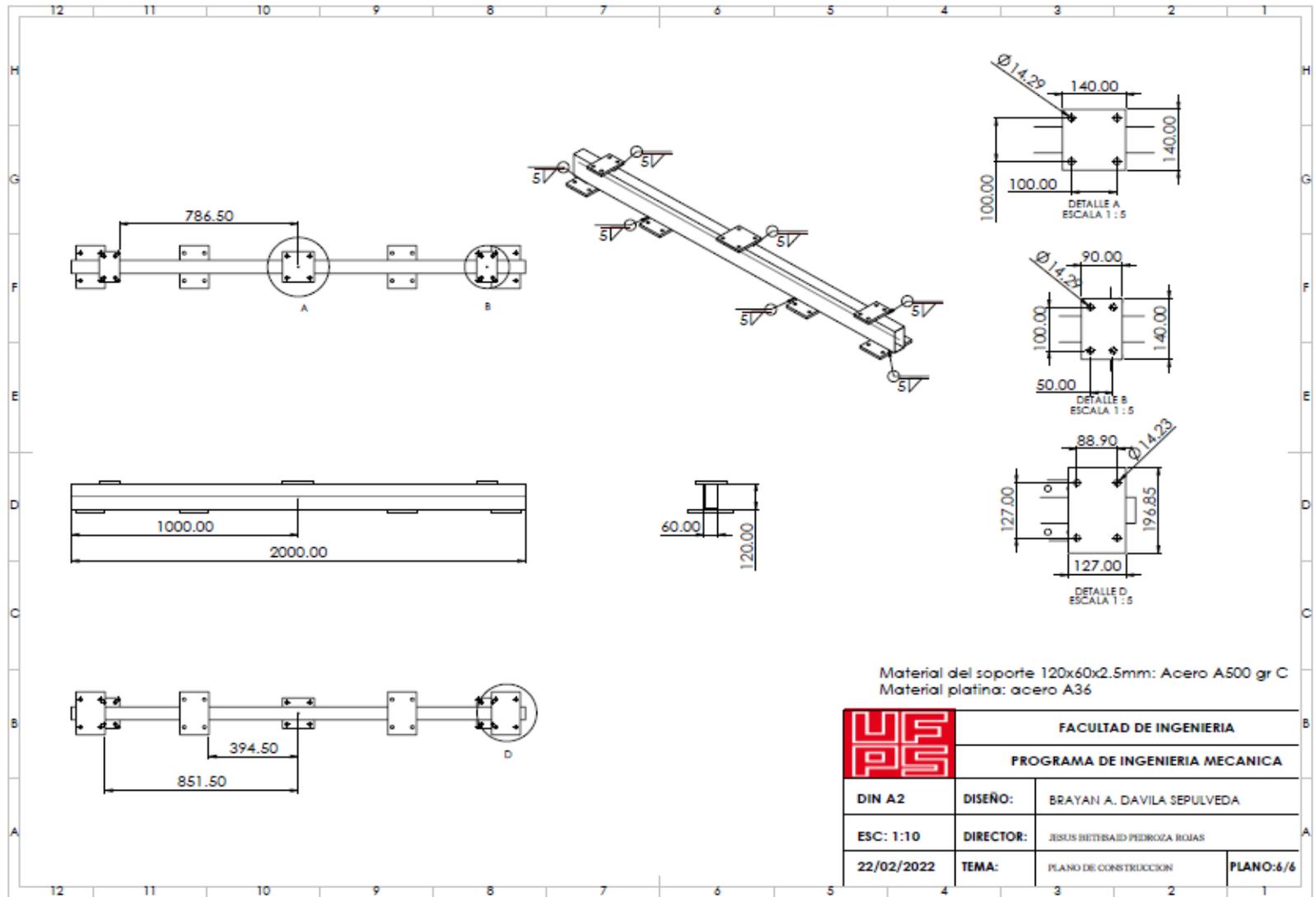
Anexo 4. Plano de construcción 4



Anexo 5. Plano de construcción 5



Anexo 6. Plano de construcción 6



**Anexo 7. Ensamble final grua portico**

