

**ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA**



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO**

“DISEÑO DE UN PUENTE GRÚA DE 2 TONELADAS”

Gonzalo Antonio Yáñez Vílchez

Ingeniero Mecánico

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Profesor Guía: Sr. Jorge Zhar Viñuela

Profesor Co-Guía: Sr. Gustavo Morales Pávez

2020

Resumen

A continuación, se presentará el diseño de un puente-grúa, semi-pórtico giratorio, el cual estará pivoteado a uno de los pilares de un galpón industrial. Para la creación del puente grúa será necesario acudir a la normativa americana de puentes-grúa CMAA-70; la cual establece los parámetros y condiciones para su diseño.

Este deberá cumplir con una capacidad de levante de 2 toneladas, una luz de 6 metros y podrá girar un máximo de 150° en torno a uno de los pilares pórtico del galpón, la estructura base se apoyará en el piso a través de ruedas para así facilitar el desplazamiento de la grúa sobre el piso; en el otro extremo de la grúa la viga principal se encontrará pivoteada mediante una ménsula giratoria la cual se encontrará adosada a uno de los pilares pórtico del galpón.

Así mismo, se pretende realizar una verificación al cálculo estructural del galpón, ya que estará expuesto a una nueva condición de carga y según la norma de diseño NCH-3137 señala que se debiese reforzar una estructura existente, al momento de realizar nuevas cargas, en caso de ser necesario.

Contenido

1.Introducción	- 1 -
1.1 Objetivo general	- 1 -
1.2 Objetivos específicos.....	- 1 -
1.3 Antecedentes.....	- 2 -
2.Fundamento teórico	- 3 -
2.1 Puente grúa	- 3 -
2.2 Tipos de grúas.....	- 3 -
2.3 Clasificación de puente grúa según norma CMAA-70	- 6 -
2.4 Clasificación de servicio según norma CMAA 78	- 6 -
2.5 Metodología de cálculo.....	- 9 -
3 Memoria de cálculo.....	- 17 -
3.1 Características del puente grúa.....	- 17 -
3.2 Partes del puente grúa	- 18 -
3.3 Condiciones de carga	- 19 -
3.4 Consideraciones dinámicas	- 21 -
3.5 Análisis estructural.....	- 21 -
3.6 Viga principal.....	- 30 -
3.6.1 Análisis estructural a viga rectangular	- 30 -
.....	- 32 -

3.6.2 Viga carril	- 32 -
3.6.7 Análisis de tensión a la viga carril	- 34 -
3.6.4 Soldadura viga carril	- 36 -
3.7 Pivote.....	- 42 -
3.7.1 Análisis al pasador.....	- 43 -
3.7.2 Análisis a la placa inferior del pivote.....	- 50 -
3.7.3 Soldadura en el pivote	- 53 -
3.8 Cálculo de pandeo al puente grúa	- 58 -
3.9 Pilar pórtico.....	- 60 -
3.10 Cálculo de soldadura y ubicación de cáncamos.....	- 61 -
3.11 Cálculo de soldadura en la unión rígida.....	- 66 -
3.12 Selección de ruedas	- 68 -
4.Instalacion y montaje	- 70 -
4.1 Instalación y montaje de pivote:	- 70 -
4.2 Instalación y montaje de Pilar.....	- 74 -
4.3 Instalación y montaje de viga principal	- 77 -
5.Memoria de costos.....	- 83 -
5.1 Costos de adquisición.....	- 84 -
5.2 Costos de fabricación	- 84 -
5.3 Costos de instalación y montaje	- 86 -

5. Conclusión	91
6.Recomendaciones	92
7.Nomenclatura.....	95
8.Bibliografía	97
9.Anexos	98
Anexo 1	98
Anexo 2	99
Anexo 3	104
Anexo 4	105
Anexo 5	105
Anexo 6	106
Anexo 7	106
Anexo 8	109
Anexo 9	110
Anexo 10	111
Anexo 11	113
.....	113
Anexo 12	114
Anexo 13	115
Anexo 15	117

Anexo 16	118
Anexo 17.....	119
Anexo 18	120
Anexo 19	121
Anexo 20	123
Anexo 21	124

Índice de figuras

Fig. 1.1: Cuba de almacenamiento, fuente: empresa ingesaf

Fig. 2.1: Puente grúa birriel fuente: GNC calderería.

Fig. 2.2: Grúa pórtico fuente: ABUS grúas

Fig. 2.3: Grúa semi-pórtico fuente: ABUS grúas

Fig.2.4: Grúa ménsula fuente: ABUS grúas

Fig.2.5: Grúa de brazo giratorio fuente: ABUS grúas

Fig. 2.6: Factor de cálculo de longitud reducida. Fuente: Autodesk Knowledge Network

Fig. 3.1: Disposición del puente grúa en el galpón. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.2: Partes del puente grúa. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.3: Condiciones de carga. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.4: Diagrama de cuerpo libre al puente grúa. Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.5: Desplazamientos máximos en caso 1. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.6: Esfuerzos máximos en caso 1. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.7: Desplazamientos máximos en caso 2. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.8: Esfuerzos máximos en caso 2. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.9: Desplazamientos máximos en caso 3. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.10: Esfuerzos máximos en caso 3. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.11: Resultados de análisis estructural al perfil rectangular de la viga principal.
Fuente: Software Inventor.

Fig. 3.12: Resultados de análisis estructural al perfil rectangular de la viga IPN 280. Fuente: Software Inventor.

Fig. 3.13: Diagrama de cuerpo libre a viga carril. Fuente: Elaboración propia

Fig. 3.14: Análisis de tensión a viga carril. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.15: unión soldada viga IPN 280. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.16: fuerzas y pares en el centroide en la unión soldada. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.17 y 3.18: Partes del pivote. Fuente: elaboración propia Fig. 3.17: análisis al pasador. Fuente software autodesk inventor.

Fig. 3.19: Diagrama de cuerpo libre al pivote. Fuente: elaboración propia

Fig. 3.20: análisis al pasador. Fuente software autodesk inventor.

Fig. 3.21: Diagrama de fuerzas cortantes. Fuente software autodesk inventor.

Fig. 3.22: Diagrama de momento flector. Fuente software autodesk inventor.

Fig. 3.23: Tensión normal máxima. Fuente software autodesk inventor.

Fig. 3.24: análisis al pivote. Fuente: software autodesk inventor

Fig. 3.25: Restricciones en el pivote: Fuente: software Inventor.

Fig. 3.26: cargas y pares en la unión soldada. Fuente: elaboración propia.

Fig. 3.27: Análisis de pandeo a puente grúa. Fuente: Software Robot Structural.

Fig. 3.28: Análisis Deflexión en el puente grúa. Fuente: Software Robot Structural

Fig. 3.29: Cálculo de pandeo a puente grúa. Fuente: software Robot Structural Análisis.

Fig. 3.30: Cálculo de centro de masas viga principal. Fuente: elaboración propia.

Fig. 3.31: DCL general Izaje de viga principal. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.32: DCL eslinga de izaje viga. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3.33: Cálculo de soldadura a cáncamos. Fuente: elaboración propia

Fig. 3.34: Cálculo de soldadura en la unión rígida. Fuente: elaboración propia.

Fig. 3.35: Ángulo de inclinación en ruedas laterales. Fuente elaboración propia.

Fig. 4.1: Montaje pivote Actividad 1.1. Fuente: elaboración propia.

Fig. 4.2: Montaje pivote Actividad 1.2. Fuente: elaboración propia.

Fig. 4.3: Montaje pivote Actividad 1.3. Fuente: elaboración propia.

Fig. 4.4: Montaje pivote Actividad 1.4. Fuente: elaboración propia.

Fig. 4.5: Montaje pivote Actividad 1.5 y 1.6. Fuente: elaboración propia.

Fig. 4.6: Montaje de pilar, actividad 2.1. Fuente: elaboración propia.

Fig. 4.7: Montaje de pilar actividad 2.2. Fuente: elaboración propia.

Fig. 4.8: Montaje de pilar actividad 2.3. Fuente: elaboración propia.

Fig. 4.9: Montaje de viga actividad 3.1. Fuente: elaboración propia.

Fig. 4.10: Montaje de viga actividad 3.2. Fuente: elaboración propia.

Fig. 4.11: Montaje de viga actividad 3.3 y 3.4. Fuente: elaboración propia.

Fig. 4.12: Montaje de viga actividad 3.5. Fuente: elaboración propia.

Fig. 6.1: recomendación de barra diagonal doble. Fuente: elaboración propia

Fig. 6.2: Barra diagonal soldada al nudo del pilar. Fuente: elaboración propia.

Fig. 6.3: pletina carril. Fuente: elaboración propia.

Fig. A1 y A2: Vista del galpón en elevación y planta. Fuente elaboración propia

Fig. A3: restricciones viga IPN. Fuente: Software Inventor.

Fig. A4. Cálculo de inercia soldadura viga carril. Fuente elaboración propia

Fig. A5. Cálculo de inercia y centroide soldadura pivote. Fuente elaboración propia

Fig. A6: Numeración de perfiles para análisis de pandeo. Fuente: Elaboración propia

Fig.A7: Cálculo de inercia a soldadura de cáncamos. Fuente elaboración propia

Fig. A8: Detalle ruedas. Fuente: Catalogo McMaster,

Fig. A9: Ficha técnica de ruedas. Fuente: Catalogo McMaster,

Fig. A10 y A11: polipasto. Fuente: Catalogo McMaster,

Fig. A12 y A13: polipasto. Fuente: Catalogo McMaster

Fig. A14: Deformaciones máximas caso de 2 barras diagonales. Fuente: elaboración propia.

Fig. A15: Esfuerzo máximo, caso de 2 barras diagonales. Fuente: elaboración propia

Fig. A16: Deformación máx. caso de barras diagonales soldada al nodo central del pilar. Fuente: elaboración propia

Fig. A17: Esfuerzo máximo, caso de barra diagonal soldada al nodo central del pilar. Fuente: elaboración propia

Índice de tablas

Tabla 2.1 resumen de clases de servicios según norma CMAA 78 fuente: Crane manufacturers Association of America.

Tabla 2.2: Clases de servicios según clase de carga y ciclos de cargas Fuente: Crane manufacturers Association of America.

Tabla 3.1: Partes principales del puente grúa. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.2: resumen de resultados, análisis en casos 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3: Propiedades mecánicas de soldadura E7018.Fuente: Catálogo Indura

Tabla 3.4: Resultados análisis a unión soldada de la viga carril. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5: Valores del coeficiente de correlación en función al tipo de acero. Fuente: Norma europea NBE EA-95

Tabla 3.6: Factor de concentración de esfuerzos para cordones de soldadura. Fuente: Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley

Tabla 3.7: Esfuerzo permisible para cordones de soldadura. Fuente: Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley

Tabla 3.8: Partes del pivote... Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.9 Propiedades del pasador. Fuente: software Inventor

Tabla 3.10: Condiciones de contorno del pasador. Fuente: software Inventor

Tabla 3.11: Resultados cálculo de factor de seguridad al pasador.

Tabla 3.12: Resultados cálculo de soldadura al pivote. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.13: Propiedades de la placa del pivote. Fuente: software Inventor

Tabla 3.14: Tipo de malla pivote. Fuente: Software Inventor

Tabla 3.15: Cargas análisis al pivote. Fuente: Software Inventor

Tabla 3.16: Análisis de sensibilidad. Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.17: Resumen de esfuerzos en cordones de soldadura del pivote. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.18: Resultados cálculo de soldadura al pivote. Fuente: elaboración propia

Tabla 3.19. Dimensiones perfil tecno MM. Fuente: catalogo Formac.

Tabla 3.20: Cálculo de centroide. Fuente elaboración propia.

Tabla 3.21: Cálculo de soldadura en cáncamos de izaje. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.22: Resumen de esfuerzos en cordones de Unión soldada del pilar y viga. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.23: Cálculo de soldadura en la unión rígida. Fuente elaboración propia

Tabla 3.24: Reacciones en ruedas según casos de carga. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.1: Detalle de ítems montaje pivote. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2: Detalle de ítems montaje pilar. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2: Detalle de ítems montaje pilar. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3: Detalle de ítems montaje viga principal. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.4: Tabla de carga GTH-636. Fuente: Catalogo Trex. Tabla A1: Desplazamientos máximos. Fuente: Norma CMAA-70

Tabla A1: Condiciones de carga caso 1. Fuente elaboración propia.

Tabla A2: Condiciones de contorno caso 1. Fuente elaboración propia.

Tabla A3: Propiedades del material caso 1. Fuente elaboración propia.

Tabla A4: Reacciones en caso 1. Fuente elaboración propia.

Tabla A5: Resultados caso 1. Fuente elaboración propia.

Tabla A6: Reacciones en caso 2. Fuente elaboración propia.

Tabla A7: Resultados caso 2. Fuente elaboración propia.

Tabla A8: Reacciones en caso 3. Fuente elaboración propia.

Tabla A9: Resultados caso 3. Fuente elaboración propia.

Tabla A10: Desplazamientos máximos. Fuente: Norma CMAA-70

Tabla A11: comparativo de normas y propiedades de acero estructural A36. Fuente: Catalogo compromet

Tabla A12: Viga principal. Fuente: Catalogo prodalam

Tabla A13: Viga carril: Fuente: Catalogo prodalam

Tabla A14 propiedades de viga IPN280. Fuente: software Inventor.

Tabla A15: Cargas análisis viga IPN. Fuente: elaboración propia

Tabla A16: Configuración malla análisis viga IPN. Fuente: elaboración

Tabla A17: Resultados análisis viga IPN. Fuente: elaboración propia

Tabla A18. Cálculo de inercia soldadura viga carril, medidas en milímetro. Fuente elaboración propia

Tabla A19: Acabado superficial. Fuente: Diseño de Ingeniería Mecánica, de Shigley, Octava edición Richard , Budynas.

Tabla A20: Factor de confiabilidad. Fuente: Diseño de Ingeniería Mecánica, de Shigley, Octava edición Richard, Budynas.

Tabla A21: Cálculo de centroide de soldadura en el pivote, medidas en milimetro. Fuente elaboración propia

Tabla A22: Cálculo de momento de inercia a soldadura del pivote, medidas en milímetro. Fuente elaboración propia.

Tabla A23: Comprobación de perfiles mediante análisis de pandeo. Fuente: software autodesk Robot structural análisis 2020

Tabla A24: Tabla de eslingas. Fuente: Norma ASME B30-26

Tabla A25: Cálculo de inercia a soldadura de cáncamos.

Fuente elaboración propia

Tabla A26: Ficha técnica manipulador telescópico. Fuente Catalogo trex.

Tabla A27: Detalle de recubrimiento. Fuente: Elaboración propia.

1.Introducción

En la actualidad los puentes-grúas cumplen la función del transporte de cargas pesadas, permitiendo izar y desplazar cargas de forma sencilla y segura. Teniendo la capacidad de movilizar las piezas de forma vertical u horizontal, por lo general podemos encontrarlas en áreas de la ingeniería como, por ejemplo, en la industria portuaria, mineras, fabricación, montaje industrial, etc. Con el fin de minimizar tiempo productivo, un mayor control de la carga, rapidez y facilidad en movimientos; obteniendo una mayor eficiencia a la hora de trasportar cargas.

1.1 Objetivo general

Diseño de un puente-grúa semi-pórtico de 2 toneladas, utilizado para el izaje de cargas en un taller dedicado al rubro industrial, específicamente maniobras de fabricación de cubas vitivinícolas de 1000 a 1300 kg.

1.2 Objetivos específicos

- Recaudar antecedentes necesarios para el diseño del puente grúa
- Diseño del puente-grúa según normativa americana “CMAA 70”
- Verificar el cálculo estructural del galpón según normativa “NCH 3171”
- Ejecución de planos
- Memoria de costos

1.3 Antecedentes

La empresa *INGESAF* dedicada al montaje industrial; ubicada en la ciudad de San Fernando VI región, cuenta con un galpón de estructura metálica, destinado a la fabricación de diversas piezas y estructuras metálicas, ha pedido de sus clientes. En la actualidad se les presenta un nuevo proyecto, el cual consta de la fabricación de estanques vitivinícolas mostrado en la figura 1.1 .Estos son utilizados para la fermentación y conservación de vino; estas cubas están fabricadas en acero inoxidable AISI 304 y cuentan con una capacidad de 5000 litros y un peso aproximado de 1200 kg, dado a su gran envergadura y peso es la razón por la cual es necesario instaurar en el taller una grúa que sea capaz de levantar y realizar maniobras en pos de su fabricación; específicamente para izar el estanque de manera vertical y facilitar maniobras de soldadura; además de esto, la grúa también prestara servicio para realizar otros usos, tanto como para la fabricación de estructuras como también para descarga o despacho de otras estructuras.



Figura. 1.1: Cuba de almacenamiento, fuente: empresa ingesaf

2.Fundamento teórico

2.1 Puente grúa

El puente grúa es un mecanismo de elevación, que permite izar y maniobrar cargas de gran peso, de forma sencilla, logrando desplazar la carga tanto de forma vertical como horizontal, a través de mecanismos simples como poleas, carros, cables, gancho y otros. estas las encontramos de distintos tipos dependiendo el uso al cual sean requeridas, ya sea en fabricación de obras civiles o crear ventajas mecánicas, montaje industrial, etc.

2.2 Tipos de grúas

Grúa: Máquina destinada a levantar cargas utilizando un gancho u otro accesorio que permita el agarre suficiente para maniobrar la carga.

Puente grúa: Consta de una o dos vigas de soporte que sirven de carril, por donde se desplaza un carro mediante ruedas y propulsado por un motor eléctrico. En la figura 2.1 se aprecian los componentes básicos siendo el mecanismo de elevación (1), viga o vigas principales (2), vigas de soporte o testero (3) y el camino de rodadura (4)

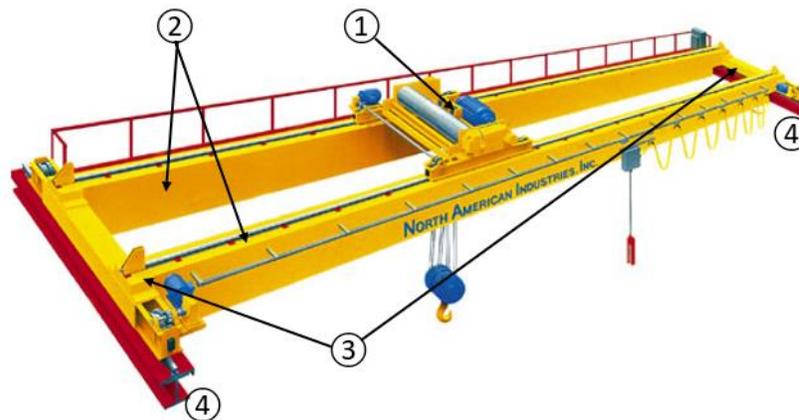


Fig. 2.1: Puente grúa birriel fuente: GNC calderería.

Grúa pórtico: A diferencia de la anterior este tipo de grúa se desplaza de manera horizontal a través de 2 pilares de apoyo las cuales realizan el camino de rodadura generalmente por el suelo.



Fig. 2.2: Grúa pórtico fuente: ABUS grúas

Grúa semi-pórtico: Grúa fijada a un muro y que se desplaza a lo largo de un camino de rodadura aéreo. Se diferencia de las grúas puente y pórtico en que uno de los rieles de desplazamiento se encuentra elevado y el otro riel está normalmente apoyado en el suelo.



Fig. 2.3: Grúa semi-pórtico fuente: ABUS grúas

Grúa ménsula: Por lo general está fijada a un pilar o muro y se desplaza a lo largo de una viga riel. la ventaja frente a las grúas semi-pórtico es de eliminar los pilares que van al suelo, permitiendo disponer de un mayor espacio útil.



Fig.2.4: Grúa ménsula fuente: ABUS grúas

Grúa de brazo giratorio: Las grúas de brazo o pluma giratorias son grúas para una superficie de trabajo más bien pequeña, por lo general para puestos de trabajo de pequeña área, estas pueden girar en torno a una columna estando empotrada o bien fijada a la pared, también pueden estar adosada a una estructura ya existente.



Fig.2.5: Grúa de brazo giratorio fuente: ABUS grúas

2.3 Clasificación de puente grúa según norma CMAA-70

La norma americana CMAA-70 establece que un puente grúa se puede clasificar según su carga y condiciones de servicio, donde las magnitudes variables de la carga y los ciclos de carga dados pueden ser expresados como un factor de carga media efectiva “**k**”, donde:

$$k = \sqrt[3]{(W_1)^3 * P_1 + (W_2)^3 * P_2 \dots\dots + (W_n)^3 * P_n} \quad (2-1)$$

Donde

W = Magnitud de la carga; expresada como porcentaje de cada carga levantada a la capacidad nominal. La operación sin carga levantada y el peso de cualquier aparato adjunto debe ser incluido.

$P_{1,2,..}$ = La probabilidad de la carga; expresada como porcentaje de los ciclos bajo cada condición de magnitud de carga a los ciclos totales. La suma total de las probabilidades de carga P , debe igualar 1.0.

k = Factor de carga media efectiva. (Usado para establecerla clase de servicio de la grúa solamente).

2.4 Clasificación de servicio según norma CMAA 78

Clase de servicio según su aplicación: La norma a su vez clasifica los puentes grúa en distintas clases, en función del servicio al que presta. Los tipos de servicios serán presentados en la siguiente tabla resumen.

Tabla 2.1 resumen de clases de servicios según norma CMAA 78 fuente: Crane manufacturers Association of America

CLASE	SERVICIO	APLICACIONES
Clase A	DETENIDO O INFRECUENTE	Centrales eléctricas, servicios públicos, salas de turbinas, salas de motores y estaciones transformadoras, donde se requiere de una manipulación precisa del equipo a bajas velocidades con largos períodos de ocio entre los levantes.
Clase B	LIVIANO	Talleres de reparación, montaje liviano, servicio de edificios, bodegaje liviano, etc., donde los requerimientos livianos y la velocidad es lenta. Las cargas pueden variar desde sin carga a cargas nominales totales ocasionales, con dos a cinco levantes por hora, promediando 10 pies por levante.
Clase C	MODERADO	Talleres de tornos o salas de máquinas, etc., donde los requerimientos de servicio son moderados. En este tipo de servicio la grúa puede manipular cargas que promedien un 50% de la capacidad nominal con 5 a 10 levantes por hora, promediando 15 pies, sin exceder el 50% del levante a capacidad nominal.
Clase D	PESADO	Talleres de máquinas pesadas, fundiciones, plantas de fabricación, bodegas de acero, etc., se requiere una producción de trabajo pesado. Las cargas que se aproximan al 50% de la capacidad nominal serán manipuladas en forma constante. Altas velocidades son deseables para este tipo de servicio con 10 a 20 levantes por hora.
Clase F	SEVERO	Cargas que se aproximan a la capacidad nominal a través de toda su vida. Las aplicaciones pueden incluir grúas con imán, canasta o una combinación de estas, para patios de desechos, molinos de cemento, molinos de madera, etc. con 20 o más levantes por hora a o alrededor de la capacidad nominal.
Clase E	SEVERO CONTINUO	Cargas que se aproximan a la capacidad nominal en forma continua bajo severas condiciones de servicio a lo largo de toda su vida. Las aplicaciones pueden incluir grúas de especialidad diseñadas para el cliente, esenciales para efectuar las tareas de trabajo crítico que afectan la instalación de producción completa.

Clase de servicio según su clase de carga y ciclos de carga: La definición de la norma para cada clase de servicio de grúas en términos de clase de carga y ciclos de carga se presenta en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Clases de servicios según clase de carga y ciclos de cargas Fuente: Crane manufacturers Association of America

CLASE DE CARGA	CICLOS DE CARGA				K= FACTOR DE CARGA MEDIA EFECTIVA
	N1	N2	N3	N4	
L1	A	B	C	D	0.35 – 0.53
L2	B	C	D	E	0.531 – 0.67
L3	C	D	E	F	0.671 – 0.85
L4	D	E	F	F	0.851 – 1.00
	Uso irregular, ocasional seguido por largos periodos de ocio	Uso regular en operación intermitente	Uso regular en operación continua	Uso regular en operación severa continua	

Donde las clases de cargas se definen en:

- L1 =Grúas que levantan la carga nominal en forma excepcional y, normalmente, cargas muy livianas.
- L2 =Grúas que raramente levantan la carga nominal, y las cargas normales son de alrededor de 1/3 de la carga nominal.
- L3 =Grúas que levantan la carga nominal con bastante frecuencia y en forma normal, las cargas son entre 1/3 y 2/3 de la carga nominal.
- L4 =Grúas que regularmente son cargadas a cerca de la carga nominal.

Y donde los ciclos de carga/vida de la grúa se definen en:

- N1 = 20.000 a 100.000 ciclos
- N2 = 100.000 a 500.000 ciclos
- N3 = 500.000 a 2.000.000 ciclos
- N4 = Sobre 2.000.000 de ciclos

2.5 Metodología de cálculo

Para realizar el análisis de las partes que constituyen el puente grúa se acudirá a programas de diseño asistidos por computadora de la empresa autodesk, siendo el software de autodesk Inventor profesional 2020 y el software de autodesk Robot structural análisis, programas de cálculo estructural basados en elementos finitos (FEA) el cual es un método numérico complejo, utilizado para resolver problemas que contienen una cantidad de entradas variables, como condiciones de contorno, cargas aplicadas y tipos de soporte. FEA consiste en dividir una estructura en partes más pequeñas (o elementos) que puede evaluarse individualmente para una estimación más precisa de la solución. El software inventor ofrece distintas modalidades de cálculo con el fin de analizar diferentes elementos como ejes, vigas, y piezas. las modalidades utilizadas para llevar a cabo los análisis en este documento se detallan a continuación.

Análisis estructural: esta modalidad será utilizada para analizar las vigas y columnas del puente grúa ya sea globalmente o de forma particular, para ello se seguirá la siguiente secuencia:

- Tipo de simulación, el software permite realizar una simulación estática, que evalúa las condiciones de carga estructural y proporcionará los medios para representar la tensión, el esfuerzo y la deformación; y también una simulación modal la cual permite el estudio de las propiedades dinámicas de las estructuras lineales.
- Se definirán propiedades del material, condiciones de contorno, cargas solicitadas y restricciones.
- Luego el software simula los resultados basándose en la teoría de resistencia de materiales, se detallan las ecuaciones de cálculo de ejes y vigas a continuación.

Fuerzas de corte:

$$T(Z) = - \int q(z) + \sum_0^n F \quad (2-2)$$

Momentos de plegado:

$$M_B(Z) = \int T(z) dz + \sum_0^n M_B \quad (2-3)$$

Ángulo de flexión:

$$\varphi(Z) = - \int \frac{M_B(z)}{E * J(z)} dz + \varphi(0) + \frac{\beta}{G * S(z)} \quad (2-4)$$

donde:

E = módulo de elasticidad en tensión

J = momento de inercia

G = módulo de rigidez

B = coeficiente de desplazamiento cortante

Flexión:

$$y(Z) = \int \varphi(z) dz + y(0) \quad (2-5)$$

Tensión de plegado:

$$\sigma_B(z) = \frac{M_B(z)}{W_B(z)} \quad (2-6)$$

Tensión de corte:

$$\tau_S(z) = \frac{T_B(z)}{S_B(z)} \quad (2-7)$$

Tensión de torsión:

$$\tau(z) = \frac{M_{torq}(z)}{W_{torq}(z)} \quad (2-8)$$

Tensión:

$$\sigma_T(z) = \frac{\sum_0^n F_Z}{S(z)} \quad (2-9)$$

Tensión reducida:

$$\sigma_T = \sqrt{(\sigma_B + \sigma_T)^2 + \alpha(\tau^2 + \tau_S^2)} \quad (2-10)$$

Donde:

- σ_B =tensión de plegado
- σ_T =tensión
- τ =tensión de torsión
- τ_S =tensión de corte
- α = α : 3 para HMH Von Mises *
- α : 4 para Tresca-Guest

- Resultados, luego de realizar la simulación el software proporcionara un informe con el resultado de las deformaciones y esfuerzos máximos además del detalle de cada viga según los diagramas de corte, momento, tensiones normales, tensión de corte y torsión.
- Interpretación de resultados, una vez conocidos los valores de esfuerzo máximos y deformaciones se obtendrán los factores de seguridad según el criterio de Von Mises y se comprobara que las deformaciones no excedan lo permitido por la norma.

Análisis de tensión: este tipo de análisis se basa en un cálculo complejo cuya secuencia se detallará a continuación:

- Preproceso se define el material y las condiciones del contorno (cargas y restricciones) y se especifican las condiciones de contacto.
- Enmallado, este representa la descomposición de un objeto real en una cantidad definida de elementos finitos los cuales están conectados entre sí por nodos o puntos nodales. Debido a divisiones de la geometría las ecuaciones matemáticas que presiden el comportamiento físico no se

resolverán de forma exacta sino una solución aproximada cuya precisión dependerá de la cantidad de nodos y elementos, del tamaño y de los tipos de elementos de la malla. Por lo tanto, cuanto mayor el número de elementos en una malla y menor sea el tamaño, los resultados serán más cercanos al real.

- Simulación y análisis, por medio de ecuaciones matemáticas es posible predecir el comportamiento elásticos de cada elemento por separado a través de un ordenador el cual combina dichos procedimientos individuales, obteniendo un comportamiento global del objeto analizado, a esto se le conoce como método matriz de rigidez que conceptualmente relaciona el desplazamiento de puntos o nodos ,con esfuerzos puntuales en dichos puntos, en otras palabras relaciona las deformaciones, incógnita de una estructura, con las cargas exteriores ya conocidas (matriz local) combinando estas y permitiendo encontrar esfuerzos internos, reacciones y tensiones en cualquier punto de la estructura (matriz global) en base de a la teoría de elasticidad.

Análisis de pandeo: con la finalidad de determinar la estabilidad estructural tanto del puente grúa como también del pilar pórtico al que se encuentra adosada la grúa, se realizara un análisis de pandeo mediante el software de autodesk Robot structural el cual por medio del método matricial de rigidez se dan a conocer las deformaciones y esfuerzos máximos, para ello se ha de tener en cuenta los siguientes:

- Preproceso se define el material y las condiciones del contorno (cargas y restricciones) y se especifican las condiciones de contacto.
- ofrece una modalidad para el análisis de pandeo considerando parámetros de pandeo definidos por la norma ANSI y cuyos resultados se basan en las ecuaciones propuestas a continuación.

Parámetros calculados

Longitud reducida

$$L_{\text{red}} = n L \quad (2-11)$$

Coefficiente de esbeltez

$$\lambda = L_{\text{red}} / j_{\text{min}} \quad (2-12)$$

Radio de giro

$$j_{\text{min}} = \sqrt{\frac{J_{\text{min}}}{S}} \quad (2-13)$$

Tensión crítica de Rankine

$$\sigma_R = \frac{s_y}{1 + \frac{s_y \lambda^2}{\pi^2 E}} \quad (2-14)$$

Fuerza crítica de Rankine

$$F_{\text{crR}} = \sigma_R S \quad (2-15)$$

Fuerza máxima de Rankine

$$F_{\text{maxR}} = F_{\text{crR}} / k_S \quad (2-16)$$

Coefficiente de seguridad calculado de Rankine

$$k_{\text{SR}} = F_{\text{crR}} / F_a \quad (2-17)$$

Tensión crítica de Johnson

$$\sigma_j = s_y \left(1 - \frac{s_y \lambda^2}{4 \pi^2 E} \right) \quad (2-19)$$

Fuerza crítica de Johnson

$$F_{crJ} = \sigma_j S \quad (2-20)$$

Fuerza máxima de Johnson

$$F_{maxJ} = F_{crJ} / k_s \quad (2-21)$$

Coeficiente de seguridad calculado de Johnson

$$k_{sJ} = F_{crJ} / F_a \quad (2-22)$$

Tensión crítica de Euler

$$\sigma_e = \pi^2 E / \lambda^2 \quad (2-23)$$

Fuerza crítica de Euler

$$F_{crE} = \sigma_e S \quad (2-24)$$

Fuerza máxima de Euler

$$F_{maxE} = F_{crE} / k_s \quad (2-25)$$

Coeficiente de seguridad calculado de Euler

$$k_{sE} = F_{crE} / F_a \quad (2-26)$$

Tensión de presión

$$\sigma_p = F_a / S \quad (2-27)$$

Fuerza crítica

$$(2-28)$$

$$F_{crP} = S_y S$$

Fuerza máxima

$$F_{maxP} = F_{crP} / k_s \quad (2-29)$$

Coefficiente de seguridad calculado en presión

$$k_{sP} = F_{crP} / F_a \quad (2-30)$$

Comprobación de resistencia

$$k_s \leq \min(k_{sR}, k_{sJ}, k_{sE}, k_{sP}) \quad (2-31)$$

Coefficiente para condiciones finales

Factor para el cálculo de la longitud reducida o coeficiente de longitud de pandeo cuyos valores dependen de las condiciones del soporte final de la columna.

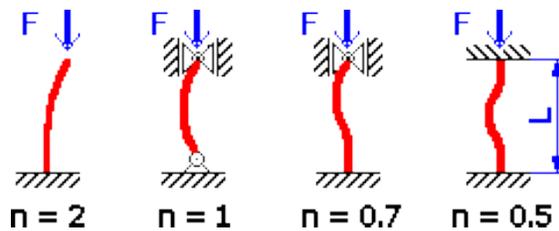


Figura 2.6: Factor de cálculo de longitud reducida. Fuente: Autodesk Knowledge Network

Significado de las variables utilizadas

- $F_a =$ carga máxima [lbf, N]
- $n =$ coeficiente para condiciones finales
- $k_s =$ coeficiente de seguridad requerido
- $E =$ módulo de elasticidad [lpc, MPa]
- $L_{red} =$ longitud reducida [pulg., mm]

- $S =$ área de la sección [pulg.², mm²]
- $j_{\min} =$ momento de inercia [pulg.⁴, mm⁴]
- $\lambda =$ Coeficiente de esbeltez
- $j_{\min} =$ radio de giro más pequeño [pulg., mm]
- $\sigma_R =$ Tensión crítica de Rankine [lpc, MPa]
- $F_{crR} =$ Fuerza crítica de Rankine [lbfuerza, N]
- $F_{\max R} =$ Fuerza máxima de Rankine [lbfuerza, N]
- $k_{sR} =$ Coeficiente de seguridad calculado de Rankine
- $\sigma_j =$ Tensión crítica de Johnson [lpc, MPa]
- $F_{crJ} =$ Fuerza crítica de Johnson [lbfuerza, N]
- $F_{\max J} =$ Fuerza máxima de Johnson [lbfuerza, N]
- $k_{sJ} =$ Coeficiente de seguridad calculado de Johnson
- $\sigma_E =$ Tensión crítica de Euler [lpc, MPa]
- $J_{\min} =$ momento de inercia menor
- $F_{crE} =$ Fuerza crítica de Euler [lbfuerza, N]
- $F_{\max E} =$ Fuerza máxima de Euler [lbfuerza, N]
- $k_{sE} =$ Factor de seguridad calculado de Euler
- $\sigma_P =$ Tensión de presión [lpc, MPa]
- $F_{crP} =$ Fuerza crítica [lbfuerza, N]
- $F_{\max P} =$ Fuerza máxima [lbfuerza, N]
- $J_{\min} =$ momento de inercia menor
- $k_{sP} =$ Coeficiente de seguridad calculado en presión

3 Memoria de cálculo

3.1 Características del puente grúa

El puente grúa se encontrará adosado a uno de los pilares pórticos del galpón existente, mediante una ménsula giratoria ubicada en la parte superior del mismo, en donde podrá girar 150° entorno al pilar, poseyendo una superficie de trabajo de $60,4 \text{ m}^2$. El brazo de la grúa tendrá una longitud de 9 metros y una altura útil de 5,8 mts. Como se muestra en el anexo 1, que representa la disposición del puente grúa en el galpón con una vista en planta y elevación de ambas estructuras. Para que el puente grúa realice su desplazamiento angular; en su base constara de 3 ruedas las cuales poseerán un freno de seguridad para que la grúa no se desplace mientras se ejecutan movimientos de izaje. En la figura 3.1 Se muestra la ubicación del puente grúa en el galpón.

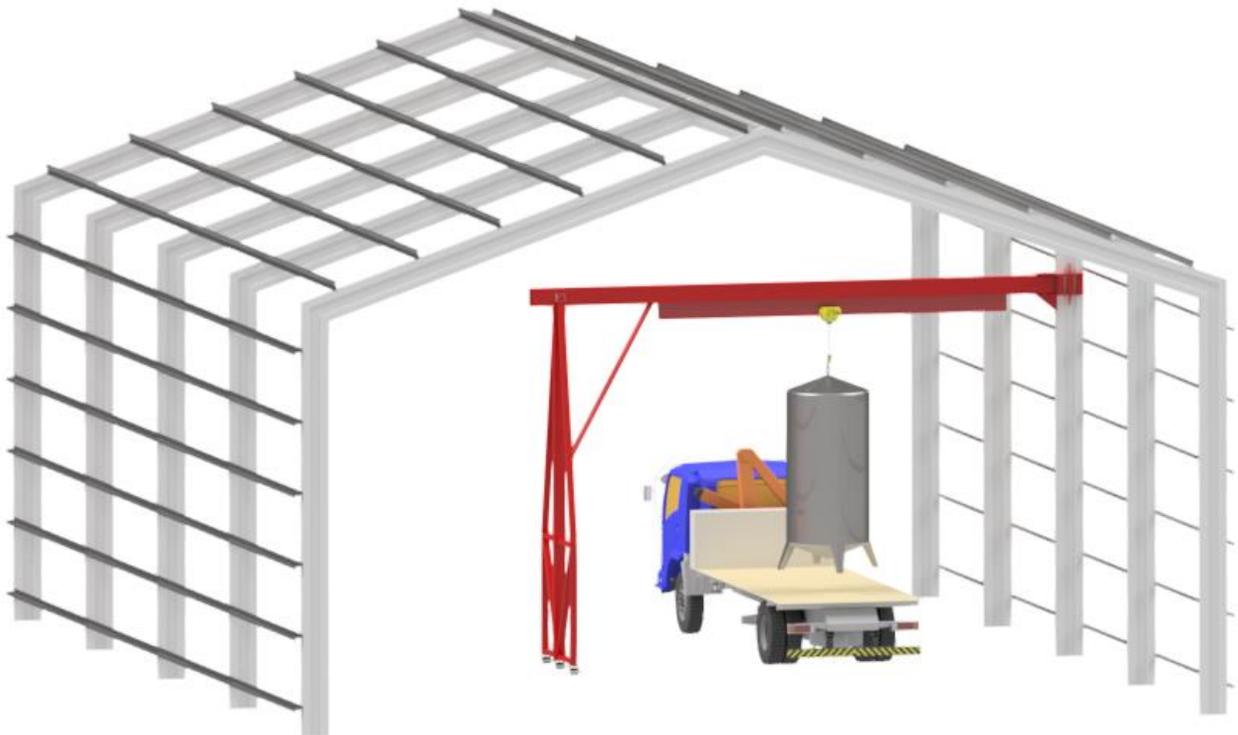


Fig. 3.1: disposición del puente grúa en el galpón. Fuente: Elaboración propia.

3.2 Partes del puente grúa

El puente grúa constará de 9 partes principales mostradas en la figura 3.2 de las cuales los ítems del 1-5 constituyen la estructura rígida de la grúa la cual está conformada por perfiles de acero estructural A-36, el ítem 6 o pivote se detallará a continuación en el presente documento.

Las demás partes serán de procedencia comercial exceptuando al ítem 9 que representa al pilar pórtico ya existente. Las dimensiones y perfiles principales se muestran a continuación en la tabla 3.1.

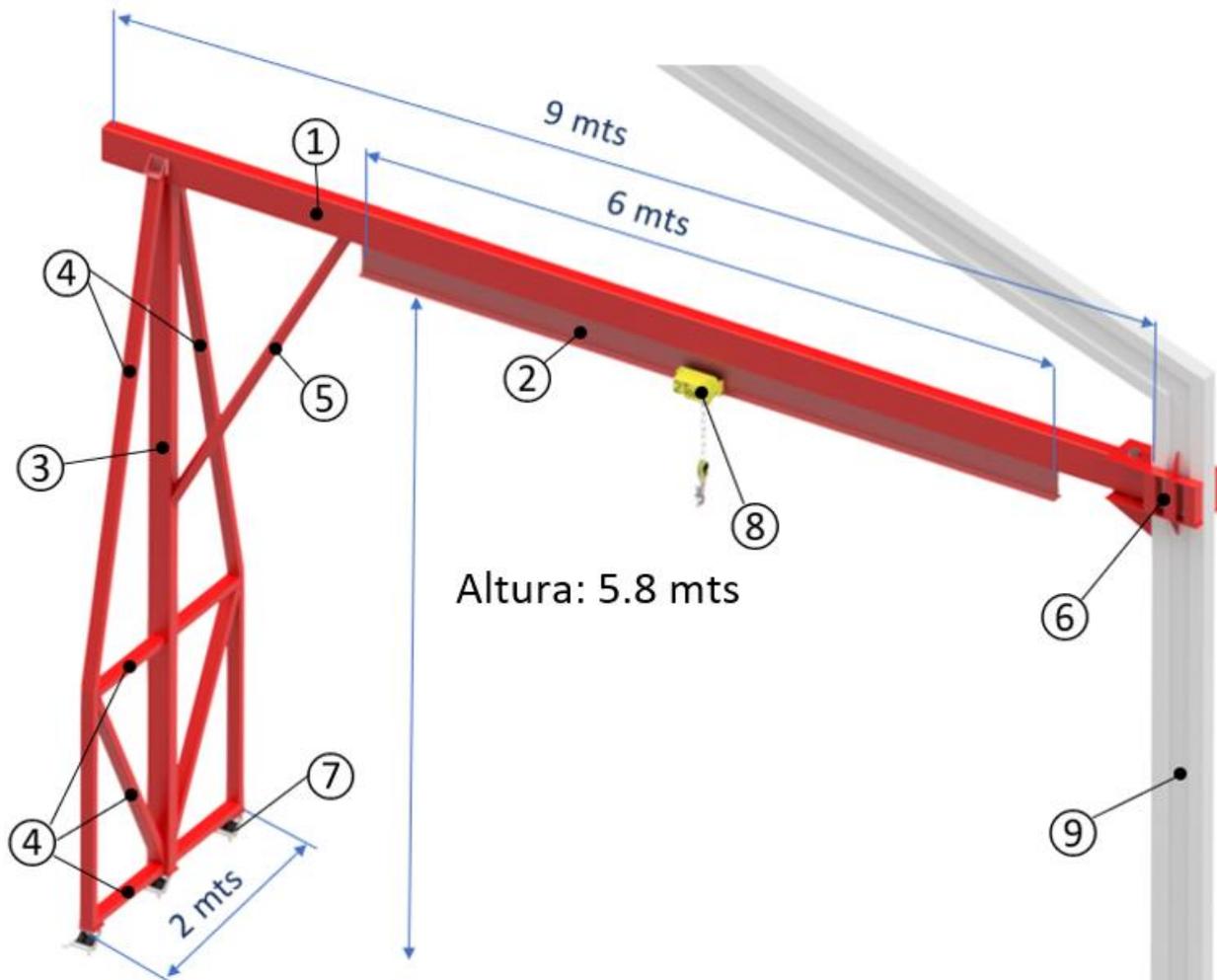


Fig. 3.2: Partes del puente grúa. Fuente: Elaboración propia.

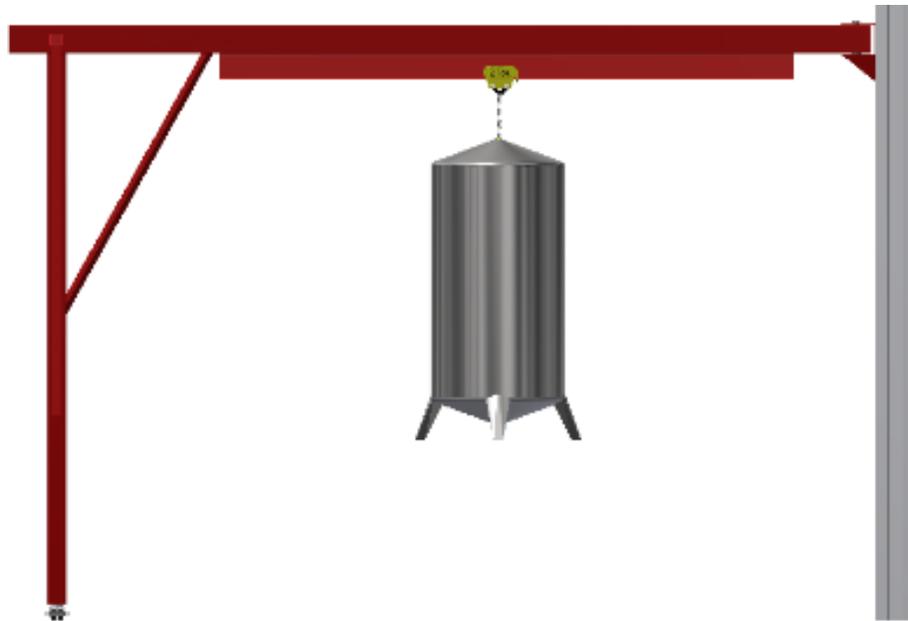
Tabla 3.1: Partes principales del puente grúa. Fuente: Elaboración propia.

ítem	Descripción	Dimensiones (mm)
①	Viga principal	300x150x6
②	Viga carril	IPN 280
③	Perfil rectangular	200x120x6
④	Perfil rectangular	120x80x6
⑤	Perfil cuadrado	80x80x4
⑥	Pivote	-
⑦	Rueda giratoria con freno	-
⑧	Polipasto	-
⑨	Pilar pórtico Tecno MM	450x150x3

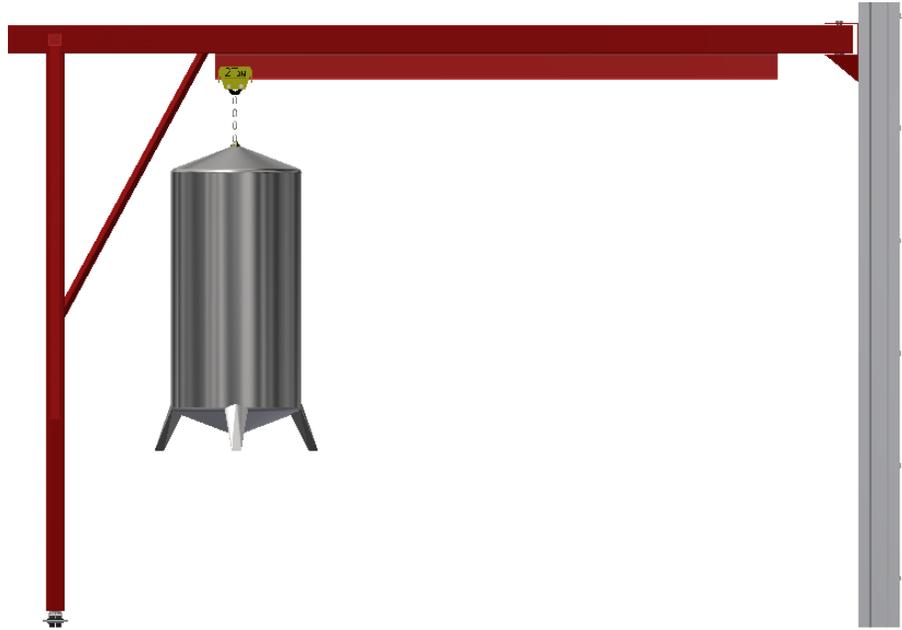
3.3 Condiciones de carga

Para realizar el análisis estructural y cálculos en general, se considerarán tres casos dependiendo donde se situó la carga, con esto se determinará cual será el más crítico y desfavorable para los elementos que constituyen el puente grúa. A continuación, se ilustran los 3 distintos casos de carga en la figura 3.3.

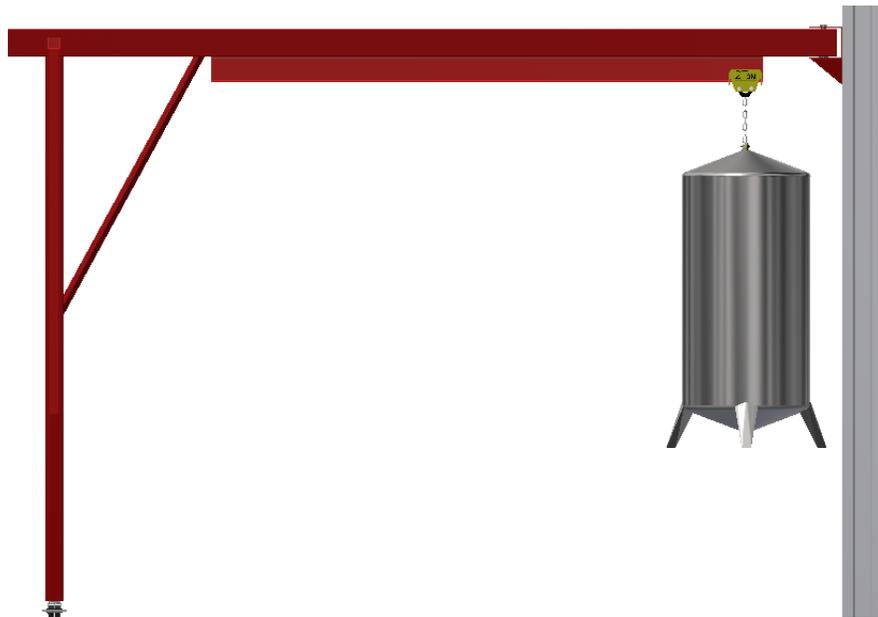
Fig. 3.3: Condiciones de carga a) Caso 1: Carga centrada, b) Caso 2: Carga lejana al pilar pórtico y c) Caso 3: Carga próxima al pilar pórtico. Fuente: Elaboración propia.



a) Caso 1: Carga centrada



b) Caso 2: Carga lejana al pilar pórtico.



c) Caso 3: Carga próxima al pilar pórtico.

3.4 Consideraciones dinámicas

Con el fin de estudiar los efectos que sufrirá la estructura del puente grúa, tanto al momento de sacar de inercia a la carga, como en frenados bruscos e impactos, se deberá considerar un porcentaje de aumento de la carga en la dirección que corresponda dicha condición. Según la norma CMAA-78 considera que, para:

- Cargas verticales: considerar un 10% de la carga máxima “ $F_y = W + 0.1 * W$ “
- Carga lateral considerar un aumento de un 20% de la carga máxima “ $F_x = 0.2 * W$ ”
- Para las cargas longitudinales considerar un 10 % de la carga máxima “ $F_z = 0.1 * W$ ”

3.5 Análisis estructural

Los cálculos de análisis estructural serán llevados a cabo mediante el software de diseño Autodesk Inventor, que en base al método de elementos finitos, obtendremos como resultado los valores máximos de deformación y esfuerzo para los tres casos de carga anteriormente mencionados, posteriormente se compararán los resultados obtenidos con el fin de determinar el caso más desfavorable para la estructura y si cumplen con los estándares designados por la norma, a continuación en la figura 3.4 se presenta un diagrama de cuerpo libre del puente grúa en donde se aprecian las cargas F_x, F_y y F_z generadas por el levante de la carga y sus consideraciones (ver cap.3.4) .Junto a estas se pueden apreciar las reacciones tanto en el pivote, como en los apoyos a,b,y c en donde se ubican las ruedas las cuales poseerán un freno el cual impedirá que la grúa se mueva al momento de levantar la carga.

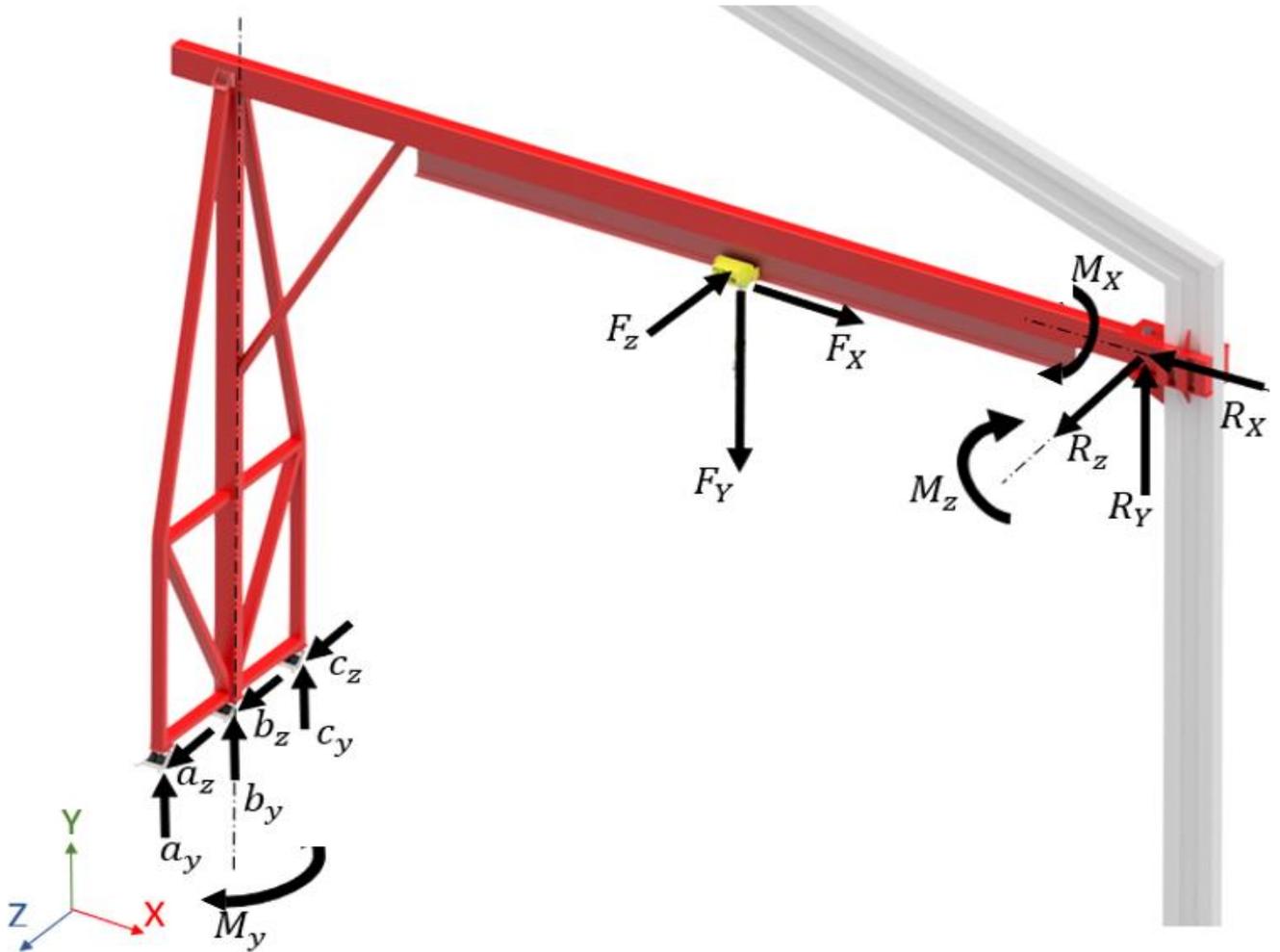


Fig. 3.4: Diagrama de cuerpo libre al puente grúa. Fuente: Elaboración propia.

Caso 1 carga centrada

Cuando la carga se encuentra en el centro de la viga principal, se provoca una deflexión máxima en la parte media de la viga carril de 7,6 mm como muestra en la figura 3.5, también se denota una deflexión horizontal producto del pandeo de los pilares de aproximadamente 3.1 mm. En cuanto al esfuerzo, su valor máximo se encontrará en centro de la viga carril, con un valor de MPa 76,3 como muestra la figura

3.6. En el anexo 2 se muestran detalles de la simulación generada por el software inventor.

Fig. 3.5: Desplazamientos máximos en caso 1, carga centrada. Fuente: software Autodesk Inventor.

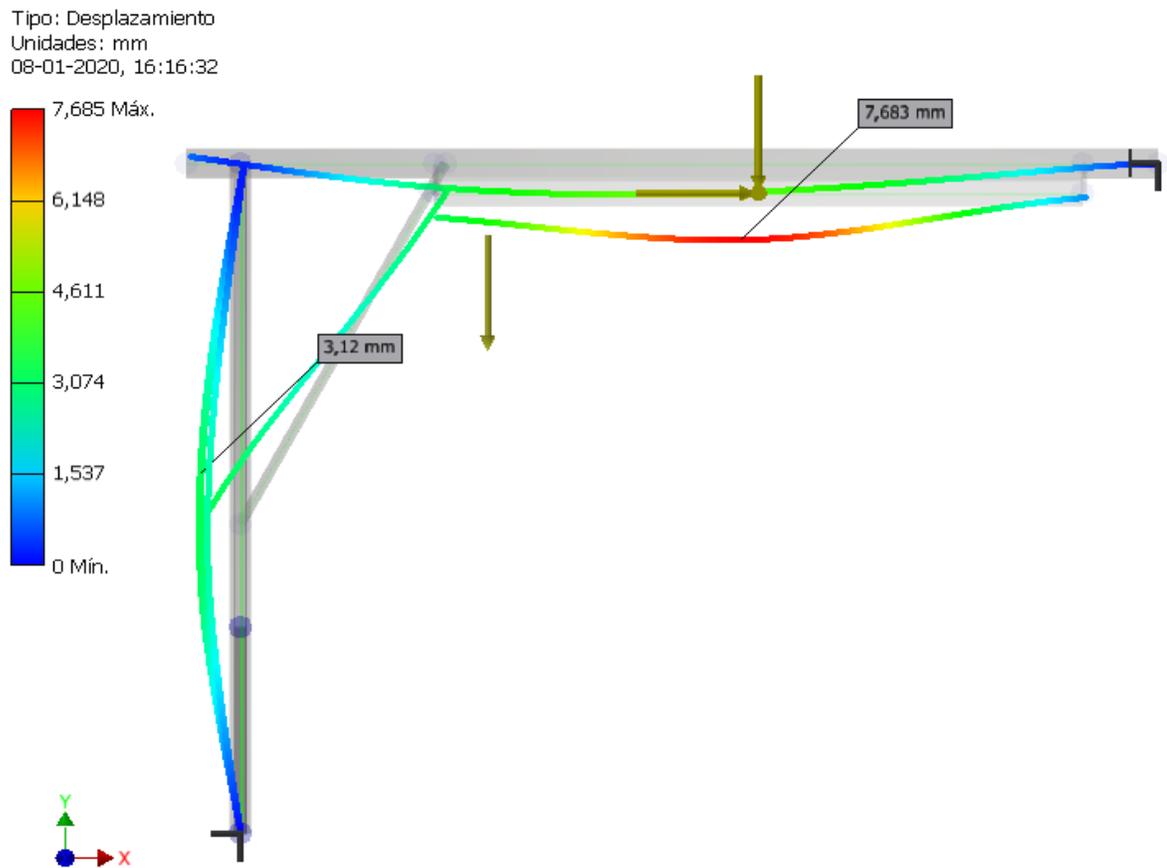
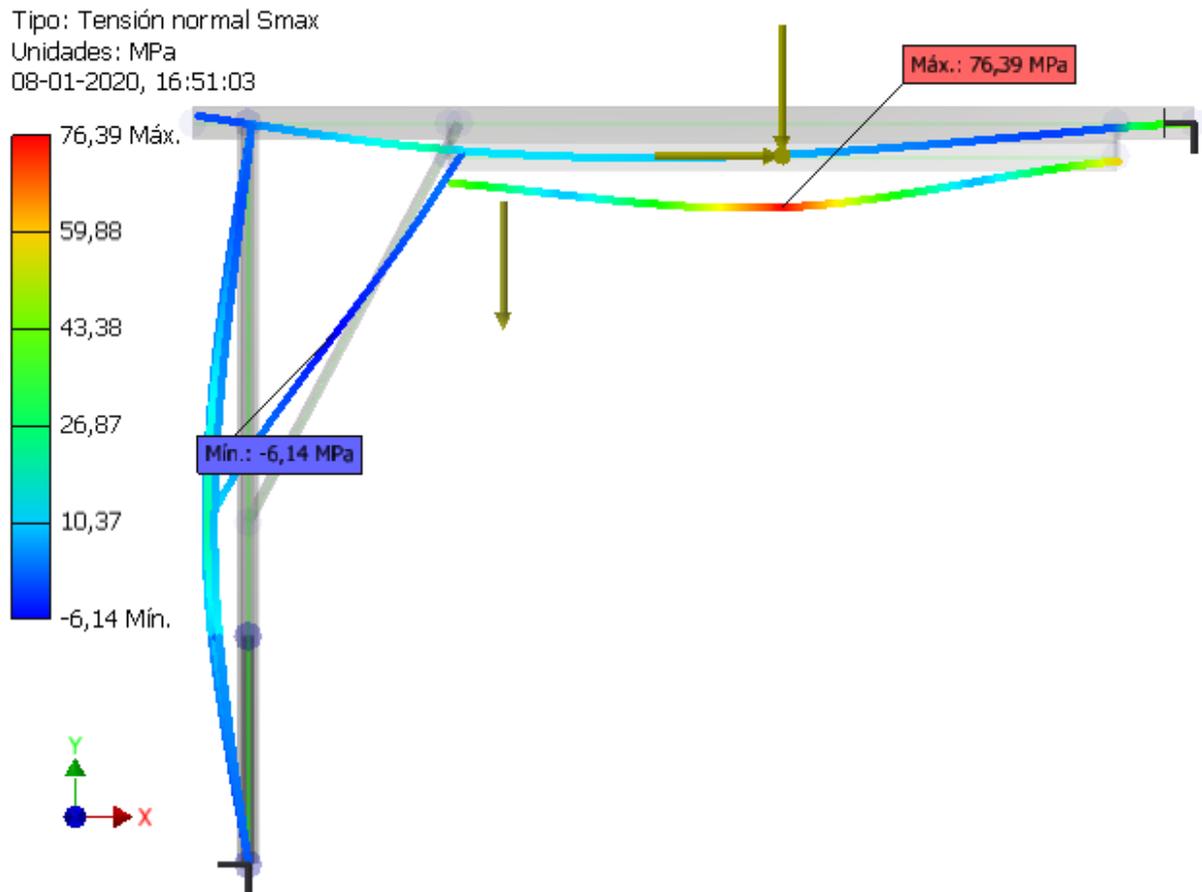


Fig. 3.6: Esfuerzos máximos en caso 1, carga centrada. Fuente: software Autodesk Inventor.



Caso 2 carga lejana al pilar pórtico:

Cuando la carga este situada el extremo más alejado del pilar la deflexión máxima vertical de 3.6 mm y horizontalmente un valor de 3.1 mm, en cuanto al esfuerzo máximo este se presentará a una distancia de 6530 mm desde el pilar pórtico, alcanzando un valor máximo de 49.5 MPa. Los detalles del análisis se muestran en el anexo 2.

Fig. 3.7: Desplazamientos máximos en caso 2: Carga lejana al pilar pórtico. Fuente: software Autodesk Inventor.

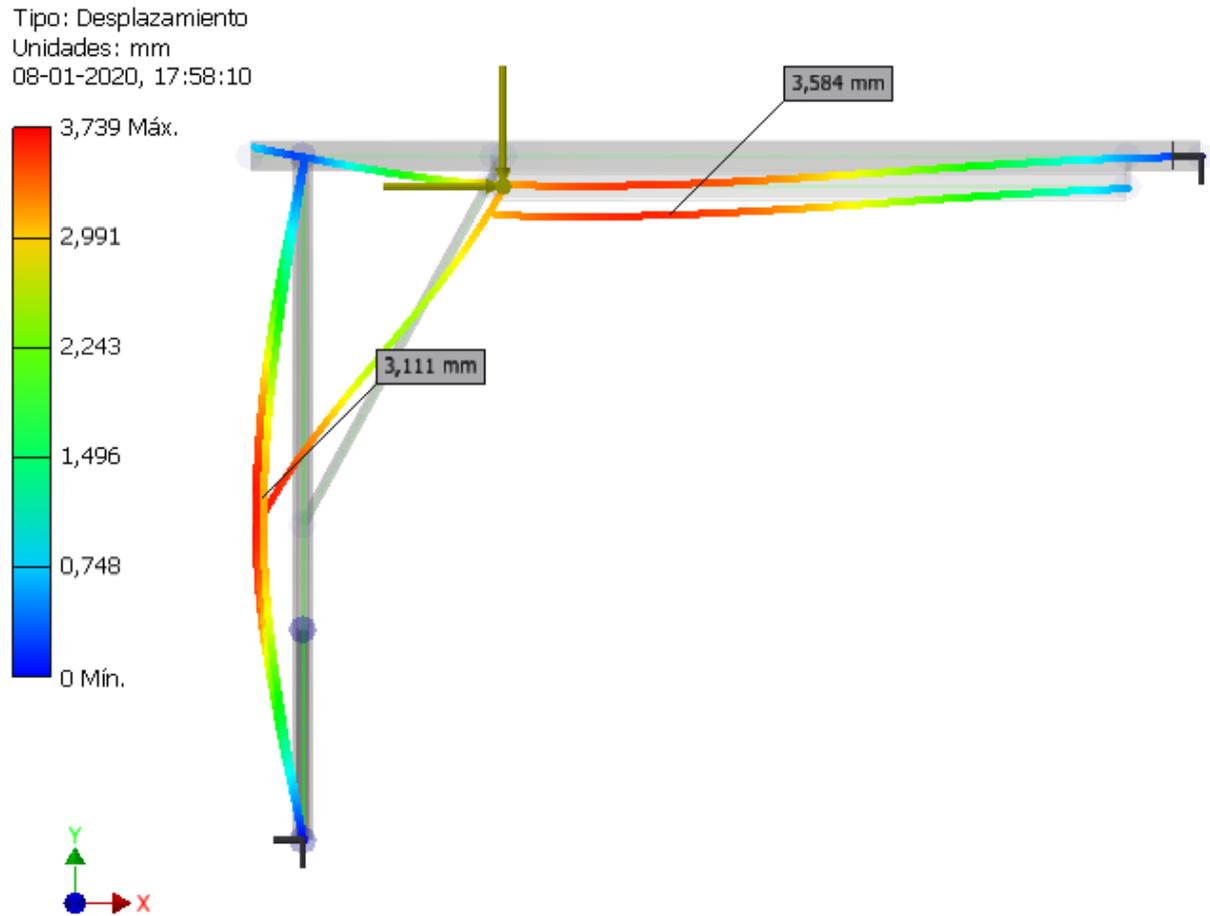
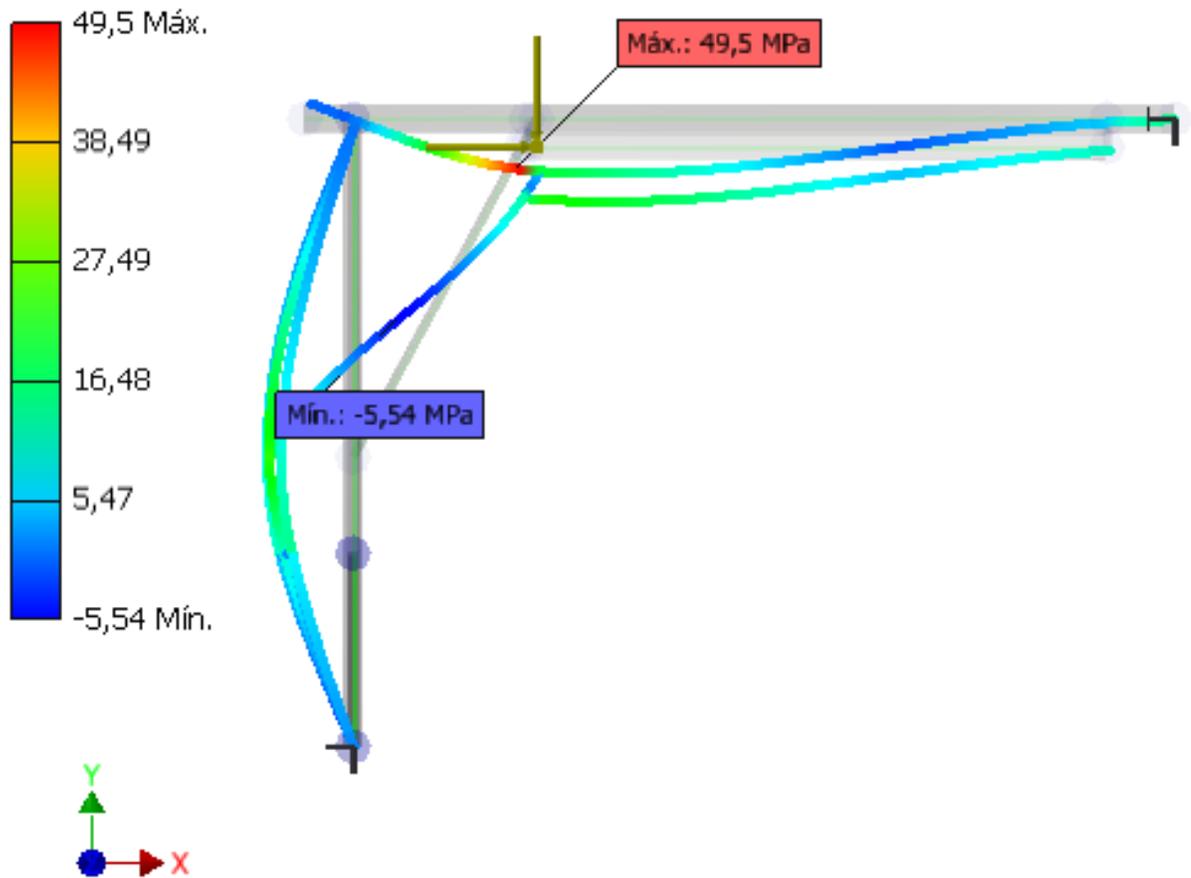


Fig. 3.8: Esfuerzos máximos en caso 2: Carga lejana al pilar pórtico. Fuente: software Autodesk Inventor.

Tipo: Tensión normal Smax
Unidades: MPa
08-01-2020, 17:57:55



Caso 3 carga próxima al pilar pórtico

Este será el caso menos exigido para el puente grúa, alcanzando valores de deformación de 1.58 mm situados a 2350 mm desde el pilar pórtico en dirección a la viga carril. El esfuerzo máximo corresponde a 39 MPa ubicado en el pivote. Los análisis se detallan en el anexo 2.

Fig. 3.9: deformación máxima en caso 3: Carga próxima al pilar pórtico. Fuente: software Autodesk Inventor.

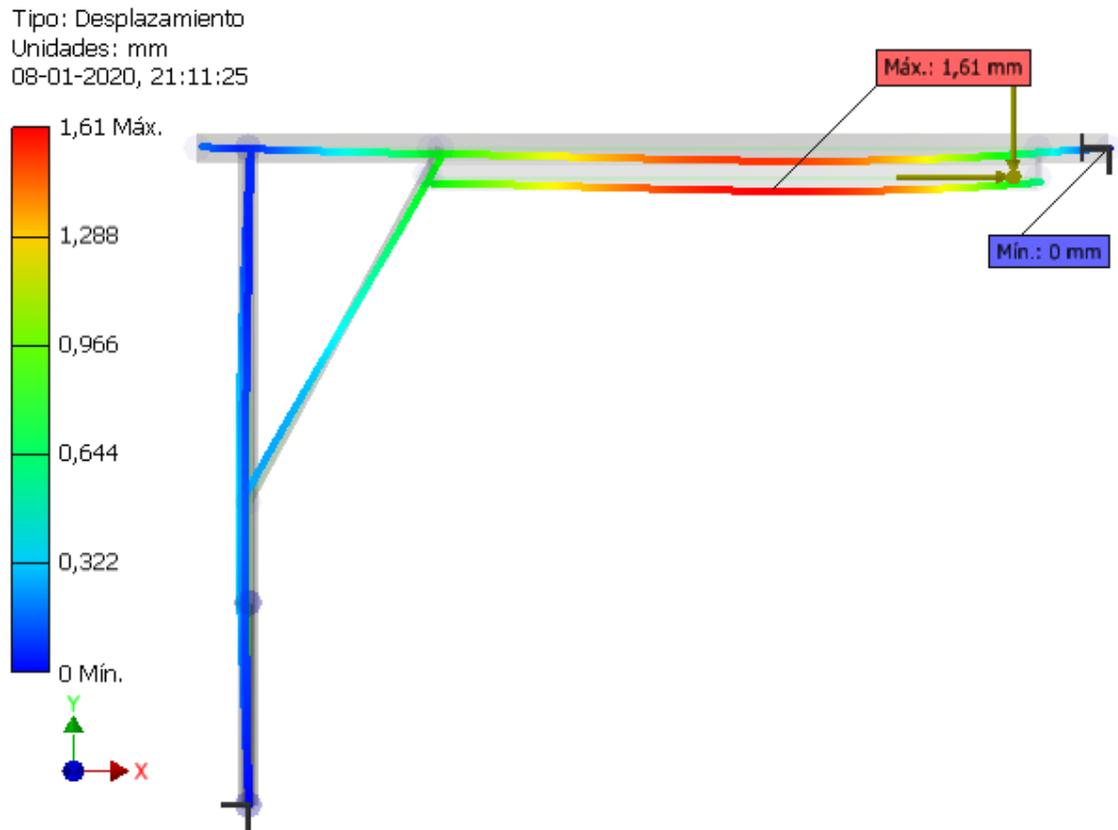
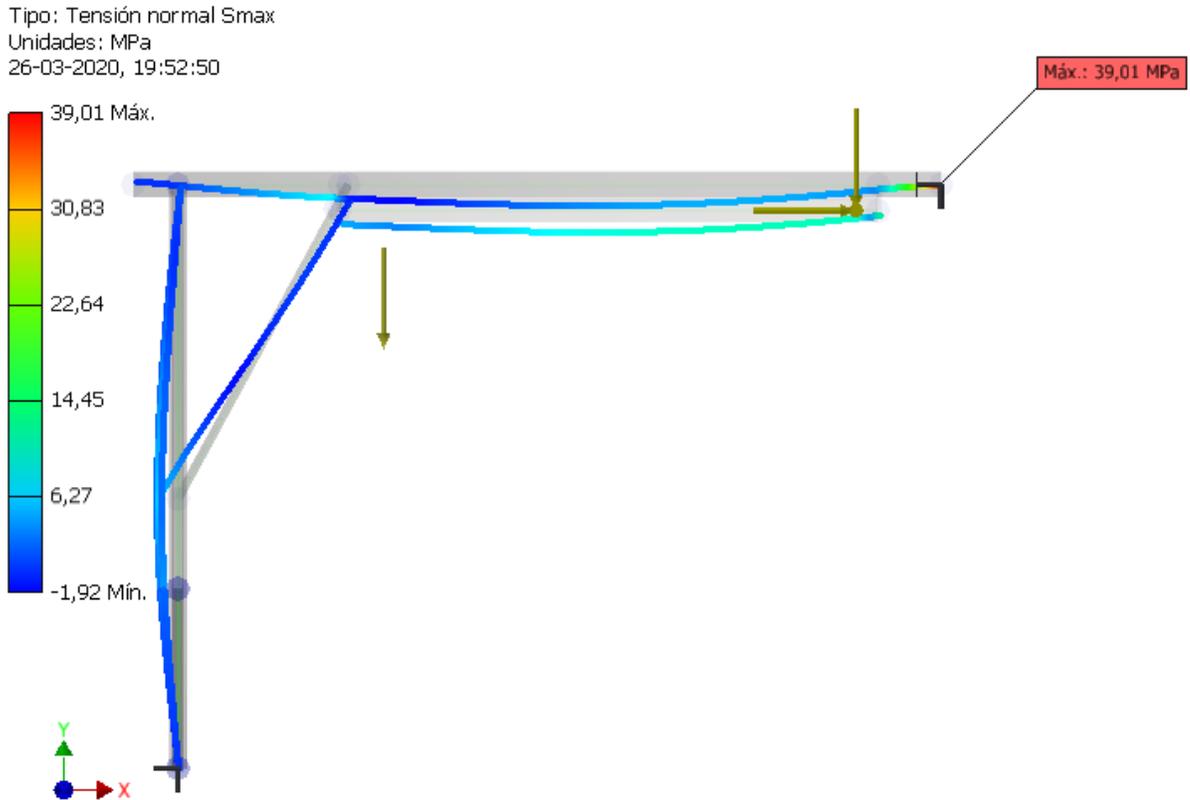


Fig. 3.10: Esfuerzo máximo en caso 3: Carga próxima al pilar pórtico. Fuente: software Autodesk Inventor.



Resultados:

Cuando la carga se sitúe en el centro de la viga principal (caso 1), la estructura del puente grúa sufrira las deformaciones y esfuerzos más elevados, por tanto, este caso sera el más crítico, con un factor de seguridad de $FS: 3,2$ según la ecuación 3-1, donde el límite de fluencia " σ_y " correspondiente a un acero estructural A-36 es de 235 MPa y σ_{red} es el esfuerzo de von misses ves ecuacion 2-10 .Se adjunta ficha técnica del material en la tabla A2 del anexo 3 , en cuanto a las deformaciones la norma CMAA-70 establece una deflexión máxima vertical de 14,1 mm y una deflexión máxima horizontal de 23,2 mm según la tabla A10 expuesta en el anexo 3; con esto se comprueba que el puente grúa cumple con ambas condiciones de deflexión.

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{red}} \quad (3-1)$$

En la tabla 3.2 se aprecian los resultados obtenidos por las simulaciones del software en cada uno de los casos, junto con ello se obtuvieron los valores de las cargas y pares de reacción que actúan en el pivote y la unión rígida entre la viga principal y los pilares.

Tabla 3.2: resumen de resultados, análisis en casos 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia

	caso 1	caso 2	caso 3
Δ vertical (mm)	7.6	3.7	1.58
Δ horizontal (mm)	3.1	3.1	0.2
Smax (MPa)	76.3	49.5	41.1

fuerzas y pares de reacción en el pivote

Rx (N)	-6112	-6276	-4610
Ry (N)	16322	3811	24181
Rz (N)	1058	384	1721
F. Resultante (N)	18735	7156	24269
Mx (Nm)	-328	-138	-529
My (Nm)	0	0	0
Mz (Nm)	-19770	-6605	16157
M.Resultante (Nm)	-19771	-6607	13130

Fuerzas de reacción en ruedas

Ay (N)	3931	2586	606
by (N)	7073	1308	915
cy (N)	1926	7461	910

Fuerzas de reacción en ruedas producto del freno de estas.

az	14	8	2
bz	921	1582	237
cz	4	24	3

fuerzas y pares de reacción en unión rígida entre pilares y viga principal.

R' y (N)	-10971	-17350	3987
R' z (N)	855	1500	-215
M' x (Nm)	432	430	212
M' y (Nm)	120	125	97
M' z (Nm)	-184600	-328100	-43760

3.6 Viga principal

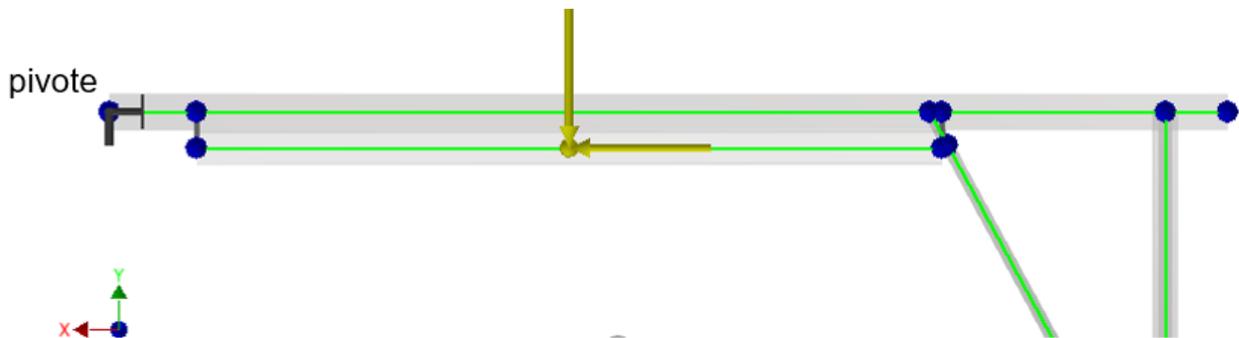
La viga principal consta de un perfil rectangular 300x150x6 y una viga carril IPN 280, por la cual se desplazará el polipasto del puente grúa. A continuación, se comprobará la resistencia del perfil rectangular y de la viga IPN, mediante un análisis estructural y un análisis de tensión generados por el software inventor.

3.6.1 Análisis estructural a viga rectangular

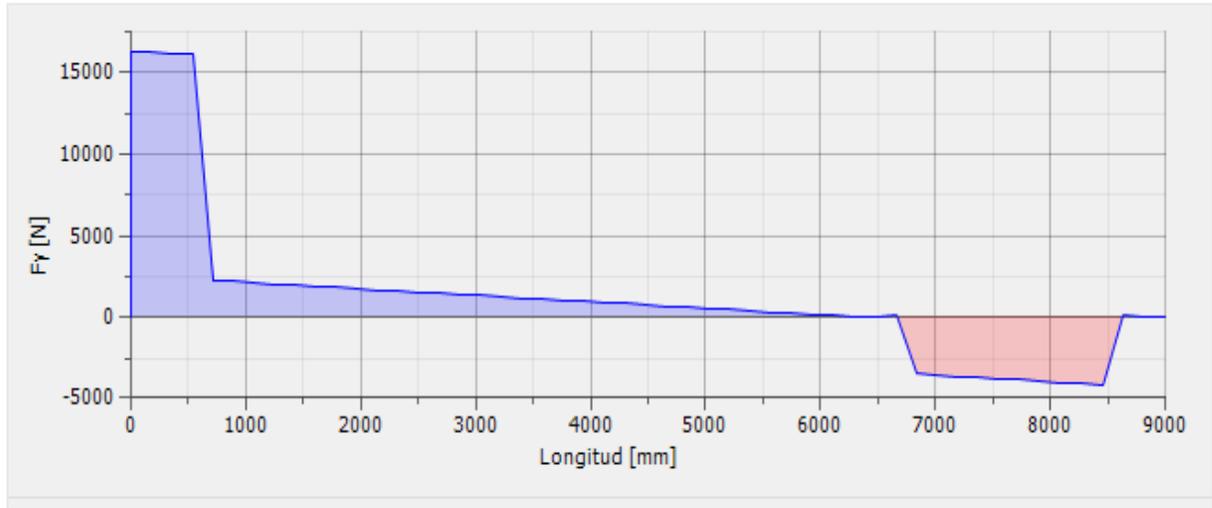
Para el perfil rectangular los esfuerzos máximos serán de 47 MPa en la zona cercana al pivote, en la figura 3.7 se muestran los diagramas de fuerza cortante, momento y esfuerzos máximos en la viga. Las propiedades del material y ficha técnica de la viga se especifican en el anexo 5.

*Fig. 3.11: Resultados de análisis estructural al perfil rectangular de la viga principal.
Fuente: Software Inventor.*

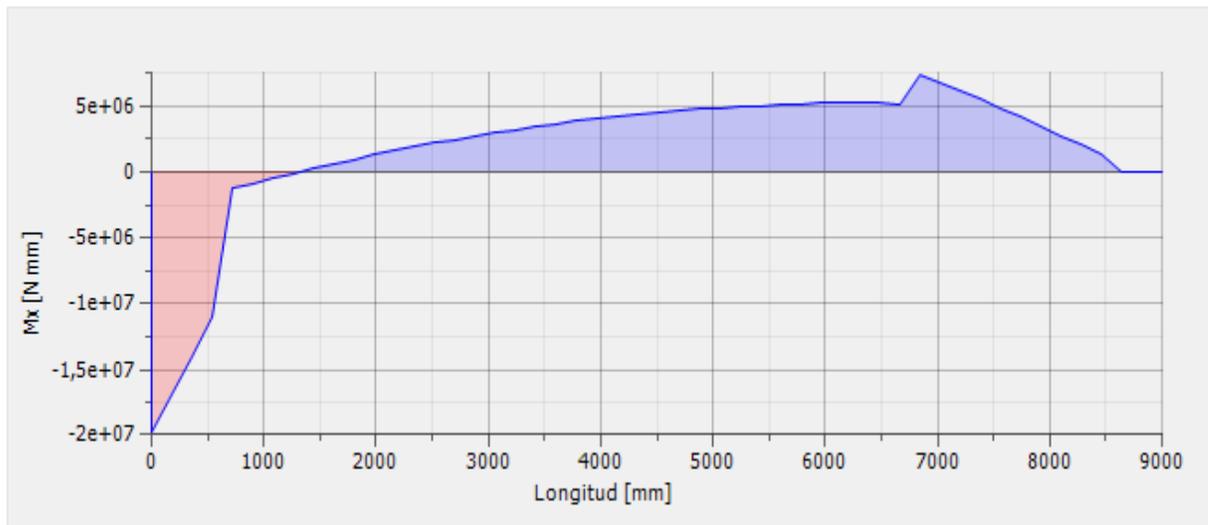
a) DCL general a viga principal.



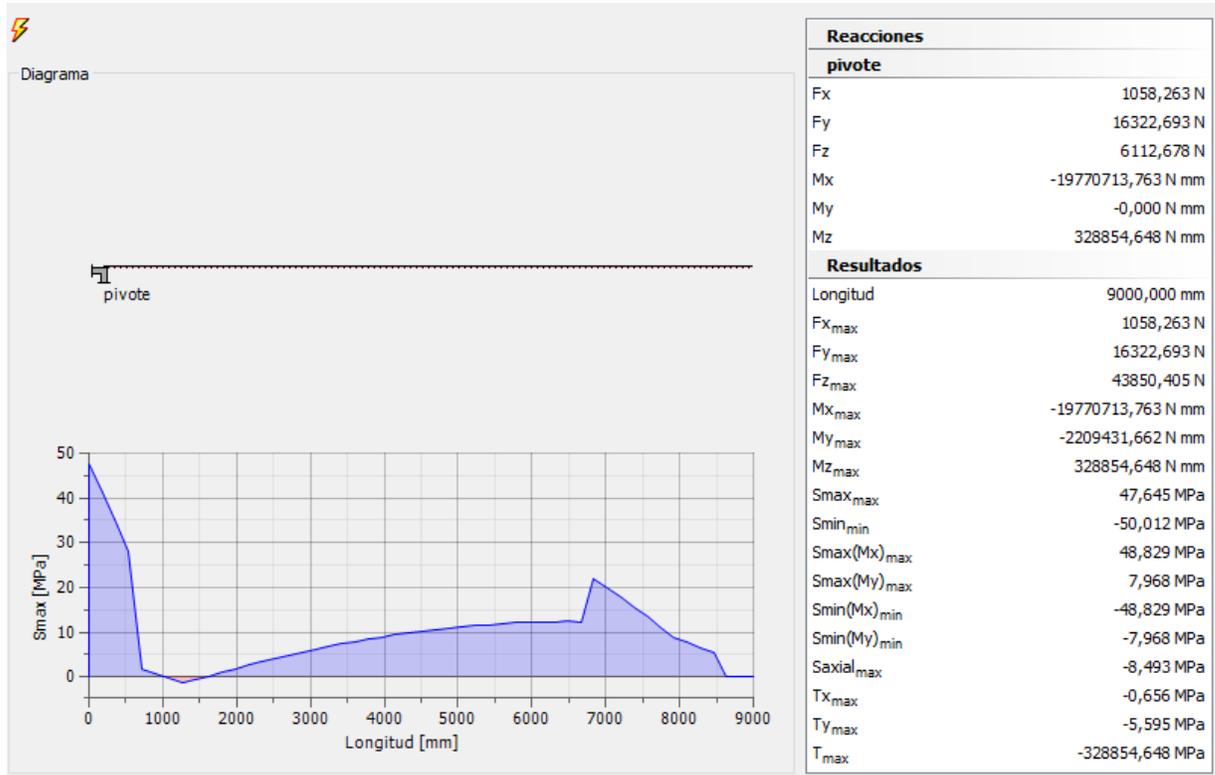
b) Diagrama de fuerzas cortantes.



c) Diagrama de momentos



d) *diagrama de tensiones normales y resumen de resultados*

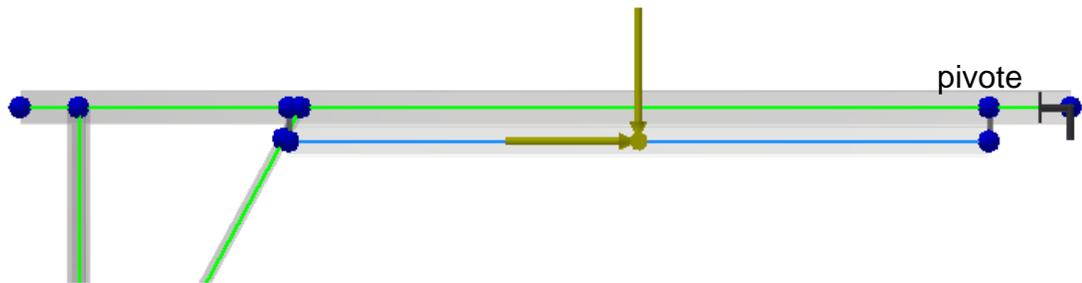


3.6.2 Viga carril

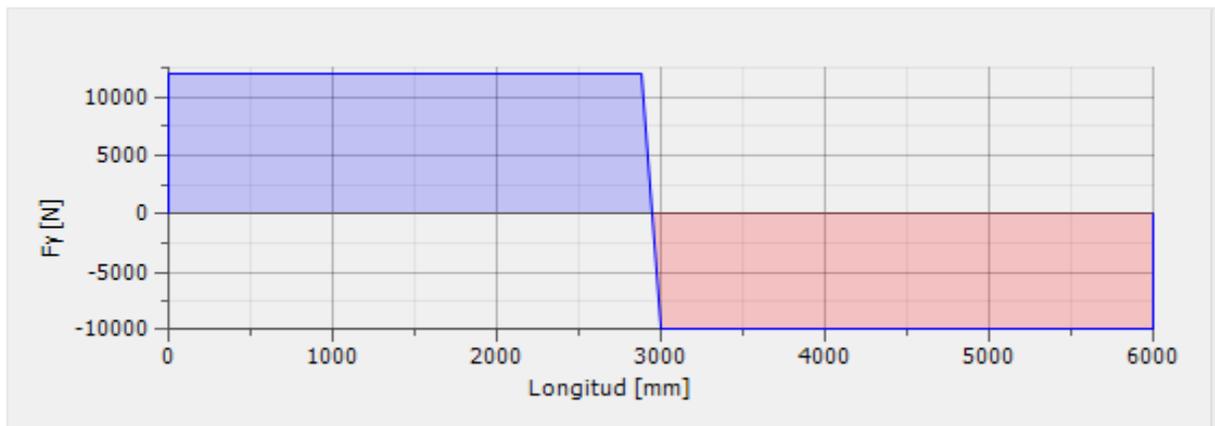
La viga carril IPN 280, será la encargada de soportar el polispasto cuyo carro consta de 4 ruedas cónicas que se asientan y desplazan a lo largo de las alas de la viga. A continuación, se presenta los resultados del análisis estructural de la viga IPN, en la figura 3.12 se muestran los diagramas de fuerza cortante, momento y esfuerzos máximos, obteniendo un valor de esfuerzo máximo en la de viga de 72 MPa. Luego se presenta un análisis de tensión, en dónde se estudia la carga ejercida por cada rueda a las alas de la viga carril. Las propiedades del material y ficha técnica de la viga se especifican en el anexo 6.

Fig. 3.12: Resultados de análisis estructural al perfil rectangular de la viga IPN 280.
Fuente: Software Inventor.

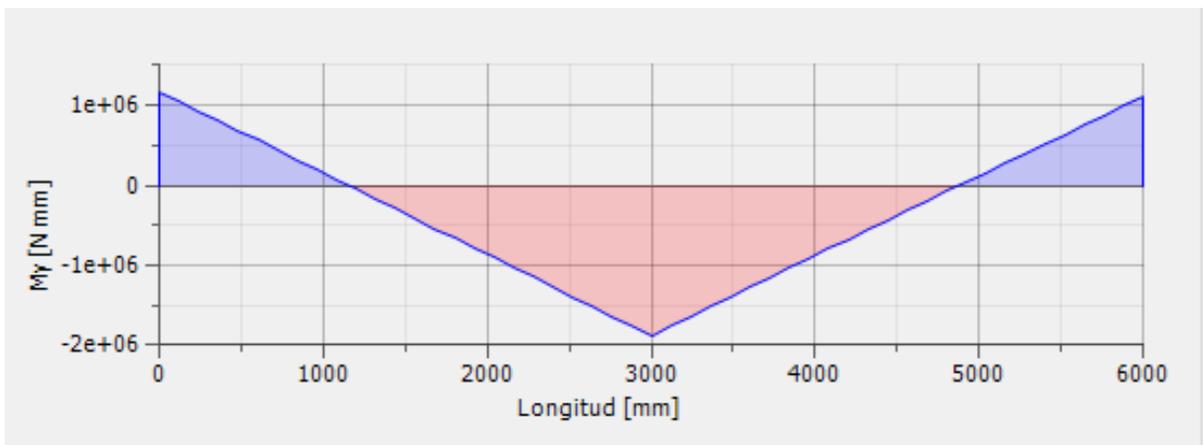
a) DCL general a viga IPN.



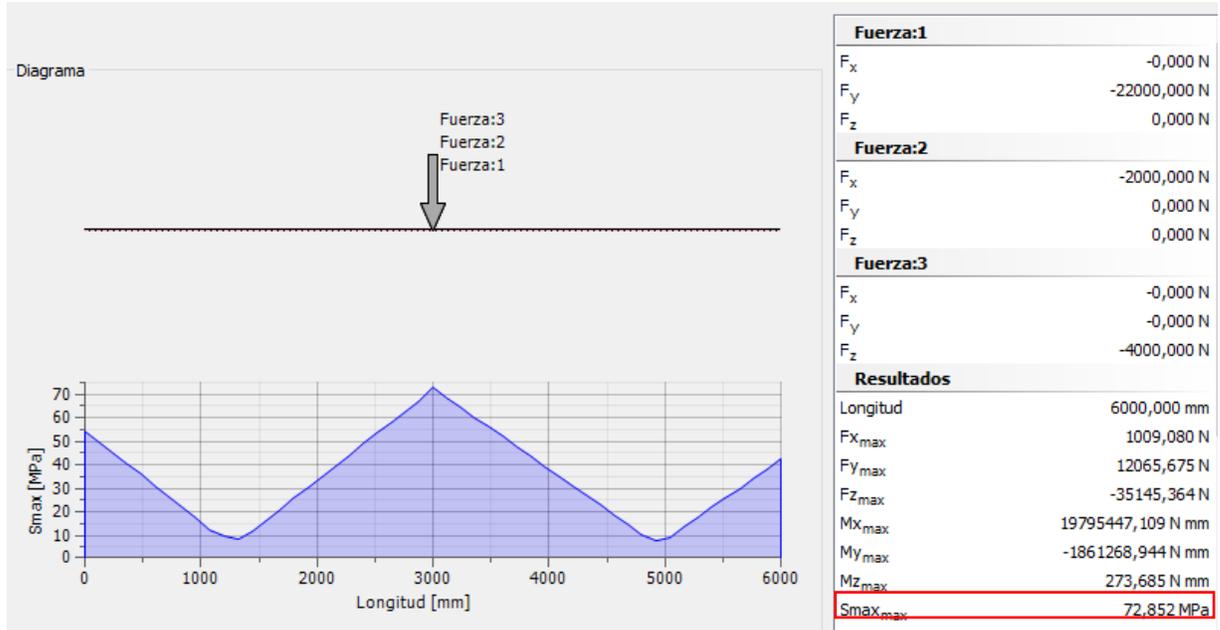
b) Diagrama de fuerzas cortantes



c) Diagrama de momentos



d) diagrama de tensiones normales y resumen de resultados



3.6.7 Análisis de tensión a la viga carril

Producto de la carga ejercida por las ruedas del polispasto, las alas de la viga estarán sometidas a un esfuerzo de corte y flexión. La figura 3.13 representa las cargas ejercida por las ruedas.

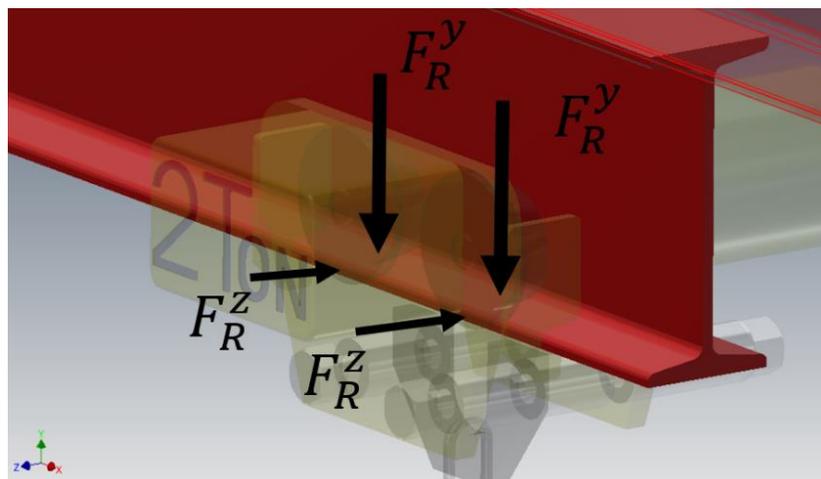


Fig. 3.13: Diagrama de cuerpo libre a viga carril. Fuente: Elaboración propia

En donde

$$4 * F_R^y = Fy \quad (3-2)$$

$$2 * F_R^z = Fz \quad (3-3)$$

En la figura 3.14 se exponen los resultados del análisis de tensión generado gracias al software Inventor las condiciones de contorno y especificaciones de malla se detallan en el anexo 7.

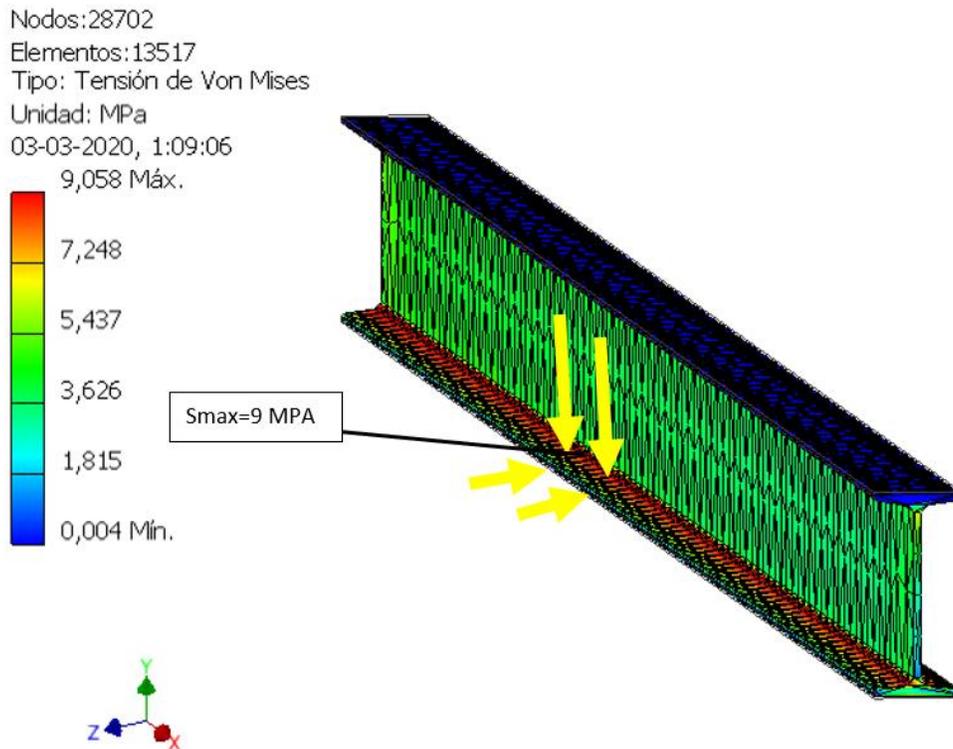


Fig. 3.14: Análisis de tensión a viga carril. Fuente: Elaboración propia.

Como resultado del analisis de tension se comprueba que el ala de la viga IPN al ser una seccion rígida, los esfuerzos sometidos por las ruedas del polispasto son despreciables.

3.6.4 Soldadura viga carril

La unión entre la viga carril y el perfil rectangular será mediante una soldadura discontinúa E7018 1/8" con un espesor de $e=3$ mm, la cual abarcará todo el largo de la viga IPN como se muestra en la figura 3.15 en donde $L:50$ mm será el largo del cordón y $s:500$ mm, la distancia entre cordones; esta unión deberá soportar el peso de la viga carril mas la carga máxima a izar.

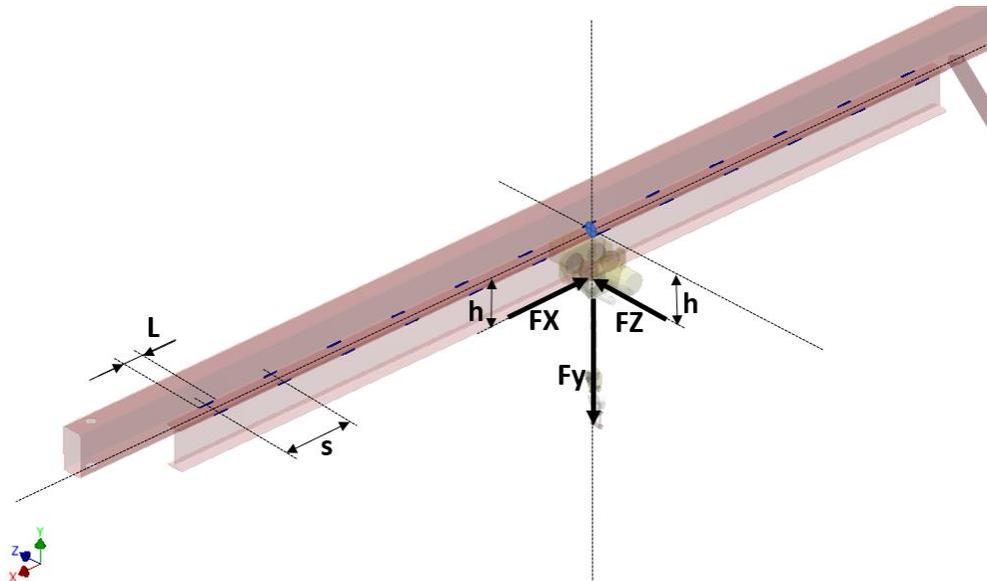


Fig. 3.15: unión soldada viga IPN 280. Fuente: Elaboración propia.

largo del cordón "L" y distancia entre cordones "s", recomendados para soldaduras discontinuas:

Para la longitud del cordón de soldadura, se deberá considerar solo el largo efectivo "l", el cual corresponde a $l = L - 2e = 44$ mm., en donde el valor mínimo recomendado será:

$$l \geq 5 * e$$

$$l \geq 40 \text{ mm}$$

La separación “s” entre soldaduras de una unión discontinua. Siendo “a” el mínimo espesor de los perfiles unidos, tendrá un valor máximo recomendado de:

$$s \leq 15 * a \text{ barra en compresión}$$

$$s \leq 25 * a \text{ barra en tracción}$$

$$s \leq 300 \text{ mm en todo caso}$$

Metodología de cálculo:

- Selección de cordón y tipo de soldadura, las características del metal aportado han de ser similares al metal base a soldar (acero A-36), para esto se optará por un aporte de bajo contenido en carbono y bajo costo “E7018”.

Tabla 3.3: Propiedades mecánicas de soldadura E7018. Fuente: Catálogo Indura.

Propiedades Mecánicas Típicas del Metal Depositado				
Tratamiento Térmico	Esf. Fluencia en 0.2%, MPa	Esf. Máx. de Tracción, MPa	Elongación (L=4d), %	E. Absorbida Ch-v
S/T.T	445	535	30	130J a – 30°C

- Luego se procederá a calcular la resistencia de la soldadura en su punto más exigido, para esto se trasladarán las fuerzas ejercidas por la carga y el peso de la viga carril, al centroide de todos los cordones de soldadura ver anexo 8 “Cálculo de centroide en soldadura de viga carril”; luego se aplicará el criterio de distorsión en dicho punto.
- Para comprobar la resistencia de la unión soldada se utilizarán 2 métodos de cálculo, uno en base a la norma europea NBE EA-95 y otro en base a la norma americana AISC. Para posteriores análisis se optará por la más conservadora entre ambas.

Trasladando fuerzas y momentos al centroide de la soldadura:

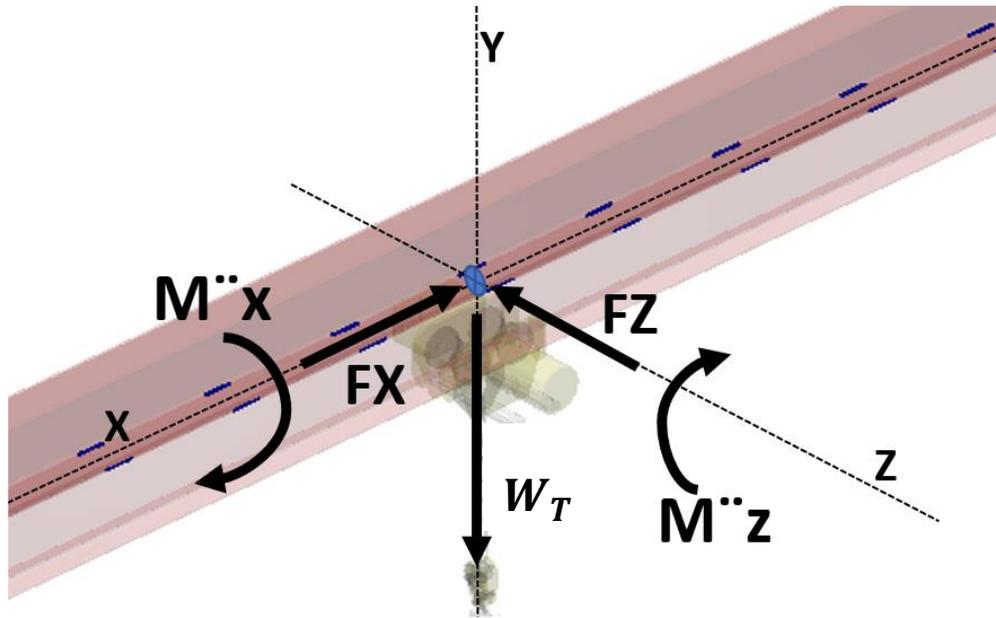


Fig. 3.16: fuerzas y pares en el centroide en la unión soldada. Fuente: Elaboración propia.

En donde:

$$W_t = Fy + W_{IPN} \quad 3-4$$

$$M^x = (Fz \times h) \quad 3-5$$

$$M^z = (Fx \times h) \quad 3-6$$

Esfuerzos:

Esfuerzo normal:

$$\sigma = \frac{w_t}{\sum A} + \frac{M^x * c}{I_{x-x}} + \frac{M^z * c}{I_{z-z}} \quad 3-7$$

Esfuerzo cortante.

$$\tau = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_z^2}}{\sum A} \quad 3-8$$

Donde:

$$A = e * L \quad 3-9$$

$$I_{x-x} = \sum \left[\frac{L * e^3}{12} + L * e * (d_c^x)^2 \right] \quad 3-10$$

$$I_{z-z} = \sum \left[\frac{e * L^3}{12} + L * e * (d_c^z)^2 \right] \quad 3-11$$

Se detallan cálculos de inercia y áreas en anexo 8.

Esfuerzo equivalente “según Von Mises”:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} \quad 3-12$$

Tabla 3.4: Resultados análisis a unión soldada de la viga carril. Fuente: Elaboración propia

Símbolo	Descripción	Valor	Unidad
F_x	fuerza	4000	N
F_y	fuerza	-22000	N
W_{IPN}	fuerza	-2870	N
F_z	fuerza	2000	N
W_t	fuerza	-24870	N
M_x	Momento en X	560	Nm
M_z	Momento en Z	156,8	Nm
s	Distancia entre centros de soldaduras	500	mm
L	Largo de soldadura	50	mm
h	Altura de viga IPN	0,28	m
c	Distancia desde C.G a pto. 1	3015	mm

I_{x-x}	Inercia respecto al eje X	0,0172	m^4
I_{z-z}	Inercia respecto al eje z	5,9E-06	m^4
$\sum A$	Sumatoria de las áreas de soldaduras	0,00144	m^2
σ	Esfuerzo normal en pto.1	98,7	MPa
τ	Esfuerzo cortante en pto.1	3,1	MPa
σ'	Esfuerzo máximo "Von Mises"	98,9	MPa

La norma europea NBE EA-95 ,establece un método de cálculo para uniones soldadas llamado "método direccional" el cual ha de satisfacer dos condiciones:

$$1) \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} < \frac{f_u}{\beta_u \times \gamma_{M2}}$$

$$2) \sigma \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

En donde:

f_u = resistencia ultima a la tracción de la pieza más débil de la unión.

β_u = coeficiente de correlación dependiente del tipo de acero (tabla 3.5).

γ_{M2} = 1.25 coeficiente de seguridad del material para uniones soldadas.

Tabla 3.5: Valores del coeficiente de correlación en función al tipo de acero. Fuente: Norma europea NBE EA-95.

Tipo de acero	Resistencia a tracción f_u	Coeficiente β_w
S 235	360 N/mm^2	0,8
S 275	430 N/mm^2	0,85
S 355	510 N/mm^2	0,9
S 420	540 N/mm^2	1,0
S 460	570 N/mm^2	1,0

Por lo tanto

$$1) \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} < \frac{f_u}{\beta_u \times \gamma_{M2}} \Rightarrow 98,8 < \frac{360}{0,8 \times 1,2} \Rightarrow 98,8 < 375 \quad \text{cumple!}$$

$$2) \sigma \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \Rightarrow 98,9 < \frac{360}{1,2} \Rightarrow 98,7 < 300 \quad \text{cumple!}$$

La norma americana AISC por su parte establece, que el esfuerzo equivalente en base a la teoría de distorsión multiplicado por un factor de concentración de esfuerzos según el tipo de soldadura no deberá superar el esfuerzo permisible, según la siguiente expresión:

$$\sigma' * k_f < \sigma_{permisible}$$

En donde

k_f = factor de concentración de esfuerzos según tabla 3.6

$\sigma_{permisible}$ = esfuerzo permisible según tabla 3.7

Tabla 3.6: Factor de concentración de esfuerzos para cordones de soldadura. Fuente: Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley.

Tipo de soldadura	K_{fs}
A tope reforzada	1.2
De filete transversal, en la punta	1.5
De filetes paralelos, en el extremo	2.7
A tope en T, con esquinas agudas	2.0

Tabla 3.7: Esfuerzo permisible para cordones de soldadura. Fuente: Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley.

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n*
Tensión	A tope	$0.60S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
Flexión	A tope	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.30S_{ut}^{\dagger}$	

*El factor de seguridad n se ha calculado mediante la teoría de la energía de distorsión.

[†]El esfuerzo cortante en el metal base no debe exceder de $0.40S_y$ del metal base.

Por lo tanto

$$\sigma' * k_f < \sigma_{permisible} \Rightarrow 98,9 * 1,2 < 0,6 * 445 \Rightarrow 118 < 267 \quad \text{cumple!}$$

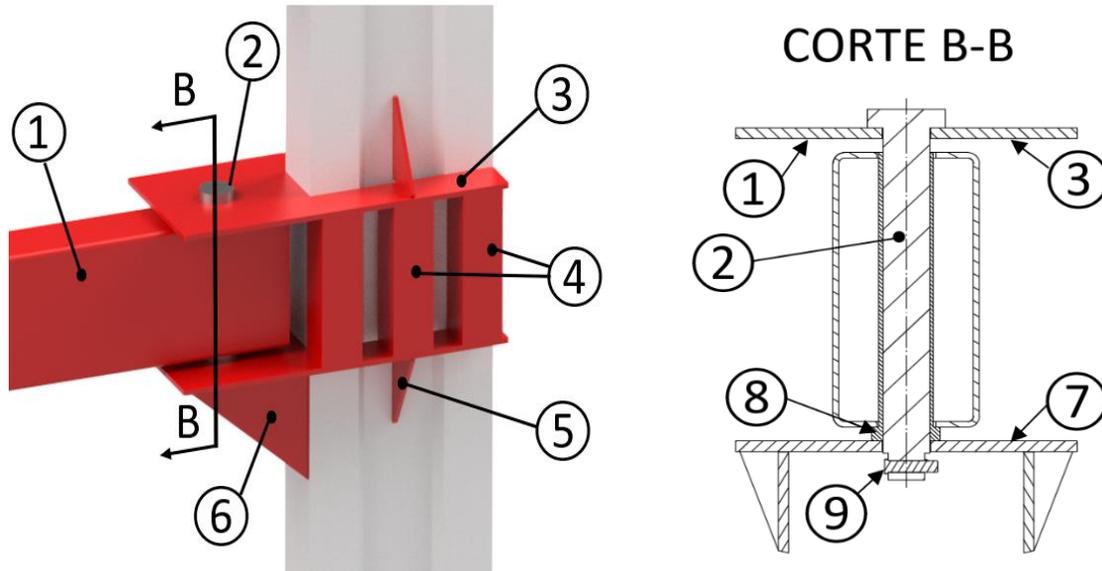
3.7 Pivote

Esta parte del puente grúa es la encargada de ensamblar al puente grúa por medio de la viga principal hacia el pilar pórtico del galpón y así permitir el movimiento giratorio de la grúa, esto gracias a un pivote que consiste en un buje soldado a la viga rectangular y un pasador que une ambas partes. Las partes del pivote se pueden apreciar en la figura 3.17, junto a ella una vista en corte para apreciar con mayor detalle el pivote (figura 3.18). En la tabla 3.8 se detallan cada una de las partes que constituyen el pivote

Tabla 3.8: Partes del pivote. Fuente: elaboración propia

Ítem	Descripción	Dimensiones (mm)
①	Perfil rectangular	300x150x6
②	Pasador	$\varnothing_p = 48$
③	Placa superior	800x340x12
④	Perfil cuadrado	120x120x3
⑤	Ménsula triangular lateral	185x115x10
⑥	Ménsula triangular frontal	280x350x10
⑦	Placa inferior	800x350x12
⑧	Buje	$L_b: 315 \text{ mm}, \varnothing_i = 48 \text{ mm}, e: 3,68$
⑨	Pasador de horquilla	$\varnothing = 1/2 \text{ "}, L: 1-1/2 \text{ "}$

Fig. 3.17 y 3.18: Partes del pivote. Fuente: elaboración propia.



3.7.1 Análisis al pasador

El pasador del puente grúa estará sometido a un esfuerzo de corte, producido por los desplazamientos horizontales y longitudinales de la carga, generando una fuerza de corte producida por las fuerzas R_x y R_z , estas cargas radiales actuarán distribuidamente en el pasador, todo el largo del buje siendo representadas por las cargas Q_x y Q_z (ver figura 3.19). El pasador también se encontrará sometido a un esfuerzo de flexión, ejercido por el momento M_z , el cual se puede representar como carga distribuida triangular P_d , en dónde:

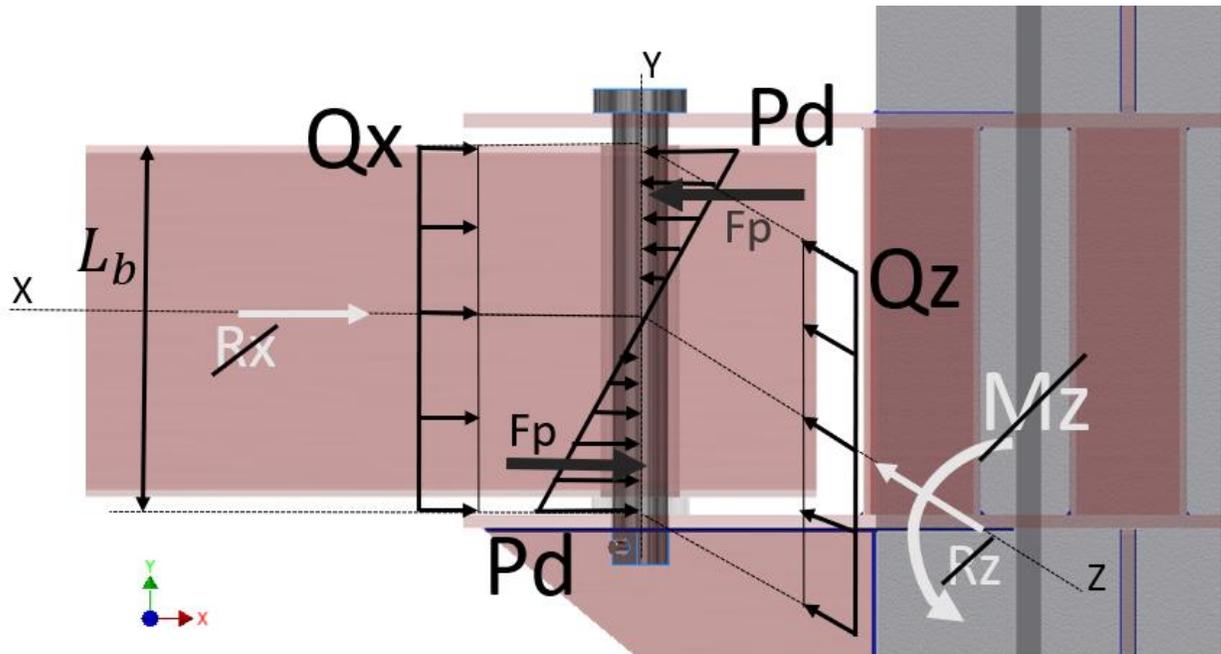
$$M_z = 2 * F_p * \left(\frac{L_b}{3}\right) \Rightarrow F_p = \frac{M_z * 3}{L_b * 2} \quad 3-13$$

$$P_d = \frac{F_p * 2}{\frac{L_b}{2}} \quad 3-14$$

$$Q_x = R_x / L_b \quad 3-15$$

$$Q_z = R_z/L_b$$

Fig. 3.19: Diagrama de cuerpo libre al pivote. Fuente: elaboración propia



Análisis de esfuerzos:

El análisis de esfuerzos será realizado mediante el software Autodesk inventor, las propiedades del material serán asignadas según la biblioteca de inventor y se especifican a continuación.

Tabla 3.9 propiedades del pasador. Fuente: software Inventor

☐ **Material(es)**

Nombre	Acero SAE 1045	
General	Densidad de masa	7,730 g/cm ³
	Límite de elasticidad	250,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	570,000 MPa
Tensión	Módulo de Young	205,000 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,300 su
Nombre(s) de pieza	UNI 50 00000001.ipt	

Condiciones de contorno

Tabla 3.10: Condiciones de contorno del pasador. Fuente: software Inventor

☐ Carga continua Pd

Tipo de carga	Carga continua
Magnitud	1158,000 N/mm
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	0,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Qx	1158,000 N/mm
Qy	0,000 N/mm
Qz	0,000 N/mm
Desfase	43,000 mm
Longitud	157,500 mm
Magnitud final	0,000 N/mm

☐ Carga continua -Pd

Tipo de carga	Carga continua
Magnitud	0,000 N/mm
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	180,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Qx	-0,000 N/mm
Qy	0,000 N/mm
Qz	0,000 N/mm
Desfase	200,500 mm
Longitud	156,500 mm
Magnitud final	1158,000 N/mm

☐ Carga continua Qx

Tipo de carga	Carga continua
Magnitud	17,700 N/mm
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	0,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Qx	17,700 N/mm
Qy	0,000 N/mm
Qz	0,000 N/mm
Desfase	42,000 mm
Longitud	315,000 mm
Magnitud final	17,700 N/mm

☐ Carga continua Qz

Tipo de carga	Carga continua
Magnitud	3,300 N/mm
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	0,00 gr
Ángulo en plano	180,00 gr
Qx	0,000 N/mm
Qy	0,000 N/mm
Qz	-3,300 N/mm
Desfase	42,000 mm
Longitud	315,000 mm
Magnitud final	3,300 N/mm

☐ Restricción personalizada:2

Tipo de restricción	Personalizado
α - Rotación sobre el eje Z	0,00 gr
β - Rotación sobre el eje Y	0,00 gr
γ - Rotación sobre el eje X	0,00 gr
Desfase	37,004 mm
Desplazamiento	
Eje X	fijo
Eje Y	elevado sin límite
Eje Z	fijo
Rotación	
Eje X	elevado sin límite
Eje Y	elevado sin límite
Eje Z	elevado sin límite

☐ Restricción personalizada:3

Tipo de restricción	Personalizado
α - Rotación sobre el eje Z	0,00 gr
β - Rotación sobre el eje Y	0,00 gr
γ - Rotación sobre el eje X	0,00 gr
Desfase	379,000 mm
Desplazamiento	
Eje X	fijo
Eje Y	fijo
Eje Z	fijo
Rotación	
Eje X	elevado sin límite
Eje Y	elevado sin límite
Eje Z	elevado sin límite

Resultados:

Fig. 3.20: análisis al pasador. Fuente software autodesk inventor.

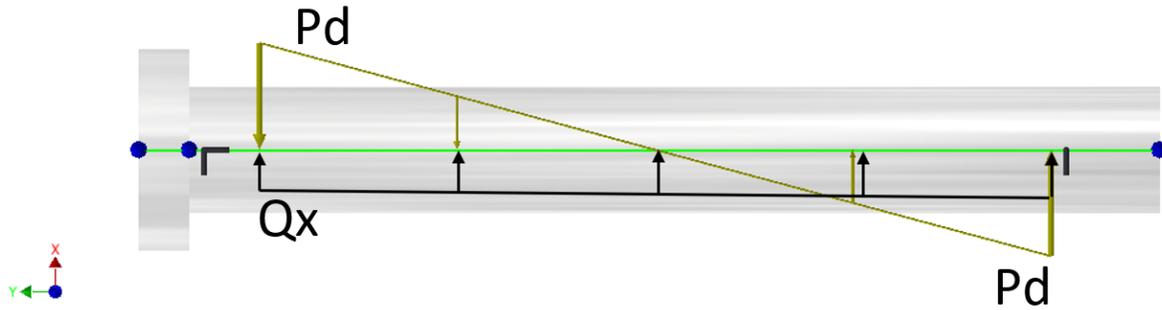


Fig. 3.21: Diagrama de fuerzas cortantes. Fuente software autodesk inventor.

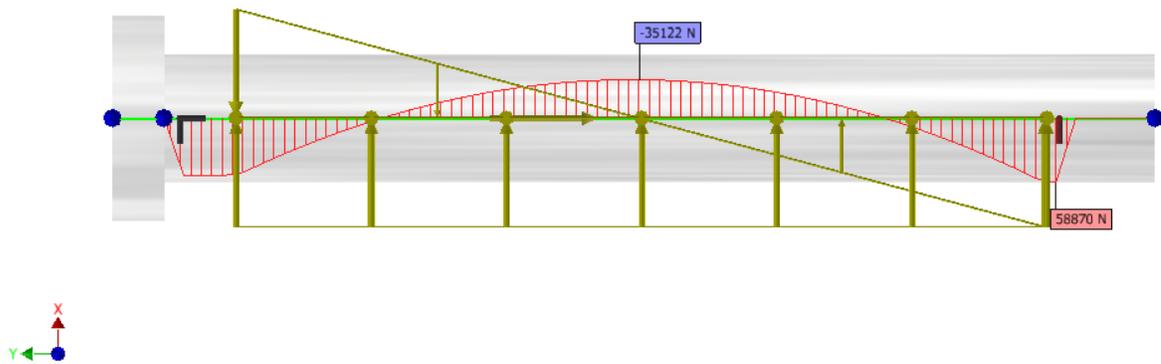


Fig. 3.22: Diagrama de momento flector. Fuente software autodesk inventor.

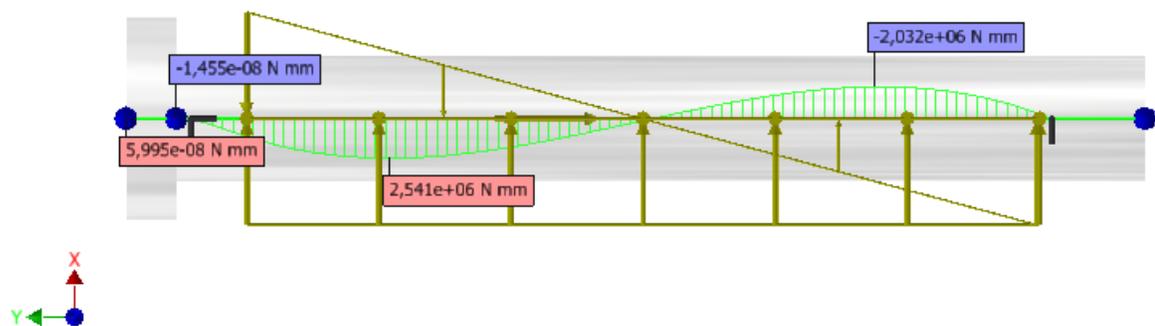


Fig. 3.23: Tensión normal máxima. Fuente software autodesk inventor.

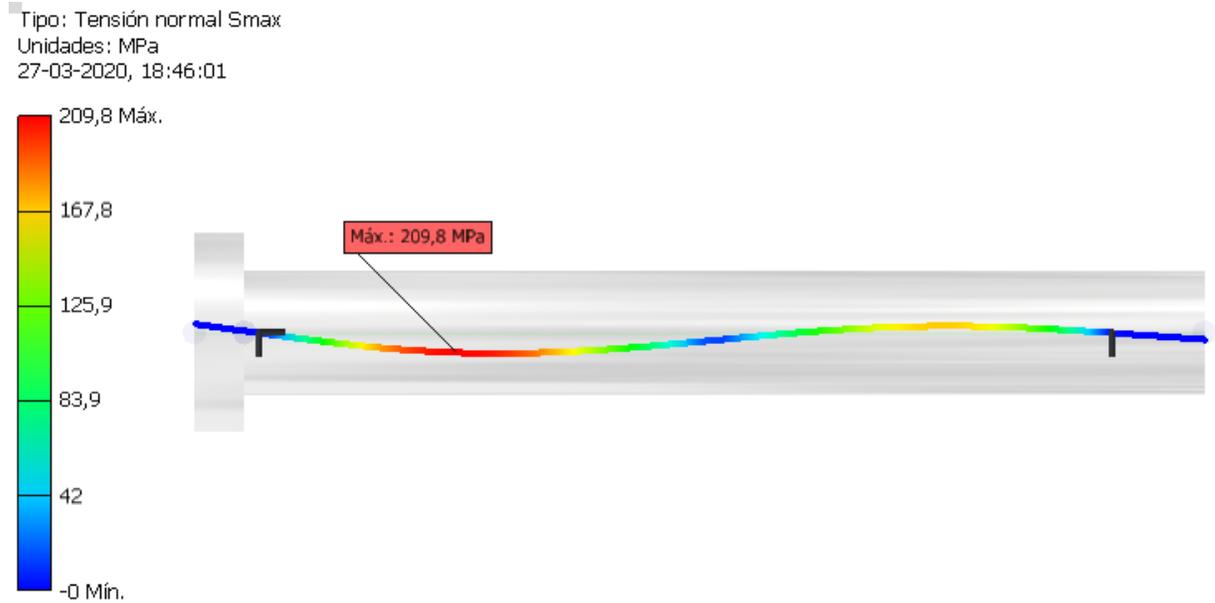


Tabla 3.11: Resumen de resultados cálculo al pasador. Fuente: Software Inventor

☐ Resultados

Longitud	L	405,000 mm
Masa	Masa	6,266 kg
Tensión de plegado máxima	σ_B	209,866 MPa
Tensión de corte máxima	τ_S	19,694 MPa
Tensión de torsión máxima	τ	0,000 MPa
Tensión máxima	σ_T	0,000 MPa
Tensión reducida máxima	σ_{red}	212,615 MPa
Flexión máxima	$f_{m\acute{a}x}$	232,499 μm
Ángulo de torsión	φ	0,00 gr

La tensión reducida es determinada mediante la ecuación 2-10

Cálculo de fatiga

Para el análisis de fatiga se considerara los esfuerzos máximos en el caso más crítico (caso 1) y para los esfuerzos mínimos se considerarán los esfuerzos producidos

en el caso 2, se adjunta el resultado y detalles de este análisis en el anexo 9. Según la tabla 2.2 del capítulo 2 el puente grúa se puede clasificar según su servicio como categoría "C" y clasificándolo según su clase de carga en la categoría "L3", con esto se obtiene una cantidad de 100.000 a 500.000 ciclos de carga.

Dado, esfuerzo medio y alterno :

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}, \sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (3-17), (3-18)$$

$$\tau_m = \frac{\tau_{max} + \tau_{min}}{2}, \tau_a = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{2} \quad (3-19), (3-20)$$

Corrección al limite de fatiga:

- Factor de confiabilidad (k_c), considerando una relacion de supervivencia de un 80% ,se obtiene según anexo 9 , $D= 1,28$ con esto:

$$k_c = 1 - 0,08 * D = 0,82$$

- Factor de tamaño (k_s) , se tiene que para:

$$8 \text{ mm} \leq d \leq 250 \text{ mm} , \text{ entonces } k_s = 1,189 * d^{-0,097} = 0,81$$

- Factor de acabado superficial (k_a), según anexo 9 , dado un acero SAE 1045 de resistencia a la traccion de $S_y = 45 \text{ kpsi}$, $S_{ult} = 82 \text{ kpsi}$ y un acabado superficial máquinado, el factor de acabado superficial corresponde a $k_s= 0,92$

Finalmente el límite de fatiga modificado a las condiciones reales, estara dado por:

$$Sn = k_s * k_c * k_a * S'n \quad (3-21)$$

Donde $S'n = 0,5 * S_{ult}$, por lo tanto $Sn = 25 \text{ kpsi}$ o 172 MPa

ecuación de diseño,para vida infinita:

$$\left[\frac{1}{N} \right]^2 = \left[\frac{\sigma_m}{S_y} + \frac{\sigma_a}{Sn} \right]^2 + \left[\frac{\tau_m}{S_{ys}} + \frac{\tau_a}{Sn_s} \right]^2 \quad (3-22)$$

$$Sns = 0,577 * Sn \quad (3-23)$$

$$Sys = 0,577 * Sy \quad (3-25)$$

Resultados:

Tabla 3.12: Cálculo de factor de seguridad al pasador. Fuente: elaboración propia

Simbolo	Descripción	valor	unidad
\varnothing_p	Diametro del pasador	48	mm
M_{max}^Z	Par torsor en eje Z (ver tabla 3.2)	19771	Nm
M_{min}^Z	Par torsor minimo en eje Z (ver tabla 3.2)	16157	Nm
F_p^Z	Fuerza par maxima en el eje Z	92671	N
$F_{p,min}^Z$	Fuerza par minima en el eje Z	75735	N
L_b	Longitud del buje	320	mm
$R_{x,max}$	Reacción en el pasador (ver tabla 3.2)	5684	N
$R_{z,max}$	Reacción en el pasador (ver tabla 3.2)	1058	N
$R_{x,min}$	Reacción en el pasador (ver tabla 3.2)	4610	N
$R_{z,min}$	Reacción en el pasador (ver tabla 3.2)	1721	N
$P_{d,max}$	Carga distribuida triangular en el pasador	1158	N/mm
$P_{d,min}$	Carga min. distribuida triangular en el pasador	946	N/mm
$Q_{x,max}$	Carga distribuida en el pasador	17,7	N/mm
$Q_{z,max}$	Carga distribuida en el pasador	3,3	N/mm
$Q_{x,min}$	Carga distribuida en el pasador	14,4	N/mm
$Q_{z,min}$	Carga distribuida en el pasador	5,3	N/mm
S_n	Limite de fatiga correguido	172	MPa
S_{ns}	Limite de fatiga por torsión	99	MPa
S_y	Limite de fluencia	393	MPa
S_{ys}	Limite de fluencia por torsión	184	MPa
τ_{max}	Esfuerzo de corte del pasador	31,8	MPa
σ_{max}	Esfuerzo normal en el pasador	209	MPa
τ_{min}	Esfuerzo de corte del pasador	19,6	MPa
σ_{min}	Esfuerzo normal en el pasador	41,4	MPa
$N_{pasador}$	Factor de seguridad pasador	1,8	-
N_{fatiga}	Factor de seguridad a la fatiga pasador	1,58	-

CUMPLE !

3.7.2 Análisis a la placa inferior del pivote

Dado que la placa inferior del pivote soporta a la viga principal, esta sufre un esfuerzo de flexión producido por la fuerza normal a la superficie de la placa "Ry", y un esfuerzo de aplastamiento en las zonas de apoyo del pasador producidos por la fuerza de reacción Fa y Fb , como se muestra en la figura 3.24. Este análisis será realizado mediante una simulación de análisis de tensión ejecutado por el software inventor, en donde se destaca el esfuerzo máximo con un valor de 111 Mpa en la zona en donde se asienta el buje, la placa será de acero estructural A-36 y se especifican sus propiedades en la tabla 3.13 ,con esto se obtiene un factor de seguridad de $FS=2.1$ según ecuación 3-1.

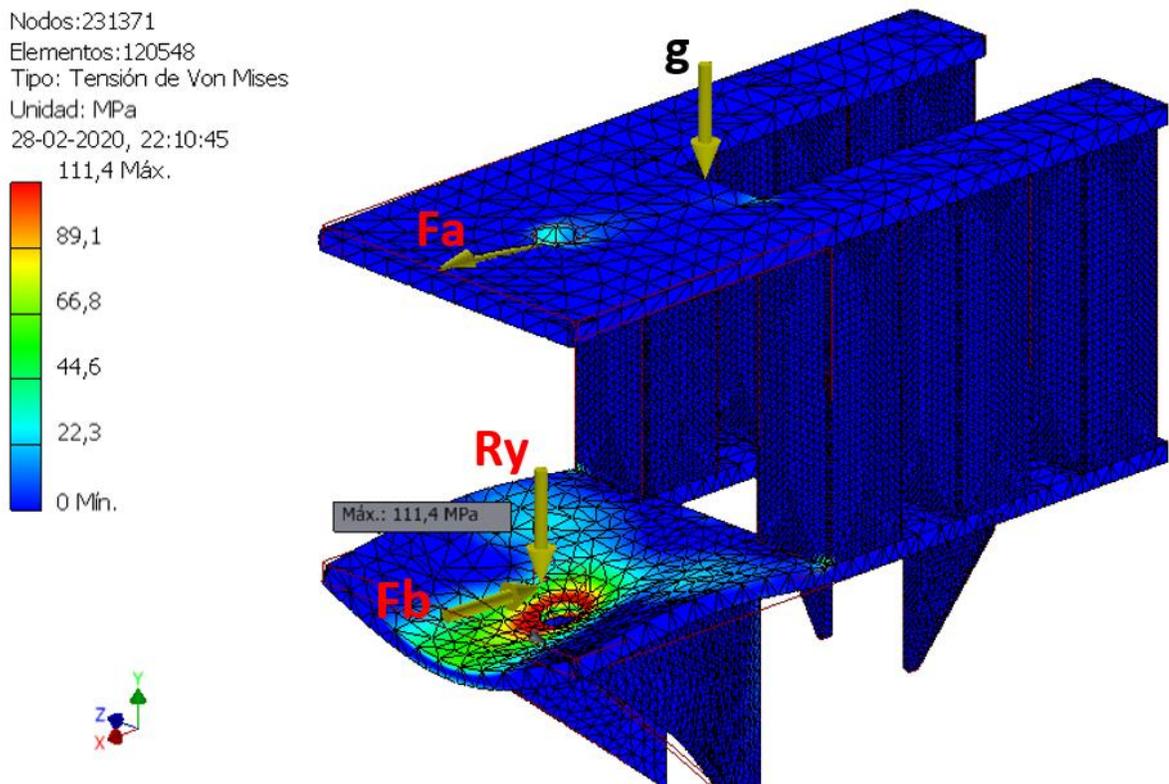


Fig. 3.24: Análisis de tensión al pivote. Fuente: Software autodesk inventor.

Tabla 3.13: Propiedades de la placa del pivote. Fuente: software Inventor.

☐ **Material(es)**

Nombre	Acero	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	210 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	80,7692 GPa

Condiciones de contorno

Tipo de malla:

Tabla 3.14: Tipo de malla pivote. Fuente: Software Inventor

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

Cargas :

Tabla 3.15: Cargas análisis al pivote. Fuente: Software Inventor

☐ **Fa**

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	42412,000 N
Vector X	41021,325 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	10771,658 N

☐ **Fb**

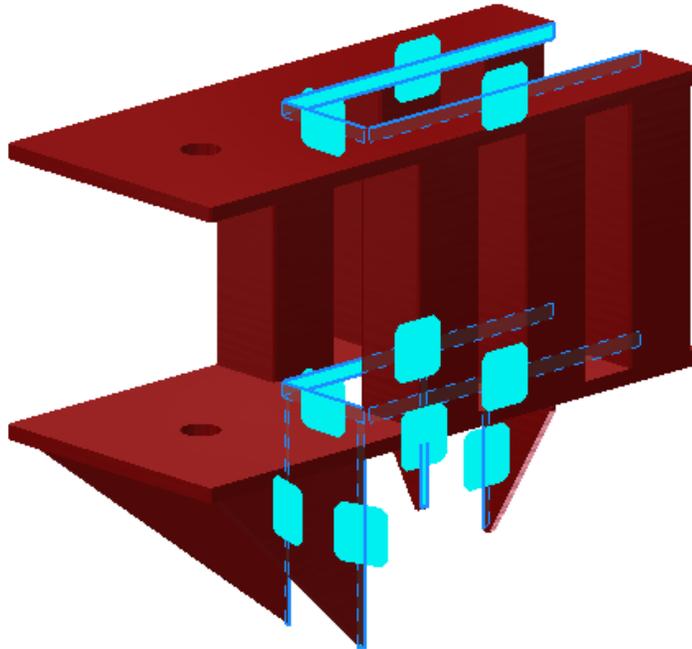
Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	42412,000 N
Vector X	-42330,247 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	-2632,103 N

☐ **Ry**

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	16322,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-16322,000 N
Vector Z	0,000 N

Restricciones: estan definidas en todas las uniones soldadas entre el pilar portico y el pivote.

Figura 3.25: Restricciones en el pivote: Fuente: software Inventor.

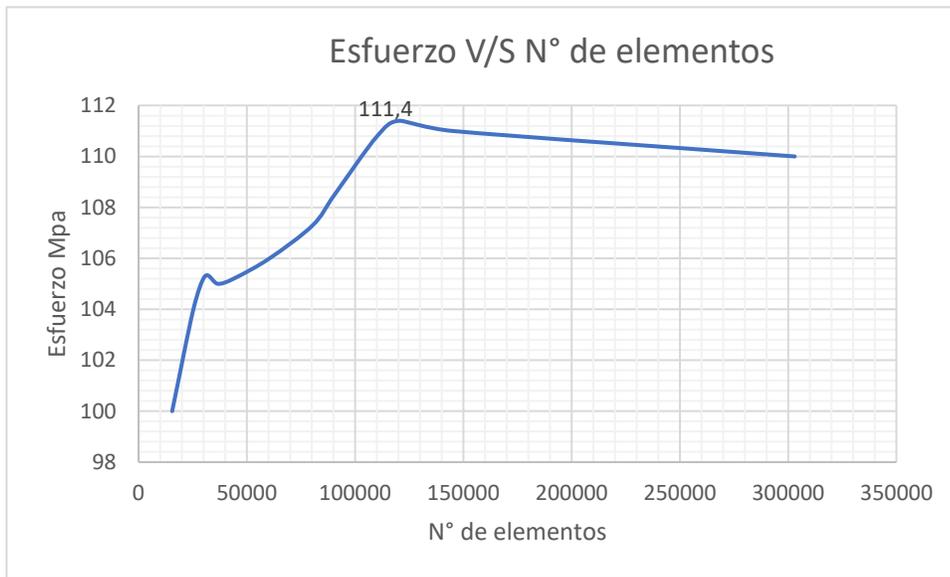


Análisis de sensibilidad:

Con el fin de determinar el valor de esfuerzo más cercano al real, se realizará una iteración en el análisis de elementos finitos disminuyendo sucesivamente la partición de elementos finitos, con esto la solución numérica convergerá a la solución más estable y confiable. En la tabla 3.16 se presentan los resultados de esfuerzos según el número de elementos a su vez se presenta una gráfica de esfuerzo v/s número de elementos.

Tabla 3.16: análisis de sensibilidad. Fuente: Elaboración propia

tamaño de malla	número de elementos	tensión de Von Mises (Mpa)	tasa de convergencia (%)
0,09	28722	105,3	6,2
0,08	36611	105	7,5
0,06	59898	105,9	5,3
0,05	80453	107,3	4,6
0,04	120548	111,4	4,4
0,03	303056	110	6,8



3.7.3 Soldadura en el pivote

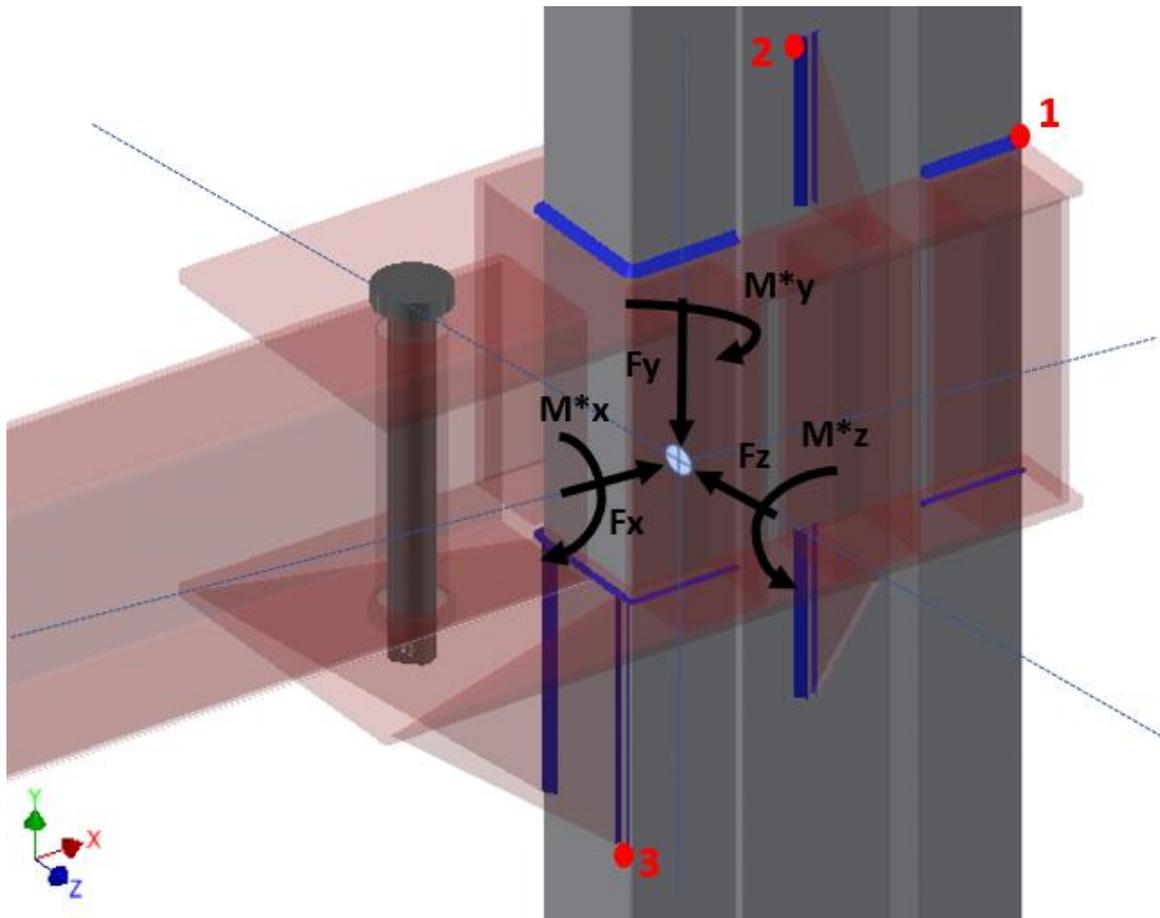
En la figura 3.26 se muestran en color azul las soldaduras que le permitirán al pivote adherirse al pilar pórtico, estas serán llevadas a cabo mediante una soldadura E7018 1/8" de 3 mm de espesor cuyas propiedades se especifican en la tabla 3.3. El análisis y determinación de esfuerzos serán llevados a cabo de manera manual mediante el criterio de distorsión, siguiendo la metodología de cálculo del capítulo 3.6.4.

Cálculo de esfuerzo en la unión soldada:

En una primera instancia se trasladarán las fuerzas y pares que actúan en el pasador hacia el centro de gravedad de todas las soldaduras del pivote, luego mediante el criterio de "Von Mises" se determinarán los esfuerzos máximos en 3 distintos cordones de la unión, los cálculos de centro de gravedad e inercia se muestran en el anexo 10.

Trasladando fuerzas y pares al centro de gravedad

Fig. 3.26: cargas y pares en la unión soldada. Fuente: elaboración propia.



Dónde

$$M^*x = Mx - (Fz \times D3) \quad 3-26$$

$$M^*y = Fz \times D2 \quad 3-27$$

$$M^*z = Mz + (Fy \times D1) \quad 3-28$$

A continuación se presenta en la tabla 3.17 un resumen con los esfuerzos a los que están sometidos los cordones de soldadura 1,2 y 3, dependiendo de cada condición de carga.

Tabla 3.17: Resumen de esfuerzos en cordones de soldadura del pivote. Fuente: elaboración propia.

cordones	F_x	F_y	F_z	M^*x	M^*y	M^*z
1	cortante	cortante	compresión	Flexión (+)	Flexión (+)	Torsión
2	cortante	cortante	compresión	Flexión (+)	Flexión (+)	Torsión
3	compresión	cortante	cortante	Torsión	Flexión (+)	Flexión (-)

Esfuerzos en el punto 1:

Esfuerzo normal:

$$\sigma = \frac{-Fz}{\Sigma A} + \frac{M^*x \cdot c_1}{I_{x-x}} + \frac{M^*y \cdot c_1}{I_{y-y}} \quad 3-29$$

Esfuerzo cortante :

$$\tau = \frac{\sqrt{Fy^2 + Fx^2}}{\Sigma A} + \frac{M^*z \cdot c_1}{2 \cdot I_{z-z}} \quad 3-30$$

Esfuerzos en el punto 2:

Esfuerzo normal:

$$\sigma = \frac{-Fz}{\Sigma A} + \frac{M^*x \cdot c_2}{I_{x-x}} + \frac{M^*y \cdot c_2}{I_{y-y}} \quad 3-31$$

Esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{\sqrt{Fy^2 + Fx^2}}{\sum A} + \frac{M^* z * c_2}{2 * I_{z-z}} \quad 3-32$$

Esfuerzos en el punto 3:

Esfuerzo normal:

$$\sigma = \frac{-Fx}{\sum A} - \frac{M^* y * c_3}{I_{y-y}} + \frac{M^* z * c_3}{I_{z-z}} \quad 3-33$$

Esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{\sqrt{Fy^2 + Fz^2}}{\sum A} + \frac{M^* x * c_3}{2 * I_{x-x}} \quad 3-34$$

Donde:

$$A = e * L \quad 3-35$$

$$I_{x-x} = \sum \left[\frac{b * h^3}{12} + L * e * (d_c^X)^2 \right] \quad 3-36$$

$$I_{y-y} = \sum \left[\frac{b * h^3}{12} + L * e * (d_c^Y)^2 \right] \quad 3-37$$

$$I_{z-z} = \sum \left[\frac{b * h^3}{12} + L * e * (d_c^Z)^2 \right] \quad 3-38$$

“b” y “h” dependerán de cada cordón correspondiendo al largo del cordón “L” y espesor “e” ver anexo 10 “Cálculo de inercia en unión soldada del pivote”.

Esfuerzo equivalente “según Von Mises” ecuación 3-7.

Resultados:

Tabla 3.18: Resultados cálculo de soldadura al pivote. Fuente: elaboración propia.

Símbolo	Descripción	Valor	Unidad
M*x	Momento en X	232	Nm
M*y	Momento en Y	-596	Nm
M*z	Momento en Z	7013	Nm
c1	Distancia desde C.G a pto. 1	0,499	m
c2	Distancia desde C.G a pto. 2	0,442	m
c3	Distancia desde C.G a pto. 3	0,211	m
D1	Distancia	0,298	m
D2	Distancia	0,298	m
D3	Distancia	0,010	m
I_{x-x}	Inercia respecto al eje X	0,0016	m ⁴
I_{y-y}	Inercia respecto al eje Y	0,0023	m ⁴
I_{z-z}	Inercia respecto al eje Z	9,9E-05	m ⁴
$\sum A$	Sumatoria de las áreas	0,008	m ²
σ_1	Esfuerzo normal en pto.1	0,53	MPa
σ_2	Esfuerzo normal en pto.2	0,51	MPa
σ_3	Esfuerzo normal en pto.3	17,61	MPa
$\tau_{1,}$	Esfuerzo cortante en pto.1	44,33	MPa
$\tau_{2,}$	Esfuerzo cortante en pto.2	39,67	MPa
$\tau_{3,}$	Esfuerzo cortante en pto.3	3,58	MPa
σ'_1	Esfuerzo de von mises en pto. 1	76,78	MPa
σ'_2	Esfuerzo de von mises en pto. 2	68,71	MPa
σ'_3	Esfuerzo de von mises en pto. 3	18,67	MPa

Comprobación de resistencia:

Según norma americana AISC establece que:

$$a) \sigma' * k_f < \sigma_{\text{permisible}}$$

$$76,78 * 1,2 < 0,6 * 445 \Rightarrow 92,13 < 267 \quad \text{cumple!}$$

$$b) \tau < 0.6 * \sigma_y$$

$$44,33 < 0.6 * 235 \Rightarrow 44,33 < 141 \quad \text{cumple!}$$

En donde:

k_f : Factor de concentración de esfuerzo, según tabla 3.6

$\sigma_{permisible}$: Esfuerzo permisible del cordón, según tabla 3.7

σ_y : Esfuerzo de fluencia del metal base.

3.8 Cálculo de pandeo al puente grúa

El cálculo de pandeo a la estructura base del puente grúa será llevado a cabo, por el software Autodesk Robot structural Análisis profesional 2020, el cuál mediante el método de rigidez permitirá comprobar si la estructura cumple con los valores de esfuerzo y deformación máximos exigidos por la normativa (anexo 3), para ello:

- Se define el coeficiente de longitud de pandeo el cual dependerá de los tipos de apoyos. Para este caso corresponderá a un valor de 0.7 por barra, dado un apoyo simple por parte de las ruedas y un empotramiento en la unión rígida.
- Luego se definen las barras que presentan uniones u arriostramientos las cuales el software les designa un coeficiente dependiendo del número de uniones.
- Se deberá definir la clase de servicio de la carga, esto según el capítulo 4.2, donde dado a su clase de carga y ciclos corresponde a la categoría C.
- Luego se definen las cargas y los casos de carga las cuales se considerarán: el peso propio de la estructura y el caso de carga más desfavorable (carga centrada) y se analizará basándose en a la combinación de estos casos.
- Se comprobarán los perfiles de la estructura basándose en la norma *ANSI/AISC 360-10 An American National Standard, June 22, 2010*.

En la figura 3.27 y 3.28 se aprecia la deflexión del puente grúa en donde se destaca una deflexión máxima de $V_{xt}:3,4$ mm, la cual cumple con los estándares de la norma. En el anexo 11 se muestra el detalle por perfil del cálculo realizado

Figura 3.27: Análisis de pandeo a puente grúa. Fuente: Software Robot Structural.

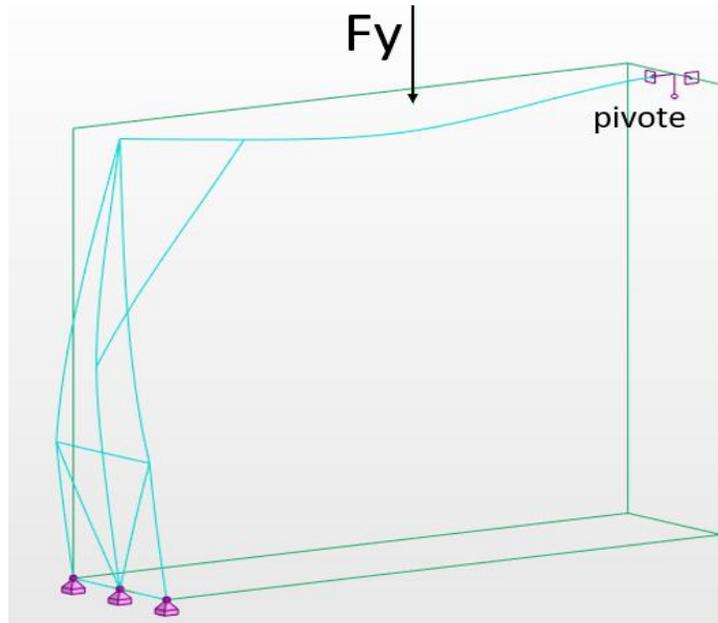
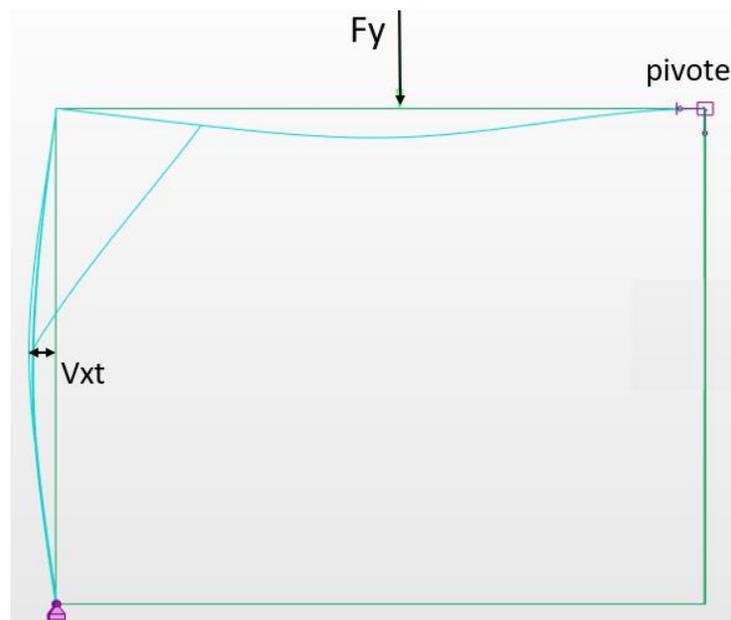


Figura 3.28: Análisis Deflexión en el puente grúa. Fuente: Software Robot Structural.



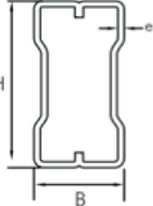
3.9 Pilar pórtico

El pilar pórtico, corresponde a un perfil tecno MM de 450x150x3, dicho pilar del galpón estará sometido a una nueva condición de carga generada por el puente grúa y su carga a izar; esto generará pandeo en el pilar por lo cual se procederá a verificar su deflexión máxima y en el caso de no cumplir con la normativa se deberá reforzar para evitar el colapso de la estructura.

Características del pilar

Tabla 3.19. Dimensiones perfil tecno MM. Fuente: catalogo Formac.

	DIMENSIONES		PESO	AREA	EJE X-X			EJE Y-Y		
450	150	2,50	25,25	32,17	8257	367,0	16,02	1189	158,5	6,08
	150	3,00	30,10	38,35	9785	434,9	15,97	1415	188,7	6,07
	150	3,75	37,25	47,45	11998	533,3	15,90	1747	233,0	6,07
	150	4,00	39,59	50,44	12715	565,1	15,88	1856	247,5	6,07
	150	5,00	48,82	62,19	15482	688,1	15,78	2283	304,4	6,06
	150	6,00	57,77	73,59	18085	803,8	15,68	2696	359,5	6,05



Análisis:

El cálculo de pandeo sera llevado a cabo mediante el software de análisis robot estructural 2020 el cual se basa mediante el método de rigidez para ello:

- Se define el coeficiente de longitud de pandeo el cuál dependerá de los tipos de apoyos. Para este caso corresponderá a un valor de 1 para el pilar pórtico ya que se encuentra empotrada a la base mediante una unión apernada.
- Luego se definen las barras que presentan uniones u arriostramientos las cuales el software les designará un coeficiente dependiendo del número de uniones.
- Se deberá definir la clase de servicio de la carga, esto según el capítulo 4.2, donde, dado a su clase de carga y ciclos corresponde a la categoría C.
- Luego se definen las cargas y los casos de carga las cuales se considerarán: el peso propio de la estructura más el peso del puente grúa y el caso de carga

más desfavorable (carga centrada) y se analizará basándose en la combinación de estos casos.

- Se comprobarán los perfiles de la estructura basándose en la norma *ANSI/AISC 360-10 An American National Standard, June 22, 2010*.

En la figura 3.29, se muestra una vista frontal donde se aprecia la deflexión en la estructura siendo un valor de $V_{xt}=0,02$ cm en el eje x y $V_{yt}=0,01$ en dirección y, siendo ambos valores aceptables según la norma CMAA-70 descrita en el anexo 3.

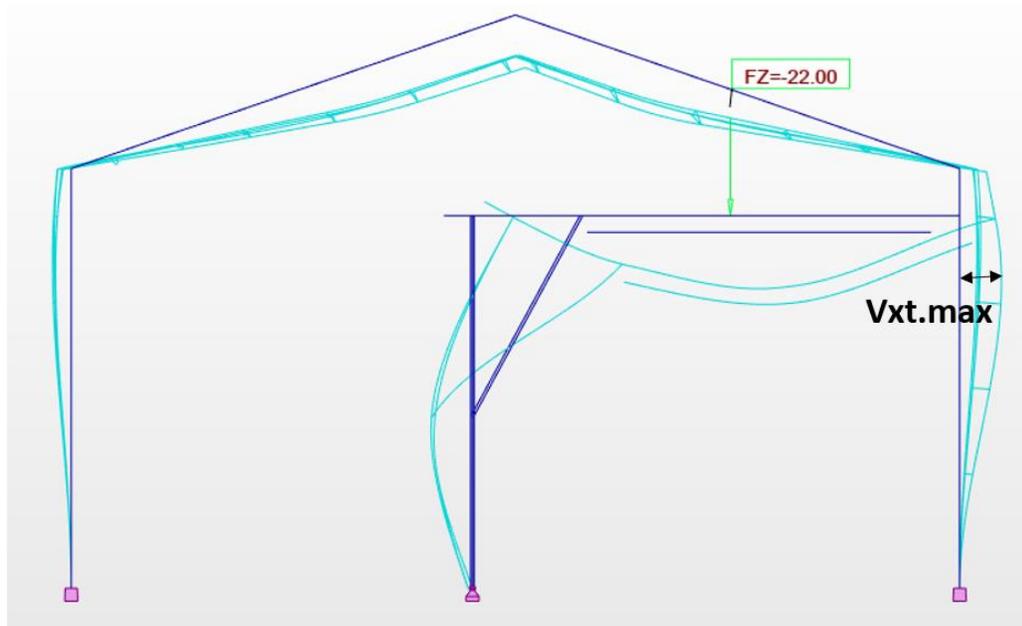


Fig. 3.29: Cálculo de pandeo a puente grúa. Fuente: software Robot Structural Análisis.

3.10 Cálculo de soldadura y ubicación de cáncamos

Para facilitar la instalación y montaje del puente grúa en el galpón, la estructura de la grúa constará de cáncamos de izaje los cuales estarán soldados a 2 principales conjuntos del puente grúa, uno de estos será la viga principal constituida por el perfil 150x300x6 y la viga carril IPN280 las cuales tienen un peso total de 646,6 kg. El izaje

deberá coincidir con el centro de masa de la viga para que la viga suba lo más nivelada posible. El segundo conjunto corresponderá a la estructura base o columna conformada por los perfiles 120x80x6 y 200x120x6, cuyo peso total es de 530 kg.

Cáncamos de la viga principal

Los cáncamos se ubicarán a 3 metros de distancia uno respecto al otro, equidistantes del centro de masa, según ecuación 3-39..

Cálculo de centro de masa:

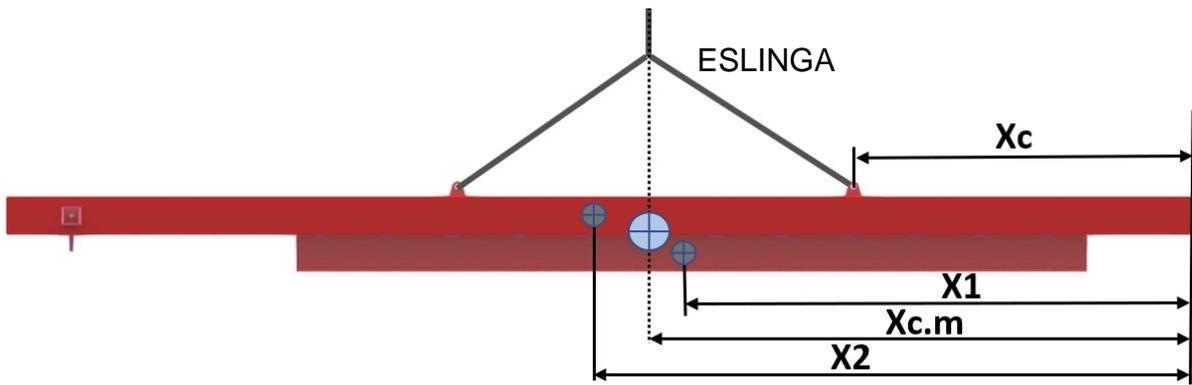


Fig. 3.30: Cálculo de centro de masas viga principal. Fuente: elaboración propia.

$$Xc.m = \frac{\sum m_i * X_i}{\sum m_i} = \frac{m_c * x1 + m_r * x2}{m_c * m_r} \quad 3-39$$

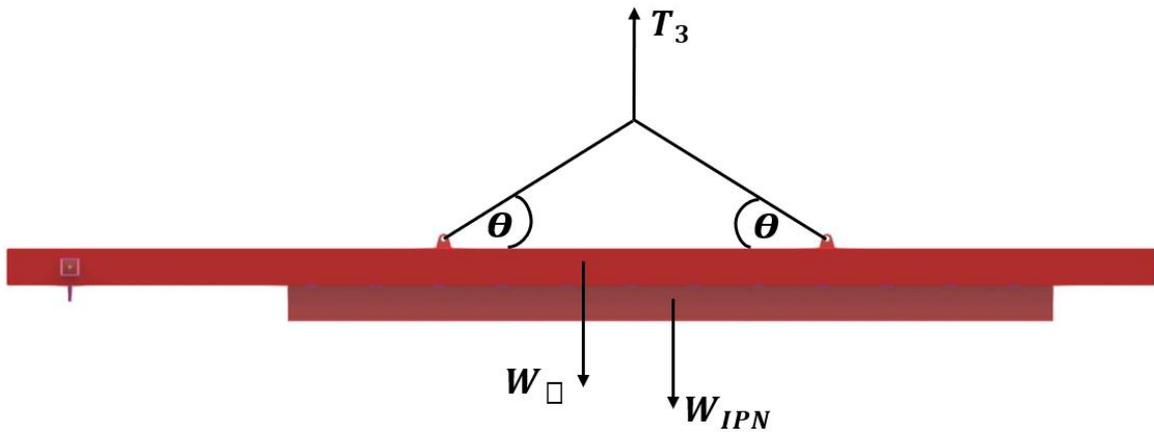
Tabla 3.20: Cálculo de centroide. Fuente elaboración propia.

Símbolo	descripción	valor	unidad
X1	Distancia	3,5	m
X2	Distancia	4,5	m
m _r	Masa viga 150x300x6	364,4	Kg
m _c	Masa viga IPN 280	282,2	Kg
Xc.m	Centro de masas	4	m
Xc	Distancia	2,5	m

Cálculo de soldadura.

a) DCL general.

Figura 3.31: DCL general Izaje de viga principal. Fuente: Elaboración propia.

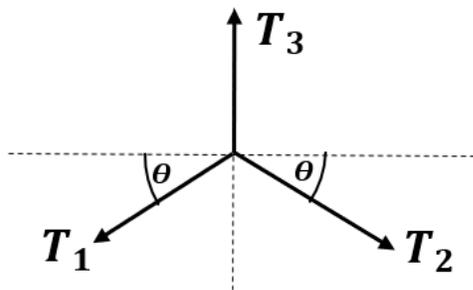


Por sumatoria de fuerzas en el eje Y:

$$T_3 = W_{\square} + W_{IPN} \quad 3-40$$

b) Dcl al nudo:

Figura 3.32: DCL eslinga de izaje viga. Fuente: Elaboración propia.



Sumatoria de fuerzas en eje X :

$$T_1 = T_2 = T \quad 3-41$$

Sumatoria de fuerzas en eje Y :

$$T_3 = 2 * T * \text{sen}(\theta) \quad 3-42$$

c)Trasladando fuerzas y pares al centroide de la union soldada:

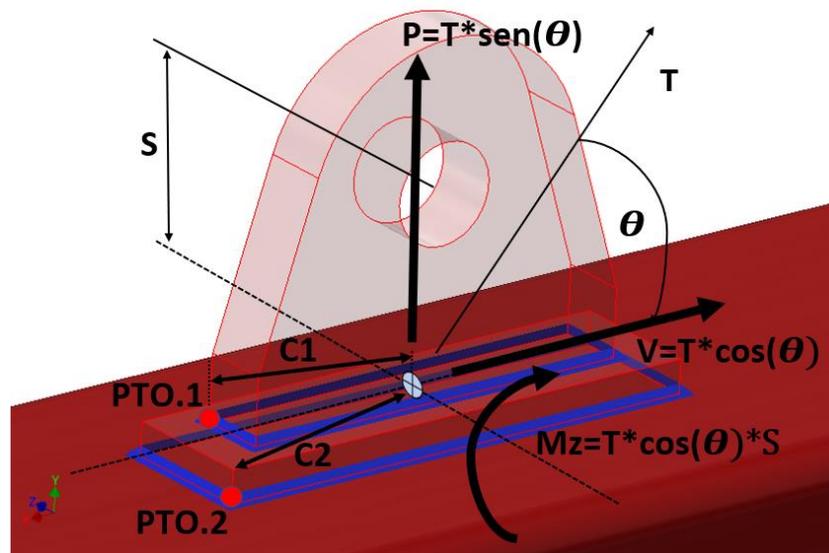


Fig. 3.33: Cálculo de soldadura a cáncamos. Fuente: elaboración propia.

Se obtiene por sumatoria de fuerzas en el eje “Y” que $W_{\square} + W_{IPN} = 2 * T * \text{sen}(\theta)$,en dónde “T” sera la tensión de la eslinga y “θ”el ángulo el cuál dependerá del diametro de la eslinga y el peso a levantar en base a la norma ASME B30.26 adjunta en el anexo 12, junto al cálculo de momento de inercia.

Donde:

$$A = e * L \quad 3-43$$

$$I_{z-z} = \sum \left[\frac{e * L^3}{12} + L * e * (d_c^z)^2 \right] \quad 3-44$$

d) Calculo de esfuerzos en los cordones de soldadura:

Esfuerzo normal en punto 1:

$$\sigma_1 = \frac{P}{\sum A} + \frac{Mz \cdot c_1}{I_{z-z}} \quad 3-45$$

Esfuerzo normal en punto 2:

$$\sigma_2 = \frac{P}{\sum A} + \frac{Mz \cdot c_2}{I_{z-z}} \quad 3-46$$

Esfuerzo cortante en puntos 1 y 2:

$$\tau_{1,2} = \frac{V}{\sum A} \quad 3-47$$

Esfuerzo equivalente “Según Von Mises” ecuacion 3-7.

Tabla 3.21: Cálculo de soldadura en cáncamos de izaje. Fuente: elaboración propia.

Símbolo	Descripción	valor	unidad
T_3	Peso total viga principal	6466	N
θ	Angulo de la eslinga o estrobo	30	°
T	Tención	3733	N
S	Distancia	0,115	m
e	Espesor	0,005	m
$c1$	Distancia	0,06	m
$c2$	Distancia	0,07	m
$A1$	Área soldadura 1	900	mm ²
$A2$	Área soldadura 2	1080	mm ²
I_{z-z}	Inercia respecto el eje Z	4,3E-06	m ⁴
Mz	momento en Z	363,4	Nm
P	fuerza de tracción	1866	N
V	fuerza de corte	3233	N
σ_1	Esfuerzo normal en pto.1	5,9	MPa
$\tau_{1,2}$	Esfuerzo cortante en pto.1 y 2	1,59	MPa
σ'_1	Esfuerzo de Von Mises en pto. 1	6,5	MPa
σ_2	Esfuerzo normal en pto.2	6,7	MPa
σ'_2	Esfuerzo de Von Mises en pto. 2	7,3	MPa

Por lo tanto, se comprueba que el esfuerzo equivalente multiplicado por el factor de concentración de esfuerzo $k_f=1,2$ (ver tabla 3.6) está por debajo del esfuerzo permisible según la ecuación $\sigma' * k_f < \sigma_{permisible}$

3.11 Cálculo de soldadura en la unión rígida

La unión rígida entre la viga principal y el pilar del puente grúa, tiene como apoyo, 2 atizadores uno a cada costado de la viga principal, los que permiten entregar más estabilidad y un menor alabeo de la viga rectangular; estos atizadores se encontraran soldados al perfil rectangular mediante una soldadura de tipo arco manual 7018 de 1/8", cuyas propiedades se muestran en la tabla 3.3. Los momentos M_x y M_y se desprecian dado que sus valores son bajos y no aportan significativamente en el resultado.

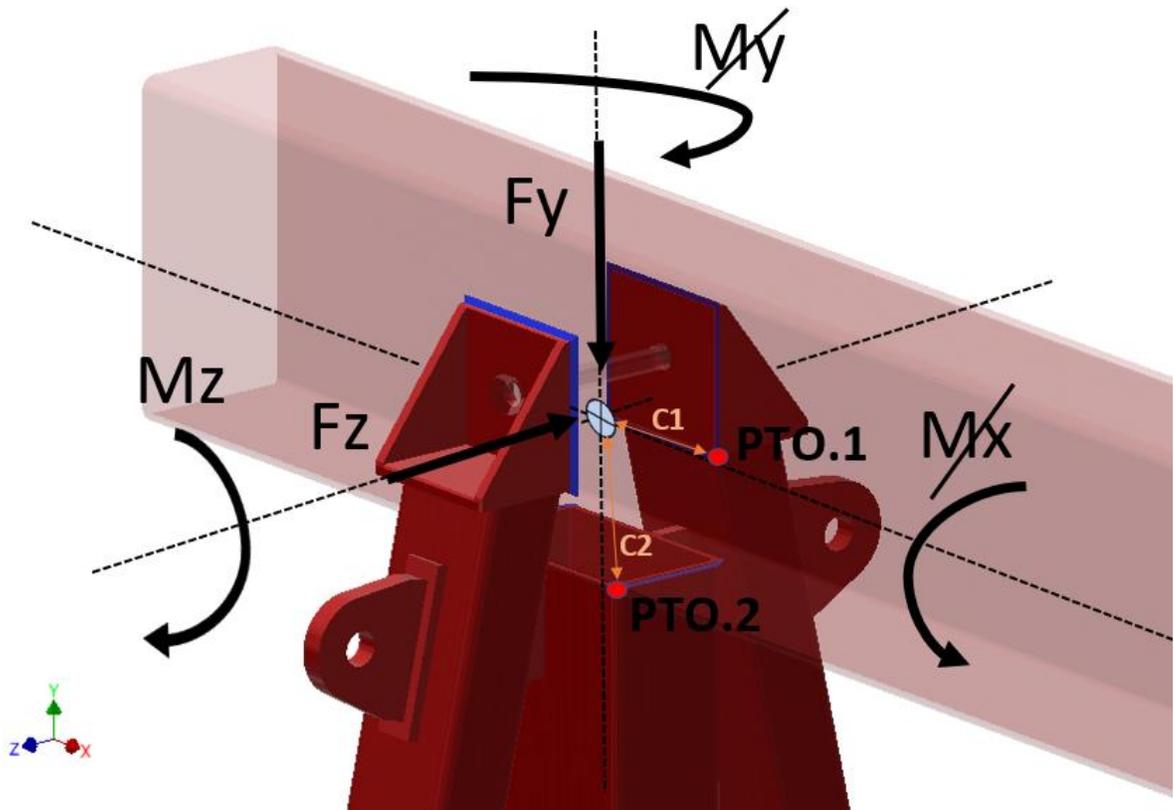


Fig. 3.34: Cálculo de soldadura en la unión de la base con la viga principal.
Fuente: elaboración propia.

Siendo conocidas las reacciones en la Unión rígida mediante el cálculo estructural realizado por el software inventor y detallado en la tabla de resumen 3.1, se procederá a calcular los esfuerzos en cada cordón en este caso serán los cordones 1 y 3 pertenecientes a la unión soldada de los atizadores con la viga principal y el cordón 2 perteneciente a la unión del pilar y la viga, en la tabla 3.22 se resumen el tipo de esfuerzo producido por cada carga a cada cordón, luego se determinaran los esfuerzos normales y cortantes en los puntos más exigidos de cada cordón

Tabla 3.22: Resumen de esfuerzos en cordones de Unión soldada del pilar y viga. Fuente: elaboración propia.

cordones	F_y	F_z	M^*_z
1	cortante	tracción	Torsión
2	compresión	cortante	Flexión (-)
3	cortante	tracción	Torsión

Determinación de esfuerzos en puntos más exigidos:

Esfuerzo normal en punto 1:

$$\sigma_1 = \frac{F_z}{\sum A} \quad 3-48$$

Esfuerzo cortante en puntos 1:

$$\tau_1 = \frac{F_y}{\sum A} + \frac{M_z * c_1}{2 * I_{z-z}} \quad 3-49$$

Esfuerzo normal en punto 2:

$$\sigma_2 = \frac{-F_y}{\sum A} + \frac{-M_z * c_1}{I_{z-z}} \quad 3-50$$

Esfuerzo cortante en puntos 2:

$$\tau_2 = \frac{-F_z}{\sum A} \quad 3-51$$

Esfuerzo equivalente “según von misses” ecuacion 3-7, el calculo de momento de inercia y areas se especifica

Resultados:

Tabla 3.23: Cálculo de soldadura en la unión rígida. Fuente elaboración propia.

Símbolo	Descripción	valor	unidad
R_y	Fuerza en Y	-17350	N
R_z	Fuerza en Z	1500	N
M_x	Momento en X	430	Nm
M_y	Momento en Y	125	Nm
M_z	Momento en Z	-328100	Nm
c_1	Distancia	0,082	m
c_2	Distancia	0,095	m
$\sum A$	Sumatoria de las áreas	0,0036	m ²
I_{z-z}	Inercia respecto el eje Z	3,39E+07	m ²
σ_1	Esfuerzo normal en pto.1	0.41	MPa
τ_1	Esfuerzo cortante en pto.1	4,8	MPa
σ'_1	Esfuerzo de Von Mises en pto. 1	8,35	MPa
σ_2	Esfuerzo normal en pto.2	4,8	MPa
τ_2	Esfuerzo cortante en pto.2	0,4	MPa
σ'_2	Esfuerzo de Von Mises en pto. 2	4,87	MPa

Por lo tanto, se comprueba que el esfuerzo equivalente multiplicado por el factor de concentración de esfuerzo $k_f=1,2$ (ver tabla 3.6) está por debajo del esfuerzo permisible según la ecuación $\sigma' * k_f < \sigma_{permisible}$

3.12 Selección de ruedas

Debido a que el puente grúa describe un movimiento circular ambas ruedas laterales han de tener una leve inclinación gradual permitiendo un desplazamiento uniforme, esta inclinación dependerá del radio de giro como se muestra en la figura 3.35, por ende, las ruedas laterales serán montadas mediante una unión apernada con

un desfase de 7° y -7° respecto a la cara lateral de la placa (ver plano 1, Ítem 12), exceptuando la rueda central la cual deberá estar perpendicular al radio de giro.

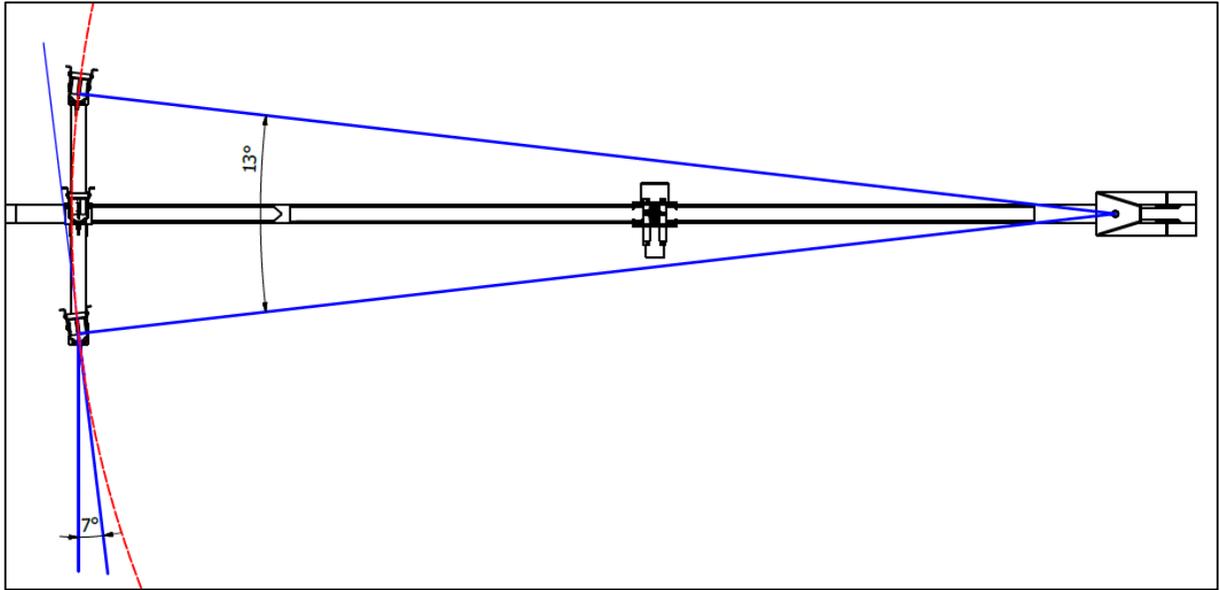


Fig. 3.35: Ángulo de inclinación en ruedas laterales. Fuente elaboración propia.

En cuanto a la selección de las ruedas, estas deberán cumplir con las solicitaciones de trabajo del puente grúa, debiendo soportar el peso propio de la estructura más el peso de la carga máxima, en el peor de los casos, según la tabla 3.32, en esta tabla se aprecia que la rueda más solicitada deberá de soportar 700 kg, es por ello por lo que se opta por unas ruedas fenólicas con una capacidad de 750 kg se adjunta ficha técnica en anexo 13

Tabla 3.24: Reacciones en ruedas según casos de carga. Fuente: elaboración propia.

	caso 1	caso 2	caso 3
Ay (N)	3931	2586	606
by (N)	7073	1308	915
cy (N)	1926	7461	910

4.Instalacion y montaje

En este capítulo se definirán todas las actividades y tareas a realizar con relación al pre-armado y montaje del puente grúa, siguiendo secuencias lógicas para su montaje y construcción del proyecto, según las indicaciones y especificaciones de plano de montaje (ver plano IME 550-N°1) adjuntos en la presente tesis.

El montaje se subdividirá en 3 etapas, las cuales constan de:

- instalación y montaje de pivote
- instalación y montaje de pilar
- instalación y montaje de viga principal

Nota: antes de comenzar estas etapas se chequeo los equipos de apoyo, herramientas, EPP de izaje y además materiales que quedaran en el conjunto del puente grúa.

4.1 Instalación y montaje de pivote:

Este ensamble consta de 5 ítems detallados en la tabla 3.33. El ensamble tiene un peso total de 88,5 kg, las operaciones a realizar se detallan en la figura 3.32:

Tabla 4.1: Detalle de ítems montaje pivote. Fuente: Elaboración propia.

Item	Cant.	Denominación	Acero	Peso (Kg)
14	2	Placa pivote	A-36	19,8
15	6	Perfil 120x120x3, L:320 mm	A-36	5,8
16	2	Ménsula lateral	A-36	0,9
17	2	Ménsula frontal	A-36	3,8

A continuación, se muestra la secuencia de montaje del pivote:

Actividad 1.1: Armado de andamios

- Montaje de andamios (altura de trabajo: 6-7 mts).
- Señalización y acotado de la zona de trabajo.
- Delimitar una zona segura para el izado del material

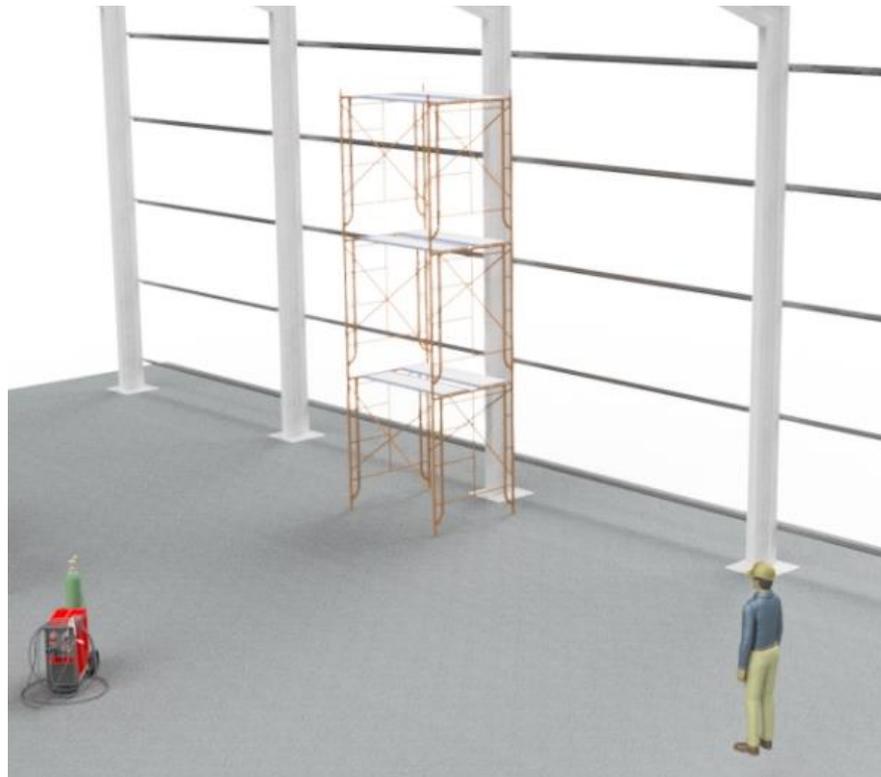


Figura 4.1: Montaje pivote Actividad 1.1. Fuente: elaboración propia.

Actividad 1.2: Medir, nivelar y marcar

- Trazado según plano de montaje IME550-N°1 (ver vista de elevación)
- Cotas medidas desde punto de referencia 1 (ver plano de montaje).

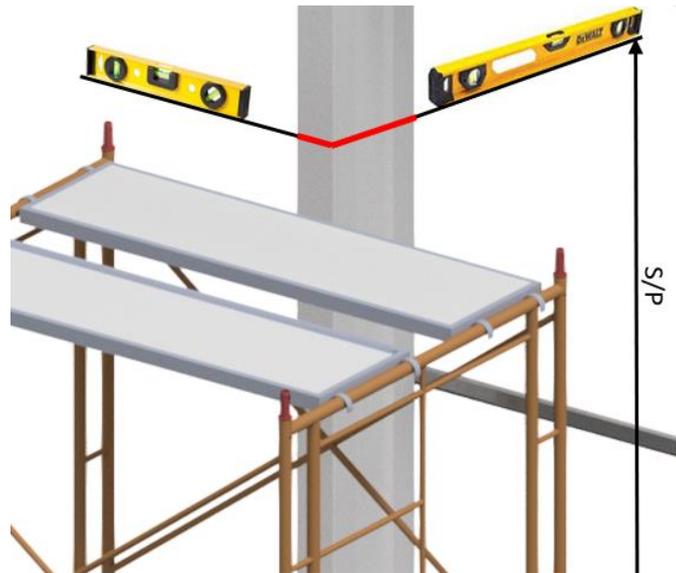


Figura 4.2: Montaje pivote Actividad 1.2. Fuente: elaboración propia.

Actividad 1.3: fijar ítems mediante una soldadura provisoria

- Limpiar área de trabajo (remover impurezas y pintura, en zona de futuros cordones de soldadura)
- Fijar ítems 16 y 17 mediante soldadura provisoria.



Figura 4.3: Montaje pivote Actividad 1.3. Fuente: elaboración propia.

Actividad 1.4: pre-armado del pivote.

- Fijar ítems 14 y 15 mediante soldadura provisoria, según plano de montaje IME550-N°1 (ver detalle B)



Figura 4.4: Montaje pivote Actividad 1.4. Fuente: elaboración propia.

Actividad 1.5: medir y fijar mediante soldadura final.

- Chequeo de cotas y tolerancias.
- Fijar ítems 14,15,16 y 17 mediante soldadura de remate.

Actividad 1.6: operaciones mecánicas subsecuentes.

- Esmerilado y biselado de cordones.
- Medición e inspección de cordones mediante tintas penetrantes.

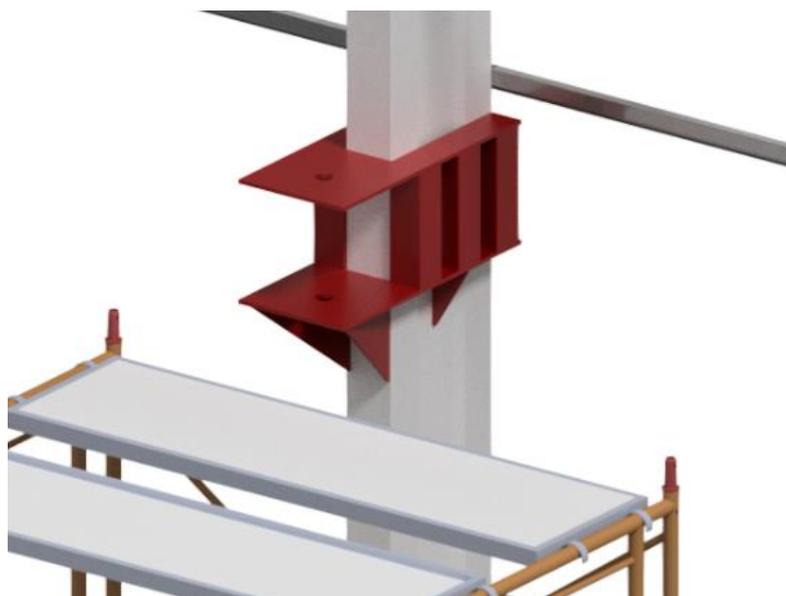


Figura 4.5: Montaje pivote Actividad 1.5 y 1.6. Fuente: elaboración propia.

4.2 Instalación y montaje de Pilar

Este ensamble consta de 12 ítems los cuales se detallan en la tabla 3.35, tiene un peso total de 558,5 kg por lo que será necesario izarlo con un manipulador telescópico

Tabla 4.2: Detalle de ítems montaje pilar. Fuente: Elaboración propia.

Item	Cant.	Denominación	Acero	Peso (Kg)
4	1	Perfil 80X80X4, L: 3220 mm	A-36	28,0
5	1	Perfil 200x120X6, L: 5940 mm	A-36	168,0
6	2	Perfil 120X80X6, L: 4970 mm	A-36	69,0
7	1	Perfil 120x80x6, L: 1920 mm	A-36	32,0
8	2	Perfil 120x80x6, L: 2060 mm	A-36	35,0
9	2	Perfil 120x80x6, L: 2000 mm	A-36	33,9
10	1	Perfil 120x80x6, L: 2000 mm	A-36	32,6
11	1	Placa de anclaje ruedas	A-36	1,9
12	2	Placa de anclaje ruedas a 7°	A-36	1,9
13	3	Rueda		3,2
21	2	Atizador viga	A-36	7,8
23	2	Ménsula	A-36	0,4

Actividad 2.1: Armado y soldado del pilar.

- Ensamble de ruedas ver detalle M.
- Delimitar las áreas de acceso dentro del radio de giro de la grúa para evitar accidentes.



Figura 4.6: Montaje de pilar, actividad 2.1. Fuente: elaboración propia.

Actividad 2.2: Izaje del pilar.

- Izaje del pilar mediante el manipulador telescópico Genie modelo GTH-636, ficha técnica se adjunta en anexo 17.
- Los elementos de izaje y terminaciones serán instalados según la norma ASME B30-26 2010

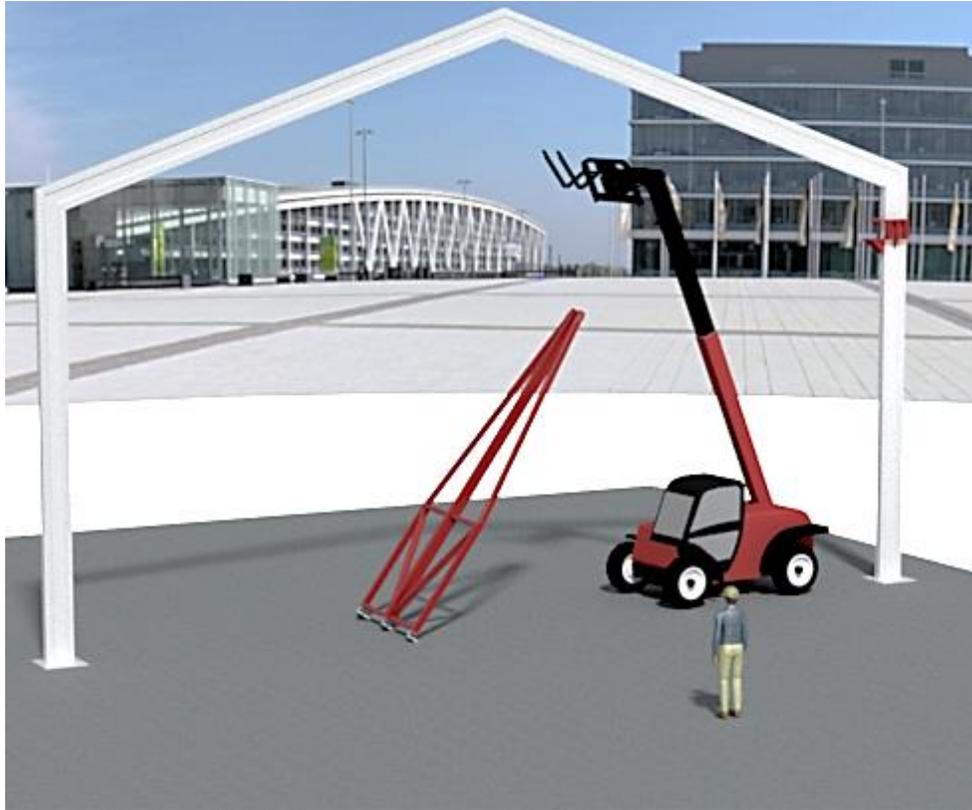


Figura 4.7: Montaje de pilar actividad 2.2. Fuente: elaboración propia.

Actividad 2.3: Sujeción del pilar.

- Armado de andamios ver figura 4.8.
- Sujeción del pilar a andamios mediante elementos de izaje.



Figura 4.8: Montaje de pilar actividad 2.3. Fuente: elaboración propia.

4.3 Instalación y montaje de viga principal

Este ensamble consta de 4 ítems los cuales se detallan en la tabla 3.36, tiene un peso total de 665,1 kg.

Tabla 4.3: Detalle de ítems montaje viga principal. Fuente: Elaboración propia.

Ítem	Cant.	Denominación	Acero	Peso (Kg)
2	1	Viga 150x300x6, L: 9000 mm	A-36	364,4
3	1	Viga IPN 280, L: 6000 mm	A-36	287,0
19	1	Buje	A-36	4,7
22	4	Cáncamo	A-36	1,9

Actividad 3.1: Izaje de la viga principal

- Los elementos de izaje y terminaciones serán instalados según la norma ASME B30-26 2010.



Figura 4.9: Montaje de viga actividad 3.1. Fuente: elaboración propia.

Actividad 3.2: Fijar viga principal mediante pasador de unión

- Ver plano de montaje, detalle Unión viga- pilar pórtico
- El buje y la placa del pivote en donde se asienta esté, deberá ser lubricando con grasa NGLI-3

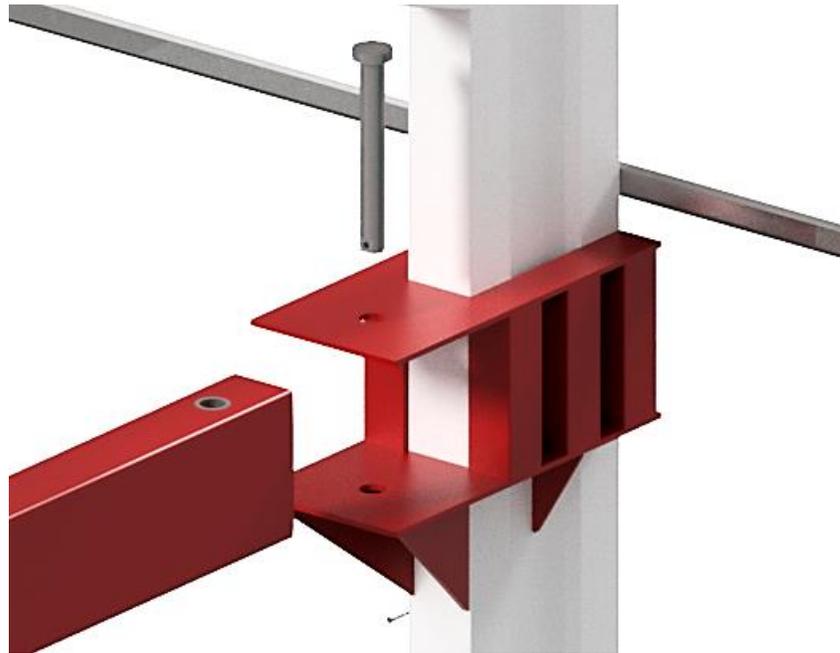


Figura 4.10: Montaje de viga actividad 3.2. Fuente: elaboración propia.

Actividad 3.3: Fijar viga a pilar mediante unión apernada

- Ver plano de montaje, detalle Unión viga- pilar.

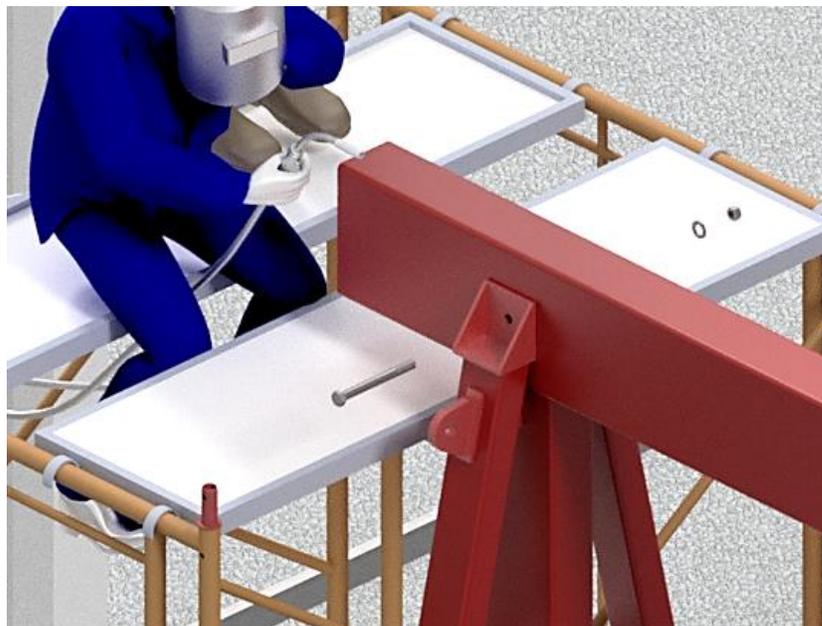


Figura 4.11: Montaje de viga actividad 3.3 y 3.4. Fuente: elaboración propia.

Actividad 3.4: Fijación de viga a pilar mediante unión soldada

- Ver plano de montaje, detalle A y Corte W-W

Actividad 3.5: Fijar y soldar perfil diagonal.

- Ver plano de montaje, vista elevación.

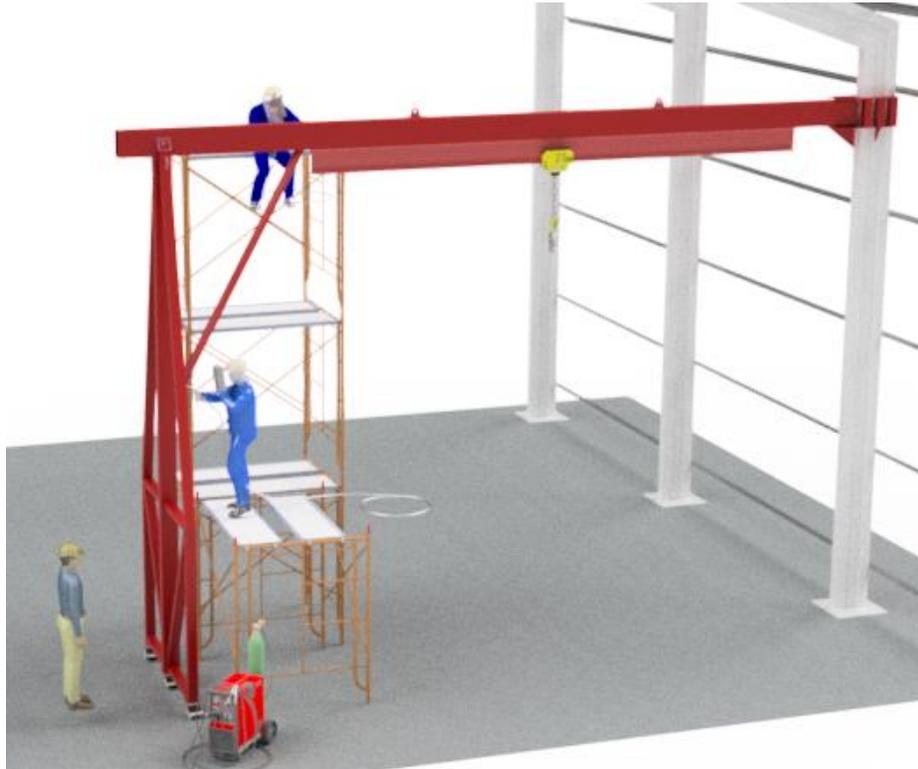


Figura 4.12: Montaje de viga actividad 3.5. Fuente: elaboración propia.

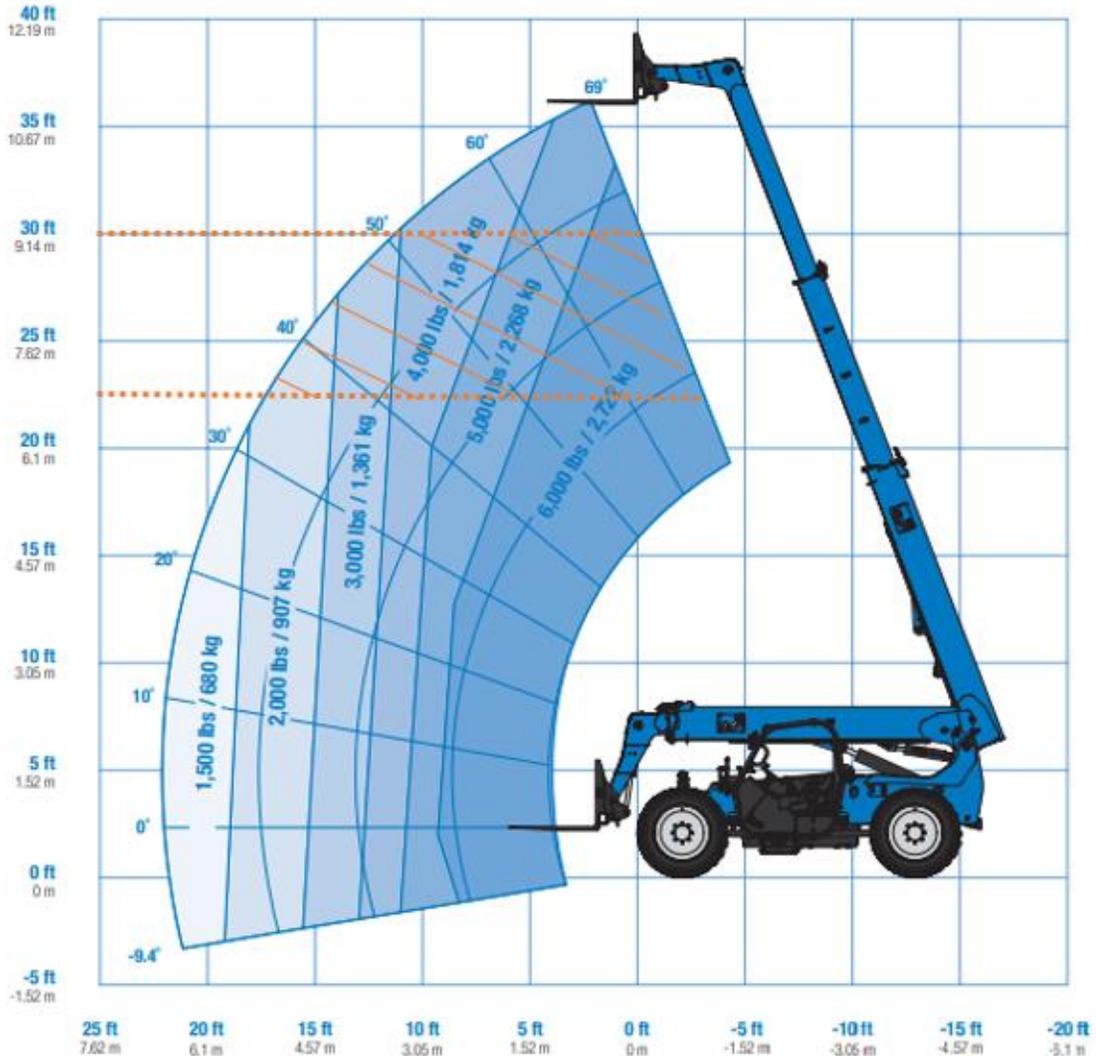
Equipo de izaje: para la realizar el montaje del puente grúa se necesitará un equipo que cumpla con los requerimientos tanto de peso como de espacio, a la hora de armar y ensamblar los conjuntos pertenecientes al puente grúa para esto se optó por un manipulador telescópico Genie modelo GTH-636, que proporciona gran versatilidad al ser un equipo compacto con una gran capacidad de trabajo. A continuación, se detallan los requerimientos para la realización de las maniobras de izaje y también se muestra

una tabla de carga (tabla 4.4), para realizar un izaje seguro de cada una de las partes. Se adjunta ficha técnica en anexo 17.

Requerimientos:

- Altura de trabajo : 7m – 9m
- Peso a levantar: pilar 560 kg aprox.Viga 670 kg.

Tabla 4.4: Tabla de carga GTH-636. Fuente: Catalogo Trex.



5. Memoria de costos

Para la realización del presupuesto del puente grúa se deberá tener en cuenta que existen diversos factores los cuales intervienen en la estimación del costo total real como por ejemplo diferencia de costos según catálogos o proveedores, costos de transporte, disponibilidad de equipos u otros.

En una primera instancia se realizará un previo análisis de los costos según recomendaciones de manuales de soldadura y literatura para luego ser comparado con cotizaciones reales. El costo total referencial será determinado según la siguiente expresión:

$$C_{TOTAL} = C_{ADQUISICION} + C_{FABRICACION} + C_{INTALACION.Y.MONTAJE} \quad (5-1)$$

Donde:

$C_{ADQUISICION}$: Costos de elementos seleccionados en el catálogo de algún fabricante

$C_{FABRICACION.PIEZAS}$: Costos en fabricar piezas y ensambles en maestranza.

$C_{INTALACION.Y.MONTAJE}$: Costos de armado mediante operaciones de soldadura y montaje de la estructura.

*Los costos relacionados a ingeniería de diseño no se considerarán.

5.1 Costos de adquisición

Los detalles de piezas comerciales se adjuntan en los anexos 13,14 y 15.

Tabla 5.1: costos de adquisición. Fuente: elaboración propia.

Nº Orden	Denominación	Cant.	Características	Sub Total	Total
12	Rueda	3	Extra-alta capacidad, con cerradura y ruedas fenólicas de 5 "de diámetro	\$ 216.048	\$ 648.144
19	Seguro	1	Autoblocante pasador de horquilla, acero inoxidable 18-8 , diámetro de 1/2 " , longitud útil de 1-1 / 2"	\$ 17.475	\$ 17.475
23	Polispasto	1	Carro de elevación motorizado, capacidad 4400 lb , CA 240 / 460V , haz de 3-1 / 2 "-6"	\$ 1.749.124	\$ 1.749.124
24	Perno M 20x2,5 L:200mm	1		\$ 5.500	\$ 5.500
25	Tuerca M 20x2,5	1		\$ 3.500	\$ 3.500
26	Golilla M 20	1		\$ 1.200	\$ 1.200
	Perno M 12x1,75 L:30mm	16		\$ 700	\$ 11.200
	Golilla plana M 20	16		\$ 500	\$ 8.000
	Golilla a presión M 20	16		\$ 400	\$ 6.400
TOTAL				\$ 2.450.543	\$ 2.450.543

5.2 Costos de fabricación

Este costo abarcará la fabricación de piezas metálicas pertenecientes al ensamble "pivote", mediante operaciones mecánicas y el costo de armado y soldado del "pilar" y la "viga principal" el cual será estimado mediante la expresión 5-2.

$$C_{FABRICACION} = C_{materiales} + C_{prefabricado} + C_{soldadura} \quad (5-2)$$

Costo en materiales:

Este costo será estimado según el peso de la estructura multiplicado por valor por kg de acero A-36, a continuación, se detalla en la tabla 5.2.

Tabla 5.2: Costo de materiales. Fuente: Elaboración propia.

Ensamble	Ítems Según plano	Peso (Kg)	Valor Acero \$600
Pilar	4-5-6-7-8-9-10-11-12-21-22	558,5	\$ 335.100
Viga principal	2-3-18-22	665,1	\$ 399.060
Pivote	14-15-16-17-18-19	88,5	\$ 53.100
Total			\$ 787.260

$$C_{materiales} = \$ 787.260$$

Costo de prefabricación:

Este corresponderá al costo de fabricación de piezas metálicas, las cuales posteriormente serán ensambladas en sus respectivos conjuntos del puente grúa. En tabla 5.3 se detallan los ítems y cada operación a realizar para su fabricación.

Tabla 5.3: Costo de fabricación de piezas metálicas. Fuente: Elaboración propia.

Item	Cant.	Denominación	\$/HH \$5.500		\$/HH \$5.500		\$/HH \$6.000		COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
			Oxicorte	Mecánica banco	Maq.Herr.					
			HP	\$	HP	\$	Hp	\$	\$	\$
11	1	Placa de anclaje ruedas	0,5	\$2.750	1,5	\$8.250		\$0	\$11.000	\$11.000
12	2	Placa de anclaje ruedas a 7°	0,5	\$2.750	2	\$11.000		\$0	\$13.750	\$27.500
14	2	Placa pivote	1	\$5.500	2	\$11.000		\$0	\$16.500	\$33.000
16	2	Mensula lateral	0,5	\$2.750	1,5	\$8.250		\$0	\$11.000	\$22.000
17	2	Mensula frontal	0,5	\$2.750	1,5	\$8.250		\$0	\$11.000	\$22.000
18	1	Pasador		\$0		\$0	4	\$24.000	\$24.000	\$24.000
19	1	Buje		\$0		\$0	5	\$30.000	\$30.000	\$30.000
21	2	Atizador viga	0,3	\$1.650	1	\$5.500		\$0	\$7.150	\$14.300
23	2	Mensula	0,3	\$1.650	1	\$5.500		\$0	\$7.150	\$14.300
										\$198.100

$$C_{prefabricacion} = \$ 198.100$$

Costo de soldadura: Este costo está asociado a la fabricación del pilar y viga principal en maestranza, el valor H/H: \$7500.

Tabla 5.3: Costo de soldadura de ensambles en maestranza. Fuente: Elaboración propia.

operación	pilar		Viga		TOTAL	
	HH	\$	HH	\$	HH	\$
preparación	4	\$30.000	1	\$7.500	5	\$37.500
armado	4	\$30.000	3	\$22.500	7	\$52.500
soldado	2	\$15.000	3	\$22.500	5	\$37.500
acabado	2	\$15.000	1	\$7.500	3	\$22.500
TOTAL	12	\$165.000	8	\$150.000	20	\$150.000

$$C_{soldadura} = \$ 150.000$$

Dado esto según la expresión (5-2), los costos de fabricación serán:

$$C_{FABRICACION} = \$ 787.260 + \$ 198.100 + \$150.000 = \$1.135.360$$

5.3 Costos de instalación y montaje

Esta estimación podría variar según la estrategia que se adopte para el armado de la estructura, en este caso se seguirá la opción sugerida en el capítulo 4.

Los costos de instalación y el montaje estarán estimados por la siguiente expresión:

$$C_{INTALACION.Y.MONTAJE} = C_{soldadura} + C_{recubrimiento} + C_{equipos.herramientas} \quad (5-3)$$

Donde:

$C_{soldadura}$: Costos en operaciones de soldadura (incluye mano de obra).

$C_{recubrimiento}$: Costos en recubrimiento (anticorrosivo y pintura).

$C_{equipos.herramientas}$: Costo de equipos y herramientas utilizados en el montaje.

Costo de soldadura:

El costo en operaciones de soldadura considerará lo siguiente:

1. Material de aporte
2. Preparación de materiales para soldadura (corte, biselado, pre-armado, etc.)
3. Armado de los componentes.
4. Soldadura.
5. Operaciones mecánicas subsecuentes

Costo material de aporte

$$C_{ELECTRODO} = \frac{\text{Material depositado}[kg] * \text{Valor electrodo} \left[\frac{\$}{kg} \right]}{\text{Eficiencia deposicion}[\%]} \quad (5-4)$$

-Material depositado: la masa total del material depositado será estimado según el software Inventor el cual mediante el módulo de soldadura realiza una estimación de la longitud, volumen y peso del material. A continuación, se presenta una tabla resumen del material aportado en los principales ensambles.

Tabla 5.4: Material depositado. Fuente: Elaboración propia

Ensamble	Longitud	Unidad	Masa	Unidad	volumen	Unidad
viga principal	5017	Mm	0,200	kg	7,34E+04	mm ³
Pilar	6311	Mm	0,215	kg	8,12E+04	mm ³
Pivote	4880,57	Mm	0,103	kg	3,87E+04	mm ³
Total	16209	Mm	0,518	kg	1,93E+05	mm ³

-eficiencia deposición:

Tabla 5.5: Eficiencia de deposición. Fuente: Catalogo Indura

<u>Proceso</u>	<u>Eficiencia deposición (%)</u>
Electrodo manual	60-70
MIG solido	90
MIG tubular s/protección	83
MIG tubular c/protección	79
TIG	85
Arco sumergido	98

-valor electrodo: \$4130 x kg

Tabla 5.5: Costo en material depositado. Fuente: Elaboración propia

<u>Ensamble</u>	<u>Masa aportada (kg)</u>	<u>precio total</u>
viga principal	0,200	\$ 1.377
Pilar	0,215	\$ 1.478
Pivote	0,103	\$ 710
Total	0,518	\$ 3.566

Costos en operaciones de soldadura:

Este costo se basa en el tiempo aproximado en la ejecución de cada operación de soldadura, este tiempo variara según factores como el peso y manejabilidad de cada ensamble.

*Valor por hora = \$ 7500

Tabla 5.6: Costo en soldadura (montaje). Fuente: Elaboración propia

operación	pilar		Viga		pivote		TOTAL	
	HR	\$	HR	\$	HR	\$	HR	\$
preparación	3	\$22.500	2	\$15.000	8	\$60.000	13	\$97.500
armado	5	\$37.500	7	\$52.500	12	\$90.000	24	\$180.000
soldado	1	\$7.500	2	\$15.000	5	\$37.500	8	\$60.000
acabado	1	\$7.500	1	\$7.500	5	\$37.500	7	\$52.500
TOTAL	10	\$75.000	12	\$90.000	30	\$225.000	52	\$390.000

$$C_{soldadura} = \$390.000 + \$4.130 = \$ 394.130$$

Costo en recubrimiento:

El recubrimiento del puente grúa constara de dos capas de anticorrosivo-epóxico y una capa de esmalte epóxico con un valor de:

Tabla 5.7: Costo en recubrimiento. Fuente: Elaboración propia

Tipo de recubrimiento	N° capas	valor (\$/m ²)	superficie (m ²)	total
Anticorrosivo epóxico	2	\$ 1.980	30	\$ 59.030
Esmalte sintético	1	\$ 4.630	30	\$ 138.035
				\$ 197.065

El cálculo del área o superficie ha recubrir se adjunta en el anexo 18.

$$C_{recubrimiento} = \$ 197.065$$

Costo en equipos y herramientas

Tabla 5.7: Costo en equipos y herramientas. Fuente: Elaboración propia

Cant	Equipos y herramientas	H/D	Precio Unit.	Precio Total
1	Lacer de 2 lineas trazado y lineado	3	\$5790	\$17.370
1	manipulador telescopico	3	\$22.560	\$67.680
4	Andamios standars	3	\$1.440	\$17.280
1	juego de 4 ruedas para andamio	3	\$1.440	\$4.320
1	Torquímetro	3	\$1.200	\$3.600
2	esmeril angular	3	\$2.390	\$14.340
2	Lienzas y nivel láser	3	\$200	\$1.200
1	maskara fotosensible	3	\$1.190	\$3.570
3	EPP de lzaje	3	\$2.300	\$20.700
1	Soldadora arco manual	3	\$7.490	\$22.470
1	Agua	3	\$625	\$1.875
Sub Total				\$174.405

Costo total de instalación y montaje según le expresión 5-3 :

$$C_{INTALACION.Y.MONTAJE} = \$ 394.130 + \$ 197.065 + \$174.405 = \$ 765.600$$

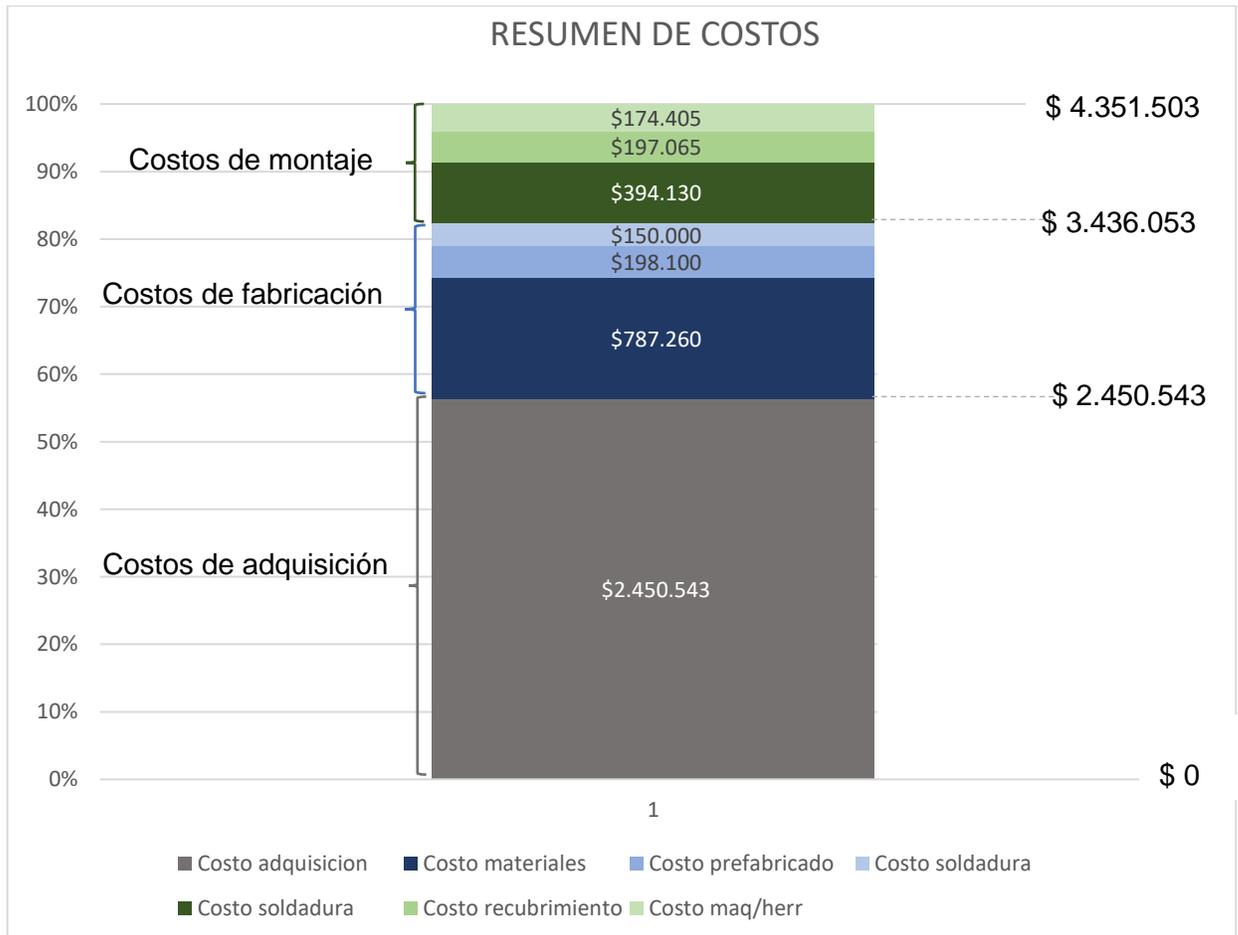
Costo total según la expresión

$$C_{TOTAL} = C_{ADQUISICION} + C_{FABRICACION} + C_{INTALACION.Y.MONTAJE}$$

$$C_{TOTAL} = \$ 2.450.543 + \$1.135.360 + \$ 765.600 = \$4.351.503$$

$$19\% = \$ 826.786$$

$$TOTAL = \$5.178.288$$



5. Conclusión

En la presente tesis, se logró realizar el diseño mecánico del puente grúa de 2 toneladas, adosado y a medida del galpón industrial ya existente, siendo este destinado a realizar maniobras de izaje para la fabricación de cubas vitivinícolas de entre 1000-1300 kg, optimizando el transporte de cargas gracias a un desplazamiento más seguro y controlado de la misma.

Previo al diseño, fue necesario identificar parámetros importantes como la clasificación de la grúa según su clase de carga y servicio. También fue necesario identificar la condición de trabajo más crítica del puente grúa, dependiendo de en donde se situó la carga y así poder analizar sus elementos en base a sus máximas solicitaciones.

El compendio de análisis matemáticos realizados en el diseño de elementos considerados críticos, se ejecutó empleando fórmulas de resistencia de materiales, considerando los estatutos que establece la norma CMAA-70 en cuanto a resistencia, deformaciones y funcionabilidad del diseño, en post de garantizar su factibilidad y confiabilidad.

Mediante las simulaciones generadas por los softwares de elementos finitos Inventor y Robot structural de autodesk, se logró validar la resistencia de los elementos considerados críticos obteniendo factores de seguridad esperados para asegurar la vida útil de los elementos.

Gracias al análisis de pandeo y cálculos de resistencia realizados a la estructura del galpón existente se comprueba que no ha de ser necesario reforzar dicha estructura específicamente el pilar pórtico en donde se ensambla el puente grúa.

Con lo que respecta a la instalación y el montaje del puente grúa, se logra evidenciar un previo conocimiento de cada actividad de armado de este, siguiendo una secuencia de montaje y realizando una planificación de este.

La estimación de costos nos permite diferenciar cada costo asociado a la fabricación y montaje de este, dando a conocer valores esperados para la creación del puente-grúa diseñado a medida. También se evidencia un gran costo de adquisición de piezas las cuales podrían variar según proveedores.

6.Recomendaciones

- barra atizadora:

En post de generar mayor estabilidad en la estructura del puente grúa se sugiere la opción de optar por 2 barras atizadoras soldadas en ambos costados del pilar, como se muestra en la figura 6.1 en vez de la barra diagonal o ítem 4 (ver plano IME550-1), de ser así las deformaciones serán de 6.7 mm verticalmente y 3.7 mm horizontalmente con un esfuerzo de 73.6 MPa, se detalla el análisis en anexo 21. En comparación a las deformaciones de 7.6 mm y 3.1 mm con un esfuerzo de 73.6 MPa expuesta en el capítulo 3.1.

Esto conllevara un costo monetario de aproximadamente de \$ 55.400 por los 2 perfiles de 4950 mm y 46,2 kg cada uno versus el perfil de 3220 mm y 28,4 kg con un costo de \$17040 ambos perfiles 80x80x4 mm.



Figura 6.1: recomendación de barra diagonal doble. Fuente: elaboración propia.

Una opción más económica pero con una restricción horizontal del recorrido de la carga manipulada, ya que podría impactar a la barra diagonal se describe en la figura 6.2 en donde la barra diagonal es soldada al nudo del pilar, de esta forma la estructura alcanza deformaciones de 7.4 mm verticalmente y 2.9 mm horizontalmente y un esfuerzo 74,6 MPa, se detalla el análisis en anexo 21. el costo del perfil 80x80x4 mm de un largo de 4880 mm tiene un valor de \$ 27.000

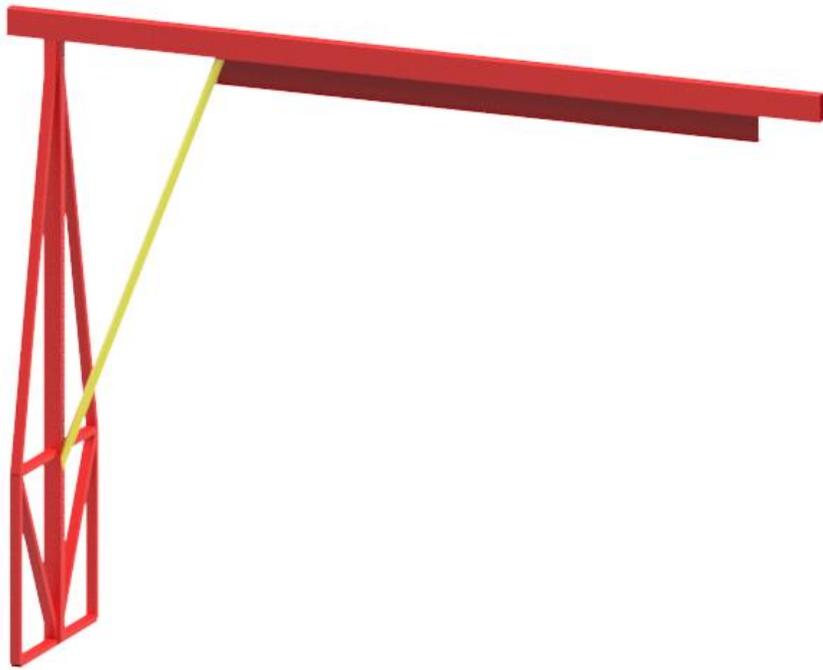


Figura 6.2: Barra diagonal soldada al nudo del pilar. Fuente: elaboración propia.

- pletina carril:
Instalar una pletina de acero en el piso a lo largo de todo el recorrido de las ruedas, para evitar que el piso presente daños a lo largo del tiempo, se recomienda una pletina de 200 mm x 5 mm de espesor en acero A42 27ES como la ilustrada en la figura 6.3, la cual tendrá 8500 mm de largo en el caso de cubrir el radio máximo y tendrá un costo de \$101.400.

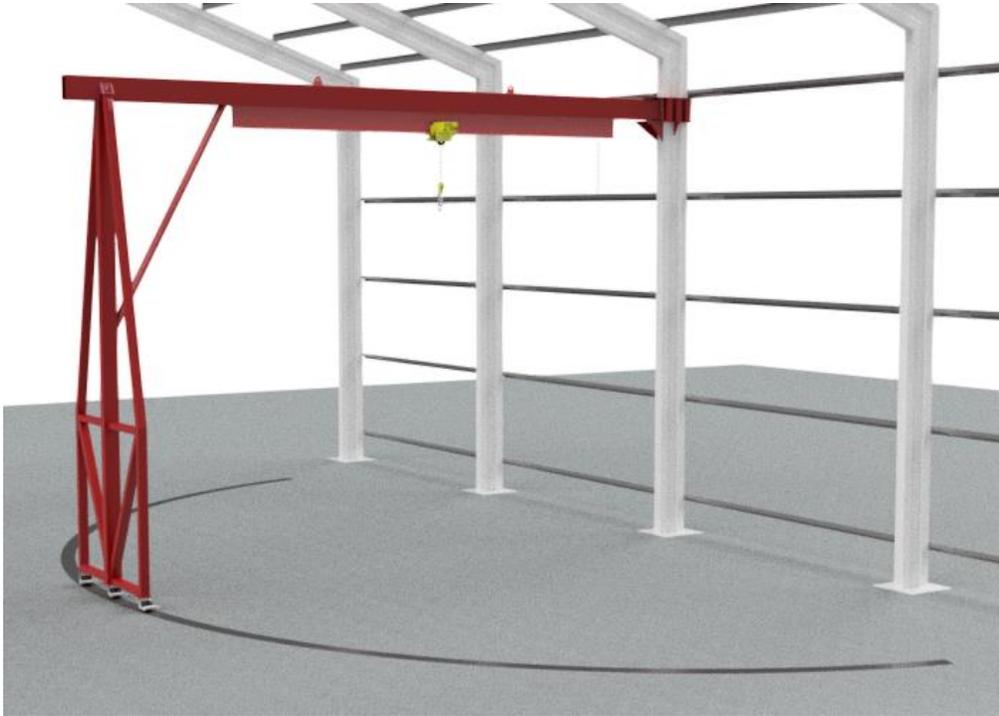


Figura 6.3: pletina carril. Fuente: elaboración propia.

7.Nomenclatura

°C	Grados centígrados
cm	Centímetros
mm	Milímetros
Kg	Kilogramos
T	Tensión
Kw	Kilowatts
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cubico
m/s	Metro sobre segundo
m/s ²	Metro sobre segundo al cuadrado
plg	Pulgadas
Psi	Libras sobre pulgada
Pa	Pascales
N	Newton
Ø	Diámetro
KPa	Kilopascales
MPa	Megapascales
k	factor de carga media efectiva
W	Magnitud de la carga
P _{1,2,..}	probabilidad de la carga
F _x	Fuerza en el eje X
F _y	Fuerza en el eje y
F _z	Fuerza en el eje z
R _x	Reacción en el pivote en eje x
R _y	Reacción en el pivote en eje y
R _z	Reacción en el pivote en eje z
M _x	Momento en el pivote en eje x
M _y	Momento en el pivote en eje y
M _z	Momento en el pivote en eje z
σ _y	Esfuerzo de fluencia
S _{max}	Esfuerzo máximo
FS	Factor de seguridad
Δ vertical	Deflexión vertical
Δ horizontal	Deflexión horizontal
F _R ^y	Fuerza de rueda en eje y
F _R ^z	Fuerza de rueda en eje z
h	Altura
∑ A	Sumatoria de áreas
I _{x-x}	Momento de inercia en x

I_{z-z}	Momento de inercia en y
I_{y-y}	Momento de inercia en z
σ'	Esfuerzo equivalente "según von misses":
τ	Esfuerzo cortante
σ	Esfuerzo normal
k_s	Factor de tamaño
k_c	factor de confiabilidad
k_a	Factor de acabado superficial
S'_n	Corrección al limite de fatiga
S_n	Límite de fatiga

8. Bibliografía

1.-Diseño de Ingeniería Mecánica, de Shigley, Octava edición Richard , Budynas.

2.-Catalogo McMaster,

<http://www.McMaster.com>

3.-Catalogo Abus gruas,

<https://www.abusgruas.es/>

4.-Norma CMAA (Crane Manufacturers Association of America)

5.-Norma NCH 3137 (Disposición de diseño y combinación de cargas)

6.-Catalogo, Prodalam

<https://www.prodalam.cl/>

7.- Técnicas de montaje de instalaciones, Juan Lopez.

8.-Catalogo trex

<http://www.equipostrex.com/>

9.-Manual de soldadura Indura

9.Anexos

Anexo 1

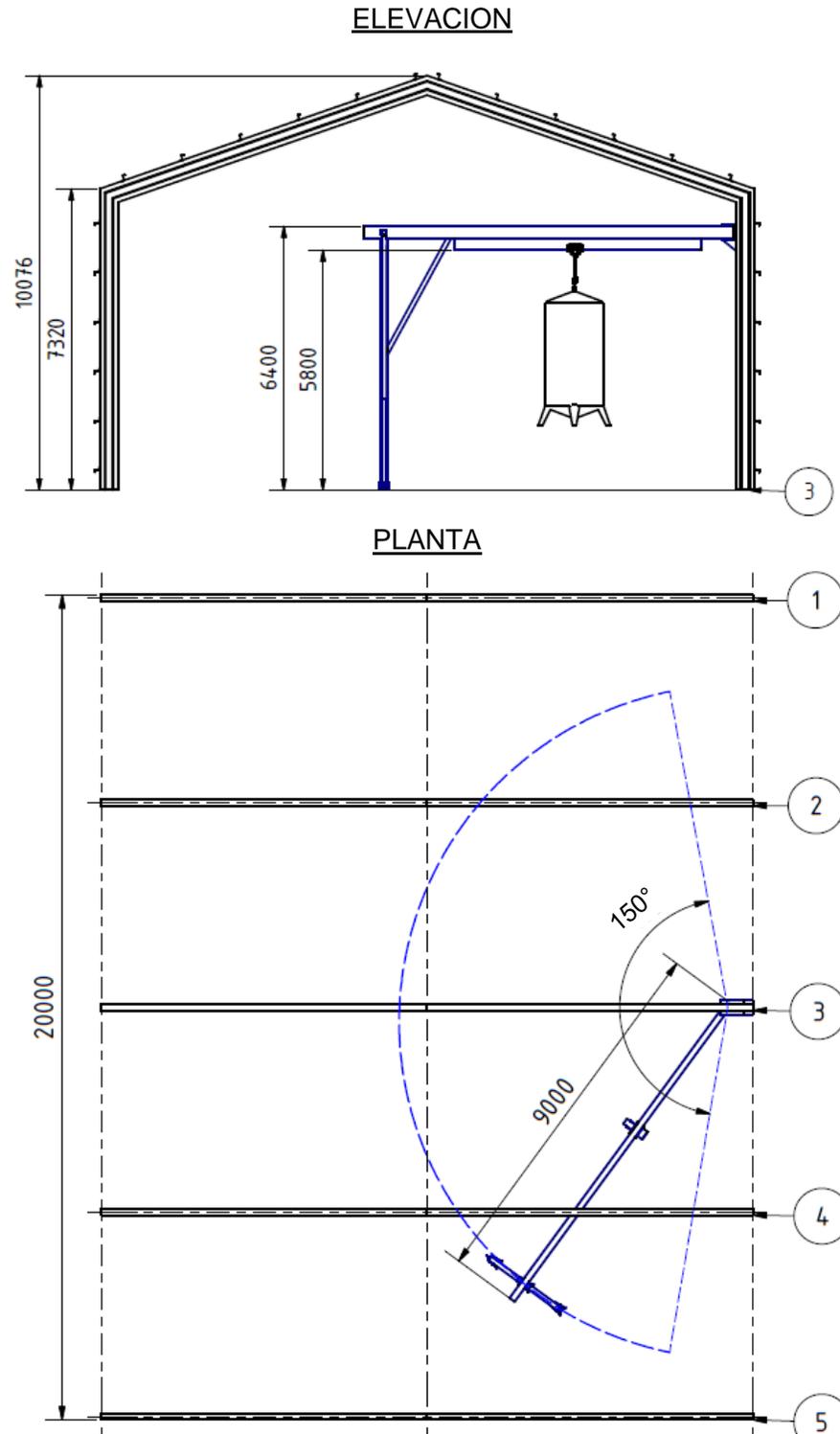


Fig: A1 y A2: Vista del galpón en elevación y planta. Fuente elaboración propia.

Anexo 2

Detalles de análisis a puente grúa, caso 1 (crítico):

Tabla A1: Condiciones de carga caso 1. Fuente elaboración propia.

☐ Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	22000,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-22000,000 N
Fz	0,000 N
Desfase	3000,000 mm

☐ Fuerza:2

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	2000,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	270,00 gr
Ángulo en plano	180,00 gr
Fx	0,000 N
Fy	-0,000 N
Fz	-2000,000 N
Desfase	3000,000 mm

☐ Fuerza:3

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	4000,000 N
Sistema de coordenadas de vigas	No
Ángulo de plano	0,00 gr
Ángulo en plano	90,00 gr
Fx	4000,000 N
Fy	-0,000 N
Fz	0,000 N
Desfase	3000,000 mm

Tabla A2: Condiciones de contorno caso 1. Fuente elaboración propia.

☐ pivote

Tipo de restricción	Personalizado
α - Rotación sobre el eje Z	0,00 gr
β - Rotación sobre el eje Y	0,00 gr
γ - Rotación sobre el eje X	0,00 gr
Desplazamiento	
Eje X	fijo 0,000 N/mm
Eje Y	fijo 0,000 N/mm
Eje Z	fijo 0,000 N/mm
Rotación	
Eje X	fijo 0,000 N mm/gr
Eje Y	elevado sin límite 0,000 N mm/gr
Eje Z	fijo 0,000 N mm/gr

☐ rueda A

Tipo de restricción	Personalizado
α - Rotación sobre el eje Z	0,00 gr
β - Rotación sobre el eje Y	0,00 gr
γ - Rotación sobre el eje X	0,00 gr
Desplazamiento	
Eje X	fijo
Eje Y	fijo
Eje Z	fijo
Rotación	
Eje X	elevado sin límite
Eje Y	elevado sin límite
Eje Z	elevado sin límite

▣ rueda B

Tipo de restricción	Personalizado
α - Rotación sobre el eje Z	0,00 gr
β - Rotación sobre el eje Y	0,00 gr
γ - Rotación sobre el eje X	0,00 gr
Desplazamiento	
Eje X	fijo
Eje Y	fijo
Eje Z	fijo
Rotación	
Eje X	elevado sin límite
Eje Y	elevado sin límite
Eje Z	elevado sin límite

▣ rueda C

Tipo de restricción	Personalizado
α - Rotación sobre el eje Z	0,00 gr
β - Rotación sobre el eje Y	0,00 gr
γ - Rotación sobre el eje X	0,00 gr
Desplazamiento	
Eje X	fijo
Eje Y	fijo
Eje Z	fijo
Rotación	
Eje X	elevado sin límite
Eje Y	elevado sin límite
Eje Z	elevado sin límite

Tabla A3: Propiedades del material caso 1. Fuente elaboración propia.

Nombre	Acero, suave	
General	Densidad de masa	7,850 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207,000 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345,000 MPa
Tensión	Módulo de Young	220,000 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,275 su
Nombre(s) de pieza	ISO 300x150x6 00000001.ipt ISO 200x120x6 00000010.ipt ISO 80x80x5 00000011.ipt ISO 120x80x6 00000012.ipt ISO 120x80x6 00000013.ipt ISO 120x80x6 00000014.ipt ISO 120x80x6 00000015.ipt ISO 120x80x6 00000016.ipt ISO 120x80x6 00000017.ipt ISO 120x80x6 00000018.ipt ISO 120x80x6 00000019.ipt DIN I 280 00000004.ipt	

Resultados:

Tabla A4: Reacciones en caso 1. Fuente elaboración propia.

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componentes (Fx, Fy, Fz)	Magnitud	Componentes (Mx, My, Mz)
voladizo	17461,817 N	-6112,678 N	19773448,563 N mm	-328854,648 N mm
		16322,693 N		-0,000 N mm
		1058,263 N		-19770713,763 N mm
rueda B	13290,821 N	1611,967 N	0,000 N mm	0,000 N mm
		13160,445 N		-0,000 N mm
		922,044 N		0,000 N mm
rueda A	5377,221 N	553,740 N	0,000 N mm	-0,000 N mm
		5348,508 N		-0,000 N mm
		36,573 N		0,000 N mm
rueda C	512,262 N	-53,028 N	0,000 N mm	0,000 N mm
		-509,230 N		0,000 N mm
		-16,880 N		0,000 N mm

Tabla A5: Resultados caso 1. Fuente elaboración propia.

Nombre		Mínimo	Máximo
Desplazamiento		0,000 mm	7,685 mm
Fuerzas	Fx	-990,929 N	1058,263 N
	Fy	-11054,796 N	16322,693 N
	Fz	-41640,025 N	43850,405 N
Momentos	Mx	-19770713,763 N mm	21128399,739 N mm
	My	-2209431,662 N mm	1165501,374 N mm
	Mz	-401459,922 N mm	328854,648 N mm
Tensiones normales	Smax	-6,136 MPa	76,387 MPa
	Smin	-62,738 MPa	3,329 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa	48,829 MPa
	Smin(Mx)	-48,829 MPa	-0,000 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa	30,514 MPa
	Smin(My)	-30,514 MPa	-0,000 MPa
Tensión de corte	Saxial	-8,493 MPa	6,825 MPa
	Tx	-0,656 MPa	0,547 MPa
Tensión de corte	Ty	-5,673 MPa	4,556 MPa
	T	-328854,648 MPa	401459,922 MPa

Caso 2 carga lejana al pilar pórtico:

Tabla A6: Reacciones en caso 2. Fuente elaboración propia.

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componentes (Fx, Fy, Fz)	Magnitud	Componentes (Mx, My, Mz)
pivote	7355,611 N	-6276,267 N	6607357,123 N mm	-138377,850 N mm
		3816,492 N		-0,000 N mm
		384,541 N		-6605907,941 N mm
rueda b	13514,766 N	1739,907 N	0,000 N mm	-0,000 N mm
		13308,512 N		-0,000 N mm
		1582,764 N		0,000 N mm
rueda c	7480,617 N	534,883 N	0,000 N mm	-0,000 N mm
		7461,430 N		-0,000 N mm
		24,233 N		0,000 N mm
rueda a	2586,448 N	1,478 N	0,000 N mm	0,000 N mm
		-2586,434 N		-0,000 N mm
		8,462 N		-0,000 N mm

Tabla A7: Resultados caso 2. Fuente elaboración propia.

Nombre		Mínimo	Máximo
Desplazamiento		0,000 mm	3,739 mm
Fuerzas	Fx	-1939,512 N	396,360 N
	Fy	-19875,254 N	3816,492 N
	Fz	-19059,734 N	22352,649 N
Momentos	Mx	-6605907,941 N mm	16827711,293 N mm
	My	-2142598,514 N mm	465550,676 N mm
	Mz	-353190,898 N mm	138377,850 N mm
Tensiones normales	Smax	-5,536 MPa	49,501 MPa
	Smin	-48,770 MPa	0,497 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa	41,560 MPa
	Smin(Mx)	-41,560 MPa	-0,000 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa	14,167 MPa
	Smin(My)	-14,167 MPa	0,000 MPa
	Saxial	-6,426 MPa	3,124 MPa
Tensión de corte	Tx	-0,246 MPa	0,956 MPa
	Ty	-1,364 MPa	8,192 MPa
Tensiones de torsión	T	-138377,850 MPa	353190,898 MPa

Caso 3 carga cercana al pilar pórtico:

Tabla A8: Reacciones en caso 3. Fuente elaboración propia.

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componentes (Fx, Fy, Fz)	Magnitud	Componentes (Mx, My, Mz)
pivote	24680,106 N	-4610,651 N	16166283,616 N mm	-529864,178 N mm
		24181,869 N		-0,000 N mm
		1756,907 N		-16157597,901 N mm
rueda b	7021,978 N	467,385 N	0,000 N mm	-0,000 N mm
		7002,368 N		-0,000 N mm
		237,855 N		-0,000 N mm
rueda c	2333,889 N	165,668 N	0,000 N mm	-0,000 N mm
		2327,868 N		-0,000 N mm
		24,978 N		-0,000 N mm
rueda a	810,861 N	-22,402 N	0,000 N mm	-0,000 N mm
		810,312 N		-0,000 N mm
		-19,740 N		0,000 N mm

Tabla A9: Resultados caso 3. Fuente elaboración propia.

Nombre	Mínimo	Máximo	
Desplazamiento	0,000 mm	3,288 mm	
Fuerzas	Fx	-215,385 N	1958,441 N
	Fy	-3987,342 N	24744,385 N
	Fz	-19311,117 N	19311,117 N
Momentos	Mx	-16969743,125 N mm	5409604,914 N mm
	My	-1437699,261 N mm	188308,547 N mm
	Mz	-43761,901 N mm	535422,342 N mm
Tensiones normales	Smax	-1,566 MPa	41,136 MPa
	Smin	-42,686 MPa	2,220 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa	41,911 MPa
	Smin(Mx)	-41,911 MPa	-0,000 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa	5,185 MPa
	Smin(My)	-5,185 MPa	-0,000 MPa
	Saxial	-3,740 MPa	3,165 MPa
Tensión de corte	Tx	-1,103 MPa	0,164 MPa
	Ty	-9,598 MPa	1,367 MPa
Tensiones de torsión	T	-0,083 MPa	0,024 MPa

Anexo 3

Tabla A10: Desplazamientos máximos. Fuente: Norma CMAA-70

Tabla 7.2 Desplazamientos máximos permisibles en traves carril y edificios que soportan grúas

Elemento	Carga	Desplazamiento máximo
a) Desplazamientos verticales		
Trabe carril		
Grúa colgada o monorriel, clase A, B o C.	Carga vertical de la grúa (sin impacto)	$L/450^1$
Grúa de puente		
Clase A, B o C	Carga vertical de la grúa (sin impacto)	$L/600^1$
Clase D		$L/800^1$
Clase E		$L/1000^1$
b) Desplazamientos laterales		
Marco de acero		
Grúa operada desde el piso	Fuerza lateral de la grúa, viento o sismo	$H/100^1$
Grúa operada desde una cabina		$H/240 \leq 50 \text{ mm}^{(2)}$
Trabe carril	Fuerza lateral de la grúa	$L/400^1$

Anexo 4

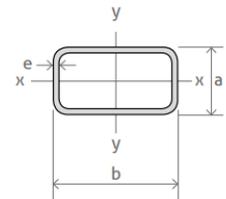
Tabla A11: comparativo de normas y propiedades de acero estructural A36. Fuente: Catalogo compromet

Límite Fluencia Kg/mm ² (Mpa)	Límite Ruptura Kg/mm ²	NORMAS					
		EN 10025 2004	NCH 203 Of 77	DIN 17000 1980	BS 4360 1986	JIS G3101 1991 (1987)	ASTM
24(235)	37/52	S235JR	A 240 ES	St 37-2	40 B 40 C 40 D	SS330(SS 34)	A 36 A 709 G 36
24(235)	37/52	S235JRG2		Rst 37-2			
24(235)	37/52	S235JO		St 37-3 U			
24(235)	37/52	S235J2G3		St 37-3 N			
24(235)	37/52	S235J2G4		St 44-2			
28(275)	44/59	S275JR	A 270 ES	St 44-2	43 B 43 C 43 D	SS400(SS 41)	A 36 A 572 G 42
28(275)	44/59	S275JO		St 44-3 U			
28(275)	44/59	S275J2G3		St 44-3 N			
28(275)	44/59	S275J2G4					
36(355)	52/70	S355JR	A 340 ES	St 52- U St 52-3 N	50 B 50 C 50 D	SS490(SS 50)	A 709 G 50 A 572 G 50 A 992
36(355)	52/70	S355JO					
36(355)	52/70	S355J2G3					
36(355)	52/70	S355J2G4					
36(355)	52/70	S355K2G3					
36(355)	52/70	S355K2G4					

Anexo 5

Detalle análisis a viga principal:

Detalle de la viga:



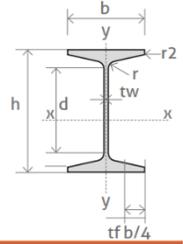
Código SAP (L 6m)	Descripción a x b x e (mm)	Peso kg/m	kg/ L6m	kg/ L12m	Sección cm2	Momento de inercia cm4		Módulo resistente cm3		Radio de giro cm	
						ix	Iy	Wx	Wy	ix	Iy
45593	300 x 150 x 4	27,40	164,40	328,80	34,90	4195,00	1447,00	280,00	192,90	10,96	6,43
35824	300 x 150 x 5	34,03	204,18	408,36	43,40	5151,00	1770,00	343,00	235,90	10,90	6,39
41628	300 x 150 x 6	40,53	243,18	486,36	51,60	6070,00	2077,00	405,00	277,00	10,84	6,34
41630	300 x 200 x 5	37,96	227,76	455,52	48,40	6238,00	3359,00	416,00	335,90	11,36	8,33
41632	300 x 200 x 6	45,24	271,44	542,88	57,60	7366,00	3959,00	491,00	395,90	11,31	8,29

Tabla A12: Viga principal. Fuente: Catalogo prodalam

Anexo 6

Detalle de viga IPN 280:

Tabla A13: Viga carril: Fuente: Catalogo prodalam



Vigas Laminadas IPN							
IPN	Dimensiones					Masa kg/m	
	h Alma mm	b Ala mm	a Espesor Alma mm	e Espesor Ala mm	r1 Espesor ángulo mm		
280	280	119	10,10	15,20	10,10	47,90	
IPN	Sección cm ²	Eje XX			Eje YY		
		Momento de Inercia I _x cm ⁴	Módulo Resistente W _x cm ³	Radio de Giro i _x cm	Momento de Inercia I _y cm ⁴	Módulo Resistente W _y cm ³	Radio de Giro i _y cm
280	61,00	7.590,00	542,00	11,10	364,00	61,20	2,45

Anexo 7

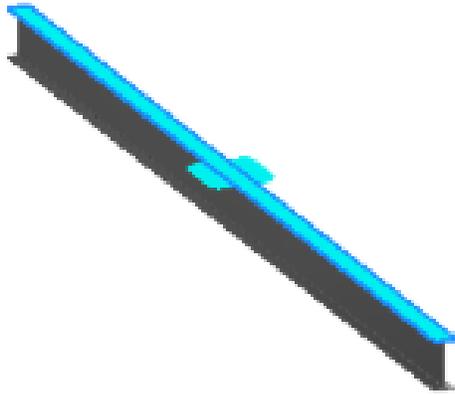
Detalles de cálculo a viga IPN 280

Propiedades del material:

Tabla A14 propiedades de viga IPN280. Fuente: software Inventor.

Nombre	Acero, suave	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	220 GPa
	Coficiente de Poisson	0,275 su
	Módulo cortante	86,2745 GPa
Nombre(s) de pieza	DIN I 280 00000004.ipt	

Figura A3: restricciones viga IPN. Fuente: Software Inventor.



Cargas:

Tabla A15: Cargas análisis viga IPN. Fuente: elaboración propia

☐ **Fuerza remota:1**

Tipo de carga	Fuerza remota
Magnitud	55000,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-7625,631 N
Vector Z	-54468,796 N
Punto remoto X	3000,000 mm
Punto remoto Y	40,000 mm
Punto remoto Z	-130,000 mm

☐ **Fuerza remota:2**

Tipo de carga	Fuerza remota
Magnitud	55000,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	7625,631 N
Vector Z	-54468,796 N
Punto remoto X	3000,000 mm
Punto remoto Y	-40,000 mm
Punto remoto Z	-130,000 mm

☐ **Fuerza remota:3**

Tipo de carga	Fuerza remota
Magnitud	55000,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-7625,631 N
Vector Z	-54468,796 N
Punto remoto X	3162,000 mm
Punto remoto Y	40,000 mm
Punto remoto Z	-130,000 mm

☐ **Fuerza remota:4**

Tipo de carga	Fuerza remota
Magnitud	55000,000 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	7625,631 N
Vector Z	-54468,796 N
Punto remoto X	3162,000 mm
Punto remoto Y	-40,000 mm
Punto remoto Z	-130,000 mm

Tipo de malla:

Tabla A16: Configuración malla análisis viga IPN. Fuente: elaboración

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

Tabla A17: Resultados análisis viga IPN. Fuente: elaboración propia

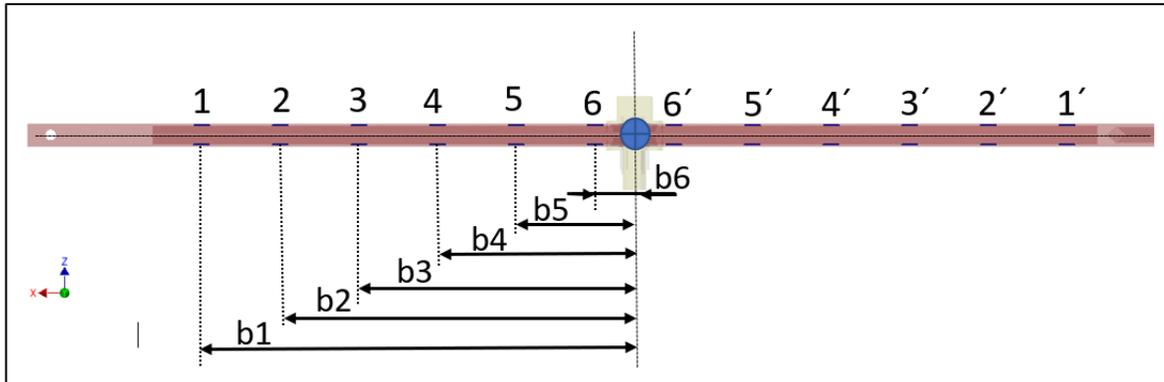
Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	36608800 mm ³	
Masa	287,379 kg	
Tensión de Von Mises	0,00423024 MPa	9,05846 MPa
Primera tensión principal	-0,693468 MPa	11,385 MPa
Tercera tensión principal	-9,66972 MPa	2,00645 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,0116381 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-2,97518 MPa	3,52969 MPa
Tensión XY	-0,574958 MPa	0,56266 MPa
Tensión XZ	-0,861281 MPa	1,05355 MPa
Tensión YY	-9,66798 MPa	9,88637 MPa
Tensión YZ	-4,971 MPa	4,11301 MPa
Tensión ZZ	-2,09775 MPa	6,06734 MPa
Desplazamiento X	-0,00129968 mm	0,00111159 mm
Desplazamiento Y	-0,00148363 mm	0,00168521 mm
Desplazamiento Z	-0,0115484 mm	0,00000957779 mm
Deformación equivalente	0,0000000175938 su	0,0000384016 su
Primera deformación principal	-0,000000282445 su	0,0000454927 su
Tercera deformación principal	-0,0000405649 su	0,000000336188 su
Deformación XX	-0,00000588825 su	0,00000684931 su
Deformación XY	-0,00000333215 su	0,00000326087 su
Deformación XZ	-0,00000499151 su	0,00000610582 su
Deformación YY	-0,0000405508 su	0,000038304 su
Deformación YZ	-0,0000288092 su	0,0000238367 su
Deformación ZZ	-0,0000126765 su	0,0000247885 su

Anexo 8

Soldadura viga carril

Fig. A4. Cálculo de inercia soldadura viga carril. Fuente elaboración propia



Calculo de inercia

Tabla A18. Cálculo de inercia soldadura viga carril, medidas en milímetro. Fuente elaboración propia

	Área	dc(x)	dc(z)	lo(x-x)	lo(z-z)	lx-x	lz-z
1	150	250	63	112,5	31250	9375112,5	626600
2	150	750	63	112,5	31250	84375112,5	626600
3	150	1250	63	112,5	31250	234375112,5	626600
4	150	1750	63	112,5	31250	459375112,5	626600
5	150	2250	63	112,5	31250	759375112,5	626600
6	150	2750	63	112,5	31250	1134375113	626600
6'	150	3250	63	112,5	31250	1584375113	626600
5'	150	3750	63	112,5	31250	2109375113	626600
4'	150	4250	63	112,5	31250	2709375113	626600
3'	150	4750	63	112,5	31250	3384375113	626600
2'	150	5250	63	112,5	31250	4134375113	626600
1'	150	5750	63	112,5	31250	4959375113	626600
	1800					21562501350	7519200

Anexo 9

Análisis al pasador caso 2:

Condiciones de contorno:

Tabla A19: Acabado superficial. Fuente: Diseño de Ingeniería Mecánica, de Shigley, Octava edición Richard, Budynas.

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Tabla A20: Factor de confiabilidad. Fuente: Diseño de Ingeniería Mecánica, de Shigley, Octava edición Richard, Budynas.

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Anexo 10

Cálculo de soldadura pivote:

Cálculo centroide de soldadura

Fig. A5. Cálculo de inercia y centroide soldadura pivote. Fuente elaboración propia

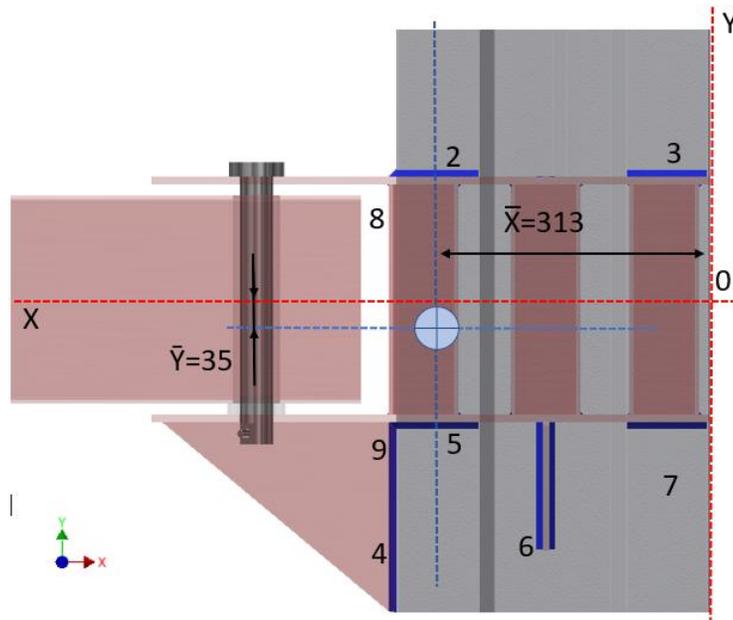


Tabla A21: Cálculo de centroide de soldadura en el pivote, medidas en milímetro. Fuente elaboración propia

Cordón	L	Ai	xi	yi	Aixi	Aiyi
2	114	684	60	170	41040	116280
3	114	684	388	170	265392	116280
4	263	1578	445	-334	702210	-527052
5	114	684	388	-170	265392	-116280
6	182	1092	235	276	256620	301392
7	114	684	60	-170	41040	-116280
8	75	450	445	170	200250	76500
9	75	450	455	-170	204750	-76500
		9342			3413322	-254748

X	313 mm
Y	-35 mm

Calculo de momento de inercia

Tabla A22: Cálculo de momento de inercia a soldadura del pivote, medidas en milímetro.
Fuente elaboración propia.

I	dc	AI*DC2	Ixi (mm4)
0	-311,784967	0	0
171	-205,784967	115862630	115862801,1
171	-205,784967	115862630	115862801,1
69169	298,215033	561340085	561409253,8
171	134,215033	49285415,2	49285586,25
16562	-311,784967	424612692	424629254,3
0	0	0	0
0	0	0	0
			1316335454
i	dc	AI*DC2	Iy
0	78,46241675	0	0
6498	-95,7849667	25102142,94	25108640,94
6498	-388	411888384	411894882
789	-445	1249933800	1249934589
6498	-388	411888384	411894882
273	-235	241222800	241223073
6498	-60	9849600	9856098
0	0	0	0
0	0	0	0
			2349912165

Dc	b	h	I	Adc2	Iz
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
-245	3	340	115600	122451000	122566600
0	0	0	0	0	0
-215	3	180	32400	99846000	99878400
-71	3	0	0	0	0
-195	150	3	112,5	68445000	68445112,5
-125	150	3	112,5	28125000	28125112,5
					531901522

Anexo 11

Figura A6: Numeración de perfiles para análisis de pandeo. Fuente: Elaboración propia.

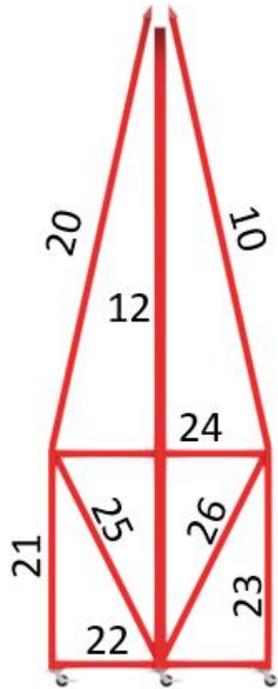


Tabla A23: Comprobación de perfiles mediante análisis de pandeo. Fuente: software autodesk Robot structural análisis 2020

ANSI/AISC 360-10 - Verificación de las barras (ELS ; ELU) 10 12 20A26

Resultados		Mensajes					
Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso	
10 pilares puente	OK 120x80x6	ACERO	144.68	73.22	0.00	3 COMB1	
12 pilares puente	OK 200x120x6	ACERO	131.25	61.55	0.00	3 COMB1	
20 pilares puente	OK 120x80x6	ACERO	144.68	73.22	0.00	3 COMB1	
21 pilares puente	OK 120x80x6	ACERO	62.77	31.77	0.00	3 COMB1	
22 pilares puente	OK 120x80x6	ACERO	62.77	31.77	0.00	3 COMB1	
23 pilares puente	OK 120x80x6	ACERO	62.77	31.77	0.00	3 COMB1	
24 pilares puente	OK 120x80x6	ACERO	62.77	31.77	0.00	3 COMB1	
25 pilares puente	OK 120x80x6	ACERO	70.18	35.52	0.00	3 COMB1	
26 pilares puente	OK 120x80x6	ACERO	70.18	35.52	0.00	3 COMB1	

Anexo 12

Soldadura cáncamos.

Tabla A24: Tabla de eslingas. Fuente: Norma ASME B30-26

DIAMETRO DEL CABLE		CARGA MAXIMA DE SEGURIDAD			10°	30°	60°	90°	120°	150°
mm.	Pulg.	Ton.	Ton.	Ton.	Ton.	Ton.	Ton.	Ton.	Ton.	Ton.
7,94	5/16	0,65	0,48	1,30	1,30	1,25	1,13	0,91	0,65	0,34
9,53	3/8	0,96	0,71	1,92	1,92	1,85	1,66	1,35	0,96	0,49
11,11	7/16	1,36	1,01	2,72	2,72	2,62	2,36	1,91	1,36	0,70
12,70	1/2	1,80	1,34	3,60	3,60	3,48	3,10	2,53	1,80	0,93
14,30	9/16	2,28	1,70	4,56	4,56	4,43	3,94	3,21	2,28	1,18
15,90	5/8	2,80	2,08	5,60	6,60	5,40	4,85	3,93	2,80	1,45
19,05	3/4	4,00	3,00	8,00	8,00	7,70	6,92	5,63	4,00	2,07
22,23	7/8	5,41	4,05	10,82	10,82	10,45	9,35	7,62	5,41	2,80

Cálculo de inercia

Tabla A25: Cálculo de inercia a soldadura de cáncamos. Fuente elaboración propia.

espesor	3
---------	---

	L	B	H	I	A	dz	Iz-z
1	150	3	150	843750	450	0	843750
2	150	3	150	843750	450	0	843750
3	120	3	120	432000	360	0	432000
4	120	3	120	432000	360	0	432000
5	40	40	3	90	120	75	675090
6	40	40	3	90	120	75	675090
7	20	20	3	45	60	60	216045
8	20	20	3	45	60	60	216045
						Iz-z	4333770

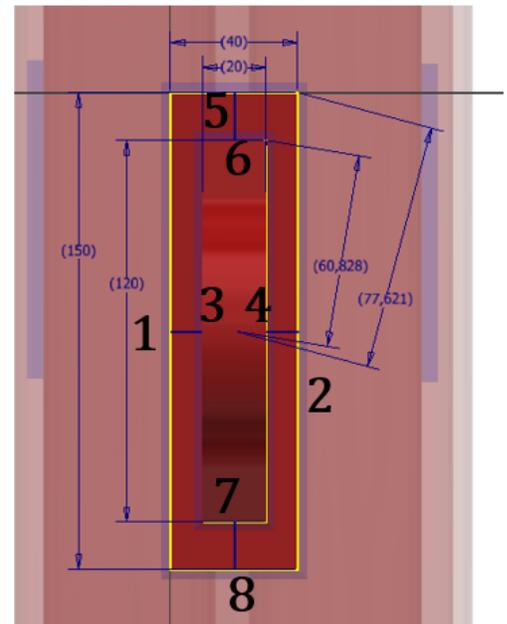


Fig.A7: Cálculo de inercia a soldadura de cáncamos. Fuente elaboración propia

Anexo 13

Ruedas de nylon duraderas rellenas de vidrio que son resistentes al impacto y al desgaste y soportan bien en superficies lisas.

Las ruedas con freno de rueda presionan la rueda para detener el movimiento presionando el pedal.

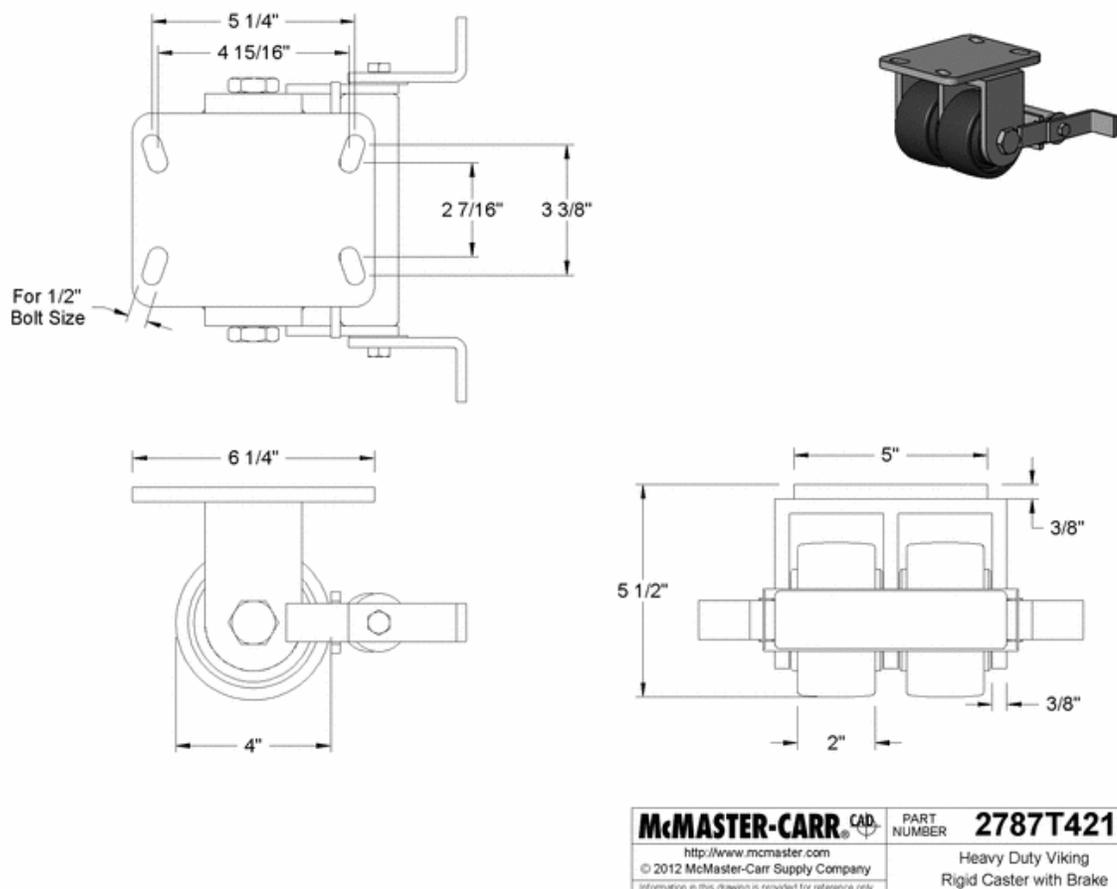


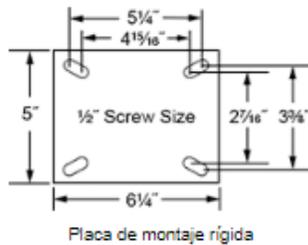
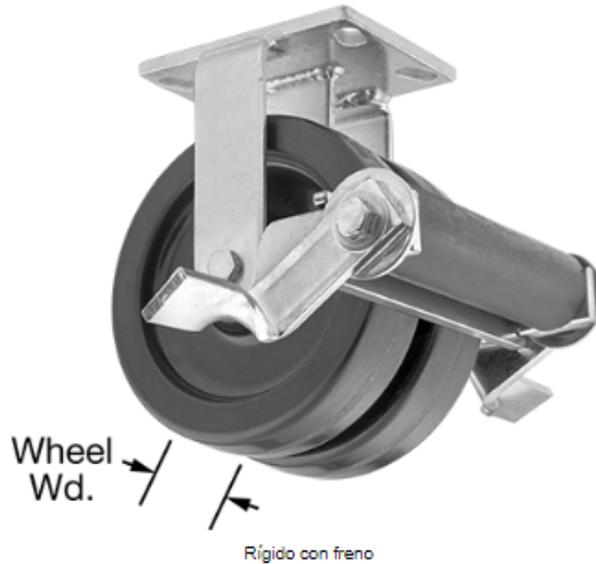
Fig. A8: Detalle ruedas. Fuente: Catalogo McMaster,

Ficha técnica ruedas

Fig. A9: Ficha técnica de ruedas. Fuente: Catalogo McMaster,

Lanzador vikingo

Alta capacidad, rígido con freno y ruedas de nylon

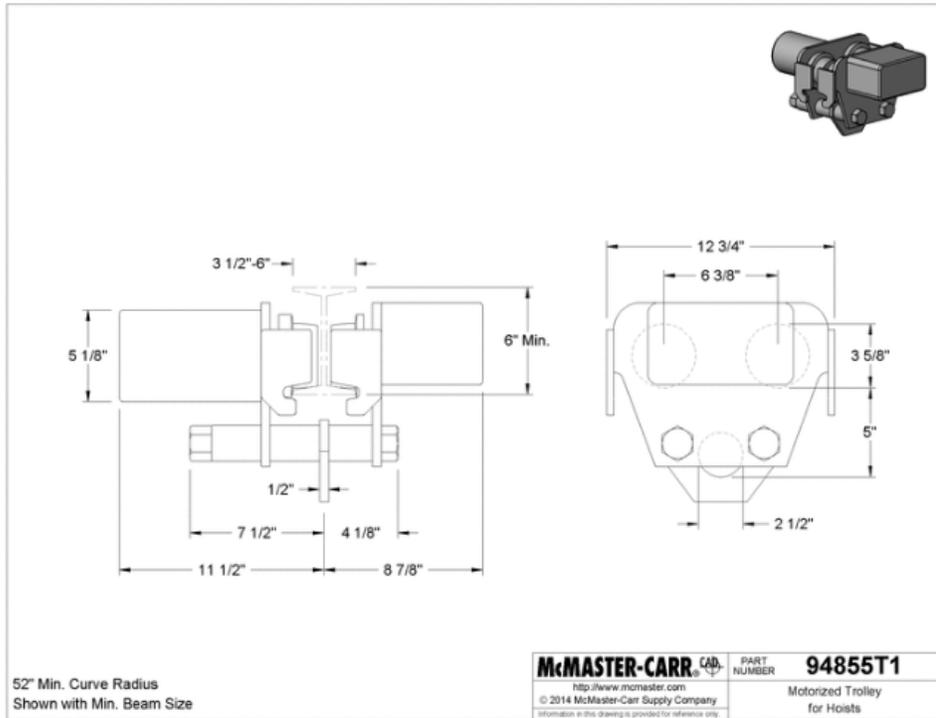


Tipo de montaje	Plato
Rueda	
Diámetro	4 "
Anchura	2 "
Número de	2
Altura de montaje	5 1/2 "
Capacidad por Ruedita	1,800 libras
Calificación de dureza	Difícil
Dureza	Durómetro 85D
Longitud de la placa de montaje	6 1/4 "
Ancho de placa de montaje	5 "
Longitud de centro a centro del orificio de montaje (A)	5 1/4 "
Longitud de centro a centro del orificio de montaje (B)	4 15/16 "
Ancho de orificio de montaje de centro a centro (A)	3 3/8 "
Ancho de orificio de montaje de centro a centro (B)	2 7/16 "
Para tamaño de tornillo	1/2 "
Sujetadores de montaje incluidos	No
Rueda / material de la banda de rodadura	Plástico de nylon
Material de relleno de rueda / banda de rodadura	Vaso

Anexo 15

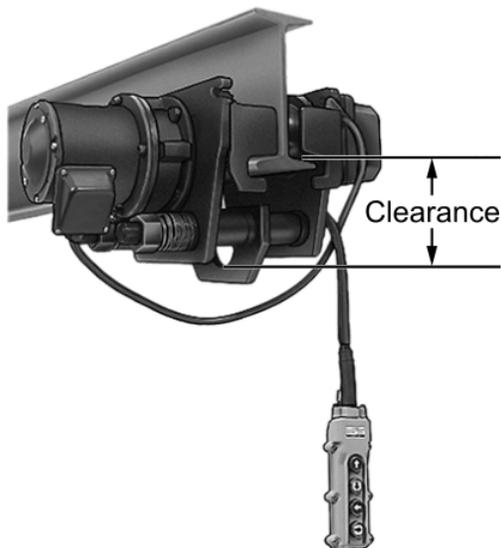
Selección de polipasto

Fig. A10 y A11: polipasto. Fuente: Catalogo McMaster,



Carro de elevación motorizado con ojo de montaje

Capacidad de 4400 lb , CA 240 / 460V , para haz ancho de 3-1 / 2 "-6"



Solicitud	Para levantar
Fuente de alimentación	Cableado
Tipo de operación	Botón
Capacidad	
montones	2
libras	4.400
Para haz	
Forma	Plano, cónico
Anchura	3 1/2 "-6"
Min. Altura	6 "
Despeje	5 "
Min. Radio de curva	52 "
Material de la carretilla	Hierro fundido
Material de la rueda	Hierro fundido
Estilo de montaje de elevación	Ojo
Diámetro del ojo	2 1/2 "
Velocidad máxima del carro	78 fpm
voltaje	240 V CA, 460 V CA

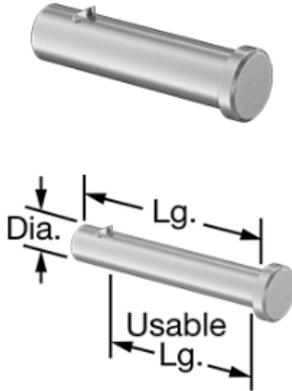
Anexo 16

Detalle del pasador:

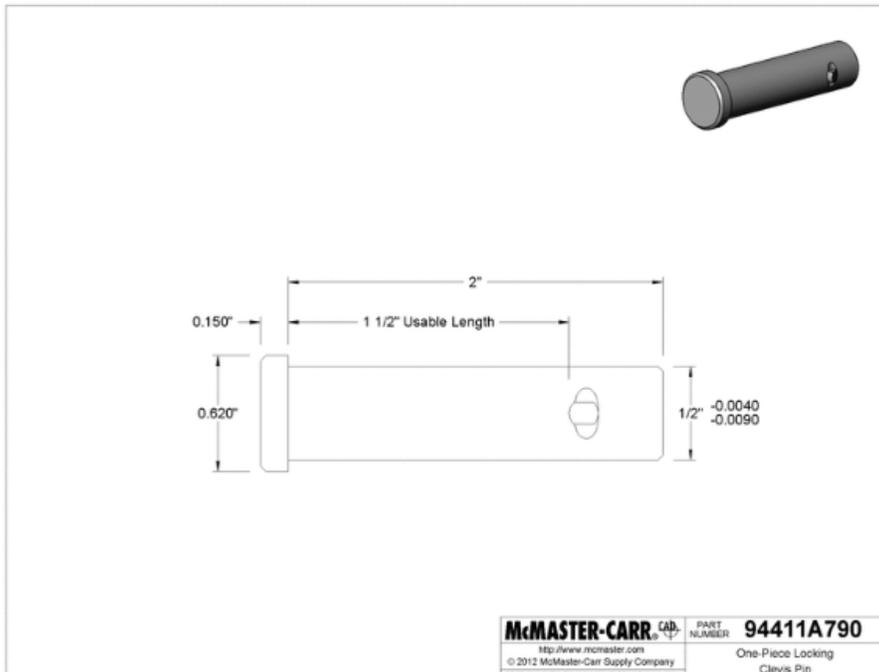
Fig. A12 y A13: polispasto. Fuente: Catalogo McMaster.

Autoblocante pasador de horquilla

Acero inoxidable 18-8, diámetro de 1/2", longitud útil de 1-1/2"



Tipo de pin	Pendiente
Tipo final	Cuña
Tipo de cabeza	Plano
Tipo de eje	Llanura
Sistema de medida	Pulgada
Material	Acero inoxidable 18-8
Longitud utilizable	1 1/2 "
Longitud	2 "
Diámetro	1/2 "
Tolerancia de diámetro	-0.009 "a -0.004"
Cabeza	
Diámetro	5/8 "
Altura	5/32 "
Diámetro a la altura de cuña extendida	0.583 "
Material de primavera	Acero inoxidable 18-8
Material de cuña	Acero inoxidable 316
Min. Dureza	Rockwell B80
Pasivación	No pasivado
RoHS	Cumple con RoHS 3 (2015/863 / EU)



McMASTER-CARR CAD 3D MODEL LIBRARY **94411A790**
http://www.mcmaster.com
© 2012 McMaster-Carr Supply Company
Information in this drawing is provided for reference only.

PART
NUMBER
 One-Piece Locking
 Clevis Pin

Anexo 17

Ficha técnica de manipulador telescópico

Tabla A26: Ficha técnica manipulador telescópico. Fuente Catalogo trex.

Specifications

Model	GTH [™] -636	
Measurements	US	Metric
Maximum lift height	36 ft	10.97 m
Maximum forward reach	21 ft 11 in	6.68 m
Reach at maximum height	1 ft 10 in	0.56 m
▲ Height, stowed	7 ft 10 in	2.39 m
▲ Length, stowed (without forks)	17 ft 10 in	5.44 m
Width	7 ft 11 in	2.41 m
▲ Wheelbase	10 ft 11 in	3.33 m
▲ Ground clearance, center	1 ft 3 in	0.38 m
▲ Ground clearance, axle	1 ft 5 in	0.43 m
Fork cross section	2 x 4 in	51 x 101 mm

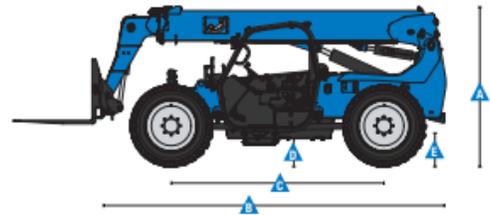
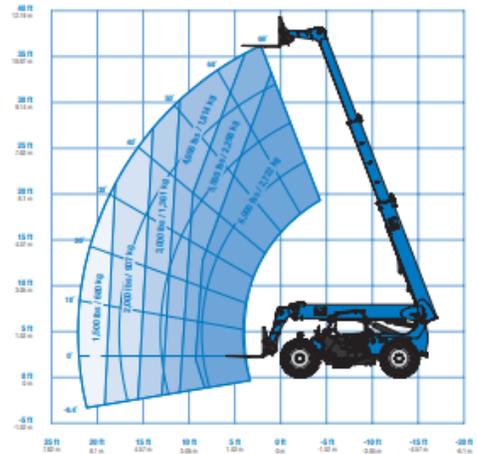
Productivity

Maximum lift capacity	6,000 lbs	2,722 kg
Lift capacity at maximum height	5,000 lbs	2,268 kg
Lift capacity at maximum reach	1,500 lbs	680 kg
Drive speed	18 mph	29 km/h
Boom up/down	10/8 sec	10/8 sec
Boom extend/retract	11/9 sec	11/9 sec
Draw bar pull	15100 lbs	6849 kg
Turning radius, outside (4WS)	13 ft 4 in	4.06 m
Auxiliary hydraulic flow	2-15 gpm	7.57-56.8 lpm
Auxiliary hydraulic pressure	3,000 psi	206.8 bar
Tires, standard size	13 x 28 in, 12 ply	

Power

Power source	Deutz TD 2.9 L4 turbo charged diesel, Tier 4f 74 hp (55.2 kW)*	
Electrical system	System voltage 12 volt Alternator 95 amp 1000 CCA at 0°F (-18°C)	
Hydraulic tank capacity	34.0 gal	128.7 L
Hydraulic system capacity (w/tank)	46.5 gal	176.0 L
Fuel tank capacity	27.0 gal	102.2 L

Load Chart GTH[™]-636***



Anexo 18

Detalle de superficie a recubrir:

Tabla A27: Detalle de recubrimiento. Fuente: Elaboración propia.

Item	cant.	Denominación	Perimetro	Largo	Unidad	Superficie	Unidad	TOTAL	Unidad
2	1	150x300x6, L: 9000 mm	900	9000	mm	8100000	mm ²	8,1	m ²
3	1	IPN 280 , L: 6000 mm	1036	6000	mm	6216000	mm ²	6,216	m ²
4	1	80X80X4, L: 3220 mm	320	3220	mm	1030400	mm ²	1,0304	m ²
5	1	200x120X6, L: 5940 mm	640	5940	mm	3801600	mm ²	3,8016	m ²
6	2	120X80X6, L: 4970 mm	400	4970	mm	1988000	mm ²	3,976	m ²
7	1	120x80x6, L: 1920 mm	400	1920	mm	768000	mm ²	0,768	m ²
8	2	120x80x6, L: 2060 mm	400	2060	mm	824000	mm ²	1,648	m ²
9	2	120x80x6, L: 2000 mm	400	2000	mm	800000	mm ²	1,6	m ²
10	1	120x80x6, L: 2000 mm	400	2000	mm	800000	mm ²	0,8	m ²
15	6	120x120x3, L:320 mm	480	320	mm	153600	mm ²	0,9216	m ²
11	2	PL170X220X10	-	-		37400	mm ²	0,0748	m ²
12	1	PL170X220X10	-	-		37400	mm ²	0,0374	m ²
14	2	Placa pivote PL 350X800X12	-	-		280000	mm ²	0,56	m ²
16	4	PL 55X100X10	-	-		5500	mm ²	0,022	m ²
17	2	PL 270X350X10	-	-		94500	mm ²	0,189	m ²
21	2	Atizador viga 130X100X10	-	-		13000	mm ²	0,026	m ²
23	2	Mensula PL 115X184X10	-	-		21160	mm ²	0,04232	m ²
							Superficie total	29,81312	m²

Anexo 19

Cotización del recubrimiento:

COTIZACION

Talca, 10 de Mayo

N° 285

Sr. Gonzalo Yañez .

Presente

REF: Esquema Epoxico

Estimado, de acuerdo a lo solicitado nos es grato cotizar a ustedes aplicación de Pinturas Epoxicas de acuerdo a su requerimiento.

Anticorrosivo Epoxico:

30 mts x \$1.980 = \$ 59.400.-

Esmalte Epoxico;

30 mts x \$4.630 = \$138.900.-

Los valores son más I.V.A.

Plazo de ejecución a convenir.

Alcances del trabajo

- Se aplicará Anticorrosivo Epóxico en 2 manos de colores diferentes, para posteriormente aplicar 1 mano de Esmalte Epóxico color a elección, se pintara con la marca Pinturas Renner, este esquema se aplicara con equipo airless , de acuerdo a espesores necesarios para cumplir las resistencias.
- Se realizarán mediciones de espesores para verificar la correcta aplicación del recubrimiento.
- El contratista suministrará los materiales y equipos para la ejecución de los trabajos.
- El contratista suministrará la mano de obra calificada para la ejecución de los trabajos
- El contratista se somete a las normas de seguridad requeridas por la empresa y se obliga a proporcionar los elementos de protección personal a sus trabajadores.
- Serán de cargo del mandante energía eléctrica, bodega, baño.

Se solicitará un anticipo del 20% para la ejecución, cabe recordar que esta faena es por obra vendida, vale decir pintura, mano de obra calificada, maquinaria de elevación y certificación de pintura.

Envió datos para transferencia; Banco de #####, Cta.Cte. 041063##### a nombre de Construcciones y Aplicaciones Fridi Spa; Rut 76.377.298-5

Cualquier otra condición adicional deberá ser aceptada por escrito, y si el presente presupuesto es aceptado se debe mencionar en la orden de compra o contrato que se celebre.

Sin otro particular y atento a sus consultas se despide.

Construcciones y Aplicaciones Fridi Spa

9-72144841

Anexo 20

Cotización de fabricación de piezas en maestranza.



PRESUPUESTO

EMPRESA : Tesis Gonzalo Yañez	PPTO. N° : IPI-00001007-2020
CONTACTO : Gonzalo Yañez V.	DIRECCION : Alcides Roldan 1598
FONO : +56972361283	FAX :
MOVIL :	EMAIL : gyv.yanez@gmail.com
DE : INGESAF EIRL	FECHA : 28-03-2020
OBJETO : PRESUPUESTO	CIUDAD : San Fernando

Proyecto: *Piezas Puente Grua*

Item	Obras Preliminares	Unidad	Cantidad	Valor	Total
11	Placa de anclaje ruedas (Acero A-36, 1,9kg)	Unidad	2	\$ 6.500	\$ 24.700
12	Placa de anclaje ruedas a 7° (Acero A-36, 1,9 kg)	Unidad	1	\$ 6.500	\$ 12.350
14	Placa pivote (Acero A-36, 19,8 kg)	Unidad	2	\$ 6.500	\$ 257.400
16	Ménsula lateral (Acero A-36, 0,9 kg)	Unidad	4	\$ 6.500	\$ 23.400
17	Ménsula frontal (Acero A-36, 3,8 kg)	Unidad	2	\$ 6.500	\$ 49.400
18	Pasador (SAE 1045, 6,1 kg)	Unidad	1	\$ 6.500	\$ 39.650
19	Buje (Acero A36, 4,7 kg)	Unidad	1	\$ 6.500	\$ 30.550
21	Atizador viga (Acero A-36, 7,8 kg)	Unidad	2	\$ 6.500	\$ 101.400
23	Ménsula (Acero A-36, 0,4 kg)	Unidad	2	\$ 6.500	\$ 5.200



COSTO DIRECTO	\$	221.000
UU	0,20	\$ 44.200
GG	0,05	\$ 11.050
TOTAL NETO	\$	276.250
IVA	0,19	\$ 52.488
TOTAL	\$	328.738

NOTA: Cotización contempla fabricación de elementos metálicos según plano



OFICINA: Carampanque 749, San Fernando
 FONO: (72) 2711698
 CEL: 990158362
 WEB: www.ingesaf.com
 E-MAIL: rifarfan@ingesaf.com

MONTAJES INDUSTRIALES, ESTRUCTURAS, PIPING, INOXIDABLES, OBRAS CIVILES
 Sistema de Gestión de la Calidad NCh 2909 – Empresa INGESAF E.I.R.L.

Anexo 21

Resultado de análisis en casos de recomendación, las condiciones de contorno son las descrita en anexo 2.

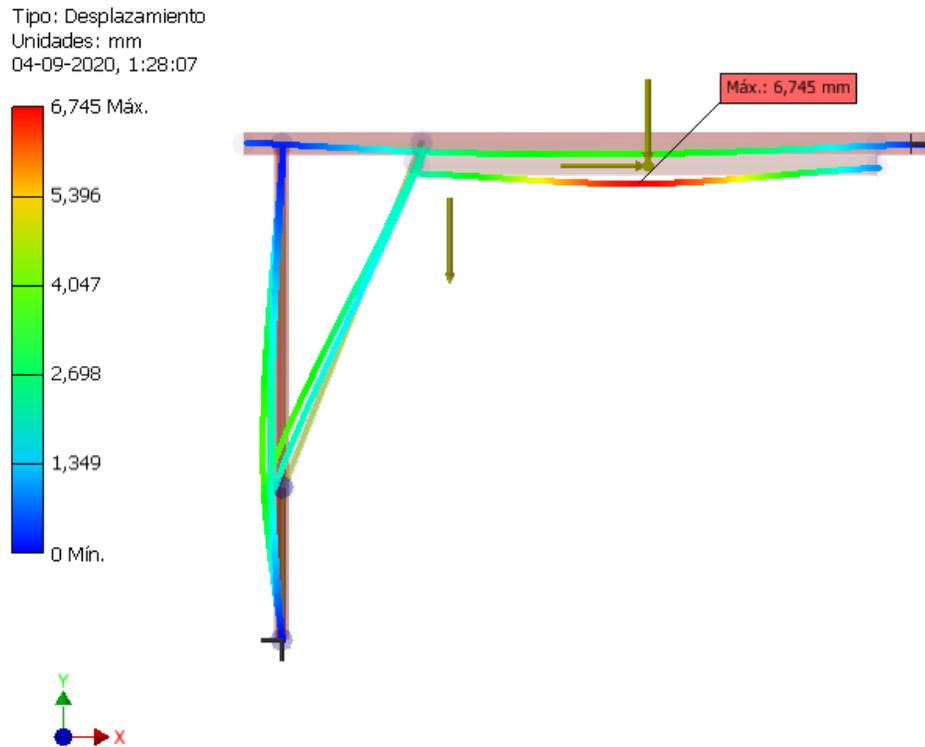


Figura A14: Deformaciones máximas caso de 2 barras diagonales. Fuente: elaboración propia.

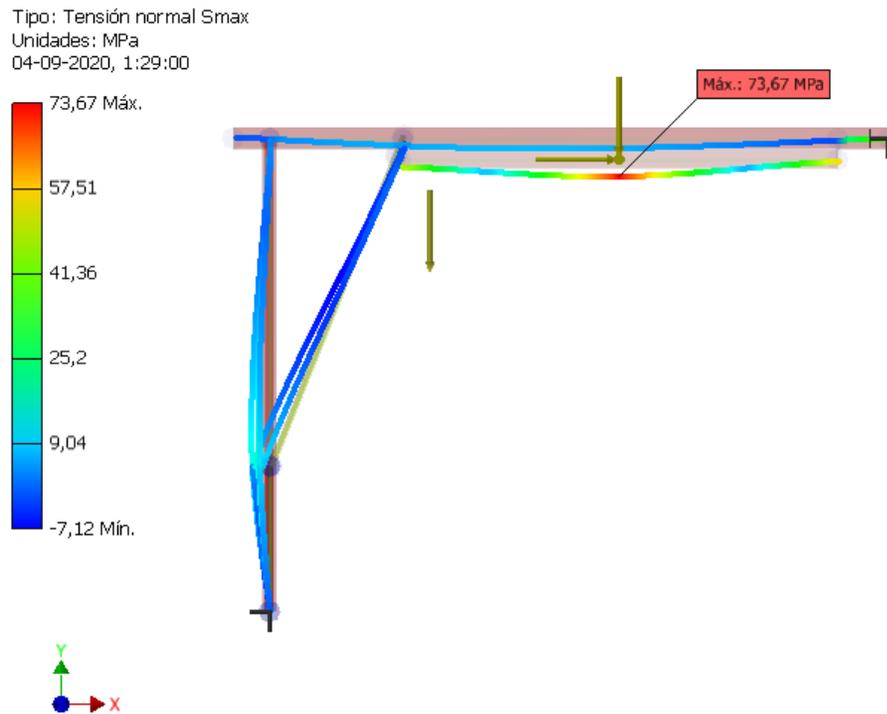


Figura A15: Esfuerzo máximo, caso de 2 barras diagonales. Fuente: elaboración propia

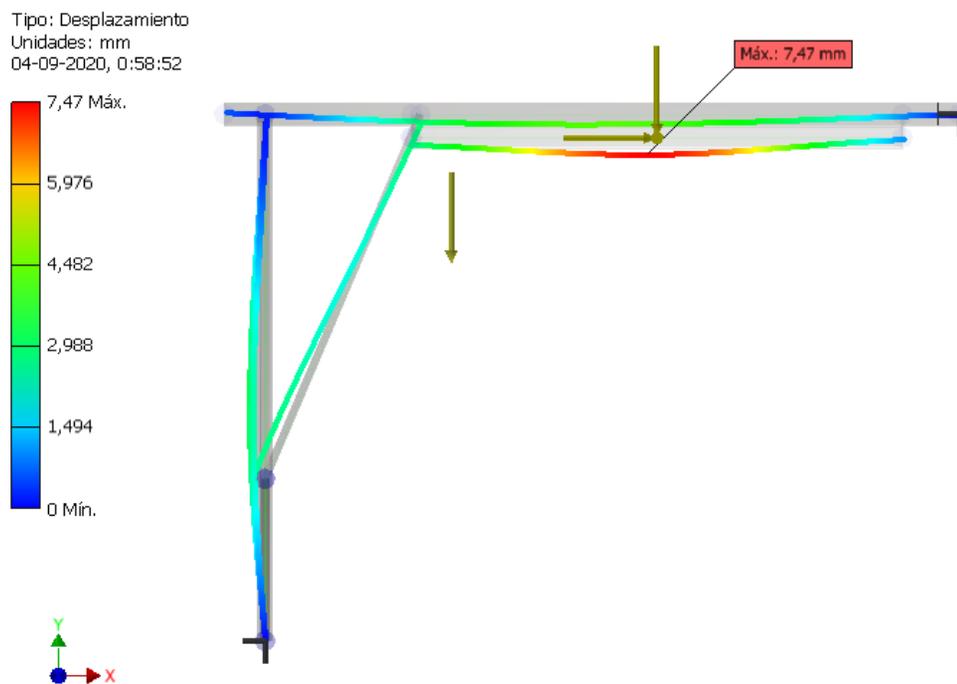


Figura A16: Deformación máx. caso de barras diagonales soldada al nodo central del pilar. Fuente: elaboración propia

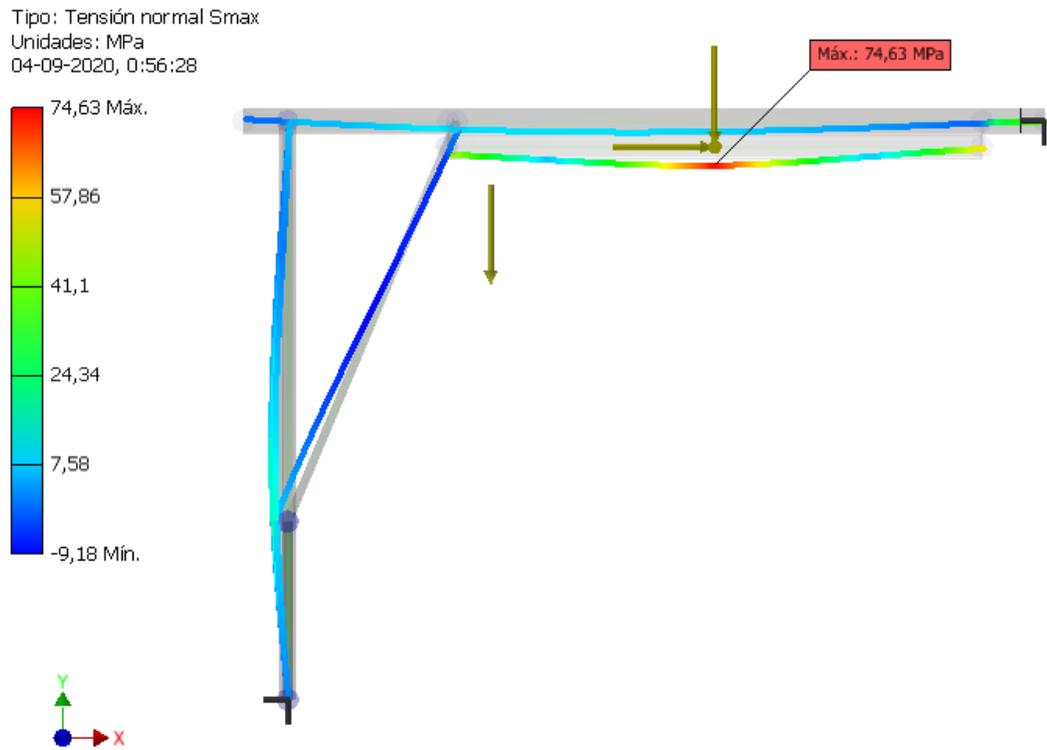


Figura A17: Esfuerzo máximo, caso de barra diagonal soldada al nodo central del pilar. Fuente: elaboración propia