



Cálculos estructurales, fabricación y montaje puente grúa de 1 tonelada

Carlos Alberto Chavarría Jaramillo

Trabajo de grado para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Asesor:
Silvio Andrés Salazar Martínez, MsC.

Universidad de Antioquia
Facultad de ingeniería
Departamento de ingeniería mecánica
Medellín, Colombia
2023

Cita	(Chavarría Jaramillo, 2023)
Referencia estilo APA 7 (2020)	Chavarría Jaramillo (2023). <i>Cálculos estructurales, fabricación y montaje puente grúa de 1 tonelada, 2023</i> [trabajo de grado]. Universidad de Antioquia, (Medellín).



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Julio César Saldarriaga

Jefe departamento: Pedro León Simancas

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi madre , por todo el amor, esfuerzo y dedicación. A mi padre, por inculcarnos el trabajo desde pequeños, experiencia que me ha servido en la vida laboral.

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a Danilo Atehortúa por la paciencia y dedicación, al enseñarme los procesos administrativos de Meiker y labores de un coordinador de proyectos, a Johan Rodas por aportarme su experiencia en fabricaciones y diseños, a John Vallejo, director general, Maricela Patiño, gerente general y dany por brindarme la oportunidad de hacer parte de Meiker S.A.S y al profesor Silvio Salazar, que aceptó el reto de acompañarme como asesor de prácticas. Sin su acompañamiento no habría sido posible este trabajo.

Tabla de contenido

Agradecimientos	3
Lista de tablas	6
Lista de figuras	7
Lista de símbolos	8
Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
1. Objetivos	13
1.1. Objetivo general	13
1.1.1. Objetivos específicos	13
2. Marco teórico	14
2.1. Esfuerzo y deformación unitaria	15
2.1.1. Esfuerzo	15
2.1.2. Deformación unitaria	16
2.2. Carga Axial, torsión, flexión y esfuerzo cortante transversal	17
2.3. Cargas combinadas	20
2.4. Transformación de esfuerzo y de deformación unitaria	20
2.4.1. Relaciones entre las propiedades del material	22
2.4.2. Teorías de falla	22
2.5. Diseño y deflexión de vigas	23
2.5.1. Diseño de vigas	23
2.5.2. Deflexión de vigas	24
2.6. Pandeo de columnas	25
2.7. Partes de un puente grúa	25
2.8. Tipos de puente grúa	27
2.8.1. Puente grúa birriel:	27
2.8.2. Puente grúa monorriel:	28
2.8.3. Puente grúa suspendido:	28
2.8.4. Puente grúa pórtico:	28
3. Metodología	30
3.1. Diseño	31
3.1.1. Calculo de Vigas	31
3.1.2. Calculo de columnas	43

3.2.	Cotización	43
3.3.	Solicitudes Administrativas	46
4.	Resultados	49
4.1.	Diseño	49
4.1.1.	Especificaciones	49
4.1.2.	Viga principal	49
4.1.3.	Viga Carrilera	49
4.1.4.	Columnas	49
4.2.	Cotización	49
4.2.1.	Cotizaciones de elementos de control y acometida eléctrica	51
4.2.2.	Solicitudes de fabricación	51
4.2.3.	Solicitud de pedido	51
4.2.4.	Solicitud de personal	52
4.3.	Montaje	52
4.3.1.	Estructura	52
4.3.2.	Viga horizontal, carros testers y elementos de izaje	52
4.3.3.	Conexiones eléctricas y elementos de control	52
5.	Análisis	58
6.	Conclusiones	59
6.1.	Conclusiones	59
6.2.	Recomendaciones	59
	Bibliografía	60
7.	Glosario	61
A.	Anexo: Tablas de propiedades	64

Lista de tablas

3.1.	Sistema de gestión parcial con 2 proyectos.	30
3.2.	Esfuerzos admisibles para aceros de alta resistencia (MPa)	37
3.3.	Allowable stresses	37
3.4.	Ficha técnica APR ingenieros	44
4.1.	Especificaciones del puente grúa	50
4.2.	Viga HEA200	50
4.3.	Viga IPE200	51
4.4.	Perfil estructural ASTM A500 grado C-100x100x2mm	51
A.1.	Dimensiones y propiedades de vigas HEA para el diseño	64
A.2.	Dimensiones y propiedades de las vigas IPE según norma EN 10025-2.	65
A.3.	Dimensiones y propiedades para perfiles estructurales cuadrados de 100x100	65

Lista de figuras

2.1.	Tipos de cargas	14
2.2.	Esfuerzo sobre un elemento diferencial	15
2.3.	Grafica Esfuerzo vs deformación	17
2.4.	Partes de un puente grúa.	27
2.5.	Grúa birrail.	28
2.6.	Grúa monorrail.	28
2.7.	Puente grúa suspendido.	29
2.8.	Puente grúa pórtico.	29
3.1.	Esquema del proceso de un proyecto	30
3.2.	Código en \LaTeX para diagrama de estructuras	32
3.3.	Diagrama de estructura, realizado en \LaTeX con el paquete stanli y TikZ	33
3.4.	Diagrama de cuerpo libre.	33
3.5.	Diagrama de fuerza cortante	34
3.6.	Diagrama de momento flector	35
3.7.	Sección transversal de la viga HEA200	36
3.8.	Curva elástica de la viga exagerada	36
3.9.	Diagrama cuerpo libre viga seccionada	38
3.10.	Diagrama de estructura viga IPE200	38
3.11.	Diagrama de cuerpo libre viga longitudinal.	38
3.12.	Diagrama de fuerza cortante viga longitudinal	39
3.13.	Diagrama de momento flector viga longitudinal	40
3.14.	Sección transversal de la viga IPE200	41
3.15.	Curva elástica de la viga IPE200 exagerada	41
3.16.	Diagrama cuerpo libre viga IPE200 seccionada	42
3.17.	Tabla de costos	44
3.18.	Tabla de discriminación de precios	45
3.19.	Primera pagina de cotización M-8331 V1	46
4.1.	Cotización Traincol	53
4.2.	Descripción de cotización y alcances M-8817 Polipasto Omicrón 6	54
4.3.	Modelo esquemático M-8817 Polipasto Omicrón 6	54
4.4.	Tabla de precios, aspectos comerciales y aclaraciones M-8817 Polipasto Omicrón 6	55
4.5.	paginas 1 y 2 planos de fabricación M-8817 Polipasto Omicrón 6	55
4.6.	paginas 6 y 7 planos de fabricación M-8817 Polipasto Omicrón 6	56
4.7.	Solicitud de fabricación	56
4.8.	Solicitud de pedido	57
4.9.	Solicitud de personal	57

Lista de símbolos

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	m^2	
A_n	Área normal	m^2	
c	Radio exterior	m	
D	Diámetro	m	
E	Módulo de elasticidad	$\frac{kJ}{mol}$	
F	Fuerza	1	
\vec{g}	Aceleración de la gravedad	$\frac{m}{s^2}$	
G	Módulo de rigidez	$\frac{N}{m^2}$	
h	Altura	m	
I	Momento de inercia	m^4	
J	Momento polar de inercia		
K	Coefficiente de equilibrio	1	
L	Longitud	m	
M	Momento flexionante	Nm	
m	Masa	kg	
N	Fuerza normal	N	
P	Presión	Pa	
P	Carga	N	
P_{falla}	Carga a la falla	N	
$P_{permisible}$	Carga permisible	N	
q	Flujo cortante	$\frac{N}{m}$	
Q	Momento de área	m^3	
t	espesor	m	
T	Momento torsional	Nm	
V	Fuerza cortante	N	
y	Distancial hasta el eje neutro	m	

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
γ_{xy}	Deformación cortante	m	
δ	Deformación total	m	
δ_{AB}	desplazamiento entre A y B	m	
ϵ	Deformación unitaria	m	
ν	Coefficiente de Poisson	1	
ρ	Densidad	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	
τ	Esfuerzo cortante	1	

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>F.S</i>	Factor de seguridad
<i>SG</i>	Sistema de gestión

Resumen

Se llevó a cabo el proceso de ingeniería y administrativo para el suministro de un puente grúa con capacidad para 1 tonelada, para la máquina de etiquetas Omicron 6, a la empresa Viapiani de Colombia, ubicada en la ceja, Antioquia. A partir de sus dimensiones, se realiza el modelo 3D del puente grúa, respetando los espacios de la misma, para cumplir con los requisitos del cliente. Se validó el modelo construido con cálculos de ingeniería, donde posteriormente se realiza la cotización del material necesario para su construcción en taller y se le presentó la cotización formal al cliente, luego de ser aceptada, se procedió con los procesos administrativos al interior de la empresa, esto es, solicitud de pedido de materiales, de personal y de fabricación a partir de los planos creados con el modelo 3D. Y por último, se llevó a cabo la instalación del puente grúa.

***Palabras clave:* Punte grúa, Modelo 3D, Solicitud de fabricación, cotización, cálculos de ingeniería, solicitud de pedido.**

Abstract

The engineering and administrative process was carried out for the supply of a bridge crane with a capacity of 1 ton, for its new Omicron 6 labeling machine, to the company Viappiani de Colombia located in La Ceja, Antioquia. From its dimensions, the 3D model of the bridge crane is made, respecting the spaces of the same, to meet customer requirements. The constructed model was validated with engineering calculations, where later the quotation of the necessary material for its construction was made in the workshop and the quotation was presented to the client, after being accepted, the administrative processes within the company proceeded, that is, request for ordering materials, personnel and request for manufacturing from the plans created with the 3D model. And finally the installation of the bridge crane was carried out.

***Keywords:* Bridge crane, 3D model, request for manufacturing, quotation, engineering calculations, request for ordering**

Introducción

Cuando se tiene la necesidad de realizar un diseño asistido por computador (CAD), hay un concepto que esta implícito, Incremento de la productividad, y es que, el modelado 3D desde su creación ha facilitado y agilizado el diseño de elementos mecánicos y estructurales. Ya que permite crear modelos bidimensionales y tridimensionales por medio de software de computador, esto, sin fabricar prototipos físicos que son costosos y complicados en su construcción. Lo que disminuye los tiempos de diseño y validación de los productos, para las empresas que hacen uso de técnicas CAD. Por otra parte, la evolución que han tenido los programas CAD ha llegado a permitir el análisis de fallas y pruebas a estos modelos virtuales con el mismo software. De lo anterior, puede entenderse por que el incremento de la productividad desde el diseño hasta la fabricación de piezas y estructuras es el común denominador cuando hablamos de software CAD. Como consecuencia, los costos de diseño son reducidos sustancialmente, dando mayor competitividad en un mercado laboral a sus usuarios, sin embargo, el coste de la licencia de estos debe ser tenido en cuenta.

Meiker S.A.S es una empresa de metal-mecánica, centrada en brindar soluciones industriales a sus clientes, esta, cuenta con dos modelos de trabajo. Administración delegada y proyectos llave en mano. El primero, es suministrar lideres altamente capacitado para coordinación de personal en la ejecución de los proyectos de los clientes. El segundo, es participar en los procesos de los clientes desde la etapa que consideren necesaria, esto puede ser desde el inicio, con el diseño, planeación y seguimiento, suministro de equipos y herramientas, suministro de materiales y consumibles, fabricación montaje y puesta en marcha de los procesos y proyectos de los clientes.

La empresa Viappiani, ubicada en la Ceja-Antioquia. Solicita la cotización de un puente grúa a su contratista Meiker, que permita el intercambio de rodillos con un peso aproximado de 200 kg y otros elementos a la nueva máquina, que adquirieron para aumentar su capacidad productiva la Omicrón 6. Para esto, se tienen los planos de dicha máquina y el área de trabajo que se tendrá, tanto para la máquina como para el puente grúa, esta, debe abarcar todo el área de trabajo de la máquina.

El primer paso llevado a cabo, es la verificación de medidas en el área, tanto de la maquina, como del espacio que se dispone para el puente grúa, y con esto, realizar la primera versión del modelo 3D del puente grúa . Como segundo punto se realizan cálculos estructurales con sus respectivos análisis, para validar que el anterior modelo 3D si cumple con las especificaciones necesarias de ingeniería, para suplir la necesidad de manera eficiente y segura. En tercera instancia, se elabora una cotización para el cliente, lo cual implica conocer los precios de los materiales necesarios y equipos pertinentes, tanto para fabricación, como para instalación, esto es: Acero, motores, mecanizados, elementos de control, pinturas, mano de obra, transporte, acometida eléctrica, gabinete de control, variador de velocidad, etc. Con todo esto claro, se puede construir una cotización formal, que al ser aprobada por el cliente, se procede con el cuarto paso que es diligenciar los formatos respectivos para la parte administrativa de la empresa, que son: Solicitud de pedido de materiales, de fabricación en planta, planos, adjuntando archivos DXF de elementos para corte en maquina de plasma o cizalla, Solicitud de transporte de todos los elementos fabricados a la plata Viappiani para su instalación. Finalmente se realizó el montaje del puente grúa en planta.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Diseño, calculo estructural y cotización de un puente grúa de 1 tonelada

1.1.1 Objetivos específicos

- Modelar en 3D el puente grúa con el programa Autodesk Inventor
- Realizar cálculos estructurales del puente grúa
- Solicitar cotizaciones de elementos de control y eléctricos con terceros
- Diligenciar solicitudes de pedido de material, pedido de personal, y orden de fabricación como proceso interno de la empresa.

2 Marco teórico

Cuando se requiere diseñar cualquier estructura metálica, en primer lugar se deben aplicar los fundamentos de la mecánica de materiales, para determinar con estos, las fuerzas que actúan sobre la estructura y las que se generan en sus distintas partes. Las dimensiones físicas de los elementos, su comportamiento y su estabilidad no dependen solo de las fuerzas que actúan sobre la estructura y las cargas internas, sino, también del material del que están construidas. Es por esto que se debe tener una clara comprensión del comportamiento del material y sus propiedades.

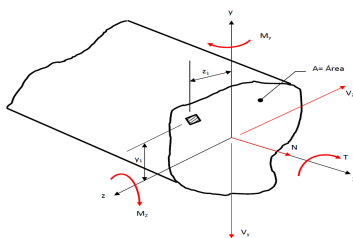
La aplicación de los principios de la estática, nos permite obtener las fuerzas resultantes en los miembros de la estructura, a partir de las cargas externas que actúan sobre este para garantizar el equilibrio estático. Para esto, se emplean las ecuaciones de equilibrio, con ellas se busca que exista un balance de fuerzas, para que la estructura no tenga movimiento de traslación ni rotación, en ninguna dirección, ni alrededor de ningún punto. Las ecuaciones aquí descritas, han sido adaptadas de: Hibbeler (2006), Beer et al. (2010): Las anteriores ecuaciones representan la sumatoria

$$\begin{aligned} \Sigma \vec{F} &= 0 \\ \Sigma \vec{M}_o &= 0 \end{aligned}$$

de fuerzas en los ejes de coordenadas x, y y z, así como la sumatoria de momentos alrededor de cualquier punto. las cuales deben ser cero para que la estructura u objeto esté en equilibrio estático. La manera de hacer este balance de fuerzas, es realizar un diagrama de cuerpo libre, el cual permite visualizar las líneas de acción de las fuerzas y los ejes de rotación. esto, permite una mejor comprensión de lo que ocurre en la estructura.

Otro de los objetivos de la aplicación de los principios de la estática, es poder determinar la fuerza y momento resultantes dentro de un cuerpo o elemento cuando se someten a cargas externas. Para esto, se utiliza el método de las secciones que consiste en cortar o seccionar el elemento en la ubicación donde se quieren hallar las cargas internas. Dibujando un diagrama de cuerpo libre en una de las secciones cortadas, aparecen cuatro tipos de fuerzas resultantes Fuerza normal **N**, Fuerza cortante **V**, Momento o par de torsión **T** y momento de flexión **M**. Ver figura 2.1.

Figura 2.1: Tipos de cargas



Nota. Fuente Chica (2018).

Para aplicar el método de las secciones se deben realizar los siguientes pasos:

1. Reacciones en los soportes, para lo cual se debe realizar el diagrama de cuerpo libre para el

cuerpo completo y obtener las reacciones en los soportes.

2. Diagrama de cuerpo libre, aquí se realiza el corte imaginario al cuerpo que se le desean hallar las cargas internas, se dibuja el diagrama de cuerpo libre a uno de los elementos cortados, mostrando las resultantes desconocidas, **N**, **V**, **M** y **T**, indicando el sistema de coordenadas en el que se va a trabajar.

3. Ecuaciones de equilibrio, se aplicarán las ecuaciones de equilibrio para obtener las resultantes desconocidas, sumatoria de fuerzas sumatoria de momentos.

2.1 Esfuerzo y deformación unitaria

2.1.1 Esfuerzo

Esfuerzo normal

La fuerza por unidad de área, o la intensidad de las fuerzas distribuidas a través de una sección dada y normal a un ΔA , se llama esfuerzo σ , si la dirección del esfuerzo sale de la sección se llama, esfuerzo de tensión y si entra a la sección se llama, esfuerzo de compresión.

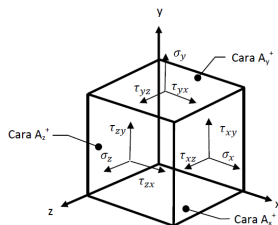
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Esfuerzo cortante

Similarmente la fuerza que actuó tangencialmente a un diferencial de área ΔA se le llama esfuerzo cortante τ y esta presenta dos componentes perpendiculares al esfuerzo normal en las componentes cartesianas restantes a la del esfuerzo normal. Siendo esto, si el esfuerzo normal esta en z σ_z , se tiene los esfuerzos cortantes τ_{zx} , τ_{zy} .

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (2.2)$$

Figura 2.2: Esfuerzo sobre un elemento diferencial



Nota. Fuente Chica (2018).

Concepto de seguridad

Cuando se realiza el diseño de miembros estructurales, se debe garantizar la seguridad, debido a varias razones. Los materiales empleados no son ideales, la geometría empleada no coincide exactamente con la empleada en los cálculos, el punto de aplicación y los valores de las cargas pueden variar, los cálculos no son totalmente exactos, para esto, se emplea el concepto de factor de seguridad.

$$F.S = \frac{P_{falla}}{P_{permisible}} \quad (2.3)$$

Si la cara esta linealmente relacionada con los esfuerzos pueden sustituirse en la anterior ecuación, para el caso de las columnas esto no es cierto, y debe usarse al ecuación con las cargas.

El valor del F.S debe ser mayor que 1 para evitar la falla del elemento, su valor superior dependerá de la aplicación y las normas existentes. además el esfuerzo calculado debe ser siempre menor que el esfuerzo admisible esto es $\sigma_{cal} < \sigma_{adm}$

Diseño de conexiones simples

Haciendo uso de las ecuaciones de esfuerzo y el concepto de factor de seguridad podemos hallar el área para que una carga no genere un esfuerzo normal o cortante no supere al esfuerzo admisible, así se tienen las siguientes ecuaciones.

$$A = \frac{P}{\sigma_{admisible}} \quad (2.4)$$

$$A = \frac{V}{\tau_{admisible}} \quad (2.5)$$

Con el área hallada y la geometría requerida, se puede dimensionar las conexiones.

2.1.2 Deformación unitaria

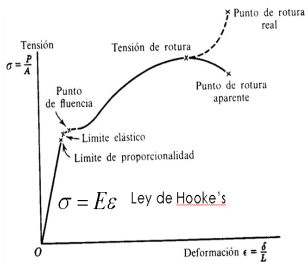
La deformación que también se conoce como deformación unitaria, se obtiene dividiendo el alargamiento total entre la longitud original del cuerpo. La deformación se denota con la letra griega minúscula ε

$$\varepsilon = \frac{Deformaciontotal}{Longitudoriginal} = \frac{\delta}{L} \quad (2.6)$$

2.3.

Para la mayoría de los metales, existe una relación lineal entre el esfuerzo aplicado y la deformación. Esta relación se conoce con el nombre de Ley de Hooke 's. E. Módulo de Elasticidad o Módulo de Young. Se lo puede interpretar como la rigidez, es decir, la resistencia del material a la deformación elástica.

Figura 2.3: Grafica Esfuerzo vs deformación



Nota. Fuente Chica (2018).

Utilizando la ley de Hooke y la definición de deformación podemos relacionar la deformación total con la fuerza aplicada, la longitud de la barra, el área de la sección transversal y su módulo de elasticidad en la siguiente ecuación, para hallar los desplazamientos en los elementos a diseñar.

$$\delta_{AB} = \frac{PL}{AE} \quad (2.7)$$

La fuerza de tensión en la barra la alarga en la dirección de la fuerza aplicada, pero al mismo tiempo, el ancho de la barra se acorta. De este modo, en el elemento de esfuerzo ocurre un alargamiento y contracción simultáneamente.

La relación entre la deformación en la dirección lateral y la de la deformación axial se define como relación de Poisson. Dicha relación se representa con la letra griega ν . Para la mayoría de los metales esta entre 0,25 y 0,35.

$$\nu = \frac{\varepsilon_{lateral}}{\varepsilon_{axial}} \quad (2.8)$$

Análogo al módulo de elasticidad E , se tiene el módulo de rigidez G , cuando el elemento está sometido a cortante, que son constantes del material las cuales están relacionadas con la relación de Poisson por medio de la siguiente ecuación.

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (2.9)$$

Al conocerse G y E del material, puede determinarse ν y con esto las deformaciones axiales o laterales con las ecuaciones de deformación.

2.2 Carga Axial, torsión, flexión y esfuerzo cortante transversal

Carga Axial

Ya tenemos como determinar el esfuerzo normal para elementos sometidos a cargas axiales, ahora se presentan las ecuaciones para determinar las deformaciones de estos elementos, si la carga P y el área A dependen de x tomando un diferencial dx .

$$\delta = \int_0^L \frac{P(x)dx}{A(x)E} \quad (2.10)$$

Ahora, si tanto P como A, son constantes se tiene la misma ecuación que teníamos anteriormente.

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (2.11)$$

torsión

Cuando se aplica un par de torsión sobre el eje longitudinal de un elemento esto ocasiona una deformación unitaria cortante γ , la cual “varia en forma lineal en cualquier línea radial hasta un máximo al extremo de su periferia”(Hibbeler, 2006, p, 181), tomando como c el radio exterior, ρ un radio entre 0 y C, J es el momento polar de inercia del área de la sección transversal y T el par de torsión interno que actúa en la sección transversal. Así, las ecuaciones necesarias son:

$$\tau = \frac{T\rho}{J} \quad (2.12)$$

El esfuerzo cortante máximo que ocurre en la superficie exteriores:

$$\tau_{max} = \frac{Tc}{J} \quad (2.13)$$

Donde J para una sección circular sólida es:

$$J = \frac{\pi}{2}c^4 \quad (2.14)$$

Y para una sección tubular circular J s:

$$J = \frac{\pi}{2}(c_0^4 - c_i^4) \quad (2.15)$$

El ángulo de torsión debido al par de torsión se determina con la siguiente ecuación:

$$\phi = \frac{TL}{JG} \quad (2.16)$$

Se puede ver a simple vista la similitud entre el ángulo de torsión ϕ y la deformación por carga axial δ

Flexión

Al flexionar una viga, las secciones transversales giran y hacen que las fibras longitudinales, inicialmente rectas, se curven, alargándose o acortándose según su posición en la viga. Llamaremos eje neutro a aquel contenido en el plano de sección transversal, respecto al cual gira la sección. El eje neutro es paralelo al vector momento flector aplicado. Existen fibras que no se alargan ni se acortan, éstas son las fibras neutras. La superficie que forma las líneas neutras se denominan superficies neutras.

$$\epsilon = -\frac{y}{\rho} \quad (2.17)$$

la deformación varía linealmente la deformación máxima es:

$$\epsilon_{max} = -\frac{c}{\rho} \quad (2.18)$$

$$\epsilon_x = -\left(\frac{y}{c}\right)\epsilon_{max} \quad (2.19)$$

Ahora se define los esfuerzos debido a la flexión. Para un material elástico se tiene:

$$\sigma = -\left(\frac{y}{c}\right)\sigma_{max} \quad (2.20)$$

Esta ecuación muestra la distribución del esfuerzo sobre la sección transversal de la viga sometida a flexión. Ahora se determina el esfuerzo en la viga, A partir del momento de inercia I calculado respecto al eje neutro, el momento aplicado M y la distancia a su eje neutro c. A las siguientes dos ecuaciones se les conoce como formula de la flexión.

$$\sigma_{max} = -\frac{Mc}{I} \quad (2.21)$$

$$\sigma = -\frac{My}{I} \quad (2.22)$$

Donde y es una distancia intermedia hasta el centroide c.

Esfuerzo cortante transversal

El esfuerzo cortante generado al interior de las vigas cuando sobre esta se aplica una carga transversal es obtenido a partir de la relación entre la fuerza cortante y la derivada del momento flector dada por.

$$V = \frac{dM}{dx} \quad (2.23)$$

y se utiliza para graficar el diagrama de fuerza cortante y momento flector. Se obtiene la siguiente ecuación para esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{VQ}{It} \quad (2.24)$$

donde V es la fuerza cortante, Q es el momento de área, I es el momento de inercia y t es el espesor de la sección transversal el punto donde se quiere hallar el esfuerzo cortante.

Flujo cortante: El flujo cortante es la fuerza por unidad de longitud que debe resistir un sujetador con el fin de realizar su diseño con el fin de evitar que dos piezas a unir se deslicen entre ellas. Es descrito por la siguiente ecuación:

$$q = \frac{VQ}{I} \quad (2.25)$$

Donde las variables se conocen de la ecuación de esfuerzo cortante. El valor del flujo se distribuirá entre el número de sujetadores que sean necesarios.

Este flujo cortante está relacionado con el esfuerzo cortante por la siguiente ecuación.

$$q = \tau t \quad (2.26)$$

Como el esfuerzo cortante, este flujo cortante también actúa en los planos longitudinales y transversales.

2.3 Cargas combinadas

Se calculan todos los tipos de esfuerzos presentes en el elemento y luego se superponen

2.4 Transformación de esfuerzo y de deformación unitaria

La transformación de esfuerzo es útil para llevar un esfuerzo de un sistema coordenado a otro. Un elemento diferencial cúbico tiene posee 6 componentes de esfuerzo normal y cortante por sus 6 caras. Sin embargo, esto generalmente no se presenta en la práctica de ingeniería, sino, que por medio de simplificaciones se llegan a estados de esfuerzo plano. El estado general de esfuerzo plano se representa por dos componentes de esfuerzo normal σ_x , σ_y y un esfuerzo cortante $\tau_{x,y}$, esto en el plano x,y. Para conocer el estado de esfuerzo de un punto con una orientación diferente x' , y' , conociendo el estado de esfuerzo en x,y. Se deberán calcular los esfuerzos normales en esta nueva orientación $\sigma_{x'}$, $\sigma_{y'}$ y $\tau_{x',y'}$, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sen 2\theta \quad (2.27)$$

$$\tau_{x'y'} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sen 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta \quad (2.28)$$

Si se desea conocer el esfuerzo normal máximo y mínimo tanto como su plano de orientación respecto al eje de coordenadas x,y se utilizan las siguientes ecuaciones que son obtenidas derivando las ecuaciones anteriores e igualándolas a cero y realizando simplificaciones.

Esfuerzo principal máximo en el plano:

$$\tan 2\theta_p = \frac{\tau_{xy}}{(\sigma_x - \sigma_y)/2} \quad (2.29)$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.30)$$

Dependiendo del signo se tiene el esfuerzo normal máximo o mínimo, Debe notarse que sobre los planos principales no actúa ningún esfuerzo cortante. Entonces se puede representar el estado general de esfuerzo de un punto por los esfuerzos normales máximo y mínimo, llamados esfuerzos principales

Análogamente se puede calcular, el plano en el que actúa el esfuerzo cortante máximo, así como su valor, derivando e igualando a cero, la ecuación del esfuerzo plano (4.28), las ecuaciones resultantes son las siguientes:

$$\tan 2\theta_s = \frac{-(\sigma_x - \sigma_y)/2}{\tau_{xy}} \quad (2.31)$$

$$\tau_{maxenelplanos} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.32)$$

En el plano s también actúa un esfuerzo normal promedio obtenido como se muestra:

$$\sigma_{prom} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \quad (2.33)$$

Además de este, existe un esfuerzo máximo absoluto en un plano a 45° con su esfuerzo normal promedio asociado, obtenidos por las siguientes ecuaciones:

$$\tau_{max-abs} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (2.34)$$

Si los esfuerzos principales son del mismo signo, el esfuerzo cortante máximo absoluto se presentará fuera del plano y se calcula así:

$$\tau_{max-abs} = \frac{\sigma_{max}}{2} \quad (2.35)$$

$$\sigma_{prom} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (2.36)$$

Se continúa con la transformación de la deformación unitaria, en un punto es similar a la transformación del esfuerzo vista anteriormente. Si se comparan las siguientes ecuaciones con las mostradas anteriormente para la transformación del esfuerzo plano, se nota inmediatamente sus similitudes, tomado esfuerzo normal σ ahora como deformación normal ϵ y esfuerzo cortante τ como deformación cortante γ

Para la deformación normal $\epsilon_{x'}$ en una dirección x' y la deformación cortante $\gamma_{x'y}$ de un elemento a un ángulo θ se tiene:

$$\epsilon_{x'} = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos 2\theta + \frac{\gamma_{xy}}{2} \sen 2\theta \quad (2.37)$$

$$\frac{\gamma_{x'y'}}{2} = -\frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \sen 2\theta + \gamma_{xy} \cos 2\theta \quad (2.38)$$

Ahora para las deformaciones principales se tiene:

$$\tan 2\theta_p = \frac{\gamma_{xy}}{\epsilon_x - \epsilon_y} \quad (2.39)$$

$$\epsilon_{1,2} = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} \sqrt{\left(\frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{xy}}{2}\right)^2} \quad (2.40)$$

Para la deformación unitaria cortante máxima en el plano s a 45°

$$\tan 2\theta_s = \frac{-(\epsilon_x - \epsilon_y)}{\gamma_{xy}} \quad (2.41)$$

$$\frac{\gamma_{maxenelplanos}}{2} = \sqrt{\left(\frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{xy}}{2}\right)^2} \quad (2.42)$$

En el plano s también actúa una deformación normal promedio obtenido como se muestra:

$$\epsilon_{prom} = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} \quad (2.43)$$

Para la deformación unitaria cortante máxima.

$$\gamma_{max-abs} = \frac{\epsilon_{max} + \epsilon_{min}}{2} \quad (2.44)$$

$$\epsilon_{prom} = \frac{\epsilon_{max} + \epsilon_{min}}{2} \quad (2.45)$$

2.4.1 Relaciones entre las propiedades del material

Existen relaciones entre las propiedades de los materiales. Estas serán expuestas a continuación, suponiendo estos homogéneos y expuestos esfuerzos multiaxiales

generalización de la ley de Hooke

Cuando un material es sometido en un punto a un esfuerzo triaxial en los ejes coordenados x,y,z este elemento sufre una deformación normal expresada por; $\epsilon'_x = \frac{\sigma_x}{E}$, $\epsilon''_x = \frac{\sigma_y}{E}$, $\epsilon'''_x = \frac{\sigma_z}{E}$ respectivamente por cada esfuerzo normal. y para obtener ϵ_x , basta con sumar estas tres. similarmente se puede llegar a una expresión para ϵ_y y ϵ_z , las cuales representan la ley de Hooke de forma generalizada.

$$\epsilon_x = \frac{1}{E}[\sigma_x] - \nu(\sigma_y + \sigma_z) \quad (2.46)$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{E}[\sigma_y] - \nu(\sigma_x + \sigma_z) \quad (2.47)$$

$$\epsilon_z = \frac{1}{E}[\sigma_z] - \nu(\sigma_x + \sigma_y) \quad (2.48)$$

De la misma manera se tiene las ecuaciones de la ley de Hooke cuando solo actúan esfuerzos cortantes generando deformaciones cortantes

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{G}\tau_{xy}, \gamma_{yz} = \frac{1}{G}\tau_{yz}, \gamma_{zx} = \frac{1}{G}\tau_{zx} \quad (2.49)$$

Relación para E, ν y G

Existe una relación entre el módulo de cortante y módulo de elasticidad del material y la relación de Poisson como se muestra a continuación, con lo cual conociendo propiedades del material podemos conocer como serán sus deformaciones.

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (2.50)$$

2.4.2 Teorías de falla

Las teorías de de falla se basan en los esfuerzos principales, por esto si se utiliza una teoría en particular se necesita hallar primero la componentes de la deformación cortante y normal donde son mayores esto es donde ocurren los esfuerzos principales. Como el puente grúa no trabajará en condiciones extremas de temperatura o presión sólo se presentan las teorías para materiales dúctiles.

Teoría del esfuerzo cortante máximo

También conocido con criterio de fluencia de Tresca en mención a quien lo propuso, este se usa para predecir cual es el esfuerzo de falla de un material dúctil, con cualquier carga aplicada.

Este dice que para evita la fluencia del material el esfuerzo cortante máximo absoluto $\tau_{max.abs}$ debe ser igual o menor que el esfuerzo de fluencia σ_Y .

$$\tau_{max} \leq \frac{\sigma_Y}{2} \quad (2.51)$$

Para una condición de esfuerzo plano, si ambos esfuerzos tienen mismo signo la falla ocurrirá fuera del plano y se usa la ecuación 4.35 $\tau_{max-abs} = \frac{\sigma_{max}}{2}$, pero si son de signos opuestos la falla está dentro del plano y se usa la ecuación 4.36 $\tau_{max-abs} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$, con estas ecuaciones y la anterior teniendo los dos esfuerzos principales y el esfuerzo de fluencia se realiza la gráfica y los esfuerzos principales deben estar dentro de la figura o de lo contrario el material fallará por fluencia.

Teoría de la energía de distorsión máxima

También llamada de Von Mises, dice que un material fluye cuando u, energía por volumen unitario sobrepasa esta energía en el momento del ensayo de tensión de una probeta del material. La densidad de energía de deformación es la energía por volumen unitario que se almacena debido a deformaciones y esta dada por:

$$u = \frac{1}{2} \sigma \epsilon \quad (2.52)$$

Si estamos en un caso de esfuerzo plano biaxial se tiene la ecuación:

$$\sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2^2 = \sigma_Y^2 \quad (2.53)$$

Si se grafica esta ecuación se tiene una elipse en un eje coordenado y si se ubica el punto σ_1 , σ_2 en x e y respectivamente el punto debe caer dentro de la elipse para que no ocurra la falla. Esta teoría es un 15 % mas precisa que la teoría de esfuerzo cortante máximo

2.5 Diseño y deflexión de vigas

2.5.1 Diseño de vigas

Para el diseño de vigas con materiales dúctiles como es el acero en las condiciones normales de Colombia, es necesario asegurarse que tanto el esfuerzo cortante como el de flexión reales no excedan los límites permisibles por los códigos estructurales y/o mecánicos en los que se basen las leyes colombianas. Para un diseño por flexión se requiere hallar el módulo de sección de la viga, propiedad geométrica dada por $S = I/c$. Usando la ecuación de flexión $\tau_{perm} = \frac{VQ}{It}$ para asegurarse que no se excede el esfuerzo cortante permisible.

$$S_{req} = \frac{M_{max}}{\sigma_{perm}} \quad (2.54)$$

Donde M_{max} se halla del diagrama de momento de la viga y σ_{perm} se obtiene de un código de diseño. Para vigas de sección transversal en I se puede elegir una viga particular que cumpla el requisito de $S \geq S_{req}$ para tomar en cuenta el momento adicional creado por el peso de la viga. Cuando se ha verificado el diseño por flexión se procede a utilizar la ecuación del esfuerzo cortante.

2.5.2 Deflexión de vigas

La curva elástica

El desplazamiento en las vigas en ocasiones debe estar restringido dentro de un intervalo, dependiendo su aplicación. Por otro lado, cuando una viga es estática mente indeterminada, es importante determinar las pendientes y los desplazamientos a fin de determinar las reacciones. Si se tiene la curva elástica pueden definirse puntos críticos donde la pendiente sea cero ya que la deflexión en estos puntos puede ser máxima.

Relación momento-curvatura

Una relación entre la deformación normal ϵ de una fibra de viga, el momento interno y , el radio de curvatura ρ es

$$\frac{1}{\rho} = -\frac{\epsilon}{\sigma_{perm}} \quad (2.55)$$

Aplicando la ley de Hooke y el esfuerzo por flexión se tiene que.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (2.56)$$

Donde ρ = el radio de curvatura en el punto sobre la curva elástica ($\frac{1}{\rho}$ se conoce como la curvatura) . M = el momento interno en la viga en el punto . E = el módulo de elasticidad del material . I = el momento de inercia de la viga con respecto al eje neutro .

Deflexión de vigas

Ecuación de flexión de Euler-Bernoulli: Esta ecuación relaciona la fuerza de flexión aplicada a una viga, la deflexión de la viga y las propiedades geométricas y mecánicas de la viga. La ecuación es:

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (2.57)$$

Donde:

M es el momento de flexión

E es el módulo de elasticidad del material

I es el momento de inercia de la sección transversal de la viga

w es la deflexión de la viga

d^2w/dx^2 es la segunda derivada de la deflexión con respecto a la posición x

Ecuación de la línea elástica: Esta ecuación se utiliza para determinar la forma que adopta una viga bajo carga. La ecuación es:

$$y = u(x) + v(x)w \quad (2.58)$$

Donde:

y es la altura de la viga en un punto dado

x es la posición a lo largo de la viga

$u(x)$ es la forma inicial de la viga

$v(x)$ es la pendiente de la viga

Ecuación de carga máxima: Esta ecuación se utiliza para determinar la carga máxima que puede soportar una viga sin fallar. La ecuación es:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2.59)$$

Donde:

P_{cr} es la carga crítica o máxima que puede soportar la viga sin fallar

E es el módulo de elasticidad del material

I es el momento de inercia de la sección transversal de la viga

L es la longitud de la viga

2.6 Pandeo de columnas

Las ecuaciones del pandeo de columnas se utilizan para calcular la carga crítica en la que una columna de sección transversal dada falla debido al pandeo. El pandeo es una falla en la que una columna se dobla lateralmente debido a la carga axial.

Momento de inercia de la sección transversal:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (2.60)$$

Donde b es el ancho y h es la altura de la sección transversal rectangular.

Factor efectivo de longitud: Donde L_{eff} es la longitud efectiva de la columna y h es la altura de la sección transversal rectangular.

Longitud efectiva de la columna:

$$L_{eff} = 0.5 \cdot L \quad (2.61)$$

Donde L es la longitud real de la columna.

Carga crítica de pandeo de Euler:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(L_{eff})^2} \quad (2.62)$$

Donde E es el módulo de elasticidad del material de la columna.

Esfuerzo axial crítico de pandeo:

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} \quad (2.63)$$

Donde A es el área transversal de la columna.

Factor de seguridad:

$$FS = \frac{Cargademodelo}{Cargacriticadepandeo} \quad (2.64)$$

2.7 Partes de un puente grúa

Entre las partes que conforman un puente grúa se tienen: Polipasto, viga del puente, carros testers, sistema de rieles, moto-reductor, caja de control, botonera, cable y gancho. Como puede verse en la figura 2.4.

1. Polipasto
2. Trolley
3. Viga principal o viga puente
4. Vigas testeras
5. Vigas Carrileras.
6. Mando de control cableado o radio control.
7. Sistema eléctrico del puente grúa.
8. Gancho
9. Cable del Polipasto.
10. Rieles
11. Rueda Motriz
12. Rueda Conducida
13. Rueda del Puente
14. Tope o Fin carrera del carro.

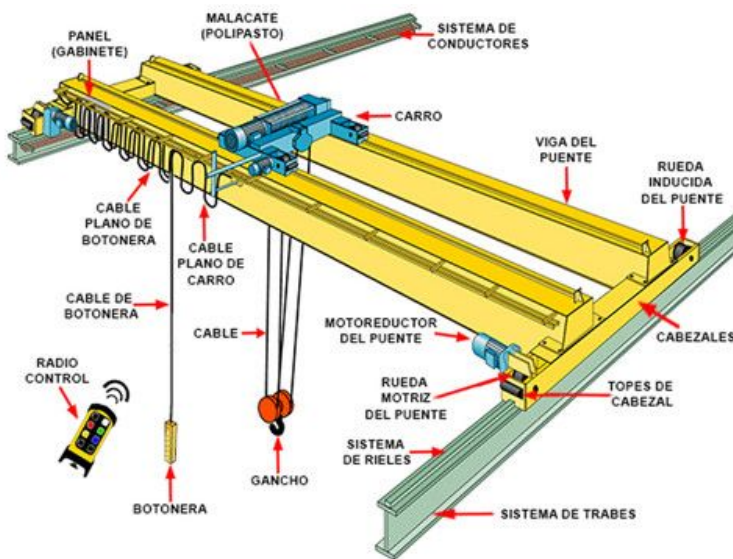
- **Polipasto:** Es un mecanismo formado por dos conjuntos de poleas, una fija y otra con movilidad sujeta por una cable, cuerda o cadena, con ello es posible levantar cargas muy pesadas con una fuerza menor al peso del objeto. La fuerza que ejerce el polipasto es igual al peso de la carga a levantar sobre dos por el número de poleas móviles, es decir un polipasto común con una polea fija y móvil puede levantar un objeto con una fuerza a la mitad del peso de ese objeto. Jurado (2015).
- **Trolley:** Es un sistema compuesto por una estructura que consta de un mecanismo de elevación, desplazamiento y transporte de carga. Esta unidad consta del marco estructural que sirve como estructura de apoyo, para soportar los mecanismos de elevación y desplazamiento del Trolley. Jurado (2015).
- **Viga principal o viga puente:** Es el elemento de mayor jerarquía de un puente grúa, debido a que de éste depende los elementos de elevación de carga, estas vigas principalmente se encuentran sometidas a fuerzas de flexión. Están manufacturadas generalmente de perfiles I o de secciones huecas, de acuerdo a los requerimientos dados en el diseño Villón and Naranjo (2016).

- **Vigas testeras:** Son vigas dispuestas de manera perpendicular a la viga principal. Por lo general son diseñados de perfiles estructurales en secciones huecas soldadas. En estas estas vigas se encuentran las ruedas, que deberán estar perfectamente alineadas y montadas sobre las vigas carrileras Villón and Naranjo (2016).
- **Vigas carrileras:** Estas soporta las cargas dinámicas producidas por el movimiento longitudinal del sistema, con la cual se tiene que garantizar la seguridad estructural de los puentes grúas. A esta viga se la acopla con un riel en su ala superior que permita el desplazamiento de las ruedas Villón and Naranjo (2016).

2.8 Tipos de puente grúa

Los puentes grúa se utilizan en una amplia variedad de industrias para el transporte de materiales pesados y voluminosos, incluyendo la industria de la construcción, la industria minera, la industria metalúrgica y la industria de la logística. Algunos tipos de puente grúa se describen a continuación.

Figura 2.4: Partes de un puente grúa.

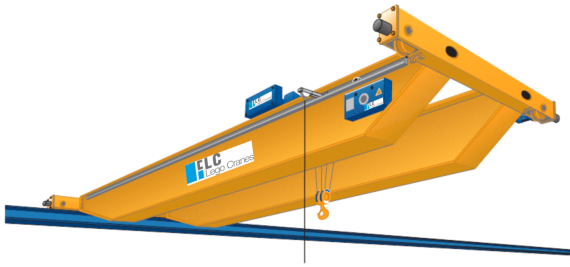


Nota.Fuente <https://proelevacion.com/tipos-de-puente-gruas/> ProElevacion (2021).

2.8.1 Puente grúa birriel:

Es un tipo de puente grúa que consta de dos vigas principales paralelas entre sí, conocidas como carriles de rodadura, que están soportadas por columnas y que permiten el movimiento de la grúa en un plano horizontal. La grúa se suspende de estas vigas principales mediante un sistema de ruedas y poleas que le permite moverse a lo largo de los carriles de rodadura. Se utiliza comúnmente en talleres y naves industriales para el transporte de cargas pesadas. Ver figura 2.5.

Figura 2.5: Grúa birrail.



Nota. Fuente <https://legocranes.com.co/puente-gruas/> Lego Cranes (2023).

2.8.2 Puente grúa monorraíl:

Es un tipo de puente grúa que consiste en una única viga principal que se apoya en soportes a lo largo de la estructura de la grúa. La grúa se mueve a lo largo de esta viga principal mediante un sistema de ruedas y poleas. Se utiliza comúnmente en áreas donde el espacio disponible es limitado.2.6.

Figura 2.6: Grúa monorraíl.



Nota. Fuente <https://apringenieros.com/puente-grua/> Apr Ingenieros (2023).

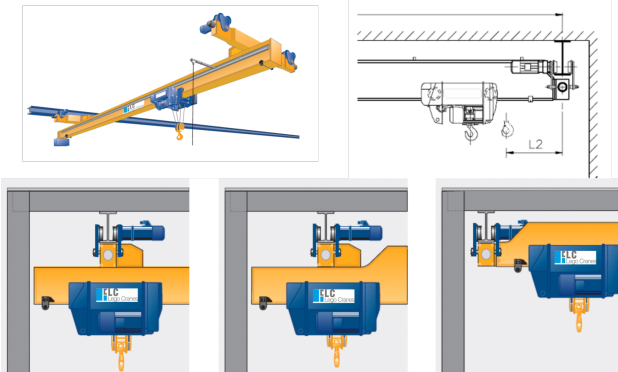
2.8.3 Puente grúa suspendido:

Es un tipo de puente grúa que se suspende del techo o de una estructura superior mediante un sistema de cables o cadenas. Este tipo de grúa es ideal para espacios de trabajo donde los carriles de rodadura no pueden ser instalados en el suelo, ver figura 2.7.

2.8.4 Puente grúa pórtico:

Es un tipo de puente grúa que se compone de una viga principal soportada por dos patas y una viga de puente que se mueve a lo largo de la viga principal. Se ensamblan y desmontan rápida

Figura 2.7: Puente grúa suspendido.



Nota. Fuente <https://legocranes.com.co/puente-gruas/> Lego Cranes (2023).

y fácilmente, lo que las hace ideales para su uso en instalaciones alquiladas o en múltiples áreas de trabajo Este tipo de grúa. Se utiliza comúnmente en la construcción de puentes y otras estructuras de gran tamaño, ver figura 2.8.

Figura 2.8: Puente grúa pórtico.



Nota. Fuente <https://legocranes.com.co/puente-gruas/> Lego Cranes (2023).

3 Metodología

Cuando un cliente de una planta en particular, le solicita al coordinador de Meiker la cotización para un proyecto, este, debe iniciar una serie de acciones que permitirán llevar a cabo tanto la cotización para su aprobación, como la fabricación y montaje del mismo. Proceso esquematizado en la figura 3.1.

Figura 3.1: Esquema del proceso de un proyecto



El primer paso que debe realizarse es registrar en el sistema de gestión(SGI) de la planta, el proyecto, con nombre, fecha, consecutivo y nombre del cliente, esto se hace para tener el registro de la fecha donde inicia el proyecto. Como se muestra en la tabla 3.1

Tabla 3.1: Sistema de gestión parcial con 2 proyectos.

Consecutivo	Fecha cotización	Nombre	cliente	Ing. Responsable	Estado
M-8817 V2	15-06-2022	Polipasto Omicrón 6	VIAPPIANI	Juan Gaviria	Facturado
M-11579 V6	2023-04-05	Estructura Manteca	CNCH	Tatiana Alonso	En proceso

Posterior a esto, el coordinador decide si enviar al departamento de diseño las especificaciones del proyecto para que estos inicien el diseño y puedan entregar el despiece de materiales

necesarios. Otra opción que tiene, es delegar este trabajo al auxiliar de ingeniería o líder de proyectos bajo las directrices del coordinador. Lo anterior con el propósito de disminuir el tiempo de respuesta a la cotización. Dado que, el departamento de diseño puede estar de igual manera, saturado de trabajo, y en efecto se puede evidenciar la ayuda de el auxiliar de ingeniería o líder de proyectos mencionados.

En este punto es menester prestarle atención a todos los aspectos. Teniendo en cuenta que, las medidas con las que se realiza el diseño, las especificaciones de los materiales y del proyecto, deben estar totalmente acordes con las solicitadas por el cliente. Para evitar posteriores desacuerdos o re-procesos, que significan pérdidas de tiempo y utilidad del proyecto.

3.1 Diseño

Según la CMMA-70 Specification for Structural Steel Buildings, los esfuerzos permisibles para tensión, compresión y cortante se pueden ver en la tabla 3.3 , adaptada de (of Ame-rica, 2010, p. 18), y según la ANSI-AISC 360-16 Specification for Structural Steel Building .^A limitation is provided so that the shear yield strength, $0.6F_y$, is not exceeded"(of Steel Construc-tion, 2016, p. 367), donde es más conservadora incluso la CMMA-70 con $0.35F_y$.

Por lo tanto, la comprobación del diseño, se realizará bajo los parámetros de esfuerzos permisibles.

3.1.1 Calculo de Vigas

Para la viga principal se tienen en cuenta su propio peso 236.88 kg, ver figura en los anexos ??, el peso del polipasto 65 kg y el peso de la carga de 1 tonelada, para un total de 1301.88 kg. con esto se buscan las reacciones en los apoyos, la carga aplicada puede verse en la figura 3.3. Para el que sea de interés, los diagramas de las estructuras se realizaron en \LaTeX con ayuda de los paquetes TikZ y Stanli Hackl (2020) ver figura 3.2

En el punto A se tiene dos reacciones R_x , R_y y en el punto C solo se tiene una reacción R_C de la figura 3 . 4. Realizando sumatoria de fuerzas y momentos en la figura 3.4. se hallan las reacciones en los puntos A y B.

$$\begin{aligned}\Sigma F_X &= 0 \Rightarrow \mathbf{R_x=0} \\ \Sigma F_Y &= 0 \Rightarrow R_y + R_c - 12,771 = 0 \\ \Sigma M_A &= 0 \Rightarrow -12.771KN \cdot 2.8m + R_c \cdot 5.6m = 0 \\ R_c &= \frac{12.771KN \cdot 2.8m}{5.6m} \\ \mathbf{R_c=6.3855 KN} \\ \mathbf{R_y=6.3855 KN}\end{aligned}$$

Luego, se trazan los diagramas de fuerza cortante, figura 3.5 y momento flector figura 3.6. De la tabla A1. Tenemos los valores del momento de inercia y el S requerido de la Viga HEA200.

$$\begin{aligned}\text{Momento de inercia respecto al eje x. } I_{xx} &= 3690cm^4 \\ \text{Momento de resistencia. } S_{req} &= 389cm^3\end{aligned}$$

Figura 3.2: Código en \LaTeX para diagrama de estructuras

```
\begin{figure}
  \centering
  \caption{Diagrama de viga , realizado en
           \LaTeX con el paquete stanli y TikZ }
  \begin{tikzpicture}
    \scaling{1};
    % Nodos
    \point{a}{0}{1};
    \point{b}{5}{1};
    \point{c}{10}{1};
    \point{d}{10.3}{.4};
    \point{e}{9.7}{.4};
    % Barras
    \beam{2}{a}{b};
    \beam{2}{b}{c};
    % Apoyos
    \support{1}{a};
    \support{2}{c};
    % Uniones
    \hinge{1}{b};
    \hinge{1}{d}
    \hinge{1}{e}
    % Fuerzas
    \load{1}{b}[90];
    % Nombres de nodos
    \notation{1}{a}{A}[left];
    \notation{1}{b}{B};
    \notation{1}{c}{C};
    \notation{1}{b}{\unit[12771.4]{N}}
    [above=10mm, left];
    % Cotas
    \dimensioning{1}{a}{b}{-1}[\unit
    [2800]{mm}];
    \dimensioning{1}{b}{c}{-1}[\unit
    [2800]{mm}];
  \end{tikzpicture}
  \label{fig:Viga1-1}
\end{figure}
```

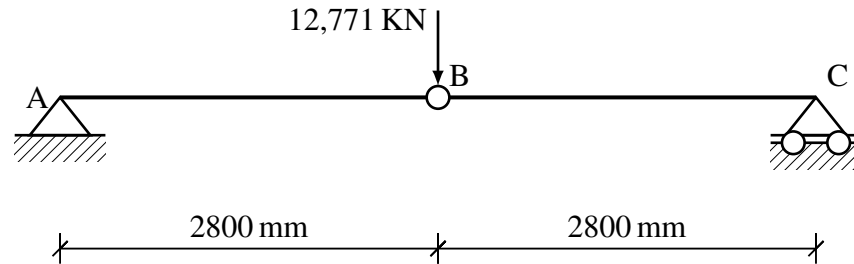
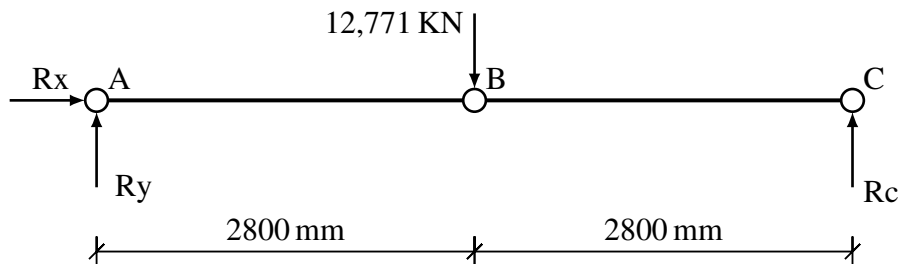
Figura 3.3: Diagrama de estructura, realizado en $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ con el paquete stanli y TikZ

Figura 3.4: Diagrama de cuerpo libre.

**Ecuaciones de fuerza cortante**

$$\text{intervalo } [0, 2.8] \quad V_x = \frac{dM}{dx} = 6.3855 \text{ kN}$$

$$\text{intervalo } [2.8, 5.6] \quad V_x = \frac{dM}{dx} = -6.3855 \text{ kN}$$

Ecuaciones de momento flector

$$\text{intervalo } [0, 2.8]$$

(X desde el extremo izquierdo)

$$M_x = 6.3855x$$

$$\text{intervalo } [2.8, 5.6]$$

(X desde el extremo izquierdo)

$$M_x = 6.3855x - 12.771(x - 2.8)$$

$$M_x = 35.7588 - 6.3855x$$

Momento máximo en $x = 2.8 \text{ m}$

$$M_{max} = 17.88 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Luego se verifica que no falle por cortante, es decir que $\tau_{max} < \tau_{admissible}$, además verificar que el esfuerzo normal máximo, sea menor que esfuerzo normal permisible, esto es. $\sigma_{max} < \sigma_{admissible}$. La sección transversal de la viga en I se puede ver en la figura. 3.7 , Las demás propiedades de la viga HEA pueden ser consultadas en la tabla A1

Utilizando la ecuación. 2.21 tenemos:

De la ecuación 2.54, despejando para el esfuerzo permisible $\sigma_{perm} = \frac{M_{max}}{S_{req}}$

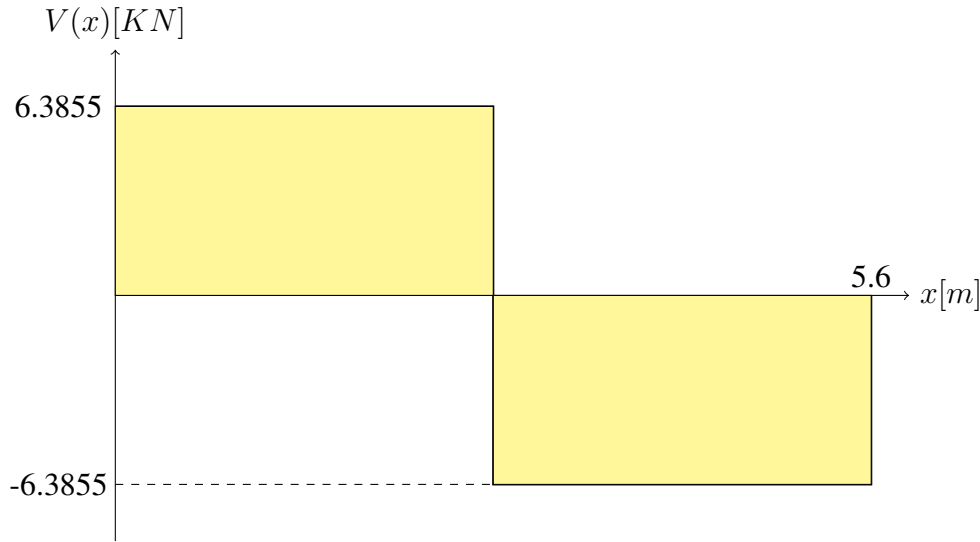
$$\sigma_{perm} = \frac{17.789 \text{ kNm}}{0.00000389 \text{ m}^3} = 4.57 \text{ GPa} < \sigma_{admissible}$$

$$\sigma_b = -\frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_b = -\frac{17879 \text{ Nm} \cdot 0.0065 \text{ m}}{0.00003690 \text{ m}^4}$$

$$\sigma_b = 233.5 \text{ MPa} < \sigma_{perm} < \sigma_{admissible}$$

Figura 3.5: Diagrama de fuerza cortante



Utilizando la ecuación. 2.24 tenemos:

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

$$\tau = \frac{6385.5N \cdot 0.0053m^2 \cdot (0.08)m}{0.00003690m^4 \cdot 0.0065m}$$

$$\tau = 11.46MPa$$

De la ecuación 2.30 y con los valores de σ_{max} y τ se hallan los esfuerzos principales, en lugar de usar el círculo de Mohr.

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_b}{2} \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{233.5MPa}{2} \sqrt{\left(\frac{233.5MPa}{2}\right)^2 + 11.46MPa^2}$$

$$\sigma_{max} = 245.06MPa < \sigma_{adm} = 250MPa \Rightarrow$$

Teniendo estos resultados de esfuerzo principal máximo y esfuerzo cortante máximo, recurrimos a la norma (of Steel Construction, 2016, p. 258), ya que el alcance de esta es. "The basic purpose of the provisions in this Specification is the determination of the nominal and available strengths of the members, connections and other components of steel building structures."

y nos indica que el esfuerzo máximo de los componentes no deberá exceder un esfuerzo permisible bajo condiciones de servicio: "Traditional ASD is based on the concept that the maximum stress in a component shall not exceed a specified allowable stress under normal service conditions"(of Steel Construction, 2016, p. 272)

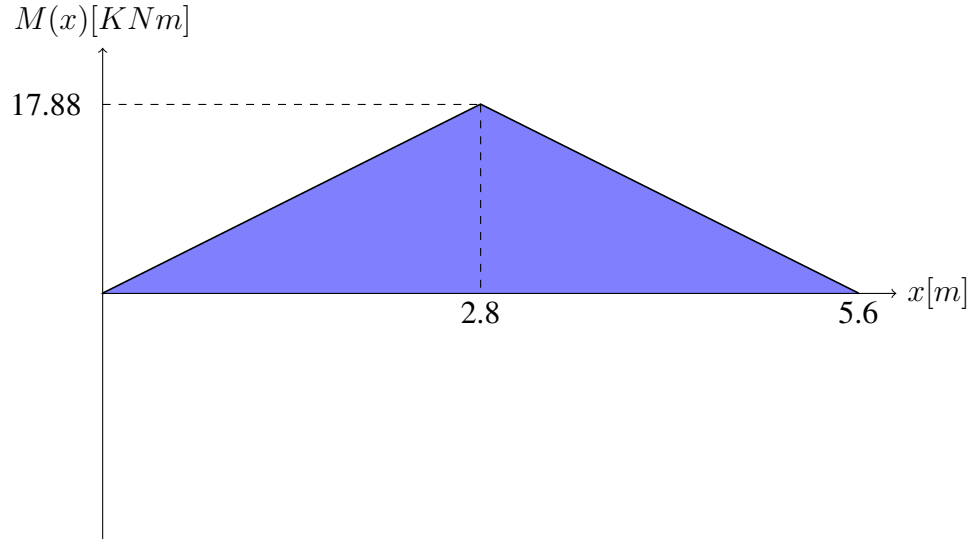
De los resultados obtenidos para σ_{max} y para τ_{max} anteriormente y de tabla 3.2 y la figura ?? se tiene.

$$\sigma_{max} = 245MPa < \sigma_{admissible} = \sigma_y = 250MPa \Rightarrow \text{Cumple}$$

$$\tau_{max} = 11.46MPa < \tau_{admissible} = 0.35\sigma_y = 120.75Mpa \Rightarrow \text{Cumple}$$

Para el cálculo de la deflexión de la viga mostrada en la figura 3.8 se procede a continuación. La sección de la viga conforme a la norma CMMA 70, of America (2010) donde se admite

Figura 3.6: Diagrama de momento flector



una deformación máxima de $L/600$ para un puente grúa tipo C, donde se debe cumplir con una deformación máxima de: 9.33mm

$$\delta_{max} = \frac{5600}{600} = 9.33mm$$

Se realiza una corte justo antes de llegar a la aplicación de la carga en el centro ver figura 3.9

$$\begin{aligned}\Sigma M_{corte} &= 0 \\ -(P/2) \cdot x + M_x &= 0 \\ \text{Despejando para M} \\ M_x &= (P/2) \cdot x\end{aligned}$$

De la ecuación 2.57 se tiene:

$$\begin{aligned}\frac{d^2v}{dx^2} &= \frac{M}{EI} \\ \text{Despejando para M} \\ EI \frac{d^2v}{dx^2} &= M = (P/2) \cdot x \\ \text{Integrando respecto a x:} \\ EI \frac{dv}{dx} &= \frac{Px^2}{4} + C1 \\ \text{Integrando por segunda vez respecto a x:} \\ EIv &= \frac{Px^3}{12} + C1 \cdot x + C2 \\ \text{Las condiciones de frontera son:}\end{aligned}$$

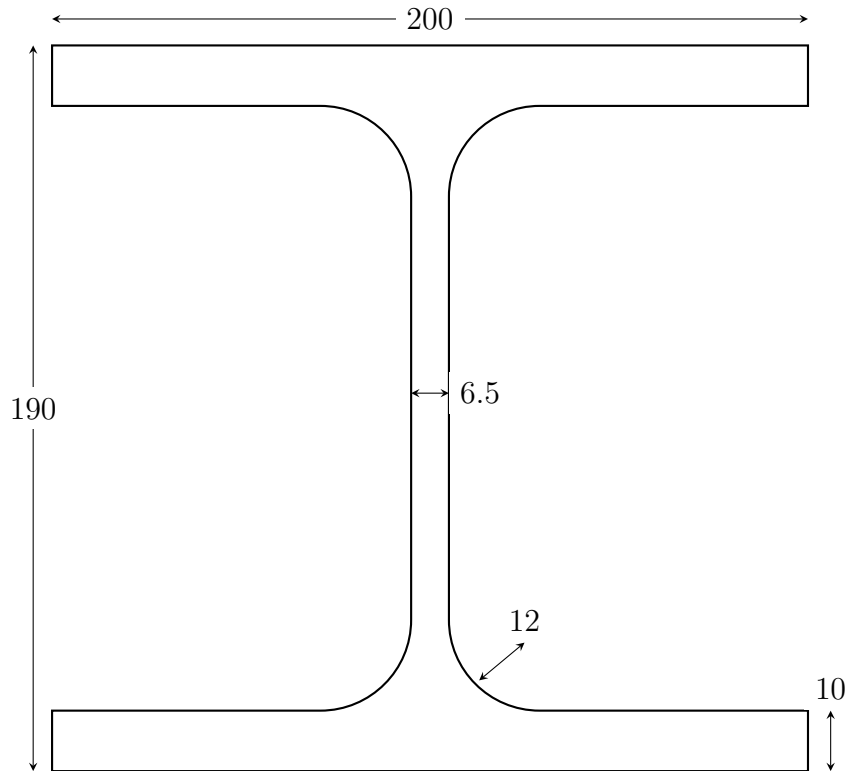
$$v = 0 \text{ cuando } x = 0$$

$$\frac{dv}{dx} = 0 \text{ Cuando } x = \frac{L}{2}$$

Sustituyendo las condiciones de frontera en las anteriores 2 ecuaciones se tiene:

$$\begin{aligned}C1 &= -\frac{PL^2}{16} \\ C2 &= 0\end{aligned}$$

Figura 3.7: Sección transversal de la viga HEA200



Con esto, La ecuación de la curva elásticas queda de la forma:

$$EIv = \frac{Px^3}{12} + \left(-\frac{PL^2}{16}\right) \cdot x$$

Como la deflexión máxima se da en $x = L/2$ evaluamos para $v=f(x = L/2)$

$$v_B = \left(\frac{P(L/2)^3}{12} + \left(-\frac{PL^2}{16}\right) \cdot (L/2)\right)/(EI)$$

$$v_B = \left(\frac{PL^3}{96} - \frac{PL^3}{32}\right)/(EI)$$

$$v_B = -\frac{PL^3}{48EI} \tag{3.1}$$

Reemplazando los valores de L, E e I se tiene una deflexión de:

$$v_B = -\frac{12.771KN \cdot (5.6m)^3}{48(200GPa)(0.00003690m^4)} \quad v_B = 0.00633m$$

Figura 3.8: Curva elástica de la viga exagerada

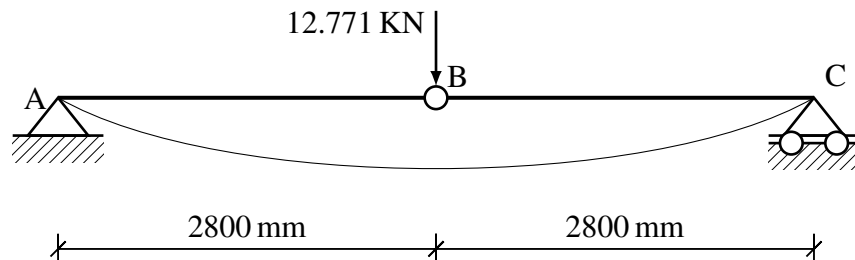


Tabla 3.2: Esfuerzos admisibles para aceros de alta resistencia (MPa)

Grado de acero	Esfuerzo admisible	
	Tensión de fluencia (F_y)	Tensión última (F_u)
A36 Grado 50	250	400-550
A572 Grado 50	345	450
A572 Grado 65	450	550
A588	345	485
A709 Grado 50	345	450
A709 Grado 50W	345	450
A709 Grado HPS50W	345	450
A709 Grado HPS70W	485	585
A852	485	585

Nota. adaptada de of Steel Construction (2016).

$$v_B = 6.33mm$$

Conforme a la deformación máxima permitida por la norma CMAA 70(of America, 2010, p.366) se tiene que:

$$\delta_{perm} = \frac{5600mm}{600} = 9.33mm$$

Del resultado anterior podemos ver claramente que:

$$v_B = 6.33mm < \delta_{perm} = 9.33mm \Rightarrow \text{Cumple}$$

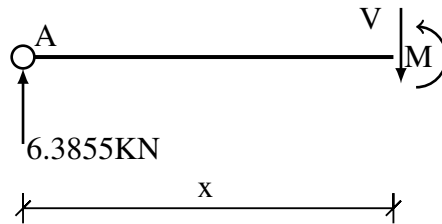
Para realizar los cálculos de la viga de desplazamiento longitudinal, se seguirá la misma metodología usada anteriormente para la viga principal.

Tabla 3.3: Allowable stresses

STRESS LEVEL AND CASE	ALLOWABLE COMPRESSION STRESS	ALLOWABLE TENSION STRESS	ALLOWABLE SHEAR STRESS	ALLOWABLE BEARING STRESS
1	$0.60\sigma_{yp}$	$0.60\sigma_{yp}$	$0.35\sigma_{yp}$	$0.75\sigma_{yp}$
2	$0.66\sigma_{yp}$	$0.66\sigma_{yp}$	$0.375\sigma_{yp}$	$0.80\sigma_{yp}$
3	$0.75\sigma_{yp}$	$0.75\sigma_{yp}$	$0.43\sigma_{yp}$	$0.90\sigma_{yp}$

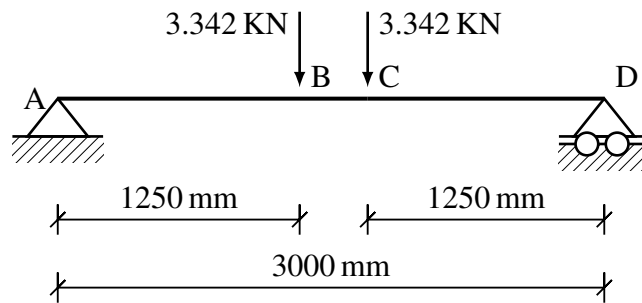
Nota. adaptada de of America (2010).

Figura 3.9: Diagrama cuerpo libre viga seccionada



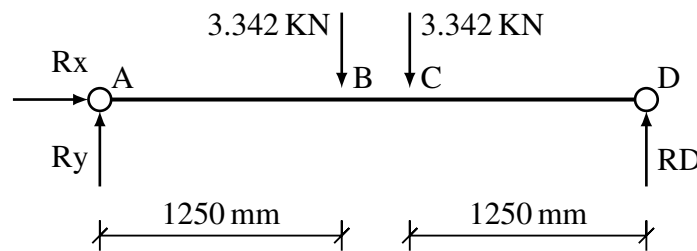
Para la viga de desplazamiento longitudinal(IPE200) se tienen en cuenta su propio peso 236.88 kg, la deflexión solo ocurrirá ente los puntos de soportes de las columnas, ver tabla en los anexos A.2 el peso del carro Testero 30.5 kg y de la reacción en $R_y=650.91$ kg, para un total de 681.41 kg. con esto se buscan las reacciones en los apoyos, la carga aplicada puede verse en la figura 3.10.

Figura 3.10: Diagrama de estructura viga IPE200



En el punto A se tiene dos reacciones R_x , R_y y en el punto C solo se tiene una reacción R_D de la figura 3.10. Realizando sumatoria de fuerzas y momentos en la figura 3.11. se hallan las

Figura 3.11: Diagrama de cuerpo libre viga longitudinal.



reacciones en los puntos A y D.

$$\begin{aligned} \Sigma F_X &= 0 \Rightarrow \mathbf{R_x=0} \\ \Sigma F_Y &= 0 \Rightarrow R_y + R_D - 2 \cdot (3342) = 0 \\ \Sigma M_A &= 0 \Rightarrow -3.342KN \cdot 1.250m - 3.342KN \cdot 1.750m + R_c \cdot 3.0m = 0 \\ R_c &= \frac{(10.026KNm)}{3.0m} \\ \mathbf{R_c=3.342 KN} \\ \mathbf{R_y=3.342 KN} \end{aligned}$$

Luego, se trazan los diagramas de fuerza cortante, figura 3.12 y momento flector figura 3.13. De la tabla A.2. Tenemos los valores del momento de inercia y el S requerido de la Viga IPE200.

$$\text{Momento de inercia respecto al eje } x. I_{xx} = 1943\text{cm}^4$$

$$\text{Momento de resistencia. } S_{req} = 194\text{cm}^3$$

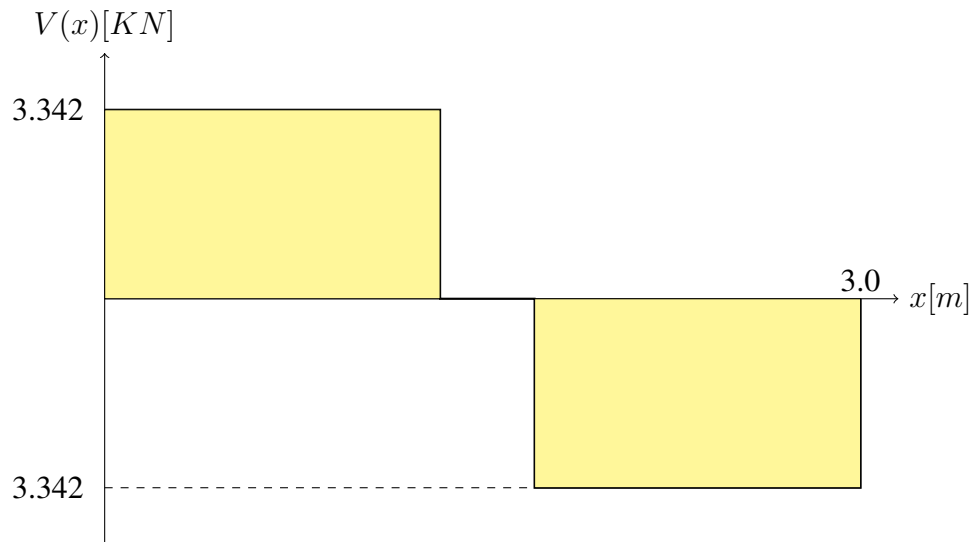
Ecuaciones de fuerza cortante viga longitudinal

$$\text{intervalo } [0,1.775] V_x = \frac{dM}{dx} = 3.342\text{KN}$$

$$\text{intervalo } [1.775,2.275] V_x = \frac{dM}{dx} = 0\text{KN}$$

$$\text{intervalo } [2.275,4.05] V_x = \frac{dM}{dx} = -3.342\text{KN}$$

Figura 3.12: Diagrama de fuerza cortante viga longitudinal



Ecuaciones de momento flector viga longitudinal

$$\text{intervalo } [0,1.250]$$

(X desde el extremo izquierdo)

$$M_x = 3.342x$$

$$\text{intervalo } [1.250,1.750]$$

(X desde el extremo izquierdo)

$$M_x = 3.342x - 3.342(x - 1.250)$$

$$M_x = 4.29$$

Momento máximo en $1.250 \leq x \leq 1.750\text{m}$

$$M_{max} = 4.29\text{Nm}$$

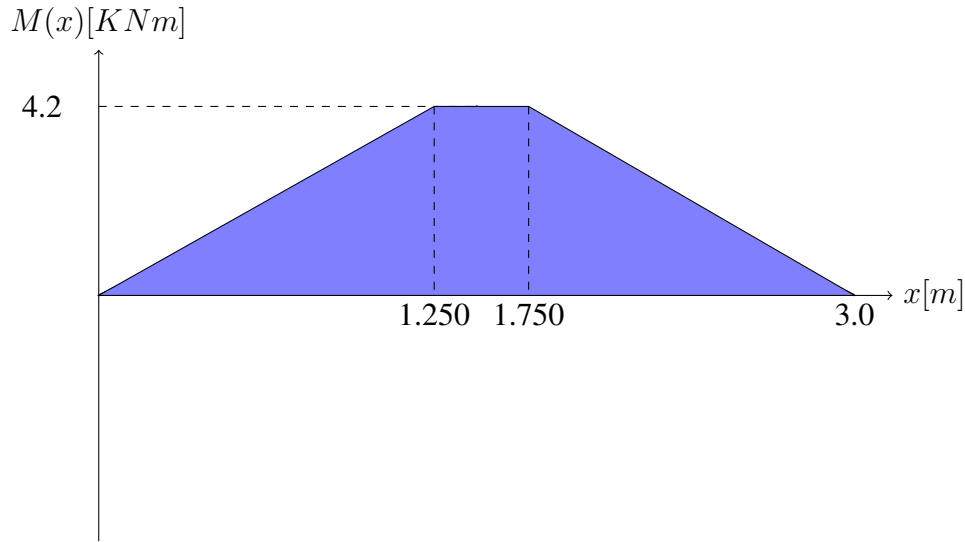
$$\text{intervalo } [1.750, 3.0]$$

(X desde el extremo izquierdo)

$$M_x = 3.342x - 3.342(x - 1.250) - 3.342(x - 1.750)$$

$$M_x = -3.342x + 10.02$$

Figura 3.13: Diagrama de momento flector viga longitudinal



Luego se verifica que no falle por cortante, es decir que $\tau_{max} < \tau_{admissible}$, además verificar que el esfuerzo normal máximo, sea menor que esfuerzo normal permisible, esto es. $\sigma_{max} < \sigma_{admissible}$. La sección transversal de la viga en I se puede ver en la figura. 3.14 , Las demás propiedades de la viga IPE pueden ser consultadas en la tabla A.2

Utilizando la ecuación. 2.21 tenemos:

De la ecuación 2.54, despejando para el esfuerzo permisible $\sigma_{perm} = \frac{M_{max}}{S_{req}}$

$$\sigma_{perm} = \frac{4.29KNm}{0.00001943m^3} = 220.8kPa < \sigma_{admissible}$$

$$\sigma_b = -\frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_b = -\frac{4290Nm \cdot 0.1m}{0.00001943m^4}$$

$$\sigma_b = 22.08MPa < \sigma_{perm} < \sigma_{admissible}$$

Utilizando la ecuación. 2.24 tenemos:

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

$$\tau = \frac{3342N \cdot 0.00285m^2 \cdot (0.1)m}{0.00001943m^4 \cdot 0.0056m}$$

$$\tau = 8.75MPa$$

De la ecuación 2.30 y con los valores de σ_{max} t τ se hallan los esfuerzos principales, en lugar de usar el círculo de Mohr.

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_b}{2} \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{22.08MPa}{2} \sqrt{\left(\frac{22.08MPa}{2}\right)^2 + 8.75MPa^2}$$

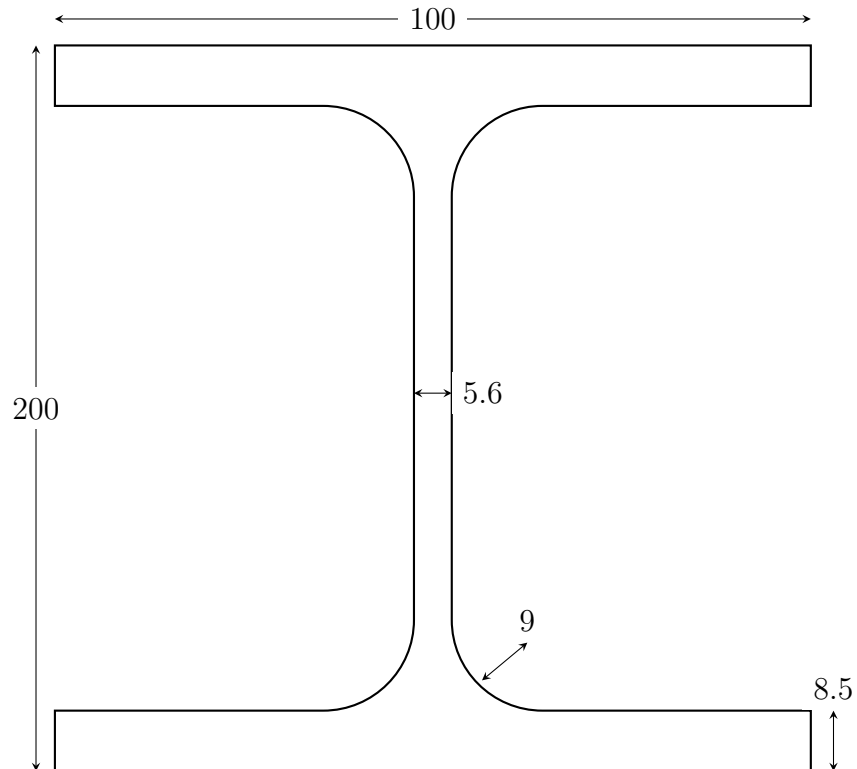
$$\sigma_{max} = 155.52MPa < \sigma_{adm} = 250MPa \Rightarrow$$

De los resultados obtenidos para σ_{max} y para τ_{max} anteriormente y de tabla 3.2 y la tabla A2 se tiene.

$$\sigma_{max} = 155.52MPa < \sigma_{admissible} = \sigma_y = 345MPa \Rightarrow \text{Cumple}$$

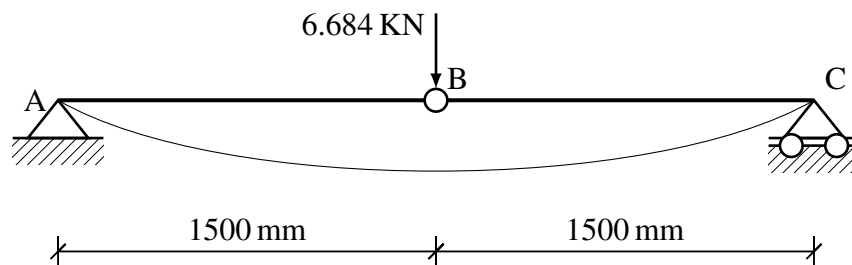
$$\tau_{max} = 8.75MPa < \tau_{admissible} = 0.35\sigma_y = 120.75Mpa \Rightarrow \text{Cumple}$$

Figura 3.14: Sección transversal de la viga IPE200



Para el cálculo de la deflexión de la viga mostrada en la figura 3.15 se toma igual a la deflexión con una sola carga en el centro, solo que aquí se suman las dos cargas puntuales y se ubica en el centro de estas dos para simplificar el problema. La sección de la viga conforme a la norma CMMA 70, of America (2010) donde se admite una deformación máxima de $L/600$ para un puente grúa tipo C, donde se debe cumplir con una deformación máxima de: 5mm

Figura 3.15: Curva elástica de la viga IPE200 exagerada

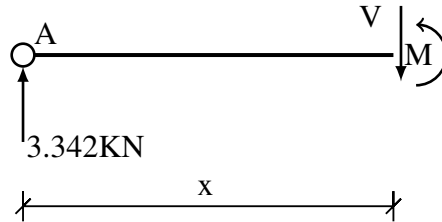


$$\delta_{max} = \frac{3000}{600} = 5mm$$

Se realiza una corte justo antes de llegar a la aplicación de la carga en el centro ver figura 3.16

$$\Sigma M_{corte} = 0$$

Figura 3.16: Diagrama cuerpo libre viga IPE200 seccionada



$$-(P/2) \cdot x + M_x = 0$$

Despejando para M

$$M_x = (P/2) \cdot x$$

De la ecuación 2.57 se tiene:

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI}$$

Despejando para M

$$EI \frac{d^2v}{dx^2} = M = (P/2) \cdot x$$

Integrando respecto a x:

$$EI \frac{dv}{dx} = \frac{Px^2}{4} + C1$$

Integrando por segunda vez respecto a x:

$$EIv = \frac{Px^3}{12} + C1 \cdot x + C2$$

Las condiciones de frontera son:

$$v = 0 \text{ cuando } x = 0$$

$$\frac{dv}{dx} = 0 \text{ Cuando } x = \frac{L}{2}$$

Sustituyendo las condiciones de frontera en las anteriores 2 ecuaciones se tiene:

$$C1 = -\frac{PL^2}{16}$$

$$C2 = 0$$

Con esto, La ecuación de la curva elástica queda de la forma:

$$EIv = \frac{Px^3}{12} + \left(-\frac{PL^2}{16}\right) \cdot x$$

Como la deflexión máxima se da en $x = L/2$ evaluamos para $v=f(x = L/2)$

$$v_B = \left(\frac{P(L/2)^3}{12} + \left(-\frac{PL^2}{16}\right) \cdot (L/2)\right) / (EI)$$

$$v_B = \left(\frac{PL^3}{96} - \frac{PL^3}{32}\right) / (EI)$$

$$v_B = -\frac{PL^3}{48EI} \quad (3.2)$$

Reemplazando los valores de L, E e I se tiene una deflexión de:

$$v_B = -\frac{6.684\text{KN} \cdot (3.0\text{m})^3}{48(200\text{GPa})(0.00001943\text{m}^4)} \quad v_B = 0.00026\text{m}$$

$$v_B = 0.26\text{mm}$$

Conforme a la deformación máxima permitida por la norma CMAA 70 (of America, 2010, p.366) se tiene que:

$$\delta_{perm} = \frac{3000\text{mm}}{600} = 5\text{mm}$$

Del resultado anterior podemos ver claramente que:

$$v_B = 0.26mm < \delta_{perm} = 5mm \Rightarrow \text{Cumple}$$

3.1.2 Cálculo de columnas

Las columnas son fabricadas en tubería estructural cuadrada en acero al carbono ASTM500 grado C, 100x100x2mm, con una resistencia a la fluencia de 345 MPa, un momento de inercia $I=0.000007605 \text{ m}^4$, tienen una longitud de $L=3720\text{mm}$ por tanto de la ecuación 2.61 se tiene:

$$L_{eff} = 0.5 \cdot 3.72m$$

$$L_{eff} = 1.86m$$

Con los datos anteriores se halla la carga crítica de pandeo de Euler con la ecuación 2.62.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 200GPa \cdot 0.00000123m^4}{(1.86m)^2}$$

$$P_{cr} = 707.8KN$$

Luego, como la carga que esta actuando sobre las columnas es:

$$6.68KN \ll P_{cr} \Rightarrow \text{Cumple}$$

3.2 Cotización

Acto seguido, el coordinador con ayuda del formato en Excel, llamado tabla de costos, empezará a tener en cuenta todos los elementos que conforman la cotización, una representación de esto, puede verse en la figura.3.17. Teniendo en cuenta esto, el coordinador, el auxiliar de ingeniería y/o el líder de proyectos debe tener una visión amplia de todos los pasos que se ejecutarán durante la vida del proyecto. Sin embargo, esto es una habilidad de se adquiere con experiencia y se debe pulir día a día.

Como puede verse en la figura 3.17, se tienen 7 items que deben ser completados por el coordinador. Cada uno será describe a continuación:

- **Materiales-Equipos:** En esta sección de la tabla de costos se agregarán adicional a los materiales que se obtuvieron a partir del diseño, todos los equipos que se requieran para realizar el montaje del proyecto. Estos pueden ser, compresor, equipo de corte por plasma y oxicorte, taladro magnético, etc. Una de las fichas técnicas consultadas con los proveedores se puede ver en la tabla 3.4.
- **Consumibles:** Estos son elementos o insumos que serán necesarios tanto para la fabricación como para el montaje, que se emplean y se gastan en el proyecto. Es posible que cierta cantidad de los consumibles aquí indicados no se gasten completamente y pueda reflejarse en un ahorro en otros proyectos. Nuevamente, la cantidad de consumibles que se piden, se logra con experiencia. sin embargo, hay algunos en los que se pueden realizar estimaciones, como lo son los electrodos de soldadura, pintura, anticorrosivo y thinner. Entre estos consumibles se

Figura 3.17: Tabla de costos

OBRA A COTIZAR:		DATOS PERSONALES			VALOR TOTAL PROYECTO.		
VIAPPANI		Nombre Y Apellido	Cargo	FECHA DE ELABORACIÓN:			
		IDENTIFICACION	Danielo Melhortua				
		DESTINATARIO	Juan Gaviria				
NOMBRE DEL PROYECTO:		CORRELATIVO	AIU General				
Estructura metalica		8817	24%	COSTO	AIU	TOTAL	
				\$ 36,406,581	\$ 8,556,817	\$ 44,963,398	
1. MATERIALES-EQUIPOS DE IZAJE-EQUIPOS ESPECIALES	AIU	19%	\$ 29,278,440 (COSTO)	\$ 5,562,904 (AUI)	\$ 34,841,344 (SUBTOTAL)	77.5%	
2. CONSUMIBLES	AIU	45%	\$ 1,177,236 (COSTO)	\$ 529,756 (AUI)	\$ 1,706,992 (SUBTOTAL)	3.8%	
3. HERRAMIENTA	AIU	45%	\$ 594,700 (COSTO)	\$ 267,615 (AUI)	\$ 862,315 (SUBTOTAL)	1.9%	
4. MANO DE OBRA	AIU	48%	\$ 4,474,097 (COSTO)	\$ 2,013,343 (AUI)	\$ 6,487,440 (SUBTOTAL)	14.4%	
5. EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL	AIU	45%	\$ 87,108 (COSTO)	\$ 39,199 (AUI)	\$ 126,307 (SUBTOTAL)	0.3%	
6. TRANSPORTES Y LOGISTICA	AIU	45%	\$ 320,000 (COSTO)	\$ 144,000 (AUI)	\$ 464,000 (SUBTOTAL)	1.0%	
7. VIATICOS	AIU	0%	\$ 475,000 (COSTO)	\$ - (AUI)	\$ 475,000 (SUBTOTAL)	1.1%	

Tabla 3.4: Ficha técnica APR ingenieros

Aplicación	Traslación de carga
Capacidad	0.5 - 100 Toneladas
Velocidad de traslación	12 m/min - 60 m/min
Velocidad de izaje	4 m/min - 40 m/min
Potencia	0.5 hp - 7.5 hp
Control	Velocidad variable Variador de frecuencia

pueden encontrar, pipetas de oxígeno y acetileno, discos de corte, discos de pulir, discos de circonio, gratas trenzadas, hojas de lija de varios números, etc. una ayuda que se tiene en la tabla de costos es que los consumibles están listados con su precio, solo se debe concentrarse en la cantidad.

- **Herramientas:** Este es otro de los apartados más importantes en la cotización, ya que en él, se tiene en cuenta toda la herramienta necesaria para el montaje e instalación del proyecto. Aquí también, se dispone de una lista de las herramientas de las que dispone Meiker, que va desde andamios y equipos de fijación, hasta herramienta para rosca tubería y soldadores.
- **Mano de obra:** Junto a los materiales, la mano de obra es el ítem que más porcentaje representa en el valor de una cotización. Por consiguiente, este apartado se debe tratar con sumo cuidado. porque aquí, es donde la empresa Meiker esta obteniendo rentabilidad por la mano de obra capacitada que esta suministrando a los clientes, y de la cual se dispone para el salario de los empleados.
- **Equipos de protección individual:** Los proyectos que desarrolla la empresa Meiker, son de los mas riesgosos que existen en la industria, y es un riesgo catalogado como tipo 5. Es por

esto, que a los trabajadores se les debe dotar de elementos de protección que disminuyan estos riesgos al máximo, entre estos se encuentran, arnés, eslingas y mosque-tones para trabajos en alturas, caretas para pulir soldar y extintores para trabajos en caliente, conos de balizar mangas y guantes de baqueta, etc.

- **Transporte y logística:** Dado el crecimiento que esa teniendo la empresa Meiker, esta, tiene un número considerable de clientes, y cada coordinador en sus plantas debe recibir los materiales y fabricaciones desde el taller de Meiker. Dentro de la cotización se debe tener este ítem en cuenta, para que el costo de estos fletes no se vea reflejado en la utilidad de los proyectos.
- **Viáticos:** Algunos de los clientes que posee Meiker no se encuentran ubicados dentro del área metropolitana, y muchos de sus trabajadores pertenecen a esta. Es por ello, que se le brinda a los empleados que laboran fuera del área metropolitana el valor del transporte, para movilizarse hasta su planta de trabajo. Dentro de los viáticos, también, se debe tener en cuenta la alimentación si dentro de la planta no es permitido el ingreso de alimentos, como por ejemplo en la compañía nacional de chocolates, y Colcafé. Puesto que, cuentan con comedores de Sodexo, por diversas razones, como el control de plagas por residuos, orden, etc.

Entonces, al completar todos los ítem anteriormente mencionados. Con la tabla de costos, se tiene un valor para la cotización. y que dependiendo del cliente, este valor debe ser representado en una tabla discriminando cada ítem, como se muestra en la siguiente figura 3.18. Como ejemplo

Figura 3.18: Tabla de discriminación de precios

POR PROYECTO					
(M-8331)	Descripción	Cant.	Días	Valor día	Valor
Fabricación, suministro e instalación de pasamanos	Auxiliar	1	4,0	\$ 168.520,00	\$ 674.080,00
	Pailero	1	3,0	\$ 214.910,00	\$ 644.730,00
	Soldador calificado	1	2,0	\$ 238.830,00	\$ 477.660,00
	SST	1	0,5	\$ 200.880,00	\$ 100.440,00
	Coordinador	1	0,2	\$ 315.170,00	\$ 63.034,00
	Total mano de obra				
EPP y EPI					\$ 41.793,00
Materiales					\$ 1.083.653,00
Herramientas					\$ 176.233,00
Consumibles					\$ 259.190,00
Trasporte y Logistica					\$ 334.768,00
Polizas					\$ 35.015,00
Total trabajo					\$ 3.890.596,00
A.I.U					\$ -
Total Trabajo SIN iva					\$ 3.890.596,00

se presenta la primera página de la cotización del proyecto para la Compañía nacional de chocolates M-8331 Fabricación, suministro e instalación de pasamanos en la figura 3.19.

Ahora bien, si el cliente aprueba la cotización y es recibida la orden de compra por parte de este, se da inicio al proceso administrativo, para que, al interior de la empresa se realice la gestión, tanto para la compra de los materiales, la fabricación del proyecto y la gestión de los empleados que ejecutarán el montaje en planta, si en la misma no se dispone de este personal.

Figura 3.19: Primera pagina de cotización M-8331 V1



Rionegro, 27 de enero de 2022 Consecutivo M-8331-V1

Juan Pablo Correa
Ingeniero residente de mantenimiento
Construcciones y servicios

Asunto: Cotización

Estimado cliente en respuesta a la solicitud de cotización, por **Fabricación, suministro e instalación de pasamanos.**



Se fabricará, suministrara e instalaran 10 metros lineales de pasamanos en tubería de acero al carbón de 2" rectangular PTS de 2mm, mas platina de apoyo y pernos de sujeción de 3/8" con una base anticorrosiva.

1. **Alcance del proyecto**
 - 1.1. Fabricación de pasamanos
 - 1.2. Pintura estructural pasamanos
 - 1.3. Fabricación de platineria
 - 1.4. Transporte de estructura metálica, herramienta y consumibles para la instalación.
 - 1.5. Instalación de pasamanos en área destinada por el cliente
 - 1.6. Acabados y pintura
 - 1.7. Orden y aseo del área intervenida.



Consejo Colombiano de Seguridad



Registro Uniforme para Contratistas



CCS

Km. 5+100 Vía Medellín-Bogotá.
PBX: 2648156
www.meiker.co

Código: F-GC-005
Versión: 02
Fecha: 19-oct-20

3.3 Solicitudes Administrativas

- **Solicitud de pedido:** Como se mencionó anteriormente, en este, se listan los materiales y equipos con especificaciones precisas y cantidades necesarias para la elaboración del proyecto. Esta solicitud, es enviada al departamento de compras y al de costos por correo, estos deben responder, con un recibido y a probado respectivamente. Así pues, se tiene registro tanto de la solicitud enviada como de las respuestas de los departamentos encargados en caso de faltas en los pedidos que afecten el desarrollo del proyecto.
- **Solicitud de personal:** Como se mencionó, este documento es enviado al departamento de gestión humana, y estos evalúan si el personal con las capacidades solicitadas Meiker cuenta con ellos en otras plantas y puede realizarse el traslado de estos. Si no es el caso, se inicia un proceso de contratación del personal solicitado por el coordinador. Esto, para cumplir con

las fechas que se han establecido en la cotización.

Teniendo en cuenta que todas estas solicitudes van a tomar su tiempo cada una en ser atendidas por el área pertinente, el coordinador deberá enviarlas con un tiempo prudente de reacción para los demás departamentos, con el fin, de no alterar el flujo de trabajo que se este llevando tanto en el área administrativa como en el taller de fabricaciones, ya que diariamente, estos pueden recibir innumerables solicitudes por parte de todos los coordinadores, con los que cuenta Meiker en sus diferentes plantas.

Es por lo anterior, que desde el momento en que se recibe la aprobación mediante correo con su respectiva orden de compra, se debe empezar la planeación de los pasos siguientes en la ejecución del proyecto. Además, de un seguimiento riguroso a las solicitudes enviadas, y poder cumplir con las fechas que se establecen en la cotización.

Probablemente, puedan ocurrir inconvenientes, con cada una de las solicitudes que se realizan, en el caso de los materiales, los proveedores no tienen en existencia y deben traerlos de otra parte del país, o no tienen la referencia exacta que se pidió y el departamento de compras al no informar de esto no lo compra y se pierde en el tiempo. Con la solicitud de personal, puede ocurrir que todos los empleados en la empresa estén ocupados y no puedan ser enviados para la fecha en la que se realizará el montaje, sumado a esto no se presentan personas con las habilidades técnicas necesarias para el proyecto. Con la solicitud de fabricación puede ocurrir que un técnico se equivocó en una medida y se esta retrasando el tiempo de entrega de las fabricaciones en taller. Lo anterior, solo como un ejemplo de la cantidad inmensa de problemas que pueden ocurrir durante las etapas de un proyecto y que el coordinador junto con el auxiliar y líder de proyectos deben estar preparados y resolverlos de la mejor manera, para que la marcha del proyecto continúe. Así, en la planeación de cada proyecto se deben tener en cuenta estos inconvenientes, no se sabe que va a ocurrir, pero se va a tener un tiempo de respuesta para atender inconvenientes. Esto es importante, ya que las personas encargadas del proyecto no entrarán en crisis al momento de ocurrir estos percances, sumado a esto, la experiencia que se gana al resolver problemas.

Por consiguiente, el coordinador de proyectos, el auxiliar de ingeniería, y el líder de proyectos deben poseer la capacidad de resolución de problemas y mediación, poseer un conocimiento amplio de técnicas de fabricación, materiales, herramientas, elementos de protección personal, elementos de izaje, elementos para trabajos en alturas, conocimiento de las capacidades del personal técnico disponible en la empresa. Esto, para conocer las capacidades y limitaciones de la empresa Meiker. Y así, delegar a sub-contratistas partes de los proyectos que estén fuera de estas capacidades.

Luego, cuando se tienen en la obra tanto las fabricaciones del proyecto, los materiales, consumibles y personal necesario para la ejecución del proyecto. Inicia el proceso denominado montaje.

Montaje: Durante esta etapa se debe tener planeado un cronograma de tareas diarias hasta la finalización del proyecto. Teniendo en cuenta que este, posiblemente no es el único proyecto que se esta ejecutando en simultaneo. Por consiguiente, el cronograma se vuelve una ayuda importante para el coordinador y el auxiliar ya que, pueden incluirlo en el cronograma general de la planta y poder realizar seguimiento de como van avanzando las actividades de todos los proyectos que se ejecutan en simultaneo, resolver posibles inconvenientes y culminarlos proyectos cumpliendo todos alcances de la cotización con las especificaciones del cliente.

Acta de entrega: Para concluir el proyecto, luego de que la entrega a completa satisfacción

del cliente se ha realizado. Se debe realizar un acta de entrega, que consiste en un formato PDF incluir fotos de una manera en organizada y coherente del proceso que se tuvo en el proyecto, fabricación de elementos, instalación, pintura, etc. Con esto, se deja evidencia de que el proyecto fue entregado a cabalidad al cliente. y así proceder a generar la factura con la que la empresa Meiker cobra por sus servicios.

4 Resultados

4.1 Diseño

El objetivo principal de esta sección, es verificar que los esfuerzos a los que se encuentran sometidos los elementos no excedan los esfuerzos permisibles para este tipo de estructuras. Por tanto, se tiene un problema de verificación y no de dimensionamiento, que es lo que se entiende normalmente cuando se lee diseño, sin embargo, se puede apreciar con esto, la amplitud de lo que involucra el diseño en ingeniería mecánica.

4.1.1 Especificaciones

Las especificaciones para el puente grúa se muestran en la tabla 4.1

4.1.2 Viga principal

Los resultados obtenidos, para la verificación del diseño de la viga HEA200 se muestran en la tabla 4.2

4.1.3 Viga Carrilera

Los resultados obtenidos, para la verificación del diseño de la viga IPE200 se muestran en la tabla 4.3

4.1.4 Columnas

Los resultados obtenidos, para la verificación del diseño de las columnas fabricadas en perfil estructural ASTM A500 grado c-100x100x2mm se muestran en la tabla 4.4

4.2 Cotización

Se realizaron 2 cotizaciones tanto para el guinche de izaje, como para los elementos de control y motores con caja reductora para los carros testers. De estos se selecciona la oferta realizada por Traincol, figura 4.1, esto, por el sistema eléctrico que ofrece, el cual es de mayor durabilidad, menor mantenimiento y una estética mejor cuidada.

Luego se realiza el diseño y los cálculos estructurales, se realiza la cotización del puente grúa, que es el documento que se le entrega al cliente con las características y una imagen renderizada, de lo que será el puente grúa, especificando tiempos de entrega, condiciones de trabajo y las reglas con las que se ejecutará el proyecto, aclarando responsabilidades tanto del cliente, como del proveedor, ver figura 4.2.

Se especifican claramente los alcances del proyecto, puesto que, esto es lo que se le entregará al cliente punto por punto, además, es una excelente guía para elaborar el cronograma de actividades durante la ejecución del mismo, por que, se buscará cumplir estos alcances cada cierto

Tabla 4.1: Especificaciones del puente grúa

Descripción	Valor	Unidad
Altura de elevación	3800	mm
Luz del puente grúa	5645	mm
Longitud viga carrilera	16375	mm
Velocidad de elevación	5	$\frac{m}{min}$
Velocidad del carro	16	$\frac{m}{min}$
Capacidad de carga	1	Ton
Peso estructura	20	KN
Distancia entre ruedas	500	mm
Voltaje	220	V

Tabla 4.2: Viga HEA200

Propiedad	Valor
Módulo Elasticidad(E)	200 GPa
Momento de Inercia (I _{xx})	3690 cm ⁴
Momento de resistencia (S _{req})	194 cm ³
Momento máximo (M_{max})	17.88 KN·m
Esfuerzo de fluencia (σ_y)	250 MPa
Deflexión permisible (L/600)	9.33 mm
Esfuerzo principal máximo (σ_{max})	245.06 MPa KN·m
Deflexión máxima (v_B)	6.33mm

tiempo. En el modelo esquemático, se observa posición del puente grúa y su morfología, así como la distribución que tienen los elementos en su interior, como lo es la máquina Omicrón 6 y las mesas de trabajo que se observan en la figura 4.3, estos modelos fueron elaborados en el software Autodesk inventor 2021, Autodesk, Inc. (2021). La tabla de valores se separa en 3 ítems, donde el primero que corresponde al diseño, fabricación e instalación de la estructura tiene un valor de \$44'963.398 pesos, el segundo ítem, suministro y montaje de equipos de izaje tiene un valor de \$12'971.696, El tercer y ultimo ítem, que corresponde a las acometidas eléctricas para el control del polipasto, tiene un valor de \$18'880.117. Todo lo anterior, para un total de \$76'815.209 pesos. Ver figura 4.4.

Tabla 4.3: Viga IPE200

Propiedad	Valor
Módulo Elasticidad(E)	200 GPa
Momento de Inercia (I _{xx})	1943 cm ⁴
Momento de resistencia (S _{req})	194 cm ³
Momento máximo (M_{max})	4.29 KN·m
Esfuerzo de fluencia (σ_y)	250 MPa
Deflexión permisible (L/600)	5 mm
Esfuerzo principal máximo (σ_{max})	155.52 MPa
Deflexión máxima (v_B)	0.26mm

Tabla 4.4: Perfil estructural ASTM A500 grado C-100x100x2mm

Propiedad	Valor
Módulo Elasticidad(E)	200 GPa
Momento de Inercia (I _{xx})	123 cm ⁴
Momento de resistencia (S _{req})	24.6 cm ³
Esfuerzo de fluencia (σ_y)	345 MPa
Carga critica (P _{cr})	707.8 KN
Longitud efectiva (L _{eff})	1.86 m

4.2.1 Cotizaciones de elementos de control y acometida eléctrica

Las cotizaciones realizadas con varios proveedores tanto de elementos de control como variadores de velocidad, elementos de izaje como el guinche de 1 tonelada.

4.2.2 Solicitudes de fabricación

En este se especifica la fecha de solicitud 24-08-2022, el nombre de la empresa cliente Viappiani, así como datos específicos del proyecto, información necesaria para el coordinador del taller, ver figura ???. Esta solicitud de fabricación, debe ir acompañada de los planos de fabricación del puente grúa, ver figuras 4.5, 4.6.

4.2.3 Solicitud de pedido

A partir de la tabla de costos se seleccionaron todos los materiales y consumibles necesarios para la fabricación y montaje del proyecto, aquí se evidencia que la elaboración de la tabla de

costos ayuda en otros procesos como esta solicitud de pedido, ver figura 4.8.

4.2.4 Solicitud de personal

Teniendo en cuenta que al momento de realizar el montaje, en planta se tendrá disponible, 1 líder de campo, 2 auxiliares, 1 electromecánico, 1 auxiliar electromecánico. Solo se realiza la solicitud de personal, con soldador mixto, pailero y 2 auxiliares adicionales esto para realizar el ensamble de la estructura del polipasto así como para corregir posibles errores con los que pueda venir la fabricación de taller, ver figura 4.9.

4.3 Montaje

El montaje se dividió en 3 partes, durante las cuales se hizo uso de 6 cuerpos de andamios, con los cuales se armaron 2 torres, esto, con el fin de realizar un trabajo seguro:

4.3.1 Estructura

El primer paso realizado, fue la instalación de las columnas y riostras, ya que estas son los soportes de los demás elementos del polipasto, Procedimiento llevado a cabo con perforaciones a piso, ayudados de un taladro percutor, pernos de anclaje y epóxico de anclaje. Acto seguido, se procede con la instalación de las vigas longitudinales, las cuales tienen soldadas las guías para los carros testers. Toda esta estructura debe ser alineada, es decir, garantizar el plomo de las columnas y el nivel de las vigas.

4.3.2 Viga horizontal, carros testers y elementos de izaje

Una vez se tuvo instalada la estructura, se procede con la instalación de la viga transversal, la cual, tiene soldados a su parte inferior los carros testers. Debido a contracciones y dilataciones de las vigas longitudinales sufridas en el proceso de unión por soldadura, las guías de los carros testers que consistían en 2 platinas soldadas de 1/2", presentaban valles y crestas que obstaculizaban el movimiento de los carros testers. Se realizó un re-proceso, corrigiendo este defecto de fabricación. Los elementos de izaje se instalaron correctamente y se realizan pruebas de funcionamiento.

4.3.3 Conexiones eléctricas y elementos de control

Las conexiones eléctricas al ser un ítem subcontratado, fue ejecutado por personal del subcontratista Traincol, empresa que suministra dichos elementos y los entrega completamente funcionales y realizando las pruebas necesarias.

Figura 4.1: Cotización Traincol

Ítem	Código	Descripción	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Bruto
1	9993	Polipasto cadena 1Tonelada 6mts y Trolley	1.00	6,835,800.00	6,835,800.00
2	9993	Canaleta encapsulada 17mts (Empalme Accesorios, soporte, uñas)	1.00	6,896,000.00	6,896,000.00
3	9993	Carro tomacorriente	1.00	1,941,000.00	1,941,000.00
4	9993	Electrificación 6mts (perfiles soportes uñas, ménsulas, carro arrastre accesorios)	1.00	3,011,700.00	3,011,700.00
5	9993	Mano de Obra	1.00	1,700,000.00	1,700,000.00
6	9993	GABINETE COLD ROLL PARA VARIADOR 1 HP 440V - BREAKER DE PROTECCION - INDICADORES LUMINOSOS - BORNERAS - CONTACTOR DE FRENO-BOTONERA 5 BOTONES INDUSTRIAL CON 4 METROS DE CLABLE - PARA DE EMERGENCIA	1.00	2,050,000.00	2,050,000.00
7	C402	VR HLP-C10001D543 3.7AMP 440VAC	1.00	989,668.90	989,668.90
8	202F43714	RED. MNHL20/2 43.2/1 PAM 71B14 F D.140	2.00	1,033,150.00	2,066,300.00
9	HA7144	MOTOFRENO MGM BA71 B34 0.37KW 1800RPM	2.00	1,344,150.00	2,688,300.00
Total Bruto					28,178,768.90
Subtotal					28,178,768.90
IVA 19%					5,353,966.09
Total a Pagar					33,532,734.99

O.C:

OBSERVACIONES DE ENSAMBLE:

OBSERVACIONES DE DESPACHO:

GARANTIA: 1 AÑO A FECHA DE FACTURA POR DEFECTOS DE FABRICACIÓN

OBSERVACIONES DE PAGO:

Consignar a la cuenta Cte. 02923561302 ó Cta. ahorros 58900024141 de Bancolombia y por PSE a través de www.traincol.com.co

SOMOS AUTORRETENEDORES

Vbo. FACTURACIÓN:

Vbo. PICKING:




**TRANSMISIONES INDUSTRIALES
COLOMBIA S.A.S**
NIT 900.042.180-2
Cl 78 D Sur 47 F 50 Sabaneta, Ant
Tel: 4448352 - Ext. 121
Sabaneta - Colombia

Para MEIKER S . A . S .
Nit 900.912.398-4
Contacto CARLOS ECHEVERRY
Dirección KM 5 100 BG 1 A
Ciudad/Tel. Copacabana / (604) 2648156 - 3234621520
Fecha 2022-08-23

Cotización
No. C-1-11483

Elaborado por Sligo S.A.S NIT: 830.048.145-8

Figura 4.2: Descripción de cotización y alcances M-8817 Polipasto Omicrón 6



La Ceja, 15 de junio de 2022 Consecutivo M-8817-V2

Ingeniero
Juan Gavila
Jefe de gestión de proyectos
VIAPPIANI de Colombia

Asunto: Cotización

Estimado cliente en respuesta a la solicitud de cotización por Diseño, fabricación y puesta en marcha de polipasto eléctrico para una carga de 500 kg para maquina Omicron 6.

1. Alcance Estructural:

- 1.1. Diseño de estructura en acero ASTM A-36 que podrá soportar hasta 500kg, este polipasto está diseñado para desplazamiento automático, accionado con botoneras sobre la viga que soporta el polipasto y sobre las vigas longitudinales de 17 metros que abarcan todo el largo de la máquina, de esta manera se posicionan de manera más eficiente y segura los cilindros magnéticos y bobinas, el recorrido de 5 metros de ancho que tiene de luz la estructura tendrá un desplazamiento manual.
- 1.2. Fabricación de estructura en acero para polipasto en PIE (Perfil tubular) de 100x100 calibre 2mm ASTM A-36; vigas cargueras longitudinales HEA 200 con platina de 3/16" x 2" para guía de los testeros y Viga transversal carguera IPE 200 para polipasto de 500 kg
- 1.3. Fabricación de estructura modular para fácil montaje unidas mediante platinas calibre 6mm para la unión de los diferentes paredes y vigas que conforman el polipasto, platinas en calibre 9mm para anclajes a piso y paredes.



- 1.4. Pintura de la estructura con base epoxi poliámid y acabado en pintura epóxica según el RAL acordado.
- 1.5. Suministro de personal calificado durante el desarrollo de la ejecución, instalación y puesta en marcha del polipasto.

2. Alcance sistema mecánico:




- 2.1. Polipasto eléctrico a cadena para una capacidad de 0,5 Tn y que permita una altura de trazo de 3,7 m, con sistema de trole y monoriel para permitir su desplazamiento sobre la viga puente.
- 2.2. Un juego de carros testeros, con motor eléctrico con freno.
- 2.3. Motor reductor sin fin corona.
- 2.4. Ruedas motrices en acero tratado térmicamente.
- 2.5. Rodamientos sellados y pistas en acero.

3. Alcance sistema eléctrico:

- 3.1. Sistema de electrificación tipo línea festón para alimentar y controlar el polipasto
- 3.2. Gabinete eléctrico de control y potencia con su respectivo juego de contactores y con un variador de velocidad, para permitir disminuir los efectos negativos de arranque y paradas del sistema
- 3.3. Sistema de finales de carrera de dos pasos disminución de velocidad por aproximación y parada.


2. Incluye:

- Mano de obra
- Consumibles
- Transportes
- Logística
- Herramienta
- Suministro de SST en sitio durante la instalación
- Suministro de supervisor en obra

Km 5+100 Vía Medellín-Bogotá,
PBX: 2548150
www.meiker.co


Código: F-GC-005
Versión: 02
Fecha: 19oct20


Km 5+100 Vía Medellín-Bogotá,
PBX: 2548150
www.meiker.co

Código: F-GC-005
Versión: 02
Fecha: 19oct20

Figura 4.3: Modelo esquemático M-8817 Polipasto Omicrón 6



3. Representación




Figura 1: Representación en planta del tamaño de la estructura

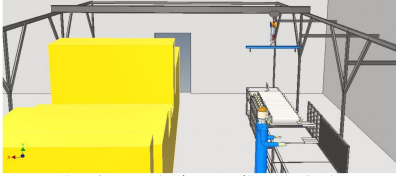


Figura 2: Representación esquemática del polipasto


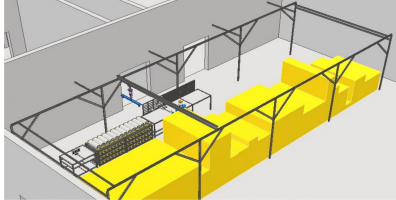



Figura 3: Representación isométrica del polipasto

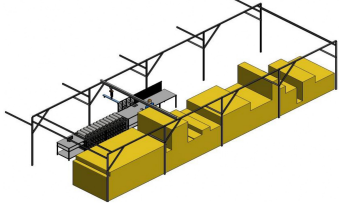








Figura 4: Esquema general

Km 5+100 Vía Medellín-Bogotá,
PBX: 2548150
www.meiker.co


Código: F-GC-005
Versión: 02
Fecha: 19oct20

Km 5+100 Vía Medellín-Bogotá,
PBX: 2548150
www.meiker.co

Código: F-GC-005
Versión: 02
Fecha: 19oct20

Figura 4.4: Tabla de precios, aspectos comerciales y aclaraciones M-8817 Polipasto Omicrón 6



4. Oferta económica:

4.1. Tabla de valores:

Item	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio
1	1	und	Diseño, fabricación e instalación de estructura metálica para polipasto de 500kg para movimiento de cilindros magnéticos y bobinas	\$44'963.398
1	1	und	Suministro y montaje de equipos de izaje y traslado de cargas: <ul style="list-style-type: none"> 1 polipasto de 500kg trayecto eléctrico para 500kg 	\$12'971.696
1	1	und	Accesorios eléctricos, cableado y accesorios a punto desde el tablero indicado para puente en montaje del polipasto	\$18'880.117
Total: \$ 76'815.209				


setenta y seis millones ochocientos quince mil doscientos nueve pesos

5. Aspectos comerciales:

- Tiempo de entrega: 60 días calendario
- Validez de la oferta: 8 días calendario
- Forma de Pago: Anticipo del 50%

6. Notas aclaratorias:


- Los precios anteriores no incluyen el IVA.
- Servicios y/o suministros no especificados en esta oferta tendrán un costo extra
- La ejecución de la obra está contemplada en tiempo ordinario, de ser necesario tiempo extra, nocturnos y/o festivos, este será cobrado según los recargos estipulados por ley



CCS
Compañía Colombiana de Seguridad



RUC
Registro Único de Contribuyentes



CFEEL
Comité Fiscal de Equilibrio Económico

Km 5+100 Vía Medellín-Bogotá.
PBX: 2648150
www.meiker.co

Código: P-00C-005
Versión: 02
Fecha: 19-Oct-20



- El tiempo de la entrega se cumplirá siempre y cuando la zona este en completa disponibilidad.
- **VIAPPIANI**, suministrará sitio para Vestier y servicios sanitarios para nuestro personal.
- **VIAPPIANI**, suministrará sitio para salvaguardar la herramienta propiedad de Meiker que se lleve a la obra para ejecutar los trabajos.
- **VIAPPIANI**, Suministrará energía 110v y 220 v a máximo 20 m del lugar de trabajo
- El valor comercial de esta oferta después de 8 días calendario, puede variar según el dólar y el costo actual del acero.
- En caso de aceptar esta cotización favor devolver una copia de ésta con la información solicitada en la parte inferior o una orden de compra al correo electrónico danielatehortia.meiker@gmail.com, con el fin de confirmar el inicio del servicio.
- La factura irá acompañada del acta de entrega del servicio, la cual deberá ser firmada y devuelta en un plazo no mayor a cinco días hábiles. De no devolverse en ese lapso de tiempo, se dará por entendido que el servicio fue recibido a entera satisfacción.

Cordialmente,



Daniel Atehortúa Giraldo
Coordinador de proyectos
+57 300 688 84 19
danielatehortia.meiker@gmail.com
Autopista Medellín - Bogotá,
Km 5+100
Bosqueña VA,
Copacabana, Antioquia,
www.meiker.co



CCS
Compañía Colombiana de Seguridad



RUC
Registro Único de Contribuyentes



CFEEL
Comité Fiscal de Equilibrio Económico

Km 5+100 Vía Medellín-Bogotá.
PBX: 2648150
www.meiker.co

Código: P-00C-005
Versión: 02
Fecha: 19-Oct-20

Figura 4.5: paginas 1 y 2 planos de fabricación M-8817 Polipasto Omicrón 6

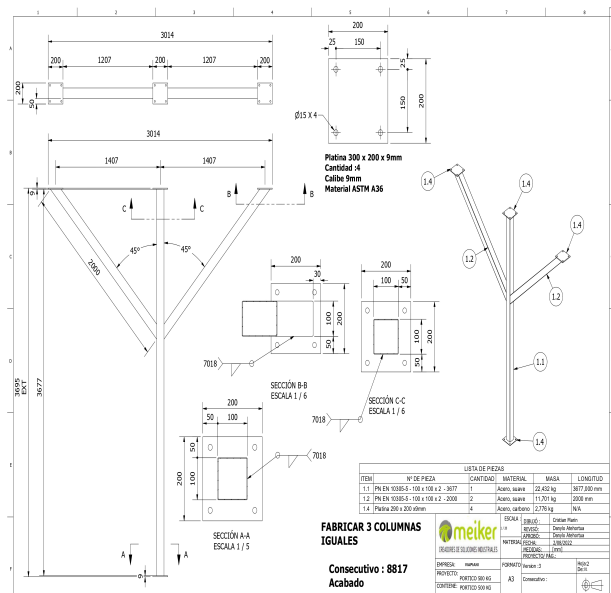
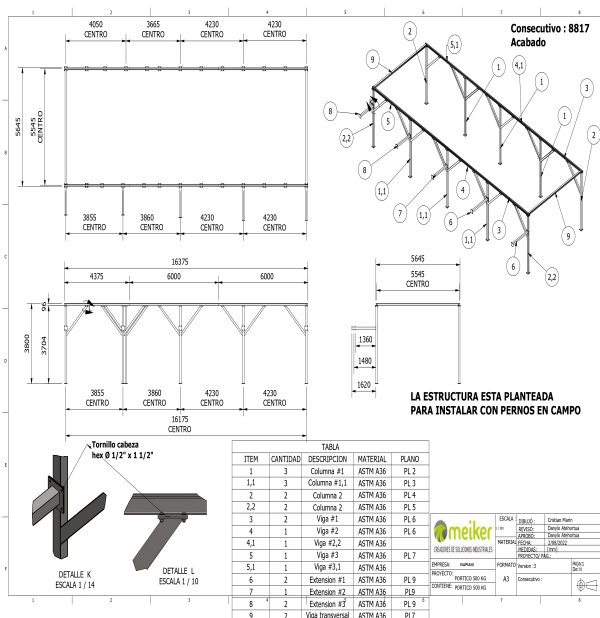


Figura 4.6: paginas 6 y 7 planos de fabricación M-8817 Polipasto Omicrón 6

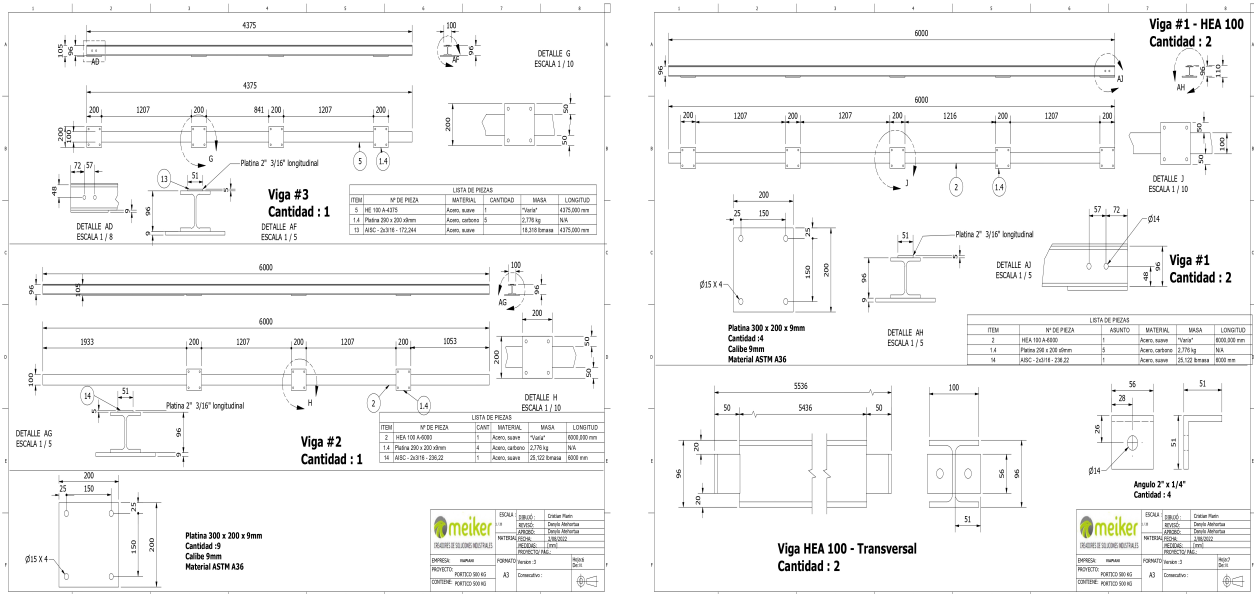


Figura 4.7: Solicitud de fabricación

		SOLICITUD DE FABRICACIÓN					Código	Prueba
							Versión	Prueba
							Fecha	Prueba
Fecha de solicitud	24-Aug		Fecha de entrega	26-Aug				
Tipo de cliente	INTERNO							
Empresa cliente	VIAPPANI							
Nombre del proyecto	POLIPASTO OMICRON 6							
Nombre del solicitante	DANILO ATEHORTUA/ CARLOS CHAVARRIA							
Nombre dibujante	CRISTIAN MARIN							
N° de consecutivo	M-8817-V1		Centro de costos	.0099				
Tipo de plano	Software	X		mano alzada				
Versión de plano	4							
Lista de verificación según plano	Tipos de material	A-36	Acabados	Pintura poliuretano 7016 liso base maquina gris oscuro	Solicitud de material	X	Medidas	X
	Calibres	2 mm	Pesos (kg)	1678.8	tornilleria	1/2" x 1-1/2"	Galvanizada	X
Observaciones	Enviar HEA 100 cortadas en z a un extremo (cantidad 4) y a los dos extremos (cantidad 2)							
Cargos (cantidad)	COORDINADOR	SISO	CAPATAZ	AUX. ADMON	ALMACENISTA	ELECTRICISTA	Orden de producción para la fabricación	
	1	X	X	X	X	X		
	PAILERO	MECANICO	SOLDADOR	AUXILIAR 2	TUBERO	AUXILIAR		
1	X	1	1	1	X	X		
consumibles								
item	descripcion	cantidad	unidad	item	descripcion	cantidad	unidad	
1								
2								
3								
4								
5								

Figura 4.8: Solicitud de pedido

meiker		SOLICITUD DE PEDIDO				Código	F-CA-002
						Versión	03
						Fecha	19-Oct-20
Fecha de solicitud	16/08/2022			Frente de trabajo / proyecto	VIAPPANI		
Nombre del solicitante	Danilo Atehortua			Número de consecutivo interno de pedido	M-8817-V1		
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Centro de costos	Imagen de referencia	Observaciones	
1	Tubo Estructural Grado C (2.0mm) 100 x 100 x 6m (45.2kg)	8	Unidad	M-8817-V1		ENVIAR A TALLER	
2	Viga HEA 100 (A96-ALMA5-B5F100-T8)	6	Unidad	M-8817-V1		ENVIAR A TALLER	
3	Platina acero al carbon 200 x 200 x 9 mm con 4 perforaciones de 16 mm	72	Unidad	M-8817-V1		ENVIAR A TALLER	
4	Platina acero al carbon 200 x 200 x 6 mm con 4 perforaciones de 14 mm	10	Unidad	M-8817-V1		ENVIAR A TALLER	
5	Viga IPE 200 G50 (h200,b100,s5,t8.5)	1	Unidad	M-8817-V1		ENVIAR A TALLER	
6	Platina acero al carbon de 3/16 x 2" x 6 metros	12	Unidad	M-8817-V1		ENVIAR A TALLER	
7	Tornillo cabeza hexagonal galvanizado 1/2" x 1-1/2" con tuerca, arandela y	150	Unidad	M-8817-V1		ENVIAR A VIAPPANI	
8	Chazo expansivo galvanizado de 1/2" X 3-1/2" de chaqueta	60	Unidad	M-8817-V1		ENVIAR A VIAPPANI	
9	Base epoxica 10046	4	Galon	M-8817-V1		ENVIAR A TALLER	
x	Catalizador epoxico 13229	4	Galon	M-8817-V1		PENDIENTE DEFINIR RAL	
11	PINTUCOAT EPOXICO	4	Galon	M-8817-V1		PENDIENTE DEFINIR RAL	
12	CATALIZADOR EPOXICO	4	Galon	M-8817-V1		PENDIENTE DEFINIR RAL	
13	BOTELLA EPOXICO	4	Unidad	M-8817-V1		PENDIENTE DEFINIR RAL	
14	Soldadura 6011 1/8	20	Kilos	M-8817-V1		ENVIAR A VIAPPANI	
15	Soldadura 7018 1/8	20	Kilos	M-8817-V1		ENVIAR A VIAPPANI	
16	Disco de corte de 4-1/2" x 1/16 DISCO 4,1/2x1mm NORTON	30	Unidad	M-8817-V1		ENVIAR A VIAPPANI	
17	Disco de corte de 7" x 1/16	15	Unidad	M-8817-V1		ENVIAR A VIAPPANI	
18	Disco de pulir de 4-1/2" x 1/8 premier	10	Unidad	M-8817-V1		ENVIAR A VIAPPANI	
19	Disco de zirconio 4-1/2" DISCO FLAP 4,1/2 N° 40 NORTON	10	Unidad	M-8817-V1		ENVIAR A VIAPPANI	

Figura 4.9: Solicitud de personal

meiker		SOLICITUD DE PERSONAL				Código	F-GH-025
						Versión	02
						Fecha	05-Feb-21
Fecha de solicitud	Cargo solicitado	Cantidad por cargo	Frente de trabajo	Objeto del proyecto	Fecha de inicio en planta	Fecha de terminación en planta	OBSERVACIONES
16-Aug	Soldador mixto	1	Viappiani	M-8817 Polipasto Omicron 6	01-Sep	20-Sep	
16-Aug	Pailero	1	Viappiani	M-8817 Polipasto Omicron 6	01-Sep	20-Sep	
16-Aug	Axiliar avanzado	2	Viappiani	M-8817 Polipasto Omicron 6	01-Sep	20-Sep	

5 Análisis

- Una de las limitaciones que más retos trajo en la instalación es la planimetría de la ubicación donde se lleva acabo la instalación, ya que al no estar totalmente a nivel, combinado con elementos metálicos que al ser soldados sufren contracción, por ende cambian medidas en alturas y nivel vertical. Presentando esto retos a los técnicos para que los rieles de los carros testers estén en línea recta, además, de conservar el mismo nivel durante todo su recorrido.
- De la tabla 4.1 la capacidad de carga es de 1 tonelada, sin embargo, la cotización es solicitada para 0.5 toneladas. Aquí esta implícitamente el factor de seguridad de 2 que se maneja durante los cálculos.
- De las tablas 4.2, 4.3 y 4.4, se evidencia el cumplimiento de diseño por esfuerzos permisibles, así como la deflexión permisible establecida en la norma of America (2010)
- Los elementos utilizados en la fabricación, Viga HEA200, viga IPE200, cumplen los requerimientos de diseño, superando el factor de seguridad de 2. Esto es importante, por la seguridad de los operarios, ya que la seguridad y salud en el trabajo, es un punto vital en todas las empresas.

6 Conclusiones

6.1 Conclusiones

- Se logra el dibujo de planos de fabricación cumpliendo los requerimientos del cliente con ayuda del modelo 3d, realizado en el software Autodesk Inventor.
- Se garantizan óptimas condiciones de seguridad en la operación con un factor de seguridad mayor a 2.
- Se elige la cotización de Traincol, por mejores prestaciones en los elementos suministrados.
- Se tramitan correctamente las solicitudes a los correspondientes departamentos de la empresa, permitiendo el flujo del debido proceso, para fabricación del puente grúa.
- Se realiza acompañamiento y seguimiento durante el montaje del puente grúa, logrando la finalización del proyecto.

6.2 Recomendaciones

- Se puede realizar una verificación adicional, incluyendo análisis por elementos finitos y corroborar los cálculos realizados
- En trabajos posteriores, se recomienda incluir, diseño de las conexiones pernadas, diseño de platinas y uniones soldadas.
- El sistema de gestión puede ser mejorado, automatizando procesos y creando una base de datos con todas las obras, manejada desde una aplicación de escritorio.
- Para todas las estructuras metálicas en las cuales el nivel una característica importante, se debe considerar grouting de nivelación en la cotización y con esto evitar, futuros problemas y re-procesos.
- Las fabricaciones que se envíen de taller, es recomendable protegerlas más, esto, con el fin de que en el transporte no se afecte la superficie, siendo necesario pintar nuevamente las fabricaciones.

Bibliografía

- Apr Ingenieros (consultado el 17 de abril de 2023). Puente Grúa. <https://apringenieros.com/puente-grua/>.
- Autodesk, Inc. (2021). *Autodesk Inventor 2021: Manual de Usuario*. Autodesk, Inc., San Rafael, California.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., and Mazurek, D. F. (2010). *Mecánica de materiales*. McGraw-Hill, México, 5 edition.
- Chica, E. (2018). *NotasRII3Parcial*. PhD thesis, Universidad de Antioquia.
- Ferrocortes (14/04/2023). Vigas hea. Somos una empresa vinculada al sector industrial hace 35 años aproximadamente, dedicados a la importación, distribución y comercialización de aceros para maquinaria y ferretería pesada.
- Hackl, S. (2020). *TikZ-StructuralAnalysis: A TikZ Library for Structural Analysis Diagrams*. GitHub. Manual available online at <https://github.com/hackl/TikZ-StructuralAnalysis/blob/master/tikz-structuralanalysis-doc.pdf>.
- Hibbeler, R. (2006). *Mecánica de materiales*. Pearson Prentice Hall, 6 edition.
- Importaceros (14/04/2023). Tubo cuadrado estructural y grandes dimensiones. empresa importadora y comercializadora de materiales de acero y productos de metal mecánica en general.
- Jurado, J. (2015). *Diseño de una grúa tipo pórtico de 20 toneladas*. PhD thesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Lego Cranes (2023). Puente grúa. <https://legocranes.com.co/puente-gruas/>. Accessed: 2023-04-22.
- of America, C. M. A. (2010). Specifications for top running bridge and gantry type multiple girder electric overhead traveling cranes. Technical report, Crane Manufacturers Association of America.
- of Steel Construction, A. I. (2016). Specification for structural steel buildings. Technical report, American Institute of Steel Construction.
- ProElevacion (2021). Tipos de puente grúas. Sitio web. Acceso: 17 de abril de 2023.
- Villón, B. and Naranjo, O. (2016). *Diseño de un puente grúa curvo para optimización de espacio en lugares abovedados*. PhD thesis, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, Guayaquil, Ecuador.

7 Glosario

- **Sistema de Gestión:** Este es un formato creado en una hoja de Excel, donde se lleva el registro de los proyectos que ha realizado o esta desarrollando un coordinador, este SG por sus siglas, es una tabla de Excel, donde cada fila corresponde a un proyecto, y cada columna contiene la información de dicho proyecto como lo es: Consecutivo, fecha de cotización, nombre o descripción, centro de costos, cliente, orden de compra, número de factura, ingeniero responsable, valor, fecha de aprobación, avance, fecha de facturación.
- **Cotización:** Es un documento creado por el coordinador de proyectos, en formato PDF donde se especifican los requerimientos del cliente así como los alcances que tendrá el proyecto solicitado por el mismo, además de esto se incluyen aclaraciones de responsabilidades tanto del cliente como de parte de la empresa Meiker, como una discriminación del precio que tendrá el proyecto para que el cliente vea reflejado todo el dinero que cuesta el proyecto. Entre estos, se encuentran: Materiales, consumibles, mano de obra, viáticos, transporte, herramienta, AIU, IVA.
- **Consecutivo:** Es el identificador de cada proyecto, es único e irrepetible sin importar la planta en la que se encuentre. Se inicia con la letra mayúscula M (inicial de Meiker), separada de los números correspondientes por un guión. Adicional, a los números se agrega el número de la versión de la cotización(V1), ya que durante la elaboración de la cotización como del proyecto el cliente puede generar cambios que impliquen cambios en al cotización. Estos consecutivos son suministrados por el departamento de costos de la empresa, se piden por cantidades ya que en un día los clientes pueden solicitar mas de 10 cotizaciones. Ejemplo: para el proyecto del puente grúa se tiene el consecutivo M-8817 V1
- **Nombre:** Es el nombre particular que se le da a cada proyecto, este, debe ser claro, para una fácil identificación y poder tenerlo presente mentalmente en la lista de los proyectos que se están trabajando en simultaneo. Ejemplo: para el proyecto del puente grúa el nombre que se le dio fue, Polipasto_Omicron_6
- **Centro de costos:** Este identificador se comenzó a implementar a partir de enero del año 2023, con el fin de llevar un seguimiento mas riguroso a los gastos asociados a cada proyecto. Esto es, compra de materiales, reportes de tiempo, viáticos, transportes. El centro de costos es similar al consecutivo, pero su diferencia es que ya no se inicia con la lera M mayúscula si no con un identificador único para cada planta donde Meiker tenga presencia con un coordinador de proyectos. Ejemplo: Para la planta Viappiani el identificador es VIAP, Para la compañía nacional de chocolates es, NAC-C, y para Colcafé se tiene el centro de costos COL-C. esto seguido de un número que nuevamente es designado por el departamento de costos.
- **Reporte de tiempo:** una de las funciones del coordinador de proyectos, es llevar el control del tiempo que cada trabajador a su cargo ha laborado, esto, con el fin asociar el tiempo que dedico un trabajador a un proyecto en particular durante el día, hasta completar la fecha de corte de la quincena. El reporte de tiempo se maneja en un formato físico o digital, a elección del coordinador de proyectos.

- **Fecha de corte:** Esta es la fecha en que cada coordinador debe enviar los reportes de tiempo al departamento de nómina para que ellos se encarguen de realizar los pagos a los trabajadores cada quincena. Por mes se tienen dos fechas de corte, que son definidas desde el primer mes del año
- **Orden de compra:** Cuando la cotización es aprobada por el cliente, este la responde con un número de orden de compra que es el proceso formal que marca la continuación del proyecto, de forma material. Esto es realizado por el cliente, mediante un correo electrónico en respuesta a la cotización enviada al mismo.
- **Fecha de cotización:** Es la fecha en la que se envía la cotización al cliente, se debe registrar esta fecha con el fin de llevar un registro y poder realizar análisis en momentos posteriores.
- **Cliente:** Es el nombre de la empresa para la cual Meiker desempeña el cargo de contratista. ejemplo: Viappiani, compañía nacional de chocolates, Colcafé, P&G, Micro plast, etc.
- **Número de factura:** El ultimo paso de un proyecto es la facturación del mismo, esto es realizado por el departamento de contabilidad. El cual genera la factura para que el cliente realice el pago por el proyecto finalizado. todo es llevado a cabo mediante correos electrónicos, lo cual facilita su búsqueda y seguimiento. sin embargo, debe registrarse en el sistema de gestión una vez es generado el número de factura, para que, no se pierda en el tiempo, con la carga de las demás labores que debe realizar el coordinador.
- **Ingeniero responsable:** Es la persona que realiza la solicitud de la cotización, perteneciente a la empresa cliente, autorizada para realizar las cotizaciones, ya sea: jefe de proyectos, Jefe de mantenimiento, etc.
- **Valor:** Es el precio total del proyecto plasmado en la cotización enviada al cliente, se escribe en pesos colombianos.
- **Fecha de aprobación:** Es la fecha en que la cotización es aprobada por el ingeniero responsable, esto se debe realizar formalmente mediante la generación de una orden de compra, enviada por correo al coordinador de proyectos de Meiker.
- **Avance:** Durante todas las etapas que se llevan a cabo durante la vida del proyecto el coordinador diariamente debe registrar el % de avance de este en el sistema de gestión, esto, para que dado el momento, sus superiores, puedan ver el avance de todos los proyectos que esta ejecutando el coordinador.
- **Solicitud de pedido:** Es un formato en Excel, diligenciado por el coordinador de proyectos, en el cual describe todos los materiales y herramientas que solicita a la empresa para poder llevar a cabo el proyecto. Estos materiales y herramientas deben estar bien especificados, ya que será remitido al departamento de compras, que puede no tener el conocimiento de lo que el coordinador está solicitando.
- **Solicitud de fabricación:** Es un formato en Excel, diligenciado por el coordinador de proyectos en conjunto con el coordinador del taller

- **Solicitud de personal:** Es un formato en Excel, en el cual, el coordinador, realiza mediante correo electrónico, una solicitud de personas con habilidades específicas, como soldados, auxiliares, mecánicos, oficiales de obra civil, etc. Que son los encargados de realizar el montaje de los proyectos bajo la dirección del coordinador, líder de proyectos, auxiliar de ingeniería y/o líder de campo.
- **Archivo DXF:** Es un formato de archivo 2D en el cual se guardan los desarrollos de las laminas que deben ser cortadas, en el plasma CNC, o dobladas en la cizalla hidráulica de la empresa.
- **Aprobado:** Al momento de enviar el correo con la solicitud de pedido con copia al departamento de costos este debe responder el correo aprobando la compra de los materiales, según la tabla de costos.
- **Recibido:** Cuando el departamento de costos aprueba la compra de los materiales, compras responde el correo con un número que este asigna para realizar la compra de los materiales en cuestión. Este número es útil ya que para realizar algún reclamo a este departamento, con el recibido se puede filtrar más rápido que se ha comprado y que no.
- **Solicitud de fabricación:** Como la solicitud de fabricación debe ser diligenciado tanto por el coordinador, auxilia de ingeniería o líder de proyectos, así como, por el coordinador del taller, en esta solicitud se especifica, consumibles que se vana a utilizar, consecutivo y centro de costos, para que el coordinador del taller al igual que en la planta pueda diligenciar el reporte de tiempo de los empleados que trabajarán en dicho proyecto. Adjunto a esta solicitud de fabricación deben ir: planos de fabricación, Archivos DXF si se requieren, distribución de corte de láminas y tubería si es pertinente.

A Anexo: Tablas de propiedades

Tabla A.1: Dimensiones y propiedades de vigas HEA para el diseño

Perfil	Altura	Alas	Alma	Alas	Peso	Area	Prop.	Elásticas
	d	b_f	t_w	t_f			I_x	S_x
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/m)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)
HEA 100	96	100	5	8	16.7	21.2	349	72.7
HEA 120	114	120	5	8	19.9	25.3	606	106
HEA 140	133	140	5.5	8.5	24.7	31.4	1030	155
HEA 160	152	160	6	9	30.4	37.3	1670	220
HEA 180	171	180	6	9.5	35.5	43.2	2510	294
HEA 200	190	200	6.5	10	42.3	49.9	3690	389
HEA 220	210	220	7	11	50.5	59.7	5410	515
HEA 240	230	240	7.5	12	60.3	68.2	7760	675
HEA 260	250	260	7.5	12.5	68.2	76.4	10500	836

Nota. adaptada de <https://www.ferrocortes.com.co/vigas-HEA/> Ferrocortes (2023).

Tabla A.2: Dimensiones y propiedades de las vigas IPE según norma EN 10025-2.

Perfil	Altura	Alas	Alma	Alas	Area	Peso	Prop.	Elásticas
	d	b_f	t_w	t_f			I_x	S_x
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm ²)	(kg/m)	(cm ⁴)	(cm ³)
IPE 80	80	46	3.8	5.2	7	6.03	80.1	20.0
IPE 100	100	55	4.1	5.7	8	8.06	171	34.2
IPE 120	120	64	4.4	6.3	8	10.4	318	53.0
IPE 140	140	73	4.7	6.9	8.5	12.9	541	77.3
IPE 160	160	82	5	7.4	9	15.8	869	109.0
IPE 180	180	91	5.3	8	9.5	19	1317	146.0
IPE 200	200	100	5.6	8.5	10	23.1	1943	194.0
IPE 220	220	110	5.9	9.2	10	26.2	2772	324.0
IPE 240	240	120	6.2	9.8	11	30.4	3890	429.0

Nota. adaptada de <https://www.ferrocortes.com.co/vigas-ipe/> Ferrocortes (2023).

Tabla A.3: Dimensiones y propiedades para perfiles estructurales cuadrados de 100x100

Perfil	h	b	t	r	A	I	S	r
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm)
100x100x2.0	100	100	2.0	1.0	7.74	123.01	24.6	3.99
100x100x3.0	100	100	3.0	1.5	9.59	150.65	30.13	3.96
100x100x4.0	100	100	4.0	2.0	11.41	177.08	35.42	3.94
100x100x5.0	100	100	5.0	2.5	14.95	226.46	45.29	3.89
100x100x6.0	100	100	6.0	3.0	18.36	271.36	54.27	3.84
100x100x8.0	100	100	8.0	4.0	21.63	312.00	62.40	3.80

Nota. adaptada de

<https://www.importaceros.com/ecuador-quito/tubo-cuadrado-estructural-y-grandes-dimensiones/> Importaceros (2023).