



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE PUENTE GRÚA PARA CUARTO DE MÁQUINA IML  
EN PLANTA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO**

**Juan Rigoberto Zúñiga Socop**

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE PUENTE GRÚA PARA CUARTO DE MÁQUINA IML  
EN PLANTA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JUAN RIGOBERTO ZÚÑIGA SOCOP**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

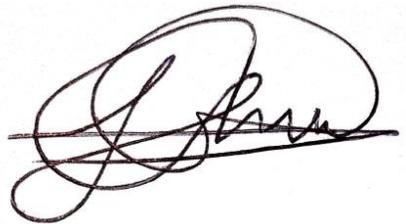
DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Coronado Noj
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DE PUENTE GRÚA PARA CUARTO DE MÁQUINA IML EN PLANTA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 26 de abril de 2021.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Juan Rigoberto Zúñiga Socop', written over a horizontal line.

**Juan Rigoberto Zúñiga Socop**

Guatemala, 20 de septiembre de 2021

Ingeniero  
Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Morales:

Por este medio le comunico que he procedido a la revisión del trabajo de graduación elaborado por el estudiante **Juan Rigoberto Zúñiga Socop**, quien se identifica con registro académico **201630658** y CUI **3222981720801** de la carrera de ingeniería mecánica, cuyo título es **“DISEÑO DE PUENTE GRÚA PARA CUARTO DE MÁQUINA IML EN PLANTA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO”**.

Trabajo elaborado bajo mi supervisión, el cual he revisado en su totalidad, y cuenta con mi aprobación considerando que cumple con los métodos y objetivos planteados. Por tal motivo, solicito darle el trámite correspondiente.

Sin otro particular me suscribo atentamente,



Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL  
Colegiado 3071

Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Ingeniero Mecánico Industrial  
Colegiado No. 3071  
ASESOR



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.132.2021

El Coordinador del Área de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE PUENTE GRÚA PARA CUARTO DE MÁQUINA IML EN PLANTA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO** desarrollado por el estudiante: **Juan Rigoberto Zúñiga Socop** con Registro Académico **201630658** y CUI **3222981720801**, recomienda su aprobación.

**"Id y Enseñad a Todos"**



*Ing. Esdras Miranda Orozco*  
COLEGIADO 4637

Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco  
Coordinador Área de Diseño  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, septiembre 2021



**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.148.2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área de Diseño del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE PUENTE GRÚA PARA CUARTO DE MÁQUINA IML EN PLANTA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO** del estudiante **Juan Rigoberto Zúñiga Socop**, CUI **3222981720801**, Reg. Académico **201630658** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, noviembre 2021

/aej



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**Decanato**  
**Facultad de Ingeniería**  
**24189101- 24189102**  
**secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt**

DTG. 608.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE PUENTE GRÚA PARA CUARTO DE MÁQUINA IML EN PLANTA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO**, presentado por el estudiante universitario: **Juan Rigoberto Zúñiga Socop**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, noviembre de 2021.

AACE/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser una importante influencia en mi carrera y acompañarme en cada momento de mi vida.
- Mis padres** Juan Rigoberto Zúñiga Morales y Mildred Adriana Socop García, por estar conmigo en todo momento y brindarme su amor, cariño y aprecio en cada decisión que he tomado. Apoyándome en todo momento hasta este momento
- Mis abuelos** Juan Aurelio Zúñiga Ordoñez y María Elena Morales Ajpop, por estar presentes en mi vida desde que era niño, queriéndome y dándome su consejo en todo momento.
- Mis hermanos** Mildred María Elena, Elder Emanuel y Camilo Salvador Zúñiga Socop por todo su cariño y apoyo día con día, y por haber compartido conmigo durante todos estos años.
- Familia en general** Por sus consejos y ánimo brindado a lo largo de todos mis estudios.

**Mi novia**

Debbie Andreina García Mendoza, por animarme a culminar este proceso y alcanzar mis metas y anhelos

**Mis amigos**

Por acompañarme durante este largo proceso y haber compartido conmigo cada momento difícil durante la carrera, ya que sin su apoyo mi vida universitaria no habría sido la misma.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por todas las bendiciones derramadas hacia mi persona y familia.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por formar mi carrera profesional desde el comienzo.
<b>Universidad San Carlos de Guatemala</b>	Por ser una excelente casa de estudios.
<b>Escuela de Ingeniería Mecánica</b>	Por todos los conocimientos brindados.
<b>Mis padres</b>	Por su cariño y aprecio en todo momento
<b>Mis hermanos</b>	Por estar a mi lado y apoyarme a diario.
<b>Mis abuelitos</b>	Por su amor y consejo.
<b>Familia Zúñiga Jiménez</b>	Mis tíos, por el cariño y apoyo brindado, en mis años de carrera.
<b>Mi novia</b>	Por los ánimos brindados para poder culminar este proceso.

**Mi asesor**

Ing. Carlos Pérez, por el tiempo y apoyo que me brindo durante este proceso.

**Amigos de Carrera**

Julio Chamorro, Wilder Menchú, Roberto López, José Ramos, Cristian Oseida, Anthony García, Jaime Guevara y Julio Guevara.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. INFORMACIÓN DEL POR QUÉ ES NECESARIA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PUENTE GRÚA .....	1
1.1. Importancia de la tecnología de inyectado-etiquetado IML dentro de la empresa.....	1
1.2. Características básicas de los moldes utilizados.....	1
1.3. Descripción básica del proceso de cambio de moldes y maquinaria utilizada durante el proceso .....	3
1.4. Dificultades que se presentan actualmente durante el proceso.....	5
2. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO DEL PUENTE GRÚA .....	7
2.1. Puente grúa.....	7
2.2. Partes de un puente grúa .....	8
2.2.1. Viga puente.....	9
2.2.2. Viga carrilera.....	9
2.2.3. Viga testera.....	9
2.2.4. Polipasto.....	9

2.2.5.	Trolley o carro principal.....	10
2.2.6.	Motorreductor.....	10
2.2.7.	Mando de control.....	10
2.2.8.	Topes o fines de carrera.....	10
2.3.	Clasificación de puentes grúa.....	11
2.3.1.	Clasificación según norma CMAA 70.....	11
2.3.1.1.	Clase A o de uso poco frecuente.....	11
2.3.1.2.	Clase B o de servicio liviano.....	11
2.3.1.3.	Clase C o de servicio moderado.....	12
2.3.1.4.	Clase D o de servicio pesado.....	12
2.3.1.5.	Clase E o de servicio severo.....	12
2.3.1.6.	Clase F o de servicio severo continuo .....	13
2.3.2.	Clasificación según diseño.....	13
2.3.2.1.	Puente grúa birraíl.....	13
2.3.2.2.	Puente grúa monorriel.....	14
2.3.2.3.	Puente grúa pórtico.....	15
2.4.	Análisis matemático de materiales para la elaboración del diseño de un puente grúa.....	15
2.4.1.	Factor de seguridad.....	16
2.4.2.	Flexión en vigas.....	16
2.4.2.1.	Esfuerzo por flexión.....	17
2.4.2.2.	Momento de inercia por flexión.....	18
2.4.2.3.	Diagrama fuerza cortante y momento flector.....	19
2.4.2.4.	Análisis de flexión en vigas por método de superposición.....	20
2.5.	Parámetros necesarios para la elaboración del diseño.....	21

3.	DISEÑO DE SOPORTE Y MECANISMO DE TRASLACIÓN DEL PUENTE GRÚA .....	23
3.1.	Análisis de cargas .....	23
3.1.1.	Cálculo de viga puente .....	23
3.1.2.	Cálculo de viga testera .....	35
3.1.3.	Cálculo de viga carrilera .....	43
3.2.	Cálculo de uniones soldadas.....	52
3.3.	Cálculo de columnas .....	55
3.4.	Selección de <i>trolley</i> y polipasto .....	59
3.5.	Selección de rodamientos .....	61
4.	ENCUESTA DE OPINIÓN SOBRE EL DISEÑO PROPUESTO.....	63
4.1.	Entrevista a ingenieros del área de diseño de la escuela de mecánica de la Facultad de Ingeniería USAC .....	63
4.2.	Tabulación de datos de la encuesta .....	64
4.3.	Análisis y conclusiones de la encuesta.....	68
	CONCLUSIONES .....	69
	RECOMENDACIONES.....	71
	BIBLIOGRAFÍA.....	73
	APÉNDICES .....	75
	ANEXOS.....	81



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Molde de soplado.....	3
2.	Esquema de puente grúa .....	8
3.	Puente grúa birraíl.....	14
4.	Puente grúa monorriel.....	14
5.	Puente grúa pórtico .....	15
6.	Flexión en viga .....	17
7.	Esfuerzo por flexión.....	17
8.	Diagrama de fuerza cortante y momento flector .....	20
9.	Ilustración del principio de superposición.....	21
10.	Diagrama de cuerpo libre viga puente.....	24
11.	Viga simplemente apoyada con carga puntual centrada.....	25
12.	Viga simplemente apoyada con carga puntual descentrada .....	26
13.	Diagrama perfil W14x22.....	29
14.	DCL cargas combinadas de viga puente.....	29
15.	Viga simplemente apoyada con carga distribuida .....	30
16.	Diagrama fuerza cortante de cargas combinadas en viga puente .....	33
17.	Diagrama momento flector de cargas combinadas en viga puente.....	33
18.	DCL viga puente con carga puntual aplicada a un extremo .....	36
19.	Diagrama perfil C6x8.2.....	38
20.	DCL de cargas en viga testera.....	38
21.	Diagrama fuerza cortante de cargas combinadas en viga testera .....	40
22.	Diagrama momento flector de cargas combinadas en viga testera.....	41
23.	DCL Viga carrilera .....	43

24.	Diagrama perfil W8x31 .....	44
25.	DCL de cargas en viga carrilera.....	45
26.	Viga simplemente empotrada con carga puntual centrada .....	45
27.	Viga simplemente empotrada con carga puntual centrada .....	47
28.	Diagrama fuerza cortante de cargas combinadas en viga carrilera .....	49
29.	Diagrama momento flector de cargas combinadas en viga carrilera ....	50
30.	Soldadura en viga testera .....	52
31.	Factor de fijación.....	56
32.	<i>Trolley</i> manual de cadena modelo HTG5000 .....	60
33.	Polipasto Yale VSIII .....	61
34.	Gráfica de respuestas de la primera pregunta .....	64
35.	Gráfica de respuestas de la segunda pregunta .....	65
36.	Gráfica de respuestas de la tercera pregunta .....	66
37.	Gráfica de respuestas de la cuarta pregunta .....	66
38.	Gráfica de respuestas de la quinta pregunta .....	67
39.	Gráfica de respuestas de la sexta pregunta .....	68

## TABLAS

I.	Datos iniciales en sistema inglés .....	24
II.	Momentos flectores en distintas longitudes de la viga .....	28
III.	Resultados de análisis de carga puntual en viga puente .....	30
IV.	Resultados de análisis de carga distribuida en viga puente .....	32
V.	Resultados de análisis de cargas combinadas en viga puente.....	32
VI.	Reacciones con carga puntual a 19.69 in de R1 .....	37
VII.	Reacciones totales.....	37
VIII.	Resultados de análisis de carga puntual en viga testera .....	39
IX.	Resultados de análisis de carga distribuida en viga testera .....	39
X.	Resultados de análisis de cargas combinadas en viga testera.....	40

XI.	Resultados de análisis de carga puntual en viga carrilera .....	46
XII.	Resultados de análisis de carga puntual en viga carrilera .....	48
XIII.	Resultados de análisis de cargas combinadas en viga carrilera .....	49



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Área
<b>P</b>	Carga puntual
<b>P<sub>c</sub></b>	Carga de pandeo crítica
<b>w</b>	Carga distribuida
<b>C<sub>c</sub></b>	Constante de columna
<b>y<sub>max</sub></b>	Deflexión máxima
<b>c</b>	Distancia al eje del centroide
<b>D</b>	Diámetro
<b>σ</b>	Esfuerzo de diseño
<b>σ<sub>a</sub></b>	Esfuerzo admisible
<b>σ<sub>max</sub></b>	Esfuerzo máximo
<b>σ<sub>y</sub></b>	Esfuerzo en límite de fluencia
<b>S</b>	Esfuerzo último de resistencia del material
<b>τ</b>	Esfuerzo cortante
<b>K</b>	Factor de fijación
<b>n</b>	Factor de seguridad
<b>V</b>	Fuerza cortante
<b>I</b>	Inercia
<b>I<sub>x</sub></b>	Inercia en eje x
<b>I<sub>y</sub></b>	Inercia en eje y
<b>I<sub>u</sub></b>	Inercia unitaria
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>lb</b>	Libras

<b>L</b>	Longitud
<b>Le</b>	Longitud efectiva
<b>m</b>	Metro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>M</b>	Momento flector
<b>E</b>	Módulo de elasticidad
<b>ft</b>	Pie
<b>In</b>	Pulgada
<b>psi</b>	Presión en libras por pulgada cuadrada
<b>r</b>	Radio de giro
<b>SR</b>	Relación de esbeltez
<b>Sult</b>	Resistencia a la tensión
<b>Sy</b>	Resistencia a la fluencia

## GLOSARIO

<b>Columna</b>	Elemento estructural que se posiciona de forma vertical.
<b>CMAA</b>	Crane Manufacturers Association of America.
<b>Extrusión</b>	Proceso industrial de moldeo de plástico por medio de un flujo constante de presión y fuerza.
<b>Flexión</b>	Deformación que se presenta en un elemento estructural alargado en dirección perpendicular a su eje.
<b>Grúa</b>	Máquina diseñada para el izaje de objetos pesados
<b>IML</b>	<i>In mould labeling</i> o etiquetado en molde.
<b>Inyección de plástico</b>	Proceso de moldeo de plástico que consiste en inyectar un polímero en un molde cerrado a presión.
<b>Izaje</b>	Forma de levantar o mover objetos con la ayuda de dispositivos especiales.
<b>Molde</b>	Conjunto de piezas acopladas interiormente huecas con formas talladas que se desean en el futuro solido a obtener.

<b>PET</b>	<i>Polyethylene Terephthalate</i> , polímero plástico que se obtiene mediante un proceso de polimerización.
<b>Polipasto</b>	Máquina diseñada para el izaje de objetos compuesta por dos o más poleas, cuerda, cable o cadena.
<b>Viga</b>	Elemento estructural lineal que trabaja principalmente a flexión.

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación consistió en la evaluación del proceso de cambio de moldes para la maquinaria de inyectado-etiquetado IML, buscando la optimización del proceso antes mencionado se realizó una propuesta de diseño de un puente grúa para facilitar el izaje de moldes y cargas variadas que se requieren en mantenimientos críticos.

Se realizó una inspección del área donde se ubica la máquina y se tomaron en cuenta las dimensiones requeridas para el diseño del puente grúa, basándose en los criterios de la norma CMAA 70<sup>1</sup> y de la carga máxima que se desea, se llevaron a cabo los cálculos para los distintos componentes que conforman el puente grúa, para así garantizar la fiabilidad de estos.

Realizando los cálculos correspondientes se propone un perfil W14x22 para la viga puente, la unión de dos perfiles C6x8.2 por medio de soldadura para conformar la viga testera, un perfil W8x31 para las dos vigas carrileras y las columnas correspondientes de la estructura y rodamientos de 8 in de diámetro. Debido al uso previsto y poco frecuente con el cual se utilizará el puente grúa se propone el uso de un polipasto Yale VSIII y *trolley* HTG5000 manuales.

---

<sup>1</sup> CRANE MANUFACTURERS ASSOCIATION OF AMERICA. *CMAA Specification #70*. p.1.



# OBJETIVOS

## General

Diseñar un puente grúa para cuarto de máquina IML en planta de inyección de plástico.

## Específicos

1. Recolectar información de por qué es necesaria la implementación del puente grúa.
2. Describir los parámetros que se requieren para el diseño del sistema mecánico del puente grúa.
3. Seleccionar y diseñar los elementos mecánicos que cumplan con las características tanto de seguridad como de soporte y de traslación de la viga puente sobre la estructura fija del puente grúa.
4. Realizar encuesta de opinión con expertos en diseño de máquinas acerca de la eficiencia del diseño del puente grúa.



## INTRODUCCIÓN

Durante la elaboración y producción de envases y preformas plásticas existen varios procesos importantes, cada uno diseñado para cubrir una necesidad específica tanto de forma, diseño, tamaño, como de proporciones de envase, preforma, tapadera. Cada proceso tiene sus propias características y diferencias, sin embargo, estos comparten un componente fundamental conocido como molde para poder darle la forma y proporciones deseadas al plástico.

Los moldes son componentes fundamentales para la elaboración de envases plásticos, independientemente del proceso que se esté utilizando. Debido a los materiales que se utilizan para la elaboración se requiere de un equipo especial para su manejo y traslado hacia cada una de las máquinas en los cuales son utilizados. Dependiendo del tamaño y dimensiones del molde se utilizan para su traslado carretillas, montacargas, plumas hidráulicas, entre otros equipos.

Observando la necesidad de tener un equipo que ayude a optimizar los tiempos de traslado de los moldes y cambio de estos, con respecto al área de producción de inyección IML, se diseñará un sistema de puente grúa para mejorar el traslado, los cambios de molde y cavidades.



# **1. INFORMACIÓN DEL POR QUÉ ES NECESARIA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PUENTE GRÚA**

Debido a la naturaleza de la empresa Inyectora de plástico y a el tipo de producción de envase que se elabora por medio de distintas tecnologías como soplado, inyección, soplado de preformas PET e inyector etiquetado IML, se presenta el porqué de la necesidad para el desarrollo del proyecto.

## **1.1. Importancia de la tecnología de inyector-etiquetado IML dentro de la empresa**

Debido a las distintas características y cualidades de los envases elaborados por medio de tecnología de inyector etiquetado IML, se ha podido notar la demanda de estos envases en sus distintas presentaciones.

Por lo cual la empresa busca aumentar tanto la eficiencia en producción, así como en procesos de mantenimiento y cambios de molde para la elaboración de las distintas presentaciones, se ha tomado la decisión de implementar una máquina extra para poder cumplir con la demanda actual, tomando en cuenta lo anterior se desea implementar un puente grúa en respuesta para mejorar el tiempo requerido durante los distintos procesos de mantenimiento y cambio de moldes.

## **1.2. Características básicas de los moldes utilizados**

Dentro de la elaboración de plásticos existen varios procesos como soplado, inyección, soplado PET e inyector etiquetado IML, los cuales pese a tener

procesos de elaboración de envases muy parecidos estos difieren en aspectos específicos que hacen que cada proceso sea único, compartiendo casi únicamente el elemento principal para la elaboración del envase el cual se conoce como molde.

Los moldes son elementos elaborados de distintos materiales como aluminio, duraluminio, antimonio u otras aleaciones. Estos se caracterizan por ser un bloque partido exactamente a la mitad con distintas formas talladas para poder obtener envases de diferentes formas y tamaños.

Entre los moldes utilizados para los distintos procesos para la elaboración de envases plásticos podemos mencionar los siguientes.

- Moldes de soplado: estos moldes están diseñados para tener talladas figuras simples o con más detalles los cuales no son posibles formar por medio de otro proceso. Una de las características principales es que el tipo de rosca que utilizara el envase a elaborar esta tallada directamente en el molde.
- Molde de soplado PET: este tipo de molde está diseñado para no tener figuras con una complejidad excesiva debido a que el proceso de elaboración de envases por este método requiere de una preforma previamente elaborada. Una de las características es que estos moldes poseen fondos separados del bloque que posee la figura.
- Molde de inyección e inyectado etiquetado IML: estos moldes son completamente diferentes a los mencionados anteriormente ya que estos moldes poseen una parte caliente por la cual pasa el material que será utilizado para la elaboración del envase y de una parte fría la cual ayuda a

la solidificación del material. Debido a que el principio del proceso de inyección e inyectado etiquetado no varía a grandes rasgos, estos moldes suelen ser similares.

Cabe mencionar que cada uno de los moldes descritos anteriormente cuenta con un sistema de enfriamiento por agua y en algunas ocasiones de aire a presión para obtener una buena transferencia de calor y apoyar a la solidificación del material.

Figura 1. **Molde de soplado**



Fuente: empresa Inyectora de Plásticos, en área Taller de Tornos.

### **1.3. Descripción básica del proceso de cambio de moldes y maquinaria utilizada durante el proceso**

Durante el proceso de cambio de moldes de inyectado etiquetado IML en la empresa inyectora de plásticos existe un procedimiento el cual se ha diseñado

en base a las dimensiones del molde y características de la máquina a que se utiliza para la elaboración de envases por este proceso.

Debido a que se cuenta con dos moldes los cuales pesan aproximadamente 2 ton., se utiliza una carretilla especialmente diseñada con rodos capaces de soportar el peso para el transporte de los moldes, así mismo para levantar los moldes sobre la máquina se utiliza una estructura con un polipasto manual de 5 ton. El procedimiento de cambio de moldes se describirá de forma básica continuación:

- Cuando se detiene la máquina, se debe retirar los envases que quedaron dentro del molde y se procede a cerrar el molde con los comandos manuales en la computadora de la máquina.
- Teniendo cerrado el molde se procede a atornillar un gancho en la parte superior del molde y engancharlo al polipasto para asegurar que el molde quede elevado al momento de desacoplarlo de la máquina de inyectado etiquetado IML.
- Se procede a retirar los tornillos que aseguran el molde a la máquina y con ayuda del polipasto se eleva el molde para retirarlo por la parte superior de la máquina y se procede a colocarlo en el suelo un momento.
- Posteriormente se coloca un gancho en la parte superior del molde que se desea acoplar a la máquina y levantarlo de la carretilla para colocarlo en la posición de acoplamiento e instalación en la máquina.
- Se asegura el molde colocando los tornillos nuevamente y se calibra el nuevo molde para su utilización.

- Para terminar el proceso se instala el gancho en la parte superior del molde retirado y se procede a elevarlo con la ayuda del polipasto para colocarlo en la carretilla especial.

Cabe mencionar que este procedimiento es muy similar cuando se realiza el cambio de cavidades en los moldes variando únicamente en que únicamente se quitaran las cavidades anteriores y se colocaran las deseadas, siempre levantándolas sobre la máquina de inyectado etiquetado IML.

#### **1.4. Dificultades que se presentan actualmente durante el proceso**

Durante el proceso de elaboración de envases por medio de inyectado etiquetado IML se deben tomar varios aspectos en cuenta, muchos de estos pueden afectar directamente la calidad del envase que se fabrica.

Haciendo énfasis en el proceso para el cambio de moldes o cavidades, se debe tomar en cuenta que este procedimiento genera un paro momentáneo de la maquinaria involucrada para la elaboración del envase, por lo cual en algunas ocasiones se pueden presentar inconvenientes de carácter sencillo como de mayor dificultad, muchas veces estos tienen que ver directamente con el molde aunque a veces se presentan en la maquinaria al ponerla funcionar nuevamente, algunos de estos se mencionan continuación.

- Desgaste de los retenedores y sellos.
- Extracción de tornillos para la fijación de moldes a máquina fracturados o quebrados.
- Fugas de agua en la parte fría del molde.

- Calibración y alineación del molde.
- Resistencias de la parte caliente dañadas.

Tomando en cuenta lo anterior estos paros se programan con un tiempo prudencial para así poder preparar los insumos necesarios para su realización.

## 2. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO DEL PUENTE GRÚA

Para la elaboración de un diseño óptimo se deben de tener presentes varios conceptos básicos, así como los parámetros a tomar en cuenta para la elaboración de un diseño que cumpla con los requerimientos que se desean. A continuación, se presentan los conceptos básicos acerca de los puentes grúa, así como los parámetros mínimos que se deben de tomar en cuenta para el diseño de uno de estos.

### 2.1. Puente grúa

Los puentes grúa son mecanismos especialmente diseñados para la elevación de grandes cargas, estos son ampliamente utilizados dentro de la industria debido a su capacidad de trasportar objetos de gran peso a diferentes puntos en los que sean requeridos.

“Estos mecanismos suelen contar con un sistema de control mediante cabina o por control manejado por un operador a una distancia prudencial desde el suelo”.<sup>2</sup>

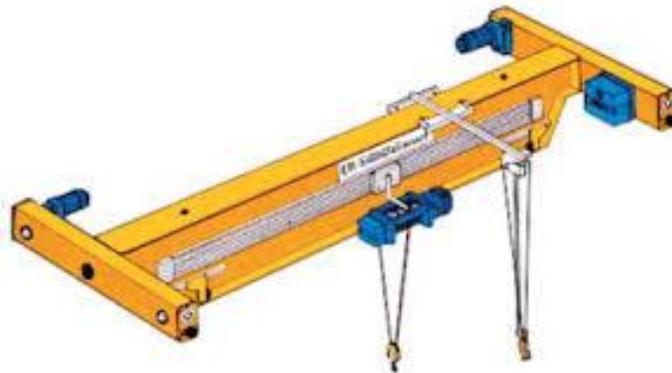
“Dependiendo del tipo de puente grúa, estos cuentan con tres movimientos característicos que generan un rango volumétrico, lo cual nos indica que son capaces de mover las cargas en un rango de operación limitado por las condiciones en las que está ubicado este. Los movimientos más comunes son

---

<sup>2</sup> VILLON & NARANJO, Richard & Natali. *Diseño de puente grúa para optimización de espacio en lugares abovedados*. p.3.

los de ascenso y descenso de cargas, movimiento transversal a lo largo de viga puente y movimiento paralelo a la estructura fija donde se instala el puente grúa”.<sup>3</sup>

Figura 2. **Esquema de puente grúa**



Fuente: Instituto Navarro de Salud Laboral.

*Guía para la adecuación y evaluación de riesgos en puente grúa.*

<https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/F78C69CE-48A0-4DCC-90CC-B8AF0B0B3F09/145866/GuaPuentesGrua.pdf>. Consulta: 7 de noviembre de 2020.

## 2.2. Partes de un puente grúa

Dependiendo de la aplicación para la que se desea y del presupuesto que se destina para su diseño y fabricación, los puentes grúa pueden contar con una gran variedad de componentes. A continuación, se mencionan algunos de los componentes que pueden encontrar en la mayor parte de puentes grúa.

---

<sup>3</sup> JURADO, José. *Diseño de una grúa tipo pórtico de 20 toneladas*. p.17.

### **2.2.1. Viga puente**

Este es el elemento más importante de un puente grúa, debido a que de esta dependen los componentes para la elevación de la carga, estas vigas están sometidas a grandes esfuerzos de flexión. “Estas vigas generalmente son manufacturadas de perfiles I o de secciones huecas, de acuerdo con los requerimientos del diseño”.<sup>4</sup>

### **2.2.2. Viga carrilera**

“Estas vigas soportan las cargas dinámicas producidas por el movimiento longitudinal de todo el sistema, por lo cual esta debe garantizar la seguridad estructural del puente grúa”.<sup>5</sup>

### **2.2.3. Viga testera**

Son vigas dispuestas de forma perpendicular a la viga principal. “Por lo general son diseñados a partir de perfiles estructurales de secciones huecas soldadas. En estas vigas generalmente se encuentran las ruedas, que deberán estar alineadas y montadas sobre las vigas carrileras”.<sup>6</sup>

### **2.2.4. Polipasto**

“Es un elemento mecánico formado por dos poleas, una fija y otra con movilidad sujeta por un cable o cadena, con esta es posible levantar cargas muy pesadas con una fuerza relativamente menor al peso del objeto. La fuerza que

---

<sup>4</sup> VILLON & NARANJO, Richard & Natali. *Diseño de puente grúa para optimización de espacio en lugares abovedados*. p.8.

<sup>5</sup> *Ibíd.* p. 9.

<sup>6</sup> *Ibíd.* p. 9.

ejerce el polipasto es igual al peso de la carga a levantar sobre dos por el número de poleas móviles”.<sup>7</sup>

### **2.2.5. Trolley o carro principal**

Es un sistema que generalmente va acoplado a la estructura de la viga puente, este elemento hace posible el desplazamiento y transporte de la carga a través de la viga. Este elemento soporta el polipasto y la carga que este levanta.

### **2.2.6. Motorreductor**

Este es un equipo generalmente conectado a una caja reductora, la cual transforma la energía eléctrica en energía mecánica de rotación, la cual se transforma en movimiento lineal a lo largo de la viga carrilera.

### **2.2.7. Mando de control**

Estos son controles que manejan el movimiento del puente grúa, “estos están conformados por una serie de botones los cuales dan ordenes al sistema para permitir un traslado transversal, longitudinal y de elevación adecuado”.<sup>8</sup>

### **2.2.8. Topes o fines de carrera**

Estos son componentes que dan señales eléctricas las cuales indican que la viga puente ha llegado al límite de la estructura, evitando así que esta continúe el movimiento.

---

<sup>7</sup> JARAMILLO, Geovanny. *Diseño de puente grúa y sistema de stand reel para mejorar el transporte de bobinas de papel en el proceso de rebobinado de la empresa cartopel*. p. 14.

<sup>8</sup> JURADO, José. *Diseño de una grúa tipo pórtico de 20 toneladas*. p.14.

## **2.3. Clasificación de puentes grúa**

Los puentes grúa se pueden clasificar según su diseño o condiciones de servicio establecidas por la Norma CMMA 70. A continuación se describirá la clasificación bajo estos dos criterios.

### **2.3.1. Clasificación según norma CMAA 70**

Según la norma CMMA 70 los puentes grúa se clasifican en grupos acorde a las condiciones de servicio de las partes con más carga neta de la grúa. Estas clasificaciones se definen a continuación.

#### **2.3.1.1. Clase A o de uso poco frecuente**

Esta clase de servicio cubre puentes grúa que puedan ser utilizados en instalaciones como, centrales eléctricas, servicios públicos, cuartos de turbinas, salas de motores y estaciones de transformadores donde se requiera el manejo de equipo de manera precisa a bajas velocidades con largos periodos de inactividad. Estos tipos de puentes grúa son utilizados para la instalación inicial de algún equipo o para servicios de mantenimiento poco frecuente.

#### **2.3.1.2. Clase B o de servicio liviano**

Esta clase de servicio cubre puentes grúa que puedan ser utilizados en talleres de reparación, operaciones simples de ensamblaje, edificios de servicios, bodegas de almacenamiento liviano, entre otros; Donde los requerimientos para el servicio son livianos y a baja velocidad. Las cargas pueden ser desde carga muerta a ocasionalmente con carga máxima con dos o cinco cargas por hora con un promedio de 10 pies de altura.

#### **2.3.1.3. Clase C o de servicio moderado**

Esta clase de servicio cubre puentes grúa que puedan ser utilizados en fábricas de maquinaria o fábricas de papel, donde los servicios requeridos sean moderados. En este tipo de servicios el puente grúa soportara cargas alrededor del 50 % de la capacidad máxima con cinco a diez elevaciones por hora, con un promedio 15 pies de altura, no sobre el 65 % de la capacidad de carga máxima.

#### **2.3.1.4. Clase D o de servicio pesado**

Esta clase de servicio cubre puentes grúa que puedan ser utilizados en fábricas de maquinaria pesada, fábricas metalúrgicas, depósitos de aceros, depósitos de contenedores, aserraderos, entre otras operaciones estándar con cubo y magnéticas donde se requiere alta carga de producción. En este tipo de servicio, las cargas se aproximan al 50 % del valor nominal que se maneja durante el periodo de trabajo. Altas velocidades son apreciables en este tipo de servicio con 10 a 20 elevaciones por hora, con una altura promedio de 15 pies, no sobre el 65 % de las elevaciones a la capacidad de carga máxima.

#### **2.3.1.5. Clase E o de servicio severo**

Esta clase de servicio requiere un puente grúa capaz de manejar cargas aproximadas a la carga máxima a lo largo de su vida útil. Estas aplicaciones pueden incluir operaciones magnéticas, de cubo o cubo magnético para manejo de chatarra, fabricación de cemento, plantas de fertilizantes, manejo de contenedores, entre otras aplicaciones que requieran veinte o más elevaciones por hora con cargas cercanas a la máxima.

### **2.3.1.6. Clase F o de servicio severo continuo**

Esta clase de servicio requiere un puente grúa capaz de manejar las cargas aproximadamente a la máxima continuamente bajo condiciones de servicio severo a lo largo de su vida útil. Las aplicaciones para este tipo de puentes grúa pueden incluir grúas especialmente diseñadas para realizar tareas críticas que sean fundamentales en un proceso de producción. Estas grúas deben brindar la más alta confiabilidad y requieren una facilidad de mantenimiento.

### **2.3.2. Clasificación según diseño**

Los puentes grúa también pueden ser clasificados según su diseño de instalación y movilidad, los más utilizados se describirán a continuación.

#### **2.3.2.1. Puente grúa birraíl**

Este tipo de puente grúa se utiliza para servicios continuos y elevación de cargas pesadas. “Este cuenta con dos vigas puente en las cuales se apoya y desplaza el carro que transporta el polipasto. La ventaja de este tipo de puente grúa es que el gancho puede alcanzar mayor altura de elevación”.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> JARAMILLO. Op. Cit. p. 11.

Figura 3. **Puente grúa birraíl**



Fuente: ICRANE. *Tipos de Puentes Grúa.*

<https://ellsenpuentegrúa.es/tipos-de-puentes-grúa/>. Consulta: 21 de enero de 2021.

### 2.3.2.2. **Puente grúa monorraíl**

“Este tipo de puente grúa es ideal para lugares donde existe restricción de espacio, se aplican en líneas de procesos de producción que cuenten con una ruta fija, como líneas de ensamblaje o de traslación de materia prima”.<sup>10</sup>

Figura 4. **Puente grúa monorraíl**



Fuente: ICRANE. *Tipos de Puentes Grúa.* <https://ellsenpuentegrúa.es/tipos-de-puentes-grúa/>.

Consulta: 21 de enero de 2021.

---

<sup>10</sup> VILLON & NARANJO. Op. Cit. p.4.

### 2.3.2.3. Puente grúa pórtico

“Este tipo de puente grúa esta diseñado para trabajar en exteriores, es ideal para montaje de estructuras de alto nivel. Estos constan de columnas auto soportadas sobre ruedas que se desplazan longitudinalmente en rieles a nivel del piso”.<sup>11</sup>

Figura 5. Puente grúa pórtico



Fuente: ICRANE. *Tipos de Puentes Grúa.*

<https://ellsengruaportico.es/que-es-una-grua-portico/>. Consulta: 21 de enero de 2021.

## 2.4. Análisis matemático de materiales para la elaboración del diseño de un puente grúa

A continuación, se indicarán los conceptos básicos a cerca de resistencia de los materiales a tomar en cuenta en el diseño de este tipo de maquinaria.

---

<sup>11</sup> VILLON & NARANJO. Op. Cit. p.6.

### 2.4.1. Factor de seguridad

“El factor de seguridad en el enfoque general del problema de la carga permisible contra la pérdida de carga de pérdida de función es el método del factor de diseño determinístico”.<sup>12</sup>

$$n = \frac{S}{\sigma}$$

Donde:

n = Factor de seguridad.

S = Esfuerzo último de resistencia del material.

$\sigma$  = Esfuerzo de diseño.

### 2.4.2. Flexión en vigas

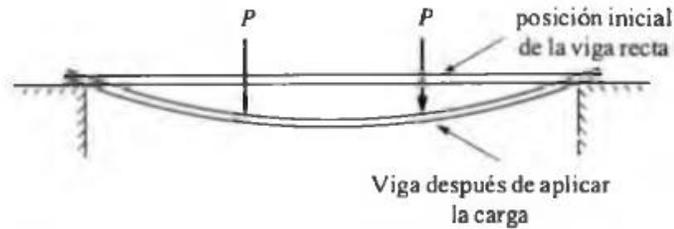
“Una viga es un elemento que se somete a cargas transversales, es decir, perpendiculares a lo largo de su eje. Tales cargas provocan esfuerzos cortantes en la viga y le imparten su figura característica de pandeo, dando como consecuencia esfuerzos flexionantes”.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> BUDYNAS & NISBETT, Richard & Keith. *Diseño en ingeniería mecánica*. p. 17.

<sup>13</sup> MOTT, Robert. *Resistencia de materiales aplicada*. p. 429.

Figura 6. **Flexión en viga**



Fuente: MOTT, Robert. *Resistencia de Materiales Aplicada*. p. 275.

#### 2.4.2.1. **Esfuerzo por flexión**

“Cuando se aplican cargas perpendiculares al eje mayor de una viga, se producen momentos flexionantes en su interior, que hacen que se flexione. Las fibras de la viga próximas a su cara superior se acortan y se ven sometidas a compresión”.<sup>14</sup>

Figura 7. **Esfuerzo por flexión**



Fuente: BUDYNAS, Richard; NISBETT, J. *Diseño en ingeniería mecánica de shingley*. p.71.

<sup>14</sup> MOTT, Robert. Op. Cit. p. 274.

“El esfuerzo por flexión varía linealmente con la distancia desde el eje neutro, y, y está dado por la ecuación 2”.<sup>15</sup>

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{Mc}{I}$$

Donde:

M = Momento Flector.

c = Distancia al eje del centroide.

I = Momento de inercia.

$\sigma_{\text{máx}}$  = Esfuerzo máximo.

#### 2.4.2.2. Momento de inercia por flexión

La propiedad de momento de inercia es una indicación de la rigidez de una viga, es decir, su resistencia a deflexionarse cuando se somete a cargas que tienden a flexionarla. La deflexión de una viga es inversamente proporcional al momento de inercia. “A continuación, se da a conocer la ecuación básica del momento de inercia”.<sup>16</sup>

$$I = \int y^2 dA$$

Donde:

I = Momento de inercia.

y = Distancia al centroide con respecto al eje de interés.

dA = Área de tamaño infinitesimalmente pequeño.

---

<sup>15</sup> BUDYNAS & NISBETT Op. Cit. p. 86.

<sup>16</sup> *Ibíd.* p. 86.

Existen varios métodos para determinar el momento de inercia de una figura, en el anexo 1 se muestran las fórmulas de momento de inercia de varias figuras básicas, así como de algunos perfiles disponibles comercialmente.

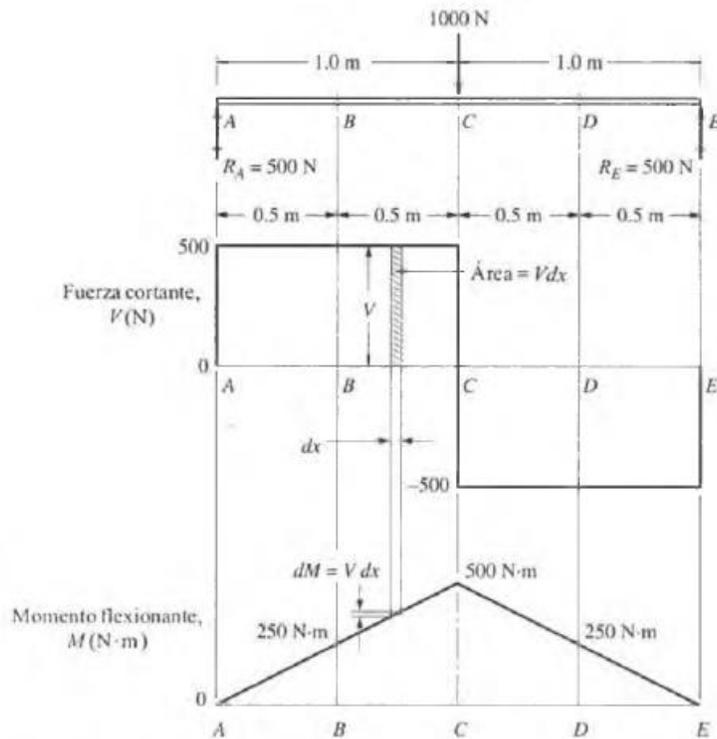
#### **2.4.2.3. Diagrama fuerza cortante y momento flector**

Estos diagramas permiten observar cómo varían los esfuerzos cortantes y los momentos flectores a lo largo de la viga. Para realizarlos es importante ubicar los valores máximos y mínimos de cada uno, ya que ellos permiten obtener un gráfico más detallado. “Para obtener los diagramas de corte y de momento flector se deben conocer las fuerzas y los pares internos, los cuales ejercen en la sección transversal de la viga cuando se carga con una fuerza”.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> SANTAMARÍA & TAMAY, HERNÁN & JUAN. *Rediseño y automatización del equipo para realizar ensayos de deflexión en vigas para el laboratorio de la UPS.* p. 10.

Figura 8. Diagrama de fuerza cortante y momento flector



Fuente: MOTT, Robert. *Resistencia de Materiales Aplicada*. p. 204.

#### 2.4.2.4. Análisis de flexión en vigas por método de superposición

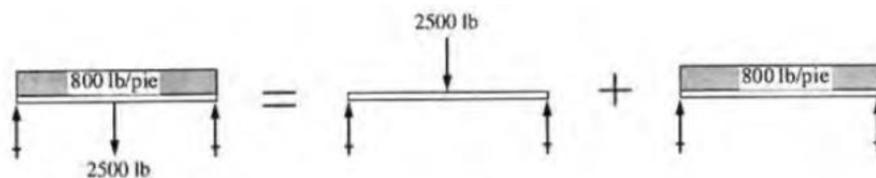
“La superposición resuelve el efecto de cargas combinadas sobre una estructura mediante la determinación de los efectos de cada carga por separado y sumando algebraicamente los resultados”.<sup>18</sup>

<sup>18</sup> BUDYNAS & NISBETT Op. Cit. p. 147.

Según Budynas & Nissbet la superposición se puede aplicar en los siguientes casos:

1) cada efecto esté relacionado linealmente con la carga que lo produce, 2) una carga no genere una condición que afecte el resultado de otra carga y 3) las deformaciones resultantes de alguna carga especifican no sean lo suficientemente grandes como para alterar las relaciones geométricas de las partes del sistema estructural.<sup>19</sup>

Figura 9. **Ilustración del principio de superposición**



Fuente: MOTT, Robert. *Resistencia de Materiales Aplicada*. p. 440.

## 2.5. **Parámetros necesarios para la elaboración del diseño**

Los parámetros que se toman en cuenta para la elaboración del diseño del puente grúa son los siguientes:

- Capacidad máxima de levantamiento de carga de 5 Toneladas.
- Viga puente de 4 metros de longitud.
- Viga testera de 0,8 metros de longitud.

<sup>19</sup>BUDYNAS & NISBETT, Op. Cit. p. 148.

- Viga carrilera de 6 metros de longitud.
- Columnas de 4 metros de longitud.

### **3. DISEÑO DE SOPORTE Y MECANISMO DE TRASLACIÓN DEL PUENTE GRÚA**

A continuación, se presenta el análisis matemático para la elaboración de los diferentes componentes del puente grúa, tomando en cuenta los parámetros descritos anteriormente.

#### **3.1. Análisis de cargas**

A continuación, se describe el análisis matemático que se realizó para el diseño y selección los tres tipos de vigas fundamentales que son utilizadas para los puentes grúa.

##### **3.1.1. Cálculo de viga puente**

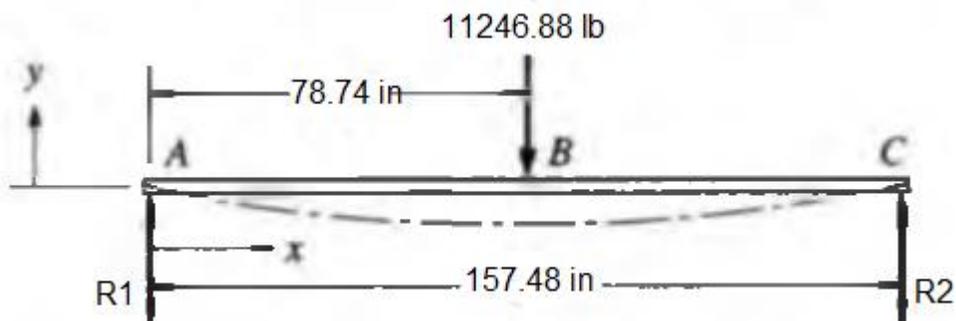
Tomando en cuenta las características deseadas descritas en la sección 2.5. El análisis se realiza en el sistema ingles debido a los requerimientos en la norma CMAA 70. A continuación en la tabla 1 se pueden encontrar los valores tanto de longitud y de peso a las cuales será sometida la viga puente en sus respectivas dimensionales en sistema inglés.

Tabla I. Datos iniciales en sistema inglés

Descripción	Sistema Internacional	Sistema inglés
Longitud viga	4 m	157,48 in
Capacidad Polipasto	5 000 kg	11 023,11 lb
Peso polipasto	43 kg	94,79 lb
Peso Trolley	58,5 kg	128,97 lb
Peso total de carga	5 101,5 kg	11 246,88 lb

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Figura 10. Diagrama de cuerpo libre viga puente



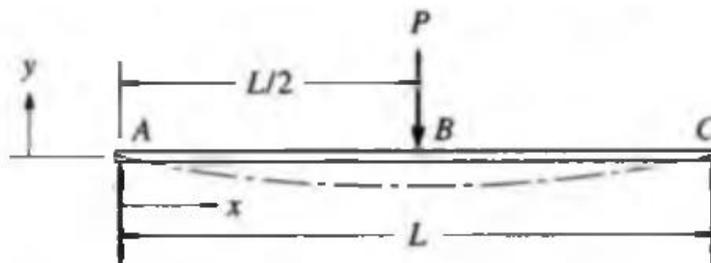
Fuente: elaboración propia, utilizando Adobe Photoshop.

- Cálculo de la deflexión máxima permisible: según la norma CMAA 70 en el inciso 3.5.5.1 se establece que, la máxima deflexión vertical permisible para la viga de un puente grúa, no debe exceder el valor de  $l/888$ . Donde  $l$  es la distancia de la luz entre los apoyos de la viga puente.

$$y_{max} < \frac{l}{888} = \frac{157,48 \text{ in}}{888} = 0,177 \text{ in} \quad (1)$$

- Cálculo de momento de inercia referencial: previo a la selección del perfil de acero que se requiere para la viga puente, se determina un momento de inercia referencial con la deflexión máxima permisible anteriormente calculada. Por lo cual se procede a realizar un análisis de carga puntual aplicada en distintos tramos sobre la viga para encontrar el caso en el cual se presente el momento flector máximo. Aplicando el método de superposición para encontrar las reacciones totales. Para el caso de una viga simplemente apoyada con una carga puntual centrada y para el caso de una viga simplemente apoyada con carga puntual descentrada.
- Para la viga simplemente apoyada con carga puntual centrada se utiliza el siguiente diagrama y ecuaciones.

Figura 11. **Viga simplemente apoyada con carga puntual centrada**



Fuente: MOTT, Robert. *Resistencia de Materiales Aplicada*. p. 614.

$$M = \frac{PL}{4} \quad (2)$$

$$y_{max} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (3)$$

$$V = \frac{P}{2} \quad (4)$$

$$R1 = R2 = \frac{P}{2} \quad (5)$$

Donde:

P = Carga puntual

L = Longitud de viga

E = Modulo de elasticidad del acero, normado por la ASTM A36 con un valor de 29 000 000 psi

I = Inercia del perfil seleccionado

M = Momento flector

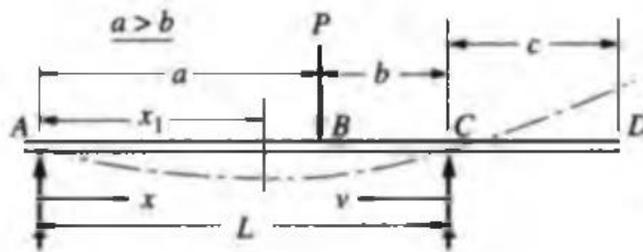
$y_{max}$  = Deflexión máxima

V = Fuerza cortante

R1 = R2 = Reacciones en puntos de apoyo

- Para la viga simplemente apoyada con carga puntual descentrada se utiliza el siguiente diagrama y ecuaciones.

Figura 12. **Viga simplemente apoyada con carga puntual descentrada**



Fuente: MOTT, Robert. *Resistencia de Materiales Aplicada*. p. 614.

$$M = \frac{Pab}{L} \quad (6)$$

$$y_{max} = \frac{Pab(L+b)\sqrt{3a(L+b)}}{27EIL} \text{ siempre que } a > b \quad (7)$$

$$V = \frac{Pb}{L} \quad (a < b) \quad (8)$$

$$R1 = \frac{Pb}{L} \quad (9)$$

$$R2 = \frac{Pa}{L} \quad (10)$$

Donde:

P = Carga puntual

L = Longitud de viga

a = Distancia entre el primer apoyo y P

b = Distancia entre el segundo apoyo y C

E = Modulo de elasticidad del acero, normado por la ASTM A36 con un valor de  
29 000 000 psi

I = Inercia del perfil seleccionado

M = Momento flector

$y_{max}$  = Deflexión máxima

V = Fuerza cortante

R1 = R2 = Reacciones en puntos de apoyo

- Utilizando las ecuaciones 2 y 6, se obtuvieron los siguientes resultados presentados en tabla II, Donde se puede notar que el momento flector máximo se presenta cuando la carga puntual se encuentra centrada en la viga, lo cual nos indica que en ese punto se presenta la deflexión máxima.

Tabla II. **Momentos flectores en distintas longitudes de la viga**

<b>Longitud respecto a R1 (in)</b>	<b>Momento Flector (lb-in)</b>
78,74	442 789,7562
59,06	415 115,6776
39,37	332 092,8795
19,69	332 092,8795

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

- Debido a que el momento flector máximo se presenta cuando se tiene la carga puntual se encuentra centrada en la viga. Se determina el momento de inercia referencial despejando la variable  $I$  de la ecuación 3. Considerando el módulo de elasticidad del acero estructural normado por la ASTM A-36 es de  $E=29\ 000\ 000$  psi.

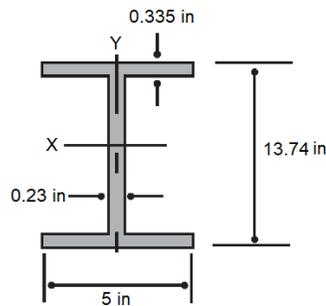
$$I = \frac{PL^3}{48Ey_{max}} \quad (11)$$

$$I = \frac{(11\ 246,88\ lb)(157,48\ in)^3}{48 * 29\ 000\ 000 \frac{lb}{in^2} * 0,177\ in} = 178,27\ in^4$$

- Selección de sección transversal requerida: se procede a comparar distintos perfiles con relación al valor de inercia referencial calculado con la ecuación 5, considerando las dimensiones y si peso. Se analiza el perfil W10x30 de la ficha técnica de perfiles de la empresa Aceros de Guatemala, adjunta en el anexo 3, cual posee un valor de inercia de  $170\ in^4$ , el cual no cumple con el valor de inercia requerido, el siguiente perfil que se analiza es el W14x22 el cual posee un valor de inercia de  $199\ in^4$  y un peso de  $22\ lb/ft$ , el cual es un valor de inercia aceptable. Estando

disponible en el mercado nacional, por lo cual se selecciona como perfil de referencia para el diseño.

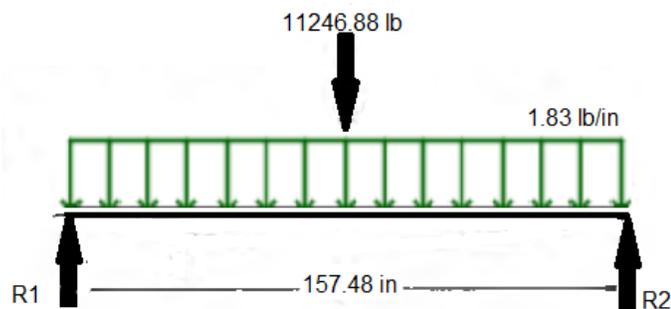
Figura 13. **Diagrama perfil W14x22**



Fuente: elaboración propia, utilizando Adobe Photoshop.

- Análisis estático de cargas, momento flector, fuerza cortante y deflexión: a continuación, se muestra un diagrama de cuerpo libre de todas las cargas involucradas a lo largo de la viga. Utilizando el método de superposición se analiza cada carga de forma individual sumando los resultados finales para obtener el análisis de cargas completo.

Figura 14. **DCL cargas combinadas de viga puente**



Fuente: elaboración propia, utilizando Adobe Photoshop.

- Utilizando las ecuaciones 2, 3, 4 y 5, descritas anteriormente. Se lleva a cabo el análisis de la carga puntual. Obteniendo los resultados que se presentan a continuación en la tabla III.

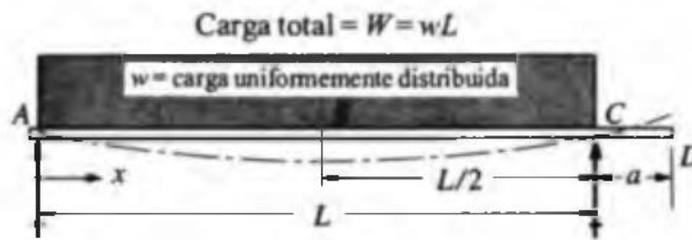
Tabla III. **Resultados de análisis de carga puntual en viga puente**

<b>Carga puntual centrada</b>		
<b>R1</b>	5 623,441	lb
<b>R2</b>	5 623,441	lb
<b>M</b>	442 789,756	lb-in
<b>V</b>	5623,441	lb
<b><math>y_{max}</math></b>	0,159	in

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

- Para la carga distribuida, se presenta a continuación un diagrama y las ecuaciones correspondientes para llevar a cabo su análisis.

Figura 15. **Viga simplemente apoyada con carga distribuida**



Fuente: MOTT, Robert. *Resistencia de Materiales Aplicada*. p. 614.

$$M = \frac{wL^2}{8} \quad (12)$$

$$y_{max} = \frac{5wL^4}{384EI} \quad (13)$$

$$V = \frac{wL}{2} \quad (14)$$

$$R1 = R2 = \frac{wL}{2} \quad (15)$$

Donde:

w = Carga distribuida

L = Longitud de viga

E = Modulo de elasticidad del acero, normado por la ASTM A36 con un valor de  
29 000 000 psi

I = Inercia del perfil seleccionado

M = Momento flector

$y_{max}$  = Deflexión máxima

V = Fuerza cortante

R1 = R2 = Reacciones en puntos de apoyo

- Utilizando las ecuaciones 12, 13, 14 y 15, descritas anteriormente. Se lleva a cabo el análisis de la carga distribuida generada por el peso de la propia viga seleccionada. Obteniendo los resultados que se presentan a continuación en la tabla IV.

Tabla IV. **Resultados de análisis de carga distribuida en viga puente**

<b>Carga distribuida debido al peso de la viga</b>		
<b>R1</b>	144,094	lb
<b>R2</b>	144,094	lb
<b>M</b>	5 672,989	lb-in
<b>V</b>	144,094	lb
<b><math>y_{max}</math></b>	0,003	in

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

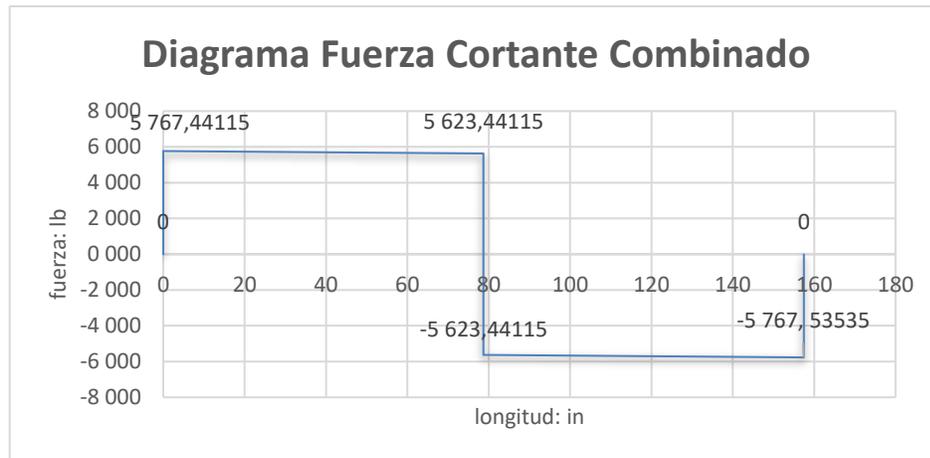
- Teniendo el análisis individual de ambos casos presentes en la viga se procede a sumar los valores correspondientes, obteniendo así el valor total de las reacciones, momento flector, fuerza cortante y deflexión máxima. Los resultados se presentan en la tabla V. Así mismo se presentan las gráficas de fuerza cortante y momento flector del análisis de las cargas combinadas.

Tabla V. **Resultados de análisis de cargas combinadas en viga puente**

<b>Resultados de análisis de cargas combinadas</b>		
<b>R1</b>	5 767,535	lb
<b>R2</b>	5 767,535	lb
<b>M</b>	448 462,745	lb-in
<b>V</b>	5 767,535	lb
<b><math>y_{max}</math></b>	0,161	in

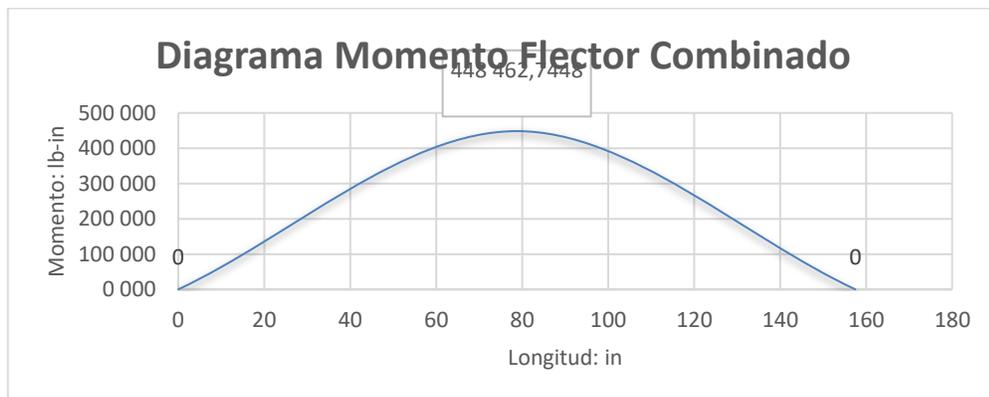
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Figura 16. **Diagrama fuerza cortante de cargas combinadas en viga puente**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Figura 17. **Diagrama momento flector de cargas combinadas en viga puente**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

- La deflexión total a la que está sometida la viga en el análisis está dada por la deflexión debido a la carga puntual más la de la carga distribuida en la viga, este valor se establece como  $y_{max}$  en la tabla V. Tomando en cuenta que esta debe cumplir con la norma CMAA 70, inciso 3.5.5.1 donde se establece que la deformación máxima permisible que debe soportar la viga puente es de  $l/888$ . Donde  $l$  es la distancia de la luz entre los apoyos de la viga puente. Como se analizó en la ecuación 1, la deflexión de la viga puente no deberá exceder un valor de  $y_{max\ ref} = 0,177\ in$ . Tomando en cuenta que el valor calculado de  $y_{max}$  con las cargas combinadas presenta una deflexión  $y_{max} = 0,161\ in$ . Se puede determinar que  $y_{max} < y_{max\ ref}$ , por tanto, el perfil de viga seleccionado cumple con los parámetros de la norma.
- Cálculo de esfuerzo a flexión y cálculo de factor de seguridad: el esfuerzo máximo de una viga sometida a flexión está dada por la siguiente ecuación.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} * c}{I_x} \quad (16)$$

- Donde  $c$  es la distancia desde el eje neutro del perfil  $c = \frac{13,74}{2}\ in$  como se puede observar en la figura 13. Por tanto:

$$\sigma_{max} = \frac{448\ 462,756\ lb - in * 6,87\ in}{199\ in^4} = 15\ 482,11\ psi$$

- Debido a que el esfuerzo límite a la fluencia para el acero estructural normado por la ASTM A-36 es de  $\sigma_y = 36\ 259\ psi$ , el esfuerzo

máximo a la que es sometida la viga según la norma CMAA 70 inciso 3.4.1, no debe superar el  $0.75\sigma_y$ , por tanto:

$$\sigma_{max} < 0,75\sigma_y \quad (17)$$

$$15\,482,11\,psi < 0,75(36\,259\,psi)$$

$$15\,482,11\,psi < 27\,194,25\,psi \text{ CUMPLE}$$

- El factor de seguridad según norma CMAA 70 es igual a  $n = 1.33$ , comprobando por medio del siguiente calculo que la viga puente cumple con el parámetro mencionado.

$$n = \frac{0,75\sigma_y}{\sigma_{max}} \geq 1,33 \quad (18)$$

$$n = \frac{27\,194,25\,psi}{15\,482,11\,psi}$$

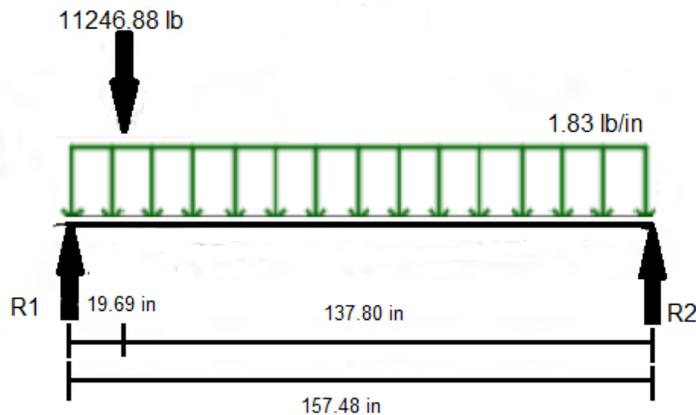
$$n = 1,75 \text{ CUMPLE}$$

### 3.1.2. Cálculo de viga testera

Las vigas testeras son en las que se apoyan los extremos de la viga puente y estas se encuentran generalmente soportadas por dos ruedas. La norma CMAA 70 inciso 3.6.1, establece que el puente grúa deberá de transportarse mediante vigas testeras diseñadas para transportar la carga máxima dada cuando se levante el peso máximo en un extremo del puente grúa. La distancia entre las ruedas de la viga testera no deberá ser menor a  $l/7$  de la luz o distancia entre los apoyos de la viga puente. Para determinar el perfil adecuado para la viga testera se debe tomar en cuenta las dimensiones de los componentes que llevará

en su interior y exterior. A continuación, se muestra un diagrama donde se muestra la carga puntual aplicada a un extremo.

Figura 18. **DCL viga puente con carga puntual aplicada a un extremo**



Fuente: elaboración propia, utilizando Adobe Photoshop.

- Análisis de cargas de viga puente con carga puntual aplicada a un extremo: a continuación, se lleva a cabo un análisis de cargas basándose en el diagrama de la figura 18, para así determinar las reacciones en los apoyos cuando la carga máxima sea elevada en uno de los extremos del puente grúa. Se utiliza el método de superposición para encontrar las reacciones a las que se somete cada uno de los apoyos con las distintas cargas para así obtener las reacciones totales.
- Para el análisis de la carga puntual descentrada se utilizan las ecuaciones 9 y 10 para encontrar las reacciones en cada uno de los apoyos. Obteniendo los resultados que se presentan en la tabla VI.

Tabla VI. **Reacciones con carga puntual a 19,69 in de R1**

<b>Reacciones con carga puntual a 19,69 IN de R1</b>		
<b>R1</b>	9 841,022	lb
<b>R2</b>	1 405,860	lb

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

- El análisis de la carga distribuida se realizó anteriormente presentando los resultados en la tabla IV. Con reacciones de  $R1 = R2 = 144,094 \text{ lb}$  en cada uno de los apoyos. Por lo tanto, las reacciones totales en los apoyos cuando las cargas se aplican según el diagrama de la figura 18, se presentan en la tabla VII.

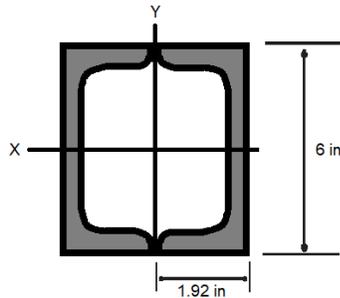
Tabla VII. **Reacciones totales**

<b>Reacciones con carga puntual a 19.69 IN de R1</b>		
<b>R1</b>	9 985,116	lb
<b>R2</b>	1 549,955	lb

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

- Selección de sección transversal requerida: se propone el uso de una sección transversal compuesta por dos perfiles C6x8.2 de acero estructural bajo la norma ASTM A-36, ya que estos permiten la instalación de componentes en su interior, según tablas de propiedades del perfil adjuntas en el anexo 5, este perfil cuenta con una inercia de  $13,1 \text{ in}^4$  y un peso de  $8,2 \text{ lb/ft}$ . A continuación, se presenta el análisis para verificar el cumplimiento de los requerimientos de diseño.

Figura 19. **Diagrama perfil C6x8.2**



Fuente: elaboración propia, utilizando Adobe Photoshop.

- Análisis estático de cargas, momento flector, fuerza cortante y deflexión: para el análisis estático de la viga testera se tomará el valor de R1 de la tabla VII, como la carga máxima que deberá soportar la viga testera. A continuación, se presenta un diagrama de cargas aplicadas en la viga testera. Utilizando el método de superposición se analiza cada carga de forma individual sumando los resultados finales para obtener el análisis de cargas completo.

Figura 20. **DCL de cargas en viga testera**



Fuente: elaboración propia, utilizando Adobe Photoshop.

- Utilizando las ecuaciones 2, 3, 4 y 5, descritas anteriormente. Se lleva a cabo el análisis de la carga puntual. Obteniendo los resultados que se presentan a continuación en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Resultados de análisis de carga puntual en viga testera**

<b>Carga puntual centrada</b>		
<b>R1</b>	4 992,558	lb
<b>R2</b>	4 992,558	lb
<b>M</b>	78 607,826	lb-in
<b>V</b>	4 992,558	lb
<b><math>y_{max}</math></b>	0,009	in

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

- Utilizando las ecuaciones 12, 13, 14 y 15, descritas anteriormente. Se lleva a cabo el análisis de la carga distribuida generada por el peso de la propia viga seleccionada. Obteniendo los resultados que se presentan a continuación en la tabla IX.

Tabla IX. **Resultados de análisis de carga distribuida en viga testera**

<b>Carga distribuida debido al peso de la viga</b>		
<b>R1</b>	10,754	lb
<b>R2</b>	10,754	lb
<b>M</b>	84,660	lb-in
<b>V</b>	10,754	lb
<b><math>y_{max}</math></b>	0,000012	in

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

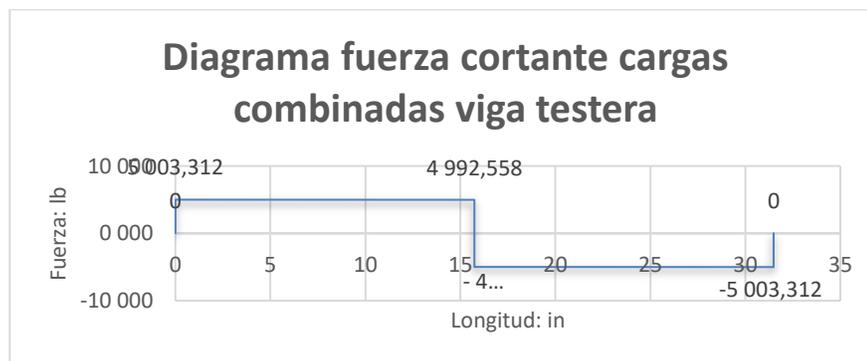
- Teniendo el análisis individual de ambos casos presentes en la viga se procede a sumar los valores correspondientes, obteniendo así el valor total de las reacciones, momento flector, fuerza cortante y deflexión máxima. Los resultados se presentan en la tabla X. Así mismo se presentan las gráficas de fuerza cortante y momento flector del análisis de las cargas combinadas

Tabla X. **Resultados de análisis de cargas combinadas en viga testera**

<b>Resultados de análisis de cargas combinadas en viga testera</b>		
<b>R1</b>	5 003,312	lb
<b>R2</b>	5 003,312	lb
<b>M</b>	78 692,485	lb-in
<b>V</b>	5 003,312	lb
<b><math>y_{max}</math></b>	0,009	in

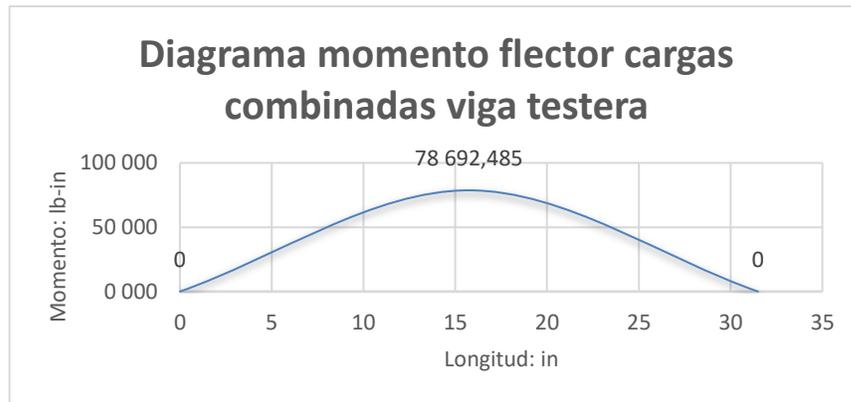
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Figura 21. **Diagrama fuerza cortante de cargas combinadas en viga testera**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Figura 22. **Diagrama momento flector de cargas combinadas en viga testera**



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel.

- La deflexión total a la que está sometida la viga en el análisis está dada por la deflexión debido a la carga puntual más la de la carga distribuida en la viga, este valor se establece como  $y_{max}$  en la Tabla X. Tomando en cuenta que esta debe cumplir con la norma CMAA 70, inciso 3.5.5.1 donde se establece que la deformación máxima permisible que debe soportar la viga puente es de  $l/888$ . Donde  $l$  es la distancia de la luz entre los apoyos de la viga puente. La deflexión de la viga testera no deberá exceder un valor de  $y_{max\ ref} = 0,0035\ in$ . Tomando en cuenta que el valor calculado de  $y_{max}$  con las cargas combinadas presenta una deflexión  $y_{max} = 0,009\ in$ . Se puede determinar que  $y_{max} < y_{max\ ref}$ , por tanto, el perfil de viga seleccionado cumple con los parámetros de la norma.

- Cálculo de esfuerzo a flexión y cálculo de factor de seguridad: el esfuerzo máximo de una viga sometida a flexión está dada por la siguiente ecuación.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} * c}{I_x}$$

- Donde c es la distancia desde el eje neutro del perfil  $c = \frac{6}{2} \text{ in}$ . Como se puede observar en la figura 19. Por tanto:

$$\sigma_{max} = \frac{78\,692,485 \text{ lb} - \text{in} * 3 \text{ in}}{26,2 \text{ in}^4} = 9\,010,589 \text{ psi}$$

- Debido a que el esfuerzo limite a la fluencia para el acero estructural normado por la ASTM A-36 es de  $\sigma_y = 36\,259 \text{ psi}$ , el esfuerzo máximo a la que es sometida la viga según la norma CMAA 70 inciso 3.4.1, no debe superar el  $0,75\sigma_y$ , por tanto:

$$\sigma_{max} < 0,75\sigma_y \quad (19)$$

$$9\,010,589 \text{ psi} < 0,75(36\,259 \text{ psi})$$

$$9\,010,589 \text{ psi} < 27\,194,25 \text{ psi} \text{ CUMPLE}$$

- El factor de seguridad según norma CMAA 70 es igual a  $n = 1,33$ , comprobando por medio del siguiente calculo que la viga testera cumple con el parámetro mencionado.

$$n = \frac{0,75\sigma_y}{\sigma_{max}} \geq 1,33 \quad (20)$$

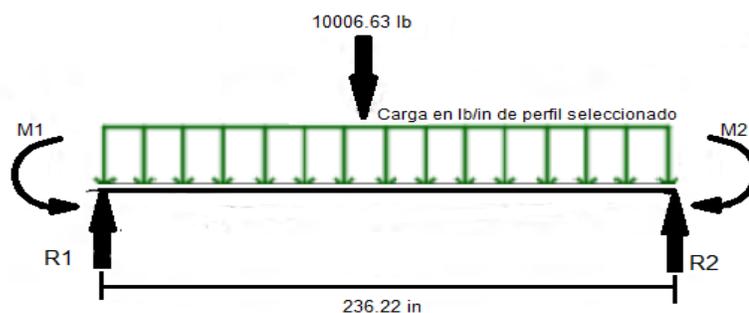
$$n = \frac{27\,194,25 \text{ psi}}{9\,010,589 \text{ psi}}$$

$$n = 3,02 \text{ CUMPLE}$$

### 3.1.3. Cálculo de viga carrilera

Las vigas carrileras son las encargadas de soportar el peso estructural del puente grúa y la carga máxima que se desea levantar, contando con una platina que guía los rodamientos del puente grúa. Para el diseño de estas vigas se cuenta con un espacio libre de 6 metros de longitud en las que se piensa instalar una serie de columnas para su instalación. A continuación, se presenta un diagrama representando la carga máxima que soportara la viga, la cual se encuentra cuando la viga testera este en las condiciones de diseño que se analizaron anteriormente. Suponiendo cada reacción en la tabla X, provocada por la viga testera como una sola carga puntual.

Figura 23. DCL Viga carrilera

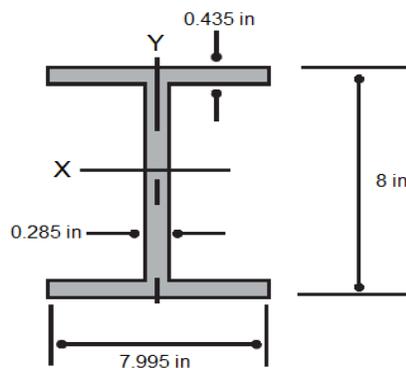


Fuente: elaboración propia, utilizando Adobe Photoshop.

- Selección de sección transversal requerida: se propone el uso de una sección transversal compuesta por un perfil W8x31 de acero estructural

bajo la norma ASTM A-36, según tablas de propiedades del perfil adjuntas en el anexo 3, este perfil cuenta con una inercia de  $110 \text{ in}^4$  y un peso de  $31 \text{ lb/ft}$ . A continuación, se presenta el análisis para verificar el cumplimiento de los requerimientos de diseño.

Figura 24. Diagrama perfil W8x31



Fuente: elaboración propia, utilizando Adobe Photoshop.

- Análisis estático de cargas, momento flector, fuerza cortante y deflexión: para el análisis estático de la viga carrilera se tomará el valor de R1 y R1 de la tabla X, como una sola carga máxima puntual centrada que deberá soportar la viga carrilera. A continuación, se presenta un diagrama de cargas aplicadas en la viga carrilera. Utilizando el método de superposición se analiza cada carga de forma individual sumando los resultados finales para obtener el análisis de cargas completo.

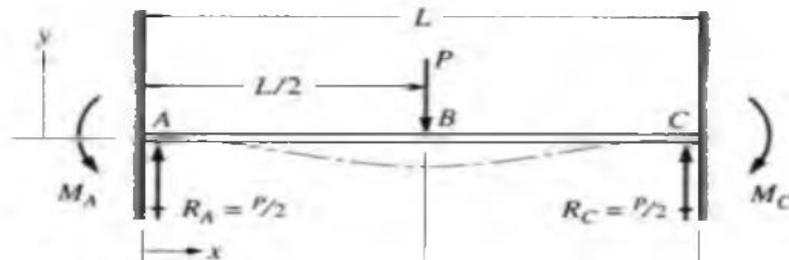
Figura 25. **DCL de cargas en viga carrilera**



Fuente: elaboración propia, utilizando Adobe Photoshop.

- Para una viga empotrada con carga puntual centrada, se presenta a continuación un diagrama y las ecuaciones correspondientes para llevar a cabo su análisis.

Figura 26. **Viga simplemente empotrada con carga puntual centrada**



Fuente: MOTT, Robert. *Resistencia de Materiales Aplicada*. p. 619.

$$M_a = M_b = M_c = \frac{Pl}{8} \quad (21)$$

$$y_{max} = \frac{PL^3}{192EI} \quad (22)$$

$$V = \frac{P}{2} \quad (23)$$

$$R1 = R2 = \frac{P}{2} \quad (24)$$

Donde:

P = Carga

L = Longitud de viga

E = Modulo de elasticidad del acero, normado por la ASTM A36 con un valor de 29 000 000 psi

I = Inercia del perfil seleccionado

Ma = Mb = Mc = Momento flector

$y_{max}$  = Deflexión máxima

V = Fuerza cortante

R1 = R2 = Reacciones en puntos de apoyo

- Utilizando las ecuaciones 21, 22, 23 y 24, descritas anteriormente. Se lleva a cabo el análisis de la viga empotrada con carga puntual centrada. Obteniendo los resultados que se presentan a continuación en la tabla XI.

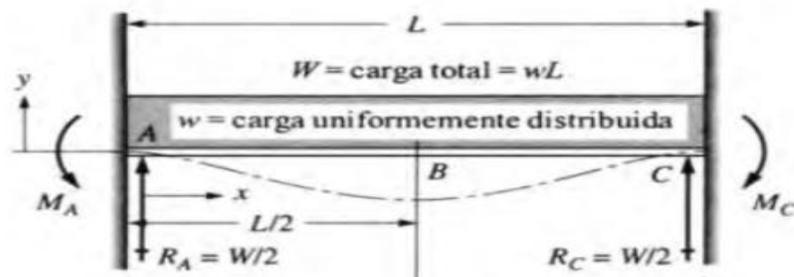
Tabla XI. **Resultados de análisis de carga puntual en viga carrilera**

<b>Carga puntual centrada</b>		
<b>R1</b>	5 003,312	lb
<b>R2</b>	5 003,312	lb
<b>M1 y M2</b>	-295 470,590	lb
<b>M</b>	295 470,590	lb-in
<b>V</b>	5 003,312	lb
<b><math>y_{max}</math></b>	0,2154	in

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

- Para una viga empotrada con carga distribuida, se presenta a continuación un diagrama y las ecuaciones correspondientes para llevar a cabo su análisis.

Figura 27. **Viga simplemente empotrada con carga puntual centrada**



Fuente: MOTT, Robert. *Resistencia de Materiales Aplicada*. p. 619.

$$M_a = M_c = \frac{wL^2}{12} \quad (25)$$

$$M_b = \frac{wL^2}{24} \quad (26)$$

$$y_{max} = \frac{wL^4}{384EI} \quad (27)$$

$$V = \frac{wL}{2} \quad (28)$$

$$R_1 = R_2 = \frac{wl}{2} \quad (29)$$

Donde:

P = Carga distribuida

L = Longitud de viga

E = Modulo de elasticidad del acero, normado por la ASTM A36 con un valor de 29 000 000 psi

I = Inercia del perfil seleccionado

Ma = Mb = Mc = Momento flector

$y_{max}$  = Deflexión máxima

V = Fuerza cortante

R1 = R2 = Reacciones en puntos de apoyo

- Utilizando las ecuaciones 25, 26, 27, 28 y 29, descritas anteriormente. Se lleva a cabo el análisis de la viga empotrada con carga puntual centrada. Obteniendo los resultados que se presentan a continuación en la tabla XII.

Tabla XII. **Resultados de análisis de carga puntual en viga carrilera**

<b>Carga distribuida debida al peso de la viga</b>		
<b>R1</b>	305,078	lb
<b>R2</b>	305,078	lb
<b>M1 y M2</b>	-12 010,926	lb
<b>M</b>	6 005,463	lb-in
<b>V</b>	305,078	lb
<b><math>y_{max}</math></b>	0,006566	in

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

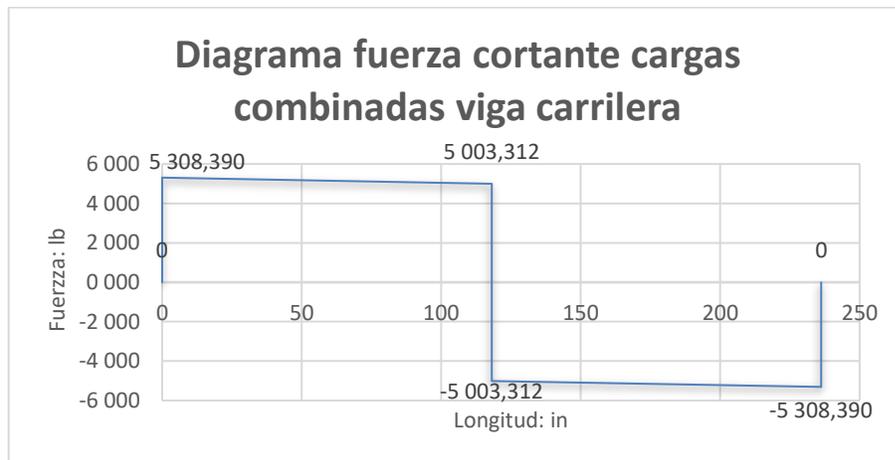
- Teniendo el análisis individual de ambos casos presentes en la viga se procede a sumar los valores correspondientes, obteniendo así el valor total de las reacciones, momento flector, fuerza cortante y deflexión máxima. Los resultados se presentan en la tabla XIII. Así mismo se presentan las gráficas de fuerza cortante y momento flector del análisis de las cargas combinadas.

Tabla XIII. **Resultados de análisis de cargas combinadas en viga carrilera**

<b>Carga distribuida debida al peso de la viga</b>		
<b>R1</b>	5 308,390	lb
<b>R2</b>	5 308,390	lb
<b>M1 y M2</b>	-307 481,516	lb
<b>M</b>	301 476,053	lb-in
<b>V</b>	5 308,390	lb
<i>y<sub>max</sub></i>	0,222	in

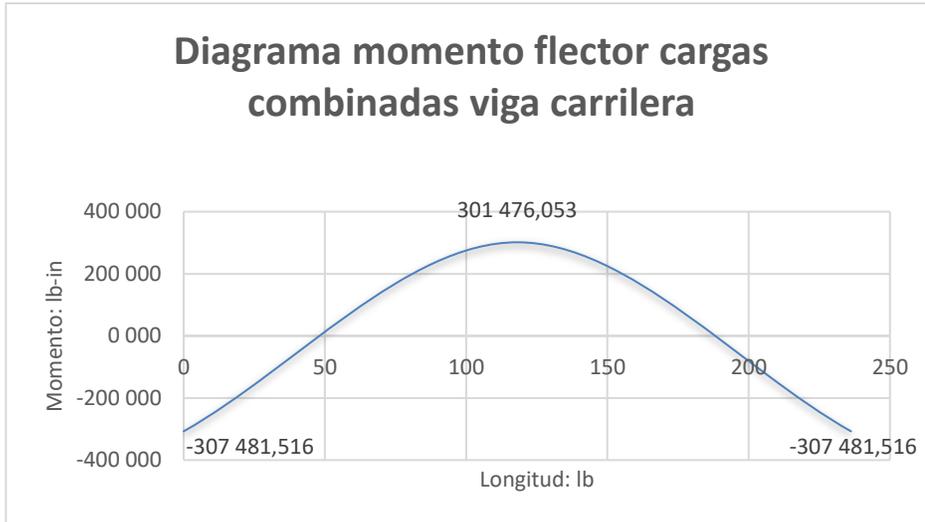
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Figura 28. **Diagrama fuerza cortante de cargas combinadas en viga carrilera**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Figura 29. **Diagrama momento flector de cargas combinadas en viga carrilera**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

- La deflexión total a la que está sometida la viga en el análisis está dada por la deflexión debido a la carga puntual más la de la carga distribuida en la viga, este valor se establece como  $y_{max}$  en la tabla XIII. Tomando en cuenta que esta debe cumplir con la norma CMAA 70, inciso 3.5.5.1 donde se establece que la deformación máxima permisible que debe soportar la viga puente es de  $l/888$ . Donde  $l$  es la distancia de la luz entre los apoyos de la viga puente. La deflexión de la viga carrilera no deberá exceder un valor de  $y_{max\ ref} = 0,266\ in$ . Tomando en cuenta que el valor calculado de  $y_{max}$  con las cargas combinadas presenta una deflexión  $y_{max} = 0,222\ in$ . Se puede determinar que  $y_{max} < y_{max\ ref}$ , por tanto, el perfil de viga seleccionado cumple con los parámetros de la norma.

- Cálculo de esfuerzo a flexión y cálculo de factor de seguridad: el esfuerzo máximo de una viga sometida a flexión está dada por la siguiente ecuación.

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} * c}{I_x}$$

- Donde c es la distancia desde el eje neutro del perfil  $c = \frac{8}{2} in$ . Como se puede observar en la figura 24. Por tanto:

$$\sigma_{max} = \frac{301\,476,053\ lb - in * 4\ in}{110\ in^4} = 10\,962,766\ psi$$

- Debido a que el esfuerzo limite a la fluencia para el acero estructural normado por la ASTM A-36 es de  $\sigma_y = 36\,259\ psi$ , el esfuerzo máximo a la que es sometida la viga según la norma CMAA 70 inciso 3.4.1, no debe superar el  $0,75\sigma_y$ , por tanto:

$$\sigma_{max} < 0,75\sigma_y \quad (30)$$

$$10\,962,766\ psi < 0,75(36\,259\ psi)$$

$$10\,962,766\ psi < 27\,194,25\ psi \text{ CUMPLE}$$

- El factor de seguridad según norma CMAA 70 es igual a  $n = 1,33$ , comprobando por medio del siguiente calculo que la viga carrilera cumple con el parámetro mencionado.

$$n = \frac{0,75\sigma_y}{\sigma_{max}} \geq 1,33 \quad (31)$$

$$n = \frac{27\,194,25 \text{ psi}}{10\,962,766 \text{ psi}}$$

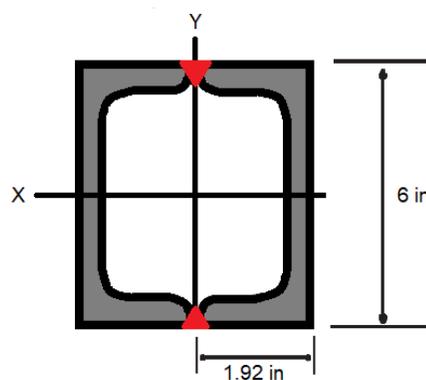
$$n = 2,48 \text{ CUMPLE}$$

### 3.2. Cálculo de uniones soldadas

Todos los diseños de soldadura se realizan bajo la norma AWS D14.1, Especificación para soldadura de grúas industriales.

La unión soldada considerada más crítica es la que se encuentra en la unión entre los perfiles que conforman la viga testera, esta soldadura tendrá una longitud de 31,49 in, equivalente a la longitud de la viga testera. Según tabla 9-3 del libro de Shigley adjunta en el anexo 7. Seleccionando un electrodo E7018 el cual debido a sus características mecánicas se considera como el ideal para su utilización, tomando en cuenta que los valores de resistencia a la tensión y resistencia a la fluencia es de:  $S_y = 57\,000 \text{ psi}$  y  $S_{ult} = 70\,000 \text{ psi}$ , tomando en cuenta que el diseño se dimensiona con un filete de soldadura de  $3/8$  de espesor.

Figura 30. Soldadura en viga testera



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Se puede observar en la figura 30 que el patrón 3 de la tabla 9.2 del libro de Shigley adjunta en el anexo 6, es similar al caso de soldadura que se desea emplear por lo tanto se procede a utilizar las ecuaciones 32 y 33, para obtener los valores del área de la garganta y el momento de inercia unitario de la soldadura.

$$A = 1,411hd \quad (32)$$

$$A = 1,414(0,375 \text{ in})(6 \text{ in})$$

$$A = 3,185 \text{ in}^2$$

$$I_u = \frac{bd^2}{2} \quad (33)$$

$$I_u = \frac{(31,49 \text{ in})(6 \text{ in})^2}{2}$$

$$I_u = 566,82 \text{ in}^3$$

El segundo momento de área  $I$  con base al área de la garganta de soldadura es:

$$I = 0,707hI_u \quad (34)$$

$$I = 0,707(0,375 \text{ in})(566,82 \text{ in}^3)$$

$$I = 150,278 \text{ in}^4$$

El análisis de corte primario se determina mediante la ecuación descrita a continuación, donde interviene el esfuerzo cortante máximo al cual estará

sometida la viga testera, el cual se puede observar en la tabla X y el área de la garganta de la soldadura.

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad (35)$$

$$\tau' = \frac{5\,003,312\text{ lb}}{3,185\text{ in}^2}$$

$$\tau' = 1\,570,899\text{ psi}$$

El análisis de corte secundario se determina mediante la ecuación descrita a continuación, donde interviene el momento flector máximo al cual estará sometida la viga testera, el cual se puede observar en la tabla X, el valor  $r$  del perfil seleccionado y la inercia  $I$  encontrada con la ecuación 34.

$$\tau'' = \frac{Mr}{I} \quad (36)$$

$$\tau'' = \frac{(78\,692,485\text{ lb} - \text{in})(3\text{ in})}{150,278\text{ in}^4}$$

$$\tau'' = 1\,573,200\text{ psi}$$

La magnitud del esfuerzo córtate total  $\tau$  se encuentra con la ecuación de Pitágoras de la siguiente forma:

$$\tau = \sqrt{(\tau')^2 + (\tau'')^2} \quad (37)$$

$$\tau = \sqrt{(1\,570,899\text{ psi})^2 + (1\,573,2\text{ psi})^2}$$

$$\tau = 2\,223,214\text{ psi}$$

El factor de seguridad de la soldadura será de:

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau} \quad (38)$$
$$n = \frac{0,577(57\,000\text{ psi})}{2\,223,214\text{ psi}}$$
$$n = 14,79$$

Se demuestra que la soldadura puede resistir el momento flector máximo en la viga testera.

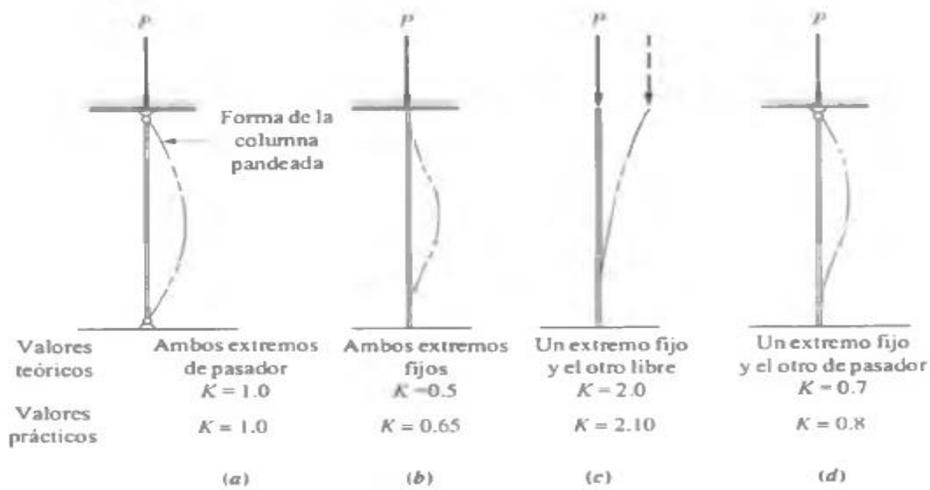
### 3.3. Cálculo de columnas

A continuación, se propone el perfil W8x31 para el diseño de las columnas, este perfil cuenta con una un área de  $A = 9,1\text{ in}^2$ , una inercia en el eje X de  $I_x = 110\text{ in}^4$  y una inercia en el eje Y de  $I_y = 37,1\text{ in}^4$  cómo se muestra en la tabla de perfiles disponibles adjunta en el anexo 3. La longitud de la columna propuesta es de  $L = 157,48\text{ in}$ .

Se utilizará el método de análisis de columnas propuesto por el libro de Resistencia de Materiales Aplicada de Robert L. Mott, mediante el siguiente procedimiento:

- Selección del factor de fijación: para una columna con ambos extremos fijos, como se propone para el diseño, se establece un factor de fijación  $K=0,65$  como se indica en la figura 31.

Figura 31. Factor de fijación



Fuente: MOTT, Robert. *Resistencia de Materiales Aplicada*. p. 515.

- Cálculo de longitud efectiva: para el cálculo de la longitud efectiva se utiliza la ecuación 39, donde L es la longitud de la columna a diseñar.

$$L_e = KL \quad (39)$$

$$L_e = (0,65)(157,48 \text{ in})$$

$$L_e = 102,362 \text{ in}$$

- Cálculo de radio de giro: para las vigas de patín ancho y para vigas American Estándar, el valor mínimo de r es el calculado con respecto al eje Y-Y.

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (40)$$

$$r_{min} = \sqrt{\frac{37,1 \text{ in}^4}{9,1 \text{ in}^2}}$$

$$r_{min} = 2,019 \text{ in}$$

- Cálculo de relación de relación de esbeltez: para el cálculo de la relación de esbeltez se utiliza la ecuación 41, donde  $L_e$  es la longitud equivalente y  $r_{min}$  es el radio de giro mínimo.

$$SR = \frac{L_e}{r_{min}} \quad (41)$$

$$SR = \frac{102,362 \text{ in}}{2,019 \text{ in}}$$

$$SR = 50,699$$

- Cálculo de constante de columna: para el cálculo de la constante de columna se utilizan los valores de módulo de elasticidad y esfuerzo de límite de fluencia del acero estructural normado por la ASTM A-36.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_y}} \quad (42)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2(29\,000\,000 \text{ psi})}{36\,259 \text{ psi}}}$$

$$C_c = 125,648$$

- Comparación entre SR y Cc: a continuación, se comparan los valores de SR y Cc calculados anteriormente. Ya que  $SR < C_c$  se utiliza la fórmula de

Johnson para el cálculo de carga de pandeo crítica para columnas cortas, expresada por la ecuación 43.

$$P_C = A\sigma_y \left[ 1 - \frac{\sigma_y(SR)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad (43)$$

$$P_C = (9,1 \text{ in}^2)(36 \text{ 259 psi}) \left[ 1 - \frac{(36 \text{ 259 psi})(50,699)^2}{4\pi^2(29 \text{ 000 000 psi})} \right]$$

$$P_C = 303 \text{ 096,4 lb}$$

- Verificación de resistencia de la columna según norma CMAA70: según la norma CMAA 70 inciso 3.4.1, el esfuerzo máximo que soportará toda estructura sometida a compresión no deberá superar el  $0,60\sigma_y$ . Para determinar el esfuerzo que soporta un miembro en compresión el inciso 3.4.6.1 de la norma establece la ecuación 44 para columnas cortas, estableciendo un factor de diseño de  $N = 1,1$  para un puente grúa de uso poco frecuente.

$$\sigma_A = \frac{\sigma_y \left[ 1 - \frac{(SR)^2}{2(C_C)^2} \right]}{\left[ \frac{5}{3} + \frac{3(SR)}{8C_C} - \frac{(SR)^3}{(8C_C)^3} \right] N} \quad (44)$$

$$\sigma_A = \frac{36 \text{ 259 psi} * \left[ 1 - \frac{(50,699)^2}{2(125,648)^2} \right]}{\left[ \frac{5}{3} + \frac{3(50,699)}{8(125,648)} - \frac{(50,699)^3}{(8(125,648))^3} \right] * 1,1}$$

$$\sigma_A = 16 \text{ 656,677 psi}$$

$$\sigma_A \leq 0,60\sigma_y$$

$$\sigma_A \leq 0,60(36 \text{ 259 psi})$$

$$16 \text{ 656,677 psi} \leq 21 \text{ 755,4 psi CUMPLE}$$

- Cálculo de carga permisible: el cálculo de la carga permisible está dada por la ecuación 45, donde  $P_c$  es la carga crítica a la cual la columna sufrirá pandeo y N es el factor de diseño dado por la norma CMAA 70.

$$P_a = \frac{P_c}{N} \quad (45)$$

$$P_a = \frac{303\,096,4\text{ lb}}{1,1} = 275\,542,182\text{ lb}$$

- Comparación de carga permisible y carga máxima que soporta: la carga máxima que soportan las columnas son dadas por las reacciones en los empotramientos de la viga carrilera, teniendo como reacción resultante  $R_b = 9\,809,734\text{ lb}$  el cual debe ser menor a la carga permisible, garantizando así la resistencia de la columna.

$$P < P_a \quad (46)$$

$$9\,809,734\text{ lb} < 275\,542,182\text{ lb} \quad \text{CUMPLE}$$

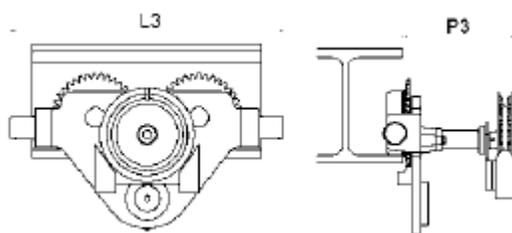
### 3.4. Selección de *trolley* y polipasto

Debido al uso poco frecuente en que se realizan los cambios de moldes y cavidades para la maquinaria, se plantea el uso de un polipasto y un *trolley* manuales, los cuales estarán acoplados en la viga puente para poder llevar a cabo el izaje de cargas y su movimiento longitudinal a través de la viga puente.

Para la selección del *trolley* se toman en cuenta las dimensiones de la viga puente la cual está conformada por un perfil W14x22 con un ancho de ala de viga de 5 in y un espesor de ala de viga de 0,335 in. Tomando en cuenta lo anterior se selecciona un *trolley* manual con traslación de cadena Yale modelo HTG5000 el cual puede ser acoplado a un ancho de ala de viga que este en el rango de 3,5

– 8,66 in y que cuenten con un espesor de ala de viga menor a 0,98 in. La ficha técnica del equipo seleccionado se encuentra adjunta en el anexo 10.

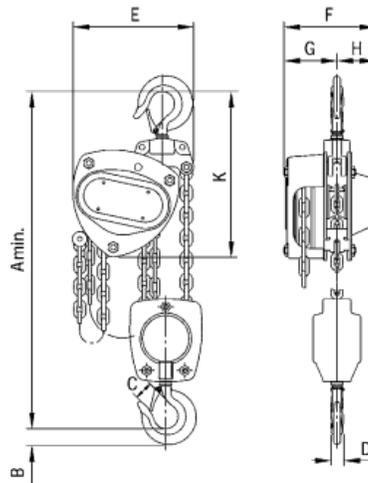
Figura 32. **Trolley manual de cadena modelo HTG5000**



Fuente: TecniYale. *Trolley Manuales de Cadena*. <http://www.tecniyale.com/paginas/polipastos-manuales-de-cadena>. Consulta: 30 de junio de 2021

Tomando en cuenta lo anterior, se propone el uso de un polipasto Yale modelo VSIII 5.0/2 el cual tiene un peso de 43 kg y una capacidad de izaje de cargas máxima de 5 Ton. Este modelo cuenta con 3 m de cadena de fábrica por lo cual se solicita 3m de cadena adicionales para poder contar con las dimensiones necesaria para su uso. La ficha técnica del equipo seleccionado se encuentra adjunta en el anexo 9.

Figura 33. **Polipasto Yale VSIII**



Fuente: TecniYale. *Polipastos Manuales de Cadena*.

<http://www.tecniyale.com/paginas/polipastos-manuales-de-cadena>. Consulta: 30 de junio de 2021.

### 3.5. Selección de rodamientos

Para la selección de rodamiento, se toma en cuenta que estos deben de soportar el peso que conformado por la viga puente, viga testera, *trolley* manual, polipasto manual y el peso máximo de carga del polipasto. Siendo apoyados sobre cuatro ruedas que tendrán la función de transmitir las cargas hacia las vigas carrileras, como también proveer al puente grúa su movimiento longitudinal sobre las mismas.

Las cuatro ruedas estarán ubicadas en el interior de las vigas testeras según el diseño y tendrán una separación de 23,5 in, se dimensionan para los rieles de sección rectangular de 1 in de espesor que estarán ubicados en la parte superior de la viga carrilera, la carga que tendrá que soportar cada rueda será la reacción

máxima calculada anteriormente, la cual se muestra en la tabla X, con un valor de  $R1 = R2 = 5\,003,312$  lb.

El criterio de selección de ruedas se realizará según la tabla 4.13.3-4 de la norma CMAA 70 adjunta en el anexo 11, Según tabla, para una rueda de acero de transmisión SAE 1045 con dureza BDH 200 y un ancho de riel de 1 in, se selecciona una rueda ASCE 30# de diámetro de 8 in la cual puede soportar una carga máxima de 8 500 lb. Por lo tanto, se selecciona como rodamiento recomendado para la viga testera.

## **4. ENCUESTA DE OPINIÓN SOBRE EL DISEÑO PROPUESTO**

A continuación, se presentan las conclusiones de los ingenieros del área de diseño de la escuela de mecánica de la Facultad de Ingeniería USAC, acerca del diseño de puente grúa realizado en el capítulo anterior. Para poder evaluar la viabilidad y seguridad del diseño.

### **4.1. Entrevista a ingenieros del área de diseño de la escuela de mecánica de la Facultad de Ingeniería USAC**

Para poder evaluar la viabilidad y seguridad del diseño de puente grúa realizado, se procedió a enviar un resumen por correo electrónico del diseño de puente grúa propuesto a los ingenieros del área de diseño de la escuela de mecánica de la facultad de ingeniería USAC, específicamente a dos de los ingenieros que imparten los cursos de diseño de máquinas.

Detallado en el documento enviado los cálculos realizados en el capítulo anterior para la selección de vigas, electrodo y soldadura, Así mismo la descripción del equipo seleccionado para la realización del izaje de cargas y movimiento transversal del mismo en la viga puente.

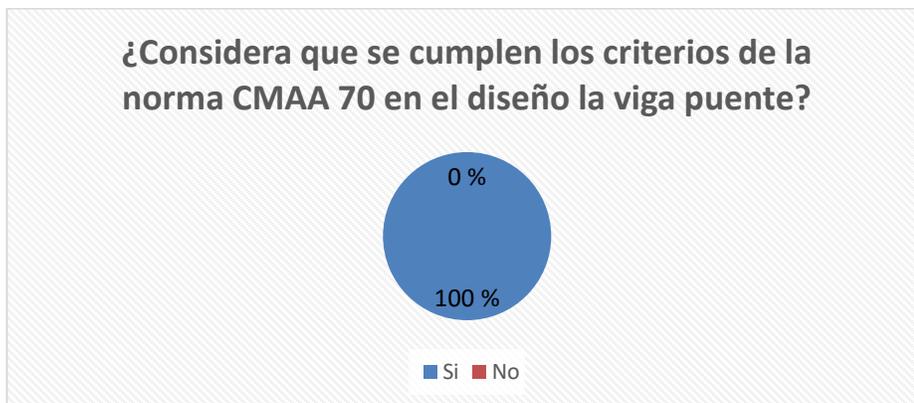
Posteriormente se recopilaron las conclusiones de los ingenieros acerca de la viabilidad y seguridad del diseño propuesto por medio de una encuesta realizada por medio de la plataforma de Google Forms.

## 4.2. Tabulación de datos de la encuesta

A continuación, se presenta la información de la encuesta realizada por medio de Google Forms en la cual se entrevistó al Ing. Edras Miranda quien es el coordinador del área de diseño de la escuela de ingeniería mecánica e ingeniero encargado de impartir el curso de diseño de máquinas 3. También se entrevistó al Ing. Milton Fuentes quien es encargado de impartir los cursos de diseño de máquinas 1 y diseño de máquinas 2. La encuesta consistió en una serie de seis preguntas en las cuales se evalúa cada uno de los componentes diseñados, así como la selección de electrodo y equipo. A continuación, se presenta cada pregunta con su respectivo gráfico de respuestas.

- ¿Considera que se cumplen los criterios de la norma CMAA 70 en el diseño la viga puente? El 100 % de los encuestados respondió Si se cumplen los criterios de la norma CMAA 70, debido a que se cumple con una deflexión total de 0,161 in < 0,177 in y con un factor de seguridad de 1,75 > 1,33.

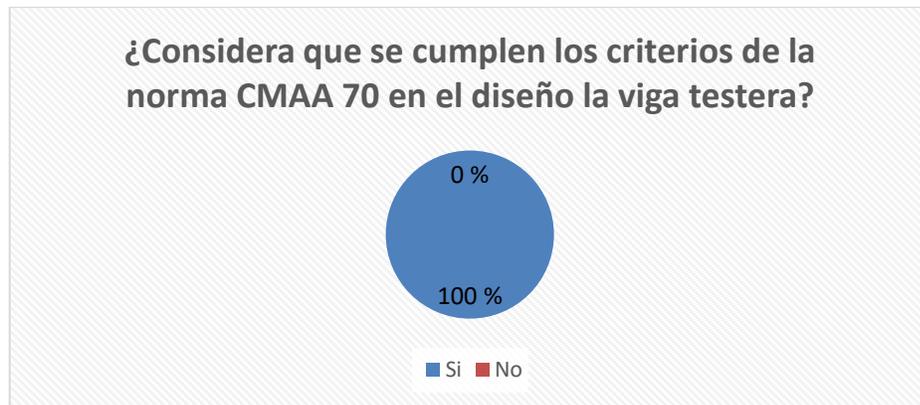
Figura 34. **Gráfica de respuestas de la primera pregunta**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

- ¿Considera que se cumplen los criterios de la norma CMAA 70 en el diseño la viga testera? El 100 % de los encuestados respondió Si se cumplen los criterios de la norma CMAA 70, debido a que se cumple con una deflexión total de 0,009 in < 0,035 in y con un factor de seguridad de 3,02 > 1,33.

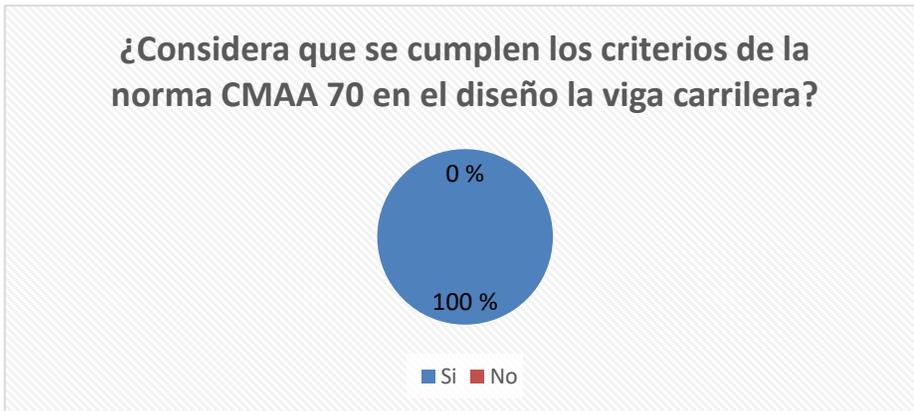
Figura 35. **Gráfica de respuestas de la segunda pregunta**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

- ¿Considera que se cumplen los criterios de la norma CMAA 70 en el diseño la viga carrilera? El 100 % de los encuestados respondió Si se cumplen los criterios de la norma CMAA 70, debido a que se cumple con una deflexión total de 0,222 in < 0,266 in y con un factor de seguridad de 2,48 > 1,33.

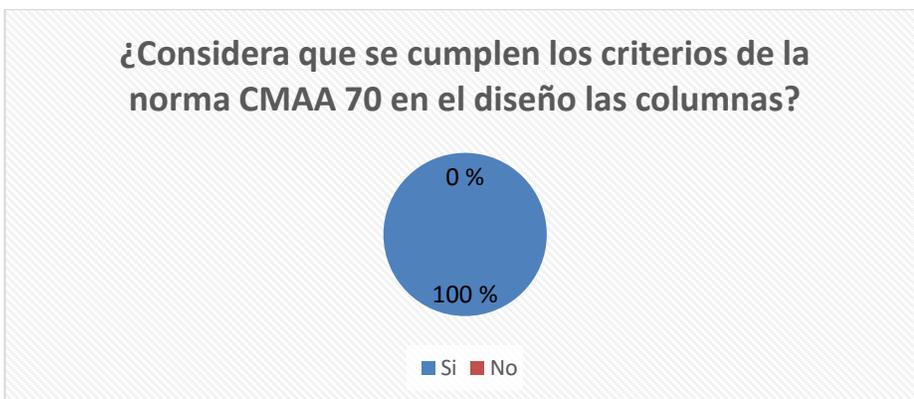
Figura 36. **Gráfica de respuestas de la tercera pregunta**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

- ¿Considera que se cumplen los criterios de la norma CMAA 70 en el diseño las columnas? El 100 % de los encuestados respondió Si se cumplen los criterios de la norma CMAA 70, debido a que se cumple con una carga  $P < P_a$  la cual es de  $809,734 \text{ lb} < 275\,542,182 \text{ lb}$ .

Figura 37. **Gráfica de respuestas de la cuarta pregunta**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

- ¿Considera correcta la selección de electrodo y diseño de la soldadura? El 100 % de los encuestados respondió Sí considera correcta la selección del electrodo debido se considerarán las propiedades mecánicas para el diseño de soldadura, el cual cuenta con un factor de seguridad de 14,79.

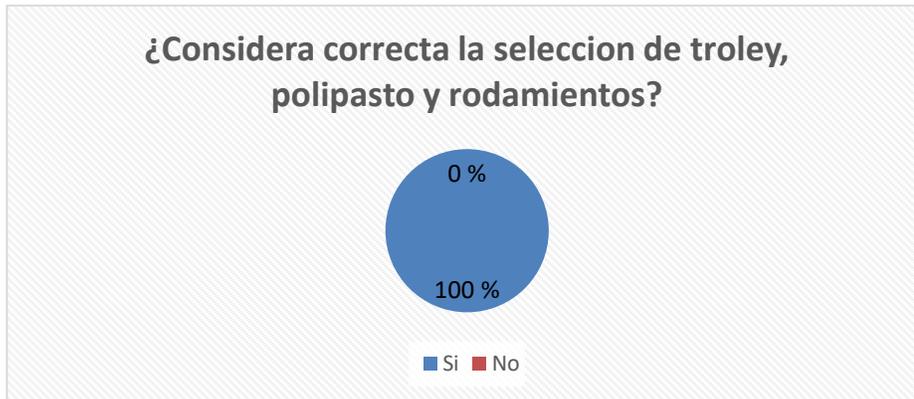
Figura 38. **Gráfica de respuestas de la quinta pregunta**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

- ¿Considera correcta la selección de *trolley*, polipasto y rodamientos? El 100 % de los encuestados respondió Sí considera correcta la selección de *trolley*, polipasto y rodamientos ya que se tomó en cuenta que estos cumplan los requerimientos necesarios para levantar y transportar la carga, así como el peso del equipo dentro del diseño los distintos elementos de la estructura y sus dimensiones para poder ser acoplados en las demás componentes del puente grúa.

Figura 39. **Gráfica de respuestas de la sexta pregunta**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

#### **4.3. Análisis y conclusiones de la encuesta**

Al elaborar un resumen detallando del diseño elaborado en el capítulo anterior y al ser examinado por ingenieros especializados en el área de diseño mecánico se puede observar que este cumple con los requerimientos necesarios para el izaje de una carga máxima establecida. Tomando en cuenta que todos los elementos diseñados cumplen con los estándares de deflexión y seguridad que exige la norma CMAA 70.

Por tanto, el diseño elaborado se considera aceptable para realizar una propuesta al área de proyectos de la empresa Inyectora de Plásticos para su cotización e implementación.

## CONCLUSIONES

1. Se ejecutó un estudio al proceso de cambio de moldes que se utiliza actualmente dentro de la empresa, se realizaron observaciones del porqué es necesaria la implementación de un puente grúa, considerando las necesidades actuales y las de una posible expansión.
2. Se llevó a cabo una investigación acerca de los componentes, parámetros fundamentales y normas a tomar en cuenta para la elaboración del diseño de maquinaria de izaje, enfocándose fundamentalmente en los puentes grúa.
3. Se realizó un diseño bajo la norma CMAA 70, donde se toman en cuenta los parámetros establecidos en la misma, seleccionando el material recomendado dentro de la normativa y tomando en cuenta su disponibilidad en el mercado nacional. Para poder establecer la viabilidad del diseño propuesto se realizó el análisis matemático correspondiente, de manera que se pueda garantizar la resistencia, funcionalidad y confiabilidad de los componentes principales presentes en el diseño.
4. Se presentó el diseño propuesto a ingenieros especializados en diseño de maquinaria de la escuela de mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala para la verificación de diseño de los componentes estructurales y correcta selección del equipo, para garantizar la confiabilidad del diseño.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar el diseño de cualquier maquinaria tomando en cuenta las diferentes normativas, para así poder asegurar su resistencia, funcionamiento y confiabilidad.
2. Utilizar el método de superposición para el diseño vigas estáticamente determinadas e hiperestáticas en las que intervienen distintos tipos de cargas, Siempre tomando en cuenta los puntos críticos a los cuales la deflexión máxima se hará presente.
3. Realizar cualquier variación al diseño presente puede afectar la confiabilidad de este ya que se basa en la carga máxima requerida para su funcionamiento adecuado.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BUDYNAS, Richard., & NISBETT, J. *Diseño en ingeniería mecánica de shigley*. Mexico DF: McGraw-Hill 2008. 1059 p.
2. CORPORACIÓN AG. *Vigas de Acero*. [en línea]. <<https://www.corporacionag.com/es/categoria-producto/perfiles-ag>>. [Consulta: agosto 2021].
3. CRANE MANUFACTURERS ASSOCIATION OF AMERICA. *CMAA Specification #70*. [en línea]. <<https://www.mhi.org/cmaa>>. [Consulta: agosto 2021].
4. HERRO DEL RAYO. *Perfil "U" o Canal "C" de Hierro del Rayo*. [en línea]. <<https://www.hierrodelrayo.com/perfil-u-o-canal-c>>. [Consulta: agosto 2021].
5. JARAMILLO, Geovanny. *Diseño de puente grúa y sistema de stand Reel para mejorar el transporte de bobinas de papel en el proceso de rebobinado de la empresa cartopel*. Trabajo de titulación (Ingeniería Mecánica). Cuenca: Universidad Politécnica Saleciana 2018. 193 p.
6. JURADO, José. *Diseño de una grúa tipo pórtico de 20 toneladas*. Trabajo de titulación de Ingeniería Mecánica. Guayaquil Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Litoral 2015. 213 p.

7. MOTT, Robert. *Resistencia de Materiales Aplicada*. Mexico: Pearson 1996. 635 p.
8. SANTAMARÍA, Hernan., & TAMAY, Juan. *Rediseño y automatización del equipo para realizar ensayos de deflexión en vigas para el laboratorio de la UPS*. Trabajo de titulación de Ingeniería Mecánica. Quito: Universidad Politécnica Salesiana 2015. 172 p.
9. TECNIYALE. *Polipastos Manuales de Cadena*. [en línea]. <<http://www.tecniyale.com/paginas/polipastos-manuales-de-cadena>>. [Consulta: agosto 2021].
10. TECNIYALE. *Trolleys*. [en línea]. <<http://www.tecniyale.com/paginas/trolleys>>. [Consulta: agosto 2021].
11. VILLON, R., & NARANJO, Natali. *Diseño de un puente grúa curvo para la optimización de espacio en lugares abovedados*. Trabajo de titulación de Ingeniería Mecánica. Guayakil Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral 2016. 222 p.

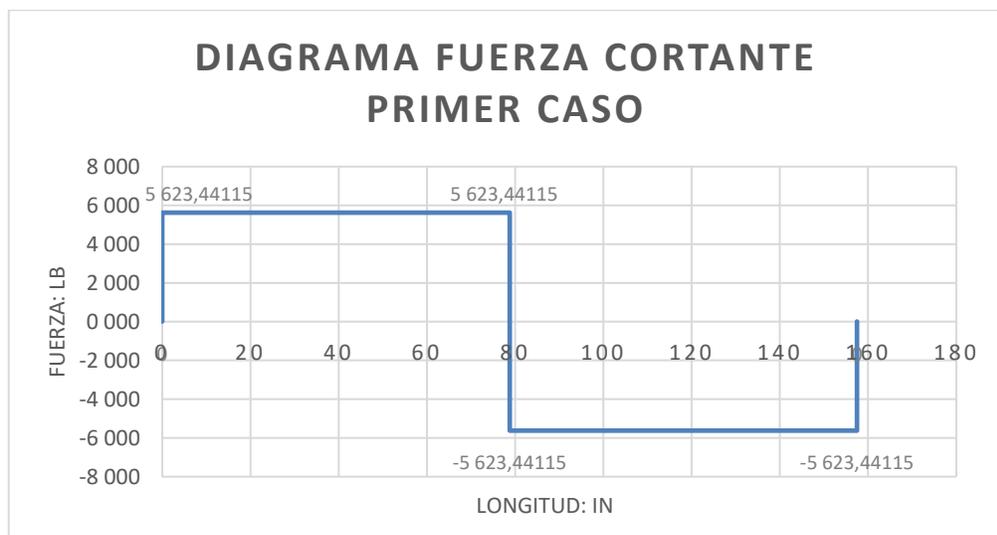
## APÉNDICES

### Apéndice 1. Cálculo de reacciones, momento flector y esfuerzo cortante en viga puente con carga puntual centrada

Primer caso: Carga puntual centrada		
<b>R1</b>	5 623,441	lb
<b>R2</b>	5 623,441	lb
<b>M</b>	442 789,756	lb-in
<b>V</b>	5 623,441	lb
<b>y max</b>	0,159	in

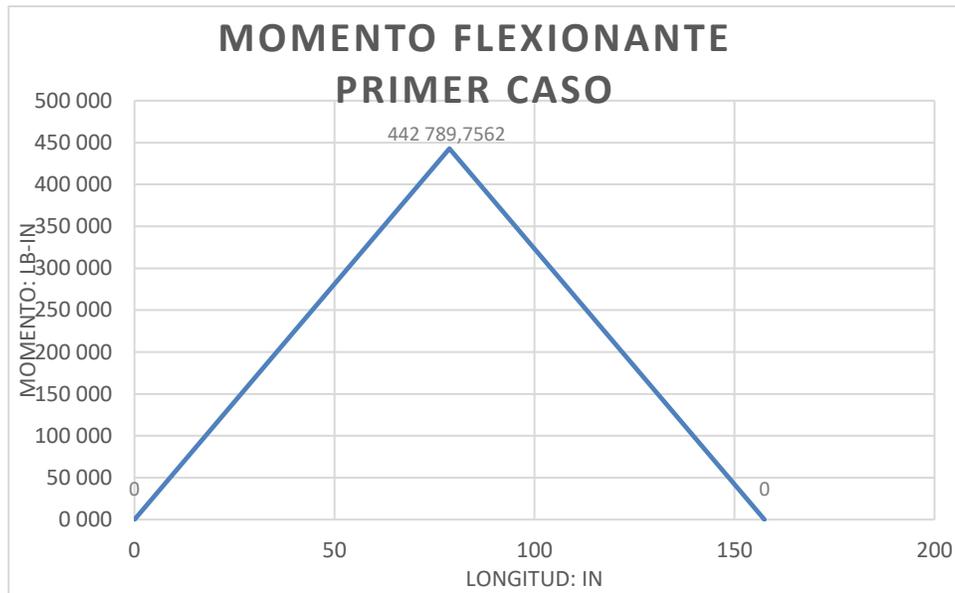
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

### Apéndice 2. Diagrama de esfuerzo cortante en viga puente con carga puntual centrada



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Apéndice 3. **Diagrama de momento flector en viga puente con carga puntual centrada**



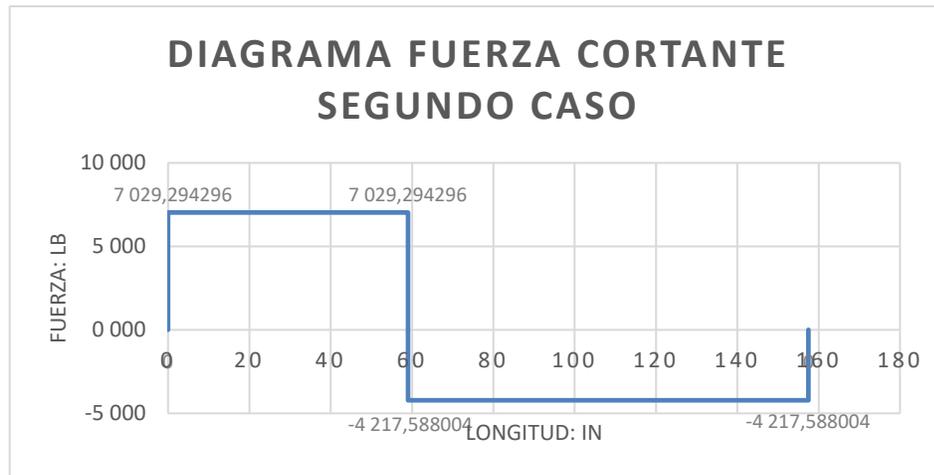
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Apéndice 4. **Cálculo de reacciones, momento flector y esfuerzo cortante en viga puente con carga puntual centrada a 59,05 in de R1**

<b>Segundo Caso: carga puntual a 59,05 IN de R1</b>		
<b>R1</b>	7 029,294296	lb
<b>R2</b>	4 217,588004	lb
<b>M</b>	415 115,6776	lb-in
<b>V</b>	7 029,294296	lb

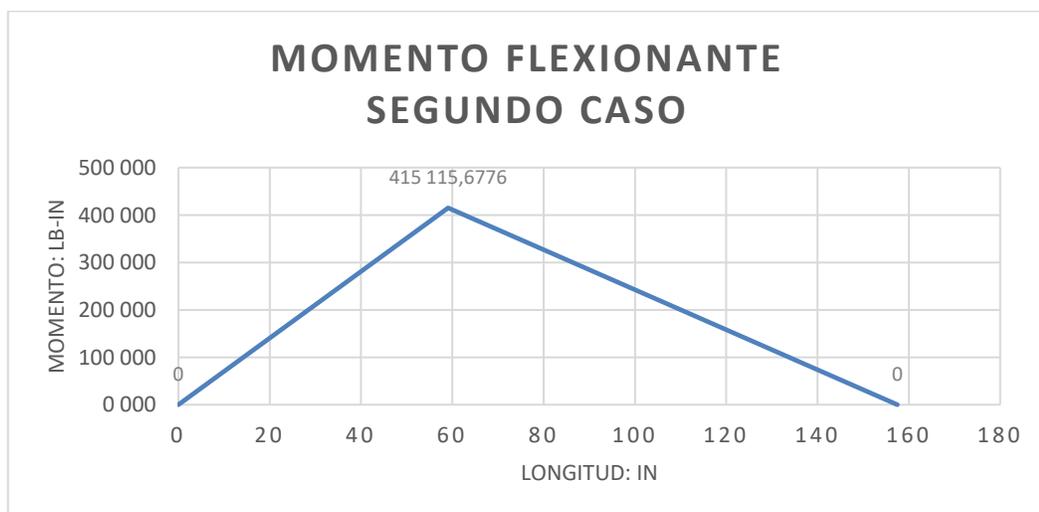
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Apéndice 5. **Diagrama de esfuerzo cortante en viga puente con carga puntual centrada a 59,05 in de R1**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Apéndice 6. **Diagrama de momento flector en viga puente con carga puntual centrada a 59,05 in de R1**



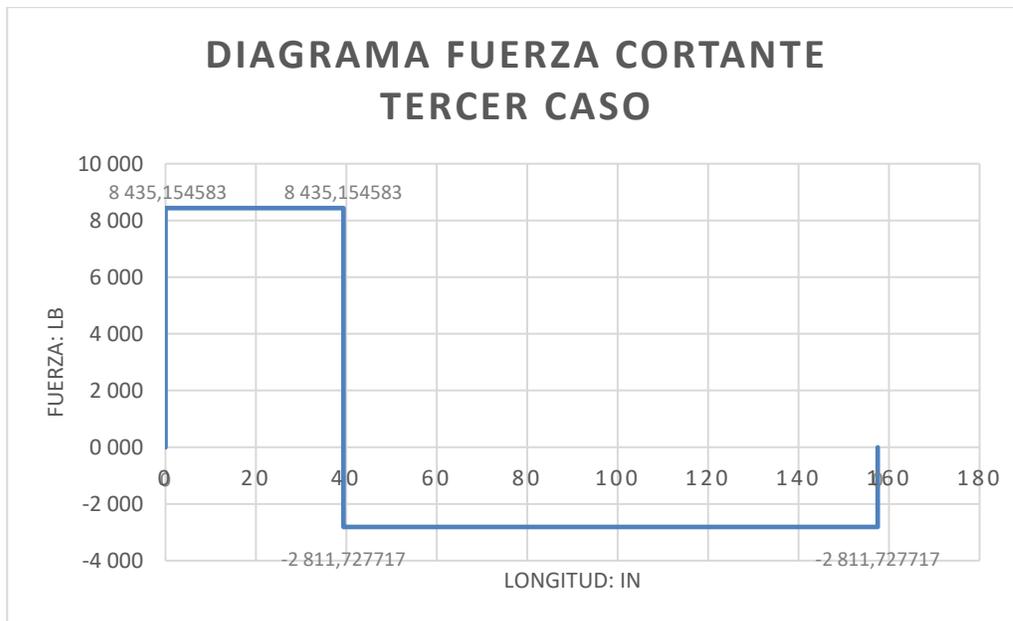
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Apéndice 7. **Cálculo de reacciones, momento flector y esfuerzo cortante en viga puente con carga puntual centrada a 39,37 in de R1**

Tercer Caso: Carga puntual a 39,37 IN de R1		
<b>R1</b>	8 435,154583	lb
<b>R2</b>	2 811,727717	lb
<b>M</b>	332 092,8795	lb-in
<b>V</b>	8 435,154583	lb

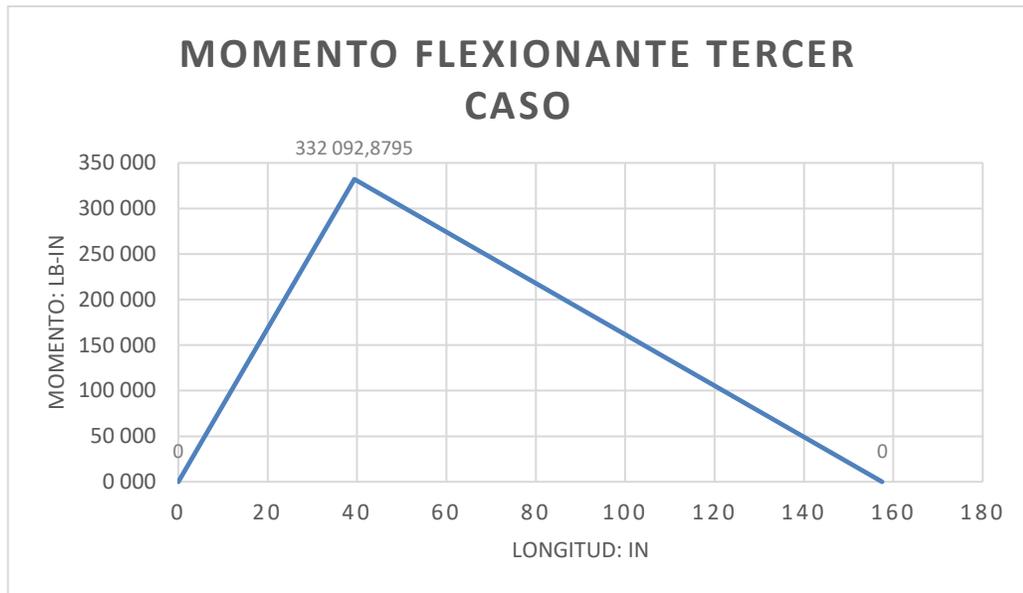
Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Excel.

Apéndice 8. **Diagrama de esfuerzo cortante en viga puente con carga puntual centrada a 39,37 in de R1**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Apéndice 9. **Diagrama de momento flector en viga puente con carga puntual centrada a 39,37 in de R1**



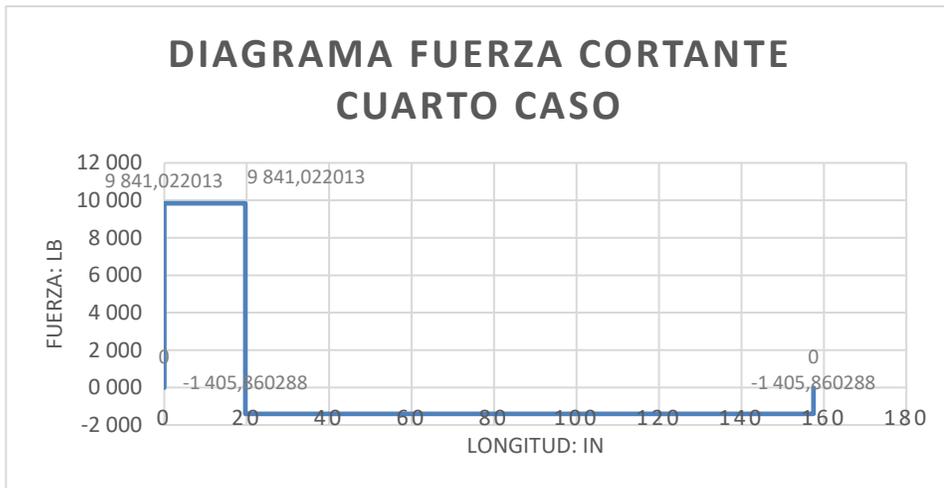
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Apéndice 10. **Cálculo de reacciones, momento flector y esfuerzo cortante en viga puente con carga puntual centrada a 19,69 in de R1**

<b>Cuarto Caso: Carga puntual a 19,69 IN de R1</b>		
<b>R1</b>	9 841,022013	lb
<b>R2</b>	1 405,860288	lb
<b>M</b>	193 720,5183	lb-in
<b>V</b>	9 841,022013	lb

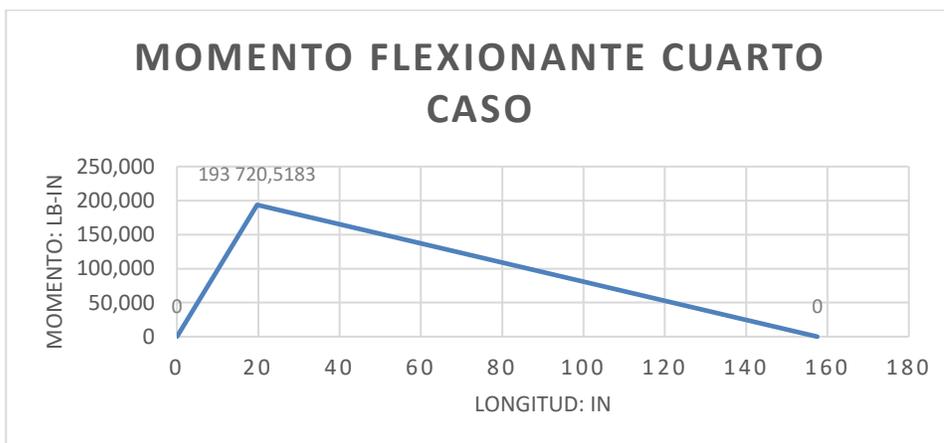
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Apéndice 11. **Diagrama de esfuerzo cortante en viga puente con carga puntual centrada a 19,69 in de R1**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

Apéndice 12. **Diagrama de momento flector en viga puente con carga puntual centrada a 39,37 in de R1**

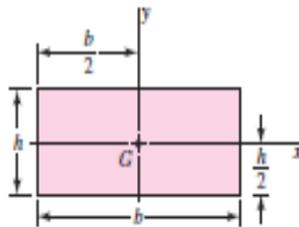


Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

## ANEXOS

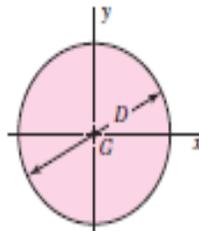
### Anexo 1. Momentos de inercia para distintas figuras

Rectángulo



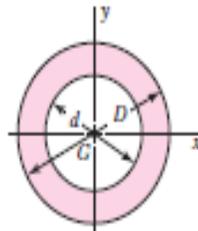
$$A = bh \quad I_x = \frac{bh^3}{12} \quad I_y = \frac{b^3h}{12} \quad I_{xy} = 0$$

Círculo



$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad I_x = I_y = \frac{\pi D^4}{64} \quad I_{xy} = 0 \quad J_G = \frac{\pi D^4}{32}$$

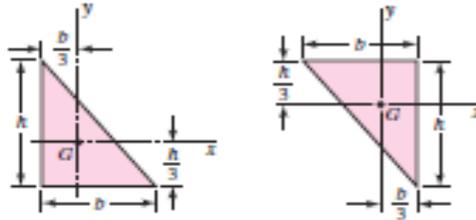
Círculo hueco



$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \quad I_x = I_y = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) \quad I_{xy} = 0 \quad J_G = \frac{\pi}{32}(D^4 - d^4)$$

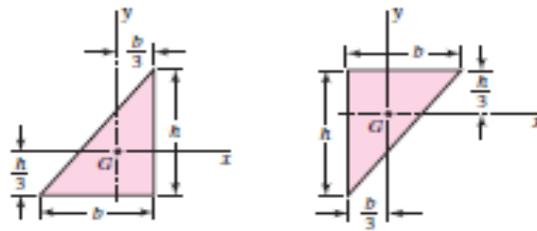
Continuación anexo 1.

Triángulos rectángulos



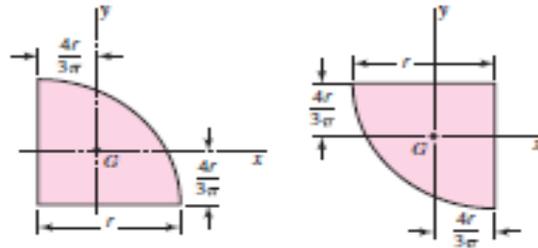
$$A = \frac{bh}{2} \quad I_x = \frac{bh^3}{36} \quad I_y = \frac{b^3h}{36} \quad I_{xy} = \frac{-b^2h^2}{72}$$

Triángulos rectángulos



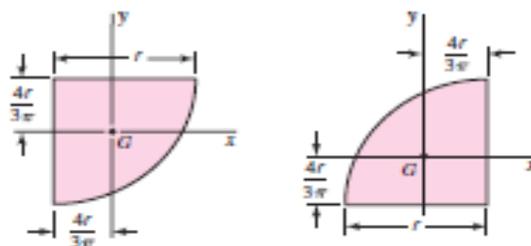
$$A = \frac{bh}{2} \quad I_x = \frac{bh^3}{36} \quad I_y = \frac{b^3h}{36} \quad I_{xy} = \frac{b^2h^2}{72}$$

Cuarto de círculo



$$A = \frac{\pi r^2}{4} \quad I_x = I_y = r^4 \left( \frac{\pi}{16} - \frac{4}{9\pi} \right) \quad I_{xy} = r^4 \left( \frac{1}{8} - \frac{4}{9\pi} \right)$$

Cuarto de círculo



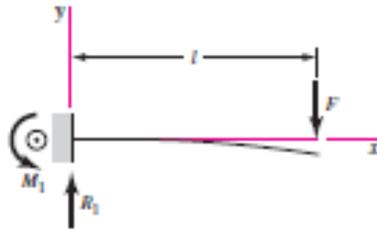
$$A = \frac{\pi r^2}{4} \quad I_x = I_y = r^4 \left( \frac{\pi}{16} - \frac{4}{9\pi} \right) \quad I_{xy} = r^4 \left( \frac{4}{9\pi} - \frac{1}{8} \right)$$

Fuente: Fuente: BUDYNAS, Richard; NISBETT, J. *Diseño en ingeniería mecánica de shingley*.

p.1017.

## Anexo 2. Tablas de reacciones en vigas

1 En voladizo: carga en extremo



$$R_1 = V = F \quad M_1 = Fl$$

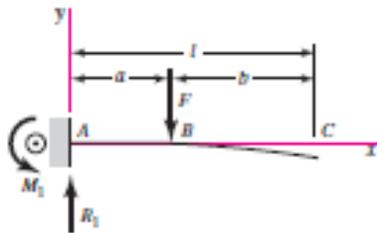
$$M = F(x - l)$$

$$y = \frac{Fx^2}{6EI}(x - 3l)$$

$$y_{\text{máx}} = -\frac{Fl^3}{3EI}$$



2 En voladizo: carga intermedia



$$R_1 = V = F \quad M_1 = Fa$$

$$M_{AB} = F(x - a) \quad M_{BC} = 0$$

$$y_{AB} = \frac{Fx^2}{6EI}(x - 3a)$$

$$y_{BC} = \frac{Fa^2}{6EI}(a - 3x)$$

$$y_{\text{máx}} = \frac{Fa^2}{6EI}(a - 3l)$$



6

Continuación anexo 2.

3 En voladizo: carga uniforme



$$R_1 = wl \quad M_1 = \frac{wl^2}{2}$$

$$V = w(l - x) \quad M = -\frac{w}{2}(l - x)^2$$

$$y = \frac{wx^2}{24EI}(4lx - x^2 - 6l^2)$$

$$y_{\text{máx}} = -\frac{wl^4}{8EI}$$



4 En voladizo: carga de momento



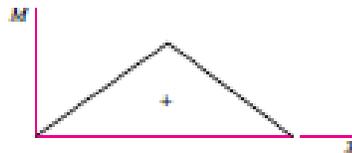
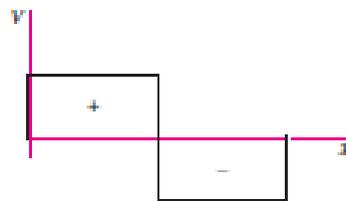
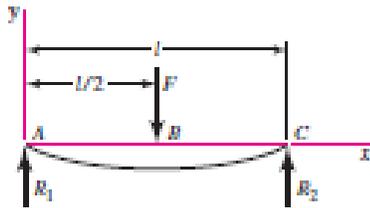
$$R_1 = V = 0 \quad M_1 = M = M_B$$

$$y = \frac{M_B x^2}{2EI} \quad y_{\text{máx}} = \frac{M_B l^2}{2EI}$$



Continuación anexo 2.

5 Apoyos simples: carga central



$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2}$$

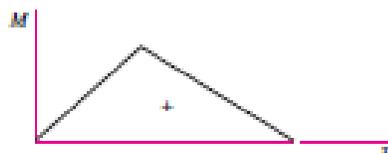
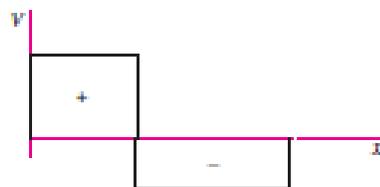
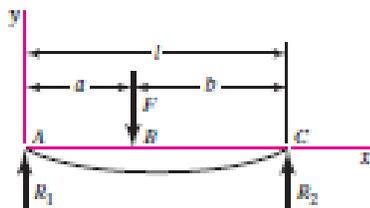
$$V_{AB} = R_1 \quad V_{BC} = -R_2$$

$$M_{AB} = \frac{Fx}{2} \quad M_{BC} = \frac{F}{2}(l-x)$$

$$y_{AB} = \frac{Fx}{48EI}(4x^2 - 3l^2)$$

$$y_{\max} = -\frac{Fl^3}{48EI}$$

6 Apoyos simples: carga intermedia



$$R_1 = \frac{Fb}{l} \quad R_2 = \frac{Fa}{l}$$

$$V_{AB} = R_1 \quad V_{BC} = -R_2$$

$$M_{AB} = \frac{Fbx}{l} \quad M_{BC} = \frac{Fa}{l}(l-x)$$

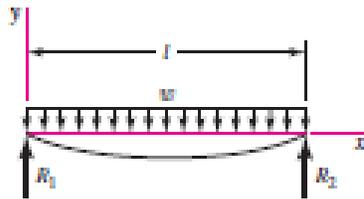
$$y_{AB} = \frac{Fbx}{6EI}(x^2 + b^2 - l^2)$$

$$y_{BC} = \frac{Fa(l-x)}{6EI}(x^2 + a^2 - 2lx)$$

[continúa]

Continuación anexo 2.

7 Apoyos simples: carga uniforme

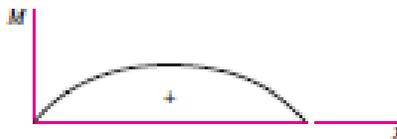
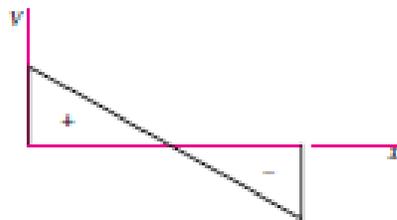


$$R_1 = R_2 = \frac{wl}{2} \quad V = \frac{wl}{2} - wx$$

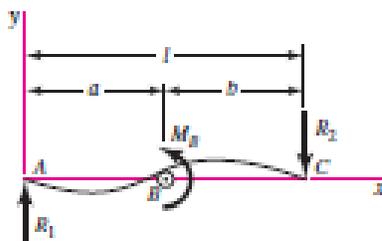
$$M = \frac{wx}{2}(l - x)$$

$$y = \frac{wx}{24EI}(2lx^2 - x^3 - l^3)$$

$$y_{\max} = -\frac{5wl^4}{384EI}$$



8 Apoyos simples: carga de momento

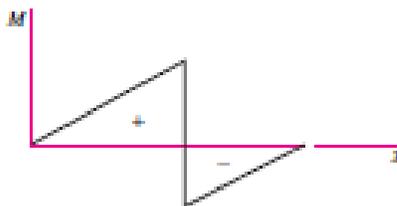
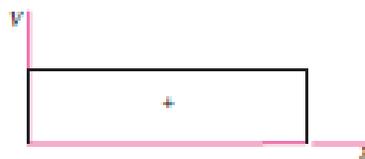


$$R_1 = R_2 = \frac{M_B}{l} \quad V = \frac{M_B}{l}$$

$$M_{AB} = \frac{M_B x}{l} \quad M_{BC} = \frac{M_B}{l}(x - l)$$

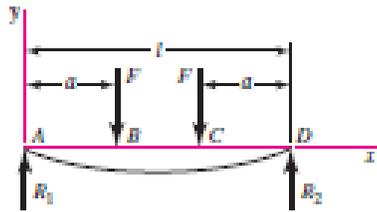
$$y_{AB} = \frac{M_B x}{6EI}(x^2 + 3a^2 - 6al + 2l^2)$$

$$y_{BC} = \frac{M_B}{6EI}[x^3 - 3lx^2 + x(2l^2 + 3a^2) - 3a^2l]$$



Continuación anexo 2.

9 Apoyos simples: cargas idénticas



$$R_1 = R_2 = F \quad V_{AB} = F \quad V_{BC} = 0$$

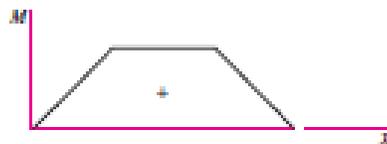
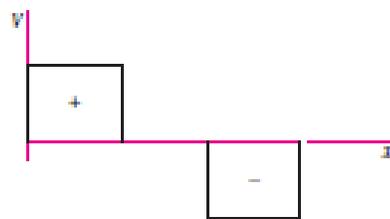
$$V_{CD} = -F$$

$$M_{AB} = Fx \quad M_{BC} = Fa \quad M_{CD} = F(l-x)$$

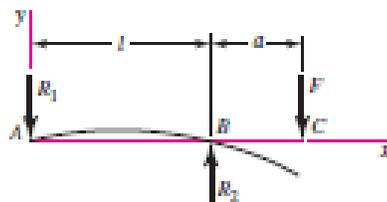
$$y_{AB} = \frac{Fx}{6EI}(x^2 + 3a^2 - 3la)$$

$$y_{BC} = \frac{Fa}{6EI}(3x^2 + a^2 - 3lx)$$

$$y_{m\acute{a}x} = \frac{Fa}{24EI}(4a^2 - 3l^2)$$



10 Apoyos simples: carga en voladizo



$$R_1 = \frac{Fa}{l} \quad R_2 = \frac{F}{l}(l+a)$$

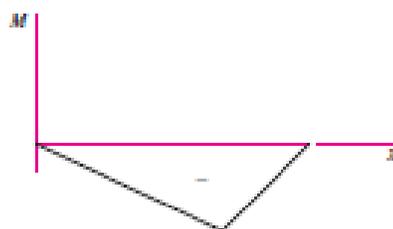
$$V_{AB} = -\frac{Fa}{l} \quad V_{BC} = F$$

$$M_{AB} = -\frac{Fax}{l} \quad M_{BC} = F(x-l-a)$$

$$y_{AB} = \frac{Fax}{6EI}(l^2 - x^2)$$

$$y_{BC} = \frac{F(x-l)}{6EI}[(x-l)^2 - a(3x-l)]$$

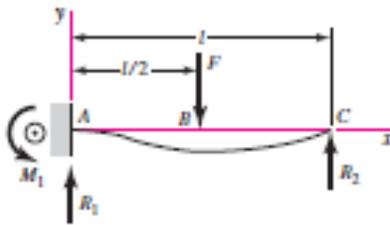
$$y_c = -\frac{Fa^2}{3EI}(l+a)$$



(continúa)

Continuación anexo 2.

11 Un apoyo fijo y el otro simple: carga central



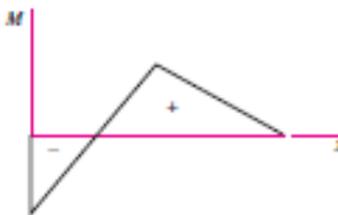
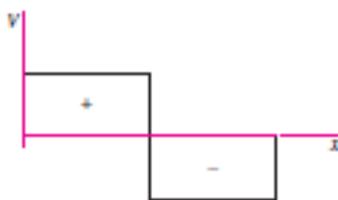
$$R_1 = \frac{11F}{16} \quad R_2 = \frac{5F}{16} \quad M_1 = \frac{3Fl}{16}$$

$$V_{AB} = R_1 \quad V_{BC} = -R_2$$

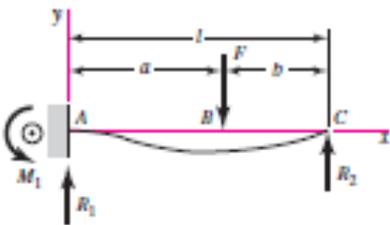
$$M_{AB} = \frac{F}{16}(11x - 3l) \quad M_{BC} = \frac{5F}{16}(l - x)$$

$$y_{AB} = \frac{Fx^2}{96EI}(11x - 9l)$$

$$y_{BC} = \frac{F(l-x)}{96EI}(5x^2 + 2l^2 - 10lx)$$



12 Un apoyo fijo y el otro simple: carga intermedia



$$R_1 = \frac{Fb}{2l^3}(3l^2 - b^2) \quad R_2 = \frac{Fa^2}{2l^3}(3l - a)$$

$$M_1 = \frac{Fb}{2l^2}(l^2 - b^2)$$

$$V_{AB} = R_1 \quad V_{BC} = -R_2$$

$$M_{AB} = \frac{Fb}{2l^3}[b^2l - l^3 + x(3l^2 - b^2)]$$

$$M_{BC} = \frac{Fa^2}{2l^3}(3l^2 - 3lx - al + ax)$$

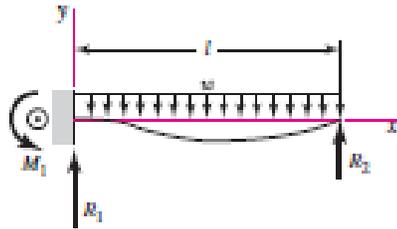
$$y_{AB} = \frac{Fbx^2}{12EI^3}[3l(b^2 - l^2) + x(3l^2 - b^2)]$$

$$y_{BC} = y_{AB} - \frac{F(x-a)^3}{6EI}$$



Continuación anexo 2.

13 Un apoyo fijo y el otro simple: carga uniforme

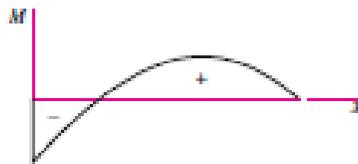
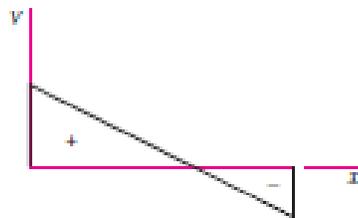


$$R_1 = \frac{5wl}{8} \quad R_2 = \frac{3wl}{8} \quad M_1 = \frac{wl^2}{8}$$

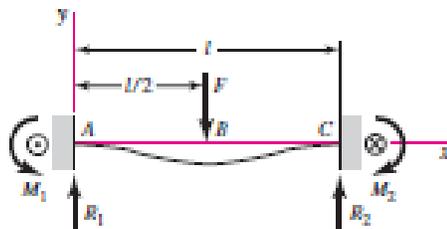
$$V = \frac{5wl}{8} - wx$$

$$M = -\frac{w}{8}(4x^2 - 5lx + l^2)$$

$$y = \frac{wx^2}{48EI}(l-x)(2x-3l)$$



14 Apoyos fijos: carga central



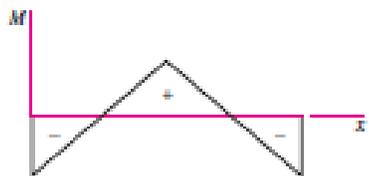
$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2} \quad M_1 = M_2 = \frac{Fl}{8}$$

$$V_{AB} = -V_{BC} = \frac{F}{2}$$

$$M_{AB} = \frac{F}{8}(4x-l) \quad M_{BC} = \frac{F}{8}(3l-4x)$$

$$y_{AB} = \frac{Fx^2}{48EI}(4x-3l)$$

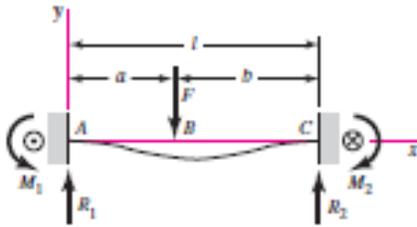
$$y_{\max} = -\frac{Fl^3}{192EI}$$



[continúa]

Continuación anexo 2.

15 Apoyos fijos: carga intermedia



$$R_1 = \frac{Fb^2}{l^3}(3a + b) \quad R_2 = \frac{Fa^2}{l^3}(3b + a)$$

$$M_1 = \frac{Fab^2}{l^2} \quad M_2 = \frac{Fa^2b}{l^2}$$

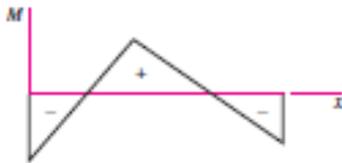
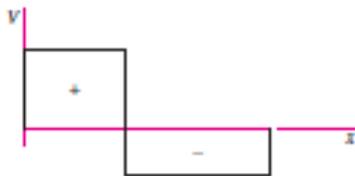
$$V_{AB} = R_1 \quad V_{BC} = -R_2$$

$$M_{AB} = \frac{Fb^2}{l^3}[x(3a + b) - al]$$

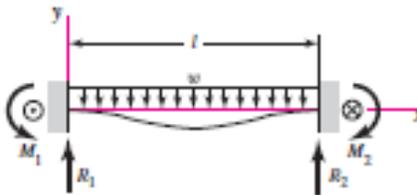
$$M_{BC} = M_{AB} - F(x - a)$$

$$y_{AB} = \frac{Fb^2x^2}{6EI l^3}[x(3a + b) - 3al]$$

$$y_{BC} = \frac{Fa^2(l - x)^2}{6EI l^3}[(l - x)(3b + a) - 3bl]$$



16 Apoyos fijos: carga uniforme



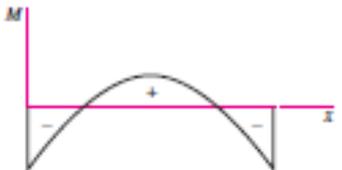
$$R_1 = R_2 = \frac{wl}{2} \quad M_1 = M_2 = \frac{wl^2}{12}$$

$$V = \frac{w}{2}(l - 2x)$$

$$M = \frac{w}{12}(6lx - 6x^2 - l^2)$$

$$y = -\frac{wx^2}{24EI}(l - x)^2$$

$$y_{\max} = -\frac{wl^4}{384EI}$$



Fuente: BUDYNAS, Richard; NISBETT, J. *Diseño en ingeniería mecánica de shingley*. p.993 - 1000.

### Anexo 3. Ficha técnica de perfiles de acero disponibles en el mercado guatemalteco

## DESIGNACIÓN DE LA VIGA

Las vigas en negrilla ya están a la venta.  
En Diciembre estarán disponibles las demás.

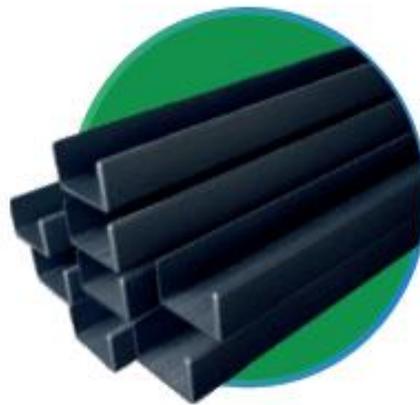
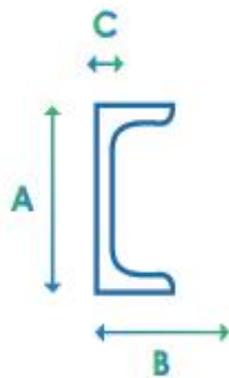
Designación de la viga (in x lb/ft)	Peralte H (in)	Patín B (in)	Espesor del alma t <sub>1</sub> (in)	Espesor del patín t <sub>2</sub> (in)	Área (in <sup>2</sup> )	Peso (lb/ft)	Parámetros estáticos momento de inercia I <sub>x</sub> (in <sup>4</sup> )	Parámetros estáticos momento de inercia I <sub>y</sub> (in <sup>4</sup> )	Parámetros estáticos módulo de sección S <sub>x</sub> (in <sup>3</sup> )	Parámetros estáticos módulo de sección S <sub>y</sub> (in <sup>3</sup> )
<b>H 6 x 13</b>	4.16	4.060	0.280	0.345	3.8	13	11.3	3.9	5.5	1.9
<b>H 6 x 15</b>	5.99	5.990	0.230	0.260	4.4	15	29.1	9.3	9.7	3.1
<b>H 8 x 31</b>	8.00	7.995	0.285	0.435	9.1	31	110.0	37.1	27.5	9.3
<b>W 6 x 9</b>	5.90	3.940	0.170	0.215	2.7	9	16.4	2.2	5.6	1.1
<b>W 6 x 12</b>	6.03	4.000	0.230	0.280	3.6	12	22.1	3.0	7.3	1.5
<b>W 6 x 20</b>	6.20	6.020	0.260	0.365	5.9	20	41.4	13.3	13.4	4.4
<b>W 6 x 25</b>	6.38	6.080	0.320	0.455	7.3	25	53.4	17.1	16.7	5.6
<b>W 8 x 10</b>	7.89	3.940	0.170	0.205	2.9	10	30.3	2.1	7.8	1.1
<b>W 8 x 13</b>	7.99	4.000	0.230	0.255	3.8	13	39.6	2.7	9.9	1.4
<b>W 8 x 15</b>	8.11	4.015	0.245	0.315	4.4	15	48.0	3.4	11.8	1.7
<b>W 8 x 18</b>	8.14	5.250	0.230	0.330	5.3	18	61.9	8.0	15.2	3.0
<b>W 8 x 21</b>	8.28	5.270	0.250	0.400	40.0	21	75.3	9.8	18.2	3.7
<b>W 8 x 24</b>	7.93	6.495	0.245	0.400	7.1	24	82.8	18.3	20.9	5.6
<b>W 8 x 31</b>	8.00	7.995	0.285	0.435	9.1	31	110.0	37.1	27.5	9.3
<b>W 10 x 12</b>	9.87	3.960	0.190	0.210	3.5	12	53.8	2.2	10.9	1.1
<b>W 10 x 15</b>	9.99	4.000	0.230	0.270	4.4	15	69.9	2.9	13.8	1.5
<b>W 10 x 17</b>	10.11	4.010	0.240	0.330	5.0	17	81.9	3.6	16.2	1.8
<b>W 10 x 19</b>	10.24	4.020	0.250	0.395	5.6	19	96.3	4.3	18.8	2.1
<b>W 10 x 22</b>	10.17	5.750	0.240	0.360	6.5	22	118.0	11.4	23.2	4.0
<b>W 10 x 26</b>	10.33	5.770	0.260	0.440	7.6	26	144.0	14.1	27.9	4.9
<b>W 10 x 30</b>	10.47	5.810	0.300	0.510	8.8	30	170.0	16.7	32.4	5.8
<b>W 10 x 33</b>	9.73	7.960	0.290	0.435	9.7	33	170.0	36.6	35.0	9.2
<b>W 10 x 45</b>	10.10	8.020	0.350	0.620	13.3	45	248.0	53.4	49.1	13.3
<b>W 10 x 49</b>	9.98	10.000	0.340	0.560	14.4	49	272.0	93.4	54.6	18.7
<b>W 10 x 60</b>	10.22	10.080	0.420	0.680	17.6	60	341.0	116.0	66.7	23.0
<b>W 12 x 14</b>	11.91	3.970	0.200	0.225	4.2	14	88.6	2.4	14.9	1.2
<b>W 12 x 16</b>	11.99	3.990	0.220	0.265	4.7	16	103.0	2.8	17.1	1.4
<b>W 12 x 19</b>	12.16	4.005	0.235	0.350	5.6	19	130.0	3.8	21.3	1.9
<b>W 12 x 22</b>	12.31	4.030	0.260	0.425	6.5	22	156.0	4.7	25.4	2.3
<b>W 12 x 26</b>	12.22	6.490	0.230	0.380	7.7	26	204.0	17.3	33.4	5.3
<b>W 12 x 30</b>	12.34	6.520	0.260	0.440	8.9	30	239.0	20.3	38.6	6.2
<b>W 12 x 35</b>	12.50	6.560	0.300	0.520	10.3	35	285.0	24.5	45.6	7.5
<b>W 12 x 40</b>	11.94	8.005	0.295	0.515	11.8	40	310.0	44.1	51.9	11.0
<b>W 12 x 45</b>	12.06	8.045	0.335	0.575	13.2	45	350.0	50.0	59.1	12.4
<b>W 14 x 22</b>	13.74	5.000	0.230	0.335	6.5	22	199.0	7.0	29.0	2.8
<b>W 14 x 26</b>	13.91	5.025	0.255	0.420	7.7	26	245.0	6.9	35.3	3.5
<b>W 14 x 30</b>	13.84	6.730	0.270	0.385	8.9	30	291.0	19.6	42.0	5.8
<b>W 14 x 34</b>	13.98	6.745	0.285	0.455	10.0	34	340.0	23.3	48.6	6.9
<b>W 14 x 38</b>	14.10	6.770	0.310	0.515	11.2	38	385.0	26.7	54.6	7.9
<b>W 14 x 43</b>	13.66	7.995	0.305	0.530	12.6	43	428.0	45.2	62.7	11.3
<b>W 14 x 48</b>	13.79	8.030	0.340	0.595	14.1	48	485.0	51.4	70.3	12.8
<b>W 14 x 68</b>	14.04	10.035	0.415	0.720	20.0	68	723.0	121.0	103.0	24.2
<b>W 14 x 74</b>	14.17	10.070	0.450	0.785	21.8	74	796.0	134.0	112.0	26.6
<b>W 14 x 82</b>	14.31	10.130	0.510	0.855	24.1	82	882.0	149.0	123.0	29.3
<b>W 14 x 132</b>	14.66	14.725	0.645	1.030	38.8	132	1530.0	548.0	209.0	74.5
<b>W 16 x 26</b>	15.69	5.500	0.250	0.345	7.7	26	301.0	9.6	38.4	3.5
<b>W 16 x 31</b>	15.88	5.525	0.275	0.440	9.1	31	375.0	12.4	47.2	4.5
<b>W 16 x 36</b>	15.86	6.985	0.295	0.430	10.6	36	448.0	24.5	56.5	7.0
<b>W 16 x 40</b>	16.01	6.995	0.305	0.505	11.8	40	518.0	28.9	64.7	8.3
<b>W 16 x 45</b>	16.13	7.035	0.345	0.565	13.3	45	586.0	32.8	72.7	9.3
<b>W 16 x 50</b>	16.26	7.070	0.380	0.630	14.7	50	659.0	37.2	81.0	10.5
<b>W 16 x 67</b>	16.33	10.235	0.395	0.665	19.7	67	954.0	119.0	117.0	23.2
<b>W 18 x 35</b>	17.70	6.000	0.300	0.425	10.3	35	510.0	15.3	57.6	5.1
<b>W 18 x 40</b>	17.90	6.020	0.315	0.525	11.8	40	612.0	19.1	68.4	6.4
<b>W 18 x 46</b>	18.10	6.060	0.360	0.605	13.5	46	712.0	22.5	78.8	7.4
<b>W 18 x 50</b>	18.00	7.500	0.355	0.570	14.7	50	800.0	40.1	88.9	10.7
<b>W 18 x 55</b>	18.10	7.530	0.390	0.630	16.2	55	890.0	44.9	98.3	11.9
<b>W 18 x 60</b>	18.20	7.560	0.415	0.695	17.6	60	984.0	50.1	108.0	13.3
<b>W 18 x 65</b>	18.40	7.590	0.450	0.750	19.1	65	1070.0	54.8	117.0	14.4
<b>W 18 x 106</b>	18.70	11.200	0.590	0.940	31.1	106	1910.0	220.0	204.0	39.4
<b>W 21 x 44</b>	20.70	6.500	0.350	0.450	13.0	44	843.0	20.7	81.6	6.4
<b>W 21 x 57</b>	21.10	6.560	0.405	0.650	16.7	57	1170.0	30.6	111.0	9.4
<b>W 21 x 62</b>	21.00	8.240	0.400	0.615	18.3	62	1330.0	57.5	127.0	13.9
<b>W 21 x 68</b>	21.10	8.270	0.430	0.685	20.0	68	1480.0	64.7	140.0	15.7
<b>W 24 x 55</b>	23.60	7.010	0.395	0.505	16.2	55	1350.0	29.1	114.0	8.3
<b>W 24 x 62</b>	23.70	7.040	0.430	0.590	18.2	62	1550.0	34.5	131.0	9.8
<b>W 24 x 68</b>	23.70	8.970	0.415	0.585	20.1	68	1830.0	70.4	154.0	15.7
<b>W 24 x 76</b>	23.90	9.000	0.440	0.680	22.4	76	2100.0	82.5	176.0	18.4
<b>W 24 x 84</b>	24.10	9.020	0.470	0.770	24.7	84	2370.0	94.4	196.0	20.9
<b>W 24 x 94</b>	24.10	9.070	0.515	0.875	27.7	94	2700.0	109.0	222.0	24.0
<b>W 24 x 103</b>	24.10	12.750	0.500	0.750	30.6	104	3100.0	259.0	258.0	40.7

Fuente: Aceros de Guatemala. *Perfiles de Acero*. <https://www.corporacionag.com/es/categoria-producto/perfiles-ag>. Consulta: 30 de junio de 2021.

Anexo 4. **Ficha técnica de perfiles C disponibles en el mercado guatemalteco**

**FICHA TÉCNICA**

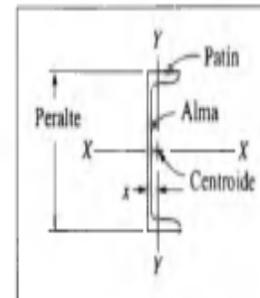
» **PERFIL "U" O CANAL "C" DE HIERRO DEL RAYO**



FICHA TÉCNICA								
Producto	Dimensiones en pulgadas			Peso		Longitud		Piezas por paquete
	(A) Alma	(B) Patín	(C) Espesor	lb/pie	kg/m	pie	m	
Canal 3"	3	1.37	0.13	3.5	5.2	20	6.09	30
	3	1.41	0.17	4.1	6.1	20	6.09	30
Canal 4"	4	1.58	0.12	4.5	6.7	20	6.09	24
	4	1.58	0.18	5.4	8	20	6.09	24
	4	1.72	0.32	7.25	10.8	20	6.09	24
Canal 6"	6	1.92	0.20	8.2	12.2	20	6.09	18
	6	2.03	0.31	10.5	15.6	20	6.09	18
	6	2.15	0.43	13	19.3	20	6.09	18
Canal 8"	8	2.26	0.22	11.5	17.1	20	6.09	12
	8	2.34	0.30	13.75	20.5	20	6.09	12
	8	2.52	0.48	18.75	27.9	20	6.09	12

Fuente: Hierro del Rayo. *Perfiles "U" o Canal "C"*. [https://5a03d1a0-00cb-43a1-a169-943434da3824.filesusr.com/ugd/b8f178\\_80566f00390843189ab81b29239c411b.pdf](https://5a03d1a0-00cb-43a1-a169-943434da3824.filesusr.com/ugd/b8f178_80566f00390843189ab81b29239c411b.pdf). Consulta: 30 de junio de 2021.

## Anexo 5. Ficha técnica de perfiles C



A-6 Propiedades de canales de acero American Standard  
Perfiles C\*

Designación	Área ( $\text{plg}^2$ )	Peralte (plg)	Espesor del alma (plg)	Patin		Eje X-X		Eje Y-Y		
				Ancho (plg)	Espesor promedio (plg)	$I$ ( $\text{plg}^4$ )	$S$ ( $\text{plg}^3$ )	$I$ ( $\text{plg}^4$ )	$S$ ( $\text{plg}^3$ )	$x$ (plg)
C15 × 50	14.7	15.00	0.716	3.716	0.650	404	53.8	11.0	3.78	0.798
C15 × 40	11.8	15.00	0.520	3.520	0.650	349	46.5	9.23	3.37	0.777
C12 × 30	8.82	12.00	0.510	3.170	0.501	162	27.0	5.14	2.06	0.674
C12 × 25	7.35	12.00	0.387	3.047	0.501	144	24.1	4.47	1.88	0.674
C10 × 30	8.82	10.00	0.673	3.033	0.436	103	20.7	3.94	1.65	0.649
C10 × 20	5.88	10.00	0.379	2.739	0.436	78.9	15.8	2.81	1.32	0.606
C9 × 20	5.88	9.00	0.448	2.648	0.413	60.9	13.5	2.42	1.17	0.583
C9 × 15	4.41	9.00	0.285	2.485	0.413	51.0	11.3	1.93	1.01	0.586
C8 × 18.75	5.51	8.00	0.487	2.527	0.390	44.0	11.0	1.98	1.01	0.565
C8 × 11.5	3.38	8.00	0.220	2.260	0.390	32.6	8.14	1.32	0.781	0.571
C6 × 13	3.83	6.00	0.437	2.157	0.343	17.4	5.80	1.05	0.642	0.514
C6 × 8.2	2.40	6.00	0.200	1.920	0.343	13.1	4.38	0.693	0.492	0.511
C5 × 9	2.64	5.00	0.325	1.885	0.320	8.90	3.56	0.632	0.450	0.478
C5 × 6.7	1.97	5.00	0.190	1.750	0.320	7.49	3.00	0.479	0.378	0.484
C4 × 7.25	2.13	4.00	0.321	1.721	0.296	4.59	2.29	0.433	0.343	0.459
C4 × 5.4	1.59	4.00	0.184	1.584	0.296	3.85	1.93	0.319	0.283	0.457
C3 × 6	1.76	3.00	0.356	1.596	0.273	2.07	1.38	0.305	0.268	0.455
C3 × 4.1	1.21	3.00	0.170	1.410	0.273	1.66	1.10	0.197	0.202	0.436

\*Datos tomados de varias fuentes. Los tamaños relacionados son una pequeña muestra de los tamaños disponibles.

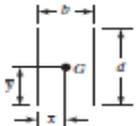
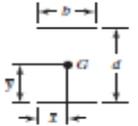
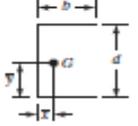
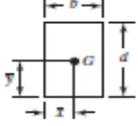
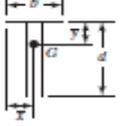
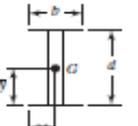
Ejemplo de designación: C15 × 50

$S$  = peralte (plg),  $50$  = peso por unidad de longitud (lb/pie)

$I$  = momento de inercia,  $S$  = módulo de sección

Fuente: MOTT, Robert. *Resistencia de Materiales Aplicada*. p. 590.

## Anexo 6. Tabla para cálculo de soldadura a flexión

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
	$A = 0.707hd$	$x = 0$ $y = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$x = b/2$ $y = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hd$	$x = b/2$ $y = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $y = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$x = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$x = b/2$ $y = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$x = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$x = b/2$ $y = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 1.414\pi r$		$I_u = \pi r^3$

Fuente: BUDYNAS, Richard; NISBETT, J. *Diseño en ingeniería mecánica de shingley*. p.470 - 471.

### Anexo 7. Tabla de propiedades de distintos electrodos

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

Fuente: BUDDYNAS, Richard; NISBETT, J. *Diseño en ingeniería mecánica de shingley*. p.470 - 471.

### Anexo 8. Tabla de propiedades de aceros estructurales

Material ASTM núm. y productos	Resistencia última, $s_u$ *		Resistencia a la cedencia, $s_y$ *		Porcentaje de alargamiento en 2 plg
	kpsi	MPa	kpsi	MPa	
A36—Perfiles, placas y barras de acero al carbón	58	400	36	248	21
A242—Perfiles, placas y barras de baja aleación y alta resistencia					
≤ 3/4 plg de espesor	70	483	50	345	21
3/4 a 1 1/2 plg de espesor	67	462	46	317	21
1 1/2 a 4 plg de espesor	63	434	42	290	21
A500—Tubería estructural formada en frío					
Redonda, grado A	45	310	33	228	25
Redonda, grado B	58	400	42	290	23
Redonda, grado C	62	427	46	317	21
Perfilada, grado A	45	310	39	269	25
Perfilada, grado B	58	400	46	317	23
Perfilada, grado C	62	427	50	345	21
A501—Tubería estructural formada en caliente, redonda o perfilada	58	400	36	248	23
A514—Placa de acero aleado templado y enfriado de alta resistencia a la cedencia					
≤ 2 1/2 plg de espesor	110	758	100	690	18
2 1/2 a 6 plg de espesor	100	690	90	620	16
A572—Perfiles, placas y barras de acero de baja aleación de columbio–vanadio de alta resistencia					
Grado 42	60	414	42	290	24
Grado 50	65	448	50	345	21
Grado 60	75	517	60	414	18
Grado 65	80	552	65	448	17

\*Valores mínimos; pueden ser más elevados.

El American Institute of Steel Construction especifica  $E = 29 \times 10^6 \text{ lb/plg}^2$  (200 GPa) para acero estructural.

Fuente: MOTT, Robert. *Resistencia de Materiales Aplicada*. p. 599.

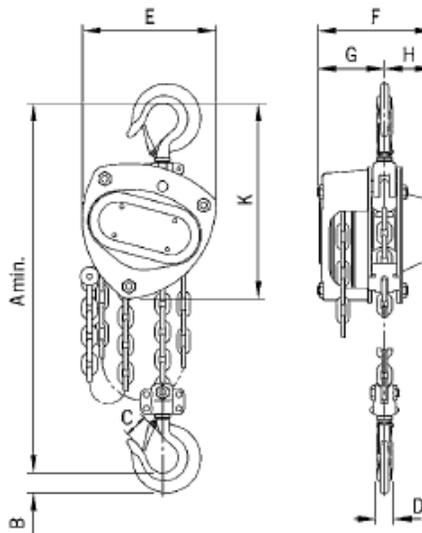
## Anexo 9. Ficha técnica polipastos de cadena Yale

### Datos técnicos modelo VSIII

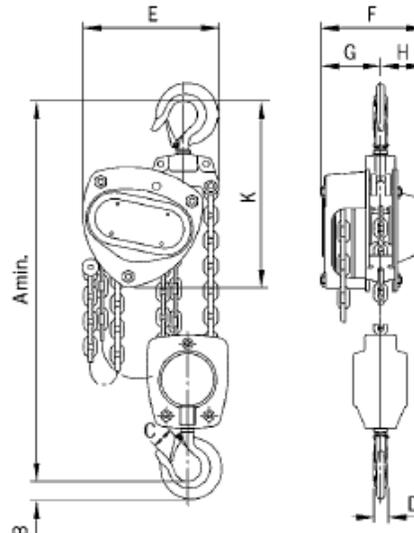
Modelo	Núm. EAN 4025092*	Capacidad en kg/ número de ramales	Dimensiones de la cadena d x p mm	Levante para 1 m longitud cadena mando mm	Esfuerzo a C.M.U. daN	Peso con altura estándar (3 m) kg
VSIII 0,25/1	*665322	250/1	4x12	50	20	3,9
VSIII 0,5/1	*949545	500/1	5x15	26	21	9,0
VSIII 1,0/1	*949927	1.000/1	6x18	24	24	11,5
VSIII 1,5/1	*593854	1500/1	8x24	17	30	17,5
VSIII 2,0/1	*949934	2.000/1	8x24	19	32	19,0
VSIII 2,0/2	*949941	2.000/2	6x18	15	29	17,3
VSIII 3,0/1	*949958	3.000/1	10x30	12	40	31,0
VSIII 3,0/2	*949965	3.000/2	8x24	10	37	27,0
VSIII 5,0/2	*949972	5.000/2	10x30	8	41	43,0

### Dimensiones modelo VSIII

Model	VSIII 0,25/1	VSIII 0,5/1	VSIII 1,0/1	VSIII 1,5/1	VSIII 2,0/1	VSIII 2,0/2	VSIII 3,0/1	VSIII 3,0/2	VSIII 5,0/2
A mín., mm	290	350	380	450	460	490	570	580	700
B, mm	12	21	28	33	36	36	45	45	47
C, mm	26	23	27	36	35	35	40	40	45
D, mm	11	16	20	22	29	29	29	29	40
E, mm	118	145	158	180	205	170	240	220	250
F, mm	113	140	155	175	180	155	210	175	190
G, mm	65	80	87	85	94	87	110	94	95
H, mm	48	60	68	90	86	68	100	81	95
K, mm	190	240	270	300	320	285	370	340	410



Modelo VSIII, 250 - 3.000 kg, un ramal



Modelo VSIII, 2.000 - 5.000 kg, dos ramales

Fuente: TecniYale. *Polipastos Manuales de Cadena.*

<http://www.tecniyale.com/paginas/polipastos-manuales-de-cadena>. Consulta: 30 de junio de

2021

## Anexo 10. Ficha técnica troleys Yale

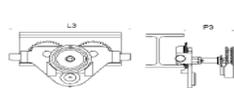
### Datos técnicos modelo HTP y modelo HTG

Modelo	Núm. EAN 4025092*	Capacidad kg	Tamaño	Ancho ala de viga b mm	Espesor ala de viga t máx. mm	Radio mín. curvatura m	Esfuerzo en cadena de mando a C.M.U. daN	Peso* kg	Peso* con freno kg
HTP 500	*054874	500	A	50 - 220	25	0,9	-	8,0	14,5
HTP 1000	*054881	1.000	A	50 - 220	25	0,9	-	9,0	17,0
HTP 2000	*054898	2.000	A	66 - 220	25	1,15	-	16,0	24,0
HTP 3000	*054904	3.000	A	74 - 220	25	1,4	-	32,0	41,2
HTP 5000	*054911	5.000	A	90 - 220	25	1,8	-	48,0	58,5
HTP 500	*054928	500	B	160 - 300	40	0,9	-	10,6	17,1
HTP 1000	*054935	1.000	B	160 - 300	40	0,9	-	12,0	20,0
HTP 2000	*054942	2.000	B	160 - 300	40	1,15	-	19,3	27,3
HTP 3000	*054959	3.000	B	160 - 300	40	1,4	-	35,8	45,0
HTP 5000	*054966	5.000	B	180 - 300	40	1,8	-	52,2	62,7
HTG 500	*074711	500	A	50 - 220	25	0,9	3	9,7	16,2
HTG 1000	*074728	1.000	A	50 - 220	25	0,9	6	11,2	19,2
HTG 2000	*074735	2.000	A	66 - 220	25	1,15	7	18,0	26,0
HTG 3000	*074742	3.000	A	74 - 220	25	1,4	7	35,4	44,6
HTG 5000	*074759	5.000	A	90 - 220	25	1,8	9	51,8	62,3
HTG 500	*074766	500	B	160 - 300	40	0,9	3	12,6	19,1
HTG 1000	*074841	1.000	B	160 - 300	40	0,9	6	14,1	22,1
HTG 2000	*074773	2.000	B	160 - 300	40	1,15	7	21,3	29,3
HTG 3000	*074780	3.000	B	160 - 300	40	1,4	7	39,2	48,4
HTG 5000	*074797	5.000	B	180 - 300	40	1,8	9	56,0	66,5
HTG 8000	*074803	8.000	B	125 - 310	40	1,8	14	104,0	-
HTG 10000	*074810	10.000	B	125 - 310	40	1,8	14	104,0	-
HTG 15000	*074827	15.000	B	125 - 310	40	5,0	29	230,0	-
HTG 20000	*074834	20.000	B	125 - 310	40	5,0	29	230,0	-

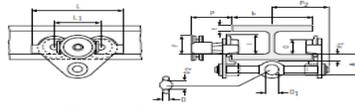
\*Peso HTG sin cadena de mando

### Medidas modelo HTG

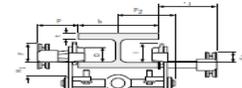
Modelo	HTG 500-A	HTG 1000-A	HTG 2000-A	HTG 3000-A	HTG 5000-A	HTG 500-B	HTG 1000-B	HTG 2000-B	HTG 3000-B	HTG 5000-B	HTG 8000-B	HTG 10000-B	HTG 15000-B	HTG 20000-B
A, mm	77	82,5	98,5	114	132,5	92	97,5	113,5	129	147,5	276	276	270	270
B, mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	52	70	70
D, mm	16	17	22	26	33	16	17	22	26	33	30	30	35	35
D1, mm	25	30	40	48	60	25	30	40	48	60	80	80	110	110
D2, mm	30	35	47	58	70	30	35	47	58	70	114	114	155	155
F (HTG), mm	91,5	91,5	90,5	107,5	149,5	91,5	91,5	90,5	107,5	149,5	113	113	113	113
F1, mm	46	46	46	46	45,5	46	46	46	46	45,5	77	77	-	-
H1, mm	30,5	30,5	30,5	30	30	45,5	45,5	45,5	45	45	45	45	45	45
I (HTG), mm	76,5	76,5	98	132,5	148,5	76,5	76,5	98	132,5	148,5	170	170	170	170
L, mm	260	260	310	390	450	260	260	310	390	450	430	430	870	870
L1, mm	130	130	150	180	209	130	130	150	180	209	200	200	200	200
L2, mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	115	115
O, mm	60	60	80	112	125	60	60	80	112	125	150	150	150	150
P (HTG), mm	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	163	163	163	163
P1, mm	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	193	193	-	-
P2, mm	146	150	155	160	167,5	187	187	189,5	191,5	191,5	-	-	-	-
T, mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	270	270	270	270
L3, mm	346	346	396	476	556	346	346	396	476	556	536	536	976	976
P3, mm	194	194	194	195	195	194	194	194	194	195	-	-	-	-



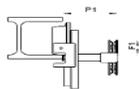
Modelo HTG 500 - 5.000 kg con guía de cadena de mando giratoria y topes de goma



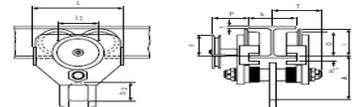
Modelo HTP/G 500 - 5.000 kg



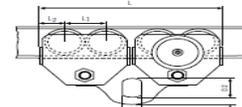
Modelo HTP/G 500 - 5.000 kg, con freno de parada



Modelo HTG 10.000 kg, con freno de parada



Modelo HTG 10.000 kg



Modelo HTG 20.000 kg

Fuente: TecniYale. Polipastos Manuales de Cadena.

<http://www.tecniyale.com/paginas/polipastos-manuales-de-cadena>. Consulta: 30 de junio de

2021

## Anexo 11. Carga máxima permisible en ruedas

**TABLE 4.13.3-4  
MAXIMUM PERMISSIBLE BRIDGE AND TROLLEY WHEEL LOADING (POUNDS)**

Wheel Hardness	Wheel dia. (D) inches	ASCE 20#	ASCE 25#	ASCE 30#	ASCE 40#	ARA-A 90#	ASCE 60 & 70# ARA-B 100#	ASCE 80 & 85# ARA-A 100# BETH 104 USS 1.05#	ASCE 100#	BETH & USS 135#	BETH & USS 175#	BETH 171#
200 BHN	8	6750	8000	8500	10000							
	9	7600	9000	9500	11250	14900	15750					
	10	8450	10000	10550	12500	16550	17500					
	12		12000	12750	15000	19850	21000	22500	25600			
	15			15950	18750	24850	26250	26150	31850			
	18			19150	22500	28800	31500	33750	38250	40500		
	21				26250	34900	36750	39400	44600	47250	56600	73500
	24					39750	42000	45000	51000	54000	75000	84000
	27							50800	57400	60750	84400	94500
	30							56250	63750	67500	87500	105000
36								78500	81000	112500	126000	
260 BHN	8	8800	10400	11050	13000							
	9	9850	11700	12450	14600	19400	20450					
	10	10950	13000	13800	16250	21550	22750					
	12		15600	16600	19500	25850	27300	29250	33150			
	15			20750	24400	32300	34100	36550	41450			
	18			24950	29250	38750	40950	43950	49700	52560		
	21				34100	45200	47800	51200	58000	61400	85300	95500
	24					51650	54600	58500	66300	70200	97500	109200
	27							65800	74600	78000	107700	122850
	30							73100	82850	87750	121850	136500
36								99450	105300	148250	163800	
320 BHN	8	9400	11150	11850	13900							
	9	10550	12550	13300	15650	20750	21950					
	10	11750	13900	14800	17400	23050	24350					
	12		16700	17750	20900	27950	29250	31300	35600			
	15			22200	26100	34600	36550	39150	44400			
	18			26650	31300	41500	43850	47000	53250	56400		
	21				36550	48400	51150	54800	62150	65800	91350	102300
	24					55350	58450	62850	71000	75200	104400	116950
	27							70500	78900	84550	117450	131550
	30							79300	88750	93950	130500	146200
36								108500	112750	158600	175400	
58Rc (815 BHN)	8	11850	13800	14700	17250							
	9	13100	15550	16500	19450	25750	27200					
	10	14600	17250	18350	21900	28800	30300					
	12		20700	22050	25900	34300	36250	38850	44050			
	15			27550	32400	42900	45350	48550	55050			
	18			33050	38850	51800	54400	58300	66050	69950		
	21				45350	60600	63450	68000	77050	81600	113350	126950
	24					68650	72550	77700	89100	93250	129550	145050
	27							87450	99100	104800	145700	163290
	30							97150	110100	116600	161900	181350
36								132100	139900	194300	217600	
Effective Width of Rail Head (W) inches (Top of head minus corner radii)		.844	1.000	1.063	1.250	1.656	1.750	1.875	2.125	2.250	3.125	3.500

Fuente: CMAA. Crane Manufacturers Association of America Specification #70. p.50.