



**UNS**

UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL**  
**DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**"Diseño de una grúa puente monorriel con capacidad de 02 toneladas aplicando las normas AISC y CMAA para la empresa Sedapal-Lima"**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

**TESISTAS:**

**Bach. MARCELO MACHAY, Boney Juanito.**

**ASESOR:**

**Ing. ESCALANTE ESPINOZA, Nelver Javier**

---

**NUEVO CHIMBOTE - PERÚ**  
**2017**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

---

## **ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“Diseño de una grúa puente monorriel con capacidad de 02 toneladas aplicando las normas AISC y CMAA para la empresa Sedapal-Lima”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECÁNICO**

---

### **AUTOR**

❖ Bach. MARCELO MACHAY, Boney Juanito.

### **ASESOR**

❖ Ing. ESCALANTE ESPINOZA, Nelder Javier

---

**NUEVO CHIMBOTE-PERÚ**

**2017**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**E.P. Ingeniería Mecánica**



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los veintisiete días del mes de junio del año dos mil dieciocho, siendo las 11:00 a.m., se instaló en el Aula A-09 del Pool de Aulas, el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 187-2018-UNS-CFI del 24.05.2018; integrado por los siguientes docentes:

- |   |             |
|---|-------------|
| ➤ Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz      | Presidente  |
| ➤ Ing. Nelver Javier Escalante Espinoza | Secretario  |
| ➤ M.Sc. Arquímedes Iparraguirre Lozano  | Integrante  |
| ➤ Ing. José Mlin Chero Ballena          | Accesitario |

Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: "DISEÑO DE UNA GRÚA PUENTE MONORRIEL, CON CAPACIDAD DE 02 TONELADAS APLICANDO LAS NORMAS AISC y CMAA PARA LA EMPRESA SEDAPAL-LIMA"; elaborado por el bachiller en Ingeniería Mecánica MARCELO MACHAY BONEY JUANITO con código de matrícula N° 0201016042; teniendo como asesor al docente ING. NELVER JAVIER ESCALANTE ESPINOZA, designado con R.D. N° 235-2016-UNS-FI de fecha 12.05.2016.

Terminada la sustentación los bachilleres, respondieron las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con los artículos 39° y 40° del Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y Título Profesional de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
MARCELO MACHAY BONEY JUANITO	16	REGULAR

Siendo las 12:00 m. del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

  
Dr. Serapio Quillos Ruiz  
Presidente

  
Ing. Nelver Escalante Espinoza  
Secretario

  
M.Sc. Arquímedes Iparraguirre Lozano  
Integrante



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**HOJA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

El presente Informe de Tesis titulado "DISEÑO DE UNA GRÚA PUENTE MONORRIEL, CON CAPACIDAD DE 02 TONELADAS APLICANDO LAS NORMAS AISC y CMAA PARA LA EMPRESA SEDAPAL-LIMA"; elaborado por el bachiller MARCELO MACHAY BONEY JUANITO para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico, ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación, por tal motivo firmo el presente trabajo en calidad de asesor.



---

ING. NELVER JAVIER ESCALANTE ESPINOZA



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR**

El presente Informe de Tesis titulado "DISEÑO DE UNA GRÚA PUENTE MONORRIEL, CON CAPACIDAD DE 02 TONELADAS APLICANDO LAS NORMAS AISC y CMAA PARA LA EMPRESA SEDAPAL-LIMA" elaborado por el bachiller MARCELO MACHAY BONEY JUANITO para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico, fue revisado y aprobado por el siguiente jurado evaluador:



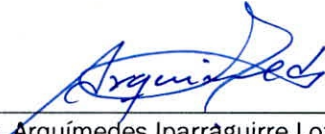
---

Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz  
Presidente



---

Ing. Nелver Javier Escalante Espinoza  
Secretario



---

M.Sc. Arquímedes Iparráguirre Lozano  
Integrante

## Índice

<b>Resumen</b>	6
<b>Abstract</b>	7
<b>Capítulo I: Introducción</b>	8
1.1 Antecedentes	9
1.2 Formulación de problema	11
1.3 Objetivo general	11
1.4 Objetivos específicos	11
1.5 Formulación de hipótesis	11
1.6 Justificación	11
1.7 Limitación del trabajo	12
1.8 Matriz operacional	12
<b>Capítulo II: Marco teórico</b>	13
2.1 Grúa puente	13
2.1.1 Partes constructivas de la grúa puente	13
2.1.2 Mecanismo de elevación y traslación	14
2.1.3 Viga principal o viga Puente	14
2.1.4 Viga testera	15
2.1.5 Camino de rodadura o vía de rodadura	15
2.2 Clasificación del servicio de la grúa puente según CMAA	16
2.2.1 Numero de ciclos a carga plena basados en la clase de grúa	18
2.3 Principio para el dimensionamiento de la grúa puente	20
2.3.1 Coeficiente de compensación y de choque	22
2.3.2 Suposición sobre la carga y el peso propio de la grúa	23
2.4 Fuerzas y momentos actuantes en la viga principal	24
2.4.1 Momentos flectores máximos debido a cargas verticales	24
2.4.2 Momentos flectores máximos debido a cargas Horizontales	26
2.4.3 Flecha máxima	27
2.4.4 Tensión de trabajo de la viga	27
2.5 Deflexión en estructuras	28

2.5.1 Métodos para calcular la deflexión en vigas	28
2.6 Factores influyentes del esfuerzo máximo permisible	30
2.6.1 Geometría de la sección	31
2.6.2 Apoyo lateral	32
2.7 Diseño de vigas simples	33
2.8 Efectos del cortante	35
2.9 Flexión del patín inferior cargas sobre ruedas CMAA N° (2004)	35
2.9.1 Tensiones admisibles	40
2.9.2 Esfuerzos combinados	40
<b>Capítulo III: Materiales y método</b>	41
3.1 Métodos de la investigación	41
3.2 Diseño de la investigación	41
3.3 Medios y materiales	41
<b>Capítulo IV: Resultados y Discusión</b>	42
4.1 Resultados	42
4.2 Discusión	43
<b>Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones</b>	46
5.1 Conclusiones	46
5.2 Recomendaciones	47
<b>Capítulo VI: Referencias bibliográficas</b>	48
<b>Anexos</b>	50
Anexo N° 1 : Cuadro resumen de resultados	50
Anexo N° 2 : Cálculos viga principal	51
Anexo N° 3 : Cálculos viga testera	59
Anexo N° 4 : Cálculos viga carrilera	62
Anexo N° 5 : Análisis de viga con software Solidworks	69
Anexo N° 6 : Razones ancho-espesor, elementos en compresión de miembros en flexión	70
Planos	

## Lista de Figuras

Figura 2.1	Componentes principales de una grúa puente monorriel	13
Figura 2.2	Carril tipo Vignole	16
Figura 2.3	Presiones de rueda de carros accionado eléctricamente con elevación auxiliar	24
Figura 2.4	Fuerzas actuantes en la viga principal	24
Figura 2.5	Viga con apoyos simples y Cargas idénticas.	29
Figura 2.6	Viga con apoyos simples y carga uniforme	30
Figura 2.7	Pandeo del patín cuando la compresión es muy grande.	31
Figura 2.8	Carga concentrada aplicada en el centro de la rueda con el ala	36
Figura 2.9	Carga concentrada aplicada en el centro de la rueda con el ala cónica	37
Figura 2.10	Carga concentrada en sección simétrica ala cónica.	38
Figura 2.11	Carga concentrada en sección simétrica ala plana	38
Figura 2.12	Carga concentrada en sección simétrica ala plana soldada.	38
Figura 7.1	Coefficiente de corrección y choque	54
Figura 7.2	Diagrama de fuerza cortante y momento flector de viga de carga	58
Figura 7.3	Distribución de cargas para diseño de viga testera	59
Figura 7.4	Sección transversal de carro testero	59
Figura 7.5	Diagrama de fuerza cortante y momento flector de viga testera	60
Figura 7.6	Distribución de cargas para diseño de viga carrilera	62
Figura 7.7	Diagrama de fuerza cortante y momento flector de viga carrilera	64
Figura 7.8	Distribución de esfuerzos en la sección transversal viga carrilera	65
Figura 7.9	Ubicación del eje neutro de viga carrilera y Riel	67



## Lista de Tablas

Tabla 2.1	Clasificación de servicio de grúa	18
Tabla 2.2	Clasificación de grúas por ciclos	19
Tabla 2.3	Clasificación de las estructuras según ciclos.	20
Tabla 2.4	Presión dinámica del viento.	21
Tabla 2.5	Clasificación de las máquinas de elevación	22
Tabla 2.6	Deflexiones máximas permisibles en miembros a flexión según AISC.	28
Tabla 2.7	Tensiones admisibles en alas de perfil según CMAA.	40

## RESUMEN

En el presente trabajo se muestra el procedimiento de cálculo para realizar el diseño de una grúa puente monorriel de 02 toneladas de capacidad aplicando las normas pertinentes como son la AISC (American Institute of Steel Construction) y CMAA (Crane manufacturers association of america). En el diseño se muestra como se realiza el cálculo y selección de los elementos principales de una grúa puente monorriel como son la viga principal o viga de carga, vigas carrileras, vigas testeras y riel de rodadura.

Este trabajo se logró realizar mediante la recopilación y estudio de diferentes métodos de cálculo de vigas para puentes grúa, y aplicación de las normas para la obtención del perfil óptimo de acuerdo a las solicitaciones, calculando la flecha o deflexión máxima de acuerdo a la luz y capacidad del puente grúa.

La viga principal se sometió a un estudio de análisis por elementos finitos con un software de ingeniería solidworks para contrastar los resultados obtenidos mediante cálculo por normas y simulador.

Finalmente como resultado más relevante en el diseño de la grúa, se obtuvo una deflexión máxima de 4.5 mm en la viga principal y un factor de seguridad de 2.

Palabras claves: Grúa puente, viga testera, viga carrilera, momento de inercia.

## ABSTRACT

In the present work the calculation procedure for the design of a monorail bridge crane of 02 tons of capacity is presented, applying the relevant standards such as the American Institute of Steel Construction (AISC) and CMAA (Crane manufacturers association of america). In the design it is shown how the calculation and selection of the main elements of a monorail bridge crane are carried out, such as the main beam or load beam, rail beams, beams and rolling track.

This work was accomplished by compiling and studying different methods of calculating beams for crane bridges, and applying the norms to obtain the optimum profile according to the stresses, calculating the maximum deflection or arrow according to the light and capacity of crane bridge.

The main beam was subjected to a finite element analysis study with a solidworks engineering software to test the results obtained by norm calculation and simulator.

Finally, as the most relevant result in the design of the crane, a maximum deflection of 4.5 mm was obtained in the main beam and a safety factor of 2.

Keywords: Bridge crane, end truck, runway beam, moment of inertia.

## **Capítulo I: Introducción**

La presente tesis tiene por objetivo diseñar una grúa puente monorriel de 2 toneladas bajo la aplicación de normas internacionales en diseño y fabricación.

La fuente bibliográfica proviene de años de investigación en especial en normas de ingeniería para diseño de equipos de izaje y resistencia de materiales, la bibliografía fue contrastada con la realidad en cuanto al diseño en ingeniería en el medio local.

Este trabajo presenta los siguientes capítulos:

En el capítulo I se presenta el planteamiento de la investigación, el problema, los objetivos, hipótesis, la justificación, las limitaciones de la misma y la matriz operacional. También se abordan los objetivos, relevancia de la investigación y aspectos metodológicos.

En el capítulo II se abordan los aspectos teóricos relacionados a las partes que componen una grúa puente monorriel, para lo cual se hará una descripción teórica de los componentes principales como son, viga de carga, viga carrilera, viga testera y riel de rodadura. Por otro lado, se citarán las fórmulas pertinentes de las secciones específicas de las normas de ingeniería que se usarán en el diseño de la grúa puente como son la AISC (American Institute of Steel Construction) y CMAA (Crane manufacturers association of america). Adicionalmente se mostrarán gráficos de momentos flectores, esfuerzos cortantes y diagramas de fuerza, para tener un mayor entendimiento del comportamiento de los perfiles que se usarán para diseñar los componentes de la grúa puente monorriel.

En el capítulo III se abordará y describirán los aspectos metodológicos como son, el método de investigación, diseño de la investigación, los medios y materiales.

En el capítulo IV se ofrece la discusión e interpretación de resultados. Se muestran resultados en cuanto a deformaciones, esfuerzos máximos admisibles por las normas internacionales AISC (American Institute of Steel Construction) y CMAA (Crane manufacturers association of america), factores de seguridad y modelación por elementos finitos de la viga de carga en software solidworks.

En el capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones de esta tesis en cuanto al diseño de la grúa puente monorriel bajo normas internacionales AISC, CMAA y análisis por elementos finitos bajo software solidworks.

## **1.1. Antecedentes**

Presentamos seguidamente una serie de trabajos especiales de grado que proporcionan a nuestra investigación confiabilidad y consistencia de alta relevancia ya que la información que poseen es detallada basada en conocimientos y experiencias que son compatibles y guardan relación con el diseño de sistemas de izamiento.

### **Tenelema Q. “Diseño y simulación de un puente grúa de 05 toneladas”**

El proyecto trata del diseño, construcción y simulación estática de un sistema de puente grúa de 05 toneladas de capacidad que fue diseñada bajo la norma CMMA 70, cumpliendo el requisito más importante que es mover equipos pesados.

### **Vasco V. “Diseño y simulación de un puente grúa de 15 toneladas de capacidad para los talleres de arcolands división oriente”**

El trabajo de investigación trata del diseño y simulación de un sistema de puente grúa 15 toneladas para taller de reparación, cumpliendo el requisito más importante que solicita al departamento de producción que es el de realizar desmontaje, reparación y montaje.

### **Collado. R. “Diseño de puente grúa de 05 toneladas”**

El proyecto trato del diseño de una grúa destinada al manipuleo principalmente de materia prima en un taller metalúrgico. Tiene como característica principal una altura útil de 6m y una longitud de 15m, su carga máxima es de 5 toneladas.

### **Sandoval C. “Diseño de un puente grúa para el transporte de motores diésel para el taller l&g diésel truck”**

El trabajo trata del diseño de un sistema de elevación y transporte para la fácil movilización de motores a su sitio de reparación, teniendo en cuenta los requerimientos básicos y funcionales expuestos por el taller

### **Martínez. A. “Puente grua con capacidad de 7 toneladas para empresa iroca industrial c.a de venezuela”**

El presente proyecto tiene como propósito diseñar una grúa de 07 toneladas para el galpón de almacenamiento de materiales y equipos de la empresa Iroca Industrial.

### **Resa F. “Diseño y cálculo de grúa para almacén con capacidad para 5 tn”**

El proyecto consta de la instalación de un puente grúa para efectuar movimientos esporádicos de pequeñas cargas, así como descargas de camiones de suministros y otras funciones.

### **Cruz M. “Análisis, diseño y selección de una grúa viajera tipo mono puente”**

En este proyecto se desarrolló la ingeniería básica para el cálculo y diseño para una grúa viajera mono puente de 10 toneladas de capacidad, mediante diagramas de cuerpo libre, ecuaciones de equilibrio y cálculos de esfuerzos y deformación, se fueron definiendo las geometrías y dimensiones de los componentes del mono puente cabezales, traveses carril ejes.

### **Mieles M. “diseño de un puente grúa tipo monorraíl de 1 tonelada de capacidad”**

En el presente trabajo se realizó un diseño con una estructura para 24 metros cuadrados de área de trabajo, compuesta por perfiles estructurales de acero a una altura de 4 metros, conectados entre ellos por medio de un mecanismo de transportación y sujetado a las estructuras existentes de la planta por medio de espárragos. El equipo de elevación y de transportación se seleccionó por medio de estudios realizados en este escrito, considerando las normas de ingeniería de la Asociación Americana de Constructores de Grúas (CMAA).

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo diseñar una grúa puente monorriel aplicando las normas AISC y CMAA, de 2 toneladas de capacidad?

## **1.3. Objetivo general**

Diseñar una grúa puente monorriel con capacidad de 02 toneladas aplicando las normas AISC y CMAA.

## **1.4. Objetivos Específicos**

**1.4.1.** Seleccionar las secciones específicas de las normas AISC y CMAA para realizar el diseño de una grúa puente monorriel con capacidad de 02 toneladas.

**1.4.2.** Realizar los procedimientos de cálculo según las normas AISC y CMAA para el diseño de la grúa puente monorriel con capacidad de 02 toneladas.

**1.4.3.** Evaluar con el software Solidworks la deformación máxima de la viga principal obtenida aplicando las normas AISC y CMAA en el diseño de la grúa puente monorriel con capacidad de 02 toneladas.

## **1.5. Formulación de la hipótesis**

Aplicando las Normas AISC y CMAA se podría diseñar en forma eficiente una grúa puente monorriel con capacidad de 02 toneladas para la empresa Sedapal-Lima.

Variable Independiente    Normas AISC, CMAA.

Variable Dependiente    Diseño de puente grúa monorriel con capacidad de 02 toneladas

## **1.6. Justificación**

Actualmente la empresa Sedapal transporta mediante montacargas paquetes de 02 toneladas en su almacén, esta labor se hace demasiado lenta en su proceso de producción, es por ello que se opta por la instalación de una grúa puente.

Dicha grúa puente debe ser diseñada bajo las normativas pertinentes, la cual asegure la confiabilidad del equipo durante su operación. Por tal motivo en esta Tesis se realizará dicho diseño de la grúa puente aplicando las normas AISC y CMAA.

### 1.7. Limitaciones del trabajo

El alcance de este proyecto de investigación se centrará únicamente en el diseño de una grúa puente de capacidad máxima 02 toneladas. El desarrollo de esta tesis abracará el diseño y selección de la viga de carga, vigas carrileras, vigas testeras y el sistema de rieles por donde se desplazará el puente grúa. Para dicho diseño se utilizará las normas AISC y CMAA.

### 1.8. Matriz operacional

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Diseño de grúa puente monorriel de 02 toneladas de capacidad bajo normativas internacionales en el diseño de estructuras de capacidad	Diseñar grúa puente monorriel de 02 toneladas de capacidad bajo normativas internacionales en el diseño de estructuras	-Normas AISC, CMAA.  -Resistencia de materiales.  -Procedimientos de cálculo.	-Resultados obtenidos admisibles dentro de las normas de diseño estructural.  -Factor de seguridad adecuado y aceptable.  -Procedimientos de cálculo aceptables bajo normas internacionales.



## Capítulo II: Marco teórico

### 2.1 Grúa puente:

La grúa puente según (Marín y Romero, 1997) es un equipo de elevación, compuesto por una viga, simple o doble, biapoyada sobre dos carriles elevados sobre unos postes.

El movimiento longitudinal se da mediante la traslación de la viga principal a través de los carriles elevados. En la práctica, la rodadura es por ruedas metálicas sobre carriles también metálicos. El movimiento transversal se da por el desplazamiento de un polipasto o carro sobre uno o dos carriles sobre la viga principal.

#### 2.1.1 Partes constructivas de la grúa puente

En la figura 2.1 se detallan los componentes típicos que conforman un puente grúa

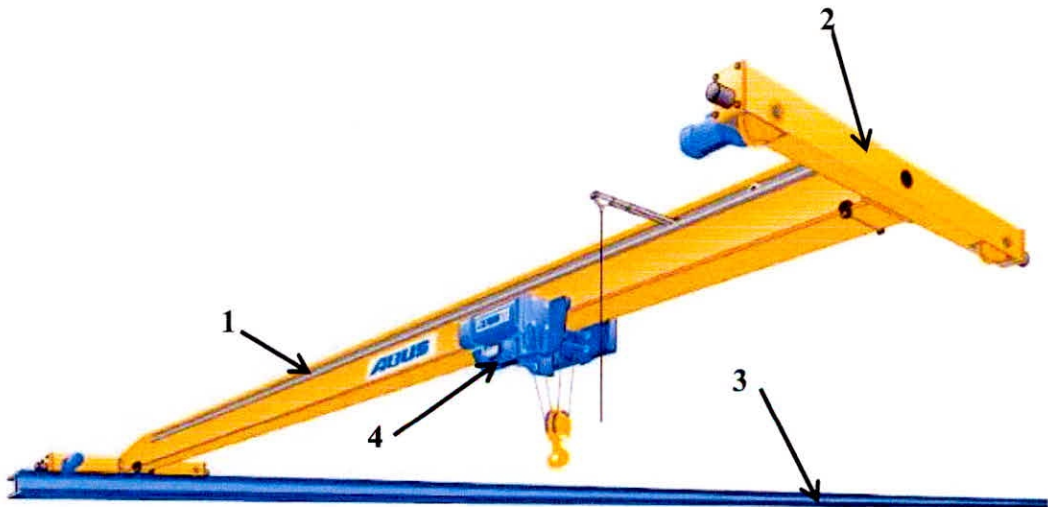


Figura 2.1. Componentes principales de una grúa puente monorriel.

Fuente: ABUS grúas.

1. Viga principal.
2. Viga testera.
3. Viga carrilera.
4. Carro con polipasto de cable o cadena.

### **2.1.2 Mecanismo de elevación y traslación:**

El mecanismo de elevación según (Araujo y Nuñez, 2014) es el sistema que cumple la función básica de izar la carga y transportarla a lo largo de un recorrido según las condiciones de diseño. Para ello utiliza una o dos velocidades generalmente, es decir, una velocidad de precisión o lenta y otra velocidad rápida. El mecanismo de elevación, comúnmente denominado polipasto se compone de las siguientes partes fundamentales: El aparejo móvil, el tambor del cable, el reductor, el freno y el motor de accionamiento. Todos estos elementos conforman un sistema compacto incluyendo un conjunto de elementos auxiliares. Por su parte, el mecanismo de traslación se divide en dos mecanismos, el carro y el equipo de traslación del puente (testero). El carro permite la traslación de la carga y del polipasto a través de la Luz de la grúa puente. Están integrado los siguientes componentes: El reductor, motor de accionamiento, ruedas, rodamientos y ejes, formando parte de la viga testera o porta puente. En todas partes cuando no se trata de una utilización puramente ocasional y momentánea, se prefiere utilizar el polipasto eléctrico en lugar de aparatos de elevación movidos a mano

Existen tres tipos de mecanismo:

- El polipasto monorraíl
- El carro polipasto
- El carro abierto

La elección del mecanismo de elevación de un puente grúa es función de la capacidad de carga y de la luz del puente grúa.

### **2.1.3 Viga principal o viga puente:**

La viga principal según (Araujo y Nuñez, 2014) es el componente que soporta la carga útil, su propio peso y demás equipos auxiliares de una grúa puente, permitiendo absorber los esfuerzos generados por las diferentes cargas aplicadas y transmitirlos a una estructura fija.

Para el manejo de cargas bajas, es frecuente utilizar puentes grúas de una única viga principal, recorrida por un polipasto simple o monorraíl. Cuando la carga útil

sobrepasa las 10 toneladas, es normal la disposición de doble viga principal, recorrida por un carro polipasto birriel.

En el primer caso, es decir, cuando la máxima carga a transportar no supera las 4 toneladas, la viga principal está constituida normalmente por un perfil laminado en forma de "I". Los rodillos de rodadura del polipasto suelen circular por las alas inferiores del perfil.

Cuando la carga útil es elevada, ambas vigas principales, unidas por vigas testeras en sus extremos, son fabricadas en diferentes formas: vigas en celosía, viga de vierendeel y viga cajón.

Para este trabajo especial de grado se cuenta con una grúa puente con una viga principal de perfil laminado.

La viga cajón está constituida por cuatro láminas de acero que confinan una sección rectangular o cuadrada. Su utilidad se debe fundamentalmente a la sencillez del proceso de fabricación. Por otra parte, los procesos realizados en las técnicas de soldadura han permitido la construcción de alta resistencia ante efectos de flexión y cortadura. Con este nuevo estilo de construcción se consigue disminuir el costo global de la estructura.

#### **2.1.4 Viga testera:**

La viga testera según (Araujo y Nuñez, 2014) es la estructura que une o acopla a la viga principal para permitir la traslación del puente a lo largo de un recorrido.

Para facilitar su funcionalidad, se le incorpora algunos elementos como: ruedas, rodamientos, ejes estriados, parachoques y el motor de accionamiento. La nueva utilización de rodamientos permite reducir la resistencia a la marcha.

En esta tesis de grado se trabajará con un carro testero que corresponde a una viga tipo cajón.

#### **2.1.5 Camino de rodadura o vía de rodadura:**

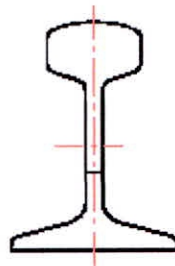
El camino de rodadura según (Araujo y Nuñez, 2014) es el sistema que cumple la función de permitir una fácil rodadura del elemento rodante, conformar un perfil equilibrado y presentar un valor adecuado de la inercia en la grúa puente. En la totalidad de las grúas puente se utiliza como medio de rodadura la rueda de acero

sobre el carril metálico. Únicamente las grúas vehiculares y pórticos auto-portantes utilizan rodaduras de tipo neumático-asfalto.

El sistema de rodadura por carril metálico implica la selección y cálculo de la rueda y el propio carril. Para ello se parte de un número de ruedas determinadas, sabiendo la carga por ruedas se selecciona el carril y si es necesario se aumenta el número de ruedas.

El diseño continúa comprobando la rueda para el carril seleccionado, si la rueda no se ajusta hay dos posibilidades: aumentar el diámetro de la rueda o aumentar el número de ruedas.

Existe una tendencia a utilizar carril tipo Vignole frente al clásico perfil tipo Burbach, debido a su mayor relación inercia/peso.



*Figura 2.2.* Carril tipo Vignole

*Fuente:* Silva, C. Morales, S. 2011.

## **2.2 Clasificación del servicio de la grúa según cmaa**

Las clasificaciones del servicio de la grúa según la fabricación de la grúa, asociación de la capacidad de elevación de América (CMAA) no son restringidas en cualquier clasificación y hay una variación del viento en tiempos de utilización dentro de cada una de las clasificaciones.

### ➤ **Clase A (Servicio espera o frecuente)**

Esto cubre las grúas usadas en las instalaciones tales como centrales eléctricas, servicios públicos, cuartos de la turbina, cuartos del motor, y las estaciones del transformador, donde la dirección exacta del equipo a las velocidades reducidas con períodos largos, ociosos entre las elevaciones se requiere. El levantamiento en

la capacidad clasificada se puede hacer para la instalación inicial del equipo y para el mantenimiento frecuente.

➤ **Clase B (Servicio ligero)**

Esto cubre las grúas usadas en los talleres de reparaciones, operaciones de asamblea ligeras, edificios de servicio, luz que almacena, o el deber similar, donde están luz y la velocidad los requisitos del servicio es lento. Las cargas pueden variar de ninguna carga a cargas clasificadas completas ocasionales, con 2 - 5 elevaciones por hora.

➤ **Clase C (Servicio moderado)**

Esto cubre las grúas usadas en tiendas de máquina o cuartos de la máquina del molino de papel, donde los requisitos son moderados. Las grúas manejarán las cargas con las cuales haga un promedio de 50% de la capacidad clasificada, con 5 - 10 elevaciones/hora, no sobre 50% de las elevaciones en la capacidad clasificada.

➤ **Clase D (Servicio pesado)**

Esto cubre las grúas que se pueden utilizar en tiendas de máquina pesadas, fundiciones, plantas de fabricación, almacenes de acero, yardas del envase, molinos de la madera de construcción, y las operaciones estándar del cubo y del imán donde se requiere la producción resistente. Las cargas que se acercan a 50% de la capacidad clasificada se manejan constantemente durante período de trabajo. Las velocidades son deseables para este tipo de servicio, con 10 - 20 elevaciones/hora, con no sobre 65% de las elevaciones en la capacidad clasificada.

➤ **Clase E (Servicio severo)**

Esto requiere las grúas capaces de manejar las cargas que se acercan a la capacidad clasificada a través de su vida.

Los usos pueden incluir el imán, cubo, y las grúas de la combinación del imán-cubo para las yardas del desecho, los molinos del cemento, los molinos de la madera de construcción, las plantas del fertilizante, envase que dirige, o similar, con 20 o más las elevaciones/hora, o cerca de la capacidad clasificada.

➤ **Clase F (Servicio severo continuo)**

Esto requiere las grúas capaces de manejar las cargas que se acercan a capacidad clasificada continuamente bajo condiciones severas del servicio a través de su

vida. Los usos pueden incluir las grúas creadas para requisitos particulares de la especialidad esenciales para la ejecución de las tareas de trabajo críticas que afectan a las instalaciones de producción totales. Estas grúas deben proporcionar la confiabilidad más alta, con especial atención a la facilidad de las características del mantenimiento.

El espectro de la carga, reflejando el servicio real o anticipado de la grúa condiciona tan de cerca como sea posible, puede ser utilizado para establecer la clasificación del servicio de la grúa. El espectro de la carga (CMAA 2004) lleva a un factor de carga eficaz malo aplicado al equipo en una frecuencia especificada. Se seleccionan los componentes correctamente clasificados de la grúa basaron en el factor y el uso eficaces malos de carga según lo dado en la Tabla 4 adaptado de CMAA (2004).

Tabla 2.1: Clasificación de servicio de grúa basado en k

k= Factor de carga efectiva principal	Uso			
	Irregular uso ocasional seguido de largos periodos	Uso regular de operación intermitente	Uso regular en operaciones continuas	Uso regular en operación continua severa
$\leq 0.53$	A*	B*	C	D
$0.531 < k \leq 0.67$	B*	C*	D	E
$0.671 < k \leq 0.85$	C	D	D	F
$0.85 < k \leq 1.00$	D	E	F	F

\*Generalmente se ajusta a la categoría de servicio liviano.

*Fuente:* Silva, C. Morales, S. 2011.

### 2.2.1 Numero de ciclos a carga plena basados en la clase de grúa

El número de ciclos a carga plena de los criterios de la fatiga de CMAA para el diseño de la grúa se enumera en la Tabla 2.1 y 2.2.

Estos criterios no se pueden aplicar directamente a una estructura portante. Las ediciones que deben ser consideradas son:

- Las longitudes de palmo de la estructura portante comparado al espaciamiento de la rueda de la grúa.
- El número de palmos sobre los cuales la grúa funciona. Por ejemplo, si la grúa funciona aleatoriamente sobre (x) palmos, el número equivalente de ciclos a

carga plena para cada palmo pudo estar más bien el número de ciclos arriba, dividido por (x). Por una parte, en un tipo operación de la producción, cada palmo en un lado del cauce se puede casi sujetar al mismo número de ciclos a carga plena para los cuales la grúa se diseñe si viaja la grúa la longitud del cauce cargado completamente cada vez.

- c. El número de grúas.
- d. Sobre o bajo utilización de la grúa con respecto a su clase.

Para la clase del servicio A de la grúa, B, o C donde la operación de elevación se distribuye aleatoriamente a lo largo de la longitud de las vigas del cauce y a través del puente de la grúa, se sugiere que el número de ciclos del cargamento de la amplitud diversa para los componentes de la estructura portante de la grúa se puede estimar como el número de ciclos a carga plena para la clase de grúa dividida por el número de palmos y multiplicada por el número de grúas, más a futuro la condición de que la vida del cauce es igual que la vida de la grúa.

Tabla 2.2: Clasificación de grúas por ciclos.

Clase de grúa	Número de miles de ciclos de carga completos
A	100
B	200
C	500
D	800
E	2000
F	>2000

*Fuente:* Silva, C. Morales, S. 2011.

Por ejemplo, el cauce para una nueva grúa de la clase C, 5 palmos, sería diseñado para 100000 ciclos. Los números sugeridos de ciclos para el diseño de la estructura portante de la grúa en función de la clase de la grúa varían extensamente entre las fuentes. La base de las recomendaciones no está clara.

La Tabla 2.3 presenta el número recomendado de ciclos para el diseño de la estructura portante de la grúa basada en la clase estructural de servicio. Comparando

el número recomendado de ciclos en la tabla 2.2 al número de ciclos para la grúa en la tabla 2.3, aparece eso para este acercamiento a la clasificación estructural, la clase de servicio estructural debe ser 20% de los ciclos a carga plena para las clases A, B y C, y 50% de la grúa para las clases D, E y F.

Tabla 2.3: Clasificación de las estructuras según ciclos.

Clase estructural de servicio	“Recomendar” Número de miles de ciclos de carga completa, N
SA	20
SB	40
SC	100
SD	400
SE	1000
SF	Mas que 2000 <sup>b</sup>

a. Se utilizó una calibración de la estructura soporte (servicio de clase estructural) para la clase de servicio de grúa en el capítulo 4. Como es el caso para la grúa la estructura soporte servirá muchos más ciclos de carga de amplitud variable.

b. Debido a la vida de fatiga ilimitada de la grúa; un ciclo de trabajo y análisis es requerido para definir criterio de diseño de fatiga.

*Fuente:* Silva, C. Morales, S. 2011.

### 2.3 Principio para el dimensionamiento de la gua puente

El método a emplear es generalmente suficiente para calcular las fuerzas de sollicitación. El dimensionamiento se basa en la norma DIN 120: Bases de cálculo para las estructuras de grúas y caminos de rodadura.

**Fuerzas exteriores.** Las estructuras están sollicitadas, de forma concurrente, por varias fuerzas, diferenciadas entre cargas fijas, fuerzas debidas a las diferencias de temperatura, al viento, nieve y al frenado. Según la DIN 120 se las divide en fuerzas principales y fuerzas secundarias.

**Fuerzas principales.** Las cargas fijas sollicitan la estructura de forma constante sin variación de intensidad, ni de dirección, por ejemplo, el peso propio y los contrapesos, entre otras. Una vez estimadas estas cargas, se deben verificar sin son insuficientes. Si esto último llegase a ocurrir, se deberá rehacer el cálculo, según DIN 120, si los esfuerzos establecidos con las cargas fijas sobrepasan en un 3% los esfuerzos admisibles.



Las cargas móviles comprenden todas las fuerzas cuya intensidad y puntos de aplicación cambian regularmente durante el funcionamiento. Las fuerzas de inercia generadas por el frenado y la aceleración, forman parte de las cargas móviles y se pueden despreciar si las fuerzas secundarias fuesen tan importantes que obliguen a sobredimensionar las secciones.

Los esfuerzos por las variaciones de temperatura, solo se consideran en casos especiales, cuando la grúa está sometida a libre dilatación, por estar a la intemperie y se admiten cambios de temperatura entre -25 y +45 °C.

Fuerzas secundarias. Estas fuerzas comprenden la presión del viento, frenado y cargas sobre la escalera y pasarelas.

$$v = cq \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) \quad (1)$$

Donde  $c$  es un coeficiente que depende de la forma (ver cuadro 2). Los valores de  $q$  son función de la velocidad del viento que varía con la altura sobre el suelo (ver cuadro 1). Las máquinas que se encuentran en el interior de edificaciones no son solicitadas por el viento.

Tabla 2.4: Presión dinámica del viento.

Altura sobre el suelo	Fuera de servicio		En servicio	
	Velocidad del viento $v$ (m/s)	Presión dinámica $q$ (Kg/m <sup>2</sup> )	Velocidad del viento $v$ (m/s)	Presión dinámica $q$ (Kg/m <sup>2</sup> )
0 a 20	35,8	80		
De 20 a 100	42	100	22	30
Más de 100	45,6	130		

Fuente: *Friedr, V. 1965*

Se determina la superficie expuesta al viento, área de aferencia, según las dimensiones reales, añadiendo una superficie estimada para la carga.

Se admite que las fuerzas de frenado en la dirección de los carriles representan 1/7 de la reacción de todas las ruedas frenadas.

### 2.3.1 Coeficiente de compensación y de choque.

Los puentes grúa se clasifican en cuatro grupos, según el tiempo de funcionamiento, la carga y los choques a que están sometidos. Antes de empezar a proyectar el puente grúa, se tendrá que conocer el grupo a que pertenece

Por la tabla 2.5 se podrán conocer según el tipo de puente grúa y la velocidad de traslación, los coeficientes de compensación y de choque que habrá que utilizar en el cálculo (las cargas del peso propio se multiplican por  $\varphi$ , las móviles por  $\psi$ )

Tabla 2.5: Clasificación de las máquinas de elevación

Nº Tipo de puente grúa	Grupo	Grupo	Tiempo de funcionamiento	Tipo de carga	Choques
1. Puentes grúa con movimiento de traslación a mano.	I	I	poco	pequeña	normal
2. Puentes grúas con movimiento de traslación eléctrico para patios de almacenamiento.	I-II	II	Mucho	Pequeña	Normal
			Poco	Grande	Fuertes
			poco	pequeña	Fuertes
3. Puentes grúa de poca carga para talleres y almacenes.	II-III	III	Mucho	Grande	Normal
			Mucho	Pequeña	Fuertes
			poco	Grande	Fuertes
4. Puentes grúa como los anteriores pero con carga grande.	II	IV	mucho	grande	fuerte
5. Puentes grúa para locomotoras.	II	Grupo	Coeficiente de compensación $\psi$		
6. Puentes grúa para astilleros.	II-III	I	1,2		
		II	1,4		
		III	1,6		
		IV	1,9		

7. Puentes grúa especiales para siderurgia.		Velocidad de traslación m/s		Coeficiente de choque ( $\varphi$ )
8. Puentes grúa para talleres de fundición.	II-III	Unión de los carriles	Unión de los carriles soldados. O sin ellas	
9. Puentes grúa para talleres de laminación.	II-IV	s normales		
10. Puentes grúa para Hornos de Acero.	III-IV	$\leq 1,0$	$\leq 1,5$	
11. Puentes grúa para Hornos de Fosa.	III-IV	$> 1,0$	$> 1,5$	

Fuente: R. Nonnast, *El proyectista de estructuras metálicas*, pág. 250

### 2.3.2 Suposición sobre la carga y el peso propio de la grúa.

Puesto que, con luces grandes, el peso propio de las distintas partes de la grúa, y en especial del puente de la grúa, componen una parte considerable de la carga y puesto determinadas partes del puente, como, por ejemplo, las vigas secundarias o el arriostrado inferior, están solicitadas casi exclusivamente por las fuerzas debidas al peso propio, es necesario, antes de comenzar el cálculo, hacer lo posible por conocer la magnitud de los pesos propios. La validez de estas hipótesis se ha de comprobar después de ejecutar el cálculo y el dimensionamiento, rehaciéndose el cálculo. Cuando la tensión total determinada con base a dicha comprobación exceda de las tensiones admisibles de un 3% o más (DIN 120, párrafo 3) en las partes más peligrosas.

Para facilitar dichos cálculos, se dan en las gráficas 1 unos valores de partida.

Las presiones de las ruedas de los carros eléctricos normales con distintas fuerzas portantes.

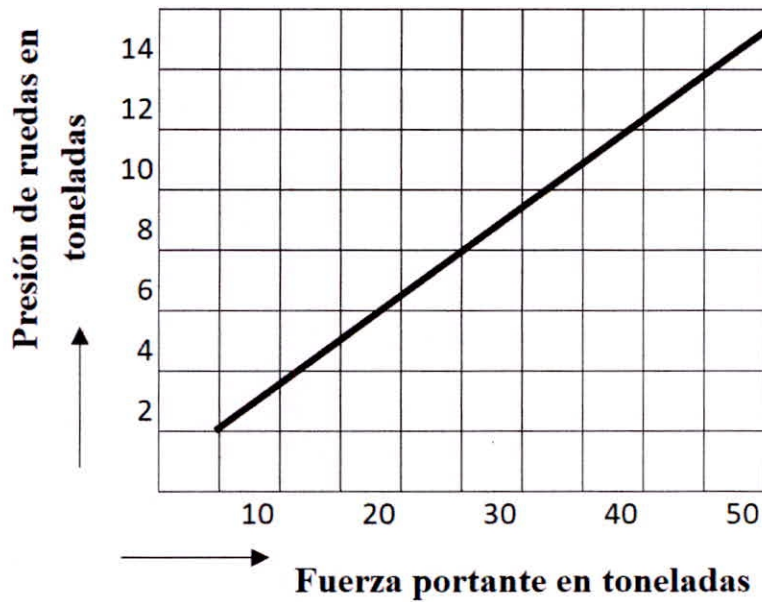


Figura 2.3: Presiones de rueda de carros accionado eléctricamente con elevación auxiliar

Fuente: Friedr, V. 1965.

## 2.4 Fuerzas y momentos actuantes en la viga principal.

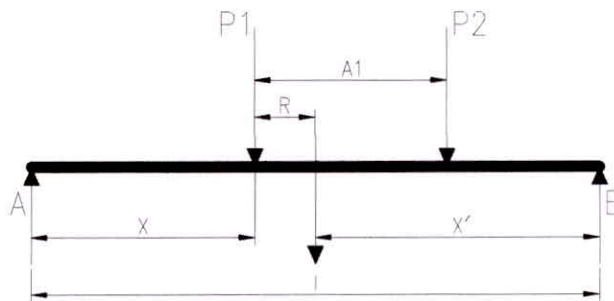


Figura 2.4. Fuerzas actuantes en la viga principal

Fuente: Friedr, V. 1965.

### 2.4.1 Momentos flectores máximos debido a cargas verticales.

Según R. Nonnast *el proyectitas de estrucutras metalicas* pag 258,

- Momento flector máximo debido a la carga móvil, siendo la presión de las dos ruedas iguales.

$$M_{f1} = Px \frac{(l - \frac{a}{2})^2}{2l} \quad (2)$$

Donde:

$M_{f1}$ : Momento flector maximo debido a la carga movil (kg. cm)

$P$ : Presion de las ruedas del carro (kg)

$l$ : Longitud de la viga de carga (cm)

$a$ : Distancia de separacion de la ruedas del carro (cm)

- Momento flector máximo debido al peso propio de la viga.

$$M_{f2} = \frac{wx(l)^2}{8} \quad (3)$$

Donde:

$M_{f2}$ : Momento flector maximo debido peso de la viga (kg. cm)

$w$ : Peso por unidad de longitud de la viga de carga (kg/cm)

$l$ : Longitud de la viga de carga (cm)

- Momento flector máximo debido al peso propio del mecanismo de traslación del puente grúa.

$$M_{f3} = \frac{Gxl}{4} \quad (4)$$

Donde:

$M_{f3}$ : Momento flector maximo debido peso del mecanismo de traslacion (kg. cm)

$G$ : Peso del mecanismo de traslacion (kg)

$l$ : Longitud de la viga de carga (cm)

## 2.4.2 Momentos flectores máximos debido a cargas horizontales.

Según *R. Nonnast el proyectitas de estrucutras metalicas pag 258*,

- Momento flector máximo debido a la carga móvil.

$$M_{f4} = \frac{M_{f1}}{14} \quad (5)$$

Donde:

$M_{f4}$ : Momento flector maximo debido a la carga movil (kg. cm).

$M_{f1}$ : Momento flector maximo debido a la carga movil (kg. cm).

- Momento flector máximo debido al peso propio de la viga

$$M_{f5} = \frac{M_{f2}}{7} \quad (6)$$

Donde:

$M_{f5}$ : Momento flector maximo debido peso de la viga (kg. cm).

$M_{f2}$ : Momento flector maximo debido peso de la viga (kg. cm).

- Momento flector máximo debido al peso propio del mecanismo de traslación.

$$M_{f6} = \frac{M_{f3}}{7} \quad (7)$$

Donde:

$M_{f6}$ : Momento flector maximo debido peso del mecanismo .  
de traslacion (kg. cm).

$M_{f3}$ : Momento flector maximo debido peso del mecanismo .  
de traslacion (kg. cm).

### 2.4.3 Flecha máxima

La flecha debida a la carga móvil será igual a menor que  $\frac{L}{750}$  en los puentes grúa movidos eléctricamente, y  $\frac{L}{500}$  en los movidos a mano según *R. Nonnast el proyectitas de estrucutras metalicas pag 258*.

$$f = \frac{P}{48IE} (l - a)(3l^2 - (l - a)^2) \quad (8)$$

Donde:

$f$  : flecha o deformacion(cm).

$P$ : Presion de las ruedas del carro (kg).

$l$ : Longitud de la viga de carga (cm).

$a$ : Distancia de separacion de la ruedas del carro (cm).

$I$ : Momento de inercia ( $cm^4$ ).

$E$ : Modulo de elasticidad ( $kg/cm^2$ ).

### 2.4.4 Tensión de trabajo de la viga:

Según *R. Nonnast el proyectitas de estrucutras metalicas pag 258*, el valor de la tencion de trabajo en la viga se obtiene con la formula:

$$T_{trabajo} = \frac{\varphi(M_{f2} + M_{f3}) + \psi(M_{f1})}{Sx} + \frac{M_{f4} + M_{f5} + M_{f6}}{Sy} \leq T_{admisible} \quad (9)$$

Donde:

$T_{trabajo}$  : Tension de trabajo de la viga ( $kg/cm^2$ ).

$M_{f1}$ : Momento flector maximo por carga movil – fuerza vertical (kg. cm).

$M_{f2}$ : Momento flector maximo por peso de la viga – fuerza vertical (kg. cm).

$M_{f3}$ : Momento flector maximo por peso del mecanismo de traslacion – fuerza vertical (kg. cm).

$M_{f1}$ : Momento flector maximo por carga movil – fuerza horizontal (kg. cm).

$M_{f2}$ : Momento flector maximo por peso de la viga – fuerza horizontal (kg. cm).

$M_{f3}$ : Momento flector maximo por peso del mecanismo de traslacion – fuerza horizontal (kg. cm).

$\varphi$ : Coeficiente de choque.

$\psi$ : Coeficiente de correccion.

$S_x$ : Modulo de la seccion en – x ( $cm^3$ ).

$S_y$ : Modulo de la seccion en – y ( $cm^3$ ).

## 2.5 Deflexión en estructuras:

Para todas las estructuras diseñadas de acuerdo con las normas AISC, debe documentarse en el diseño de la deflexión máxima para los elementos que trabajan a flexión. Los criterios de deflexión deben considerar el AISC-Manual of Steel Construcción.

Tabla 2.6: Deflexiones máximas permisibles en miembros a flexión según AISC.

Caso	Máxima Deflexión permisible ( $d_{max}$ )
Viga portantes de piso y equipos (para la carga total)	L/240 ; L=luz
Vigas portantes de cielo raso enlucido	L/360 ; L=luz
Vigas de techo y correas	L/180 ; L=luz
Vigas carrileras	L/750 ; L=luz
Brazos de grúa	L/225 ; L=luz

Fuente: AISC- Manual of Steel Construction Section L3

### 2.5.1 Métodos para calcular la deflexión en vigas

Existen muchas técnicas que se emplean para resolver la deflexión en vigas.

Algunos métodos populares son:

- Superposición
- Método del área-momento
- Funciones de singularidad



▪ **Calculo de la deflexión en vigas por superposición**

El método de 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.

Los valores de deflexión máxima ya fueron calculados en el libro de Shigley. Estos son los siguientes.

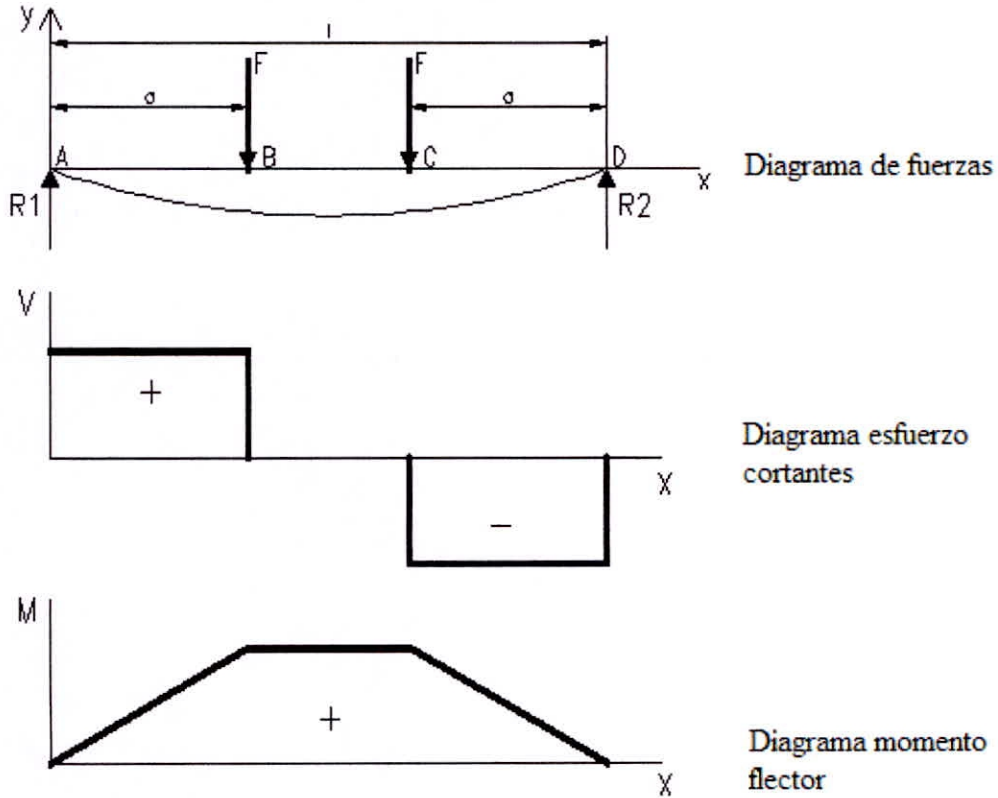


Figura 2.5. Viga con apoyos simples y cargas idénticas.

Fuente: Shigley, 2008.

$$R_1 = R_2 = F \quad V_{AB} = F \quad V_{BC} = 0 \quad (10)$$

$$V_{CD} = -F \quad (11)$$

$$M_{AB} = Fx \quad M_{BC} = Fa \quad M_{CD} = F(1 - X) \quad (12)$$

$$y_{AB} = \frac{Fx}{6EI} (x^2 + 3a^2 - 3la) \quad (13)$$

$$y_{BC} = \frac{Fa}{6EI} (3x^2 + a^2 - 3lx) \quad (14)$$

$$y_{max} = \frac{Fa}{24EI} (4a^2 - 3l^2) \quad (15)$$

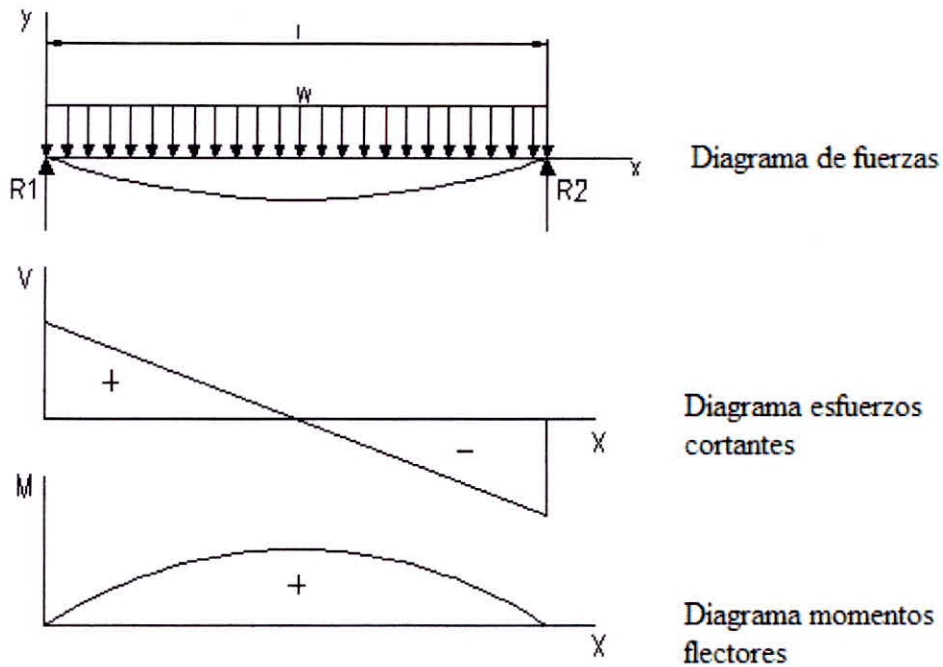


Figura 2.6. Viga con apoyos simples y carga uniforme

Fuente: Shigley, 2008.

$$R_1 = R_2 = \frac{wl}{2} \quad V = \frac{wl}{2} - wx \quad (16)$$

$$M = \frac{wx}{2}(l - x) \quad (17)$$

$$y = \frac{wx}{24EI}(2lx^2 - x^3 - l^3) \quad (18)$$

$$y_{max} = -\frac{5wl^4}{384EI} \quad (19)$$

### 2.6 Factores influyentes del esfuerzo máximo permisible:

Dos factores influyen considerablemente en el esfuerzo máximo permisible a flexión  $F_b$ , dentro del diseño de las secciones laminadas. Estos son:

- Geometría de la sección (basada en la relación ancho del patín/espesor) y la relación peralte/espesor del alma).
- Apoyo lateral (o espaciamiento del soporte lateral).

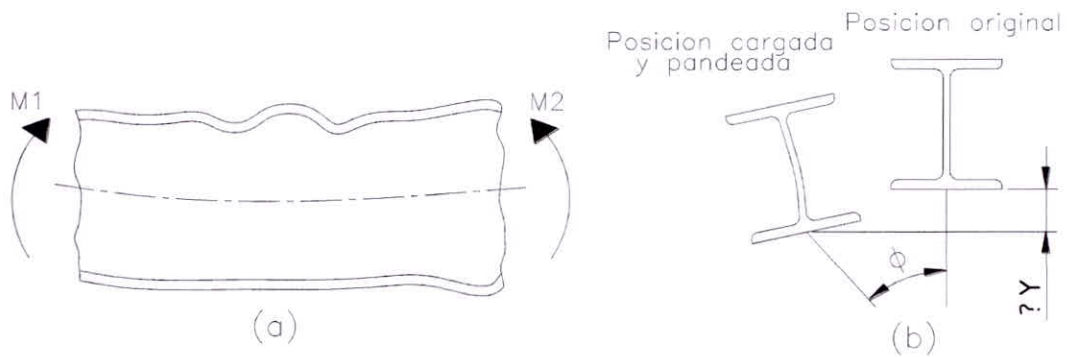
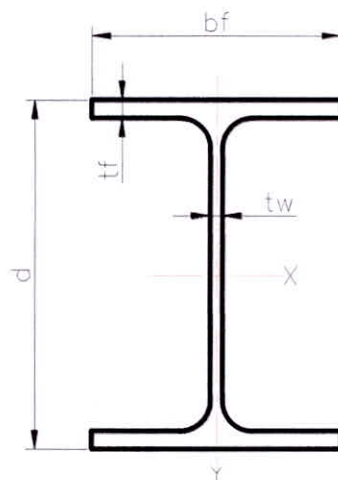


Figura 2.7. Pandeo del patín cuando la compresión es muy grande.

Fuente: Silva, Cesar, Morales, Santiago. (2011).

### 2.6.1 Geometría de la sección

Si las relaciones ancho/espesor del patín ( $\frac{b_f}{2t_f}$ ) y peralte/espesor del alma ( $\frac{d}{t_w}$ ) no fuesen adecuadas, los elementos de la sección tenderán a pandearse con bajos esfuerzos de compresión. Esta compresión se debe a la flexión más algunos esfuerzos debidos a cargas axiales.



La geometría de un perfil laminado puede ser tal que se produzca una sección compacta o no compacta.

$$F_b = 0.66S_y \dots \dots \dots \text{(Para secciones compactas)}$$

$$F_b = 0.6S_y \dots \dots \dots \text{(Para secciones no compactas)}$$

#### ▪ Comprobación de una sección compacta

Una sección compacta es aquella en la que se produce una plastificación de la sección antes de la falla, y esto ocurre cuando el esfuerzo máximo a

flexión del borde de la viga es igual al esfuerzo de fluencia. Cuando se sigue incrementando el momento flector de la viga, el esfuerzo del borde no se eleva, sino que se propaga de manera total al interior de la sección con la cual la viga puede soportar un momento flector un poco mayor al de fluencia sin que esta quede deformada plásticamente. Cuando se da la plastificación total de la sección y el momento flector se incrementa, la viga se deforma plásticamente.

A continuación, se mencionan las características que debe cumplir una sección compacta y que deben ser comprobadas.

- Deben ser perfiles laminados en caliente.
- El patín de compresión debe estar conectado de manera continua al ala de la viga.
- Tiene las siguientes relaciones de ancho/espesor del patín.

$$\frac{bf}{2tf} \leq \frac{65}{\sqrt{S_y}} \dots \text{lb. ft. s} ; \frac{bf}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{S_y}} \dots \text{SI} \quad (20)$$

- En una viga cuya carga axial sea cero, la relación  $\frac{d}{tw}$  está parcialmente controlada por la presencia de una carga axial.

$$\frac{d}{tw} \leq \frac{640}{\sqrt{S_y}} \dots \text{lb. ft. s} ; \frac{d}{tw} \leq \frac{1690}{\sqrt{S_y}} \dots \text{SI} \quad (21)$$

### 2.6.2 Apoyo lateral

Si el patín de compresión no está soportado en algunos intervalos a lo largo de la zona de compresión, se pandeará en el plano o fuera del plano acompañado de torsión.

El patín de compresión debe soportar adecuadamente para satisfacer los últimos criterios Compactos. La distancia entre soportes laterales sea la menor de las siguientes distancias L1 o L2 y se le denomina Lc (longitud soportada lateralmente para una sección compactada) y el mayor valor es Lu.

$$L1 = \frac{76bf}{12\sqrt{Sy}} ft \quad ; \quad L2 = \frac{20,000}{12.Sy.(\frac{d}{A_f})} ft \quad (22)$$

$$L1 = \frac{0.20bf}{\sqrt{Sy}} m \quad ; \quad L2 = \frac{13,9000}{Sy.(\frac{d}{A_f})} m \quad (23)$$

Donde:

B: ancho del patín de compresión, en in o mm.

D: Peralte de la sección, en in o mm

A<sub>f</sub>: Área del patín de compresión bf x tf

Sy : Esfuerzo de fluencia en kip/in<sup>2</sup> MPa.

Los valores antes mencionados se encuentran tabulados en las tablas de la AISC.

## 2.7 Diseño de vigas simples

El diseño de vigas en base a la información preliminar sobre las mismas debe cumplir lo siguiente:

1.  $f_b = \frac{M}{S} \leq F_b$
2.  $F_b$ : *Depende de la longitud de la viga*
3.  $I_b = \frac{f_b}{F_b} \leq 1$

Comparando los valores de la longitud de la viga con los valores de L<sub>c</sub> y L<sub>u</sub> se tienen 3 casos de análisis:

### CASO 1

- Sección compacta.
- $L \leq L_c$
- $F_b = 0.66Sy$

### CASO 2

- Independientemente de la sección.
- $L_c \leq L \leq L_u$
- $F_b = 0.6Sy$

### CASO 3

- Independientemente de la sección.
- $L \geq Lu$
- $F_b < 0.6Sy$
- Comprobar la esbeltez a flexión

Donde la esbeltez a flexión se calcula de la forma siguiente

$$\lambda = \frac{L}{r_t}$$

Dónde:

L: Longitud de viga.

$r_t$ : Radio de giro efectivo del patin de compresión.

#### CASO 3.1

- $\lambda_f \leq L_i$
- $L_i = \sqrt{\frac{102 \times 10^3 C_b}{S_y}}$
- $C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 \leq 2.3$
- $C_b$ : Factor de gradiente de momentos.
- Cuando el momento flector en algún punto dentro de la longitud no arreostrada de la viga es mayor que el momento en ambos extremos, el valor de  $C_b$  debe ser tomada como la unidad.
- $M_1$ : Menor momento en los extremos con signo.
- $M_2$ : Mayor momento en los extremos con signo.
- $F_b$ :  $0.6Sy$

#### CASO 3.2

- $L_i < \lambda_f < L_s$
- $L_i = \sqrt{\frac{102 \times 10^3 x C_b}{S_y}}$
- $L_s = \sqrt{\frac{510 \times 10^3 x C_b}{S_y}}$
- $F_b = \left(\frac{2}{3} - \frac{S_y(\lambda_f)^2}{1530 \times 10^3 C_b}\right) S_y$

### CASO 3.3

- $\lambda_f > L_s$
- $F_b = \left( \frac{170 \times 10^3 \times 1.67}{\left(\frac{L}{rt}\right)^2} \right)$

### 2.8 Efectos del cortante

La distribución del efecto cortante en cualquier sección sujeta a flexión puede calcularse usando la ecuación:

$$f_v = \frac{VQ}{It} \quad (10)$$

La AISC permite el uso de la siguiente ecuación ya sea para secciones laminadas o fabricadas. Esta difiere un poco del valor máximo, pero es más fácil de calcular.

$$f_v = \frac{V}{dt_w} \quad (11)$$

Donde:

V: Carga de corte

d: Peralte de la sección.

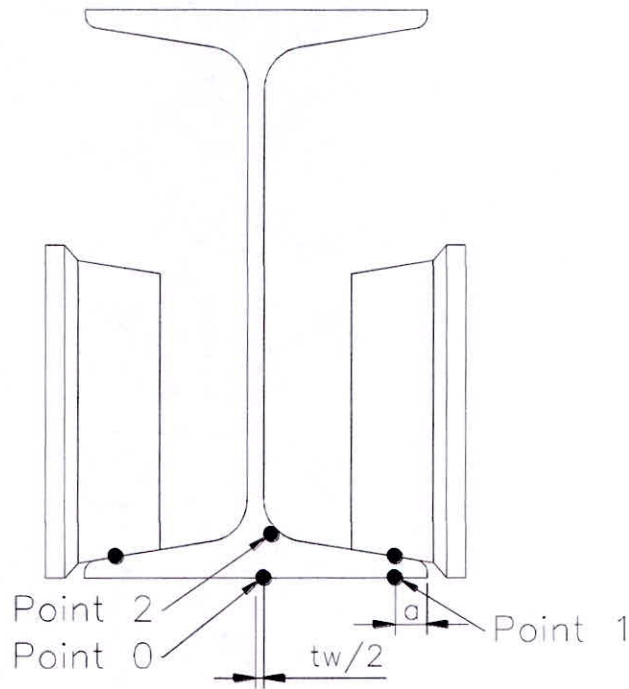
tw: Espesor del alma.

Los efectos de esfuerzo cortante deben cumplir lo siguiente:

- $f_v \leq F_v$
- $F_v = 0.4S_y$
- $I_v = \frac{f_v}{F_v} \leq 1.0$

### 2.9 Flexión local en ala inferior debido a cargas sobre ruedas por especificación cmaa n° 74 (2004).

Cada carga de la rueda se considerará como una carga concentrada aplicada en el centro de contacto de la rueda con el ala. (Figura 2.11). Las tensiones locales del ala en la dirección lateral (x) y longitudinal (y) en ciertos puntos críticos de flexión puede calcularse a partir de las siguientes fórmulas:



*Figura 2.8.* Carga concentrada aplicada en el centro de la rueda con el ala  
*Fuente:* CMAA especificación # 74, pág. 18.

En la parte inferior ala y ala al alma en transición. - Punto 0:

$$\sigma_{x0} = C_{x0} \left( \frac{P}{(t_a)^2} \right) \quad , \quad \sigma_{y0} = C_{y0} \left( \frac{P}{(t_a)^2} \right)$$

Para la parte inferior del ala directamente debajo de los puntos de contacto de la rueda  
 Punto 1:

$$\sigma_{x1} = C_{x1} \left( \frac{P}{(t_a)^2} \right) \quad , \quad \sigma_{y1} = C_{y1} \left( \frac{P}{(t_a)^2} \right)$$

Para la parte superior de ala y ala al alma de transición-Point 2:

$$\sigma_{x2} = -\sigma_{x0} \quad , \quad \sigma_{y2} = -\sigma_{y0}$$

Para las secciones de alas cónicas. (Figure 2.12)



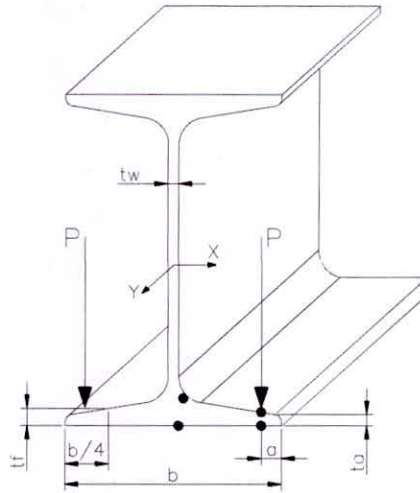


Figura 2.9. Carga concentrada aplicada en el centro de la rueda con el ala cónica

Fuente: CMAA especificación # 74, pág. 18.

$$C_{x0} = -1.096 + 1.09\lambda + 0.192e^{-6\lambda}$$

$$C_{x1} = 3.965 - 4.835\lambda - 3.965e^{-2.675\lambda}$$

$$C_{y0} = -0.981 - 1.479\lambda + 1.120e^{1.322\lambda}$$

$$C_{y1} = 1.810 - 1.150\lambda + 1.060e^{-7.70\lambda}$$

$$t_a = t_f - \left(\frac{b}{24}\right) + \left(\frac{a}{6}\right) \dots \text{Para seccion "S" estándar}$$

$$t_f = \text{Espesor del ala por seccion "S" estándar (in)}$$

Para Sección de alas planas (figura 2.14 y 2.15)

$$C_{x0} = -2.110 + 1.977\lambda + 0.0076e^{-6.53\lambda}$$

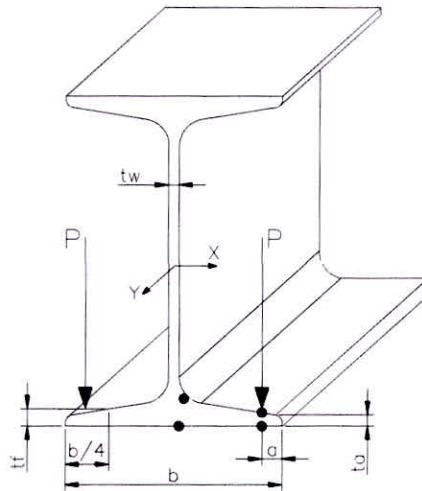
$$C_{x1} = 10.108 - 7.408\lambda - 10.108e^{-1.364\lambda}$$

$$C_{y0} = 0.050 - 0.580\lambda + 0.148e^{3.015\lambda}$$

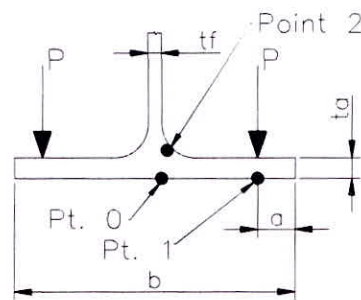
$$C_{y1} = 2.230 - 1.49\lambda + 1.390e^{-18.33\lambda}$$

Para secciones simétricas individuales (Figura 2.12 y 2.14)

$$\lambda = \frac{2a}{b - t_w} \quad ; b: \text{Ancho de la seccion a traves de las alas}$$

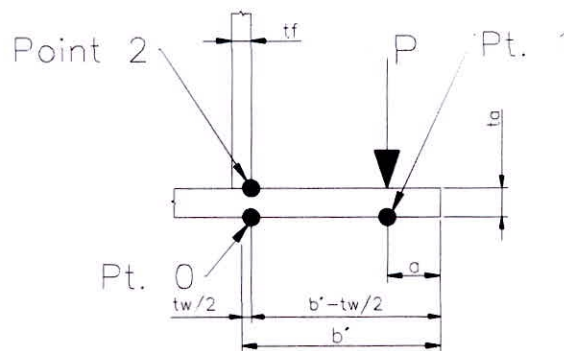


**Figura 2.10.** Carga concentrada en sección simétrica ala cónica.  
**Fuente:** CMAA especificación # 74, pág. 18.



**Figura 2.11.** Carga concentrada en sección simétrica ala plana.  
**Fuente:** CMAA especificación # 74, pág. 18.

Para otros casos (Figura 2.15).



**Figura 2.12.** Carga concentrada en sección simétrica ala plana soldada.  
**Fuente:** CMAA especificación # 74, pág. 18.

$$\lambda = \frac{2a}{b' - \frac{t_w}{2}}$$

Donde

b': Distancia desde la línea central de la banda al borde del ala

P: Carga por rueda que incluye HLF (libras)

t<sub>a</sub>: Espesor del ala en el punto de aplicación de la carga (in)

t<sub>w</sub>: Espesor del alma (in)

a: Distancia desde el borde del ala hasta el punto de aplicación de la carga de la rueda(in)(centro de contacto de la rueda)

e: base de neperiano = 2.71828 ...

- las tensiones localizadas debido a efectos de curvatura locales impuestas por cargas de las ruedas calculados en el punto 0 y 1 son para ser combinado con las tensiones debidas al caso 2 de carga especificada en el párrafo 3.3.2.5.2 de la especificación CMAA #74.

El cálculo de la tensión combinada, el ala tensiones de vigas de alma individuales de flexión están a reducirse a un 75% del valor calculado por el apartado 3.3.2.6.1.

La tensión combinada como se indica en 3.4.4.1, no será superior a la carga de Caso 2 tensión admisible en la tabla 3.4.1.

- Adicionalmente, en el caso de vigas de placa soldadas solamente, las tensiones localizadas en la parte superior del ala y alma en transición (punto 2) son para ser combinado con las tensiones debido a la carga caso especificado en el apartado 3.3.2.5.2 de esta especificación.

La acción combinada, tanto en el metal de base de la unión soldada y el metal de soldadura en el punto 2, como se indica en 3.4.4.2 y 3.4.4.3, no deberá sobrepasar los esfuerzos admisibles especificados en la tabla 3.4-1 y en la sección 3.2, respectivamente. ni debe estar comprendido supere la permitida se muestra en la tabla 3.4.7-1 para la categoría conjunta E.

- El esfuerzo local del ala en criterios por sección 3.3.2.6 de flexión es que deben cumplir, además de los criterios generales de los párrafos 3.3.2.5 y la sección 3.4.

## 2.9.1 Tensiones admisibles

Tabla 2.7

Tensiones admisibles en alas de perfil según CMAA.

TABLE 3.4-1				
LOAD COMBINA TION	ALLOWABLE COMPRESSION STRESS*	ALLOWABLE TENSION STRESS	ALLOWABLE SHEAR STRESS*	ALLOWABLE SHEAR STRESS*
	$\sigma_{CALL}$	$\sigma_{TALL}$	$T_{TALL}$	$\sigma_{BrgAll}$
3.4.1 Case 1	$0.60\sigma_{yp}$	$0.60\sigma_{yp}$	$0.36\sigma_{yp}$	$0.80\sigma_{yp}$
3.4.2 Case 2	$0.66\sigma_{yp}$	$0.66\sigma_{yp}$	$0.40\sigma_{yp}$	$0.90\sigma_{yp}$
3.4.3 Case 3	$0.75\sigma_{yp}$	$0.75\sigma_{yp}$	$0.45\sigma_{yp}$	$1.00\sigma_{yp}$

Fuente: Norma CMAA especificación N° 74, pág. 19

## 2.9.2 Esfuerzos combinados.

Cuando las condiciones de carga de un componente o de soldadura producen tensiones tanto extensibles y de compresión en dos direcciones ortogonales, las tensiones se pueden combinar por 3.4.4.1, 3.4.4.2 o 3.4.4.3 según el caso, y la tensión resultante limita a la respectiva tensión admisible.

Tener en cuenta que convención de signos nivel de tensiones debe ser utilizado.

- **Esfuerzos combinados dentro de un componente**

$$\sigma_{comb} = \sqrt{(\sigma_x)^2 + (\sigma_y)^2 - \sigma_x\sigma_y + 3(t_{xy})^2} \leq \sigma_{tall} \quad (12)$$

(Ref. tabla 3.4 - 1)

- **Esfuerzos combinados dentro del metal base de una unión soldada**

$$\sigma_{comb} = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4(t_{xy})^2} \leq \sigma_{tall} \quad (13)$$

(Ref. tabla 3.4 - 1)

- **Esfuerzos combinados dentro del metal de soldadura**

$$\sigma_{comb} = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4(t_{xy})^2} \leq \sigma_{sold tall} \quad (14)$$

(Ref. para 3.2)

## **Capítulo III: Materiales y método**

### **3.1 Métodos de investigación**

El presente proyecto seguirá la siguiente metodología.

Toma de datos en campo:

- Medición de longitudes y alturas
- Capacidad de izaje de grúa
- Condiciones de operación y lugar de operación del equipo

Diseño de la grúa puente monorraíl bajo las normas ASIC y CMAA:

- Diseño de la viga de carga
- Diseño de viga testera
- Selección de viga carrilera
- Selección de riel de rodadura

### **3.2 Diseño de la investigación**

El método utilizado en la investigación es aplicativo. Ya que esta clase de investigación hace uso de los conocimientos y teorías de investigación para resolver un problema existente.

Por otro lado, esta investigación parte del conocimiento generado por la investigación básica, tanto para identificar problemas sobre los que se debe intervenir como para definir las estrategias de solución simple o tecnológica.

Por tanto, se aplicará las teorías relevantes y suficientemente aceptadas (Normas AISC y CMAA) para diseñar una grúa puente para así finalmente dar solución a la problemática.

### **3.3 Medios y materiales**

- Computadora
- Catálogos de proveedores de materiales y equipos.
- Simuladores (Solidworks)
- Normas internacionales (AISC, CMAA)
- Tesis y bibliografía relacionadas al proyecto.
- Programa de dibujo (Autocad)

## Capítulo IV: Resultados y discusión

### 4.1 Resultados

4.1.1 Las secciones de las normas AISC y CMAA utilizadas fueron las siguientes.

#### **Norma CMAA (Crane Manufactures association of america)**

- En la norma CMAA N°70 en el apartado de selección de grúa se llegó a obtener una grúa de servicio moderado de clase C,5-10 elevaciones por hora.
- En la norma CMAA N° 74 en el apartado de cargas se obtuvo el procedimiento para el análisis de esfuerzos en el patín inferior de la viga (punto 1, 2 ,3) debido a las cargas sobre las ruedas del trolley, tanto en el eje x como eje y

#### **Norma AISC - Manual of Steel Contruction**

- En la sección L3 de la norma AISC se obtuvo el procedimiento de análisis en deflexión máxima en vigas carrilera, obteniendo la relación ( $Luz/750$ ).
- En la sección B4 de la norma AISC se obtuvo las relaciones de esbeltez ancho/espesor de los miembros de la sección un perfil, para determinar si la sección es compacta o no compacta.
- En la sección F13 de la norma AISC se encontró en procedimiento de cálculo para el diseño de miembros en flexión.

4.1.2 Del desarrollo de los procedimientos de cálculo según normas AISC y CMAA se obtuvieron los siguientes resultados.

#### **De la viga de carga**

- La viga es compacta ya que no presenta pandeo local, relaciones de esbeltez obtenidos ala:8.3, alma: 44.8.
- Flecha maxima: 4,5 mm.
- Tensión de trabajo: 856 kg/cm<sup>2</sup>.
- Factor de seguridad: 2

### **De la viga testera**

- La viga es compacta y no presenta pandeo local, relaciones de esbeltez obtenidos ala:8.5, alma:14.5
- No presenta falla por esfuerzo cortante, valor obtenido 16.5.
- Factor de seguridad: 6
- Índice de trabajo :0.23

### **De la viga carrilera**

- La viga es compacta y no presenta pandero local, perfil laminado.
- Esfuerzo cortante en el alma: 9.51 MPa.
- Índice de trabajo: 0.4
- Flecha máxima: 0.13 cm
- Factor de seguridad: 5 considerando el riel de rodadura sobre viga carrilera.

**4.1.3** Al ejecutar el análisis de esfuerzos para la viga de carga mediante el software Solidworks se obtuvo una flecha máxima de 4.268 mm.

## **4.2 Discusión**

**4.2.1** De acuerdo a la selección de las secciones específicas de las normas AISC y CMAA podemos decir que fueron las más pertinentes para el desarrollo de los cálculos de los componentes de la grúa puente.

Al utilizar las normas AISC y CMAA se obtiene un diseño más confiable en comparación a los diseños de grúa que se mostraron en los antecedentes que se utilizó para esta tesis. La diferencia se basa en que, para nuestros cálculos utilizamos normas internacionales de diseño mecánico y estructural, mientras que los cálculos utilizados por los autores de las tesis citadas como antecedentes son netamente basados en resistencia de materiales.

**4.2.2** De los procedimientos de cálculo obtenidos al utilizar las normas AISC y CMAA se tiene.

### **Viga principal**

- Es una viga compacta y no presenta pandeo local ya que sus componentes cumplen con la estébeles admisible establecida en la Norma AISC. Relación de estelez en ala 8.3, relación de esbeltez admisible para ala 16.7; relación de esteles en alma 44.8, relación de esbeltez admisible para alma 109.6 ver, anexo 1.

- La deformación máxima fue de 4,5mm la cual es un parámetro admisible por la norma AISC donde establece que para la luz que se está trabando la deformación máxima debe ser menor a 9.5mm, ver anexo 1.
- La tensión de trabajo máxima fue de 856 kg/cm<sup>2</sup> el cual es un parámetro admisible por la norma CMAA donde establece que la tensión de trabajo máxima debe ser menor a 1670 kg/cm<sup>2</sup>, ver anexo 1
- Se obtuvo un factor de seguridad de 2, dicho factor es el más recomendable en el diseño de máquinas, así por ejemplo lo establece el libro de diseño mecánico de Shigley, ver anexo 1.

### **Viga testera**

- Es una viga compacta y no presenta pandeo local ya que sus componentes cumplen con la esbeltez admisible establecida en la Norma AISC. Relación de esbeltez en ala 8.5, relación de esbeltez admisible para ala 32.7; relación de esbeltez en alma 14.5, relación de esbeltez admisible para alma 70.6 ver, anexo 1.
- El esfuerzo cortante en el alma fue de 16.5 el cual es un parámetro admisible por la norma AISC donde establece que el esfuerzo máximo debe ser menor a 63.4, ver anexo 1.
- Se obtuvo un factor de seguridad de 6, dicho factor de seguridad cumple para que el perfil no falle con las cargas aplicadas en la operación de la grúa, ver anexo 1.
- El índice de trajo obtenido fue de 0.23 el cual es un parámetro admisible por la norma AISC donde establece que el índice de trabajo debe ser menor que 1, ver anexo 1.

### **Viga carrilera**

- La deformación máxima fue de 1.3mm la cual es un parámetro admisible por la norma AISC donde establece que para la luz que se está trabando la deformación máxima debe ser menor a 6.7mm, ver anexo 1.
- El esfuerzo cortante fue de 9.51 el cual es un parámetro admisible por la norma CMAA donde establece que el esfuerzo máximo debe ser menor a 87.5, ver anexo 1.
- Se obtuvo un factor de seguridad de 5, dicho factor de seguridad cumple para que el perfil no falle con las cargas aplicadas en la operación de la grúa.



- El índice de trabajo obtenido fue de 0.4 el cual es un parámetro admisible por la norma AISC donde establece que el índice de trabajo debe ser menor que 1, ver anexo 1.

**4.2.3** Del análisis de esfuerzos a flexión realizado por medio del software solidworks se obtuvo una deformación máxima en la viga principal de 4.268 mm el cual es muy parecido al cálculo manual que se izó bajo las normas AISC y CMAA, donde se obtuvo un valor de 4,25mm, dichos valores son aceptables para el diseño de la viga principal, ver anexo 1.

## Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones.

- Se seleccionaron las secciones específicas de las normas AISC (American Institute of Steel Construction), sección L3, sección B4, sección Fb, CMAA (Crane manufacturers association of america) N°70 y N74 las cuales mostraron los procedimientos de cálculo adecuados para el diseño de la grúa puente de 02 toneladas.
- Al realizarse los procedimientos de cálculo para diseño del puente grúa monorraíl se según normas AISC, CMAA se obtuvieron los resultados, Viga principal: Deformación máxima 4,5mm, tensión de trabajo  $856 \text{ kg/cm}^2$ , factor de seguridad 2. Viga testera: índice de trajo 0.23, factor de seguridad 6. Viga carrilera: Deformación máxima 1.3mm, índice de trabajo 0.4, factor de seguridad de 5. Todos los componentes, tanto la viga principal, viga testera, viga carrilera cumplieron con los parámetros admisibles dentro del diseño establecidos por las normas AISC y CMAA, obteniéndose resultados de diseño confiables.
- Se evaluó la deformación máxima de la viga principal con uso del software solidworks (deformación 4.27), norma AISC CMAA (deflexión 4.5) obteniéndose resultados muy similares. No obstante, el software solidworks se usa solo para verificar nuestros cálculos ya que no es un software de diseño estructural.

## 5.2 Recomendaciones

- Mantener el factor de seguridad utilizado para garantizar la efectividad del diseño.
- No operar la grúa puente por encima de 02 toneladas.
- Para fabricar la viga de carga de planchas estructurales es necesario evaluar la relación de esbeltez en cuanto a alma y ala.
- Para la selección de la ruedas de una viga carrilera debe utilizarse ruedas comerciales en cuanto a perfiles de rodadura.
- Dimensionar la grua en base a los cálculos de ingeniería según normas internacionales confiables.
- Evaluar el diseño final en un software por elementos finitos para tener conocimiento de las secciones más débiles y que podrían fallar.
- No sobrepasar la carga máxima para la cual fue diseñada el equipo.

## Capítulo VI: Referencias bibliográficas

1. AISC American Institute Of Steel Construction. 1921. *Inc. Manual of Steel construction: Allowable Stress Desing. 9na ed* .Chicago.
2. Crane handbook . 1967. *Design Data and Engineering Information used in the manufacture and application of crane. 3th ed. Whiting Corporation, Harvey.*
3. Richard, G., & Keith, N. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de shigley*. Impreso en México. Sexta Edicion. Editorial Mc Graw Hill.
4. Norma CMAA. 2000 . *Crane Manufactures Association of America. Specification # 70.*
5. Friedr, V. (1965) Sohn, Brunswick. *Die Hebezeuge, Grundlagen und Bauteile*. Brunswick: Vieweg&Sohn.
6. Silva, C., & Morales, S. (2011). *Diseño de un puente grúa tipo 5 toneladas de capacidad para la industria metalmecánica* (tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
7. Marín, C., & Romero, M. (1997). *Diseño de un puente grúa para la movilización de moto bombas verticales de agua de circulación* (Tesis de grado). Universidad de Zulia. Facultad de ingeniería, escuela mecánica. Maracaibo. Venezuela.
8. Oscar J., & Tenelema Q. (2013). *Diseño y simulación de un puente grúa de 05 toneladas* (Tesis de grado). Escuela superior politecnica del litoral. Facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción. Ecuador.
9. Vasco V., & Diego F. (2011). *Diseño y simulación de un puente grúa de 15 toneladas de capacidad para los talleres de arcolands división oriente* (Tesis de grado). Universidad politécnica salesiana. Facultad de ingeniería, carrera de ingeniería mecánica. Quito. E cuador.

10. Robert, N. (2000), *El proyectista de estructuras metálicas*. Madrid, España: Editorial Paraninfo.
11. Collado, R. (2010). *Diseño de puente grúa de 5 toneladas* (Tesis de grado). Universidad de ciencias aplicadas. Facultad de ingeniería mecánica.
12. Sandoval, C. (2017). *Diseño de un puente grúa para el transporte de motores diésel para el taller l&g diésel truck* (Tesis de grado). Fundación universidad de américa. Facultad de ingenierías. Bogotá.
13. Martinez, A. (2013). *Puente grua con capacidad de 7 toneladas para empresa iroca industrial c.a de Venezuela* (Tesis de grado). Universidad se Sulla. Programa de ingeniería mecánica. Bolivia.
14. Resa, F. (2012). *Diseño y cálculo de grúa para almacén con capacidad para 5 tn* (Tesis de grado). Universidad Calos III de Madrid. Escuela politécnica superior. Departamento de ingeniería mecánica. España.
15. Cruz, M. (2009). *Análisis, diseño y selección de una grúa viajera tipo mono puente* (Tesis de grado) Instituto politécnico nacional. Escuela superior de ingeniería mecánica. México.
16. Mieles, M. (2016). *Diseño de un puente grúa tipo monorraiel de 1 tonelada de capacidad*. (Tesis especial de grado). Escuela superior politécnica del litoral. Facultad de ingeniería mecánica y ciencias de la producción. Ecuador.
17. Catalogo empresa ABUS. Recuperado de <https://www.abusgruas.es/gruas/puentes-grua/puentes-grua-monorrailes>

## Anexos

### 7.1 ANEXO 1: CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS.

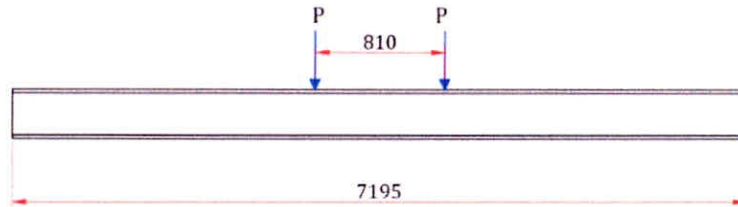
<b>Viga principal</b>			
<b>Parámetro de diseño</b>	<b>Resultado</b>	<b>Admisible</b>	<b>Norma</b>
Esbeltez (pandeo local)	$\lambda_{ala} = 8.3$ $\lambda_{alma} = 44.8$	$\lambda_{ala} = 16.7$ $\lambda_{alma} = 109.6$	AISC
Flecha	4.5	9.5	AISC
Tensión de trabajo	856 kg/cm <sup>2</sup>	1670 kg/cm <sup>2</sup>	CMAA
Factor de seguridad	2	Recomendado	

<b>Viga Testera</b>			
<b>Parámetro de diseño</b>	<b>Resultado</b>	<b>Admisible</b>	<b>Norma</b>
Esbeltez (pandeo local)	$\lambda_{ala} = 8.5$ $\lambda_{alma} = 14.5$	$\lambda_{ala} = 32,7$ $\lambda_{alma} = 70.6$	AISC
Esfuerzo cortante en alma	16.5	63.4	AISC
Factor de seguridad	6	recomendado	
Índice de trabajo	0.23	1	ASIC

<b>Viga Carrilera</b>			
<b>Parámetro de diseño</b>	<b>Resultado</b>	<b>Admisible</b>	<b>Norma</b>
Esbeltez (pandelo local)	Viga compacta	Viga compacta	AISC
Flecha máxima	0.13cm	0.67cm	AISC
Esfuerzo cortante	9.51	87.5	CMAA
Factor de seguridad	5		
Índice de trabajo	0.4	1	ASIC

<b>Análisis con software solidworks</b>			
<b>Parámetro de diseño</b>	<b>resultado</b>	<b>admisible</b>	<b>software</b>
Deflexión máxima en viga	4.27 mm	9.5 mm	solidworks

## 7.2 ANEXO 2: DISEÑO DE LA VIGA DE CARGA



**Luz = 719.5cm**

**Distancia entre ruedas = 81 cm**

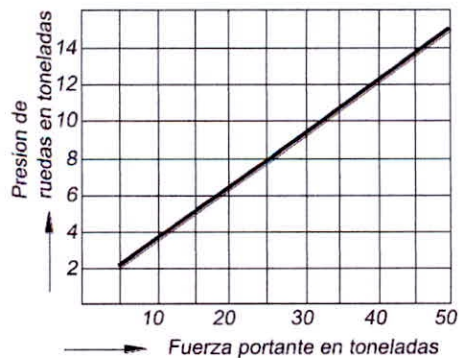
**Capacidad de operacion = 2 toneladas**

**Factor de seguridad por carga = 1.2**

**Carga nominal = 2.4 toneladas**

### 7.2.1 PRESIÓN DE LAS RUEDAS DEL CARRO

Utilizando la figura 2.5 mostrada en el marco teórico (ver página 25) obtenemos la presión que ejercen las ruedas sobre la viga puente cuando el carro es accionado eléctricamente.



$$P = 1.3 \text{ ton} = 1,300 \text{ kg}$$

### 7.2.2 CALCULO DE FLECHA.

De acuerdo a la luz la flecha máxima admisible (ver página 26) para una **Luz = 707cm** es:

$$f(\text{cm}) = \frac{\text{luz}}{750} = \frac{719.5}{750} = 0.95 \text{ cm}$$

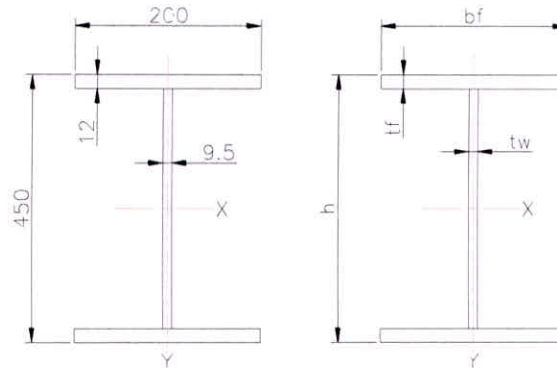
Ahora teniendo los valores de **P** y **f** usamos la ecuación.

$$I = \frac{P}{48fE} (l - a)(3l^2 - (l - a)^2)$$

$$I = \frac{1300}{48(0.95)(2.04 \times 10^6)} (719.5 - 81)(3(719.5)^2 - (719.5 - 81)^2)$$

**$I = 10226 \text{ cm}^4$**  Inercia requerida para las condiciones del puente grúa

Ahora hallamos la inercia del perfil armado propuesto para el puente grúa.



$$I_x = 29,147 \text{ cm}^4 ; I_y = 1,603 \text{ cm}^4 ; S_x = 1,295 \text{ cm}^3 ; S_y = 161 \text{ cm}^3$$

Se observa que la inercia es mayor que la que necesitamos.

Ahora verificaremos si el perfil cumple con los requerimientos de carga a las cuales está sometido.

$$f = \frac{P}{48IE} (l - a)(3l^2 - (l - a)^2)$$

$$f = \frac{1300}{48(29,147)(2.04 \times 10^6)} (719.5 - 81)(3(719.5)^2 - (719.5 - 81)^2)$$

$$f = 0.45 \text{ cm}$$

$$0.95 \text{ cm} > 0.45 \text{ cm} \dots \dots \text{OK!!!!}$$

Ahora analizamos la sección de la viga si es o no compacta. Según AISC 360 ver figura 2.10.

$$\lambda_{\text{ala}} = \frac{bf}{2tf} < 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow \frac{200}{2 \times 12} < 0.38 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{235}} \rightarrow 8.3 < 16.7 \dots \dots \text{OK!!!}$$

$$\lambda_{\text{alma}} = \frac{h}{tw} < 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow \frac{426}{9.5} < 3.76 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{235}} \rightarrow 44.8 < 109.6 \dots \dots \text{ok!!!}$$

La viga es compacta y no tendrá pandeo local



### 7.2.3 MOMENTOS FLECTORES MÁXIMOS DE ACUERDO A FUERZAS VERTICALES.

Para obtener los valores de los momentos flectores máximos de acuerdo a fuerzas verticales usaremos la información enunciada en la página 26.

- ✓ **Momento flector máximo debido a la carga móvil, siendo la presión de las 2 ruedas iguales.**

$$a < 0.586 l \Rightarrow 81\text{cm} < 422\text{cm} \dots \text{ok!!}$$

$$M_{f1} = Px \frac{(l - \frac{a}{2})^2}{2l} = 1300x \frac{(719.5 - \frac{81}{2})^2}{2(719.5)} = 416,507 \text{ kg.cm}$$

- ✓ **Momento flector máximo debido al peso propio de la viga.**

$$M_{f2} = \frac{wx(l)^2}{8} = \frac{0.70x(719.5)^2}{8} = 45,297 \text{ kg.cm}$$

- ✓ **Momento flector máximo debido al peso propio del mecanismo de traslación.**

$$G = 1000 \text{ lbs} = 454 \text{ kg} \dots \text{peso de mecanismo de traslacion}$$

$$M_{f3} = \frac{Gxl}{4} = \frac{454x719.5}{4} = 81,663 \text{ kg.cm}$$

### 7.2.4 MOMENTOS FLECTORES MÁXIMOS DE ACUERDO A FUERZAS HORIZONTALES.

Para obtener los valores de los momentos flectores máximos de acuerdo a fuerzas verticales usaremos la información enunciada en la página 26.

- ✓ **Momento flector máximo debido a la carga móvil**

$$M_{f4} = \frac{M_{f1}}{14} = \frac{416,507 \text{ kg.cm}}{14} = 29,751 \text{ kg.cm}$$

- ✓ **Momento flector máximo debido al peso propio de la viga.**

$$M_{f5} = \frac{M_{f2}}{7} = \frac{45,297 \text{ kg.cm}}{7} = M_{f5} = 6,471 \text{ kg.cm}$$

- ✓ **Momento flector máximo debido al peso propio del mecanismo de traslación.**

$$M_{f6} = \frac{M_{f3}}{7} = \frac{81,663 \text{ kg. cm}}{7} = M_{f6} = 11,666 \text{ kg. cm}$$

### 7.2.5 TENSION DE TRABAJO DE LA VIGA TENIENDO EN CUENTA FUERZAS VERTICALES Y HORIZONTALES.

De acuerdo a la ecuación enunciada en la pag.27 tenemos

$$T_{trabajo} = \frac{\varphi(M_{f2} + M_{f3}) + \psi(M_{f1})}{S_x} + \frac{M_{f4} + M_{f5} + M_{f6}}{S_y} \leq T_{admisible}$$

Obtenemos valores de  $\varphi$  y  $\psi$  de las tablas

Como el puente grúa será con movimiento de traslación eléctrico y suponiendo que será para patios de almacenamiento. Estamos en el grupo II.

La velocidad de traslación máx.= 15.24 m/min=0.254 m/s

Cuadro 6 Coeficiente de corrección	
Grupo	Coeficiente de corrección $\psi$
I	1,2
II	1,4
III	1,6
IV	1,9

Cuadro 7 Coeficiente de choque		
Velocidad de Traslación (m/s)		Coeficiente de choque $\varphi$
Carril con juntas normales	Carril sin juntas o con juntas soldadas	
$\leq 1,0$	$\leq 1,5$	1,1
$> 1,0$	$> 1,5$	1,2

Figura 7.1. Coeficiente de corrección y choque

Fuente: FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Grundlagen und Bauteile. Brunswick: Vieweg & Sohn, 1965.p.298

$$\varphi = 1.1 \quad \psi = 1.4$$

$$T_{trabajo} = \frac{1.1(45,297 + 81,663) + 1.4(416,507)}{1,295} + \frac{29,751 + 6,471 + 11,666}{161}$$

$$T_{trabajo} = 856 \text{ kg / cm}^2$$

Para acero estructural A36 el esfuerzo admisible de trabajo en una viga compacta es 0.66 (el límite de fluencia del material)

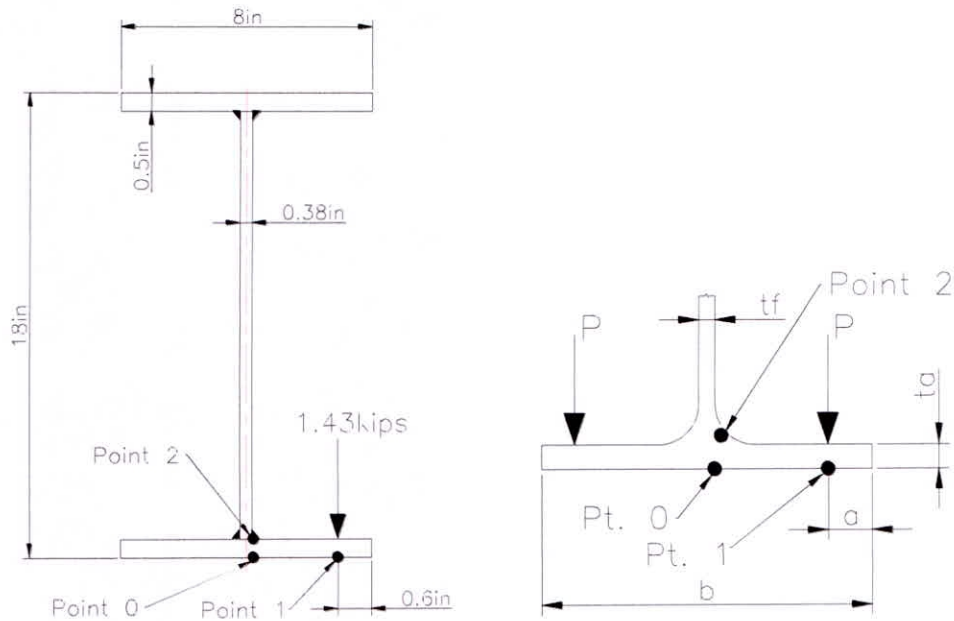
$$T_{admisible \text{ acero A36}} = 0.66 \times F_y \rightarrow 0.66(2,530 \text{ kg / cm}^2) = 1,670 \text{ kg / cm}^2$$

$$T_{trabajo} < T_{admisible} \rightarrow F.S = \frac{T_{admisible \text{ acero A36}}}{T_{trabajo}} \rightarrow \frac{1,670}{856} \rightarrow F.S = 2$$

Factor de seguridad ideal según el libro de diseño Shigley (2002)

## 7.2.6 FLEXIÓN DEL PATÍN INFERIOR POR ESPECIFICACIÓN CMAA N°74 (2004).

- Parámetros para perfil de sección de alas planas ver paginas 35 al 39.



Para secciones simétricas ;  $\lambda = \frac{2a}{b - t_w} = \lambda = \frac{2(0.6)}{8 - 0.38} \rightarrow \lambda = 0.16$

$$C_{x0} = -2.110 + 1.977\lambda + 0.0076e^{-6.53\lambda}$$

$$C_{x0} = -2.110 + 1.977(0.16) + 0.0076e^{-6.53(0.16)} \rightarrow C_{x0} = -1.77$$

$$C_{x1} = 10.108 - 7.408\lambda - 10.108e^{-1.364\lambda}$$

$$C_{x1} = 10.108 - 7.408(0.16) - 10.108e^{-1.364(0.16)} \rightarrow C_{x1} = 0.797$$

$$C_{y0} = 0.050 - 0.580\lambda + 0.148e^{3.015\lambda}$$

$$C_{y0} = 0.050 - 0.580(0.16) + 0.148e^{3.015(0.16)} \rightarrow C_{y0} = 0.197$$

$$C_{y1} = 2.230 - 1.49\lambda + 1.390e^{-18.33\lambda}$$

$$C_{y1} = 2.230 - 1.49(0.16) + 1.390e^{-18.33(0.16)} \rightarrow C_{y1} = 2.07$$

$$\text{esfuerzo en } x : fbx = \frac{Mx}{Sx} = \frac{543407 \text{ kg.cm}}{1,295 \text{ cm}^3} = 420 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \approx 6 \text{ ksi}$$

$$\text{esfuerzo en z: } fbz = \frac{Mz}{Sz} = \frac{47,888 \text{ kg.cm}}{161 \text{ cm}^3} = 297 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \approx 4.2 \text{ ksi}$$

- **Esfuerzo local flexionante del ala PUNTO 0.**

$$\sigma_{x0} = C_{x0} \left( \frac{P}{(t_a)^2} \right) = (-1.77)x \frac{1.43}{(0.5)^2} \rightarrow \sigma_{x0} = -10.12 \text{ ksi}$$

$$\sigma_{y0} = C_{y0} \left( \frac{P}{(t_a)^2} \right) = 0.197x \frac{1.43}{(0.5)^2} \rightarrow \sigma_{y0} = 1.13 \text{ ksi}$$

- **Esfuerzo local flexionante del ala PUNTO 1.**

$$\sigma_{x1} = C_{x1} \left( \frac{P}{(t_a)^2} \right) = 0.797x \left( \frac{1.43}{(0.5)^2} \right) \rightarrow \sigma_{x1} = 4.56 \text{ ksi}$$

$$\sigma_{y1} = C_{y1} \left( \frac{P}{(t_a)^2} \right) = 2.07x \left( \frac{1.43}{(0.5)^2} \right) \rightarrow \sigma_{y1} = 11.84 \text{ ksi}$$

- **Esfuerzo local flexionante de ala PUNTO 2.**

$$\sigma_{x2} = -\sigma_{x0} = -(-10.12) \rightarrow \sigma_{x2} = 10.12 \text{ ksi}$$

$$\sigma_{y2} = -\sigma_{y0} = -(1.13) \rightarrow \sigma_{y2} = 1.13 \text{ ksi}$$

- **Esfuerzo biaxial resultante PUNTO 0.**

$$\sigma_y = fbx + fbz + 0.75\sigma_{y0} = 6 + 4.2 + 0.75 \times 1.13 \rightarrow \sigma_y = 11 \text{ ksi}$$

$$\sigma_x = 0.75\sigma_{x0} = 0.75 \times (-10.12) \rightarrow \sigma_x = -7.59 \text{ ksi}$$

$$\tau_{xy} = 0 \text{ (asumido despreciable)}$$

$$\sigma_{T0} = \sqrt{(\sigma_x)^2 + (\sigma_y)^2 - (\sigma_x \cdot \sigma_y) + 3(\tau_{xy})^2}$$

ref: tabla 3.4 - 1 CMAA N°74

$$\sigma_{T0} = \sqrt{(11)^2 + (-7.59)^2 - (-7.59)(11) + 3(0)^2} \rightarrow \sigma_{T0} = 16 \text{ ksi}$$

$$Fb = 0.66Fy = 0.66 \times 25 \text{ Mpa} \rightarrow 23.76 \text{ ksi}$$

$$\sigma_{T0} < Fb \dots \text{OK!!}$$

- **Esfuerzo biaxial resultante PUNTO 1.**

$$\sigma_y = fbx + fbz + 0.75\sigma_{y1} = 6 + 4.2 + 0.75 \times 11.84 \rightarrow \sigma_y = 19.08 \text{ ksi}$$

$$\sigma_x = 0.75\sigma_{x1} = 0.75x(4.56) \rightarrow \sigma_x = 3.42ksi$$

$$\tau_{xy} = 0 \text{ (asumido despreciable)}$$

$$\sigma_{TALL} = \sqrt{(\sigma_x)^2 + (\sigma_y)^2 - (\sigma_x \cdot \sigma_y) + 3(\tau_{xy})^2}$$

ref: tabla 3.4 - 1 CMAA N°74

$$\sigma_{T1} = \sqrt{(3.42)^2 + (19.08)^2 - (3.42)(19.08) + 3(0)^2} \rightarrow \sigma_{T1} = 17.6ksi$$

$$Fb = 0.66Fy = 0.66x25Mpa \rightarrow 23.76ksi$$

$$\sigma_{T1} < Fb \dots OK!!!!$$

❖ **Esfuerzo biaxial en el PUNTO 2.**

$$\sigma_y = fbx + fbz + 0.75\sigma_{y2} = 6 + 4.2 + 0.75x(-1.13) \rightarrow \sigma_y = 9.4ksi$$

$$\sigma_x = 0.75\sigma_{x1} = 0.75x(10.12) \rightarrow \sigma_x = 7.6ksi$$

$$\tau_{xy} = 0 \text{ (asumido despreciable)}$$

$$\sigma_{T2} = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2} \left[ \sqrt{((\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4(\tau_{xy})^2)} \right]$$

ref: tabla 3.4 - 1 CMAA N°74

$$\sigma_{T2} = \frac{1}{2}(7.6 + 9.4) + \frac{1}{2} \left[ \sqrt{((7.6 - 9.4)^2 + 4(0)^2)} \right] \rightarrow \sigma_{T2} = 9.4ksi$$

$$Fb = 0.66Fy = 0.66x25Mpa \rightarrow 23.76ksi$$

$$\sigma_{T2} < Fb \dots OK!!!!$$

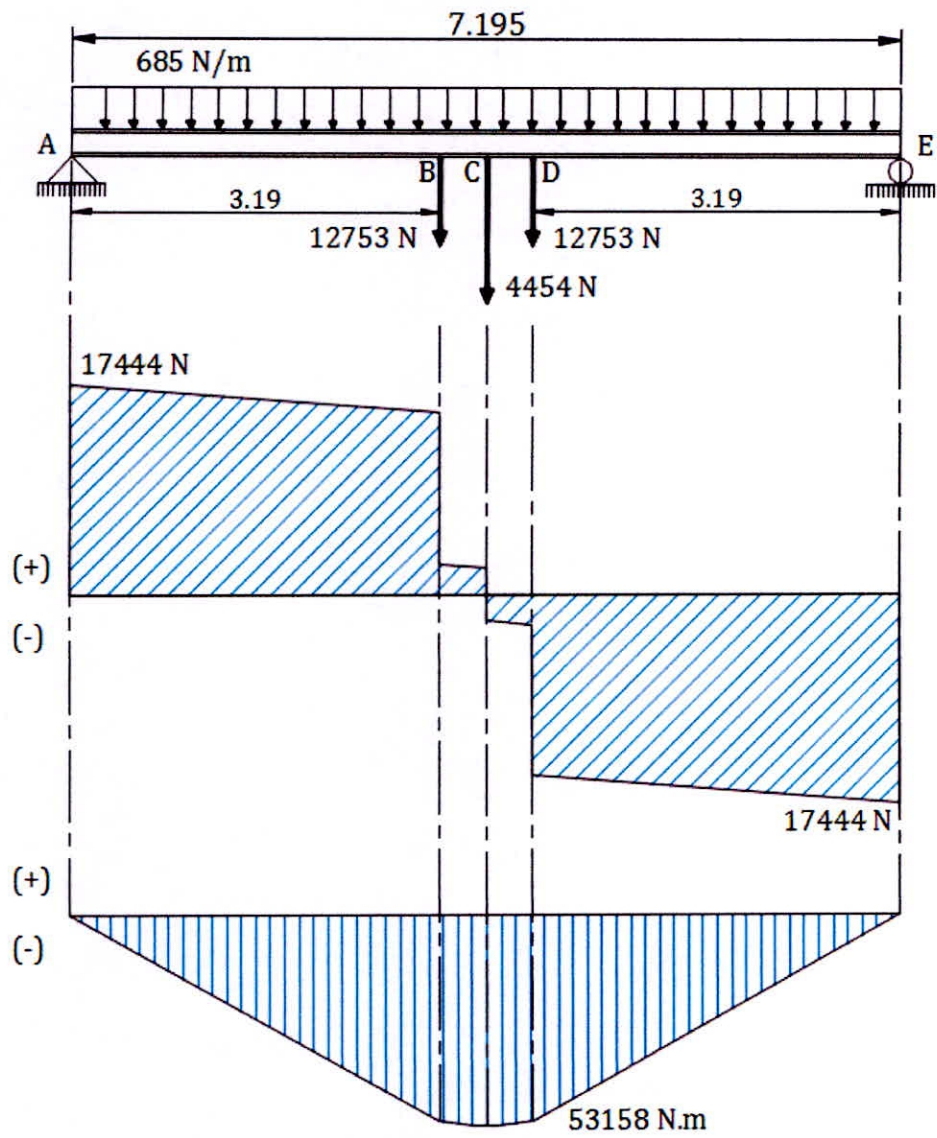


Figura 7.2: Diagrama de fuerza cortante y momento flector en viga de carga.

Fuente: Elaboración propia.

### 7.3 ANEXO 3: DISEÑO DE VIGA TESTERA

#### 7.3.1 CALCULO DE CARGA EN VIGA TESTERA

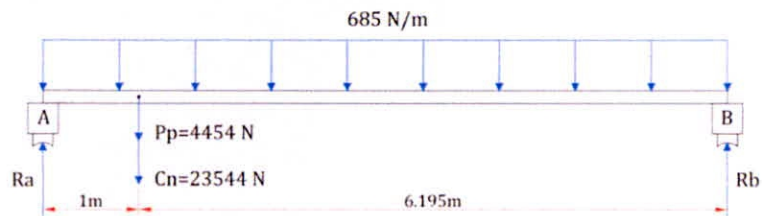


Figura 7.3. Distribución de cargas para diseño de viga testera

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las ecuaciones para elementos en equilibrio estático obtenemos:

$$R_a = 26,571 \text{ N} \quad ; \quad R_b = 6,356 \text{ N}$$

#### 7.3.2 PERFIL DEL CARRO TESTERO.

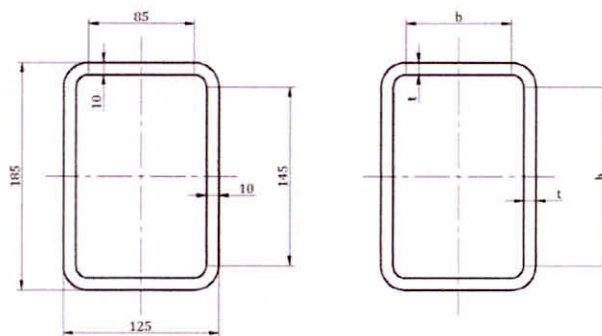


Figura 7.4: Sección transversal de carro testero

Fuente: Elaboración propia

Parámetros de la sección:

$$I_x = 2,511.22 \text{ cm}^4 \quad ; \quad I_y = 1,350.92 \text{ cm}^4 \quad ; \quad C = 9.25 \text{ cm} \quad ; \quad S_x = 271 \text{ cm}^3 \quad , \quad m = 479 \text{ N/m}$$

Ahora analizamos la sección de la viga si es o no compacta. Según AISC 360 ver figura 2.10.

$$\lambda_{ala} = \frac{b}{t} < 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow \frac{85}{10} < 1.12 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{235}} \rightarrow 8.5 < 32.7 \dots \dots \text{ok!!!}$$

$$\lambda_{alma} = \frac{h}{t} < 2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow \frac{145}{10} < 2.42 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{235}} \rightarrow 14.5 < 70.6 \dots \dots \text{ok!!!}$$

La viga es compacta y no tendrá pandeo local.

### 7.3.3 ESFUERZO CORTANTE DE LA SECCIÓN.

De la fórmula para cálculo de esfuerzo máximo permisible.

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{3190}{\sqrt{Fy}} ; Fy \text{ en } \frac{kg}{cm^2}$$

$$\frac{16.5}{1} \leq \frac{3190}{\sqrt{2530}} \rightarrow 16.5 \leq 63.4$$

Por tanto, el perfil no fallara por corte

### 7.3.4 ANÁLISIS DE VIGA TESTERA

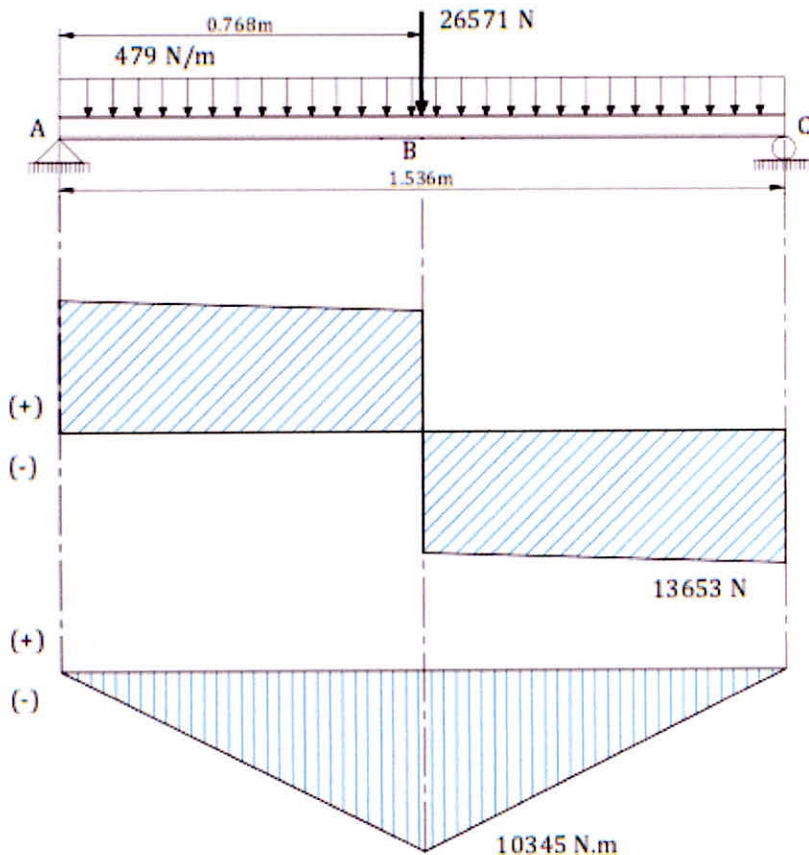


Figura 7.5. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en viga testera.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las ecuaciones para elementos en equilibrio estático obtenemos:

- Fuerza cortante en la viga:  $V_{max} = 13,653 N \approx 1,392kg$
- Momento flector en la viga :  $M_{max} = 10,345 N.m \approx 105,489.6 kg.cm$



### 7.3.5 CALCULO DE ESFUERZO FLEXIONANTE PERMISIBLE DE LA SECCIÓN.

$$Fb = 0.66Fy \rightarrow 0.66 \times 2530 \frac{kg}{cm^2} \rightarrow Fb = 1669.8 \frac{kg}{cm^2}$$

### 7.3.6 CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD.

$$fb_{perfil} = \frac{Mmax}{Sx} \rightarrow \frac{105,489.6 \text{ kg.cm}}{271 \text{ cm}^3} \rightarrow fb_{perfil} = 390 \frac{kg}{cm^2}$$

$$n = \frac{Fy}{fb_{perfil}} = \frac{2,530 \frac{kg}{cm^2}}{390 \frac{kg}{cm^2}} \rightarrow n = 6$$

Índice de trabajo según AISC

$$Ib = \frac{fb}{Fb} \leq 1 \rightarrow Ib = \frac{390}{1,669.8} \rightarrow Ib = 0.23 \text{ PASA OK!!}$$

## 7.4 ANEXO 4: DISEÑO DE VIGA CARRILERA

### 7.4.1 CALCULO DE CARGA EN VIGA CARRILERA

Las condiciones críticas para el diseño de las vigas carrileras se da cuando el polipasto está situado en posición extrema, es decir, a 1m del carro testero.

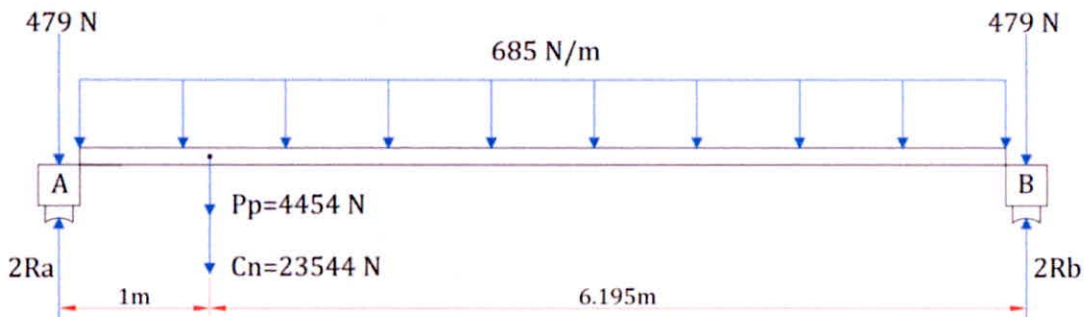


Figura 7.6. Distribución de cargas para diseño de viga carrilera

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las ecuaciones para elementos en equilibrio estático obtenemos:

$$R_a = 13,693 N \quad ; \quad R_b = 3,586 N$$

### 7.4.2 CALCULO DEL MOMENTO DE INERCIA MÍNIMO.

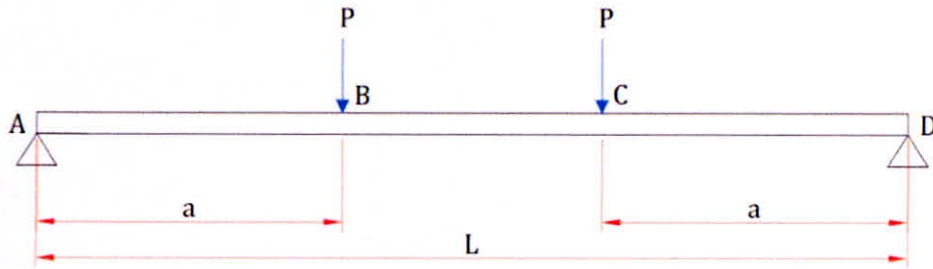
Según la norma AISC, la deflexión máxima permisible en vigas, ver (página 26):

$$\delta_{permisible} = \frac{L}{750} \quad , \text{ donde } L: \text{ Longitud de la viga carrilera}$$

Entonces tenemos que:

$$\delta_{permisible} = \frac{500}{750} \rightarrow \delta_{permisible} = 0.7 \text{ cm}$$

Como no se conoce el perfil de la viga carrilera y por tanto el peso se realizará el análisis de deflexión de cuerdo al método de superposición, según shigley ver (página 29).



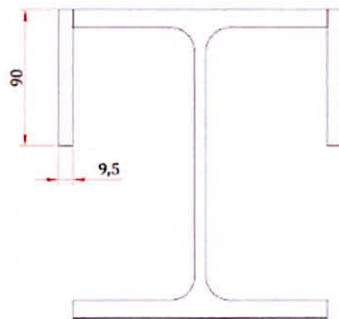
$$\delta_{permissible} \geq \delta_{max} = \frac{P \cdot a}{24 \cdot E \cdot I} (3L^2 - 4a^2)$$

$$I = \frac{13,693 \times 1.625}{24 \times 2 \times 10^{10} \times 0.007} (3(5)^2 - 4(1.625)^2) \rightarrow I = 4.524 \times 10^{-5} m^4 \approx 4524 cm^4$$

En base a los parámetros obtenidos  $I_{min} = 4524 cm^4$

Buscamos un perfil de catálogo, ver anexo 6.1, escogemos **PERFIL W8x28 lb/ft** la cual tiene las siguientes características:  $I_x = 4079 cm^4$ ;  $S_x = 398 cm^3$

Para este caso aumentamos la inercia de perfil añadiendo 02 Platinas a las alas obteniendo la nueva inercia de  $I_x = 4,548 cm^4$ ;  $\delta_{permissible} = 0.13 cm$



### 7.4.3 ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA VIGA CARRILERA.

Usando como referencia el perfil W8x28 lb/ft modificado, y tomando en cuenta el peso propio de la viga se obtiene el siguiente estado de fuerza

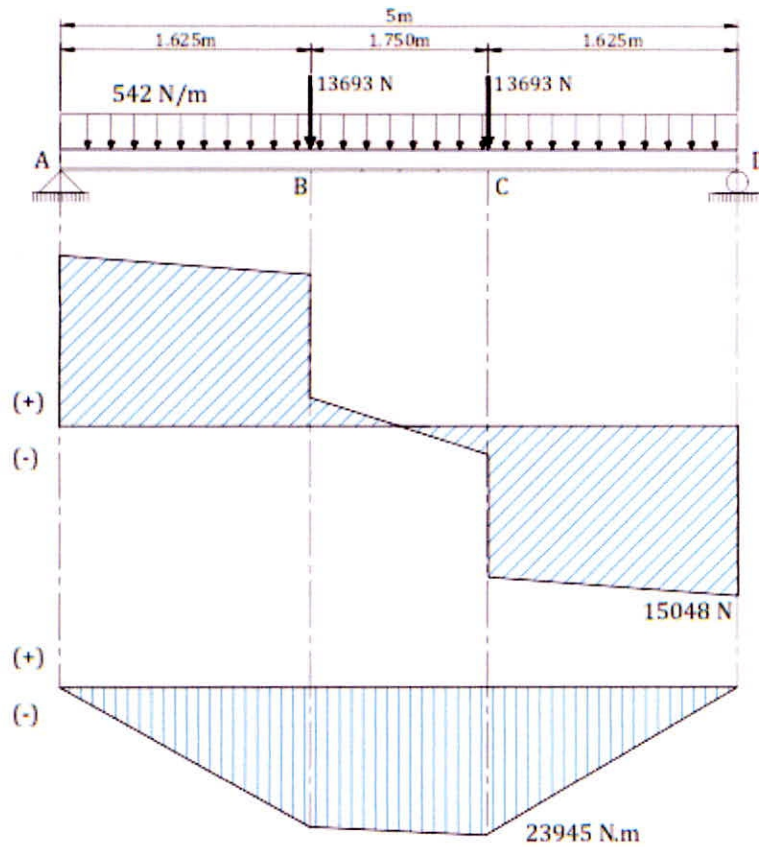


Figura 7.7. Diagrama de fuerza cortante y momento flector en viga carrilera.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las ecuaciones para elementos en equilibrio estático obtenemos:

- **Fuerza cortante en la viga:**  $V_{max} = 15,048 \text{ N}$
- **Momento flector en la viga :**  $M_{max} = 23,945 \text{ N.m}$
- **La fuerza cortante en el centro de la viga es igual a 0**

#### 7.4.4 CALCULO DEL ESFUERZO PERMISIBLE.

Para el análisis de las vigas mediante la norma AISC se trabajará en el sistema inglés ver página 32.

$$L_c = \frac{76bf}{12\sqrt{S_y}} = \frac{766.54}{12\sqrt{6.63}} \rightarrow L_c = 16ft$$

$$L_u = \frac{20000}{12 \cdot S_y \cdot \frac{d}{A_f}} = \frac{766.54}{12 \times 6.63 \times \frac{8.06}{3.0411}} \rightarrow L_u = 95ft$$

Por tanto tomamos el caso 2:  $L_c < L < L_u$  ;  $L = 5m \approx 16.4ft$

$$F_b = 0.6S_y \rightarrow F_b = 0.6 \times 36ksi \rightarrow F_b = 21.6ksi$$

❖ **Calculo del esfuerzo real.**

Con el módulo de la sección y momento flector máximo, los esfuerzos reales son

$$f_b = \frac{M_{max}}{S_x} \rightarrow f_b = \frac{211,931 lb.f.in}{23.6 in^3} \rightarrow f_b = 8.98 ksi$$

❖ **Determinación de los índices de trabajo**

$$I_b = \frac{f_b}{F_b} \leq 1 \rightarrow I_b = \frac{8.98}{21.6} \rightarrow I_b = 0.4 \text{ PASA OK!!}$$

**7.4.5 ESFUERZO CORTANTE EN EL ALMA.**

Distribución del esfuerzo cortante en la sección transversal

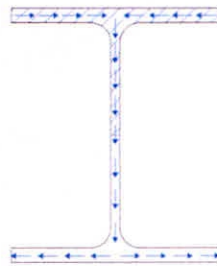
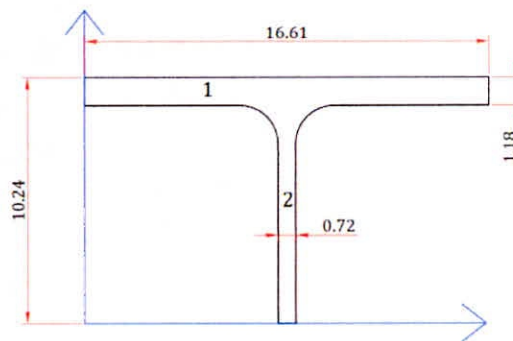


Figura 7.8. Distribución de esfuerzos en la sección transversal viga carrilera

Fuente: Elaboración propia



Calculamos el esfuerzo cortante

Fig	A (cm <sup>2</sup> )	$\bar{Y}$ (cm)	A.Y (cm <sup>3</sup> )
1	19.59	9.06	177.49
2	6.52	4.53	29.53
Σ	26.11	X	207.02

$$\bar{Y} = \frac{\sum A.Y}{At} = \frac{207.02}{26.11} \rightarrow \bar{Y} = 7.93 \text{ cm}$$

$$Q = A.\bar{Y} = 26.11 \text{ cm}^2 \times 7.93 \text{ cm} \rightarrow Q = 207 \text{ cm}^3$$

$$\tau_{XY} = \frac{V.Q}{I.t}$$

$\tau_{XY}$ : Esfuerzo cortante promedio en el alma de la viga (Pa)

V: Fuerza cortante (N)

Q: Primer Momento del area seleccionada con respecto al eje neutro ( $\text{m}^3$ )

Y: Distancia entre el centroide de la seccion (cm)

I: Momento centroidal de inercia de la seccion transversal ( $\text{m}^4$ )

t: Espesor del corte que se toma para el area seleccionada (m)

$$\tau_{XY} = \frac{15,048 \text{ N} \times 207 \text{ cm}^3}{4,548 \text{ cm}^4 \times 0.72 \text{ cm}} \times \frac{10^4 \text{ cm}^2}{\text{m}^2} \rightarrow \tau_{XY} = 9.51 \text{ MPa}$$

Según la norma CMAA el esfuerzo cortante admisible es:

$$\tau_{admi} = 0.35S_y \rightarrow \tau_{admi} = 0.35 \times 250 \text{ Mpa} \rightarrow \tau_{admi} = 87.5 \text{ Mpa}$$

Se observa que  $\tau_{XY} < \tau_{admi}$  por lo tanto el perfil no fallara por corte.

#### 7.4.6 SELECCIÓN DEL RIEL PARA EL PUENTE GRUA

Tomando como referencia la norma CMAA #70 y tomando en cuenta las características de las ruedas del carro testero, tenemos que:

$$\phi_{RUEDA} = 14.7 \text{ cm} \approx 5.78 \text{ in}$$

$$\text{Ancho} = 8 \text{ cm} \approx 3.14 \text{ in}$$

Dureza de la rueda 260 BHN

$$R_b = 13,693 \text{ N} \approx 3,078 \text{ lb. f} \approx 1.539 \text{ ton. f}$$

Según la norma DIN tenemos que:

$$H_{min} = \frac{1,580 \times W}{D}$$

D: Diametro de la rueda (mm)

W: Carga en la rueda (ton. fuerza)

H: Ancho de la cabeza del riel

$$H_{min} = \frac{1,580 \times 1.539}{147} \rightarrow H_{min} = 16.5mm$$

Comparando estos valores con los valores de la tabla ver anexo 7.3 se elige un riel ASCE #40

Observando las dimensiones del riel en la tabla se observa que  $H=3\frac{1}{2}''= 88.9\text{ mm}$ , entonces:

$$H > H_{min}$$

**Por lo tanto, el RIEL ASCE #40 cumple con los requisitos de la norma DIN.**

#### 7.4.7 ESFUERZO NORMAL MÁXIMO.

Se realizará el estudio de la sección transversal correspondiente, tomando en cuenta que sobre la viga carrilera se ubicara el riel que será el encargado de permitir la traslación de la grúa, esto trae como consecuencia que el eje neutro de la sección se desplace debido a la adición del riel.

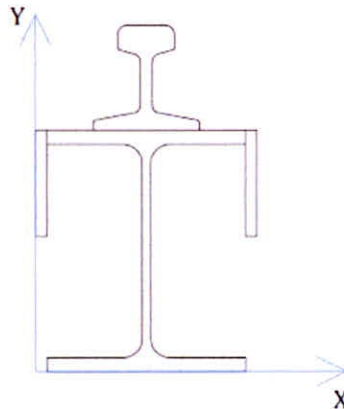


Figura 7.9. Ubicación del eje neutro de viga carrilera y carril

Fuente: Elaboración propia

Propiedades de la sección  $C = 15.19cm$  ,  $I_x = 8145\text{ cm}^4$

Luego el esfuerzo normal máximo en el alma será:

$$\sigma_{ALMA} = \frac{M_{max} \cdot C}{I_x} = \frac{23,945N \cdot m \times 0.1519m}{8.145 \times 10^{-5}m^4} \rightarrow \sigma_{ALMA} = 45MPa$$

Ahora de acuerdo a la norma CMAA y las AISC el  $\sigma_{admisible}$  es:

$$\sigma_{admisible} = 0.60S_y = 0.60 \times 250MPa \rightarrow \sigma_{admisible} = 150MPa$$

Por lo tanto, como se puede observar el perfil no fallara por esfuerzo normal.

#### 7.4.8 CALCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD.

Para el cálculo del factor de seguridad se utiliza el método de energía de deformación o Von Misses.

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \quad ; \quad \sigma' = \sqrt{(\sigma_x)^2 + (\sigma_y)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma_x = \frac{Mx.C}{I_x} \quad ; \quad \sigma_y = \frac{My.C}{I_y} \quad ; \quad \tau_{xy} = \frac{V.Q}{I_x}$$

Según el análisis realizado el Mmax ocurre en el centro de la viga. Como no existe momento flector en el eje y  $\sigma_y = 0$ . El esfuerzo cortante en el punto medio de la viga es cero por tanto  $\tau_{xy} = 0$ .

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_x)^2} = \sigma_x$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_x} = \frac{250MPa}{45MPa} \rightarrow n = 5$$

Por tanto, la viga esta apta para ser usada como viga carrilera.

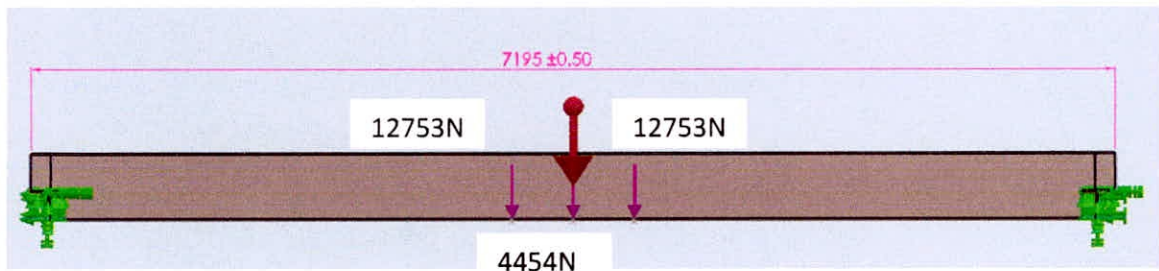


## 7.5 ANEXO 5: ANÁLISIS DE VIGA CON SOFTWARE SOLIDWORKS

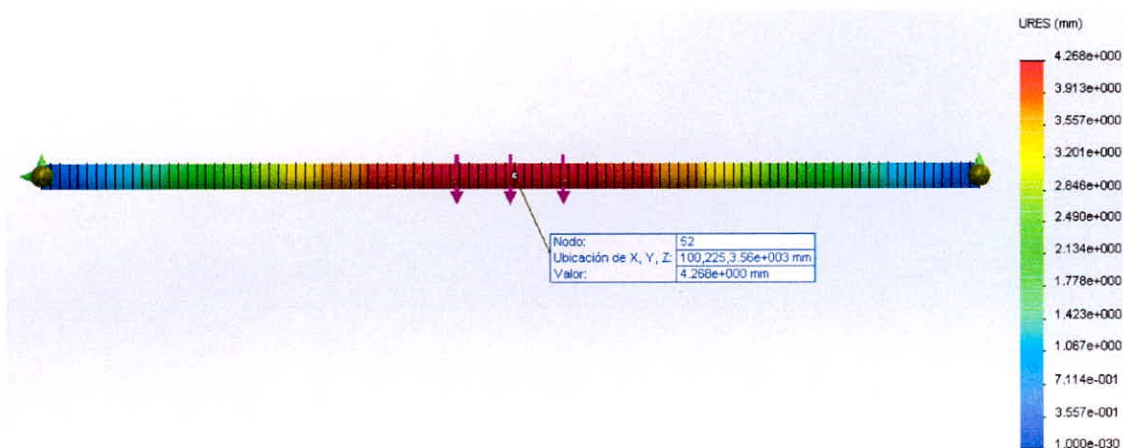
Mediante el análisis de elementos finitos (FEA) se pretende verificar el cálculo analítico, y a sus veces, observar mediante la ayuda del software Solidworks como se presentan las deformación y esfuerzos sobre la viga.

Seleccionamos como tipo de cálculo a realizar un análisis estático estructural, después se importa el modelo, se realiza enmallado y fijamos las restricciones, colocamos las cargas de la presión de las ruedas de  $P=12,753\text{ N}$ , desde un extremo común de la viga, a distancias de  $3.1925\text{ m}$ , y el peso del polipasto  $P=4,454\text{ N}$  al centro de la viga.

Después de haber colocado las restricciones y cargas, seleccionamos el tipo de resultados que deseamos ver, para este caso, veremos las deformaciones totales.

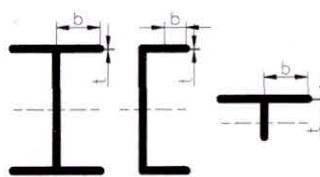
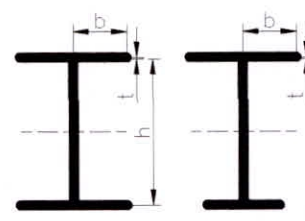
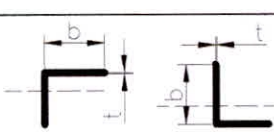
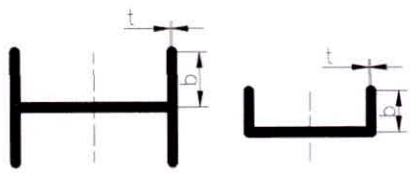
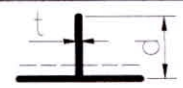


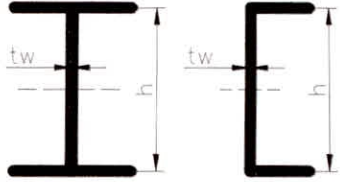
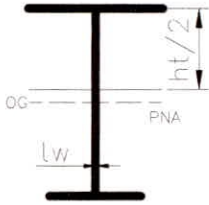
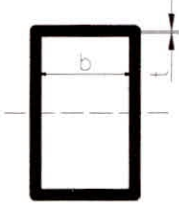
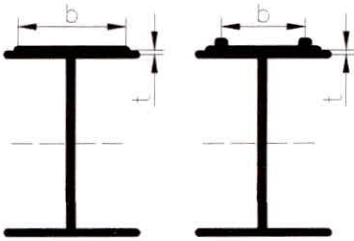
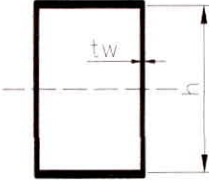
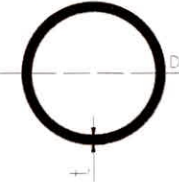
### ▪ Análisis deformación máxima (flecha).



De acuerdo al análisis realizado en Solidworks, la mayor flecha es de  $f=4,268\text{ mm}$  que es, por lo tanto, cumple con lo calculado analíticamente y, es una deformación aceptable para la luz y carga a las cuales operara el puente grúa monorriel.

**7.6 ANEXO 6: RAZONES ANCHO-ESPESOR: ELEMENTOS EN COMPRESIÓN DE MIEMBROS EN FLEXIÓN.**

	Caso	Descripción de elemento	Radio de ancho a espesor	Limitando el ancho al espesor de radio		Ejemplos
				$\lambda_p$ (Compacto/no compacto)	$\lambda_r$ (no compacto/esbelto)	
Elementos sin esfuerzos	10	Bridas de perfiles laminados en forma de I, canales y tees	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Bridas de secciones simétricas dobles y sencillas en forma de I contruidas	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_o E}{F_L}}$	
	12	Pie de ángulos simples	$b/t$	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Bridas de todas las secciones en forma de I y canales en flexión alrededor del eje débil	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Pies de tees	$d/t$	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

15	Webs de secciones I y canales doblemente simétricos	$h/t_w$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
16	Webs of singly-symmetric I-shaped sections	$h_c/t_w$	$\frac{h_c \sqrt{\frac{E}{F_y}}}{\left(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.09\right)^2} \leq \lambda_p$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
17	Flanges of rectangular HSS and boxes of uniform thickness	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{yE}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
18	Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
19	Webs of rectangular HSS and boxes	$h/t$	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
20	Round HSS	$D/t$	$0.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.31 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Fuente: Norma AISC- 2010