

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN SISTEMA MÓVIL DE DESCARGA  
MÚLTIPLE (TRIPPER) PARA UNA FAJA TRANSPORTADORA DE  
CLINKER, PUZOLANA Y YESO CON UNA CAPACIDAD DE 600  
TN/H Y UN ANCHO DE 42”**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico**

**AUTOR:**

Diego Marco Pascual Velásquez

**ASESOR:**

Dr. Luis Orlando Cotaquispe Zevallos

Lima, octubre, 2022

### Informe de Similitud

Yo, Luis Orlando Cotaquispe Zevallos, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia

Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulado:

Diseño estructural de un sistema móvil de descarga múltiple (Tripper) para una faja transportadora de Clinker, Puzolana y Yeso con una capacidad de 600 tn/h y ancho de 42”

del autor: Diego Marco Pascual Velásquez

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 4 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 13/04/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 13/04/2023

Apellidos y nombres del asesor: <u>Cotaquispe Zevallos, Luis Orlando</u>	
DNI: 08706393	Firma 
ORCID: 0000 – 0001 – 8699 - 2538	

## RESUMEN

Debido al crecimiento continuo del sector de construcción en nuestro país, las principales empresas de producción de cemento han visto necesario el contar con equipos que permitan el transporte y descarga continua de los materiales que componen este agregado para poder abastecer la demanda del mercado actual.

Un sistema de descarga *Tripper*, es un equipo que permite realizar descargas múltiples de una faja transportadora en una trayectoria determinada. Este tipo de sistema tiene múltiples variantes desde la parte estructural hasta la parte de propulsión y descarga de material. Para este trabajo se analizaron 02 alternativas o casos de solución para determinar cuál era el óptimo para las condiciones iniciales que se presentan tales como: ancho de faja: 42", abarquillado de faja 35°, materiales y capacidad de equipo, etc.

Mediante la norma ISO 5049, tanto la primera parte para el lado estructural y la segunda parte para el lado motriz; y el criterio de diseño en ingeniería, se analizaron ambos casos y se llegó a la solución óptima estructural que cumple los requerimientos de resistencia, rigidez, estabilidad, confiabilidad, seguridad y mantenimiento.



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

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

TÍTULO : DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN SISTEMA MÓVIL DE DESCARGA MÚLTIPLE (*TRIPPER*) PARA UNA FAJA TRANSPORTADORA DE CLINKER, PUZOLANA Y YESO CON UNA CAPACIDAD DE 600 TN/H Y UN ANCHO DE 42"

ÁREA : Diseño

PROPUESTO POR : Dr. Ing. Luis Orlando Cotaquispe Zevallos

ASESOR : Dr. Ing. Luis Orlando Cotaquispe Zevallos

TESISTA : Diego Marco Pascual Velásquez

CÓDIGO : 20110140

FECHA : 02/12/2020

**DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:**

Debido al crecimiento continuo del sector de construcción en nuestro país, las principales empresas de producción de cemento han visto necesario el contar con equipos que permitan el transporte y descarga continua de los materiales que componen este agregado para poder abastecer la demanda del mercado actual. Un sistema de descarga *Tripper*, es un equipo que permite realizar descargas múltiples de una faja transportadora en una trayectoria determinada hacia los silos de almacenamiento en una planta.

El objetivo principal del presente trabajo es el desarrollo de un diseño óptimo de una estructura metálica móvil que pueda soportar este sistema de descarga con datos de entrada ya preestablecidos, tales como: Ancho de faja: 42", abarquillado de faja: 35°, características y capacidad de materiales. Esto se completará mediante el uso de normas técnicas, recomendaciones y cálculos de las cargas implicadas y criterio en ingeniería para la selección de la mejor alternativa. Cumpliendo así los requerimientos de resistencia, rigidez, estabilidad, confiabilidad, seguridad y mantenimiento.



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

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

**DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN SISTEMA DE DESCARGA MÚLTIPLE  
(TRIPPER) PARA UNA FAJA TRANSPORTADORA DE CLINKER,  
PUZOLANA Y YESO CON UNA CAPACIDAD DE 600 TN/H Y UN  
ANCHO DE 42"**

Introducción

1. Generalidades, selección de elementos principales y cálculo de cargas sobre la estructura móvil
2. Análisis estructural de las alternativas de solución por modelación
3. Cálculo y selección de equipos de grupo motriz del sistema
4. Análisis económico de la estructura móvil

Conclusiones y Recomendaciones

Planos

Bibliografía

Anexos

---

Dr. Ing. Luis Orlando  
Cotaquispe Zevallos  
Asesor



*A Rosario, porque este logro también es de ella*  
*A mis padres Germán y Juana, porque su amor y apoyo siempre es y será incondicional*  
*A mis hermanos Renzo y Aarón, porque este también es su éxito*  
*A Mateo, Rebeca y Miguelina; por su sonrisa día a día*  
*A mi asesor Luis, por cada buen comentario y consejo en todo este tiempo de trabajo*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

INFORME DE SIMILITUD .....	i
RESUMEN .....	ii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
1. GENERALIDADES, SELECCIÓN DE ELEMENTOS PRINCIPALES Y CÁLCULO DE CARGAS SOBRE ESTRUCTURA.....	3
1.1 Fajas transportadoras .....	3
1.2 Sistema de descarga múltiple ( <i>Tripper</i> ) para fajas transportadoras.....	4
1.2.1 Elementos de un <i>Tripper</i> .....	5
1.2.2 Utilidad del sistema en la industria cementera .....	7
1.3 Condiciones iniciales, selección y cálculo de cargas .....	7
1.3.1 Características de los materiales .....	8
1.3.2 Datos de entrada y geometría inicial .....	9
1.3.3 Verificación de capacidad, velocidad de operación y cálculo de carga de material .....	11
1.3.4 Cargas y tensiones por elementos de <i>Tripper</i> .....	13
1.3.4.1 Espaciamiento entre polines y carga lineal.....	14
1.3.4.2 Cálculo de tensiones .....	15
1.3.4.3 Chute de descarga.....	19
1.3.5 Resumen de cargas .....	19
2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN POR MODELACIÓN .....	21
2.1 Definición de cargas actuantes .....	21
2.1.1 Cargas principales .....	21
2.1.1.1 Peso de viga principal y demás .....	22
2.1.1.2 Plataforma de inspección y mantenimiento.....	22
2.1.2 Cargas adicionales.....	23
2.1.3 Cargas especiales .....	23
2.2 Alternativas para la estructura principal.....	24
2.2.1 CASO I: Estructura sin arriostre de reforzamiento.....	25
2.2.2 CASO II: Estructura con arriostre de reforzamiento .....	26
2.3 Sección transversal de alternativas de solución .....	27
2.4 Análisis estático estructural .....	28
2.4.1 Diseño de estructura de plataforma .....	28
2.4.2 Cargas sobre viga principal .....	30
2.4.3 Influencia de ratio longitudinal en la estructura (Trocha) .....	31
2.4.4 Análisis estático en viga sin arriostre de reforzamiento (CASO I).....	32

2.4.4.1	Análisis por resistencia (CASO I).....	36
2.4.4.2	Análisis por deformación (CASO I) .....	38
2.4.4.3	Diseño y análisis de miembros restantes (CASO I).....	40
2.4.5	Análisis para caso de viga con arriostre inferior (CASO II) .....	48
2.4.5.1	Análisis por resistencia (CASO II).....	50
2.4.5.2	Análisis por deformación (Caso II) .....	52
2.4.5.3	Diseño y análisis de miembros restantes (CASO II).....	54
2.5	Diseño de chute de descarga .....	63
2.5.1	Análisis estructural de chute de descarga .....	66
2.5.1.1	Cargas sobre chute de descarga .....	66
2.5.2	Cálculo de unión atornillada entre el chute y la estructura principal.....	67
2.6	Evaluación de volcadura de estructura.....	69
2.7	Verificación computacional y descarte de alternativa.....	71
2.7.1	Verificación del CASO I.....	71
2.7.2	Verificación del CASO II.....	71
2.7.3	Descarte de alternativa .....	72
3.	CÁLCULO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DE GRUPO MOTRIZ DEL SISTEMA.....	73
3.1	Cargas sobre ensamble frontal y ensamble trasero .....	74
3.2	Cálculo de árbol de transmisión y de eje giratorio .....	77
3.3	Selección de Rieles.....	82
3.4	Cálculo de Ruedas .....	84
3.5	Verificación de transmisión de potencia entre árbol y rueda .....	86
3.6	Cálculo de rodamientos en chumaceras.....	87
3.7	Selección de motorreductor y ménsula de torque .....	89
4.	ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA ESTRUCTURA MÓVIL .....	91
4.1	Material requerido para equipo móvil.....	91
4.1.1	Material para Estructura <i>Tripper</i> 42'' x 15°.....	91
4.1.2	Material para Chute de Descarga .....	92
4.1.3	Material para Sistema Motriz .....	93
4.2	Descripción de costos y costo total.....	93
	CONCLUSIONES.....	95
	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
	BIBLIOGRAFÍA.....	98
	ANEXOS .....	102
	PLANOS .....	142

## INTRODUCCIÓN

Según la INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática), en enero de 2021, el consumo del cemento creció en un 21,12%. Este incremento se debe al crecimiento continuo del sector de construcción de nuestro país ejecutando obras tales como: viviendas, edificios, carreteras y otras construcciones del sector público y privado. Por ello, para que las principales industrias de producción de cemento en nuestro país no vean afectado el suministro constante de materiales para su producción, se ve la necesidad de desarrollar una tecnología que pueda solventar este obstáculo de una manera eficiente que pueda servir en un futuro no solo para los materiales de producción del cemento, sino para cualquier tipo de material a granel.

Para presentar una solución inicial, se considera como tipo de cemento a trabajar, el cemento portland puzolánico que tiene como componentes al yeso, clinker y puzolana. Estos elementos, usualmente, se transportan mediante transportadores de banda o fajas transportadoras. El defecto de estos sistemas para este caso es que solo tienen una entrada y una salida. Se propone, entonces, desarrollar un sistema móvil de múltiple descarga sobre una estructura metálica con un plano inclinado. Este equipo, el cual va acoplado a una faja transportadora principal, recibe el material proveniente de este, lo eleva a una cierta altura y luego lo descarga hacia un silo. Luego de que esté completamente lleno, el sistema se transporta mediante un cable acoplado a la estructura o con ruedas sobre una estructura de riel, hacia un silo colindante para descargar el segundo material, al igual que el último material. Comercialmente, este sistema se hace llamar "*Tripper*" y se desarrollan a pedido de un cliente para ciertas aplicaciones.

## OBJETIVOS

### a. Objetivo general

Diseñar una estructura metálica para un sistema de descarga *Tripper* de yeso, clinker y puzolana con una capacidad de 600 Tn/h

### b. Objetivos específicos

- Identificar propiedades físicas necesarias y fundamentales del yeso, clinker y puzolana que se utilizan para la elaboración y procesamiento de cemento
- Reconocer las condiciones de trabajo a la que estará sometido el equipo, la geometría del lugar y las condiciones ambientales.
- Determinar con precisión las cargas que soporta la estructura metálica del sistema *Tripper*.
- Reunir y estudiar información técnica, económica y comercial respecto a estructuras metálicas con arriostre de reforzamiento y sin ella para el análisis respectivo
- Analizar el comportamiento de una estructura *Tripper* sin arriostre de reforzamiento frente a una con arriostre de reforzamiento, respecto a su: resistencia, peso, deformación, estabilidad y por volcadura
- Calcular y analizar los componentes de cada alternativa, seleccionar los elementos respectivos para cada una de ellas y excluir la opción que sea poco viable.
- Determinar la geometría y características finales del equipo donde se muestre una convergencia entre las alternativas de la estructura metálica.
- Dimensionar y diseñar el chute de descarga de material del sistema *Tripper*
- Diseñar y dimensionar elementos del sistema motriz de alternativa más adecuada para el sistema *Tripper*

# 1. GENERALIDADES, SELECCIÓN DE ELEMENTOS PRINCIPALES Y CÁLCULO DE CARGAS SOBRE ESTRUCTURA

## 1.1 Fajas transportadoras

Las fajas transportadoras son unos equipos de transporte continuo de material a granel. Con el pasar de los años, estos han tomado preferencia en la industria de transporte de materiales sobre otros equipos por sus ventajas en economía [1], seguridad de operación, confiabilidad, versatilidad y demás factores. Este equipo tiene la capacidad de ofrecer un flujo continuo de material para el proceso que lo necesite. [2]. En la Figura 1.1 se pueden observar fajas transportadoras utilizadas en la industria minera.



**Figura 1.1 – Fajas transportadoras en la industria minera [2]**

Este equipo tiene varios elementos que lo componen, tales como:

- Faja: Es el elemento que transporta directamente el material de un punto hacia otro. Estos pueden ser de lona (alma de tela, nylon o materiales plásticos) o de alma de acero (cables de acero como núcleo). La selección dependerá del requerimiento.
- Polines o rodillos: Son los elementos rodantes que permiten que la faja se mueva sobre la estructura portante. Estos suelen estar montados sobre un bastidor y este mismo sobre la estructura portante. Estos polines pueden ser simples (en su mayoría, los del lado de retorno), de dos polines o de tres polines con un cierto ángulo de inclinación o abarquillado, estos pueden ser de 20°, 35° o 45°. La configuración usual se puede observar en la Figura 1.2 [3]



**Figura 1.2** – Bastidor con polines de carga (Abarquillado de 35°) [3]

- Poleas: Son los elementos que permiten el giro de la faja en un plano vertical, además de permitir el circuito continuo del equipo. Además, el sistema motriz del equipo se da en una polea mediante el motor eléctrico. [4]
- Chute o tolva de descarga: Elemento conformado por perfiles y planchas metálicas que permiten la descarga del material hacia algún punto. Dependerá del requerimiento del usuario si es que es necesario o no colocarlo.
- Sistema motriz: Un motor eléctrico acoplado a alguna de las poleas para el accionamiento de la faja transportadora
- Estructura portante: Estructura metálica conformado por perfiles metálicas que soportan los elementos antes descritos.
- Misceláneos: Hay elementos que son complementarios tales como: Limpiadores, que se instalan en la polea de cabeza y limpia la superficie de carga de la faja. Alineadores, accesorios montados sobre los bastidores de los polines, que previene el desalineamiento de la faja hacia un lado.

## 1.2 Sistema de descarga múltiple (*Tripper*) para fajas transportadoras

Un *Tripper*, cuyo significado en inglés es “viajero” hace alusión a un objeto en movimiento. Por tanto, para una faja transportadora, es un sistema de descarga móvil que permite la descarga del material en varios puntos en su recorrido [5]. En la **Figura 1.3** se muestra un típico sistema de descarga *Tripper* (en adelante solo *Tripper*)



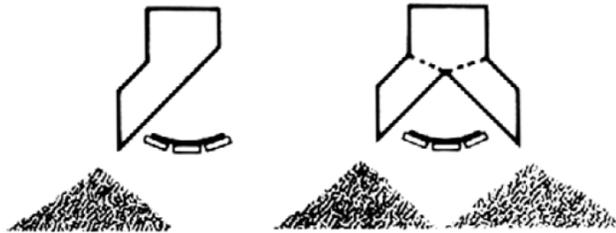
**Figura 1.3** – Sistema de descarga *Tripper* para la industria [6]

### 1.2.1 Elementos de un *Tripper*

Este sistema, al ser un accesorio de la faja transportadora, posee los mismos elementos antes descritos: estructura portante, chute, polines, poleas, equipo motriz, plataforma de operación. Ishwar Mulani en su libro “Engineering Science and Application Design for Belt Conveyors” (2012) hace una lista y explicación de las partes principales de un *Tripper*. Aunque, ya se haya descrito algunos elementos como generalidad para una faja transportadora líneas arriba, es importante describir algunas partes específicas de la estructura a diseñar.

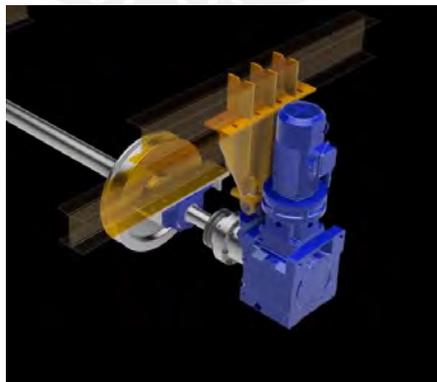
- **Estructura portante:** Este elemento debe de ser capaz de soportar todos los elementos que componen el *Tripper*. La geometría común para el *Tripper* es de un triángulo, donde el material entra por el punto más bajo de este y se descarga en el punto más alto. El diseño de esta estructura debe de tener una base con 04 puntos de apoyo, esta estará sometida a cargas por los elementos soporta, por el movimiento del equipo hacia los puntos de descarga y por la propia operación de descarga de material. Además, hay una carga por torsión sobre la estructura debido a la diferencia de altura que podría haber en los rieles que soportan al equipo y fuerzas excéntricas que se puedan presentar sobre el equipo. En el ámbito de mantenimiento y/o inspección, la bibliografía recomienda que se coloque una plataforma a la altura del chute de descarga. El equipo, por lo general, no tiene pasarelas laterales, ya que sería peligroso para el personal que transite por debajo de ellas [5]. Comentado a detalle más adelante, para estos sistemas hay varios tipos de estructuras, de las cuales, se analizaron dos tipos en este trabajo: una estructura sin arriostre de reforzamiento y otra con arriostre de reforzamiento. Una diferencia puede ser que mientras que el primer caso puede tener un procedimiento de cálculo relativamente simple en comparación con el otro tipo, sus perfiles estructurales pueden tener un área de sección bastante grande, lo que aumenta el peso de la estructura, los costos de fabricación, montaje y demás factores. En el siguiente capítulo se detallarán estos aspectos.
- **Chute de descarga:** Este elemento es el que permite que se pueda direccionar el flujo del material hacia el lugar de almacenamiento deseado. La influencia del tipo de chute es significativa al momento de proyectar la geometría del

*Tripper*, ya que es fácil notar que el chute con una sola descarga al momento de ser montado desviaría el centro de gravedad de todo el sistema, esto generaría un efecto de torsión sobre la estructura. Usualmente se tienen dos tipos de chute como se muestra en la Figura 1.4.



**Figura 1.4** – Chutes: **izquierda**) Descarga simple, **derecha**) Descarga doble [7]

- **Poleas:** En un sistema *Tripper*, se encontrarán dos de estos elementos. En general, este elemento sirve para dirigir la faja a que continúe con su camino. Estos elementos generarán tensiones sobre la estructura que se analizarán en su momento.
- **Sistema motriz:** Cada elemento de este sistema cuenta con un determinado peso y por ende una determinada inercia que en conjunto vendría a ser el peso y la inercia equivalente de todo el *Tripper*. Para poder trasladar este equipo es necesario una estructura guía donde se apoye. Está es muy parecida a los rieles de un tren convencional, solo que, en este caso, todo el sistema es trasladado por un motor eléctrico. Es usual que cada rueda tenga uno propio, esto para generar un avance uniforme. Se puede observar un ejemplo en la Figura 1.5



**Figura 1.5** – Sistema motriz para ruedas de riel [8]

## 1.2.2 Utilidad del sistema en la industria cementera

El cemento portland puzolánico es una mezcla del Clinker y puzolana [9]. El porcentaje de masa de este último respecto al total varía de acuerdo a la fuente. La Norma Técnica Peruana establece que esta varía entre 15 a 40%, mientras que la información técnica de un proveedor muestra lo siguiente, incluyendo al Clinker.

- Clinker más yeso (sulfato de calcio): 85 – 50 %
- Puzolana: 15 – 50% [10]

El clinker para cemento portland, por una parte, es un producto constituido por silicatos de calcio en su mayoría. Se obtiene de una cocción adecuada de materiales correctamente seleccionados [11]. La puzolana, por otro lado, es un material de origen volcánico o rocas sedimentarias con composición química y mineralógica adecuadas. [12]

En la Figura 1.6 se muestran tolvas que sirven de dosificación para los procesos de producción de cemento. Al solo contar con una faja transportadora, se necesita de un equipo que pueda descargar en los 03 silos, solo variando el material de entrada.

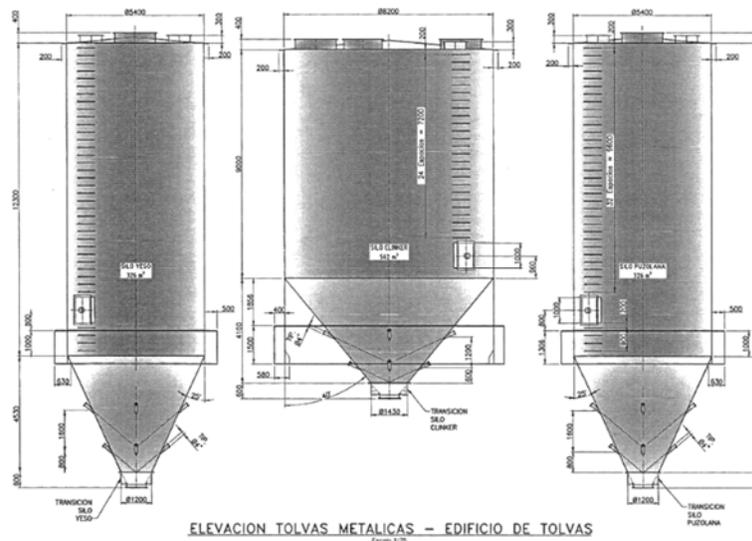


Figura 1.6 – Tolvas metálicas de yeso, clinker y puzolana [13]

## 1.3 Condiciones iniciales, selección y cálculo de cargas

Para empezar con el procedimiento de diseño, es necesario delimitar las condiciones de trabajo, es decir, que datos, características, geometría, entre otros. se está

recibiendo como condición o requerimiento para el diseño. Luego, identificar las propiedades necesarias de los materiales a transportar, calcular su influencia sobre los elementos que van montados sobre el *Tripper*, para que finalmente, en el siguiente capítulo se analice la estructura con las cargas generadas.

### 1.3.1 Características de los materiales

Como el *Tripper* estará diseñado para poder transportar y descargar los tres materiales, es necesario determinar los parámetros de diseño de estos, para luego compararlos y trabajar con uno solo.

Según la Asociación Norteamericana Manufacturera de Equipos de Transporte (CEMA, por siglas en inglés), cada material tiene distintas características físicas y químicas cuando están en la condición de granel. Las principales características a estudiar son las siguientes:

- Ángulo de reposo: Es el ángulo que forma la pendiente de la superficie de una pila de material libremente formada con el plano horizontal de donde se encuentre.
- Ángulo de sobrecarga: Ángulo agudo que forma una pila de material sobre una superficie en movimiento. Es usual que este sea entre 5° a 15° del ángulo de reposo natural.
- Ángulo de máxima inclinación: Ángulos que definen una pendiente con la que el material puede circular de manera segura tanto en ascenso como en descenso.
- Fluidez: Indicador del comportamiento de un material sobre la superficie donde este apilada. Tiene mayor influencia en los planos inclinados.
- Abrasividad: Capacidad del material para desgastar superficies con la que este en contacto.

Los datos específicos de densidad de material, ángulo de reposo, y de ángulo de máxima inclinación son de 1280 kg/m<sup>3</sup>[14], 36° y 21°, respectivamente [15]. Los demás datos se obtuvieron de la comparación de la Puzolana con la Escoria Volcánica, que, como ya se estableció, está compuesta por materiales volcánicos.

En la Tabla 1.1, el parámetro más importante para el diseño de la estructura metálica sería el Ángulo de máxima inclinación, ya que esto decidirá la pendiente que vaya a

tener el equipo a diseñar. El material que restringe este parámetro es el Yeso con 15°, por lo que la estructura tendrá que ser diseñada tomando este dato de entrada.

**Tabla 1.1 – Características de materiales a trabajar (Elaboración propia)**

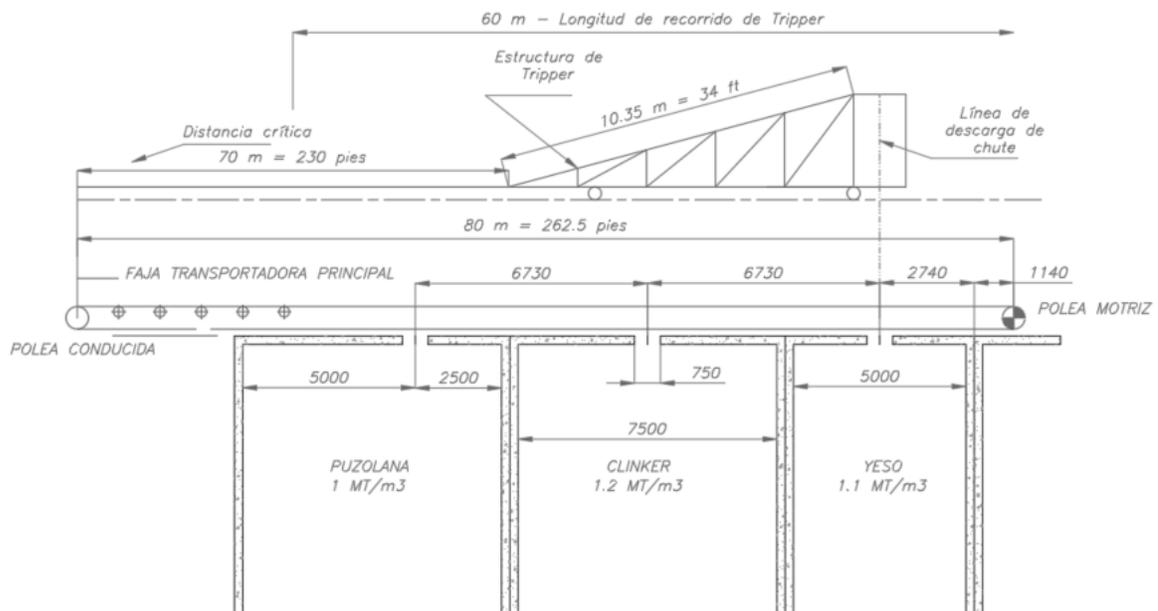
Características de materiales				
Material	Puzolana (Escoria Volcánica)	Yeso	Clinker	Unidades
Tamaño de grano	30-50			mm
Densidad aparente de material	80	70-80	75-95	lb/pe <sup>3</sup>
	1280	1120-1280	1200-1520	kg/m <sup>3</sup>
Ángulo de reposo	36	35	30	°
Ángulo de sobrecarga	15	15	15	°
Ángulo recomendado de máxima inclinación	21	15	22	°
Fluidez a granel	Libre	Promedio	Promedio	-
Abrasividad	Muy abrasivo	Abrasivo	Muy abrasivo	-

### 1.3.2 Datos de entrada y geometría inicial

Se debe de tener en cuenta de que, en cada proyecto de ingeniería, puede haber condiciones iniciales desde donde empezar a definir los parámetros de diseño. Al no ser la faja transportadora, el objeto principal de este trabajo, se tomaron como referencia sus parámetros básicos tales como: Ancho de faja, abarquillado, etc. En la Tabla 1.2 se resumen estos datos. Por otra parte, en la Figura 1.7 se dan también como dato de entrada las capacidades de los silos de almacenamiento, la distancia entre puntos de descarga. Además, de mostrar un esquema donde estaría ubicado el *Tripper* y que trayectoria seguiría.

**Tabla 1.2 – Datos de entrada para diseño (Elaboración propia)**

Datos de entrada				
Descripción	Simbolo	Valor	Unidad	Comentario
Capacidad de faja	<b>Q</b>	600	tn/h	Como es necesario diseñar un Tripper sobre una faja transportadora ya existente, entonces se debe de adoptar su geometría y características iniciales
Ancho de faja transportadora	<b>B</b>	42	pulg	
		1067	mm	
Ángulo de inclinación de polines (Abarquillado)	<b><math>\beta</math></b>	35	°	
Distancia entre centros de faja transportadora (motriz y conducida)	<b>L</b>	262	pie	
		80	m	
Distancia de recorrido de <i>Tripper</i>	<b>Lt</b>	196,9	pie	
		60	m	
Espaciamiento de polines	<b>Si</b>	3,5	pie	
		1,1	m	
Velocidad de faja	<b>V</b>	350	pie/min	
		1,8	m/s	
Distancia entre puntos de descarga	-	Indicadas en <b>Figura 1.7</b>		
Ángulo de elevación de <i>Tripper</i>	<b><math>\alpha</math></b>	15	°	Determinada por el análisis del material
Diámetro de poleas	<b><math>\Phi d</math></b>	20	pulg	Las poleas ya estan predeterminadas por el proyecto
		508	mm	
Masa de poleas	<b>Wpol</b>	350	lb	
		159	kg	
Masa lineal de Faja transportadora Pylon EP160-1000/6 Goodyear	<b>Wb</b>	15,88	lb/pie	Se utilizará la faja ya instalada, a esta se le tendrá que hacer una verificación de tensiones y capacidades
		10,67	kg/m	
Masa de polines - CEMA C5	<b>Wc</b>	95	lb	Se utilizará sobre el <i>Tripper</i> los mismos polines que se utilizan sobre la estructura principal
		43	kg	



**Figura 1.7** – Esquema con medidas principales para el diseño (Elaboración propia)

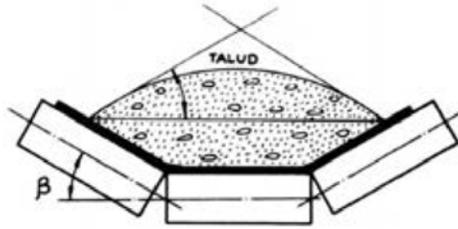
### 1.3.3 Verificación de capacidad, velocidad de operación y cálculo de carga de material

El ancho de faja ya está predeterminado en 42", se debe de verificar que la velocidad de operación esté dentro de los valores recomendados. Además, al tener tres materiales, definidos en la Tabla 1.1, se debe de escoger, según la densidad, el que defina una capacidad crítica y con este obtener la masa específica como carga para la estructura. Según la metodología propuesta en el capítulo 4 de la norma CEMA, se tiene que, para materiales abrasivos y mineral pesado de bordes afilados, la velocidad máxima para anchos de faja mayores a 36" es de 600 pie/min [16].

$$v_{\text{máxima}} = 600 \frac{\text{pie}}{\text{min}} = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Además, se propone un área de sección para dos datos que se tienen: el ancho de faja y el ángulo de sobrecarga que son 42" y 15°, respectivamente. Lo que quiere decir que para estos parámetros se tendrá un área de sección ideal, y óptima para la operación de la faja. Esto nos dará una velocidad mínima de operación, ya que, ante una mayor velocidad, por la misma inercia del material, se tendrá un área de sección

menor. Según la Tabla 1.2 se tiene que la velocidad solicitada sea de 350 pies/min (1.8 m/s).



**Figura 1.8** – Área de sección de carga sobre faja abarquillada [17]

$$V_{ope} = \frac{Q_{nominal}}{60 \times A_{secc}} \left( \frac{pie}{min} \right) \quad (1-1)$$

$Q_{nominal}$ : Capacidad volumétrica  $\left( \frac{pie^3}{h} \right)$

$A_{secc}$ : Área de sección ( $pie^2$ )

De la expresión (1-1) se puede despejar el área de la sección transversal de la carga sobre la faja.

**Tabla 1.3.** Capacidades según material (Elaboración propia)

Capacidades según material			
Material	Capacidad nominal		
	tn/h	pie <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h
Puzolana Natural	600	15000	425
Yeso	600	17143	485
Clinker	600	16000	453

De la Tabla 1.3, se verifica que la capacidad nominal crítica es del Yeso por ser la mayor en valor numerico. Con este material se debió de verificar la velocidad de operación. Luego de ello se pudo calcular la carga específica de material ( $W_m$ ) con la expresión (1-2):

$$W_m = \frac{Q_{nominal} * 2000}{V_{real}} \left( \frac{lb}{pie} \right) \quad (1-2)$$

$Q_{nominal}$ : Capacidad nominal  $\left( \frac{Ton}{h} \right)$

$V_{real}$ : Velocidad real  $\left( \frac{pie}{s} \right)$

En la siguiente tabla (Tabla 1.4), se resume el procedimiento de la expresión (1-1) y el resultado de la carga específica de material.

**Tabla 1.4** – Verificación de velocidad y carga específica de material (Elaboración propia)

<b>Verificación de velocidad real para faja de 42" - Para el Yeso</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Simbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
<b>Ancho de Faja</b>	<b>B</b>	42	pulg
<b>Velocidad operación</b>	<b>Vo</b>	350	pie/min
		1.78	m/s
<b>Área de carga máxima</b>	<b>Asecc (De Tablas)</b>	1.254	pie <sup>2</sup>
		0.117	m <sup>2</sup>
<b>Área de carga según velocidad dada</b>	<b>Asecc</b>	0.816	pie <sup>2</sup>
		0.076	m <sup>2</sup>
<b>Velocidad máxima de faja</b>	<b>V<sub>máx</sub></b>	600	pie/min
		3.00	m/s
<b>Velocidad mínima de faja</b>	<b>V<sub>mín</sub></b>	227.8	pie/min
		1.16	m/s
<b>¿Cumple requerimiento?</b>		<b>CUMPLE</b>	
<b>Carga específica del material</b>	<b>W<sub>m</sub></b>	57.1	lb/pie
		7.90	kg/m

Se verifica que la velocidad máxima recomendada no será superada, sin embargo, de ello se puede concluir que una faja de menor ancho podría haber transportado sin problema la capacidad de 600 Tn/h, ya que, al tener el área de sección recomendada, se pueden variar los valores de velocidad para fajas de menor ancho.

#### **1.3.4 Cargas y tensiones por elementos de Tripper**

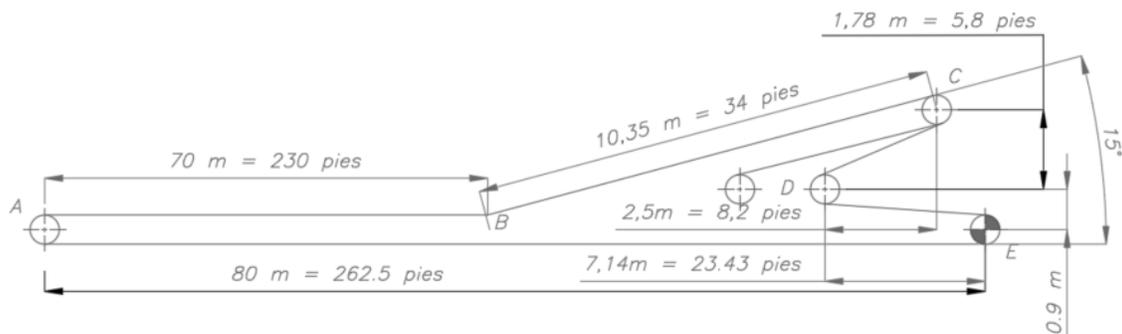
Sobre el *Tripper* actuarán fuerzas que pueden originarse por diversos factores. Algunos debido a la gravedad como: Peso propio, peso de material, peso de faja, peso de polines, entre otros. Otros debido a la operación del equipo tales como: Tensiones en las poleas, movimiento del *Tripper*, impacto del material sobre el chute de transferencia, entre otros.

Hay cargas que podrán variar de acuerdo a la posición del equipo. Por ejemplo, cuando el equipo está en posición retraída (lo más cercano a la polea de cola) hay menos material que se debe transportar, por lo tanto, la tensión que se presente en la faja será menor, a cuando el equipo esté en posición extendida (lo más cercano a la polea motriz). Es importante, entonces, analizar el caso donde estas tensiones serán máximas.

Se sabe que el equipo contará con 02 poleas, una de descarga que sería la polea de cabeza y la otra que redirecciona la faja hacia la polea motriz, a esta se le llamará como polea de retorno. La ubicación horizontal de este último puede variar sobre la viga horizontal. Por lo tanto, se deberá de considerar 02 casos de estudio de tensiones para determinar cuál será la configuración óptima.

En la Figura 1.9 se presenta un esquema simplificado del caso de mayor carga sobre la estructura, en la que el equipo se encontrará totalmente extendido.

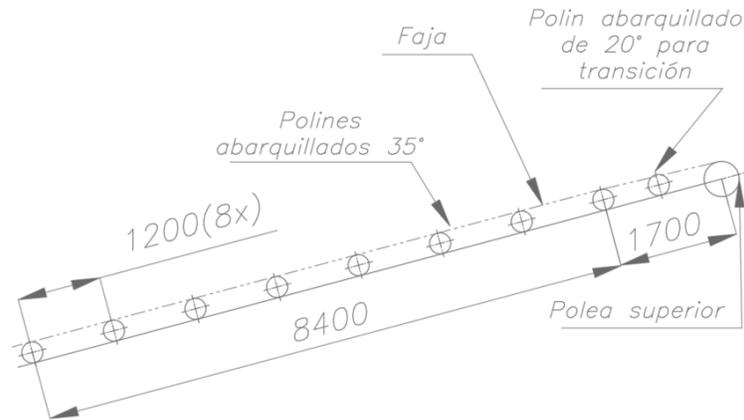
- **Sector 1 (AB):** Tramo horizontal de 70 m (230 pies) de longitud
- **Sector 2 (BC):** Tramo de 10.35 m (34 pies) de longitud y 15° de inclinación (*Tripper*)
- **Sector 3 (CD):** Tramo variable entre 1.8 m (5.9 pies) a 4.6 m (15.1 pies) de longitud y 40° a 14° de inclinación negativo respecto a la horizontal.
- **Sector 4 (DE):** Tramo horizontal de 7.15 m (23.4 pies) de longitud



**Figura 1.9** – Esquema simplificado (Elaboración propia)

#### 1.3.4.1 Espaciamiento entre polines y carga lineal

De la Tabla 1.2, se conoce que el polín o rodillo utilizado para este proyecto es el CEMA C5, cuyo diámetro de rodillo es de 5" (127 mm) y espaciamiento entre ellos. Se decidió, además, agregar un conjunto de polines de 20° de abarquillado y con 92 lb (41.7 kg) de masa para facilitar la transición hacia la polea de cabeza y la correcta descarga. La distancia de transición máxima entre un polín de 20° y la polea de cabeza es de 37.8" (960 mm) [18]. Conocidos los espaciamientos entre polines, y la distancia de transición, se puede dar una distribución completa y detallada de la posición de los polines, y la polea de cabeza o de descarga (Figura 1.10).



**Figura 1.10** – Distribución de polines y de polea superior sobre tramo inclinado (Elaboración propia)

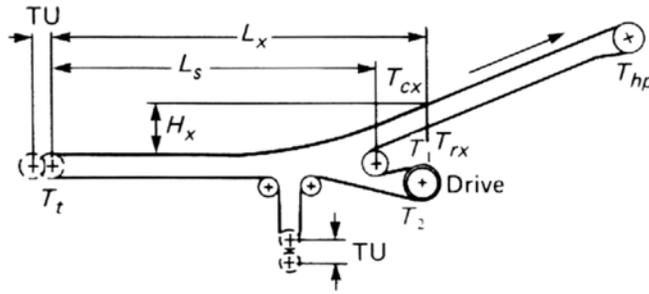
Con la carga unitaria de cada polín, se pudo hallar un peso total con acción sobre el *Tripper*, y así se determinó la carga lineal que se ejerce sobre la estructura como se ve en la Tabla 1.5

**Tabla 1.5.** Distribución de polines y Carga lineal generada (Elaboración propia)

Distribución de polines sobre <i>Tripper</i>			
Descripción	Símbolo	Valor	Unidades
Espaciamiento entre polines	Si	4.0	pie
		1.2	m
Distancia de transición para polín de 20°	St	2.95	pie
		0.90	m
Cantidad de Polines		9	
Carga lineal por polines - Wpolines	Wc	25.04	lb/pie
		37.27	kg/m

### 1.3.4.2 Cálculo de tensiones

Es importante considerar las tensiones actuantes en ambas poleas, ya que estos se transmitirán a la estructura. Para este cálculo se siguió la metodología que establece el capítulo 5 de la norma CEMA. El cual establece distintos arreglos para fajas transportadoras, ya sean con una cierta elevación, depresión, combinación entre sectores horizontales e inclinados. Para nuestro caso, se tomará como base el siguiente arreglo:



**Figura 1.11** Arreglo de faja horizontal con curva vertical convexa y polea (Drive) motriz en el retorno  
[19]

En dicho arreglo, se puede observar que tiene un alto parecido al esquema simplificado mostrado en la Figura 1.8, el cual cuenta con un tambor superior de descarga y uno de retorno.

Es importante identificar y definir las tensiones involucradas sobre el sistema funcionando con carga, con ello se podrá determinar en qué sector del sistema se encuentra la máxima tensión aplicada.

**a) Tensión de catenaria ( $T_0$ )**, Tensión mínima necesaria para evitar la flexión de la faja entre polines. Esta flexión se da debido al peso propio de la faja junto con el material. CEMA, además, recomienda valores máximos de flecha debido a la flexión en base al ángulo de abarquillado, y a la granulometría del material. Según ese dato, la tensión de catenaria se puede calcular utilizando la siguiente expresión:

$$T_0 = 4,20 \times (W_m + W_b) \times S_i \quad (1-3)$$

$T_0$ : Tensión de catenaria (lb)

$W_m$ : Masas de material a transportar ( $\frac{\text{lb}}{\text{pie}}$ )

$W_b$ : Masas de faja ( $\frac{\text{lb}}{\text{pie}}$ )

$S_i$ : Espaciamiento entre polines (pies)

**b) Tensión debido a la elevación de la carga y la faja ( $T_{\text{elevación}}$ )**, Tensión necesaria para elevar la carga junto a la faja desde un cierto punto hacia otro ubicado a una determinada distancia vertical hacia arriba. Se define de la siguiente manera:

$$T_{\text{elevación}} = \pm H \times (W_m + W_b) \quad (1-4)$$

$T_{\text{elevación}}$ : Tensión de elevación (lb)

H: Altura a elevar o a descender (pies)

**c) Tensión debido a la fricción ( $T_{\text{fricción}}$ ),** Tensión necesaria para vencer la fricción en el eje de los polines, en el material y en la faja. CEMA contribuye con factores de corrección debido a la temperatura de trabajo ( $K_t$ ), fricción sobre los polines ( $K_x$ ) y flexión de la faja sobre los polines ( $K_y$ ).

$$T_{\text{fricción}} = L \times (K_t \cdot K_x) + L \times (K_y \cdot W_b) + L \times (K_y \cdot W_m) \quad (1-5)$$

$T_{\text{fricción}}$ : Tensión de fricción (lb)

L: Longitud a transportar (pies)

Cabe indicar el factor de flexión de la faja ( $K_y$ ) para el lado del retorno es considerado constante y con un valor de 0,015, ya que en ese sector la faja, no lleva carga solo se presenta la carga por su propio peso. Estos factores considerados son adimensionales.

**d) Tensión total en el lado de la carga ( $T_{\text{carga}}$ ),** Es la combinación entre las tensiones ya enunciadas. Es decir, la tensión resultante entre: la tensión en la polea conducida ( $T_t$ ) (algunas veces es menor a la de catenaria), a la tensión por elevación y a la tensión por fricción.

$$T_{\text{carga}} = T_t + T_{\text{elevación}} + T_{\text{fricción}} \quad (1-6)$$

Se puede notar desde la expresión (1-4) hasta (1-6), tanto la altura a elevar, o descender, como la longitud a transportar, son variables fundamentales en este cálculo. Con estas expresiones se puede calcular la tensión en cualquier punto del arreglo de la faja, conociéndose las dimensiones correctas.

Como se mencionó antes, el sistema cuenta con dos sectores: uno horizontal y otro inclinado a  $15^\circ$ . Los sectores de interés primordialmente son los tramos BC y CD ya que, de estos sectores, se podrá obtener las tensiones actuantes en los tambores de descarga y de retorno. Se excluye el análisis en el sector de retorno EA, debido a que no es de interés la tensión en ese sector.

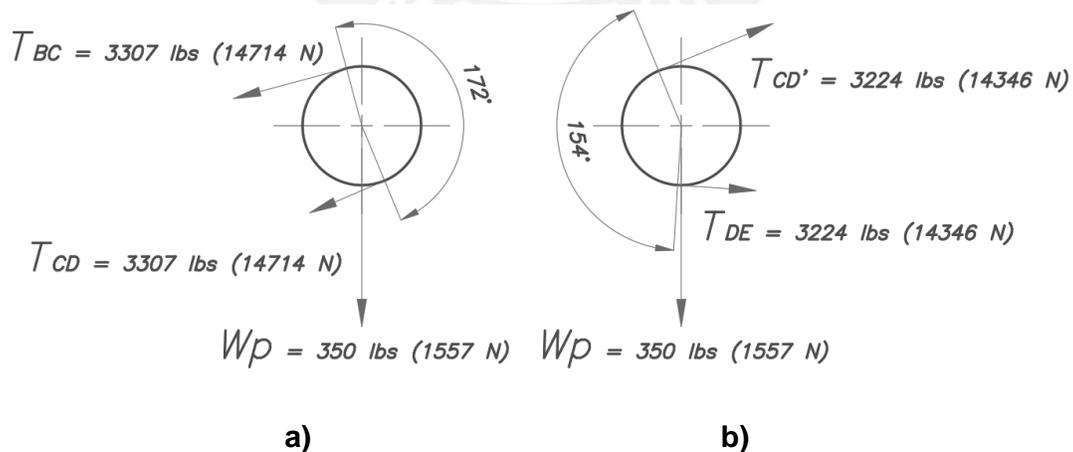
Aplicando las fórmulas antes desarrolladas, se obtienen los siguientes valores para cada tramo, estos se muestran en la Tabla 1.6:

**Tabla 1.6.** Tensiones en los distintos sectores (Elaboración propia)

Tensiones en distintos sectores									
Sector	Longitud (L)	Altura (H)	Tcola	Televisión	Kt	Kx	Ky	Tfricción	Tensión resultante + catenaria + Tcarga
	(pie) (m)	(pie) (m)	(lbs) (N)	(lbs) (N)		(lb/pie)		(lbs) (N)	(lbs) (N)
AB	230	0	1785	0	1.00	1.14	0.035	622	2407
	70	0	7943	0				2768	10711
BC	34	9	2407	628				87	3307
	10	3	10711	2796				388	14714
CD	10	-6	3307	-83			0.015	0	3224
	3	-2	14714	-368				0	14346

Se verifica que, la máxima tensión se obtiene en la polea, o tambor de cabeza, o descarga con un valor de 3123 lb (13 895 N). Mientras que, en la polea de retorno, se presenta una tensión de 3040 lb (13 527 N). Se tendrá en cuenta que también se consideró la tensión generada por la presión del limpiador de faja, cuyo cálculo se muestra en el ANEXO 16. En la Figura 1.12, se muestra el diagrama de cuerpo libre de ambas poleas, en esta, se incluye ya el peso de cada una de ellas. Al ser una polea ya predeterminada, se utilizan los datos de entrada definidas en la Tabla 1.2. Estas fuerzas nos darán una fuerza resultante, que actúa directamente sobre la estructura a diseñar.

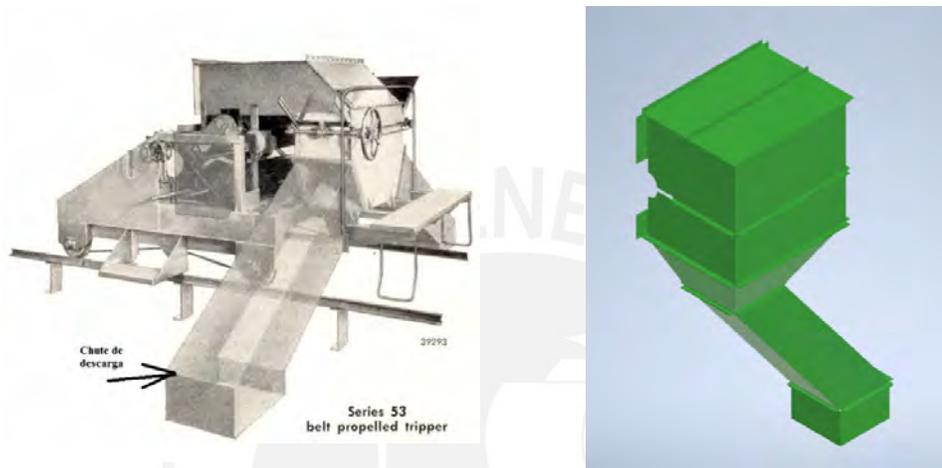
$$W_{pol} = 350 \text{ lb (159 kg - 1557 N)}$$



**Figura 1.12 – a) Tensiones sobre polea de descarga, b) Tensiones sobre polea de retorno**  
(Elaboración propia)

### 1.3.4.3 Chute de descarga

Link-Belt recomienda un ángulo de inclinación para este elemento que depende de la fluidez del material, tamaño del material, y del tamaño de grano. No se sabrá cuál será su peso real, hasta haber diseñado completamente el chute, por lo que se trabajará para el cálculo, con el valor mostrado líneas abajo. Para el presente caso, se utilizará un chute, de la forma en la que se aprecia en la Figura 1.13. [20]



**Figura 1.13** – Chute de simple descarga (Izq: Linkelt, Der: Elaboración propia)

Para los materiales dados, que son considerados materiales de fluidez promedio, se le asigna un ángulo de pendiente de chute entre 40° y 50°. Luego, se puede determinar con el ancho de faja de dato, y el tipo de chute requerido. Teniendo en cuenta estos criterios, el peso sería de 286 kg, sin embargo, asumiendo algunas medidas para el posterior diseño del chute, se llegó a un peso de 655 kg aproximadamente, por lo que se trabajará con ese valor.

$$W_{\text{chute}} = 1443 \text{ lbs} = 655 \text{ kg} (6426 \text{ N})$$

### 1.3.5 Resumen de cargas

Antes de presentar el resumen, es importante considerar una carga más, la cual viene definido por el peso de un limpiador, esta como ya se explicó antes, se encarga de limpiar restos de material que hayan quedado en la faja luego de la descarga. Según la marca Flexco y para un ancho de faja de 42", el peso es de 75 lbs (34 kgs).

Ahora definidas las cargas iniciales para la estructura del *Tripper*, se presenta una tabla final (Tabla 1.7) con dichas cargas. Algunas son de manera distribuida sobre un

sector y otras se comportan como cargas puntuales. Estos datos serán de vital importancia para el cálculo, y selección de la estructura óptima para este sistema.

**Tabla 1.7 - Tabla resumen de cargas (Elaboración propia)**

Resumen de cargas y selección						
Ítem		Símbolo	Unidades	Valor		
Material Crítico - Yeso		Wm	lb/pie - kg/m	42	63	
Faja transportadora - Goodyear Pylon EP160-1000/6 - Empalme		Wb	lb/pie - kg/m	14	21	
Polines CEMA C5		Wc	lb/pie - kg/m	25	37	
Poleas	Descarga	Peso	Wpol	lb - kg	350	159
		Tensiones	TBC	lb - kg	3307	1500
	TCD		lb - kg	3307	1500	
	Retorno	Peso	Wpol	lb - kg	350	159
		Tensiones	TCD'	lb - kg	3224	1462
	TDE		lb - kg	3224	1462	
Chute de descarga		Wchute	lb - kg	1443	655	
Limpiador		Wlimp	lb - kg	75	34	



## **2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN POR MODELACIÓN**

La estructura metálica es el elemento principal de todo el *Tripper*, por lo cual debe ser analizada al detalle de manera estática y dinámica. Dicho análisis se puede realizar de una forma manual o con la ayuda de algún software de simulación de estructuras metálicas. Cabe decir que este análisis debe ser realizado en base a alguna norma técnica, para este caso se opta por utilizar la norma ISO 5049-1:1994 la cual, en la parte uno, define cargas, recomienda métodos y parámetros para el análisis del diseño de estructuras metálicas en equipos móviles que transportan y descargan materiales a granel.

### **2.1 Definición de cargas actuantes**

La norma ya mencionada establece que las cargas están divididas en tres diferentes grupos: Cargas principales, cargas adicionales y cargas especiales.[21] A continuación se enuncian las más importantes o pertinentes para el presente trabajo:

#### **2.1.1 Cargas principales**

Estas cargas son, básicamente, las que siempre estarán presentes mientras que el equipo opera en condiciones normales de funcionamiento. Estas pueden ser:

- Cargas muertas: Son las cargas que tendrán una magnitud constante sobre la estructura, para nuestro caso serían, por ejemplo: el peso de los distintos componentes como la estructura en sí, los polines, las poleas, el chute, etc.
- Cargas por material: Carga del material sobre el equipo durante la operación de este.
- Incrustación: Este caso refiere al posible remanente de material que pueda quedar pegado en ciertas partes del equipo tales como el chute o la misma faja.
- Fuerzas en el transportador: Cargas por tensiones de faja sobre la estructura
- Cargas dinámicas permanentes: En general, podemos describirlas como el impacto del material en el chute de descarga, los elementos rotativos tales como los polines y poleas; y la aceleración y desaceleración del sistema. Estos se verán en el análisis específico del chute.

- Cargas en pasillos, escaleras y plataformas: En lo primordial, para este proyecto, estos elementos deben de ser lo más ligeros posibles para evitar la sobrecarga de la estructura por carga viva.

#### 2.1.1.1 Peso de viga principal y demás

El peso propio de los perfiles sea cual sea la opción a utilizar, el cual, según lo que provee la bibliografía, oscila entre  $4 \frac{\text{lb}}{\text{pie}}$  a  $50 \frac{\text{lb}}{\text{pie}}$  para perfiles de entre 3 a 15 pulg. de largo del alma. Por ello, para términos prácticos, se asumirá un peso de  $30 \frac{\text{lb}}{\text{pie}}$  para cada perfil, lo que resultaría para toda la viga lo siguiente:

$$W_{\text{viga}} = 60 \frac{\text{lb}}{\text{pie}} = 89 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 876 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

#### 2.1.1.2 Plataforma de inspección y mantenimiento

La ISO 14122-2:2001, es la norma que dicta los requerimientos para este tipo de estructura. Navarro ya realizó este análisis para un trabajo similar. [22] En él, utiliza una vigueta tipo canal C, realizó un análisis de resistencia y deformación con las cargas presentadas en la norma. Se tomará la carga distribuida en este cálculo, donde están incluidas los siguientes componentes: elementos de baranda y grating para plataforma. Además de considerar una escalera de acceso de aproximadamente 80 kg con los mismos componentes. Si se considera que la carga de análisis fue una carga distribuida de 313 lb/pie según norma, no habrá problema con la carga propuesta, ya que supera las 24 lb/pie, además de las cargas por mantenimiento que llegan a ser 60 lb/pie, dando un resultado total de 84 lb/pie. En el ANEXO 4.1 se desarrollan estos valores más a detalle y en el ANEXO 4.4 se verifica el canal C3x4.1

$$\text{Carga de plataforma: } W_{\text{pla}} = 24 \frac{\text{lb}}{\text{pie}} = 31 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 304 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$\text{Carga de escalera: } W_{\text{esc}} = 176 \text{ lb} = 80 \text{ kg} = 785 \text{ N}$$

$$\text{Carga de mantenimiento: } W_{\text{mant}} = 60 \frac{\text{lb}}{\text{pie}} = 89 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 873 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

## 2.1.2 Cargas adicionales

Estas cargas ocurren de manera intermitente durante la operación del equipo o también cuando este no esté en operación. Estas pueden reemplazar algunas cargas principales o simplemente ser añadidas. Entre ellas, se encuentran:

- Carga por viento: Dependerá del arreglo estructural a analizar, el impacto de esta carga. Esta carga depende de la geometría total, por lo que se definirá más adelante.
- Carga por resistencia al movimiento: Como este sistema estará montado sobre rieles, el sistema motriz debe de vencer una cierta resistencia a la fricción.
- Cargas por reacción perpendicular al riel: Sobre el equipo actúan reacciones debido al peso y cargas de operación del sistema sobre el riel. Estas se obtendrán en el análisis estática y el modelado.

## 2.1.3 Cargas especiales

Estas cargas no deberían de ocurrir si el sistema funciona correctamente. Sin embargo, no deben ser excluidas del cálculo. Entre ellas, se encuentran:

- Carga por bloqueo del chute: Puede presentarse el caso en el que el chute que dirige el material se bloquee por este mismo, generando un impacto en la estructura.
- Carga por bloqueo de sistema motriz

**Tabla 2.1 – Categorización de cargas**

Categorización de las cargas								
Categoría		Ítem		Símbolo	Unidades	Valor		
Carga Principal	Carga Muerta	Faja transportadora - Goodyear Pylon EP160-1000/6 - Empalme vulcanizado		Wb	lb/pie - kg/m	14	21	
		Polines CEMA C5		Wc	lb/pie - kg/m	25	37	
		Poleas	Descarga	Peso	Wpol	lb - kg	350	159
			Retorno	Peso	Wpol	lb - kg	350	159
		Chute de descarga		Wchute	lb - kg	1443	655	
		Limpiador		Wlimp	lb - kg	75	34	
		Perfil		Wviga	lb/pie - kg/m	60	89	
	Carga Material	Material Crítico - Yeso		Wm	lb/pie - kg/m	42	63	
	Fuerzas en el Transportador	Poleas	Descarga	Tensiones	TBC	lb - kg	3307	1500
					TCD	lb - kg	3307	1500
			Retorno		TCD'	lb - kg	3224	1462
					TDE	lb - kg	3224	1462
	Cargas en escaleras y plataformas	Plataforma		Wplat	lb/pie - kg/m	24	31	
Escalera de acceso		Wesc	lb - kg	176	80			
Personal de Mantenimiento		Wmant	lb/pie - kg/m	60	89			

En resumen, se han podido determinar la mayor parte de las cargas principales, mientras que las demás se podrían asumir como un porcentaje del total más adelante. En la Tabla 2.1 se muestra un resumen de las cargas determinadas.

## 2.2 Alternativas para la estructura principal

Un *Tripper* puede tener múltiples variantes debido a los diversos elementos que lo componen. Estas variantes están sujetas en general al chute de descarga, estructura principal y sistema motriz.

**Tabla 2.2 – Variantes de Tripper según componente**

Variantes de Tripper	
Variante	Tipo
Estructura Móvil	Sin arriostre
	Con arriostre de reforzamiento
Chute de descarga	Simple descarga
	Doble descarga
Sistema Motriz	Movimiento por tensión de cable de acero
	Transmisión por cadena hacia eje delantero
	Transmisión directa a cada rueda delantera

En la Tabla 2.2 se muestran los diversos tipos que se dan debido a los tres componentes antes mencionados. Para detalle gráfico dirigirse al ANEXO 1. Respecto a la estructura móvil, el tipo de este es el objetivo del presente documento. El chute de descarga, al tener un punto de descarga específico, a un lado de la estructura principal de la faja transportadora, se debe utilizar un chute de simple descarga. Finalmente, para el sistema de transmisión es recomendable utilizar transmisión directa del sistema motriz hacia el eje, en lugar de una transmisión por cadena [23].

Para este análisis se debe de tener en cuenta el arreglo estructural, posicionamiento de partes del sistema, confiabilidad, mantenimiento, seguridad del operario, etc. Para la presente tesis se analizan dos tipos de estructura según el tipo de viga, las cuales son la estructura sin arriostre de refuerzo y con arriostre de refuerzo.

### 2.2.1 CASO I: Estructura sin arriostre de reforzamiento



*Figura 2.1 – Estructura Tripper sin arriostre de reforzamiento*

David Beckley establece que no es necesario un marco grande con varios elementos, sino que un arreglo con solo dos elementos principales en cada lado ofrece mejor resistencia y estabilidad debido a lo siguiente [24]:

- La estructura debe de ser rígida en los ejes vertical y horizontal, y esto se puede lograr usando dos miembros universales, uno en posición vertical y otro en diagonal.
- Este arreglo da un gran espacio debajo del equipo por si se quiere realizar algún mantenimiento al tambor inferior o el eje trasero.
- El análisis de un arreglo como este es relativamente sencillo. Además, el diseño puede ser más preciso.
- La fabricación puede tener grandes beneficios económicos en cuanto a montaje.

En la Figura 2.1 se ve lo antes descrito, usualmente los perfiles tienen un área de sección superior a la que se puede presentar, en el siguiente caso a analizar.

## 2.2.2 CASO II: Estructura con arriostre de reforzamiento



*Figura 2.2 – Estructura Tripper con arriostre de reforzamiento*

Para el caso de la estructura con arriostre de reforzamiento, a diferencia, del anterior caso, presentará una configuración con un reticulado en la zona bajo la viga principal. Además de esta podemos encontrar otras diferencias importantes tales como:

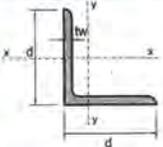
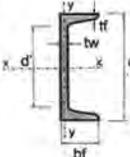
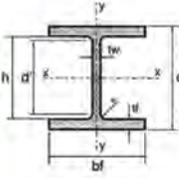
- Este arreglo tiene un peso mucho menor en comparación al otro, esto debido a que la viga principal tiene más puntos de apoyo, por lo que la deflexión será menor y permite que la sección tenga menores dimensiones.
- Al tener menor peso el arreglo, y formar parte de una estructura móvil, la inercia será menor, por lo que el sistema motriz que moverá este equipo será menor, a comparación del caso anterior.
- Al tener un reticulado dentro, se le puede trabajar como si fuera una armadura. Sin embargo, esto hace que su cálculo sea más tedioso en comparación al otro.

El reticulado puede tener tres formas constructivas usualmente utilizadas en puentes y techos de acero. [25] Estos son los modelos Howe, Pratt y Warren; cuyos gráficos se pueden ver en el ANEXO 5. El arreglo que se seleccione será en base a las cargas que actúen sobre la estructura, y en los puntos o nodos donde se hayan los mayores esfuerzos. Los elementos principales deben de ser evaluados a flexión y corte, mientras que los miembros diagonales solo deben de trabajar a tracción o compresión.

### 2.3 Sección transversal de alternativas de solución

Antes de definir una metodología de análisis, es preciso definir la geometría de la sección transversal de los diversos miembros estructurales de las alternativas de solución. Estos estarán sometidos a diversos tipos de esfuerzos normal, flexión y de corte, según sea el resultado del análisis. Además, se realizará un análisis de deformación.

**Tabla 2.3** Perfiles estructurales para los análisis

Denominación	Esquema	Descripción
Perfil "L"		Perfil laminado en caliente, llamado ángulo estructural "L". Se usa normalmente en estructuras de celosía
Perfil "C"		Perfil laminado en caliente AISC "C". Se puede utilizar para la estructura celosía y para la que no cuenta con arriostre
Perfil "I"		Perfil laminado en caliente "I". Cuenta con un buen momento de inercia en comparación de los otros. Se evaluará para ambos casos

En la Tabla 2.3 se enuncian los tres perfiles que se analizarán para cada una de las alternativas. Cada uno de ellos puede tener ventajas y desventajas según sea el caso a analizar. Para el caso en que la estructura no tenga arriostre inferior o de reforzamiento, se necesita un perfil con un buen momento de inercia, ya que está relacionado a la flecha que pueda tener el perfil. Para este caso la luz será bastante grande al no tener un arriostre de refuerzo, por lo que, a simple vista, puede que sea más adecuado utilizar un perfil I. Además de que es más simple convertirlo en una sección cerrada en caso se necesite en algún punto del perfil. Por otra parte, para el caso en la estructura tenga un arriostre de refuerzo, puede que no se necesite un momento de inercia tan elevado, porque la viga principal, contaría con un mayor número de apoyos, por lo que luz entre estas puede ser menor.

## 2.4 Análisis estático estructural

Definidas las alternativas de análisis y la posible geometría de la sección transversal de este equipo, se realiza el análisis estático para cada caso. Según lo establecido en el capítulo anterior, la zona que estará sometida a las mayores cargas será la viga principal diagonal. Líneas arriba, se aprecia que esta viga define completamente la geometría del arreglo, por lo que el análisis estático se dará mediante la siguiente metodología:

- Categorizar las cargas actuantes sobre la estructura dentro de los criterios de la norma ISO 5049-1:1994 descritas líneas arriba.
- Hallar las cargas actuantes solo sobre la viga principal
- Desarrollar la estática para hallar las fuerzas y momentos sobre cada alternativa
- Desarrollar los diagramas de fuerzas y momentos para ambos casos para hallar la sección crítica
- Obtener los esfuerzos en la sección crítica, analizar una teoría de falla para cada caso y verificar que no falle.
- Obtener las deflexiones en cada tramo y verificar que este dentro de valores recomendados según sea el caso.
- Dimensionar los demás miembros según sea el caso y verificarlos por resistencia a flexión, corte, pandeo si fuera el caso.
- Con el modelo completo, verificar a torsión la sección crítica por carga excéntrica si existiera.
- Modelar en un software todo el arreglo y verificar lo antes calculado.

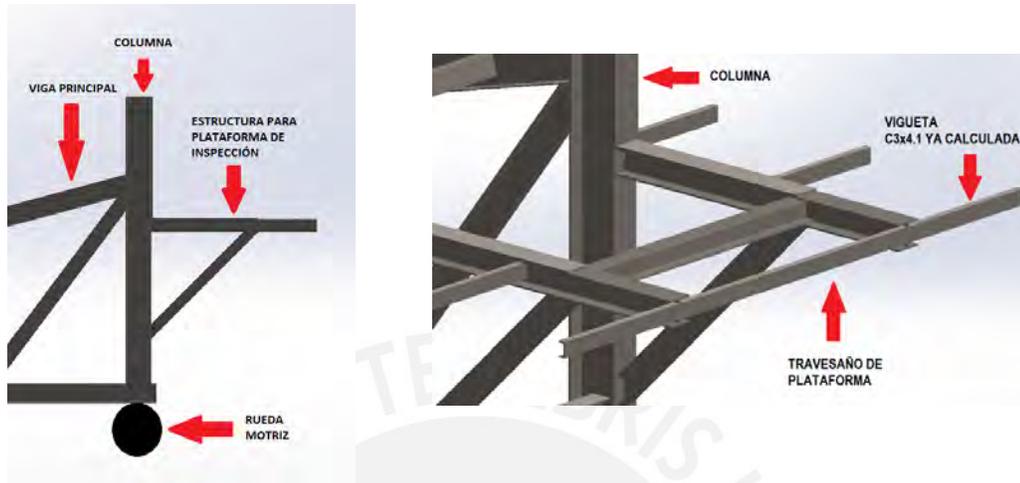
Tener en cuenta que CEMA, en su desarrollo de cálculos de componentes para fajas transportadoras, utiliza varios valores en el sistema inglés, por lo que se verá un trabajo paralelo junto al sistema métrico. Las conversiones más comunes serán las siguientes:

- $1 \text{ lb/pie} = 1.488 \text{ kg/m}$
- $1 \text{ lb} = 0.454 \text{ kg}$

### 2.4.1 Diseño de estructura de plataforma

Sin importar el caso que quede seleccionado al final de este trabajo, la estructura de la plataforma de inspección será la misma, por lo que es importante determinar la

geometría de la estructura portante de esta. Esta estructura estará localizada en la parte delantera donde se ubica el chute de descarga. En la siguiente figura se puede apreciar la geometría que tendrá la estructura.



**Figura 2.3** – Localización de plataforma de inspección (Elaboración propia)

Esta cuenta con una viga horizontal y una diagonal para reforzarla. Además, se calculó el travesaño de la plataforma.

- **Travesaño de plataforma**

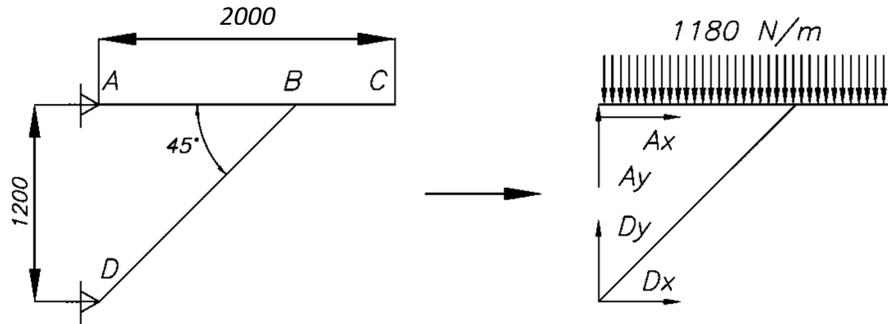
Líneas arriba se describió que la vigueta C3x4.1 era la adecuada para soportar los voladizos de la plataforma y se asumirá también este perfil para verificar el travesaño. Además, se asumirá, que esta viga estará doblemente empotrada en las vigas principales de la plataforma. Se trabaja una carga distribuida de 313 lb/pie sobre esta viga, y se verifica que no falle por resistencia ni por deformación. En el ANEXO 4.4 se muestra el cálculo completo que verifica que el perfil C3x4.1 es el adecuado.

- **Viga horizontal y diagonal**

La viga sería el elemento AC, mientras que la diagonal el DB. En ella se tendrá una carga distribuida debido a la carga de la plataforma y la carga de mantenimiento. Tengamos en cuenta que esta última puede que no se presente durante la operación, ya que el equipo estará en movimiento, lo que imposibilitaría a cualquier operario de acceder a la plataforma.

$$W_{pla} + W_{mant} = 84 \frac{\text{lb}}{\text{pie}} = 120 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 1180 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

En la Figura 2.4 se puede observar un esquema del soporte y su DCL. Aquí al observar que solo habrá carga vertical, los componentes  $A_x$  y  $D_x$  serán iguales en módulo, mientras que  $A_y$  y  $D_y$  equilibrarán a la carga distribuida.



**Figura 2.4** – Esquema y DCL de soporte de plataforma (Elaboración propia)

Aplicando equilibrio en el sistema, se obtienen los siguientes valores:

$$A_x = -1593 \text{ N}; A_y = 532 \text{ N}; D_x = 1593 \text{ N}; D_y = 1593 \text{ N}$$

Para el caso de la viga horizontal, los diagramas de fuerza cortante, normal y momento flector se ve en el ANEXO 4.2, por lo que la sección crítica estará ubicada en el punto B. Para la viga se asume el perfil **W5x16** y para la diagonal DB el perfil **W4x13**. Se realizó un análisis analítico y computacional para este conjunto. El Factor de Seguridad Analítico dio como resultado mínimo de 86, mientras que el ocupacional fue de 85 como mínimo, se ve una diferencia de 1% aproximadamente, por lo que tomaremos ambos resultados como válidos. Los resultados se encuentran también en el ANEXO 4.2.

Por inspección, en el elemento BD solo actuará una fuerza axial de  $D=2252 \text{ N}$  que es la resultante en la reacción. Se verifica en el ANEXO 4.3 que no fallará por estabilidad del pandeo, mientras que la viga horizontal no fallará ni por resistencia ni por deformación a la carga sometida (ANEXO 4.4), por lo que se seleccionan los perfiles antes mencionados.

### 2.4.2 Cargas sobre viga principal

Categorizadas las cargas, se aíslan las cargas que actúan solo sobre la viga principal, que en este caso solo serían los de la faja, el material circulante, los polines y el propio peso de la viga. Además, a la suma total de pesos, se le aumentará un 20%

considerando las cargas que no se hayan considerado como los de incrustación, bloqueo de sistema, canaletas eléctricas, cableado, entre otros.

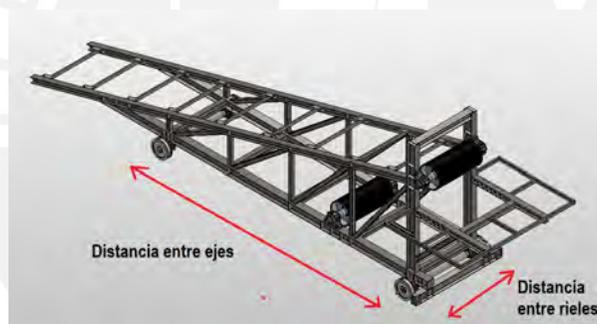
$$W_t = W_m + W_b + W_c + W_{\text{viga}} = 141 \frac{\text{lb}}{\text{pie}} = 210 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$W_{\text{total}} = W_t * 1.2 = 170 \frac{\text{lb}}{\text{pie}} = 252 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \mathbf{2476 \frac{\text{N}}{\text{m}}}$$

Para optimizar el cálculo para ambos casos, las cargas se descompusieron en un sistema auxiliar solidario a la inclinación de 15° de la viga principal como se ve en la Figura 2.7

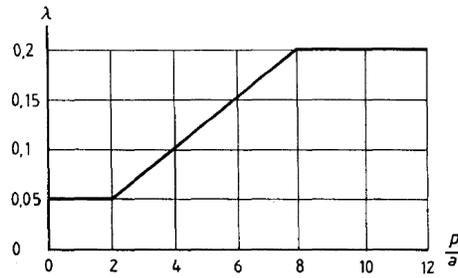
### 2.4.3 Influencia de ratio longitudinal en la estructura (Trocha)

El ratio longitudinal o llamado de manera coloquial “trocha” es la relación que hay entre la longitud entre ejes de las ruedas del sistema y la distancia entre los rieles donde este irá apoyado tal como se aprecia en la Figura 2.5



**Figura 2.5** – Esquema de distancia entre ejes y rieles (Elaboración propia)

El efecto de este ratio es que origina una fuerza de fricción entre los rieles y las ruedas del equipo, lo que genera una fuerza normal que actúa sobre el equipo. El objetivo, entonces, sería de disminuir en lo más posible esta fuerza sobre el *Tripper*. La norma ISO 5049-1:1994, que determina características importantes para este tipo de equipos, desarrolla un rango de valores para esta ratio [26], la cual se pueden ver en la Figura 2.6:



**Figura 2.6** – Coeficiente  $\lambda$  en función de ratio longitudinal

En la figura anterior se tiene tres variables, las cuales son:

$\lambda$ : Coeficiente Lambda: Coeficiente por el cual se multiplica la fuerza resultante sobre la rueda o apoyo en análisis.

$p$ : Longitud entre rieles.

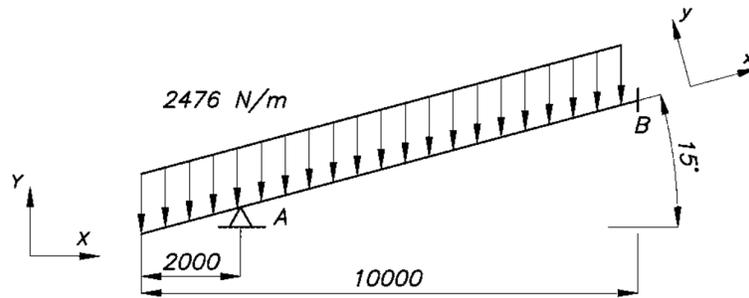
$a$ : Longitud entre ejes de las ruedas.

Se ve que a mayor valor de la ratio  $p/a$ , mayor será el coeficiente para hallar la fuerza normal resultante sobre el equipo. Es claro que para el caso en estudio el valor de “ $a$ ” será mayor al de “ $p$ ”, por lo que el coeficiente siempre será menor a la unidad.

Los anchos de riel están definidos según la región donde se utilice, sin embargo, para el presente caso este será definido según la faja transportadora principal. Para una faja de 42” se utilizó un ancho de rieles de entre 1900 mm a 2000 mm, por lo que el valor de la distancia entre ejes de las ruedas (sentido longitudinal) estaría en un aproximado de entre 3000 mm a 8000 mm. Para ambos casos de análisis se utiliza la misma longitud entre ejes, ya que el objetivo principal es el análisis estructural.

#### **2.4.4 Análisis estático en viga sin arriostre de reforzamiento (CASO I)**

Definida la carga, se evalúa la viga, la cual tendría una distribución como se ve en la Figura 2.7:



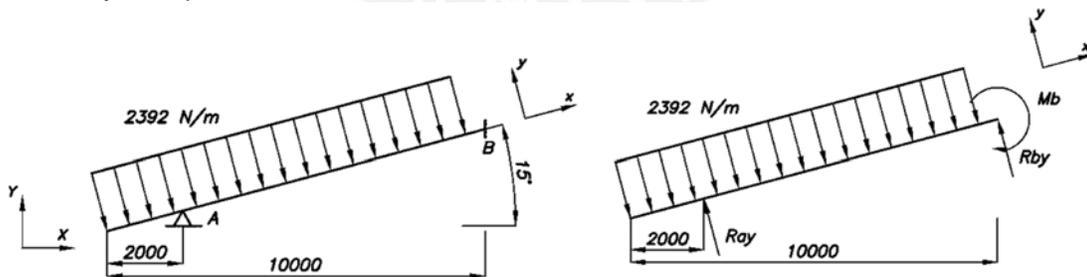
**Figura 2.7** – Distribución de carga sobre viga principal – Caso Viga sin Arriostre (Elaboración propia)

Para evaluar esfuerzos, se tiene que considerar las cargas en dirección axial y transversal a la viga, las cuales serían la direcciones x e y. Por tanto, se debe descomponer la carga distribuida en las direcciones ya mencionadas.

$$W_{\text{total}(x)} = W_{\text{total}} * \text{sen}(15) = 641 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$W_{\text{total}(y)} = W_{\text{total}} * \text{cos}(15) = 2392 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Para el caso en el eje vertical visto desde la viga (y) el esquema vendría dado por la siguiente Figura 2.8. Además, este caso se podría tomar como una viga horizontal, de esta manera se podrán hallar las reacciones en la dirección (y) que son las que tienen mayor importancia.



**Figura 2.8** – Esquema y Diagrama de cuerpo libre con carga transversal (Elaboración propia)

Como se puede ver en el DCL, el sistema es estáticamente indeterminado, por lo que se optó utilizar el método de la superposición, tomando como la fuerza redundante a la reacción en dirección (y) del apoyo A. En este punto el desplazamiento debe ser

nulo, por lo que para compensar la acción de la fuerza redundante se tiene la carga distribuida. Para ello, se necesitan de ciertos datos geométricos:

- Distancia horizontal de punto inferior a apoyo A  $L_{OA} = 2 \text{ m}$
- Distancia desde punto inferior al apoyo A'  $L_{OA'} = \frac{L_{OA}}{\cos(15^\circ)} = 2,07 \text{ m}$
- Distancia horizontal de punto inferior a apoyo B  $L_{OB} = 10 \text{ m}$
- Distancia desde punto inferior al apoyo B'  $L_{OB'} = \frac{L_{OB}}{\cos(15^\circ)} = 10,35 \text{ m}$

Ya con ellos, se procede a calcular los desplazamientos y demás reacciones, en este punto del análisis, aún no definimos una geometría específica de sección, así que el módulo de elasticidad y el momento de inercia se conservarán como la unidad para hallar las reacciones respectivas.

- Desplazamiento debido a la carga distribuida en el apoyo A

$$v_A = \frac{W_{\text{total}(y)} * (L_{OB'} - L_{OA'})^2}{24 * E * I} * ((L_{OB'} - L_{OA'})^2 + 6 * L_{OB'}^2 - 4 * (L_{OB'} - L_{OA'}) * L_{OB'})$$

- Reacción en dirección (y) en apoyo A

$$R_{Ay} = \frac{v_A * 3 * E * I}{(L_{OB'} - L_{OA'})^3} = 13\,307 \text{ N}$$

Ahora que se conoce la reacción en el apoyo A, se pueden conocer por equilibrio la reacción en B y el momento actuante en el mismo apoyo.

- Reacción en dirección (y) en apoyo B

$$R_{By} = (W_{\text{total}(y)} * L_{OB'}) - R_{Ay} = 11\,450 \text{ N}$$

- Momento en apoyo B

$$M_B = (P_{\text{total}(y)} * L_{OB'}) * \frac{L_{OB'}}{2} - R_{Ay} * (L_{OB'} - L_{OA'}) = 17\,937 \text{ N} * \text{m}$$

Se conocen entonces, las reacciones en dirección (y). Sin embargo, resta conocer las axiales o las que están en dirección (x). Para determinarlas, como se conoce que la fuerza resultante será vertical respecto al piso, se pueden conocer las reacciones en dirección (x) por geometría.

- Reacción en dirección (x) en apoyo A

$$R_{Ax} = R_{Ay} * \tan(15^\circ) = 3566 \text{ N}$$

- Reacción en dirección (x) en apoyo B

$$R_{Bx} = R_{By} * \tan(15^\circ) = 3068 \text{ N}$$

Ahora que se conocen todas las fuerzas actuantes y momento en el empotramiento, se pueden dibujar los diagramas de fuerza cortante y de momento flector mediante la herramienta SkyCiv.

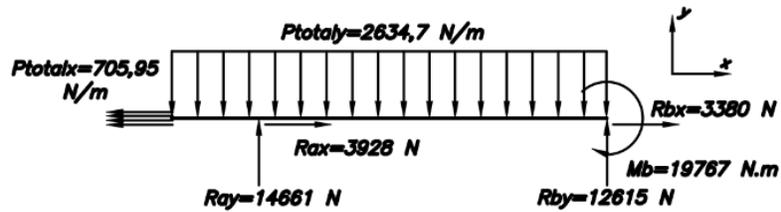


Figura 2.9 – Diagrama de cuerpo libre completo (Elaboración propia)

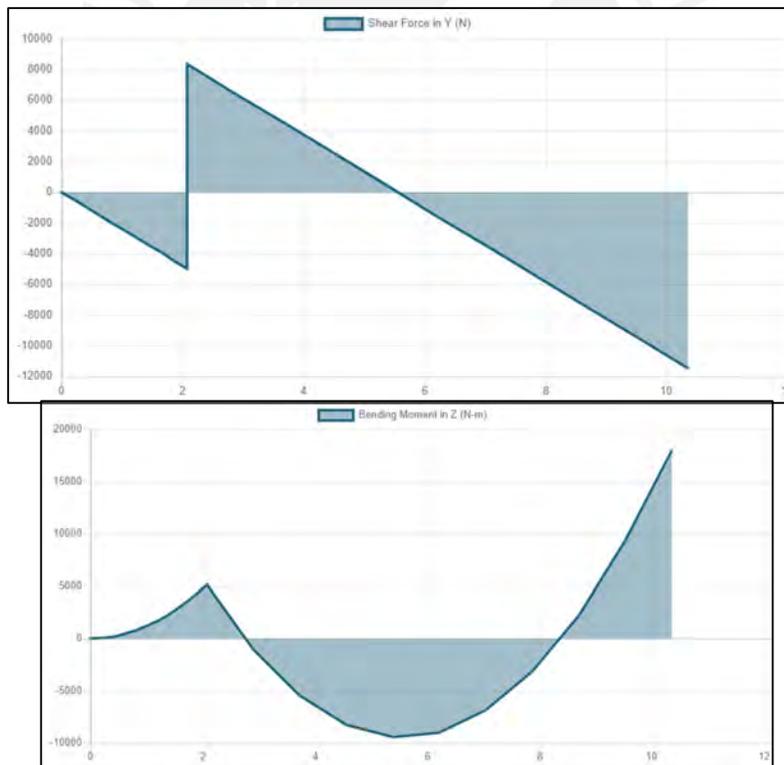


Figura 2.10 – a) Diagrama de fuerzas cortantes, b) Diagrama de momentos flectores (Elaboración propia)

Por inspección en los diagramas mostrados, la sección crítica será la que está en el empotramiento del extremo derecho, ya que se presenta la mayor fuerza cortante y

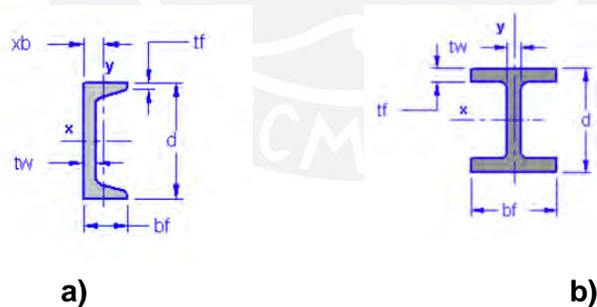
el mayor momento flector, por lo tanto, es la que se debe de analizar. Las cargas en dicha sección serán las que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 2.4.** Datos de cargas en sección a analizar en primer caso (Elaboración propia)

Datos de cargas en sección a analizar			
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor
Fuerza normal	F-n	N	3,068
Fuerza cortante	F-c	N	11,450
Momento flector	M-r	N.m	17,937
Esfuerzo de fluencia (ASTM A36)	$\sigma_f$	MPa	250

#### 2.4.4.1 Análisis por resistencia (CASO I)

Al tener solo dos puntos de apoyo, los perfiles a analizar serán más robustos, en su defecto, con una mayor área y mayor momento de inercia. Los elementos que usualmente se utilizan en este tipo de equipos son las vigas AISC-W o los canales AISC-C, que cumplen el requerimiento antes descrito sobre otras geometrías. Es poco probable que estos perfiles fallen por resistencia, sin embargo, se debe de verificar la deflexión que estos tengan ante la carga presentada. Al ser esta la viga principal, es la que mayores esfuerzos presentará.



**Figura 2.11** – a) Perfil C con dimensiones en símbolos b) Perfil W con dimensiones en símbolos (Engineers Edge 2017)

Para poder tomar un perfil tentativo, se recuerda que en el capítulo 1, se cuentan con polines CEMA C5, los cuales tienen un ancho de 53". Esta dimensión será el ancho mínimo exterior que debe tener la viga, por tanto, se escogerá un ancho de viga equivalente a 55". El ancho de ala, del perfil tendrá que ser como mínimo de 3", para ambos tipos de perfiles, debido al ancho de la base del polín seleccionado. Para

obedecer dichas dimensiones, se analizó desde el perfil C8x11.5 en el caso de los canales C, y W5x19 en el caso de las vigas W. Se hallaron los esfuerzos normal, cortante y flector para cada perfil, y se halló el factor de seguridad crítico utilizando la teoría de falla de Von Mises para materiales dúctiles. Los datos de la geometría y resultados se muestran en la tabla 2.5. Los datos de todos los perfiles analizados se pueden ver en el ANEXO 6.

**Tabla 2.5** Datos de entrada y Análisis de esfuerzos de sección crítica con perfiles C y W  
(Elaboración propia)

Análisis de esfuerzos de sección crítica								
Datos de entrada								
Perfil			C8x11.5	C9x15	C15x33.9	W5x19	W6x20	W8x21
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor					
Área del perfil	$A_{\text{perfil}}$	$\text{in}^2$	3.37	4.4	10	5.56	5.87	6.16
Distancia del centroide al peralte	$X_b$	in	0.572	0.586	0.788	-	-	-
Ancho del peralte	$t_w$	in	0.22	0.285	0.4	0.27	0.26	0.25
Longitud de peralte	$d$	in	8	9	15	5.15	6.2	8.28
Longitud de ala	$b_f$	in	2.26	2.49	3.4	5.03	6.02	5.27
Ancho de ala	$t_f$	in	0.39	0.413	0.65	0.43	0.365	0.4
Inercia en eje X	$I_x$	$\text{in}^4$	32.5	51	315	26.3	41.4	75.3
Ancho de viga	$a_{\text{vig}}$	in	55			55		
Área de sección	$A_{\text{secc}}$	$\text{in}^2$	6.7	8.8	20	11.1	11.7	12.32
Inercia total en eje X	$I_{xx}$	$\text{in}^4$	65	102	630	52.6	82.8	150.6
Análisis de esfuerzos de sección crítica								
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor					
Coordenada Y	$y$	mm	101.6	114.3	190.5	65.405	78.74	105.156
Esfuerzo normal	$\sigma_N$	MPa	0.71	0.54	0.24	0.43	0.41	0.39
Esfuerzo cortante	$\tau_c$	MPa	2.63	2.02	0.89	1.60	1.51	1.44
Esfuerzo flector	$\sigma_f$	MPa	67.359	48.290	13.031	53.58	40.98	30.09
Esfuerzo equivalente (Von Mises)	$\sigma_{\text{eq}}$	MPa	68.217	48.956	13.357	54.08	41.47	30.58
Factor de Seguridad	FS	-	3.7	5.1	18.7	4.6	6.0	8.2

Según los resultados, tal y como se comentó, todos los perfiles analizados cumplen el análisis por resistencia. El perfil C8x11.5 presenta un factor de seguridad de 3.7, lo cual es bastante aceptable si se considera que se recomienda un factor no menor a 2 [27], mientras que el perfil C15x33.9 tiene un factor de 18.7, por lo que puede que este sobredimensionado. Para llegar a una conclusión final se debe de esperar al análisis de deflexión de cada uno de estas alternativas.

Al igual que en el caso de los perfiles C, en este caso, para los perfiles de sección W, el factor de seguridad está entre 4.6 y 12.5, lo que es un resultado confiable por resistencia. Se debe llegar a una conclusión con el análisis de deformación.

#### 2.4.4.2 Análisis por deformación (CASO I)

Conocido ahora que la viga principal no fallará por resistencia, es necesario también realizar un análisis para verificar que los perfiles tendrán una deformación admisible ante la acción de las cargas. Para ello se utilizan las ecuaciones de momento resultante:

- Ecuación de momento flector para  $0 < x < 2.07$ :

$$M_1(x) = -1196 * x^2$$

- Ecuación de momento flector para  $2,07 < x < 10,35$ :

$$M_2(x) = -1196 * x^2 + 13\,307 * x - 27\,546$$

Se aplica, entonces, la doble integración (Estas ecuaciones aún deben ser divididas entre el producto del módulo elástico y el momento de inercia para cada caso de los perfiles analizados):

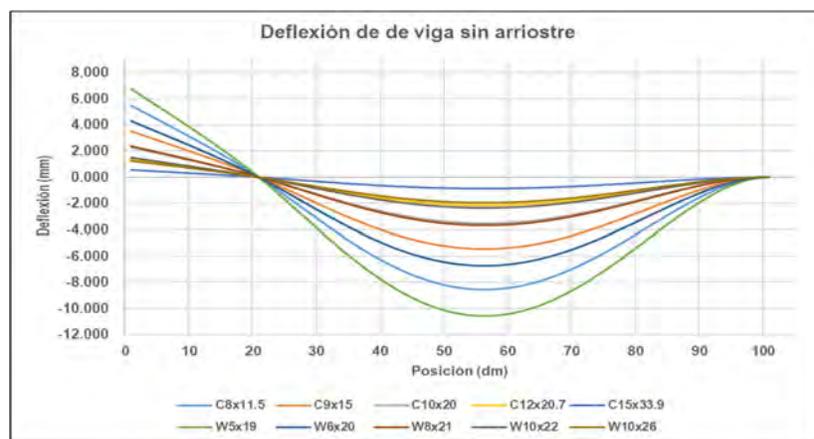
- Ecuación de deflexión para  $0 < x < 2.07$ :

$$f_1(x) = \frac{-99.67 * x^4 - 14\,144 * x + 31\,109}{E * I}$$

- Ecuación de deflexión para  $2,07 < x < 10,35$ :

$$f_2(x) = \frac{-99.7 * x^4 + 2218 * x^3 + 13\,772 * x^2 + 14\,365 * x + 11\,437}{E * I}$$

Con las ecuaciones respectivas se obtiene la siguiente gráfica para cada perfil:



**Figura 2.12** – Deflexión de viga de canales C y viga W (Elaboración propia)

De las ecuaciones y de la gráfica, la deflexión máxima para cada caso se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 2.6** Deflexión máxima según perfil utilizado (Elaboración propia)

Deflexión máxima (mm)		
PERFIL	Tramo	
	0<x<2.07	2,07<x<10,35
C8x11.5	5,475	8,560
C9x15	3,489	5,455
C10x20	2,255	3,526
C12x20.7	1,379	2,157
C15x33.9	0,565	0,883
W5x19	6,766	10,578
W6x20	4,298	6,720
W8x21	2,363	3,695
W10x22	1,508	2,358
W10x26	1,236	1,932

El conjunto de puntos se puede ver en el ANEXO 9. Se tomaron como valores admisibles de flecha como 1/850 para una viga entre dos apoyos, y 1/350 para una viga en voladizo. El primero, se basa en la recomendación de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO, por sus siglas en inglés), que propone un valor cercano debido a las cargas vivas e impacto que se tuvieron sobre la viga, mientras que el segundo es una recomendación del autor Nonnast en su obra El Proyectista de Estructuras Metálicas. [28][29] Los valores permisibles quedarían de la siguiente manera:

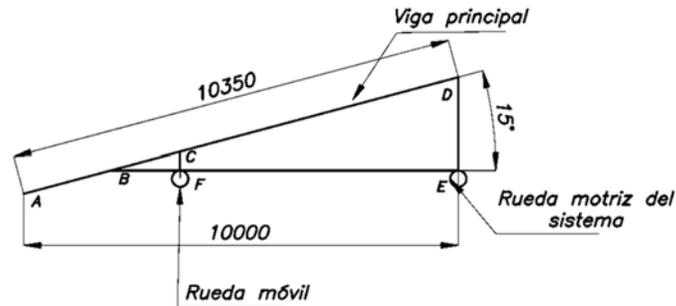
$$f_{adm-entre\ apoyos} = \frac{L}{850} = \frac{8,28}{850} = 9.74\ mm$$

$$f_{adm-voladizo} = \frac{L}{350} = \frac{2.07}{350} = 5.91\ mm$$

$$f_{adm} > f_{m\acute{a}x}$$

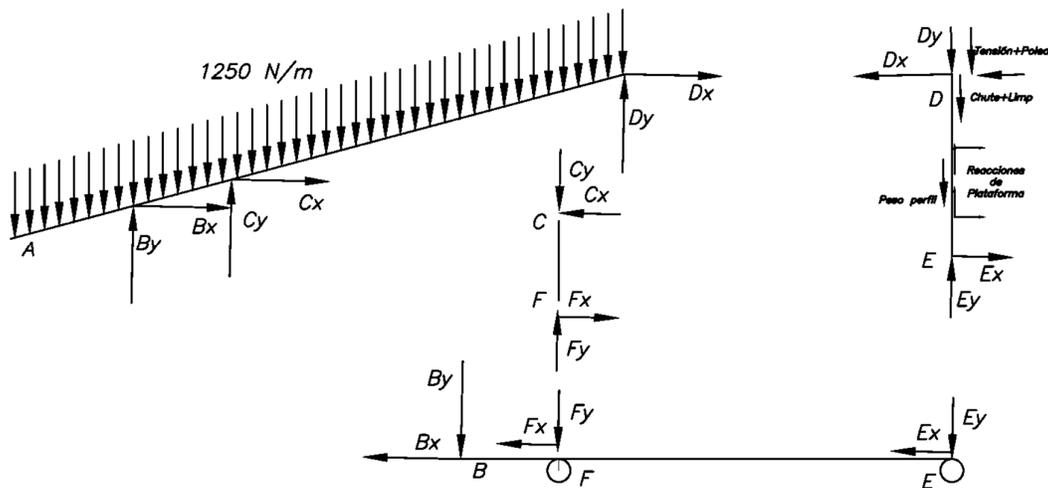
En la Tabla 2.6 se puede ver que tanto los perfiles C8x11.5 y W5x19 fallarían por deformación, mientras que los demás cumplen el criterio de flecha máxima. Por el lado de los perfiles C, los perfiles C12x20.7 y C15x33.9 estarían sobredimensionados por resistencia y deformación. Se selecciona el **C9x15** por ser el más liviano. Por otra parte, el perfil W6x20 cumple ambos criterios, pero está al límite, por lo que se selecciona el **W8x21** por ser el más liviano de su grupo.

### 2.4.4.3 Diseño y análisis de miembros restantes (CASO I)



**Figura 2.13** Esquema de Tripper sin Arriostre de refuerzo (Elaboración propia)

Se tiene ya la viga principal dimensionada, sin embargo, es necesario añadir un apoyo más, debido a que en ese punto es donde se apoyará la estructura sobre el sistema móvil, como se ve en la Figura 2.13. En total, serían los elementos AD, DE, CF y BE. Donde estos funcionan como un marco estructural, con dos apoyos fijos donde están ubicadas las ruedas. Se asumirá, además, que todas las uniones entre los elementos son articuladas, por lo tanto, los elementos AD y BE tendrán esfuerzos normales, flectores y cortantes; mientras los elementos CF y DE estarán sometidos a una carga axial de compresión, por lo que solo se evaluará esfuerzo normal y pandeo.



**Figura 2.14** Diagrama de cuerpo libre de elementos (Elaboración propia)

En la Figura 2.14 se muestran los DCLs de todos los elementos que componen esta fracción de la estructura. Para comprobar los demás elementos, se hará la suposición de que la estructura es completamente simétrica y que soporta la mitad de la carga.

Como se muestra en el elemento AD, solo se ve la carga distribuida partida por la mitad en comparación con el primer análisis de la viga principal. El elemento DE, que vendría a ser la columna principal, se evaluará el esfuerzo normal que presente, además del flector.

Se siguió el mismo procedimiento como si fuera una viga apoyada en 3 apoyos articulados y se obtuvieron las reacciones en base a un sistema de coordenadas solidario a la inclinación de la viga. Se obtuvieron los siguientes resultados:

$$B'_x = 938 \text{ N}; B'_y = 1\,987 \text{ N}; C'_x = 1\,340 \text{ N}; C'_y = 7\,282 \text{ N}$$

$$D'_x = 1\,072 \text{ N}; D_y = 3\,231 \text{ N}$$

En el ANEXO 10 se pueden consultar los diagramas de fuerzas y momentos sobre esta viga, donde se verificará que los valores para un análisis de esfuerzos son menores que lo determinado cuando se hizo el análisis de solo la Viga Principal, por lo que se tomarán los perfiles seleccionados en la parte anterior, los cuales fueron el **C9x15** o el **W8x21**.

La columna soporta tanto cargas cortantes como axiales, es claro que la sección crítica se encontrará en el punto E, ya que ahí es donde se equilibran todas las fuerzas. Estas se muestran a continuación:

**Tabla 2.7** Cargas en sección crítica – elemento DE (Elaboración propia)

Datos de cargas en sección a analizar			
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor
Fuerza normal	F-n	N	15,404
Fuerza cortante	F-c	N	14,079
Momento flector	M <sub>r</sub>	N.m	28,260

Para la columna se decidió utilizar un perfil W, ya que este nos permitirá rigidizar con facilidad en caso sea requerido, además, el chute de descarga va montado en este elemento, por lo que sería más adecuado tener un perfil que permita una sólida unión atornillada.

Debido a que la dimensión máxima de la sección de la viga principal es entre 8 a 9 pulg., se necesitará una sección que tenga una geometría mayor para realizar una

óptima conexión entre estos dos elementos. Se analizaron perfiles W10 tal y como se muestra a continuación:

**Tabla 2.8** Cargas en sección crítica – elemento DE (Elaboración propia)

Análisis de esfuerzos de sección crítica						
Datos de entrada						
Perfil			W10x22	W10x30	W10x45	W10x60
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor			
Área del perfil	$A_{\text{perfil}}$	$\text{in}^2$	6.49	8.84	13.3	17.7
Ancho del peralte	$t_w$	in	0.24	0.3	0.35	0.42
Longitud de peralte	$d$	in	10.2	10.5	10.1	10.2
Longitud de ala	$b_f$	in	5.75	5.81	8.02	10.1
Ancho de ala	$t_f$	in	0.36	0.51	0.62	0.68
Inercia en eje X	$I_x$	$\text{in}^4$	118	170	248	341
Peso de perfil	$W$	lb/ft	22	30	45	60
Análisis						
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor			
Coordenada Y	$y$	mm	129.54	133.35	128.27	129.54
Esfuerzo normal	$\sigma_N$	MPa	3.68	2.70	1.80	1.35
Esfuerzo cortante	$\tau_c$	MPa	0.00	2.47	1.64	1.23
Esfuerzo flector	$\sigma_f$	MPa	74.53	53.26	35.12	25.79
Esfuerzo equivalente (Von Mises)	$\sigma_{\text{eq}}$	MPa	78.21	56.12	37.02	27.22
Factor de Seguridad	FS	-	3.2	4.5	6.8	9.2

Al presentarse cargas altas en algunos componentes de la estructura, habrá que verificar si estos cumplen los criterios de resistencias y estabilidad. En el primer caso, es difícil que este falle, sin embargo, es muy importante comprobar que no falle por criterios de estabilidad o por pandeo.

El pandeo se presenta debido al efecto que tienen los apoyos sobre el elemento analizado. Llega un punto en que este pasa a otro punto de equilibrio y que no puede soportar la carga a la que es sometida. Este cambio viene acompañado de deformaciones elásticas, plásticas e incluso la rotura del elemento. El grado de esbeltez tiene un papel determinante en este análisis, ya que este depende de la longitud efectiva, área e inercia del elemento. **[30]**

$$\lambda = L_p \times \sqrt{\frac{A}{I}} \quad (2-1)$$

En la fórmula (2-1) la cual define el grado de esbeltez, se tendrá que, a mayor longitud del elemento, mayor será la probabilidad de pandeo, además de que será más propenso a este efecto por el plano transversal de menor momento de inercia.

El método de Johnson es propuesto por la AISC como el estándar para las estructuras metálicas, [31] el cual presenta las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_f - K \cdot \lambda^2}{FS} \quad \text{si } \lambda < \lambda_{JE} \quad (2-2)$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\pi^2 E}{FS \cdot \lambda^2} \quad \text{si } \lambda > \lambda_{JE} \quad (2-3)$$

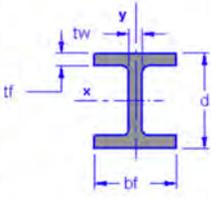
Para acero, el factor de seguridad (FS) está planteado de la siguiente manera:

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3 \cdot \lambda}{8 \lambda_{JE}} - \frac{\lambda^3}{8 \lambda_{JE}^3} \quad \text{si } \lambda < \lambda_{JE} \quad (2-4)$$

$$FS = 1,92 \quad \text{si } \lambda > \lambda_{JE} \quad (2-5)$$

**Tabla 2.9** Análisis de Pandeo en elemento DE (Elaboración propia)

Análisis de pandeo en montante más cargada			
Perfil			W10x30
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor
Longitud	L	mm	2144
		pulg	84.39
Longitud efectiva	Lp	mm	2144
		pulg	84.39
Área	Ap	mm <sup>2</sup>	5703
		pulg <sup>2</sup>	8.84
Inercia en X	Ix	mm <sup>4</sup>	7.08E+07
		pulg <sup>4</sup>	170.00
Inercia en Y	Iy	mm <sup>4</sup>	6.95E+06
		pulg <sup>4</sup>	16.70
Esbeltez en x-x	λx	-	19.2
Esbeltez en y-y	λy	-	61.4
Esbeltez de JE	λje	-	125.7
Carga a comp.	Fef	N	15404
Factor de seguridad	FS	-	2.67
Esfuerzo admisible	σadm	MPa	82.5
Esfuerzo normal	σN	MPa	2.70



En tabla anterior se presentan los datos para el perfil W10x30 que será por consiguiente el seleccionado, ya que da buenos resultados tanto de resistencia como de estabilidad.

El elemento CF, se evalúa como el elemento anterior, ya que presenta una fuerza de compresión. El punto crítico estará en la base del elemento, ya que ahí se concentrará el momento flector máximo.

**Tabla 2.10** Cargas en sección crítica – elemento BE (Elaboración propia)

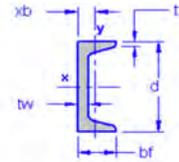
Datos de cargas en sección a analizar			
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor
Fuerza normal	F-n	N	7,380
Fuerza cortante	F-c	N	591
Momento flector	M- $\tau$	N.m	254

**Tabla 2.11** Cargas en sección crítica – elemento BE (Elaboración propia)

Análisis de esfuerzos de sección crítica						
Datos de entrada						
Perfil			C3x3.5	C5x6.7	C6x13	C8x11.5
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor			
Área del perfil	A <sub>perfil</sub>	in <sup>2</sup>	1.09	1.97	3.82	3.37
Distancia del centroide al peralte	X <sub>b</sub>	in	0.443	0.484	0.514	0.572
Ancho del peralte	t <sub>w</sub>	in	0.132	0.19	0.437	0.22
Longitud de peralte	d	in	3	5	6	8
Longitud de ala	b <sub>f</sub>	in	1.37	1.75	2.16	2.26
Ancho de ala	t <sub>f</sub>	in	0.273	0.32	0.343	0.39
Inercia en eje X	I <sub>x</sub>	in <sup>4</sup>	1.57	7.48	17.3	32.5
Análisis						
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor			
Coordenada Y	y	mm	38.1	63.5	76.2	101.6
Esfuerzo normal	$\sigma_N$	MPa	10.49	5.81	2.99	3.39
Esfuerzo cortante	$\tau_c$	MPa	0.84	0.47	0.24	0.27
Esfuerzo flector	$\sigma_f$	MPa	14.809	5.180	2.688	1.908
Esfuerzo equivalente (Von Mises)	$\sigma_{eq}$	MPa	25.345	11.017	5.698	5.323
Factor de Seguridad	FS	-	9.9	22.7	43.9	47.0

**Tabla 2.12** Cargas en sección crítica – elemento CF (Elaboración propia)

Análisis de pandeo en elemento CF			
Perfil			C6X13
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor
Longitud	L	mm	2144
		pulg	84.39
Longitud efectiva	Lp	mm	2144
		pulg	84.39
Área	Ap	mm <sup>2</sup>	2465
		pulg <sup>2</sup>	3.82
Inercia en X	Ix	mm <sup>4</sup>	7.20E+06
		pulg <sup>4</sup>	17.30
Inercia en Y	Iy	mm <sup>4</sup>	4.37E+05
		pulg <sup>4</sup>	1.05
Esbeltez en x-x	$\lambda_x$	-	39.7
Esbeltez en y-y	$\lambda_y$	-	161.0
Esbeltez de JE	$\lambda_{je}$	-	125.7
Carga a comp.	Fef	N	7380
Factor de seguridad	FS	-	1.92
Esfuerzo admisible	$\sigma_{adm}$	MPa	39.7
Esfuerzo normal	$\sigma_N$	MPa	2.99



Se han utilizado en el análisis, perfiles C, es notorio que, por resistencia, ninguno fallará, sin embargo, se debe tener en cuenta que esta será la columna que tendrá contacto directo con el nodo del apoyo de la estructura, por lo que debe de ser lo más confiable y rígido posible. Se utilizará el canal **C6x13**, ya que presenta muy buena resistencia y estabilidad.

Finalmente, se analizó la viga horizontal que tiene como apoyos, las dos ruedas de toda la estructura. Como se observó en la Figura 2.14, esta viga está sometida a las fuerzas ejercidas por los elementos AD, DE y CF. Según el diagrama de fuerzas internas de la viga, la sección crítica es la del primer apoyo, ya que en ese punto es donde se concentra el mayor momento flector. Se tiene, además, la restricción geométrica que nos da el elemento AD, cuyas dimensiones están entre 8 a 9 pulg. de longitud de peralte y entre 2.5 a 4 pulg. de ancho de ala. Por lo que las dimensiones de esta viga tienen que ser parecidas o mayores. Por otra parte, el perfil que se seleccione debe tener una geometría que permita colocar tanto las chumaceras para las ruedas de la estructura, así como las chumaceras de la polea de retorno. Por último, deberá de ser más ancho que la columna que será un W10x30, al revisar la

Tabla 2.10 se verifica que es de 5 pulg. aproximadamente. Con estas premisas, se concluye que el perfil más adecuado sería un perfil W8x24, cuyo ancho de ala es de 6.5 pulg.

Las cargas en la sección crítica, la cual se ubica en el apoyo posterior, son las siguientes:

**Tabla 2.13** Cargas en sección crítica – elemento CF (Elaboración propia)

Datos de cargas en sección a analizar			
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor
Fuerza normal	F-n	N	4,302
Fuerza cortante	F-c	N	2,726
Momento flector	M <sub>τ</sub>	N.m	3,910
Esfuerzo de fluencia (ASTM A36)		MPa	250

**Tabla 2.14** Cargas en sección crítica – elemento CF (Elaboración propia)

Análisis de esfuerzos de sección crítica						
Datos de entrada						
Perfil			W8x24	W8x28	W8x31	W8x35
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor			
Área del perfil	A <sub>perfil</sub>	in <sup>2</sup>	7.08	8.25	9.13	10.3
Ancho del peralte	t <sub>w</sub>	in	0.245	0.285	0.285	0.31
Longitud de peralte	d	in	7.93	8.06	8	8.12
Longitud de ala	b <sub>f</sub>	in	6.5	6.54	8	8.02
Ancho de ala	t <sub>f</sub>	in	0.4	0.465	0.435	0.495
Inercia en eje X	I <sub>x</sub>	in <sup>4</sup>	82.7	98	110	127
Análisis						
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor			
Coordenada Y	y	mm	100.711	102.362	101.6	103.124
Esfuerzo normal	σ <sub>N</sub>	MPa	0.94	0.81	0.73	0.65
Esfuerzo cortante	τ <sub>c</sub>	MPa	0.60	0.51	0.46	0.41
Esfuerzo flector	σ <sub>f</sub>	MPa	11.44	9.81	8.68	7.63
Esfuerzo equivalente (Von Mises)	σ <sub>eq</sub>	MPa	12.42	10.66	9.44	8.31
Factor de Seguridad	FS	-	20.1	23.5	26.5	30.1

Ninguno de los perfiles fallará por resistencia, se selecciona el W8x24, ya que es el más liviano de todo el grupo propuesto. Además, se siguió el mismo procedimiento de la viga principal, descrito líneas arriba, para hallar la deflexión máxima, la cual no supera los 2.3 mm.

$$f_{adm-entre\ apoyos} = \frac{L}{850} = \frac{6.4}{850} = 7.53\ mm$$

$$f_{adm-voladizo} = \frac{L}{350} = \frac{1.6}{350} = 4.57\ mm$$

$$f_{adm} > f_{m\acute{a}x}$$

En resumen, luego del análisis, los perfiles seleccionados cumplen con los criterios tanto de resistencia, deformación y estabilidad, según sea el caso, y se muestran en la Tabla 2.15, Además en la Figura 2.15 se muestra el modelo 3D realizado en el software SolidWorks.

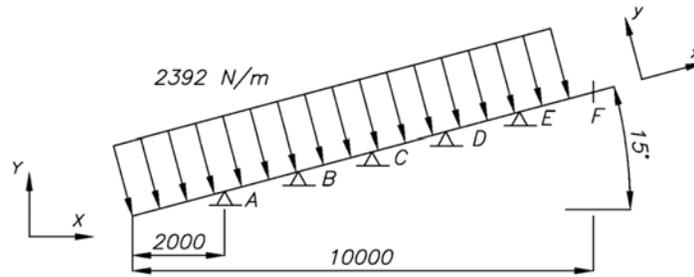
**Tabla 2.15** Cargas en sección crítica – elemento CF (Elaboración propia)

Resumen - Caso Viga Sin Arriostre			
Ítem	Siglas	Denominación	Perfil
1	AD	Viga Principal	W8x21
2	DE	Columna Principal	W10X30
3	CF	Columna Menor	C6X13
4	BE	Viga Horizontal	W8X24



**Figura 2.15** Esquema de estructura sin arriostre de refuerzo (Elaboración propia)

## 2.4.5 Análisis para caso de viga con arriostre inferior (CASO II)



**Figura 2.16** Esquema de viga en caso con arriostre inferior (Elaboración propia)

Para este caso, se siguió el mismo procedimiento para la carga y criterios de resistencia tales como: factor de seguridad, material y deflexión admisible que se utilizó en el caso anterior.

En la figura anterior se puede ver un esquema de la viga principal. En ella se puede ver un apoyo empotrado en el punto F y los demás son fijos. Ante ello, se puede ver que la viga es del tipo hiperestática, por lo que las ecuaciones de equilibrio de estática no serán suficientes. Para este caso nos apoyaremos del método de Hardy Cross, el cual lleva por nombre “Método de análisis del desplazamiento: Distribución de momentos” [32]. En el ANEXO 8 se puede ver la explicación del método y un ejemplo de aplicación.

**Tabla 2.16** Reacciones en los apoyos (Elaboración propia)

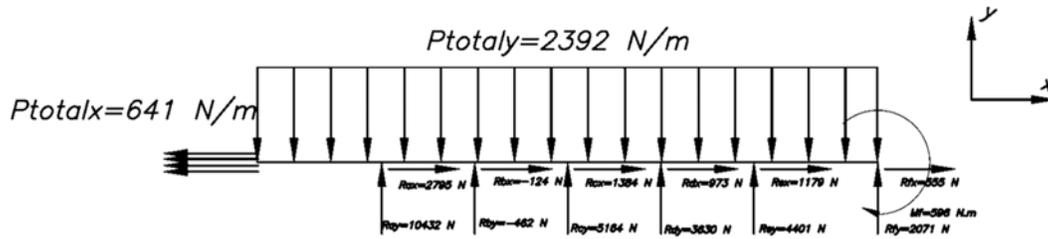
APOYO		Reacciones (N)		
		Reaccion total (Y)	Reaccion total (y)	Reaccion total (x)
A	Ra'	4951,44	10432	2795
	Ra''	5480,46		
B	Rb'	-1509,74	-462	-124
	Rb''	1047,65		
C	Rc'	2923,07	5164	1384
	Rc''	2241,1		
D	Rd'	1729,62	3630	973
	Rd''	1900,12		
E	Re'	2070,6	4401	1179
	Re''	2330,46		
F	Rf	2070,6	2071	555

Cabe señalar, que en cada una de los apoyos también actúa una fuerza axial debido a la carga distribuida de manera axial por acción de carga total. Al igual que en el

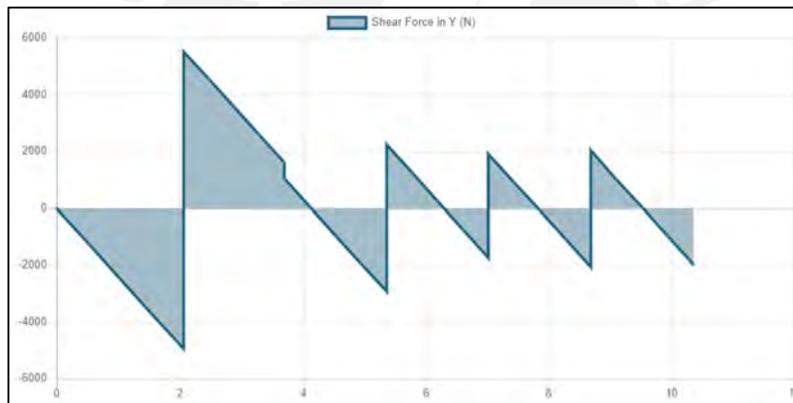
caso de los canales, como se conoce la dirección de la fuerza resultante, se puede conocer la componente en “x”, la cual también se muestra en la Tabla 2.16.

**Diagramas:**

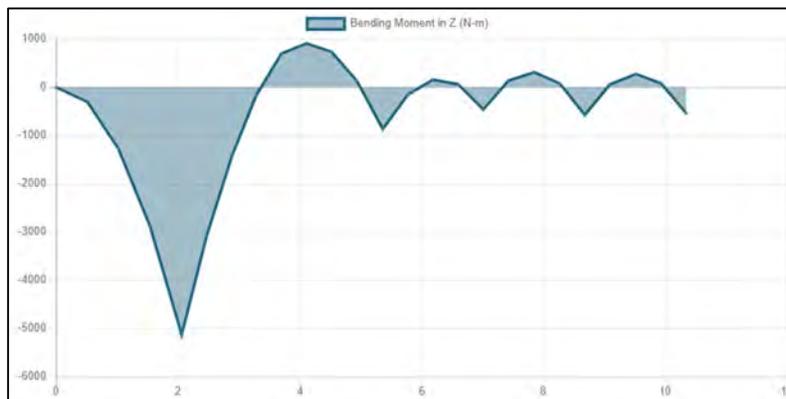
Ahora que se conocen todas las fuerzas actuantes sobre la viga, se puede dibujar un DCL completo y dibujar también los diagramas de fuerzas normales, cortantes y de momento flector.



**Figura 2.17** DCL de la viga (Elaboración propia)



**Figura 2.18** Diagrama de fuerzas cortantes (Elaboración propia)



**Figura 2.19** Diagrama de momentos flectores (Elaboración propia)

Como se puede notar, la sección más crítica será justo la que está en el apoyo A, el cual según la Figura 2.16, se encuentra en el lado izquierdo y se debe a la carga en el voladizo. Es obvio notar, en el diagrama de momentos flectores, y comparando con el diagrama resultante del caso anterior, que este tiene un momento menor, por lo que habrá un esfuerzo también menor. A continuación, se presentan las cargas en la sección a analizar.

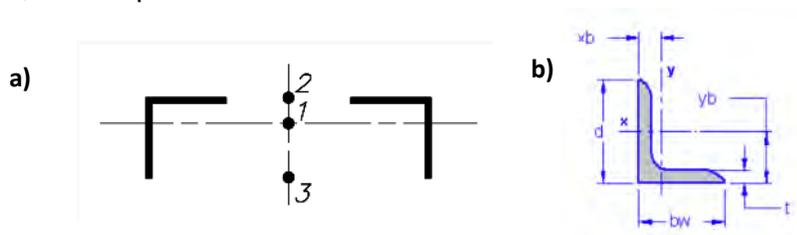
**Tabla 2.17** Datos de cargas en sección a analizar en segundo caso (Elaboración propia)

Datos de cargas en sección a analizar			
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor
Fuerza normal	F-n	N	2,795
Fuerza cortante	F-c	N	5,512
Momento flector	M <sub>r</sub>	N.m	5,125
Esfuerzo de fluencia (ASTM A36)	$\sigma_f$	MPa	250

#### 2.4.5.1 Análisis por resistencia (CASO II)

A diferencia del primer caso, los esfuerzos serán menores debido a la mayor cantidad de apoyos, por lo que será necesario una sección de menor geometría, lo que implica un momento de inercia menor.

Para este caso, se analizarán también perfiles L de alas iguales. Esta sección tendrá el arreglo que se ve en la Figura 2.20. Al igual que en el caso anterior, en la sección se analizó el punto más crítico, que para el caso de los perfiles L, que no son simétricos, será el punto 3.



**Figura 2.20** – a) Puntos a analizar, b) Dimensiones en símbolos (Elaboración propia)

Como en el caso anterior, por las dimensiones del polín CEMA C5, los perfiles a analizar, en este caso de alas iguales, deberán tener una dimensión de ala no menor a 3". Se analizó, entonces desde el perfil L 5x5x5/16 pulg. Cabe resaltar que aquí

también se analizaron perfil C y perfil W. Los datos completos de todos los perfiles analizados se pueden ver en el ANEXO 7

**Tabla 2.18.** Datos de entrada y Análisis de esfuerzos con perfiles L, C y W (Elaboración propia)

Análisis de esfuerzos de sección crítica								
Datos de entrada								
Perfil			L5x5x5/16	L6x6x7/16	C5x9	C6x10.5	W4x13	W5x16
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor					
Área del perfil	$A_{\text{perfil}}$	$\text{in}^2$	3,07	5,08	2,64	3,07	3,83	4,71
Centroide	$X_b=Y_b$	$\text{in}$	0,313	0,438	0,478	0,5	-	-
Ancho del peralte	$t_w$	$\text{in}$	-	-	0,325	0,314	0,28	0,24
Longitud de peralte	$d$	$\text{in}$	-	-	5	6	4,16	5,01
Longitud de ala	$b_f$	$\text{in}$	5	6	1,89	2,03	4,06	5
Ancho de ala	$t_f$	$\text{in}$	1,35	1,65	0,32	0,343	0,345	0,36
Inercia en eje X	$I_x$	$\text{in}^4$	7,44	17,6	8,89	15,1	11,3	21,4
Peso de perfil	$W$	$\text{lb/ft}$	10,3	17,2	9	10,5	13	16
Ancho de viga	$a_{\text{vig}}$	$\text{in}$	55		55		55	
Área de sección	$A_{\text{secc}}$	$\text{in}^2$	6,1	10,2	5,3	6,1	7,7	9,4
Inercia de viga	$I_x$	$\text{in}^4$	14,88	35,2	17,78	30,2	22,6	42,8
Peso total viga	$Wt$	$\text{lb/ft}$	21	34	18	21	26	32
Análisis de esfuerzos de sección crítica								
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor					
Coordenada Y	$y$	$\text{mm}$	92,71	110,49	63,5	76,2	52,832	63,627
Esfuerzo normal	$\sigma_N$	$\text{MPa}$	0,71	0,43	0,82	0,71	0,57	0,46
Esfuerzo cortante	$\tau_c$	$\text{MPa}$	1,39	0,84	1,62	1,39	1,12	0,91
Esfuerzo flector	$\sigma_f$	$\text{MPa}$	76,72	38,65	43,97	31,07	28,78	18,30
Esfuerzo equivalente (Von Mises)	$\sigma_{\text{eq}}$	$\text{MPa}$	77,46	39,10	44,88	31,86	29,41	18,83
Factor de Seguridad	$FS$	-	3.2	6.4	5.6	7.8	8.5	13.3

En la Tabla 2.18, se ve que estas cuatro combinaciones no fallaran por resistencia, sin embargo, hay una desventaja en este tipo de perfil, ya que, si es que lo requiere, es más difícil reforzar a diferencia de los otros tipos, los cuales se puede reforzar fácilmente con una plancha metálica. Esos detalles se verán en los planos de fabricación correspondientes.

En general, los perfiles C muestran un buen resultado al análisis de resistencia, además en comparativa con los perfiles L, tienen un peso menor para una longitud de peralte o ala similar.

### 2.4.5.2 Análisis por deformación (Caso II)

Conocido ahora que la viga principal no fallará por resistencia para ciertos perfiles, se realiza análogamente, el análisis de deformación de los perfiles. Para este caso, es claro, que se analizan más tramos, por el mayor número de apoyos de la viga principal.

- Ecuación de momento flector para  $0 < x < 2,07$ :

$$M_1(x) = -1196 * x^2$$

- Ecuación de momento flector para  $2,07 < x < 3,7$ :

$$M_2(x) = -1196 * x^2 + 10\,463,4 * x - 21659,2$$

- Ecuación de momento flector para  $3,7 < x < 5,36$ :

$$M_3(x) = -1196 * x^2 + 9895 * x - 19556,2$$

- Ecuación de momento flector para  $5,36 < x < 7,02$ :

$$M_4(x) = -1196 * x^2 + 15\,059,4 * x - 47\,237,6$$

- Ecuación de momento flector para  $7,02 < x < 8,68$ :

$$M_5(x) = -1196 * x^2 + 18\,706,1 * x - 72\,836,9$$

- Ecuación de momento flector para  $8,68 < x < 10,35$ :

$$M_6(x) = -1196 * x^2 + 22\,779,4 * x - 108\,193,7$$

Se aplica, entonces, la doble integración de la misma manera que al caso anterior y se obtiene:

- Ecuación de deflexión para  $0 < x < 2,07$ :

$$f_1(x) = \frac{-99,67 * x^4 + 5704 * x - 9977}{E * I}$$

- Ecuación de deflexión para  $2,07 < x < 3,7$ :

$$f_2(x) = \frac{-99,67 * x^4 + 1\,744 * x^3 - 10\,830 * x^2 + 28\,121 * x - 25\,445}{E * I}$$

- Ecuación de deflexión para  $3,7 < x < 5,36$ :

$$f_3(x) = \frac{-99,67 * x^4 + 1\,649 * x^3 - 9\,778 * x^2 + 24\,230 * x - 20\,647}{E * I}$$

Ecuación de deflexión para  $5,36 < x < 7,02$ :

$$f_4(x) = \frac{-99,67 * x^4 + 2\,510 * x^3 - 23\,619 * x^2 + 98\,416 * x - 153\,192}{E * I}$$

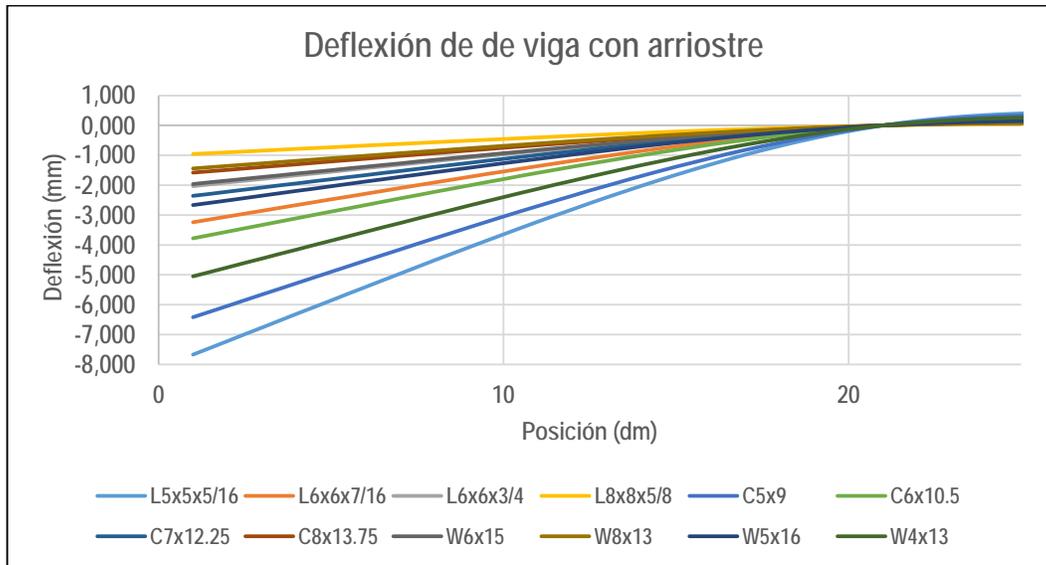
- Ecuación de deflexión para  $7,02 < x < 8,68$ :

$$f_5(x) = \frac{-99,67 * x^4 + 3\,118 * x^3 - 36\,418 * x^2 + 188\,270 * x - 363\,450}{E * I}$$

- Ecuación de deflexión para  $8,68 < x < 10,35$ :

$$f_6(x) = \frac{-99,67 * x^4 + 3\,797 * x^3 - 54\,097 * x^2 + 341\,718 * x - 807\,427}{E * I}$$

Con las ecuaciones respectivas se obtienen la siguiente gráfica para cada perfil:



**Figura 2.21** Deflexión de viga principal para CASO II para distintos perfiles

En la Figura 2.21, se ve solo la parte del empotramiento, ya que como era de esperarse, tuvo la mayor deflexión sobre todo el trazado de la viga.

**Tabla 2.19.** Deflexión máxima en el empotramiento y en el tramo entre apoyos (Elaboración propia)

PERFIL	Deflexión máxima (mm)	
	Tramo	
	$0 < x < 2.07$	$2.07 < x < 3.7$
L5x5x5/16	7,671	0,433
L6x6x7/16	3,243	0,183
L6x6x3/4	2,031	0,115
L8x8x5/8	0,958	0,054
C5x9	6,420	0,362
C6x10.5	3,780	0,213
C7x12.25	2,358	0,133
C8x13.75	1,581	0,089
W4x13	5,051	0,285
W5x16	2,667	0,150
W6x15	1,961	0,111
W8x13	1,441	0,081

En la Tabla 2.19 se ve la máxima deflexión para los perfiles analizados. En el se incluye también la del segundo tramo, para analizar si cumplen las deflexiones admisibles.

El conjunto de puntos se puede ver en el ANEXO 12, de este, y además con la ayuda de la gráfica, se extrajeron los valores máximos en cada tramo y para cada perfil. Al igual que en el caso anterior, se verifica las flechas

$$f_{adm-entre\ apoyos} = \frac{L}{850} = \frac{1.24}{850} = 1.45\ mm$$

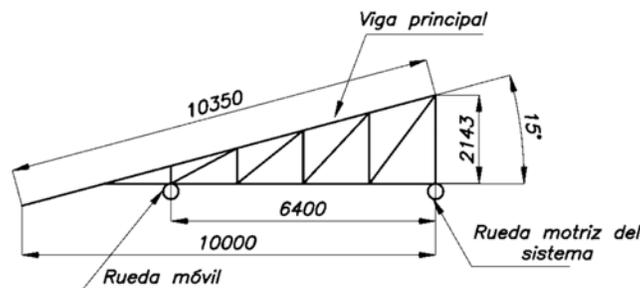
$$f_{adm-voladizo} = \frac{L}{350} = \frac{2.07}{350} = 5.91\ mm$$

$$f_{adm} > f_{m\acute{a}x}$$

Los valores máximos de deflexión entre apoyos, para cualquier viga, no fue más que el 30% de la deflexión admisible. Por el lado de los perfiles L, se tomaría el **L6x6x7/16** o **L6x6x3/4**, ya que los demás o fallarían por deformación o están sobredimensionados por resistencia. Para el caso de las vigas C, las vigas **C6x10.5** y **C7x12.25** y para el caso de los perfiles W, las vigas **W5x16**, **W6x15** y **W8x13** cumplirán el requerimiento sin problema.

Finalmente, se selecciona el perfil **W5x16**, ya que presenta una buena resistencia y además está entre los valores permisibles a la deflexión.

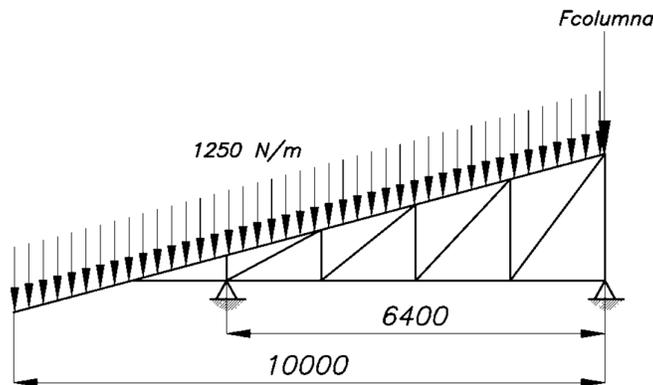
### 2.4.5.3 Diseño y análisis de miembros restantes (CASO II)



**Figura 2.22** Estructura Tripper – Con arrioste inferior (Elaboración propia)

En el caso anterior, el cálculo de los miembros restantes de la estructura, fue relativamente sencillo, ya que eran 4 elementos a calcular. En este caso, se presentan muchos más, por lo que se debe simplificar el cálculo de alguna manera.

Para simplificar el cálculo de esta estructura, se idealizará como una armadura y dos apoyos fijos.



**Figura 2.23** Esquema de estructura con arriostre de reforzamiento (Elaboración propia)

Para este cálculo se tomaron las siguientes consideraciones y simplificaciones:

- Todas las cargas son aplicadas en los nodos
- No se toma en cuenta el peso de la polea de retorno, ya que esta estaría ubicada fuera de un nodo, la verificación se da luego en otro análisis.
- La fuerza ejercida sobre la columna principal será debido al total de la tensión y peso de la polea de descarga, así como el peso del chute de transferencia.
- No se toma en cuenta la fuerza ejercida por la plataforma de inspección
- Todos los nodos están unidos de tal manera que no transmitan momentos internos, lo que conlleva a que cada elemento tenga una fuerza axial, ya sea de tracción o de compresión.
- Se elimina en el voladizo y en el nodo se coloca solo la fuerza resultante de esta. No se considera el momento generado, ya que el nodo será articulado.
- Se asume que los soportes de la estructura, la cual serán 4 ruedas (dos en cada lado) son fijos.

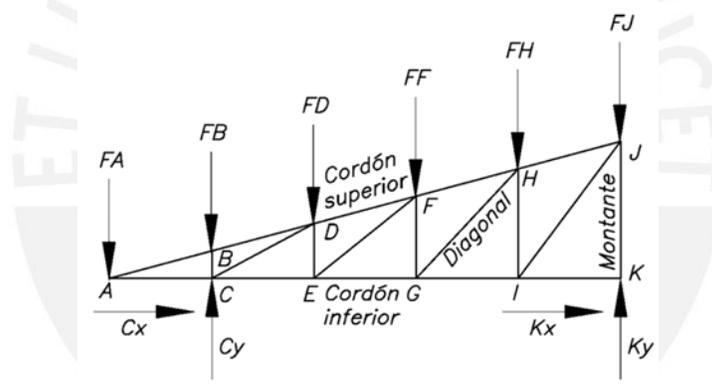
El análisis se hace sobre un reticulado del tipo Howe, el cual es muy utilizado para cerchas y estructuras metálicas de forma triangular. En particular se utiliza en este trabajo, ya que se conoce que la polea de descarga y el chute estarán ubicados en el nodo J, por lo que es muy necesario reforzar dicha zona.

Para el análisis se utilizó el método de los nudos sobre la estructura, se traslada toda la carga distribuida sobre los nodos superiores, la cual consiste en ubicar una

proporción en los nodos interiores que sería la carga distribuida multiplicado por la zona de influencia que es la mitad de la longitud de cada cordón superior, mientras que en los nodos exteriores sería la mitad de los nodos interiores. Esto por el lado de la carga distribuida, que, además, es la misma utilizada en el caso anterior (1250 N/m), aparte se debe de tomar en cuenta las cargas que se consideran puntales como las tensiones en la polea de descarga y el peso del chute y limpiador.

En la Figura 2.24, se muestra la estructura idealizada a una armadura y de que elementos consiste:

- Cordón superior
- Cordón inferior
- Montante
- Diagonal



**Figura 2.24** DCL de estructura tipo armadura con sus elementos (Elaboración propia)

Ahora, teniendo los datos de las cargas y cómo distribuir las, se llegó a que las fuerzas en los nodos serían las siguientes:

**Tabla 2.20** Fuerzas en nodos (Elaboración propia)

Fuerzas en nodos			
Nodo	Posición (m)	Unidades	
		kg	N
A	0	369	3623
B	1.6	211	2071
D	3.2	211	2071
F	4.8	211	2071
H	6.4	211	2071
J	8	1029	10095
Total		2243	22001

Conocidos las fuerzas en los nodos, se puede aplicar el método de los nodos en cada uno de ellos y finalmente conocer las reacciones y las fuerzas en cada uno de los elementos que compone la estructura. Los resultados se presentan en las siguientes tablas.

**Tabla 2.21** Reacciones (Elaboración propia)

Reacciones			
Nodo	Posición (m)	Unidades	
		kg	N
RCx	1.6	1346	13201
RKx	8	69	678
RCy	1.6	1463	14353
RKy	8	780	7648

**Tabla 2.22** Fuerzas en cada elemento (Elaboración propia)

Fuerzas axiales en los elementos				
Elemento		Unidades		Compresión o Tracción
		kg	N	
<b>FAB</b>	Cordón superior	1427	14002	Tracción
<b>FBD</b>	Cordón superior	1427	14002	Tracción
<b>FDf</b>	Cordón superior	991	9724	Compresión
<b>FFH</b>	Cordón superior	1526	14969	Compresión
<b>FHJ</b>	Cordón superior	1589	15591	Compresión
<b>FAC</b>	Cordón inferior	1379	13525	Compresión
<b>FCE</b>	Cordón inferior	388	3803	Compresión
<b>FEG</b>	Cordón inferior	129	1262	Tracción
<b>FGI</b>	Cordón inferior	190	1863	Tracción
<b>FIK</b>	Cordón inferior	69	678	Tracción
<b>FBC</b>	Montante	211	2071	Compresión
<b>FDE</b>	Montante	415	4072	Tracción
<b>FFG</b>	Montante	66	644	Tracción
<b>FHI</b>	Montante	162	1587	Compresión
<b>FJK</b>	Montante	780	7647	Compresión
<b>FCD</b>	Diagonal	2651	26003	Compresión
<b>FEF</b>	Diagonal	663	6500	Compresión
<b>FGH</b>	Diagonal	90	881	Compresión
<b>FIJ</b>	Diagonal	202	1980	Tracción

Para los cordones superiores, que en conjunto serían la viga principal, ya se tiene un resultado de perfil a utilizar, el cual fue el **W5x16**. Para los cordones inferiores, en conjunto sería la viga horizontal. En la Tabla 2.25 se observa que el elemento más cargado sería el FHJ. Este se analizará y se determinará la sección adecuada. Tanto los montantes como las diagonales, pueden tener la misma sección para que la empresa que la deba fabricar solo tenga que adquirir un solo tipo perfil, sin embargo,

esto quedará en criterio del diseñador. Se tomó como referencia las mismas restricciones geométricas que en el caso anterior.

- **Diagonales y montantes**

Según la Tabla 2.22, la mayor carga del conjunto la tiene la diagonal FCD, que está sometida a una fuerza de compresión de 26 000 N. Al ser solo una carga axial, es poco probable que el perfil que se seleccione falle por resistencia, sin embargo, es necesario revisar si el perfil cumplirá el criterio de estabilidad por pandeo. Definidos los conceptos para el análisis en el ápice 2.4.4, se realizó el análisis. Se tienen en cuenta que, para este caso, se hace la inserción de los perfiles cuadrados HSS, ya que, en este caso al ir soldados entra la viga principal y horizontal, no recibirá otra carga más.

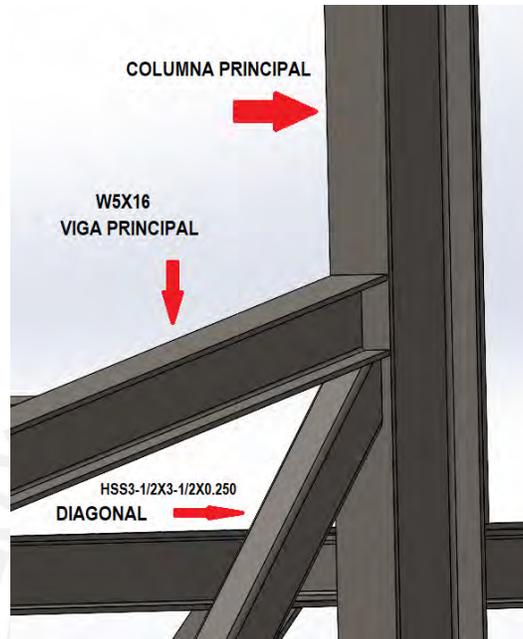
**Tabla 2.23** Análisis de pandeo en montante y diagonal (Elaboración propia)

Análisis de pandeo en montante más cargada					
Perfil			HSS3-1/2X3-1/2X.250	W5x16	C5x9
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor		
Longitud	L	mm	1815	1815	1815
		pulg	71.47	71.47	71.47
Longitud efectiva	Lp	mm	1815	1815	1815
		pulg	71.47	71.47	71.47
Área	Ap	mm <sup>2</sup>	1877	3039	1703
		pulg <sup>2</sup>	2.91	4.71	2.64
Inercia en X	Ix	mm <sup>4</sup>	2.10E+06	8.91E+06	3.70E+06
		pulg <sup>4</sup>	5.04	21.4	8.89
Peso de perfil	W	lb/ft	10.51	16	9
Inercia en Y	Iy	mm <sup>4</sup>	2.10E+06	3.13E+06	2.60E+05
		pulg <sup>4</sup>	5.04	7.51	0.624
Esbeltez en x-x	$\lambda_x$	-	54.3	33.5	38.9
Esbeltez en y-y	$\lambda_y$	-	54.3	56.6	147.0
Esbeltez de JE	$\lambda_{je}$	-	125.7	125.7	125.7
Carga a comp.	Fef	N	26003	26003	26003
Factor de seguridad	FS	-	2.65	2.66	1.92
Esfuerzo admisible	$\sigma_{adm}$	MPa	85.5	84.5	47.6
Esfuerzo normal	$\sigma_N$	MPa	13.85	8.56	15.27

Se hizo un análisis comparativo de los tres perfiles, donde se observa que, debido al momento de inercia en el eje y del perfil W y C, el grado de esbeltez en ese plano llega a ser mucho mayor en comparativa con el perfil HSS. Además, este tiene comparativamente un peso menor. Por lo tanto, se seleccionan el perfil **HSS3-1/2X3-1/2X.250** tanto para las diagonales como para los montantes.

- **Columna principal**

Al igual que en el caso de viga sin arriostre, la columna principal presenta una restricción geométrica debido a la geometría de la viga principal.



**Figura 2.25** Columna principal a dimensionar (Elaboración propia)

Ante las cargas presentadas por la armadura, el elemento tendrá una carga axial menor a la de algunas diagonales, por lo que puede parecer sobredimensionado el perfil que se seleccione, sin embargo, es una restricción geométrica que la columna tenga un ancho de perfil mayor al de la viga principal, por lo que el criterio principal de selección sería geométrico, por encima del de resistencia o de estabilidad en este caso.

Se seleccionaron para este análisis, los perfiles W8, ya que como se puede ver en la Tabla 2.24, el ancho de perfil o longitud de ala es mayor al de la viga principal. Además de la comparativa entre esfuerzos, el esfuerzo normal es solo 2.4% en comparación al esfuerzo admisible al pandeo. La única diferencia serían los pesos cada uno de ellos. Se selecciona el perfil **W8x24**, ya que tiene el mayor ancho de los analizados.

**Tabla 2.24** Análisis de pandeo en montante y diagonal (Elaboración propia)

Análisis de pandeo en montante más cargada					
Perfil			W8x18	W8X21	W8x24
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor	Valor	Valor
Longitud de ala	$b_f$	in	5.25	5.27	6.5
Longitud	L	mm	2144	2145	2146
		pulg	84.39	84.43	84.47
Longitud efectiva	$L_p$	mm	2144	2145	2146
		pulg	84.39	84.43	84.47
Área	$A_p$	mm <sup>2</sup>	3394	3974	4568
		pulg <sup>2</sup>	5.26	6.16	7.08
Inercia en X	$I_x$	mm <sup>4</sup>	2.58E+07	3.13E+07	3.44E+07
		pulg <sup>4</sup>	61.90	75.30	82.70
Inercia en Y	$I_y$	mm <sup>4</sup>	3.32E+06	4.07E+06	7.62E+06
		pulg <sup>4</sup>	7.97	9.77	18.30
Esbeltez en x-x	$\lambda_x$	-	24.6	24.1	24.7
Esbeltez en y-y	$\lambda_y$	-	68.6	67.0	52.5
Esbeltez de JE	$\lambda_{je}$	-	125.7	125.7	125.7
Carga a comp.	$F_{ef}$	N	7647	7647	7647
Factor de seguridad	FS	-	2.68	2.68	2.65
Esfuerzo admisible	$\sigma_{adm}$	MPa	<b>79.3</b>	<b>80.0</b>	<b>86.2</b>
Esfuerzo normal	$\sigma_N$	MPa	<b>2.25</b>	<b>1.92</b>	<b>1.67</b>

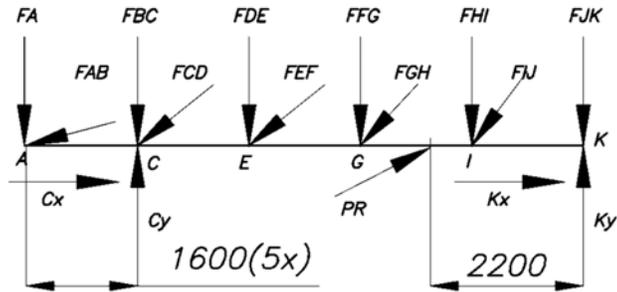
- **Viga Horizontal**

Por último, se presenta el análisis de la viga horizontal. Para este caso en particular, se analizará como una viga independiente, es decir, se trasladarán todas las fuerzas debido a los montantes, las diagonales, la viga principal, la columna y se agregará la fuerza resultante debido a la tensión y al peso en la polea de retorno.



**Figura 2.26** Viga horizontal conectada con columna (Elaboración propia)

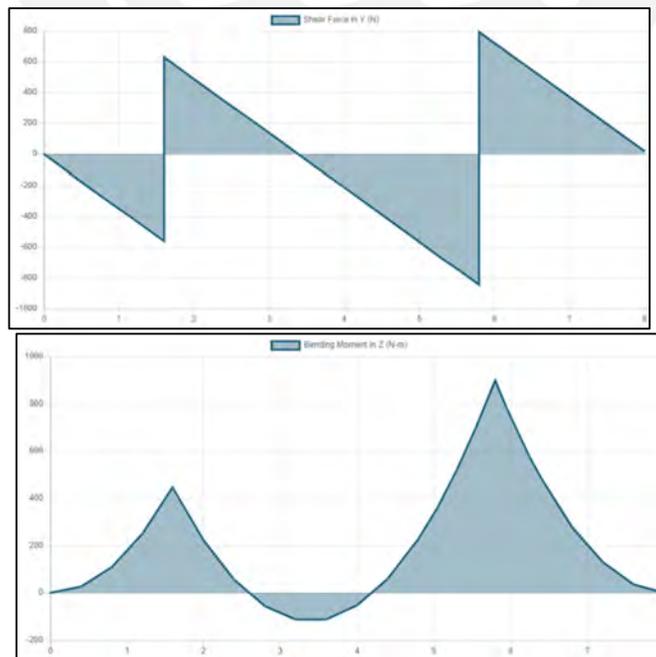
Se aisló la viga, considerando los mismos apoyos fijos en los nodos C y K, para luego, realizar el DCL y resolver la viga. En la Figura 2.27 se ve el DCL.



*PR: Resultante de tensiones y peso de polea de retorno*  
*Fij: Fuerza axial en cada montante, diagonal o cordón superior*

**Figura 2.27** DCL de viga principal (Elaboración propia)

En la figura se aprecian todas las cargas que actúan sobre ella, las cuales son el resultado de las fuerzas axiales de los distintos elementos de la armadura, y la fuerza resultante de la polea de retorno. Con la viga calculada, se tienen los diagramas principales para el análisis de la sección crítica del elemento AK, y su diagrama de fuerza cortantes y momento flector. En ellos se aprecia que se deben analizar dos secciones localizadas en el nodo C y en el punto de acción de la fuerza resultante de la polea de retorno.



**Figura 2.28** Diagrama de momentos flectores, viga principal (Elaboración propia)

En la Tabla 2.25 se muestran las fuerzas actuantes en las secciones críticas. Como en el análisis de los demás elementos, puede haber restricciones geométricas. Como la columna ya analizada es un perfil **W8x24**. Se puede asumir el mismo perfil para el análisis estático y de deformación.

**Tabla 2.25** Cargas sobre sección crítica de viga principal (Elaboración propia)

Datos de cargas en sección a analizar				
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor 1	Valor 2
Fuerza normal	F-n	N	13,525	7,172
Fuerza cortante	F-c	N	561	795
Momento flector	M-r	N.m	449	900
Esfuerzo de fluencia (ASTM A36)	$\sigma_f$	MPa	250	
Esfuerzo admisible	$\sigma_{adm}$	MPa	125	

**Tabla 2.26** Análisis de viga principal (Elaboración propia)

Análisis de esfuerzos de sección crítica				
Datos de entrada				
Perfil			W8x24	W8x24
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor 1	Valor 2
Área del perfil	A <sub>perfil</sub>	in <sup>2</sup>	7.08	7.08
Ancho del peralte	t <sub>w</sub>	in	0.245	0.245
Longitud de peralte	d	in	7.93	7.93
Longitud de ala	b <sub>f</sub>	in	6.5	6.5
Ancho de ala	t <sub>f</sub>	in	0.4	0.4
Inercia en eje X	I <sub>x</sub>	in <sup>4</sup>	82.7	82.7
Peso de perfil	W	lb/ft	24	24
Análisis				
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor 1	Valor 2
Coordenada Y	y	mm	100.711	100.711
Esfuerzo normal	$\sigma_N$	MPa	2.96	1.57
Esfuerzo cortante	$\tau_c$	MPa	0.00	0.00
Esfuerzo flector	$\sigma_f$	MPa	1.31	2.63
Esfuerzo equivalente (Von Mises)	$\sigma_{eq}$	MPa	4.27	4.20

Según el análisis de deformación, la flecha máxima sería de 0.162 mm en el voladizo y de 0.21 mm entre apoyos, que, según las expresiones mostradas, están muy por debajo de lo admisible.

$$f_{adm-entre\ apoyos} = \frac{L}{850} = \frac{6.40}{850} = 7.53\ mm; f_{adm-voladizo} = \frac{L}{350} = \frac{2}{350} = 5.71\ mm$$

$$f_{adm} > f_{m\acute{a}x}$$

**Tabla 2.27** Resumen de perfiles de CASO II (Elaboración propia)

Resumen - Caso Viga Con Arriostre			
Ítem	Denominación	Siglas	Perfil
1	Viga Principal	A'J	W5X16
2	Columna Principal	JK	W8X24
3	Viga Horizontal	AK	W8X24
4	Montante	BC	HSS3-1/2X3-1/2X0.250
5	Montante	DE	HSS3-1/2X3-1/2X0.250
6	Montante	FG	HSS3-1/2X3-1/2X0.250
7	Montante	HI	HSS3-1/2X3-1/2X0.250
8	Diagonal	CD	HSS3-1/2X3-1/2X0.250
9	Diagonal	EF	HSS3-1/2X3-1/2X0.250
10	Diagonal	GH	HSS3-1/2X3-1/2X0.250
11	Diagonal	IJ	HSS3-1/2X3-1/2X0.250

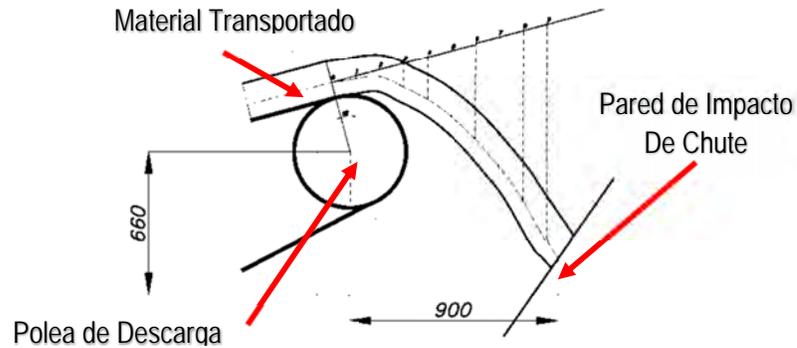


**Figura 2.29** Estructura Trippler con Arriostre Inferior (Elaboración propia)

## 2.5 Diseño de chute de descarga

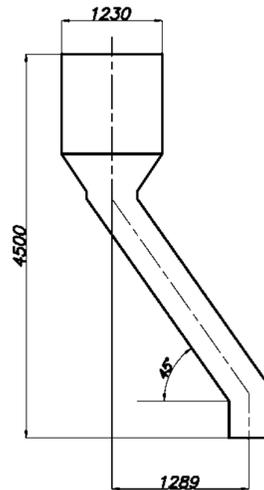
El chute de descarga es el elemento que permite al *Trippler* descargar el material transportado de la faja transportadora. Este dependerá del patrón de la trayectoria que tendrá el material una vez deje la polea de descarga, así como de varios factores el determinar este patrón. En el ANEXO 13, se encuentra desarrollado este punto. Según las condiciones de trabajo del *Trippler*, tales como la velocidad de la faja, la capacidad de la faja, el material que este transportando, determinan esta condición. Se dio un diseño básico del chute de descarga, con tal de cumplir el criterio de volumen descargado en un cierto tiempo, y que el material no quede estancado debido al ángulo de reposo del material crítico, que para este caso sería el yeso, tal y como se ve en la Tabla 1.1. El ángulo para este material y los demás, varía entre 30

y 40°. Se dio un ángulo de 45° para garantizar que el material fluya sin ningún problema sobre la parte inclinada del componente. En la Figura 2.30 se puede observar la trayectoria calculada del material, con esto se puede dar dimensiones iniciales al componente, el cual se aprecia en la Figura 2.31.



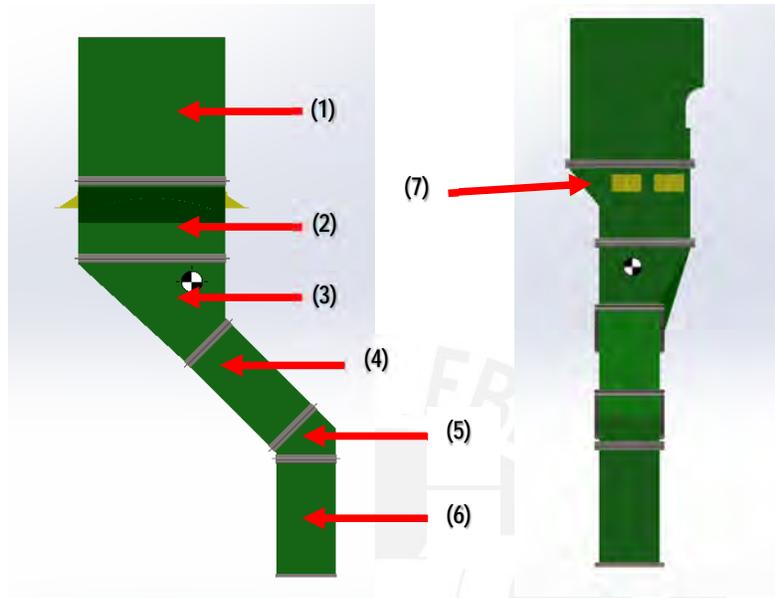
**Figura 2.30** Esquema y medidas referenciales de la descarga del material hacia el chute (Elaboración propia)

Es importante resaltar, que este equipo presenta una geometría con un centro de masa desviado lateralmente. Esto debido a que los silos solo tienen un punto de entrada de material, y este se encuentra a un lado de la faja principal. Por ende, el chute tendría una geometría desviada hacia una lateral y tendría las siguientes dimensiones básicas:



**Figura 2.31** Esquema del chute de descarga (Elaboración propia)

El chute se diseña por módulos, ya que así sería más fácil su ensamblaje en la estructura principal y también entre estas. Para este caso, las partes son como se muestran en la Figura 2.32:



**Figura 2.32** Partes del chute de descarga (Elaboración propia)

**Tabla 2.28** Partes del chute de descarga según Figura anterior (Elaboración propia)

Partes del chute de descarga					
Item	Denominación	Material	Descripción	Espesor de Plancha	Unidades
1	Caja Superior	ASTM-A36	Elemento superior que cubrirá la polea de descarga. Este no recibirá carga alguna más que su propio	0.1345	pulg
				3.42	mm
2	Caja Intermedia	ASTM-A36	Elemento que recibirá el primer impacto del material, por lo que necesitará un plancha antidesgaste, además, en esta caja estarán acoplados los soportes del chute	0.38	pulg
				9.53	mm
3	Caja de Transición	ASTM-A36	Elemento que redirigirá el material hacia una lateral de manera diagonal	0.2500	pulg
				6.35	mm
4	Caja Diagonal	ASTM-A36	Elemento continuación de caja de transición	0.2500	pulg
				6.35	mm
5	Caja menor de Transición	ASTM-A36	Elemento de cambio de dirección de diagonal a vertical	0.2500	pulg
				6.35	mm
6	Caja Vertical Inferior	ASTM-A36	Último elemento hacia los silos de almacenamiento	0.2500	pulg
				6.35	mm
7	Soporte de Chute	ASTM-A36	Elemento de conexión entre el chute y la estructura principal	1.0000	pulg
				25.40	mm

Para determinar los espesores de plancha indicados, se utilizó la referencia para elevadores de cangilones, ya que detallan el uso de planchas metálicas para cada región de la descarga del material.

### 2.5.1 Análisis estructural de chute de descarga

Con la ayuda del software 3D SolidWorks, se dibujó y modeló el chute con las dimensiones principales y las partes indicadas en la tabla anterior (Tabla 2.32). Todos los elementos están unidos a un marco estructural de perfiles angulares de lados iguales “L1.5x0.1875”. Los soportes que se ven en color amarillo estarán acoplados a la estructura metálica mediante una unión atornillada, por lo que es importante conocer las fuerzas de reacción.

#### 2.5.1.1 Cargas sobre chute de descarga

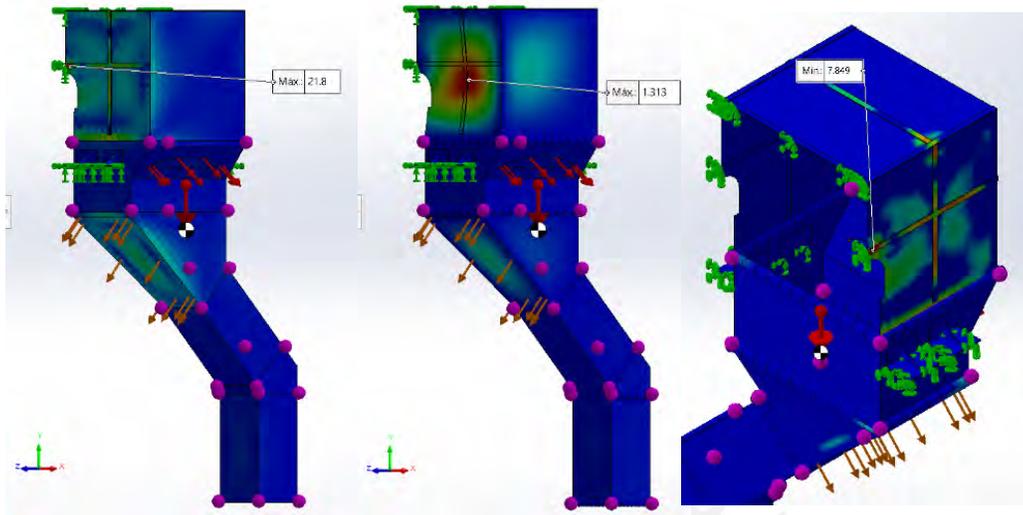
Las cargas actuantes sobre el chute de descarga se presentan en la Tabla 2.29, así como su descripción.

**Tabla 2.29** Cargas sobre el chute de descarga (Elaboración propia)

Cargas sobre el chute					
Item	Denominación	Simbolo	Descripción	Valor	Unidades
1	Peso propio	$W_{chute}$	Resultante del modelado final	835	kg
				8191	N
2	Fuerza sobre caja intermedia	$P_{int}$	Al ser la capacidad de 600 tn/h, el equivalente sería de 167 kg/s, al calcular el recorrido del material, se asumió 1/20 de un segundo para dibujar la trayectoria, por lo que esta fracción de material impactará sobre el chute	109,9	kg/m <sup>2</sup>
				1078,4	N/m <sup>2</sup>
3	Fuerza sobre caja de transición	$P_{ctran}$	Luego del primer impacto, el área de impacto aumentará, pero la velocidad crecerá, se asume un valor triplicado para el análisis	329,8	kg/m <sup>2</sup>
				3235,1	N/m <sup>2</sup>
4	Fuerza del viento	$P_{viento}$	Según la norma ISO 5049-1, para una altura de entre 2 a 20 m, se debe de evaluar la estructura y componentes a una presión de 800 N/m <sup>2</sup> en el escenario más desfavorable [32]	81,5	kg/m <sup>2</sup>
				800,0	N/m <sup>2</sup>

Como indica la tabla anterior, la situación más desfavorable, será cuando el equipo está en plena operación y la velocidad del viento tomada por la normativa correspondiente está al máximo. La figura anterior muestra que el chute tendrá un factor de seguridad FS mínimo de 7.85 que se encontrará en la caja superior. Esto

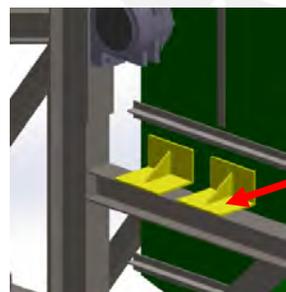
quiere decir que los sectores críticos del chute como la caja donde se presenta el impacto tendrán un factor menor.



**Figura 2.33** Análisis del chute de descarga (Elaboración propia)

### 2.5.2 Cálculo de unión atornillada entre el chute y la estructura principal

Las uniones atornilladas estarán entre el soporte del chute y la estructura que soporta la plataforma. Se determinó que el caso para el cual los tornillos están más solicitados es cuando la fuerza del viento está en el otro sentido al que se analizó en el caso anterior, que, según el sistema de coordenadas de la imagen anterior, era en Z negativo.



Unión entre soporte y estructura

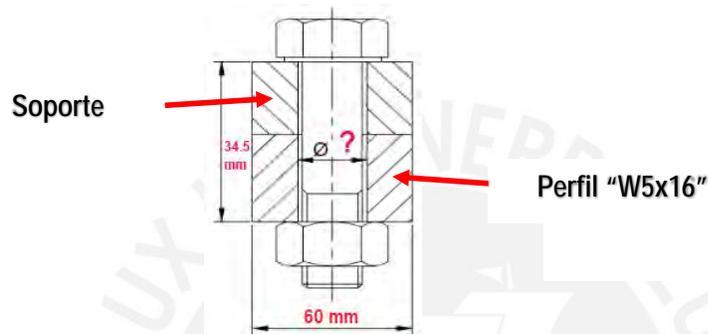
**Figura 2.34** Unión entre chute y estructura (Elaboración propia)

El tornillo tendrá dos estados de carga en este caso:

- Tornillo a tensión inicial: Debido al montaje, las placas se comprimen debido al torque de apriete y el tornillo se tensiona.

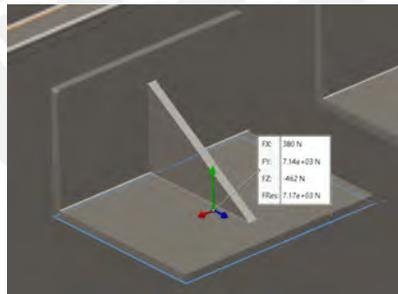
- Tornillo a tensión variable: Luego del montaje, el equipo entra en operación en primer lugar con la carga estática del peso del chute para luego agregar la carga variable del material circulante.

Cada soporte contará con dos tornillos, por lo que se debe de calcular la unión atornillada del soporte más cargado. Para este caso, los tornillos tendrán una fuerza de tensión debido a la carga externa variable. Esto se evaluará según la VDI 2230 [34]. Las dimensiones principales se muestran en la siguiente figura:



**Figura 2.35** Esquema de unión atornillada (Elaboración propia)

Del análisis anterior, se determinó el soporte más cargado y la carga externa. La fuerza tendría un valor de **7145 N**. como valor de fuerza externa superior, y la inferior como resultante del peso del chute que asciende a **4520 N**.



**Figura 2.36** Soporte de Chute (Elaboración propia)

Al realizar el análisis para el montaje, se tomó una clase que sea confiable para el montaje. Se escogió la clase **5.8** y se analizaron los tornillos desde el modelo M6 hasta el modelo M20. Los datos de montaje se tomaron de la tabla que se muestra en el ANEXO 14, para luego calcular los esfuerzos sobre el tornillo y además cuando hay esfuerzo alternante. Estos cálculos se muestran en el ANEXO 15, se escoge entonces un tornillo **M16 x 60, DIN 931, 5.8**.

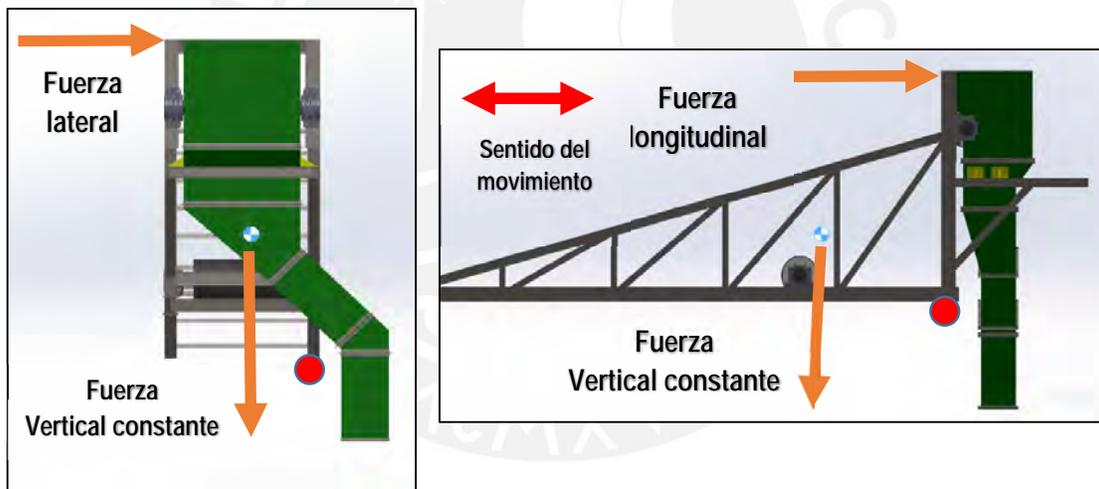
## 2.6 Evaluación de volcadura de estructura

Según la norma ISO 5049-1:1994, es importante analizar el posible vuelco de la estructura para el estado de operación que pueda presentar esta condición, estas son las siguientes:

- **Volcadura lateral:** Esto debido a las fuerzas laterales que se puedan presentar sobre el equipo.
- **Volcadura longitudinal:** Esto debido a las fuerzas en dirección longitudinal además del frenado del equipo cuando se mueve hacia otro silo.

El punto rojo mostrado en las figuras siguientes, representa el eje por donde la estructura tenderá a volcarse. La norma antes mencionada precisa la ecuación para la evaluación de esta condición [35]:

$$v_k = \frac{M_s}{M_k} = 1,5 \quad (2-1)$$



**Figura 2.37** Volcadura Lateral (Izq.) y Volcadura Longitudinal (Der.) (Elaboración propia)

Donde  $v_k$  es el cociente entre el momento estabilizador ( $M_s$ ) debido a las fuerzas constantes sobre la estructura, y el momento de volcadura ( $M_k$ ) resultante por las fuerzas variables actuantes.

Se evaluó, entonces, para dos casos dentro de los ya conocidos, estos son considerando si hay material circulando o si es que no lo hay. En total, se tuvieron cuatro casos para cada alternativa de estructura. Se destaca que, para la fuerza del frenado en el caso de volcadura longitudinal, se utilizó la siguiente expresión del autor Nonnast y, por otra parte, el equipo estará localizado a 13 m sobre el nivel del suelo.

La misma norma antes mencionada, da la velocidad de 130 km/h para la evaluación.

[36][37]

$$F_{\text{viento}} = \frac{V^2_{\text{viento}}}{16} \quad (2-2)$$

$$F_{\text{acc}} = \frac{M_{\text{Tripper}}}{7} \quad (2-3)$$

**Tabla 2.30** Análisis de volcadura (Elaboración propia)

Verificación de volcadura										
Datos										
Descripción	Símbolo	Verificación en dirección lateral				Verificación en dirección longitudinal				Unidades
		Con Material		Sin Material		Con Material		Sin Material		
		CASO I	CASO II	CASO I	CASO II	CASO I	CASO II	CASO I	CASO II	
Masa y peso de estructura + componentes	M <sub>Tripper</sub>	4677	4626	3865	3814	4677	4626	3865	3814	kg
		45886	45386	37917	37417	45886	45386	37917	37417	N
Velocidad del viento	V <sub>viento</sub>	130		130		130		130		km/h
		36		36		36		36		m/s
Presión del viento	P <sub>viento</sub>	82		82		82		82		kg/m <sup>2</sup>
		800		800		800		800		N/m <sup>2</sup>
Área de acción del viento	A <sub>viento1</sub>	8,594	8,258	8,594	8,258	16,540	16,540	16,540	16,540	m <sup>2</sup>
Fuerza del viento	F <sub>viento</sub>	6871	6602	6871	6602	13224	13224	13224	13224	N
Fuerza de frenado	F <sub>acc</sub>	-	-	-	-	6555	6484	5417	5345	N
Distancia entre apoyos	D <sub>apoyos</sub>	1500	1500	1500	1500	6400	6400	6400	6400	mm
		1,5	1,5	1,5	1,5	6,4	6,4	6,4	6,4	m
Distancia vertical	D <sub>vertical</sub>	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	mm
		3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	m
Desviación de centro de masa	D <sub>desv</sub>	110,00	92,30	110,00	92,30	1822	1822	1822	1822	mm
		0,11	0,09	0,11	0,09	1,82	1,82	1,82	1,82	m
Momento estabilizador de fuerza constante	M <sub>tm</sub>	14920	14969	6885	6920	68090	67997	23330	23237	kg.m
		146366	146849	67546	67888	667964	667052	228864	227952	N.m
Momento de vuelco	M <sub>tm</sub>	2269	2171	2548	2450	7611	7585	6803	6777	kg.m
		22263	21296	24999	24032	74667	74410	66738	66481	N.m
Ratio de vuelco	V <sub>k</sub>	6,57	6,90	2,70	2,82	8,95	8,96	3,43	3,43	-
Ratio de seguridad	V <sub>kseg</sub>	1,5								-

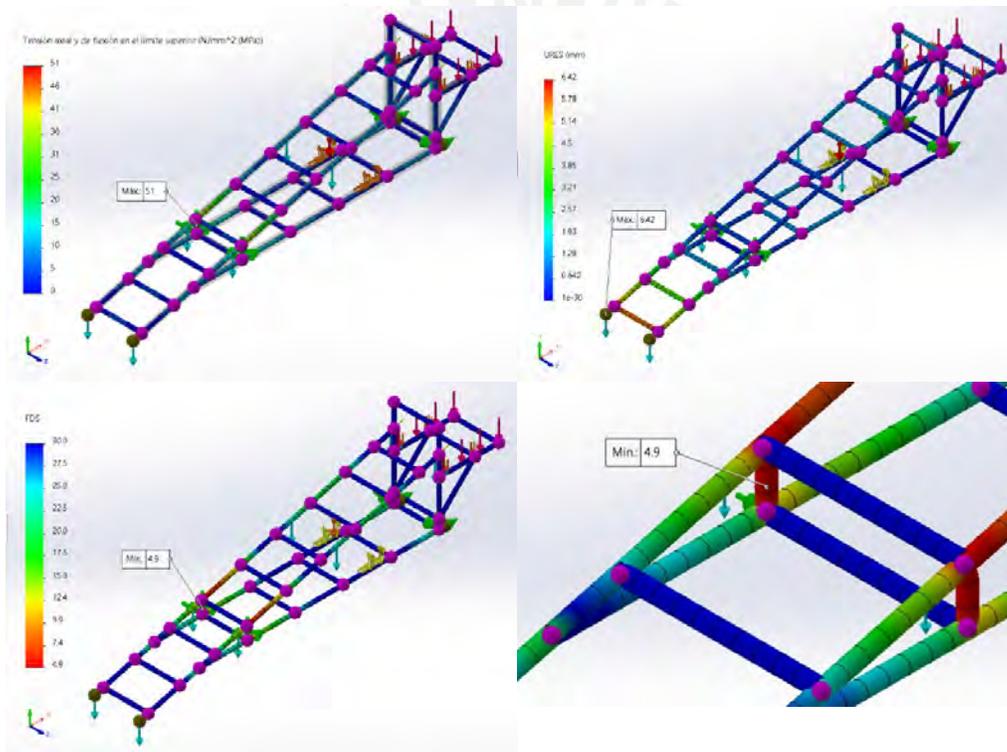
Según la evaluación realizada, el CASO II, que pertenece a la estructura con arriostre inferior, es ligeramente más confiable ante la volcadura en comparación con el CASO I. Cabe destacar que es poco probable que el caso de volcadura longitudinal con material circulante se dé, ya que la fuerza de frenado, solo se dará cuando la faja está vacía. Esta es una condición de operación, pero se agrega para analizar el fenómeno en caso ocurra.

## 2.7 Verificación computacional y descarte de alternativa

Hasta este punto del presente trabajo, ambas estructuras han mostrado buenos resultados ante los análisis de esfuerzos, deformaciones, estabilidad y volcadura. En este ápice se realizó una comparación computacional mediante el software Solidworks, en el que permitirá comparar ambas estructuras.

### 2.7.1 Verificación del CASO I

Se puede verificar que la estructura tiene un factor de seguridad mínimo de 4.9 y una deflexión máxima de 6.4 mm. Se debe de tener en cuenta que en este análisis solo se consideraron las tensiones axiales y flectoras en el punto máximo de las secciones.



**Figura 2.38** Análisis computacional CASO I (Elaboración propia)

### 2.7.2 Verificación del CASO II

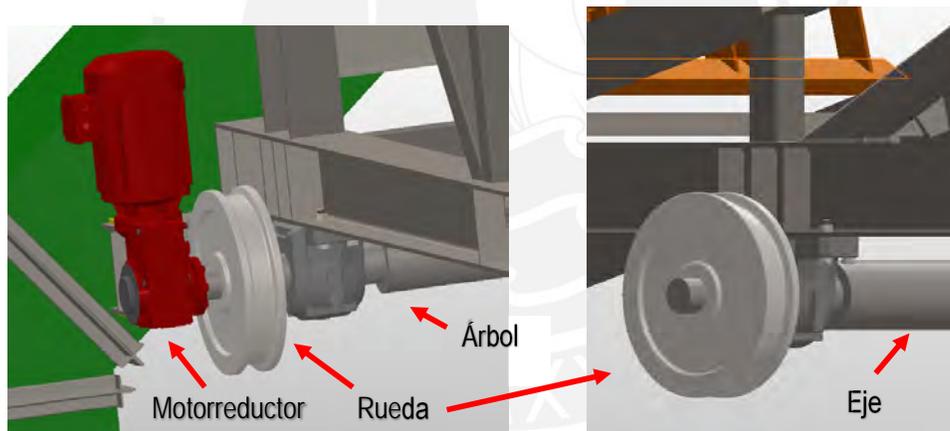
Se puede verificar que la estructura para el CASO II tiene un factor de seguridad mínimo de 11.1 y una deflexión máxima de 4.06 mm. Se debe de tener en cuenta que en este análisis solo se consideraron las tensiones axiales y flectoras en el punto máximo de las secciones.



### 3. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DE GRUPO MOTRIZ DEL SISTEMA

En el capítulo 2, se calculó y dimensionó la mejor alternativa para el *Tripper*, se evaluaron los criterios de resistencia, deformación y estabilidad. Ambos casos de estudio resultaron adecuados para este caso de carga y condiciones de material. La estructura se calculó con cuatro apoyos, que, para este capítulo se consideran como las ruedas que permiten el movimiento del *Tripper*, estos pertenecen a lo que es llamado ensamble frontal y ensamble trasero [38], los que se detallan a continuación:

- Ensamble Frontal: Compuesto por dos ruedas con doble pestaña semejantes a las que se usan en la industria ferroviaria; un árbol de transmisión, ya que en este es donde se transmite la potencia necesaria para mover todo el equipo; dos chumaceras con rodamientos y un motorreductor de cada lado.
- Ensamble Trasero: Similar al ensamble anterior, pero que en este caso el árbol pasaría a ser un eje giratorio, ya que no transmitirá potencia, además de no tener motorreductores.



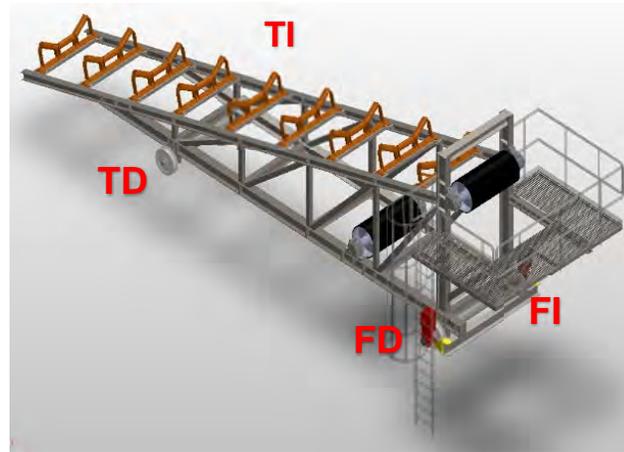
**Figura 3.1** Ensamble frontal (Lado izquierdo), ensamble trasero (Lado derecho) (Elaboración propia)

Ambos ensambles tienen partes similares, por lo que el cálculo de un componente de estos puede tener influencia en el otro ensamble. Para ello se siguió la siguiente metodología para dimensionar y verificar los distintos elementos:

- 1) Definir las cargas actuantes sobre cada ensamble, que son propiamente fuerzas de reacción de la estructura en sus apoyos
- 2) Dimensionar el eje y árbol de transmisión
- 3) Calcular el diámetro externo de la rueda más cargada
- 4) Verificar la transmisión de potencia entre árbol y rueda

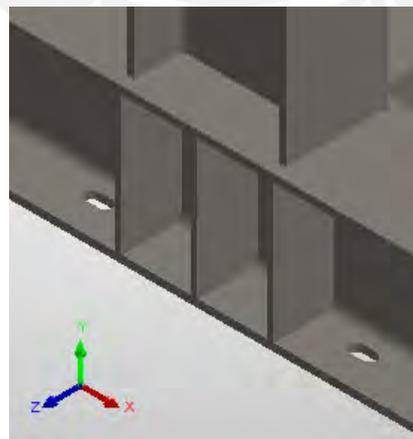
- 5) Calcular rodamientos de chumaceras
- 6) Seleccionar motorreductor adecuado

### 3.1 Cargas sobre ensamble frontal y ensamble trasero



**Figura 3.2** Apoyos de Tripper (Elaboración propia)

Las cargas sobre los ejes son los resultantes del anterior capítulo sobre sus cuatro apoyos (Figura 3.2). Debido a que la desviación del centro de gravedad de todo el conjunto no es significativa con respecto al plano de simetría, se tomará como si las ruedas reciben una carga igualitaria. La fuerza será mínima sobre los apoyos, cuando en el equipo no haya material circulante y habrá una fuerza máxima cuando fluya el material. Es importante considerar estos dos casos, ya que cuando se dimensione la rueda, se tendrán que conocer ambos.



**Figura 3.3** Sistema de coordenadas en el apoyo (Elaboración propia)

**Tabla 3.1** Fuerzas de reacción (Elaboración propia)

Fuerzas de reacción						
Caso	Sentido	APOYO				Unidades
		FD	FI	TD	TI	
Sin carga	Long. (x)	-5495	-5492	5651	5649	N
	Vertical (y)	14541	14559	15314	15313	N
	Resultante	15545	15560	16323	16322	N
Con carga	Long. (x)	-5588	-5584	5745	5742	N
	Vertical (y)	15221	15239	17740	17739	N
	Resultante	16214	16230	18647	18645	N

Se entiende que cuando la estructura está con carga, la fuerza en los apoyos será máxima y la resultante máxima se dará en la rueda derecha o izquierda del ensamble trasero.

Aparte de la generada por la misma operación del equipo, se presenta un momento de torsión, el cual viene dado por la potencia que debe dar cada motorreductor para mover el equipo. Este valor está afectado por varios tipos de resistencia dados por el mismo sistema [39], las cuales se enuncian a continuación:

- i. Resistencia a la fricción entre la faja y el *Tripper*. Son las fuerzas generadas entre la interacción de la faja con la estructura y sus componentes, entre estos están:
  - a. Resistencia principal entre el material y la faja ( $F_{HT}$ ): Generada por el contacto entre la faja y el material.
  - b. Resistencia a la inclinación de faja en los polines abarquillados ( $F_{itct}$ ): Se requiere una cantidad de tensión en la faja para que esta tome la geometría de un grupo de polines abarquillados.
  - c. Resistencia a la rotación de las poleas ( $F_t$ ): Resistencia a vencer para que las poleas tiendan o empiecen a girar.
  - d. Resistencia a la envolvente generada por la faja en las poleas ( $F_w$ ): Resistencia generada por la faja a ser doblada sobre la polea.
  - e. Resistencia debido a un limpiador externo ( $F_{ce}$ ): Generada por un sub-equipo que limpia la faja de material remanente, esta está localizada en la polea de descarga.
- ii. Resistencia a la elevación del material ( $F_{sit}$ ): Resistencia generada por la energía necesaria para elevar el material desde el punto más bajo hasta el punto más alto.

- iii. Resistencia a la traslación ( $F_{rr}$ ): Resistencia generada por la masa de todo el equipo junto a sus componentes y el material circulante. Se suele considerar 7 kg por cada tonelada de masa del *Tripper*.
- iv. Resistencia a la desalineación ( $F_{cr}$ ): El *Tripper*, durante su movimiento, puede tener cierta desalineación, lo que generaría que las pestañas de las ruedas tengan contacto no deseado con los rieles generando una resistencia.
- v. Resistencia al viento ( $F_v$ ): El viento genera una fuerza de resistencia sobre el equipo dependiendo del sentido en que este se desplaza.

Cada una de estas fuerzas pueden estar tanto a favor como en contra del movimiento del *Tripper*, esto dependerá de la naturaleza de la resistencia y hacia donde se desplace el equipo.

**Tabla 3.2** Comportamiento de fuerza de reacción ante desplazamiento (Elaboración propia)

Comportamiento de fuerza de resistencia ante el desplazamiento del <i>Tripper</i>				
Denominación de resistencia		Símbolo	Sentido de desplazamiento	
			Hacia Polea motriz de faja (→)	Hacia polea de cola (←)
Resistencia a la fricción entre la faja y el <i>Tripper</i>	Resistencia Principal entre material y faja	$F_{ht}$	A favor del movimiento (Debido a que funciona como fuerza de arrastre y la faja va en la misma dirección que el desplazamiento)	A contra del movimiento (Debido a que funciona como fuerza de resistencia y la faja va en contra de la dirección que el desplazamiento)
	Resistencia a la inclinación de faja en polines	$F_{itct}$	A favor del movimiento (Debido a que funciona como fuerza de arrastre y la faja va en la misma dirección que el desplazamiento)	A contra del movimiento (Debido a que funciona como fuerza de resistencia y la faja va en contra de la dirección que el desplazamiento)
	Resistencia a la rotación de las poleas	$F_t$	A favor del movimiento (Debido a que funciona como fuerza de arrastre y la faja va en la misma dirección que el desplazamiento)	A contra del movimiento (Debido a que funciona como fuerza de resistencia y la faja va en contra de la dirección que el desplazamiento)
	Resistencia a la envolvente generada por la faja en las	$F_w$	A favor del movimiento (Debido a que funciona como fuerza de arrastre y la faja va en la misma dirección que el desplazamiento)	A contra del movimiento (Debido a que funciona como fuerza de resistencia y la faja va en contra de la dirección que el desplazamiento)
	Resistencia debido a un limpiador externo	$F_{ce}$	A favor del movimiento (Debido a que funciona como fuerza de arrastre y la faja va en la misma dirección que el desplazamiento)	A contra del movimiento (Debido a que funciona como fuerza de resistencia y la faja va en contra de la dirección que el desplazamiento)
Resistencia a levantar material		$F_{slt}$	A favor del movimiento (Debido a que funciona como fuerza de arrastre y la faja va en la misma dirección que el desplazamiento)	A contra del movimiento (Debido a que funciona como fuerza de resistencia y la faja va en contra de la dirección que el desplazamiento)
Resistencia a la traslación		$F_{rr}$	En contra del movimiento (Al ser resistencia en las ruedas, irán en contra cualquier movimiento)	En contra del movimiento (Al ser resistencia en las ruedas, irán en contra cualquier movimiento)
Resistencia a la desalineación		$F_{cr}$	En contra del movimiento (Al ser resistencia en las ruedas, irán en contra cualquier movimiento)	En contra del movimiento (Al ser resistencia en las ruedas, irán en contra cualquier movimiento)
Resistencia al viento		$F_v$	En contra del movimiento (Puede venir de cualquier lado, entonces se asume el caso más desfavorable)	En contra del movimiento (Puede venir de cualquier lado, entonces se asume el caso más desfavorable)

Analizando la Tabla 3.2, es claro que el equipo tendrá mayor libertad de movimiento cuando se desplace hacia adelante, ya que las resistencias como de fricción o de elevación de material se encuentran a favor del movimiento, por lo tanto, la potencia máxima del sistema motriz se presentará cuando el *Tripper* se desplace hacia atrás y será mínima cuando este se desplace hacia adelante.

**Tabla 3.3** Cálculo de potencia de Sistema Motriz (Elaboración propia)

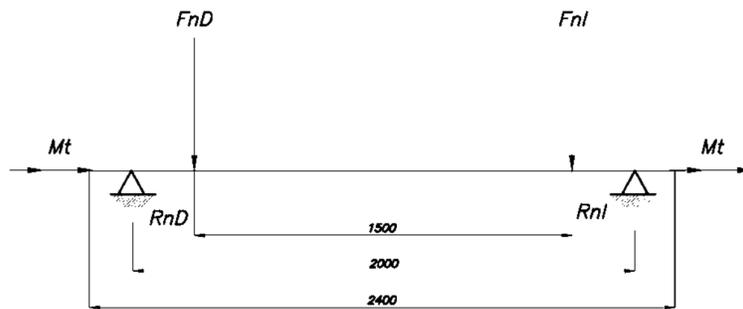
Cálculo de Potencia de Sistema Motriz			
Denominación	Símbolo	Valor	Unidades
<b>Resistencia a la fricción entre la faja y el Tripper</b>			
Resistencia Principal	Fht	112.5	N
Resistencia Inclinación de polin	Fitct	6.0	N
Resistencia de limpiador externo	Fce	819.3	N
Resistencia a levantar material	Fslt	321.4	N
<b>Resistencia al movimiento de las ruedas</b>			
Resistencia a la rodadura	Fr	335.7	N
Resistencia al desalineamiento (Cono)	Fcr	2158.4	N
Resistencia al desalineamiento (Plano)	Fcr	4316.8	N
<b>Otras resistencias</b>			
Resistencia del viento	Fv	3726.1	N
<b>Resistencias máxima y mínima resultante y potencias</b>			
Resistencia Total Máxima	Rt <sub>max</sub>	5622.9	N
Máxima potencia (Tripper moviéndose hacia atrás)	P <sub>max</sub>	1.41	kW
Máxima potencia por motorreductor (En árbol)		0.83	kW
Máxima potencia por motorreductor (Asumiendo $\eta=0.85$ )		0.97	kW
Resistencia Total Mínima	Rt <sub>min</sub>	-4855.8	N
Mínima potencia (Tripper moviéndose hacia adelante)	P <sub>min</sub>	-1.21	kW
Mínima potencia por motorreductor (En árbol)		-0.61	kW
Mínima potencia por motorreductor (Asumiendo $\eta=0.85$ )		-0.71	kW

En la Tabla 3.3 se muestran los resultados del cálculo de potencia para desplazar el equipo. Como se esperaba, la potencia máxima se presenta cuando el equipo se mueve hacia atrás y es mínima en el sentido contrario. El cálculo completo se muestra en el ANEXO 16

### 3.2 Cálculo de árbol de transmisión y de eje giratorio

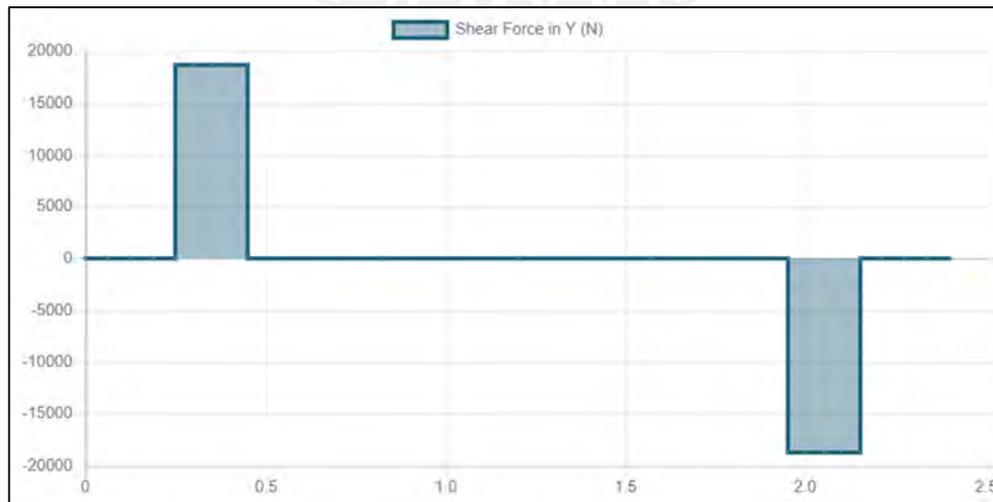
El árbol y el eje del sistema motriz del *Tripper* son componentes vitales para el desplazamiento del mismo. Como se mencionó antes, el ensamble frontal lleva montado un árbol de transmisión, ya que aquí es donde se presenta la propulsión del sistema. Por otro lado, el ensamble trasero, tendrá montado un eje giratorio, ya que este solo servirá de soporte para las ruedas.

Tanto el eje como el árbol, tendrán varias similitudes, así como parte de las dimensiones axiales, así como la sección donde se apoyarán las ruedas o donde se apoyarán las chumaceras de sujeción a la estructura. Se sabe que la distancia entre ambas armaduras del *Tripper* es de 1.5 metros, por lo que se asume como medida inicial que la distancia entre las ruedas en ambos ensambles es de 2.0 metros, por último, la longitud total del árbol sería de 2.4 metros asumiendo lo restante para el apoyo de los motorreductores, a diferencia del eje giratorio que no los tendría. El esquema quedaría como se ve en la Figura 3.4.

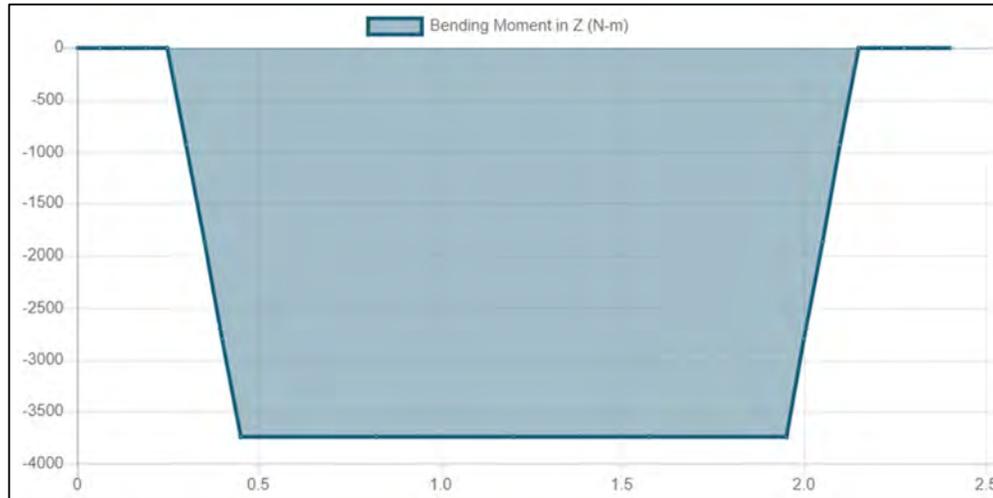


**Figura 3.4** Esquema de Árbol de transmisión (Elaboración propia)

La carga puntual que se considera sería la mostrada en la Tabla 3.1, con un máximo de 18 650 N en cada uno. Con las fuerzas definidas, se puede dibujar los diagramas de fuerza cortante y momento flector (Figuras 3.5 y 3.6). Aunque en la figura anterior se ve que actúan dos momentos de torsión en los extremos, aún no se puede dar un valor a este, debido a que no se conoce el valor del diámetro del eje.



**Figura 3.5** Diagrama de fuerzas cortantes de árbol/eje (Elaboración propia)



**Figura 3.6** Diagrama de momento flector de árbol/eje (Elaboración propia)

Según las figuras anteriores, la fuerza cortante máxima sería de 18 650 N y el momento flector máximo de 3 740 N-m. Con estos datos se puede dar un diámetro tentativo para poder obtener el momento de torsión, la expresión (3-1) para este cálculo es la misma tanto para ejes o árboles [40]. Se da un factor de seguridad recomendado y se obtiene un diámetro tentativo, luego, con este se calcula el torque necesario para accionar el *Tripper* a la velocidad requerida, y se verifica el diámetro obtenido inicialmente con la expresión (3-2)

Con respecto al material, es usual utilizar para estas aplicaciones un acero bonificado CK-45 con norma DIN 17200, que es normalmente utilizado para ejes de poleas de fajas transportadoras, y para ejes y árboles sometidas a cargas altas y resistentes al desgaste [41][42].

$$\sigma_f = \frac{32M_f}{\pi d^3} , \sigma_f \leq \sigma_{fadm} , \sigma_{fadm} = \frac{\sigma_{fALT}}{FS_{RP}} \quad (3-1)$$

Donde:

$\sigma_f$ : Esfuerzo flector (MPa)

$M_f$ : Momento flector (N – mm)

$\sigma_{fALT}$ : Resistencia a la fatiga a flexión alternante(MPa)

$FS_{RP}$ : Factor de seguridad recomendado (Entre 4 y 6)

$$\tau_t = \frac{16M_t}{\pi d^3}, \quad \sigma_{eq,p} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3(\alpha_0 \cdot \tau_t)^2}, \quad \sigma_{fadm} = \frac{\sigma_{fALT}}{FS_{RP}} \cdot \alpha_0 = \frac{\sigma_{fAL}}{1.73 \cdot \tau_{tPUL}} \quad (3-2)$$

Donde:

$\tau_t$ : Esfuerzo Torsor (MPa)

$\alpha_0$ : Factor de conversión

$\tau_{tPUL}$ : Resistencia a la fatiga a torsión pulsante (MPa)

$FS_{RP}$ : Factor de seguridad recomendado (Entre 3 y 5)

(Los demás términos se describen en la expresión 3-1)

Luego de utilizar las expresiones 3-1 y 3-2, se determinó que el diámetro tentativo es de 75 mm. Al observar el diagrama de momento flector, se ve que este diámetro es el mínimo para los apoyos del eje, o, en otras palabras, el diámetro del agujero de las ruedas. Es necesario utilizar este diámetro para dimensionar las demás partes del eje, como lo son: la sección para el motorreductor o la sección del asiento de las chumaceras.

**Tabla 3.4** Dimensionamiento tentativo de eje (Elaboración propia)

Dimensionamiento tentativo de eje			
Denominación	Símbolo	Valor	Unidades
Material de eje (CK45)	$\sigma_{fALT}$	370	MPa
	$\tau_{tPUL}$	340	MPa
Momento flector máximo	Mf	3740	N.m
		3740000	N.mm
Factor de seguridad 1	$FS_{RP}$	4	-
Diámetro de eje tentativo (Caso 4)	dten1	74	mm
Potencia máxima en un lado	Pmax	0.97	kW
Velocidad angular de eje	W	6.7	rad/s
		64	rpm
Torque	T	145.9	N-m
		145922	N-mm
Factor alpha	$\alpha_0$	0.629	-
Factor de seguridad caso 5	$FS_{RP}$	4	
Diámetro de eje tentativo (Caso 5)	dten2	74	mm
Diámetro seleccionado	d	75	mm

Al ser un componente que estará en constante rotación, es necesario verificarlo a la fatiga. Quedaría, entonces, verificar este diámetro y el de las demás secciones que

se consideren a las cargas reales debido a los concentradores de esfuerzos que se puedan presentar por cambios de diámetro, redondeos, canales chaveteros, etc.

Se optó por calcular el árbol de transmisión como modelo para ambos elementos giratorios, por lo que las cargas puntuales son las del eje giratorio del ensamble trasero y el momento de torsión es del mismo árbol. Se tiene la siguiente expresión con la que se puede verificar las distintas secciones que sean críticas [43].

$$\sigma'_{eq,a} = \sqrt{\sigma'_{fa}{}^2 + 3(\alpha_0 \cdot \tau'_{tpul})^2} \quad , \quad FS_{fat} = \frac{\sigma_{fALT}}{\sigma'_{eq,a}} \quad , \quad FS_{fat} \geq FS_R \quad (3-3)$$

Donde:

$\sigma'_{eq,a}$ : Esfuerzo equivalente modificado a la fatiga (MPa) **(Revisar Anexo 17.1)**

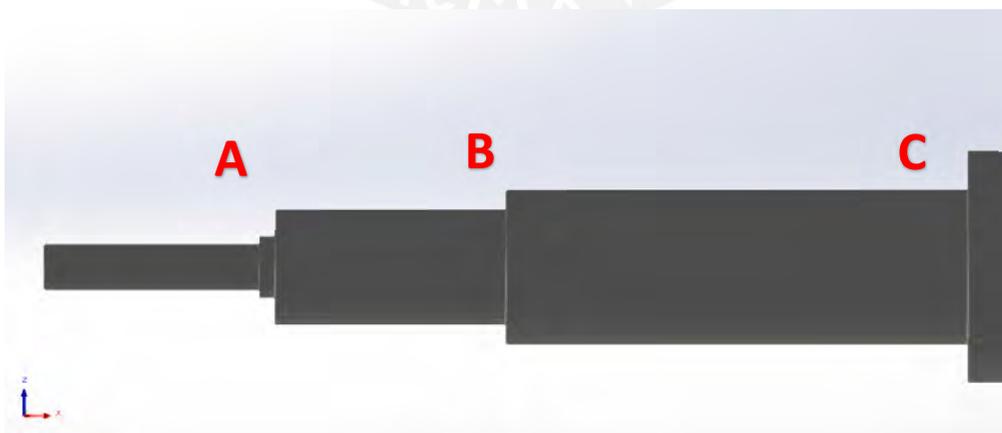
$\sigma'_{fa}$ : Esfuerzo flector modificado a la fatiga (MPa) **(Revisar Anexo 17.1)**

$\tau'_{tpul}$ : Esfuerzo Torsor modificado a la fatiga (MPa)

$FS_{RP}$ : Factor de seguridad recomendado (Entre 1.2 y 1.8)

(Los demás términos se describen en las expresiones 3-1 y 3-2)

En el árbol hay tres secciones muy importantes a analizar (Figura 3.7). Esta son las que tienen el cambio de sección entre el sector de soporte del motorreductor y el sector de asiento de la rueda del equipo (Sección A); el cambio de sección del sector de la rueda hacia el sector de apoyo de la chumacera (Sección B); y por último una sección mayor para la fijación del rodamiento (Sección C).



**Figura 3.7** Rueda de Tripper de doble pestaña (Elaboración propia)

**Tabla 3.5** Verificación de árbol de transmisión (Elaboración propia)

Verificación de árbol de transmisión (CK45)					
Descripción	Simbolo	A	B	C	Unidades
Ubicación	x'	140	300	600	mm
Material esfuerzos limites	$\sigma F$	390	390	390	MPa
	$\sigma B$	650	650	650	MPa
Momento flector	Mf	0	-935	-3740	N-m
		0	-935000	-3740000	N-mm
Momento Torsor	Mt	145.9	145.9	0	N-m
		145900	145900	0	N-mm
Diámetro menor	d	35	75	100	mm
Diámetro mayor	D	75	100	150	mm
Esfuerzo flector	$\sigma f$	0	-22.6	-38.1	MPa
Esfuerzo torsor	$\tau t$	17.3	1.8	0.0	MPa
Esfuerzo flector modificado	$\sigma f'a$	0	-92.6	-162.8	MPa
Esfuerzo flector modificado (Canal Chavetero)		0.0	-78.0		MPa
Esfuerzo torsor modificado	$\tau t'pul$	43.3	5.8	0	MPa
Esfuerzo torsor modificado (Canal Chavetero)		39.9	4.8		MPa
Factor alpha	$\alpha o$	0.629	0.629	0.629	-
Esfuerzo equivalente	$\sigma'eqa$	47.2	92.8	162.8	MPa
Esfuerzo equivalente (Canal Chavetero)		43.5	78.2		MPa
Factor de seguridad a Fatiga	FSfat	7.8	4.0	2.3	-
Factor de seguridad a Fatiga (Canal Chavetero)		8.5	4.7		-

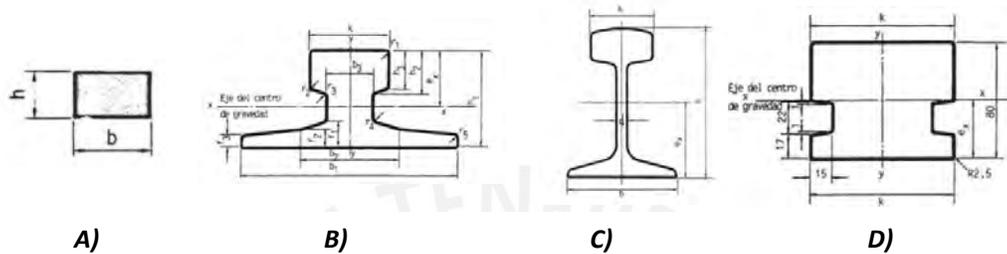
Se analizó la Tabla 3.5, donde se encuentra que la sección crítica sería la “C”, donde el factor de seguridad es el menor en comparación a las otras dos analizadas, sin embargo, según la expresión 3-3, este valor está por encima de los factores de seguridad recomendados, por lo que el árbol es confiable para la operación requerida. En el Anexo 17.2 se puede ver la verificación completa de fatiga.

### 3.3 Selección de Rieles

También llamados carriles son los elementos donde se apoya el equipo móvil y del cual puede haber varios tipos como: los que se utilizan en la industria ferroviaria o como los que se utilizan para puentes grúa.

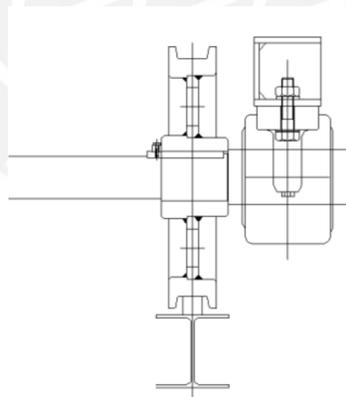
- Carril o riel tipo Llantón, perfiles simples que se apoyan sobre perfiles laminados o viga tipo cajón, se utilizan en el caso que no se cuente con una construcción de hormigón debajo. (Figura 3.8 A)

- Carril o riel tipo Burbach, este presenta una cabeza ancha para cargas altas y bases anchas para facilidad de fijación, y es utilizado para puentes grúa. (Figura 3.8 B)
- Carril o riel tipo Vignole, se utiliza en la industria ferroviaria por su buena relación entre la inercia y el peso de carril. (Figura 3.8 C)
- Carril o riel tipo plano, usado para elementos sin pestaña (Figura 3.8 D)



**Figura 3.8** **A)** Carril tipo Llantón, **B)** Carril tipo Burbach, **C)** Carril tipo Vignole, **D)** Carril Tipo Plano

De la bibliografía revisada, es usual utilizar el carril de tipo llantón en este tipo de equipos, ya que, al tener un equipo principal como una faja transportadora, ya predeterminada, sería necesario colocar un perfil laminado para apoyar los rieles. [44] El cálculo de estos perfiles no forman parte del presente trabajo. En la Figura 3.9 se ve un detalle de la configuración de un ensamble rueda de doble pestaña con árbol de transmisión sobre el riel tipo llantón.



**Figura 3.9** Detalle de apoyo de rueda sobre riel [45]

Las dimensiones de estos rieles están predeterminadas según la siguiente tabla:

**Tabla 3.6** Dimensiones y pesos de carriles tipo llantón [46]

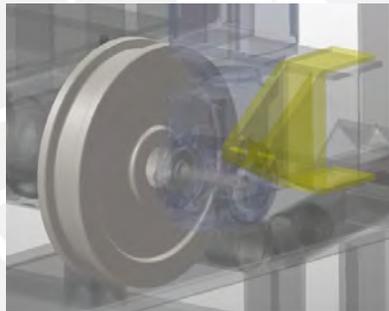
Item	Valor			
b-h (mm)	50-30	50-40	60-30	60-40
Peso (kg/m)	11.8	15.7	14.1	18.8

El ancho efectivo de un riel es la longitud de contacto que tendrá el riel con la rueda. Se entiende que la rueda tendrá un ancho mayor al del riel, por lo que el ancho efectivo sería el ancho menos los redondeos que puedan venir según los procesos de fabricación. Se tomará en cuenta el valor más pequeño según la Tabla ya mostrada. Este valor será de:

$$\tau = 50 \text{ mm}$$

### 3.4 Cálculo de Ruedas

Las ruedas en este tipo de equipos pueden ser de dos tipos: de los que tienen una sola pestaña o dos pestañas. Hay una tendencia a utilizar las del tipo de dos pestañas [47] debido a que su ensamblaje en los ejes o árboles tienen gran similitud a los que se usan en la industria ferroviaria, además ante una supuesta desalineación que se presente en este equipo, estas ruedas, al tener dos pestañas, no permiten que este se descarrile. En la siguiente figura se puede observar la configuración de la rueda utilizada para este proyecto:



*Figura 3.10 Rueda de Tripper de doble pestaña (Elaboración propia)*

La norma ISO 5049 en su segundo capítulo muestra como calcular las ruedas de un equipo de transporte de material a granel. La dimensión principal de este componente es su diámetro interior, que sería la parte que estaría en contacto con los rieles, este se dimensiona tomando en cuenta la carga que soporta, la calidad del material, el tipo de riel sobre el que se apoya, la velocidad de rotación y el tipo de carga [48]. Además, debe satisfacer dos condiciones muy importantes según la normativa:

- La rueda debe de ser capaz de soportar la máxima carga a la que será sometida
- La rueda debe de ser capaz de asegurar una operación normal del equipo sin desgaste anormal

La expresión que toma en cuenta estas condiciones y dimensiona el diámetro es la siguiente:

$$\frac{P_{\text{prinI}}}{\tau * D} \leq P_L * C_1 * C_2 \quad (3-4)$$

Donde:

D: Diámetro de rueda (mm)

$\tau$ : Ancho efectivo de riel (mm)

$P_L$ : Presión límite de material de rueda(kg/mm<sup>2</sup>)

$C_1$ : Coeficiente dependiente de la velocidad de rotación de la rueda

$C_2$ : Coeficiente dependiente de la condición de carga

$P_{\text{prinI}}$ : Fuerza principal sobre la rueda (kg)

Según la norma utilizada, se debe de tener en cuenta tanto la fuerza mínima como la máxima sobre la rueda, y hallar una fuerza principal en la que estén involucradas ambas, esta se puede calcular con la expresión (3-5).

$$P_{\text{prin}} = \frac{P_{\text{min}} + 2 * P_{\text{max}}}{3} \quad (3-5)$$

Donde:

$P_{\text{prin}}$ : Fuerza principal sobre la rueda (kg)

$P_{\text{min}}$ : Fuerza mínima sobre la rueda (kg)

$P_{\text{max}}$ : Fuerza máxima sobre la rueda (kg)

Con respecto al material, es usual utilizar para este tipo de componentes hierro fundido, acero forjado o rolado [49]. En específico, se puede utilizar para este caso un acero 34CrNiMo6 de la norma DIN 17 200 de aceros bonificados o más conocido como su equivalencia AISI 4340. Este material es el adecuado para piezas que requieren de alta tenacidad para accionar mecanismos de propulsión, el cual es el caso que se presenta [50].

Se tomó en cuenta las expresiones 3-4 y 3-5 y se utilizaron los datos de la Tabla 3.1 y se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 3.7

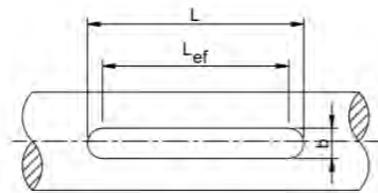
**Tabla 3.7 Dimensionamiento de rueda (Elaboración propia)**

Dimensionamiento rueda						
Denominación	Símbolo	Rueda				Unidades
		Frontal Derecha (FD)	Frontal Izquierda (FI)	Trasera Derecha (TD)	Trasera Izquierda (TI)	
Diámetro de rueda	d	400	400	400	400	mm
Ancho de riel	$\tau$	30	30	30	30	mm
Esfuerzo último	$\sigma_B$	100	100	100	100	kg/mm <sup>2</sup>
Presión límite de material	P <sub>L</sub>	0,8	0,8	0,8	0,8	kg/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de velocidad de rotación	C <sub>1</sub>	0,88	0,88	0,88	0,88	-
Coefficiente de operación	C <sub>2</sub>	0,9	0,9	0,9	0,9	-
Fuerza mínima sobre la rueda	P <sub>min</sub>	15545	15560	16323	16322	N
		1585	1586	1664	1664	kg
Fuerza máxima sobre la rueda	P <sub>máx</sub>	16214	16230	18647	18645	N
		1653	1654	1901	1901	kg
Fuerza principal sobre la rueda	P <sub>prin</sub>	15991	16007	17872	17871	N
		1630	1632	1822	1822	kg
Factor de seguridad	FS	4,7	4,7	4,2	4,2	-

Se realizó el análisis de la data obtenida y de los valores de factor de seguridad, se determina que estos son confiables en relación entre la fuerza aplicada y la fuerza admisible. Por inspección y como se estableció antes, las ruedas del ensamble trasero son más críticos que los delanteros.

### 3.5 Verificación de transmisión de potencia entre árbol y rueda

Líneas arriba se calculó el árbol de transmisión con el que se accionará el sistema motriz de desplazamiento del *Tripper*, sin embargo, se debe de verificar que esta unión por forma, compuesta por una chaveta y una rueda, podrá transmitir el torque solicitado. La chaveta plana de caras paralelas evitará que tanto el árbol como la rueda, tengan un giro relativo el uno con el otro. Estos elementos rigen según la norma DIN 6885, el cual dicta medidas y tolerancias normalizadas según el diámetro de eje o árbol.



**Figura 3.11 Unión mediante canal chavetero [51]**

Ya que la sección de la chaveta está definida según norma, quedaría dimensionar la longitud de la chaveta a utilizar, para ello, se utiliza la expresión 3-6:

$$L_{ef} \geq \frac{2 \cdot M_t}{d \cdot (h - t) \cdot p_{adm}} \quad (3-6)$$

Donde:

$M_t$ : Momento torsor (N – mm)

$d$ : Diámetro de eje (mm)

$h - t$ : Profundidad que penetra la chaveta sobre la rueda (mm)

$p_{adm}$ : Presión admisible (MPa) – Para cubos o ruedas de acero y acero fundido (90 a 100 MPa)

$L_{ef}$ : Longitud efectiva, no toma en cuenta los bordes redondeados (mm) (Figura 3.11)

**Tabla 3.8** Verificación de transmisión (Elaboración propia)

Verificación de transmisión entre árbol y rueda			
Denominación	Símbolo	Valor	Unidades
Momento de torsión	$M_t$	145.9	N-m
		145900	N-mm
Diámetro de árbol	$d$	75	mm
Profundidad de penetración de chaveta sobre rueda (DIN 6885 para $d=75$ mm)	$h-t$	4.5	mm
Presión admisible	$p_{adm}$	90	MPa
Longitud efectiva mínima	$L_{ef}$	9.6	mm
Longitud total de chaveta (DIN 6885)	$L$	29.6	mm
Longitud de chaveta normalizada (DIN 6885)	$L_{norm}$	56	mm
Ancho de rueda asumida	$An_{rued}$	100	mm

Se realizó el análisis de la data obtenida, el ancho de rueda asumido con el que se calculó su resistencia es mayor casi por el doble de la longitud de chaveta normalizada, así que las ruedas transmitirán sin problema la potencia necesaria para desplazar el *Tripper* a lo largo de su recorrido.

### 3.6 Cálculo de rodamientos en chumaceras

El árbol o eje según sea el caso, necesita de componentes que le permitan tener una rotación respecto a otros componentes. Los rodamientos son los encargados de cumplir esta función, ya que estos se pueden colocar dentro de la misma rueda o

como es en este caso, dentro de chumaceras, que no son otra cosa que elementos que sirven de apoyo para los rodamientos y que permiten el giro del árbol o eje.

Para el cálculo y selección de estos componentes, es necesario conocer las exigencias que tendría el sistema sobre ellos, tales como: velocidad de rotación, dimensiones del árbol de transmisión, fuerzas actuantes, entre otros. Se conoce la velocidad de rotación y las dimensiones del árbol, al igual que las fuerzas actuantes, solo faltaría conocer el tipo de rodamiento.

Para este caso en particular, es usual utilizar rodamientos de doble hilera de rodillos a rótula [52]. Este tipo de rodamientos, es recomendable para casos de carga radial considerable y carga axial en ambos sentidos [53]. Para este caso, la única carga a considerar es la radial, según las fuerzas resultantes en la Tabla 3.1.

La marca SKF, ha desarrollado su propia metodología en cómo se pueden dimensionar los rodamientos para distintas aplicaciones [54]. Para este caso se ha asumido un rodamiento a doble hilera de rodillos de rótula 23022 CCK/W33, ya que es adecuado para el diámetro de eje solicitado. Se utilizó la expresión 3-7

**Tabla 3.9** Verificación de rodamientos (Elaboración propia)

Verificación de Rodamientos (Considerando Rodamiento de rodillos de rótula)			
Denominación	Simbolo	Valor	Unidades
Diámetro de árbol	d	100	mm
Diámetro interior de rodamiento (23022 CCK/W33)	D	110	mm
Diámetro mayor de rodamiento (23022 CCK/W33)	D	170	mm
Diámetro medio	dm	127	mm
Capacidad de carga dinámica	C	326	kN
Carga radial	Pr	18.6	kN
Velocidad de rotación	n	7	rpm
	w	64	rpm
Vida nominal básica	L <sub>10</sub>	13868	rpm x 10 <sup>6</sup>
	L <sub>10h</sub>	3630724	hrs
Asumiendo aceite de grado ISO VG220			
Viscosidad nominal	v <sub>1</sub>	125	mm <sup>2</sup> /s
Viscosidad real de funcionamiento	v	150	mm <sup>2</sup> /s
Relación de viscosidad	k	1.20	mm <sup>2</sup> /s
Carga límite a fatiga	P <sub>u</sub>	46.5	kN
Factor de niveles de contaminación (asumiendo contaminación típica)	nu	0.2	-
Factor para verificar askf	-	0.5	-
Facto askf	askf	2.6	-
Vida modificada	L <sub>10mh</sub>	9439881	hrs

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} * \left(\frac{C}{P}\right)^p * a_{skf} \quad (3-7)$$

Donde:

$L_{10h}$ : Vida nominal con una confiabilidad del 90% (hrs)

n: Velocidad de giro o rotación(rpm)

C: Capacidad de carga dinámica de rodamiento(kN)

P: Carga dinámica equivalente (kN)

p: Exponente de ecuación: 3 para rodamiento de bolas y  $\frac{10}{3}$  para rodamiento de rodillos

$a_{skf}$ : Factor de modificación de vida útil

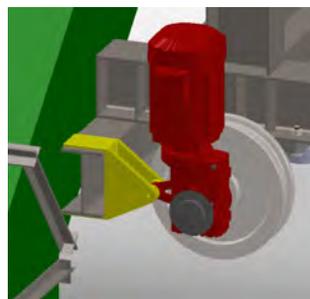
Se analizan los valores de la Tabla 3.9 y se llega a la conclusión que los rodamientos están sobredimensionados, sin embargo, esto se debe a que el diámetro del árbol requerido y además el torque solicitado están por debajo del rango de operación, aunque se debe tener en cuenta las dimensiones que tendrá la chumacera a utilizar.

### 3.7 Selección de motorreductor y ménsula de torque

Se conocen las potencias a las que deben de trabajar los motorreductores para poder satisfacer el torque necesario para mover el *Tripper* hacia donde se requiera. Los datos para la selección del motorreductor serían los siguientes:

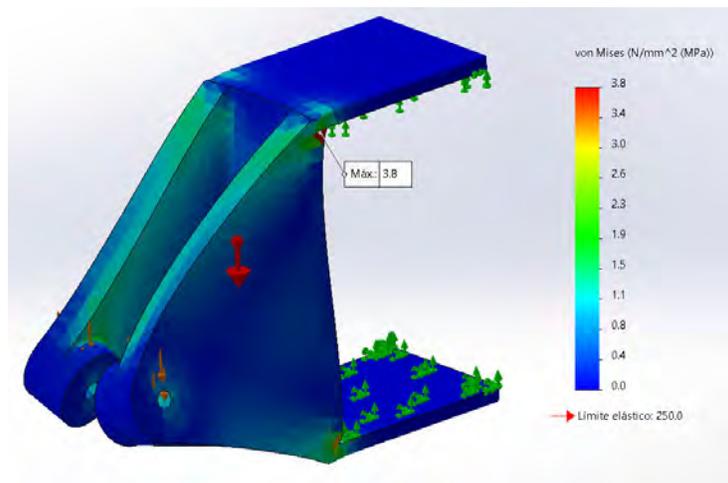
- Potencia máxima: 0.97 kW
- Torque necesario 145.9 N-m

Se seleccionó entonces un motorreductor SEW EURODRIVE de 1.1 kW de potencia y 165 N-m, lo cual satisface la necesidad. En el ANEXO 19 se puede verificar el catálogo del motorreductor propuesto.

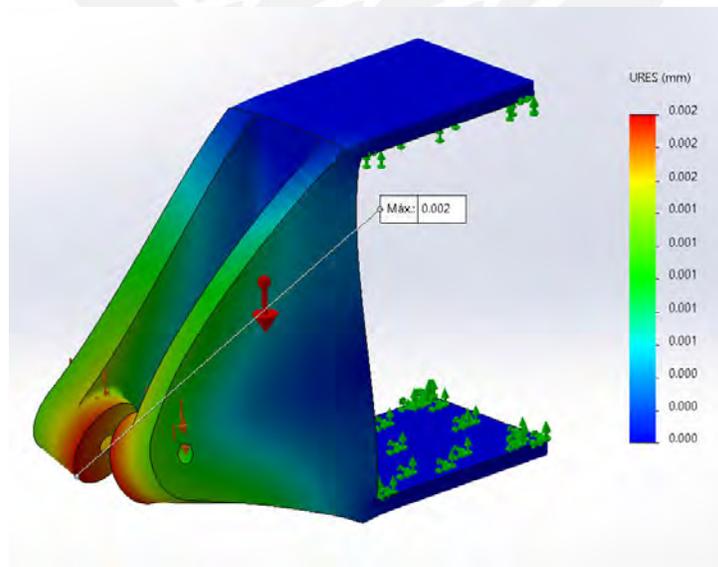


**Figura 3.12** Motorreductor seleccionado

Por último, como se ve en la Figura 3.12, el motorreductor además de estar acoplado al árbol de transmisión, debe estar acoplado a una ménsula metálica para que este pueda soportar el Torque generado para el accionamiento del sistema. Debido a la fuerza de palanca que el motorreductor ejerce sobre este, se calculó una fuerza cercana a los 700 N. Se simuló en SolidWorks el utilaje y se llegó a la conclusión que no fallaría ni por resistencia ni por deformación. En la Figura 3.13 se puede ver un esfuerzo máximo de Von Mises de 3.8 MPa y en la figura 3.14 una deformación máxima de 0.002 mm. Para este utilaje se utilizó planchas de acero estructural ASTM A-36 de 3/8" y 3/4" de espesor.



**Figura 3.13** Esfuerzos equivalente en la ménsula



**Figura 3.** Deformación resultante en la ménsula

## **4. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA ESTRUCTURA MÓVIL**

En los capítulos anteriores se ha determinado la mejor alternativa para el presente proyecto. Fue necesario, además, analizar el costo que tendría este tipo de estructura, si es que algún otro usuario desea tener una idea del valor económico, tanto del diseño mecánico estructural y el valor de mano de obra y fabricación de los diversos componentes de los que está compuesto. Cabe resaltar, que este capítulo no tiene como objeto concluir si es que es viable o conveniente económicamente para el usuario, el diseño y la fabricación de este equipo.

### **4.1 Material requerido para equipo móvil**

Es conocido que en cada proceso de fabricación siempre habrá material remanente debido a los diversos procesos de fabricación tales como: corte, torneado, fresado, rectificado, taladrado, según sea el caso. Para la estructura principal, por ejemplo, los perfiles metálicos serán requeridos en su presentación comercial, y luego de pasar por los procesos antes mencionados se tendrá la versión final de cada componente. Se debe tener en cuenta que la cotización de los componentes tales como: las barandas de las plataformas de inspección, la escalera de acceso, las poleas de descarga y retorno o las estaciones de polines, no forman parte del proyecto, es decir, son elementos que son responsabilidad del cliente usuario adquirir o fabricar, ya que, al ser un proyecto existente, estos elementos ya deben de estar prefabricados o en su defecto adquiridos por el cliente o dueño del proyecto. Se debe considerar entonces que en el proyecto se tendrán los siguientes conjuntos o ensambles que requieran de material específico para su fabricación, tales como:

- Material para Estructura *Tripper* 42" x 15°
- Material para Chute de Descarga
- Material para Sistema Motriz

#### **4.1.1 Material para Estructura *Tripper* 42" x 15°**

Para el caso de la estructura principal, se emplearon vigas laminadas, perfiles cuadrados y planchas metálicas para las cartelas. En la siguiente tabla se muestran los ejemplares que se debe de adquirir como material base para poder empezar con los cortes necesarios para la posterior unión por soldadura entre los elementos.

**Tabla 4.1** Metrado total de Estructura Tripper (Elaboración propia)

Metrado Total de Estructura Tripper (Sin cortes complejos)						
Descripción	Perfil	Longitud necesaria	Peso longitudinal	Longitud Comercial/uni.	Uni. A adquirir	Peso
		(m)	(kg/m)	(m)	(-)	(kg)
Viga Principal	W5X16	25.81	23.81	9.00	3.00	643
Viga plataforma / Soporte de Chute						
Travesaño plataforma						
Viga Horizontal	W8X24	17.17	35.72	9.00	2.00	643
Columna Principal	W8X18	5.80	26.79	9.00	1.00	155
Viga de transmisión	W8X21	2.27	31.25	9.00	1.00	71
Diagonal de soporte de plataforma	W4X13	3.13	19.35	9.00	1.00	61
Travesaño de vigas horizontales	W6X12	8.96	17.86	9.00	1.00	160
Travesaño de columna principal	W6X20	1.49	29.76	9.00	1.00	44
Base de plataforma	C3X4.1	24.05	6.10	6.00	5.00	147
Diagonal de base de plataforma						
Arriostre de Estructura						
Travesaños de Viga Principal	L 2x2x3/8"	11.95	6.99	6.00	2.00	84
SUB-TOTAL						2308
Descripción	Espesor de Plancha	Área solicitada	Peso por plancha comercial 1200 x 2400 mm	Área de Plancha comercial 1200 x 2400 mm	Uni. A adquirir	Peso
		(mm <sup>2</sup> )	(kg)	(mm <sup>2</sup> )	(-)	(kg)
Plancha para perfil W5x16 de 5/16"	5/16"	1813531	181	2880000	1.00	180.86
Plancha para perfil W8x24 de 5/16"						
Plancha para perfil W8x18 de 5/16"						
Plancha para perfil W8x21 de 5/16"						
Plancha para Cartela de refuerzo PL05 de 5/16"	3/8"	896040	203	2880000	1.00	203
Plancha para ménsula de polines de 3/8"						
SUB-TOTAL						384
TOTAL (ESTRUCTURA TRIPPER)						2692

#### 4.1.2 Material para Chute de Descarga

Al igual que para la estructura, se realizó el metrado para el chute de descarga, la cual se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 4.2** Metrado total de Chute de descarga (Elaboración propia)

Metrado Total de Chute (Sin cortes complejos)							
Descripción	Perfil/Platina	Longitud necesaria	Peso longitudinal		Longitud Comercial/uni.	Uni. A adquirir	Peso
		(m)	(kg/m)	(kg)	(m)	(-)	(kg)
Uniones entre componentes	L 1.5x1.5x3/16"	11.56	2.68		6.00	2.00	32
Rigidizadores de cuerpo superior	Plat. 1.5 x 1/4"	8.93	0.64		6.00	2.00	8
SUB-TOTAL							40
Descripción	Espesor de Plancha	Área solicitada	Peso por plancha comercial 1200 x 2400 mm	Peso por plancha comercial 1200 x 6000 mm	Área de Plancha comercial 1200 x 2400 mm / 1200 x 6000 mm	Uni. A adquirir	Peso
		(mm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg)	(mm <sup>2</sup> )x10 <sup>-4</sup> (-)	(-)	(kg)
Cuerpo superior	3/16"	5283265	99	249	288/720	2.00	199
Cuerpo soporte hacia plataforma	3/8"	3101774	203	-	288/720	3.00	610
Ménsula soporte de chute							
Cuerpo de impacto	1/4"	7123294	133	333	288/720	2.00	667
Cuerpo diagonal + vertical							
Cuerpo de transición							
SUB-TOTAL							1476
TOTAL (MATERIAL CHUTE)							1516

Es necesario mencionar, que cuando las empresas metalmecánicas realizan una cotización de acero, lo hacen por peso y además agregan 12% considerando imprevistos en el material. Este dato se obtuvo de la empresa Prodis S.R.L, por lo tanto, el peso total necesario para la fabricación sería como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4.3** *Metrado total (Elaboración propia)*

Peso total de Acero ASTM A36 para fabricación		
Descripción	Peso	Peso ampliado
	(kg)	(kg)
Peso a Adquirir para Fabricación de Estructura Tripper	2692	3015
Peso a Adquirir para Fabricación de Chute de Descarga	1516	1698
TOTAL	4208	4713

#### 4.1.3 Material para Sistema Motriz

Para el sistema motriz, se considera tanto el eje y árbol de transmisión, así como las ruedas sobre la que va apoyada la estructura. Estos elementos tienen características especiales, así como se detalló en el capítulo 3, por lo que pueden tener un precio más alto al acero estructural ASTM A36.

**Tabla 4.4** *Metrado de sistema motriz (Elaboración propia)*

Metrado Total de Sistema de Transmisión (Materia Prima)						
Descripción	Material	Longitud necesaria	Peso longitudinal	Longitud Comercial/uni. - (180x6000mm) - (470x200mm)	Uni. A adquirir	Peso
		(m)	(kg/m)	(m)		(-)
Eje y árbol de transmisión	AISI 1045	4.50	199.76	6.00	1.00	1199
Ruedas de doble pestaña	AISI 4340	0.40	1353.26	0.20	2.00	541
				TOTAL		1740

#### 4.2 Descripción de costos y costo total

Para llegar al costo total de fabricación, se debe de considerar desde el suministro de material hasta el costo de algún imprevisto en el cronograma de fabricación y montaje. Estos son los siguientes:

- Costo de suministro: El material utilizado para la estructura propiamente es el acero ASTM-A36, el cual es valorado en la industria metalmecánica peruana en base al peso que pueda tener el material, ya sea como una viga, un perfil,

plancha metálica, entre otros. Los materiales especiales también se deben de considerar.

- Costo de fabricación: Una vez el material esté en las instalaciones de la empresa metalmeccánica correspondiente, esta tendrá que realizar cortes ya sea en los perfiles o en las planchas metálicas para tener las medidas solicitadas según planos de diseño. Luego de ello, ensamblar cada una de las partes ya sea por soldadura o con uniones atornilladas.
- Costo de equipos secundarios: Estos comprenden equipos como los motorreductores y chumaceras
- Costo de diseño: Comprende en el tiempo necesario para que un ingeniero o un equipo de ingenieros realizase el diseño del equipo.
- Costo de imprevistos y misceláneos: Comprende imprevistos que pueda haber durante el proceso de fabricación, asimismo como componentes pequeños como tornillería, soldadura, etc.

**Tabla 4.5** Medrado de sistema motriz (Elaboración propia)

Costo Total de Fabricacion de Estructura Tripper 42" x 15°								
Descripción de Costo	Descripción	Material / Marca	Item a adquirir	Peso (kg) o cantidad (-)	Unidades	Costo Unitario	Unidades	Costo Total
Costo de Suministro y Fabricación	Acero estructural	ASTM A36	Acero ASTM A36 por kg	4713	kg	\$3.50	(\$/kg acero trabajado)	\$16,495.50
	Eje y árbol de transmisión	AISI 1045	Barra de 180x6000mm	1	-	\$2,185.59	(\$/barra)	\$2,185.59
	Ruedas de doble pestaña	AISI 4340	Barra de 470x200mm	2	-	\$2,237.29	(\$/barra)	\$4,474.58
Costo de Equipos Secundarios	Motorreductor	Sew Eurodrive	Motorreductor 1.1 kW	2	-	\$250.00	(\$/item)	\$500.00
	Apoyo de estructura y poleas	SKF	Rodamiento en Chumacera	4	-	\$605.22	(\$/item)	\$2,420.88
Costo de Diseño	Diseño de Equipo	-	Tiempo invertido por parte de ingeniero en el diseño estructural	320	hrs	\$8.00	(\$/hr)	\$2,560.00
Costo de Imprevistos y Misceláneos	Imprevistos / Misceláneos	-	Se considera el 10% del costo anterior para imprevistos y costos misceláneos	-	-	-	-	\$2,863.66
<b>TOTAL</b>								<b>\$31,500.21</b>
<b>TOTAL (INCLUYENDO IGV)</b>								<b>\$37,170.24</b>

Según el análisis total económico, la fabricación y montaje del presente proyecto estaría \$ 37 170,24 incluyendo IGV, considerando valores actuales al 2022.

## CONCLUSIONES

1. Se logró el objetivo principal de este trabajo de diseñar una estructura de descarga *Tripper* para yeso, Clinker y puzolana a una capacidad de 600 tn/h de manera confiable y segura. Se determinó que la mejor opción era el CASO II: Estructura con arriostre interno
2. Durante el desarrollo de ambas alternativas para esta estructura se verifica y concluye que, efectivamente, una estructura sin un arriostre de reforzamiento dentro de ella, presenta un proceso de cálculo mucho más sencillo que la alternativa con arriostre de reforzamiento, ya que esta no presentó una gran cantidad de miembros para su dimensionamiento
3. En ambas alternativas o casos de solución, la viga diagonal es el elemento principal de toda la estructura, por lo que fue la que recibió la mayor carga. El análisis de esfuerzos mediante la teoría de falla de Von Mises dio como resultado que un reticulado de refuerzo aumenta el factor de seguridad en el sector más crítico hasta en casi 03 veces su valor numérico. Por otra parte, la deflexión máxima de una estructura reforzada sobre la zona más desfavorable, que fue el voladizo posterior, fue de hasta 04 cuatro veces mayor.
4. Se modelaron ambos casos de estructura, y la masa de ambos casos diferían en 50 kg aproximadamente, siendo el caso de estructura con arriostre de reforzamiento (CASO II) ligeramente más liviana que su contraparte, el CASO I. Se debe tener en cuenta que la masa de la plataforma de inspección fue la misma para ambos casos de estudio.
5. Para el dimensionamiento de las diagonales y montantes del CASO II, se verificó que, a la mayor carga de compresión presentada, el análisis de estabilidad por pandeo mostraba que los perfiles I y perfiles cuadrados tuvieron un factor de seguridad numéricamente similar, sin embargo, es recomendable optar por el segundo de ellos, ya que presenta un peso lineal de hasta 40% menos, por lo que al dimensionar para todo el arriostre a fabricar, se obtendrá

un valor considerable de ahorro en cuanto a peso de material y costo de fabricación.

6. Se analizó la estabilidad de ambos casos de estudio ante la acción del viento y una posible volcadura. Se verificó que, en el vuelco lateral, la estructura con arriostre de reforzamiento es 5% más confiable con material circulante, y 4.40% más confiable sin material circulante.
7. Se diseñó el chute de descarga del sistema *Tripper*, se tuvo en cuenta el parámetro inicial de que debía contar con descarga lateral. Se dimensionó en base a las medidas obtenidas por la estructura principal y medidas iniciales de la construcción civil. Se verificó un factor de seguridad mínimo de 7.85 en la zona más crítica.
8. Se diseñaron y dimensionaron los elementos de la zona motriz tales como árbol, eje, ruedas, ménsulas, motorreductores y sistemas de transmisión. La potencia de los motorreductores será máxima cuando la estructura se este desplazando hacia atrás ( $P_{\max}=0.97$  kW) y será mínima cuando se esté desplazando hacia adelante ( $P_{\min}=0.71$  kW). Esto se debe a que la fricción entre faja, poleas y componentes con la estructura genera una resistencia mayor cuando esta se desplaza hacia el lado posterior de la estructura global. Lo contrario sucede cuando esta se desplaza hacia la polea motriz o polea frontal de la estructura principal.

## OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

1. Según las condiciones de trabajo del equipo, este se diseñó para que, durante la traslación entre estaciones de descarga, no haya material circulando por el equipo.
2. Es necesario que quien realice la ingeniería de detalle del sistema de accionamiento del *Tripper*, verifique que tanto la aceleración y frenado del equipo, sea menor o igual a  $0.2 \text{ m/s}^2$  según lo que establece la norma ISO 5049-1. Además de verificar el arranque del equipo.
3. El diseño de esta estructura se realizó bajo normas específicas para materiales de transporte a granel tal y como lo es la ISO 5049-1 para la estructura metálica y la ISO 5049-2 para las ruedas, sin embargo, es crucial el criterio del diseñador de seguir o no al pie de la letra cada una de ellas
4. El diseño del chute permite que para futuros mantenimientos se pueda retirar el segmento superior para el cambio eventual de polea o tambor de cabeza. El diseñador debe tener en cuenta en todo momento el futuro mantenimiento del equipo

## BIBLIOGRAFÍA

1. ACEROS AREQUIPA. Catálogo de Productos y Servicios. Lima  
<http://www.acerosarequipa.com/productos.html>
2. ALACERO. Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero. Santiago de Chile, 2010
3. ALVAREZ, Roberto. Diseño de un Secador de Puzolana para Molienda de Cemento. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014. **[14]** pág 39  
(<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3207/Alvarez%20Laguena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>) (Consulta 26 de noviembre de 2020)
4. AGGREGATE EQUIPMENT. “Superior *Tripper* Conveyor”, En: Aggregate Equipment. **[6]** (<https://www.aggregateequipment.ca/product/superior-Tripper-conveyor/>) (Consulta: 24 de noviembre de 2020)
5. ASTM STEEL CHANEL SECTION PROPERTIES VARIOUS SIZES RANGING C3-C15. Engineers Edge, 2017  
[https://www.engineersedge.com/standard\\_material/Steel\\_channel\\_properties.htm](https://www.engineersedge.com/standard_material/Steel_channel_properties.htm)
6. BECKLEY, David. Belt Conveyor *Trippers*, Design Philosophy and Techniques, Bulk Solids Handling, 1983, **[24]** Pág 2,
7. CEMA. Belt Conveyors for Bulk Materials. Florida: Conveyor Equipment Manufacturers Association, 1997, **[1]** Pág 2, **[3]** Pág 57-58, **[7]** Pág 324, **[15]** Pág 33-43, **[16]** Pág 48, **[18]** Pág 66, **[19]** Pág 124
8. CONSTRUMÁTICA  
<http://www.construmatica.com/construpedia/Clinker>

9. COTAQUISPE, Luis. Estudio de tres silos metálicos para almacenamiento de Yeso, Puzolana y Clinker. Lima: 2016, **[13]** pág 3
10. COTAQUISPE, Luis. Diseño de Equipos de Transporte y Almacenamiento: Tabla de clasificación de materiales. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014,
11. HENAN PINGYUAN MINING MACHINERY. *Tripper*. Xinxiang, 2015  
<http://www.pkmachinery.com/belt-conveyor/Tripper.html>
12. HIBBELER, R.C. Análisis Estructural. Mexico: Pearson, 2012 **[25]** pág 81 **[32]** pág 487
13. INNOQUIP DESIGN GROUP INC. "R3 *Tripper* Wheel & Axle May 30 2013", En: YouTube. **[8]** (<https://www.youtube.com/watch?v=Ryfk5FKiRCA>)
14. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA. Consumo interno de cemento creció 21,12% en enero 2021. Lima: INEI, 2021
15. INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. Manual de arranque, carga y transporte de minería a cielo abierto. Madrid: Ministerio de Industria y Energía de España, 1995
16. ISO 5049-1. Mobile Equipment for Continuous Handling of Bulk Materials Part 1: Rules for the Design of Steel Structures. Estados Unidos: International Organization for Standardization, 1994 **[21]** pág 1, **[26]** pág 7, **[35]** pág 46, **[33][37]** pág 8
17. ISO 5049-2. Draft Rules for the Design of Mobile Continuous Bulk Handling Equipment Chapter 2: Rules for the Design of Mechanisms. Estados Unidos: International Organization for Standardization, 1979 **[48]** pág 29, **[49]** pág 31
18. LINK-BELT. Materials Handling and Processing Equipment Catalog 1000. Chicago: Link-Belt Company, 1963 **[20]**

19. LOMA NEGRA. Ficha Técnica Cemento Portland Puzolánico. Neuquén, 2020, [10] pág 2, ([http://www.lomanegra.com/wp-content/uploads/2017/09/Ficha\\_CPP\\_40.pdf](http://www.lomanegra.com/wp-content/uploads/2017/09/Ficha_CPP_40.pdf))
20. McCORMAC, Jack. Diseño Estructural en Acero. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, 2002, [28] pág. 284
21. MIRAVETE, Antonio, Emilio LARRODÉ, Luis CASTEJÓN y Jesús CUARTERO. Los Transportes en la Ingeniería Industrial. Barcelona: Editorial Reverté, 2002, [44][46] pág 169
22. MULANI, Ishwar. Engineering Science and Application Design for Belt Conveyors. Pune: Madhu Mulani, 2012, [4] pág 548, [5] pág 644-646, [23] pág 658, [38][52] pág 646, [39] pág 649-655, [41] pág 551, [47] pág 652
23. NAVARRO, Ramiro. Diseño Estructural de un Apilador Radial con Capacidad para Transportar 275 T/H de Arena para Concreto Lima: Pontificia Universidad Católica, 2015 [22] pág. 644-646
24. NTP 334.001 CEMENTOS. Definiciones y nomenclatura. Perú: Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI, 2001. [9] pág. 8, [11] pág 10, [12] pág 13
25. NONNAST, Robert. El proyectista de Estructuras metálicas. Madrid: Editorial Paraninfo. 1993 [29] pág. 275, [36] pág. 28
26. NOR RUBBER. Bandas Transportadoras – Catálogo Técnico. España. [17] pág. 15
27. PAULSEN, Kurt. Elementos de Máquinas: Ejes y Árboles. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015. [40] pág. 7, [43] pág. 5

28. PAULSEN, Kurt. Elementos de Máquinas: Uniones Atornilladas. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015. [34] pág. 19
29. PAULSEN, Kurt. Elementos de Máquinas: Uniones entre Eje y Cubo. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015. [51] pág. 6
30. Revista Energiminas. “Fajas transportadoras les roban protagonismo a los camiones mineros” En: Revista ENERGIMINAS Perú, febrero 2019, [2] (<https://energiminas.com/fajas-transportadoras-le-roban-protagonismo-a-los-camiones-mineros/>) (Consulta: 24 de noviembre de 2020)
31. RODRIGUEZ, Jorge. Resistencia de Materiales 2. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014 [27] pág. 1-30, [30] pág. 6-2, [31] pág. 6-13, [42] pág. A-1, [50] pág. A-2
32. SAMAMÉ, Carlo y Luis COTAQUISPE. Diseño de una estructura móvil para un sistema de faja transportadora con descarga lateral de 42” x 50 metros de longitud mediante el método de elementos finitos. Cusco: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012 [45] pág. 3
33. SKF. Rodamientos. 2019 [53] pág. 75, [54] pág. 89
34. VISWAKIRTI, *Tripper* Conveyors with Bunker Sealing Arrangements. India: 2013  
[http://www.viswakirti.com/Tripper\\_conveyors.html](http://www.viswakirti.com/Tripper_conveyors.html)

## ANEXOS

### ANEXO 1 - Tipos de estructura *Tripper*

Tipos de estructura <i>Tripper</i>	
<b>Estructura sin arrioste inferior</b>	 <p>(David Beckley 1983)</p>
<b>Estructura con arrioste inferior</b>	 <p>(Hyperformance Technical Inc. 2020) <a href="http://www.hyperformancetech.com/gallery/conveyors/">http://www.hyperformancetech.com/gallery/conveyors/</a></p>

## ANEXO 2 - Tipos de descarga

Tipos de descarga	
<b>Chute de simple descarga</b>	 <p>(SNM 2020) (<a href="http://www.nhi-international-esp.com/handling-equipment/stacker/travelling-Tripper.html">http://www.nhi-international-esp.com/handling-equipment/stacker/travelling-Tripper.html</a>)</p>
<b>Chute de doble descarga</b>	 <p>(Henan Pingyuan Mining Machinery Co., Ltd. 2020) (<a href="https://www.pkmachinery.com/faq/operation-and-maintenance-of-belt-conveyor-Tripper.html">https://www.pkmachinery.com/faq/operation-and-maintenance-of-belt-conveyor-Tripper.html</a>)</p>

### ANEXO 3 - Tipos de transmisión motriz

Tipos de sistema motriz	
<p>Movimiento por tensión de cable de acero</p>	 <p>(Conductix-Wampfler 2020) (<a href="https://www.conductix.us/es/aplicaciones/estibador-y-recuperador?reference_id=13252">https://www.conductix.us/es/aplicaciones/estibador-y-recuperador?reference_id=13252</a>)</p>
<p>Transmisión por cadena hacia eje delantero</p>	 <p>(Henan Pingyuan Mining Machinery Co., Ltd. 2020) (<a href="https://pkmachinery.en.made-in-china.com/productimage/SybxvpZUlcD-2f1j00vuLYPsRdfBky/China-Bulk-Material-Tripper-Conveyor-System.html">https://pkmachinery.en.made-in-china.com/productimage/SybxvpZUlcD-2f1j00vuLYPsRdfBky/China-Bulk-Material-Tripper-Conveyor-System.html</a>)</p>
<p>Transmisión directa a cada rueda delantera</p>	 <p>(Henan Pingyuan Mining Machinery Co., Ltd. 2020) (<a href="https://www.pkmachinery.com/belt-conveyor/Tripper.html">https://www.pkmachinery.com/belt-conveyor/Tripper.html</a>)</p>

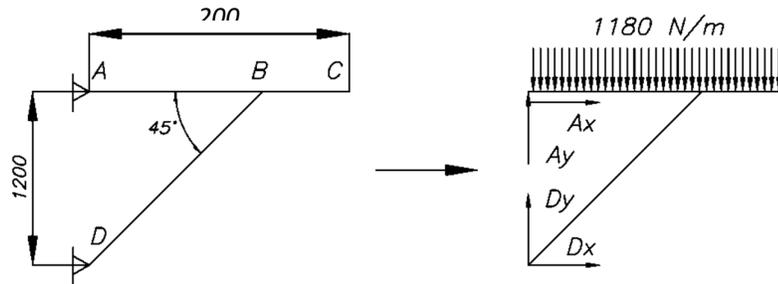
**ANEXO 4.1 – Descripción de componentes de plataforma y pesos lineales de los mismos**

COMPONENTES DE PLATAFORMA				
No	Ítem	Descripción	Peso lineal	
1	Soportes	3 Perfiles C3x4.1	lb/pie	4.69
			kg/m	6.98
2	Rodapié	Platina 1/4" x 4"	lb/pie	3.27
			kg/m	4.86
3	Columnas	Platina 3/8" x 1 1/2"	lb/pie	1.28
			kg/m	1.91
4	Baranda intermedia	Tubo cilíndrico 1" STD	lb/pie	1.49
			kg/m	2.22
5	Pasamanos	Tubo cilíndrico 1 1/2" STD	lb/pie	2.19
			kg/m	3.26
6	Plataforma	Rejilla GR-01 - 3/4" x 1/8"	lb/pie	10.24
			kg/m	15.24
Carga total por peso de la pasarela			lb/pie	23.16
			kg/m	34.47

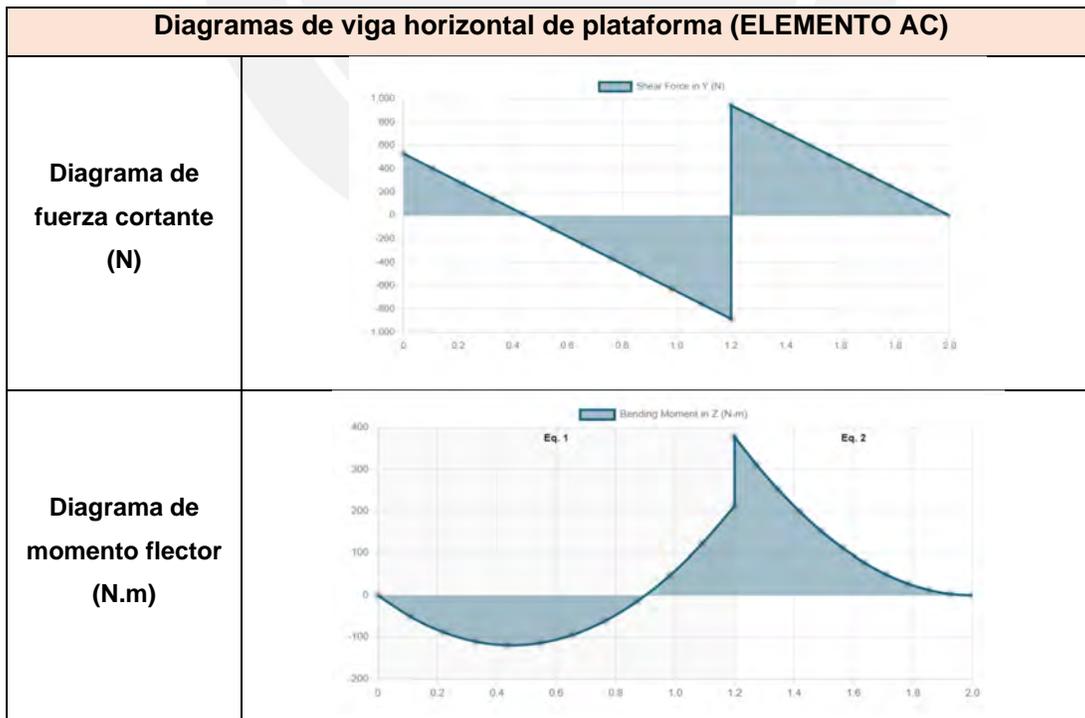
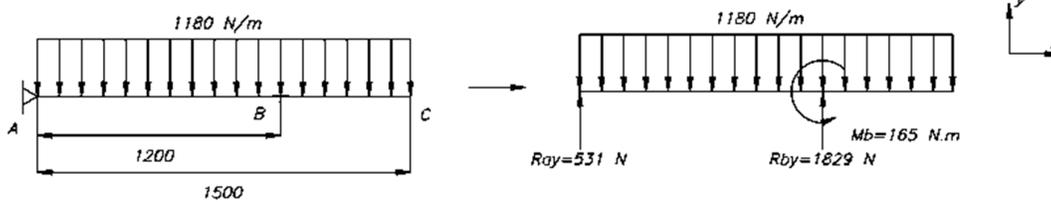
(Adaptado de: NAVARRO, Ramiro. *Diseño Estructural de un Apilador Radial con Capacidad para Transportar 275 T/H de Arena para Concreto*, pág. 35)

**ANEXO 4.2 – Diagramas y análisis de fuerzas de viga horizontal (Elemento AC) de plataforma (Parte 1/2)**

**ESQUEMA Y DCL DE VIGA HORIZONTAL (ELEMENTO AC) Y DIAGONAL (ELEMENTO DB)**



**DCL RESUELTO**

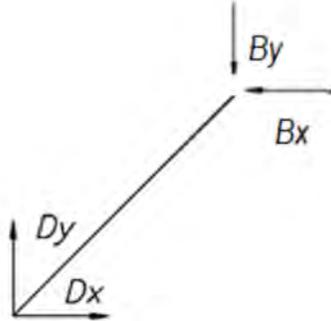


**ANEXO 4.2 – Diagramas y análisis de fuerzas de viga horizontal (Elemento AC) de plataforma (Parte 2/2)**

<b>Datos de cargas en sección a analizar (W5X16)</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
<b>Fuerza normal</b>	<b>F-n</b>	<b>N</b>	0
<b>Fuerza cortante</b>	<b>F-c</b>	<b>N</b>	1,829
<b>Momento flector</b>	<b>M-<math>\tau</math></b>	<b>N.m</b>	378
<b>Esfuerzo de fluencia (ASTM A36)</b>	<b><math>\sigma_f</math></b>	<b>MPa</b>	250

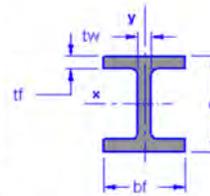
<b>Análisis de esfuerzos de sección crítica</b>			
<b>Datos de entrada</b>			
<b>Perfil</b>			<b>W5X16</b>
<b>Ítem</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
<b>Área del perfil</b>	<b>A<sub>perfil</sub></b>	<b>in<sup>2</sup></b>	4,71
<b>Ancho del peralte</b>	<b>t<sub>w</sub></b>	<b>in</b>	0,24
<b>Longitud de peralte</b>	<b>d</b>	<b>in</b>	5,01
<b>Longitud de ala</b>	<b>b<sub>f</sub></b>	<b>in</b>	5
<b>Ancho de ala</b>	<b>t<sub>f</sub></b>	<b>in</b>	0,36
<b>Inercia en eje X</b>	<b>I<sub>x</sub></b>	<b>in<sup>4</sup></b>	21,4
<b>Análisis</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
<b>Coordenada Y</b>	<b>y</b>	<b>mm</b>	63,627
<b>Esfuerzo normal</b>	<b><math>\sigma_N</math></b>	<b>MPa</b>	0,00
<b>Esfuerzo cortante</b>	<b><math>\tau_c</math></b>	<b>MPa</b>	0,60
<b>Esfuerzo flector</b>	<b><math>\sigma_f</math></b>	<b>MPa</b>	2,70
<b>Esfuerzo equivalente (Von Mises)</b>	<b><math>\sigma_{eq}</math></b>	<b>MPa</b>	2,89
<b>Factor de Seguridad</b>	<b>FS</b>	<b>-</b>	<b>86,4</b>

**ANEXO 4.3 –Análisis de Pandeo de diagonal (Elemento DB)**

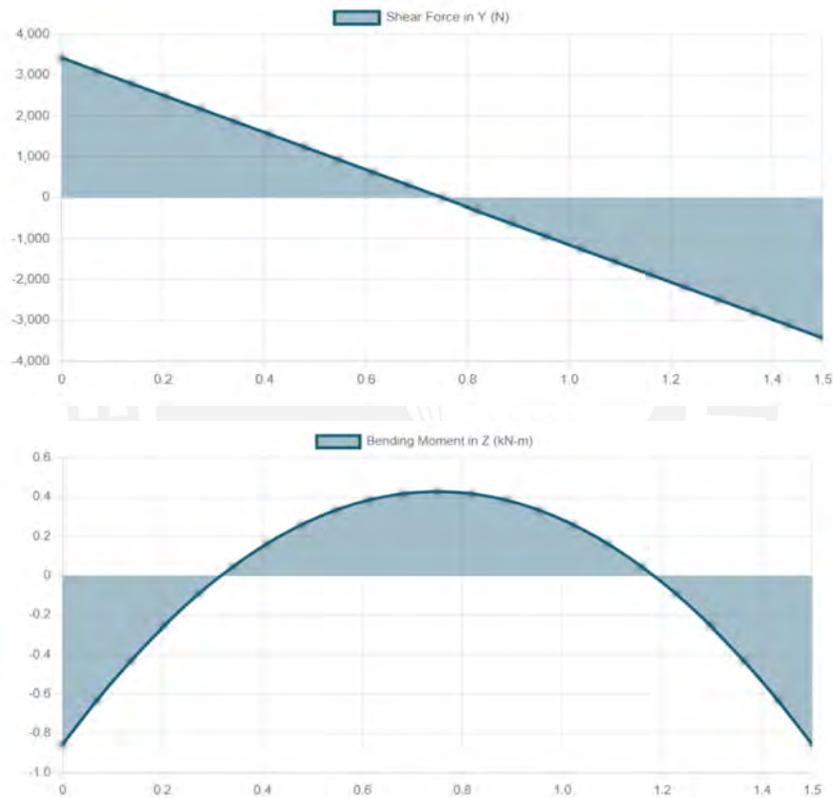
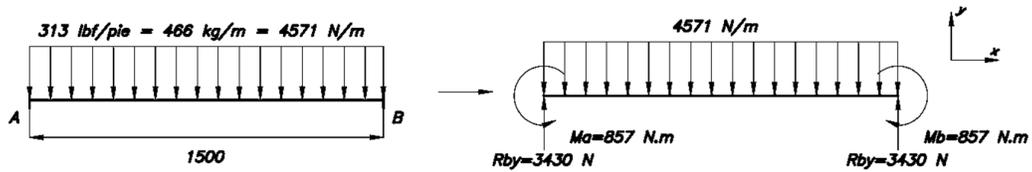


**DCL ELEMENTO DB (COMPRESIÓN)**

Análisis de pandeo en diagonal			
Perfil			W4x13
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor
Longitud	L	mm	2144
		pulg	84.39
Longitud efectiva	Lp	mm	2144
		pulg	84.39
Área	Ap	mm <sup>2</sup>	2471
		pulg <sup>2</sup>	3.83
Inercia en X	Ix	mm <sup>4</sup>	4.70E+06
		pulg <sup>4</sup>	11.30
Inercia en Y	Iy	mm <sup>4</sup>	1.61E+06
		pulg <sup>4</sup>	3.86
Esbeltez en x-x	$\lambda_x$	-	49.1
Esbeltez en y-y	$\lambda_y$	-	84.1
Esbeltez de JE	$\lambda_{je}$	-	125.7
Carga a comp.	Fef	N	2252
Esfuerzo admisible	$\sigma_{adm}$	MPa	19.5
Esfuerzo normal	$\sigma_N$	MPa	0.91



## ANEXO 4.4 – Análisis travesaño de plataforma (C3x4.1) (DCL, Diagramas y análisis) (Parte 1/2)

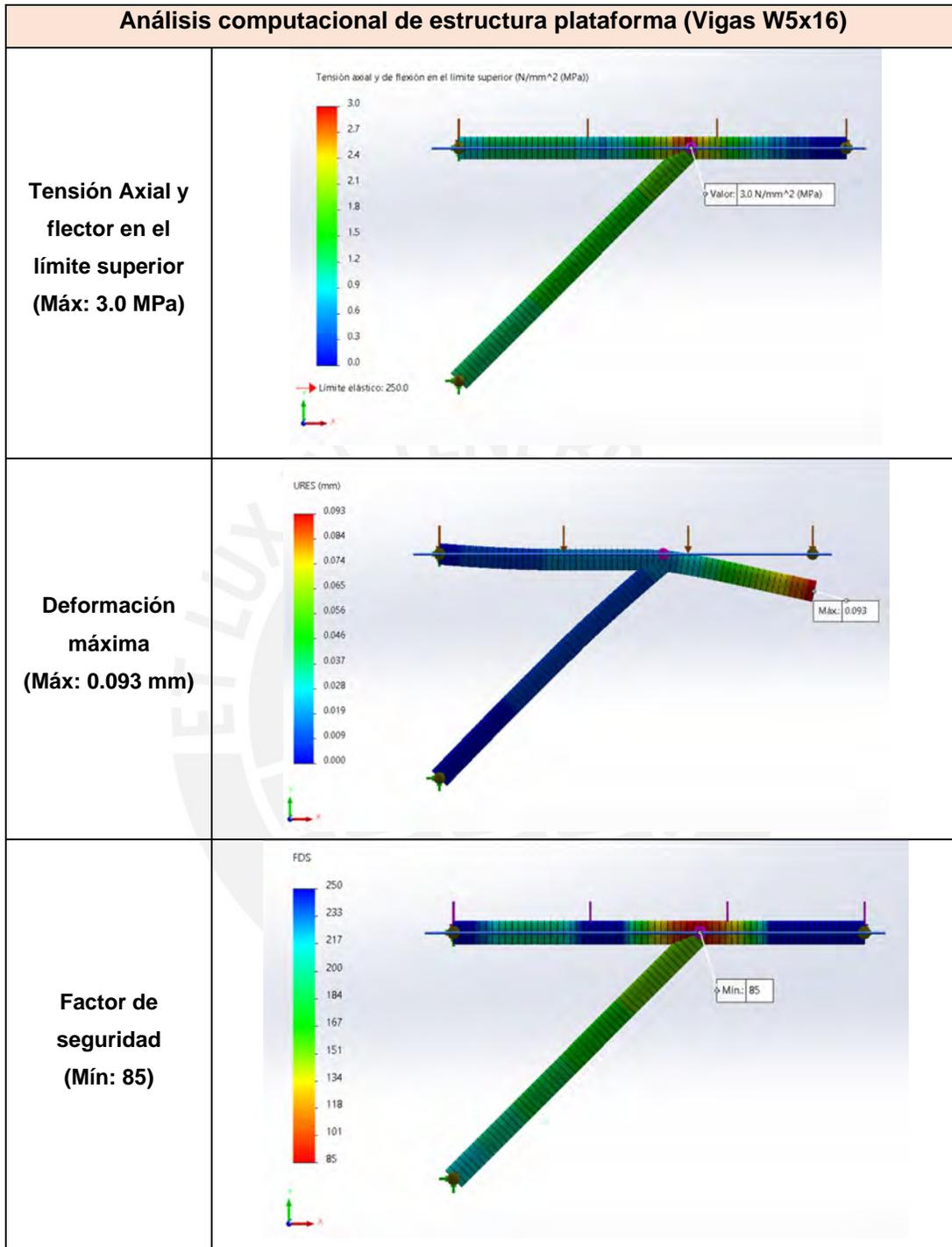


Datos de cargas en sección a analizar			
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor
Fuerza normal	$F_n$	N	0
Fuerza cortante	$F_c$	N	3,430
Momento flector	$M_f$	N.m	857
Esfuerzo de fluencia (ASTM A36)	$\sigma_f$	MPa	250

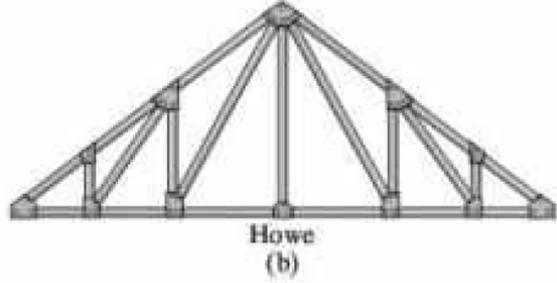
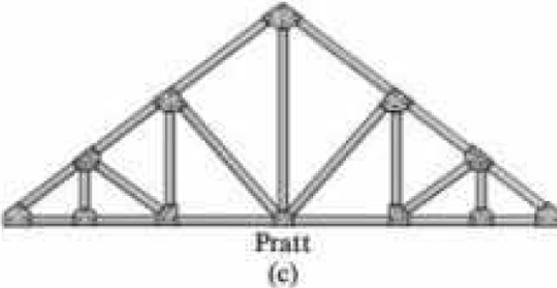
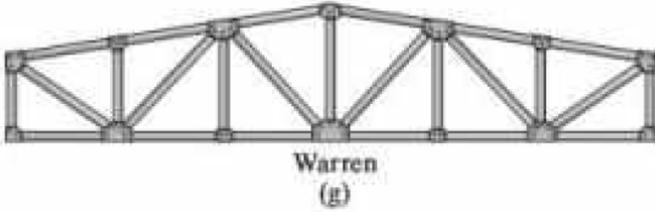
**ANEXO 4.4 – Análisis travesaño de plataforma (C3x4.1) (DCL, Diagramas y análisis) (Parte 2/2)**

<b>Análisis de esfuerzos de sección crítica</b>			
<b>Datos de entrada</b>			
<b>Perfil</b>			<b>C3x4.1</b>
<b>Ítem</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Área del perfil	$A_{\text{perfil}}$	$\text{in}^2$	1.2
Longitud de peralte	$d$	$\text{in}$	3
Inercia en eje X	$I_x$	$\text{in}^4$	1.65
<b>Análisis</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Coordenada Y	$y$	$\text{mm}$	38.1
Esfuerzo normal	$\sigma_N$	$\text{MPa}$	0.00
Esfuerzo cortante	$\tau_c$	$\text{MPa}$	4.43
Esfuerzo flector	$\sigma_f$	$\text{MPa}$	47.568
Esfuerzo equivalente (Von Mises)	$\sigma_{\text{eq}}$	$\text{MPa}$	48.183
Factor de Seguridad	<b>FS</b>	-	<b>5.2</b>

## ANEXO 4.5 – Análisis computacional de estructura plataforma (Viga + Diagonal)



## ANEXO 5 – Tipos de arriostre o reticulado

Tipos de arriostre o reticulado	
Armadura tipo Howe	 <p>Howe (b)</p>
Armadura tipo Pratt	 <p>Pratt (c)</p>
Armadura tipo Warren	 <p>Warren (g)</p>

**ANEXO 6.1 – Datos y análisis de CASO I de perfil C y W (1/2)**

Análisis de esfuerzos de sección crítica							
Datos de entrada							
Perfil			C8x11.5	C9x15	C10x20	C12x20.7	C15x33.9
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor				
Área del perfil	$A_{\text{perfil}}$	$\text{in}^2$	3.37	4.4	5.87	6.08	10
Distancia del centroide al peralte	$X_b$	in	0.572	0.586	0.606	0.698	0.788
Ancho del peralte	$t_w$	in	0.22	0.285	0.379	0.282	0.4
Longitud de peralte	$d$	in	8	9	10	12	15
Longitud de ala	$b_f$	in	2.26	2.49	2.74	2.94	3.4
Ancho de ala	$t_f$	in	0.39	0.413	0.436	0.501	0.65
Inercia en eje X	$I_x$	$\text{in}^4$	32.5	51	78.9	129	315
Ancho de viga	$a_{\text{vig}}$	in	55				
Área de sección	$A_{\text{secc}}$	$\text{in}^2$	6.7	8.8	11.74	12.16	20
Inercia total en eje X	$I_{xx}$	$\text{in}^4$	65	102	157.8	258	630
Análisis de esfuerzos de sección crítica							
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor				
Coordenada Y	$y$	mm	101.6	114.3	127	152.4	190.5
Esfuerzo normal	$\sigma_N$	MPa	0.71	0.54	0.41	0.39	0.24
Esfuerzo cortante	$\tau_c$	MPa	2.63	2.02	1.51	1.46	0.89
Esfuerzo flector	$\sigma_f$	MPa	67.359	48.290	34.683	25.455	13.031
Esfuerzo equivalente (Von Mises)	$\sigma_{\text{eq}}$	MPa	68.217	48.956	35.185	25.970	13.357
Factor de Seguridad	FS	-	3.7	5.1	7.1	9.6	18.7

## ANEXO 6.2 – Datos y análisis de CASO I de perfil C y W (2/2)

Análisis de esfuerzos de sección crítica							
Datos de entrada							
Perfil			W5x19	W6x20	W8x21	W10x22	W10x26
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor				
Área del perfil	$A_{\text{perfil}}$	$\text{in}^2$	5.56	5.87	6.16	6.49	7.61
Ancho del peralte	$t_w$	in	0.27	0.26	0.25	0.24	0.26
Longitud de peralte	$d$	in	5.15	6.2	8.28	10.2	10.3
Longitud de ala	$b_f$	in	5.03	6.02	5.27	5.75	5.77
Ancho de ala	$t_f$	in	0.43	0.365	0.4	0.36	0.44
Inercia en eje X	$I_x$	$\text{in}^4$	26.3	41.4	75.3	118	144
Ancho de viga	$a_{\text{vig}}$	in	55				
Área de sección	$A_{\text{secc}}$	$\text{in}^2$	11.1	11.7	12.32	12.98	15.22
Inercia total en eje X	$I_{xx}$	$\text{in}^4$	52.6	82.8	150.6	236	288
Análisis de esfuerzos de sección crítica							
Ítem	Símbolo	Unidades	Valor				
Coordenada Y	$y$	mm	65.405	78.74	105.16	129.54	130.81
Esfuerzo normal	$\sigma_N$	MPa	0.43	0.41	0.39	0.37	0.31
Esfuerzo cortante	$\tau_c$	MPa	1.60	1.51	1.44	1.37	1.17
Esfuerzo flector	$\sigma_f$	MPa	53.58	40.98	30.09	23.65	19.57
Esfuerzo equivalente (Von Mises)	$\sigma_{\text{eq}}$	MPa	54.08	41.47	30.58	24.14	19.99
Factor de Seguridad	FS	-	4.6	6.0	8.2	10.4	12.5

**ANEXO 7.1 – Datos y análisis de CASO II de perfil L, C y W (1/3)**

<b>Análisis de esfuerzos de sección crítica</b>						
<b>Datos de entrada</b>						
<b>Perfil</b>			<b>L5x5x5/16</b>	<b>L6x6x7/16</b>	<b>L6x6x3/4</b>	<b>L8x8x5/8</b>
<b>Ítem</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>			
Área del perfil	$A_{\text{perfil}}$	$\text{in}^2$	3.07	5.08	8.46	9.69
Ancho de ala	$t$	$\text{in}$	0.313	0.438	0.75	0.625
Longitud de ala	$d=bw$	$\text{in}$	5	6	6	8
Centroide	$xb=yb$	$\text{in}$	1.35	1.65	1.77	2.21
Inercia en eje X	$I_x$	$\text{in}^4$	7.44	17.6	28.1	59.6
Peso de perfil	$W$	$\text{lb/ft}$	10.3	17.2	28.7	32.7
Ancho de viga	$a_{\text{vig}}$	$\text{in}$	55			
Área de sección	$A_{\text{secc}}$	$\text{in}^2$	6.1	10.2	16.92	19.38
Inercia total en eje X	$I_{xx}$	$\text{in}^4$	14.88	35.2	56.2	119.2
Peso total	$Wt$	$\text{lb/ft}$	21	34	57	65
<b>Análisis</b>						
<b>Ítem</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>			
Coordenada Y	$y$	$\text{mm}$	92.7	110.5	107.4	147.1
Esfuerzo normal	$\sigma_N$	$\text{MPa}$	0.71	0.43	0.26	0.22
Esfuerzo cortante	$\tau_c$	$\text{MPa}$	1.39	0.84	0.50	0.44
Esfuerzo flector	$\sigma_f$	$\text{MPa}$	76.72	38.65	23.54	15.19
Esfuerzo equivalente (Von Mises)	$\sigma_{\text{eq}}$	$\text{MPa}$	77.46	39.10	23.81	15.43
Factor de Seguridad	<b>FS</b>	<b>-</b>	<b>3.2</b>	<b>6.4</b>	<b>10.5</b>	<b>16.2</b>

**ANEXO 7.2 – Datos y análisis de CASO II de perfil L, C y W (2/3)**

<b>Análisis de esfuerzos de sección crítica</b>						
<b>Datos de entrada</b>						
<b>Perfil</b>			<b>C5x9</b>	<b>C6x10.5</b>	<b>C7x12.25</b>	<b>C8x13.75</b>
<b>Ítem</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>			
Área del perfil	$A_{\text{perfil}}$	$\text{in}^2$	2.64	3.07	3.59	4.03
Distancia del centroide al peralte	$X_b$	$\text{in}$	0.478	0.5	0.525	0.554
Ancho del peralte	$t_w$	$\text{in}$	0.325	0.314	0.314	0.303
Longitud de peralte	$d$	$\text{in}$	5	6	7	8
Longitud de ala	$b_f$	$\text{in}$	1.89	2.03	2.19	2.34
Ancho de ala	$t_f$	$\text{in}$	0.32	0.343	0.366	0.39
Inercia en eje X	$I_x$	$\text{in}^4$	8.89	15.1	24.2	36.1
Peso de perfil	$W$	$\text{lb/ft}$	9	10.5	12.25	13.75
Ancho de viga	$a_{\text{vig}}$	$\text{in}$	55			
Área de sección	$A_{\text{secc}}$	$\text{in}^2$	5.3	6.1	7.18	8.06
Inercia total en eje X	$I_{xx}$	$\text{in}^4$	17.78	30.2	48.4	72.2
Peso de viga	$Wt$	$\text{lb/ft}$	18	21	24.5	27.5
<b>Análisis</b>						
<b>Ítem</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>			
Coordenada Y	$y$	$\text{mm}$	63.5	76.2	88.9	101.6
Esfuerzo normal	$\sigma_N$	<b>MPa</b>	0.82	0.71	0.60	0.54
Esfuerzo cortante	$\tau_c$	<b>MPa</b>	1.62	1.39	1.19	1.06
Esfuerzo flector	$\sigma_f$	<b>MPa</b>	43.975	31.068	22.616	17.327
Esfuerzo equivalente (Von Mises)	$\sigma_{\text{eq}}$	<b>MPa</b>	44.883	31.864	23.311	17.958
Factor de Seguridad	<b>FS</b>	<b>-</b>	<b>5.6</b>	<b>7.8</b>	<b>10.7</b>	<b>13.9</b>

**ANEXO 7.3 – Datos y análisis de CASO II de perfil L, C y W (3/3)**

<b>Análisis de esfuerzos de sección crítica</b>						
<b>Datos de entrada</b>						
<b>Perfil</b>			<b>W4x13</b>	<b>W5x16</b>	<b>W6x15</b>	<b>W8x13</b>
<b>Ítem</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>			
Área del perfil	$A_{\text{perfil}}$	$\text{in}^2$	3.83	4.71	4.43	3.84
Ancho del peralte	$t_w$	$\text{in}$	0.28	0.24	0.23	0.23
Longitud de peralte	$d$	$\text{in}$	4.16	5.01	5.99	7.99
Longitud de ala	$b_f$	$\text{in}$	4.06	5	5.99	4
Ancho de ala	$t_f$	$\text{in}$	0.345	0.36	0.26	0.255
Inercia en eje X	$I_x$	$\text{in}^4$	11.3	21.4	29.1	39.6
Peso de perfil	$W$	$\text{lb/ft}$	13	16	15	13
Ancho de viga	$a_{\text{vig}}$	$\text{in}$	55			
Área de sección	$A_{\text{secc}}$	$\text{in}^2$	7.7	9.4	8.86	7.68
Inercia de viga	$I_x$	$\text{in}^4$	22.6	42.8	58.2	79.2
Peso total viga	$Wt$	$\text{lb/ft}$	26	32	30	26
<b>Análisis</b>						
<b>Ítem</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>			
Coordenada Y	$y$	$\text{mm}$	52.832	63.627	76.073	101.473
Esfuerzo normal	$\sigma_N$	$\text{MPa}$	0.57	0.46	0.49	0.56
Esfuerzo cortante	$\tau_c$	$\text{MPa}$	1.12	0.91	0.96	1.11
Esfuerzo flector	$\sigma_f$	$\text{MPa}$	28.78	18.30	16.09	15.78
Esfuerzo equivalente (Von Mises)	$\sigma_{\text{eq}}$	$\text{MPa}$	29.41	18.83	16.67	16.45
Factor de Seguridad	<b>FS</b>	<b>-</b>	<b>8.5</b>	<b>13.3</b>	<b>15.0</b>	<b>15.2</b>

## ANEXO 8 – Método de Hardy Cross, análisis de desplazamiento: Distribución de momentos

En este método se toma en cuenta lo siguiente:

- **Convención de signos:** Para este método, los momentos en sentido horario se toman como positivos y viceversa.
- **Momentos en extremos fijos:** Momentos en “paredes” o juntas fijas de un elemento cargado.
- **Factor de rigidez:** Se define el factor de rigidez (en este caso angular) al momento necesario para hacer girar un extremo de una viga 1 rad.

$$K = \frac{4 * E * I}{L}$$

Aquí, como se están calculando las reacciones y los momentos sobre la viga, no es necesario considerar el módulo de elasticidad y el momento de inercia. Por lo que dicho producto  $E*I$  se considera que es igual a la unidad.

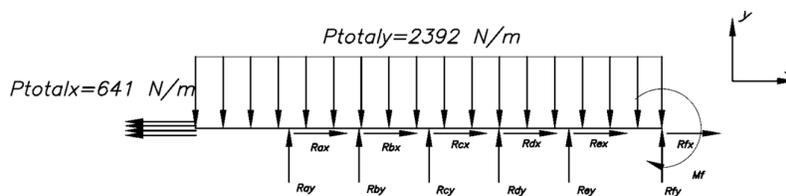
- **Factor de distribución:** Cuando se ejerce un momento sobre una junta, una fracción de este momento va para cada elemento que concurre en dicha junta y se define de la siguiente manera:

$$FD = \frac{K_i}{\sum K}$$

- **Factor de traslado:** El momento actuante en un extremo se traslada hacia el otro extremo con un factor igual a 0.5.

El objetivo de este método es hacer un balance de todos los momentos internos hasta que la cantidad a trasladar sea prácticamente cero. Por lo que se tendrán que hacer las iteraciones necesarias para llegar a un resultado más preciso y más confiable.

Con el procedimiento definido, se define el DCL del sistema:



DCL del sistema (Elaboración propia)

### Procedimiento:

1) En primer lugar, se calcula la rigidez de cada tramo. Tomaremos que el tramo que está en voladizo no recibirá otro momento más que la de la carga distribuida. Para los demás tramos se tiene:

$$K_{BA} = \frac{4}{l} = 2.41$$

Nótese que todos los tramos se pueden considerar los mismos, por lo que la rigidez será igual para todos los casos.

2) En segundo lugar, se calcula el factor de distribución en todos los tramos. Tomaremos como ejemplo el caso del tramo BA, el cual quiere decir desde el punto B hacia A. En el voladizo no habrá momento que distribuir, por lo que el factor sería cero.

$$FD = \frac{K_i}{\sum K} = \frac{K_{BA}}{K_{BA} + K_{AB}} = \frac{2.41}{2.41 + 0} = 1$$

3) Conocido el factor de distribución, se procede a calcular los momentos en cada uno de los tramos, teniendo en cuenta la convención de signos establecida líneas arriba. Para el caso del voladizo, es fácil ver que el momento actuante en el apoyo no será otra cosa que la siguiente expresión:

$$M_A = \frac{q * L^2}{2} = \frac{2392 * 2,07^2}{2} = 5124.7 N * m$$

Es trivial que este momento estará apuntando hacia dentro del papel por la regla de la mano derecha, por lo que debería de tener signo negativo. Sin embargo, para este método lo consideraremos como signo positivo tal y como lo establece la convención de signos.

Para cada uno de los siguientes tramos se considera, la siguiente expresión conocida:

$$M = \frac{q * L^2}{12} = \frac{2392 * 1.66^2}{12} = 549.3 N * m$$

Dependerá ahora de qué lado del tramo estemos analizando para establecer el signo.

4) Conocidos los momentos, ahora se procede a realizar un primer desplazamiento de momentos. Se sabe que en cada nodo o apoyo actúa un cierto momento con un determinado signo. Se toma la resultante de esos momentos y se distribuye con el factor de distribución para ese tramo. Por ejemplo, en el nodo A, se tiene un momento horario de 5124.7 y uno anti-horario de 549.3. Además, se tiene que para el tramo AB, con el lado más cerca al apoyo A, el factor de distribución es igual a la unidad. Por lo que el momento trasladado sería:

$$M_{1DA} = -(5124.7 - 549.3) * 1 = -4575.5 \text{ N} * \text{m}$$

Con ello se realizan todos los desplazamientos de momentos.

5) Se efectúa el traslado del momento desplazado, para hallar su influencia en los demás puntos. Para lo cual se debe de multiplicar por el valor de 0,5 para este caso de vigas. Por ejemplo, para el momento desplazado de -4575.5 N\*m, se traslada el momento hacia el lado del apoyo B.

$$M_{1TB} = -4575.5 * 0,5 = -2287.7 \text{ N} * \text{m}$$

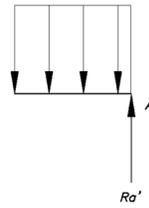
De la misma forma se hace para todos los apoyos. Como ya se dijo antes, este proceso se realiza una y otra vez hasta notar que no existen momentos remanentes en los apoyos que puedan tener una influencia en los demás apoyos. En la ANEXO 8 se puede ver que se iteraron 17 veces con tal de llegar a una solución más precisa

6) Por último, una vez verificado que no hay más momentos en cada apoyo que influyan en los demás, se procede a sumar todos los momentos resultantes en cada iteración, teniendo así al final el momento interno resultante de cada apoyo.

Ahora conocidas los momentos internos en cada uno de los apoyos, se puede utilizar las ecuaciones que nos provee la estática por cada tramo de la viga para poder hallar las reacciones en cada uno de los apoyos.

**Tramo A:** Voladizo con un apoyo fijo. Haciendo un balance en el eje vertical (y) se puede hallar una parte de la reacción en A a la que llamaremos A'.

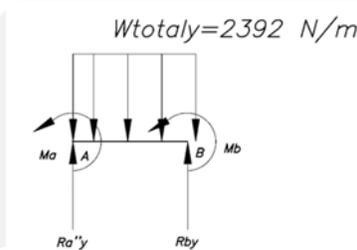
$$W_{totaly}=2392 \text{ N/m}$$



*DCL del tramo A (Elaboración propia)*

$$R_{A'} = 4951.4 \text{ N}$$

**Tramo AB:** Este tramo está sobre dos apoyos fijos, los cuales internamente tienen dos momentos apuntando hacia afuera del papel por la convención de signos. Aquí utilizando las ecuaciones de la estática, se halla la otra parte de la reacción en A, a la que llamaremos A''.



*DCL del tramo A (Elaboración propia)*

Tomando momentos respecto a B, se tiene que parte de la reacción en A será:

$$R_{A''} = 5480.6 \text{ N}$$

Por lo que la reacción total en A será de:

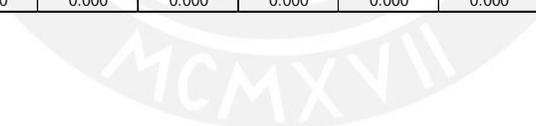
$$R_A = R_{A'} + R_{A''} = 10\,432 \text{ N}$$

## ANEXO 9 - Conjunto de valores de deformación de la viga principal de CASO I:

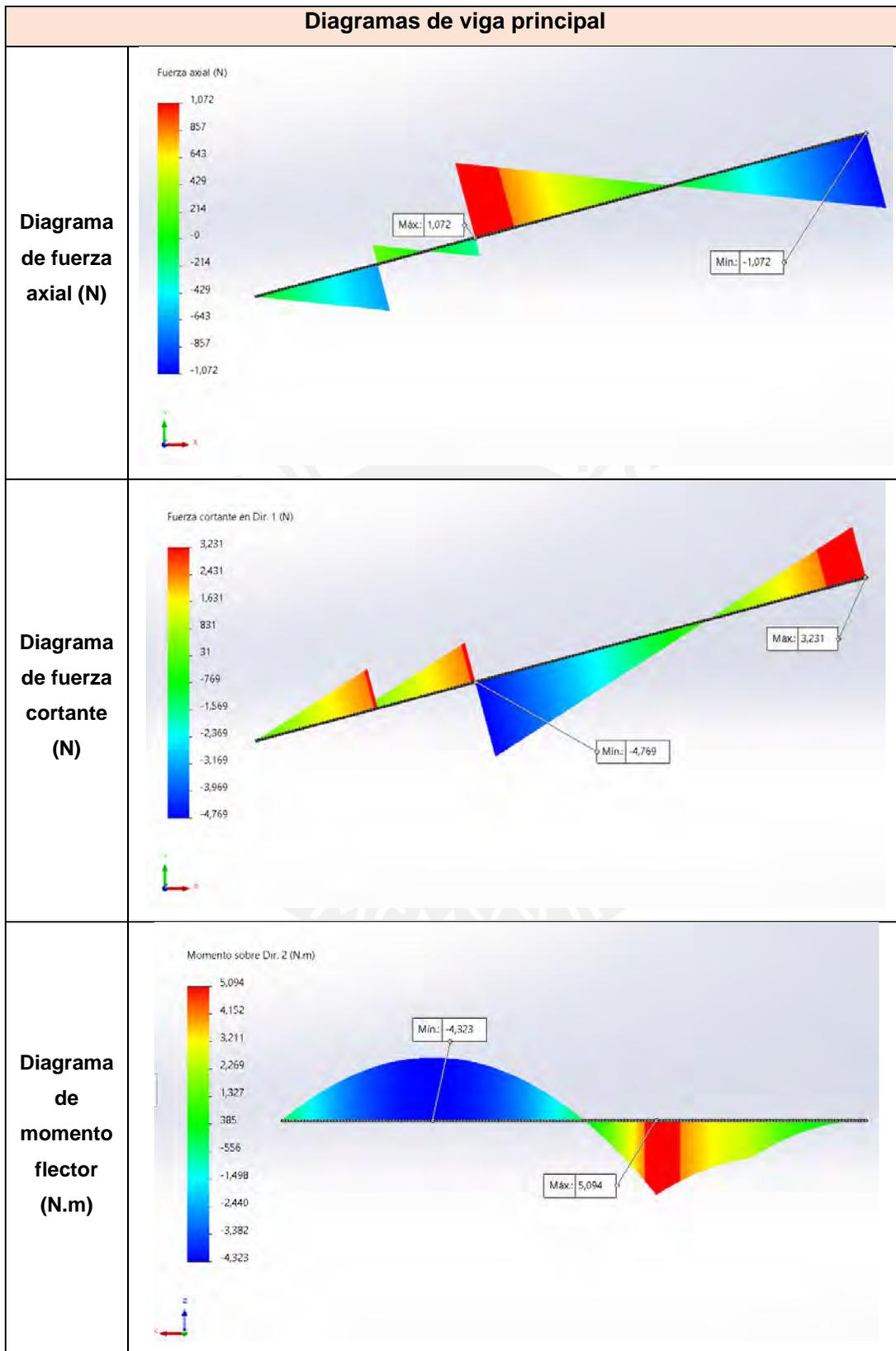
### Estructura sin arriostre

PERFIL	C8x11.5	C9x15	C10x20	C12x20.7	C15x33.9	W5x19	W6x20	W8x21	W10x22	W10x26
Posición (m)	Deflexión (mm)									
0.00	5.475	3.489	2.255	1.379	0.565	6.766	4.298	2.363	1.508	1.236
0.10	5.218	3.325	2.149	1.315	0.538	6.448	4.096	2.252	1.437	1.178
0.21	4.960	3.161	2.043	1.250	0.512	6.129	3.894	2.141	1.366	1.119
0.31	4.702	2.997	1.937	1.185	0.485	5.811	3.691	2.030	1.295	1.061
0.41	4.444	2.832	1.831	1.120	0.459	5.492	3.489	1.918	1.224	1.003
0.52	4.186	2.667	1.724	1.055	0.432	5.173	3.286	1.807	1.153	0.945
0.62	3.927	2.502	1.617	0.989	0.405	4.852	3.083	1.695	1.082	0.886
0.72	3.667	2.337	1.510	0.924	0.378	4.531	2.879	1.583	1.010	0.828
0.83	3.406	2.170	1.403	0.858	0.351	4.209	2.674	1.470	0.938	0.769
0.93	3.143	2.003	1.295	0.792	0.324	3.884	2.467	1.357	0.866	0.709
1.04	2.879	1.834	1.186	0.725	0.297	3.557	2.260	1.242	0.793	0.650
1.14	2.612	1.664	1.076	0.658	0.269	3.227	2.050	1.127	0.719	0.589
1.24	2.342	1.492	0.965	0.590	0.242	2.894	1.838	1.011	0.645	0.528
1.35	2.068	1.318	0.852	0.521	0.213	2.556	1.624	0.893	0.570	0.467
1.45	1.791	1.141	0.738	0.451	0.185	2.213	1.406	0.773	0.493	0.404
1.55	1.508	0.961	0.621	0.380	0.156	1.864	1.184	0.651	0.415	0.340
1.66	1.221	0.778	0.503	0.308	0.126	1.509	0.958	0.527	0.336	0.276
1.76	0.927	0.591	0.382	0.234	0.096	1.145	0.728	0.400	0.255	0.209
1.86	0.626	0.399	0.258	0.158	0.065	0.774	0.491	0.270	0.172	0.141
1.97	0.317	0.202	0.131	0.080	0.033	0.392	0.249	0.137	0.087	0.072
2.07	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.17	-0.327	-0.208	-0.135	-0.082	-0.034	-0.404	-0.256	-0.141	-0.090	-0.074
2.28	-0.661	-0.421	-0.272	-0.167	-0.068	-0.817	-0.519	-0.285	-0.182	-0.149
2.38	-1.003	-0.639	-0.413	-0.253	-0.103	-1.239	-0.787	-0.433	-0.276	-0.226
2.48	-1.349	-0.859	-0.556	-0.340	-0.139	-1.667	-1.059	-0.582	-0.371	-0.304
2.59	-1.698	-1.082	-0.700	-0.428	-0.175	-2.099	-1.333	-0.733	-0.468	-0.383
2.69	-2.050	-1.307	-0.845	-0.517	-0.212	-2.534	-1.610	-0.885	-0.565	-0.463
2.79	-2.403	-1.531	-0.990	-0.605	-0.248	-2.969	-1.886	-1.037	-0.662	-0.542
2.90	-2.755	-1.756	-1.135	-0.694	-0.284	-3.404	-2.163	-1.189	-0.759	-0.622
3.00	-3.105	-1.979	-1.279	-0.782	-0.320	-3.837	-2.438	-1.340	-0.855	-0.701
3.11	-3.452	-2.200	-1.422	-0.870	-0.356	-4.266	-2.710	-1.490	-0.951	-0.779
3.21	-3.795	-2.419	-1.563	-0.956	-0.392	-4.690	-2.979	-1.638	-1.045	-0.857
3.31	-4.133	-2.634	-1.702	-1.041	-0.426	-5.107	-3.244	-1.784	-1.138	-0.933
3.42	-4.464	-2.845	-1.839	-1.125	-0.461	-5.516	-3.504	-1.927	-1.229	-1.007
3.52	-4.788	-3.051	-1.972	-1.206	-0.494	-5.916	-3.758	-2.066	-1.319	-1.081
3.62	-5.103	-3.252	-2.102	-1.286	-0.526	-6.306	-4.006	-2.202	-1.405	-1.152
3.73	-5.409	-3.447	-2.228	-1.363	-0.558	-6.684	-4.246	-2.335	-1.490	-1.221
3.83	-5.705	-3.635	-2.350	-1.437	-0.589	-7.049	-4.478	-2.462	-1.571	-1.287
3.93	-5.989	-3.817	-2.467	-1.509	-0.618	-7.401	-4.702	-2.585	-1.650	-1.352
4.04	-6.262	-3.990	-2.579	-1.578	-0.646	-7.738	-4.916	-2.703	-1.725	-1.413
4.14	-6.522	-4.156	-2.687	-1.643	-0.673	-8.060	-5.120	-2.815	-1.796	-1.472
4.24	-6.769	-4.314	-2.788	-1.705	-0.698	-8.365	-5.314	-2.922	-1.864	-1.528
4.35	-7.002	-4.462	-2.884	-1.764	-0.722	-8.653	-5.497	-3.022	-1.929	-1.580
4.45	-7.220	-4.601	-2.974	-1.819	-0.745	-8.923	-5.668	-3.116	-1.989	-1.630
4.55	-7.424	-4.731	-3.058	-1.870	-0.766	-9.174	-5.828	-3.204	-2.045	-1.676
4.66	-7.612	-4.851	-3.135	-1.918	-0.785	-9.406	-5.975	-3.285	-2.096	-1.718
4.76	-7.784	-4.960	-3.206	-1.961	-0.803	-9.618	-6.110	-3.359	-2.144	-1.757
4.86	-7.939	-5.059	-3.270	-2.000	-0.819	-9.810	-6.232	-3.427	-2.187	-1.792
4.97	-8.078	-5.148	-3.327	-2.035	-0.833	-9.982	-6.341	-3.486	-2.225	-1.823
5.07	-8.199	-5.225	-3.377	-2.066	-0.846	-10.132	-6.437	-3.539	-2.258	-1.851
5.18	-8.304	-5.292	-3.420	-2.092	-0.857	-10.261	-6.519	-3.584	-2.287	-1.874
5.28	-8.390	-5.347	-3.456	-2.114	-0.866	-10.368	-6.587	-3.621	-2.311	-1.894
5.38	-8.460	-5.391	-3.485	-2.131	-0.873	-10.454	-6.641	-3.651	-2.330	-1.909
5.49	-8.511	-5.424	-3.506	-2.144	-0.878	-10.517	-6.681	-3.673	-2.344	-1.921
5.59	-8.545	-5.445	-3.520	-2.153	-0.882	-10.559	-6.708	-3.688	-2.353	-1.928
5.69	-8.560	-5.455	-3.526	-2.157	-0.883	-10.578	-6.720	-3.695	-2.358	-1.932
5.80	-8.558	-5.454	-3.525	-2.156	-0.883	-10.576	-6.718	-3.694	-2.357	-1.932
5.90	-8.538	-5.441	-3.517	-2.151	-0.881	-10.551	-6.703	-3.685	-2.352	-1.927
6.00	-8.501	-5.417	-3.502	-2.142	-0.877	-10.505	-6.673	-3.669	-2.341	-1.919

PERFIL	C8x11.5	C9x15	C10x20	C12x20.7	C15x33.9	W5x19	W6x20	W8x21	W10x22	W10x26
Posición (m)	Deflexión (mm)									
6.11	-8.446	-5.382	-3.479	-2.128	-0.871	-10.437	-6.630	-3.645	-2.326	-1.906
6.21	-8.374	-5.336	-3.449	-2.110	-0.864	-10.348	-6.574	-3.614	-2.306	-1.890
6.31	-8.285	-5.280	-3.413	-2.087	-0.855	-10.238	-6.504	-3.576	-2.282	-1.870
6.42	-8.180	-5.213	-3.369	-2.061	-0.844	-10.108	-6.421	-3.530	-2.253	-1.846
6.52	-8.058	-5.135	-3.319	-2.030	-0.831	-9.958	-6.326	-3.478	-2.219	-1.819
6.62	-7.920	-5.047	-3.263	-1.995	-0.817	-9.788	-6.218	-3.419	-2.181	-1.788
6.73	-7.768	-4.950	-3.200	-1.957	-0.801	-9.599	-6.098	-3.353	-2.139	-1.753
6.83	-7.600	-4.843	-3.131	-1.915	-0.784	-9.392	-5.966	-3.280	-2.093	-1.715
6.93	-7.418	-4.727	-3.056	-1.869	-0.765	-9.167	-5.824	-3.202	-2.043	-1.674
7.04	-7.223	-4.603	-2.975	-1.820	-0.745	-8.926	-5.670	-3.117	-1.989	-1.630
7.14	-7.014	-4.470	-2.889	-1.767	-0.724	-8.668	-5.507	-3.028	-1.932	-1.583
7.25	-6.794	-4.329	-2.798	-1.712	-0.701	-8.395	-5.333	-2.932	-1.871	-1.533
7.35	-6.562	-4.182	-2.703	-1.653	-0.677	-8.109	-5.151	-2.832	-1.807	-1.481
7.45	-6.319	-4.027	-2.603	-1.592	-0.652	-7.809	-4.961	-2.727	-1.740	-1.426
7.56	-6.067	-3.866	-2.499	-1.528	-0.626	-7.497	-4.762	-2.618	-1.671	-1.369
7.66	-5.805	-3.699	-2.391	-1.463	-0.599	-7.174	-4.557	-2.506	-1.599	-1.310
7.76	-5.536	-3.528	-2.280	-1.395	-0.571	-6.841	-4.346	-2.389	-1.525	-1.249
7.87	-5.259	-3.352	-2.166	-1.325	-0.543	-6.499	-4.129	-2.270	-1.449	-1.187
7.97	-4.977	-3.172	-2.050	-1.254	-0.514	-6.151	-3.907	-2.148	-1.371	-1.123
8.07	-4.690	-2.989	-1.932	-1.182	-0.484	-5.796	-3.682	-2.024	-1.292	-1.059
8.18	-4.400	-2.804	-1.812	-1.108	-0.454	-5.437	-3.454	-1.899	-1.212	-0.993
8.28	-4.107	-2.617	-1.692	-1.035	-0.424	-5.075	-3.224	-1.772	-1.131	-0.927
8.38	-3.812	-2.429	-1.570	-0.960	-0.393	-4.711	-2.993	-1.645	-1.050	-0.860
8.49	-3.518	-2.242	-1.449	-0.886	-0.363	-4.347	-2.762	-1.518	-0.969	-0.794
8.59	-3.225	-2.055	-1.329	-0.813	-0.333	-3.986	-2.532	-1.392	-0.888	-0.728
8.69	-2.935	-1.871	-1.209	-0.740	-0.303	-3.627	-2.304	-1.267	-0.808	-0.662
8.80	-2.650	-1.689	-1.091	-0.668	-0.273	-3.274	-2.080	-1.144	-0.730	-0.598
8.90	-2.370	-1.510	-0.976	-0.597	-0.244	-2.928	-1.860	-1.023	-0.653	-0.535
9.00	-2.097	-1.336	-0.864	-0.528	-0.216	-2.591	-1.646	-0.905	-0.578	-0.473
9.11	-1.833	-1.168	-0.755	-0.462	-0.189	-2.265	-1.439	-0.791	-0.505	-0.414
9.21	-1.580	-1.007	-0.651	-0.398	-0.163	-1.952	-1.240	-0.682	-0.435	-0.357
9.32	-1.339	-0.853	-0.551	-0.337	-0.138	-1.654	-1.051	-0.578	-0.369	-0.302
9.42	-1.111	-0.708	-0.458	-0.280	-0.115	-1.373	-0.872	-0.480	-0.306	-0.251
9.52	-0.900	-0.573	-0.371	-0.227	-0.093	-1.112	-0.706	-0.388	-0.248	-0.203
9.63	-0.706	-0.450	-0.291	-0.178	-0.073	-0.872	-0.554	-0.305	-0.194	-0.159
9.73	-0.531	-0.338	-0.219	-0.134	-0.055	-0.656	-0.417	-0.229	-0.146	-0.120
9.83	-0.377	-0.241	-0.155	-0.095	-0.039	-0.466	-0.296	-0.163	-0.104	-0.085
9.94	-0.247	-0.158	-0.102	-0.062	-0.026	-0.306	-0.194	-0.107	-0.068	-0.056
10.04	-0.142	-0.091	-0.059	-0.036	-0.015	-0.176	-0.112	-0.061	-0.039	-0.032
10.14	-0.065	-0.041	-0.027	-0.016	-0.007	-0.080	-0.051	-0.028	-0.018	-0.015
10.25	-0.017	-0.011	-0.007	-0.004	-0.002	-0.021	-0.013	-0.007	-0.005	-0.004
10.35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



## ANEXO 10 – Diagramas de viga principal (CASO I)



**ANEXO 11– Iteraciones para hallar momentos en reacciones de viga CASO II  
(Estructura con arriostre inferior)**

APOYO		A		B		C		D		E		F
Longitud de tramo	m	2.07	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
Rigidez (k)		0.00	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41	2.41
Factor de desplazamiento	-	0.00	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
Momento interno	N.m	5124.74	-549.28	549.28	-549.28	549.28	-549.28	549.28	-549.28	549.28	-549.28	549.28
1D	N.m	0.00	-4575.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1T	N.m	0.00	0.00	-2287.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2D	N.m	0.00	0.00	1143.86	1143.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2T	N.m	0.00	571.93	0.00	0.00	571.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3D	N.m	0.00	-571.93	0.00	0.00	-285.97	-285.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3T	N.m	0.00	0.00	-285.97	-142.98	0.00	0.00	-142.98	0.00	0.00	0.00	0.00
4D	N.m	0.00	0.00	214.47	214.47	0.00	0.00	71.49	71.49	0.00	0.00	0.00
4T	N.m	0.00	107.24	0.00	0.00	107.24	35.75	0.00	0.00	35.75	0.00	35.75
5D	N.m	0.00	-107.24	0.00	0.00	-71.49	-71.49	0.00	0.00	-17.87	-17.87	0.00
5T	N.m	0.00	0.00	-53.62	-35.75	0.00	0.00	-35.75	0.00	0.00	0.00	0.00
6D	N.m	0.00	0.00	44.68	44.68	0.00	0.00	17.87	17.87	0.00	0.00	0.00
6T	N.m	0.00	22.34	0.00	0.00	22.34	8.94	0.00	0.00	8.94	0.00	8.94
7D	N.m	0.00	-22.34	0.00	0.00	-15.64	-15.64	0.00	0.00	-4.47	-4.47	0.00
7T	N.m	0.00	0.00	-11.17	-7.82	0.00	0.00	-7.82	0.00	0.00	0.00	0.00
8D	N.m	0.00	0.00	9.49	9.49	0.00	0.00	3.91	3.91	0.00	0.00	0.00
8T	N.m	0.00	4.75	0.00	0.00	4.75	1.95	0.00	0.00	1.95	0.00	1.95
9D	N.m	0.00	-4.75	0.00	0.00	-3.35	-3.35	0.00	0.00	-0.98	-0.98	0.00
9T	N.m	0.00	0.00	-2.37	-1.68	0.00	0.00	-1.68	0.00	0.00	0.00	0.00
10D	N.m	0.00	0.00	2.02	2.02	0.00	0.00	0.84	0.84	0.00	0.00	0.00
10T	N.m	0.00	1.01	0.00	0.00	1.01	0.42	0.00	0.00	0.42	0.00	0.42
11D	N.m	0.00	-1.01	0.00	0.00	-0.72	-0.72	0.00	0.00	-0.21	-0.21	0.00
11T	N.m	0.00	0.00	-0.51	-0.36	0.00	0.00	-0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
12D	N.m	0.00	0.00	0.43	0.43	0.00	0.00	0.18	0.18	0.00	0.00	0.00
12T	N.m	0.00	0.22	0.00	0.00	0.22	0.09	0.00	0.00	0.09	0.00	0.09
13D	N.m	0.00	-0.22	0.00	0.00	-0.15	-0.15	0.00	0.00	-0.04	-0.04	0.00
13T	N.m	0.00	0.00	-0.11	-0.08	0.00	0.00	-0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
14D	N.m	0.00	0.00	0.09	0.09	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
14T	N.m	0.00	0.05	0.00	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02
15D	N.m	0.00	-0.05	0.00	0.00	-0.03	-0.03	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00
15T	N.m	0.00	0.00	-0.02	-0.02	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
16D	N.m	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
16T	N.m	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17D	N.m	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17T	N.m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>MOMENTO EN APOYO (Resultante)</b>	N.m	5124.74	-5124.74	-677.13	677.12	879.47	-879.47	454.94	-454.95	572.87	-572.87	596.45

APOYO		A		B		C		D		E		F
Reacciones por tramos		Ra'	Ra''	Rb'	Rb''	Rc'	Rc''	Rd'	Rd''	Re'	Re''	Rf
	N	4951.4	5480.5	-1509.7	1047.7	2923.1	2241.1	1729.6	1900.1	2070.6	2330.5	2070.6
Reaccion total (y)	N	10432		-462		5164		3630		4401		2071
Reaccion total (x)	N	2795		-124		1384		973		1179		555

## ANEXO 12 - Conjunto de valores de deformación de la viga principal de CASO

### II: Estructura con arriostre inferior

PERFIL	L5x5x5/1 6	L6x6x7/1 6	L6x6x3/4	L8x8x5/8	C5x9	C6x10.5	C7x12.25	C8x13.75	W4x13	W5x16	W6x15	W8x13
Posición (m)	Deflexión (mm)											
0.00	-7.671	-3.243	-2.031	-0.958	-6.420	-3.780	-2.358	-1.581	-5.051	-2.667	-1.961	-1.441
0.10	-7.217	-3.051	-1.911	-0.901	-6.040	-3.556	-2.219	-1.487	-4.752	-2.509	-1.845	-1.356
0.21	-6.763	-2.859	-1.791	-0.844	-5.660	-3.332	-2.079	-1.394	-4.453	-2.351	-1.729	-1.271
0.31	-6.310	-2.667	-1.671	-0.788	-5.281	-3.109	-1.940	-1.300	-4.155	-2.194	-1.613	-1.186
0.41	-5.858	-2.476	-1.551	-0.731	-4.902	-2.886	-1.801	-1.207	-3.857	-2.037	-1.498	-1.101
0.52	-5.407	-2.286	-1.432	-0.675	-4.525	-2.664	-1.662	-1.114	-3.560	-1.880	-1.382	-1.016
0.62	-4.959	-2.096	-1.313	-0.619	-4.150	-2.443	-1.525	-1.022	-3.265	-1.724	-1.268	-0.932
0.72	-4.515	-1.909	-1.195	-0.564	-3.779	-2.225	-1.388	-0.931	-2.973	-1.570	-1.154	-0.848
0.83	-4.076	-1.723	-1.079	-0.509	-3.411	-2.008	-1.253	-0.840	-2.684	-1.417	-1.042	-0.766
0.93	-3.644	-1.540	-0.965	-0.455	-3.049	-1.795	-1.120	-0.751	-2.399	-1.267	-0.932	-0.685
1.04	-3.220	-1.361	-0.853	-0.402	-2.695	-1.587	-0.990	-0.664	-2.120	-1.120	-0.823	-0.605
1.14	-2.807	-1.187	-0.743	-0.350	-2.349	-1.383	-0.863	-0.579	-1.848	-0.976	-0.718	-0.527
1.24	-2.407	-1.017	-0.637	-0.300	-2.014	-1.186	-0.740	-0.496	-1.585	-0.837	-0.615	-0.452
1.35	-2.022	-0.855	-0.535	-0.252	-1.692	-0.996	-0.622	-0.417	-1.331	-0.703	-0.517	-0.380
1.45	-1.655	-0.699	-0.438	-0.207	-1.385	-0.815	-0.509	-0.341	-1.089	-0.575	-0.423	-0.311
1.55	-1.308	-0.553	-0.346	-0.163	-1.095	-0.644	-0.402	-0.270	-0.861	-0.455	-0.334	-0.246
1.66	-0.985	-0.416	-0.261	-0.123	-0.825	-0.485	-0.303	-0.203	-0.649	-0.343	-0.252	-0.185
1.76	-0.690	-0.291	-0.183	-0.086	-0.577	-0.340	-0.212	-0.142	-0.454	-0.240	-0.176	-0.130
1.86	-0.424	-0.179	-0.112	-0.053	-0.355	-0.209	-0.130	-0.087	-0.279	-0.148	-0.108	-0.080
1.97	-0.193	-0.082	-0.051	-0.024	-0.162	-0.095	-0.059	-0.040	-0.127	-0.067	-0.049	-0.036
2.07	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.17	0.152	0.064	0.040	0.019	0.127	0.075	0.047	0.031	0.100	0.053	0.039	0.029
2.28	0.266	0.113	0.071	0.033	0.223	0.131	0.082	0.055	0.175	0.093	0.068	0.050
2.38	0.348	0.147	0.092	0.043	0.291	0.171	0.107	0.072	0.229	0.121	0.089	0.065
2.48	0.400	0.169	0.106	0.050	0.335	0.197	0.123	0.082	0.263	0.139	0.102	0.075
2.59	0.427	0.180	0.113	0.053	0.357	0.210	0.131	0.088	0.281	0.148	0.109	0.080
2.69	0.433	0.183	0.115	0.054	0.362	0.213	0.133	0.089	0.285	0.150	0.111	0.081
2.79	0.420	0.178	0.111	0.052	0.352	0.207	0.129	0.087	0.277	0.146	0.107	0.079
2.90	0.394	0.166	0.104	0.049	0.330	0.194	0.121	0.081	0.259	0.137	0.101	0.074
3.00	0.356	0.150	0.094	0.044	0.298	0.175	0.109	0.073	0.234	0.124	0.091	0.067
3.11	0.309	0.131	0.082	0.039	0.259	0.152	0.095	0.064	0.204	0.108	0.079	0.058
3.21	0.257	0.109	0.068	0.032	0.215	0.127	0.079	0.053	0.169	0.089	0.066	0.048
3.31	0.201	0.085	0.053	0.025	0.169	0.099	0.062	0.041	0.133	0.070	0.051	0.038
3.42	0.145	0.061	0.038	0.018	0.121	0.071	0.044	0.030	0.095	0.050	0.037	0.027
3.52	0.089	0.038	0.024	0.011	0.075	0.044	0.027	0.018	0.059	0.031	0.023	0.017
3.62	0.036	0.015	0.010	0.005	0.030	0.018	0.011	0.007	0.024	0.013	0.009	0.007
3.70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3.80	-0.044	-0.019	-0.012	-0.006	-0.037	-0.022	-0.014	-0.009	-0.029	-0.015	-0.011	-0.008
3.91	-0.082	-0.035	-0.022	-0.010	-0.069	-0.040	-0.025	-0.017	-0.054	-0.028	-0.021	-0.015
4.01	-0.113	-0.048	-0.030	-0.014	-0.094	-0.055	-0.035	-0.023	-0.074	-0.039	-0.029	-0.021
4.11	-0.136	-0.057	-0.036	-0.017	-0.114	-0.067	-0.042	-0.028	-0.089	-0.047	-0.035	-0.026
4.22	-0.152	-0.064	-0.040	-0.019	-0.127	-0.075	-0.047	-0.031	-0.100	-0.053	-0.039	-0.029
4.32	-0.160	-0.068	-0.042	-0.020	-0.134	-0.079	-0.049	-0.033	-0.105	-0.056	-0.041	-0.030
4.42	-0.161	-0.068	-0.043	-0.020	-0.135	-0.080	-0.050	-0.033	-0.106	-0.056	-0.041	-0.030
4.53	-0.156	-0.066	-0.041	-0.019	-0.131	-0.077	-0.048	-0.032	-0.103	-0.054	-0.040	-0.029
4.63	-0.145	-0.061	-0.038	-0.018	-0.121	-0.071	-0.045	-0.030	-0.095	-0.050	-0.037	-0.027
4.74	-0.128	-0.054	-0.034	-0.016	-0.107	-0.063	-0.039	-0.026	-0.085	-0.045	-0.033	-0.024
4.84	-0.108	-0.046	-0.029	-0.013	-0.090	-0.053	-0.033	-0.022	-0.071	-0.038	-0.028	-0.020
4.94	-0.085	-0.036	-0.023	-0.011	-0.071	-0.042	-0.026	-0.018	-0.056	-0.030	-0.022	-0.016
5.05	-0.061	-0.026	-0.016	-0.008	-0.051	-0.030	-0.019	-0.013	-0.040	-0.021	-0.016	-0.011
5.15	-0.038	-0.016	-0.010	-0.005	-0.031	-0.018	-0.012	-0.008	-0.025	-0.013	-0.010	-0.007
5.25	-0.017	-0.007	-0.004	-0.002	-0.014	-0.008	-0.005	-0.003	-0.011	-0.006	-0.004	-0.003
5.36	-0.001	0.000	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5.46	0.009	0.004	0.002	0.001	0.007	0.004	0.003	0.002	0.006	0.003	0.002	0.002
5.56	0.013	0.005	0.003	0.002	0.011	0.006	0.004	0.003	0.008	0.004	0.003	0.002
5.67	0.013	0.005	0.003	0.002	0.011	0.006	0.004	0.003	0.008	0.004	0.003	0.002
5.77	0.010	0.004	0.003	0.001	0.009	0.005	0.003	0.002	0.007	0.004	0.003	0.002
5.87	0.007	0.003	0.002	0.001	0.005	0.003	0.002	0.001	0.004	0.002	0.002	0.001
5.98	0.002	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.001	0.000
6.08	-0.002	-0.001	0.000	0.000	-0.001	-0.001	0.000	0.000	-0.001	-0.001	0.000	0.000
6.18	-0.005	-0.002	-0.001	-0.001	-0.004	-0.002	-0.001	-0.001	-0.003	-0.002	-0.001	-0.001
6.29	-0.006	-0.003	-0.002	-0.001	-0.005	-0.003	-0.002	-0.001	-0.004	-0.002	-0.002	-0.001
6.39	-0.007	-0.003	-0.002	-0.001	-0.006	-0.003	-0.002	-0.001	-0.004	-0.002	-0.002	-0.001
6.49	-0.006	-0.002	-0.002	-0.001	-0.005	-0.003	-0.002	-0.001	-0.004	-0.002	-0.001	-0.001
6.60	-0.004	-0.002	-0.001	0.000	-0.003	-0.002	-0.001	-0.001	-0.003	-0.001	-0.001	-0.001
6.70	-0.001	-0.001	0.000	0.000	-0.001	-0.001	0.000	0.000	-0.001	-0.001	0.000	0.000
6.81	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6.91	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
7.01	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

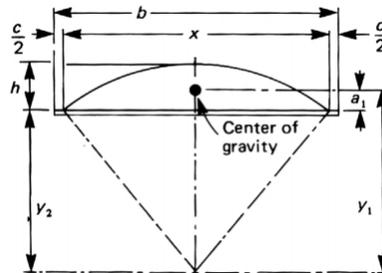
PERFIL	L5x5x5/1 6	L6x6x7/1 6	L6x6x3/4	L8x8x5/8	C5x9	C6x10.5	C7x12.25	C8x13.75	W4x13	W5x16	W6x15	W8x13
Posición (m)	Deflexión (mm)											
7.12	-0.005	-0.002	-0.001	-0.001	-0.004	-0.002	-0.001	-0.001	-0.003	-0.002	-0.001	-0.001
7.22	-0.012	-0.005	-0.003	-0.001	-0.010	-0.006	-0.004	-0.002	-0.008	-0.004	-0.003	-0.002
7.32	-0.020	-0.008	-0.005	-0.002	-0.017	-0.010	-0.006	-0.004	-0.013	-0.007	-0.005	-0.004
7.43	-0.028	-0.012	-0.007	-0.003	-0.023	-0.014	-0.009	-0.006	-0.018	-0.010	-0.007	-0.005
7.53	-0.035	-0.015	-0.009	-0.004	-0.029	-0.017	-0.011	-0.007	-0.023	-0.012	-0.009	-0.007
7.63	-0.041	-0.017	-0.011	-0.005	-0.034	-0.020	-0.012	-0.008	-0.027	-0.014	-0.010	-0.008
7.74	-0.044	-0.019	-0.012	-0.005	-0.037	-0.022	-0.013	-0.009	-0.029	-0.015	-0.011	-0.008
7.84	-0.045	-0.019	-0.012	-0.006	-0.037	-0.022	-0.014	-0.009	-0.029	-0.016	-0.011	-0.008
7.94	-0.043	-0.018	-0.011	-0.005	-0.036	-0.021	-0.013	-0.009	-0.028	-0.015	-0.011	-0.008
8.05	-0.039	-0.017	-0.010	-0.005	-0.033	-0.019	-0.012	-0.008	-0.026	-0.014	-0.010	-0.007
8.15	-0.033	-0.014	-0.009	-0.004	-0.028	-0.016	-0.010	-0.007	-0.022	-0.011	-0.008	-0.006
8.25	-0.026	-0.011	-0.007	-0.003	-0.021	-0.013	-0.008	-0.005	-0.017	-0.009	-0.007	-0.005
8.36	-0.018	-0.007	-0.005	-0.002	-0.015	-0.009	-0.005	-0.004	-0.012	-0.006	-0.004	-0.003
8.46	-0.010	-0.004	-0.003	-0.001	-0.008	-0.005	-0.003	-0.002	-0.006	-0.003	-0.002	-0.002
8.56	-0.004	-0.002	-0.001	0.000	-0.003	-0.002	-0.001	-0.001	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001
8.67	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8.77	-0.001	-0.001	0.000	0.000	-0.001	-0.001	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.000
8.88	-0.005	-0.002	-0.001	-0.001	-0.005	-0.003	-0.002	-0.001	-0.004	-0.002	-0.001	-0.001
8.98	-0.012	-0.005	-0.003	-0.001	-0.010	-0.006	-0.004	-0.002	-0.008	-0.004	-0.003	-0.002
9.08	-0.018	-0.008	-0.005	-0.002	-0.015	-0.009	-0.006	-0.004	-0.012	-0.006	-0.005	-0.003
9.19	-0.025	-0.011	-0.007	-0.003	-0.021	-0.012	-0.008	-0.005	-0.016	-0.009	-0.006	-0.005
9.29	-0.030	-0.013	-0.008	-0.004	-0.025	-0.015	-0.009	-0.006	-0.020	-0.011	-0.008	-0.006
9.39	-0.034	-0.014	-0.009	-0.004	-0.029	-0.017	-0.011	-0.007	-0.023	-0.012	-0.009	-0.006
9.50	-0.036	-0.015	-0.010	-0.004	-0.030	-0.018	-0.011	-0.007	-0.024	-0.012	-0.009	-0.007
9.60	-0.035	-0.015	-0.009	-0.004	-0.030	-0.017	-0.011	-0.007	-0.023	-0.012	-0.009	-0.007
9.70	-0.033	-0.014	-0.009	-0.004	-0.027	-0.016	-0.010	-0.007	-0.022	-0.011	-0.008	-0.006
9.81	-0.028	-0.012	-0.007	-0.004	-0.024	-0.014	-0.009	-0.006	-0.019	-0.010	-0.007	-0.005
9.91	-0.022	-0.009	-0.006	-0.003	-0.018	-0.011	-0.007	-0.005	-0.015	-0.008	-0.006	-0.004
10.01	-0.015	-0.006	-0.004	-0.002	-0.013	-0.008	-0.005	-0.003	-0.010	-0.005	-0.004	-0.003
10.12	-0.009	-0.004	-0.002	-0.001	-0.007	-0.004	-0.003	-0.002	-0.006	-0.003	-0.002	-0.002
10.22	-0.003	-0.001	-0.001	0.000	-0.003	-0.002	-0.001	-0.001	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001
10.32	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



### ANEXO 13 – Cálculo de trayectoria de material a la salida de polea de descarga

La trayectoria o curvatura del material a la salida de la polea de descarga quedará definida por la velocidad rotacional, el diámetro de la polea y la fuerza gravitatoria.

Se sabe, además, que hay una zona de transferencia, en la cual la faja cambia su configuración de abarquillado a plano. El área se conserva y el perfil justo antes de dejar la faja se vería de la siguiente manera.



**Figura A** Perfil del material sobre la faja antes de dejar el equipo

Al no contar con valores conocidos, se calcula la sección como si fuera un segmento circular:

**Tabla A** Perfil del material sobre la faja antes de dejar el equipo

Sección en área de descarga de polea			
Datos geométricos			
Área	At	0.816	pie <sup>2</sup>
		117.504	pulg <sup>2</sup>
		75809	mm <sup>2</sup>
		0.076	m <sup>2</sup>
Altura	h	4.800	pulg
		121.9	mm
Ancho	x	40.000	pulg
		1016	mm
Ángulo	θ	54.035	°
		0.943	rad
Radio de área	y <sub>2</sub> +h	43.984	pulg
		61.0	mm

Al tener el área conocida, la altura que se pudo interpolar de tablas recomendadas y el ancho, el cual se asumió que a cada lado de la carga sobraría 1" respecto al ancho total de la faja. Se calcularon los demás valores necesarios.

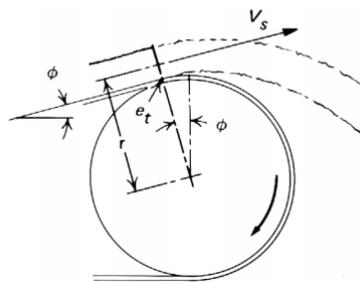
Al tener los valores geométricos, se calcula el centro de gravedad de la sección de la carga respecto a la faja. Los valores respecto a la figura 3.1 se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 3.1** Perfil del material sobre la faja antes de dejar el equipo

Centro de masa			
Centro de gravedad respecto a centro de circunferencia	y1	41.11	pulg
		1044.28	mm
Centro de gravedad respecto a faja	a1	1.93	pulg
		49.00	mm

Hallado el centro de masa, se evalúa cómo será el patrón que seguirá la carga al momento de dejar la faja. Se sabe que sobre el material actuará la fuerza centrípeta, el cual si supera el peso de este justo en ese punto, este se llamará el punto de inicio de descarga. CEMA define que para las fajas inclinadas pueden existir tres casos:

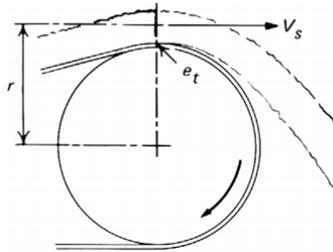
- **Caso 1:** Si la velocidad tangencial es lo suficientemente alta o si el valor del cociente de  $\frac{v^2}{gr} > 1$ , el material se desprenderá justo en el punto de tangencia de entre la faja y la polea de descarga, tal y como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3.2** Descarga de material para caso 1

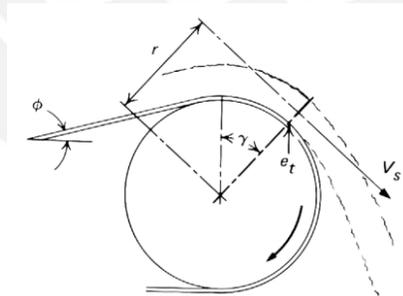
- **Caso 2:** Si la combinación de la faja inclinada, el diámetro de la polea, la carga y la velocidad tangencial genera que se cumpla la expresión  $\frac{v^2}{gr} > \cos \phi$ , ( $\phi =$  *Ángulo de inclinación de faja*) pero que igual siga siendo menor a la unidad, el material puede que se desprenda justo en el punto de tangencia de la faja con la polea.

- **Caso 3:** Si el valor del cociente  $\frac{v^2}{gr} = 1$ , entonces el material se desprenderá justo en el punto superior contenido en la línea vertical de la polea, tal y como se ve en la Figura 3.3



**Figura 3.3** Descarga de material para caso 3

- **Caso 4:** Si el valor de la velocidad tangencial es lo suficientemente lenta y el cociente  $\frac{v^2}{gr} < \cos \phi$ . El material permanecerá aún un cierto ángulo en la polea de descarga. Este ángulo se puede hallar usando la siguiente expresión:  $\frac{v^2}{gr} = \cos \gamma$ , donde  $\gamma$  es el ángulo que el material aún se encuentra en la polea, tal y como se muestra en la Figura 3.4.



**Figura 3.4** Descarga de material para caso 4

Conocidos los casos que se pueden presentar a la salida del material, se analiza nuestro caso. Operando, según las fórmulas propuestas, el cociente obtenido es de 1.46, el cual es mayor a 1. Entonces el material tendrá un patrón de trayectoria como el caso 1.

**Tabla A Patrón de Trayectoria**

Patrón de trayectoria			
Diámetro de polea	d	20	pulg
		508	mm
Velocidad	V	350	pie/min
		1.778	m/s
Espesor de faja	esp	0.3346	pulg
		8.50	mm
Radio	$r = d/2 + esp$	12.26	pulg
		1.022	pie
		311.50	mm
Velocidad angular de polea	w	406.40	rad/s
		64.7	rpm
		1.078	rps
Velocidad Tangencial	V <sub>t</sub>	83.07	pulg/s
		6.92	pie/s
		2.11	m/s
Factor	-	1.46	-



ANEXO 14 – Momento de apriete de Tornillos 5.8, 8.8, 10.9

TOPESA



TORQUE DE APRIETE METRICO

DATOS TÉCNICOS SISTEMA METRICO TABLA DE PRECARGA Y/O TORQUE DE APRIETE							
TAMAÑO		CALIDAD 5.8		CALIDAD 8.8		CALIDAD 10.9	
Diámetro en mm	Paso de rosca	Esf.Tracción 50 kg/mm <sup>2</sup>		Esf. Tracción 80 kg/mm <sup>2</sup>		Esf. Tracción 100 kg/mm <sup>2</sup>	
		Torque de apriete kg/m	lb/pie	Torque de apriete kg/m	lb/pie	Torque de apriete kg/m	lb/pie
4	0.7	0.2	1.7	0.38	2.7	0.53	3.8
5	0.8	0.4	3.3	0.76	5.5	1.1	7.9
6	1.0	0.8	6.0	1.3	9.4	1.8	12.9
8	1.25	1.6	14.0	3.1	22.7	4.4	31.7
	1.0	2.1	15.7	3.4	24.5	4.7	33.9
10	1.5	4.0	28.8	6.2	45.0	8.8	63.5
	1.25	4.2	30.7	6.6	47.6	9.3	67.1
12	1.75	7.0	50.5	10.0	78.7	15.4	111.2
	1.25	7.7	55.6	11.9	85.4	16.8	121.3
14	2.0	11.2	80.8	17.3	124.9	24.4	176.1
	1.5	12.2	88.0	18.8	135.7	26.6	192.0
16	2.0	17.5	126.3	27.0	194.9	38.1	275.0
	1.5	18.6	134.0	28.7	207.1	40.6	293.0
20	2.5	34.1	246.1	52.7	380.4	74.4	537.0
	1.5	37.9	273.6	58.5	422.3	82.6	596.0
24	3.0	58.8	425.6	91.4	657.6	128.6	928.3
	2.0	64.1	462.7	99.1	715.3	140.0	1010.0

\* Par de apriete recomendado en piezas de acero, lubricados y sin arandelas.  
 \* Para piezas de aluminio y fundiciones de hierro el torque es menor.  
 \* Para torque de apriete en Newtons.metro (N.m) multiplicar Kg m x 9.8

ARTÍCULOS TÉCNICOS

Fabricado y Producido por:

Vademécum de la Construcción y Decoración

## ANEXO 15.1 – Cálculo de unión atornillada (1/2)

Cálculo de Unión Atornillada (1/2)									
Datos									
Descripción	Símbolo	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20	Unidades
Coeficiente de rigidez de tornillo	Ct	98679	162367	235700	321721	412790	519276	697923	N/mm
		99	162	236	322	413	519	698	N/m
Coeficiente de rigidez de placas	Cp	1211321	1547573	1963774	1967676	2421422	2909296	3994306	N/mm
		1211	1548	1964	1968	2421	2909	3994	N/m
Factor de distribución de carga	$\phi$	0.0753	0.0950	0.1072	0.1405	0.1456	0.1515	0.1487	-
Momento de ajuste	Majuste	0.8	1.6	4	7	11.2	17.5	34.1	kg.m
		8	16	39	69	110	172	335	N.m
Fuerza de montaje	FM	353.03	530.80	1074.53	1579.90	2179.46	2983.57	4682.91	kg
		3463	5207	10541	15499	21381	29269	45939	N
Momento de montaje	Mtm	0.2	0.3	0.8	1.5	2.4	3.8	7.5	kg.m
		1.6	3.3	8.3	14.7	23.6	37.5	73.5	N.m
Verificación de montaje									
Descripción	Símbolo	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20	Unidades
Diámetro resistente	$d_s$	5.062	6.827	8.593	10.358	12.124	14.124	17.355	mm
Área resistente	$A_o$	20.1	36.6	58.0	84.3	115.4	156.7	236.5	mm <sup>2</sup>
Momento polar	$W_p$	25.5	62.5	124.6	218.2	349.9	553.2	1026.3	mm <sup>3</sup>
Esfuerzo axil	$\sigma_M$	172	142	182	184	185	187	194	MPa
Esfuerzo de cizallamiento	$\tau_M$	63.4	52.2	66.5	67.2	67.6	67.7	71.6	MPa
Esfuerzo Equivalente	$\sigma_{eqM}$	204	169	215	218	219	221	230	MPa
Esfuerzo admisible	$\sigma_{adm}$	360	360	360	360	360	360	360	MPa
Factor de seguridad montaje	$f_{SM}$	1.76	2.14	1.67	1.65	1.64	1.63	1.56	-

## ANEXO 15.2 – Cálculo de unión atornillada (2/2)

Cálculo de Unión Atornillada (2/2)									
Verificación de operación / Fatiga									
Descripción	Símbolo	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20	Unidades
Límite convencional de fluencia (5.8)	$\sigma_{0.2}$	400	400	400	400	400	400	400	MPa
Fuerza externa inferior	Fexti	2260	2260	2260	2260	2260	2260	2260	N
Fuerza externa superior	Fexts	3932.5	3932.5	3932.5	3932.5	3932.5	3932.5	3932.5	N
Fuerza externa media	Fextm	3096.25	3096.25	3096.25	3096.25	3096.25	3096.25	3096.25	N
Fuerza externa inferior / tornillo	Fext/t i	170.2	214.6	242.2	317.6	329.2	342.3	336.2	N
Fuerza externa superior / tornillo	Fext/t s	296.2	373.4	421.4	552.6	572.8	595.6	584.9	N
Fuerza externa media / tornillo	Fext/t m	233.2	294.0	331.8	435.1	451.0	468.9	460.5	N
Componente alternante sobre el tornillo	$\sigma_{a/t}$	3.13	2.17	1.55	1.39	1.06	0.81	0.53	MPa
Fuerza total media	Ftm	7477	13472	21209	30770	42008	56869	85617	N
Tornillo laminado antes del tratamiento térmico	$\sigma_a$	59.50	54.19	51.00	48.88	47.36	46.22	44.63	MPa
Verificación por presión superficial									
Presión admisible	P <sub>adm</sub>	260	260	260	260	260	260	260	MPa
Fuerza de montaje + Fuerza en Placa	F <sub>M</sub>	724	894	1432	1924	2522	3324	5024	kg
		7099	8766	14052	18879	24740	32606	49287	N
Area de contacto	A <sub>c</sub>	44.33	69.12	106.03	100.53	145.30	197.92	326.73	mm <sup>2</sup>
Presión de aplastamiento	P <sub>c</sub>	160	127	133	188	170	165	151	MPa
Factor de seguridad de aplastamiento	FS	1.62	2.05	1.96	1.38	1.53	1.58	1.72	-

## ANEXO 16.1 – Cálculo de potencia necesaria para desplazar *Tripper* - Fórmulas

Comportamiento de fuerza de resistencia ante el desplazamiento del <i>Tripper</i>			
Denominación de resistencia	Símbolo	Expresión para cálculo	Donde:
Resistencia a la fricción entre la faja y el <i>Tripper</i>	Resistencia Principal entre material y faja	$F_{HT} = f.g.Lt.[Mc + Mb + Mm]$	f: Coeficiente abstracto de transporte g: gravedad (m/s <sup>2</sup> ) Lt: Longitud horizontal de <i>Tripper</i> (m) Ht: Altura de <i>Tripper</i> (m) Mc: Masa lineal de polines (kg/m) Mb: Masa lineal de faja (kg/m) Mm: Masa lineal de material (kg/m) $\mu_0$ : Coeficiente dinámico entre faja y polín de carga B: Ancho de faja (mm) W: Largo de polín (mm) $\delta$ : Inclinación de <i>Tripper</i> (°) P: Porcentaje de material sobre faja (%) $\lambda_c$ : Ángulo de abarquillado $\psi_c$ : Ángulo de inclinación de rodillo lateral Frx & Fbx: Tensión máxima en Polea (N) dx: Diámetro de eje (mm) Dx: Diámetro de polea + lagging (mm) t: espesor de faja (mm) $\mu_3$ : Coeficiente de fricción general para limpiadores Ace: Área de contacto (m <sup>2</sup> ) Ppe: Presión de contacto (N/m <sup>2</sup> ) nce: Cantidad de raspadores Mo: Masa operativa del <i>Tripper</i> (kg) v: Velocidad del viento (m/s)
	Resistencia a la inclinación de faja en polines abarquillados	$F_{itct} = \mu_0 \left[ \left( \frac{B-W}{B} \right) \cdot Mb \cdot g \cdot \cos\delta + \left( \frac{100-P}{100} \right) \cdot Mm \cdot g \cdot \frac{\cos\delta}{\cos\lambda_c} \right] L_m \cdot \sin\psi_c$	
	Resistencia a la rotación de las poleas	$F_t = 0.005 \cdot Frx \cdot \frac{dx}{Dx} \cdot (\text{pulley quantity})$	
	Resistencia a la envolvente generada por la faja en las poleas	$F_w = 9B \left( 140 + 0.01 \frac{F_{bx}}{B} \right) \frac{t}{Dx} \cdot (\text{pulley quantity})$	
	Resistencia debido a un limpiador externo	$F_{ce} = \mu_3 \times Ace \times Ppe \times n_{ce}$	
Resistencia a levantar material	Fstt	$F_{stt} = Mm \cdot Ht \cdot g$	
Resistencia a la traslación	Frr	Rolling resistance = 0.007 x Mo x g	
Resistencia a la desalineación	Fcr	<i>Tripper</i> travel crabbing resistance = 0.09 Mo . g	
Resistencia al viento	Fv	Wind thrust on flat surface = v <sup>2</sup> + 16 kgf/sq. m	

## ANEXO 16.2 – Desarrollo de cálculo de potencia (1/2)

Cálculo de Potencia de Sistema Motriz (1/2)			
Denominación	Símbolo	Valor	Unidades
Velocidad de <i>Tripper</i>	Vt	0.25	m/s
Ancho de faja	B	42	pulgadas
		1.067	m
Abarquillado	$\lambda_c$	35	°
Capacidad	Q	600	tph
Peso del material	Mm	87.78	lb/pie
		12.1	kg/m
Peso de faja	Mb	14.26	lb/pie
		2.0	kg/m
Espesor de Faja	e	15	mm
Peso de <i>Tripper</i>	Wt	4700	kg
Coeficiente artificial de transporte	f	0.024	
Gravedad	g	9.81	m/s <sup>2</sup>
Longitud <i>tripper</i>	Lt	10.2	m
Longitud vertical	Ht	2.7	m
Peso Polines	Mc	92	lb
		42	kg
Cantidad	#p	8	#
Peso lineal polines	Mc	32.7	kg/m

### ANEXO 16.3 – Desarrollo de cálculo de potencia (2/2)

Cálculo de Potencia de Sistema Motriz (2/2)			
Denominación	Simbolo	Valor	Unidades
<b>Resistencia a la fricción entre la faja y el Tripper</b>			
Resistencia Principal	Fht	112.5	N
Coefficiente dinámico entre faja y polin de	$\mu$	0.35	
Longitud de polin	W	0.381	m
Angulo de inclinación de Tripper	$\delta$	15	°
Porcentaje de material en polin central	P	67.94	%
Ángulo de inclinación de rodillo lateral	$\Psi$	2	°
Resistencia Inclinacion de polin	Fitct	6.0	N
Espesor de lagging	el	10	mm
Cantidad de poleas	#p	2	Unidades
Tensión en la polea	Frx	3307	lbs
		14714	N
Diámetro de eje	dx	125	mm
Diametro de polea (10 mm de lagging, ejemplo)	Dx	18	pulgadas
		477.2	mm
Resistencia al volteo de faja en poleas	Ft	38.5	N
Resistencia a formación de bolsa	Fw	167.8	N
Coefficiente de friccion	$\mu$	0.6	
Espesor de hoja	e	16	mm
Raspador doble		2	
Area de contacto	Ace	0.0341	m <sup>2</sup>
Presión de contacto	Ppe	40000	N/m <sup>2</sup>
Cantidad de raspador	n	1	Unidades
Resistencia de limpiador externo	Fce	819.3	N
Resistencia a levantar material	Fslt	321.4	N
<b>Resistencia al movimiento de las ruedas</b>			
Masa operacional del Tripper	Wo	4889.322	kg
Resistencia a la rodadura	Fr	335.7	N
Resistencia al desalineamiento (Cono)	Fcr	2158.4	N
Resistencia al desalineamiento (Plano)	Fcr	4316.8	N
<b>Otras resistencias</b>			
Velocidad del viento	Vv	125.00	km/h
		34.72	m/s
Presion de aire	Pv	75.35	kg/m <sup>2</sup>
		739.20	N/m <sup>2</sup>
Area de accion (sin precision)	Aa	5.04	m <sup>2</sup>
Resistencia del viento	Fv	3726.1	N
<b>Resistencias máxima y mínima resultante y potencias</b>			
Resistencia Total Máxima	Rtmax	5622.9	N
Máxima potencia (Tripper moviéndose hacia	Pmax	1.41	kW
Máxima potencia por motorreductor (En		0.83	kW
Máxima potencia por motorreductor		0.97	kW
Resistencia Total Mínima	Rtmin	-4855.8	N
Mínima potencia (Tripper moviéndose hacia	Pmin	-1.21	kW
Mínima potencia por motorreductor (En		-0.61	kW
Mínima potencia por motorreductor		-0.71	kW

## ANEXO 17.1 – Expresiones para esfuerzos flectores y de torsión modificados a la fatiga

Los coeficientes que influyen en la resistencia a la fatiga son:

- $\beta_f$  : factor de concentración de esfuerzos efectivo a la flexión
- $\beta_t$  : factor de concentración de esfuerzos efectivo a la torsión
- $C_s$  : coeficiente por acabado superficial
- $C_t$  : coeficiente por tamaño (diámetro de la sección)
- $C_{temp}$  : coeficiente por temperatura (del eje durante el trabajo)
- $C_{carga}$  : coeficiente de carga (en flexión y torsión son iguales ala unidad)
- $C_c$  : coeficiente de confiabilidad

Si es necesario habría que incluir otros, tales como el coeficiente por corrosión  $C_{corr}$  o el coeficiente por recubrimientos superficiales  $C_{rec}$ .

$$\sigma'_{f.a} = \frac{\beta_f}{C_s \cdot C_t \cdot C_c \cdot C_{temp}} \sigma_{f.a}$$

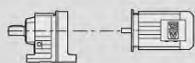
$$\tau'_{t.pul} = \frac{\beta_t}{C_s \cdot C_t \cdot C_c \cdot C_{temp}} \tau_{t.pul}$$



## ANEXO 18.2 – Verificación completa del árbol de transmisión

Verificación de árbol de transmisión (CK45)					
Descripción	Simbolo	A	B	C	Unidades
Ubicación	$x'$	140	300	600	mm
Material esfuerzos limites	$\sigma F$	390	390	390	MPa
	$\sigma B$	650	650	650	MPa
Momento flector	$Mf$	0	-935	-3740	N-m
		0	-935000	-3740000	N-mm
Momento Torsor	$Mt$	145.9	145.9	0	N-m
		145900	145900	0	N-mm
Diámetro menor	$d$	35	75	100	mm
Diámetro mayor	$D$	75	100	150	mm
Coefficiente de diámetros	$D/d$	2.14	1.33	1.50	
Radio	$r$	1	1	1	mm
Coefficiente de radio y dia.	$r/d$	0.03	0.01	0.01	mm
Esfuerzo flector	$\sigma f$	0	-22.6	-38.1	MPa
Esfuerzo torsor	$\tau t$	17.3	1.8	0.0	MPa
Coefficiente por Acab. Sup.	$Cs$	0.88	0.88	0.88	-
Coefficiente por tamaño	$Ct$	0.74	0.625	0.6	-
Coefficiente por temp.	$Ctemp$	1	1	1	-
Coefficiente de carga	$Ccarga$	1	1	1	-
Coefficiente de confiabilidad	$Cc$	1	1	1	-
Factor de sens. Al entalle	$\eta$	0.661	0.661	0.661	-
Factor geo con. De esf. (Fle)	$\alpha f$	0	2.9	2.9	-
Factor geo con. De esf. (Tor)	$\alpha t$	1.95	2.25	0	-
Factor de con. De esf. (Fle)	$\beta f$	0	2.26	2.26	-
Factor de con. De esf. (Fle) (Canal Chavetero)			1.9		-
Factor de con. De esf. (Tor)	$\beta t$	1.63	1.83	0	-
Factor de con. De esf. (Tor) (Canal Chavetero)			1.50	1.50	-
Esfuerzo flector modificado	$\sigma' a$	0	-92.6	-162.8	MPa
Esfuerzo flector modificado (Canal Chavetero)			0.0	-78.0	MPa
Esfuerzo torsor modificado	$\tau' pul$	43.3	5.8	0	MPa
Esfuerzo torsor modificado (Canal Chavetero)			39.9	4.8	MPa
Factor alpha	$\alpha o$	0.629	0.629	0.629	-
Esfuerzo equivalente	$\sigma' eqa$	47.2	92.8	162.8	MPa
Esfuerzo equivalente (Canal Chavetero)			43.5	78.2	MPa
Factor de seguridad a Fatiga	$FSfat$	7.8	4.0	2.3	-
Factor de seguridad a Fatiga (Canal Chavetero)			8.5	4.7	-

## ANEXO 19– Detalle de Motorreductor SEW

$P_m = 1.1 \text{ kW}$										
$n_a$ min <sup>-1</sup>	$M_a$ Nm	$i$	$F_{Ra}^{(1)}$ N	SEW $f_B$	HAZ LOC			m	kg	
35	295	49.69	6740	1.00	X					
41	255	43.45	6650	1.15	X					
43	245	41.28	6610	1.20	X					
49	215	36.22	6500	1.40	X					
57	183	30.72	6330	1.65	X					
64	165	27.73	6220	1.80	X					
72	145	24.40	6070	2.1	X					
76	137	23.04	6000	2.2	X					
90	117	19.62	5800	2.5	X					
99	106	17.83	5680	2.7	X					
114	92	15.44	5500	3.0	X					
131	80	13.44	5310	3.4	X					
138	76	12.73	5460	3.3	X					
146	72	12.09	5380	3.5	X					
166	63	10.61	5190	4.5	X					
						K	39	(E)DRN 90S4	36	569
						KF	39	(E)DRN 90S4	38	570
						KA	39	(E)DRN 90S4	35	571
						KAF	39	(E)DRN 90S4	37	570



ANEXO 20- Cotización de Materia Prima AISI 1045 (CK45) y AISI 4340

Calle Maldonado Alfredo 654  
 Pueblo Libre Magdalena  
 www.indumetal.pe



**BESTAR**  
 BESTAR STEEL CO., LTD



**ZHERUI STEEL**  
 HENAN ZHERUI STEEL TRADE CO., LTD



**HXJSCL**



**INDUMETAL**  
 INDUMETAL GRW S.A.C.

RUC 20602558488

N°	181134
FECHA:	26/05/2021

**PROFORMA**

EMPRESA:		PONTIFICA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		RUC: 20155945860	
ATENCIÓN:		DIEGO MARCO PASCUAL VELASQUEZ		VENDEDORA: PAMELA FIGUEROA 981357434	
CELULAR:		974909811		REFERENCIA: MATERIALES VARIOS	
CORREO ELECTRONICO:		dpascual@pucp.pe		COND.DE PAGO: CONT. PREVIO DEPOSITO	
ITEM	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	CANT.	UND/MED	\$. UNIT.	\$. TOTAL
001	BARRA RED. VCN 4340 DE 470 MM, x 200 MM	2	PZAS	2,237.29	4,474.58
002	BARRA RED. 1045 DE 180 MM X 6000 MM	1	PZAS	2,185.59	2,185.59
					-
					-
					-
					-

**MATERIAL HABILITADO CON ORDEN DE CORTE**  
**CERTIFICADO DE CALIDAD - PUESTO EN OBRA O AGENCIA ZONA LIMA**

SUB TOTAL	6,660.17
IGV	1,198.83
TOTAL \$.	7,859.00

\*Confirme pedido con orden de compra.  
 \*Validez de Stock : 01 DIA UTIL  
 \*Forma de pago : Contado previo deposito bancario  
 \*Tiempo entrega: 7 / 12 horas utiles  
 \*Certificación: incluye.



\*Numero de cuenta:  
 CTA. CTE. BCP \$ 191 2407546 1 55  
 CTA. CTE. BCP S/ 191 2481770 0 82  
 \*correo: ventas@indumetal.pe  
 \*Telef: 01-7582908 - Cel:910651614

ANEXO 21– Cotización de Chumaceras para sistema Motriz



**HEBERTH TANTACHUCO CHUQUIPOMA**

**RUC: 10403213255**

Rodamientos industriales, chumaceras, retenes, fajas, seguridad industrial y ferretería en general.

Jr. miguel Zamora N° 193(a ½ cdra. Plaza 2de mayo) Lima – Lima

Cel.: 981466581/922376227

Distribuidorah.m2@gmail.com

FECHA: 28/05/2021  
SEÑOR: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU  
DIRECCION:  
RUC: 20155945860  
VENDEDOR:  
DESCRIPCION:

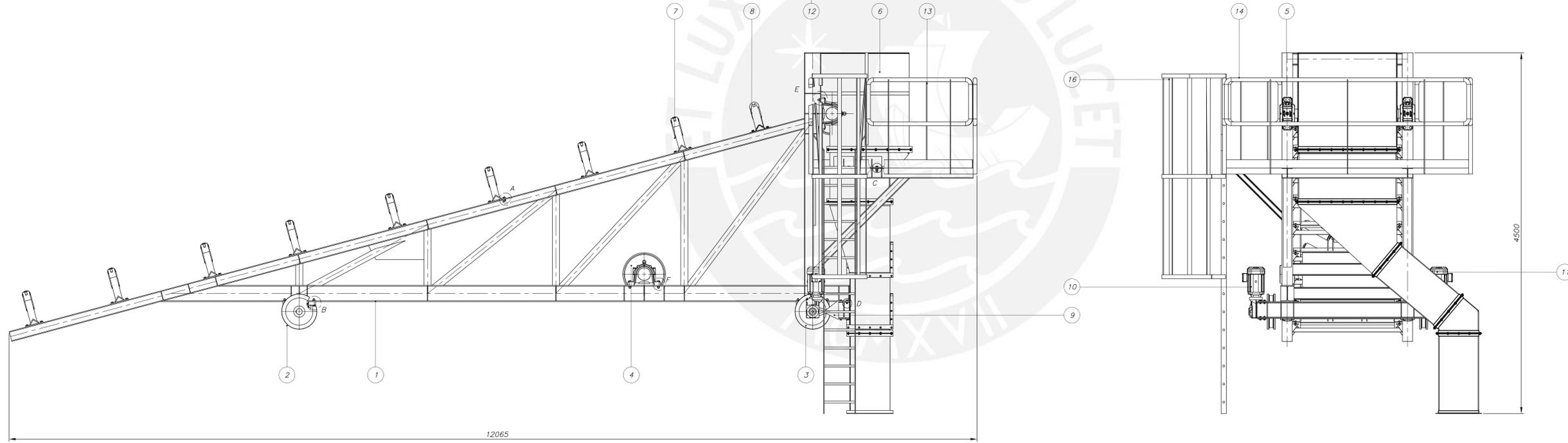
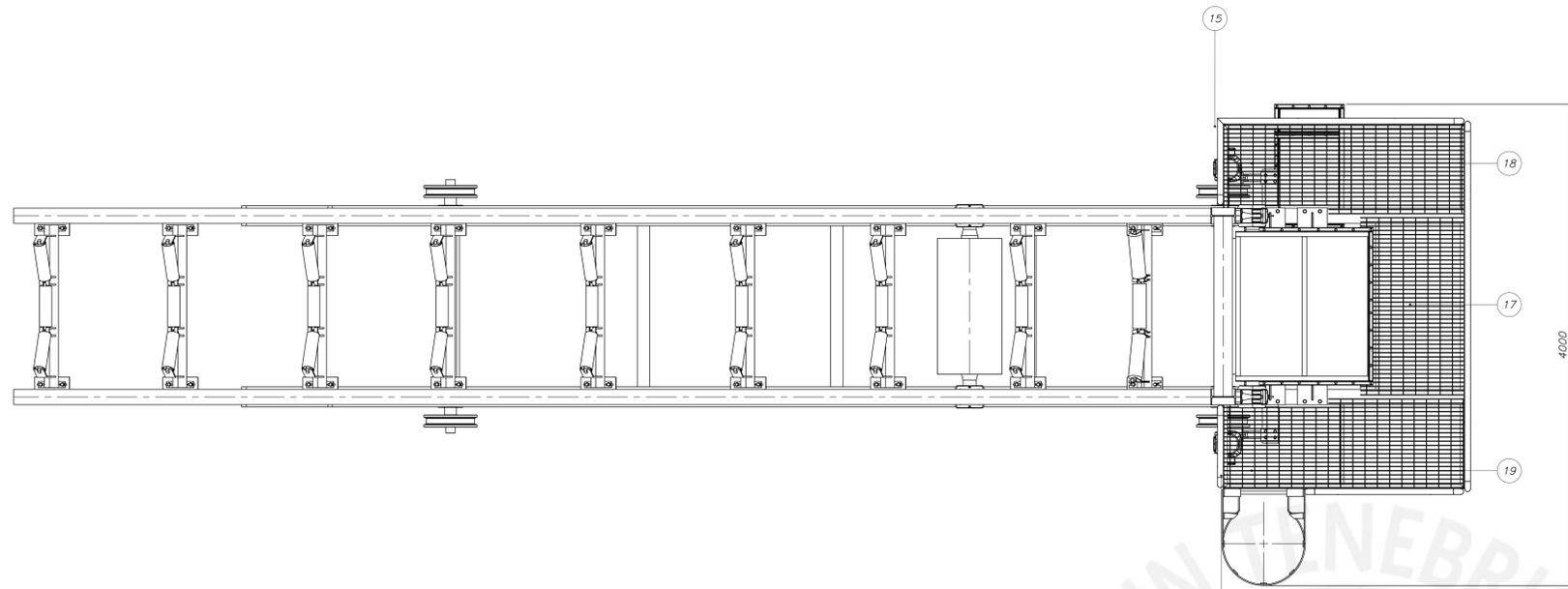
UNIDAD	DESCRIPCIÓN	P/UNITARIO	TOTAL
04	CHUMACERA FSNK 522B + TACK 100MM FSQ	\$ 244.97	\$ 979.88
04	RODAMIENTO 22222 EK/256000 SKF	\$ 291.30	\$ 1,165.20
04	BUJE H 322 100MM FSQ	\$ 39.10	\$ 156.40
08	FRB SR 200X13.5 FSQ	\$ 5.59	\$ 44.72
04	RETEN TSNG 522. FSQ	\$ 18.67	\$ 74.68

PRECIO INCLUYE IGV

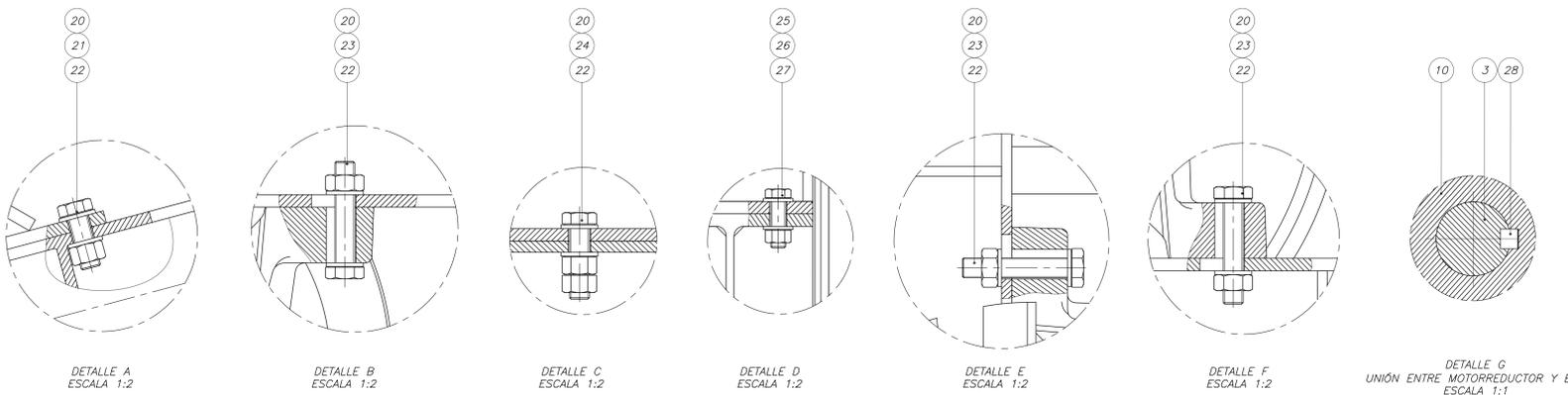
SON: DOS MIL OCHOCIENTOS CINCUENTISEIS Y 64/100 DOLARES AMERICANOS

<b>SUB TOTAL</b>	\$ 2,420.88
<b>IGV 18%</b>	\$ 435.76
<b>TOTAL</b>	\$ 2,856.64

DEPÓSITOS:  
CTA AHORRO BCP SOLES: 19121954997062  
CTA AHORRO BCP DÓLARES: 19126172011174



ITEM	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANT.	PESO(KG./U)	PESO TOTAL(KG.)	OBSERVACIONES
28	-	CHAVETA BK7X32	ST	2	0.014	0.028	DN 6885
27	-	TUERCA HEXAGONAL M12/DIN 934	B	18	0.02	0.31	-
26	-	TORNILLO HEXAGONAL M12X40/DIN 933	B.8	18	0.05	0.85	-
25	-	ARANDELA 1.5/DIN 125	ST	36	0.01	0.23	-
24	-	TORNILLO HEXAGONAL M16X85/DIN 933	B.8	8	173.01	0.94	-
23	-	TORNILLO HEXAGONAL M16X85/DIN 933	B.8	24	0.15	3.60	-
22	-	TUERCA HEXAGONAL M16/DIN 934	B	48	0.08	0.80	-
21	-	TORNILLO HEXAGONAL M16X45/DIN 933	B.8	18	0.10	1.75	-
20	-	ARANDELA 1.7/DIN 125	ST	48	0.01	0.54	-
19	-	GRATING GR-01.1990X740MM	ASTM-A36	1	-	-	EXISTENTE
18	-	GRATING GR-01.1990X740MM	ASTM-A36	1	-	-	EXISTENTE
17	-	GRATING GR-01.860X1420MM	ASTM-A36	1	-	-	EXISTENTE
16	-	ESCALERA DE ACCESO TIPO GATO	ASTM-A36	1	156.42	156.42	EXISTENTE
15	-	BARANDA LATERAL LADO DERECHO	ASTM-A36	1	25.62	25.62	EXISTENTE
14	-	BARANDA LATERAL LADO IZQUIERDO	ASTM-A36	1	28.91	28.91	EXISTENTE
13	-	BARANDA LATERAL LADO DERECHO	ASTM-A36	1	14.32	14.32	EXISTENTE
12	-	BARANDA TRASERA LADO DERECHO	ASTM-A36	1	9.18	9.18	EXISTENTE
11	-	MOTORREDUCTOR KA19/TORNILLO 12M.LL. - 1.1KW	-	1	19.29	19.29	SEW EURODRIVE
10	-	MOTORREDUCTOR KA19/TORNILLO 12M.LL. - 1.1KW	-	1	19.29	19.29	SEW EURODRIVE
9	M021	MENSAJA DE TRANSMISIÓN	ASTM-A36	2	21.00	21.00	EXISTENTE
8	-	BASTIDOR DE POLINES 42" ABARQUILLADO 20°	ASTM-A36	1	40.37	40.37	EXISTENTE
7	-	BASTIDOR DE POLINES 42" ABARQUILLADO 35°	ASTM-A36	8	41.73	41.73	EXISTENTE
6	CH001	CHUTE DE DESCARGA DE MATERIAL	ASTM-A36	1	890.74	890.74	EXISTENTE
5	-	POLEA DE DESCARGA 42"	-	1	173.01	173.01	EXISTENTE
4	-	POLEA DE RETORNO 42"	-	1	173.01	173.01	EXISTENTE
3	EN001	ENSAMBLE MOTORZ FRONTAL	-	1	436.65	436.65	EXISTENTE
2	EN002	ENSAMBLE MOTORZ TRASERO	-	1	406.02	406.02	EXISTENTE
1	TRO01	ESTRUCTURA TRIPPER 42" X15"	ASTM-A36	1	2267.33	2248.67	EXISTENTE



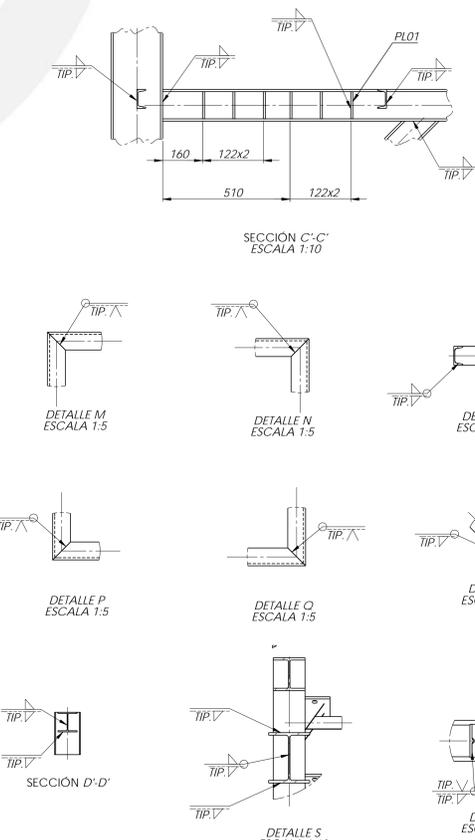
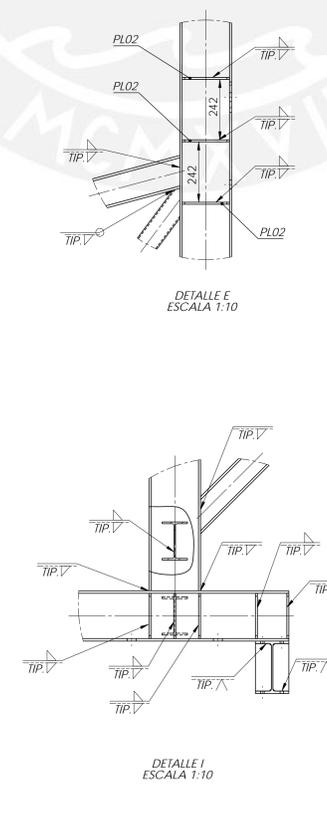
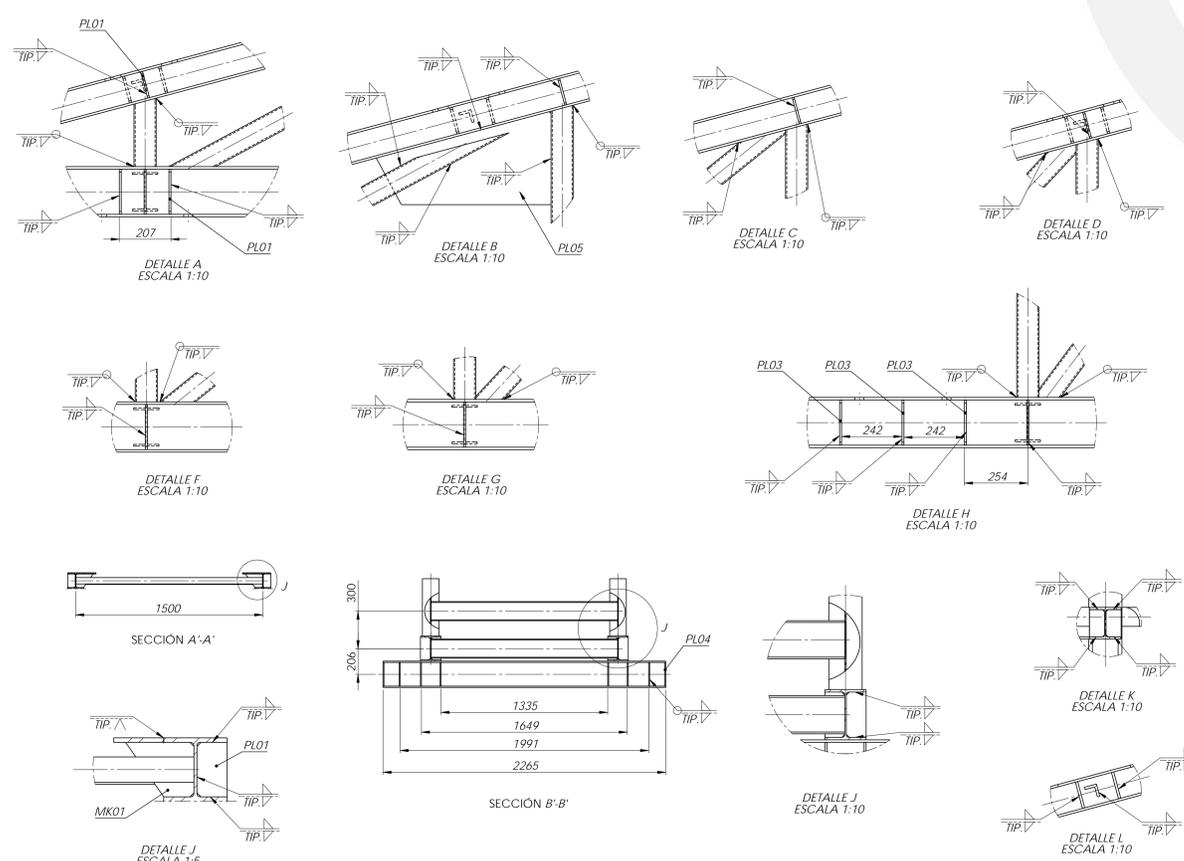
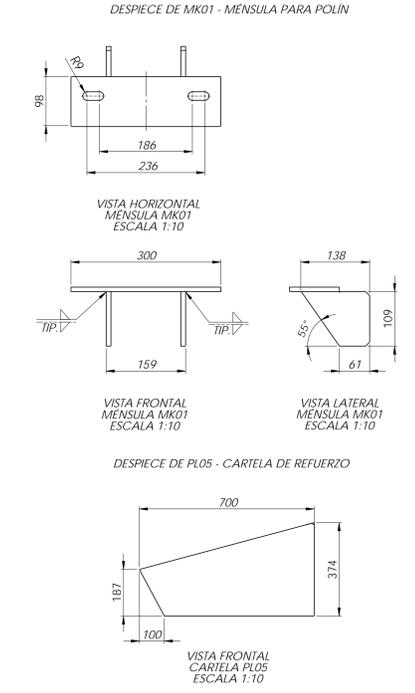
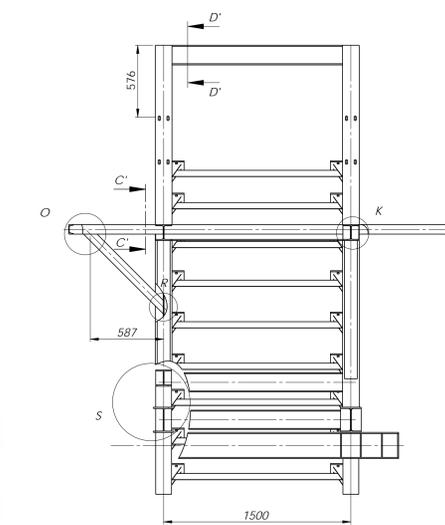
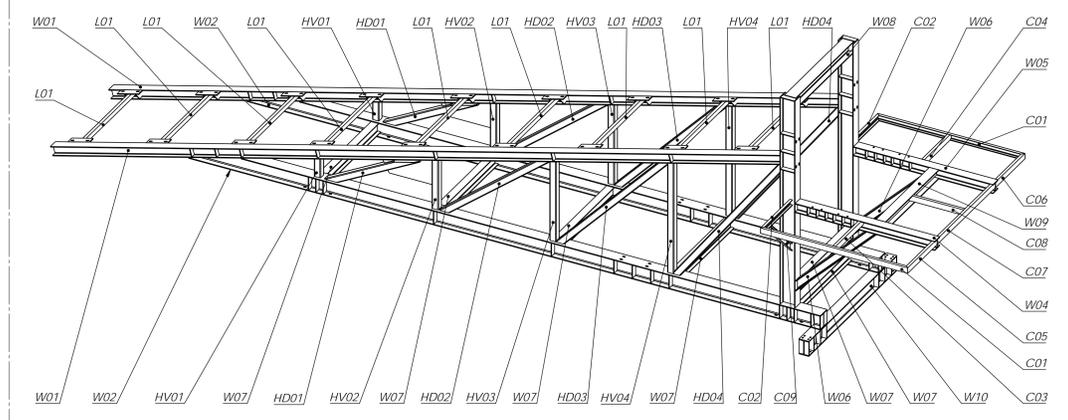
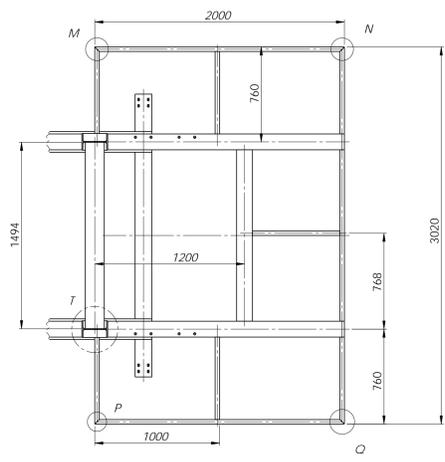
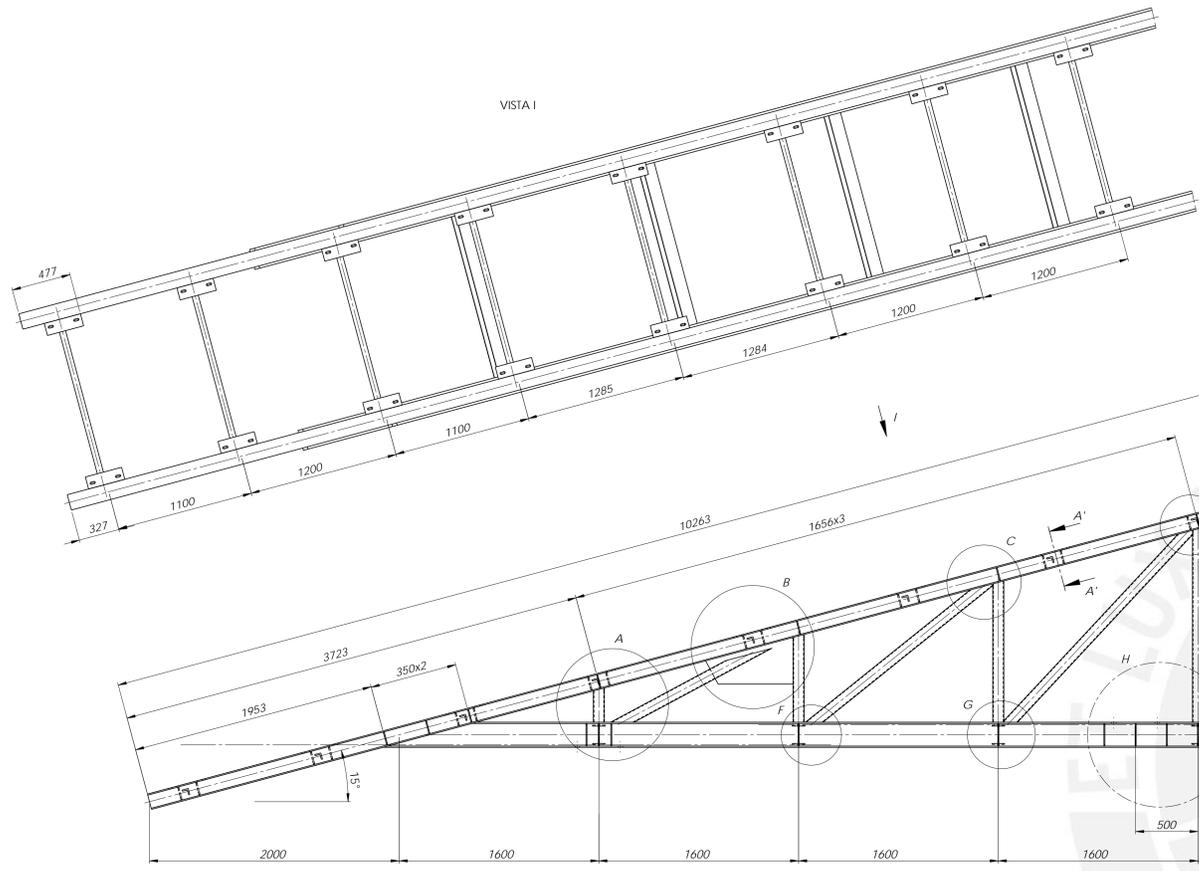
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU  
 FACULTAD DE CIENCIAS EN INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING. MECANICA

METODO DE PROYECCION: ESCALA: 1:20

ENSAMBLE PRINCIPAL - TRIPPER-TRO01 42" x 15"

FECHA: 2021.10.05  
 LAMINA: AD-PRI-001

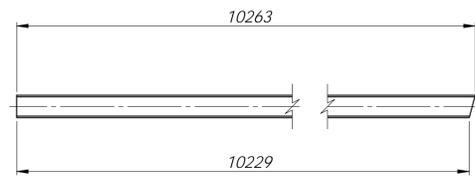
20110140 - PASCUAL VELASQUEZ DIEGO MARCO



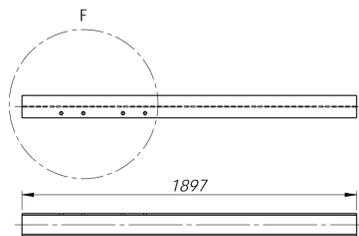
**NOTAS GENERALES:**

1. MATERIAL: PERFILES LAMINADOS ASTM-A36
2. TODAS LAS CARTELAS SON DE ESPESOR 5/16", SALVO INDICACION CONTRARIA
3. LA SOLDADURA SERA COMO MINIMO EL MENOR ESPESOR DE LA PLANCHA DE ACUERDO A ESTANDAR AWS D1.1, SALVO INDICACION CONTRARIA
4. MEDIDAS EN MM, SALVO INDICACION CONTRARIA
5. ESPESOR DE PLANCHA DE MENSULA MK01: 3/8"
6. REDONDEOS DE MENSULA MK01: R2
7. CHAPLANES DE MENSULA MK01: 8x45°
8. DETALLE DE CORTES DE PERFILES EN LAMINA A1-D01

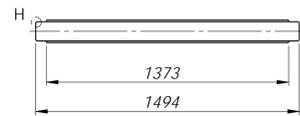
TRO01 / CANE: 01					
ITEM	CODIGO	MATERIAL	CANTIDAD	PESO (kg/u)	PESO TOTAL (kg)
1	W01	W 5x16 ASTM A36	2	243.02	486.04
2	W02	W 8x24 ASTM A36	2	77.12	154.24
3	W03	W 8x18 ASTM A36	2	293.88	587.76
4	W04	W 5x16 ASTM A36	1	44.91	44.91
5	W08	W 5x16 ASTM A36	1	44.91	44.91
6	W06	W 4x13 ASTM A36	2	28.31	56.62
7	W07	W 6x12 ASTM A36	6	26.87	161.22
8	W08	W 6x20 ASTM A36	1	44.42	44.42
9	W09	W 5x16 ASTM A36	1	32.82	32.82
10	W10	W 8x21 ASTM A36	1	70.28	70.28
11	HV01	HSS 3.5x3.5x3/16" ASTM A36	2	3.18	6.36
12	HV02	HSS 3.5x3.5x3/16" ASTM A36	2	8.38	16.76
13	HV03	HSS 3.5x3.5x3/16" ASTM A36	2	13.57	27.14
14	HV04	HSS 3.5x3.5x3/16" ASTM A36	2	18.77	37.54
15	HD01	HSS 3.5x3.5x3/16" ASTM A36	2	13.72	27.44
16	HD02	HSS 3.5x3.5x3/16" ASTM A36	2	20.93	41.86
17	HD03	HSS 3.5x3.5x3/16" ASTM A36	2	25.06	50.12
18	HD04	HSS 3.5x3.5x3/16" ASTM A36	2	28.54	57.08
19	C01	C 3x4.1 ASTM A36	2	12.56	25.12
20	C02	C 3x4.1 ASTM A36	2	4.74	9.48
21	C03	C 3x4.1 ASTM A36	1	4.51	4.51
22	C04	C 3x4.1 ASTM A36	1	4.51	4.51
23	C05	C 3x4.1 ASTM A36	1	4.60	4.6
24	C06	C 3x4.1 ASTM A36	1	4.60	4.6
25	C07	C 3x4.1 ASTM A36	1	9.13	9.13
26	C08	C 3x4.1 ASTM A36	1	4.77	4.77
27	C09	C 3x4.1 ASTM A36	1	5.25	5.25
28	L01	L 2x2x3/16" ASTM A36	8	10.23	81.84
29	MK01	PL 3/8" ASTM A36	18	3.66	65.88
30	PL01	PL - W 5x16 - 5/16" ASTM A36	50	0.41	20.5
31	PL02	PL - W 8x24 - 5/16" ASTM A36	14	0.75	10.5
32	PL03	PL - W 8x18 - 5/16" ASTM A36	38	0.89	33.82
33	PL04	PL - W 8x21 - 5/16" ASTM A36	16	0.75	12
34	PL05	PL - CANE REFORZADO - 5/16" ASTM A36	2	11.65	23.3
				<b>TOTAL</b>	<b>2267.33</b>



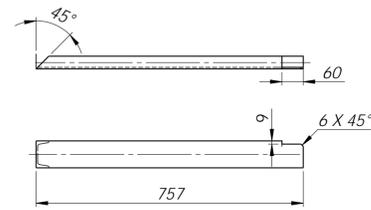
ELEMENTO - W01  
PERFIL: W5X16 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:20



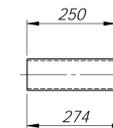
ELEMENTO - W04  
PERFIL: W5X16 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:20



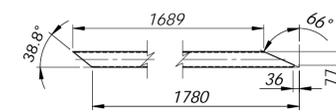
ELEMENTO - W09  
PERFIL: W5X16 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:20



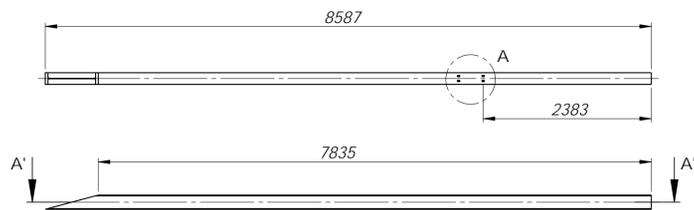
ELEMENTO - C05  
PERFIL: C3X4.1 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:10



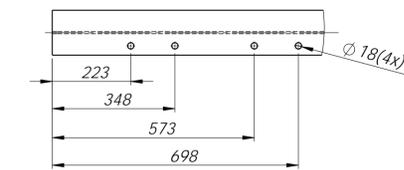
ELEMENTO - HV01  
PERFIL: HSS 3.5X3.5X3/16"  
MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:10



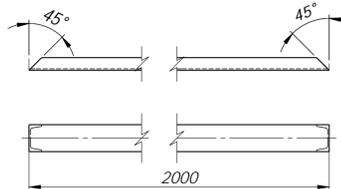
ELEMENTO - HD02  
PERFIL: HSS 3.5X3.5X3/16"  
MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:20



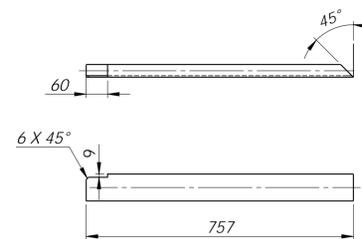
ELEMENTO - W02  
PERFIL: W8x24 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID



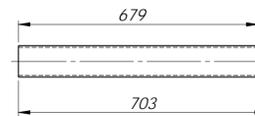
DETALLE F  
ESCALA 1 : 10



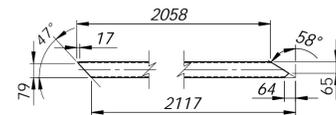
ELEMENTO - C01  
PERFIL: C3X4.1 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:10



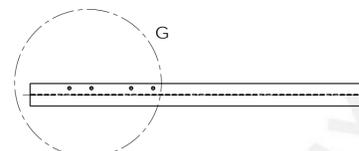
ELEMENTO - C06  
PERFIL: C3X4.1 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:10



ELEMENTO - HV02  
PERFIL: HSS 3.5X3.5X3/16"  
MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:10



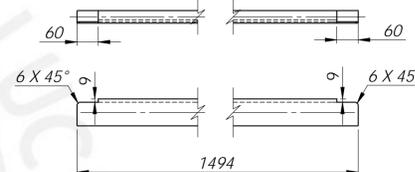
ELEMENTO - HD03  
PERFIL: HSS 3.5X3.5X3/16"  
MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:20



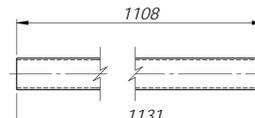
ELEMENTO - W05  
PERFIL: W5X16 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:20



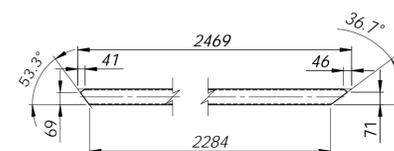
ELEMENTO - C02  
PERFIL: C3X4.1 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:10



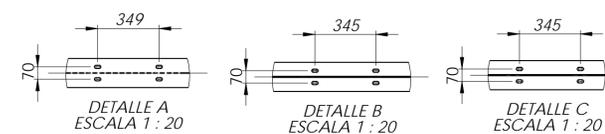
ELEMENTO - C07  
PERFIL: C3X4.1 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:10



ELEMENTO - HV03  
PERFIL: HSS 3.5X3.5X3/16"  
MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:10



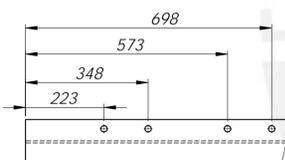
ELEMENTO - HD04  
PERFIL: HSS 3.5X3.5X3/16"  
MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:20



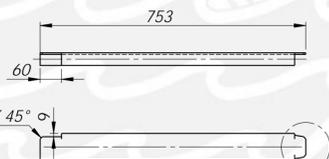
DETALLE A  
ESCALA 1 : 20

DETALLE B  
ESCALA 1 : 20

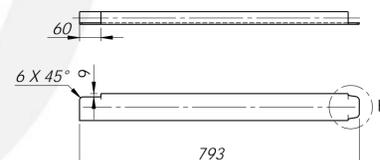
DETALLE C  
ESCALA 1 : 20



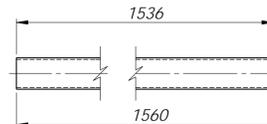
DETALLE G  
ESCALA 1 : 10



ELEMENTO - C03  
PERFIL: C3X4.1 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:10



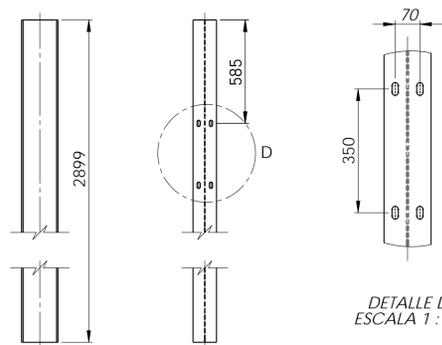
ELEMENTO - C08  
PERFIL: C3X4.1 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:10



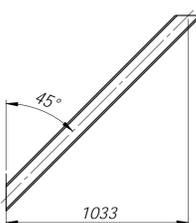
ELEMENTO - HV04  
PERFIL: HSS 3.5X3.5X3/16"  
MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:10



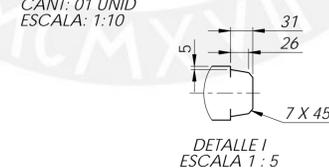
ELEMENTO - L01  
PERFIL: L 2X2X3/8"  
MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 08 UNID  
ESCALA: 1:10



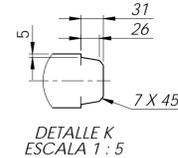
DETALLE D  
ESCALA 1 : 10



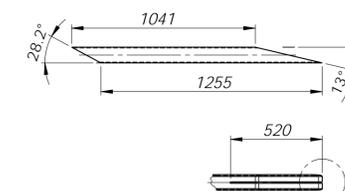
ELEMENTO - W06  
PERFIL: W4X13 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:20



DETALLE I  
ESCALA 1 : 5

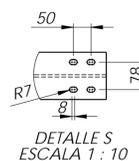


DETALLE K  
ESCALA 1 : 5



ELEMENTO - HD01  
PERFIL: HSS 3.5X3.5X3/16"  
MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:20

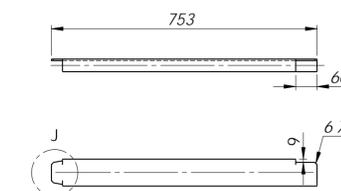
ELEMENTO - W03  
PERFIL: W8x18 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:20



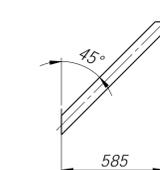
DETALLE S  
ESCALA 1 : 10



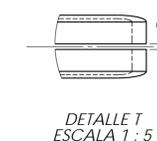
ELEMENTO - W07  
PERFIL: W6X12 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 06 UNID  
ESCALA: 1:20



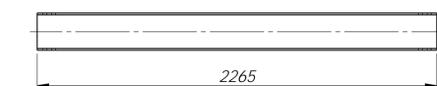
ELEMENTO - C04  
PERFIL: C3X4.1 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:10



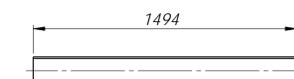
ELEMENTO - C09  
PERFIL: C3X4.1 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:20



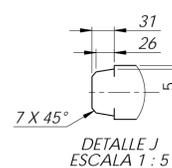
DETALLE T  
ESCALA 1 : 5



ELEMENTO - W10  
PERFIL: W8x21 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:20



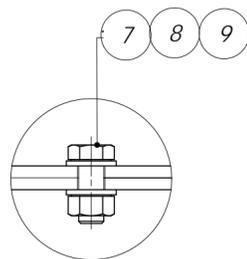
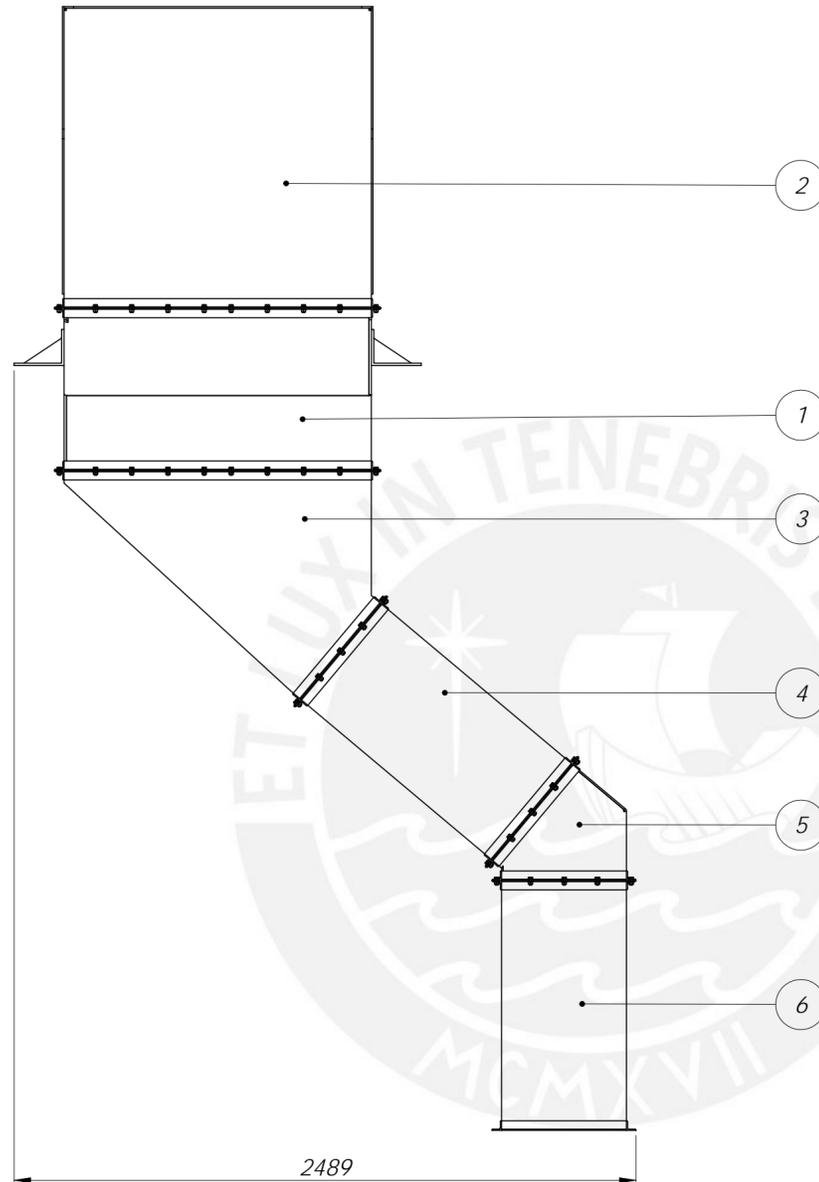
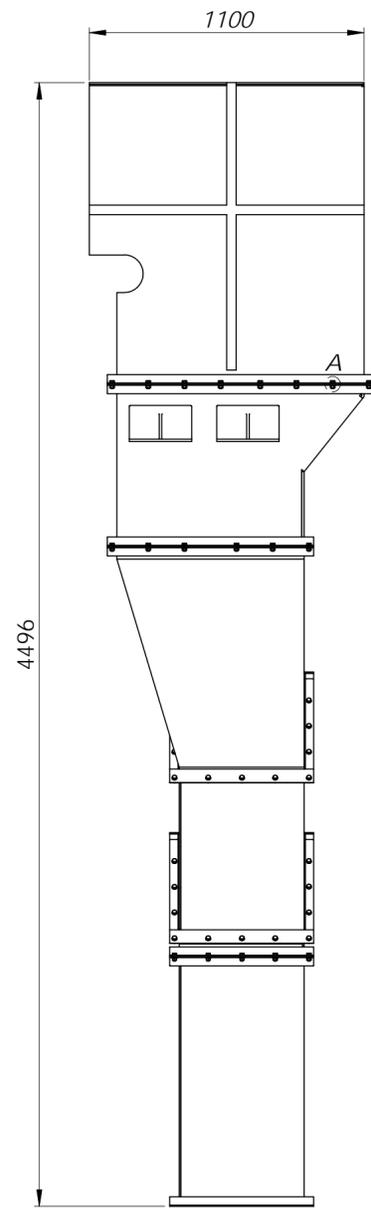
ELEMENTO - W08  
PERFIL: W6X20 - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:20



DETALLE J  
ESCALA 1 : 5

NOTAS:  
- RANURAS NO ESPECIFICADAS  $\phi 8 \times 18$   
- TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168 - GRADO MEDIO  
- ESCALAS INDICADAS  
- MATERIAL: ASTM-A36

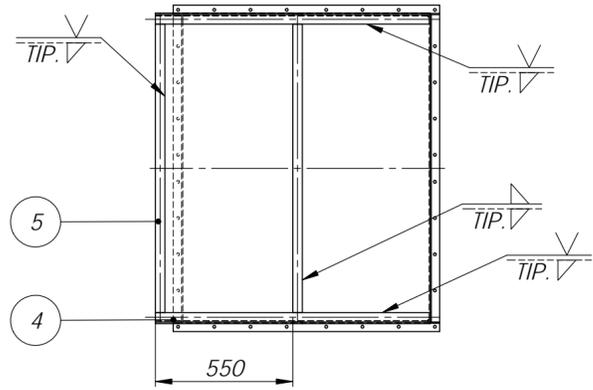
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING MECANICA		
METODO DE PROYECCION	DESPIECE DE PERFILES- TRO01-TRIPPER-42"X15"	ESCALA Indicado
20110140	PASCUAL VELASQUEZ, DIEGO MARCO	FECHA: 2021.10.05
		LAMINA: A1-D01-001



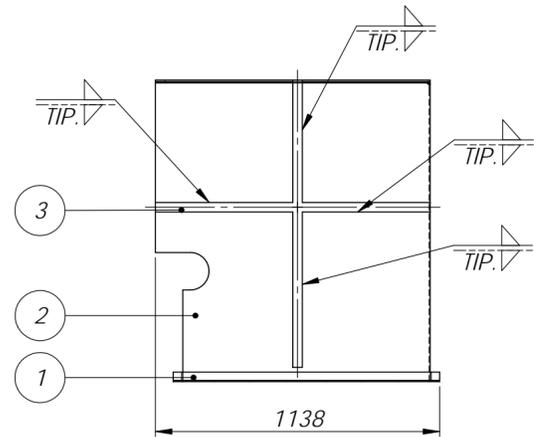
DETALLE A  
ESCALA 1 : 2

ITEM	CODIGO	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	CANTIDAD	PESO (kg./U)	PESO TOTAL (kg.)
<b>CH001 / CANT: 01</b>							
1	EC002	CUERPO SOPORTE HACIA PLATAFORMA	-	SEGÚN PLANO	1	255.25	<b>255.25</b>
2	EC001	CUERPO SUPERIOR	-	SEGÚN PLANO	1	226.46	<b>226.46</b>
3	EC003	CUERPO DE IMPACTO	-	SEGÚN PLANO	1	142.51	<b>142.51</b>
4	EC004	CUERPO DIAGONAL	-	SEGÚN PLANO	1	108.99	<b>108.99</b>
5	EC005	CUERPO DE TRANSICIÓN	-	SEGÚN PLANO	1	43.63	<b>43.63</b>
6	EC004	CUERPO VERTICAL	-	SEGÚN PLANO	1	108.99	<b>108.99</b>
7	PLC01	ARANDELA 10,5	DIN 125	St	216	0.004	<b>0.88</b>
8	PLC02	TORNILLO HEXAGONAL M10x25	DIN 24017	8.8	108	0.03	<b>2.78</b>
9	PLC03	TUERCA HEXAGONAL M10	DIN 24032	8	108	0.01	<b>1.25</b>
						<b>TOTAL</b>	<b>890.74</b>

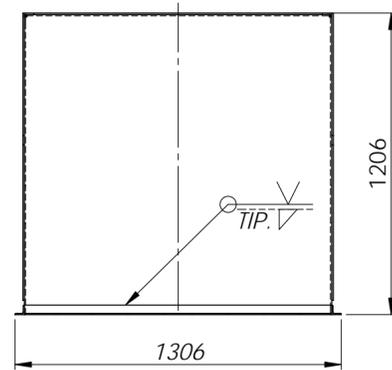
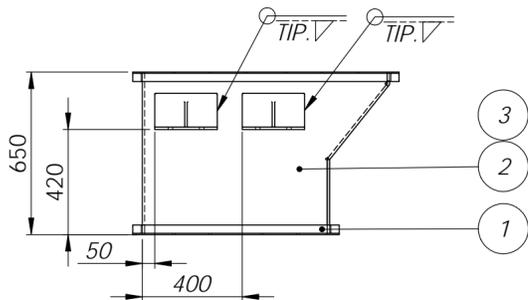
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING MECANICA		
METODO DE PROYECCION	ESCALA	
	1:20	
20110140	PASCUAL VELASQUEZ, DIEGO MARCO	FECHA: 2021.10.05
		LAMINA: A2-ENS-002



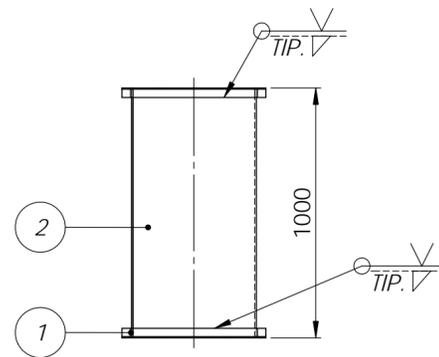
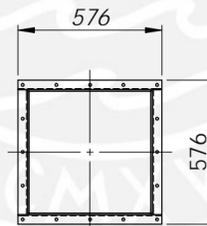
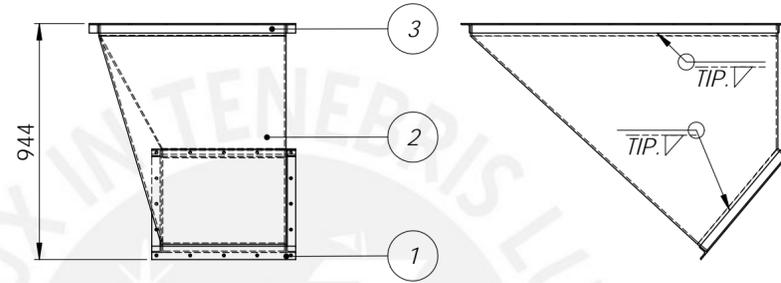
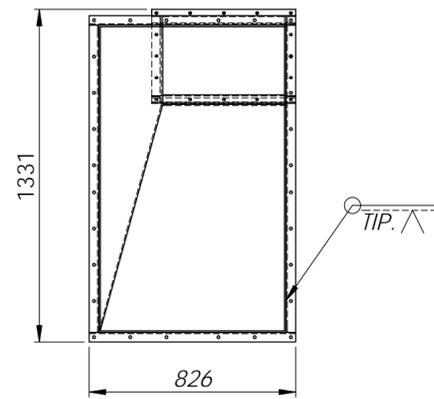
ELEMENTO - EC01  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:20



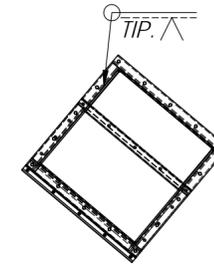
ELEMENTO - EC02  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:20



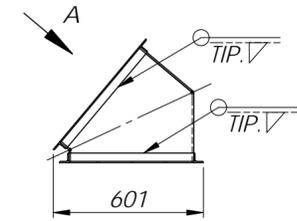
ELEMENTO - EC03  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:20



ELEMENTO - EC04  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:20



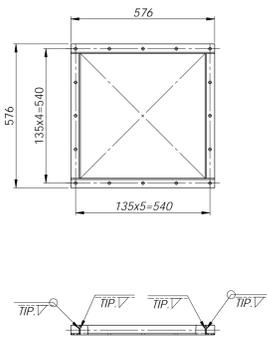
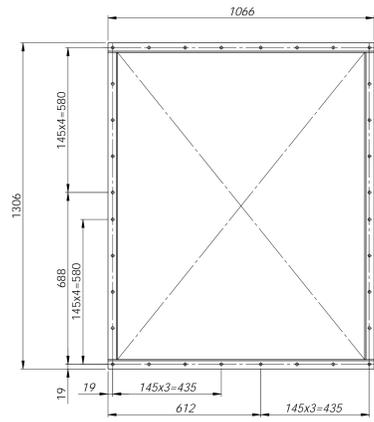
VISTA A  
ESCALA 1 : 20



ELEMENTO - EC05  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:20

ITEM	CODIGO	MATERIAL	CANTIDAD	PESO (kg./U)	PESO TOTAL (kg.)
<b>EC001 / CANT: 01</b>					
1	LC01	L 1.5x1.5x3/16" ASTM A-36	1	12.00	12.00
2	CC01	PL - 3/16" ASTM A-36	1	197.52	197.52
3	PLC01	PL - 1/4" ASTM A-36	2	4.20	8.40
4	PLC02	PL - 1/4" ASTM A-36	2	2.09	4.18
5	PLC03	PL - 1/4" ASTM A-36	2	2.19	4.38
				<b>TOTAL</b>	<b>226.48</b>
<b>EC002 / CANT: 01</b>					
1	LC02	L 1.5x1.5x3/16" ASTM A-36	1	10.74	10.74
2	CC02	PL - 3/8" ASTM A-36	1	204.03	204.03
3	MK02	PL - 3/8" ASTM A-36	4	7.13	28.51
4	LC01	L 1.5x1.5x3/16" ASTM A-36	1	12.00	12.00
				<b>TOTAL</b>	<b>255.28</b>
<b>EC003 / CANT: 01</b>					
1	LC02	L 1.5x1.5x3/16" ASTM A-36	1	10.74	10.74
2	CC03	PL - 1/4" ASTM A-36	1	126.18	126.18
5	LC03	L 1.5x1.5x3/16" ASTM A-36	1	5.62	5.62
				<b>TOTAL</b>	<b>142.54</b>
<b>EC004 / CANT: 02</b>					
1	LC03	L 1.5x1.5x3/16" ASTM A-36	2	5.62	11.24
2	CC04	PL - 1/4" ASTM A-36	1	97.77	97.77
				<b>TOTAL</b>	<b>109.01</b>
<b>EC005 / CANT: 02</b>					
1	LC03	L 1.5x1.5x3/16" ASTM A-36	2	5.62	11.24
2	CC05	PL - 1/4" ASTM A-36	1	32.41	32.41
				<b>TOTAL</b>	<b>43.65</b>

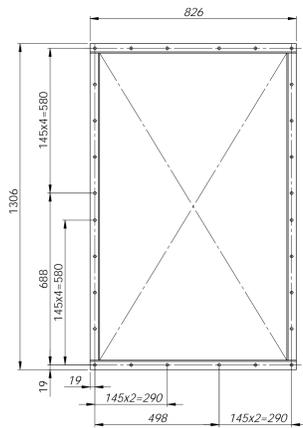
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING MECANICA		ESCALA Indicado
METODO DE PROYECCION 	SUB-ENSAMBLAJE DE ELEMENTOS DE CHUTE DE TRANSFERENCIA-CH001	FECHA: 2021.10.05
20110140	PASCUAL VELASQUEZ, DIEGO MARCO	LAMINA: A2-ENS-001



ELEMENTO - LC03  
PERFIL: L 1.5x1.5x3/16" - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 07 UNID  
ESCALA: 1:10



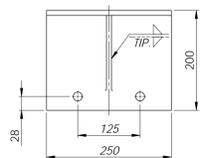
ELEMENTO - LC01  
PERFIL: L 1.5x1.5x3/16" - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:10



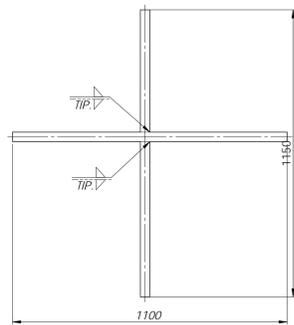
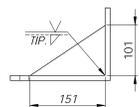
ELEMENTO - LC02  
PERFIL: L 1.5x1.5x3/16" - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:10



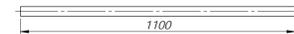
ELEMENTO - LC02  
PERFIL: L 1.5x1.5x3/16" - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:10



ELEMENTO - MK02  
PERFIL: PL 3/8" - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 04 UNID  
ESCALA: 1:5



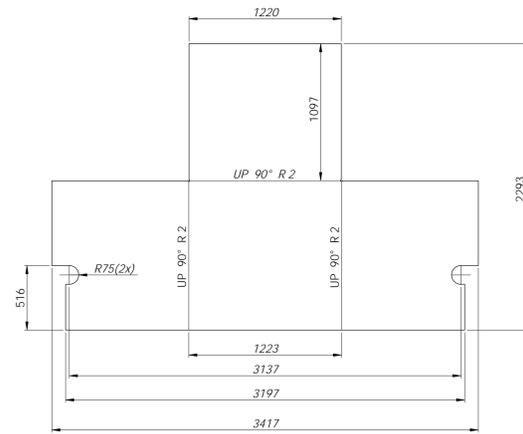
ELEMENTO - PL01  
PERFIL: PL - 1/4" - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:10



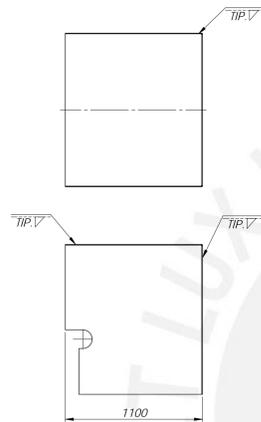
ELEMENTO - PL02  
PERFIL: PL - 1/4" - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:10



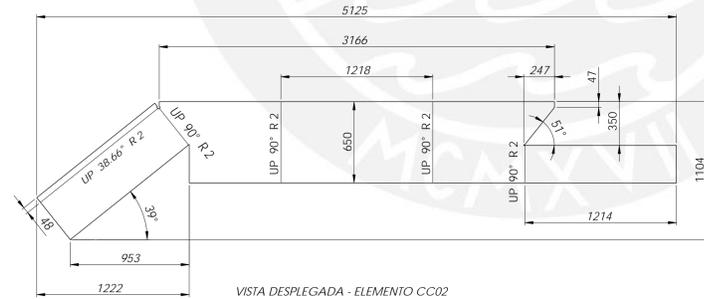
ELEMENTO - PL03  
PERFIL: PL - 1/4" - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:10



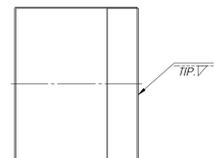
VISTA DESPLEGADA - ELEMENTO CC01



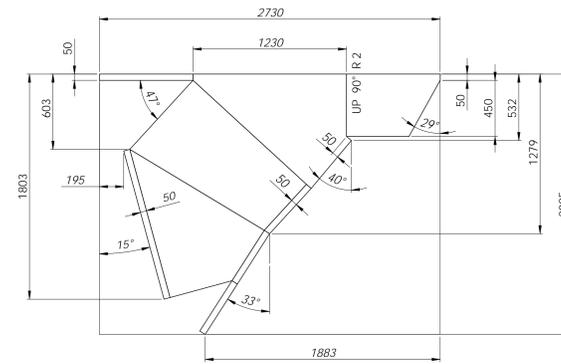
ELEMENTO - CC01  
PERFIL: PL - 3/16" - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:20



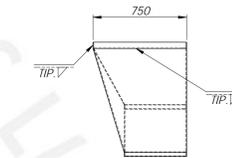
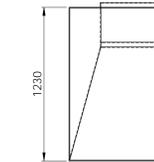
VISTA DESPLEGADA - ELEMENTO CC02



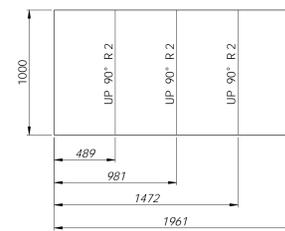
ELEMENTO - CC02  
PERFIL: PL - 3/8" - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:20



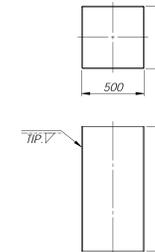
VISTA DESPLEGADA - ELEMENTO CC03



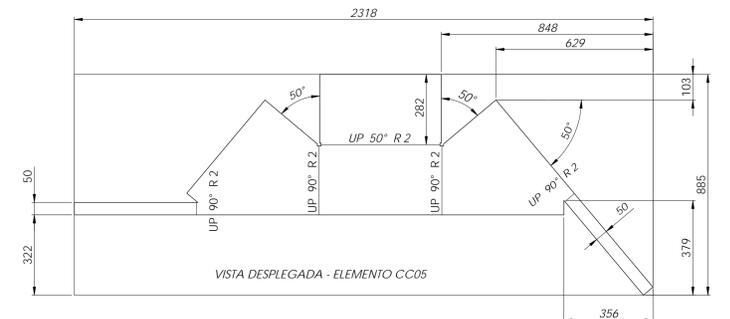
ELEMENTO - CC03  
PERFIL: PL - 1/4" - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:20



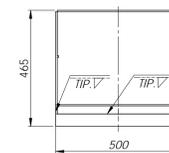
VISTA DESPLEGADA - ELEMENTO CC04



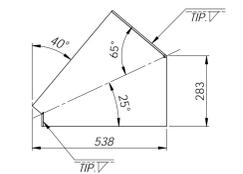
ELEMENTO - CC04  
PERFIL: PL - 1/4" - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:20



VISTA DESPLEGADA - ELEMENTO CC05



ELEMENTO - CC05  
PERFIL: PL - 1/4" - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:10

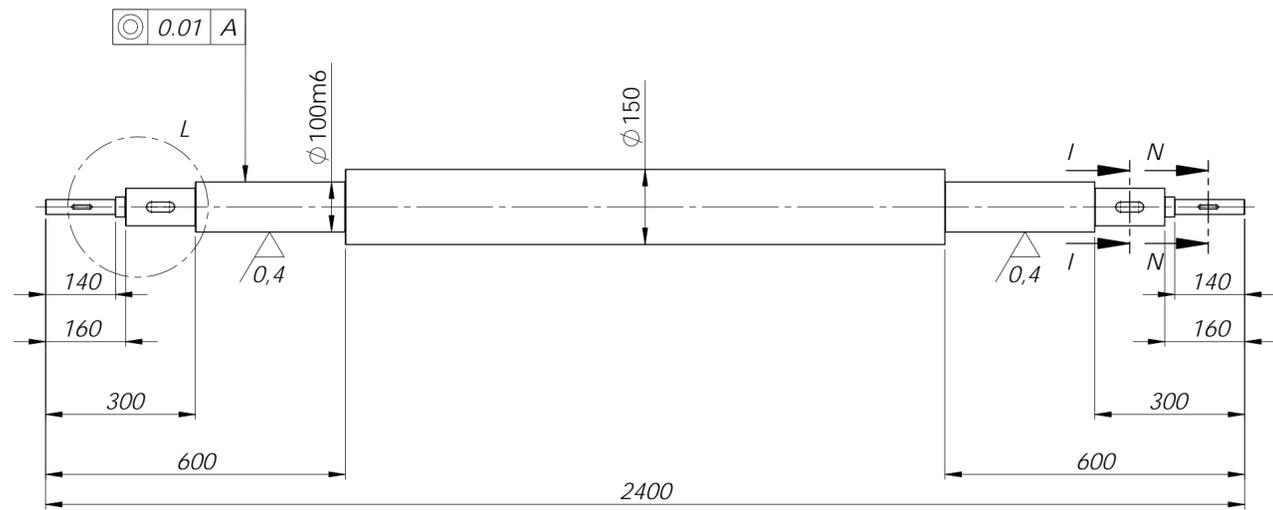


EC001 / CANT: 01					
ITEM	CODIGO	MATERIAL	CANTIDAD	PESO (kg./U)	PESO TOTAL (kg.)
1	LC01	L 1.5x1.5x3/16" ASTM A-36	2	12.00	24.00
2	LC02	L 1.5x1.5x3/16" ASTM A-36	2	10.74	21.49
3	LC03	L 1.5x1.5x3/16" ASTM A-36	7	5.62	39.34
4	PL01	PL - 1/4" ASTM A-36	2	4.20	8.40
5	PL02	PL - 1/4" ASTM A-36	2	2.09	4.18
6	PL03	PL - 1/4" ASTM A-36	2	2.19	4.38
7	MK02	PL - 3/8" ASTM A-36	4	7.13	28.51
8	CC01	PL - 3/16" ASTM A-36	1	197.52	197.52
9	CC02	PL - 3/8" ASTM A-36	1	204.03	204.03
10	CC03	PL - 1/4" ASTM A-36	1	126.18	126.18
11	CC04	PL - 1/4" ASTM A-36	2	97.77	195.55
12	CC05	PL - 1/4" ASTM A-36	1	32.41	32.41
				TOTAL	885.97

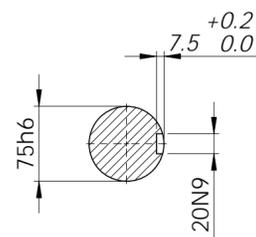
NOTAS GENERALES:

1. MATERIAL: PERFILES LAMINADOS Y PLANCHAS DE ESPESOR INDICADO: ASTM A-36
2. LA SOLDADURA SERA COMO MINIMO EL MENOR ESPESOR DE LA PLANCHA DE ACUERDO A ESTANDAR AWS D1.1, SALVO INDICACION CONTRARIA
3. MEDIDAS EN MM. SALVO INDICACION CONTRARIA

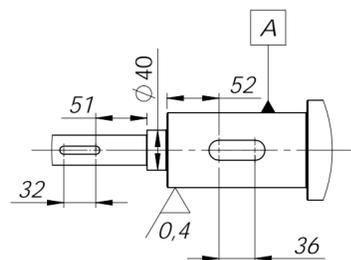
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING MECANICA		
METODO DE PROYECCION	ESCALA	
	Indicada	
20110140	PASCUAL VELASQUEZ, DIEGO MARCO	FECHA: 2021.10.05 LÁMINA: AD-DES-002



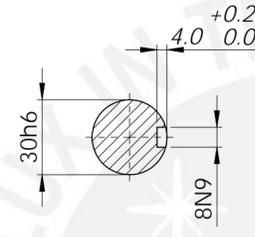
ELEMENTO - EE01 - EJE MOTRIZ FRONTAL  
MATERIAL: CK45  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:10



SECCIÓN I-I  
ESCALA 1:5

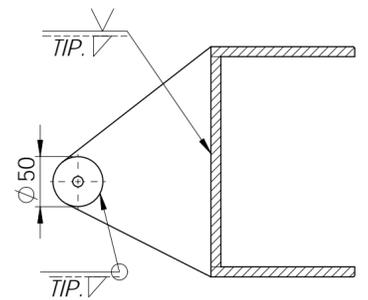
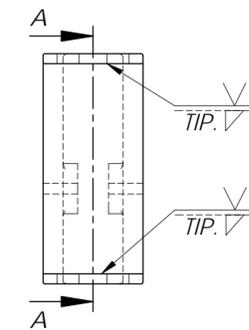
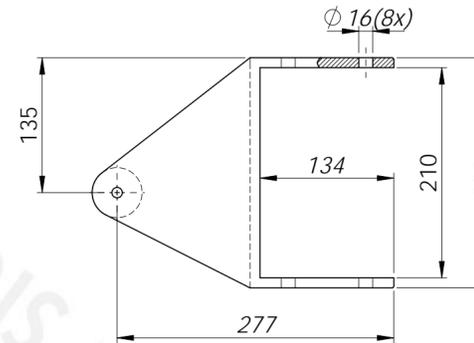
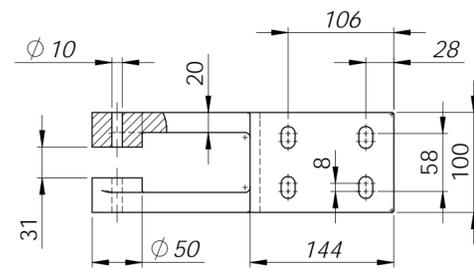


DETALLE L  
ESCALA 1:5



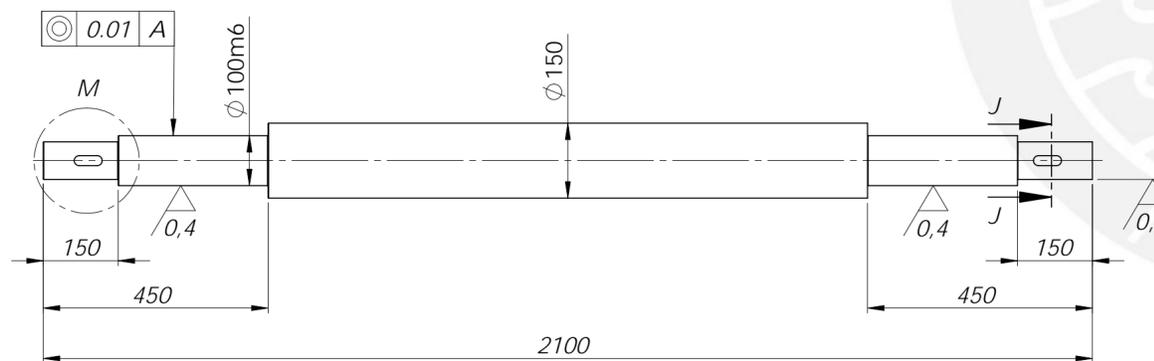
SECCIÓN N-N  
ESCALA 1:2

REDONDEOS NO INDICADOS R1  
CHAFLANES NO INDICADOS 1x45°

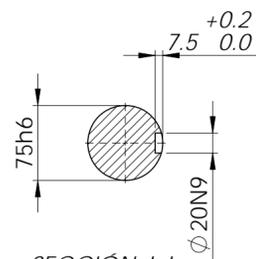


SECCIÓN A-A  
ESCALA 1:5

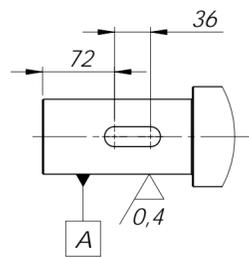
ELEMENTO - MK03 - MÉNSULA DE TRANSMISIÓN  
PERFIL: PL - 3/8" y PL - 3/4" - MATERIAL: ASTM A-36  
CANT: 02 UNID  
ESCALA: 1:5



ELEMENTO - EE02 - ARBOL MOVIDO TRASERO  
MATERIAL: CK45  
CANT: 01 UNID  
ESCALA: 1:10

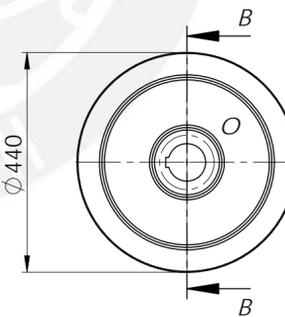


SECCIÓN J-J  
ESCALA 1:5

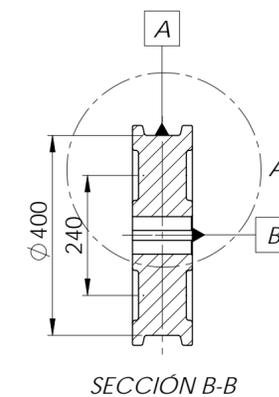


DETALLE M  
ESCALA 1:5

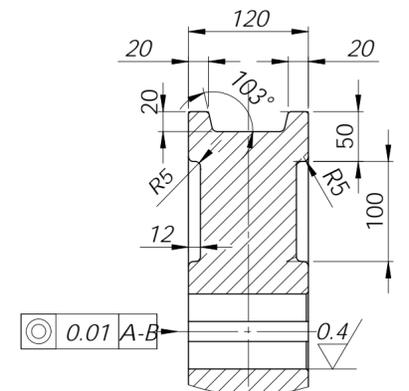
REDONDEOS NO INDICADOS R1  
CHAFLANES NO INDICADOS 1x45°



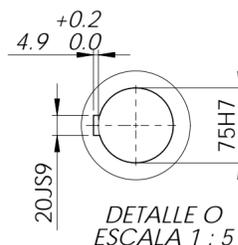
ELEMENTO - RR01 - RUEDA DE DOBLE PESTAÑA  
MATERIAL: AISI 4340  
CANT: 04 UNID  
ESCALA: 1:10



SECCIÓN B-B



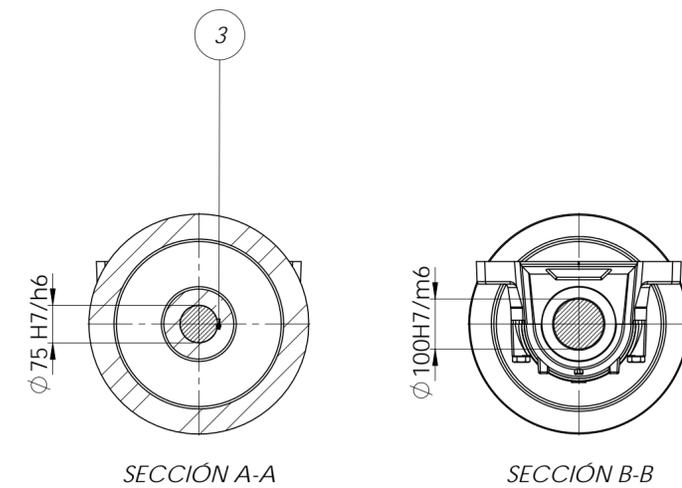
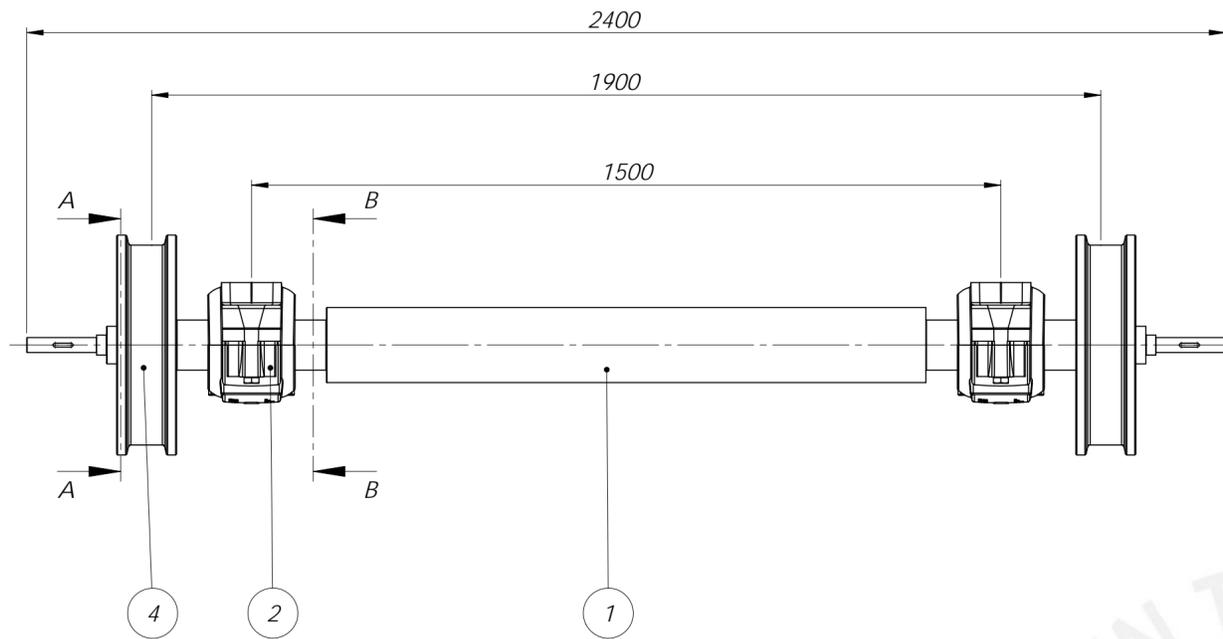
DETALLE A  
ESCALA 1:5



DETALLE O  
ESCALA 1:5

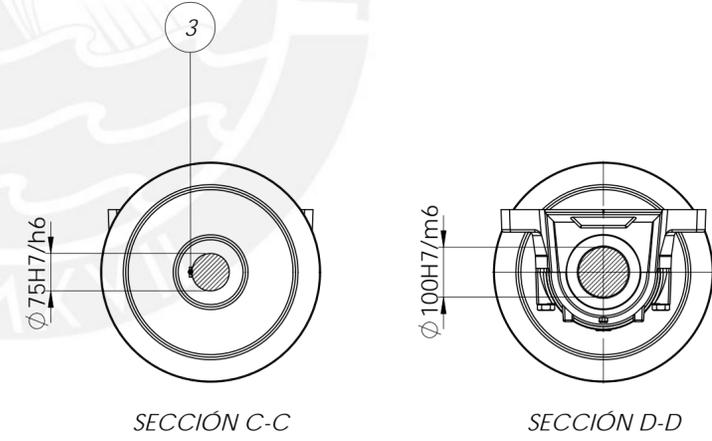
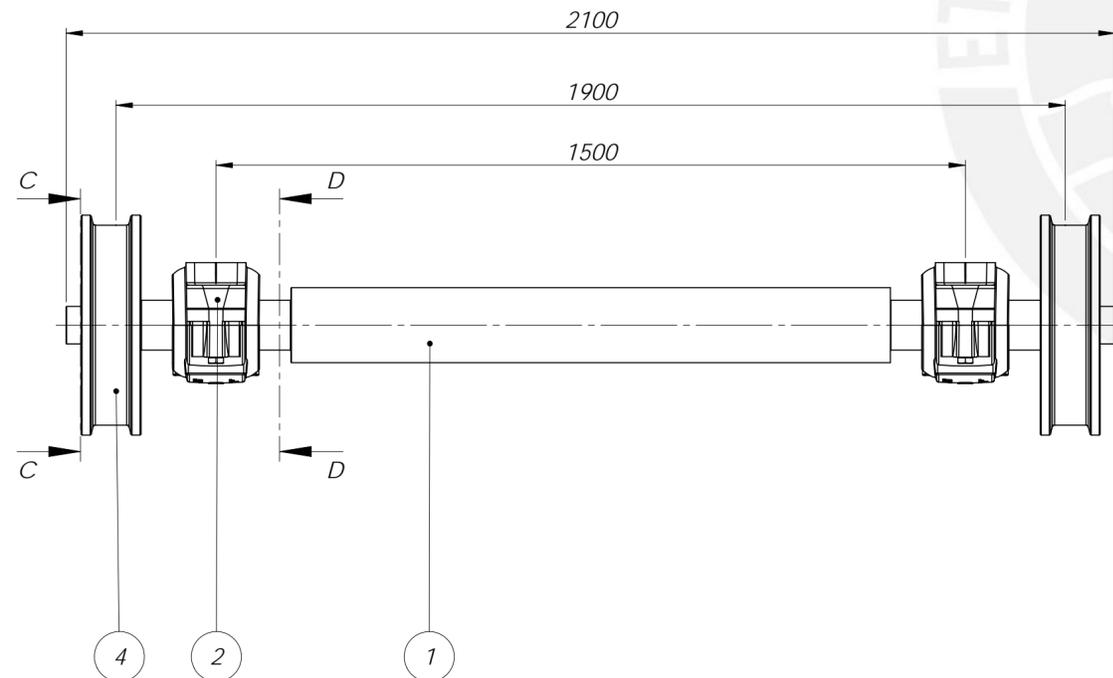
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL INDICADO
6.3	0.4	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING MECANICA		
METODO DE PROYECCION		ESCALA
		Indicado
20110140		FECHA: 2021.10.05
PASCUAL VELASQUEZ, DIEGO MARCO		LAMINA: A2-DES-001

ITEM	CODIGO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	PESO (kg./U)	PESO TOTAL (kg.)
1	EE01	EJE MOTRIZ FRONTAL	CK45	1	212.85	212.85
2	EE02	ARBOL MOVIDO TRASERO	CK45	1	212.38	212.38
3	MK03	MÉNSULA DE TRANSMISIÓN	PL - 3/8", PL - 3/4" - ASTM A-36	2	10.50	21.00
4	RR01	RUEDA DE DOBLE PESTAÑA	AISI 4340	4	108.41	433.65
					<b>TOTAL</b>	<b>879.88</b>



ELEMENTO - EN001 - ENSAMBLE MOTRIZ FRONTAL  
 MATERIAL: SEGÚN ELEMENTO  
 CANT: 01 UNID  
 ESCALA: 1:10

EN001 / CANT: 01						
ITEM	CODIGO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	PESO (kg./U)	PESO TOTAL (kg.)
1	EE01	EJE MOTRIZ FRONTAL	CK45	1	243.02	243.02
2	-	CHUMACERA DE APOYO FSNL 522-619+22222K+H322	SKF	2	5.98	11.96
3	RR01	RUEDA DE DOBLE PESTAÑA	AISI 4340	2	108.41	216.82
4	-	CHAVETA 12x20x56 DIN 6885	St	2	1.32	2.63
					<b>TOTAL</b>	<b>474.43</b>



ELEMENTO - EN002 - ENSAMBLE MOVIDO TRASERO  
 MATERIAL: SEGÚN ELEMENTO  
 CANT: 01 UNID  
 ESCALA: 1:10

EN002 / CANT: 01						
ITEM	CODIGO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	PESO (kg./U)	PESO TOTAL (kg.)
1	EE02	ARBOL MOVIDO TRASERO	CK45	1	212.38	212.38
2	-	CHUMACERA DE APOYO FSNL 522-619+22222K+H322	SKF	2	5.98	11.96
3	RR01	RUEDA DE DOBLE PESTAÑA	AISI 4340	2	108.41	216.82
4	-	CHAVETA 12x20x56 DIN 6885	St	2	1.32	2.63
					<b>TOTAL</b>	<b>443.80</b>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU  
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESPECIALIDAD: ING MECANICA

METODO DE PROYECCION	ENSAMBLE DE SISTEMA MOTRIZ DE TRIPPER TR001	ESCALA INDICADO
20110140	PASCUAL VELASQUEZ, DIEGO MARCO	FECHA: 2021.10.05
		LAMINA: A2-ENS-003