

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



**“Diseño y modelado de un sistema estructural móvil para transportar
componentes metálicos de carga máxima de 10 toneladas”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

AUTOR:

Bach. Benavides Rosales, Freddy Williams

Bach. Chorres Pereda, Brajhan Junior

ASESOR:

M.Sc. Ing. Risco Ojeda, Rusber Alberto

COD. ORCID. 0000-0003-0194-169X

NUEVO CHIMBOTE-PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente tesis para Título ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando en cuadro dentro de las áreas y líneas de investigación conforme el reglamento general para obtener el Título profesional en la Universidad Nacional del Santa de acuerdo con la denominación siguiente:

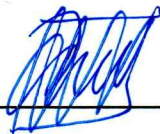
Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

**“DISEÑO Y MODELADO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL MOVIL PARA
TRANSPORTAR COMPONENTES METALICOS DE CARGA MAXIMA DE 10
TONELADAS”**

Autores:

Bach. BENAVIDES ROSALES FREDDY WILLIAMS

Bach. CHORRES PEREDA BRAJHAN JUNIOR



Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda
COD. ORCID. 0000-003-0194-169X
DNI:32903454
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERIA

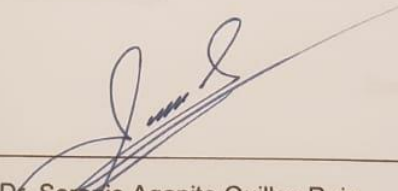
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

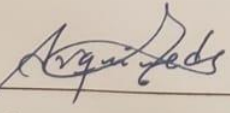
El presente trabajo tesis titulado: "DISEÑO Y MODELADO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL MOVIL PARA TRANSPORTAR COMPONENTES METALICOS DE CARGA MAXIMA DE 10 TONELADAS", para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico, presentado por los bachilleres: **BENAVIDES ROSALES FREDDY WILLIAMS** con código de matrícula N°0201116016 y **CHORRES PEREDA BRAJHAN JUNIOR**, con código de matrícula N°0201116022, que tienen como asesor al Msc. Risco Ojeda Rusber Alberto.

Ha sido revisado y aprobado el día 18 de agosto del 2025 por el siguiente jurado evaluador, designado mediante la resolución N° 0202-2025-UNS-CFI.

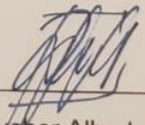
Revisado y evaluado por el siguiente jurado evaluador.



Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz
COD. ORCID 0000-0002-4498-0034
DNI:08597503
Presidente



Msc. Arquimedes Iparraguirre Lozano
COD. ORCID. 0000-0002-1132-7688
DNI 32766219
Secretario



Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda
COD. ORCID 0000-003-0194-169X
DNI:32903454
Integrante



ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

El día 18 del mes de agosto del año dos mil veinticinco, siendo las 12:00 pm., En el Laboratorio de Uso Múltiple de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica-FI-UNS, en concordancia a lo dispuesto en el Oficio Múltiple N° 034-2022-UNS-CU-SG, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 202-2025-UNS- CFI, y de expedito según Resolución Decanal N° 538-2025-UNS-FI integrado por los docentes: **Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz (presidente)**, **Msc. Arquímedes Iparraguirre Lozano (secretario)** y el **Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda (Integrante)**, para dar inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **DISEÑO Y MODELADO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL MOVIL PARA TRANSPORTAR COMPONENTES METALICOS DE CARGA MAXIMA DE 10 TONELADAS**", perteneciente a los bachiller: **BENAVIDES ROSALES FREDDY WILLIAMS** con código de matrícula N°0201116016 y **CHORRES PEREDA BRAJHAN JUNIOR**, con código de matrícula N°0201116022, quien fue asesorado por el Msc. Risco Ojeda Rusber Alberto, según Resolución Decanal N.º 778-2023-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
BENAVIDES ROSALES FREDDY WILLIAMS	15	REGULAR

Siendo las 11:30 a.m. del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, agosto 18 de 2025


Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz
PRESIDENTE


Msc. Arquímedes Iparraguirre Lozano
SECRETARIO


Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda
INTEGRANTE

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

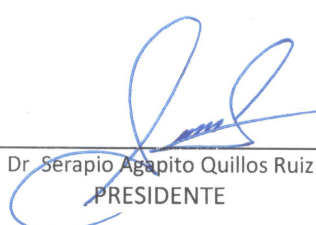
El día 18 del mes de agosto del año dos mil veinticinco, siendo las 12:00 pm., En el Laboratorio de Uso Múltiple de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica-FI-UNS, en concordancia a lo dispuesto en el Oficio Múltiple N° 034-2022-UNS-CU-SG, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 202-2025-UNS- CFI, y de expedito según Resolución Decanal N° 538-2025-UNS-FI integrado por los docentes: **Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz (presidente), Msc. Arquímedes Iparraguirre Lozano (secretario) y el Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda (Integrante)**, para dar inicio a la sustentación de la Tesis titulada: **DISEÑO Y MODELADO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL MOVIL PARA TRANSPORTAR COMPONENTES METALICOS DE CARGA MAXIMA DE 10 TONELADAS**", perteneciente a los bachiller: **BENAVIDES ROSALES FREDDY WILLIAMS con código de matrícula N°0201116016 y CHORRES PEREDA BRAJHAN JUNIOR, con código de matrícula N°0201116022**, quien fue asesorado por el Msc. Risco Ojeda Rusber Alberto, según Resolución Decanal N.º 778-2023-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos, vigente, declaran aprobar:

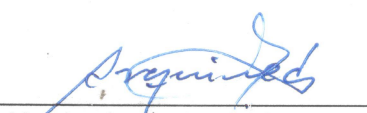
BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
CHORRES PEREDA BRAJHAN JUNIOR	16	REGULAR

Siendo las 11:30 a.m. del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, agosto 18 de 2025



Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz
PRESIDENTE



Msc. Arquímedes Iparraguirre Lozano
SECRETARIO



Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda
INTEGRANTE



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Freddy Williams BENAVIDES ROSALES
Título del ejercicio:	Tesis
Título de la entrega:	DISEÑO Y MODELADO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL MÓVIL P...
Nombre del archivo:	T._Benavides_Rosales_Freddy_Chorres_Pereda_Brajhan.pdf
Tamaño del archivo:	3.23M
Total páginas:	77
Total de palabras:	13,389
Total de caracteres:	70,321
Fecha de entrega:	11-sept-2025 01:22p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	2748146334

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

 **UNS**
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO

"DISEÑO Y MODELADO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL MÓVIL PARA
TRANSPORTAR COMPONENTES METÁLICOS DE CARGA MÁXIMA DE 10
TONELADAS"

AUTOR:

Bach. BENAVIDES ROSALES, FREDDY WILLIAMS
Bach. CHORRES PEREDA, BRAJHAN JUNIOR

ASESOR:

M.Sc. RISCO OJEDA, RUSBER ALBERTO
COD. ORCID. 0000-0003-0194-169X

NUEVO CHIMBOTE-PERÚ
2025

DISEÑO Y MODELADO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL MÓVIL PARA TRANSPORTAR COMPONENTES METÁLICOS DE CARGA MÁXIMA DE 10 TONELADAS

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

6%

2

edoc.pub

Fuente de Internet

3%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

4

idoc.pub

Fuente de Internet

2%

5

repositorio.unsa.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

www.slideshare.net

Fuente de Internet

1%

7

INSIDEO SOCIEDAD ANONIMA CERRADA -
INSIDEO S.A.C.. "ITS del Proyecto Inclusión de
Máquinas y Ampliación de la Planta de Acero
Dimensionado-IGA0014490", R.D. N° 671-
2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2022

Publicación

1%

8

core.ac.uk

Fuente de Internet

1%

9

www.monografias.com

Fuente de Internet

1%

10

dspace.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

1%

11

riunet.upv.es

Fuente de Internet

1%

12

www.scribd.com

Fuente de Internet

1%

Submitted to Universidad Continental

DEDICATORIA

A Dios por brindarnos la posibilidad de realizar este proyecto como parte de nuestra vida profesional.

Así también, este trabajo va dedicado a nuestros padres por habernos formado con valores que han sido aspectos muy importantes en nuestro desarrollo como personas y profesionales.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Santa, por brindarnos el apoyo necesario durante nuestra etapa universitaria.

A nuestro asesor, Msc. Rusber Alberto Risco Ojeda, por darse el tiempo y brindarnos el apoyo e información necesaria para desarrollar este proyecto.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
NOMENCLATURA	5
I. INTRODUCCIÓN	7
1.1 Antecedentes.....	7
1.2 Formulación del problema.....	10
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 Objetivo General.....	10
1.3.2 Objetivos Específicos	10
1.4 Formulación de la Hipótesis	11
1.5 Justificación.....	11
1.5.1 Teórica	11
1.5.2 Económica	11
1.6 Limitaciones de Trabajo	12
II. MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 Diseño de Estructuras Metálicas.....	13
2.1.1 Propiedades del Acero Estructural ASTM A36	13
2.2 Tipos de Carros de Transferencia.....	13
2.2.1 Carro de Transferencia a Batería	13
2.2.2 Carro de Transferencia con Tambor de Cable.....	14
2.2.3 Carro de Transferencia Accionado por Rieles de Baja Tensión.....	15
2.2.4 Carro de Transferencia de Elevación Hidráulica.....	15
2.3 Proceso del Diseño del Carrito de Transferencia	16
2.4 Cargas Muertas	17
2.5 Cargas Vivas.....	18
2.6 Cargas Ambientales.....	18
2.6.1 Análisis Sísmico	19
2.7 Diagrama de Cuerpo Libre	20
2.8 Esfuerzo	21
2.9 Flexión.....	21

2.10 Torsión.....	22
2.11 Concentración de Esfuerzos	22
2.12 Combinación de Carga	23
2.12.1. Combinación de Carga para el método LRFD	23
2.12.2 Cálculo de las Cargas Combinadas con las Expresiones de LRFD.....	23
2.12.3 Resistencia Nominal de los Miembros a Tensión	24
2.13 Software de Diseño.....	25
2.14 Modelamiento Estructural	26
III. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1 Metodología de la Investigación.....	28
3.1.1 Tipo de Estudio.....	28
3.1.2 Diseño de la Investigación.....	28
3.1.3 Procedimiento para la Investigación.....	28
3.1.4 Operacionalización de Variables	29
3.2 Métodos	30
3.3 Técnica.....	30
3.4 Medios y Materiales	30
IV. CÁLCULOS.....	32
4.1 Asignación de Cargas	32
4.2 Dimensiones Requeridas para la Plataforma	32
4.3 Cargas Vivas.....	33
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES	48
5.1 Resultados.....	48
5.1.1 Parámetros de entrada de diseño para el análisis estructural del sistema móvil....	48
5.1.2 Cálculo estructural mediante el método LRFD	48
5.1.3 Modelamiento del Sistema Estructural mediante el Software SAP 2000	50
5.1.4 Elaboración de los planos de ensamblaje, despiece y detalles.	52
5.2 Discusiones.....	52
VI. CONCLUSIONES.....	55
6.1 Conclusiones.....	55
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
VIII. ANEXO	59
8.1 Cálculos de los perfiles principales en hojas de Excel	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Carro de Transferencia a Baterías	12
Figura 2: Carro de Transferencia con Tambor de Cable.....	12
Figura 3: Carro de Transferencia Accionado por Rieles Eléctricos	13
Figura 4: Carro de Transferencia de Elevación Hidráulica	14
Figura 5: Vista Tridimensional del Carro de Transferencia	18
Figura 6: Representación de los Esfuerzos Tridimensionales y Bidimensionales.....	19
Figura 7: Esquema de Comportamiento de una Viga bajo Flexión	20
Figura 8: Análisis de Variable Independiente.....	27
Figura 9: Análisis de Variable Dependiente	28
Figura 10: Dimensionamiento del Ancho de la Plataforma.....	31
Figura 11: Consideraciones en las Dimensionas de la Sección W10x22	34
Figura 12: Modelamiento 3d Elementos Frame.....	48
Figura 13: Diagrama de Deformación (mm)	49
Figura 14: Diagrama de Momentos Flectores.....	49
Figura 15: Diagrama de Fuerzas Cortantes	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Consideraciones para el Cálculo Estructural del Carro de Transferencia	32
Tabla 2: Medidas del Carrito de Transferencia.....	32
Tabla 3: Consideraciones para el Cálculo del Bastidor Transversal – Perfil W	34
Tabla 4: Consideraciones para el Cálculo del Perfil Tubo Cuadrado HSS - 3	37
Tabla 5: Consideraciones para el Cálculo del Perfil Tubo Cuadrado HSS - 2	41
Tabla 6: Consideraciones para el Cálculo del Perfil Tubo Cuadrado HSS - 1	44
Tabla 7: Peso de los Perfiles que Componen la Estructura del Carro de Transferencia.....	46
Tabla 8: Parámetros Técnicos para la Elaboración del Análisis Estructural	48
Tabla 9: Resultados para el Cálculo de la Viga W10x22	48
Tabla 10: Resultados para el Perfil del Tubo Cuadrado HSS -3	49
Tabla 11: Resultados para el Perfil del Tubo Cuadrado HSS -2	49
Tabla 12: Resultados para el Perfil del Tubo Cuadrado HSS -1	50

RESUMEN

El siguiente trabajo de tesis consta en el diseño de un Carro de Transferencia de 10 toneladas de capacidad, la cual sirve como medio para transportar perfiles de aceros. Las estructuras aquí proyectadas cumplieron con los requisitos de las normas AISC (Instituto Americano de Construcción en Acero), desarrollando así el cálculo estructural del carro de transferencia, verificando la capacidad estructural de la misma y también la potencia de accionamiento del mismo y corroboración de los planos desarrollados para la construcción del carro de transferencia. El diseño de los elementos estructurales de acero, según se define en el AISC se empleó el método LRFD (Load Resistance Factor Design). El presente trabajo de tesis está constituido por un diseño estructural la cual se dimensionó mediante el programa Autodesk Inventor para posteriormente analizarlo estructuralmente a través del programa SAP 2000 que nos ayudó a comparar y analizar nuestros resultados calculados manualmente. El Carrito de Transferencia cumple con las solicitudes de cargas impuestas que para nuestro estudio es de 10 toneladas, cumpliendo con las normas internacionales de Diseño estructural y que a su vez se empleó 02 motorreductores de 4 KW de potencia con una velocidad de salida de 21.2 rpm.

Palabras claves: diseño, calculo estructural, carro de transferencia, método LRFD.

ABSTRACT

The following thesis work consists of the design of a 10T capacity Transfer Cart, which serves as a means of transporting steel profiles. The structures here projected will comply with the requirements of the AISC standards, thus developing the structural calculation of the transfer cart, verifying its structural capacity and also its driving power and corroborating the plans developed for its construction. The design of the steel structural elements, as defined in the AISC, will use the LRFD (Load Resistance Factor Design) method. This thesis work consists of a structural design that will be dimensioned using the Autodesk Inventor program to later analyze it structurally through the SAP 2000 program that will help us compare and analyze our manually calculated results. The Transfer Cart meets the imposed load requirements, which for our study is 10T, complying with the international standards of structural design and which in turn will use 02 gear motors of 4 KW of power with an output speed of 21.2 rpm.

Keywords: design, structural analysis, LRFD method, car transfer.

NOMENCLATURA

$\emptyset$: factor de reducción

S_y : Esfuerzo de fluencia (kg/cm²)

S_{ut} : Esfuerzo último a la tracción (kg/cm²)

l : longitud de la soldadura (mm)

w : ancho de la soldadura (mm)

L : Longitud de la viga (m)

L_b : Longitud de la viga arriostrada (m)

M_u : Momento de inercia (Tonf-m)

S_x : Módulo elástico (cm³)

Z_x : Módulo plástico (cm³)

I : Momento de Inercia (cm⁴)

C_b : Factor de Corrección

L_r : Longitud característica (m)

R_n : resistencia nominal de un miembro (Tonf)

R_u : Fuerza factorizada calculada en el miembro (Tonf)

U : carga factorizada o de diseño (Tonf)

D : carga muerta (Tonf)

L : carga viva debida a la ocupación (Tonf)

S : carga de nieve (Tonf)

R : carga nominal debida a la precipitación pluvial o el hielo iniciales, independientemente de la contribución por encharcamiento (Tonf)

W : carga de viento (Tonf)

E : carga de sismo (Tonf)

A_g : Área bruta del miembro (m²)

F_u : Esfuerzo mínimo de tensión (Tonf/m²)

A_e : Área neta efectiva (m²)

E: módulo de elasticidad (Kgf/cm²)

M_{máx}: Momento máximo (Tonf-m)

F_{cr}: Fuerza critica (N)

P: Potencia de accionamiento (kw)

N_r: Velocidad de salida de motorreductor (rpm)

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En el trabajo de Hernández (2023), denominado ***“Diseño de una Estructura Móvil para la Ayuda en el Transporte de Objetos de Dimensiones Medianas”***, realizó el diseño de una estructura móvil debido a la necesidad vigente de facilitar el transporte de objetos u materiales de gran peso a través de las instalaciones de un taller o nave. Esta estructura móvil se concibe como una solución para pequeños talleres y/o manufactureras con limitaciones económicas que les impide instalar un puente grúa o la infraestructura necesaria para su funcionamiento. El autor en su trabajo de investigación abarcó el análisis y diseño estructural, lo cual dimensionó la estructura móvil empleando el software Solidworks; asimismo, seleccionó un conjunto de poleas y accesorios para que se puede levantar la carga requerida para el transporte de los objetos hacia su destino, empleando así los materiales adecuados para el diseño de la estructura móvil.

Ribeiro (2018), en su tesis de maestría titulada ***“Structural Design of Transfer Structures”***, estudió diferentes tipologías de estructuras de transferencia con el propósito de evaluar su desempeño estructural frente a distintas solicitaciones. El autor analizó parámetros de resistencia, respuesta sísmica, robustez y métodos constructivos, resaltando la importancia de seleccionar configuraciones adecuadas para optimizar la seguridad y eficiencia en el diseño de sistemas capaces de soportar elevadas cargas.

Mora Quispe, Todisco y Corres Peiretti (2021), en el artículo ***“Design Basis of Movable Scaffolding Systems”*** publicado en *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, plantearon los fundamentos de diseño de sistemas estructurales móviles empleando normativas europeas y americanas. Su investigación consideró combinaciones de carga, factores de seguridad y metodologías de análisis estructural aplicadas a sistemas móviles, destacando la relevancia de aplicar criterios internacionales de

diseño para garantizar el adecuado comportamiento de estas estructuras. Estos aportes constituyen un soporte técnico y metodológico relevante para el presente estudio.

Huayta (2019), en su investigación con el título ***“Diseño de una Estructura para Levante de Carga de dos Toneladas para Taller de Mantenimiento”***, analizó el diseño de una estructura de elevación de carga capaz de manejar dos toneladas, para satisfacer las necesidades de un taller de mantenimiento de equipos pesados y semipesados empleando la metodología de diseño de las normas VDI 2221 y 2222 emitida por la Verein Deutscher Ingenieure (Asociación de Ingenieros Alemanes), es una metodología para el desarrollo sistemático de sistemas técnicos, incluyendo productos y procesos, la cual empieza por la comprensión de los requisitos y la elaboración de una lista de exigencias, seguido por la evaluación del estado de la tecnología disponible. Dentro de ese proceso de evaluación, Huayta exploró tres posibles soluciones usando una matriz morfológica, seleccionando así una grúa pórtico la cual ofrece beneficios como operar en diferentes superficies y la capacidad de elevar y mover cargas de gran peso y volumen, mejorando la eficiencia del trabajo; asimismo, el autor realizó cálculos y seleccionó los elementos estructurales empleando conceptos de estática, mecánica de materiales y diseño de elementos de máquinas cumpliendo así con los estándares requeridos.

Tenelema (2013), en su estudio con el título ***“Diseño y Simulación de un Puente Grúa de Cinco Toneladas”***, diseña y simula un puente grúa de 05 toneladas, en la cual el autor abarca el diseño, construcción y simulación estática para un taller industrial que le solicitó el diseño para el área de producción donde la finalidad de esta grúa puente es mover las estructuras finalizadas, así como sus partes en el proceso de ensambles de estructuras. Tenelema diseñó el puente grúa bajo la norma CMMA 70, y el criterio de flexión máxima estática y dinámica.

Rodríguez (2019), en su trabajo de investigación ***“Diseño de un Semirremolque Plataforma Tridem en Acero de Alta Resistencia Empleando Herramientas Computacionales, para Optimizar la Capacidad de Carga en la Empresa FAMECA S.A.C.”*** aborda como problemática principal la necesidad de incrementar la capacidad de carga útil de un semirremolque tipo plataforma tridem, sin que esto implique un aumento en su peso ni en sus costos. En este sentido, el autor planteó como objetivo general el diseño de un semirremolque plataforma tridem que ofrezca una mayor capacidad de carga útil, empleando acero de alta resistencia y reduciendo su peso estructural. Para lo cual el autor utilizó el software Solidworks para llevar a cabo múltiples simulaciones bajo condiciones normales de operación, calculando los esfuerzos y deformaciones máximas. Como resultado principal, se logró diseñar un semirremolque plataforma tridem con un peso aproximado de poco más de 6 toneladas y una capacidad de carga útil superior a los 38,000 kg, lo que representa una relación de carga de más de seis veces su propio peso. Además, se alcanzó una disminución del 13% en el peso neto del vehículo y un incremento del 2.5% en su capacidad de carga útil. Finalmente, se comprobó que los resultados arrojados por el software, tanto en términos de deformación máxima como en los esfuerzos de Von Mises para el diseño optimizado, se encontraban dentro de los límites establecidos como seguros.

Siccha (2023), en su estudio con el título ***“Modelación de un vagón de transferencia de 80 toneladas de capacidad para el transporte de barras de construcción”*** diseñó un vagón de transferencia con capacidad de 80 toneladas para el transporte de barras de construcción. El diseño se basó en el análisis de las técnicas actuales utilizadas en los almacenes de la planta, adaptándose a sus requisitos operativos mínimos. El modelo final del vagón presenta dimensiones de 12.4 m de longitud, 2.824 m de ancho, un peso de 13.7 toneladas, y permite cuadruplicar la carga transportada en comparación con los sistemas actuales. Mediante cálculos estructurales analíticos y simulaciones con el método de

elementos finitos en SolidWorks, se determinó que el perfil W6x25 Lb/ft es el más adecuado para los travesaños y barandas laterales, considerando cargas de barras de 9 y 12 metros. En estos casos, las deflexiones máximas fueron de 42.46 MPa y 30.38 MPa, con factores de seguridad de 4.42 y 6.17, respectivamente. La viga principal, diseñada como una sección tipo viga encajonada, alcanzó un esfuerzo máximo de 70.21 MPa y un factor de seguridad de 2.6 bajo carga de barras de 9 m. Las barandas laterales mostraron una deflexión máxima de 38.18 MPa y un factor de seguridad de 4.9.

1.2 Formulación del problema

¿Es posible diseñar un sistema estructural móvil para transportar componentes metálicos que pueda soportar una carga máxima de 10 toneladas?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y modelar un sistema estructural móvil para transportar componentes metálicos de una carga máxima de 10 toneladas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar los parámetros de entrada de diseño para el análisis estático del sistema estructural móvil.
- b) Dimensionar el sistema estructural móvil y sus mecanismos basados en los requerimientos de ingeniería.
- c) Calcular los esfuerzos de tracción y deformación presentes en el sistema de transporte móvil mediante el análisis estructural.
- d) Modelar para realizar el análisis estático del sistema estructural móvil mediante el análisis de elementos finitos empleando un software CAD/CAE.
- e) Proyectar los planos de ensamblaje, despiece y de detalles.

1.4 Formulación de la Hipótesis

Si se modela el sistema estructural móvil para el manejo de una carga máxima de 10 toneladas, entonces, se realizará un óptimo diseño del carro de transferencia para distribuir el peso de manera eficiente y evaluar los esfuerzos a la cual estará sometido el equipo.

1.5 Justificación

1.5.1 Teórica

Este trabajo de investigación nos permitió realizar el modelamiento estructural de un carrito de transferencia para transportar perfiles estructurales con una capacidad máxima de 10 toneladas. Utilizando el método de elementos finitos mediante el programa de SAP 2000 se empleó como una herramienta de simulación para determinar las cargas críticas de la estructura. Donde se comprobó que el diseño es eficiente y óptimo. Durante el desarrollo del trabajo de investigación se optimizó el diseño estructural con la ayuda del software Autodesk Inventor.

1.5.2 Económica

Este proyecto incorpora herramientas computacionales como Autodesk Inventor y SAP 2000, lo que permite reducir los costos de fabricación al eliminar la necesidad de construir prototipos físicos o emplear métodos destructivos. Gracias a la optimización del diseño, el peso del carrito de transferencia se reduce, lo que contribuye tanto a disminuir el costo de producción como el consumo de energía eléctrica. Además, al mejorar la capacidad de carga útil del carrito de transferencia, es posible transportar una mayor cantidad de materiales, en menos tiempo. Este nuevo sistema ayudará a mejorar el traslado de los perfiles estructurales con mayor eficiencia operativa, y así mejorar significativamente la rentabilidad económica de la empresa.

1.6 Limitaciones de Trabajo

Dado que el alcance de la presente investigación se enfoca exclusivamente en el diseño y modelamiento de un carrito de transferencia destinado al transporte de perfiles estructurales, no se ha identificado información relevante sobre proyectos o estudios previos que aborden directamente el traslado de este tipo de material mediante un sistema de rieles.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Diseño de Estructuras Metálicas

El diseño del sistema estructural y sus elementos debe contemplar las cargas permanentes y eventuales que pueden impactar una estructura. Esto incluye el peso propio, sobrecargas por uso, sismos, así como cargas de viento, todas estas reguladas por normas de diseño. Actualmente, se ha observado un aumento significativo en el uso de estructuras metálicas en la construcción, gracias a las diversas ventajas que ofrecen en comparación con otros métodos constructivos, debido a su confiabilidad, rapidez de instalación, duración a través del tiempo y versatilidad la cual permite el desarmado y armado incluyendo un bajo costo y dimensiones esbeltas con alta resistencia.

2.1.1 *Propiedades del Acero Estructural ASTM A36*

El acero mayormente utilizado en el proceso de fabricación de estructuras metálicas es el Acero Estructural A36, cuyas propiedades son:

Esfuerzo de fluencia: $S_y = 1530 \text{ Kg/cm}^2 = 36 \text{ Kpsi}$

Esfuerzo último a la tracción: $S_{ut} = 4100 \text{ Kg/cm}^2 = 58 \text{ Kpsi}$

2.2 Tipos de Carros de Transferencia

Este tipo de carros transportadores de material se diseña y fabrica en base a los requerimientos que necesita el cliente, a continuación, se presenta algunos modelos que se han fabricado en la actualidad.

2.2.1 *Carro de Transferencia a Batería*

La batería está instalada dentro de la estructura, funciona sobre rieles y ofrece alta seguridad y flexibilidad. Es perfecta para usos poco frecuentes y el transporte a largas distancias, con capacidades que varían entre 2 y 150 toneladas.

Figura 1*Carro de Transferencia a Baterías**Nota.* Adaptado de Kaijia Crane**2.2.2 Carro de Transferencia con Tambor de Cable**

El tambor se ubica en la parte inferior, y en algunos modelos es retráctil, lo que lo hace adecuado para entornos difíciles. Este vagón es el más utilizado de sus modelos debido a su estructura simple y bajo costo. Los diseños de su plataforma se adaptan según las necesidades del cliente y está destinado para uso frecuente. Puede ser trasladado hasta 200 metros de distancia, y su capacidad neta varía entre 2 y 150 toneladas.

Figura 2*Carro de Transferencia con Tambor de Cable**Nota.* Adaptado de PERFT.

2.2.3 Carro de Transferencia Accionado por Rieles de Baja Tensión

Este modelo es perfecto para el transporte de carga pesada con alta frecuencia de uso y demanda para largas distancias. Funciona en vías S o curvas con rieles aislados cuando la distancia supera los 70 metros. Su capacidad de carga varía entre 2 y 150 toneladas.

Figura 3

Carro de Transferencia Accionado por Rieles Eléctricos



Nota. Adaptado de Kaijia Crane

2.2.4 Carro de Transferencia de Elevación Hidráulica

El carro de transferencia de elevación hidráulica es un equipo especializado para levantar y transportar cargas pesadas mediante un sistema hidráulico, lo que lo hace más eficiente que los equipos que dependen de energía eléctrica. Su sistema utiliza una bomba para presurizar fluido hidráulico, permitiendo un levantamiento suave y preciso, ideal para cargas delicadas. Además, cuenta con una plataforma de elevación ajustable a diferentes alturas y ángulos, lo que facilita la carga y descarga. Su maniobrabilidad es destacada, ya que puede moverse en cualquier dirección, siendo perfecto para espacios reducidos. Es una opción eficiente y versátil para manejar cargas pesadas en diversos entornos industriales.

Figura 4*Carro de Transferencia de Elevación Hidráulica***Nota.** Adaptado de PERFT

2.3 Proceso del Diseño del Carrito de Transferencia

Cualquier tipo de estructura debe ser diseñada para soportar de manera segura todas las cargas permanentes y temporales, sin superar los límites de esfuerzo establecidos para el material de construcción seleccionado.

1. Estructuración: Es la fase más importante del diseño estructural, ya que la calidad del resultado final depende en gran medida de la elección adecuada del elemento principal para un proyecto específico. Durante esta etapa, se seleccionan los materiales que formarán la estructura, se define el sistema estructural principal y se establecen el arreglo y las dimensiones preliminares de los elementos estructurales más comunes. El objetivo es encontrar la solución óptima entre un conjunto de posibles opciones de estructuración.
2. Estimación de las cargas: Se identifican las cargas que se espera que afecten al sistema estructural a lo largo de su vida útil. Estas acciones incluyen, por ejemplo, las cargas permanentes como la carga muerta, las cargas variables como la carga viva, y las acciones accidentales como el viento y los impactos.
3. Análisis y diseño estructural: Nos permite determinar cómo responde el sistema estructural ante las acciones externas que puedan afectarlo. La respuesta de una estructura o de un elemento se refiere a su comportamiento bajo una acción

específica, lo cual depende de sus características propias y puede medirse en términos de deformaciones, esfuerzos, reacciones, entre otros. Durante esta etapa, se define la estructura y se verifica si se cumplen los requisitos de seguridad establecido y criterios de diseño establecido por normas o estándares internacionales.

La Sección B2 de la Especificación AISC indica que las cargas nominales utilizadas en el diseño estructural deben cumplir con lo estipulado por el reglamento vigente aplicable al proyecto o ser determinadas según las condiciones específicas del caso. En ausencia de un reglamento, se deberán utilizar las cargas de diseño recomendadas en la publicación de la American Society of Civil Engineers, titulada Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, conocida comúnmente como ASCE 7. Esta publicación fue originalmente emitida por el American National Standards Institute (ANSI), bajo la Norma ANSI 58.1, y pasó a ser responsabilidad de la ASCE en 1988.

Las cargas, en general, se clasifican según su naturaleza y la duración de su aplicación. De esta manera, se identifican como cargas muertas, cargas vivas y cargas ambientales.

2.4 Cargas Muertas

Las cargas muertas son aquellas que tienen una magnitud constante y permanecen en una ubicación fija. Estas incluyen el peso propio de la estructura y cualquier carga que esté permanentemente unida a ella. En el caso de un edificio con estructura de acero, las cargas muertas incluyen la propia estructura, los muros, los pisos, el techo, la plomería y los accesorios. Para diseñar una estructura, es necesario estimar los pesos o cargas muertas de las distintas partes que se utilizarán en el análisis. Las dimensiones y pesos exactos de los elementos no se conocen hasta que se realiza el análisis estructural y se seleccionan los componentes de la estructura. Los pesos finales, calculados en función del diseño real, deben compararse con los pesos estimados previamente. Si existen diferencias significativas, será

necesario realizar un nuevo análisis y ajustar el diseño utilizando una estimación más precisa de las cargas.

2.5 Cargas Vivas

Las cargas vivas son aquellas que pueden variar en ubicación y magnitud. Estas se generan cuando una estructura es ocupada, utilizada o mantenida. Las cargas que se desplazan por sí mismas, como camiones, personas y grúas, se denominan cargas móviles. Por otro lado, las cargas que tienen la capacidad de moverse, como muebles y materiales en un almacén, se conocen como cargas movibles. La ASCE 7-10 ofrece amplia información sobre la magnitud de estos diferentes tipos de cargas, además de especificar los valores mínimos requeridos.

2.6 Cargas Ambientales

Las cargas ambientales están determinadas por las condiciones del entorno en el que se encuentra una estructura específica. En el caso de los edificios, estas cargas son generadas por fenómenos como la lluvia, la nieve, el viento, los cambios de temperatura y los sismos. Aunque técnicamente se consideran cargas vivas, su origen está vinculado al entorno donde se emplaza la estructura. Si bien su magnitud puede cambiar con el tiempo, no todas están relacionadas con la gravedad o con las condiciones operativas, como sucede con otras cargas vivas. Existen diversos tipos de cargas ambientales como la nieve, lluvia, viento, y sísmicos. Para este trabajo de investigación se considerará solo la carga sísmica, ya que la estructura que se va a diseñar sirve como un medio de transporte de materiales con una capacidad de 10 toneladas y se requiere que la estructura del carro no se destruya debido el efecto que pueda producir este tipo de carga ambiental.

2.6.1 Análisis Sísmico

2.6.1.1 Requisitos de Diseño

El diseño de los elementos estructurales y sus conexiones debe alinearse con el comportamiento previsto del sistema estructural y las suposiciones empleadas durante el análisis. Siempre que no haya restricciones específicas establecidas por las normativas de construcción aplicables, se puede garantizar la resistencia y estabilidad de la estructura utilizando cualquier combinación adecuada de elementos y conexiones.

2.6.1.2 El Sismo como Acción de Diseño

El sismo se evalúa mediante un espectro de aceleraciones o a través de registros de aceleración conocidos como acelerogramas. Estos registros reflejan cómo varía la aceleración del terreno en función del tiempo y pueden obtenerse tanto de mediciones de sismos reales como de simulaciones generadas artificialmente por programas computacionales diseñados para cumplir ciertos requisitos específicos. La cuantificación de la acción sísmica generalmente considera cuatro aspectos fundamentales:

Sismicidad del lugar: características propias de la región en términos de actividad sísmica.

Condiciones del suelo de fundación: propiedades del terreno donde se asienta la estructura.

Importancia de la construcción: nivel de relevancia de la edificación, como infraestructura pública o edificios de alta ocupación.

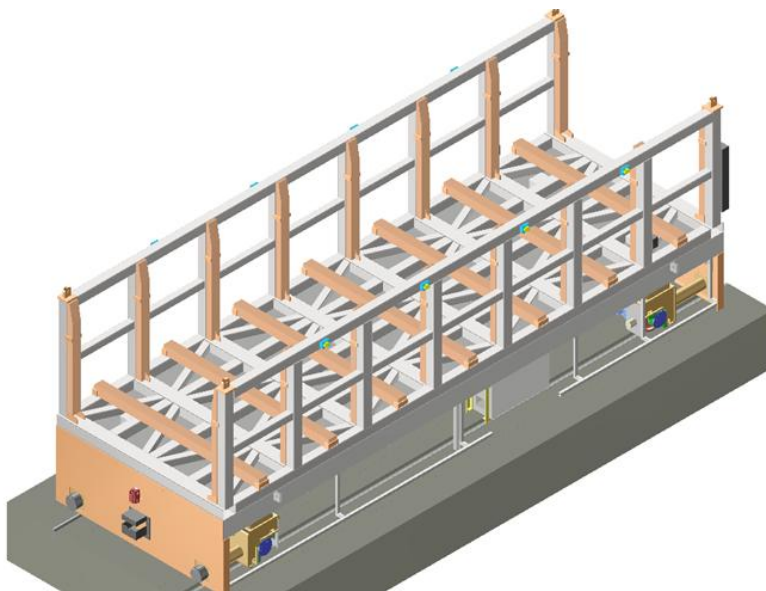
Respuesta estructural: parámetros clave relacionados con la ductilidad y sobre resistencia del sistema estructural.

Usualmente, el diseño sísmico se define a partir de aceleraciones o del coeficiente sísmico en el método de espectros de respuesta. Este enfoque, basado en el uso de fuerzas, se conoce como “métodos de diseño basados en fuerza”. Los dos primeros aspectos mencionados suelen

representarse mediante un espectro de diseño, que describe las aceleraciones horizontales, mientras que la importancia de la construcción se incorpora mediante un factor que incrementa la demanda sísmica para edificaciones críticas. Por último, el comportamiento estructural se modela a través de un factor de modificación de respuesta, R , calibrado con base en estudios experimentales y analíticos realizados en diversos tipos de estructuras. Cabe destacar que los sismos son eventos de baja probabilidad de ocurrencia, pero con potencial para causar grandes pérdidas humanas y materiales.

Figura 5

Vista Tridimensional del Carro de Transferencia



2.7 Diagrama de Cuerpo Libre

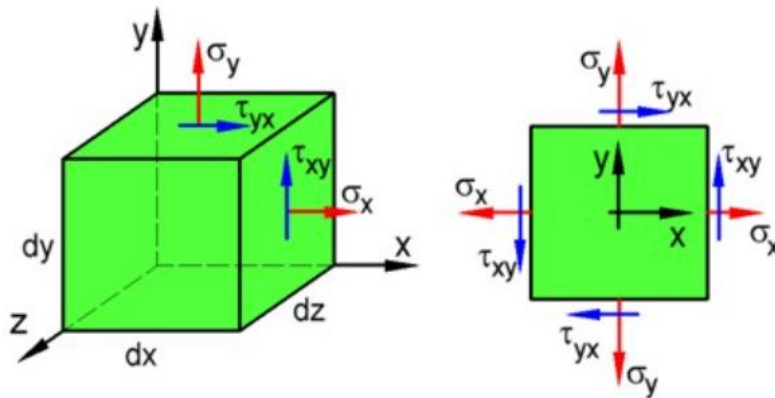
Budynas y Nissbett, (2008), menciona que se trata de un método que divide una estructura en segmentos más pequeños y manejables, lo que permite simplificar el análisis y obtener una visión más clara de lo que ocurre en cada punto crítico. Al comparar y evaluar estos segmentos, se pueden obtener resultados detallados de las fuerzas involucradas, lo que facilita la toma de decisiones para lograr un diseño más eficiente en términos de peso o materiales.

2.8 Esfuerzo

Se refiere a cómo se distribuyen las fuerzas a lo largo de toda el área de la sección transversal de una viga. Las fuerzas que actúan de manera perpendicular a la superficie se denominan esfuerzo normal, mientras que aquellas que actúan de manera tangencial se conocen como esfuerzo cortante tangencial (Budynas y Nisbett, 2008). Cuando el esfuerzo actúa hacia el exterior de la superficie, se denomina esfuerzo de tensión, mientras que, si actúa hacia el interior, se considera esfuerzo de compresión.

Figura 6

Representación de los Esfuerzos Tridimensionales y Bidimensionales



Nota. Adaptado de Diseño de Ingeniería Mecánica de Budynas y Nisbett, 2008 (p.78)

2.9 Flexión

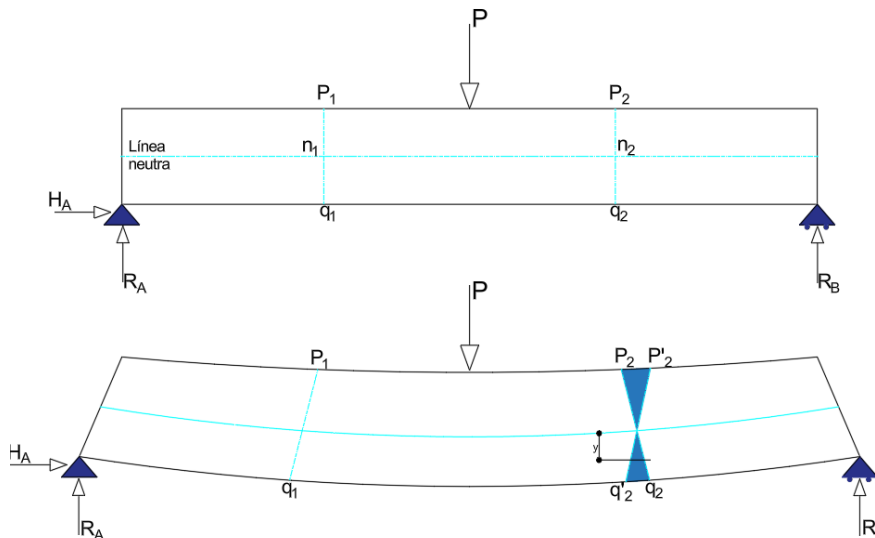
Se conoce como flexión a la combinación de tracción y compresión en distintas fibras de un mismo material dentro de cualquier elemento estructural. La flexión puede considerarse como un mecanismo estructural que permite redirigir cargas verticales en dirección horizontal, o, de manera más general, en dirección perpendicular a las cargas. En la sección del elemento estructural, la sollicitación incluye dos componentes: esfuerzo cortante y momento flector.

Dado que la mayoría de los materiales empleados en elementos estructurales son resistentes a la compresión, es relativamente fácil dirigir las cargas verticales hacia el suelo. Sin embargo, el desafío principal radica en transferir cargas verticales de manera horizontal, para salvar la

distancia entre los apoyos verticales. Por lo tanto, la flexión se convierte en un factor crucial como mecanismo estructural.

Figura 7

Esquema de Comportamiento de una Viga bajo Flexión



Nota. Las fibras superiores, debido al efecto de la carga P , se comprimen, mientras que las fibras inferiores, por debajo de la línea neutra “ n ”, experimentan tracción o se alargan.
Elaboración Propia.

2.10 Torsión

Cuando las cargas aplicadas a un elemento estructural tienden a torcerlo, se está presentando un esfuerzo de torsión. La tendencia al deslizamiento, característica de los esfuerzos cortantes, también se observa en los elementos sometidos a torsión.

2.11 Concentración de Esfuerzos

Se refiere a las zonas donde los esfuerzos (por tensión, compresión, flexión o torsión) se intensifican debido a discontinuidades en alguna parte de la máquina o pieza. El valor del factor de concentración de esfuerzos depende únicamente de la geometría de la parte, sin considerar el tipo de material utilizado. Por esta razón, se le conoce como el factor teórico de

concentración de esfuerzos, en el caso de las cargas dinámicas, la concentración de esfuerzos es elevada tanto en materiales dúctiles como en materiales frágiles (Budynas y Nisbett, 2008).

2.12 Combinación de Carga

2.12.1. Combinación de Carga para el método LRFD

Según McCormac, con el método LRFD, se forman grupos posibles de cargas de servicio, y cada carga de servicio se multiplica por un factor de carga, normalmente mayor de 1.0. La magnitud del factor de carga refleja la incertidumbre de esa carga específica. La combinación lineal resultante de las cargas de servicio en un grupo, cada uno multiplicado por su respectivo factor de carga, se llama carga factorizada. Los mayores valores determinados de esta manera se usan para calcular los momentos, los cortantes y otras fuerzas en la estructura. Estos valores de control no deben ser mayores que las resistencias nominales de los miembros multiplicadas por sus factores ϕ o de reducción. Entonces, los factores de seguridad han sido incorporados en los factores de carga, y podemos decir

$$\phi R_n \geq R_u \quad (1)$$

2.12.2 Cálculo de las Cargas Combinadas con las Expresiones de LRFD

La resistencia requerida de un miembro para el método LRFD se determina a partir de las combinaciones de cargas dadas en el reglamento nacional de edificaciones. Que a su vez los valores establecidos en la norma están relacionadas con el ASCE 7 y en el manual de AISC que proporciona los siguientes factores de carga para edificios, las cuales usaremos en este trabajo:

$$1. \quad U = 1.4D \quad (2)$$

$$2. \quad U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L \text{ o } S \text{ o } R) \quad (3)$$

$$3. \quad U = 1.2D + 1.6(L \text{ o } S \text{ o } R) + (L^* \text{ o } 0.5W) \quad (4)$$

$$4. \quad U = 1.2D + 1.0W + L^* + 0.5(L \text{ o } S \text{ o } R) \quad (5)$$

$$5. \quad U = 1.2D + 1.0E + L^* + 0.2S \quad (6)$$

$$6. \quad U = 0.9D + 1.0W \quad (7)$$

$$7. \quad U = 0.9D + 1.0E \quad (8)$$

L^* en las combinaciones 3,4,5 debe tomarse como 1.0 para pisos en los lugares de reuniones públicas, para cargas vivas que sobrepasen a 100 lb/pie² y para la carga viva de los garajes de estacionamiento. Se permite que el factor de carga sea igual a 0.5 para otras cargas vivas.

2.12.3 Resistencia Nominal de los Miembros a Tensión

Un elemento de acero dúctil, sin perforaciones y sometido a una carga de tensión, es capaz de soportar una carga superior al producto del área de su sección transversal por el esfuerzo de fluencia del material, debido al fenómeno de endurecimiento por deformación. No obstante, cuando dicho elemento se somete a cargas que alcanzan el endurecimiento, experimenta un alargamiento significativo antes de fracturarse. Este comportamiento puede reducir considerablemente su funcionalidad y, además, podría provocar la falla del sistema estructural al que pertenece.

La resistencia nominal de un miembro a tensión, P_n , será la más pequeña de los valores obtenidos sustituyendo en las dos expresiones siguientes:

Para el estado límite de fluencia en la sección bruta (con la idea de prevenir un alargamiento excesivo del miembro).

$$P_n = F_y A_g \quad (9)$$

$$\phi_t P_n = \phi_t F_y A_g \quad (10)$$

Dónde: $\phi_t = 0.9$

Para fractura por tensión en la sección neta en la que se encuentra agujero de tornillos o remaches,

$$P_n = F_u A_e \quad (11)$$

$$\phi_t P_n = \phi_t F_u A_e \quad (12)$$

Dónde: $\phi_t = 0.75$

Para miembros soldados, las pruebas han demostrado que cuando las placas o barras planas conectadas por soldaduras de filete longitudinales se usan como miembros en tensión, ellas pueden fallar prematuramente por retraso del cortante en las esquinas si las soldaduras están muy separadas entre sí. Por tanto, la especificación del AISC establece que cuando se encuentre tales situaciones de las soldaduras no debe ser menores que el ancho de las placas o barras.

Cuando $l \geq 2w$; $U = 1.0$

Cuando $2w > l \geq 1.5w$; $U = 0.87$

Cuando $1.5w > l \geq w$; $U = 0.75$

Dónde:

l = longitud de la soldadura, plg

w = ancho de la placa (distancia entre soldaduras), plg

Para combinaciones de soldaduras longitudinales y transversales, l debe tomarse igual a la longitud de la soldadura longitudinal, porque la soldadura transversal tiene poco o ningún efecto sobre el retraso del cortante (es decir, hace poco por llevar la carga a partes no conectadas del miembro).

2.13 Software de Diseño

Para el caso específico se usó software de análisis estructural SAP 2000 que integra métodos matriciales y análisis por elementos finitos con una sofisticada interfaz de usuario intuitiva.

Desde el objeto 3D modelado se puede someter a la estructura a una gran variedad de análisis. Funciones integradas de diseño de código o diseño por normas, pueden generar automáticamente cargas de viento, sismo, entre otros. Avanzadas técnicas de análisis

permiten el análisis paso a paso, de grandes deformaciones, métodos de Eigen y Ritz vectores basados en la rigidez de los casos no lineal, el análisis de pandeo, el análisis de materiales no lineales, con bisagras de fibra, de varias capas elemento shell no lineal, el análisis de pandeo, el análisis de colapso progresivo, los métodos de energía para el control de la deriva, amortiguadores dependiente de la velocidad, la base de los aisladores, la plasticidad de apoyo y el análisis no lineal de construcción segmentaria. Los análisis no lineales pueden ser estáticos o de historia vs tiempo, con opciones para el análisis no lineal FNA tiempo dinámica y la integración directa.

2.14 Modelamiento Estructural

El modelamiento estructural consiste en la representación del comportamiento físico de la estructura en el software de análisis estructural. Con los conocimientos y experiencias previas sobre el montaje real de estructura se trata de aproximar lo más certeramente posible todos y cada una de las características físicas del modelo proyectado al modelo de cálculo estructural.

Se basa en un modelo lineal de elementos llamados “Frames” que poseen las características de resistencia mecánica para los cuales fueron previamente asignados; distinguiéndose claramente elementos de tipo viga, columna, cobertura, etc.

El análisis estructural es una rama de las ciencias físicas que tiene que ver con el comportamiento de las estructuras bajo determinadas condiciones de diseño. Las estructuras se definen como los sistemas que soportan cargas, y la palabra comportamiento se entiende como la tendencia a deformarse, vibrar, pandearse o fluir dependiendo de las condiciones a las que estén sometidas. Los resultados del análisis se usan entonces para determinar las características de las estructuras deformadas y verificar si son adecuadas para soportar las cargas para las cuales se han diseñado. El análisis de estructuras tiene como esencia la determinación del estado de deformación y los esfuerzos en la estructura.

El colapso parcial, que corresponde al de alguno, o algunos, de los elementos que componen el Carro, no suele llevar necesariamente a la ruina de la estructura completa, ya que en las estructuras hiperestáticas existen muchas formas posibles para la transmisión de las cargas hasta la cimentación, y en las isostáticas las barras son casi independientes unas de otras.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

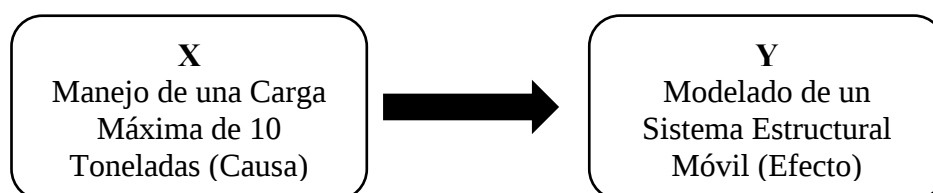
3.1 Metodología de la Investigación

3.1.1 Tipo de Estudio

Para el desarrollo de este trabajo de investigación titulado “Diseño y Modelado de un Sistema Estructural Móvil para Transportar Componentes Metálicos de Carga Máxima de 10 Toneladas”, se utilizará el método descriptivo y analítico ya que se recolectarán los datos necesarios para explicar cómo están interrelacionadas las variables y proporcionar un mayor entendimiento sobre el mismo. Aunque Tamayo (1987), menciona que el método descriptivo y analítico sirve para probar hipótesis específicas y poner a prueba explicaciones (p.44).

3.1.2 Diseño de la Investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo no experimental: transeccional correlacional – causal, ya que se emplean conocimientos teóricos y convertirlos en conocimientos prácticos para resolver un problema real, transformando dichos conocimientos en tecnología e invenciones. Por esta razón se recolectarán datos, se describirá y analizará que relación existe entre las variables en un determinado punto.



Se muestra la variable independiente X y su relación causa – efecto con la variable con la variable dependiente Y, es decir, expresada mediante la relación X Y

3.1.3 Procedimiento para la Investigación

Para realizar este trabajo de investigación y lograr los objetivos planteados se realizará el siguiente procedimiento.

1. Selección de información relevante y puntual sobre el diseño de carritos de transferencias existentes y cumplir con los requisitos mínimos para la obtención del diseño final.
2. Análisis y cálculos de elementos estructurales y puntos críticos del diseño mediante el método LRFD.
3. Análisis y cálculos de puntos críticos sometidos a fatiga mediante el uso de software de simulación.
4. Discutir y comparar los cálculos obtenidos usando el método LRFD y el software de simulación.
5. Redacción del informe de investigación.

3.1.4 Operacionalización de Variables

Figura 8

Análisis de la variable independiente

1. VARIABLE	2. TIPO DE VARIABLE	3. OPERACIONALIZACIÓN	4. CATEGORIZACIÓN O DIMENSIONES	5. DEFINICION
Carga máxima de 10 toneladas.	Independiente	Se diseña la estructura móvil para poder transportar una carga máxima de 10 toneladas teniendo en cuenta los parámetros de funcionamiento del sistema móvil.	Manejo de cargas	Según el INSST (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo), define la manipulación de cargas como toda acción llevada a cabo por uno o varios trabajadores que implique el transporte o sujeción de una carga.
6. INDICADOR	7. NIVEL DE MEDICIÓN	8. UNIDAD DE MEDIDA	9. ÍNDICE	10. VALOR
Peso		- Kilogramos	-Kg.	
Altura	De razón o	- Milímetros.	- mm.	Alto nivel de importancia.
Traslado	proporción.	- Milímetros.	- mm.	

Nota. Elaboración Propia

Figura 9*Análisis de Variable Dependiente*

11. VARIABLE	12. TIPO DE VARIABLE	13. OPERACIONALIZACIÓN	14. CATEGORIZACIÓN O DIMENSIONES	15. DEFINICIÓN
Modelado de un sistema estructural móvil.	Dependiente	El modelado 3D implica el uso de software para crear una representación matemática de un objeto o forma en tres dimensiones. Esta representación, conocida como modelo 3D, se utiliza en diversas industrias.	- Sistema Estructural Móvil	- Tipo de estructura que independientemente de su fabricación pueden desplazarse de un lugar a otro sin afectar su integridad estructural.
16. INDICADOR	17. NIVEL DE MEDICIÓN	18. UNIDAD DE MEDIDA	19. ÍNDICE	20. VALOR
- Indicador de estimación	De razón o proporción.	- N/m ² - m/s ² - mm - mm	- Esfuerzos - Centro de masa y gravedad - Desplazamiento - Factor de seguridad Energía de deformación unitaria	Alto nivel de importancia.

Nota. Elaboración Propia

3.2 Métodos

Este trabajo de investigación recolectará información basada en las necesidades requeridas del cliente y se hará el modelamiento para un diseño óptimo que podrá ser capaz de transportar una carga máxima de 10 toneladas.

3.3 Técnica

Se revisará la literatura correspondiente a través del análisis de información procedentes de los cálculos estructurales realizados y los resultados de las simulaciones en el software utilizado.

3.4 Medios y Materiales

- Libros.
- Tesis.
- Páginas web.
- Pappers.
- Laptop HP PAVILION CORE i5.

- Dispositivo de almacenamiento (U.S.B.).
- Software Autodesk Inventor Professional.
- Software SAP 2000
- Microsoft Word.
- Microsoft Excel.
- Acero Estructural ASTM A-36

IV.CÁLCULOS

4.1 Asignación de Cargas

El modelo estructural ha recibido las solicitudes de carga del sistema además de las impuestas por el Reglamento Nacional de Edificaciones

Tabla 1

Consideraciones para el Cálculo Estructural del Carro de Transferencia

Descripción	Carga
Escaleras, corredores y descansos	400 kgf/m ²
Peso propio Acero	7850 kgf/m ³
Cargas de viento	100 km/h
Barandas para plataformas fijas, pasillos, escaleras y parapetos	60 kgf/m ²

Nota. Elaboración Propia

4.2 Dimensiones Requeridas para la Plataforma

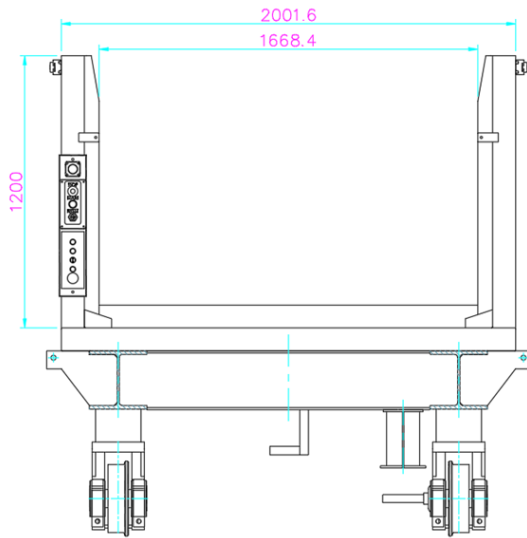
Para el diseño del carrito de transferencia se tomará como medidas referenciales las medidas estándar de una plataforma de vagón de transferencia que se usa para el transporte de componentes mecánicos y/o estructuras. La plataforma de nuestro trabajo de investigación es de 2 m de ancho por 6m de largo tal como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Medidas del Carrito de Transferencia

Medidas de Carrito de Transferencia	
Descripción	Medidas
Longitud	6 m
Ancho	2 m
Altura	1.2 m
Carga nominal	10 ton

Nota. Elaboración propia

Figura 10*Dimensionamiento del Ancho de la Plataforma***Nota.** Elaboración Propia

4.3 Cargas Vivas

El modelo estructural ha recibido las solicitudes de carga del sistema además de las impuestas por el Reglamento Nacional de Edificaciones según el artículo 7 de la Norma E-020 de cargas. Se considera una carga viva de impacto de 5ton distribuidas en el área de la plataforma del carro de transferencia de 600kg/m².

Se realizó el cálculo del bastidor transversal que está conformado por perfiles W, se tiene lo siguientes datos:

Tabla 3*Consideraciones para el Cálculo del Bastidor Transversal – Perfil W***DISEÑO POR FLEXION DE PERFILES W**

Longitud de la viga	L	0.95	m
Longitud arriostrada	Lb	0.95	m
Fluencia del acero	Fy	2530	kgf/cm2
Módulo de elasticidad	E	2100000	kgf/cm2
Momento de Inercia	Mu	1.03	tonf-m
Cortante ultimo	Vu	2.74	tonf
Altura libre de la sección	d	259.1	mm
Ancho del ala	bf	254	mm
Espesor del ala	tf	15.6	mm
Espesor del alma	tw	9.4	mm
Radio de curvatura	r	12.7	mm
Área gruesa	A	102.06	cm2
Modulo elástico	Sx	992.77	cm3
Modulo plástico	Zx	1102.28	cm3
Inercia x	Ix	12861.28	cm4
Inercia y	Iy	4280.43	cm4
Constante torsional	J	75.90	cm4

Nota. Elaboración Propia

Se determinó el factor de corrección para considerar el mayor momento flector variable de acuerdo con la siguiente relación:

$$C_b = \frac{12.5M_{m\acute{a}x}}{2.5M_{m\acute{a}x} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 3.0 \quad (13)$$

Dónde:

$$M_{m\acute{a}x.} = 1.03 \text{ Ton-m}$$

$$M_A = 0.53 \text{ Ton-m}$$

$$M_B = 0.27 \text{ Ton-m}$$

$$C_b = 1.64$$

Cálculo de longitud características

$$L_p = 1.76r_y * \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (14)$$

$$L_p = 1.76 * 6.48 * \sqrt{\frac{2100000}{2530}}$$

$$L_p = 3.28 \text{ m}$$

$$r_{ts} = \frac{\sqrt{l_y * h_0}}{2S_x}$$

$$r_{ts} = \frac{\sqrt{4280.43 * 243.50}}{2 * 992.77}$$

$$r_{ts} = 7.25 \text{ cm}$$

Determinamos la longitud característica

$$L_r := 1.95 r_{ts} \cdot \frac{E}{0.7 \cdot F_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o}} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(0.70 \cdot \frac{F_y}{E}\right)^2} \quad (15)$$

$$L_r = 13.99 \text{ m}$$

Momento plástico

$$M_p = Z_x * F_y \quad (16)$$

$$M_p = 1102.28 * 2530$$

$$M_p = 27.89 \text{ Tonf/m}$$

Momento resistente correspondiente a límite del comportamiento del pandeo lateral torsional inelástico

$$M_r = 0.7 * S_x * F_y \quad (17)$$

$$M_r = 0.7 * 992.77 * 2530$$

$$M_r = 17.58 \text{ Tonf/m}$$

Determinamos la carga crítica en la siguiente ecuación:

$$F_{cr} = C_b * \pi^2 \frac{E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} * \sqrt{1 + 0.078 \frac{J * c}{S_x * h_o} * \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \quad (18)$$

Reemplazando los datos tenemos que la $F_{cr} = 1.05 \cdot 10^6$

Dado que $L_b \leq L_p$, se determina la resistencia nominal a flexión de la sección:

$$M_n = A_s * f_y * \left(d - \frac{A_s}{2} \right) \quad (19)$$

$$M_n = 27877 \text{ kgf} - \text{m}$$

Relación demanda capacidad: $M_u / \phi M_n = 0.04 \dots \text{ok}$

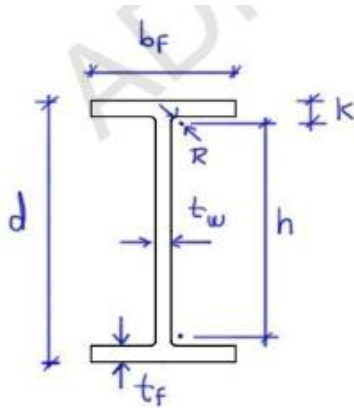
Diseño por corte de perfiles W

Esfuerzo cortante último: $V_u = 2.74 \text{ Tonf}$

Área del alma de la viga

Figura 11

Consideraciones en las dimensiones de la sección W10x22



$$A_w = d * t_w$$

$$A_w = 24.36 \text{ cm}^2$$

Factor de esbeltez: λ

$$\lambda_{alma} = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda_{alma} = 21.54$$

Determinamos la resistencia nominal al corte

$$V_t = 0.6 * C_v * A_w * F_y \quad (20)$$

$$V_t = 0.6 * 1 * 24.36 * 1.05 * 10^6$$

$$V_t = 3697 \text{ kgf}$$

Relación demanda capacidad:

$$\frac{V_u}{\phi V_t} = 0.07 \dots OK$$

Para el diseño por flexión de la estructura de perfil de tubo cuadrado HSS – 3 se tiene

los siguientes datos en la tabla 4.

Tabla 4

Consideraciones para el Cálculo del Perfil Tubo Cuadrado HSS-3

Longitud de la viga	L	3.7	m
Compresión ultima	Pu	0.381	tonf
Momento ultimo	Mu	0.024	tonf-m
Resistencia a la fluencia	Fy	3234	kgf/cm2
Módulo de elasticidad	E	2100000	kgf/cm2
Altura	H	76.20	mm
Base	B	76.20	mm
Espesor	t	4.76	mm
Radio de esquina	R	0.00	mm
Área de la sección	A	13.41	cm2
Modulo elástico	Sx	7.45	cm3
Modulo plástico	Zx	35.79	cm3
Inercia alrededor del eje x-x	Ix	113.59	cm4
Inercia alrededor del eje y-y	Iy	113.59	cm4
Radio de giro x-x	rx	2.91	cm
Radio de giro y-y	ry	2.91	cm
Altura interior		66.675	mm
Base interior		66.675	mm

Nota. Elaboración Propia

De acuerdo con los valores establecidos, determinamos el factor de esbeltez:

$$\lambda_{ala} = \frac{b}{t} ; \lambda_{alma} = \frac{h}{t} \quad (21)$$

$$\lambda_{ala} = 14 ; \lambda_{alma} = 14$$

$$\lambda_{p_{ala}} = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} ; \lambda_{p_{alma}} = 2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{p_ala} = 28.54 ; \lambda_{p_alma} = 61.67$$

$$\lambda_{r_ala} = 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} ; \lambda_{r_alma} = 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{r_ala} = 35.68 ; \lambda_{r_alma} = 145.25$$

Determinamos el momento plástico

$$M_p = Z_x * F_y$$

$$M_p = 1160 \text{ kgf} - m$$

Tenemos que: $\lambda_{ala} < \lambda_{p_ala} \wedge \lambda_{alma} < \lambda_{p_alma}$

$$M_{n1} = M_p = 1160 \text{ kgf} - m$$

Si $\lambda_{p_ala} \leq \lambda_{ala} < \lambda_{r_ala}$

$$M_{n2} = \min \left(M_p ; M_p - (M_p - F_y * S_x \left(3.57 \frac{b}{t} * \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4.0 \right) \right) \right) \quad (22)$$

Reemplazando los valores se tiene que:

$$M_{n2} = 1160 \text{ kgf} - m$$

Si $\lambda_{p_ala} \geq \lambda_{r_ala}$

$$M_{n3} = \min(M_p ; F_y * S_e)$$

Reemplazando los valores se tiene que:

$$M_{n3} = 100 \text{ kgf} - m$$

Si $\lambda_{p_alma} \geq \lambda_{alma}$

$$M_{n4} = \min \left(M_p ; M_p - (M_p - F_y * S_x \left(0.305 \frac{h}{t} * \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0.378 \right) \right) \right)$$

Reemplazando los valores se tiene que:

$$M_{n4} = 1160 \text{ kgf} - m$$

Por lo tanto, se tiene que la resistencia nominal a la flexión:

$$M_n = 115744.01 \text{ kgf} - \text{cm}$$

$$M_n = 1160 \text{ kgf} - \text{m}$$

Habiendo determinado la resistencia nominal a la flexión, se calculó la resistencia minorada a la flexión:

$$\phi M_n = 0.9 * 1160 = 1004 \text{ kgf} - \text{m}$$

Verificamos la relación mediante la siguiente relación

$$\frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{24 \text{ kgf} - \text{m}}{1004 \text{ kgf} - \text{m}} = \mathbf{0.02 \dots OK}$$

Diseño en compresión

Factor de longitud efectiva	K_x	1
Factor de longitud efectiva	K_y	1

Esbeltez de la columna en X

$$\begin{aligned}
 &= \frac{K_x * L_x}{R_x} \\
 &= \frac{1 * 0.95 * 100}{2.91} \\
 &= 32.65
 \end{aligned}$$

Esbeltez de la columna en Y

$$\begin{aligned}
 &= \frac{K_y * L_y}{R_y} \\
 &= \frac{1 * 0.95 * 100}{2.91} \\
 k_{\text{máx.}} &= 32.65
 \end{aligned}$$

De ambas ecuaciones, tenemos que la esbeltez máxima de la columna es $k=32.65$

Determinamos el límite de esbeltez mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda = 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda = 4.71 \sqrt{\frac{2100000}{3234}}$$

$$\lambda = 120.02 \dots \text{Pandeo Inelástico}$$

Determinamos el factor de pandeo

$$\lambda_c = \frac{E_{máx.}}{\pi} * \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (23)$$

$$\lambda_c = \frac{32.65}{\pi} * \sqrt{\frac{3234}{2100000}}$$

$$\lambda_c = 0.41$$

Habiendo calculado el factor de pandeo, se determinó la tensión crítica de pandeo mediante la siguiente relación:

$$F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} * F_y; \frac{0.877}{\lambda_c^2} * F_y \quad (24)$$

$$F_{cr} = 3016.56 \frac{kgf}{cm^2}$$

Determinamos la resistencia a la compresión

$$P_n = A_c * F_{cr} \quad (25)$$

$$P_n = \frac{3016.56 * 13.41}{1000}$$

$$P_n = 4046 \text{ kgf.}$$

Resistencia nominal minorada a compresión:

$$\phi P_n = 4046 * 0.9 \text{ kgf}$$

$$\phi P_n = 3642 \text{ kgf}$$

Verificamos si los cálculos realizados están de acuerdo mediante la siguiente relación:

$$\frac{\text{Demanda}}{\text{Capacidad}} = \frac{D}{C} = \frac{P_u}{2\phi P_n} + \frac{M_u}{\phi M_n}$$

Reemplazamos los valores calculados

$$\frac{\text{Demanda}}{\text{Capacidad}} = 0.03 \dots ok$$

Para el diseño por flexión de la estructura de perfil de tubo cuadrado HSS – 2 se tiene los siguientes datos en la tabla 5.

Tabla 5

Consideraciones para el Cálculo del Perfil Tubo Cuadrado HSS-2

Longitud de la viga	L	0.4125	m
Momento ultimo	Mu	0.064	tonf-m
Cortante ultimo	Vu	0.325	tonf
Resistencia a la fluencia	Fy	3234	kgf/cm2
Módulo de elasticidad	E	2100000	kgf/cm2
Altura	H	101.60	mm
Base	B	101.60	mm
Espesor	t	4.76	mm
Radio de esquina	R	0.00	mm
Área de la sección	A	18.25	cm2
Modulo elástico	Sx	13.99	cm3
Modulo plástico	Zx	66.08	cm3
Inercia alrededor del eje x-x	Ix	284.20	cm4
Altura interior	$h=H-2.(t+R)$	92.075	mm
Base interior	$b=B-2.(t+R)$	92.075	mm

Nota. Elaboración Propia

De acuerdo con los valores establecidos, determinamos el factor de esbeltez:

$$\lambda_{ala} = \frac{b}{t} ; \lambda_{alma} = \frac{h}{t}$$

$$\lambda_{ala} = 19.33 ; \lambda_{alma} = 19.33$$

$$\lambda_{p_ala} = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} ; \lambda_{p_alma} = 2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{p_ala} = 28.54 ; \lambda_{p_alma} = 61.67$$

$$\lambda_{r_ala} = 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} ; \lambda_{r_alma} = 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{r_ala} = 35.68 ; \lambda_{r_alma} = 145.25$$

Determinamos el momento plástico

$$M_p = Z_x * F_y$$

$$M_p = 2140 \text{ kgf} - m$$

Tenemos que: $\lambda_{ala} < \lambda_{p_ala} \wedge \lambda_{alma} < \lambda_{p_alma}$

$$M_{n1} = M_p = 2140 \text{ kgf} - m$$

Si $\lambda_{p_ala} \leq \lambda_{ala} < \lambda_{r_ala}$

$$M_{n2} = \min \left(M_p; M_p - (M_p - F_y * S_x \left(3.57 \frac{b}{t} * \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4.0 \right)) \right)$$

Reemplazando los valores se tiene que:

$$M_{n2} = 2140 \text{ kgf} - m$$

Si $\lambda_{p_ala} \geq \lambda_{r_ala}$

$$M_{n3} = \min(M_p; F_y * S_e)$$

Reemplazando los valores se tiene que:

$$M_{n3} = 180 \text{ kgf} - m$$

Si $\lambda_{p_alma} \geq \lambda_{alma}$

$$M_{n4} = \min \left(M_p; M_p - (M_p - F_y * S_x \left(0.305 \frac{h}{t} * \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0.378 \right)) \right)$$

Reemplazando los valores se tiene que:

$$M_{n4} = 2140 \text{ kgf} - m$$

Por lo tanto, se tiene que la resistencia nominal a la flexión:

$$M_n = 213690.36 \text{ kg} - cm$$

$$M_n = 2136 \text{ kgf} - m$$

Habiendo determinado la resistencia nominal a la flexión, se calculó la resistencia minorada a la flexión:

$$\phi M_n = 0.9 * 2140 = 1920 \text{ kgf} - m$$

Verificamos la relación mediante la siguiente relación

$$\frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{64 \text{ kgf} - m}{1920 \text{ kgf} - m} = \mathbf{0.03 \dots OK}$$

Diseño de corte de perfiles HSS

Área del alma de la viga

$$A_w = 2h * t$$

$$A_w = 8.77 \text{ cm}^2$$

$$K_V = 5$$

$$\lambda_{alma} = \frac{h}{t} = 19.33$$

$$C_V = 1.0$$

Factor de reducción por corte $\phi = 0.90$

Cortante nominal de la sección $V_n = 17017.59 \text{ kg}$

Resistencia minorada $\phi V_n = 15315.83 \text{ kg} = \mathbf{15.32 \text{ Ton}}$

Demanda/capacidad $V_u / \phi V_t = \mathbf{0.02}$

Para el diseño por flexión de la estructura de perfil de tubo cuadrado HSS – 1 se tiene

los siguientes datos en la tabla 6.

Tabla 6*Consideraciones para el Cálculo del Perfil Tubo Cuadrado HSS-1*

Longitud de la viga	L	1.9	m
Momento ultimo	Mu	0.493	ton-m
Cortante ultimo	Vu	1.422	ton
Resistencia a la fluencia	Fy	3234	kg/cm2
Módulo de elasticidad	E	2100000	kg/cm2
Altura	H	101.60	mm
Base	B	152.4	mm
Espesor	t	6.35	mm
Radio de esquina	R	0.00	mm
Área de la sección	A	30.30	cm2
Modulo elástico	Sx	24.88	cm3
Modulo plástico	Zx	115.56	cm3
Inercia alrededor del eje x-x	Ix	505.56	cm4
Altura interior	$h=H-2.(t+R)$	88.9	mm
Base interior	$b=B-2.(t+R)$	139.7	mm

Nota. Elaboración Propia

De acuerdo con los valores establecidos, determinamos el factor de esbeltez:

$$\lambda_{ala} = \frac{b}{t} ; \lambda_{alma} = \frac{h}{t}$$

$$\lambda_{ala} = 22 ; \lambda_{alma} = 14$$

$$\lambda_{p_ala} = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} ; \lambda_{p_alma} = 2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{p_ala} = 28.54 ; \lambda_{p_alma} = 61.67$$

$$\lambda_{r_ala} = 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} ; \lambda_{r_alma} = 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda_{r_ala} = 35.68 ; \lambda_{r_alma} = 145.25$$

Determinamos el momento plástico

$$M_p = Z_x * F_y$$

$$M_p = 3740 \text{ kgf} - \text{m}$$

Tenemos que: $\lambda_{ala} < \lambda_{p_ala} \wedge \lambda_{alma} < \lambda_{p_alma}$

$$M_{n1} = M_p = 3740 \text{ kgf} - \text{m}$$

Si $\lambda_{p_ala} \leq \lambda_{ala} < \lambda_{r_ala}$

$$M_{n2} = \min \left(M_P; M_P - (M_P - F_y * S_x \left(3.57 \frac{b}{t} * \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4.0 \right)) \right)$$

Reemplazando los valores se tiene que:

$$M_{n2} = 3740 \text{ kgf} - m$$

Si $\lambda_{p_ala} \geq \lambda_{r_ala}$

$$M_{n3} = \min(M_P; F_y * S_e)$$

Reemplazando los valores se tiene que:

$$M_{n3} = 320 \text{ kgf} - m$$

Si $\lambda_{p_alma} \geq \lambda_{alma}$

$$M_{n4} = \min \left(M_P; M_P - (M_P - F_y * S_x \left(0.305 \frac{h}{t} * \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0.378 \right)) \right)$$

Reemplazando los valores se tiene que:

$$M_{n4} = 3740 \text{ kgf} - m$$

Por lo tanto, se tiene que la resistencia nominal a la flexión:

$$M_n = 373723.22 \text{ kg} - cm$$

$$M_n = 3740 \text{ kgf} - m$$

Habiendo determinado la resistencia nominal a la flexión, se calculó la resistencia minorada a la flexión:

$$\phi M_n = 0.9 * 3740 = 3360 \text{ kgf} - m$$

Verificamos la relación mediante la siguiente relación

$$\frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{0.493 \text{ Ton} - m}{3.36 \text{ Ton} - m} = \mathbf{0.15 \dots OK}$$

Diseño de corte de perfiles HSS

Área del alma de la viga

$$A_w = 2h * t$$

$$A_w = 11.29 \text{ cm}^2$$

$$K_V = 5$$

$$\lambda_{alma} = \frac{h}{t} = 14$$

$$C_V = 1.0$$

Factor de reducción por corte $\phi = 0.90$

Cortante nominal de la sección $V_n = 21907.7 \text{ kgf}$

Resistencia minorada $\phi V_n = 19716.93 \text{ kgf} = \mathbf{19.72 \text{ Tonf}}$

Demanda/capacidad $V_u/\phi V_t = \mathbf{0.07}$

Cálculo de la potencia de accionamiento

Para el cálculo de la potencia de los motores de accionamiento se deberá tener en cuenta los siguientes criterios y consideraciones:

- La velocidad máxima del carro será de 20m/min

El peso total a mover será el peso de la carga de 10.5 Tonf y el peso de la estructura de 3Ton obtenido del programa SAP según cuadro adjunto, total 13.5 ton.

Tabla 7

Peso de los Perfiles que Conforman la Estructura del Carro de Transferencia

Perfil	Nº piezas (und)	Longitud total (m)	Peso Total (kgf)
W10x22	20	15	492.97
W10x54	17	12	960.11
Viga 10"x1.5"x4.5mm	3	18	344.59
Tubo 6"x4"x4.5mm	17	21	357.52
Tubo 3"x3"x3mm	24	21	134.55
Tubo 4"x4"x3mm	58	43	394.69
Plancha estriada			310.82
Peso total			2995.25

Nota. Elaboración Propia.

- El factor de servicio para la potencia del Motorreductor será de 1.15

- La velocidad de salida del Motorreductor será calculada según el diámetro de las ruedas del carro de 300 mm.

Para la potencia del Motorreductor se usará la siguiente relación:

$$\begin{aligned}
 P &= F_r * V * F_s & (26) \\
 F_r &= \mu * P_t \\
 F_r &= 0.15 * 13500 \\
 F_r &= 2205 \text{ kgf} \\
 P &= 2205 \text{ kgf} * \frac{0.333 \text{ m}}{\text{s}} * 1.15 \\
 P &= 844.404 \text{ kgf} - \text{m/s} \\
 P &= 10.9 \text{ HP} = 8.2 \text{ KW}
 \end{aligned}$$

Se usarán 02 motores de 4KW.

La velocidad de salida del Motorreductor se obtiene con la siguiente relación:

$$N_r = \frac{60 * V(\frac{m}{s})}{\pi * D(m)}$$

Reemplazando valores en la ecuación, se obtiene que:

$$N_r = 21.2 \text{ rpm}$$

V.RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Resultados

5.1.1 Parámetros de entrada de diseño para el análisis estructural del sistema móvil.

Tabla 8

Parámetros Técnicos para la Elaboración del Análisis Estructural

Descripción	Valor
Material a cargar: Tubos o bobinas	2 Ton.
Capacidad de carga	10 Ton.
Velocidad a plena carga	20m/min
Carga viva de impacto	5 Tonf.
Carga distribuida	600 kg/m ²
No se consideran las cargas de viento	

Nota. Elaboración Propia

5.1.2 Cálculo estructural mediante el método LRFD

Se muestra los resultados para el cálculo de la viga W10x22 que viene a ser la plataforma principal donde asienta la cama estructural de perfiles de tubos cuadrados.

Tabla 9

Resultados para el Cálculo de la Viga W10x22

Para la viga W10x22	
Factor de corrección Cb	1.64
Longitud característica Lr	13.99 m
Momento Plástico Mp	27.89 Tonf/m
Momento resistente Mr	17.58 Tonf/m
Carga crítica Fcr	1.05*10/6
Resistencia nominal a flexión Mn	27877 kgf-m
Resistencia ultima cortante Vu	2.74 Tonf
Resistencia nominal al corte Vt	36.97 tonfS
Relación demanda capacidad	0.07

Nota. Elaboración Propia

Tabla 10*Resultados para el Cálculo del Tubo Cuadrado HSS-3***Para el perfil de tubo cuadrado HSS-3**

Momento Plástico M_p	1.16 Tonf-m
Momento último M_u	0.024 Tonf-m
Resistencia nominal a flexión M_{n1}	1.16 Tonf-m
Resistencia nominal a flexión M_{n2}	1.16 Tonf-m
Resistencia nominal a flexión M_{n3}	0.1 Tonf-m
Resistencia nominal a flexión M_{n4}	1.16 Tonf-m
Resistencia nominal a flexión M_n	1.16 Tonf-m
Resistencia minorada a la flexión ϕM_n	1.04 Tonf-m
Relación demanda capacidad	0.02
Esbeltez máxima del perfil $k_{máx.}$	32.65
Límite de esbeltez λ	120.02
Factor de pandeo λ_c	0.41
Tensión crítica F_{cr}	3016.56 kg/cm ²
Resistencia a la compresión P_n	40.46 ton.
Resistencia minorada ϕP_n	36.42 ton.
Relación demanda capacidad	0.03

Nota. Elaboración Propia**Tabla 11***Resultados para el Cálculo del Tubo Cuadrado HSS-2***Para el perfil de tubo cuadrado HSS-2**

Momento Plástico M_p	2.14 Tonf-m
Momento último M_u	0.064 Tonf-m
Resistencia nominal a flexión M_{n1}	2.14 Tonf-m
Resistencia nominal a flexión M_{n2}	2.14 Tonf-m
Resistencia nominal a flexión M_{n3}	0.18 Tonf-m
Resistencia nominal a flexión M_{n4}	2.14 Tonf-m
Resistencia nominal a flexión M_n	2.14 Tonf-m
Resistencia minorada a la flexión ϕM_n	1.92 Tonf-m
Relación demanda capacidad	0.03
Cortante nominal de la sección V_n	17017.59 kgf
Resistencia minorada ϕV_n	15.32 Tonf
Demanda/Capacidad $V_u/\phi V_t$	0.02

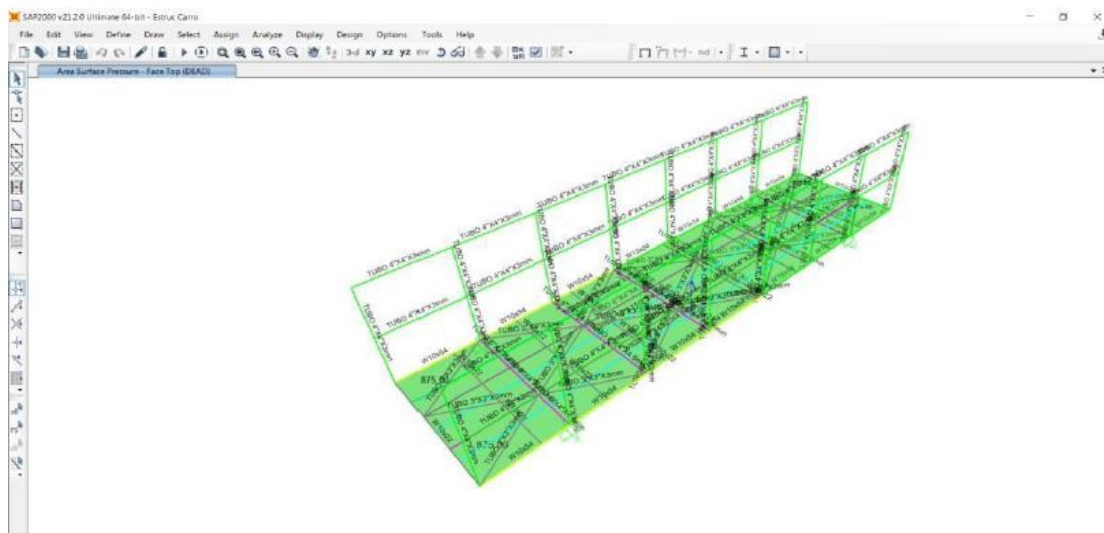
Nota. Elaboración Propia

Tabla 12*Resultados para el Cálculo del Tubo Cuadrado HSS-1***Para el perfil de tubo cuadrado HSS-1**

Momento Plástico M_p	3.74 Tonf-m
Momento último M_u	0.493 Tonf-m
Resistencia nominal a flexión M_{n1}	3.74 Tonf-m
Resistencia nominal a flexión M_{n2}	3.74 Tonf-m
Resistencia nominal a flexión M_{n3}	0.32 Tonf-m
Resistencia nominal a flexión M_{n4}	3.74 Tonf-m
Resistencia nominal a flexión M_n	3.74 Tonf-m
Resistencia minorada a la flexión ϕM_n	3.36 Tonf-m
Relación demanda capacidad	0.15
Cortante nominal de la sección V_n	17017.59 kgf
Resistencia minorada ϕV_n	15.32 Tonf
Demanda/Capacidad $V_u/\phi V_t$	0.07

Nota. Elaboración Propia**5.1.3 Modelamiento del Sistema Estructural mediante el Software SAP 2000**

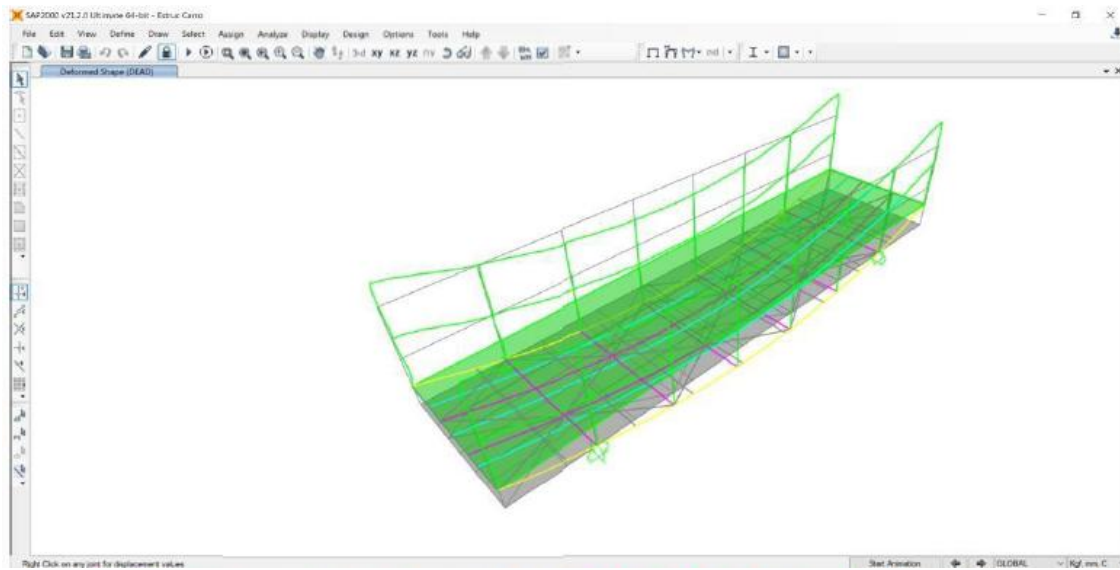
Se realizó el modelamiento de la estructura modificada en el programa SAP 2000 mediante elementos Frame y elementos Shell

Figura 12*Modelamiento 3D Elementos Frame*

Nota. Elaboración Propia. Se muestra el diagrama de deformación, momentos y cortantes de la estructura debido a la envolvente del soporte de carro de transferencia.

Figura 13

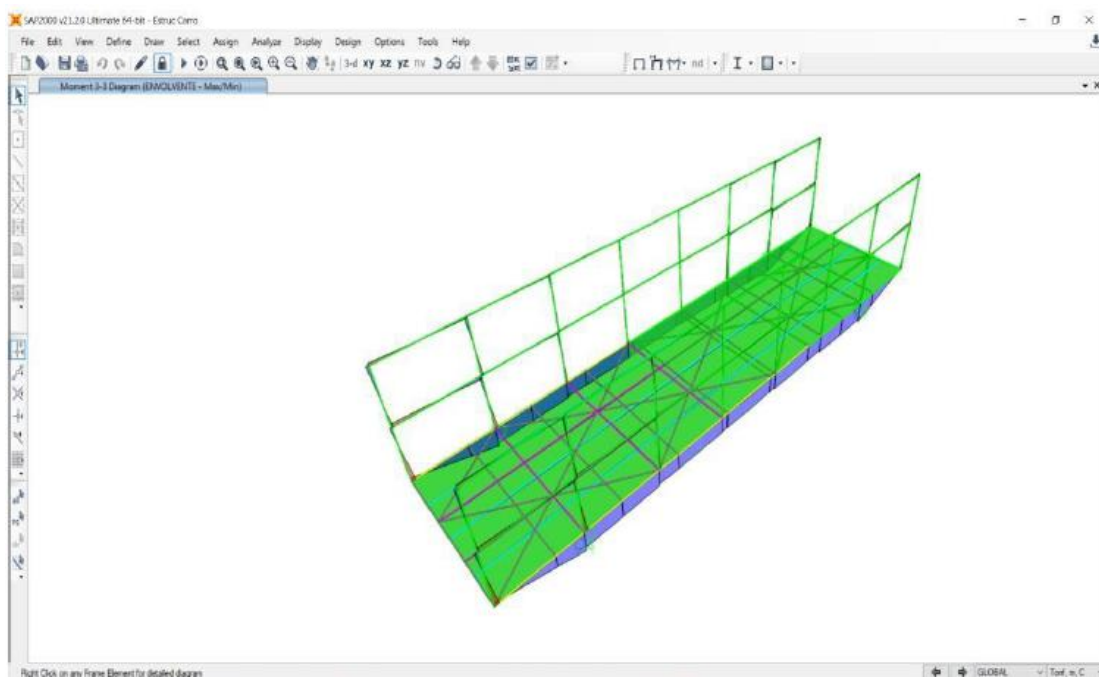
Diagrama de Deformación (mm)



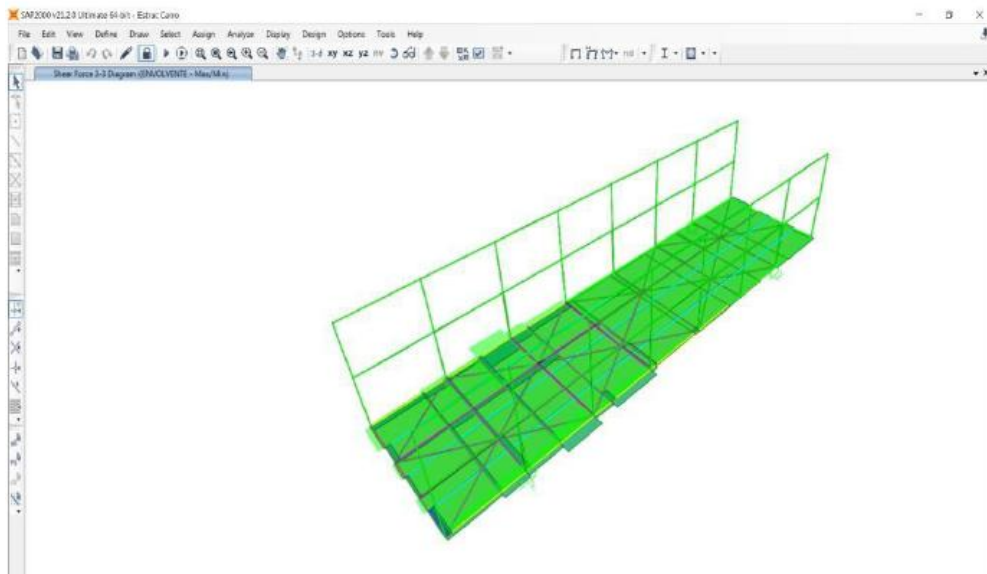
Nota. Elaboración Propia

Figura 14

Diagrama de Momentos Flectores



Nota. Elaboración Propia

Figura 15*Diagrama de Fuerzas Cortantes*

Nota. Elaboración Propia

5.1.4 Elaboración de los planos de ensamblaje, despiece y detalles.

Se presentan los planos UNS-FIM-001 al UNS-FIM-005 en el anexo, donde se muestra la estructura a detalle.

5.2 Discusiones

a) Los valores obtenidos permiten evaluar la capacidad del sistema para soportar diversas cargas y garantizar su estabilidad estructural en condiciones de operación. En términos de carga, el sistema debe soportar materiales como tubos o bobinas de hasta 2 toneladas, con una capacidad de carga total de 10 toneladas. Esto establece un requisito fundamental para el dimensionamiento de los elementos estructurales, asegurando que las secciones utilizadas sean adecuadas para resistir esfuerzos de flexión, corte y compresión sin comprometer la seguridad. Asimismo, la carga viva de impacto de 05 toneladas indica la necesidad de considerar esfuerzos dinámicos adicionales al diseño. Este tipo de carga puede generar tensiones superiores a las estáticas, por lo que su incorporación en los cálculos es esencial

para evitar deformaciones o fallas prematuras. La carga distribuida de 600 kg/m² también influye en la estabilidad del sistema, ya que determina la distribución uniforme de fuerzas sobre la estructura. Por otro lado, en esta tesis no se consideraron las cargas de viento, lo que simplifica el análisis estático.

b) La selección de los perfiles se determinó por el módulo de sección, calculado a partir del análisis de los esfuerzos cortantes máximos. Utilizando tablas estandarizadas de perfiles de acero comerciales, se seleccionó la opción más adecuada para cada elemento estructural del carro de transferencia. Por otro lado, para los perfiles se seleccionó la viga W10x22 y tubos cuadrados HSS, debido a su alta resistencia y menor peso ambos en acero estructural ASTM A36 ya que son ampliamente comercializado en la fabricación de este tipo de transporte móvil de cargas. La selección de los demás componentes se llevó a cabo mediante los catálogos de fabricantes, considerando las condiciones de trabajo a la que estará sometido.

c) Con respecto a la elaboración de los cálculos se tuvo como antecedentes los trabajos de Hernández (2023) y Ticona (2019), la cual proporcionó alineamientos para los cálculos que se realizó, sin embargo, la aplicación del tipo de trabajo es diferente a nuestro tema de estudio. Dentro de su metodología de cálculo seleccionaron los elementos estructurales en base a los conceptos de estática y parte de mecánica de materiales, sin embargo, para nuestro trabajo se partió bajo el diseño LRFD ya que nos permite diseñar la estructura de una manera más segura y fiable en diferentes escenarios de cargas. Dentro del cálculo para la viga W10x22 que es la plataforma principal se obtuvo una resistencia minorada a la flexión (ϕM_n) de 25098.99 kgf-m, y un coeficiente de flexión C_b de 1.64. Mientras que, dentro de los resultados calculados en el software SAP 2000, tal como se muestra en el anexo, los valores máximos son de 13479.859 kgf-m y 1.362 respectivamente. Como se puede apreciar los valores que refleja el software son un 50% menos de lo calculado manualmente ya que debido al enmallado y a los parámetros que maneja el programa se puede obtener un mejor

análisis. De igual manera para el análisis de los perfiles HSS que son los arriostres tubulares, se tiene que la resistencia minorada a la flexión (ϕM_n) es de 1004 kgf-m y la resistencia nominal minorada a la compresión (ϕP_n) es de 3642 kgf.

d) Los resultados obtenidos a través de la simulación estático – estructural indican que a medida que los perfiles están sometidos a fuerzas mayores, experimentarán un incremento en la tensión, lo que provoca desplazamientos y deformaciones unitarias significativas. Además, este factor también afecta al factor de seguridad, el cual será más alto cuando la fuerza aplicada sea menor y disminuirá en caso contrario.

e) La elaboración de los planos se desarrolló los planos de ensamblaje, despiece y de detalle.

VI. CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones

- a) Se determinó los parámetros de entrada de diseño para el análisis estructural del sistema móvil para una capacidad de carga de 10 toneladas, el sistema trabajará a una velocidad estimada de 20m/min. Así mismo; la estructura móvil tendrá una carga de impacto de 5 toneladas y una carga distribuida de 600 kg/m^2 .
- b) Se seleccionó los perfiles que fueron calculados a partir del análisis de los esfuerzos cortantes máximos, se considero perfiles de viga h y tubos cuadrados debido a su alta resistencia y mejor maniobrabilidad en el uso de calderería, ya que también son ampliamente comercializados en la fabricación de estructuras.
- c) Se realizó el análisis estructural para el cálculo de los componentes principales de la estructura que la plataforma principal constituido por la viga W10x22 y los arriostres que son de tubo cuadrado. Para la viga W10x22 se calculó un momento resistente (M_r) de 17.58 Ton/m, una carga crítica de $1.05 \cdot 10^6 \text{ kgf}$, una resistencia nominal a la flexión (M_n) de 27877 kgf-m y un esfuerzo cortante (V_u) de 2.74 tonf. Para los arriostres tubulares, se encontró que la resistencia minorada a la flexión (ϕM_n) es de 1.04 Tonf-m, la esbeltez máxima del perfil ($k_{\text{máx}}$) es de 32.65, la tensión crítica (F_{cr}) es de 3016.56 kg/cm^2 y la resistencia minorada a compresión del perfil (ϕP_n) es 36.42 Tonf.
- d) Se realizó el modelado 3d en el software Autodesk inventor y el análisis del modelado se desarrolló en el programa SAP 2000 donde se puede observar en la figura 9,10 y 11 el diagrama de deformación, momentos y cortantes de la estructura. Asimismo, se puede apreciar el diagrama de momentos flectores y la deformación de la estructura soporte principal.

e) Se hizo la elaboración de los planos en el software Autocad, que incluye una vista explosionada con sus distintos componentes, así también se muestra los planos a detalle y una vista 3d para una mejor visualización del carro de transferencia.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Hernández Barrachina, J. (2023). *Diseño de una Estructura Móvil para la Ayuda en el Transporte de Objetos de Dimensiones Medianas*. Tesis de Grado, Universitat Politècnica de Valencia.

Ribeiro, G. X. C. e S. (2018). *Structural design of transfer structures*. Tesis de maestría, Universidade de Lisboa. Universidade de Lisboa.

Mora Quispe, et (2021). *Design basis of movable scaffolding systems following American and European code provisions and recommendations*. The Baltic Journal of Road and Bridge

Huayta Ticona, S. (2019). *Diseño de Estructura para Levante de Carga de dos Toneladas para Taller de Mantenimiento*. Universidad Continental, Arequipa.

Tenelema Quitio, O. J. (2013). *Diseño y Simulación de un Puente Grúa de Cinco Toneladas*. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Rodriguez, L. (2019). *Diseño de un Semirremolque Plataforma Tridem en Acero de Alta Resistencia Empleando Herramientas Computacionales, para Optimizar la Capacidad de Carga en la Empresa FAMECA S.A.* Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo.

Siccha, G. (2023). *Modelación de un Vagón de Transferencia de 80 Toneladas de Capacidad para el Transporte de Barras de Construcción*. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Santa, Chimbote.

Budynas, R., & Keith, J. (2008). *Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley* (8va ed.). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores.

Hibbeler, R. (2010). *Ingeniería Mecánica - Estática* (Décimosegunda ed.). México: Pearson Educación.

Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elemento de Máquinas* (4ta ed.). Pearson Education.

McCormac J. (2012). *Diseño de Estructuras de Acero* (5ta ed.) México: Alfaomega Grupo Editor. S.A. de C.V.

Ottazzi G. (2015). *Apuntes del Curso de Análisis Estructural* (4ta ed.) Perú: Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

CMMA 70 (2010) Crane Manufacturers Association of America. Specification #70. Specifications for top running bridge and gantry type multiple girder electric overhead traveling cranes, USA

CMMA 74. (2010). Crane Manufacturers Association of America. Specification #74. Specifications for top running and under running single girder electric traveling cranes utilizing under running trolley hoist, USA.

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (2006). Norma de reglamento nacional de edificaciones (Decreto Supremo N°011-2006-VIVIENDA). Recuperado de: <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>

ANSI/AISC 360 (2016). An American National Standard. Specification for Structural Steel Buildings

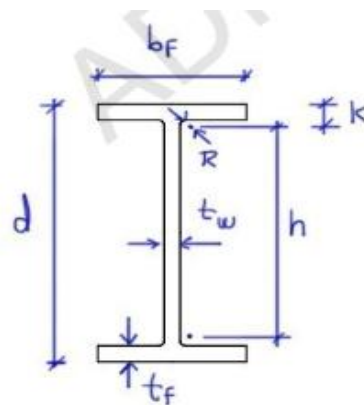
VIII. ANEXO

8.1 Cálculos de los perfiles principales en hojas de Excel

DISEÑO POR FLEXION DE PERFILES W			
Longitud de la viga	L	0.95	m
Longitud arriostrada	Lb	0.95	m
Fluencia del acero	Fy	2530	kg/cm2
Modulo de elasticidad	E	2100000	kg/cm2
Momento de Inercia	Mu	1.03	ton-m
Cortante ultimo	Vu	2.74	ton
Altura libre de la seccion	d	259.1	mm
Ancho del ala	bf	254	mm
Espesor del ala	tf	15.6	mm
Espesor del alma	tw	9.4	mm
Radio de curvatura	r	12.7	mm
Area gruesa	A	102.06	cm2
Modulo elastico	Sx	992.77	cm3
Modulo plastico	Zx	1102.28	cm3
Inercia x	Ix	12861.28	cm4
Inercia y	Iy	4280.43	cm4
Constante torsional	J	75.90	cm4
Radio de giro en X	$rx = \sqrt{Ix/A}$	11.23	cm
Radio de giro en Y	$ry = \sqrt{Iy/A}$	6.48	cm
Distancia entre centroides de las alas	ho=d-tf	243.50	mm
Espesor de ala +curvatura	k=tf+r	28.30	
Constante de torsion de alabeo	$cw=tf \cdot ho^2 \cdot bf^3/24$	631556.83	
Altura libre del alma	h=d-2.k	202.50	mm
Revision de padeo local			
$bf/2tf \leq 0.38 \cdot \sqrt{E/fy}$			
$\lambda_{ala} = bf/2tf$		8.14	
$\lambda_{ala_max} = 0.38 \cdot \sqrt{E/fy}$		10.95	Ala compacta
$\lambda_{alma} = h/tw$		21.54	
$\lambda_{alma_max} = 0.38 \cdot \sqrt{E/fy}$		108.33	Ala compacta
Definicion del valor de cb			
$Cb1 = \min(12.5 M_{max}/(2.5 M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C))$			
Mmax=Mu		1.03	ton-m
Ma		0.78	ton-m
Mb		0.53	ton-m
Mc		0.27	ton-m
Cb		1.64	Tramo 1=Tr
Cb			tramo 2
Cb final		1.64	
Calculo de longitud caracteristicas			

Lp=1.76.r _y .√E/F _y		3.28	m
r _{ts} =√I _y .h _o /2.S _x		7.25	cm
c		1	Para perfil
$L_r := 1.95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0.7 \cdot F_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o} + \sqrt{\left(\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o}\right)^2 + 6.76 \cdot \left(0.70 \cdot \frac{F_y}{E}\right)^2}}$			
		13.99	m
Momento plastico			
M _p =Z _x .F _y		2788776.96	kg-cm
		27887.77	kg-m
		27.89	ton-m
Momento resistente correspondiente a limite del comportamiento del pandeo lateral torsional			
M _r =0.7.S _x .F _y		1758187.64	kg-cm
		17581.88	kg-m
		17.58	ton-m
$F_{cr} := C_b \cdot \pi^2 \cdot \frac{E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \cdot \sqrt{1 + 0.078 \cdot \frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_o} \cdot \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$			
		2.02E+05	
L _b ≤L _p		27887.77	kg-m
		49457.28	kg-m
		2005108.95	kg-m
Resistencia nominal a flexion de la seccion	M _n	27887.77	kg-m
Factor de reduccion por flexion	Ø	0.9	
Resistencia minorada a flexion		25098.99	kg-m
		25.10	ton-m
Relacion demanda capacidad	M _u /ØM _n	0.04	OK
DISEÑO POR CORTE DE PERFILES W			
Cortante ultimo	V _u	2.74	ton
Area del alma de la viga	A _w =d.tw	24.36	cm ²
Factor de esbletez	λ _{alma} =h/tw	21.54	
perfiles dobleT	K _v =	5.00	
	C _v	1.00	
Resistencia nominal al corte	V _t =0.6.C _v ØA _w .F _y	36971.50	kg
		36.97	ton
Relacion demanda capacidad	V _u /ØV _t	0.07	OK

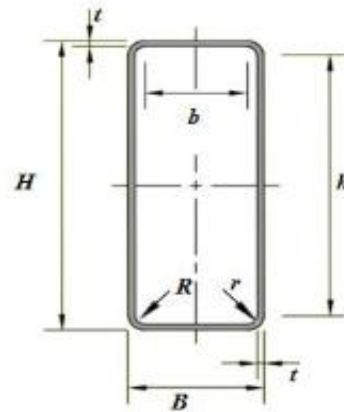
t3	259.1 mm	d
t2	254 mm	bf
tf	15.6 mm	tf
tw	9.4 mm	tw
t2b	254 mm	bf
tfb	15.6 mm	tf
r	12.7 mm	r
A	10205.51	102.06
Ix	128612766	12861.28
Iy	42804307.4	4280.43
Zx	1102283.38	1102.28
Zy	509302.644	509.30
Sx	992765.466	992.77
Sy	337041.791	337.04
D	22.9894602	
α	0.13943951	
J	758981.218	75.90



DISEÑO POR FLEXION DE PERFILES HSS					
Longitud de la viga			L	0.95	m
Compresion ultima			Pu	0.381	ton
Momento ultimo			Mu	0.024	ton-m
Resistencia a la fluencia			Fy	3234	kg/cm2
Modulo de elasticidad			E	2100000	kg/cm2
Altura			H	76.20	mm
Base			B	76.20	mm
Espesor			t	4.76	mm
Radio de esquina			R	0.00	mm
Area de la seccion			A	13.41	cm2
Modulo elastico			Sx	7.45	cm3
Modulo plastico			Zx	35.79	cm3
Inercia alrededor del eje x-x			Ix	113.59	cm4
Inercia alrededor del eje y-y			Iy	113.59	cm4
Radio de giro x-x			rx	2.91	cm
Radio de giro y-y			ry	2.91	cm
Altura interior			h=H-2.(t+R)	66.675	mm
Base interior			b=B-2.(t+R)	66.675	mm
Factor de esbeltez					
$\lambda_{ala} = b/t$	14		$\lambda_{alma} = h/t$		14
$\lambda_{p_ala} = 1.12 \cdot \sqrt{E/fy}$	28.54		$\lambda_{p_alma} = 2.42 \cdot \sqrt{E/fy}$		61.67
$\lambda_{r_ala} = 1.40 \cdot \sqrt{E/fy}$	35.68		$\lambda_{r_alma} = 5.7 \cdot \sqrt{E/fy}$		145.25
Compactas			Compactas		
Momento plastico					
$M_p = Z_x \cdot F_y$				115744.01	kg-cm
				1157.44	kg-m
				1.16	ton-m
Ancho efectivo del ala en compresion			be	66.68	
Ancho no efectivo del ala en compresion			b-be	0	
Inercia efectiva de la seccion			le	113.59	cm4
Modulo de la seccion efectivo			Se	2.98	
$\lambda_{ala} < \lambda_{p_ala}$ y $\lambda_{alma} < \lambda_{p_alma}$			Mn1=Mp	115744.01	kg-cm
				1.16	ton-m
Si $\lambda_{p_ala} \leq \lambda_{p_ala} < \lambda_{r_ala}$			Mn2	115744.01	kg-cm
				1.16	ton-m
$M_{n2} := \min \left(M_p, M_p - (M_p - F_y \cdot S_x) \left(3.57 \frac{b}{t} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4.0 \right) \right)$					
Si $\lambda_{p_ala} \geq \lambda_{r_ala}$			Mn3	9641.96	kg-cm
				0.10	ton-m
$M_{n3} := \min (M_p, F_y \cdot S_e)$					
Si $\lambda_{p_alma} \geq \lambda_{alma}$			Mn4	115744.01	kg-cm
				1.16	ton-m
$M_{n4} := \min \left(M_p, M_p - (M_p - F_y \cdot S_x) \left(0.305 \frac{h}{t} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0.738 \right) \right)$					

Resistencia nominal a flexion		Mn	115744.01	kg-cm
			1.16	ton-m
Resistencia minorada a flexion		ϕMn	1.04	
Demanda/ capacidad		$Mu/\phi Mn$	0.02	OK
DISEÑO EN COMPRESION				
Factor de longitud efectiva		Kx	1	
Factor de longitud efectiva		Ky	1	
Esbeltez de la columna en x		$Kx.Lx/Rx$	32.65	
Esbeltez de la columna en y		$Ky.Ly/Ry$	32.65	
Esbeltez maxima de la columna		k	32.65	
Limite de esbeltez		$4.71.\sqrt{E/fy}$	120.02	Pandeo Inelastico
Factor de pandeo		$\lambda c = Emax/\pi.\sqrt{Fy/E}$	0.41	
Tension critia de pandeo		Fcr	3016.56	kg/cm2
Resistencia a compresion		$Pn = Ac.Fcr$	40.46	ton
Resistencia nominal minorada a compresion		ϕPn	36.42	ton
Demanda/capacidad		D/C	0.03	OK

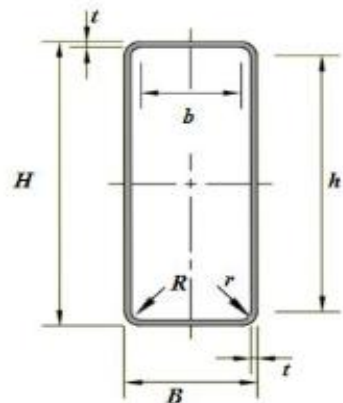
r	2.38125	mm
u	3.74045875	
a	66.675	
á	71.4375	
b	66.675	
´b	71.4375	
A	1341.41449	13.4141449
Ix	1135926.39	113.592639
Iy	1135926.39	113.592639
Zx	35789.7359	35.7897359
Zy	35789.7359	35.7897359
J	1736255.89	173.625589
Sx	7453.58525	7.45



DISEÑO POR FLEXION DE PERFILES HSS					
Longitud de la viga			L	0.4125	m
Momento ultimo			Mu	0.064	ton-m
Cortante ultimo			Vu	0.325	ton
Resistencia a la fluencia			Fy	3234	kg/cm2
Modulo de elasticidad			E	2100000	kg/cm2
Altura			H	101.60	mm
Base			B	101.60	mm
Espesor			t	4.76	mm
Radio de esquina			R	0.00	mm
Area de la seccion			A	18.25	cm2
Modulo elastico			Sx	13.99	cm3
Modulo plastico			Zx	66.08	cm3
Inercia alrededor del eje x-x			Ix	284.20	cm4
Altura interior			$h=H-2.(t+R)$	92.075	mm
Base interior			$b=B-2.(t+R)$	92.075	mm
Factor de esbeltez					
$\lambda_{ala} = b/t$	19.333333		$\lambda_{alma} = h/t$	19.333333	
$\lambda_{p_ala}=1.12.\sqrt{E/f_y}$	28.54		$\lambda_{p_alma}=2.42.\sqrt{E/f_y}$	61.67	
$\lambda_{r_ala}=1.40.\sqrt{E/f_y}$	35.68		$\lambda_{r_alma}=5.7.\sqrt{E/f_y}$	145.25	
Compactas			Compactas		
Momento plastico					
$M_p=Z_x.F_y$				213690.36	kg-cm
				2136.90	kg-m
				2.14	ton-m
Ancho efectivo del ala en compresion			b_e	92.08	
Ancho no efectivo del ala en compresion			$b-b_e$	0	
Inercia efectiva de la seccion			I_e	284.20	cm4
Modulo de la seccion efectivo			S_e	5.59	
$\lambda_{ala}<\lambda_{p_ala}$ y $\lambda_{alma}<\lambda_{p_alma}$			$M_{n1}=M_p$	213690.36	kg-cm
				2.14	ton-m
Si $\lambda_{p_ala}\leq\lambda_{p_ala} < \lambda_{r_ala}$			M_{n2}	213690.36	kg-cm
				2.14	ton-m
$M_{n2}:=\min\left(M_p, M_p-(M_p-F_y\cdot S_x)\left(3.57\frac{b}{t}\cdot\sqrt{\frac{F_y}{E}}-4.0\right)\right)$					
Si $\lambda_{p_ala}\geq\lambda_{r_ala}$			M_{n3}	18092.53	kg-cm
				0.18	ton-m
$M_{n3}:=\min(M_p, F_y\cdot S_e)$					
Si $\lambda_{p_alma}\geq\lambda_{alma}$			M_{n4}	213690.36	kg-cm
				2.14	ton-m
$M_{n4}:=\min\left(M_p, M_p-(M_p-F_y\cdot S_x)\left(0.305\frac{h}{t}\cdot\sqrt{\frac{F_y}{E}}-0.738\right)\right)$					
Resistencia nominal a flexion			M_n	213690.36	kg-cm
				2.14	ton-m

Resistencia minorada a flexion		Mn	1.92	
Demanda/ capacidad		Mu/ØMn	0.03	OK
DISEÑO POR CORTE DE PERFILES HSS				
Area del alma de la viga		Aw=2h.t	8.77	cm ²
		Kv	5.00	
		λalma=h/t	19.33	
		Cv	1.00	
Factor de reduccion por corte		Ø	0.90	
Cortante nominal de la seccion		Vn	17017.59	kg
Resistencia minorada a flexion		Ø.Vn	15315.83	kg
			15.32	Ton
demanda /capacidad		Vu/ØVt	0.02	OK

r	2.38125	mm
u	3.74045875	
a	92.075	
á	96.8375	
b	92.075	
´b	96.8375	
A	1825.28449	18.2528449
Ix	2841993.4	284.19934
Iy	2841993.4	284.19934
Zx	66076.1774	66.0761774
Zy	66076.1774	66.0761774
J	4324796.69	432.479669
Sx	13986.188	13.99



DISEÑO POR FLEXION DE PERFILES HSS					
Longitud de la viga			L	1.9	m
Momento ultimo			Mu	0.493	ton-m
Cortante ultimo			Vu	1.422	ton
Resistencia a la fluencia			Fy	3234	kg/cm2
Modulo de elasticidad			E	2100000	kg/cm2
Altura			H	101.60	mm
Base			B	152.40	mm
Espesor			t	6.35	mm
Radio de esquina			R	0.00	mm
Area de la seccion			A	30.30	cm2
Modulo elastico			Sx	24.88	cm3
Modulo plastico			Zx	115.56	cm3
Inercia alrededor del eje x-x			Ix	505.56	cm4
Altura interior			$h=H-2.(t+R)$	88.9	mm
Base interior			$b=B-2.(t+R)$	139.7	mm
Factor de esbeltez					
$\lambda_{ala} = b/t$	22		$\lambda_{alma} = h/t$	14	
$\lambda_{p_ala}=1.12.\sqrt{E/f_y}$	28.54		$\lambda_{p_alma}=2.42.\sqrt{E/f_y}$	61.67	
$\lambda_{r_ala}=1.40.\sqrt{E/f_y}$	35.68		$\lambda_{r_alma}=5.7.\sqrt{E/f_y}$	145.25	
Compactas			Compactas		
Momento plastico					
$M_p=Z_x.F_y$				373723.22	kg-cm
				3737.23	kg-m
				3.74	ton-m
Ancho efectivo del ala en compresion			b_e	139.70	
Ancho no efectivo del ala en compresion			$b-b_e$	0	
Inercia efectiva de la seccion			I_e	505.56	cm4
Modulo de la seccion efectivo			S_e	9.95	
$\lambda_{ala}<\lambda_{p_ala}$ y $\lambda_{alma}<\lambda_{p_alma}$			$M_{n1}=M_p$	373723.22	kg-cm
				3.74	ton-m
Si $\lambda_{p_ala}\leq\lambda_{p_ala} < \lambda_{r_ala}$			M_{n2}	373723.22	kg-cm
				3.74	ton-m
$M_{n2}:=\min\left(M_p, M_p-(M_p-F_y\cdot S_x)\left(3.57\frac{b}{t}\cdot\sqrt{\frac{F_y}{E}}-4.0\right)\right)$					
Si $\lambda_{p_ala}\geq\lambda_{r_ala}$			M_{n3}	32184.47	kg-cm
				0.32	ton-m
$M_{n3}:=\min(M_p, F_y\cdot S_e)$					
Si $\lambda_{p_alma}\geq\lambda_{alma}$			M_{n4}	373723.22	kg-cm
				3.74	ton-m
$M_{n4}:=\min\left(M_p, M_p-(M_p-F_y\cdot S_x)\left(0.305\frac{h}{t}\cdot\sqrt{\frac{F_y}{E}}-0.738\right)\right)$					
Resistencia nominal a flexion			M_n	373723.22	kg-cm
				3.74	ton-m

Resistencia minorada a flexion		Mn	3.36	
Demanda/ capacidad		$M_u/\phi M_n$	0.15	OK
DISEÑO POR CORTE DE PERFILES HSS				
Area del alma de la viga		$A_w=2h.t$	11.29	cm ²
		Kv	5.00	
		$\lambda_{alma}=h/t$	14.00	
		Cv	1.00	
Factor de reduccion por corte		ϕ	0.90	
Cortante nominal de la seccion		Vn	21907.70	kg
Resistencia minorada a flexion		$\phi.V_n$	19716.93	kg
			19.72	Ton
demanda /capacidad		$V_u/\phi V_t$	0.07	OK

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK

Combo : COMB6
Units : Kgf, m, C

Frame : 21 Design Sect: W10x22
X Mid : 17.9 Design Type: Beam
Y Mid : 42.153 Frame Type : Moment Resisting Frame
Z Mid : -1.59 Sect Class : Compact
Length : 0.95 Major Axis : 0. degrees counterclockwise from local 3
Loc : 0. RLLF : 1.

Area : 0.004 SMajor : 3.803E-04 rMajor : 0.108 AVMajor: 0.002
IMajor : 4.912E-05 SMinor : 6.498E-05 rMinor : 0.034 AVMinor: 0.002
IMinor : 4.745E-06 ZMajor : 4.261E-04 E : 20389019158.
Ixy : 0. ZMinor : 9.996E-05 Fy : 35153491.307

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0.	-77.403	1.969	33.659	-28.746	62.324	0.017

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO

Governing Equation (H1-lb)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
	0.011	= 0.	+ 0.	+ 0.011	0.95	OK

AXIAL FORCE DESIGN

	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity
Axial	-77.403	118035.008	132471.656

MOMENT DESIGN

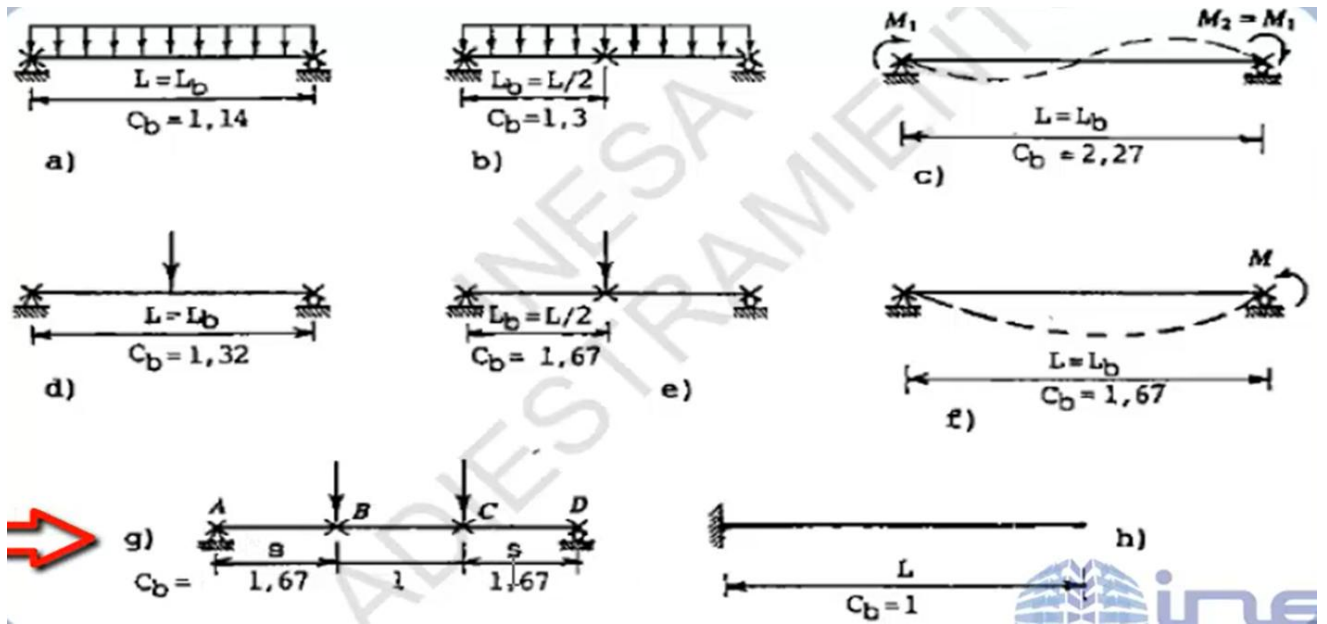
	Mu Moment	phi*Mn Capacity	Cm Factor	B1 Factor	B2 Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	1.969	13479.859	0.85	1.	1.	1.	1.	1.362
Minor Moment	33.659	3083.687	0.826	1.	1.	1.	1.	

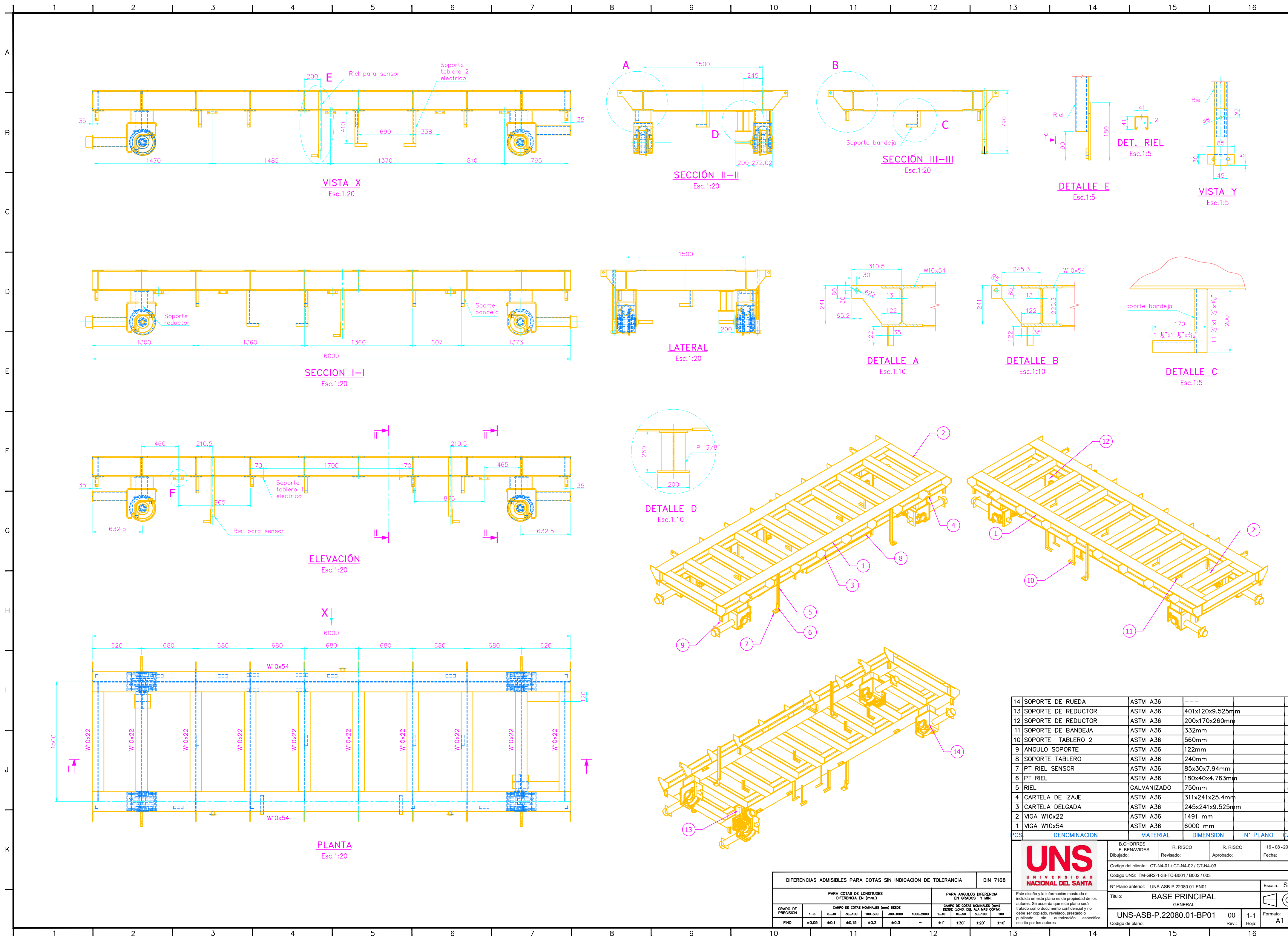
SHEAR DESIGN

	Vu Force	phi*Vn Capacity	Stress Ratio	Status Check	Tu Torsion
Major Shear	37.966	29892.464	0.001	OK	0.
Minor Shear	62.324	42252.133	0.001	OK	0.

Coeficientes de rozamiento de algunos materiales

Materiales en contacto	Coefficiente Rozamiento Estático	Coefficiente Rozamiento Dinámico
Teflón // Teflón	0,04	0,04
Hielo // Hielo	0,1	0,03
Esquí (encerado) // Nieve (0 °C)	0,1	0,05
Acero // Acero	0,15	0,09





14	SOPORTE DE RUEDA	ASTM A36	---	4
13	SOPORTE DE REDUCTOR	ASTM A36	401x120x9.525mm	2
12	SOPORTE DE REDUCTOR	ASTM A36	200x170x260mm	2
11	SOPORTE DE BANDEJA	ASTM A36	332mm	4
10	SOPORTE TABLERO 2	ASTM A36	560mm	4
9	ANGULO SOPORTE	ASTM A36	122mm	12
8	SOPORTE TABLERO	ASTM A36	240mm	2
7	PT RIEL SENSOR	ASTM A36	85x30x7.94mm	3
6	PT RIEL	ASTM A36	180x40x4.763mm	3
5	RIEL	GALVANIZADO	750mm	3
4	CARTELA DE IZAJE	ASTM A36	311x241x25.4mm	4
3	CARTELA DELGADA	ASTM A36	245x241x9.525mm	16
2	VIGA W10x22	ASTM A36	1491 mm	10
1	VIGA W10x54	ASTM A36	6000 mm	2

POS	DENOMINACION	MATERIAL	DIMENSION	N° PLANO	SANT
14	SOPORTE DE RUEDA	ASTM A36	---	4	
13	SOPORTE DE REDUCTOR	ASTM A36	401x120x9.525mm	2	
12	SOPORTE DE REDUCTOR	ASTM A36	200x170x260mm	2	
11	SOPORTE DE BANDEJA	ASTM A36	332mm	4	
10	SOPORTE TABLERO 2	ASTM A36	560mm	4	
9	ANGULO SOPORTE	ASTM A36	122mm	12	
8	SOPORTE TABLERO	ASTM A36	240mm	2	
7	PT RIEL SENSOR	ASTM A36	85x30x7.94mm	3	
6	PT RIEL	ASTM A36	180x40x4.763mm	3	
5	RIEL	GALVANIZADO	750mm	3	
4	CARTELA DE IZAJE	ASTM A36	311x241x25.4mm	4	
3	CARTELA DELGADA	ASTM A36	245x241x9.525mm	16	
2	VIGA W10x22	ASTM A36	1491 mm	10	
1	VIGA W10x54	ASTM A36	6000 mm	2	

UNS

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

Este diseño y la información mostrada e incluida en este plano es de propiedad de los autores. Se acuerda que este plano será tratado como documento confidencial y no debe ser copiado, revelado, prestado o publicado sin autorización específica escrita por los autores.

B. CHORRES
F. BENAVIDES

R. RISCO

R. RISCO

Dibujado:

Revisado:

Aprobado:

Código del cliente: CT-N4-01 / CT-N4-02 / CT-N4-03

Código UNS: TM-GR2-1-38-TC-B001 / B002 / 003

N° Plano anterior: UNS-ASB-P.22080.01-EN01

Título: BASE PRINCIPAL GENERAL

UNS-ASB-P.22080.01-BP01

Código de plano:

Escala: S/E

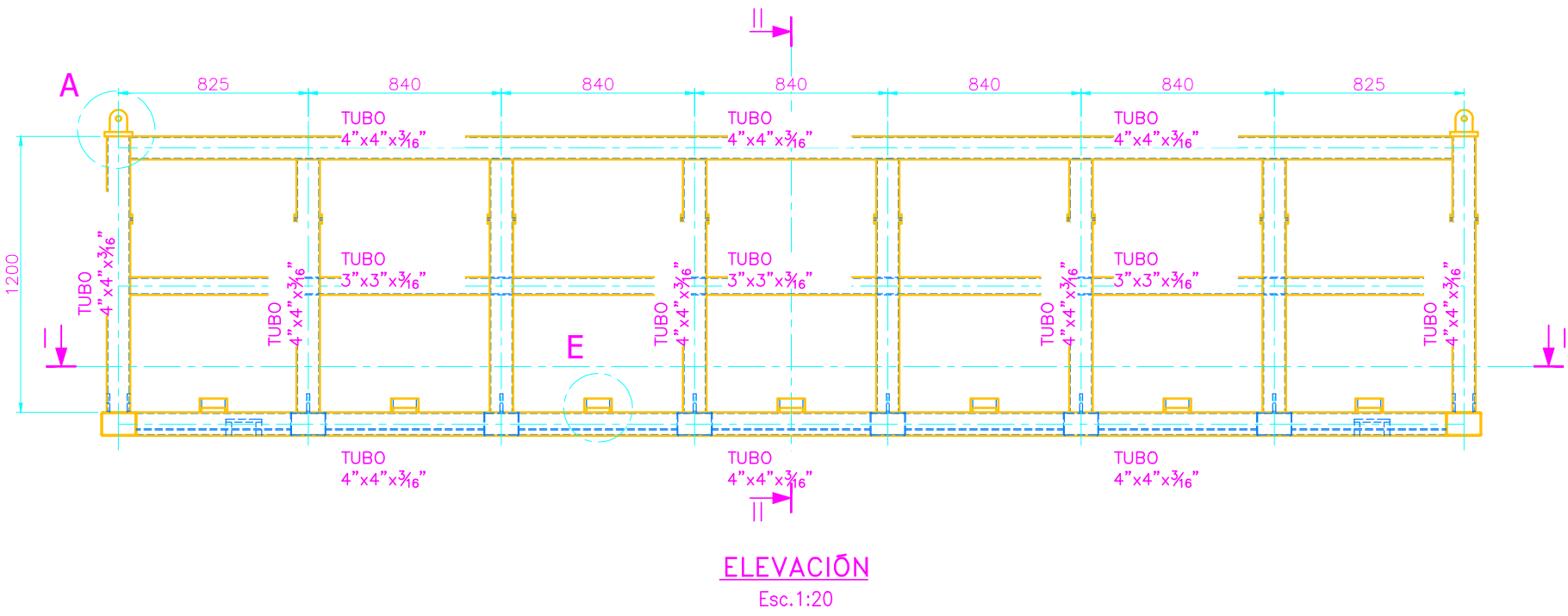
16 - 08 - 2025

Fecha:

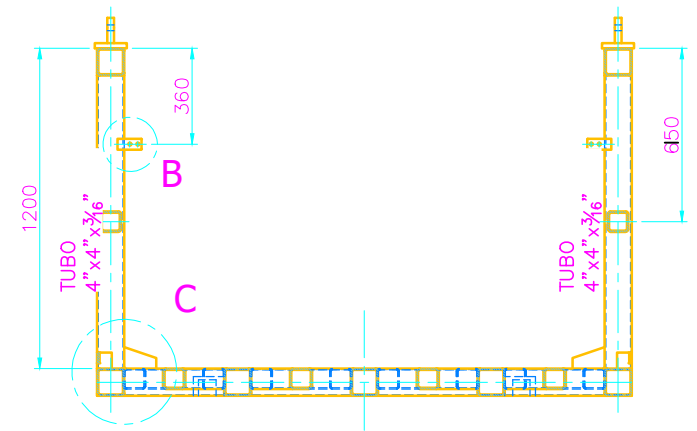
00

1-1

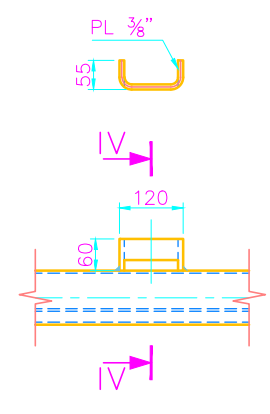
Formato: A1



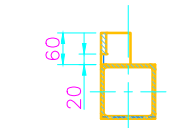
ELEVACIÓN
Esc.1:20



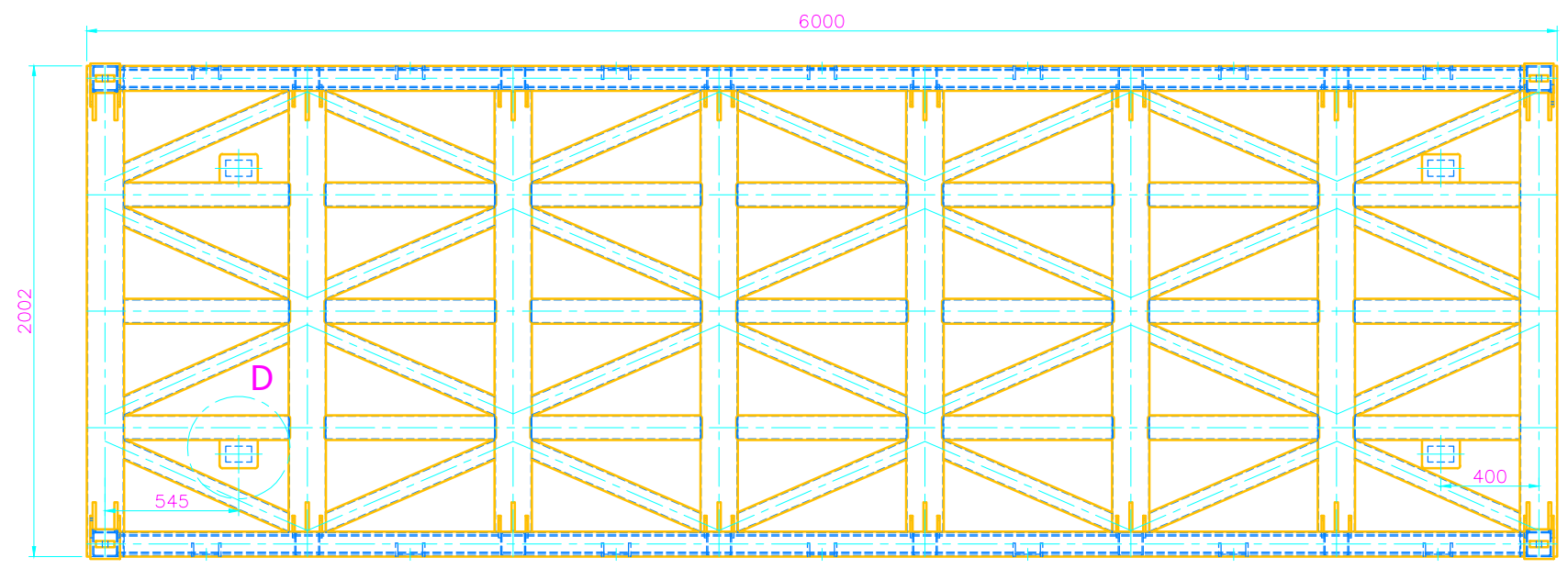
SECCIÓN II-II
Esc.1:20



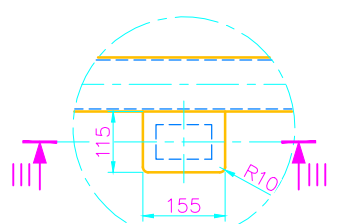
DETALLE E
Esc.1:10



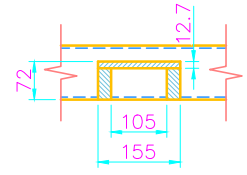
SECCIÓN IV-IV
Esc.1:10



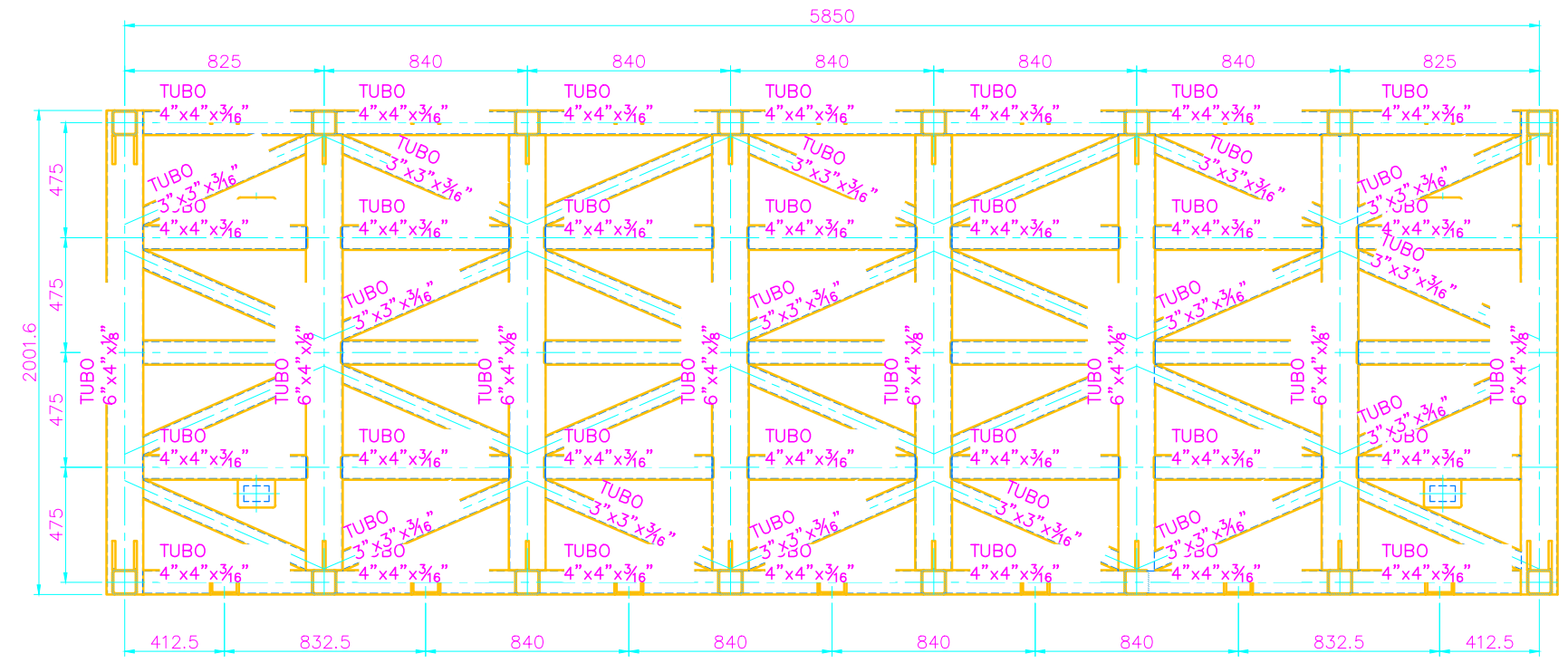
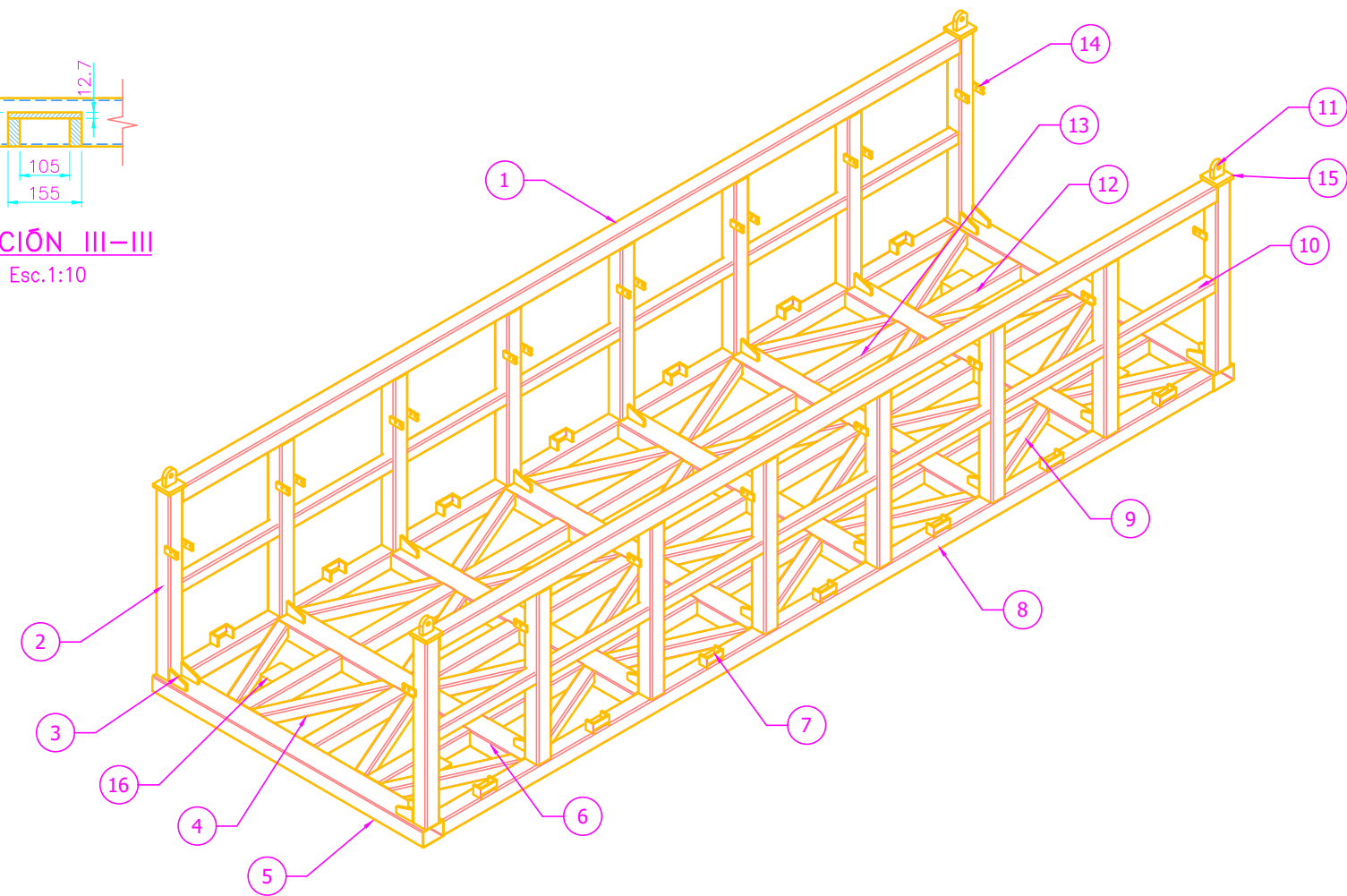
PLANTA
Esc.1:20



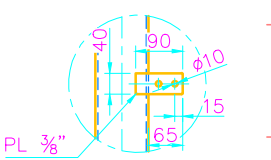
DETALLE D
Esc.1:10



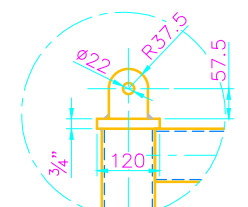
SECCIÓN III-III
Esc.1:10



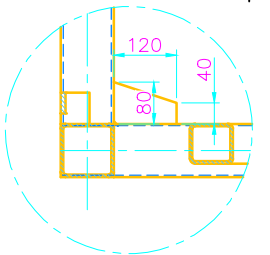
SECCIÓN I-I
Esc.1:20



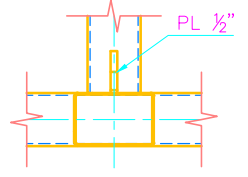
DETALLE B
Esc.1:10



DETALLE A
Esc.1:10



DETALLE C
Esc.1:10



VISTA Y
Esc.1:10

16	BASE PARA CENTRADOR	ASTM A36	115x155x72mm	4
15	BASE DE OREJA DE IZAJE	ASTM A36	120x120x19mm	4
14	SOPORTE TACO DE MADERA VERTICAL SUPERIOR	ASTM A36	90x40x9.5mm	32
13	TUBO CUADRADO 4"x4"x4.5mm	ASTM A500	688mm	15
12	TUBO CUADRADO 4"x4"x4.5mm	ASTM A500	672mm	6
11	OREJAS DE IZAJE	ASTM A36	75x95x25.4mm	4
10	TUBO CUADRADO 3"x3"x4.5mm	ASTM A500	739mm	14
9	TUBO CUADRADO 3"x3"x4.5mm	ASTM A500	765mm	20
8	TUBO CUADRADO 4"x4"x4.5mm	ASTM A500	5695mm	2
7	SOPORTE TACO DE MADERA	ASTM A36	195x60x9.5mm	14
6	TUBO RECTANGULAR 6"x4"x3mm	ASTM A500	1799mm	6
5	TUBO RECTANGULAR 6"x4"x3mm	ASTM A500	2002mm	2
4	TUBO CUADRADO 3"x3"x4.5mm	ASTM A500	750mm	8
3	SOPORTE TACO DE MADERA VERTICAL INFERIOR	ASTM A36	120x80x12.7mm	20
2	TUBO CUADRADO 4"x4"x4.5mm	ASTM A500	1099 mm	16
1	TUBO CUADRADO 4"x4"x4.5mm	ASTM A500	5749 mm	2

UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

Este diseño y la información mostrada e incluida en este plano es de propiedad de los autores. Se acuerda que este plano será tratado como documento confidencial y no debe ser copiado, revelado, prestado o publicado sin autorización específica escrita por los autores.

B. CHORRES
F. BENAVIDES

Dibujado:

R. RISCO

Revisado:

R. RISCO

Aprobado:

16 - 08 - 2025

Fecha:

Código del cliente: CT-N4-01 / CT-N4-02 / CT-N4-03

Código DCS: TM-GR2-1-38-TC-B001 / B002 / 003

N° Plano anterior: UNS-ASB-P.22080.01-EN01

Título: CANASTILLA GENERAL

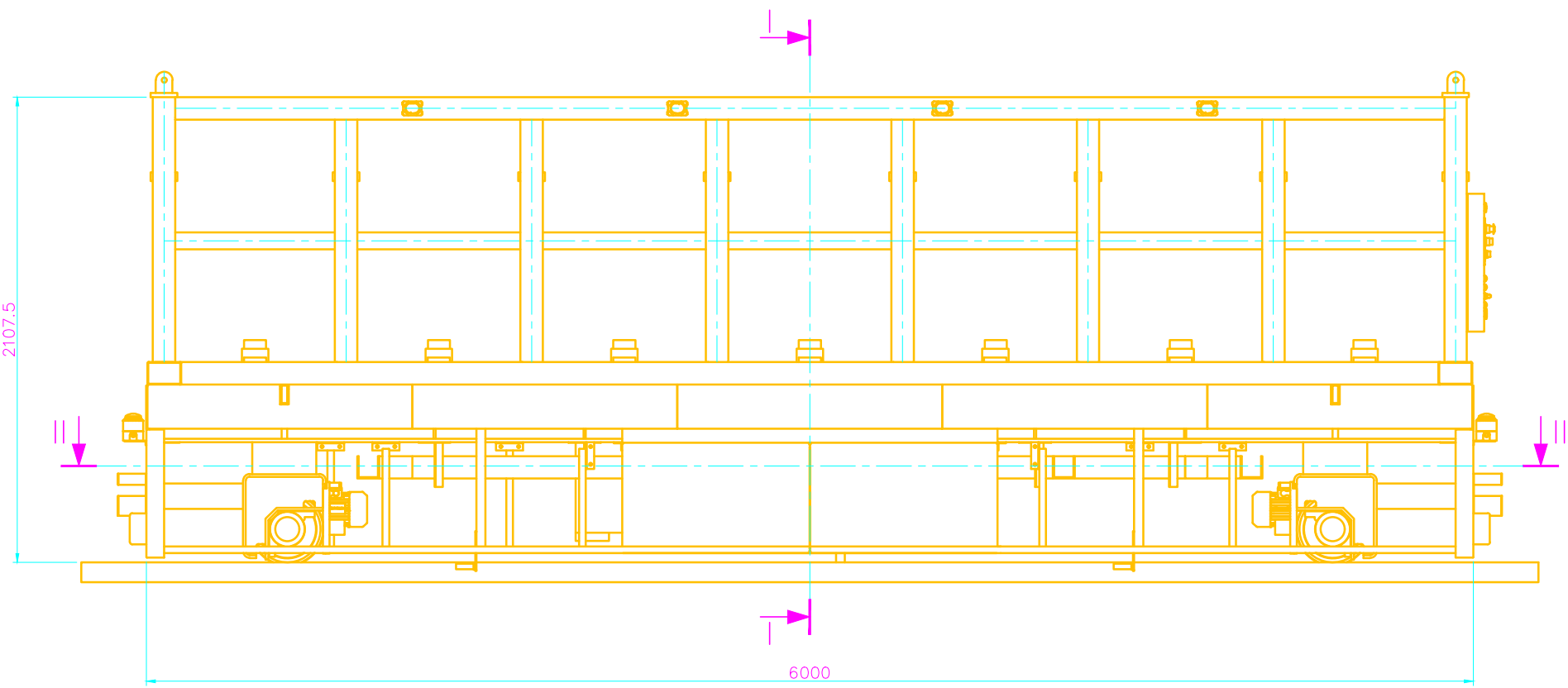
UNS-ASB-P.22080.01-CA01

Código de plano:

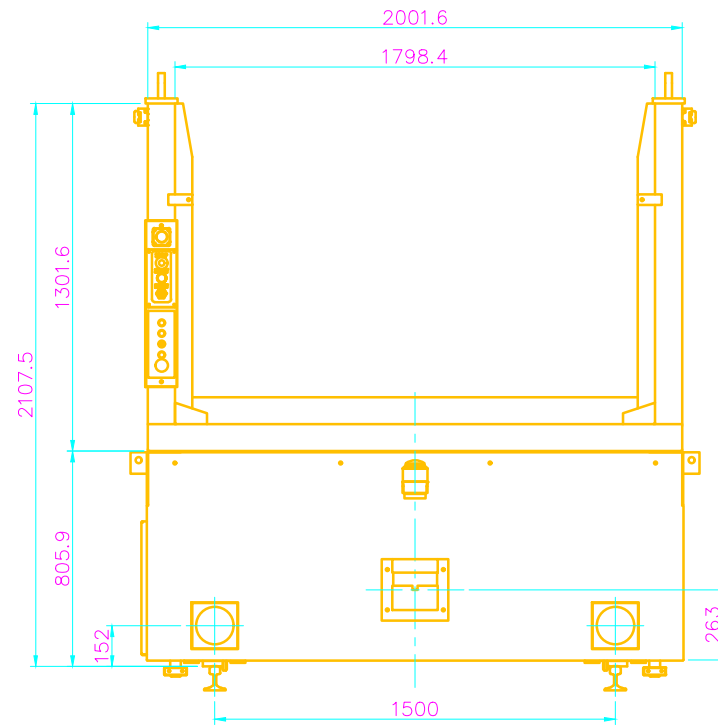
Escala: S/E

Formato: A1

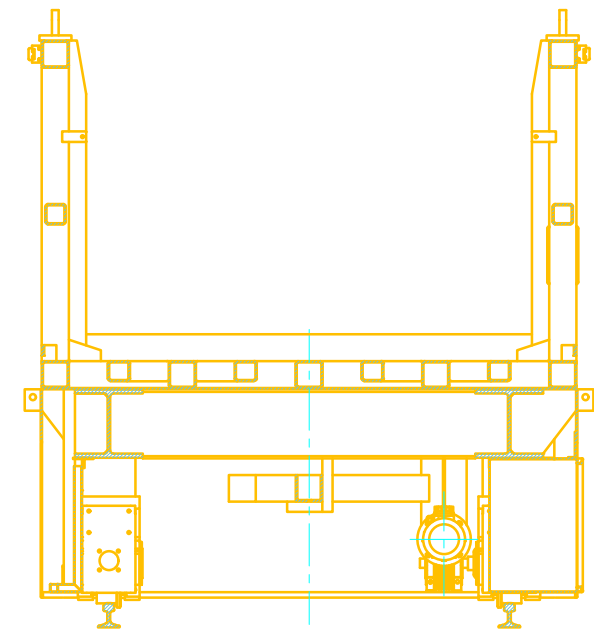
DIFERENCIAS ADMISIBLES PARA COTAS SIN INDICACION DE TOLERANCIA										DIN 7168	
DIFERENCIA EN (mm.)											
PARA COTAS DE LONGITUDES						PARA ANGULOS DIFERENCIA EN GRADOS Y MIN.					
CAMPO DE COTAS NOMINALES (mm) desde						CAMPO DE COTAS NOMINALES (mm) desde					
GRADO DE PRECISION	1..6	6..30	30..100	100..300	300..1000	1000..2000	1..10	10..30	30..100	100..150	150..200
FINO	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	—	±1'	±30'	±20'	±10'	±10'



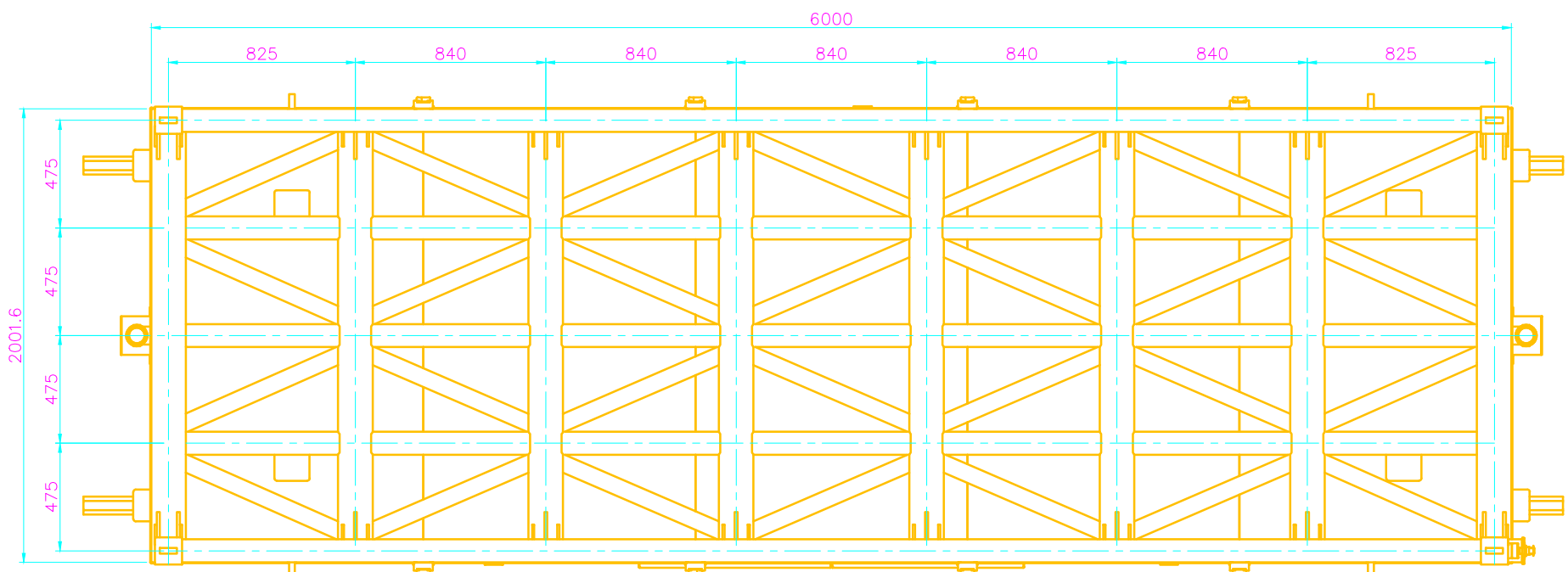
FRONTAL
Esc.1:20



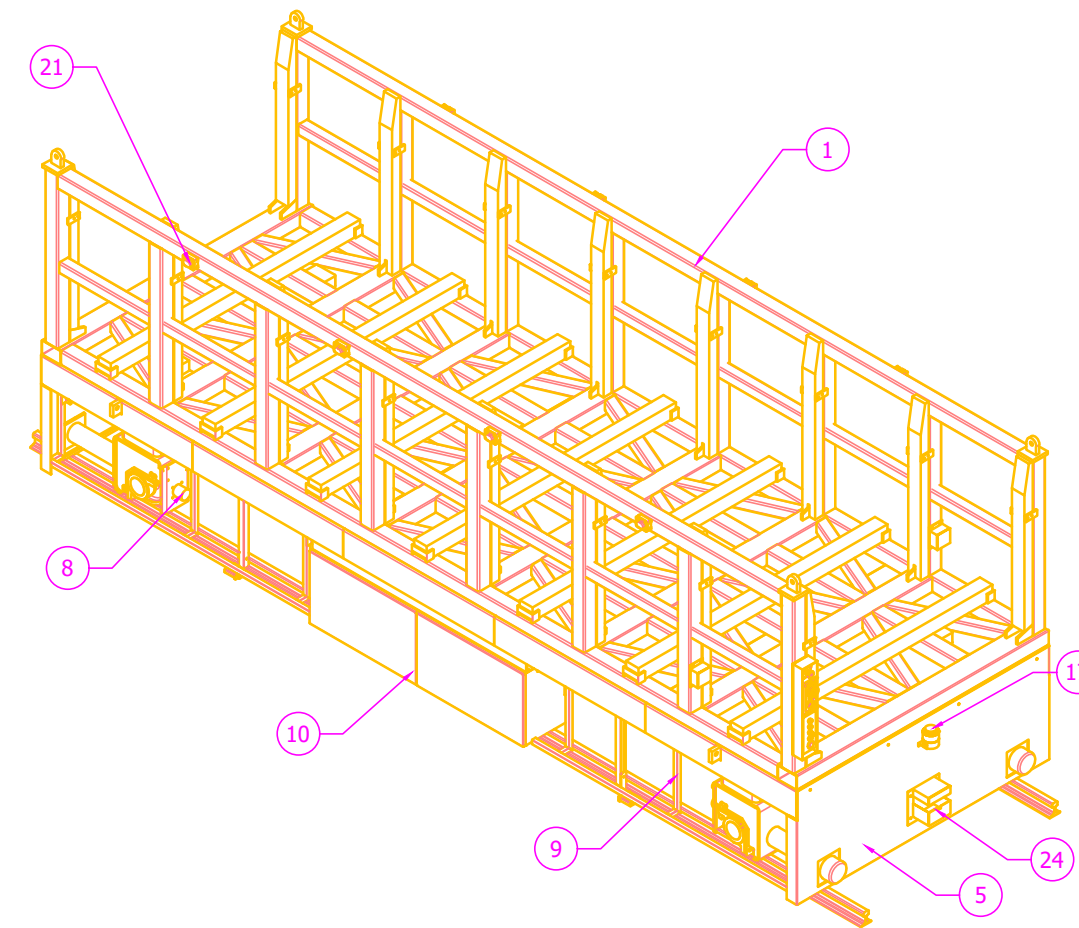
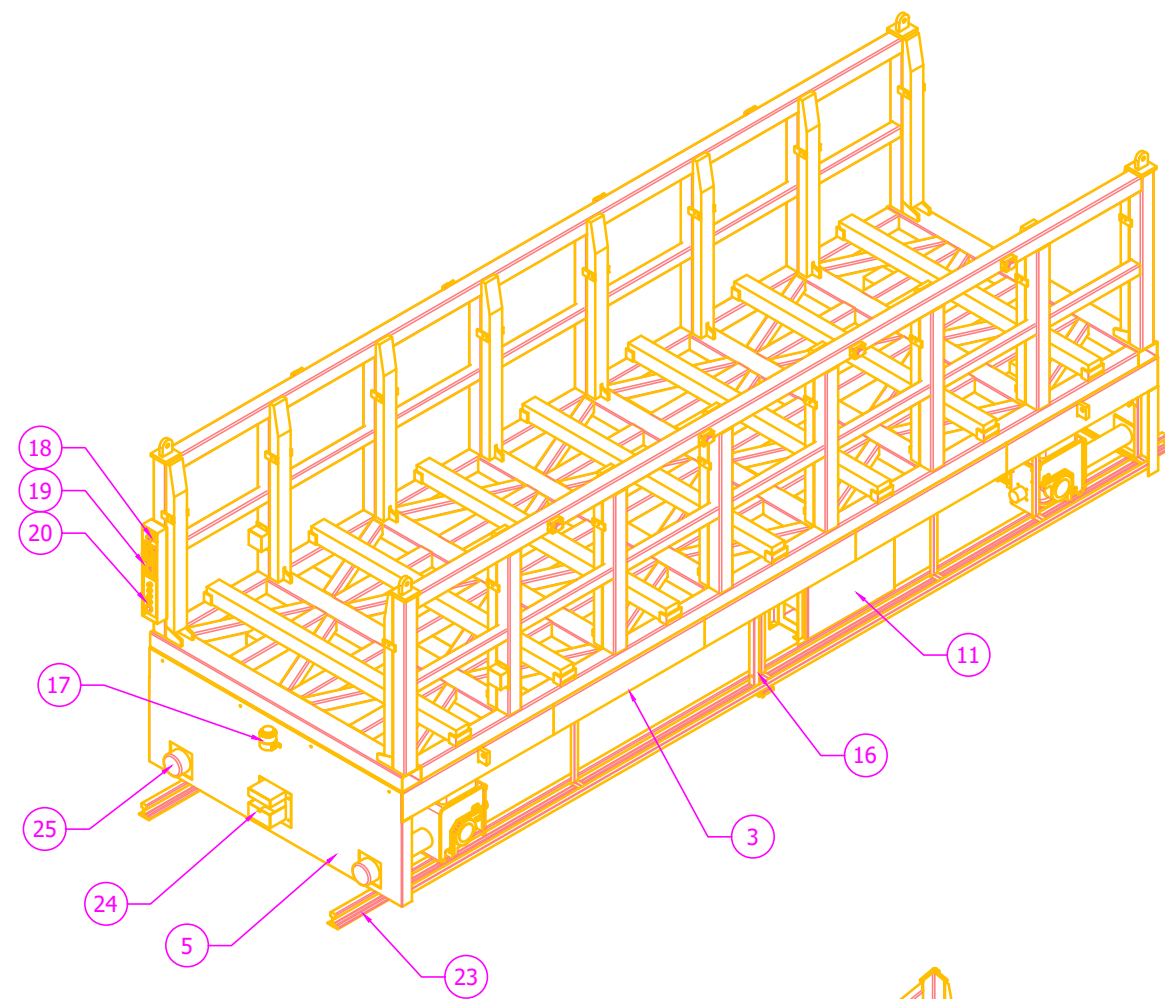
LATERAL



SECCIÓN I-I
Esc.1:20



PLANTA
Esc.1:20



25	TOPE DE GOMA	SIN E.	---	4
24	GUARDA SCANNER	A-36	---	2
23	VIA DE RODADURA	RIEL P18	---	2
22	BANDEJA ELECTRICA	GALVANIZADO	4100x600x100mm	1
21	LUCES LATERALES	SIN E.	---	8
20	BOTONERA CONTROL 2	SIN E.	---	1
19	BOTONERA CONTROL 1	SIN E.	---	1
18	BOTONERA PARADA EMERGENCIA	SIN E.	---	1
17	LUCES EMERGENCIA	SIN E.	---	2
16	SENSOR ELECTRONICO LATERAL	SIN E.	---	3
15	SENSOR ELECTRONICO RUEDA	SIN E.	---	4
14	MOTOR-REDUCTOR	SIN E.	---	2
13	RUEDA	A-36	---	4
12	SOPORTE DE RUEDA	A-36	375x380x230mm	4
11	TABLERO ELECTRICO #2	SIN E.	410x690	1
10	TABLERO ELECTRICO #1	SIN E.	SIN E.	1
9	SOPORTE LATERAL 4	A-36	480x1920x120mm	1
8	SOPORTE LATERAL 3	A-36	480x3260x120mm	1
7	SOPORTE LATERAL 2	A-36	480x2130x120mm	1
6	SOPORTE LATERAL 1	A-36	480x2130x120mm	1
5	GUARDA FRONTAL	A-36	780x2000x80mm	2
4	CENTRADOR	A-36	61x110x110mm	4
3	PL. ESTRIADA	A-36	120x2000x1200mm	5
2	BASE INFERIOR	A-36	254x6000x1754mm	1
1	CANASTILLA	A500-GRADO A	1200x6000x2002mm	1

B. CHORRES F. BENAVIDES Dibujado:		R. RISCO Revisado:		R. RISCO Aprobado:		16-08-2025 Fecha:	
Codigo del cliente: CT-N4-01 / CT-N4-02 / CT-N4-03							
Codigo UNS: TM-GR2-1-38-TC-B001 / B002 / 003							
N° Plano anterior:							Escala: S/E
Título: ENSAMBLE GENERAL							
UNS-ASB-P.22080.01-EN01							
Codigo de plano:							
00							
1-1							
Formato: A1							