

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE UNA
ESTRUCTURA METÁLICA PARA DETERMINAR
LAS CARGAS MÍNIMAS DE DISEÑO – JULIACA-
2016”**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

SERGIO ROLANDO BARRIOS CRUZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2017

ACTA DE TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

En Juliaca, siendo las 11:00 Hrs. del 13 de mayo del 2017, bajo la presidencia del catedrático:

Ing. JUAN VARGAS RAMOS

Se inició la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación correspondiente, para obtener el Título Profesional de **INGENIERO CIVIL**, bajo la modalidad de Sistema de Tesis (Resolución 3175-2003-R-UAP), en la que:

BARRIOS CRUZ, SERGIO ROLANDO

Sustento la Tesis titulada:

“DIMENSIONAMIENTO OPTIMO DE UNA ESTRUCTURA METALICA PARA DETERMINAR LAS CARGAS MINIMAS DE DISEÑO- JULIACA - 2016”

Ante el Jurado integrado por los señores catedráticos:

Ing. JUAN VARGAS RAMOS

(Presidente)

Ing. WILHEM ROGGER LIMACHI VIAMONTE

(Miembro/Secretario)

Ing. EDWIN RENE PARI PARI

(Miembro)

Sustentado el mismo, el graduando obtuvo el siguiente resultado:

APROBADO POR UNANIMIDAD

En fe de lo cual se asentó la presente Acta que firman el Señor Presidente y los demás miembros del Jurado.


.....
Ing. WILHEM ROGGER LIMACHI VIAMONTE
Miembro/Secretario
CIP: 113528


.....
Ing. EDWIN RENE PARI PARI
Miembro
CIP: 152674


.....
Ing. JUAN VARGAS RAMOS
Presidente
CIP: 182267

DEDICATORIA

Dedicatoria a todos los que me ayudaron en mi desarrollo de la carrera.

Dedicatoria a todos los que me ayudaron en mi desarrollo de la carrera.

En primer lugar a Dios por darme la vida, la salud y múltiples bendiciones.

A mis padres Samuel y Neri por brindarme a lo largo de mi vida su apoyo, cuidado y por velar siempre por mis necesidades.

A mi hermana Mireya, mi abuela Martina y Haydee una persona especial para mí y a todos mis amigos por ser parte fundamental en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Antes de empezar quisiera dar las gracias a todas las personas que, cada una a su manera, me han hecho posible que haya llegado hasta aquí.

Gracias a mi director de tesis, Ingeniero Gilmer Salas Madera, que ha hecho posible este proyecto y me ha brindado la oportunidad de contar con su valiosa ayuda, experiencia y conocimientos.

Gracias a mis compañeros y amigos de la Universidad, porque estos años han sido inolvidables. Nuestra amistad y apoyo ha tenido un valor incalculable.

A todos los docentes que han contribuido a mi formación y han formado parte de mi experiencia académica durante todo este tiempo.

INTRODUCCIÓN

Se trata del planteamiento de estructura metálica de una planta industrial con puente grúa para la fabricación de estructuras metálicas y pintura en estructuras metálicas.

A nivel de la región Puno, especialmente en la ciudad de Juliaca, las velocidades de viento son los más altos registrados a nivel nacional, de ahí que reviste una gran importancia el estudio minucioso para considerar las cargas por viento en el diseño de estructuras metálicas.

La importancia radica en la consideración de las cargas de viento y nieve en el diseño de estructuras metálicas, muy comunes en la zona.

El proyecto se limita a las condiciones climatológicas de la Región Puno, específicamente en la ciudad de Juliaca, enmarcándose dentro de la normativa vigente del AISC publicado el año 2010, y el Reglamento Nacional de Edificaciones modificado en el año 2012.

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el diseño de una nave industrial con puente grúa mediante la aplicación de la norma ANSI/AISC 360-10 Specification for Structural Steel Buildings, tomado de referencia por el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, Norma E090 Estructuras Metálicas toma en cuenta esta norma varios capítulos para la realización del diseño de estructuras metálicas, es por ello se toma en cuenta esta norma americana.

El análisis estructural se realiza mediante el empleo del software Nuevo Metal 3D de Cype Ingenieros, el cual en su versión 2014 incorpora las normas peruanas de diseño sísmico E030 Diseño Sismo resistente y la norma peruana E060 Concreto Armado.

El diseño se realiza teniendo en cuenta las cargas de diseño especificadas en la norma peruana E020 Cargas, para la zona de Juliaca. Se realiza un análisis dinámico modal espectral el cual influye en el diseño de algunos elementos de la estructura metálica.

ABSTRACT

This work involves the design of an industrial building with crane by applying ANSI/AISC 360-10 Specification for Structural Steel Buildings standard reference made by the National Building Regulations in Peru Metal structures E090 standard takes into this rule has several chapters to realize the design of steel structures, which is why we take into account this American standard.

Structural analysis is performed by using the 3D Metal New CYPE software, which in its 2014 version incorporates Peruvian regulations E030 seismic design and seismic design standard E060 Peruvian armed Concrete.

The design is made taking into account the design loads specified in the Peruvian E020 standard charges for the area of Juliaca. Dynamic modal spectral analysis which influences the design of some elements of the metal structure is made.

INDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
INTRODUCCIÓN.....	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
INDICE	VII
INDICE DE CUADROS.....	X
INDICE DE GRAFICOS.....	X
INDICE DE TABLAS	XI
1. CAPITULO I.....	1
DETERMINACION DEL PROYECTO.....	1
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	1
1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.1 Delimitación Espacial	3
1.2.2 Delimitación Temporal	3
1.2.3 Delimitación Social	3
1.3 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	3
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.4.1 Problema General	4
1.4.2 Problemas específicos	4
1.5 OBJETIVOS.....	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos	4
1.6 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	5
2. CAPITULO II.....	6
MARCO TEORICO.....	6
2.1 DEFINICIONES BÁSICAS	6
2.1.1 Estructura metálica.....	6

2.1.2	Cobertura	7
2.1.3	Cimentaciones	7
2.1.4	Ensayo de penetración Estándar	7
2.1.5	Puente grúa	8
2.1.6	Análisis espectral.....	12
2.1.7	Software Cype	12
2.2	MÉTODOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	12
2.2.1	Método ASD.....	12
2.2.2	Método LRFD	13
2.2.3	Método AISC 360-10.....	13
2.3	MÉTODO DE ANÁLISIS PROPUESTO POR LA NORMA PERUANA E-090	13
2.3.1	Cargas.....	13
2.3.2	Combinaciones de carga.....	26
2.3.3	Fuerzas horizontales en puente grúa.....	26
3.	CAPITULO III.....	28
	INGENIERIA DEL PROYECTO	28
3.1	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	28
3.1.1	Estratigrafía y clasificación	29
3.1.2	Análisis granulométrico	32
3.1.3	Características físicas	35
3.1.4	Conclusiones y recomendaciones.....	36
3.2	DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS MÍNIMAS DE DISEÑO	36
3.2.1	Cargas por peso propio	36
3.2.2	Carga de viento	36
3.2.3	Carga de nieve	36
3.2.4	Carga de sismo	36
3.3	ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE GRÚA	40

3.3.1	Elección de polipasto (HARRINGTON s.f.).....	40
3.3.2	Análisis y diseño de viga puente	43
3.4	ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA ESTRUCTURA METÁLICA Y COBERTURA DE TECHO	50
3.4.1	Elección de la cobertura de techo	50
3.4.2	Análisis estructural	51
3.4.3	Diseño de viguetas.....	54
3.4.4	Diseño de pórticos principales.....	79
3.4.5	Diseño de conexiones	112
3.4.6	Diseño de cimentaciones.....	140
4.	CAPITULO IV.....	149
	RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO	149
4.1	DIMENSIONAMIENTO FINAL DE VIGUETAS.....	149
4.2	DIMENSIONAMIENTO DE LOS PÓRTICOS	150
5.	CAPITULO V	151
	DISCUSION DE LOS RESULTADOS	151
6.	CAPITULO VI.....	152
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	152
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	154
	ANEXOS	

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1 Emergencias ocurridas en la ciudad de Juliaca por viento y precipitaciones pluviales desde el año 2003 a la fecha	17
Cuadro N° 2 Escala de Beaufort para velocidades del viento	18
Cuadro N° 3 Solicitaciones en las viguetas.....	57
Cuadro N° 4 Solicitaciones en elementos de Vigas de pórtico.....	82
Cuadro N° 5 Solicitaciones en elementos de columnas de pórtico.....	100

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico N° 1 Cargas de viento en la dirección X-X.....	23
Gráfico N° 2 Carga de viento en la dirección Y-Y	24
Gráfico N° 3 Acciones a considerar en un puente grúa.....	25
Gráfico N° 4 Especificaciones de dimensiones de polipasto y carro eléctrico	42
Gráfico N° 5 Reacciones en la viga polipasto con cargas en posición central sin impacto	44
Gráfico N° 6 Reacciones en la viga polipasto considerando el impacto	44
Gráfico N° 7 Reacciones en la viga polipasto con carga en el extremo considerando el impacto.....	45
Gráfico N° 8 Modelo estructural tridimensional	52
Gráfico N° 9 Reacciones máximas y mínimas con carga en uno de los extremos de la viga polipasto.....	53
Gráfico N° 10 Esquema para la ubicación de cargas para obtener el momento máximo	53
Gráfico N° 11 Simbología aplicada a soldaduras	116
Gráfico N° 12 Disposición de soldadura y símbolo de posición.....	116
Gráfico N° 13 Simbología de preparación de borde para soldadura	117
Gráfico N° 14 Representación de tornillos en los planos	117
Gráfico N° 15 Detalle de Unión columna – Viga de pórtico típico.....	118
Gráfico N° 16 Reacciones por carga viva para el diseño de zapata.....	141

Gráfico N° 17 Reacciones por carga viva para el diseño de zapatas	141
---	-----

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Factores de Forma (C) en carga de viento (RNE E020, 12.4)	22
Tabla 2 Aceleración espectral y periodo	38
Tabla 3 Especificaciones de polipastos	41
Tabla 4 Dimensiones de polipastos	42
Tabla 5 Selección de Riel para viga carrilera	48
Tabla 6 Disposiciones para tornillos según AISC 360-10.....	113

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Ensayo de Penetración Estándar (SPT).....	28
Imagen 2 Perfil estratigráfico del suelo	29
Imagen 3 Muestra del primer estrato	30
Imagen 4 Muestra del segundo estrato.....	30
Imagen 5 Muestra del tercer estrato	31
Imagen 6 Muestra del cuarto estrato.....	31
Imagen 7 Curva de distribución granulométrica del estrato 1:-0.45	32
Imagen 8. Curva granulométrica del estrato 0.45-1.20m.....	33
Imagen 9. Curva granulométrica del estrato 1.20-1.65m.....	34
Imagen 10. Curva granulométrica del estrato 1.65-4.05m.....	35

CAPITULO I

DETERMINACION DEL PROYECTO

1.1 Descripción de la realidad problemática

La determinación de las cargas mínimas de diseño en estructuras metálicas juega un papel importante en el dimensionamiento óptimo de estructuras metálicas, fundamentalmente en zonas en donde históricamente se conoce de la existencia de fenómenos meteorológicos adversos como el granizo, la nieve o el viento, o de eventos geológicos como el sismo típico de muchas regiones del mundo, los cuales ocasionan serios problemas en las estructuras existentes hasta ocasionar el colapso de los mismos en muchas ocasiones.

Muchos países de acuerdo a su ubicación geográfica y la presencia de estos eventos, han adoptado normas propias en cuanto a asignación o cuantificación de estas cargas accidentales con la finalidad de proteger en cierto modo las estructuras a diseñarse y así evitar el colapso de la infraestructura. Por otro lado,

existen construcciones que se han desarrollado sin tener en cuenta las recomendaciones de las normas existentes por desconocimiento de los mismos teniendo como resultado el colapso de las estructuras.

En nuestro país, se tiene la reglamentación necesaria para determinar las cargas mínimas de acuerdo a zona del proyecto, sin embargo muchas veces estas normativas no se tienen en cuenta por lo que muchas veces en los proyectos que se ejecutan se realiza sin la participación del profesional que tenga conocimiento de estas normas.

En nuestra región, la falta de conocimiento de estas normas y como consecuencia de la presencia de eventos climatológicos adversos como el viento, el granizo o la nieve, muchas estructuras metálicas de techos o coberturas han colapsado.

El propósito del presente proyecto es determinar las cargas mínimas de viento, granizo y de sismo que actúan en las condiciones más adversas en la ciudad de Juliaca y mediante ello llegar a un diseño óptimo de estructura metálica y cimentaciones que pueda implementarse en una planta industrial.

Para desarrollar el presente proyecto se realizará el diseño de una planta industrial en la zona sur de la ciudad de Juliaca en un área de 800 m². Actualmente esta empresa se dedica a la fabricación de estructuras metálicas de uso estructural como puentes, techos metálicos, tolvas, tanques y otros servicios industriales como arenado y pintado de productos metálicos operando en la ciudad de Juliaca. Cabe indicar que muchas de las actividades a la que se dedica la empresa como soldadura, arenado y pintado de superficies metálicas se realiza a la intemperie, con la improvisación de coberturas temporales, lo cual perjudica el normal desarrollo de las actividades que muchas veces va en contra de las recomendaciones técnicas de los procesos. La manipulación y traslado de

materiales pesados actualmente se realiza en forma manual y utilizando tecles sobre arcos improvisados que podrían desencadenar en accidentes personales y daños en los materiales elaborados, por lo que además del desarrollar el proyecto de estructura metálica se prevé el diseño de puente grúa.

1.2 Delimitación del problema

1.2.1 Delimitación Espacial

El proyecto se limita en las condiciones climatológicas de la Región Puno, específicamente en la ciudad de Juliaca.

1.2.2 Delimitación Temporal

El proyecto se enmarca dentro de la normativa vigente del AISC publicado el año 2010, el ASCE Estándar publicado en el año 2010, el Reglamento Nacional de Edificaciones modificado en al año 2012 y es válida mientras no se publiquen otras modificaciones en la normativa vigente.

1.2.3 Delimitación Social

El presente proyecto es aplicado en el ámbito de la ingeniería civil, conformado por estudiantes, docentes universitarios.

1.3 Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación es descriptivo simple de nivel aplicativo.

1.4 Planteamiento del problema

1.4.1 Problema General

¿Cuáles serán las cargas mínimas de diseño para el dimensionamiento óptimo de estructura metálica con puente grúa en la ciudad de Juliaca?

1.4.2 Problemas específicos

- ¿Cuál será el dimensionamiento óptimo mediante el análisis estructural tridimensional y la aplicación de las cargas mínimas de diseño?
- ¿Cuál será el dimensionamiento óptimo mediante el diseño estructural y la aplicación de las cargas mínimas de diseño?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Determinar las cargas mínimas de diseño para el dimensionamiento óptimo de estructura metálica con puente grúa en la ciudad de Juliaca.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Determinar el dimensionamiento óptimo mediante el análisis estructural tridimensional y la aplicación de las cargas mínimas de diseño.
- Determinar el dimensionamiento óptimo mediante el diseño estructural y la aplicación de las cargas mínimas de diseño.

1.6 Justificación e importancia

La importancia del proyecto radica en que el aporte realizado servirá como base para considerar cargas mínimas de diseño en estructuras metálicas en futuros diseños en la zona del proyecto, en vista de que la ciudad de Juliaca se consolida como el centro en donde se construirán este tipo de estructuras metálicas.

Actualmente, muchas de las edificaciones de acero en la ciudad de Juliaca se ejecutan sin ningún planteamiento técnico, lo cual conlleva muchas veces al colapso de la estructura ocasionado por la nieve, granizo o los vientos. Este último reviste mucha importancia en el planteamiento de las estructuras en vista de que en la zona de estudio se producen velocidades de viento hasta de 130 Km/h (la más alta a nivel nacional); de ahí la ciudad de Juliaca es conocida como “la ciudad de los vientos”.

El presente trabajo servirá como guía para el planteamiento de nuevas estructuras similares teniendo en cuenta las condiciones climáticas severas y la calidad del suelo que se presenta en la ciudad de Juliaca, que por su ubicación geográfica se perfila como una ciudad industrial y comercial. Se requiere para ello la ejecución de proyectos como almacenes, talleres industriales, centros comerciales y otros, los cuales por sus grandes luces en sus construcciones requieren el uso de estructuras de acero. Las estructuras de acero tienen mejor comportamiento frente a las condiciones climáticas de la región, facilidad en la construcción y la recuperación del 100% del material en el reciclaje respecto a otros materiales utilizados en la construcción.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Definiciones básicas

2.1.1 Estructura metálica

Constituyen un sistema constructivo a base de acero estructural que cumplen funciones de rigidez, estabilidad y resistencia en los elementos de las edificaciones, empleo que se da en función de la industrialización alcanzada en la región o país donde se utiliza.

Se lo elige por sus ventajas en plazos de obra, relación coste de mano de obra, coste de materiales. Las estructuras metálicas poseen una gran capacidad resistente por el empleo de acero. Esto le confiere la posibilidad de lograr soluciones de gran envergadura, como cubrir grandes luces y cargas importantes.

Al ser sus piezas prefabricadas, y con medios de unión de gran flexibilidad, se acortan los plazos de obra significativamente.

2.1.2 Cobertura

Parte superior que cubre la estructura metálica, puede ser de material de acero protegido, policarbonato o de polímeros que tiene la función de proteger un área ante los efectos de viento, calor solar o precipitaciones.

2.1.3 Cimentaciones

Se denomina cimentación al conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de una edificación o elementos apoyados a este al suelo distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas puntuales. Debido a que la resistencia del suelo es, generalmente, menor que la de los pilares o muros que soportará, el área de contacto entre el suelo y la cimentación será proporcionalmente más grande que los elementos soportados.

La cimentación es importante porque es el grupo de elementos que soportan a la superestructura. Hay que prestar especial atención ya que la estabilidad de la construcción depende en gran medida del tipo de terreno.

2.1.4 Ensayo de penetración Estándar

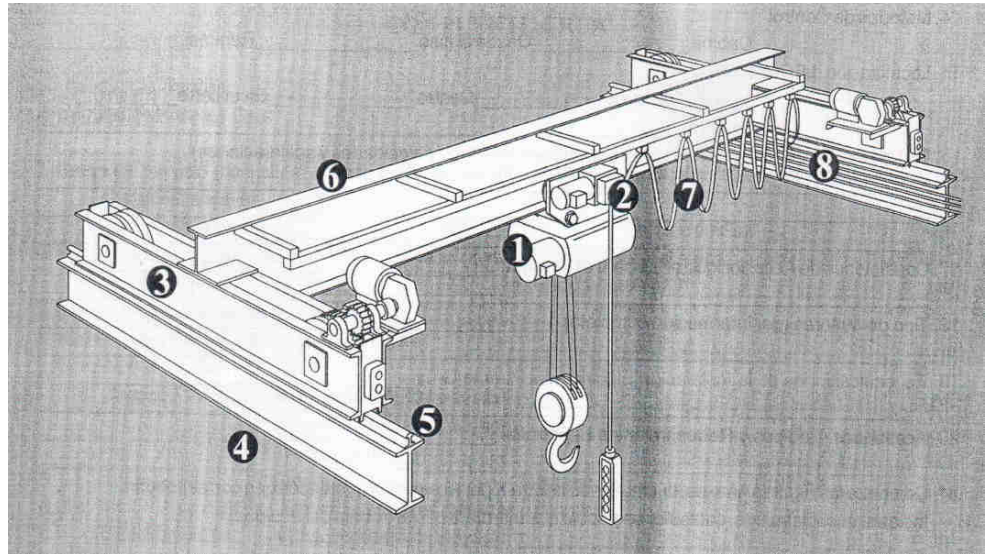
Este Modo Operativo está basado en las Normas ASTM D 1586, el cual describe el procedimiento generalmente conocido como Ensayo de Penetración Normal (Standard Penetration Test - SPT), para hincar un muestreador de tubo partido con el fin de obtener una muestra representativa del suelo y una medida de la resistencia de dicho suelo, a la penetración del muestreador. Puede ser usado en cualquier suelo con bajo

contenido de gravas, pero su mayor confiabilidad está dada para suelos arenosos.

2.1.5 Puente grúa

Un puente grúa, es un tipo de grúa que se utiliza en fábricas e industrias, para izar y desplazar cargas pesadas, permitiendo que se puedan movilizar piezas de gran tamaño en forma horizontal y vertical. Se compone de un par de rieles paralelos ubicados a gran altura sobre los laterales del edificio con un puente metálico desplazable que cubre el espacio entre ellas. El dispositivo de izaje de la grúa, se desplaza junto con el puente sobre el cual se encuentra, a su vez se encuentra alojado sobre otro riel que le permite moverse para ubicarse en posiciones entre los dos rieles principales.

Gráfico 1 Componentes de puente grúa



Fuente: (Arnal 2007)

1. Polipasto que levanta y baja las cargas;
2. El carro desplaza el polipasto a lo ancho de la grúa;
3. El carro de traslación que desplaza toda la estructura del puente-grúa (y por lo tanto el polipasto y el carro) a lo largo de la viga carrilera;
4. Viga carrilera;
5. Riel;
6. Vigas transversales de acero;
7. Electrificación del puente, que proporciona las señales de control a la grúa y transmite la corriente eléctrica al polipasto y al carro del polipasto;
8. La electrificación de la carrilera, que proporciona la energía de la fábrica a la grúa.

A. **Clases de puente grúa** (Crane Manufacturers Service Committee of CMAA 2002)

Según la clasificación de Crane Manufacturers Association of America (CMAA), se describen los siguientes:

CLASE A (SERVICIO DETENIDO O INFRECLENTE)

Esta clase de servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en instalaciones tales como centrales eléctricas, servicios públicos, salas de turbinas, salas de motores y estaciones transformadoras,

donde se requiere de una manipulación precisa del equipo a bajas velocidades con largos períodos de ocio entre los levantes. Las cargas a capacidad pueden ser manipuladas por la instalación inicial del equipo y para el mantenimiento infrecuente.

CLASE B (SERVICIO LIVIANO)

Este servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en talleres de reparación, operaciones de montaje liviano, servicio de edificios, bodegaje liviano, etc., donde los requerimientos de servicio son livianos y la velocidad es lenta. Las cargas pueden variar desde sin carga a cargas nominales totales ocasionales, con dos a cinco levantes por hora, promediando 10 pies por levante.

CLASE C (SERVICIO MODERADO)

Este servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en talleres de tornos o salas de máquinas de molinos de papel, etc., donde los requerimientos de servicio son moderados. En este tipo de servicio la grúa puede manipular cargas que promedien un 50% de la capacidad nominal con 5 a 10 levantes por hora, promediando 15 pies, sin exceder el 50% del levante a capacidad nominal.

CLASE D (SERVICIO PESADO)

Este servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en talleres de máquinas pesadas, fundiciones, plantas de fabricación, bodegas de acero, patios de contenedores, molinos de madera, etc., y operaciones estándares de trabajo con canasta e imán donde se requiere una producción de trabajo pesado. En este tipo de servicio,

las cargas que se aproximan al 50% de la capacidad nominal serán manipuladas en forma constante durante el período de trabajo. Altas velocidades son deseables para este tipo de servicio con 10 a 20 levantes por hora, promediando 15 pies, sin exceder el 65% de los levantes a capacidad nominal.

CLASE E (SERVICIO SEVERO)

Este tipo de servicio requiere de una grúa capaz de manipular cargas que se aproximan a la capacidad nominal a través de toda su vida. Las aplicaciones pueden incluir grúas con imán, canasta o una combinación de imán/canasta, para patios de desechos, molinos de cemento, molinos de madera, plantas fertilizantes, manipulación de contenedores, etc., con veinte o más levantes por hora a o alrededor de la capacidad nominal.

CLASE F (SERVICIO SEVERO CONTINUO)

Este tipo de grúa requiere de una grúa capaz de manipular cargas que se aproximan a la capacidad nominal en forma continua bajo severas condiciones de servicio a lo largo de toda su vida. Las aplicaciones pueden incluir grúas de especialidad diseñadas para el cliente, esenciales para efectuar las tareas de trabajo crítico que afectan la instalación de producción completa. Estas grúas pueden proveer la más alta confiabilidad con atención especial para facilitar las características de mantenimiento.

B. Límites de deflexión

Los límites de deflexión sugeridos por la CMAA son:

L/600: Grúas de servicio liviano y moderado Clases A, B y C

L/800: Grúas de servicio pesado, clase D;

L/1000: Grúas de servicio severo y continuo, clases E y F;

L/400: Deflexión lateral para todas las clases.

2.1.6 Análisis espectral

El Análisis Espectral de Respuesta permite calcular la respuesta máxima probable de la estructura cuando la sollicitación sísmica se representa por un espectro elástico, combinando las respuestas de los diferentes modos por medio de un método de combinación modal y las respuestas en las diferentes direcciones por medio de un método de superposición direccional.

Para la determinación de los datos utilizamos una hoja de cálculo de acuerdo a lo indicado en la norma peruana E 030 Diseño Sismo resistente.

2.1.7 Software Cype

Es una herramienta computacional que se utilizará en este caso específico el Cype 2014 y dentro de ellos, el paquete Nuevo Metal 3D bajo consideraciones de la Norma AISC y el Reglamento Nacional de Edificaciones.

2.2 Métodos de diseño de estructuras metálicas

2.2.1 Método ASD

La resistencia nominal se divide por un factor de seguridad, y la resistencia admisible obtenida debe ser igual o mayor que la resistencia requerida por el diseño, determinada mediante un análisis de la

estructura para las combinaciones de carga apropiadas, específicamente en el código de edificación aplicable.

2.2.2 Método LRFD

La resistencia nominal se multiplica por un factor de resistencia y la resistencia de diseño así obtenida debe ser igual o mayor que la resistencia requerida por el diseño, determinada mediante un análisis de la estructura para las combinaciones de carga LRFD apropiadas, especificadas en el código de edificación aplicable.

2.2.3 Método AISC 360-10

Mantiene el criterio de uso alternativo de los métodos ASD y LRFD incorporado en la versión anterior, sobre la base de Resistencias Nominales de las cuales se deriva las Resistencias admisibles del método ASD y las Resistencias de Diseño del método LRFD.

2.3 Método de análisis propuesto por la Norma Peruana E-090

La norma de diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas E-090 para edificaciones acepta los criterios del método de factores de carga y resistencia (LRFD) y el método por esfuerzos permisibles (ASD).

2.3.1 Cargas.

Las cargas nominales serán las cargas mínimas de diseño establecidas en la Norma peruana E-020. Las cargas consideradas son: Cargas de nieve, cargas debidas al viento, presiones de la tierra para zapatas, carga de granizo, y cargas de impacto.

A. Carga de nieve

Según la norma E 020 Cargas (Ministerio de Vivienda 2006) se debe tomar en cuenta las condiciones geográficas y climáticas de la región donde se ubica la estructura.

El valor de la carga básica de nieve sobre el suelo (Q_s) será de 40 Kg/m² que equivalen a 0.40m de nieve fresca.

Para techos a una o dos aguas con inclinaciones menores o iguales a 15° (pendiente $\leq 27\%$) y para techos curvos con una relación flecha/luz ≤ 0.1 o ángulo vertical menor o igual a 10° (calculado desde el borde hasta el centro) la carga de diseño (Q_t), sobre la proyección horizontal, será:

$$Q_s = Q_t$$

Para techos a una o dos aguas con inclinaciones comprendidas entre 15° y 30° la carga de diseño (Q_t), sobre la proyección horizontal, será:

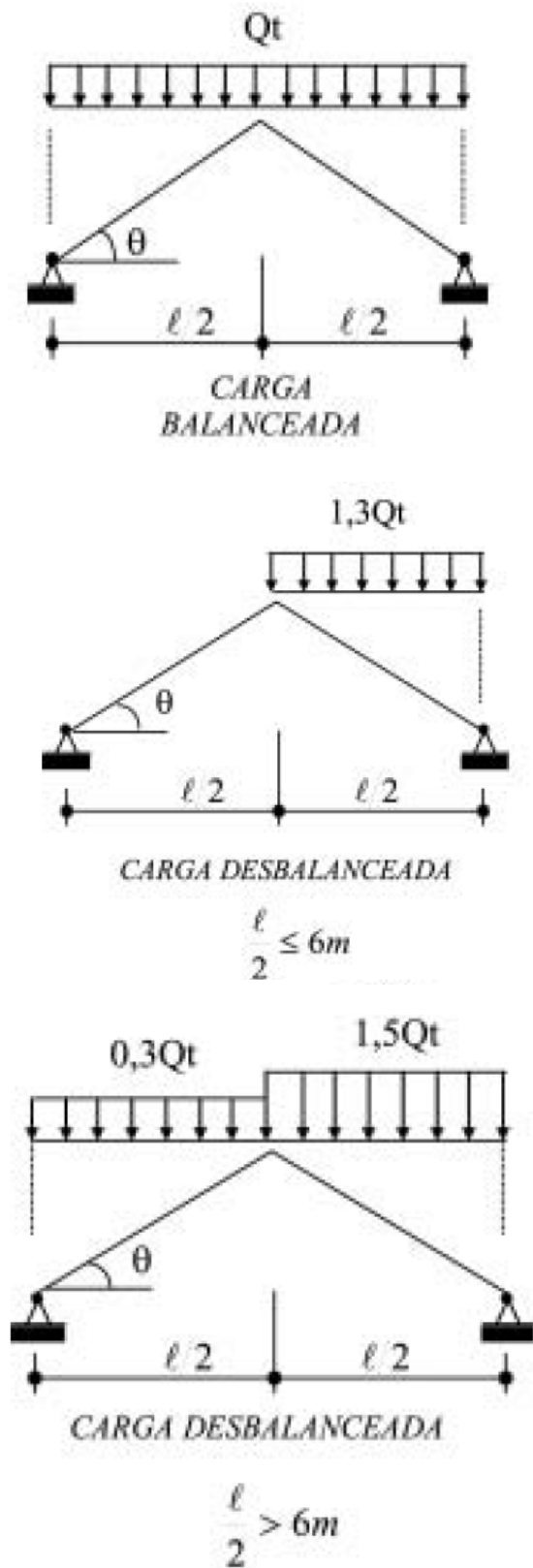
$$Q_s = 0.80Q_t$$

Para techos a una o dos aguas con inclinaciones mayores que 30° la carga de diseño (Q_t), sobre la proyección horizontal, será:

$Q_s = C_s (0.80Q_t)$, donde $C_s = 1 - 0.025(\theta - 30^\circ)$, siendo C_s un factor adimensional.

Para los techos a dos aguas con inclinaciones mayores que 15° deberán investigarse los esfuerzos internos para las condiciones de carga balanceada y desbalanceada como se indica a continuación:

Gráfico 2 Disposición de cargas en techo a dos aguas



Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones E - 020

B. Carga de viento

La ciudad de Juliaca, por su ubicación geográfica en el altiplano soporta elevadas velocidades de viento. Hecha la Consulta de Base de Datos de Emergencias 2003 a la Fecha-SINPAD ((SINPAD), Sistema de Información Nacional para la respuesta y rehabilitación s.f.) en la página web del INDECI, (http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/Estadistica/Frame_Esta_C7.as) , los vientos fuertes han ocasionado daños en viviendas dejándolos inhabitables y afectadas, tal como se puede apreciar en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 1 Emergencias ocurridas en la ciudad de Juliaca por viento y precipitaciones pluviales desde el año 2003 a la fecha

Fecha	Código	Emergencia	Fenómeno	VIVIENDAS COLAPSADAS	VIVIENDAS INHABITABLES	VIVIENDAS AFECTADAS	INSTITUCIONES EDUCATIVAS COLAPSADAS	INSTITUCIONES EDUCATIVAS INHABITABLES	INSTITUCIONES EDUCATIVAS AFECTADAS	ESTABLECIMIENTOS DE SALUD COLAPSADOS	ESTABLECIMIENTOS DE SALUD INHABITABLES	ESTABLECIMIENTOS DE SALUD AFECTADOS	OFICINAS PÚBLICAS DESTRUIDAS	OFICINAS PÚBLICAS AFECTADAS	ESTABLECIMIENTO COMERCIAL AFECTADO	ESTABLECIMIENTO COMERCIAL DAÑADO	LOCALES COMUNALES AFECTADOS	LOCALES COMUNALES DESTRUIDOS	TEMPLOS RELIGIOSOS AFECTADOS	TEMPLOS RELIGIOSOS DESTRUIDO
29/01/2003	169	INUNDACION	INUNDACION	0	0	0	0	0	11	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0
18/03/2003	673	PRECIPITACIONES TIPO GRANIZO Y LLUVIA	PRECIPITACIONES - GRANIZO	4	0	435	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/07/2003	1815	LLUVIAS INTENSAS	PRECIPITACIONES - LLUVIA	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23/10/2003 09:00	2446	VIENTOS FUERTES	VIENTOS FUERTES	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04/02/2004 10:00	3973	FUERTES LLUVIAS	PRECIPITACIONES - LLUVIA	1	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14/04/2005 05:00	10337	COLAPSO DE TECHO POR PRECIPITACIONES LLLUVIA	PRECIPITACIONES - LLUVIA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29/12/2005 08:00	13764	VIENTOS FUERTES ANEXO 3 DE MAYO	VIENTOS FUERTES	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/07/2007 14:50	23174	VIENTOS FUERTES AVDA NESTOR CACERES NRO 274	VIENTOS FUERTES	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05/11/2007 04:00	24078	VIENTOS FUERTE CC GUADALUPE SANTA ADRIANA	VIENTOS FUERTES	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02/04/2008	27358	FUERTES VIENTOS BARRIO SANTA ROSA	VIENTOS FUERTES	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/01/2009	31459	INUNDACION A VIVIENDA	INUNDACION	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28/01/2010	36830	INUNDACION POR LLUVIAS Y GRANIZADAS	INUNDACION	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26/02/2011 05:00	43826	LLUVIAS FUERTES	PRECIPITACIONES - LLUVIA	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20/01/2012 03:40	49276	GRANIZADAS FUERTES	PRECIPITACIONES - GRANIZO	0	88	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
30/11/2014 15:45	67760	VIENTOS FUFERTES AFECTAN A VIVIENDAS EN MUCRA	VIENTOS FUERTES	0	3	36	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FUENTE: http://sinpad.indec.gov.pe/sinpad/Estadistica/Frame_Esta_C7.asp Sistema de Información Nacional para la respuesta y rehabilitación

Los daños producidos según el cuadro anterior, nos hacen ver la importancia que se tiene en el diseño de estructuras. Si bien es cierto que no existen registros de las velocidades del viento en el lugar donde se produjeron los daños, éstas se pueden estimar según la escala de **Beaufort** usando una escala de 0 a 12 con base en claves visuales desarrolladas originalmente en 1806 por Sir Francis Beaufort que desarrolló un sistema de intensidad para determinar en forma precisa la velocidad del viento. Este sistema fue desarrollado por marineros, pero fue modificado por el Servicio Meteorológico Nacional (NWS) (National Weather Service) de los Estados Unidos para que puedan usarlo también en tierra firme.

Cuadro N° 2 Escala de Beaufort para velocidades del viento

Fuerza Beaufort	Velocidad del Viento (Km/h)	Indicadores	Términos Usados en las Predicciones del NWS
0	0-2	Calma; el humo sube verticalmente.	Calma
1	2-5	La dirección se puede apreciar por la dirección del humo, pero no por medio de veletas.	Ventolina
2	6-12	El viento se siente en el rostro, las hojas se mueven ligeramente; las veletas ordinarias se mueven con el viento.	Ligero
3	13-20	Las hojas y las ramas delgadas se mueven constantemente; el viento extiende las banderas ligeras.	Suave
4	21-29	Levanta polvo y papeles sueltos; las ramas pequeñas se mueven.	Moderado
5	30-39	Los árboles pequeños empiezan a balancearse; en los lagos pequeños se observan olas con crestas.	Fresco
6	40-50	Se mueven las ramas grandes; los cables telefónicos silban; es difícil usar sombrillas.	Fuerte
7	51-61	Los árboles enteros se mueven; es incómodo caminar contra el viento.	Muy fuerte
8	62-74	Se rompen las ramas de los árboles; generalmente no se puede avanzar.	Ventarrón
9	75-87	Daños estructurales ligeros.	Ventarrón Fuerte
10	88-101	Pocas veces se siente en tierra firme; los árboles son arrancados de raíz; ocurren daños estructurales considerables.	Temporal
11	102-116	Casi nunca sucede en tierra firme; acompañado de daños graves generalizados.	Borrasca
12	117 o más	Casi nunca sucede; acompañado de devastación.	Huracán

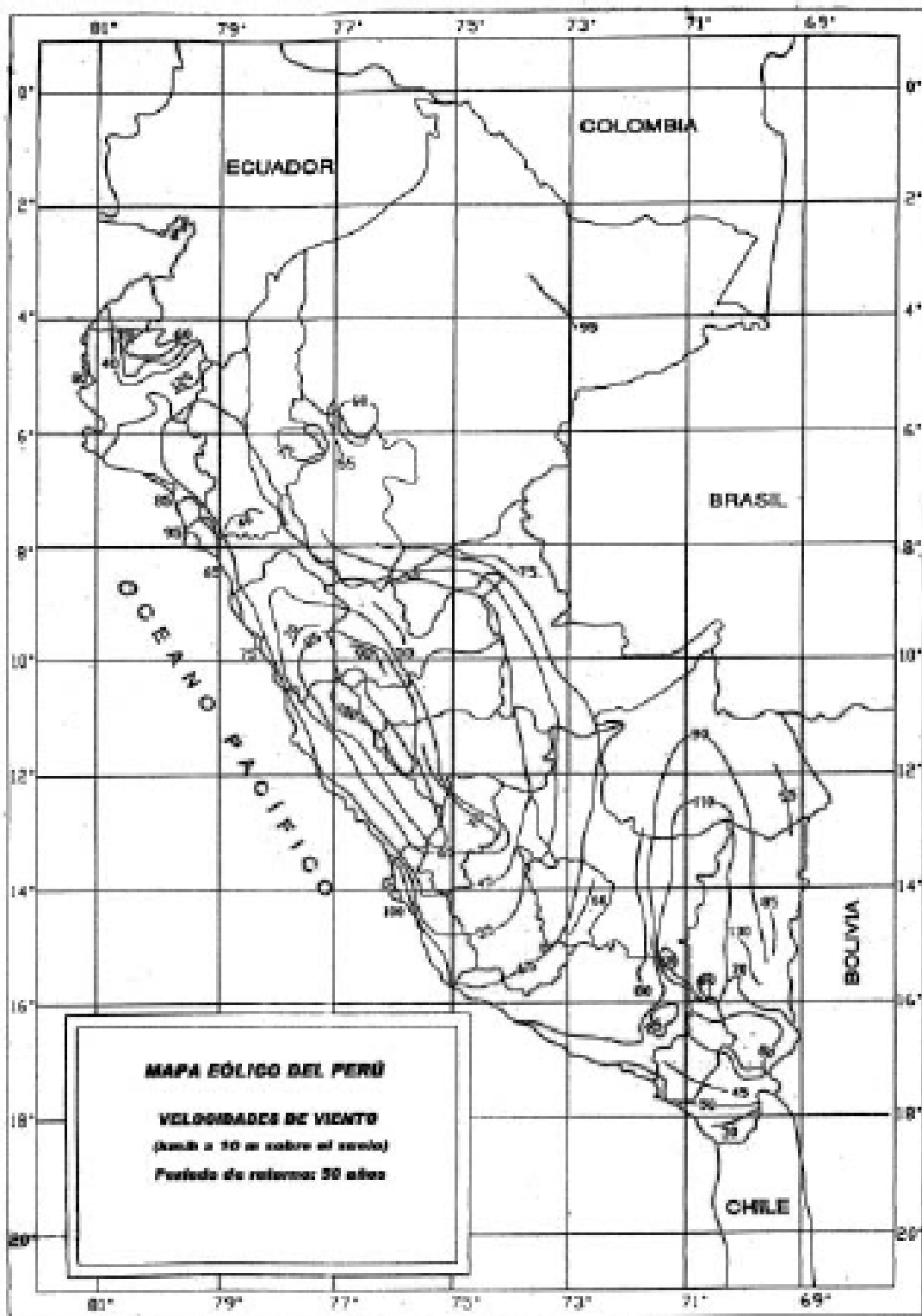
Fuente: (National Weather Service)

Teniendo en cuenta esta escala la velocidad del viento que ocasiona daños en las viviendas estaría entre **75 a 87 Km/h**.

Por otro lado, los registros de SENAMHI en cuanto a la velocidad del viento que se encuentran publicadas en la página web de la institución solo se refieren a velocidades medias y no a las velocidades máximas que se presentan en la ciudad, por lo que tomarlas éstas como valores de diseño nos conducirían a errores.

En la norma E020 Cargas del Reglamento Nacional de Edificaciones se presenta el mapa eólico, el cual indica para la ciudad de Juliaca aproximadamente en **90 Km/h**, lo cual corrobora la validez del uso de la escala de **Beaufort**, por lo cual este valor se considerará en el diseño.

Gráfico 3 Mapa eólico del Perú



Fuente: (Ministerio de Vivienda 2006)

Todas las edificaciones expuestas a la acción del viento deben diseñarse para resistir las cargas (presiones y succiones) exteriores e interiores, suponiendo que actúa en dos direcciones horizontales perpendiculares entre sí.

La velocidad de diseño del viento hasta 10 m de altura será la velocidad máxima adecuada en la zona de la edificación (mapa eólico) pero no menos de 75 Km/h. La velocidad de diseño del viento en cada altura de la edificación se obtendrá de la siguiente expresión.

$$V_h = V(h/10)^{0.22}$$

Dónde:

V_h = velocidad de diseño en la altura h en Km/h

V = velocidad de diseño hasta 10 m de altura en Km/h

h = altura sobre el terreno en metros

La carga exterior (presión o succión) ejercida por el viento se supondrá estática y perpendicular a la superficie sobre la cual actúa. Se calculará mediante la expresión:

$$P_h = 0.005CV_h^2$$

Dónde:

P_h = presión o succión del viento a una altura h en Kg/m²

C = Factor de forma adimensional indicado en la Tabla 01

V_h = Velocidad de diseño a la altura h , en Km/h.

Tabla 1 Factores de Forma (C) en carga de viento (RNE E020, 12.4)

CONSTRUCCION	BARLOVENTO	SOTAVENTO
Superficies verticales de edificios	+0.8	-0.6
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en la dirección del viento	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda 45°	±0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3-0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.7-0.3	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6
Superficies verticales o inclinadas (planas o curvas), paralelas a la dirección del viento	-0.7	-0.7

El signo positivo indica presión y el negativo succión

Para el cálculo de presiones y succiones de la velocidad del viento sobre la estructura, se procede según la Norma E020.

Velocidad de diseño

$$V_h = V(h/10)^{(0.22)}$$

V_h = Velocidad de diseño en la altura h en Km/h

V= Velocidad de diseño hasta 10 m de altura en Km/h

h= Altura sobre el terreno en metros

90.00 km/h

8.00 m

V_h = 86 km/h

Carga Exterior de viento (W)

$$P_h = 0.005C(V_h^2)$$

P_h = Presión o succión del viento a una altura h en Kgf/m²

C= Factor de forma adimensional indicado en la Tabla 4:

0.70 Barlovento

-0.60 Sotavento

V_h = Velocidad de diseño en la altura h en Km/h

86.00 km/h

Carga en cobertura superior

Presión o succión en Barlovento P_h = 25.89 kg/m²

Presión o succión en Sotavento P_h = -22.19 kg/m²

Inclinación de techo

18.00 °

Luz entre viguetas

1.78 m

Carga distribuida perpendicular a la cobertura en barlovento

47 kg/m

Carga sobre la vigueta en dirección horizontal

44.70 kg/m

Carga sobre la vigueta en dirección vertical

14.52 kg/m

Carga distribuida perpendicular a la cobertura en sotavento

-40 kg/m

Carga sobre la vigueta en dirección horizontal

-38.04 kg/m

Carga sobre la vigueta en dirección vertical

-12.36 kg/m

Carga en coberturas laterales

En superficie con dirección perpendicular en dirección al viento:

Factor de forma en Barlovento 0.80
Presión o succión en Barlovento $P_h = 29.58 \text{ kg/m}^2$

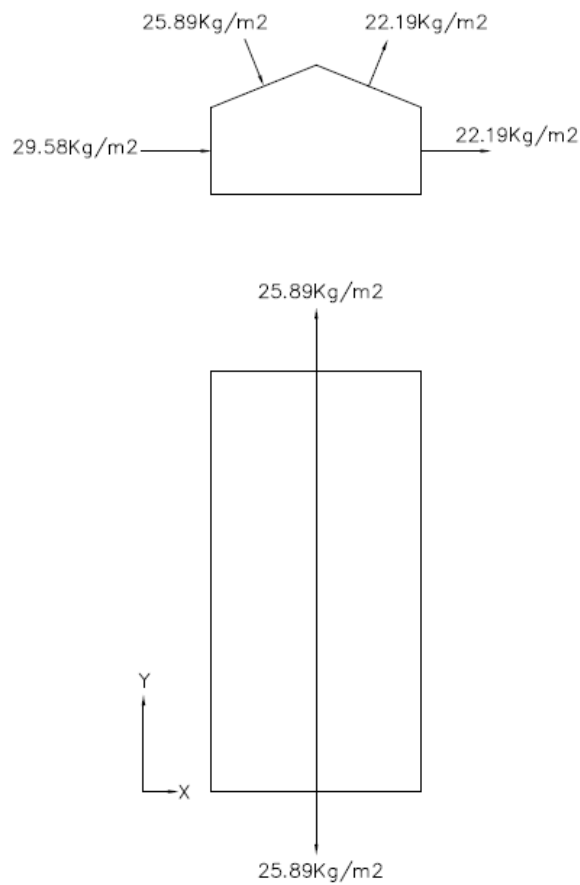
Factor de forma en Sotavento -0.60
Presión o succión en Barlovento $P_h = -22.19 \text{ kg/m}^2$

En superficie con dirección paralela en dirección al viento:

Factor de forma -0.70
Presión o succión en Barlovento $P_h = -25.89 \text{ kg/m}^2$

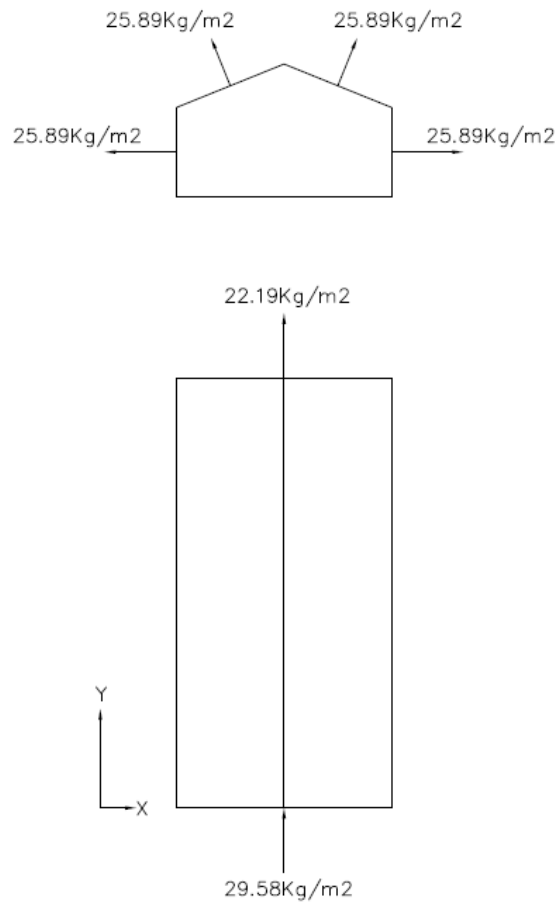
Finalmente, la distribución de cargas de viento queda establecido de la siguiente forma:

Gráfico N° 1 Cargas de viento en la dirección X-X



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 2 Carga de viento en la dirección Y-Y



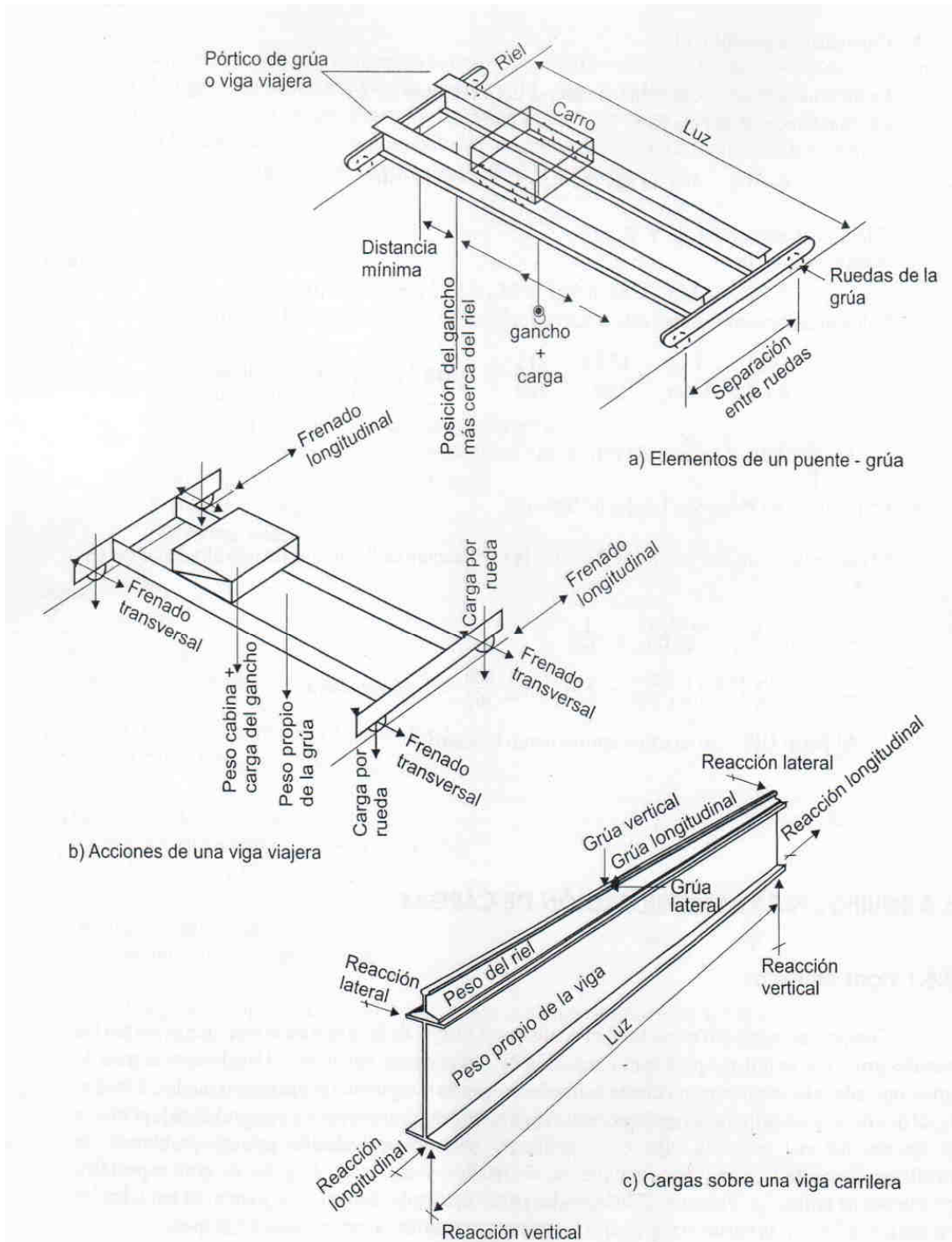
Fuente: Elaboración propia

C. Carga de impacto

Las cargas de impacto para puentes grúa se considera la máxima real sobre rueda cuando la grúa esté izando a capacidad plena. Para tomar el impacto, la carga izada se aumenta en 25% o la carga sobre la rueda se aumenta en 15% o la que produzca mayores condiciones de esfuerzo.

La carga transversal total, debida a la traslación del carro del puente-grúa, será el 20% de la suma de la capacidad de la carga y el peso del carro.

Gráfico N° 3 Acciones a considerar en un puente grúa



Fuente: (Arnal 2007)

2.3.2 Combinaciones de carga.

Las combinaciones de carga que se tienen en cuenta de acuerdo a la Norma E-090, son:

1.4D	(1)
1.2D+1.6L+0.5(Lr ó S ó R)	(2)
1.2D+1.6(Lr ó S ó R)+(0.5L ó 0.8W)	(3)
1.2D+1.3W+0.5L+0.5(Lr ó S ó R)	(4)
1.2D±1.0E+0.5L+0.2S	(5)
0.9D±(1.3W ó 1.0E)	(6)

Donde:

D	Carga Muerta
W	Carga de Viento
S	Carga de Nieve
L	Carga Viva debida al mobiliario y ocupantes
Lr	Carga Viva en azoteas
R	Carga por lluvia o granizo
E	Carga de sismo de acuerdo a la norma E 030

Para la aplicación del método ASD las cargas se combinan con factores igual a 1, la sollicitación sísmica se debe considerar dividida entre 1.4 y no se considerará que el viento y sismo actúan simultáneamente.

2.3.3 Fuerzas horizontales en puente grúa

La fuerza lateral nominal en la vía del puente grúa que se genera por el movimiento del polipasto no debe ser menor al 20% de la suma del peso izado y del peso del polipasto, no debe incluirse el peso de otras partes de la grúa. Esta fuerza se debe aplicar en la parte superior de los rieles actuando en la dirección normal al desplazamiento del puente grúa y debe ser distribuida considerando la rigidez lateral de la estructura que soporta los rieles.

La fuerza longitudinal nominal tendrá un valor mínimo de 10% de las máximas cargas de rueda de la grúa aplicada en la parte alta del riel, a menos que se especifique otra cosa.

CAPITULO III

INGENIERIA DEL PROYECTO

3.1 Estudio de mecánica de suelos

El Estudio de mecánica de suelos, se realizó mediante el ensayo de penetración estándar por las características del suelo.

Imagen 1 Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

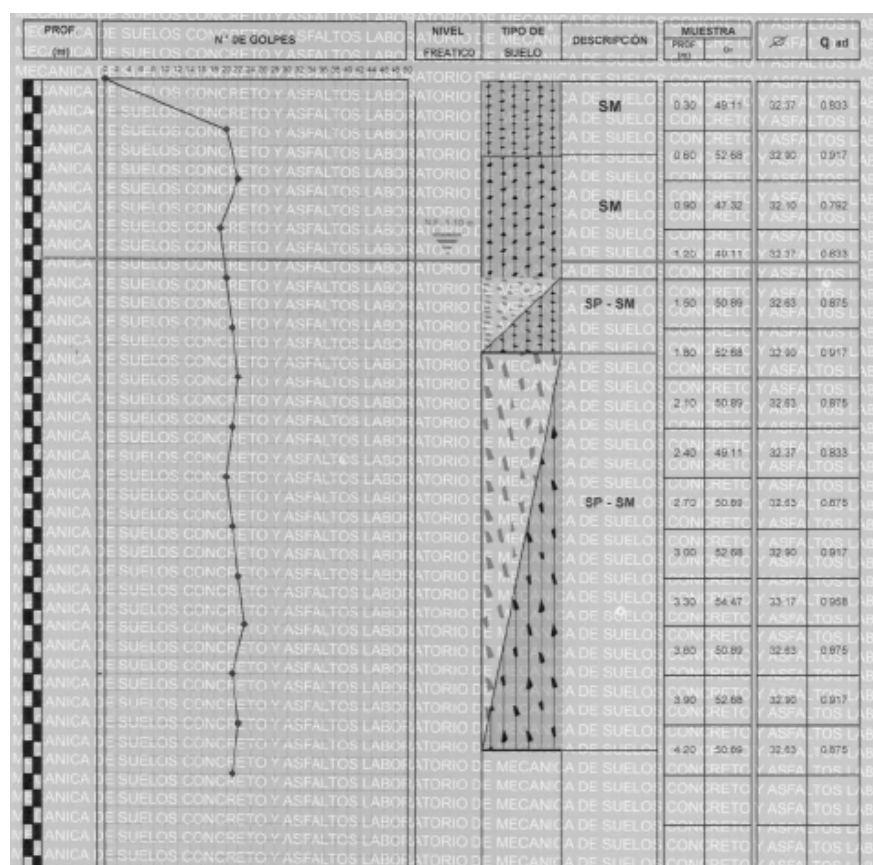


Fuente: Obtención propia

3.1.1 Estratigrafía y clasificación

Se encontró básicamente tres estratos de suelo Arenas limosas hasta una profundidad de 0.45 m, mezcla de arena-limo hasta una profundidad de 1.20 m y a partir de 1.20 m se encuentran arenas pobremente gradadas con poca presencia de finos.

Imagen 2 Perfil estratigráfico del suelo



Fuente: Resultados ensayo SPT

Imagen 3 Muestra del primer estrato



Fuente: Obtención propia

Imagen 4 Muestra del segundo estrato



Fuente: Obtención propia

Imagen 5 Muestra del tercer estrato



Fuente: Obtención propia

Imagen 6 Muestra del cuarto estrato

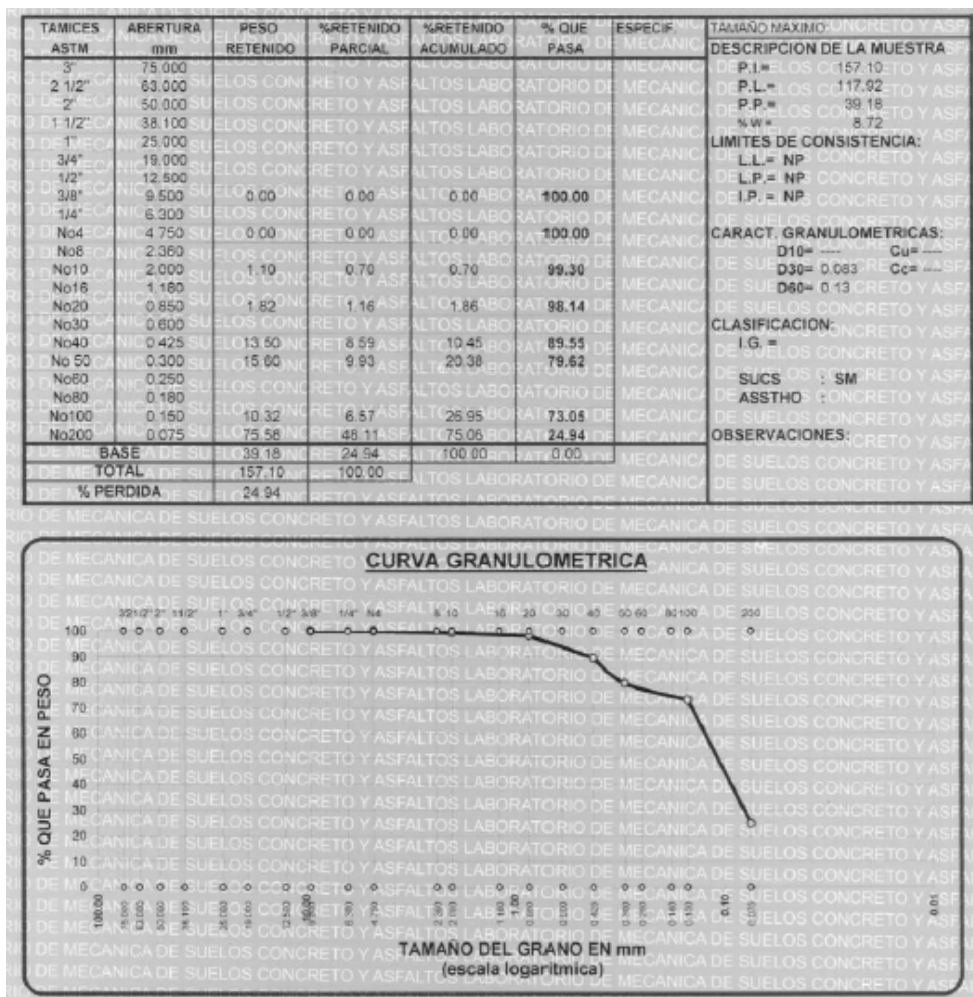


Fuente: Obtención propia

3.1.2 Análisis granulométrico

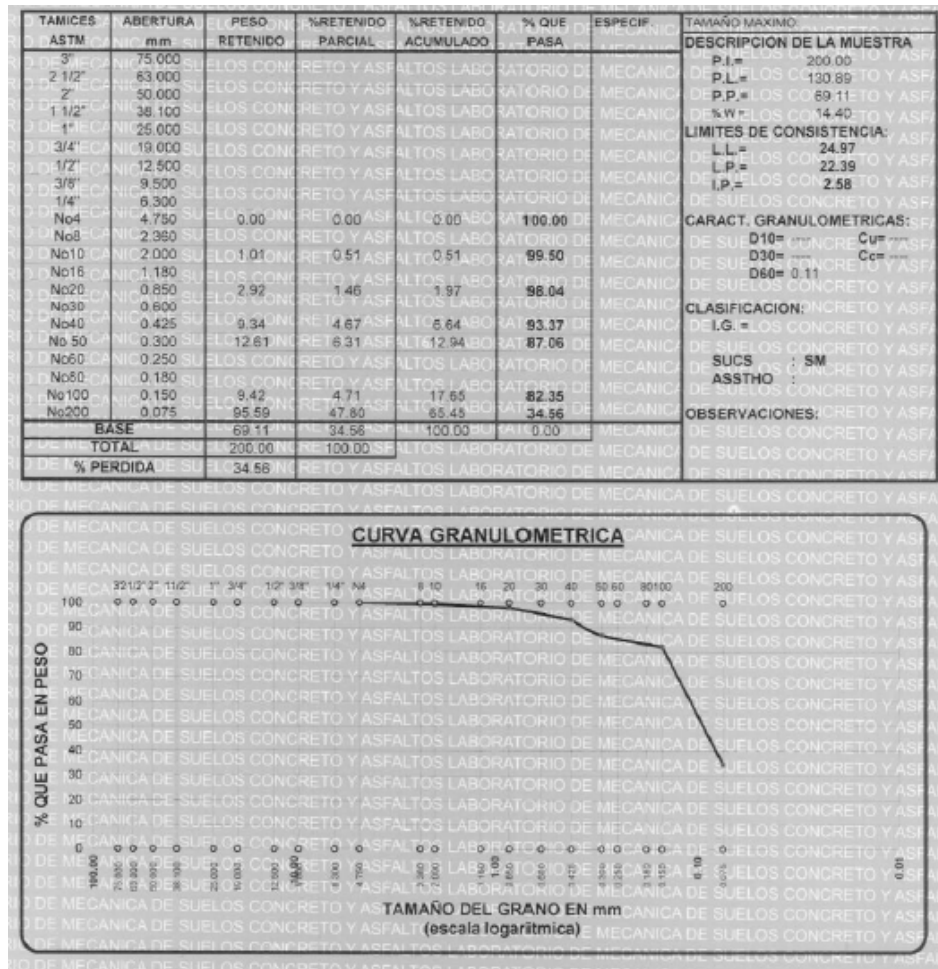
El análisis granulométrico se realizó para los cuatro estratos diferenciados según clasificación SUCS, los resultados que se muestran para los cuatro estratos son los siguientes:

Imagen 7 Curva de distribución granulométrica del estrato 1:-0.45



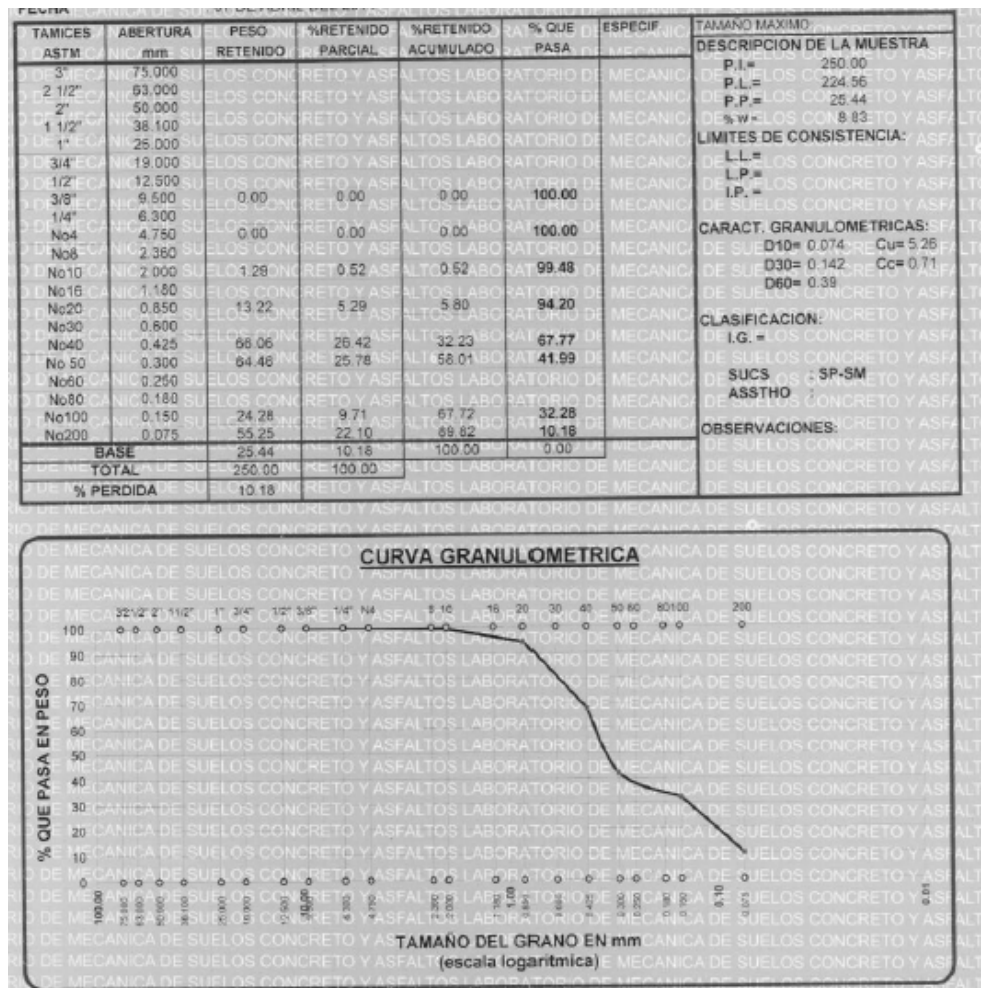
Fuente: Resultados de ensayo SPT

Imagen 8. Curva granulométrica del estrato 0.45-1.20m



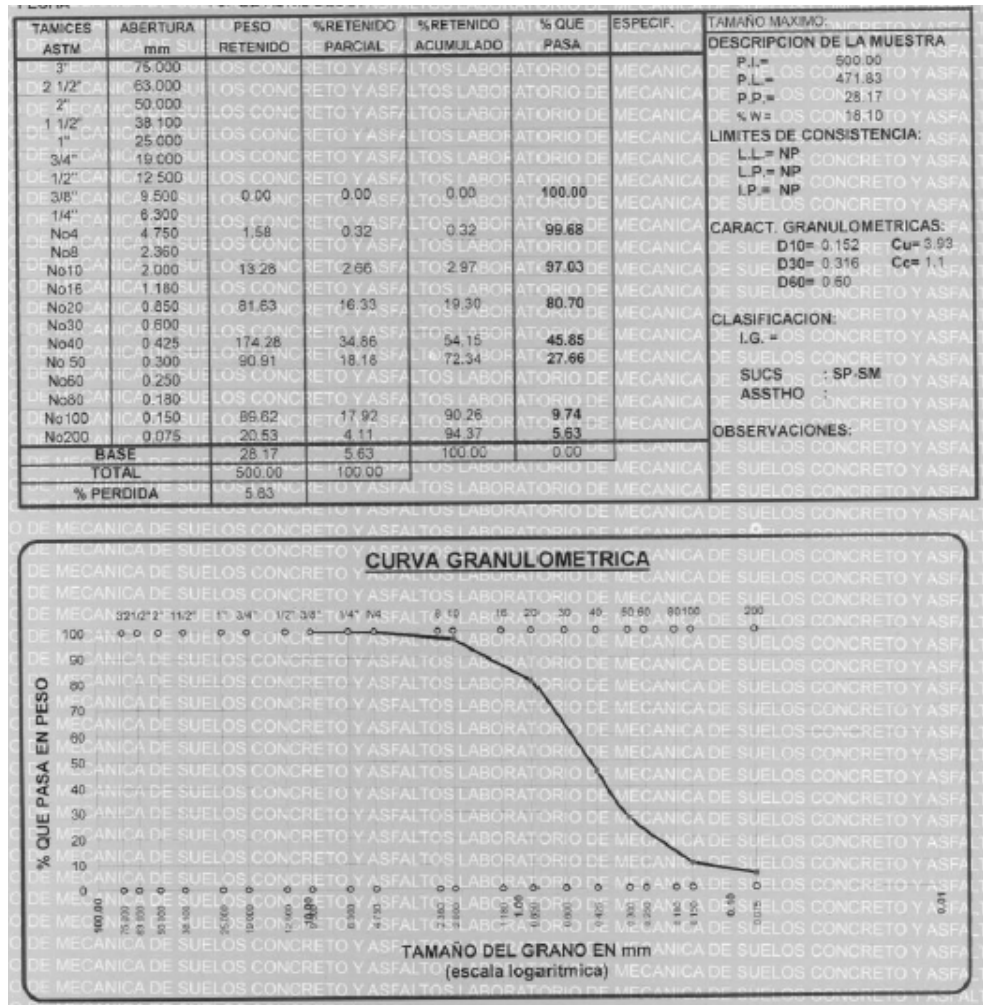
Fuente: Resultados de ensayo SPT

Imagen 9. Curva granulométrica del estrato 1.20-1.65m



Fuente: Resultados de ensayo SPT

Imagen 10. Curva granulométrica del estrato 1.65-4.05m



Fuente: Resultados de ensayo SPT

3.1.3 Características físicas

El suelo básicamente está constituido por arena fina en sus diferentes estratos, con un ángulo de fricción de 32° y 33°, sin presencia de finos a partir de -1.20m de la superficie.

3.1.4 Conclusiones y recomendaciones

La Capacidad portante calculada es de 0.875 Kg/cm^2 en la base de la zapata (-1.50m). Este valor se mantiene hasta una profundidad de 4.20m y podemos afirmar que el valor calculado es característico de la zona de estudio.

3.2 Determinación de las cargas mínimas de diseño

3.2.1 Cargas por peso propio

Las cargas por peso propio, en este caso, están dados en forma automática por el programa al considerar las dimensiones geométricas de todos los elementos. Los pesos de los perfiles están dado en las tablas de diseño AISC versión 14.

3.2.2 Carga de viento

Para el cálculo de la carga de viento consideramos en ambas direcciones consideramos la velocidad considerada en el mapa eólico, tal como se comentó en el marco teórico, en este caso es de 90 Km/h, para la zona de estudio (Ministerio de Vivienda 2006).

3.2.3 Carga de nieve

La carga de nieve, en este caso así como se comentó en el marco teórico se considera 40 Kg/m^2 .

3.2.4 Carga de sismo

Se emplea el análisis modal espectral según la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente actualización 2016.

DETERMINACIÓN DEL ESPECTRO DE PSEUDO-ACELERACIONES-RNE
E030 2016

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

REGION: PUNO
PROVINCIA: SAN ROMÁN
DISTRITO: JULIACA

Parámetros de Cálculo

FACTOR DE ZONA "Z"

Zona	Factor de Zona "Z"
3	0.35

CATEGORIA DE EDIFICACION "U"

Categoría	Importancia	Factor "U"
C	Edificaciones Comunes	1.00

SISTEMA ESTRUCTURAL

Sistema Estructural	Coficiente básico de Reducción "R ₀ "
Pórticos de Acero intermedios resistentes a momento (IMF)	7

IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN ALTURA I_a

Tipo	Factor I_a
Estructura regular	1.00

IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN PLANTA I_p

Tipo	Factor I_p
Estructura regular	1.00

PARAMETROS DEL SUELO "S"

Tipo de suelo	Zona	Factor "S"
S2	3	1.15

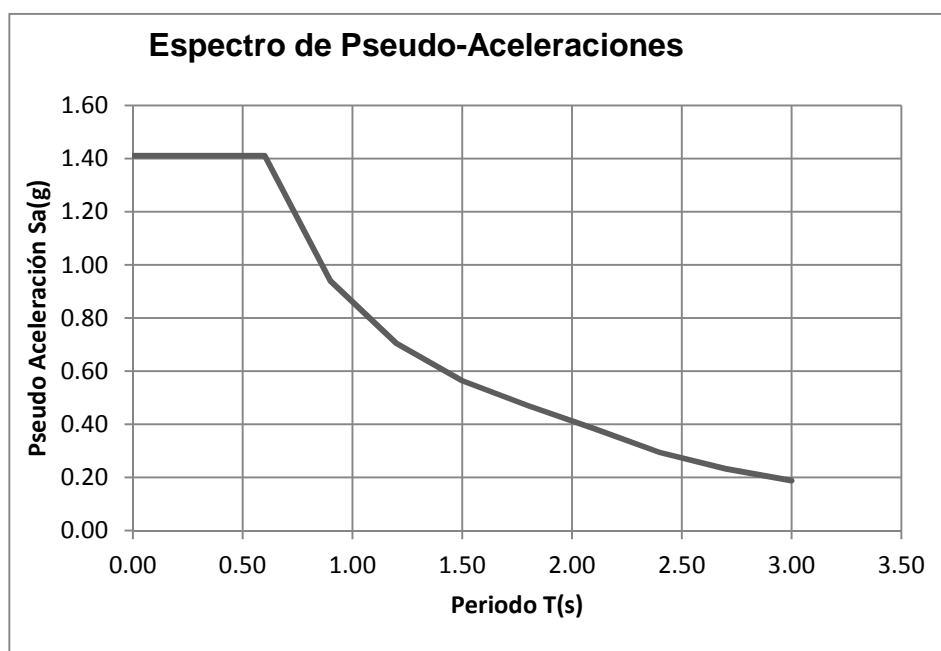
T_p	0.60
T_L	2.00

Gravedad "g" (m/s²) 9.81

Tabla 2 Aceleración espectral y periodo

Factor de Amplificación Sísmica "C"	Periodo "T"	Aceleración Espectral "Sa"
2.50	0.00	1.41
2.50	0.30	1.41
2.50	0.60	1.41
1.67	0.90	0.94
1.25	1.20	0.71
1.00	1.50	0.56
0.83	1.80	0.47
0.68	2.10	0.38
0.52	2.40	0.29
0.41	2.70	0.23
0.33	3.00	0.19

Fuente: Elaboración propia



Cuadro 1 Modos de vibración y desplazamientos

Modo	T	L _x	L _y	M _x	M _y	Hipótesis X(1)	Hipótesis Y(1)
Modo 1	0.777	0.0269	0.9996	0.06 %	86.87 %	R = 8 A = 0.854 m/s ² D = 13.0379 mm	R = 8 A = 0.854 m/s ² D = 13.0379 mm
Modo 2	0.644	0.9996	0.0292	25.18 %	0.02 %	R = 8 A = 1.029 m/s ² D = 10.8068 mm	R = 8 A = 1.029 m/s ² D = 10.8068 mm

Modo	T	L _x	L _y	M _x	M _y	Hipótesis X(1)	Hipótesis Y(1)
Modo 3	0.630	0.6436	0.7654	0.91 %	1.25 %	R = 8 A = 1.053 m/s ² D = 10.5826 mm	R = 8 A = 1.053 m/s ² D = 10.5826 mm
Modo 4	0.529	0.9893	0.1462	17.82 %	0.38 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 7.83571 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 7.83571 mm
Modo 5	0.525	0.3663	0.9305	0.29 %	1.81 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 7.69332 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 7.69332 mm
Modo 6	0.424	0.9882	0.153	27.07 %	0.63 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 5.03418 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 5.03418 mm
Modo 7	0.379	1	0.0098	1 %	0 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 4.01207 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 4.01207 mm
Modo 8	0.374	0.9978	0.0659	3.58 %	0.02 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 3.91544 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 3.91544 mm
Modo 9	0.355	0.9994	0.0341	2.43 %	0 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 3.52806 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 3.52806 mm
Modo 10	0.347	0.8579	0.5138	2.57 %	0.9 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 3.36519 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 3.36519 mm
Modo 11	0.325	0.9474	0.32	0.12 %	0.01 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 2.94589 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 2.94589 mm
Modo 12	0.290	0.1267	0.9919	0.05 %	3.25 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 2.35124 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 2.35124 mm
Modo 13	0.256	0.3636	0.9315	0.24 %	1.53 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 1.83884 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 1.83884 mm
Modo 14	0.211	0.9983	0.0591	0.01 %	0 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 1.24746 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 1.24746 mm
Modo 15	0.209	0.0602	0.9982	0 %	0.29 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 1.21959 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 1.21959 mm
Modo 16	0.205	0.0754	0.9972	0 %	0.26 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 1.17909 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 1.17909 mm
Modo 17	0.200	0.9997	0.0237	0.91 %	0 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 1.12103 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 1.12103 mm
Modo 18	0.194	0.2755	0.9613	0.08 %	0.91 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 1.05197 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 1.05197 mm
Modo 19	0.177	0.9999	0.0107	11.33 %	0 %	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 0.87152 mm	R = 8 A = 1.104 m/s ² D = 0.87152 mm
Total				93.65 %	98.13 %		

T: Periodo de vibración en segundos.

L_x, L_y: Coeficientes de participación normalizados en cada dirección del análisis.

M_x, M_y: Porcentaje de masa desplazada por cada modo en cada dirección del análisis.

R: Relación entre la aceleración de cálculo usando la ductilidad asignada a la estructura y la aceleración de cálculo obtenida sin ductilidad.

A: Aceleración de cálculo, incluyendo la ductilidad.

D: Coeficiente del modo. Equivale al desplazamiento máximo del grado de libertad dinámico.

3.3 Análisis y diseño estructural de puente grúa

3.3.1 Elección de polipasto (HARRINGTON s.f.)

La elección del polipasto lo realizamos de acuerdo a la capacidad de elevación del mismo. En nuestro caso, el polipasto seleccionado es del tipo eléctrico de velocidad doble con trole de velocidad doble:

Peso neto : 199 Kg

Sistema de elevación:

Capacidad : 5,000 Kg

Número de ramales : 2

Dimensiones de la cadena : 11.2x2

Velocidad de elevación principal : 3.4/0.6 m/min

Potencia : 3.5 Kw

Corriente : Trifásica 60 Hz, 220V 17.3A.

Sistema de traslación:

Velocidad de traslación : 24.4/4.0 m/min

Potencia : 0.75 Kw

Corriente : Trifásica 60 Hz, 220V 5.4A.

Tabla 3 Especificaciones de polipastos

POLIPASTO DE VELOCIDAD DOBLE CON TROLE DE VELOCIDAD DOBLE – ESPECIFICACIONES																						
Cap. (Tons)	Código de producto	Elev. est. (m)	Cable de la botonera L (m)	Velocidad de elevación (m/min)	Velocidad transversal (m/min)	Motor de elevación* trifásico 60 Hz				Motor de tracción* trifásico 60 Hz				Ajuste del ancho de pestaña B (mm)		Radio mínimo permitido para curva (mm)	Diámetro de cadena de carga (mm) x Líneas de caída de cadena	Peso neto (kg)		Peso para un metro adicional de elevación (kg)		
						Rendimiento (kW)	Corriente nominal (amps)		Rendimiento (kW)	Corriente nominal (amps)		Estándar	Opcional	NER	ER							
							@208 – 230 V	@460 V		@208 – 230 V	@460 V											
1/8	(N)ERM001HD-SD	3.0	2.5	16.8/2.7	24.4/4.0	0.56	3.6	1.8	0.4	3.4	1.7	58 a 127	128 a 153 Ø 154 a 305	800**	4.3 x 1	59	61	0.42				
1/4	(N)ERM003SD-SD			11.0/1.8		0.56	3.6	1.8	0.4	3.4	1.7				4.3 x 1	59	61	0.42				
1/4	(N)ERM003HD-SD			16.2/2.7		0.9	5.1	2.7	0.4	3.4	1.7				6.0 x 1	68	70	0.81				
1/2	(N)ERM005LD-SD			4.6/0.8		0.56	3.6	1.8	0.4	3.4	1.7				6.0 x 1	64	68	0.81				
1/2	(N)ERM005SD-SD			8.8/1.5		0.9	5.1	2.7	0.4	3.4	1.7				6.0 x 1	68	70	0.81				
1	(N)ERM010LD-SD			4.3/0.7		0.9	5.1	2.7	0.4	3.4	1.7				7.7 x 1	77	81	1.33				
1	(N)ERM010SD-SD			8.5/1.4		1.8	9.1	4.5	0.4	3.4	1.7				7.7 x 1	84	85	1.33				
1 1/2	(N)ERM015SD-SD			5.5/0.9		1.8	9.1	4.5	0.4	3.4	1.7				62 a 153	154 a 178 Ø 179 a 305	800†	10.2 x 1	111	118	2.3	
2	(N)ERM020CD-SD			2.1/0.3		0.9	5.1	2.7	0.4	3.4	1.7							7.7 x 2	97	101	2.7	
2	(N)ERM020LD-SD			4.3/0.7		1.8	9.1	4.5	0.4	3.4	1.7							10.2 x 1	112	119	2.3	
2	(N)ERM020SD-SD			8.5/1.4		3.5	17.3	8.3	0.4	3.4	1.7							10.2 x 1	129	132	2.3	
2 1/2	(N)ERM025SD-SD			6.7/1.1		3.5	17.3	8.3	0.4	3.4	1.7							11.2 x 1	150	156	2.8	
3	(N)ERM030LD-SD*			5.0/1.7		24.0/6.0	3.5/1.2	19.6/9.4	9.8/4.7	0.6/0.1	3.6/3.1				1.8/1.6	1000	179 a 193 Ø 194 a 305	1800	12.5 x 1	167	187	3.4
3	(N)ERM030CD-SD			5.2/0.9		3.5	17.3	8.3	0.4	3.4	1.7				10.2 x 2				154	159	4.7	
5	(N)ERM050LD-SD			3.4/0.6		24.4/4.0	3.5	17.3	8.3	0.75	5.4				2.4				100 a 178	11.2 x 2	199	205

Fuente: (HARRINGTON s.f.)

Gráfico N° 4 Especificaciones de dimensiones de polipasto y carro eléctrico

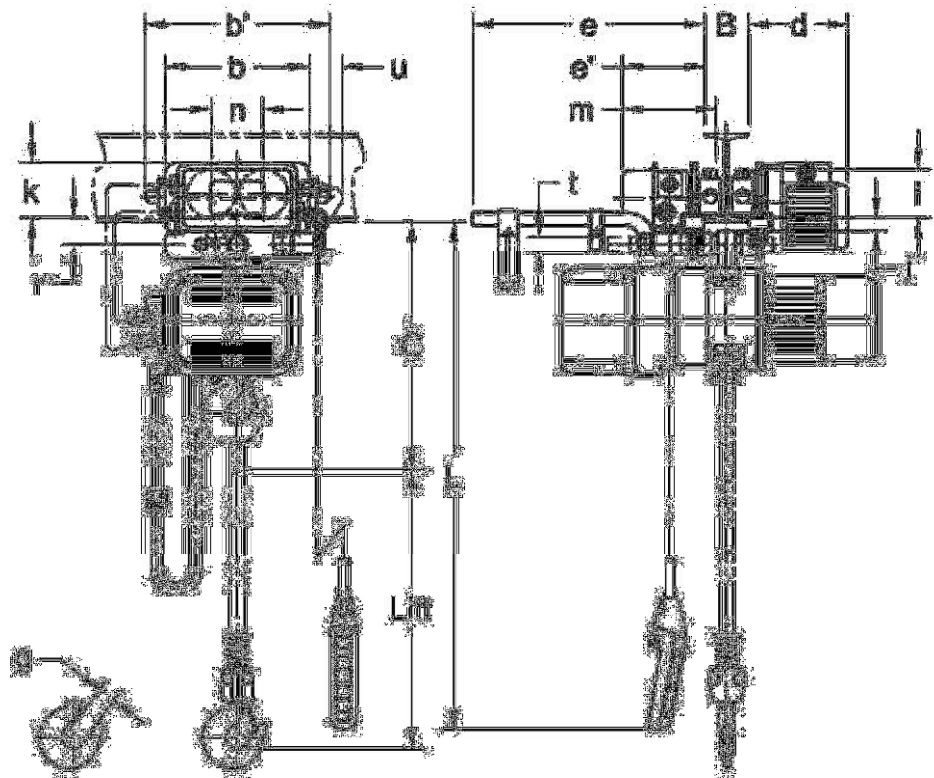


Tabla 4 Dimensiones de polipastos

POLIPASTO DE VELOCIDAD DOBLE CON TROLE DE VELOCIDAD DOBLE – DIMENSIONES																
Cap. (Tons)	Código de producto	Altura C (mm)	b (mm)	b' (mm)	d (mm)	e (mm)	e' (mm)	g (mm)	i (mm)	j (mm)	k (mm)	m (mm)	n (mm)	r (mm)	t (mm)	u (mm)
1/8	(N)ERM001HD-SD	375	315	397	220	515	179	27	95	22	130	205	109	51	31	83
1/4	(N)ERM003SD-SD	375	315	397	220	515	179	27	95	22	130	205	109	51	31	83
1/4	(N)ERM003HD-SD	395	315	397	220	515	179	27	95	22	130	205	109	51	31	83
1/2	(N)ERM005LD-SD	395	315	397	220	515	179	27	95	22	130	205	109	51	31	83
1/2	(N)ERM005SD-SD	395	315	397	220	515	179	27	95	22	130	205	109	51	31	83
1	(N)ERM010LD-SD	435	315	397	220	515	179	31	95	22	130	205	109	51	31	83
1	(N)ERM010SD-SD	435	315	397	220	515	179	31	95	22	130	205	109	51	31	83
1 1/2	(N)ERM015SD-SD	505	325	417	225	520	185	35	110	27	125	212	118	60	36	76
2	(N)ERM020CD-SD	690	325	417	225	520	185	37	110	27	125	212	118	60	36	76
2	(N)ERM020LD-SD	570	325	417	225	520	185	40	110	27	125	212	118	60	36	76
2	(N)ERM020SD-SD	585	325	417	225	520	185	40	110	27	125	212	118	60	36	76
2 1/2	(N)ERM025SD-SD	620	340	442	226	521	186	40	125	29	131	215	132	68	43	70
3	(N)ERM030LD-SD*	710	340	442	274	521	185	44	125	29	131	215	132	68	43	69
3	(N)ERM030CD-SD	835	340	442	226	521	186	45	125	29	131	215	132	68	43	70
5	(N)ERM050LD-SD	840	400	502	281	528	192	47	140	44	145	233	150	86	54	56

Fuente: (HARRINGTON s.f.)

3.3.2 Análisis y diseño de viga puente

Para el análisis y diseño de viga carrilera se toma en cuenta la norma peruana E-020 (Ministerio de Vivienda 2006), con las siguientes consideraciones:

Para la carga de impacto vertical debido a que el polipasto es de accionamiento eléctrico se incrementará en un 25%.

La carga transversal total, debida a la traslación del puente grúa, será el 20% de las sumas de las capacidades de carga y el peso del carro.

La carga longitudinal debida a la traslación de la grúa será el 10% de la reacción total máxima, sin incluir el impacto, aplicado en la parte superior del riel actuando en ambos sentidos paralelamente a la vía de la rodadura.

La deflexión del puente grúa permisible vertical a considerar será de $L/600$ y la deflexión horizontal de $L/400$.

Se consideran vigas metálicas de ala ancha "W" americanas de 50 Ksi de límite de fluencia.

Las cargas vivas a considerar son:

Capacidad de carga: 5000 Kg;

Peso del polipasto y el carro: 200 Kg.

Total carga vertical (CV): 5,200 Kg (sin impacto)

Carga vertical con impacto: $5,200 \times 1.25 = 6,500$ Kg (25% adicional) (Ministerio de Vivienda 2006)

Carga transversal (CT): $0.20 \times 5,200 = 1,040$ Kg (20% de la suma de la capacidad de carga y el peso del tecele).

La viga polipasto se analizó con dos posiciones de cargas: una para obtener los momentos máximos y deflexión máxima en el centro de la luz y otro caso para obtener la máxima reacción cuando la carga se encuentra muy cercano al apoyo, en este caso se consideró a 0.20 m del apoyo.

Gráfico N° 5 Reacciones en la viga polipasto con cargas en posición central sin impacto

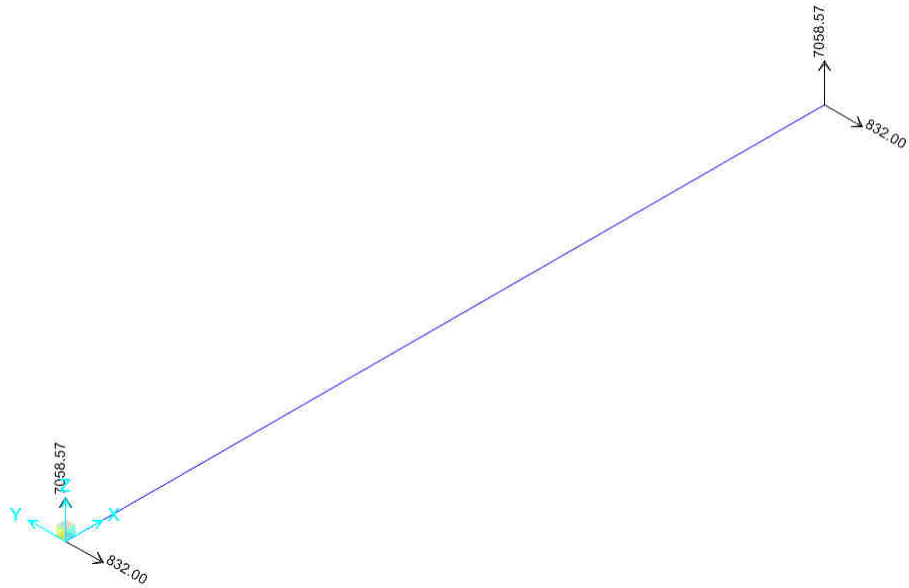


Gráfico N° 6 Reacciones en la viga polipasto considerando el impacto

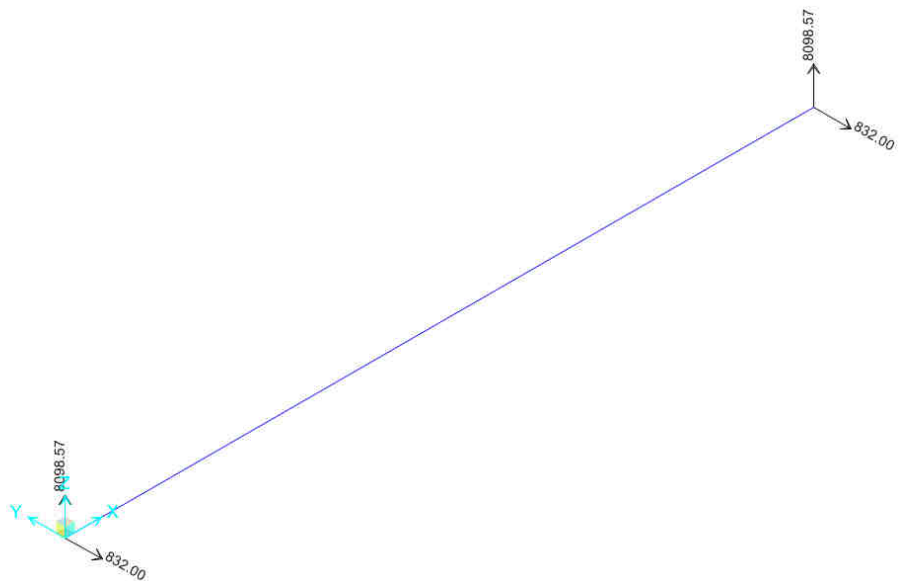
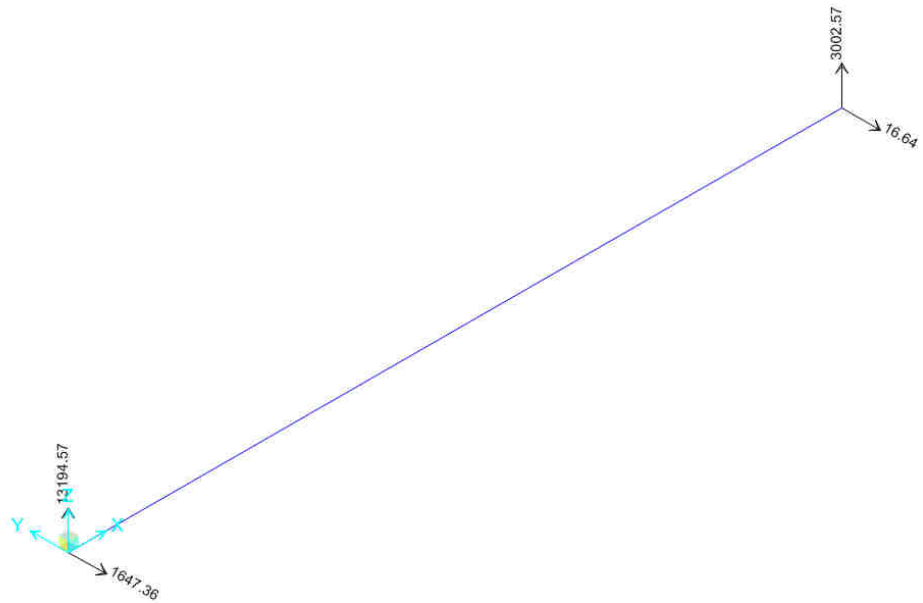


Gráfico N° 7 Reacciones en la viga polipasto con carga en el extremo considerando el impacto



Utilizamos la hoja de cálculo publicado por AISC Steel Tools para la comprobación de la viga, teniendo en cuenta que para el pre dimensionamiento del peralte de la viga se tomará en cuenta la relación $L/40$ ($20/40=0.50\text{m}\approx 20''$ ó $24''$) (Arcelor Mittal 2008, 1-21), ajustando los espesores según los ratios que arrojan en la hoja de cálculo hasta obtener resultados óptimos.

CRANE BEAM DESIGN

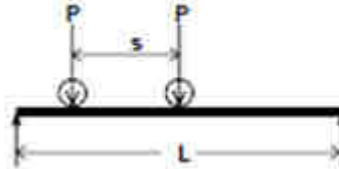
An Educational Tool to aid In Crane Runway Beam Design In accordance with AISC ASD and AISC LRFD.
(Ref: AISC Steel Design Guide Series - Design Guide 7 "Industrial Buildings")

Project Name: Crane Beam Example
 Project Description: Example 18.1.2 LRFD
 Company: UAP
 Designed By: Sergio R. Barrios Cruz Date: 03/17/2017

SINGLE CRANE WITH TWO WHEELS PER ENDRUCK

Crane Data

Crane Capacity		5.0	Tons
Bridge Weight	Wt. b	0.0	kips
Trolley + Hoist Weight	Wt. t+h	0.4	kips
Max. Wheel Load	P	3.0	kips
Wheel Spacing	s	0.49	ft.
Vertical Impact		25	% (Input 25% for cab-operated cranes, 10% for pendant operated cranes)



Crane Runway

Runway Span Length L = ft. Crane Rail Weight = lb/ft

Runway Deflection Criteria

Vertical Deflection * L / 1.31 in. Ix req'd = 1602 in.⁴
 Horizontal Deflection L / 1.97 in. Iy req'd = 185.9 in.⁴

* Does NOT include Vertical Impact or Girder and Rail Weight.

Crane Runway Design

AISC Design Procedure

	ASD	LRFD
Dead	1.00	1.20
Live/Crane	1.00	1.60

See Section 13 for recommended values

Forces

Max. Vertical Load P_v = 6.00 kips / wheel (includes impact)
 Max. Horizontal Load P_h** = 0.84 kips / wheel / side

** Total Horizontal Force is 20% of the sum of weights of the lifted load and crane trolley, exclusive of other parts of crane.

Bending Moment M_x = 289.58 kip-ft. (includes impact and girder and rail weight)
 Bending Moment M_y = 27.19 kip-ft.
 Shear V_x = 17.70 kips

Crane Runway Beam

Crane Beam Type ***

W

*** W indicates W Shape and WC indicates W Shape + Cap Channel

Crane Beam Designation

AISC 14th Edition Member Properties

Beam Weight Wt. = 146.0 lb/ft
 Yield Stress F_y = ksi

Deflection Checks

Vertical - Moment of Inertia X-X I_x = 4580 in.⁴ o.k.
 Horizontal - Top Flange Moment of Inertia Y-Y I_{y top} = 185 in.⁴ o.k.

Summary Stress Checks

Check Bending about the X-X Axis CSR = 0.687 o.k.
 Check Bending about the Y-Y Axis in the top flange CSR = 0.160 o.k.
 Check Biaxial Bending in the top flange CSR = 0.847 o.k.
 Check Shear about the X-X Axis CSR = 0.037 o.k.
 Check Web Sidesway Buckling CSR = 0.177 o.k.

Entonces, según este cálculo seleccionamos la viga W24X146.

Para el cálculo de la viga carrilera puente utilizamos la misma hoja de cálculo, pero esta vez considerando el riel que va encima de la viga W y que sirve para el desplazamiento de la viga testera. Los parámetros a considerar son:

El diámetro de las ruedas de las testeras se determina en función de la capacidad de carga considerando el peso de la viga del puente, la carga de diseño y el peso de la testera, de la siguiente forma:

Peso de la viga polipasto (W24X146)	4831 Kg	10.7 Kips
Peso de la viga testera incluido el motor	406 Kg	02 testeras
Peso del carro y el polipasto electrico	187 Kg	0.4 Kips
Peso propio	5424 Kg	
Carga viva	5000 Kg	
Peso del testero por rueda	102 Kg	

Teniendo en cuenta que la luz libre de columna a columna es de 5.0m (<36ft), de acuerdo al tipo de servicio de la grúa (Clase C) y al catálogo de Testeras Yale seleccionamos un riel ASCE de 25 Lb/yd. (Columbus McKinnon Corporation s.f.)

Tabla 5 Selección de Riel para viga carrilera

SINGLE GIRDER TOP RUNNING END TRUCKS																
ACTUAL WHEEL LOAD CHART																
<ul style="list-style-type: none"> The truck frame is manufactured from a single piece of ASTM A500 rectangular tube for maximum strength and minimum width. All trucks are provided with bolt on rail sweeps for ease of serviceability and cylindrical rubber bumpers mounted as standard. All wheels are flat tread design. Cast iron wheels are hardened to 300 - 350 BHN. Bronze wheels are 225 BHN. Wheels are suitable for operation on ASCE rail as standard. For square bar applications using 160 mm, 200 mm or 260 mm end trucks, please contact factory for pricing. 115 mm end trucks are not suitable for operation on square bar. Wheel bearings provide a minimum of 5,000 hours of L-10 bearing life for Class C service and 10,000 hours of L-10 life for Class D service. Maximum wheel load and bearing life are determined in accordance with CMAA Specification No. 74. 																
CAST IRON WHEELS (ACTUAL)																
For Spans thru (ft.-in.)	Catalog Number	Wheel Diameter mm (in.)	Wheel Base (ft.-in.)	HP Each Motor	Weight with Gearmotors (lbs.)	Max. Allowable ACTUAL Wheel Loads (lbs.) ^P										
						25#		30#		40#		60#		80#		
						100 fpm		100 fpm		100 fpm		100 fpm		100 fpm		
						Class C	Class D	Class C	Class D	Class C	Class D	Class C	Class D	Class C	Class D	
36-0	115TS040D*07	115 (4.5)	4-6	0.75	448	7100	6300	7500	6600	8400	6600					
50-0	115TS040H*07		6-3		529	6800	6100	7300	6400	8100	6400					
60-0	115TS040L*07		7-6		588	6500	5800	6900	6100	7300	6100					
36-0	160TS040D*10	160 (6.3)	4-6	1	634	10700	9600	11400	10200	13400	11500					
50-0	160TS040H*10		β-3		748	10400	9300	11100	9900	13000	11100					
60-0	160TS040L*10		7-6		829	10000	9000	10700	9500	11800	10700					
36-0	160TS105D*10	160 (6.3)	4-6	1	634							14400	11500	14400	11500	
50-0	160TS105H*10		6-3		748								13900	11100	13900	11100
60-0	160TS105L*10		7-6		829								11800	10700	11800	10700
36-0	200TS040D*15	200 (7.9)	4-6	1.5	926	13400	12600	14300	13400	16800	15800					
50-0	200TS040H*15		6-3		1076	12300	11900	14100	12600	16600	14800					
60-0	200TS040L*15		7-6		1183	13300	11900	14100	12600	16600	14800					
36-0	200TS105D*15	200 (7.9)	4-6	1.5	926							23500	22100	25200	23700	
50-0	200TS105H*15		6-3		1076								21600	24400	23100	
60-0	200TS105L*15		7-6		1183								20300	20300	20300	20300
36-0	260TS040D*20	260 (10.2)	4-6	2	1328	17400	16400	18500	17500	21800	20500					
50-0	260TS040H*20		6-3		1495	15900	15900	16900	16900	19800	19800					
60-0	260TS040L*20		7-6		1615											
36-0	260TS105D*20	260 (10.2)	4-6	2	1328							30500	28700	32700	30200	
50-0	260TS105H*20		6-3		1495								29400	29400	29400	
60-0	260TS105L*20		7-6		1615								26300	26300	26300	26300

Fuente: (Columbus McKinnon Corporation s.f.)

Para el análisis de la viga con carril de la testera, realizamos el mismo procedimiento de cálculo en la hoja Excel, pero esta vez considerando el peso de la viga del puente y el

peso del riel de corredera y considerando la distancia entre ruedas 4.5 ft (1.40m) y una viga W8X40, lo cual resulta satisfactorio.

CRANE BEAM DESIGN

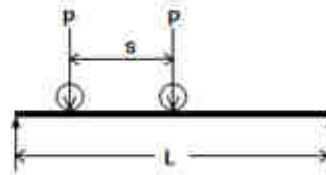
An Educational Tool to aid in Crane Runway Beam Design in accordance with AISC ASD and AISC LRFD.
(Ref: AISC Steel Design Guide Series - Design Guide 7 "Industrial Buildings")

Project Name: **Crane Beam Example**
 Project Description: **Example 18.1.2 LRFD**
 Company: **UAP**
 Designed By: **Sergio R. Barrios Cruz** Date: **3/17/2017**

SINGLE CRANE WITH TWO WHEELS PER ENDRUCK

Crane Data

Crane Capacity		5.0	Tons
Bridge Weight	Wt. b	9.6	kips
Trolley + Hoist Weight	Wt. t+h	0.4	kips
Max. Wheel Load	P	5.0	kips
Wheel Spacing	s	4.50	ft.
Vertical Impact		25	% (Input 25% for cab-operated cranes, 10% for pendant operated cranes)



Crane Runway

Runway Span Length L: **16.00** ft. Crane Rail Weight = **25.0** lb/ft

Runway Deflection Criteria

Vertical Deflection * L / **600** 0.32 in. Ix req'd = 142 in.⁴
 Horizontal Deflection L / **400** 0.48 in. Iy req'd = 9.9 in.⁴

* Does NOT include Vertical Impact or Girder and Rail Weight.

Crane Runway Design

AISC Design Procedure

LRFD: 2010

	ASD	LRFD
Dead	1.00	1.20
Live/Crane	1.00	1.60

See Section 13 for recommended values

Forces

Max. Vertical Load P_v **8.80** kips / wheel (includes impact)
 Max. Horizontal Load P_h** **0.84** kips / wheel / side

** Total Horizontal Force is 20% of the sum of weights of the lifted load and crane trolley, exclusive of other parts of crane.

Bending Moment M_x **53.85** kip-ft. (includes impact and girder and rail weight)
 Bending Moment M_y **4.93** kip-ft.
 Shear V_x **15.59** kips

Crane Runway Beam

Crane Beam Type ***

W

W Shape

*** W indicates W Shape and WC indicates W Shape + Cap Channel

Crane Beam Designation **W8X40**

AISC 14th Edition

W8X40

Beam Weight Wt. **40.0** lb/ft
 Yield Stress F_y **50** ksi

Deflection Checks

Vertical - Moment of Inertia X-X I_x = **145** in.⁴ o.k.
 Horizontal - Top Flange Moment of Inertia Y-Y I_{y top} = **25** in.⁴ o.k.

Summary Stress Checks

Check Bending about the X-X Axis CSR = **0.422** o.k.
 Check Bending about the Y-Y Axis in the top flange CSR = **0.144** o.k.
 Check Biaxial Bending in the top flange CSR = **0.567** o.k.
 Check Shear about the X-X Axis CSR = **0.175** o.k.
 Check Web Sidesway Buckling CSR = **0.103** o.k.

3.4 Análisis y diseño estructural de la estructura metálica y cobertura de techo

3.4.1 Elección de la cobertura de techo

A. Elección del espesor de la lámina y espaciamiento de las viguetas

La cobertura seleccionada de acuerdo a la disponibilidad en el mercado es una cobertura de acero ALUZINC ASTM A792, AZ 150 de espesor 0.40mm, cuyas capacidades de carga para diferentes espesores y disposiciones de las viguetas se dan en el anexo 02. El espaciamiento de las viguetas está en función de la forma de la cobertura y carga a resistir. En este caso, seleccionaremos una cobertura con siete trapecios (TR7), por lo que considerando la carga viva de nieve mínima de 40 Kg/m², la distribución de las correas considerando la dimensión del pórtico, el espaciamiento de las viguetas será de 1.78 m.

B. Metrado de cargas

Para la selección de la cobertura, simplemente tomamos en cuenta la carga viva, en este caso, la carga de nieve mínima según la norma E020, de 40 Kg/m².

C. Sistema de fijación

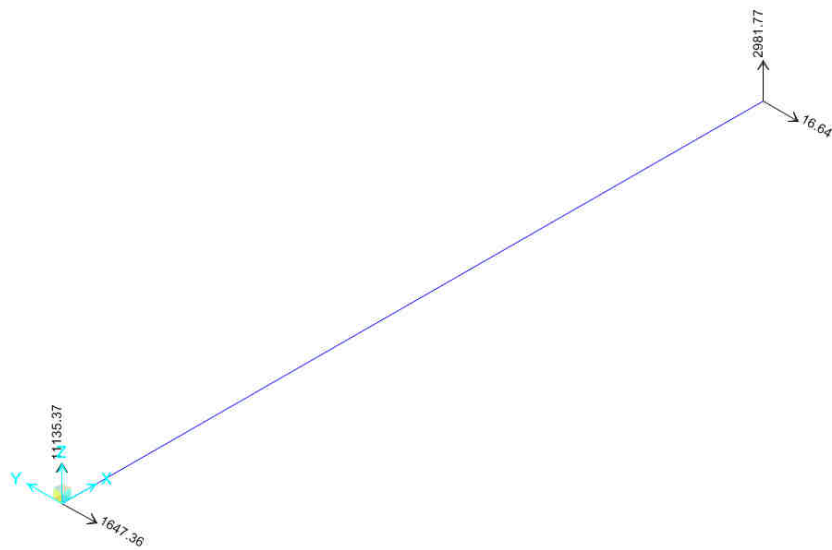
El sistema de fijación depende del tipo de las viguetas. Si el diseño comprende viguetas tipo celosía donde la brida superior esté constituido por perfiles angulares, lo mejor será la fijación con pernos tipo "J". Sin embargo, si se opta por viguetas en celosías con brida superior a base de tubos rectangulares o cuadrados o viguetas simples a base de tubos o perfiles conformados en "C" o "Z" lo recomendable es utilizar tornillos auto perforantes.

Para el presente proyecto, se opta por utilizar tornillos auto perforantes.

3.4.2 Análisis estructural

El análisis parte de un modelo según las condiciones de uso del taller. Se considera un pórtico metálico con una luz de 20 m. y 9 pórticos a una distancia entre ejes de 5 m., que en total hace un área de 800 m². Se realiza un análisis tridimensional de la estructura en general considerando las condiciones más desfavorables en cada caso.

Gráfico N° 9 Reacciones máximas y mínimas con carga en uno de los extremos de la viga polipasto



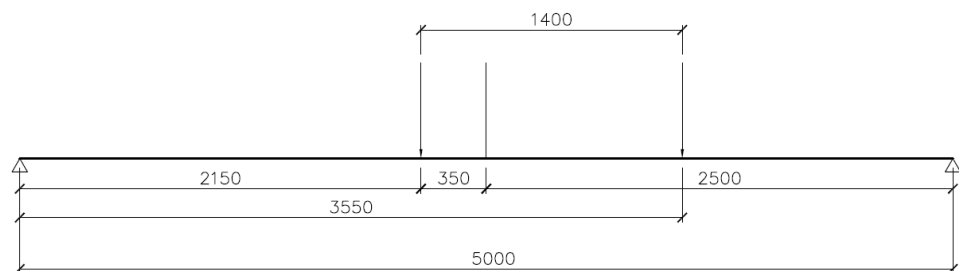
Reacciones máximas y mínimas en la viga polipasto cuando la carga se encuentra cercano a uno de los apoyos.

Estas reacciones lo dividimos en dos ruedas por lado, siendo éstos:

$$11,136/2=5,568 \text{ Kgf}$$

$$2,982/2=1,491 \text{ Kgf}$$

Gráfico N° 10 Esquema para la ubicación de cargas para obtener el momento máximo



Ubicación de cargas más desfavorable para el momento máximo en la viga riel. Estas cargas se ubican cuando la primera rueda se ubica a 2.15m del inicio de tramo y la segunda rueda a 3.55m.

La fuerza lateral en cada rueda (04 ruedas) de acuerdo a la norma peruana E 020, 9.1. Calculamos como:

$$F_l = \frac{0.20 * (P_p + P_c)}{4}$$

Donde:

F_l = Fuerza lateral;

P_p = Peso del polipasto;

P_c = Capacidad total, entonces:

$$F_l = 0.20 \times (5,000 + 200) / 4$$

$$F_l = 260 \text{ Kgf}$$

Teniendo en cuenta que la reacción máxima total sin incluir el impacto es de 11,136/4=2,784 Kgf (dividido en cuatro ruedas) la fuerza longitudinal es de = 0.10x2,784=278.4 Kgf. Por lo tanto la fuerza de frenado en cada rueda y cada lado del puente es de 279 Kgf asignado en la ubicación de las ruedas.

Adicionalmente, la carga distribuida por el peso del riel es de 25lb/yd ó 12.4 Kg/m.

Con estas consideraciones y el metrado de cargas, procedemos a efectuar el análisis estructural del pórtico.

3.4.3 Diseño de viguetas

A. Metrado de cargas

En este caso, ya se toman en cuenta todas las cargas muertas y vivas, así como las de viento según lo estipulado en las normas E020 y E090, de la siguiente forma:

B. Análisis estructural

El análisis estructural se realiza en su forma tridimensional mediante el programa NUEVO METAL 3D de CYPE INGENIEROS. Se opta por analizar de esta forma debido a que el comportamiento de la estructura metálica es en forma integral. Las cargas se introducen al programa sobre la cobertura o sobre las viguetas. En este caso se opta por introducir las cargas simulando los paneles, los cuales transmiten las cargas hacia las viguetas. Las cargas sobre las viguetas se distribuyen en los pórticos y éstos en las zapatas.

C. Pre dimensionamiento

Realizamos cálculos previos en base a las cargas que soportarán las viguetas o correas de la siguiente forma:

Datos iniciales

Longitud de la correa	5 m
Separación de correas	1.7 m
Inclinación	22 °

Cargas permanentes (D)

Sobrecarga cobertura	5 Kg/m ²
Peso de vigueta	8 Kg/m ²
Total carga permanente	13 Kg/m ²

Cargas vivas (Lr)

Cargas vivas (Lr)	40 Kg/m ²
-------------------	----------------------

Carga de viento (W)

Carga de viento (W)	26 Kg/m ²
---------------------	----------------------

En la dirección Y

1.4D	28.69 Kg/m
1.2D+1.6L+0.5(Lr ó S ó R)	56.11 Kg/m

$1.2D+1.6(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)+(0.5L \text{ ó } 0.8W)$	147.57 Kg/m
$1.2D+1.3W+0.5L+0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)$	100.31 Kg/m
$0.9D\pm(1.3W \text{ ó } 1.0E)$	-25.76 Kg/m
Máxima combinación en Y (W_{uy})	147.57 Kg/m

En la dirección X

1.4D	11.59 Kg/m
$1.2D+1.6L+0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)$	22.67 Kg/m
$1.2D+1.6(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)+(0.5L \text{ ó } 0.8W)$	50.69 Kg/m
$1.2D+1.3W+0.5L+0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)$	22.67 Kg/m
$0.9D\pm(1.3W \text{ ó } 1.0E)$	7.45 Kg/m
Máxima combinación en X (W_{ux})	50.69 Kg/m

Viga simplemente apoyada

$M_{ux}=0.125*(W_{uy}L^2)$	461.15 Kg-m	4.61 KN-m
$M_{uy}=0.125*(W_{ux}L^2)$	158.41 Kg-m	1.58 KN-m
	$\emptyset M_{ux} =$	4.15 KN-m
	$\emptyset M_{uy} =$	1.426 KN-m
	Lb =	6000 mm

Para el pre dimensionamiento tomamos en cuenta el gráfico 4 de ACESCO (ACESCO 2012) de Resistencia de diseño a flexión de perfiles C sencillo, el cual recomienda un perfil C de 203X67X2.5mm en base al momento último obtenido según el cálculo preliminar. Sin embargo, debemos de trabajar con perfiles de producción nacional, en este caso nos acogemos al catálogo de perfiles conformados TRADI S.A., el cual nos ofrece un perfil C8”X3”.

D. Verificación de diseño de vigueta “C”

Realizamos la verificación del aprovechamiento de todas las viguetas para seleccionar la vigueta más solicitada.

Cuadro N° 3 Solicitaciones en las viguetas

Barras	COMPROBACIONES (AISI S100-07 (2007))															Estado
	w / t	T	P	Tr	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x Tr	M _y Tr	M _x V _y	M _y V _x	MT	MP	TPTrMV	
N19/N20	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.9	η = 11.8	η < 0.1	x: 5 m η = 19.7	x: 0 m η = 38.8	x: 0 m η = 2.2	x: 5 m η = 4.0	x: 5 m η = 7.3	x: 0 m η = 20.7	x: 5 m η = 4.0	x: 0 m η = 15.1	x: 0 m η = 39.1	x: 0 m η = 40.1	x: 0 m η = 42.4	CUMPLE η = 42.4
N21/N22	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.8	η = 16.5	η < 0.1	x: 3.75 m η = 30.0	x: 0 m η = 33.9	x: 0 m η = 2.1	x: 0 m η = 4.9	x: 5 m η = 14.1	x: 0 m η = 16.2	x: 3.75 m η = 9.0	x: 0 m η = 11.5	x: 5 m η = 22.2	x: 5 m η = 63.2	x: 5 m η = 61.2	CUMPLE η = 63.2
N23/N24	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.7	η = 2.4	η < 0.1	x: 2.188 m η = 17.8	x: 0 m η = 39.7	x: 0 m η = 2.2	x: 5 m η = 4.4	x: 5 m η = 3.3	x: 0 m η = 19.8	x: 2.188 m η = 3.2	x: 0 m η = 15.8	x: 0 m η = 39.8	x: 5 m η = 30.7	x: 0 m η = 43.2	CUMPLE η = 43.2
N25/N26	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.5	η = 1.8	η < 0.1	x: 2.5 m η = 22.4	x: 0 m η = 39.0	x: 0 m η = 2.2	x: 5 m η = 4.0	x: 2.5 m η = 4.8	x: 0 m η = 18.7	x: 2.5 m η = 5.0	x: 0 m η = 15.3	x: 0 m η = 40.0	x: 5 m η = 24.5	x: 0 m η = 43.9	CUMPLE η = 43.9
N27/N28	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.2	η = 14.3	x: 1.875 m η < 0.1	x: 2.813 m η = 22.5	x: 0 m η = 34.5	x: 0 m η = 2.1	x: 0 m η = 4.5	x: 4.063 m η = 5.9	x: 0 m η = 16.3	x: 2.813 m η = 5.0	x: 0 m η = 11.9	x: 4.688 m η = 24.2	x: 0 m η = 57.9	x: 0 m η = 60.2	CUMPLE η = 60.2
N29/N30	x: 0.134 m w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 5.9	η = 26.5	N.P. ⁽¹⁾	x: 3.175 m η = 31.0	x: 5 m η = 21.2	x: 5 m η = 1.9	x: 0.133 m η = 4.6	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 3.175 m η = 9.6	x: 5 m η = 4.5	x: 5 m η = 43.2	x: 4.087 m η = 48.0	x: 3.783 m η = 46.6	CUMPLE η = 48.0
N31/N32	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.5	η = 10.5	x: 1.25 m η < 0.1	x: 3.125 m η = 28.7	x: 0 m η = 43.3	x: 0 m η = 2.3	x: 0 m η = 4.6	x: 5 m η = 11.4	x: 0 m η = 18.8	x: 3.125 m η = 8.2	x: 0 m η = 18.8	x: 5 m η = 29.0	x: 0 m η = 56.0	x: 0 m η = 59.4	CUMPLE η = 59.4
N33/N34	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.8	x: 0 m η = 1.3	x: 2.5 m η < 0.1	x: 5 m η = 26.7	x: 0 m η = 60.2	x: 0 m η = 2.8	x: 5 m η = 4.0	x: 5 m η = 7.2	x: 0 m η = 21.3	x: 5 m η = 7.3	x: 0 m η = 36.3	x: 0 m η = 63.9	x: 0 m η = 21.6	x: 0 m η = 69.7	CUMPLE η = 69.7
N35/N36	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.1	x: 2.5 m η = 4.0	η < 0.1	x: 3.438 m η = 24.7	x: 0 m η = 56.8	x: 0 m η = 2.7	x: 0 m η = 3.8	x: 5 m η = 14.7	x: 0 m η = 16.8	x: 3.438 m η = 6.1	x: 0 m η = 32.3	x: 0 m η = 58.6	x: 0 m η = 52.1	x: 0 m η = 64.4	CUMPLE η = 64.4
N37/N38	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.3	η = 2.3	x: 0.625 m η < 0.1	x: 5 m η = 17.9	x: 0 m η = 61.1	x: 0 m η = 2.9	x: 5 m η = 3.5	x: 5 m η = 4.0	x: 0 m η = 21.5	x: 5 m η = 3.3	x: 0 m η = 37.4	x: 0 m η = 61.9	x: 0 m η = 33.5	x: 0 m η = 67.5	CUMPLE η = 67.5
N39/N40	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.3	η = 1.5	η < 0.1	x: 2.188 m η = 14.2	x: 0 m η = 61.3	x: 0 m η = 2.9	x: 5 m η = 3.2	x: 2.813 m η = 4.7	x: 0 m η = 20.1	x: 2.188 m η = 2.0	x: 0 m η = 37.7	x: 0 m η = 61.8	x: 0 m η = 50.1	x: 0 m η = 67.3	CUMPLE η = 67.3
N41/N42	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 3.1	η = 17.7	x: 1.875 m η < 0.1	x: 3.125 m η = 13.7	x: 0 m η = 59.9	x: 0 m η = 2.8	x: 0 m η = 3.3	x: 4.063 m η = 5.6	x: 0 m η = 17.9	x: 3.125 m η = 1.9	x: 0 m η = 35.9	x: 0 m η = 62.9	x: 0 m η = 66.8	x: 0 m η = 71.7	CUMPLE η = 71.7
N43/N44	x: 0.134 m w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 3.7	η = 19.4	N.P. ⁽¹⁾	x: 3.175 m η = 22.1	x: 2.567 m η = 23.7	x: 5 m η = 1.8	x: 0.133 m η = 3.3	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 3.175 m η = 4.9	x: 2.567 m η = 5.6	x: 2.567 m η = 38.4	x: 5 m η = 49.0	x: 5 m η = 47.4	CUMPLE η = 49.0
N45/N46	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.9	η = 12.3	x: 2.813 m η < 0.1	x: 2.813 m η = 19.8	x: 0 m η = 63.0	x: 0 m η = 2.9	x: 0 m η = 3.5	x: 5 m η = 11.1	x: 0 m η = 20.0	x: 2.813 m η = 3.9	x: 0 m η = 39.8	x: 0 m η = 55.9	x: 0 m η = 69.3	x: 0 m η = 73.2	CUMPLE η = 73.2
N20/N62	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.1	η = 16.1	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 14.2	x: 5 m η = 23.4	x: 5 m η = 1.8	x: 0 m η = 3.4	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 2.1	x: 5 m η = 5.5	x: 5 m η = 34.9	x: 0 m η = 36.3	x: 0 m η = 37.2	CUMPLE η = 37.2
N22/N63	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.7	η = 30.9	N.P. ⁽¹⁾	x: 1.563 m η = 21.1	x: 0 m η = 19.2	x: 5 m η = 1.7	x: 5 m η = 4.8	x: 0 m η = 12.5	x: 5 m η = 5.7	x: 1.563 m η = 4.5	x: 0 m η = 3.7	x: 5 m η = 23.1	x: 5 m η = 62.6	x: 5 m η = 60.2	CUMPLE η = 62.6
N24/N64	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.8	η = 2.5	η < 0.1	x: 5 m η = 16.2	x: 5 m η = 22.5	x: 5 m η = 1.7	x: 5 m η = 3.9	x: 5 m η = 6.0	x: 0 m η = 7.7	x: 5 m η = 2.8	x: 5 m η = 5.1	x: 5 m η = 33.2	x: 5 m η = 36.1	x: 5 m η = 37.4	CUMPLE η = 37.4
N26/N65	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	N.P. ⁽⁴⁾	η = 27.1	x: 3.125 m η < 0.1	x: 5 m η = 17.5	x: 5 m η = 23.1	x: 5 m η = 1.8	x: 5 m η = 4.3	x: 5 m η = 5.2	x: 0 m η = 7.0	x: 5 m η = 3.3	x: 5 m η = 5.4	N.P. ⁽⁵⁾	x: 5 m η = 48.4	x: 5 m η = 46.4	CUMPLE η = 48.4
N28/N66	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.4	η = 12.1	x: 2.5 m η < 0.1	x: 5 m η = 19.9	x: 5 m η = 21.7	x: 5 m η = 1.7	x: 5 m η = 5.0	x: 0.5 m η = 6.2	x: 0 m η = 7.0	x: 5 m η = 4.2	x: 5 m η = 4.8	x: 1.25 m η = 15.5	x: 5 m η = 46.3	x: 5 m η = 46.8	CUMPLE η = 46.8
N30/N67	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 3.3	η = 26.4	x: 2.5 m η < 0.1	x: 1.875 m η = 19.5	x: 0 m η = 21.1	x: 0 m η = 1.7	x: 5 m η = 4.8	x: 0.313 m η = 6.7	x: 0 m η = 6.6	x: 1.875 m η = 3.8	x: 0 m η = 4.5	x: 5 m η = 36.5	x: 5 m η = 46.4	x: 5 m η = 45.0	CUMPLE η = 46.4

Barras	COMPROBACIONES (AISI S100-07 (2007))															Estado
	w / t	T	P	Tr	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x Tr	M _y Tr	M _x V _y	M _y V _x	MT	MP	TPTrMV	
N32/N68	x: 0 m w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.6	η = 7.1	η < 0.1	x: 1.5 m η = 24.1	x: 5 m η = 19.3	x: 5 m η = 1.6	x: 5 m η = 5.3	x: 0 m η = 12.5	x: 5 m η = 4.9	x: 1.5 m η = 5.8	x: 5 m η = 3.7	x: 5 m η = 25.0	x: 5 m η = 42.2	x: 5 m η = 42.8	CUMPLE η = 42.8
N34/N69	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.5	η = 16.5	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 19.0	x: 5 m η = 23.3	x: 5 m η = 1.8	x: 0 m η = 3.2	x: 0 m η = 5.3	x: 0 m η = 9.9	x: 0 m η = 3.7	x: 5 m η = 5.5	x: 0 m η = 39.4	x: 5 m η = 37.1	x: 0 m η = 41.0	CUMPLE η = 41.0
N36/N70	x: 0 m w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.6	η = 15.4	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 18.8	x: 0 m η = 21.2	x: 0 m η = 1.7	x: 5 m η = 3.6	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m η = 3.6	x: 0 m η = 4.5	x: 5 m η = 23.6	x: 0 m η = 46.1	x: 0 m η = 45.1	CUMPLE η = 46.1
N38/N71	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.2	η = 2.3	x: 0.5 m η < 0.1	x: 0 m η = 18.1	x: 0 m η = 21.6	x: 0 m η = 1.7	x: 0 m η = 3.1	x: 0 m η = 4.0	x: 0 m η = 8.2	x: 0 m η = 3.4	x: 0 m η = 4.7	x: 0 m η = 39.5	x: 0 m η = 30.4	x: 0 m η = 40.8	CUMPLE η = 40.8
N40/N72	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	N.P. ⁽⁴⁾	η = 26.1	η < 0.1	x: 0 m η = 11.6	x: 0 m η = 21.7	x: 0 m η = 1.7	x: 0 m η = 2.8	x: 2.5 m η = 4.0	x: 0 m η = 7.8	x: 0 m η = 1.4	x: 0 m η = 4.8	N.P. ⁽⁵⁾	x: 0 m η = 44.3	x: 0 m η = 45.5	CUMPLE η = 45.5
N42/N73	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.8	η = 14.9	x: 2.5 m η < 0.1	x: 2 m η = 14.9	x: 0 m η = 22.2	x: 0 m η = 1.7	x: 5 m η = 3.2	x: 1.75 m η = 6.3	x: 0 m η = 7.9	x: 2 m η = 2.2	x: 0 m η = 5.0	x: 0 m η = 23.2	x: 5 m η = 41.5	x: 5 m η = 42.8	CUMPLE η = 42.8
N44/N74	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.1	η = 20.8	x: 2.5 m η < 0.1	x: 2.188 m η = 15.7	x: 0 m η = 22.5	x: 0 m η = 1.7	x: 5 m η = 3.2	x: 0.938 m η = 6.3	x: 0 m η = 7.4	x: 2.188 m η = 2.5	x: 0 m η = 5.1	x: 5 m η = 27.7	x: 0 m η = 31.5	x: 5 m η = 30.7	CUMPLE η = 31.5
N46/N75	x: 0 m w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.9	η = 8.0	x: 2.25 m η < 0.1	x: 1.75 m η = 21.3	x: 0 m η = 20.8	x: 0 m η = 1.7	x: 5 m η = 3.7	x: 0 m η = 12.5	x: 0 m η = 5.3	x: 1.75 m η = 4.5	x: 0 m η = 4.4	x: 5 m η = 30.9	x: 0 m η = 40.9	x: 0 m η = 41.9	CUMPLE η = 41.9
N62/N76	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	x: 4.063 m η = 0.5	η = 2.7	η < 0.1	x: 5 m η = 21.0	x: 5 m η = 46.2	x: 5 m η = 2.4	x: 5 m η = 3.4	x: 0 m η = 8.0	x: 5 m η = 18.7	x: 5 m η = 4.5	x: 5 m η = 21.4	x: 5 m η = 48.5	x: 5 m η = 39.7	x: 5 m η = 51.2	CUMPLE η = 51.2
N63/N77	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	N.P. ⁽⁴⁾	η = 17.0	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 17.9	x: 5 m η = 40.8	x: 5 m η = 2.3	x: 0 m η = 3.6	x: 0 m η = 10.2	x: 5 m η = 19.1	x: 0 m η = 3.2	x: 5 m η = 16.7	N.P. ⁽⁵⁾	x: 0 m η = 67.2	x: 0 m η = 65.2	CUMPLE η = 67.2
N64/N78	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.8	η = 2.3	x: 2.813 m η < 0.1	x: 5 m η = 17.2	x: 5 m η = 46.8	x: 5 m η = 2.4	x: 0 m η = 3.8	x: 0 m η = 5.6	x: 5 m η = 18.8	x: 5 m η = 3.1	x: 5 m η = 22.0	x: 5 m η = 46.3	x: 5 m η = 49.8	x: 5 m η = 53.7	CUMPLE η = 53.7
N65/N79	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.5	x: 0 m η = 1.5	x: 3.75 m η < 0.1	x: 0 m η = 15.8	x: 5 m η = 46.7	x: 5 m η = 2.4	x: 0 m η = 3.9	x: 0 m η = 5.6	x: 5 m η = 19.2	x: 0 m η = 2.7	x: 5 m η = 21.8	x: 5 m η = 49.5	x: 5 m η = 19.8	x: 5 m η = 53.7	CUMPLE η = 53.7
N66/N80	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.7	η = 8.7	η < 0.1	x: 0 m η = 17.2	x: 5 m η = 45.6	x: 5 m η = 2.4	x: 0 m η = 3.9	x: 0 m η = 5.5	x: 5 m η = 18.7	x: 0 m η = 3.1	x: 5 m η = 20.9	x: 0 m η = 48.6	x: 5 m η = 59.3	x: 5 m η = 62.9	CUMPLE η = 62.9
N67/N81	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 3.5	η = 3.9	η < 0.1	x: 0 m η = 18.9	x: 5 m η = 44.2	x: 5 m η = 2.4	x: 0 m η = 4.0	x: 0 m η = 7.5	x: 5 m η = 18.7	x: 0 m η = 3.6	x: 5 m η = 19.6	x: 0 m η = 53.8	x: 0 m η = 34.5	x: 0 m η = 57.4	CUMPLE η = 57.4
N68/N82	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.8	η = 4.4	x: 5 m η < 0.1	x: 0 m η = 20.8	x: 5 m η = 43.0	x: 5 m η = 2.3	x: 0 m η = 4.0	x: 0 m η = 9.2	x: 5 m η = 19.1	x: 0 m η = 4.4	x: 5 m η = 18.5	x: 0 m η = 52.2	x: 5 m η = 54.7	x: 5 m η = 57.9	CUMPLE η = 57.9
N69/N83	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.7	η = 2.8	x: 3.75 m η < 0.1	x: 5 m η = 16.0	x: 0 m η = 31.3	x: 0 m η = 2.0	x: 5 m η = 3.1	x: 5 m η = 6.7	x: 0 m η = 17.3	x: 5 m η = 2.7	x: 0 m η = 9.8	x: 0 m η = 36.6	x: 5 m η = 29.9	x: 0 m η = 40.2	CUMPLE η = 40.2
N70/N84	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.1	η = 8.1	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 28.1	x: 0 m η = 33.4	x: 0 m η = 2.1	x: 5 m η = 4.0	x: 5 m η = 10.6	x: 0 m η = 15.8	x: 0 m η = 8.0	x: 0 m η = 11.2	x: 0 m η = 17.5	x: 0 m η = 50.1	x: 5 m η = 50.8	CUMPLE η = 50.8
N71/N85	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.4	η = 2.7	η < 0.1	x: 5 m η = 15.9	x: 0 m η = 31.7	x: 0 m η = 2.0	x: 5 m η = 3.2	x: 5 m η = 5.6	x: 0 m η = 15.8	x: 5 m η = 2.6	x: 0 m η = 10.1	x: 0 m η = 36.3	x: 5 m η = 28.3	x: 0 m η = 39.4	CUMPLE η = 39.4
N72/N86	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.4	x: 3.438 m η = 0.2	η < 0.1	x: 5 m η = 16.2	x: 0 m η = 31.3	x: 0 m η = 2.0	x: 5 m η = 3.2	x: 5 m η = 5.7	x: 0 m η = 15.0	x: 5 m η = 2.7	x: 0 m η = 9.8	x: 0 m η = 36.0	x: 0 m η = 15.5	x: 0 m η = 38.8	CUMPLE η = 38.8
N73/N87	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.3	η = 9.7	η < 0.1	x: 5 m η = 16.9	x: 0 m η = 32.1	x: 0 m η = 2.0	x: 5 m η = 3.3	x: 5 m η = 5.9	x: 0 m η = 14.9	x: 5 m η = 3.0	x: 0 m η = 10.4	x: 5 m η = 30.5	x: 0 m η = 46.1	x: 0 m η = 48.5	CUMPLE η = 48.5

Barras	COMPROBACIONES (AISI S100-07 (2007))															Estado
	w / t	T	P	Tr	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x Tr	M _y Tr	M _x V _y	M _y V _x	MT	MP	TPTrMV	
N74/N88	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.2	η = 0.7	η < 0.1	x: 5 m η = 17.0	x: 0 m η = 31.7	x: 0 m η = 2.0	x: 5 m η = 3.4	x: 5 m η = 6.0	x: 0 m η = 14.6	x: 5 m η = 3.0	x: 0 m η = 10.1	x: 0 m η = 37.7	x: 0 m η = 19.7	x: 0 m η = 41.4	CUMPLE η = 41.4
N75/N89	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.5	η = 4.2	η < 0.1	x: 5 m η = 19.0	x: 0 m η = 31.1	x: 0 m η = 2.0	x: 5 m η = 3.5	x: 5 m η = 6.9	x: 0 m η = 14.5	x: 5 m η = 3.7	x: 0 m η = 9.7	x: 5 m η = 36.0	x: 0 m η = 40.8	x: 0 m η = 43.1	CUMPLE η = 43.1
N76/N90	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.7	η = 3.0	x: 0.938 m η < 0.1	x: 0 m η = 14.4	x: 5 m η = 29.3	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 3.4	x: 5 m η = 3.6	x: 5 m η = 12.0	x: 0 m η = 2.1	x: 5 m η = 8.6	x: 0 m η = 31.9	x: 5 m η = 42.0	x: 5 m η = 43.9	CUMPLE η = 43.9
N77/N91	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.1	η = 16.1	η < 0.1	x: 5 m η = 13.2	x: 5 m η = 22.1	x: 5 m η = 1.7	x: 5 m η = 3.4	x: 5 m η = 6.0	x: 5 m η = 6.6	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 4.9	x: 0 m η = 4.5	x: 5 m η = 50.3	x: 5 m η = 49.0	CUMPLE η = 50.3
N78/N92	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.6	η = 0.8	η < 0.1	x: 0 m η = 18.0	x: 5 m η = 29.0	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 3.8	x: 5 m η = 3.5	x: 5 m η = 10.6	x: 0 m η = 3.4	x: 5 m η = 8.5	x: 5 m η = 35.5	x: 5 m η = 28.0	x: 5 m η = 38.0	CUMPLE η = 38.0
N79/N93	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.5	η = 1.2	η < 0.1	x: 0 m η = 15.8	x: 5 m η = 28.7	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 3.8	x: 5 m η = 3.8	x: 5 m η = 9.6	x: 0 m η = 2.6	x: 5 m η = 8.3	x: 5 m η = 34.2	x: 0 m η = 11.2	x: 5 m η = 36.3	CUMPLE η = 36.3
N80/N94	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.8	η = 7.8	η < 0.1	x: 5 m η = 14.9	x: 5 m η = 28.0	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 3.8	x: 5 m η = 4.3	x: 5 m η = 9.3	x: 5 m η = 2.4	x: 5 m η = 7.9	x: 0 m η = 24.2	x: 5 m η = 41.0	x: 5 m η = 43.0	CUMPLE η = 43.0
N81/N95	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 3.3	η = 3.7	η < 0.1	x: 0 m η = 14.5	x: 5 m η = 26.6	x: 5 m η = 1.9	x: 0 m η = 3.8	x: 5 m η = 4.5	x: 5 m η = 8.7	x: 0 m η = 2.2	x: 5 m η = 7.1	x: 0 m η = 35.3	x: 5 m η = 25.0	x: 0 m η = 36.9	CUMPLE η = 36.9
N82/N96	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.9	η = 3.8	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m η = 14.7	x: 5 m η = 24.7	x: 5 m η = 1.8	x: 5 m η = 3.8	x: 5 m η = 4.9	x: 5 m η = 7.2	x: 5 m η = 2.3	x: 5 m η = 6.1	x: 0 m η = 20.2	x: 5 m η = 34.7	x: 5 m η = 36.1	CUMPLE η = 36.1
N83/N97	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.6	η = 1.4	η < 0.1	x: 0 m η = 14.0	x: 5 m η = 29.3	x: 5 m η = 1.9	x: 0 m η = 2.9	x: 0 m η = 5.2	x: 5 m η = 14.9	x: 0 m η = 2.1	x: 5 m η = 8.6	x: 5 m η = 39.7	x: 5 m η = 26.8	x: 5 m η = 42.7	CUMPLE η = 42.7
N84/N98	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.4	η = 17.2	x: 3 m η < 0.1	x: 0 m η = 18.1	x: 5 m η = 21.7	x: 5 m η = 1.7	x: 0 m η = 3.1	x: 0 m η = 6.3	x: 5 m η = 10.0	x: 0 m η = 3.4	x: 5 m η = 4.8	x: 5 m η = 19.4	x: 0 m η = 38.3	x: 0 m η = 39.3	CUMPLE η = 39.3
N85/N99	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.5	η = 1.5	η < 0.1	x: 0 m η = 16.0	x: 5 m η = 28.3	x: 5 m η = 1.9	x: 0 m η = 2.9	x: 0 m η = 5.8	x: 5 m η = 14.5	x: 0 m η = 2.7	x: 5 m η = 8.0	x: 5 m η = 38.6	x: 5 m η = 33.7	x: 5 m η = 40.7	CUMPLE η = 40.7
N86/N100	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.4	η = 0.1	x: 2 m η < 0.1	x: 0 m η = 16.6	x: 5 m η = 27.9	x: 5 m η = 1.9	x: 0 m η = 3.0	x: 0 m η = 5.9	x: 5 m η = 13.8	x: 0 m η = 2.9	x: 5 m η = 7.8	x: 5 m η = 38.0	x: 0 m η = 8.5	x: 5 m η = 40.0	CUMPLE η = 40.0
N87/N101	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.1	η = 7.9	x: 2.25 m η < 0.1	x: 0 m η = 16.0	x: 5 m η = 27.1	x: 5 m η = 1.9	x: 0 m η = 2.9	x: 0 m η = 5.5	x: 5 m η = 13.8	x: 0 m η = 2.6	x: 5 m η = 7.4	x: 5 m η = 13.0	x: 5 m η = 46.4	x: 5 m η = 48.1	CUMPLE η = 48.1
N88/N102	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.0	η = 0.9	x: 2 m η < 0.1	x: 0 m η = 18.2	x: 5 m η = 25.9	x: 5 m η = 1.8	x: 0 m η = 3.0	x: 0 m η = 6.6	x: 5 m η = 13.0	x: 0 m η = 3.4	x: 5 m η = 6.7	x: 0 m η = 37.3	x: 5 m η = 20.4	x: 5 m η = 39.0	CUMPLE η = 39.0
N89/N103	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.4	η = 2.8	η < 0.1	x: 0 m η = 18.0	x: 5 m η = 24.1	x: 5 m η = 1.8	x: 0 m η = 3.0	x: 0 m η = 6.5	x: 5 m η = 11.7	x: 0 m η = 3.3	x: 5 m η = 5.9	x: 5 m η = 29.3	x: 0 m η = 38.8	x: 0 m η = 39.6	CUMPLE η = 39.6
N90/N104	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.4	η = 1.5	η < 0.1	x: 5 m η = 13.8	x: 5 m η = 27.8	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 3.4	x: 5 m η = 3.6	x: 5 m η = 11.5	x: 5 m η = 2.0	x: 5 m η = 7.8	x: 5 m η = 32.1	x: 5 m η = 37.4	x: 5 m η = 39.3	CUMPLE η = 39.3
N91/N105	x: 5 m w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.4	η = 14.4	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m η = 13.6	x: 5 m η = 20.0	x: 5 m η = 1.7	x: 5 m η = 3.4	x: 5 m η = 6.3	x: 0 m η = 5.7	x: 5 m η = 2.0	x: 5 m η = 4.0	x: 5 m η = 8.6	x: 5 m η = 46.6	x: 5 m η = 47.5	CUMPLE η = 47.5
N92/N106	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.6	η = 0.1	η < 0.1	x: 5 m η = 15.9	x: 5 m η = 27.0	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 3.8	x: 0 m η = 3.5	x: 5 m η = 10.0	x: 5 m η = 2.7	x: 5 m η = 7.3	x: 5 m η = 34.2	x: 0 m η = 8.6	x: 5 m η = 36.2	CUMPLE η = 36.2
N93/N107	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.4	η = 1.2	η < 0.1	x: 5 m η = 16.6	x: 5 m η = 26.6	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 3.9	x: 0 m η = 3.9	x: 5 m η = 9.0	x: 5 m η = 2.9	x: 5 m η = 7.1	x: 5 m η = 34.8	x: 5 m η = 34.2	x: 5 m η = 36.1	CUMPLE η = 36.1
N94/N108	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.9	η = 7.8	η < 0.1	x: 5 m η = 16.0	x: 5 m η = 26.3	x: 5 m η = 1.8	x: 5 m η = 3.8	x: 0 m η = 4.3	x: 5 m η = 8.8	x: 5 m η = 2.7	x: 5 m η = 6.9	x: 0 m η = 22.6	x: 5 m η = 40.1	x: 5 m η = 42.0	CUMPLE η = 42.0

Barras	COMPROBACIONES (AISI S100-07 (2007))															Estado
	w / t	T	P	Tr	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x Tr	M _y Tr	M _x V _y	M _y V _x	MT	MP	TPTrMV	
N95/N109	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 3.2	η = 4.0	η < 0.1	x: 5 m η = 16.7	x: 5 m η = 24.9	x: 5 m η = 1.8	x: 5 m η = 3.9	x: 5 m η = 5.0	x: 5 m η = 8.3	x: 5 m η = 2.9	x: 5 m η = 6.2	x: 5 m η = 37.3	x: 5 m η = 24.9	x: 5 m η = 38.8	CUMPLE η = 38.8
N96/N110	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.0	η = 3.8	η < 0.1	x: 5 m η = 15.5	x: 5 m η = 22.5	x: 5 m η = 1.7	x: 5 m η = 3.8	x: 5 m η = 5.3	x: 5 m η = 6.5	x: 5 m η = 2.5	x: 5 m η = 5.1	x: 0 m η = 22.9	x: 5 m η = 34.4	x: 0 m η = 35.3	CUMPLE η = 35.3
N97/N111	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.4	η = 1.3	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m η = 11.8	x: 5 m η = 30.5	x: 5 m η = 2.0	x: 5 m η = 2.8	x: 0 m η = 3.4	x: 5 m η = 14.7	x: 5 m η = 1.5	x: 5 m η = 9.3	x: 5 m η = 42.4	x: 5 m η = 25.6	x: 5 m η = 45.5	CUMPLE η = 45.5
N98/N112	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.1	η = 14.6	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m η = 10.9	x: 5 m η = 23.5	x: 5 m η = 1.8	x: 0 m η = 2.8	x: 5 m η = 4.4	x: 5 m η = 9.5	x: 5 m η = 1.3	x: 5 m η = 5.6	x: 5 m η = 6.0	x: 5 m η = 39.7	x: 5 m η = 40.8	CUMPLE η = 40.8
N99/N113	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.5	η = 0.1	η < 0.1	x: 5 m η = 12.0	x: 5 m η = 30.0	x: 5 m η = 2.0	x: 5 m η = 2.8	x: 5 m η = 2.9	x: 5 m η = 14.1	x: 5 m η = 1.5	x: 5 m η = 9.0	x: 5 m η = 41.7	x: 5 m η = 23.0	x: 5 m η = 44.2	CUMPLE η = 44.2
N100/N114	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.4	η = 1.5	η < 0.1	x: 5 m η = 11.7	x: 5 m η = 29.6	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 2.8	x: 5 m η = 2.9	x: 5 m η = 13.5	x: 5 m η = 1.5	x: 5 m η = 8.8	x: 5 m η = 31.9	x: 5 m η = 41.4	x: 5 m η = 43.3	CUMPLE η = 43.3
N101/N115	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.0	η = 6.9	η < 0.1	x: 5 m η = 11.2	x: 5 m η = 29.1	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 2.7	x: 5 m η = 3.1	x: 5 m η = 13.4	x: 5 m η = 1.3	x: 5 m η = 8.5	x: 5 m η = 12.9	x: 5 m η = 47.1	x: 5 m η = 49.0	CUMPLE η = 49.0
N102/N116	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.0	η = 1.2	η < 0.1	x: 5 m η = 11.4	x: 5 m η = 27.8	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 2.7	x: 5 m η = 3.8	x: 5 m η = 13.2	x: 5 m η = 1.4	x: 5 m η = 7.8	x: 5 m η = 38.3	x: 5 m η = 18.1	x: 5 m η = 41.2	CUMPLE η = 41.2
N103/N117	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.3	x: 0.625 m η = 2.2	η < 0.1	x: 5 m η = 11.2	x: 5 m η = 25.7	x: 5 m η = 1.8	x: 5 m η = 2.8	x: 5 m η = 4.2	x: 5 m η = 11.3	x: 5 m η = 1.3	x: 5 m η = 6.6	x: 5 m η = 30.6	x: 5 m η = 37.5	x: 5 m η = 39.1	CUMPLE η = 39.1
N104/N118	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.4	η = 1.7	η < 0.1	x: 0 m η = 13.4	x: 5 m η = 27.6	x: 5 m η = 1.9	x: 0 m η = 3.4	x: 5 m η = 3.0	x: 5 m η = 12.4	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 7.6	x: 5 m η = 35.0	x: 0 m η = 31.0	x: 5 m η = 37.3	CUMPLE η = 37.3
N105/N119	x: 5 m w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.5	η = 15.9	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m η = 18.0	x: 0 m η = 20.1	x: 0 m η = 1.7	x: 0 m η = 3.4	x: 5 m η = 8.0	x: 5 m η = 6.0	x: 5 m η = 3.3	x: 0 m η = 4.1	x: 5 m η = 14.8	x: 0 m η = 51.7	x: 0 m η = 50.3	CUMPLE η = 51.7
N106/N120	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.7	η = 0.7	x: 3.438 m η < 0.1	x: 0 m η = 16.0	x: 5 m η = 25.8	x: 5 m η = 1.8	x: 0 m η = 3.9	x: 0 m η = 3.3	x: 5 m η = 10.4	x: 0 m η = 2.7	x: 5 m η = 6.7	x: 0 m η = 34.4	x: 0 m η = 13.1	x: 0 m η = 36.0	CUMPLE η = 36.0
N107/N121	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.4	η = 2.7	η < 0.1	x: 0 m η = 16.3	x: 5 m η = 25.2	x: 5 m η = 1.8	x: 0 m η = 3.9	x: 0 m η = 3.8	x: 0 m η = 9.3	x: 0 m η = 2.8	x: 5 m η = 6.4	x: 0 m η = 35.1	x: 5 m η = 33.3	x: 0 m η = 36.6	CUMPLE η = 36.6
N108/N122	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.8	η = 8.8	η < 0.1	x: 0 m η = 16.7	x: 5 m η = 25.1	x: 5 m η = 1.8	x: 0 m η = 3.9	x: 5 m η = 4.5	x: 5 m η = 9.2	x: 0 m η = 2.9	x: 5 m η = 6.4	x: 5 m η = 20.4	x: 5 m η = 42.5	x: 5 m η = 44.0	CUMPLE η = 44.0
N109/N123	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 3.4	η = 4.4	η < 0.1	x: 5 m η = 16.0	x: 5 m η = 23.7	x: 5 m η = 1.8	x: 5 m η = 3.8	x: 5 m η = 6.6	x: 5 m η = 8.5	x: 5 m η = 2.7	x: 5 m η = 5.6	x: 5 m η = 37.4	x: 5 m η = 26.3	x: 5 m η = 39.6	CUMPLE η = 39.6
N110/N124	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.1	η = 4.3	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m η = 17.8	x: 5 m η = 20.8	x: 5 m η = 1.7	x: 5 m η = 3.9	x: 5 m η = 8.2	x: 0 m η = 6.9	x: 5 m η = 3.3	x: 5 m η = 4.4	x: 5 m η = 22.9	x: 5 m η = 39.9	x: 5 m η = 40.9	CUMPLE η = 40.9
N111/N125	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.8	η = 0.2	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m η = 11.1	x: 5 m η = 30.7	x: 5 m η = 2.0	x: 5 m η = 2.8	x: 5 m η = 4.3	x: 0 m η = 13.7	x: 5 m η = 1.3	x: 5 m η = 9.5	x: 5 m η = 40.7	x: 0 m η = 3.2	x: 5 m η = 44.0	CUMPLE η = 44.0
N112/N126	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η < 0.1	η = 11.1	η < 0.1	x: 5 m η = 21.1	x: 5 m η = 22.7	x: 5 m η = 1.7	x: 5 m η = 3.2	x: 5 m η = 8.5	x: 0 m η = 8.9	x: 5 m η = 4.5	x: 5 m η = 5.2	x: 0 m η = 5.6	x: 5 m η = 48.7	x: 5 m η = 49.6	CUMPLE η = 49.6
N113/N127	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.4	η = 0.8	η < 0.1	x: 0 m η = 11.9	x: 5 m η = 28.4	x: 5 m η = 1.9	x: 0 m η = 2.9	x: 0 m η = 3.0	x: 0 m η = 13.0	x: 0 m η = 1.5	x: 5 m η = 8.1	x: 5 m η = 35.8	x: 0 m η = 16.1	x: 5 m η = 38.5	CUMPLE η = 38.5
N114/N128	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.5	η = 2.9	η < 0.1	x: 0 m η = 11.6	x: 5 m η = 28.1	x: 5 m η = 1.9	x: 0 m η = 2.8	x: 0 m η = 2.7	x: 0 m η = 12.4	x: 0 m η = 1.4	x: 5 m η = 7.9	x: 0 m η = 29.6	x: 5 m η = 39.0	x: 5 m η = 40.8	CUMPLE η = 40.8
N115/N129	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.9	η = 7.4	η < 0.1	x: 5 m η = 13.1	x: 5 m η = 27.8	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 2.8	x: 5 m η = 3.6	x: 0 m η = 12.0	x: 5 m η = 1.8	x: 5 m η = 7.8	x: 0 m η = 15.7	x: 5 m η = 47.7	x: 5 m η = 49.4	CUMPLE η = 49.4

Barras	COMPROBACIONES (AISI S100-07 (2007))															Estado
	w / t	T	P	Tr	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x Tr	M _y Tr	M _x V _y	M _y V _x	MT	MP	TPTrMV	
N116/N130	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.0	η = 1.3	η < 0.1	x: 5 m η = 16.8	x: 5 m η = 26.5	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 3.0	x: 5 m η = 5.9	x: 0 m η = 11.3	x: 5 m η = 2.9	x: 5 m η = 7.1	x: 5 m η = 43.4	x: 5 m η = 23.9	x: 5 m η = 45.8	CUMPLE η = 45.8
N117/N131	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.4	η = 2.6	η < 0.1	x: 5 m η = 20.1	x: 5 m η = 24.0	x: 5 m η = 1.8	x: 5 m η = 3.1	x: 5 m η = 7.3	x: 0 m η = 10.3	x: 5 m η = 4.1	x: 5 m η = 5.8	x: 5 m η = 31.6	x: 5 m η = 44.7	x: 5 m η = 45.8	CUMPLE η = 45.8
N118/N132	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	x: 2.188 m η = 0.2	η = 12.5	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m η = 14.3	x: 5 m η = 23.1	x: 5 m η = 1.8	x: 5 m η = 3.4	x: 5 m η = 4.5	x: 0 m η = 10.3	x: 5 m η = 2.2	x: 5 m η = 5.4	x: 5 m η = 30.4	x: 5 m η = 39.0	x: 5 m η = 40.3	CUMPLE η = 40.3
N119/N133	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.4	η = 21.2	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m η = 22.6	x: 0 m η = 22.3	x: 0 m η = 1.7	x: 0 m η = 4.7	x: 5 m η = 11.9	x: 0 m η = 6.1	x: 5 m η = 5.1	x: 0 m η = 5.0	x: 5 m η = 21.1	x: 0 m η = 60.9	x: 0 m η = 58.5	CUMPLE η = 60.9
N120/N134	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.6	η = 0.9	x: 0.75 m η < 0.1	x: 0 m η = 14.6	x: 5 m η = 22.2	x: 5 m η = 1.7	x: 0 m η = 3.8	x: 5 m η = 3.0	x: 0 m η = 7.8	x: 0 m η = 2.3	x: 5 m η = 4.9	x: 5 m η = 33.7	x: 0 m η = 11.1	x: 5 m η = 35.3	CUMPLE η = 35.3
N121/N135	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η < 0.1	η = 28.2	η < 0.1	x: 0 m η = 15.4	x: 5 m η = 21.8	x: 5 m η = 1.7	x: 0 m η = 4.2	x: 0 m η = 3.4	x: 0 m η = 7.3	x: 0 m η = 2.5	x: 5 m η = 4.8	N.P. ⁽⁵⁾	x: 5 m η = 51.4	x: 5 m η = 49.1	CUMPLE η = 51.4
N122/N136	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.8	η = 12.1	x: 2.5 m η < 0.1	x: 3.25 m η = 19.4	x: 5 m η = 22.0	x: 5 m η = 1.7	x: 0 m η = 4.8	x: 4.5 m η = 6.8	x: 0 m η = 6.8	x: 3.25 m η = 3.8	x: 5 m η = 4.9	x: 5 m η = 24.6	x: 0 m η = 46.3	x: 0 m η = 47.2	CUMPLE η = 47.2
N123/N137	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.7	η = 8.8	η < 0.1	x: 3.125 m η = 19.8	x: 5 m η = 21.0	x: 5 m η = 1.7	x: 0 m η = 4.7	x: 4.375 m η = 7.2	x: 0 m η = 6.3	x: 3.125 m η = 3.9	x: 5 m η = 4.5	x: 0 m η = 34.6	x: 5 m η = 29.7	x: 5 m η = 36.1	CUMPLE η = 36.1
N124/N138	x: 4.75 m w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.2	η = 6.2	η < 0.1	x: 3.5 m η = 24.2	x: 0 m η = 20.6	x: 0 m η = 1.7	x: 0 m η = 5.2	x: 5 m η = 12.7	x: 0 m η = 5.7	x: 3.5 m η = 5.9	x: 0 m η = 4.3	x: 5 m η = 29.2	x: 5 m η = 43.2	x: 0 m η = 44.1	CUMPLE η = 44.1
N125/N139	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.1	η = 15.3	η < 0.1	x: 5 m η = 18.4	x: 5 m η = 26.5	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 3.1	x: 5 m η = 5.0	x: 5 m η = 10.3	x: 5 m η = 3.5	x: 5 m η = 7.1	x: 5 m η = 38.8	x: 5 m η = 47.8	x: 5 m η = 49.2	CUMPLE η = 49.2
N126/N140	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η < 0.1	η = 8.2	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 21.7	x: 5 m η = 20.9	x: 5 m η = 1.7	x: 0 m η = 4.3	x: 5 m η = 11.1	x: 5 m η = 6.0	x: 0 m η = 4.9	x: 5 m η = 4.4	x: 5 m η = 4.8	x: 0 m η = 47.4	x: 0 m η = 48.0	CUMPLE η = 48.0
N127/N141	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.2	η = 1.1	x: 2.5 m η < 0.1	x: 5 m η = 18.8	x: 5 m η = 25.8	x: 5 m η = 1.8	x: 5 m η = 3.1	x: 5 m η = 4.5	x: 5 m η = 8.5	x: 5 m η = 3.6	x: 5 m η = 6.7	x: 5 m η = 41.8	x: 5 m η = 15.1	x: 5 m η = 43.3	CUMPLE η = 43.3
N128/N142	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	N.P. ⁽⁴⁾	η = 29.2	η < 0.1	x: 5 m η = 13.2	x: 5 m η = 26.0	x: 5 m η = 1.8	x: 5 m η = 2.9	x: 5 m η = 3.0	x: 5 m η = 8.2	x: 5 m η = 1.8	x: 5 m η = 6.8	N.P. ⁽⁵⁾	x: 5 m η = 66.1	x: 5 m η = 62.7	CUMPLE η = 66.1
N129/N143	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.1	η = 9.8	x: 2.25 m η < 0.1	x: 0 m η = 13.8	x: 5 m η = 25.8	x: 5 m η = 1.8	x: 0 m η = 3.3	x: 4 m η = 4.6	x: 5 m η = 8.2	x: 0 m η = 2.0	x: 5 m η = 6.7	x: 5 m η = 18.9	x: 0 m η = 36.9	x: 0 m η = 37.5	CUMPLE η = 37.5
N130/N144	x: 5 m w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.4	η = 4.2	η < 0.1	x: 0 m η = 14.4	x: 5 m η = 25.2	x: 5 m η = 1.8	x: 0 m η = 3.5	x: 4.063 m η = 5.6	x: 5 m η = 8.0	x: 0 m η = 2.2	x: 5 m η = 6.4	x: 0 m η = 25.1	x: 5 m η = 32.9	x: 5 m η = 34.8	CUMPLE η = 34.8
N131/N145	x: 0 m w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.7	x: 2.75 m η = 3.8	x: 2.75 m η < 0.1	x: 0 m η = 19.4	x: 5 m η = 22.0	x: 5 m η = 1.7	x: 0 m η = 4.1	x: 5 m η = 10.6	x: 5 m η = 5.9	x: 0 m η = 3.9	x: 5 m η = 4.9	x: 5 m η = 35.5	x: 5 m η = 34.8	x: 5 m η = 36.8	CUMPLE η = 36.8
N132/N146	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.2	η = 5.9	x: 4.063 m η < 0.1	x: 0 m η = 19.3	x: 5 m η = 41.9	x: 5 m η = 2.3	x: 0 m η = 4.0	x: 0 m η = 5.6	x: 5 m η = 19.1	x: 0 m η = 3.9	x: 5 m η = 17.6	x: 5 m η = 38.9	x: 5 m η = 44.8	x: 5 m η = 48.3	CUMPLE η = 48.3
N133/N147	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.4	η = 10.0	η < 0.1	x: 0.625 m η = 29.8	x: 5 m η = 28.6	x: 5 m η = 1.9	x: 5 m η = 4.8	x: 0 m η = 14.7	x: 5 m η = 11.2	x: 0.625 m η = 8.9	x: 5 m η = 8.2	x: 0 m η = 30.3	x: 1.875 m η = 48.2	x: 0 m η = 46.6	CUMPLE η = 48.2
N134/N148	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.7	x: 5 m η = 0.7	η < 0.1	x: 2.813 m η = 17.6	x: 5 m η = 40.4	x: 5 m η = 2.3	x: 0 m η = 4.4	x: 2.813 m η = 3.3	x: 5 m η = 18.0	x: 2.813 m η = 3.1	x: 5 m η = 16.4	x: 5 m η = 41.1	x: 5 m η = 19.1	x: 5 m η = 44.9	CUMPLE η = 44.9
N135/N149	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.5	η = 0.4	η < 0.1	x: 2.5 m η = 22.0	x: 5 m η = 39.8	x: 5 m η = 2.2	x: 0 m η = 4.0	x: 2.5 m η = 4.9	x: 5 m η = 17.0	x: 2.5 m η = 4.9	x: 5 m η = 15.9	x: 5 m η = 40.9	x: 0 m η = 6.1	x: 5 m η = 45.0	CUMPLE η = 45.0

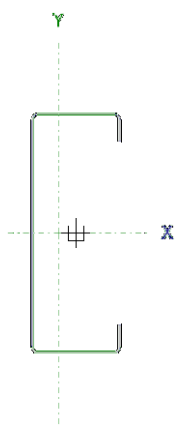
Barras	COMPROBACIONES (AISI S100-07 (2007))															Estado
	w / t	T	P	Tr	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x Tr	M _y Tr	M _x V _y	M _y V _x	MT	MP	TPTrMV	
N136/N150	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.4	η = 13.7	x: 2.813 m η < 0.1	x: 2.188 m η = 22.3	x: 5 m η = 36.4	x: 5 m η = 2.2	x: 5 m η = 4.4	x: 0.625 m η = 6.4	x: 5 m η = 14.6	x: 2.188 m η = 5.0	x: 5 m η = 13.3	x: 5 m η = 36.2	x: 5 m η = 51.7	x: 5 m η = 54.4	CUMPLE η = 54.4
N137/N151	x: 0 m w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 5.5	η = 0.3	N.P. ⁽¹⁾	x: 1.825 m η = 30.7	x: 0 m η = 20.8	x: 0 m η = 1.9	x: 4.867 m η = 4.6	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 1.825 m η = 9.4	x: 0 m η = 4.3	x: 2.434 m η = 42.3	x: 0 m η = 4.6	x: 0 m η = 43.9	CUMPLE η = 43.9
N138/N152	x: 5 m w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 1.8	η = 8.7	η < 0.1	x: 1.875 m η = 28.3	x: 5 m η = 38.1	x: 5 m η = 2.2	x: 5 m η = 4.5	x: 0 m η = 11.6	x: 5 m η = 16.3	x: 1.875 m η = 8.0	x: 5 m η = 14.6	x: 0 m η = 30.9	x: 5 m η = 49.9	x: 5 m η = 52.4	CUMPLE η = 52.4
N139/N153	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.7	η = 2.5	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m η = 25.9	x: 5 m η = 57.8	x: 5 m η = 2.8	x: 0 m η = 3.9	x: 0 m η = 6.9	x: 5 m η = 22.6	x: 0 m η = 6.9	x: 5 m η = 33.4	x: 5 m η = 60.7	x: 5 m η = 37.1	x: 5 m η = 66.6	CUMPLE η = 66.6
N140/N154	x: 4.375 m w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.6	η = 5.5	x: 2.5 m η < 0.1	x: 1.563 m η = 26.3	x: 5 m η = 54.8	x: 5 m η = 2.7	x: 5 m η = 3.8	x: 0 m η = 13.5	x: 5 m η = 16.3	x: 1.563 m η = 6.9	x: 5 m η = 30.1	x: 5 m η = 56.7	x: 5 m η = 54.0	x: 5 m η = 62.2	CUMPLE η = 62.2
N141/N155	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.1	x: 5 m η = 0.4	η < 0.1	x: 0 m η = 18.9	x: 5 m η = 60.1	x: 5 m η = 2.8	x: 0 m η = 3.5	x: 0 m η = 4.4	x: 5 m η = 22.7	x: 0 m η = 3.7	x: 5 m η = 36.2	x: 5 m η = 60.4	x: 5 m η = 54.2	x: 5 m η = 65.5	CUMPLE η = 65.5
N142/N156	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 0.3	η = 1.1	η < 0.1	x: 0 m η = 13.6	x: 5 m η = 60.4	x: 5 m η = 2.8	x: 0 m η = 3.3	x: 2.813 m η = 3.7	x: 5 m η = 21.5	x: 0 m η = 2.0	x: 5 m η = 36.5	x: 5 m η = 60.7	x: 5 m η = 36.7	x: 5 m η = 66.0	CUMPLE η = 66.0
N143/N157	w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.2	η = 10.8	x: 2.813 m η < 0.1	x: 2.188 m η = 13.8	x: 5 m η = 59.3	x: 5 m η = 2.8	x: 5 m η = 3.0	x: 1.25 m η = 4.7	x: 5 m η = 19.5	x: 2.188 m η = 1.9	x: 5 m η = 35.3	x: 5 m η = 45.6	x: 5 m η = 69.1	x: 5 m η = 72.9	CUMPLE η = 72.9
N144/N158	x: 0 m w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 3.7	η = 0.7	N.P. ⁽¹⁾	x: 2.129 m η = 21.5	x: 2.434 m η = 23.6	x: 0 m η = 1.7	x: 4.867 m η = 3.3	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 2.129 m η = 4.6	x: 2.434 m η = 5.6	x: 2.434 m η = 39.7	x: 0 m η = 5.6	x: 2.434 m η = 38.7	CUMPLE η = 39.7
N145/N159	x: 4.063 m w / t ≤ (w / t) ^{Máx.} Cumple	η = 2.7	η = 4.3	x: 4.375 m η < 0.1	x: 1.875 m η = 23.3	x: 5 m η = 60.9	x: 5 m η = 2.8	x: 5 m η = 3.3	x: 0.313 m η = 10.8	x: 5 m η = 21.0	x: 1.875 m η = 5.4	x: 5 m η = 37.1	x: 5 m η = 62.6	x: 5 m η = 65.5	x: 5 m η = 70.2	CUMPLE η = 70.2

Notación:
w / t: Limitaciones geométricas
T: Resistencia a tracción
P: Resistencia a compresión
Tr: Resistencia a torsión
M_x: Resistencia a flexión alrededor del eje X
M_y: Resistencia a flexión alrededor del eje Y
V_x: Resistencia a corte en la dirección del eje X
V_y: Resistencia a corte en la dirección del eje Y
M_xTr: Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con torsión
M_yTr: Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con torsión
M_xV_y: Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con corte en la dirección del eje Y
M_yV_x: Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con corte en la dirección del eje X
MT: Resistencia a flexión combinada con tracción
MP: Resistencia a flexión combinada con compresión
TPTrMV: Flexión combinada con cortante, axil y torsión - Comprobación de Von Mises
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Barras	COMPROBACIONES (AISI S100-07 (2007))														Estado
	w / t	T	P	Tr	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x Tr	M _y Tr	M _x V _y	M _y V _x	MT	MP	
<p><i>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</i></p> <p>⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay torsión.</p> <p>⁽²⁾ No hay interacción entre torsión y flexión alrededor del eje X para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</p> <p>⁽³⁾ No hay interacción entre torsión y flexión alrededor del eje Y para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</p> <p>⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.</p> <p>⁽⁵⁾ No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.</p>															

Fuente: Programa CYPECAD

En base al cuadro anterior, para la verificación de diseño seleccionamos la barra N45/N46 teniendo en cuenta la normativa AISI S100-2007 (American Iron and Steel Institute 2007) vigente.

Perfil: CC 203.2x76.2x25.4x3								
Material: Acero (ASTM A 36 36 ksi)								
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas					
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)
N45	N46	5.000	11.59	728.64	91.81	0.35	-14.43	0.00
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad								
			Pandeo		Pandeo lateral			
			Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.		
	b		1.00	1.00	0.00	0.00		
	L _K		5.000	5.000	0.000	0.000		
	C _m		1.000	1.000	-	-		
C _b		-		1.000				
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Factor de modificación para el momento crítico								

Notación:

w / t: Limitaciones geométricas

T: Resistencia a tracción

P: Resistencia a compresión

Tr: Resistencia a torsión

M_x: Resistencia a flexión alrededor del eje X

M_y: Resistencia a flexión alrededor del eje Y

V_x: Resistencia a corte en la dirección del eje X

V_y: Resistencia a corte en la dirección del eje Y

M_xTr: Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con torsión

M_yTr: Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con torsión

M_xV_y: Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con corte en la dirección del eje Y

M_yV_x: Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con corte en la dirección del eje X

MT: Resistencia a flexión combinada con tracción

MP: Resistencia a flexión combinada con compresión

TPTrMV: Flexión combinada con cortante, axil y torsión - Comprobación de Von Mises

x: Distancia al origen de la barra

η: Coeficiente de aprovechamiento (%)

1. Limitaciones geométricas (B1)

Se debe satisfacer:

$$w_1/t \leq 90$$

$$w_1 / t : 21.40 \text{ ok}$$

Donde:

$$w_1: \text{Longitud del tramo recto del elemento horizontal (paralelo al eje X)}. \quad w_1 : 64.20 \text{ mm}$$

$$t: \text{Espesor}. \quad t : 3.00 \text{ mm}$$

$$w_2/t \leq 200$$

$$w_2 / t : 63.73 \text{ ok}$$

Donde:

$$w_2: \text{Longitud del tramo recto del elemento vertical (paralelo al eje Y)}. \quad w_2 : 191.20 \text{ mm}$$

$$t: \text{Espesor}. \quad t : 3.00 \text{ mm}$$

$$w_3/t \leq 60$$

$$w_3 / t : 6.47 \text{ ok}$$

Donde:

$$w_3: \text{Longitud del tramo recto del rigidizador de borde}. \quad w_3 : 19.40 \text{ mm}$$

$$t: \text{Espesor}. \quad t : 3.00 \text{ mm}$$

2. Resistencia a tracción (Apéndices A & B, C2)

Se debe satisfacer:

$$\eta_T = \frac{T_f}{T_c} \leq 1$$

$$\eta_T : 0.029$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones
0.9·PP+0.9·COBERTURA+0.9·RIEL+0.9·GRUA+1.6·VXX.

Donde:

T_f : Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$T_f : 0.772 \text{ t}$$

T_c : Resistencia de diseño a tracción.

$$T_c = \phi_t T_n$$

$$T_c : 26.594 \text{ t}$$

Donde:

ϕ_t : Factor de resistencia para tracción.

$$\phi_t : 0.90$$

T_n : La resistencia nominal a tracción es igual al valor calculado según la Sección C2.1 del Apéndice B:

$$T_n : 29.548 \quad t$$

C2.1 Plastificación de la sección bruta.

$$T_n = A_g F_y$$

$$T_n : 29.548 \quad t$$

Donde:

A_g : Área de la sección bruta.

$$A_g : 11.59 \quad \text{cm}^2$$

F_y : Límite elástico del acero.

$$F_y : 2548.42 \quad \text{kg/cm}^2$$

3. Resistencia a compresión (C4)

Se debe satisfacer:

$$\eta_c = \frac{P_f}{P_c} \leq 1$$

$$\eta \quad \mathbf{0.123} \quad \text{ok}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones

1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.8·VYY+1.6·NIEVE.

Donde:

P_f : Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$P_f : 0.578 \quad t$$

P_c : Resistencia de diseño a compresión.

$$P_c = \phi_c P_n$$

$$P_c : 4.715 \quad t$$

Donde:

ϕ_c : Factor de resistencia para compresión.

$$\phi_c : 0.85$$

P_n : Resistencia nominal a compresión, tomada como el menor de los valores C4.1 y C4.2.

$$P_n : 5.547 \quad t$$

C4.1 Resistencia nominal a compresión, considerando el efecto del pandeo por flexión, flexotorsión o torsión.

$$P_n = A_e F_n$$

$$P_n : 5.547 \quad t$$

Donde:

A_e : Área de la sección eficaz.

$$A_e : 9.78 \quad \text{cm}^2$$

Para $\lambda_c > 1.5$

$$F_n = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y$$

$$F_n : 567.29 \quad \text{kg/cm}^2$$

Donde:

F_y : Límite elástico del acero.

$$F_y : 2548.42 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

$$l_c : 1.98$$

Donde:

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : 2548.42 kg/cm²

F_e: Tensión elástica de pandeo a flexión calculada según las Secciones C4.1.1 a C4.1.4. **F_e** : 646.85 kg/cm²

C4.1.1 Secciones no sometidas a pandeo por torsión o por flexotorsión.

F_{crit}: Tensión crítica de pandeo, tomada como la menor de **F_{ex}** y **F_{ey}**. **F_{crit}** : 646.85 kg/cm²

Donde:

$$F_{ex} = \frac{(\pi r_x)^2 E}{(K_x L)^2}$$

F_{ex} : 5133.74 kg/cm²

Donde:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

r_x : 79.27 mm

Donde:

I_x: Momento de inercia respecto al eje X. **I_x** : 728.64 cm⁴

A: Área de la sección bruta. **A** : 11.59 cm²

E: Módulo de Young. **E** : 2069317.02 kg/cm²

K_x: Factor de longitud eficaz para el eje X. **K_x** : 1.00

L: Longitud de la barra. **L** : 5.000 m

$$F_{ey} = \frac{(\pi r_y)^2 E}{(K_y L)^2}$$

F_{ey} : 646.85 kg/cm²

Donde:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

r_y : 28.14 mm

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y. **I_y** : 91.81 cm⁴

A: Área de la sección bruta. **A** : 11.59 cm²

E: Módulo de Young. **E** : 2069317.02 kg/cm²

K_y: Factor de longitud eficaz para el eje Y. **K** : 1.00

L: Longitud de la barra. **L** : 5.000 m

C4.1.2 Secciones con uno o dos ejes de simetría sometidas a pandeo por torsión o por flexotorsión.

(i) Para secciones con un eje de simetría, y angulares con alas iguales en los que el área eficaz no es igual al área bruta de la sección.

Las comprobaciones de la Sección C4.1.2 no proceden, ya que las longitudes efectivas de pandeo lateral de este elemento son nulas.

C4.2 Resistencia a pandeo por distorsión.

La comprobación de la Sección C4.2 no procede, ya que la longitud efectiva de pandeo por distorsión es cero.

4. Resistencia a torsión (Comprobación adicional)

Se debe satisfacer:

$$\eta_{Tr} = \frac{T_{rf}}{T_{rc}} \leq 1$$

$$\eta_{Tr} < \mathbf{0.001} \quad \text{ok}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.813 m del nudo N45, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA-SY.

Donde:

T_{rf} : Resistencia requerida a torsión, utilizando las combinaciones de carga LRFD.

$$T_{rf} : 0.000 \quad \text{t-m}$$

T_{rc} : Resistencia de diseño a torsión.

$$T_{rc} = \phi_{Tr} T_{rn}$$

$$T_{rc} : 0.016 \quad \text{t-m}$$

Donde:

ϕ_{Tr} : Factor de resistencia para torsión, tomado de AISC-05.

$$\phi_{Tr} : 0.90$$

T_{rn} : Resistencia nominal a torsión.

$$T_{rn} = F_n C$$

$$T_{rn} : 0.018 \quad \text{t-m}$$

Donde:

C : Módulo resistente a torsión.

$$C = \frac{J}{t}$$

$$C : 1.16 \quad \text{cm}^3$$

Donde:

J : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$J : 0.35 \quad \text{cm}^4$$

t : Espesor.

$$t : 3.00 \quad \text{mm}$$

$$F_n = 0.6 F_y$$

$$F_n : 1529.05 \quad \text{kg/cm}^2$$

Donde:

F_y : Límite elástico del acero.

$$F_y : 2548.42 \quad \text{kg/cm}^2$$

5. Resistencia a flexión alrededor del eje X (C3.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta_B = \frac{M_f}{M_c} \leq 1$$

$$\eta_B : \mathbf{0.198} \quad \text{ok}$$

M_f : Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$M_f : 0.343 \quad \text{t-m}$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.813 m del nudo N45, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.8·VXX+1.6·NIEVE.

M_f^* : Resistencia requerida para flexión positiva.

$$M_f^* : 0.343 \quad \text{t-m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.813 m del nudo N45, para la combinación de acciones $0.9 \cdot PP + 0.9 \cdot COBERTURA + 0.9 \cdot RIEL + 0.9 \cdot GRUA + 1.6 \cdot VYY$.

M_r : Resistencia requerida para flexión negativa. M_r : 0.164 t·m

M_c : Resistencia de diseño a flexión.

$M_c = \phi_b M_n$ M_c : 1.736 t·m

Donde:

ϕ_b : Factor de resistencia para flexión. ϕ_b : 0.95

M_n : La resistencia a flexión nominal mínima se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1. M_n : 1.828 t·m

Donde:

M_n^+ : La resistencia a flexión nominal se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1 para flexión positiva. M_n^+ : 1.828 t·m

M_n^- : La resistencia a flexión nominal se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1 para flexión negativa. M_n^- : 1.828 t·m

C3.1.1 Resistencia nominal de la sección.

$M_n = S_{ex} F_y$ M_n : 1.828 t·m

Donde:

$S_{ex} = \frac{I_{ex} I_{ey} - I_{exy}^2}{I_{ey} y - I_{exy} x}$ S_{ex} : 71.72 cm³

Donde:

I_{ex} : Momento eficaz de inercia respecto al eje X. I_{ex} : 728.64 cm⁴

I_{ey} : Momento eficaz de inercia respecto al eje Y. I_{ey} : 91.81 cm⁴

I_{exy} : Producto eficaz de inercia. I_{exy} : 0.00 cm⁴

x : Distancia a la fibra extrema en flexión. x : 17.67 mm

y : Distancia a la fibra extrema en flexión. y : 101.60 mm

F_y : Límite elástico del acero. F_y : 2548.42 kg/cm²

C3.1.2 Resistencia a pandeo lateral.

Como el factor de longitud eficaz para pandeo lateral es cero, la barra no está sometida a pandeo lateral. La resistencia a flexión se calcula según la Sección C3.1.1.

C3.1.4 Resistencia a pandeo por distorsión.

La comprobación de la Sección C3.1.4 no procede, ya que la longitud efectiva de pandeo por distorsión es cero.

6. Resistencia a flexión alrededor del eje Y (C3.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta_B = \frac{M_f}{M_c} \leq 1$$

η_B : 0.630 ok

M_f : Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD.

M_f : 0.256 t·m

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N45, para la combinación de acciones 0.9·PP+0.9·COBERTURA+0.9·RIEL+0.9·GRUA+1.6·VYY.

M_f^+ : Resistencia requerida para flexión positiva.

M_f^+ : 0.052 t·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N45, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.8·VXX+1.6·NIEVE.

M_f^- : Resistencia requerida para flexión negativa.

M_f^- : 0.256 t·m

M_c : Resistencia de diseño a flexión.

$$M_c = \phi_b M_n$$

M_c : 0.406 t·m

Donde:

ϕ_b : Factor de resistencia para flexión.

ϕ_b : 0.95

M_n : La resistencia a flexión nominal mínima se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1.

M_n : 0.427 t·m

Donde:

M_n^+ : La resistencia a flexión nominal se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1 para flexión positiva.

M_n^+ : 0.445 t·m

M_n^- : La resistencia a flexión nominal se calcula como la menor de las calculadas en los apartados aplicables del Capítulo C3.1 para flexión negativa.

M_n^- : 0.427 t·m

C3.1.1 Resistencia nominal de la sección.

$$M_n = S_{ey} F_y$$

M_n^+ : 0.445 t·m

M_n^- : 0.427 t·m

Donde:

$$S_{ey} = \frac{I_{ex} I_{ey} - I_{exy}^2}{I_{ex} x - I_{exy} y}$$

S_{ey}^+ : 17.48 cm³

S_{ey}^- : 16.77 cm³

Donde:

I_{ex} : Momento eficaz de inercia respecto al eje X.

I_{ex}^+ : 728.64 cm⁴

I_{ex}^- : 723.08 cm⁴

I_{ey} : Momento eficaz de inercia respecto al eje Y.

I_{ey}^+ : 91.81 cm⁴

I_{ey}^- : 81.21 cm⁴

I_{exy} : Producto eficaz de inercia.

I_{exy} : 0.00 cm⁴

x : Distancia a la fibra extrema en flexión.

x^+ : 52.53 mm

x^- : 48.41 mm

y : Distancia a la fibra extrema en flexión.

y : 76.20 mm

F_y : Límite elástico del acero.

F_y : 2548.42 kg/cm²

7. Resistencia a corte en la dirección del eje X (C3.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta_v = \frac{V_f}{V_c} \leq 1$$

$$\eta_v : 0.029 \quad \text{ok}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N45, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.8·VXX+1.6·NIEVE.

Donde:

V_f: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD. **V_f** : 0.081 t

La resistencia a corte requerida se ha reducido de forma que la fuerza aplicada se distribuye entre todos los elementos, puesto que la sección tiene más de un elemento que resiste cortante.

V_c: Resistencia de diseño a cortante.

$$V_c = \phi_v V_n$$

$$V_c : 2.798 \quad \text{t}$$

Donde:

φ_v: Factor de resistencia para cortante. **φ_v** : 0.95

V_n: La resistencia nominal a cortante es el menor de los valores calculados según la Sección C3.2.1. **V_n** : 2.945 t

C3.2.1 Resistencia a cortante del alma descontando los agujeros.

$$V_n = A_w F_v$$

$$V_n : 2.945 \quad \text{t}$$

Donde:

A_w: Área de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

$$A_w = ht$$

$$A_w : 1.93 \quad \text{cm}^2$$

Donde:

h: Altura del tramo recto del alma. **h** : 64.20 mm

t: Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante. **t** : 3.00 mm

(a) Para $\frac{h}{t} \leq \sqrt{\frac{Ek_v}{F_y}}$

$$F_v = 0.6F_y$$

$$F_v : 1529.05 \quad \text{kg/cm}^2$$

Donde:

h: Altura del tramo recto del alma. **h** : 64.20 mm

t: Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante. **t** : 3.00 mm

E: Módulo de Young. **E** : 2069317.02 kg/cm²

F_y: Límite elástico del acero. **F_y** : 2548.42 kg/cm²

1. Para almas sin rigidizadores transversales:

K_v: Coeficiente de abolladura por cortante. **K_v** : 5.34

8. Resistencia a corte en la dirección del eje Y (C3.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta_v = \frac{V_f}{V_c} \leq 1$$

$$\eta_v : 0.035 \quad \text{ok}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N45, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+1.6·NIEVE.

Donde:

V_f : Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$V_f : 0.294 \quad \text{t}$$

V_c : Resistencia de diseño a cortante.

$$V_c = \phi_v V_n$$

$$V_c : 8.332 \quad \text{t}$$

Donde:

ϕ_v : Factor de resistencia para cortante.

$$\phi_v : 0.95$$

V_n : La resistencia nominal a cortante es el menor de los valores calculados según la Sección C3.2.1.

$$V_n : 8.771 \quad \text{t}$$

C3.2.1 Resistencia a cortante del alma descontando los agujeros.

$$V_n = A_w F_v$$

$$V_n : 8.771 \quad \text{t}$$

Donde:

A_w : Área de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

$$A_w = ht$$

$$A_w : 5.74 \quad \text{cm}^2$$

Donde:

h : Altura del tramo recto del alma.

$$h : 191.20 \quad \text{mm}$$

t : Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

$$t : 3.00 \quad \text{mm}$$

$$(a) \text{ Para } \frac{h}{t} \leq \sqrt{\frac{Ek_v}{F_y}}$$

$$F_v = 0.6F_y$$

$$F_v : 1529.05 \quad \text{kg/cm}^2$$

Donde:

h : Altura del tramo recto del alma.

$$h : 191.20 \quad \text{mm}$$

t : Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante.

$$t : 3.00 \quad \text{mm}$$

E : Módulo de Young.

$$E : 2069317.02 \quad \text{kg/cm}^2$$

F_y : Límite elástico del acero.

$$F_y : 2548.42 \quad \text{kg/cm}^2$$

1. Para almas sin rigidizadores transversales:

K_v : Coeficiente de abolladura por cortante.

$$K_v : 5.34$$

9. Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con torsión

(C3.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta_B = \frac{M_f}{M_c R} \leq 1$$

$$\eta_B : 0.111 \quad \text{ok}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N46, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.2·NIEVE-SY.

Donde:

M_f: Resistencia requerida para flexión positiva.

$$M_f : 0.193 \quad \text{t}\cdot\text{m}$$

M_c: Resistencia de diseño a flexión, según C3.1.

$$M_c : 1.736 \quad \text{t}\cdot\text{m}$$

R: Factor de reducción de resistencia debido a la torsión.

$$R = \frac{|f_{bx}|}{|f_{bx}| + |f_{Tr}|} \leq 1$$

$$R : 1.00$$

Donde:

Las tensiones utilizadas en esta comprobación se han calculado en el siguiente punto, en el cual se produce la combinación pésima de tensiones normales y tangenciales.

x: Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad.

$$x : 46.53 \quad \text{mm}$$

y: Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad.

$$y : 101.60 \quad \text{mm}$$

f_{bx}: Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje X.

$$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{fx}$$

$$f_{bx} : -268.66 \quad \text{kg/cm}^2$$

Donde:

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

$$M_{fx} : 0.193 \quad \text{t}\cdot\text{m}$$

I_x: Momento de inercia respecto al eje X.

$$I_x : 728.64 \quad \text{cm}^4$$

f_{Tr}: Tensión tangencial debida a la torsión.

$$f_{Tr} : 0.18 \quad \text{kg/cm}^2$$

10. Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con torsión

(C3.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta_B = \frac{M_f}{M_c R} \leq 1$$

$$\eta_B : 0.200 \quad \text{ok}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N45, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.2·NIEVE-SY.

Donde:

M_f: Resistencia requerida para flexión negativa.

$$M_f : 0.081 \quad \text{t}\cdot\text{m}$$

M_c: Resistencia de diseño a flexión, según C3.1.

M_c : 0.406 t·m

R: Factor de reducción de resistencia debido a la torsión.

$$R = \frac{|f_{by}|}{|f_{by}| + |f_{Tr}|} \leq 1$$

R : 1.00

Donde:

Las tensiones utilizadas en esta comprobación se han calculado en el siguiente punto, en el cual se produce la combinación pésima de tensiones normales y tangenciales.

x: Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **x** : 52.53 mm

y: Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad. **y** : 76.20 mm

f_{by}: Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje Y, calculada utilizando la sección eficaz.

$$f_{by} = \frac{-x}{I_{ey}} M_{fy}$$

f_{by} : -525.06 kg/cm²

Donde:

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. **M_{fy}** : 0.081 t·m

I_{ey}: Momento eficaz de inercia respecto al eje Y.

I_{ey} : 81.21 cm⁴

f_{Tr}: Tensión tangencial debida a la torsión.

f_{Tr} : 0.18 kg/cm²

11. Resistencia a flexión alrededor del eje X combinada con corte en la dirección del eje Y (C3.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta \leq 1$$

η : 0.039

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 2.813 m del nudo N45, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.8·VXX+1.6·NIEVE.

Donde:

(a) Para vigas sin rigidizadores transversales.

$$\eta = \left(\frac{M_{fx}}{M_{cx}} \right)^2 + \left(\frac{V_{fy}}{V_{cy}} \right)^2$$

η : 0.039

Donde:

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

M_{fx} : 0.343 t·m

M_{cx}: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje X.

M_{cx} : 1.736 t·m

V_{fy}: Resistencia a cortante requerida en la dirección del eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

V_{fy} : 0.003 t

V_{cy}: Resistencia de diseño a cortante en la dirección del eje Y.

V_{cy} : 8.332 t

12. Resistencia a flexión alrededor del eje Y combinada con corte en la dirección del eje X (C3.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta \leq 1$$

$$\eta : 0.398 \text{ ok}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N45, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.8·VXX+1.6·NIEVE.

Donde:

(a) Para vigas sin rigidizadores transversales.

$$\eta = \left(\frac{M_{fy}}{M_{cy}} \right)^2 + \left(\frac{V_{fx}}{V_{cx}} \right)^2$$

$$\eta : 0.398$$

Donde:

M_{fy}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

$$M_{fy} : 0.256 \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{cy}: Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje Y.

$$M_{cy} : 0.406 \text{ t}\cdot\text{m}$$

V_{fx}: Resistencia a cortante requerida en la dirección del eje X para las combinaciones de carga LRFD.

$$V_{fx} : 0.081 \text{ t}$$

V_{cx}: Resistencia de diseño a cortante en la dirección del eje X.

$$V_{cx} : 2.798 \text{ t}$$

13. Resistencia a flexión combinada con tracción (C5.1.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta_f \leq 1$$

$$\eta_f : 0.559 \text{ ok}$$

$$\eta \leq 1$$

$$\eta : 0.530 \text{ ok}$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N45, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+1.6·VXX+0.5·NIEVE.

Donde:

$$\eta_f = \frac{M_{fx}}{\phi_{bx} M_{nxt}} + \frac{M_{fy}}{\phi_{by} M_{nyt}} + \frac{T_f}{\phi_t T_n}$$

$$\eta_f : 0.559$$

Donde:

φ_{bx}: Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X.

$$\phi_{bx} : 0.95$$

M_{fx}: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

$$M_{fx} : 0.169 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{nxt} = S_{rx} F_y$$

$$M_{nxt} : 1.828 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$$S_{ftx} = \frac{I_x I_y - I_{xy}^2}{I_y y_t - I_{xy} x_t}$$

$$S_{ftx} : 71.72 \text{ cm}^3$$

Donde:

I_x : Momento de inercia respecto al eje X.

$$I_x : 728.64 \text{ cm}^4$$

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y.

$$I_y : 91.81 \text{ cm}^4$$

I_{xy} : Producto de inercia.

$$I_{xy} : 0.00 \text{ cm}^4$$

x_t : Distancia a la fibra extrema traccionada en flexión alrededor del eje X.

$$x_t : 17.67 \text{ mm}$$

y_t : Distancia a la fibra extrema traccionada en flexión alrededor del eje Y.

$$y_t : 101.60 \text{ mm}$$

F_y : Límite elástico del acero.

$$F_y : 2548.42 \text{ kg/cm}^2$$

ϕ_{by} : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y.

$$\phi_{by} : 0.95$$

M_{fy} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

$$M_{fy} : 0.185 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{nyt} = S_{fty} F_y$$

$$M_{nyt} : 0.445 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$$S_{fty} = \frac{I_x I_y - I_{xy}^2}{I_x x_t - I_{xy} y_t}$$

$$S_{fty} : 17.48 \text{ cm}^3$$

Donde:

I_x : Momento de inercia respecto al eje X.

$$I_x : 728.64 \text{ cm}^4$$

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y.

$$I_y : 91.81 \text{ cm}^4$$

I_{xy} : Producto de inercia.

$$I_{xy} : 0.00 \text{ cm}^4$$

x_t : Distancia a la fibra extrema traccionada en flexión alrededor del eje Y.

$$x_t : 52.53 \text{ mm}$$

y_t : Distancia a la fibra extrema traccionada en flexión alrededor del eje X.

$$y_t : 76.20 \text{ mm}$$

F_y : Límite elástico del acero.

$$F_y : 2548.42 \text{ kg/cm}^2$$

ϕ_t : Factor de resistencia para tracción.

$$\phi_t : 0.90$$

T_f : Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$T_f : 0.628 \text{ t}$$

T_n : Resistencia nominal a tracción, según la Sección C2.

$$T_n : 29.548 \text{ t}$$

$$\eta = \frac{M_{fx}}{\phi_{bx} M_{nx}} + \frac{M_{fy}}{\phi_{by} M_{ny}} - \frac{T_f}{\phi_t T_n}$$

$$\eta : 0.530$$

Donde:

ϕ_{bx} : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X.

$$\phi_{bx} : 0.95$$

M_{fx} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

$$M_{fx} : 0.169 \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{nx} : Resistencia nominal a flexión alrededor del eje X según la Sección C3.1.

$$M_{nx} : 1.828 \text{ t}\cdot\text{m}$$

ϕ_{by} : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y.

$$\phi_{by} : 0.95$$

M_{fy} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

$$M_{fy} : 0.185 \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_{ny} : Resistencia nominal a flexión alrededor del eje Y según la Sección C3.1.	M_{ny} :	0.427	t·m
ϕ_t : Factor de resistencia para tracción.	ϕ_t :	0.90	
T_f : Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD.	T_f :	0.628	t
T_n : Resistencia nominal a tracción, según la Sección C2.	T_n :	29.548	t

14. Resistencia a flexión combinada con compresión (C5.2.2)

(b) Se debe satisfacer el siguiente criterio si $\frac{P_f}{\phi_c P_n} \leq 0.15$

$$\eta = \frac{P_f}{\phi_c P_n} + \frac{M_{fx}}{\phi_{bx} M_{nx}} + \frac{M_{fy}}{\phi_{by} M_{ny}} \leq 1$$

η : 0.693 ok

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N45, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.5·VIVA+1.6·NIEVE.

Donde:

ϕ_c : Factor de resistencia para compresión.	ϕ_c :	0.85
P_f : Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD.	P_f :	0.483 t
P_n : Resistencia nominal a compresión según la Sección C4.	P_n :	5.547 t
ϕ_{bx} : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje X.	ϕ_{bx} :	0.95
M_{fx} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.	M_{fx} :	0.139 t·m
M_{nx} : Resistencia nominal a flexión alrededor del eje X según la Sección C3.1.	M_{nx} :	1.828 t·m
ϕ_{by} : Factor de resistencia para flexión alrededor del eje Y.	ϕ_{by} :	0.95
M_{fy} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.	M_{fy} :	0.207 t·m
M_{ny} : Resistencia nominal a flexión alrededor del eje Y según la Sección C3.1.	M_{ny} :	0.427 t·m

15. Flexión combinada con cortante, axil y torsión - Comprobación de Von Mises (Comprobación adicional)

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, el siguiente criterio de rotura de Von Mises:

$$\eta = \left| \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right| \leq 1$$

η : 0.732 ok

$$\eta = \left| \frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_{Tr}}{F_{Tr}} \right| \leq 1$$

η : 0.010 ok

$$\eta = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 + \left[\frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} + \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} + \frac{f_{Tr}}{F_{Tr}} \right]^2 \leq 1$$

η : 0.536 ok

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N45, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.5·VIVA+1.6·NIEVE.

Donde:

f_a : Tensión normal debida a compresión, calculada utilizando el área de la sección bruta.

$$f_a = \frac{P_f}{A_e}$$

$$f_a : 49.35 \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

P_f : Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD.

$$P_f : 0.483 \text{ t}$$

A_e : Área de la sección eficaz.

$$A_e : 9.78 \text{ cm}^2$$

Las tensiones utilizadas en esta comprobación se han calculado en el siguiente punto, en el cual se produce la combinación pésima de tensiones normales y tangenciales.

x : Coordenada X del punto de cálculo respecto al centro de gravedad.

$$x : 52.53 \text{ mm}$$

y : Coordenada Y del punto de cálculo respecto al centro de gravedad.

$$y : 95.60 \text{ mm}$$

f_{bx} : Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje X.

$$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{fx}$$

$$f_{bx} : 182.59 \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

M_{fx} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

$$M_{fx} : -0.139 \text{ t}\cdot\text{m}$$

I_x : Momento de inercia respecto al eje X.

$$I_x : 728.64 \text{ cm}^4$$

f_{by} : Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje Y, calculada utilizando la sección eficaz.

$$f_{by} = \frac{-x}{I_{ey}} M_{fy}$$

$$f_{by} : 1341.81 \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

M_{fy} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD.

$$M_{fy} : -0.207 \text{ t}\cdot\text{m}$$

I_{ey} : Momento eficaz de inercia respecto al eje Y.

$$I_{ey} : 81.21 \text{ cm}^4$$

f_{vx} : Tensión tangencial debida al esfuerzo cortante en la dirección del eje X.

$$f_{vx} : 7.63 \text{ kg/cm}^2$$

f_{vy} : Tensión tangencial debida al esfuerzo cortante en la dirección del eje Y.

$$f_{vy} : 6.73 \text{ kg/cm}^2$$

f_{Tr} : Tensión tangencial debida a la torsión.

$$f_{Tr} : 0.00 \text{ kg/cm}^2$$

F_a : Resistencia a compresión de la sección.

$$F_a = \phi_c F_n$$

$$F_a : 482.19 \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

ϕ_c : Factor de resistencia para compresión.

$$\phi_c : 0.85$$

F_n : Tensión crítica nominal de pandeo, calculada según el Capítulo C4.

$$F_n : 567.29 \text{ kg/cm}^2$$

F_{bx} , F_{by} : Resistencia de la sección a flexión alrededor de los ejes X y Y, respectivamente.

$$F_{bx} = F_{by} = \phi_b F_y$$

$$F_{bx} : 2421.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{by} : 2421.00 \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

ϕ_b : Factor de resistencia para flexión.

$$\phi_b : 0.95$$

F_y : Límite elástico del acero.

$$F_y : 2548.42 \text{ kg/cm}^2$$

F_{vx} , F_{vy} : Resistencia de la sección a cortante en las direcciones X y Y, respectivamente.

$$F_{Vx} = F_{Vy} = \phi_v F_y / \sqrt{3}$$

$$F_{Vx} : 1397.76 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{Vy} : 1397.76 \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

ϕ_v : Factor de resistencia para cortante.

$$\phi_v : 0.95$$

F_y : Límite elástico del acero.

$$F_y : 2548.42 \text{ kg/cm}^2$$

F_{Tr} : Resistencia a torsión de la sección.

$$F_{Tr} = \phi_{Tr} F_y / \sqrt{3}$$

$$F_{Tr} : 1324.20 \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

ϕ_{Tr} : Factor de resistencia para torsión.

$$\phi_{Tr} : 0.90$$

F_y : Límite elástico del acero.

$$F_y : 2548.42 \text{ kg/cm}^2$$

3.4.4 Diseño de pórticos principales

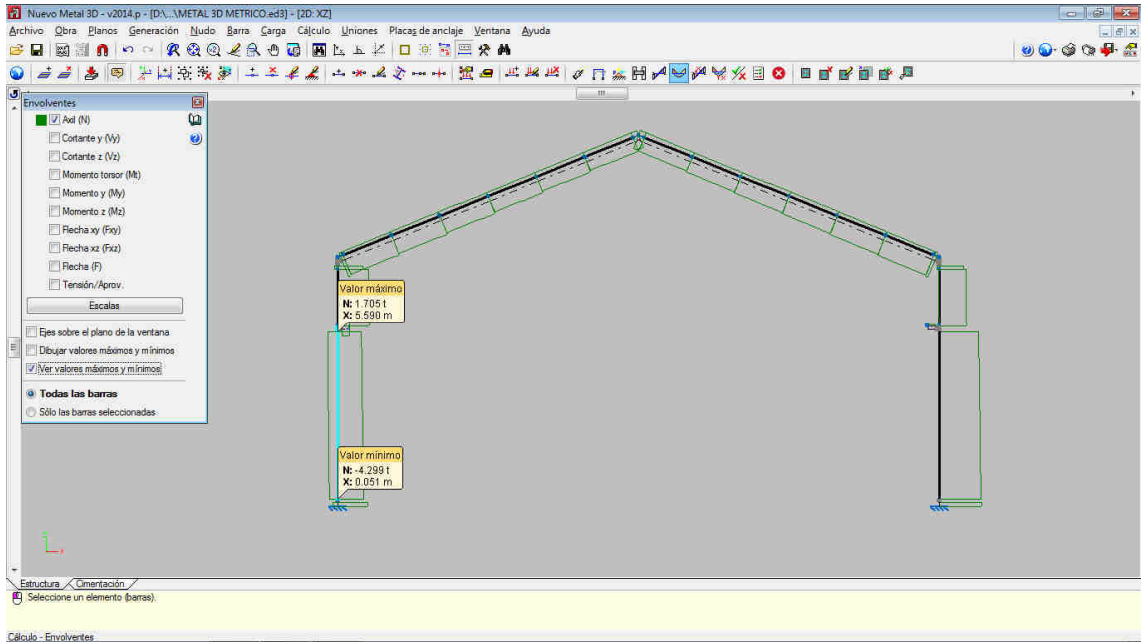
A. Metrado de cargas

Debido a que las cargas actúan en la cobertura y cerramientos, los cuales transmiten a los pórticos, excepto las cargas de sismo, no se adicionan cargas adicionales para el diseño.

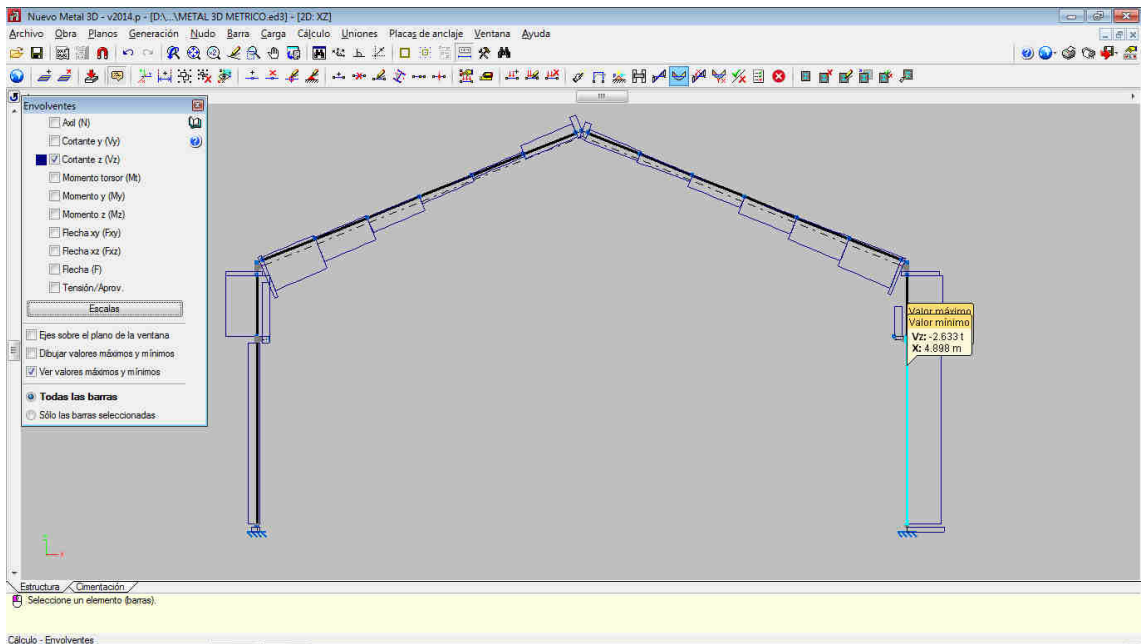
B. Análisis estructural

Los resultados se presentan en cuadros para los elementos críticos según las barras que servirán para el diseño.

Los resultados del análisis del pórtico principal, se muestran en las siguientes figuras.



Esfuerzos axiales en el pórtico



Esfuerzos cortantes en el pórtico

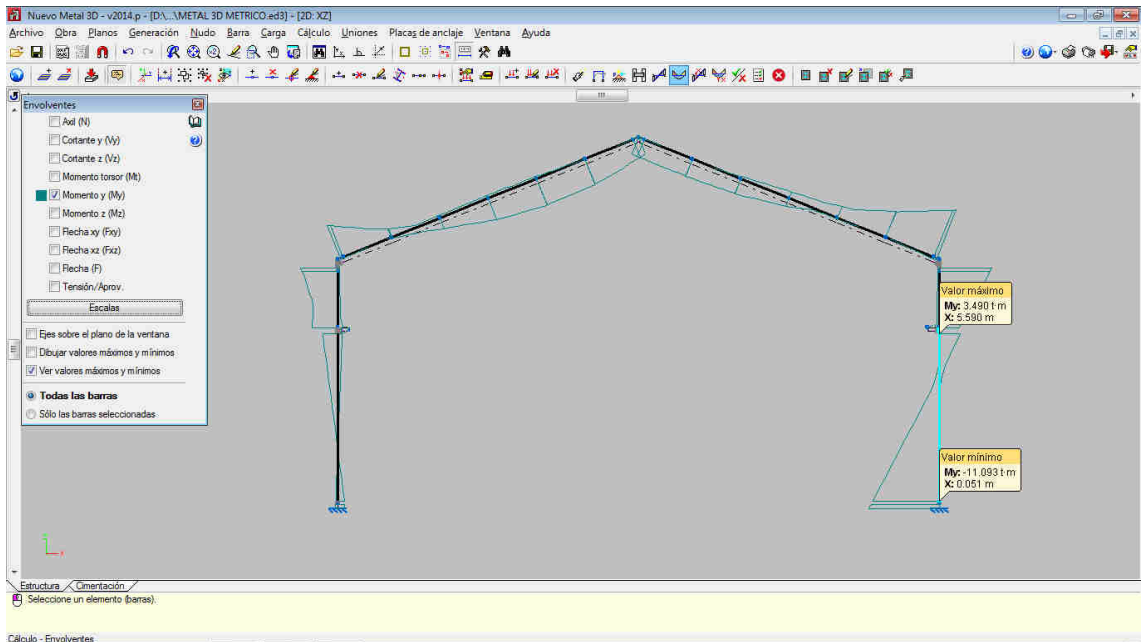
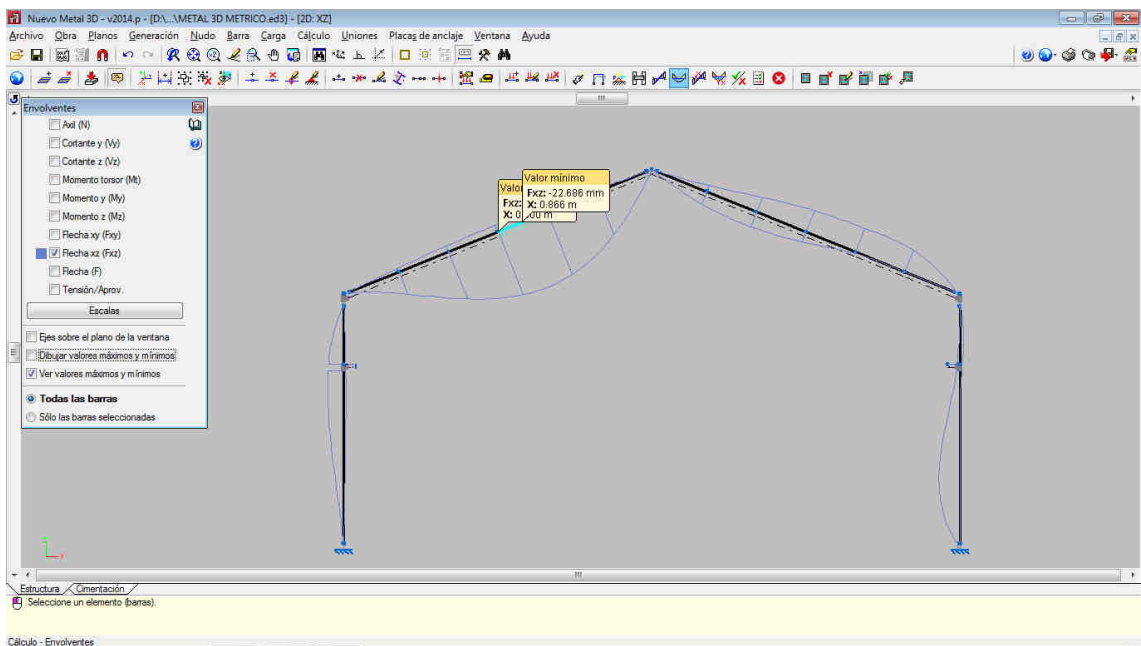


Diagrama de momentos flectores



Deformada de la estructura

C. Pre dimensionamiento de vigas y columnas

Para las vigas de cobertura se considera un peralte de $L/50$ a $L/70$ (Instituto Aco Brasil/Centro Brasileiro da Construcao em aco 2010),

siendo “L” la luz libre de la edificación, por lo tanto, consideramos el perfil más liviano:

$$\frac{L}{70} = \frac{20}{70} = 0.28 \approx 12''$$

Entonces consideramos una viga W12X30 de la serie de perfiles AISC.

Para la selección de la columna metálica por facilidad de proceso constructivo seleccionamos el mismo perfil de la misma serie, pero cuidando el ancho del ala que debe ser mayor al de la viga por las recomendaciones de unión emperrada, por lo que seleccionamos una viga de W12X40.

D. Verificación de diseño de vigas del pórtico

Para obtener los esfuerzos máximos en los elementos de las vigas, chequeamos las solicitaciones de todas las barras de las vigas.

Cuadro N° 4 Solicitaciones en elementos de Vigas de pórtico

Barras	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-10 (LRFD))								Estado
	P _t	I _c	P _c	M _x	M _y	V _x	V _y	PM _x M _y V _x V _y T	
N1/N19	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 0.9	x: 0.196 m h = 6.5	x: 0.196 m h = 4.8	x: 0.101 m h = 0.5	x: 0.101 m h = 1.7	x: 0.196 m h = 14.8	CUMPLE h = 14.8
N19/N23	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.9	x: 1.732 m h = 7.3	x: 0 m h = 5.1	x: 1.732 m h = 0.3	x: 0 m h = 1.2	x: 0 m h = 15.0	CUMPLE h = 15.0
N23/N25	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.7	x: 0 m h = 7.3	x: 1.732 m h = 3.0	x: 1.732 m h = 0.2	x: 1.732 m h = 0.7	x: 1.732 m h = 10.4	CUMPLE h = 10.4
N25/N27	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.6	x: 0 m h = 5.5	x: 1.732 m h = 8.8	h = 0.4	x: 1.732 m h = 1.6	x: 1.732 m h = 15.2	CUMPLE h = 15.2
N27/N29	x: 1.732 m h < 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.5	x: 1.732 m h = 7.7	x: 1.732 m h = 15.3	x: 0 m h = 0.9	x: 1.732 m h = 2.7	x: 1.732 m h = 32.3	CUMPLE h = 32.3
N29/N31	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.2	x: 0 m h = 4.7	x: 0 m h = 14.7	x: 1.732 m h = 1.0	x: 0 m h = 1.6	x: 0 m h = 26.3	CUMPLE h = 26.3
N31/N21	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.0	x: 0 m h = 0.9	x: 1.732 m h = 9.6	h = 0.2	x: 0 m h = 0.3	x: 1.732 m h = 15.8	CUMPLE h = 15.8
N21/N2	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.8	x: 0.196 m h = 0.6	x: 0 m h = 6.7	x: 0.196 m h = 1.0	x: 0.196 m h = 1.3	x: 0.196 m h = 43.8	CUMPLE h = 43.8
N3/N20	x: 0.196 m h = 0.7	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 2.2	x: 0.101 m h = 37.6	x: 0.196 m h = 3.7	h = 0.8	x: 0.101 m h = 9.4	x: 0.101 m h = 45.7	CUMPLE h = 45.7

Barras	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-10 (LRFD))								Estado
	P _t	I _c	P _c	M _x	M _y	V _x	V _y	PM _x M _y V _x V _y T	
N20/N24	x: 1.732 m h = 0.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.3	x: 0 m h = 36.2	x: 0 m h = 3.9	h = 0.2	x: 0 m h = 7.5	x: 0 m h = 48.4	CUMPLE h = 48.4
N24/N26	x: 1.732 m h = 0.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.1	x: 0 m h = 14.1	x: 1.732 m h = 1.6	h = 0.1	x: 0 m h = 5.4	x: 0 m h = 19.8	CUMPLE h = 19.8
N26/N28	x: 1.732 m h = 0.1	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.8	x: 1.732 m h = 19.4	x: 1.732 m h = 1.9	h = 0.1	x: 0 m h = 3.4	x: 1.732 m h = 24.2	CUMPLE h = 24.2
N28/N30	x: 1.516 m h = 0.1	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.7	x: 1.732 m h = 24.8	x: 1.732 m h = 2.4	h = 0.2	x: 0 m h = 2.1	x: 1.732 m h = 33.1	CUMPLE h = 33.1
N30/N32	x: 1.732 m h = 0.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.5	x: 1.299 m h = 24.8	x: 0 m h = 2.2	h = 0.1	x: 1.732 m h = 1.1	x: 0 m h = 32.2	CUMPLE h = 32.2
N32/N22	x: 1.732 m h = 0.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.3	x: 0 m h = 24.5	x: 1.732 m h = 3.4	h = 0.2	x: 1.732 m h = 2.2	x: 0 m h = 30.1	CUMPLE h = 30.1
N22/N4	x: 0 m h = 0.4	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.0	x: 0 m h = 19.6	x: 0 m h = 2.2	h = 0.6	x: 0.196 m h = 2.7	x: 0 m h = 26.1	CUMPLE h = 26.1
N5/N62	x: 0.196 m h = 0.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 2.7	x: 0.101 m h = 46.8	x: 0.196 m h = 3.3	h = 0.7	x: 0.101 m h = 10.7	x: 0.101 m h = 56.7	CUMPLE h = 56.7
N62/N64	x: 1.732 m h = 0.4	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.9	x: 0 m h = 45.2	x: 0 m h = 3.6	h = 0.2	x: 0 m h = 8.9	x: 0 m h = 58.9	CUMPLE h = 58.9
N64/N65	x: 1.732 m h = 0.4	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.7	x: 0 m h = 18.6	x: 1.732 m h = 1.6	h = 0.1	x: 0 m h = 6.8	x: 0 m h = 25.0	CUMPLE h = 25.0
N65/N66	x: 1.732 m h = 0.9	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.8	x: 1.732 m h = 23.8	x: 1.732 m h = 3.9	h = 0.3	x: 0 m h = 4.6	x: 1.732 m h = 33.4	CUMPLE h = 33.4
N66/N67	x: 1.732 m h = 0.9	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.6	x: 1.732 m h = 30.5	x: 1.732 m h = 2.7	h = 0.2	x: 0 m h = 2.6	x: 1.732 m h = 39.8	CUMPLE h = 39.8
N67/N68	x: 1.732 m h = 1.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.5	x: 0 m h = 30.2	x: 1.732 m h = 3.3	h = 0.2	x: 1.732 m h = 1.4	x: 0 m h = 40.6	CUMPLE h = 40.6
N68/N63	x: 1.732 m h = 1.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.4	x: 0 m h = 28.9	x: 0 m h = 1.9	h = 0.1	x: 1.732 m h = 3.2	x: 0 m h = 34.9	CUMPLE h = 34.9
N63/N6	x: 0.196 m h = 1.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.9	x: 0 m h = 21.5	x: 0 m h = 1.4	h = 1.0	x: 0.196 m h = 5.0	x: 0 m h = 26.3	CUMPLE h = 26.3
N7/N76	x: 0.196 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 3.3	x: 0.101 m h = 36.0	x: 0.196 m h = 1.9	h = 0.3	x: 0.101 m h = 9.5	x: 0.101 m h = 43.4	CUMPLE h = 43.4
N76/N78	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.4	x: 0 m h = 34.6	x: 0 m h = 3.8	h = 0.2	x: 0 m h = 7.9	x: 0 m h = 45.4	CUMPLE h = 45.4
N78/N79	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.2	x: 1.732 m h = 13.6	x: 0 m h = 1.6	h = 0.1	x: 0 m h = 5.9	x: 0 m h = 18.1	CUMPLE h = 18.1
N79/N80	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.0	x: 1.732 m h = 23.2	x: 1.732 m h = 2.7	h = 0.2	x: 0 m h = 3.9	x: 1.732 m h = 30.2	CUMPLE h = 30.2
N80/N81	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.8	x: 1.732 m h = 28.8	x: 1.732 m h = 2.3	h = 0.1	x: 0 m h = 2.0	x: 1.732 m h = 34.9	CUMPLE h = 34.9
N81/N82	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.6	x: 0 m h = 28.5	x: 1.732 m h = 2.9	h = 0.2	x: 0 m h = 1.0	x: 0 m h = 36.0	CUMPLE h = 36.0
N82/N77	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.4	x: 0 m h = 27.3	x: 1.732 m h = 2.3	h = 0.1	x: 1.732 m h = 2.4	x: 0 m h = 33.4	CUMPLE h = 33.4
N77/N8	x: 0.196 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.0	x: 0 m h = 19.4	x: 0.196 m h = 1.5	h = 0.9	x: 0.196 m h = 4.0	x: 0 m h = 23.7	CUMPLE h = 23.7
N9/N90	x: 0.196 m h = 0.4	l <= 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 2.9	x: 0.101 m h = 36.1	x: 0.196 m h = 1.9	h = 0.3	x: 0.101 m h = 9.7	x: 0.101 m h = 43.1	CUMPLE h = 43.1
N90/N92	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.0	x: 0 m h = 34.6	x: 1.732 m h = 2.0	h = 0.1	x: 0 m h = 8.0	x: 0 m h = 36.0	CUMPLE h = 36.0
N92/N93	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.8	x: 1.732 m h = 11.9	x: 1.732 m h = 0.9	h = 0.1	x: 0 m h = 6.0	x: 1.732 m h = 15.3	CUMPLE h = 15.3
N93/N94	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.6	x: 1.732 m h = 23.7	x: 1.732 m h = 2.0	h = 0.1	x: 0 m h = 3.9	x: 1.732 m h = 25.0	CUMPLE h = 25.0

Barras	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-10 (LRFD))								Estado
	P _t	I _c	P _c	M _x	M _y	V _x	V _y	PM _x M _y V _x V _y T	
N94/N95	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.4	x: 1.732 m h = 29.2	x: 1.732 m h = 1.9	h = 0.1	x: 0 m h = 1.8	x: 1.732 m h = 30.3	CUMPLE h = 30.3
N95/N96	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.2	x: 0 m h = 28.9	x: 1.732 m h = 2.6	h = 0.1	x: 0 m h = 0.8	x: 0 m h = 30.0	CUMPLE h = 30.0
N96/N91	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.0	x: 0 m h = 27.5	x: 1.732 m h = 1.6	h < 0.1	x: 1.732 m h = 2.5	x: 0 m h = 32.7	CUMPLE h = 32.7
N91/N10	x: 0.196 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.7	x: 0 m h = 19.3	x: 0 m h = 1.2	h = 0.3	x: 0.196 m h = 4.2	x: 0 m h = 23.4	CUMPLE h = 23.4
N11/N104	x: 0.196 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 3.0	x: 0.101 m h = 36.3	x: 0.196 m h = 1.6	h = 0.3	x: 0.101 m h = 9.7	x: 0.101 m h = 43.3	CUMPLE h = 43.3
N104/N106	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.1	x: 0 m h = 34.8	x: 1.732 m h = 2.0	h = 0.1	x: 0 m h = 8.0	x: 0 m h = 41.9	CUMPLE h = 41.9
N106/N107	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.9	x: 1.732 m h = 12.5	x: 1.732 m h = 0.9	h = 0.1	x: 0 m h = 6.0	x: 0 m h = 13.5	CUMPLE h = 13.5
N107/N108	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.8	x: 1.732 m h = 23.6	x: 1.732 m h = 1.9	h = 0.1	x: 0 m h = 3.9	x: 1.732 m h = 25.4	CUMPLE h = 25.4
N108/N109	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.6	x: 1.732 m h = 28.8	x: 1.732 m h = 2.0	h = 0.1	x: 0 m h = 1.8	x: 1.732 m h = 30.8	CUMPLE h = 30.8
N109/N110	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.4	x: 0 m h = 28.6	x: 1.732 m h = 2.6	h = 0.1	x: 1.732 m h = 0.8	x: 0 m h = 30.4	CUMPLE h = 30.4
N110/N105	x: 1.732 m h = 0.7	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.2	x: 0 m h = 26.9	x: 0 m h = 1.5	h < 0.1	x: 1.732 m h = 2.6	x: 0 m h = 32.0	CUMPLE h = 32.0
N105/N12	x: 0.196 m h = 0.7	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.8	x: 0 m h = 18.3	x: 0 m h = 0.9	h = 0.3	x: 0.196 m h = 4.3	x: 0 m h = 22.1	CUMPLE h = 22.1
N13/N118	x: 0.196 m h = 0.8	l <= 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 3.8	x: 0.101 m h = 37.6	x: 0.196 m h = 3.8	h = 0.8	x: 0.101 m h = 10.0	x: 0.101 m h = 45.6	CUMPLE h = 45.6
N118/N120	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 4.0	x: 0 m h = 36.0	x: 0 m h = 1.5	h < 0.1	x: 0 m h = 8.3	x: 0 m h = 38.3	CUMPLE h = 38.3
N120/N121	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.8	x: 1.732 m h = 14.0	x: 1.732 m h = 1.0	h = 0.1	x: 0 m h = 6.3	x: 1.732 m h = 17.9	CUMPLE h = 17.9
N121/N122	x: 1.732 m h = 0.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.6	x: 1.732 m h = 25.0	x: 1.732 m h = 2.3	h = 0.2	x: 0 m h = 4.1	x: 1.732 m h = 34.3	CUMPLE h = 34.3
N122/N123	x: 1.732 m h = 0.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.4	x: 1.732 m h = 30.3	x: 1.732 m h = 2.5	h = 0.2	x: 0 m h = 1.8	x: 1.732 m h = 40.6	CUMPLE h = 40.6
N123/N124	x: 1.732 m h = 0.1	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.2	x: 0 m h = 30.0	x: 1.732 m h = 2.8	h = 0.1	x: 1.732 m h = 0.9	x: 0 m h = 40.1	CUMPLE h = 40.1
N124/N119	x: 1.732 m h = 0.1	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.0	x: 0 m h = 27.5	x: 0 m h = 2.2	h = 0.1	x: 1.732 m h = 3.3	x: 0 m h = 34.7	CUMPLE h = 34.7
N119/N14	x: 0.196 m h = 0.1	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.4	x: 0 m h = 16.7	x: 0 m h = 1.1	h = 0.5	x: 0.196 m h = 5.3	x: 0 m h = 21.4	CUMPLE h = 21.4
N15/N132	x: 0.196 m h = 0.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 2.1	x: 0.101 m h = 32.4	x: 0.196 m h = 3.7	h = 0.8	x: 0.101 m h = 9.3	x: 0.101 m h = 39.5	CUMPLE h = 39.5
N132/N134	x: 1.732 m h = 0.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.2	x: 0 m h = 30.9	x: 0 m h = 2.5	h = 0.1	x: 0 m h = 7.4	x: 0 m h = 40.3	CUMPLE h = 40.3
N134/N135	x: 1.732 m h = 0.4	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.0	x: 1.732 m h = 11.9	x: 1.732 m h = 1.1	h = 0.1	x: 0 m h = 5.2	x: 1.732 m h = 15.3	CUMPLE h = 15.3
N135/N136	x: 1.732 m h = 0.9	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.8	x: 1.732 m h = 20.7	x: 1.732 m h = 2.7	h = 0.2	x: 0 m h = 3.2	x: 1.732 m h = 25.6	CUMPLE h = 25.6
N136/N137	x: 1.732 m h = 0.9	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.6	x: 1.732 m h = 25.5	x: 1.732 m h = 2.2	h = 0.2	x: 0 m h = 1.8	x: 1.732 m h = 28.5	CUMPLE h = 28.5
N137/N138	x: 1.732 m h = 1.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.4	x: 0.217 m h = 25.2	x: 1.732 m h = 3.1	h = 0.1	x: 0 m h = 1.5	x: 0 m h = 32.9	CUMPLE h = 32.9
N138/N133	x: 1.732 m h = 1.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.3	x: 0 m h = 24.6	x: 1.732 m h = 3.3	h = 0.2	x: 1.732 m h = 2.0	x: 0 m h = 29.9	CUMPLE h = 29.9

Barras	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-10 (LRFD))								Estado
	P _t	I _c	P _c	M _x	M _y	V _x	V _y	PM _x M _y V _x V _y T	
N133/N16	x: 0.196 m h = 1.3	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.0	x: 0 m h = 19.8	x: 0 m h = 2.8	h = 0.7	x: 0.196 m h = 2.7	x: 0 m h = 26.4	CUMPLE h = 26.4
N17/N146	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 0.8	x: 0.196 m h = 6.5	x: 0.196 m h = 4.8	x: 0.101 m h = 0.4	x: 0.101 m h = 1.6	x: 0.196 m h = 15.0	CUMPLE h = 15.0
N146/N148	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.8	x: 1.732 m h = 7.3	x: 0 m h = 3.7	x: 1.732 m h = 0.2	x: 0 m h = 1.0	x: 0 m h = 12.7	CUMPLE h = 12.7
N148/N149	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.6	x: 0 m h = 7.2	x: 1.732 m h = 2.6	x: 0 m h = 0.2	x: 1.732 m h = 0.7	x: 0 m h = 11.0	CUMPLE h = 11.0
N149/N150	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.6	x: 0 m h = 5.6	x: 1.732 m h = 8.7	x: 0 m h = 0.4	x: 1.732 m h = 1.5	x: 1.732 m h = 14.8	CUMPLE h = 14.8
N150/N151	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.5	x: 1.732 m h = 8.3	x: 1.732 m h = 15.6	h = 0.9	x: 1.732 m h = 2.8	x: 1.732 m h = 31.9	CUMPLE h = 31.9
N151/N152	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.2	x: 0 m h = 4.9	x: 0 m h = 12.6	h = 0.9	x: 0 m h = 1.6	x: 0 m h = 24.4	CUMPLE h = 24.4
N152/N147	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.0	x: 0 m h = 0.8	x: 1.732 m h = 9.4	x: 0 m h = 0.2	x: 0 m h = 0.3	x: 1.732 m h = 15.5	CUMPLE h = 15.5
N147/N18	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.8	x: 0.196 m h = 0.6	x: 0 m h = 6.8	x: 0.196 m h = 0.7	x: 0.196 m h = 1.3	x: 0.196 m h = 43.2	CUMPLE h = 43.2
N48/N33	x: 0.196 m h = 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 0.9	x: 0.101 m h = 13.7	x: 0.196 m h = 3.9	x: 0.196 m h = 0.2	x: 0.101 m h = 2.4	x: 0.101 m h = 20.9	CUMPLE h = 20.9
N33/N37	x: 1.732 m h = 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.9	x: 0 m h = 13.5	x: 0 m h = 4.9	x: 1.732 m h = 0.3	x: 0 m h = 2.0	x: 0 m h = 19.2	CUMPLE h = 19.2
N37/N39	x: 1.732 m h = 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.7	x: 0 m h = 8.5	x: 0 m h = 4.3	x: 0 m h = 0.3	x: 1.732 m h = 1.5	x: 0 m h = 14.5	CUMPLE h = 14.5
N39/N41	x: 1.732 m h = 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.6	x: 0 m h = 3.9	x: 1.732 m h = 8.9	h = 0.4	x: 1.732 m h = 1.4	x: 1.732 m h = 15.4	CUMPLE h = 15.4
N41/N43	x: 1.662 m h = 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.5	x: 1.664 m h = 5.5	x: 1.664 m h = 19.3	x: 0 m h = 1.1	x: 1.664 m h = 1.6	x: 1.664 m h = 31.7	CUMPLE h = 31.7
N43/N45	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0.588 m h = 1.2	x: 0.588 m h = 3.8	x: 0.588 m h = 12.0	x: 1.732 m h = 1.3	x: 0.588 m h = 1.1	x: 0.588 m h = 20.1	CUMPLE h = 20.1
N45/N35	x: 1.732 m h < 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.1	x: 0 m h = 2.2	x: 1.732 m h = 10.7	x: 0 m h = 0.4	x: 0 m h = 0.7	x: 1.732 m h = 17.7	CUMPLE h = 17.7
N35/N2	x: 0.196 m h < 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.8	x: 0.196 m h = 0.6	x: 0.196 m h = 6.4	x: 0 m h = 1.0	x: 0.196 m h = 1.5	x: 0.196 m h = 37.3	CUMPLE h = 37.3
N50/N34	x: 0.196 m h = 0.7	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 2.8	x: 0.101 m h = 49.0	x: 0.196 m h = 3.3	h = 0.7	x: 0.101 m h = 9.3	x: 0.101 m h = 57.7	CUMPLE h = 57.7
N34/N38	x: 1.732 m h = 0.3	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.9	x: 0 m h = 47.5	x: 0 m h = 4.3	h = 0.2	x: 0 m h = 7.4	x: 0 m h = 62.6	CUMPLE h = 62.6
N38/N40	x: 1.732 m h = 0.3	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.8	x: 0 m h = 24.3	x: 0 m h = 2.8	h = 0.2	x: 0 m h = 5.5	x: 0 m h = 34.3	CUMPLE h = 34.3
N40/N42	x: 1.732 m h < 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.4	x: 0 m h = 12.9	x: 1.732 m h = 2.8	h = 0.2	x: 1.732 m h = 3.8	x: 0 m h = 18.4	CUMPLE h = 18.4
N42/N44	x: 1.732 m h = 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.2	x: 1.732 m h = 18.7	x: 0 m h = 3.0	h = 0.2	x: 1.732 m h = 2.5	x: 1.732 m h = 27.0	CUMPLE h = 27.0
N44/N46	x: 1.732 m h = 0.2	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.7	x: 1.732 m h = 20.9	x: 1.732 m h = 2.1	h = 0.1	x: 1.732 m h = 1.7	x: 1.732 m h = 25.9	CUMPLE h = 25.9
N46/N36	x: 1.732 m h = 0.2	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.5	x: 0 m h = 20.7	x: 1.732 m h = 5.3	h = 0.3	x: 1.732 m h = 1.8	x: 1.732 m h = 31.2	CUMPLE h = 31.2
N36/N4	x: 0.196 m h = 0.3	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.0	x: 0 m h = 19.1	x: 0.196 m h = 2.1	h = 0.6	x: 0.196 m h = 1.8	x: 0.196 m h = 25.3	CUMPLE h = 25.3
N52/N69	x: 0.196 m h = 0.4	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 2.6	x: 0.101 m h = 52.8	x: 0.196 m h = 3.5	h = 0.8	x: 0.101 m h = 8.7	x: 0.101 m h = 63.5	CUMPLE h = 63.5
N69/N71	x: 1.732 m h = 0.4	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.0	x: 0 m h = 51.6	x: 0 m h = 2.4	h = 0.1	x: 0 m h = 7.5	x: 0 m h = 62.0	CUMPLE h = 62.0

Barras	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-10 (LRFD))								Estado
	P _t	I _c	P _c	M _x	M _y	V _x	V _y	PM _x M _y V _x V _y T	
N71/N72	x: 1.732 m h = 0.4	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.8	x: 0 m h = 28.4	x: 1.732 m h = 2.0	h = 0.1	x: 0 m h = 6.0	x: 0 m h = 36.2	CUMPLE h = 36.2
N72/N73	x: 1.732 m h = 0.9	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.0	x: 0 m h = 14.4	x: 1.732 m h = 3.1	h = 0.2	x: 1.732 m h = 4.4	x: 0 m h = 18.0	CUMPLE h = 18.0
N73/N74	x: 1.732 m h = 0.9	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.8	x: 1.732 m h = 19.7	x: 1.732 m h = 3.7	h = 0.3	x: 1.732 m h = 3.0	x: 1.732 m h = 26.3	CUMPLE h = 26.3
N74/N75	x: 1.732 m h = 1.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.8	x: 1.732 m h = 22.2	x: 1.732 m h = 2.6	h = 0.2	x: 1.732 m h = 1.7	x: 1.732 m h = 29.6	CUMPLE h = 29.6
N75/N70	x: 1.732 m h = 1.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.6	x: 0 m h = 21.9	x: 0 m h = 3.4	h = 0.1	x: 1.732 m h = 1.8	x: 0 m h = 31.1	CUMPLE h = 31.1
N70/N6	x: 0.196 m h = 1.3	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.2	x: 0 m h = 21.3	x: 0 m h = 2.1	h = 1.0	x: 0.196 m h = 2.5	x: 0 m h = 27.8	CUMPLE h = 27.8
N53/N83	x: 0.196 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 3.0	x: 0.101 m h = 56.4	x: 0.196 m h = 1.5	h = 0.2	x: 0.101 m h = 9.9	x: 0.101 m h = 65.9	CUMPLE h = 65.9
N83/N85	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.2	x: 0 m h = 55.0	x: 0 m h = 2.1	h = 0.1	x: 0 m h = 8.3	x: 0 m h = 65.4	CUMPLE h = 65.4
N85/N86	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.0	x: 0 m h = 30.1	x: 1.732 m h = 1.2	h = 0.1	x: 0 m h = 6.4	x: 0 m h = 37.2	CUMPLE h = 37.2
N86/N87	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.8	x: 0 m h = 14.3	x: 1.732 m h = 2.4	h = 0.2	x: 0 m h = 4.5	x: 0 m h = 17.7	CUMPLE h = 17.7
N87/N88	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.6	x: 1.732 m h = 18.6	x: 1.732 m h = 1.9	h = 0.1	x: 1.732 m h = 3.0	x: 1.732 m h = 26.3	CUMPLE h = 26.3
N88/N89	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.5	x: 1.732 m h = 20.3	x: 1.732 m h = 2.3	h = 0.1	x: 1.732 m h = 2.3	x: 1.732 m h = 26.2	CUMPLE h = 26.2
N89/N84	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.3	x: 0 m h = 20.0	x: 0 m h = 2.1	h = 0.1	x: 1.732 m h = 2.7	x: 0 m h = 27.3	CUMPLE h = 27.3
N84/N8	x: 0.196 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.0	x: 0 m h = 18.8	x: 0 m h = 2.2	h = 0.9	x: 0.196 m h = 3.3	x: 0 m h = 23.6	CUMPLE h = 23.6
N54/N97	x: 0.196 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 2.9	x: 0.101 m h = 52.8	x: 0.196 m h = 1.3	h = 0.2	x: 0.101 m h = 8.8	x: 0.101 m h = 62.2	CUMPLE h = 62.2
N97/N99	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.1	x: 0 m h = 51.6	x: 1.732 m h = 2.2	h = 0.2	x: 0 m h = 7.4	x: 0 m h = 53.4	CUMPLE h = 53.4
N99/N100	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.9	x: 0 m h = 28.5	x: 1.732 m h = 1.2	h = 0.1	x: 0 m h = 5.7	x: 0 m h = 30.1	CUMPLE h = 30.1
N100/N101	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.7	x: 0 m h = 12.4	x: 1.732 m h = 2.6	h = 0.2	x: 1.732 m h = 4.3	x: 0 m h = 13.1	CUMPLE h = 13.1
N101/N102	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.5	x: 1.732 m h = 16.3	x: 1.732 m h = 2.1	x: 0.433 m h = 0.1	x: 1.732 m h = 2.9	x: 1.732 m h = 17.9	CUMPLE h = 17.9
N102/N103	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.3	x: 1.732 m h = 18.5	x: 1.732 m h = 2.6	h = 0.1	x: 1.732 m h = 2.0	x: 1.732 m h = 23.9	CUMPLE h = 23.9
N103/N98	x: 1.732 m h = 0.7	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.1	x: 1.732 m h = 18.8	x: 1.732 m h = 1.6	x: 0 m h = 0.1	x: 1.732 m h = 2.0	x: 1.732 m h = 20.0	CUMPLE h = 20.0
N98/N10	x: 0.196 m h = 0.7	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.8	x: 0 m h = 18.5	x: 0.196 m h = 1.0	h = 0.3	x: 0.196 m h = 2.4	x: 0 m h = 22.7	CUMPLE h = 22.7
N55/N111	x: 0.196 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 3.1	x: 0.101 m h = 52.7	x: 0.196 m h = 1.6	h = 0.3	x: 0.101 m h = 9.1	x: 0.101 m h = 62.4	CUMPLE h = 62.4
N111/N113	x: 1.732 m h = 0.5	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.2	x: 0 m h = 51.4	x: 1.732 m h = 1.9	x: 0.433 m h = 0.1	x: 0 m h = 7.6	x: 0 m h = 61.0	CUMPLE h = 61.0
N113/N114	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.0	x: 0 m h = 27.8	x: 1.732 m h = 1.1	h = 0.1	x: 0 m h = 5.8	x: 0 m h = 29.7	CUMPLE h = 29.7
N114/N115	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.8	x: 0 m h = 12.3	x: 1.732 m h = 2.2	h = 0.1	x: 1.732 m h = 4.2	x: 0 m h = 13.1	CUMPLE h = 13.1
N115/N116	x: 1.732 m h = 0.6	l <= 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.6	x: 1.732 m h = 16.9	x: 1.732 m h = 2.0	h = 0.1	x: 1.732 m h = 2.8	x: 1.732 m h = 20.4	CUMPLE h = 20.4

Barras	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-10 (LRFD))								Estado
	P _t	I _c	P _c	M _x	M _y	V _x	V _y	PM _x M _y V _x V _y T	
N116/N117	x: 1.732 m h = 0.7	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.5	x: 1.732 m h = 18.5	x: 1.732 m h = 2.4	h = 0.1	x: 1.732 m h = 1.9	x: 1.732 m h = 23.9	CUMPLE h = 23.9
N117/N112	x: 1.732 m h = 0.7	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.3	x: 0 m h = 18.2	x: 1.732 m h = 1.5	h = 0.1	x: 1.732 m h = 2.1	x: 0 m h = 23.0	CUMPLE h = 23.0
N112/N12	x: 0.196 m h = 0.7	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.9	x: 0 m h = 17.6	x: 0.196 m h = 0.9	h = 0.3	x: 0.196 m h = 2.7	x: 0 m h = 21.7	CUMPLE h = 21.7
N57/N125	x: 0.196 m h = 0.7	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 2.6	x: 0.101 m h = 51.5	x: 0.196 m h = 4.1	h = 0.9	x: 0.101 m h = 8.8	x: 0.101 m h = 62.4	CUMPLE h = 62.4
N125/N127	x: 1.732 m h = 0.3	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.0	x: 0 m h = 50.3	x: 0 m h = 2.1	h = 0.1	x: 0 m h = 7.4	x: 0 m h = 62.1	CUMPLE h = 62.1
N127/N128	x: 1.732 m h = 0.4	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.8	x: 0 m h = 27.5	x: 1.732 m h = 1.2	h = 0.1	x: 0 m h = 5.9	x: 0 m h = 34.8	CUMPLE h = 34.8
N128/N129	x: 1.732 m h < 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.1	x: 0 m h = 13.0	x: 1.732 m h = 2.2	h = 0.1	x: 1.732 m h = 4.2	x: 1.732 m h = 16.9	CUMPLE h = 16.9
N129/N130	x: 1.732 m h = 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.9	x: 1.732 m h = 17.8	x: 1.732 m h = 2.1	h = 0.1	x: 1.732 m h = 2.8	x: 1.732 m h = 23.5	CUMPLE h = 23.5
N130/N131	x: 1.732 m h = 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.1	x: 1.732 m h = 18.8	x: 1.732 m h = 2.2	x: 0 m h = 0.1	x: 1.732 m h = 2.0	x: 0.866 m h = 24.3	CUMPLE h = 24.3
N131/N126	x: 1.732 m h = 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.9	x: 0 m h = 18.5	x: 0 m h = 1.7	h = 0.1	x: 1.732 m h = 2.2	x: 0 m h = 22.9	CUMPLE h = 22.9
N126/N14	x: 0.196 m h = 0.2	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.5	x: 0 m h = 15.9	x: 0 m h = 0.8	h = 0.5	x: 0.196 m h = 3.6	x: 0 m h = 20.6	CUMPLE h = 20.6
N59/N139	x: 0.196 m h = 0.4	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 3.0	x: 0.101 m h = 54.1	x: 0.196 m h = 3.4	h = 0.8	x: 0.101 m h = 9.6	x: 0.101 m h = 63.6	CUMPLE h = 63.6
N139/N141	x: 1.732 m h = 0.4	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.2	x: 0 m h = 52.6	x: 0 m h = 4.4	h = 0.2	x: 0 m h = 7.7	x: 0 m h = 68.6	CUMPLE h = 68.6
N141/N142	x: 1.732 m h = 0.4	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.0	x: 0 m h = 28.3	x: 0 m h = 3.2	h = 0.2	x: 0 m h = 5.8	x: 0 m h = 39.6	CUMPLE h = 39.6
N142/N143	x: 1.732 m h = 0.9	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.5	x: 0 m h = 12.6	x: 1.732 m h = 2.6	h = 0.2	x: 1.732 m h = 4.0	x: 0 m h = 17.4	CUMPLE h = 17.4
N143/N144	x: 1.732 m h = 0.9	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.4	x: 1.732 m h = 15.8	x: 0 m h = 3.3	h = 0.2	x: 1.732 m h = 2.7	x: 1.732 m h = 23.1	CUMPLE h = 23.1
N144/N145	x: 1.732 m h = 1.3	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.8	x: 1.732 m h = 18.8	x: 1.732 m h = 2.9	h = 0.1	x: 1.732 m h = 1.8	x: 1.732 m h = 26.3	CUMPLE h = 26.3
N145/N140	x: 1.732 m h = 1.3	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.6	x: 1.732 m h = 20.0	x: 1.732 m h = 4.9	h = 0.3	x: 1.732 m h = 1.8	x: 1.732 m h = 30.0	CUMPLE h = 30.0
N140/N16	x: 0.196 m h = 1.4	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.1	x: 0 m h = 19.8	x: 0.196 m h = 2.3	h = 0.7	x: 0.196 m h = 2.1	x: 0.196 m h = 25.5	CUMPLE h = 25.5
N61/N153	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0.101 m h = 0.9	x: 0.101 m h = 14.6	x: 0.196 m h = 1.8	x: 0.101 m h = 0.2	x: 0.101 m h = 2.7	x: 0.101 m h = 17.0	CUMPLE h = 17.0
N153/N155	x: 1.732 m h < 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.9	x: 0 m h = 14.4	x: 0 m h = 6.0	x: 0 m h = 0.3	x: 0 m h = 2.2	x: 0 m h = 24.9	CUMPLE h = 24.9
N155/N156	x: 1.732 m h = 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.7	x: 0 m h = 8.9	x: 0 m h = 4.4	x: 0 m h = 0.3	x: 0 m h = 1.6	x: 0 m h = 14.4	CUMPLE h = 14.4
N156/N157	x: 1.732 m h = 0.1	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.6	x: 0 m h = 4.3	x: 1.732 m h = 8.1	x: 0 m h = 0.4	x: 1.732 m h = 1.4	x: 1.732 m h = 14.6	CUMPLE h = 14.6
N157/N158	x: 1.732 m h = 0.2	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.4	x: 1.732 m h = 5.1	x: 1.732 m h = 11.4	h = 0.6	x: 1.732 m h = 1.4	x: 1.732 m h = 18.9	CUMPLE h = 18.9
N158/N159	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.2	x: 0 m h = 3.6	x: 0 m h = 9.7	h = 0.7	x: 0 m h = 0.9	x: 0 m h = 19.2	CUMPLE h = 19.2
N159/N154	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.1	x: 0 m h = 1.9	x: 1.732 m h = 10.5	x: 0 m h = 0.5	x: 0 m h = 0.6	x: 1.732 m h = 17.3	CUMPLE h = 17.3
N154/N18	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 0.8	x: 0.196 m h = 0.6	x: 0.196 m h = 6.4	x: 0 m h = 0.7	x: 0.196 m h = 1.5	h = 36.7	CUMPLE h = 36.7

Barras	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-10 (LRFD))								Estado
	P _t	λ _c	P _c	M _x	M _y	V _x	V _y	PM _x M _y V _x V _y T	
<p>Notación:</p> <p>P_t: Resistencia a tracción λ_c: Limitación de esbeltez para compresión P_c: Resistencia a compresión M_x: Resistencia a flexión eje X M_y: Resistencia a flexión eje Y V_x: Resistencia a corte X V_y: Resistencia a corte Y PM_xM_yV_xV_yT: Esfuerzos combinados y torsión x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede</p> <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.</p>									

Fuente: Programa CYPECAD

Para la verificación de diseño seleccionamos el elemento con mayor sollicitación.

Perfil: W12x30 Material: Acero (A36)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
N139	N141	1.732	56.90	9920.00	855.00	19.10
<p>Notas:</p> <p>⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme</p>						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.	
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _K	1.732	1.732	0.000	0.000		
C _b	-	1.000				
<p>Notación:</p> <p>β: Coeficiente de pandeo L_K: Longitud de pandeo (m) C_b: Factor de modificación para el momento crítico</p>						

Barra	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-10 (LRFD))								Estado
	P _t	λ _c	P _c	M _x	M _y	V _x	V _y	PM _x M _y V _x V _y T	
N139/N141	x: 1.732 m η = 0.4	λ ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m η = 3.2	x: 0 m η = 52.6	x: 0 m η = 4.4	η = 0.2	x: 0 m η = 7.7	x: 0 m η = 68.6	CUMPLE η = 68.6
<p>Notación:</p> <p>P_t: Resistencia a tracción λ_c: Limitación de esbeltez para compresión P_c: Resistencia a compresión M_x: Resistencia a flexión eje X M_y: Resistencia a flexión eje Y V_x: Resistencia a corte X V_y: Resistencia a corte Y PM_xM_yV_xV_yT: Esfuerzos combinados y torsión x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%)</p>									

Barra	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-10 (LRFD))								Estado
	P _t	λ _c	P _c	M _x	M _y	V _x	V _y	PM _x M _y V _x V _y T	

1. Resistencia a tracción (Capítulo D)

Se debe satisfacer:

$$\eta_T = \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

$$\eta_T : \underline{\quad 0.004 \quad} \text{ OK}$$

El axil de tracción solicitante de cálculo pésimo P_r se produce en el nudo N141, para la combinación de hipótesis 0.9·PP+0.9·COBERTURA+0.9·RIEL+0.9·GRUA+VYY.

Donde:

P_r: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD

$$P_r : \underline{\quad 0.494 \quad} \text{ t}$$

P_c: Resistencia de diseño a tracción

$$P_c : \underline{\quad 130.505 \quad} \text{ t}$$

$$P_c = \phi_t P_n$$

La resistencia de diseño a tracción es el menor valor de los obtenidos según el estado límite de fluencia a tracción de la sección bruta y el de rotura a tracción de la sección neta

Donde:

φ_t: Factor de resistencia a tracción, tomado como:

$$\phi_t : \underline{\quad 0.90 \quad}$$

a) Para fluencia bajo tracción en la sección bruta:

$$P_n = F_y A (D2 - 1)$$

$$P_n : \underline{\quad 145.005 \quad} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra.

$$A : \underline{\quad 56.90 \quad} \text{ cm}^2$$

F_y: Límite elástico mínimo especificado

$$F_y : \underline{\quad 2548.42 \quad} \text{ Kg/cm}^2$$

2. Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

La esbeltez máxima admisible en una barra sometida a compresión es*:

$$\lambda \leq 200$$

$$\lambda : \underline{\quad 45 \quad} \text{ OK}$$

Donde:

λ : Coeficiente de esbeltez

$$\lambda = \frac{KL}{r}$$

$$\lambda : \underline{\quad 45 \quad}$$

Donde:

L: Longitud de la barra

$$\mathbf{L} : \underline{\quad 10684 \quad} \text{ mm}$$

K: Factor de longitud efectiva.

$$\mathbf{K} : \underline{\quad 0.16 \quad}$$

r_y: Radio de giro respecto al eje Y

$$\mathbf{r}_y : \underline{\quad 3.88 \quad} \text{ cm}$$

Donde:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$\mathbf{r}_y : \underline{\quad 3.88 \quad} \text{ cm}$$

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y

$$\mathbf{I}_y : \underline{\quad 855.00 \quad} \text{ cm}^4$$

A: Área total de la sección transversal de la barra.

$$\mathbf{A} : \underline{\quad 56.90 \quad} \text{ cm}^2$$

Notas:

*: La esbeltez máxima admisible está basada en las Notas de Usuario de la sección E2.

3. Resistencia a compresión (Capítulo E)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo E de ANSI/AISC 360-10 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_T = \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

$$\eta_T : \underline{\quad 0.032 \quad} \text{ OK}$$

El axil de compresión solicitante de cálculo pésimo P_r se produce en el nudo N139, para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.5·VXX+1.6·NIEVE.

Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD

$$\mathbf{P}_r : \underline{\quad 3.719 \quad} \text{ t}$$

P_c: Resistencia de diseño a compresión

$$\mathbf{P}_c : \underline{\quad 117.398 \quad} \text{ t}$$

$$P_c = \phi_p P_n$$

La resistencia de diseño a compresión en secciones comprimidas es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo E.

Donde:

φ_p: Factor de resistencia a compresión, tomado como:

$$\phi_p : \underline{\quad 0.90 \quad}$$

P_n: Resistencia nominal a compresión, calculada según el Artículo E7-1-2:

$$\mathbf{P}_n : \underline{\quad 130.442 \quad} \text{ t}$$

$$P_n = F_{cr} A$$

Para secciones con elementos esbeltos (ANSI/AISC 360-10 (LRFD), Capítulo E - E7-1-2).

A: Área bruta de la sección de la barra.

A : 56.90 cm²

F_{cr}: Tensión de pandeo por flexión, tomada como:

F_{cr} : 2292.47 Kg/cm²

a) Cuando: $\frac{Q \cdot F_y}{F_e} \leq 2.25$

$$F_{cr} = Q \left[0.658 \frac{Q F_y}{F_e} \right] F_y$$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

F_y : 2548.42 Kg/cm²

i) para secciones doblemente simétricas, F_e es el menor valor de:

F_e : 10077.72 Kg/cm²

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y}$$

F_e : ∞

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero

E : 2038735.98 Kg/cm²

C_w: Constante de alabeo de la sección

C_w : 195000.00 cm⁶

K_z: Factor de longitud efectiva de pandeo alrededor del eje Z

K_z : 0.00

L: Longitud de la barra

L : 10684 mm

G: Módulo de elasticidad transversal del acero

G : 815494.39 Kg/cm²

J: Momento de inercia a torsión uniforme

J : 19.10 cm⁴

I_x: Momento de inercia respecto al eje X

I_x : 9920.00 cm⁴

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y

I_y : 855.00 cm⁴

F_e: Tensión crítica elástica de pandeo, tomada como la menor de:

F_e : 10077.72 Kg/cm²

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2}$$

F_{ex} : 116925.13 Kg/cm²

F_{ey} : 10077.72 Kg/cm²

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero

E : 2038735.98 Kg/cm²

K: Factor de longitud efectiva.

K_x : 0.16

K_y : 0.16

L: Longitud de la barra

L : 10684 mm

r: Radio de giro dominante

r_x : 13.20 cm

r_y : 3.88 cm

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

I: Momento de inercia **I_x :** 9920.00 cm⁴

$$I_y : \underline{855.00} \text{ cm}^4$$

A: Área total de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{56.90} \text{ cm}^2$$

$$Q = Q_s Q_a$$

$$Q : \underline{1.00}$$

3) para secciones formadas por elementos rigidizados y no rigidizados:

Q_s: se calcula de la siguiente forma:

$$Q_s : \underline{1.00}$$

a) para alas en pilares laminados u otras barras comprimidas que incluyan elementos no rigidizados

$$i) \text{ Cuando: } \frac{b}{t} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$Q_s = 1.0$$

$$Q_s : \underline{1.00}$$

Donde:

b: Ancho del elemento comprimido no rigidizado

$$b : \underline{83.00} \text{ mm}$$

t: Espesor del ala

$$t : \underline{11.20} \text{ mm}$$

E: Módulo de elasticidad del acero

$$E : \underline{2038735.98} \text{ Kg/cm}^2$$

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

$$F_y : \underline{2548.42} \text{ Kg/cm}^2$$

$$Q_a = \frac{A_{eff}}{A}$$

$$Q_a : \underline{1.00}$$

Donde:

A: Área total de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{56.90} \text{ cm}^2$$

A_{eff}: Suma de las áreas eficaces de la sección transversal basadas en el ancho eficaz reducido 'h_e'.

$$A_{eff} : \underline{56.90} \text{ cm}^2$$

a) en elementos esbeltos uniformemente comprimidos, excepto alas de secciones cuadradas y rectangulares de espesor uniforme

$$ii) \text{ Cuando: } \frac{h}{t} < 1.49 \sqrt{\frac{E}{f}}$$

$$h_e = h$$

$$h_e : \underline{290.60} \text{ mm}$$

Donde:

h: Ancho del elemento comprimido no rigidizado

$$h : \underline{290.60} \text{ mm}$$

t: Espesor del alma

$$t : \underline{6.60} \text{ mm}$$

E: Módulo de elasticidad del acero

$$E : \underline{2038735.98} \text{ Kg/cm}^2$$

4. Resistencia a flexión eje X (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-10 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

$$\eta_M : \underline{0.526} \text{ OK}$$

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r , se produce en el nudo N139, para la combinación de acciones $1.2 \cdot PP + 1.2 \cdot COBERTURA + 1.2 \cdot RIEL + 1.2 \cdot GRUA + 0.5 \cdot VXX + 1.6 \cdot NIEV E$.

Donde:

M_r : Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD

$$\mathbf{M_r} : \underline{8.540} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_c : Resistencia de diseño a flexión

$$\mathbf{M_c} : \underline{16.239} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_c = \phi_b M_n$$

La resistencia de diseño a flexión para secciones sometidas a momento flector es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo F:

Donde:

ϕ_b : Factor de resistencia a flexión

$$\phi_b : \underline{0.90}$$

M_n : La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 2, Sección 1

$$\mathbf{M_n} : \underline{18.043} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

$$\mathbf{M_n} : \underline{18.043} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado

$$\mathbf{F_y} : \underline{2548.42} \text{ Kg/cm}^2$$

Z_x : Módulo resistente plástico respecto al eje X

$$\mathbf{Z_x} : \underline{708.00} \text{ cm}^3$$

Pandeo lateral

a) Si $L_b \leq L_p$, el estado límite de pandeo lateral no es de aplicación

Donde:

L_b : Distancia entre puntos de arriostamiento al desplazamiento lateral del ala comprimida o de la torsión de la sección transversal

$$\mathbf{L_b} : \underline{0} \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\mathbf{L_p} : \underline{1929.68} \text{ mm}$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad del acero

$$\mathbf{E} : \underline{2038735.9} \text{ Kg/cm}^2$$

F_y : Límite elástico mínimo especificado

$$\mathbf{F_y} : \underline{2548.42} \text{ Kg/cm}^2$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$\mathbf{r_y} : \underline{3.88} \text{ cm}$$

Donde:

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_y: & \text{Momento de inercia respecto al eje Y} & \mathbf{I}_y: & \underline{855.00} \text{ cm}^4 \\ \mathbf{A}: & \text{Área total de la sección transversal de la barra.} & \mathbf{A}: & \underline{56.90} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

5. Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-10 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1 \qquad \eta_M: \underline{0.044} \text{ OK}$$

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r , se produce en el nudo N139, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.5·VXX+1.6·NIEVE.

Donde:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_r: & \text{Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD} & \mathbf{M}_r: & \underline{0.159} \text{ t}\cdot\text{m} \\ \mathbf{M}_c: & \text{Resistencia de diseño a flexión} & \mathbf{M}_c: & \underline{3.624} \text{ t}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$M_c = \phi_b M_n$$

La resistencia de diseño a flexión para secciones sometidas a momento flector es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo F:

Donde:

$$\begin{aligned} \phi_b: & \text{Factor de resistencia a flexión} & \phi_b: & \underline{0.90} \\ \mathbf{M}_n: & \text{La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 6, Sección 1} & \mathbf{M}_n: & \underline{4.027} \text{ t}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

Donde:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_r: & \text{Resistencia a flexión requerida} & \mathbf{M}_r^+ : & \underline{0.045} \text{ t}\cdot\text{m} \\ & & \mathbf{M}_r^- : & \underline{0.159} \text{ t}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y \qquad \mathbf{M}_n: \underline{4.027} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_y: & \text{Límite elástico mínimo especificado} & \mathbf{F}_y: & \underline{2548.42} \text{ Kg/cm}^2 \\ \mathbf{Z}_y: & \text{Módulo resistente plástico respecto al eje Y} & \mathbf{Z}_y: & \underline{158.00} \text{ cm}^3 \\ \mathbf{S}_y: & \text{Módulo resistente elástico respecto al eje Y} & & \end{aligned}$$

$$S_y = \frac{I_y}{x} \qquad \mathbf{S}_y: \underline{103.01} \text{ cm}^3$$

Donde:

$$\mathbf{I}_y: \text{Momento de inercia respecto al eje Y} \qquad \mathbf{I}_y: \underline{855.00} \text{ cm}^4$$

$$\mathbf{x}: \text{Distancia a la fibra extrema en flexión desde el baricentro} \qquad \mathbf{x}: \underline{83.00} \text{ Mm}$$

Pandeo local del ala

a) Para secciones con alas compactas el estado límite de fluencia es de aplicación

6. Resistencia a corte X (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-10 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

$$\eta_v : \underline{0.002} \text{ OK}$$

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce para la combinación de hipótesis $1.2 \cdot PP + 1.2 \cdot COBERTURA + 1.2 \cdot RIEL + 1.2 \cdot GRUA + 0.5 \cdot VXX + 1.6 \cdot NIEV E$.

Donde:

V_r : Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD

$$V_r : \underline{0.123} \text{ t}$$

V_c : Resistencia de diseño a cortante

$$V_c = \phi_v V_n$$

$$V_c : \underline{51.171} \text{ t}$$

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

ϕ_v : Factor de resistencia a cortante

$$\phi_v : \underline{0.90}$$

V_n : se define según lo detallado en el Capítulo G, de la siguiente forma:

Para secciones con simetría simple y doble cargadas en el eje débil, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-10 (LRFD), Capítulo G - G-7).

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$$

$$V_n : \underline{56.856} \text{ t}$$

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado

$$F_y : \underline{2548.42} \text{ Kg/cm}^2$$

$$A_w = 2 b_f t_f$$

$$A_w : \underline{37.18} \text{ cm}^2$$

Donde:

b_f : Anchura total del ala

$$b_f : \underline{166.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala

$$t_f : \underline{11.20} \text{ mm}$$

b) para todas las demás secciones con simetría doble o simple y secciones en U, excepto tubos redondos, el coeficiente de cortante del alma, C_v , se calcula de la siguiente forma:

$$i) \frac{b}{t_f} \leq 1.10 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$$

$$C_v = 1.0$$

$$C_v : \underline{1.00}$$

Donde:

b: La mitad del ancho total del ala

$$b : \underline{83.00} \text{ mm}$$

t_f: Espesor del ala

$$t_f : \underline{11.20} \text{ mm}$$

$$\underline{2038735.9} \text{ Kg/cm}^2$$

E: Módulo de elasticidad del acero

$$E : \underline{8}$$

K_v: Coeficiente de abolladura del alma

$$K_v : \underline{1.20}$$

7. Resistencia a corte Y (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-10 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

$$\eta_v : \underline{0.077} \text{ OK}$$

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce en el nudo N139, para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+1.6·NIEVE.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD

$$V_r : \underline{2.442} \text{ t}$$

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$$V_c = \phi_v V_n$$

$$V_c : \underline{31.587} \text{ t}$$

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

En la Sección G2.1 a:

φ_v: Factor de resistencia a cortante

$$\phi_v : \underline{1.00}$$

V_n: se define según lo detallado en el Capítulo G, de la siguiente forma:

Para almas de secciones con simetría simple o doble y en U sometidas a cortante en el plano del alma (ANSI/AISC 360-10 (LRFD), Capítulo G - G2).

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v$$

$$V_n : \underline{\quad 31.587 \quad} t$$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado

$$F_y : \underline{\quad 2548.42 \quad} \text{Kg/cm}^2$$

$$A_w = dt_w$$

$$A_w : \underline{\quad 20.66 \quad} \text{cm}^2$$

Donde:

d: Canto total

$$d : \underline{\quad 313.00 \quad} \text{mm}$$

t_w: Espesor del alma

$$t_w : \underline{\quad 6.60 \quad} \text{mm}$$

Resistencia nominal a cortante

a) para almas de perfiles laminados de sección en doble T cuando se cumple:

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

C_v: Coeficiente de cortante del alma

$$C_v : \underline{\quad 1.00 \quad}$$

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo

$$h : \underline{\quad 290.60 \quad} \text{mm}$$

E: Módulo de elasticidad del acero

$$E : \underline{\quad 2038735.98 \quad} \text{Kg/cm}^2$$

Comprobación de rigidizadores transversales

$$(a) \text{ si } \frac{h}{t_w} \leq 2.46 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

No son necesarios rigidizadores transversales.

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo

$$h : \underline{\quad 290.60 \quad} \text{mm}$$

t_w: Espesor del alma

$$t_w : \underline{\quad 6.60 \quad} \text{mm}$$

E: Módulo de elasticidad del acero

$$E : \underline{\quad 2038735.98 \quad} \text{Kg/cm}^2$$

F_y: Límite elástico mínimo especificado

$$F_y : \underline{\quad 2548.42 \quad} \text{Kg/cm}^2$$

8. Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

$$\eta \leq 1$$

$$\eta : \underline{\quad 0.686 \quad} \text{OK}$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N139, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.5·VXX+1.6·NIEVE.

Donde:

Según el capítulo H3.3, las secciones abiertas sometidas a torsión junto con tensiones combinadas, han de satisfacer la siguiente condición:

$$\eta = \frac{T_r}{T_c} \leq 1 \quad \eta < \underline{0.001} \text{ OK}$$

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones abiertas sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, los siguientes criterios para la tensión de Von Mises:

$$\eta = \left| \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right| \leq 1 \quad \eta : \underline{0.686} \text{ OK}$$

$$\eta = \left| \frac{f_{vx}}{F_{vx}} + \frac{f_{vy}}{F_{vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right| \leq 1 \quad \eta < \underline{0.001} \text{ OK}$$

$$\eta = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 + \left[\frac{f_{vx}}{F_{vx}} + \frac{f_{vy}}{F_{vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right]^2 \leq 1 \quad \eta : \underline{0.471} \text{ OK}$$

Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas

T_r : Resistencia a torsión requerida T_r : 0.000 t·m

$T_c = \phi_T T_n$ T_c : 0.235 t·m

Donde:

ϕ_T : Factor de resistencia para torsión ϕ_T : 0.90

T_n : Resistencia nominal a torsión, definida como:

$$T_n = F_n C \quad T_n : \underline{0.261} \text{ t·m}$$

Donde:

C: Módulo resistente a torsión **C** : 17.05 cm³

b) El estado límite de fluencia bajo tensiones tangenciales por cortante

$$F_n = 0.6F_y \quad F_n : \underline{1529.05} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras **F_y** : 2548.42 Kg/cm²

Comprobación de Von Mises (comprobación adicional)

f_a : Tensión normal debida al esfuerzo axial (tracción o compresión) calculada para la sección bruta.

$$f_a = \frac{P_r}{A}$$

$$f_a : \underline{65.36} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

P_r : Resistencia requerida a compresión (para las combinaciones de carga LRFD).

$$P_r : \underline{3.719} \text{ t}$$

A : Área total de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{56.90} \text{ cm}^2$$

f_{bx} : Tensión normal debida a flexión alrededor del eje x.

$$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{rx}$$

$$f_{bx} : \underline{1347.32} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

M_{rx} : Resistencia requerida a flexión alrededor del eje x (para las combinaciones de carga LRFD).

$$M_{rx} : \underline{8.540} \text{ t}\cdot\text{m}$$

I_x : Momento de inercia respecto al eje X

$$I_x : \underline{9920.00} \text{ cm}^4$$

y : Coordenada y del punto pésimo respecto al centro de gravedad.

$$y : \underline{-156.50} \text{ mm}$$

f_{by} : Tensión normal debida a flexión alrededor del eje y.

$$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{ry}$$

$$f_{by} : \underline{154.29} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

M_{ry} : Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD).

$$M_{ry} : \underline{0.159} \text{ t}\cdot\text{m}$$

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y

$$I_y : \underline{855.00} \text{ cm}^4$$

x : Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad.

$$x : \underline{-83.00} \text{ mm}$$

f_{vx} : Tensión tangencial debida a cortante en la dirección x.

$$f_{vx} = -\frac{V_x Q_y}{I_y b}$$

$$f_{vx} : \underline{0.00} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

V_x : Resistencia requerida a cortante en la dirección x (para las combinaciones de carga LRFD).

$$V_x : \underline{0.123} \text{ t}$$

Q_y : Momento estático respecto del eje y de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo.

$$Q_y : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y

$$I_y : \underline{855.00} \text{ cm}^4$$

b : Espesor del elemento en el punto pésimo.

$$b : \underline{11.20} \text{ mm}$$

f_{vy} : Tensión tangencial debida a cortante en la dirección y.

$$f_{vy} = -\frac{V_y Q_x}{I_x b}$$

$$f_{vy} : \underline{0.00} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

V_y : Resistencia requerida a cortante en la dirección y (para las combinaciones de carga LRFD).

$$V_y : \underline{2.290} \text{ t}$$

Q_x : Momento estático respecto del eje x de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo.

$$Q_x : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_x : Momento de inercia respecto al eje X

$$I_x : \underline{9920.00} \text{ cm}^4$$

b : Espesor del elemento en el punto pésimo.	b : <u>11.20</u> mm
f_T : Tensión tangencial debida a torsión.	
$f_T = \pm \frac{b}{J} T_r$	f_T : <u>-0.25</u> Kg/cm ²
Donde:	
T_r : Resistencia requerida a torsión (para las combinaciones de carga LRFD).	T_r : <u>0.000</u> t·m
J : Momento de inercia a torsión uniforme	J : <u>19.10</u> cm ⁴
b : Espesor del elemento en el punto pésimo.	b : <u>11.20</u> mm
F_a : Resistencia a compresión de la sección.	
$F_a = \phi_c F_{cr}$	F_a : <u>2063.23</u> Kg/cm ²
Donde:	
φ_c : Factor de seguridad para compresión.	φ_c : <u>0.90</u>
F_{cr} : Resistencia crítica de pandeo (calculada según el Capítulo E).	F_{cr} : <u>2292.47</u> Kg/cm ²
F_{bx}, F_{by} : Resistencia de la sección a flexión alrededor de los ejes x y y, respectivamente.	
$F_{bx} = F_{by} = \phi_b F_y$	F_{bx} : <u>2293.58</u> Kg/cm ² F_{by} : <u>2293.58</u> Kg/cm ²
Donde:	
φ_b : Factor de resistencia para flexión.	φ_b : <u>0.90</u>
F_y : Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras	F_y : <u>2548.42</u> Kg/cm ²
F_{Vx}, F_{Vy} : Resistencia de la sección a cortante en las direcciones x y y, respectivamente.	
$F_{Vx} = F_{Vy} = \phi_v F_y / \sqrt{3}$	F_{Vx} : <u>1324.20</u> Kg/cm ² F_{Vy} : <u>1324.20</u> Kg/cm ²
Donde:	
φ_v : Factor de resistencia para cortante.	φ_v : <u>0.90</u>
F_y : Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras	F_y : <u>2548.42</u> Kg/cm ²
F_T : Resistencia a torsión de la sección.	
$F_T = \phi_T F_y / \sqrt{3}$	F_T : <u>1324.20</u> Kg/cm ²
Donde:	
φ_T : Factor de resistencia para torsión	φ_T : <u>0.90</u>
F_y : Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras	F_y : <u>2548.42</u> Kg/cm ²

E. Verificación de diseño de columnas del pórtico

Verificamos las solicitaciones en las columnas de los pórticos.

Cuadro N° 5 Solicitaciones en elementos de columnas de pórtico

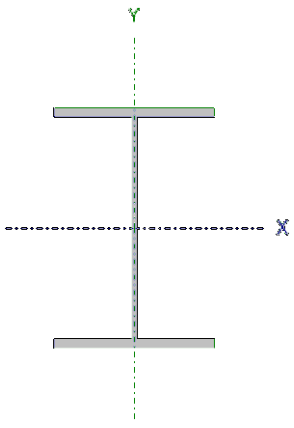
Barras	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-10 (LRFD))								Estado
	P _t	I _c	P _c	M _x	M _y	V _x	V _y	PM _x M _y V _x V _y T	
N47/N242	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m η = 1.5	x: 0 m η = 15.8	x: 0 m η = 13.7	η = 0.3	η = 3.8	x: 0 m η = 30.4	CUMPLE η = 30.4
N49/N243	x: 0.148 m η = 0.8	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m η = 3.2	x: 0 m η = 46.4	x: 0 m η = 5.3	η = 1.1	η = 7.0	x: 0 m η = 54.5	CUMPLE η = 54.5
N51/N244	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.2	x: 0 m h = 51.2	x: 0 m h = 4.9	h = 0.9	h = 7.9	x: 0 m h = 60.3	CUMPLE η = 60.3
N56/N248	x: 0.148 m h = 0.9	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.8	x: 0 m h = 54.4	x: 0 m h = 4.7	h = 0.8	h = 8.2	x: 0 m h = 63.4	CUMPLE η = 63.4
N58/N249	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.8	x: 0 m h = 50.9	x: 0 m h = 4.9	h = 0.9	h = 7.7	x: 0 m h = 59.6	CUMPLE η = 59.6
N60/N250	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.4	x: 0 m h = 14.9	x: 0 m h = 6.5	h = 0.2	h = 3.0	x: 0 m h = 21.0	CUMPLE η = 21.0
N160/N251	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.7	x: 0 m h = 15.4	x: 0 m h = 16.8	h = 0.3	h = 3.0	x: 0 m h = 27.2	CUMPLE η = 27.2
N197/N252	x: 0.148 m h = 0.4	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.8	x: 0 m h = 25.1	x: 0 m h = 5.7	h = 1.2	h = 4.5	x: 0 m h = 31.6	CUMPLE η = 31.6
N198/N253	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 4.3	x: 0 m h = 28.2	x: 0 m h = 5.5	h = 0.9	h = 5.3	x: 0 m h = 37.9	CUMPLE η = 37.9
N199/N254	x: 0.148 m h = 1.3	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.5	x: 0 m h = 7.8	x: 0 m h = 4.2	h = 0.1	h = 1.3	x: 0 m h = 9.8	CUMPLE η = 9.8
N200/N255	x: 0.148 m h = 0.5	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 2.9	x: 0 m h = 5.5	x: 0 m h = 4.1	h = 0.1	h = 1.2	x: 0 m h = 8.6	CUMPLE η = 8.6
N201/N256	x: 0.148 m h = 0.5	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.1	x: 0 m h = 5.8	x: 0 m h = 4.2	h = 0.1	h = 1.2	x: 0 m h = 9.1	CUMPLE η = 9.1
N202/N257	x: 0.148 m h = 1.7	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 4.2	x: 0 m h = 8.6	x: 0 m h = 5.6	h = 0.9	h = 1.5	x: 0 m h = 13.0	CUMPLE η = 13.0
N203/N258	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.8	x: 0 m h = 13.7	x: 0 m h = 5.8	h = 0.9	h = 3.4	x: 0 m h = 22.0	CUMPLE η = 22.0
N204/N259	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 1.6	x: 0 m h = 14.4	x: 0.124 m h = 9.2	h = 0.3	h = 2.5	x: 0.125 m h = 18.7	CUMPLE η = 18.7
N205/N245	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 3.4	x: 0 m h = 56.1	x: 0 m h = 3.5	h = 0.1	h = 8.5	x: 0 m h = 57.8	CUMPLE η = 57.8
N206/N246	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 4.0	x: 0 m h = 55.2	x: 0 m h = 3.4	h = 0.1	h = 8.3	x: 0 m h = 65.0	CUMPLE η = 65.0
N207/N247	N.P. ⁽¹⁾	I ≤ 200.0 Cumple	x: 0 m h = 4.5	x: 0 m h = 54.1	x: 0 m h = 3.5	h = 0.1	h = 8.1	x: 0 m h = 64.2	CUMPLE η = 64.2

Notación:
P_t: Resistencia a tracción
I_c: Limitación de esbeltez para compresión
P_c: Resistencia a compresión
M_x: Resistencia a flexión eje X
M_y: Resistencia a flexión eje Y
V_x: Resistencia a corte X
V_y: Resistencia a corte Y
PM_xM_yV_xV_yT: Esfuerzos combinados y torsión
x: Distancia al origen de la barra
h: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Fuente: Programa CYPECAD

Realizamos la verificación de diseño para la columna más crítica.

Perfil: W12x40 Material: Acero (A36)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N206	N246	0.200	75.90	12900.00	1830.00	39.70
	Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.			
β	1.00	1.00	0.00	0.00			
L _k	0.200	0.200	0.000	0.000			
C _b	-		1.000				
Notación: β : Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _b : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-10 (LRFD))								Estado
	P _t	λ_c	P _c	M _x	M _y	V _x	V _y	PM _x M _y V _x V _y T	
N206/N246	N.P. ⁽¹⁾	$\lambda \leq 200.0$ Cumple	x: 0 m $\eta = 4.0$	x: 0 m $\eta = 55.2$	x: 0 m $\eta = 3.4$	$\eta = 0.1$	$\eta = 8.3$	x: 0 m $\eta = 65.0$	CUMPLE $\eta = 65.0$
Notación: P _t : Resistencia a tracción λ_c : Limitación de esbeltez para compresión P _c : Resistencia a compresión M _x : Resistencia a flexión eje X M _y : Resistencia a flexión eje Y V _x : Resistencia a corte X V _y : Resistencia a corte Y PM _x M _y V _x V _y T: Esfuerzos combinados y torsión x: Distancia al origen de la barra η : Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede									
Comprobaciones que no proceden (N.P.): ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.									

1. Resistencia a tracción (Capítulo D)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

2. Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

La esbeltez máxima admisible en una barra sometida a compresión es*:

$$\lambda \leq 200$$

$$\lambda : \underline{4} \text{ ok}$$

Donde:

λ : Coeficiente de esbeltez

$$\lambda = \frac{KL}{r}$$

$$\lambda : \underline{4}$$

Donde:

L: Longitud de la barra

$$\mathbf{L} : \underline{8023} \text{ mm}$$

K: Factor de longitud efectiva.

$$\mathbf{K} : \underline{0.02}$$

r_y: Radio de giro respecto al eje Y

$$\mathbf{r}_y : \underline{4.91} \text{ cm}$$

Donde:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$\mathbf{r}_y : \underline{4.91} \text{ cm}$$

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y

$$\mathbf{I}_y : \underline{1830.00} \text{ cm}^4$$

A: Área total de la sección transversal de la barra. **A** : $\underline{75.90} \text{ cm}^2$

Notas:

*: La esbeltez máxima admisible está basada en las Notas de Usuario de la sección E2.

3. Resistencia a compresión (Capítulo E)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo E de ANSI/AISC 360-10 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_T = \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

$$\eta_T : \underline{0.040} \text{ ok}$$

El axil de compresión solicitante de cálculo pésimo P_r se produce en el nudo N206, para la combinación de hipótesis $1.2 \cdot PP + 1.2 \cdot COBERTURA + 1.2 \cdot RIEL + 1.2 \cdot GRUA + 0.5 \cdot VIVA + 1.6 \cdot NIEVE$.

Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD

$$\mathbf{P}_r : \underline{7.033} \text{ t}$$

P_c: Resistencia de diseño a compresión

$$\mathbf{P}_c : \underline{173.930} \text{ t}$$

$$P_c = \phi_p P_n$$

La resistencia de diseño a compresión en secciones comprimidas es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo E.

Donde:

φ_p: Factor de resistencia a compresión, tomado como:

$$\mathbf{\phi}_p : \underline{0.90}$$

P_n: Resistencia nominal a compresión, calculada según el Artículo E3-A:

$$\mathbf{P}_n : \underline{193.255} \text{ t}$$

$$P_n = F_c A$$

Para el pandeo por flexión de secciones con elementos compactos y no compactos (ANSI/AISC 360-10 (LRFD), Capítulo E - E3-A).

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra.

$$\mathbf{A} : \underline{75.90} \text{ cm}^2$$

F_{cr}: Tensión de pandeo por flexión, tomada como:

F_{cr} : 2546.18 Kg/cm²

i) Cuando: $\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y$$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

F_y : 2548.42 Kg/cm²

F_e: Tensión crítica elástica de pandeo, tomada como la menor de:

F_e : 1212858.27 Kg/cm²

F_{ex} : 8549656.69 Kg/cm²

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2}$$

F_{ey} : 1212858.27 Kg/cm²

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero

E : 2038735.98 Kg/cm²

K: Factor de longitud efectiva.

K_x : 0.02

K_y : 0.02

L: Longitud de la barra

L : 8023 mm

r: Radio de giro dominante

r_x : 13.04 cm

r_y : 4.91 cm

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

I: Momento de inercia

I_x : 12900.00 cm⁴

I_y : 1830.00 cm⁴

A: Área total de la sección transversal de la barra.

A : 75.90 cm²

4. Resistencia a flexión eje X (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-10 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

η_M : 0.552 ok

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r, se produce en el nudo N206, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.5·VXX+1.6·NIEVE.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD

M_r : 11.908 t·m

M_c: Resistencia de diseño a flexión

M_c : 21.583 t·m

$$M_c = \phi_b M_n$$

La resistencia de diseño a flexión para secciones sometidas a momento flector es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo F:

Donde:

$$\begin{aligned} \phi_b &: \text{Factor de resistencia a flexión} & \phi_b &: \underline{0.90} \\ M_n &: \text{La resistencia nominal a flexión calculada según} \\ & \text{Artículo 2, Sección 1} & M_n &: \underline{23.981} \text{ t}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad M_n : \underline{23.981} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$$\begin{aligned} F_y &: \text{Límite elástico mínimo especificado} & F_y &: \underline{2548.42} \text{ Kg/cm}^2 \\ Z_x &: \text{Módulo resistente plástico respecto al eje X} & Z_x &: \underline{941.00} \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Pandeo lateral

a) Si $L_b \leq L_p$, el estado límite de pandeo lateral no es de aplicación

Donde:

$$\begin{aligned} L_b &: \text{Distancia entre puntos de arriostramiento al} \\ & \text{desplazamiento lateral del ala comprimida o de la torsión} \\ & \text{de la sección transversal} & L_b &: \underline{0} \text{ mm} \end{aligned}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_p : \underline{2444.34} \text{ mm}$$

Donde:

$$\begin{aligned} E &: \text{Módulo de elasticidad del acero} & E &: \underline{2038735.98} \text{ Kg/cm}^2 \\ F_y &: \text{Límite elástico mínimo especificado} & F_y &: \underline{2548.42} \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$r_y : \underline{4.91} \text{ cm}$$

Donde:

$$\begin{aligned} I_y &: \text{Momento de inercia respecto al eje Y} & I_y &: \underline{1830.00} \text{ cm}^4 \\ A &: \text{Área total de la sección transversal de la barra.} & A &: \underline{75.90} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

5. Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-10 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

$$\eta_M : \underline{0.034} \text{ ok}$$

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, M_r , se produce en el nudo N206, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+VYY+0.5·NIEVE.

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD

$$\mathbf{M}_r : \underline{0.214} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_c: Resistencia de diseño a flexión

$$\mathbf{M}_c : \underline{6.307} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_c = \phi_b M_n$$

La resistencia de diseño a flexión para secciones sometidas a momento flector es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo F:

Donde:

φ_b: Factor de resistencia a flexión

$$\phi_b : \underline{0.90}$$

M_n: La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 6, Sección 1

$$\mathbf{M}_n : \underline{7.008} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

M_r: Resistencia a flexión requerida

$$\mathbf{M}_r^+ : \underline{0.214} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$\mathbf{M}_r^- : \underline{0.168} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y$$

$$\mathbf{M}_n : \underline{7.008} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado

$$\mathbf{F}_y : \underline{2548.42} \text{ Kg/cm}^2$$

Z_y: Módulo resistente plástico respecto al eje Y

$$\mathbf{Z}_y : \underline{275.00} \text{ cm}^3$$

S_y: Módulo resistente elástico respecto al eje Y

$$S_y = \frac{I_y}{x}$$

$$\mathbf{S}_y : \underline{180.30} \text{ cm}^3$$

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y

$$\mathbf{I}_y : \underline{1830.00} \text{ cm}^4$$

x: Distancia a la fibra extrema en flexión desde el baricentro

$$\mathbf{x} : \underline{101.50} \text{ mm}$$

Pandeo local del ala

a) Para secciones con alas compactas el estado límite de fluencia no es de aplicación

6. Resistencia a corte X (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-10 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

$$\eta_v : \underline{0.001} \text{ ok}$$

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce para la combinación de hipótesis 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+VYY+0.5·NIEVE.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD **V_r** : 0.047 t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$$V_c = \phi_v V_n \quad \mathbf{V_c} : \underline{73.192} \text{ t}$$

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

φ_v: Factor de resistencia a cortante **φ_v** : 0.90

V_n: se define según lo detallado en el Capítulo G, de la siguiente forma:

Para secciones con simetría simple y doble cargadas en el eje débil, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-10 (LRFD), Capítulo G - G-7).

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v \quad \mathbf{V_n} : \underline{81.324} \text{ t}$$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado **F_y** : 2548.42 Kg/cm²

$$A_w = 2b_f t_f \quad \mathbf{A_w} : \underline{53.19} \text{ cm}^2$$

Donde:

b_f: Anchura total del ala **b_f** : 203.00 mm

t_f: Espesor del ala **t_f** : 13.10 mm

b) para todas las demás secciones con simetría doble o simple y secciones en U, excepto tubos redondos, el coeficiente de cortante del alma, C_v, se calcula de la siguiente forma:

$$i) \frac{b}{t_f} \leq 1.10 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$$

$$C_v = 1.0 \quad \mathbf{C_v} : \underline{1.00}$$

Donde:

b: La mitad del ancho total del ala **b** : 101.50 mm

t_f: Espesor del ala **t_f** : 13.10 mm

E: Módulo de elasticidad del acero **E** : 2038735.98 Kg/cm²

K_v: Coeficiente de abolladura del alma **K_v** : 1.20

7. Resistencia a corte Y (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-10 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1 \quad \eta_v : \underline{0.083} \text{ ok}$$

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_r se produce para la combinación de hipótesis $1.2 \cdot PP + 1.2 \cdot COBERTURA + 1.2 \cdot RIEL + 1.2 \cdot GRUA + 0.5 \cdot VXX + 1.6 \cdot NIEVE$.

Donde:

V_r : Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD $V_r : \underline{2.870} \text{ t}$

V_c : Resistencia de diseño a cortante

$$V_c = \phi_v V_n \quad V_c : \underline{34.748} \text{ t}$$

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

En la Sección G2.1 a:

ϕ_v : Factor de resistencia a cortante $\phi_v : \underline{1.00}$

V_n : se define según lo detallado en el Capítulo G, de la siguiente forma:

Para almas de secciones con simetría simple o doble y en U sometidas a cortante en el plano del alma (ANSI/AISC 360-10 (LRFD), Capítulo G - G2).

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v \quad V_n : \underline{34.748} \text{ t}$$

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado $F_y : \underline{2548.42} \text{ Kg/cm}^2$

$$A_w = d t_w \quad A_w : \underline{22.73} \text{ cm}^2$$

Donde:

d : Canto total $d : \underline{303.00} \text{ mm}$

t_w : Espesor del alma $t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$

Resistencia nominal a cortante

a) para almas de perfiles laminados de sección en doble T cuando se cumple:

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

C_v : Coeficiente de cortante del alma

C_v : 1.00

Donde:

h : Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo

h : 276.80 mm

E : Módulo de elasticidad del acero

E : 2038735.98 Kg/cm²

Comprobación de rigidizadores transversales

(a) si $\frac{h}{t_w} \leq 2.46 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

No son necesarios rigidizadores transversales.

Donde:

h : Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo

h : 276.80 mm

t_w : Espesor del alma

t_w : 7.50 mm

E : Módulo de elasticidad del acero

E : 2038735.98 Kg/cm²

F_y : Límite elástico mínimo especificado

F_y : 2548.42 Kg/cm²

8. Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

$$\eta \leq 1$$

η : 0.650 ok

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N206, para la combinación de acciones 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.5·VXX+1.6·NIEVE.

Donde:

Según el capítulo H3.3, las secciones abiertas sometidas a torsión junto con tensiones combinadas, han de satisfacer la siguiente condición:

$$\eta = \frac{T_r}{T_c} \leq 1$$

η < 0.001 ok

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones abiertas sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, los siguientes criterios para la tensión de Von Mises:

$$\eta = \left| \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right| \leq 1$$

η : 0.650 ok

$$\eta = \left| \frac{f_{vx}}{F_{vx}} + \frac{f_{vy}}{F_{vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right| \leq 1$$

η < 0.001 ok

$$\eta = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 + \left[\frac{f_{vx}}{F_{vx}} + \frac{f_{vy}}{F_{vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right]^2 \leq 1 \quad \eta : \underline{0.422} \text{ ok}$$

Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas

T_r : Resistencia a torsión requerida $T_r : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$

$T_c = \phi_T T_n$ $T_c : \underline{0.417} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

ϕ_T : Factor de resistencia para torsión $\phi_T : \underline{0.90}$

T_n : Resistencia nominal a torsión, definida como:

$T_n = F_n C$ $T_n : \underline{0.463} \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

C: Módulo resistente a torsión $C : \underline{30.31} \text{ cm}^3$

b) El estado límite de fluencia bajo tensiones tangenciales por cortante

$F_n = 0.6F_y$ $F_n : \underline{1529.05} \text{ Kg/cm}^2$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras $F_y : \underline{2548.42} \text{ Kg/cm}^2$

Comprobación de Von Mises (comprobación adicional)

f_a: Tensión normal debida al esfuerzo axial (tracción o compresión) calculada para la sección bruta.

$f_a = \frac{P_r}{A}$ $f_a : \underline{91.15} \text{ Kg/cm}^2$

Donde:

P_r: Resistencia requerida a compresión (para las combinaciones de carga LRFD). $P_r : \underline{6.918} \text{ t}$

A: Área total de la sección transversal de la barra. $A : \underline{75.90} \text{ cm}^2$

f_{bx}: Tensión normal debida a flexión alrededor del eje x.

$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{rx}$ $f_{bx} : \underline{1398.54} \text{ Kg/cm}^2$

Donde:

M_{rx}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje x (para las combinaciones de carga LRFD). $M_{rx} : \underline{11.908} \text{ t}\cdot\text{m}$

I_x: Momento de inercia respecto al eje X $I_x : \underline{12900.00} \text{ cm}^4$

y: Coordenada y del punto pésimo respecto al centro de gravedad. $y : \underline{-151.50} \text{ mm}$

f_{by}: Tensión normal debida a flexión alrededor del eje y.

$$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{ry}$$

$$f_{by} : \underline{1.05} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

M_{ry}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD).

$$M_{ry} : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y

$$I_y : \underline{1830.00} \text{ cm}^4$$

x: Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad.

$$x : \underline{-101.50} \text{ mm}$$

f_{vx}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección x.

$$f_{vx} = -\frac{V_x Q_y}{I_y b}$$

$$f_{vx} : \underline{0.00} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

V_x: Resistencia requerida a cortante en la dirección x (para las combinaciones de carga LRFD).

$$V_x : \underline{0.000} \text{ t}$$

Q_y: Momento estático respecto del eje y de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo.

$$Q_y : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y

$$I_y : \underline{1830.00} \text{ cm}^4$$

b: Espesor del elemento en el punto pésimo.

$$b : \underline{13.10} \text{ mm}$$

f_{vy}: Tensión tangencial debida a cortante en la dirección y.

$$f_{vy} = -\frac{V_y Q_x}{I_x b}$$

$$f_{vy} : \underline{0.00} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

V_y: Resistencia requerida a cortante en la dirección y (para las combinaciones de carga LRFD).

$$V_y : \underline{2.870} \text{ t}$$

Q_x: Momento estático respecto del eje x de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo.

$$Q_x : \underline{0.00} \text{ cm}^3$$

I_x: Momento de inercia respecto al eje X

$$I_x : \underline{12900.00} \text{ cm}^4$$

b: Espesor del elemento en el punto pésimo.

$$b : \underline{13.10} \text{ mm}$$

f_T: Tensión tangencial debida a torsión.

$$f_T = \pm \frac{b}{J} T_r$$

$$f_T : \underline{-0.48} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

T_r: Resistencia requerida a torsión (para las combinaciones de carga LRFD).

$$T_r : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

J: Momento de inercia a torsión uniforme

$$J : \underline{39.70} \text{ cm}^4$$

b: Espesor del elemento en el punto pésimo.

$$b : \underline{13.10} \text{ mm}$$

F_a: Resistencia a compresión de la sección.

$$F_a = \phi_c F_{cr}$$

$$F_a : \underline{2291.56} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

φ_c: Factor de seguridad para compresión.

$$\phi_c : \underline{0.90}$$

F_{cr}: Resistencia crítica de pandeo (calculada según el Capítulo E).

$$F_{cr} : \underline{2546.18} \text{ Kg/cm}^2$$

F_{bx}, F_{by}: Resistencia de la sección a flexión alrededor de los ejes x y y, respectivamente.

$$F_{bx} = F_{by} = \phi_b F_y$$

$$F_{bx} : \underline{2293.58} \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_{by} : \underline{2293.58} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

ϕ_b : Factor de resistencia para flexión.

$$\phi_b : \underline{0.90}$$

F_y : Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

$$F_y : \underline{2548.42} \text{ Kg/cm}^2$$

F_{vx} , F_{vy} : Resistencia de la sección a cortante en las direcciones x y y, respectivamente.

$$F_{vx} = F_{vy} = \phi_v F_y / \sqrt{3}$$

$$F_{vx} : \underline{1324.20} \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_{vy} : \underline{1324.20} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

ϕ_v : Factor de resistencia para cortante.

$$\phi_v : \underline{0.90}$$

F_y : Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

$$F_y : \underline{2548.42} \text{ Kg/cm}^2$$

F_T : Resistencia a torsión de la sección.

$$F_T = \phi_T F_y / \sqrt{3}$$

$$F_T : \underline{1324.20} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

ϕ_T : Factor de resistencia para torsión

$$\phi_T : \underline{0.90}$$

F_y : Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

$$F_y : \underline{2548.42} \text{ Kg/cm}^2$$

3.4.5 Diseño de conexiones

El diseño de conexiones se realiza tomando en cuenta la Norma ANSI/AISC 360-10: (American Institute Of Steel Construction 2010) Specification for Structural Steel Buildings Chapter J, J1 General provisions and J3 Bolts and Threaded parts.

Alternativamente, se puede utilizar la especificación ANSI/AISC 358-10 (American Institute of Steel Construction 2010) para conexiones de acero.

Materiales:

- Perfiles (Material base): A36.

- Clase de acero de los tornillos empleados: ASTM A325M (artículo J3 ANSI/AISC 360-10).

Disposiciones constructivas:

1) Se han considerado las siguientes distancias mínimas y máximas entre ejes de agujeros y entre éstos y los bordes de las piezas:

Tabla 6 Disposiciones para tornillos según AISC 360-10

Disposiciones constructivas para tornillos, según artículos J3.3. , J3.4. y J3.5. ANSI/AISC 360-10				
Distancias	Al borde de la pieza		Entre agujeros	Entre tornillos
	d_b	mm		
Mínimas	M16	22	$2 \frac{2}{3} \cdot d_b$	--
	M20	26		
Máximas	150 mm 12t		--	180 mm 14t
Notas: d_b : Diámetro del tornillo t : Menor espesor de las piezas que se unen.				

Fuente: (American Institute Of Steel Construction 2010)

2) Una vez montadas las piezas, todas las superficies de unión, incluidas las adyacentes a las cabezas de los tornillos, tuercas y arandelas, deben estar libres de laminillas (excepto aquellas firmemente adheridas al material), rebabas, suciedad o cualquier otra materia extraña que impida el perfecto contacto entre las piezas.

3) Los taladros deben estar alineados para permitir la inserción de los tornillos sin dañar sus roscas.

- 4) Debe comprobarse antes de la colocación que las tuercas pueden desplazarse libremente sobre el tornillo correspondiente.
- 5) En cada tornillo se colocará una arandela en el lado de la cabeza y otra en el lado de la tuerca.
- 6) Los agujeros deben realizarse por taladrado u otro proceso que proporcione un acabado equivalente.
- 7) No se permite la reutilización de tornillos ASTM A325 galvanizados. Los demás tornillos ASTM A325 pueden ser reutilizados una sola vez, si así lo aprueba el ingeniero responsable. El reapriete de tornillos previamente apretados que se hayan aflojado durante el apriete de tornillos vecinos no se considera reutilización.
- 8) Condiciones para el apriete de los tornillos no pretensados (Bearing-Type Connections):
 - Cada conjunto de tornillo, tuerca y arandelas debe alcanzar la condición de apretado a tope sin sobre pretensar los tornillos. Esta condición es la que conseguiría un operario con unos pocos impactos aplicados por una llave de impacto o por el esfuerzo máximo aplicado por un operario usando una llave normal.
 - El apriete debe realizarse desde los tornillos ubicados en la parte más rígida de la unión, prosiguiendo en la dirección de los

bordes libres. Incluso es conveniente realizar algún ciclo de apriete adicional.

Comprobaciones:

- Se realizan las comprobaciones indicadas en los artículos J3.6., J3.7., J3.8., J3.9. y J3.10. de ANSI/AISC 360-10.
- Los esfuerzos provenientes de combinaciones sísmicas se han mayorado por un factor igual a 1.375.

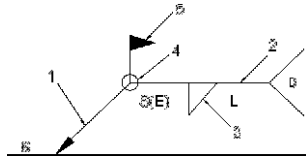
Referencias y simbología

Para la representación de los símbolos de soldaduras se consideran las indicaciones de la norma ANSI/AWS A2.4-98 'STANDARD SYMBOLS FOR WELDING, BRAZING, AND NONDESTRUCTIVE EXAMINATION'.

Método de representación de soldaduras

Conforme a la figura 2 de ANSI/AWS A2.4-98 y a los tipos de soldaduras empleadas en este proyecto, se desarrolla el siguiente esquema de representación de una soldadura:

Gráfico N° 11 Simbología aplicada a soldaduras



Referencias:

1: flecha (conexión entre 2 y 6)

2: línea de referencia

3: símbolo de soldadura

4: símbolo soldadura perimetral.

5: símbolo de soldadura en el lugar de montaje.

6: línea del dibujo que identifica la unión propuesta.

S: profundidad del bisel. En soldaduras en ángulo, es el lado del cordón de soldadura.

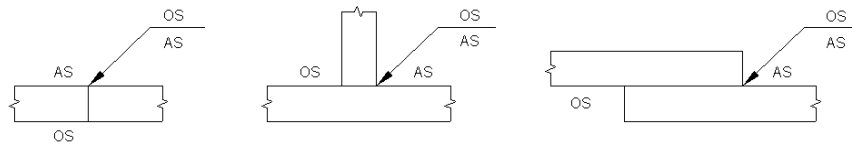
(E): tamaño del cordón en soldaduras a tope.

L: longitud efectiva del cordón de soldadura

D: dato suplementario. En general, la serie de electrodo a utilizar y el proceso precalificado de soldeo.

La información relacionada con el lado de la unión soldada a la que apunta la flecha, se coloca por debajo de la línea de referencia, mientras que para el lado opuesto, se indica por encima de la línea de referencia:

Gráfico N° 12 Disposición de soldadura y símbolo de posición



Donde:

OS (Other Side): es el otro lado de la flecha

AS (Arrow Side): es el lado de la flecha

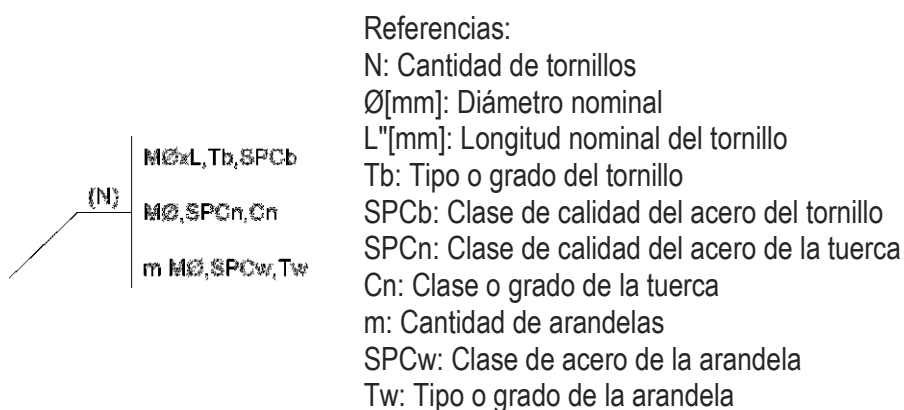
Referencia 3

Gráfico N° 13 Simbología de preparación de borde para soldadura

Designación	Ilustración	Símbolo
Soldadura en ángulo		△
Soldadura a tope en 'V' simple (con chaflán)		∨
Soldadura a tope en bisel simple		/
Soldadura a tope en bisel doble		K
Soldadura a tope en bisel simple con talón de raíz amplio		/
Soldadura combinada a tope en bisel simple y en ángulo		▷
Soldadura a tope en bisel simple con lado curvo		∨

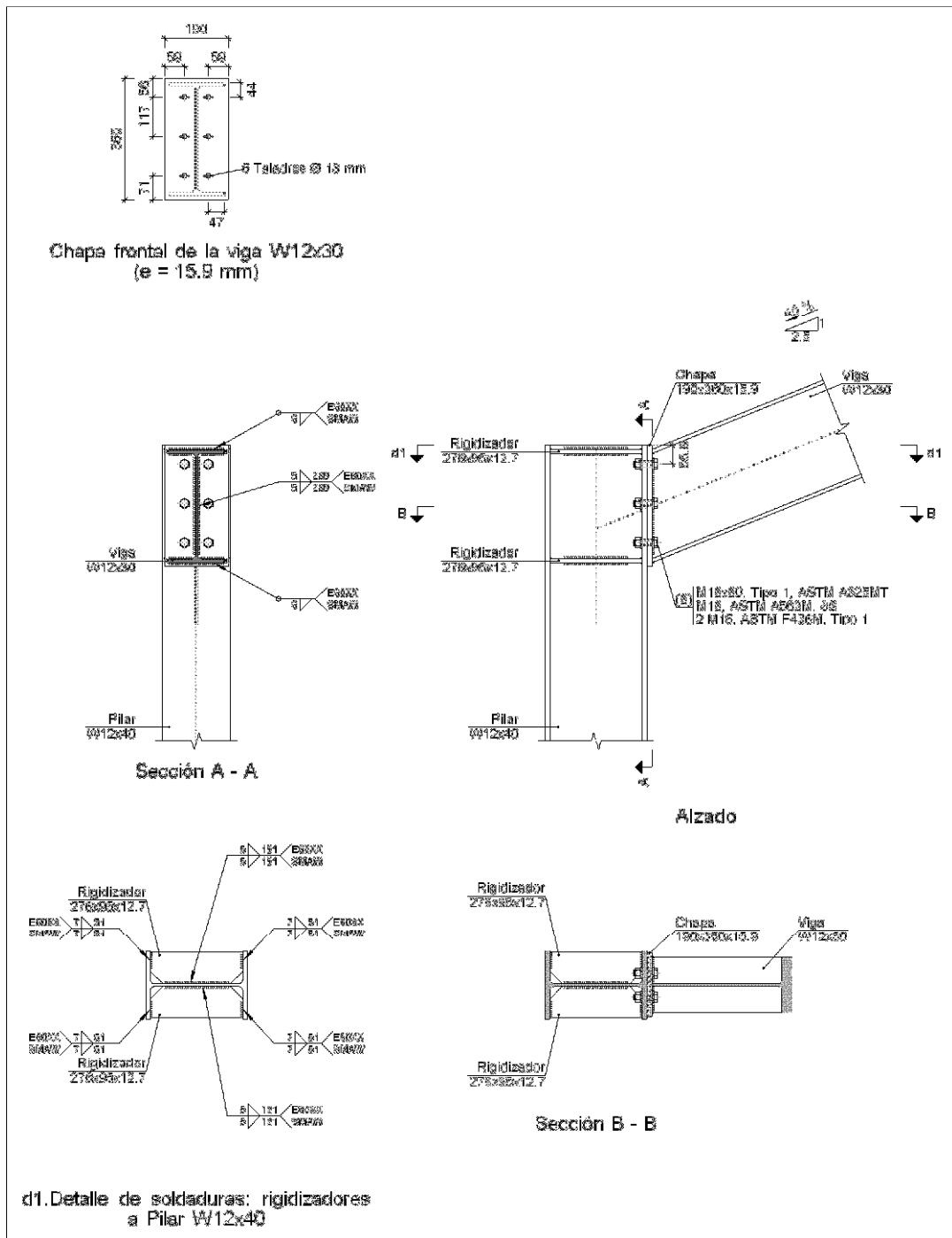
Método de representación de los tornillos de una unión

Gráfico N° 14 Representación de tornillos en los planos

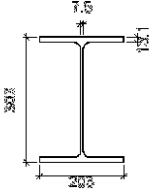
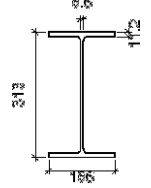


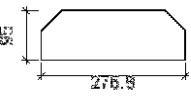
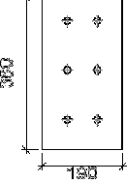
A. Diseño de conexión viga – columna

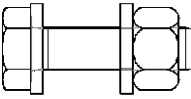
Gráfico N° 15 Detalle de Unión columna – Viga de pórtico típico



Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	F _y (kg/cm ²)	F _u (kg/cm ²)
Pilar	W12x40		303	203	13.1	7.5	A36	2548.4	4077.5
Viga	W12x30		313	166	11.2	6.6	A36	2548.4	4077.5

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	F _y (kg/cm ²)	F _u (kg/cm ²)
Rigidizador		276.8	95	12.7	-	-	A36	2548.4	4077.5
Chapa frontal: Viga W12x30		190	360	15.9	6	18	A36	2548.4	4077.5

Elementos de tornillería					
Descripción	Geometría			Acero	
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	F _y (kg/cm ²)	F _u (kg/cm ²)
M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT M16, ASTM A563M, 8S 2 M16, ASTM F436M, Tipo 1		M16	60	6473.0	8460.8

Comprobación

1) Pilar W12x40

Comprobaciones de resistencia						
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)	
Panel	Esbeltez	-	36.91	41.36	89.23	
	Cortante	t	19.089	34.906	54.69	
Rigidizadores	Ala	Desgarro	kg/cm ²	328.760	2293.578	14.33
		Cortante	kg/cm ²	745.693	2293.578	32.51
Viga W12x30	Ala	Tracción por flexión	t	7.019	9.464	74.16
		Tracción	t	3.260	22.933	14.21
	Alma	Tracción	t	7.518	10.681	70.39

Comprobación de cordones de soldadura													
Descripción	Tipo	Ejecución	Perimetral	Lado (mm)	Metal base		Electrodo	P.S. ⁽¹⁾	Tensiones			Factor de resistencia	
					F _y (kg/cm ²)	F _w (kg/cm ²)			Pésima (kg/cm ²)	Resistente (kg/cm ²)	Aprov. (%)	f _{material base}	f _{soldadura}
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	En taller	--	7	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	1501.9	1903.7	78.90	0.90	0.75	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	532.8	1903.7	27.99	0.90	0.75	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	En taller	--	7	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	1598.9	1903.7	83.99	0.90	0.75	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	598.3	1903.7	31.43	0.90	0.75	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	En taller	--	7	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	1497.2	1903.7	78.65	0.90	0.75	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	531.2	1903.7	27.90	0.90	0.75	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	En taller	--	7	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	1592.4	1903.7	83.65	0.90	0.75	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	595.9	1903.7	31.30	0.90	0.75	

⁽¹⁾Procedimiento de soldeo

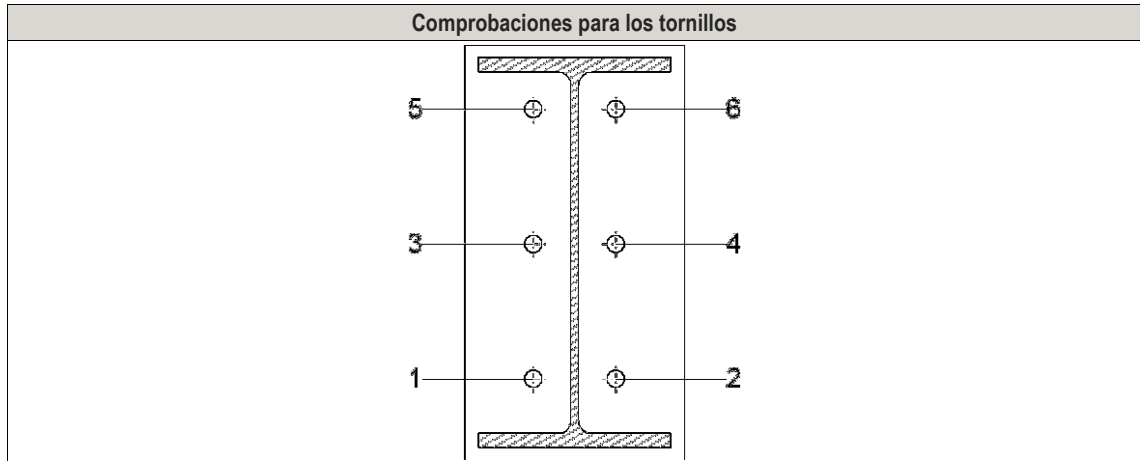
2) Viga W12x30

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	t	7.019	9.569	73.35
Ala	Compresión	t	22.820	45.877	49.74
	Tracción	t	3.719	20.519	18.13
Alma	Tracción	t	6.600	11.386	57.96

Comprobación de cordones de soldadura													
Descripción	Tipo	Ejecución	Perimetral	Lado (mm)	Metal base		Electrodo	P.S. ⁽¹⁾	Tensiones			Factor de resistencia	
					F _y (kg/cm ²)	F _w (kg/cm ²)			Pésima (kg/cm ²)	Resistente (kg/cm ²)	Aprov. (%)	f _{material base}	f _{soldadura}
Soldadura del ala superior	En ángulo	En taller	X	6	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	1832.4	1903.7	96.26	0.90	0.75	
Soldadura del alma	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	1571.4	1903.7	82.55	0.90	0.75	

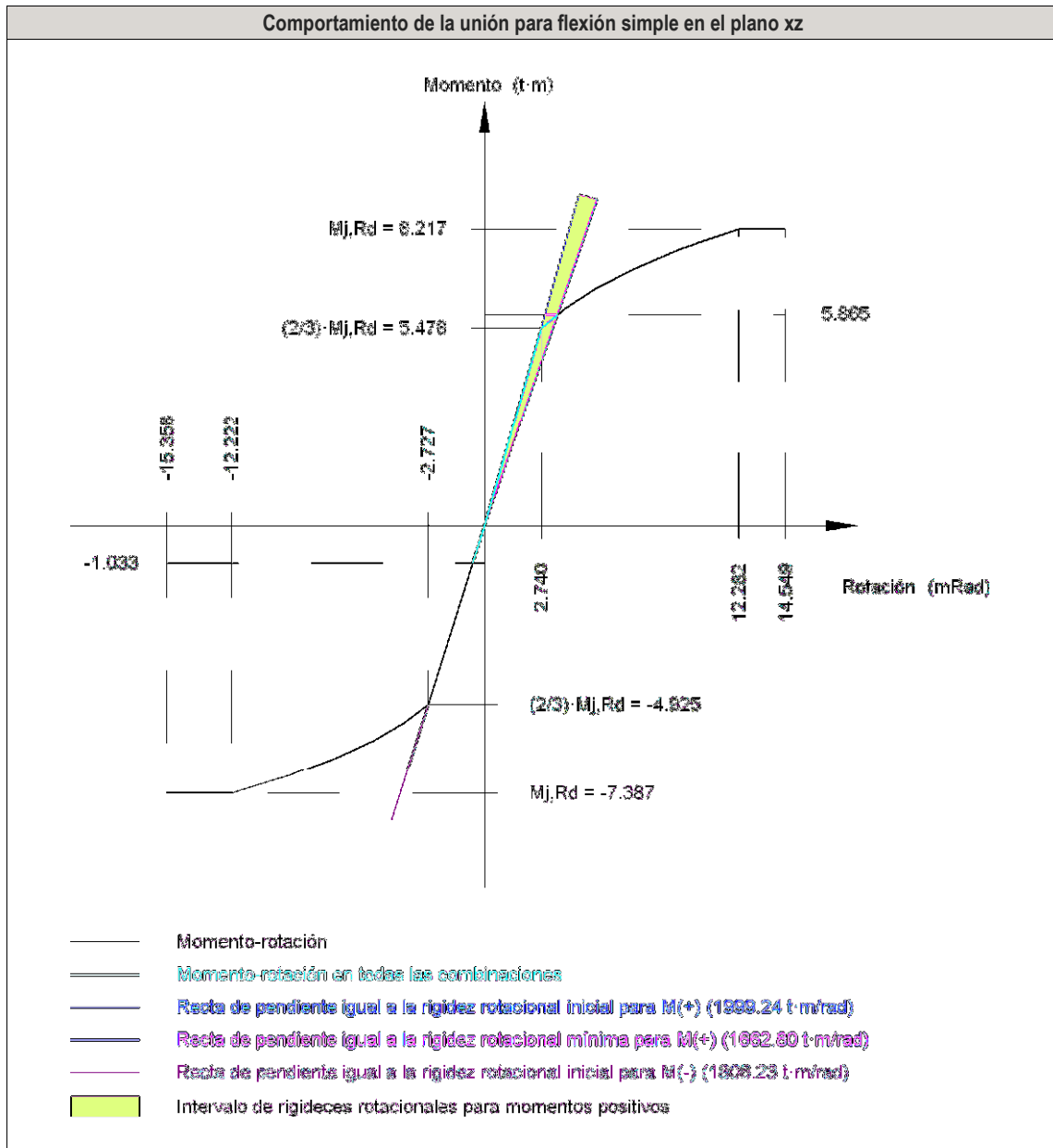
Comprobación de cordones de soldadura													
Descripción	Tipo	Ejecución	Perimetral	Lado (mm)	Metal base		Electrodo	P.S.(1)	Tensiones			Factor de resistencia	
					F _y (kg/cm ²)	F _w (kg/cm ²)			Pésima (kg/cm ²)	Resistente (kg/cm ²)	Aprov. (%)	f _{material base}	f _{soldadura}
Soldadura del ala inferior	En ángulo	En taller	X	6	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW		978.3	1376.1	71.09	0.90	0.75

(1) Procedimiento de soldeo



Tornillo	Diámetro	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
		Comprobación	Pésimo (t)	Resistente (t)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (t)	Resistente (t)	Aprov. (%)		
1	M16	Sección transversal	0.688	5.741	11.99	Vástago	1.568	9.569	16.39	16.54	16.54
		Aplastamiento	0.688	15.383	4.47	Punzonamiento	1.568	21.967	7.14		
2	M16	Sección transversal	0.715	5.741	12.45	Vástago	1.499	9.569	15.66	15.83	15.83
		Aplastamiento	0.715	15.383	4.65	Punzonamiento	1.499	21.967	6.82		
3	M16	Sección transversal	0.688	5.741	11.99	Vástago	4.841	9.569	50.59	51.99	51.99
		Aplastamiento	0.688	15.383	4.47	Punzonamiento	4.841	21.967	22.04		
4	M16	Sección transversal	0.691	5.741	12.04	Vástago	4.844	9.569	50.62	52.01	52.01
		Aplastamiento	0.691	15.383	4.49	Punzonamiento	4.844	21.967	22.05		
5	M16	Sección transversal	0.688	5.741	11.99	Vástago	7.095	9.569	74.14	75.11	75.11
		Aplastamiento	0.688	15.383	4.47	Punzonamiento	7.095	21.967	32.30		
6	M16	Sección transversal	0.691	5.741	12.04	Vástago	7.097	9.569	74.16	75.12	75.12
		Aplastamiento	0.691	15.383	4.49	Punzonamiento	7.097	21.967	32.31		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	1025.31	1999.24
Calculada para momentos negativos	1025.31	1806.23



d) Medición

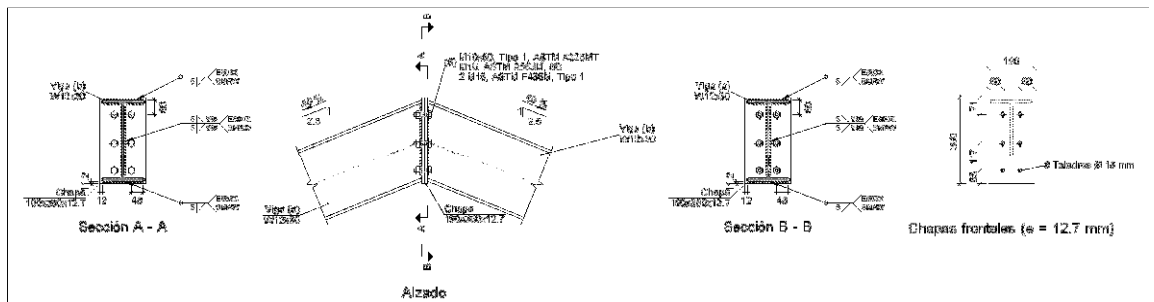
Soldaduras				
Clase de resistencia	Ejecución	Tipo	Lado (mm)	Longitud de cordones (mm)
E60XX	En taller	En ángulo	5	2105
			6	654
			7	816

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
A36	Rigidizadores	4	276x95x12.7	10.49
	Chapas	1	190x360x15.9	8.52
	Total			19.01

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	ASTM A325M	6	M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT
Tuercas	Clase 8S	6	M16, ASTM A563M
Arandelas	Tipo 1	12	M16, ASTM F436M

B. Diseño de conexiones viga en cumbrera

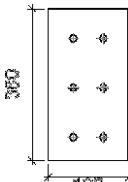
a) Detalle

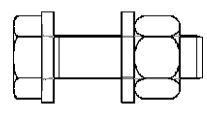


b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Esquema	Geometría				Acero		
			Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	F _y (kg/cm ²)	F _u (kg/cm ²)
Viga	W12x30		313	166	11.2	6.6	A36	2548.4	4077.5

Elementos complementarios									
Pieza	Esquema	Geometría			Taladros		Acero		
		Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	F _y (kg/cm ²)	F _u (kg/cm ²)
Chapa frontal: Viga (a) W12x30		190	360	12.7	6	18	A36	2548.4	4077.5

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	F _y (kg/cm ²)	F _u (kg/cm ²)
Chapa frontal: Viga (b) W12x30		190	360	12.7	6	18	A36	2548.4	4077.5

Elementos de tornillería					
Descripción	Geometría			Acero	
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	F _y (kg/cm ²)	F _u (kg/cm ²)
M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT M16, ASTM A563M, 8S 2 M16, ASTM F436M, Tipo 1		M16	60	6473.0	8460.8

c) Comprobación

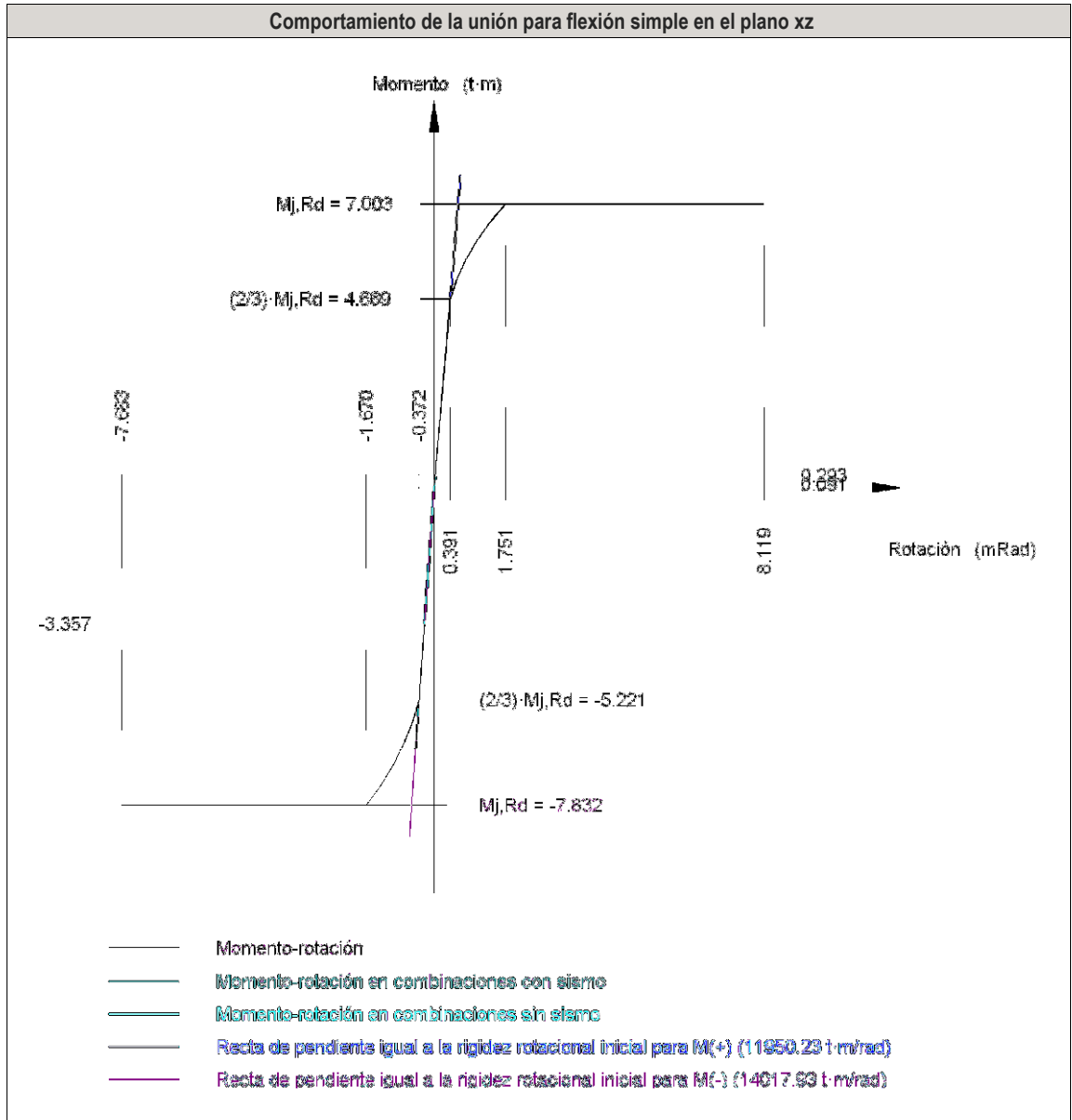
1) Viga (a) W12x30

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	t	4.002	8.709	45.96
Ala	Aplastamiento	t	13.229	44.665	29.62
	Tracción	t	2.117	20.265	10.45
Alma	Tracción	t	3.770	11.221	33.60

Comprobación de cordones de soldadura													
Descripción	Tipo	Ejecución	Perimetral	Lado (mm)	Metal base		Electrodo	P.S. ⁽¹⁾	Tensiones			Factor de resistencia	
					F _y (kg/cm ²)	F _w (kg/cm ²)			Pésima (kg/cm ²)	Resistente (kg/cm ²)	Aprov. (%)	f _{material base}	f _{soldadura}
Soldadura del ala superior	En ángulo	En taller	X	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	707.0	1376.1	51.37	0.90	0.75	
Soldadura del alma	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	901.5	1903.7	47.35	0.90	0.75	
Soldadura del ala inferior	En ángulo	En taller	X	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	1253.9	1903.7	65.87	0.90	0.75	

⁽¹⁾Procedimiento de soldeo

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	4895.30	11950.23
Calculada para momentos negativos	4895.30	14017.93



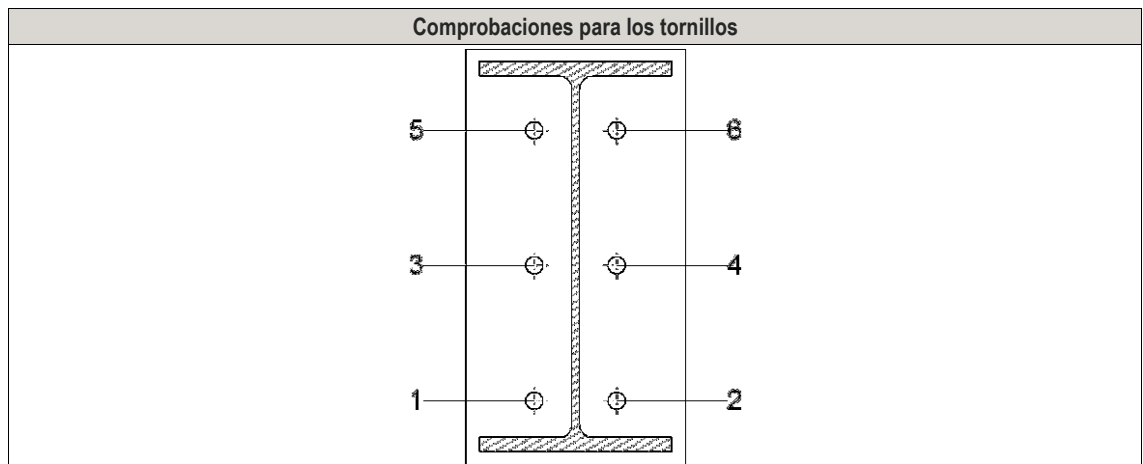
2) Viga (b) W12x30

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	t	4.002	8.709	45.96
Ala	Compresión	t	13.229	44.665	29.62
	Tracción	t	2.117	20.265	10.45
Alma	Tracción	t	3.770	11.221	33.60

Comprobación de cordones de soldadura													
Descripción	Tipo	Ejecución	Perimetral	Lado (mm)	Metal base		Electrodo	P.S. ⁽¹⁾	Tensiones			Factor de resistencia	
					F_y (kg/cm ²)	F_w (kg/cm ²)			Pésima (kg/cm ²)	Resistente (kg/cm ²)	Aprov. (%)	$f_{material\ base}$	$f_{soldadura}$
Soldadura del ala superior	En ángulo	En taller	X	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	653.9	1376.1	47.52	0.90	0.75	

Comprobación de cordones de soldadura													
Descripción	Tipo	Ejecución	Perimetral	Lado (mm)	Metal base		Electrodo	P.S.(1)	Tensiones			Factor de resistencia	
					F _y (kg/cm ²)	F _w (kg/cm ²)			Pésima (kg/cm ²)	Resistente (kg/cm ²)	Aprov. (%)	f _{material base}	f _{soldadura}
Soldadura del alma	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW		901.5	1903.7	47.35	0.90	0.75
Soldadura del ala inferior	En ángulo	En taller	X	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW		1253.9	1903.7	65.87	0.90	0.75

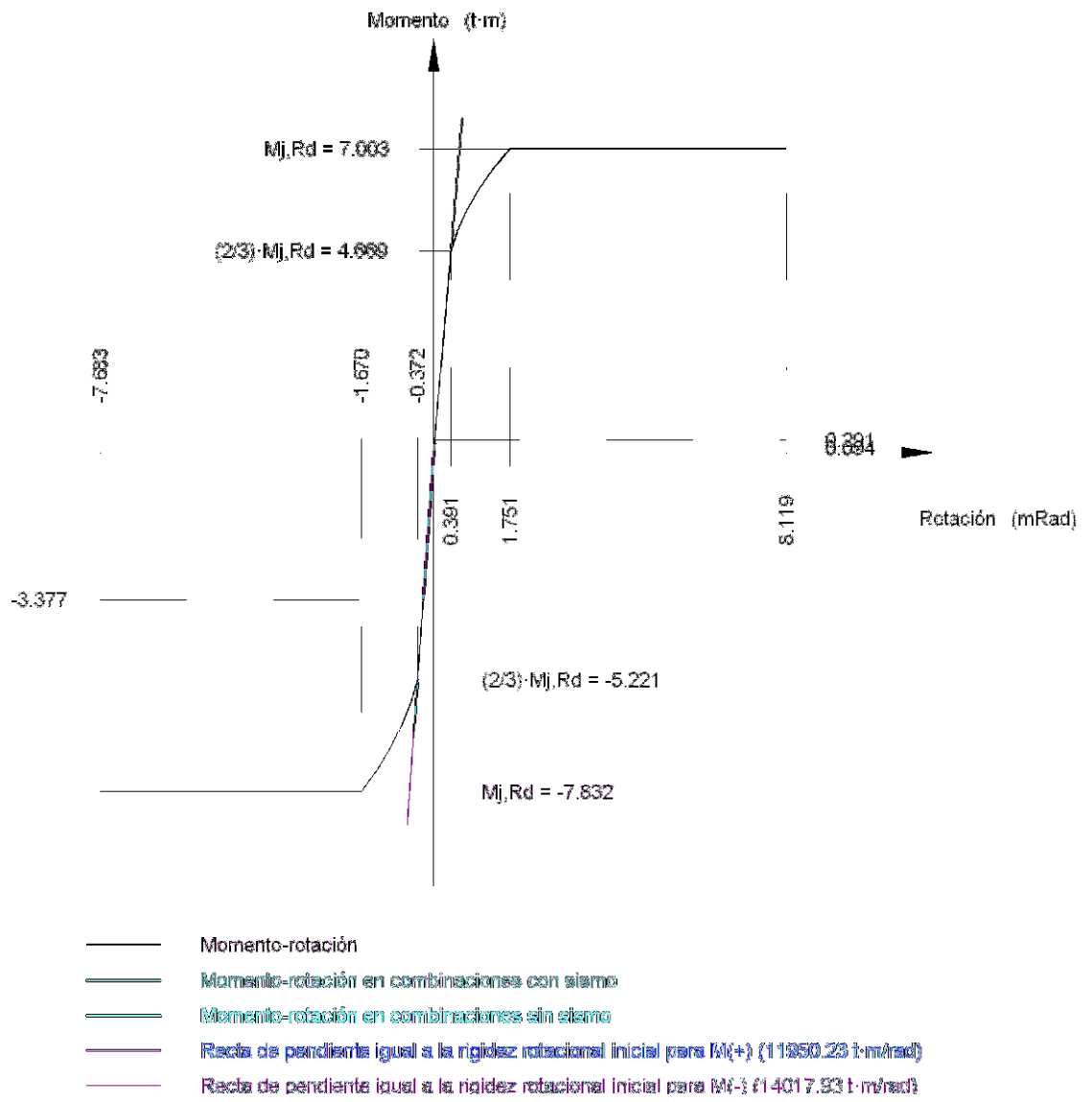
(1) Procedimiento de soldeo



Tornillo	Diámetro	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
		Comprobación	Pésimo (t)	Resistente (t)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (t)	Resistente (t)	Aprov. (%)		
1	M16	Sección transversal	0.155	5.741	2.70	Vástago	4.397	9.569	45.96	45.98	45.98
		Aplastamiento	0.155	14.914	1.04	Punzonamiento	4.397	21.296	20.65		
2	M16	Sección transversal	0.165	5.741	2.87	Vástago	4.361	9.569	45.57	45.60	45.60
		Aplastamiento	0.165	14.914	1.11	Punzonamiento	4.361	21.296	20.48		
3	M16	Sección transversal	0.144	5.741	2.51	Vástago	3.032	9.569	31.69	31.71	31.71
		Aplastamiento	0.144	14.914	0.97	Punzonamiento	3.032	21.296	14.24		
4	M16	Sección transversal	0.153	5.741	2.66	Vástago	2.987	9.569	31.21	31.24	31.24
		Aplastamiento	0.153	14.914	1.02	Punzonamiento	2.987	21.296	14.02		
5	M16	Sección transversal	0.143	5.741	2.49	Vástago	0.623	9.569	6.51	6.52	6.52
		Aplastamiento	0.143	14.914	0.96	Punzonamiento	0.623	21.296	2.92		
6	M16	Sección transversal	0.146	5.741	2.54	Vástago	0.618	9.569	6.45	6.47	6.47
		Aplastamiento	0.146	14.914	0.98	Punzonamiento	0.618	21.296	2.90		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	4895.30	11950.23
Calculada para momentos negativos	4895.30	14017.93

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



d) Medición

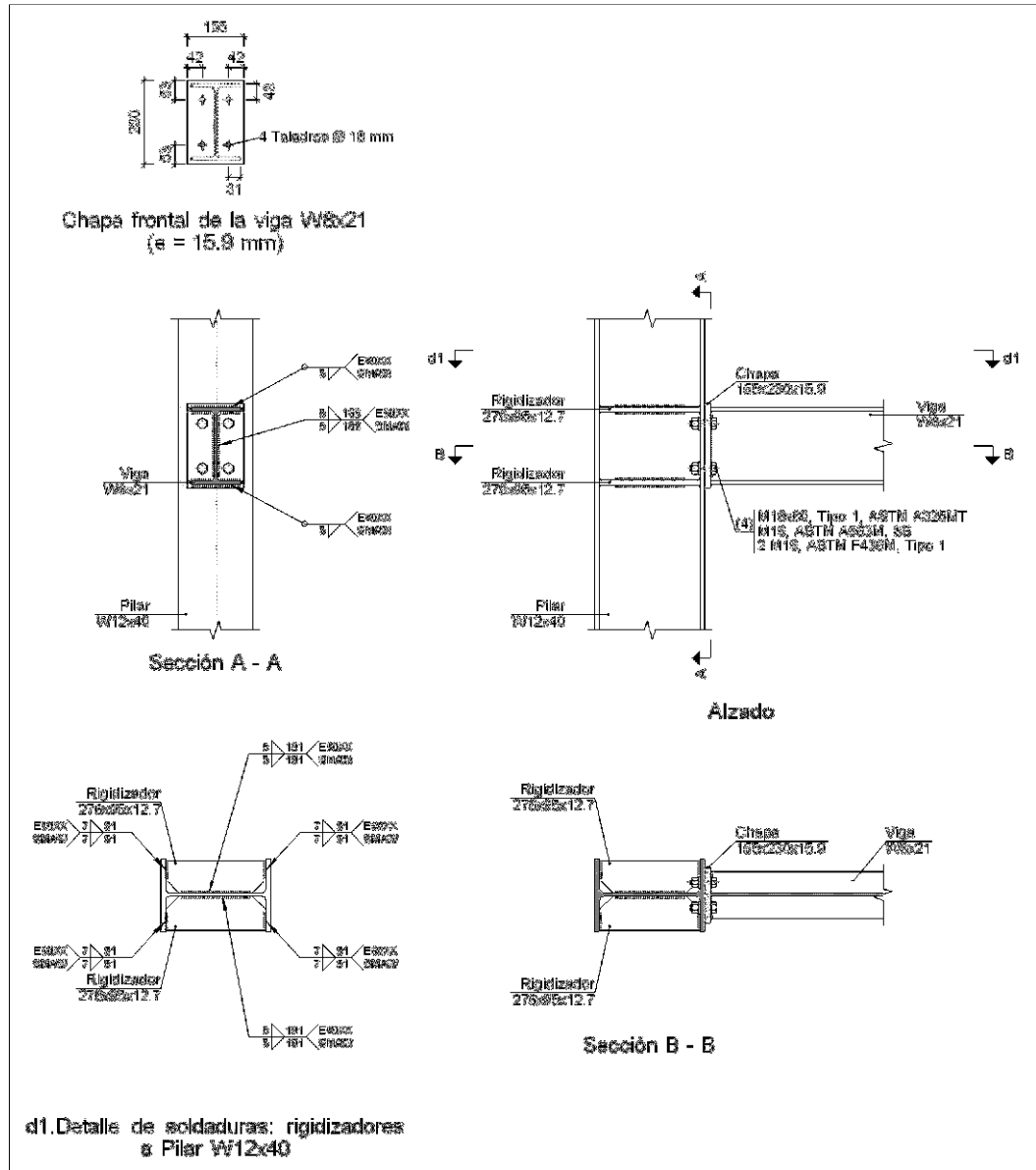
Soldaduras				
Clase de resistencia	Ejecución	Tipo	Lado (mm)	Longitud de cordones (mm)
E60XX	En taller	En ángulo	5	2466

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
A36	Chapas	2	190x360x12.7	13.64
				Total

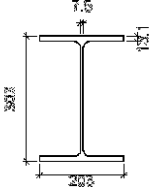
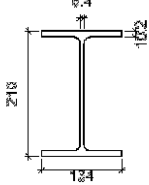
Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	ASTM A325M	6	M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT
Tuercas	Clase 8S	6	M16, ASTM A563M
Arandelas	Tipo 1	12	M16, ASTM F436M

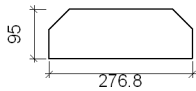
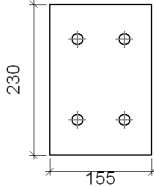
C. Diseño de ménsula


a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Esquema	Geometría				Acero		
			Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	F _y (kg/cm ²)	F _u (kg/cm ²)
Pilar	W12x40		303	203	13.1	7.5	A36	2548.4	4077.5
Viga	W8x21		210	134	10.2	6.4	A36	2548.4	4077.5

Elementos complementarios									
Pieza	Esquema	Geometría			Taladros		Acero		
		Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	F _y (kg/cm ²)	F _u (kg/cm ²)
Rigidizador		276.8	95	12.7	-	-	A36	2548.4	4077.5
Chapa frontal: Viga W8x21		155	230	15.9	4	18	A36	2548.4	4077.5

Elementos de tornillería					
Descripción	Geometría			Acero	
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	F _y (kg/cm ²)	F _u (kg/cm ²)
M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT M16, ASTM A563M, 8S 2 M16, ASTM F436M, Tipo 1		M16	60	6473.0	8460.8

c) Comprobación

1) Pilar W12x40

Comprobaciones de resistencia						
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)	
Panel	Esbeltez	-	36.91	52.27	70.61	
	Cortante	t	8.295	31.273	26.52	
Rigidizadores	Ala	Cortante	kg/cm ²	688.203	2293.578	30.01
Viga W8x21	Ala	Tracción por flexión	t	3.205	9.464	33.87
		Tracción	t	1.489	22.933	6.49
	Alma	Tracción	t	3.433	10.681	32.15

Comprobación de cordones de soldadura													
Descripción	Tipo	Ejecución	Perimetral	Lado (mm)	Metal base		Electrodo	P.S. ⁽¹⁾	Tensiones			Factor de resistencia	
					F _y (kg/cm ²)	F _w (kg/cm ²)			Pésima (kg/cm ²)	Resistente (kg/cm ²)	Aprov. (%)	f _{material base}	f _{soldadura}
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	En taller	--	7	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	788.0	1903.7	41.39	0.90	0.75	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	247.8	1903.7	13.01	0.90	0.75	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	En taller	--	7	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	707.2	1903.7	37.15	0.90	0.75	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	167.9	1903.7	8.82	0.90	0.75	
Soldadura del rigidizador superior a las alas	En ángulo	En taller	--	7	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	790.4	1903.7	41.52	0.90	0.75	
Soldadura del rigidizador superior al alma	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	248.5	1903.7	13.05	0.90	0.75	
Soldadura del rigidizador inferior a las alas	En ángulo	En taller	--	7	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	704.1	1903.7	36.99	0.90	0.75	
Soldadura del rigidizador inferior al alma	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	167.1	1903.7	8.78	0.90	0.75	

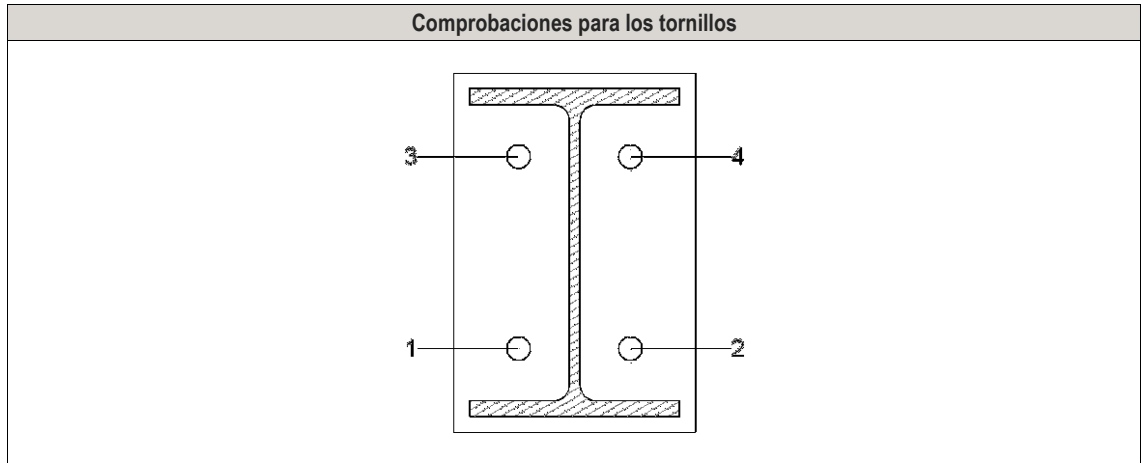
⁽¹⁾Procedimiento de soldado

2) Viga W8x21

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	t	3.205	9.552	33.56
Ala	Compresión	t	0.585	1.614	36.24
	Tracción	t	1.644	15.674	10.49
Alma	Tracción	t	3.123	11.389	27.42

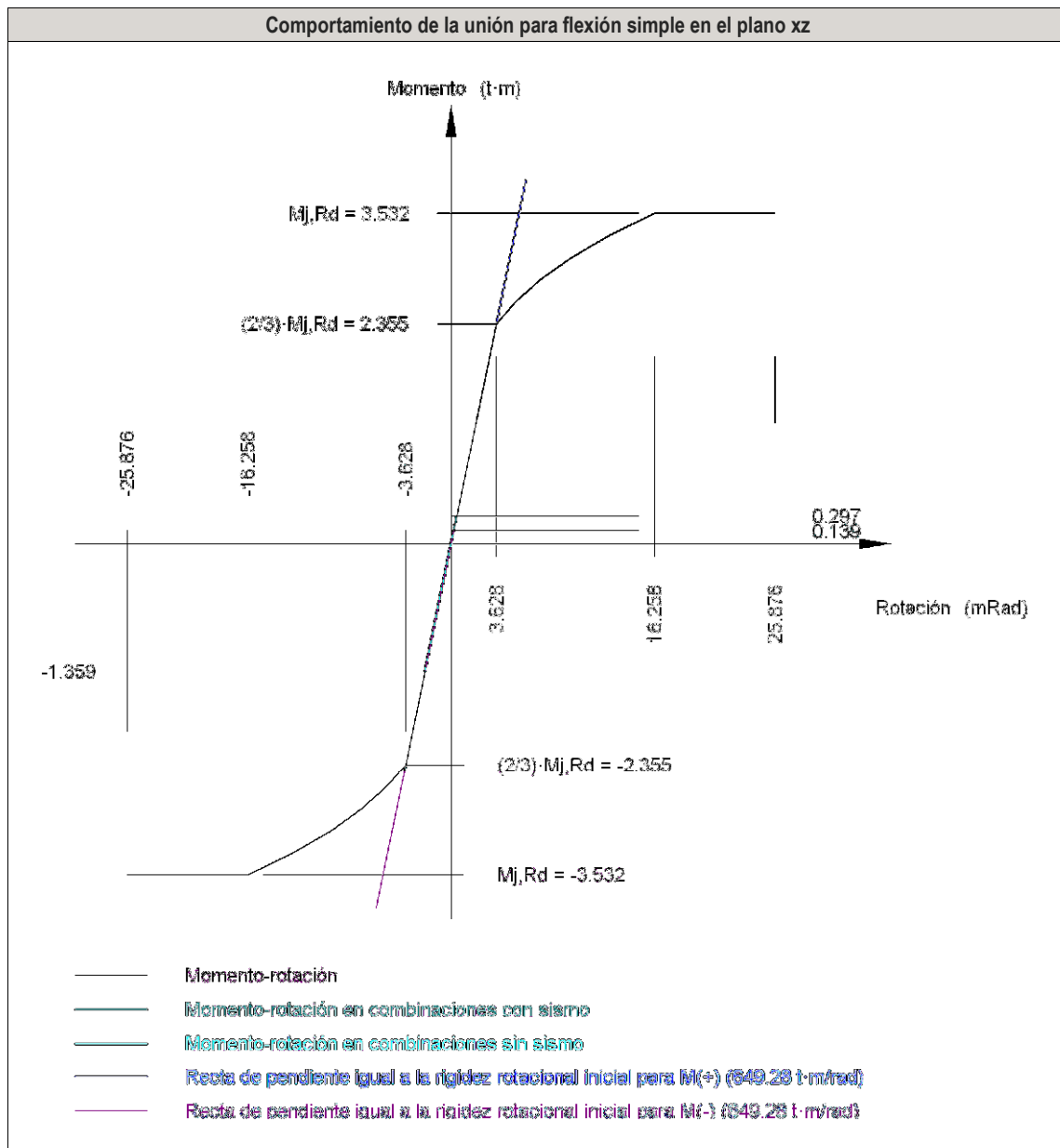
Comprobación de cordones de soldadura													
Descripción	Tipo	Ejecución	Perimetral	Lado (mm)	Metal base		Electrodo	P.S.(1)	Tensiones			Factor de resistencia	
					F _y (kg/cm ²)	F _w (kg/cm ²)			Pésima (kg/cm ²)	Resistente (kg/cm ²)	Aprov. (%)	f _{material base}	f _{soldadura}
Soldadura del ala superior	En ángulo	En taller	X	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW		821.4	1903.7	43.15	0.90	0.75
Soldadura del alma	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW		815.2	1903.7	42.82	0.90	0.75
Soldadura del ala inferior	En ángulo	En taller	X	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW		1014.9	1903.7	53.31	0.90	0.75

(1) Procedimiento de soldeo



Tornillo	Diámetro	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
		Comprobación	Pésimo (t)	Resistente (t)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (t)	Resistente (t)	Aprov. (%)		
1	M16	Sección transversal	1.368	5.741	23.82	Vástago	3.241	9.569	33.87	40.96	40.96
		Aplastamiento	1.368	15.383	8.89	Punzonamiento	3.241	21.967	14.75		
2	M16	Sección transversal	1.368	5.741	23.82	Vástago	3.241	9.569	33.87	40.96	40.96
		Aplastamiento	1.368	15.383	8.89	Punzonamiento	3.241	21.967	14.75		
3	M16	Sección transversal	1.368	5.741	23.82	Vástago	1.650	9.569	17.24	24.39	24.39
		Aplastamiento	1.368	15.383	8.89	Punzonamiento	1.650	21.967	7.51		
4	M16	Sección transversal	1.368	5.741	23.82	Vástago	1.634	9.569	17.08	24.39	24.39
		Aplastamiento	1.368	15.383	8.89	Punzonamiento	1.634	21.967	7.44		

Rigidez rotacional inicial	Plano xy (t·m/rad)	Plano xz (t·m/rad)
Calculada para momentos positivos	568.52	649.28
Calculada para momentos negativos	568.52	649.28



d) Medición

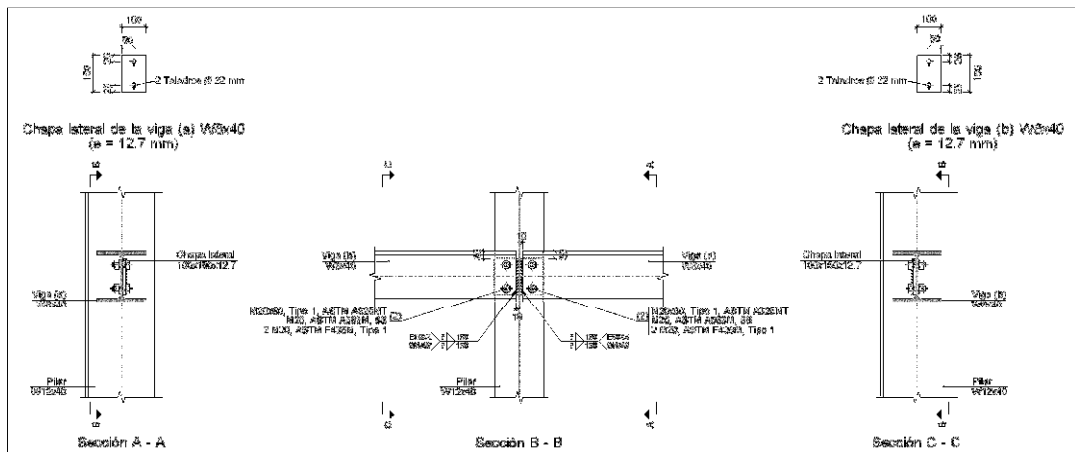
Soldaduras				
Clase de resistencia	Ejecución	Tipo	Lado (mm)	Longitud de cordones (mm)
E60XX	En taller	En ángulo	5	2388
			7	816

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
A36	Rigidizadores	4	276x95x12.7	10.49
	Chapas	1	155x230x15.9	4.44
			Total	14.93

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	ASTM A325M	4	M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT
Tuercas	Clase 8S	4	M16, ASTM A563M
Arandelas	Tipo 1	8	M16, ASTM F436M

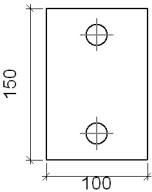
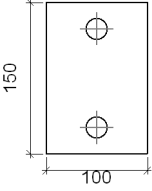
D. Diseño de conexión a cortante

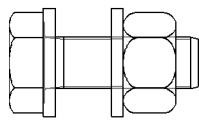
a) Detalle



b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	F _y (Kg/cm ²)	F _u (Kg/cm ²)
Pilar	W12x40		303	203	13.1	7.5	A36	2548.4	4077.5
Viga	W8x40		210	205	14.2	9.1	A36	2548.4	4077.5

Elementos complementarios									
Pieza	Geometría				Taladros		Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro (mm)	Tipo	F _y (Kg/cm ²)	F _u (Kg/cm ²)
Chapa lateral: Viga (a) W8x40		100	150	12.7	2	22	A36	2548.4	4077.5
Chapa lateral: Viga (b) W8x40		100	150	12.7	2	22	A36	2548.4	4077.5

Elementos de tornillería					
Descripción	Geometría			Acero	
	Esquema	Diámetro	Longitud (mm)	F _y (Kg/cm ²)	F _u (Kg/cm ²)
M20x60, Tipo 1, ASTM A325MT M20, ASTM A563M, 8S 2 M20, ASTM F436M, Tipo 1		M20	60	6473.0	8460.8

c) Comprobación

1) Pilar W12x40

Comprobaciones de resistencia						
	Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Viga (a) W8x40	Alma	Punzonamiento	t	1.068	33.585	3.18
		Flexión por fuerza perpendicular	t	1.355	7.651	17.71
Viga (b) W8x40	Alma	Punzonamiento	t	1.068	33.585	3.18
		Flexión por fuerza perpendicular	t	1.355	7.651	17.71

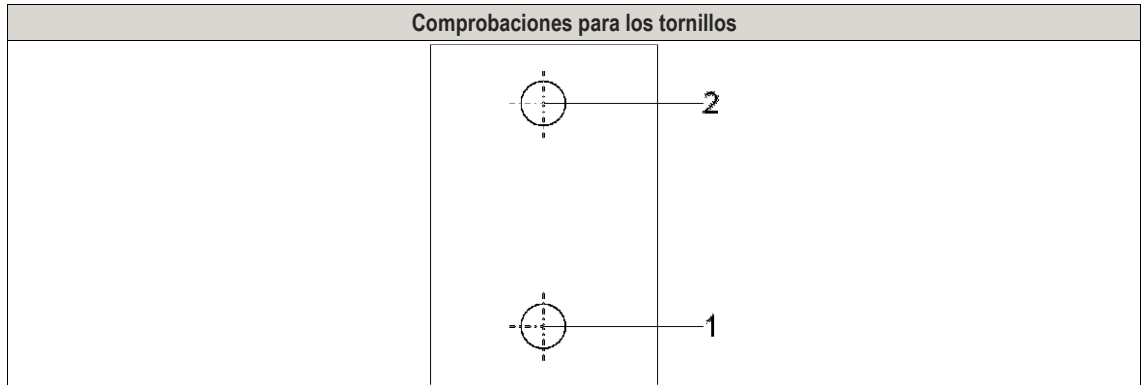
2) Viga (a) W8x40

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Pandeo local	Kg/cm ²	129.615	2204.881	5.88
	Aplastamiento	t	0.701	11.782	5.95
	Desgarro	t	1.277	14.855	8.60
Alma	Aplastamiento	t	0.958	13.358	7.17

	Desgarro	t	1.277	18.623	6.86
--	----------	---	-------	--------	------

Comprobación de cordones de soldadura													
Descripción	Tipo	Ejecución	Perimetral	Lado (mm)	Metal base		Electrodo	P.S. ⁽¹⁾	Tensiones			Factor de resistencia	
					F _y (Kg/cm ²)	F _w (Kg/cm ²)			Pésima (Kg/cm ²)	Resistente (Kg/cm ²)	Aprov. (%)	f _{material base}	f _{soldadura}
Soldadura de la chapa lateral	En ángulo	En taller	--	7	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW		86.0	1903.7	4.52	0.90	0.75

⁽¹⁾Procedimiento de soldeo



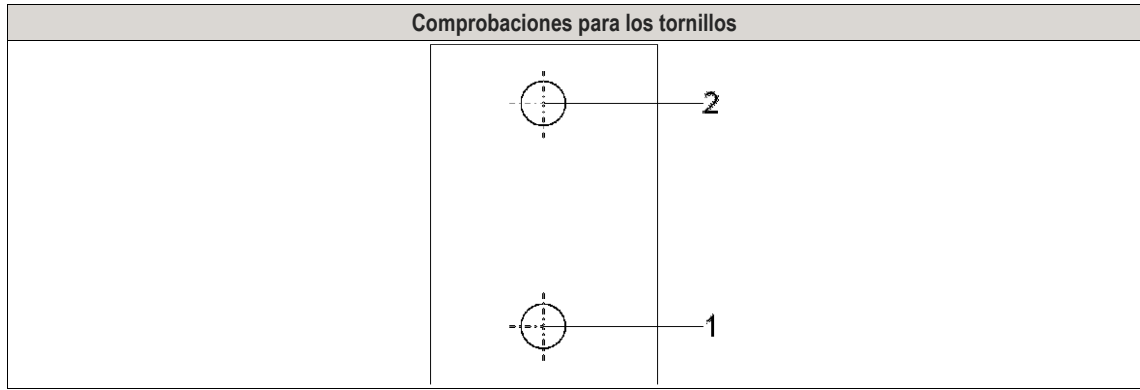
Tornillo	Diámetro	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
		Comprobación	Pésimo (t)	Resistente (t)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (t)	Resistente (t)	Aprov. (%)		
1	M20	Sección transversal	0.701	8.971	7.82	Vástago	0.332	14.951	2.22	7.82	7.82
		Aplastamiento	0.701	11.782	5.95	Punzonamiento	0.332	19.215	1.73		
2	M20	Sección transversal	0.958	8.971	10.68	Vástago	0.332	14.951	2.22	10.68	10.68
		Aplastamiento	0.958	18.236	5.25	Punzonamiento	0.332	19.215	1.73		

3) Viga (b) W8x40

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa lateral	Pandeo local	Kg/cm ²	129.615	2204.881	5.88
	Aplastamiento	t	0.635	10.956	5.80
	Desgarro	t	1.277	14.855	8.60
Alma	Aplastamiento	t	0.958	13.358	7.17
	Desgarro	t	1.277	18.623	6.86

Comprobación de cordones de soldadura													
Descripción	Tipo	Ejecución	Perimetral	Lado (mm)	Metal base		Electrodo	P.S. ⁽¹⁾	Tensiones			Factor de resistencia	
					F _y (Kg/cm ²)	F _w (Kg/cm ²)			Pésima (Kg/cm ²)	Resistente (Kg/cm ²)	Aprov. (%)	f _{material base}	f _{soldadura}
Soldadura de la chapa lateral	En ángulo	En taller	--	7	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW		86.0	1903.7	4.52	0.90	0.75

⁽¹⁾Procedimiento de soldeo



Tornillo	Diámetro	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante Aprov. (%)	Aprov. Máx. (%)
		Comprobación	Pésimo (t)	Resistente (t)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (t)	Resistente (t)	Aprov. (%)		
1	M20	Sección transversal	0.635	8.971	7.08	Vástago	0.332	14.951	2.22	7.08	7.08
		Aplastamiento	0.635	10.956	5.80	Punzonamiento	0.332	19.215	1.73		
2	M20	Sección transversal	0.958	8.971	10.68	Vástago	0.332	14.951	2.22	10.68	10.68
		Aplastamiento	0.958	18.236	5.25	Punzonamiento	0.332	19.215	1.73		

d) Medición

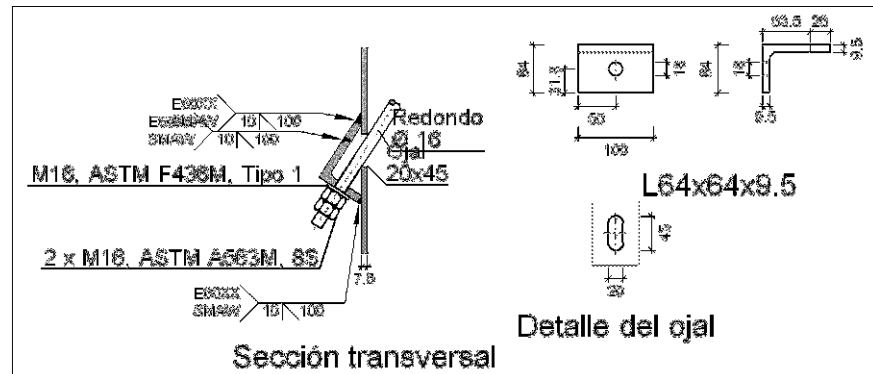
Soldaduras				
Clase de resistencia	Ejecución	Tipo	Lado (mm)	Longitud de cordones (mm)
E60XX	En taller	En ángulo	7	600

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
A36	Chapas	2	100x150x12.7	2.99
				Total

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tornillos	ASTM A325M	4	M20x60, Tipo 1, ASTM A325MT
Tuercas	Clase 8S	4	M20, ASTM A563M
Arandelas	Tipo 1	8	M20, ASTM F436M

E. Diseño de tensores

a) Detalle



b) Comprobación

1) Redondo D 16

Comprobación de cordones de soldadura														
Descripción	Tipo ⁽¹⁾	Ejecución	Perimetral	Dimensiones		Metal base		Electrodo	P.S. ⁽²⁾	Tensiones			Factor de resistencia	
				Lado (mm)	Bisel (mm)	F _y (kg/cm ²)	F _w (kg/cm ²)			Pésima (kg/cm ²)	Resistente (kg/cm ²)	Aprov. (%)	f _{material base}	f _{soldadura}
Soldaduras a tope del angular a la pieza	S.P.T.	En taller	--	10	10	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW		279.2	1376.1	20.29	0.90	0.75

⁽¹⁾S.P.T.: Soldadura de penetración total

⁽²⁾Procedimiento de soldeo

c) Medición

Soldaduras				
Clase de resistencia	Ejecución	Tipo	Lado (mm)	Longitud de cordones (mm)
E60XX	En taller	A tope en bisel simple	10	300

Angulares				
Material	Tipo	Descripción (mm)	Longitud (mm)	Peso (kg)
A36	Anclajes de tirantes	L64x64x9.5	100	0.88
	Total			0.88

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tuercas	Clase 8S	2	M16, ASTM A563M
Arandelas	Tipo 1	1	M16, ASTM F436M

F. Diseño de pernos de anclaje

Descripción

Descripción				
Referencia	Placa base	Disposición	Rigidizadores	Pernos
N207	Ancho X: 700 mm Ancho Y: 600 mm Espesor: 25 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Centrada	Paralelos X: - Paralelos Y: 2(200x0x9.0)	6Ø28.56 mm L=100 cm Gancho a 180 grados

Medición placas de anclaje

Pilares	Acero	Peso Kg	Totales Kg
N207	ASTM A 36 36 ksi	1 x 95.18	95.18
Totales			95.18

Medición pernos placas de anclaje

Pilares	Pernos	Acero	Longitud m	Peso Kg	Totales m	Totales Kg
N207	6Ø28.56 mm L=140 cm	A-307 (liso)	6 x 1.40	6 x 7.04	8.40	42.24
Totales					8.40	42.24

Comprobación de las placas de anclaje

Referencia: N207 -Placa base: Ancho X: 700 mm Ancho Y: 600 mm Espesor: 25 mm -Pernos: 6Ø28.56 mm L=100 cm Gancho a 180 grados -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada -Rigidizadores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(200x0x9.0)		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 42 mm Calculado: 291 mm	Cumple
Separación mínima pernos-perfil: <i>1.5 diámetros</i>	Mínimo: 42 mm Calculado: 89 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: <i>2 diámetros</i>	Mínimo: 57 mm Calculado: 60 mm	Cumple
Esbeltez de rigidizadores: - Paralelos a Y:	Máximo: 50 Calculado: 47.9	Cumple
Longitud mínima del perno: <i>Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.</i>	Mínimo: 45 cm Calculado: 100 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		

Referencia: N207 -Placa base: Ancho X: 700 mm Ancho Y: 600 mm Espesor: 25 mm -Pernos: 6Ø28.56 mm L=100 cm Gancho a 180 grados -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada -Rigidizadores: Paralelos X: - Paralelos Y: 2(200x0x9.0)		
Comprobación	Valores	Estado
- Tracción:	Máximo: 13.015 t Calculado: 11.728 t	Cumple
- Cortante:	Máximo: 9.111 t Calculado: 0.532 t	Cumple
- Tracción + Cortante:	Máximo: 13.015 t Calculado: 12.487 t	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 17.936 t Calculado: 10.503 t	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 2798.17 Kg/cm ² Calculado: 1644.52 Kg/cm ²	Cumple
Aplastamiento perno en placa: <i>Límite del cortante en un perno actuando contra la placa</i>	Máximo: 40.94 t Calculado: 0.468 t	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 2548.42 Kg/cm ²	
- Derecha:	Calculado: 674.412 Kg/cm ²	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 673.909 Kg/cm ²	Cumple
- Arriba:	Calculado: 1096.34 Kg/cm ²	Cumple
- Abajo:	Calculado: 1406.43 Kg/cm ²	Cumple
Flecha global equivalente: <i>Limitación de la deformabilidad de los vuelos</i>	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 2571.51	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 2386.28	Cumple
- Arriba:	Calculado: 10634.3	Cumple
- Abajo:	Calculado: 7787.65	Cumple
Tensión de Von Mises local: <i>Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo</i>	Máximo: 2548.42 Kg/cm ² Calculado: 1611.88 Kg/cm ²	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

3.4.6 Diseño de cimentaciones

1. Metrado de cargas

Las cargas corresponden a las reacciones obtenidas mediante el análisis estructural. Se considera como carga viva la carga de nieve.

Gráfico N° 16 Reacciones por carga viva para el diseño de zapata

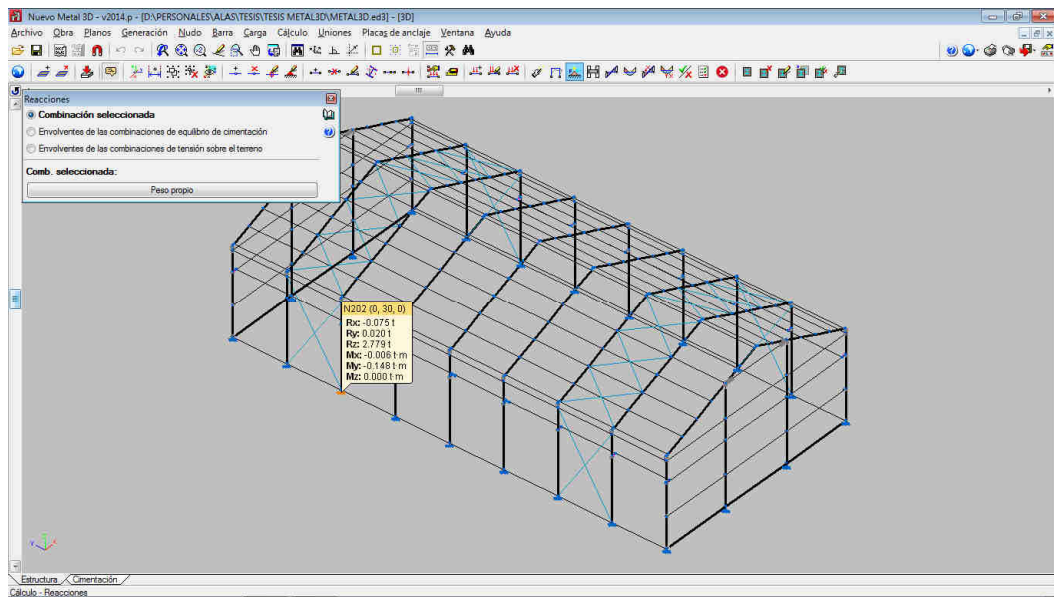
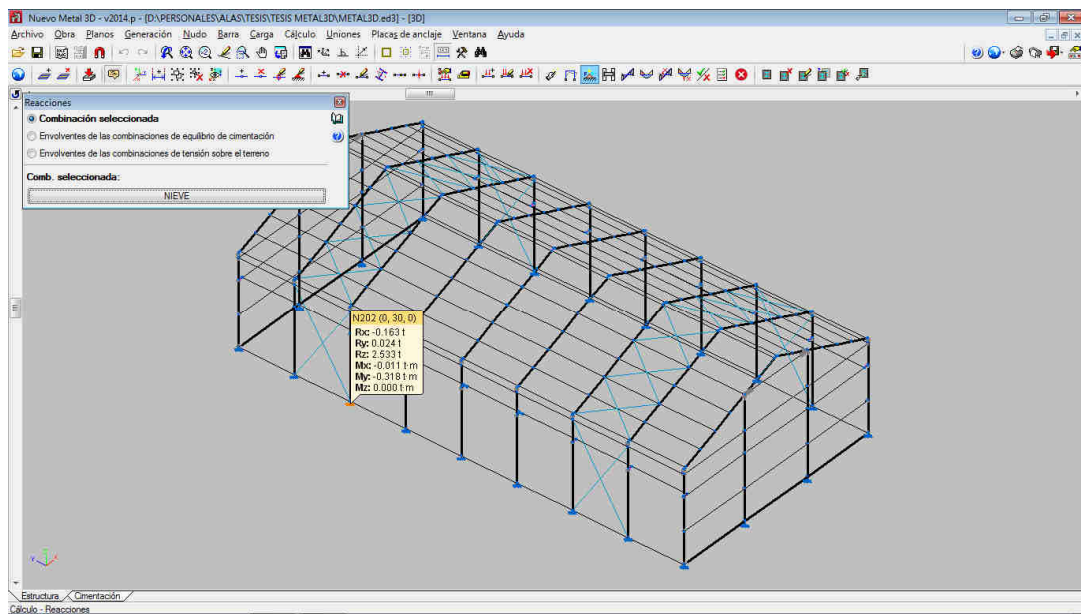


Gráfico N° 17 Reacciones por carga viva para el diseño de zapatas



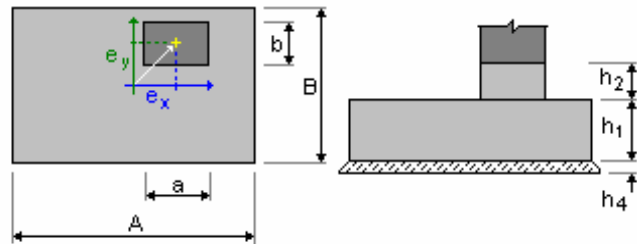
2. Diseño de zapatas

Por la forma de la estructura y la posibilidad de construcción en colindancia del terreno, se plantea una zapata excéntrica rectangular aislada, con las características del anclaje calculado y las características del terreno.

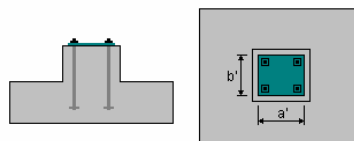
Hipótesis

- Norma para los cálculos geotécnicos : ACI
- Norma para los cálculos de hormigón armado : ACI 318-08
- Forma de la cimentación : libre

Geometría:



A	= 1.35 (m)	a	= 0.70 (m)
B	= 1.85 (m)	b	= 0.60 (m)
h1	= 0.50 (m)	ex	= 0.00 (m)
h2	= 0.90 (m)	ey	= 0.57 (m)
h4	= 0.05 (m)		



a'	= 70.0 (cm)
b'	= 60.0 (cm)
c1	= 5.1 (cm)
c2	= 5.1 (cm)

Materiales

- Hormigón: : resistencia característica = 210.00 kgf/cm²
Densidad = 2400.00 (kg/m³)
- Armaduras longitudinales : tipo Grade 60 resistencia característica = 4218.42 kgf/cm²
- Armaduras transversales : tipo Grade 60 resistencia característica = 4218.42 kgf/cm²

Cargas:

Cargas sobre la cimentación:

Caso	Natura	Grupo	N (T)	Fx (T)	Fy (T)	Mx (T*m)	My (T*m)
G1	permanente	1	2.78	-0.08	0.02	-0.01	-0.15
Q1	explotación	1	2.53	-0.16	0.02	-0.01	-0.32

Cargas sobre el talud:

Caso	Natura	Q1 (T/m2)
------	--------	--------------

Lista de combinaciones

1/	ELS : 1.00G1+1.00Q1
2/	ELS : 1.00G1
3/*	ELU : 1.20G1+1.60Q1
4/*	ELU : 1.40G1
5/*	ELU : 0.90G1
6/*	ELS : 1.00G1+1.00Q1
7/*	ELS : 1.00G1

Diseño geotécnico

Hipótesis

Dimensionado de la cimentación para:

- Capacidad de carga
- Vuelco
- Alzamiento
- Hundimiento medio
- Considerar la redistribución plástica de las tensiones admisibles

Suelo:

Nivel del suelo:	N ₁	= 0.00 (m)
Nivel máx. de la cimentación:	N _a	= 0.00 (m)
Nivel del fondo del excavado:	N _f	= -1.50 (m)

Fine Sand

- Nivel del suelo: 0.00 (m)
- Peso volumétrico: 1886.47 (kg/m³)
- Densidad del sólido: 2702.25 (kg/m³)
- Angulo de rozamiento interno: 35.0 (Deg)
- Cohesión: 0.00 (kgf/cm²)

Estados limites

Cálculo de las tensiones

Considerar la redistribución plástica de las tensiones admisibles

Tipo de suelo debajo de la cimentación: uniforme

Combinación dimensionante: **ELS : 1.00G1+1.00Q1**

Coefficientes de carga: **1.00** * peso de la cimentación

1.00 * peso del suelo

Resultados de cálculos: en el nivel del asiento de la cimentación

Peso de la cimentación y del suelo superpuesto: Gr = 7.43 (T)

Carga de diseño:

Nr = 12.74 (T)

Mx = -3.22 (T*m)

My = -0.80 (T*m)

Tensión en el suelo: 0.77 (kgf/cm²)

Resistencia de cálculo del suelo 0.87 (kgf/cm²)

Coefficiente de seguridad: 1.125 > 1

Alzamiento

Alzamiento en ELS

Combinación dimensionante: **ELS : 1.00G1+1.00Q1**

Coefficientes de carga: **1.00** * peso de la cimentación

1.00 * peso del suelo

Superficie de contacto: s = 1.77

s_{lim} = 1.00

Hundimiento medio

Tipo de suelo debajo de la cimentación: uniforme

Combinación dimensionante: **ELS : 1.00G1+1.00Q1**

Coefficientes de carga: **1.00** * peso de la cimentación

1.00 * peso del suelo

Peso de la cimentación y del suelo superpuesto: $Gr = 7.43$ (T)
 Tensión media debida a la carga de dimensionado: $q = 0.54$
 (kgf/cm²)
 Espesor del suelo con hundimiento activo: $z = 1.01$ (m)
 Tensión en el nivel z:
 - adicional: $\sigma_{zd} = 0.13$ (kgf/cm²)
 - debida al peso del suelo: $\sigma_{z\gamma} = 0.46$ (kgf/cm²)
 Hundimientos:
 - primario $s' = 0.0$ (cm)
 - secundario $s'' = 0.0$ (cm)
 - TOTAL $S = 0.0$ (cm) < $S_{adm} = 5.1$ (cm)
 Coeficiente de seguridad: $405.8 > 1$

Diferencia de hundimientos

Combinación dimensionante: **ELS : 1.00G1+1.00Q1**
 Coeficientes de carga: **1.00** * peso de la cimentación
1.00 * peso del suelo
 Diferencia de hundimientos: $S = 0.0$ (cm) < $S_{adm} = 5.1$ (cm)
 Coeficiente de seguridad: $206.3 > 1$

Vuelco

Alrededor del eje OX

Combinación dimensionante: **ELS : 1.00G1+1.00Q1**
 Coeficientes de carga: **1.00** * peso de la cimentación
1.00 * peso del suelo
 Peso de la cimentación y del suelo superpuesto: $Gr = 7.43$ (T)
 Carga de diseño:
 $N_r = 12.74$ (T) $M_x = -3.22$ (T*m) $M_y = -0.80$ (T*m)
 Momento estabilizador: $M_{stab} = 9.17$ (T*m)
 Momento de vuelco: $M_{renv} = 0.08$ (T*m)
 Estabilidad al vuelco: $116.6 > 1$

Alrededor del eje OY

Combinación dimensionante: **ELS : 1.00G1+1.00Q1**
 Coeficientes de carga: **1.00** * peso de la cimentación
1.00 * peso del suelo
 Peso de la cimentación y del suelo superpuesto: $Gr = 7.43$ (T)

Carga de diseño:

$$N_r = 12.74 \text{ (T)} \quad M_x = -3.22 \text{ (T*m)} \quad M_y = -0.80 \text{ (T*m)}$$

Momento estabilizador: $M_{stab} = 8.60 \text{ (T*m)}$

Momento de vuelco: $M_{renv} = 0.80 \text{ (T*m)}$

Estabilidad al vuelco: $10.76 > 1$

Diseño de hormigón armado

Hipótesis

- Hormigón expuesto a la acción del medio ambiente : no

Análisis de punzonamiento y de cortante

Punzonamiento

Combinación dimensionante: **ELU : 1.20G1+1.60Q1**

Coefficientes de carga: **0.90** * peso de la cimentación

0.90 * peso del suelo

Carga de diseño:

$$N_r = 14.07 \text{ (T)} \quad M_x = -4.42 \text{ (T*m)} \quad M_y = -$$
$$1.18 \text{ (T*m)}$$

Longitud del perímetro crítico: 2.12 (m)

Fuerza de punzonamiento: 1.22 (T)

Altura útil de la sección $h_{eff} = 0.44 \text{ (m)}$

Tensión cortante: 0.13 (kgf/cm²)

Tensión cortante admisible: 11.53 (kgf/cm²)

Coefficiente de seguridad: 88.12 > 1

Armadura teórica

Cimentación aislada:

Armaduras inferiores:

ELU : 1.20G1+1.60Q1

$$M_y = 0.47 \text{ (T*m)} \quad A_{sx} = 9.00 \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

ELU : 1.20G1+1.60Q1

Mx = 0.02 (T*m)

$$A_{sy} = 9.00 \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

$$A_s \text{ min} = 9.00 \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

Armaduras superiores:

$$A'_{sx} = 0.00 \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

ELU : 1.20G1+1.60Q1

Mx = -0.22 (T*m)

$$A'_{sy} = 9.00 \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

$$A_s \text{ min} = 0.00 \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

Fuste:

$$\text{Armaduras longitudinales} \quad A = 42.57 \text{ (cm}^2) \quad A_{\text{mín.}} = 42.00 \text{ (cm}^2)$$

$$A = 2 * (A_{sx} + A_{sy})$$

$$A_{sx} = 7.98 \text{ (cm}^2) \quad A_{sy} = 13.30 \text{ (cm}^2)$$

Armadura real

Cimentación aislada:

Armaduras inferiores:

Dirección X:

$$14 \text{ Grade 60 \#4} \quad l = 1.25 \text{ (m)} \quad e = 1*0.83 + 1*0.29 + 12*0.11$$

Dirección Y:

$$10 \text{ Grade 60 \#4} \quad l = 1.75 \text{ (m)} \quad e = 1*0.57 + 9*0.13$$

Superiores:

Dirección X:

$$4 \text{ Grade 60 \#3} \quad l = 1.25 \text{ (m)} \quad e = 1*0.68 + 3*0.46$$

Dirección Y:

$$10 \text{ Grade 60 \#4} \quad l = 1.75 \text{ (m)} \quad e = 1*0.57 + 9*0.13$$

Fuste

Armaduras longitudinales

Dirección X:

$$7 \text{ Grade 60 \#5 } l = 3.62 \text{ (m)} \quad e = 1*0.26 + 6*0.09$$

Dirección Y:

$$5 \text{ Grade 60 \#5 } l = 3.88 \text{ (m)} \quad e = 1*0.36 + 4*0.10$$

Armaduras transversales

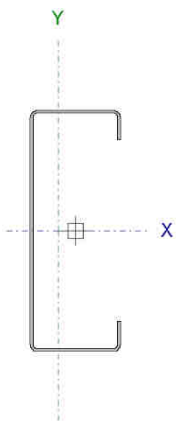
$$7 \text{ Grade 60 \#3 } l = 2.34 \text{ (m)} \quad e = 1*0.22 + 4*0.20 + 2*0.13$$

CAPITULO IV

RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 Dimensionamiento final de viguetas

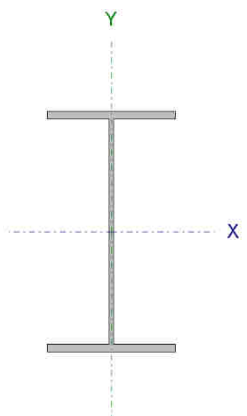
El diseño final de las viguetas corresponde a un perfil laminado en frío tipo C rigidizado según requerimientos de la norma AISI (American Iron and Steel Institute 2007).

Perfil: CC 203.2x76.2x25.4x3										
Material: Acero (ASTM A 36 36 ksi)										
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas						
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	x _g ⁽³⁾ (mm)	y _g ⁽³⁾ (mm)	
	N45	N46	5.000	11.59	728.64	91.81	0.35	-14.43	0.00	
	<i>Notas:</i> (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad									
			Pandeo			Pandeo lateral				
			Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.				
	β	1.00		1.00	0.00		0.00			
	L _k	5.000		5.000	0.000		0.000			
	C _m	1.000		1.000	-		-			
	C _b	-			1.000					
<i>Notación:</i> β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C _b : Factor de modificación para el momento crítico										

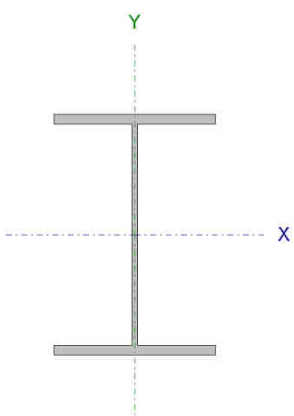
4.2 Dimensionamiento de los pórticos

Las vigas y columnas de los pórticos se diseñaron según la norma AISC 360-10 (American Institute Of Steel Construction 2010).

Las vigas de pórticos finalmente dimensionados corresponden a un perfil AISC W12X30, con las siguientes características:

Perfil: W12x30 Material: Acero (A36)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N139	N141	1.732	56.90	9920.00	855.00	19.10
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
				Pandeo		Pandeo lateral	
				Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
	β	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	L _K	1.732	1.732	0.000	0.000	0.000	0.000
	C _b	-		1.000			
	Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _b : Factor de modificación para el momento crítico						

Las columnas de pórticos finalmente dimensionados corresponden a un perfil AISC W12X40, con las siguientes características:

Perfil: W12x40 Material: Acero (A36)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _x ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N246	N179	5.800	75.90	12900.00	1830.00	39.70
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
				Pandeo		Pandeo lateral	
				Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
	β	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	L _K	5.800	5.800	0.000	0.000	0.000	0.000
	C _b	-		1.000			
	Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _b : Factor de modificación para el momento crítico						

CAPITULO V

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

La velocidad del viento propuesto en la norma peruana E 020 Cargas (Ministerio de Vivienda 2006) para la ciudad de Juliaca y específicamente en la zona del proyecto es de 110 Km/h, sin embargo, según observaciones directas y reporte de fenómenos climatológicos del Sistema Nacional de Defensa Civil, se puede considerar una carga mínima de 90 Km/h para estructuras metálicas y coberturas.

No se ha encontrado datos históricos registrados para la carga de nieve en la ciudad de Juliaca, por lo que consideramos que para el diseño de estructuras metálicas, será conveniente tomar la recomendación de la norma peruana E 020 (40 Kg/m²) y considerar una pendiente mínima de cobertura de 21° para el discurrimiento de la nieve.

Para garantizar el comportamiento estructural bajo efectos de sismo, principalmente en los pórticos, es necesario tomar en cuenta las conexiones precalificadas a momento de la especificación AISC (American Institute of Steel Construction 2010).

Las recomendaciones de pre dimensionamiento expuestas en el manual de perfiles (ACESCO 2012) y las recomendaciones del libro Galpones Industriales en acero (Bellei 1998) verificados en forma manual y mediante software son próximas a los dimensionamientos finales.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La carga de viento mínima para la zona del proyecto debe considerarse en 90 Km/h, el mismo que es determinado mediante el reporte de daños en estructuras del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y utilizando la escala de Beaufort.

Para el diseño de estructuras metálicas y coberturas, deberá considerarse una carga mínima de nieve de 40 Kg/m², con sus correspondientes factores por la inclinación del techo según lo recomienda la norma peruana E 020 Cargas.

Para la determinación de la carga permanente deberá realizarse un proceso iterativo de análisis y diseño estructural hasta obtener el peso mínimo de los elementos, sin llegar a sacrificar las solicitaciones en cada elemento.

Se determinó la capacidad portante del terreno mediante el ensayo de penetración estándar (SPT), el cual es de 0.875 Kg/cm², con un ángulo de fricción entre 32° y 33°, siendo éste un suelo arenoso.

En el caso de la carga por sismo, se recomienda el cumplimiento de la norma peruana E 030 Diseño Sismorresistente, con los parámetros y condiciones de la zona del proyecto.

Para el diseño de estructuras metálicas se recomienda efectuar todas las consideraciones de cargas expuestas en el presente trabajo a fin de garantizar las condiciones de funcionamiento de la estructura.

El planteamiento de la presente estructura, puede utilizarse como un prototipo modular para construcciones a posteriori teniendo en cuenta las características similares de suelos (Municipalidad Provincial de San Roman 2004) en la zona de Juliaca.

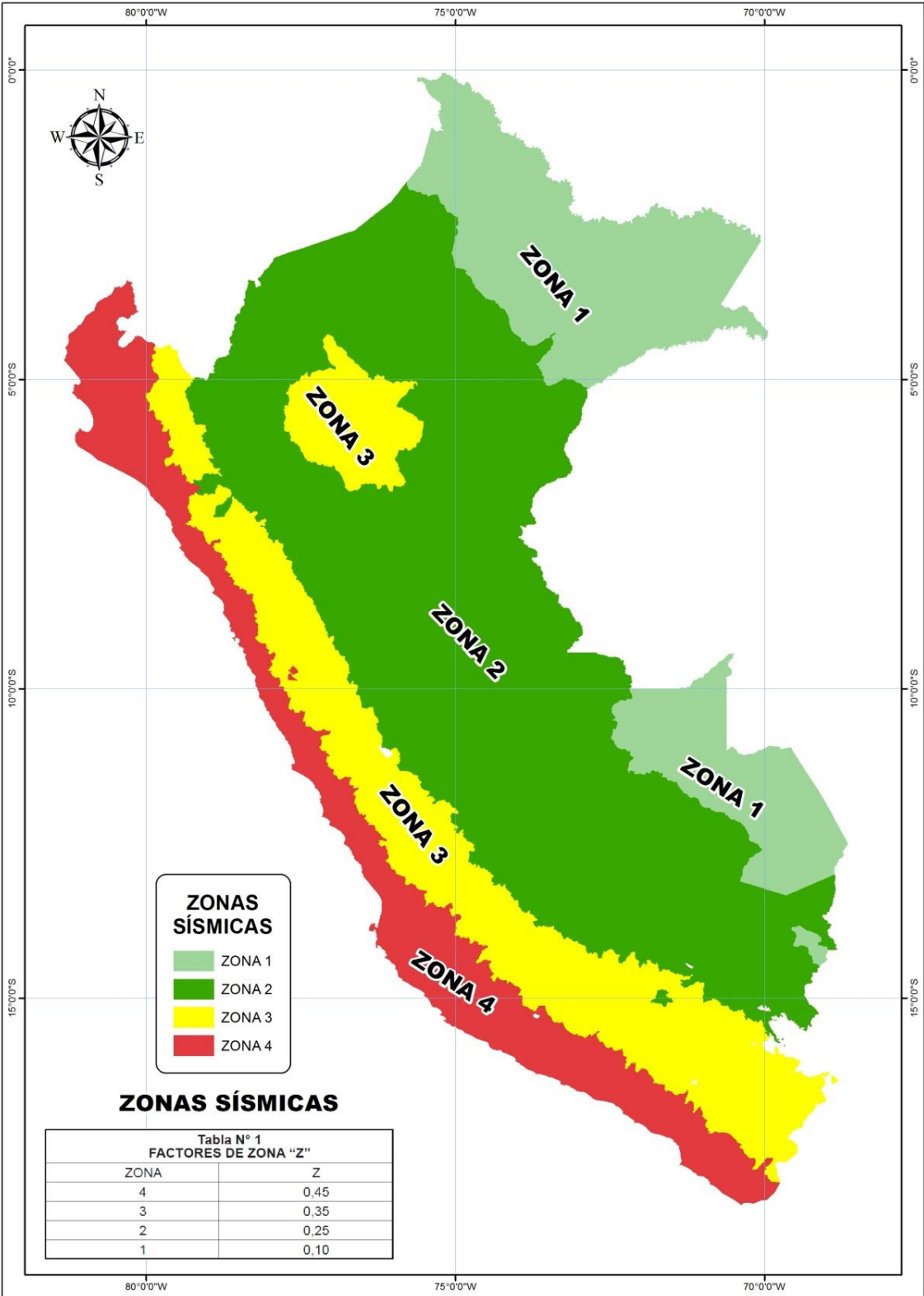
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (SINPAD), Sistema de Información Nacional para la respuesta y rehabilitación. «Base de datos emergencias.» s.f. [http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/Estadisitica/Frame Esta C 7.asp](http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/Estadisitica/Frame_Esta_C_7.asp).
- ACESCO. Manual de Perfiles. Malambo - Colombia: ACESCO, 2012.
- American Institute of Steel Construction. ANSI/AISC 358-10, Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications. Chicago, Illinois 60601-1802: AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, 2010.0
- American Institute Of Steel Construction. ANSI/AISC 360-10, Specification for Structural Steel Buildings. Chicago, Illinois 60601-1802: American Institute Of Steel Construction, 2010.
- American Iron and Steel Institute. North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members. Washington, DC 20036-4700: American Iron and Steel Institute, 2007.
- Arcelor Mittal, Peiner Träger y Corus. Edificios de acero de una sola planta, parte 1 Guía del Arquitecto. España: Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise buildings (SECHALO), 2008.
- Arnal, Eduardo. Proyecto y construcción de galpones modulares. Editado por Siderúrgica del Turbio S.A. Caracas: Fondo Editorial SIDETUR, 2007.
- Bellei, Ildony H. Galpones industriales en acero. Sao Paulo, Brasil: Editora Pini Ltda, 1998.

- Columbus McKinnon Corporation. Top-running Tube Frame integrated rotating axle End Trucks. s.f.
- Crane Manufacturers Service Committee of CMAA. Specification #78. 2002.
- HARRINGTON. «Catálogo Hoists and Cranes.» s.f. www.harringtonhoist.com.
- Instituto Aço Brasil/Centro Brasileiro da Construção em aço. Galpões para usos gerais. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2010.
- Ministerio de Vivienda. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima: Diario Oficial El Peruano, 2006.
- Municipalidad Provincial de San Roman. Plan Director de Juliaca. Juliaca, Julio de 2004.
- Vivienda, Ministerio de. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima: Ministerio de Vivienda, 2006.

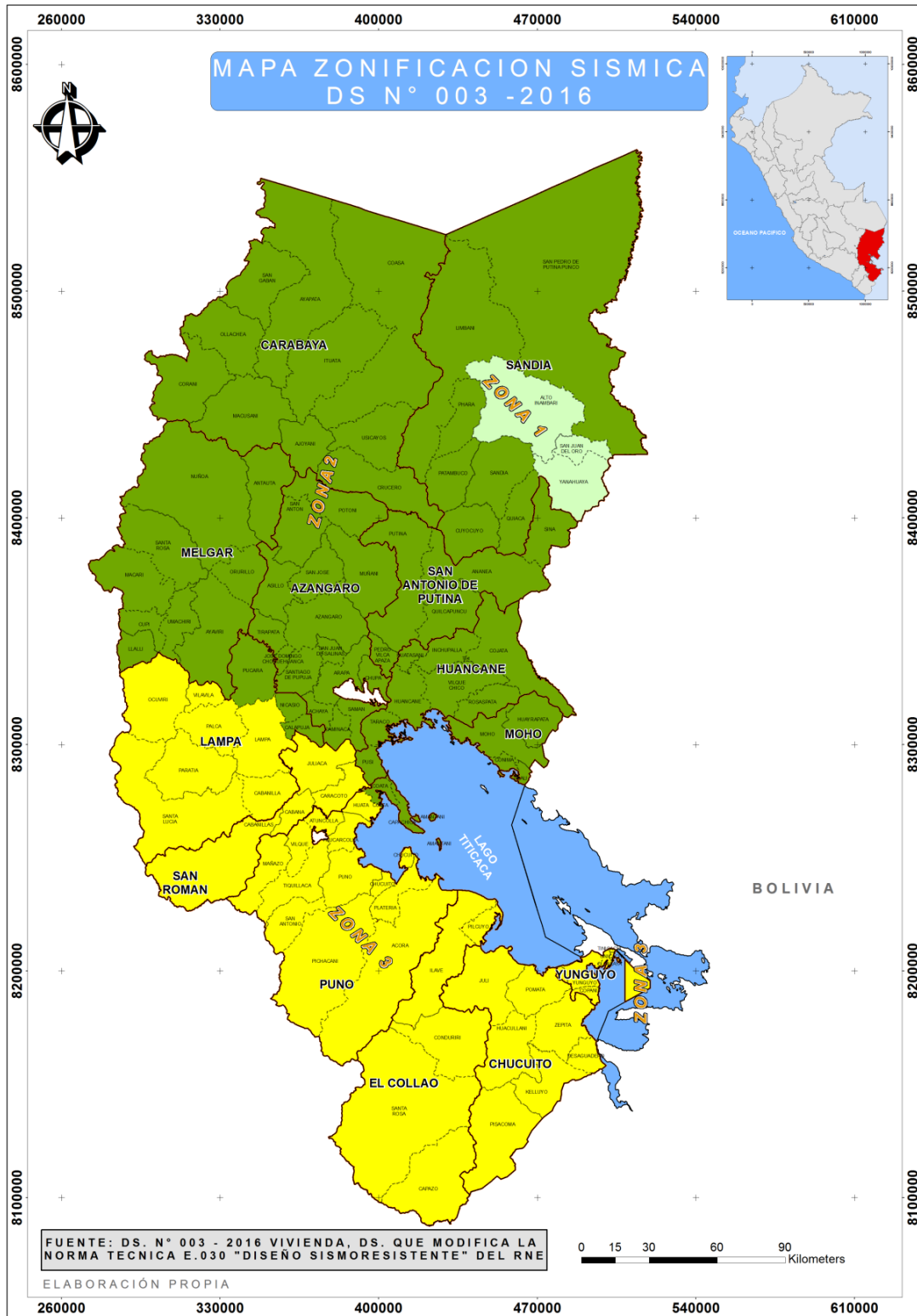
ANEXOS

MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA PERÚ - MINISTERIO DE VIVIENDA 2016



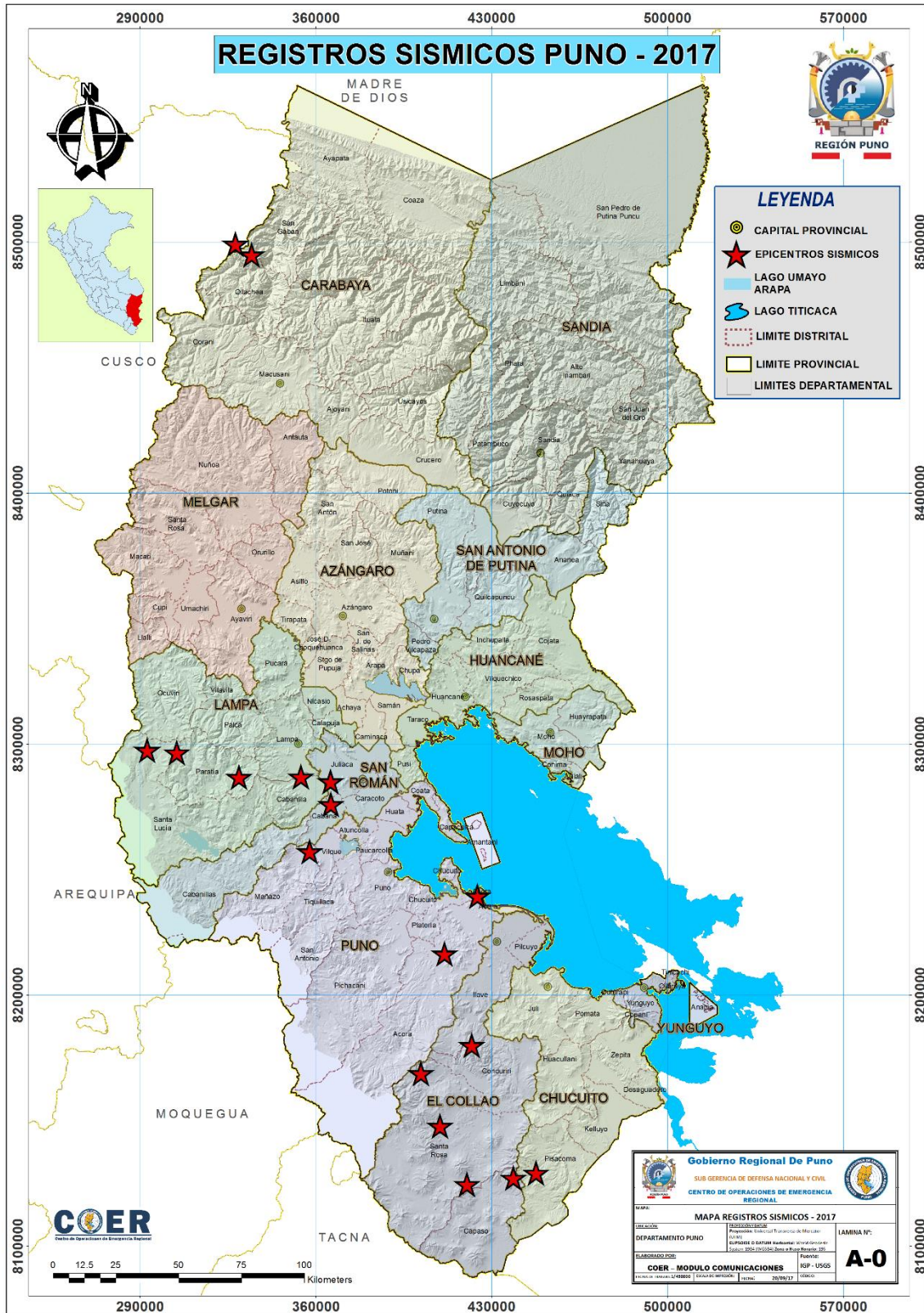
Fuente: NORMA E.030 DISEÑO SISMORESISTENTE - MINISTERIO DE VIVIENDA 2016

MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA PUNO



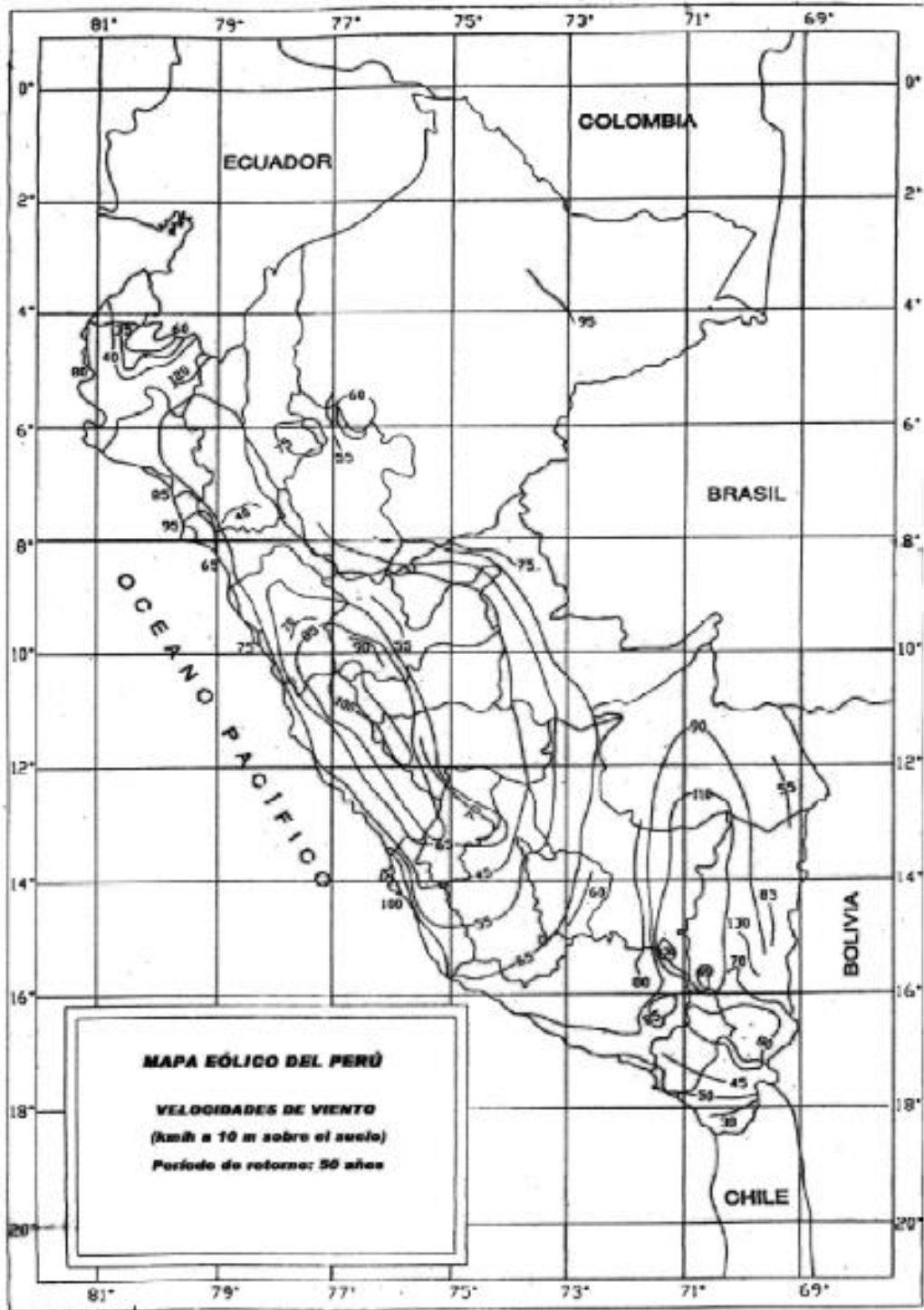
Fuente: NORMA E.030 DISEÑO SISMORESISTENTE - MINISTERIO DE VIVIENDA 2016
ELABORACION PROPIA

MAPA DE SISMOS PUNO 2017



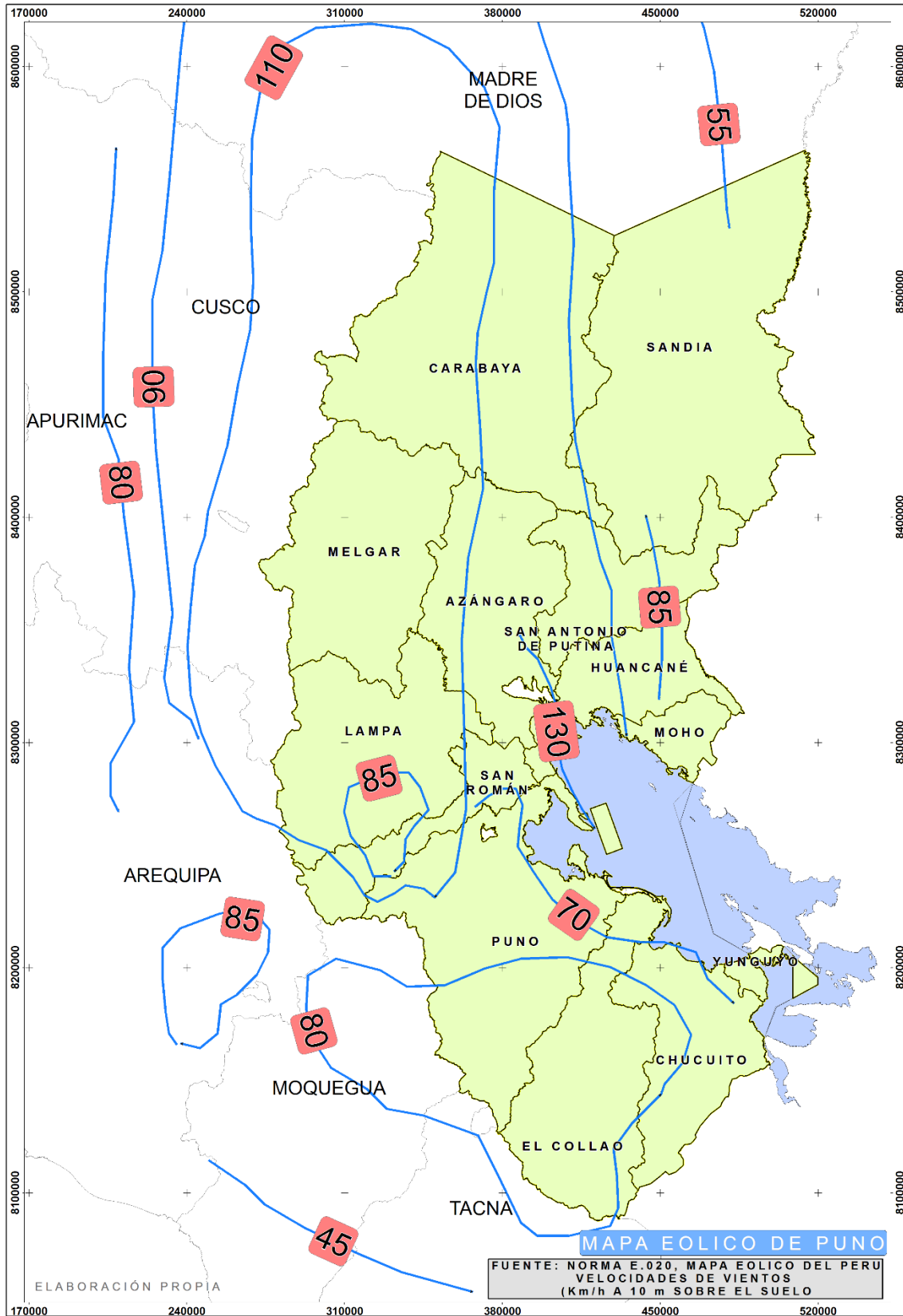
Fuente: CENTRO DE OPERACIONES DE EMERGENCIA REGIONA – COER
ELABORACION PROPIA

MAPA EÓLICO DEL PERU MINISTERIO DE VIVIENDA 2006



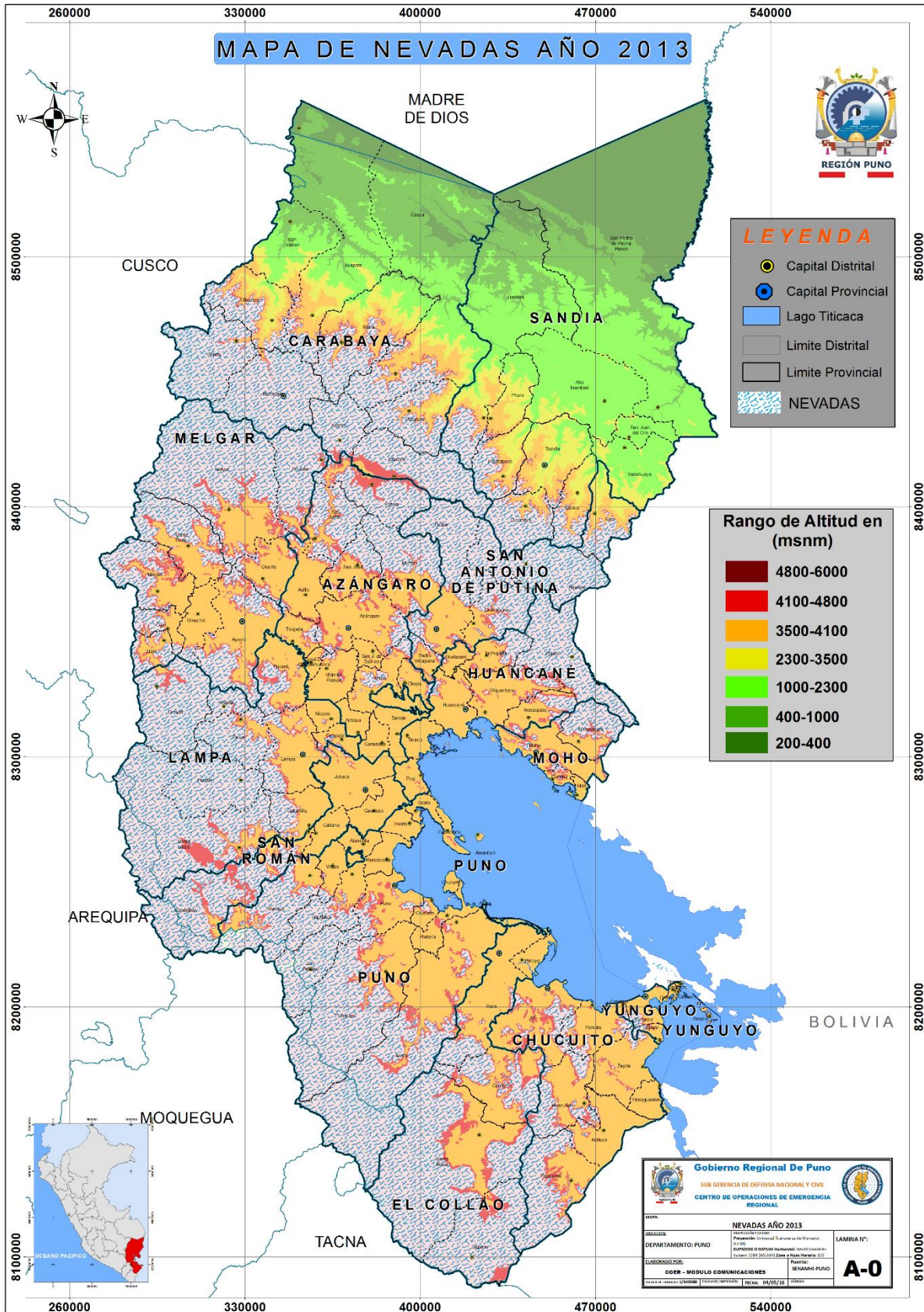
Fuente: NORMA E.020 CARGAS - MINISTERIO DE VIVIENDA 2006

MAPA EÓLICO DE PUNO



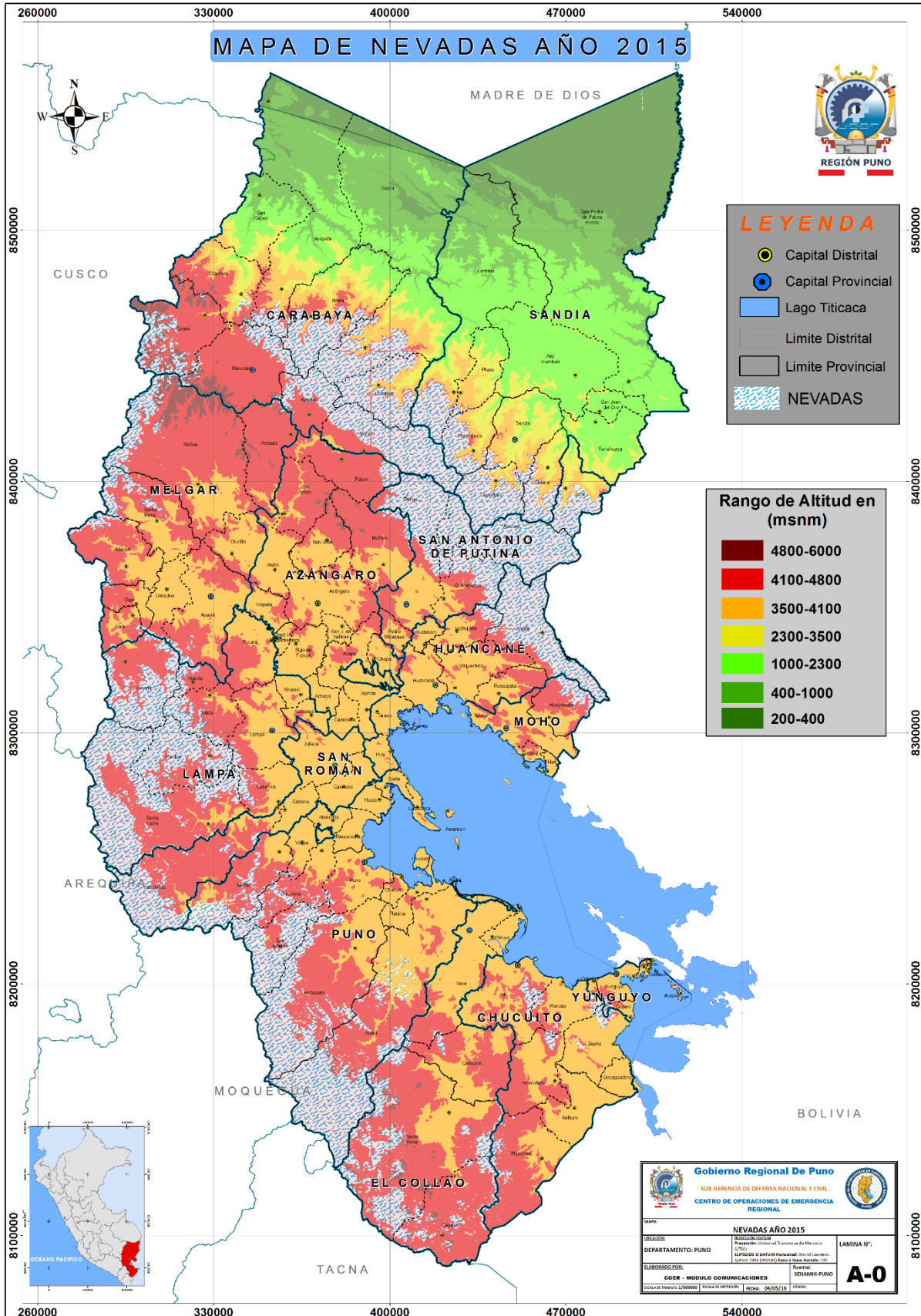
Fuente: NORMA E.020 CARGAS - MINISTERIO DE VIVIENDA 2006
ELABORACION PROPIA

MAPA DE NEVADAS PUNO 2013



Fuente: CENTRO DE OPERACIONES DE EMERGENCIA REGIONAL – COER

MAPA DE NEVADAS PUNO 2015



Fuente: CENTRO DE OPERACIONES DE EMERGENCIA REGIONAL – COER

UBICACIÓN DEL PROYECTO



ELABORACION PROPIA

MATRIZ DE CONCISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES	TECNICAS DE INSTRUMENTOS
<p>Problema General Es determinar las cargas mínimas para una estructura metálica y mayor aun el problema se agrava por las condiciones climatológicas adversas el cual presenta nuestra ciudad.</p>	<p>Objetivo General Determinar las Cargas Mínimas para el Dimensionamiento óptimo de una estructura metálica con puente grúa en la ciudad de Juliaca</p>	<p>Hipótesis General La determinación de las cargas mínimas del Diseño conducen al Dimensionamiento óptimo de estructura metálica con puente Grúa en la ciudad de Juliaca</p>	<p>Variable Independiente Cargas Mínimas de Diseño</p>	<p>Cargas permanentes y accidentales</p>	<p>Peso propio. Altura de la Nieve. Velocidad del Viento. Cargas de Sismo.</p>	<p>Estudios Meteorológicos SENAMHI. Utilización de normas E020, E060, E050, E090. Especificaciones AISC 360-10 Y ASCE.</p>
<p>¿Se podrá determinar el dimensionamiento óptimo mediante el análisis estructural tridimensional y la aplicación de las cargas mínimas de diseño?</p>	<p>Determinar el Dimensionamiento Óptimo mediante el análisis Estructural Tridimensional y la aplicación de las cargas mínimas de Diseño.</p>	<p>El Dimensionamiento Óptimo mediante el análisis estructural tridimensional depende de la aplicación de las cargas mínimas de Diseño.</p>		<p>Análisis Estructural Tridimensional</p>	<p>Esfuerzo Axiales. Deflexiones. Momentos Flectores. Esfuerzos Cortantes. Desplazamientos.</p>	<p>Especificaciones para estructuras de acero perfiles del código AISC.</p>
<p>¿Se podrá determinar el dimensionamiento óptimo mediante el diseño estructural y la aplicación de las cargas mínimas de diseño?</p>	<p>Determinar el Dimensionamiento Óptimo mediante el diseño estructural y la aplicación de las cargas mínimas de Diseño</p>	<p>El Dimensionamiento Oprimo mediante el diseño estructural depende de la aplicación de las cargas mínimas de Diseño.</p>		<p>Variable Independiente Dimensionamiento Optimo de Estructuras Metálicas</p>	<p>Diseño Estructural</p>	<p>Sección Mínima</p>