



**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

TESIS

**“DISEÑO Y ANÁLISIS OPTIMO DE LA
ESTRUCTURA METÁLICA PARA DETERMINAR
LAS CARGAS – AZANGARO – 2017”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
ROBERT HUARZA CCORAHUA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

JULIACA – PERÚ

2017

DEDICATORIA

“a mi amado dios, que gracias a el
tengo vida, y es por su voluntad
culminar mi carrera profesional.
gracias.”

“a mi querido padre y a mi querida madre,
quienes con mucho amor, esfuerzo y
sacrificio hicieron posible la culminación de
mi escuela profesional. Gracias”

RHC

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial para todos mis docentes, quienes hicieron posible que me forme profesionalmente y por su esfuerzo constante para que nosotros sus alumnos aprendamos la Ingeniería Civil de la mejor manera posible.

Como también un agradecimiento a esta casa de estudios "Universidad Alas Peruanas", a mi Facultad de Ingenierías y Arquitectura, a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

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 Puno. 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 Puno. Dynamic modal spectral analysis which influences the design of some elements of the metal structure is made

ÍNDICE

Dedicatoria.....	I
agradecimiento	II
resumen.....	III
abstract.....	IV
índice	V
introduccion	XI
CAPITULO I DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	
1.2. Delimitación de la investigacion.....	3
1.2.1. Delimitación espacial	3
1.2.2. Delimitación temporal	3
1.2.3. Delimitación social	3
1.2.4. Tipo y nivel de investigación	3
1.3. Planteamiento de problemas de investigación.....	3
1.3.1. Problema general.....	3
1.3.2. Problemas específicos	3
1.4. Objetivos de la investigación	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Justificación e importancia.....	4
CAPITULO II MARCO TEORICO	
2.1. Bases teoricas	6

2.2. Estructura metálica	6
2.3. Métodos de diseño de estructuras metálicas	11
2.4. Combinaciones de carga.	24
2.5. Fuerzas horizontales en puente grúa.....	24
CAPITULO III presentación de resultados	
ingeniería del proyecto.....	25
3.1. Estudio de mecánica de suelos	25
3.2. Estratigrafía y clasificación	25
3.3. Análisis granulométrico.....	29
3.4. Análisis y diseño estructural de puente grúa	35
3.4.1. Elección de polipasto (harrington s.f.).....	35
3.4.2. Análisis y diseño de viga puente.....	38
3.5. Análisis y diseño estructural de la estructura metálica y cobertura de techo	44
3.5.1. Elección de la cobertura de techo.....	44
3.5.2. Análisis estructural.....	45
3.5.3. Diseño de viguetas	47
3.5.4. Diseño de pórticos principales	78
3.5.5. Diseño de conexiones.....	118
3.5.6. Diseño de cimentaciones.....	144
CAPITULO IV RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO	
4.1. Diseño final de viguetas.....	153
4.2. Diseño de los pórticos.....	153
5. Capitulo v.....	155

discusion de los resultados..... 155

CAPITULO VI

conclusiones y recomendaciones 156

referencias bibliograficas 158

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n° 1 Componentes de puente grúa	8
Figura n° 2 Disposición de cargas en techo a dos aguas	14
Figura n° 3 Mapa eólico del Perú.....	18
Figura n° 4 Cargas de viento en la dirección X-X	22
Figura n° 5 Carga de viento en la dirección Y-Y	22
Figura n° 6 Acciones a considerar en un puente grúa	23
Figura n° 7 Ensayo de Penetración Estándar (SPT).....	25
Figura n° 8 Perfil estratigráfico del suelo	26
Figura n° 9 Muestra del primer estrato	27
Figura n° 10 Muestra del segundo estrato	27
Figura n° 11 Muestra del tercer estrato	28
Figura n° 12 Muestra del cuarto estrato.....	28
Figura n° 13 Curva de distribución granulométrica del estrato 1:-0.45	29
Figura n° 14 Curva granulométrica del estrato 0.45-1.20m	29
Figura n° 15 Curva granulométrica del estrato 1.20-1.65m	30
Figura n° 16 Curva granulométrica del estrato 1.65-4.05m	30
Figura n° 17 Imagen Espectro de Pseudo-Aceleraciones	33
Figura n° 18 Especificaciones de dimensiones de polipasto y carro eléctrico .	37
Figura n° 19 Reacciones en la viga polipasto con cargas en posición central sin impacto.	39
Figura n° 20 Gráfico N° 6 Reacciones en la viga polipasto considerando el impacto	39
Figura n° 21 Reacciones en la viga polipasto con carga en el extremo considerando el impacto	40
Figura n° 22 viga W24X146	41
Figura n° 23 crane beam design	43
Figura n° 24 Modelo estructural tridimensional.....	45
Figura n° 25 Reacciones máximas y mínimas con carga en uno de los extremos de la viga polipasto	46
Figura n° 26 Esquema para la ubicación de cargas para obtener el momento máximo	46

Figura n° 27 Esfuerzos axiales en el pórtico.....	79
Figura n° 28 Esfuerzos cortantes en el pórtico	79
Figura n° 29 Diagrama de momentos flectores.....	80
Figura n° 30 Deformada de la estructura.....	80
Figura n° 31 comprobaciones (ansi/aisc 360-10 (Irfd))	87
Figura n° 32 Gráfico N° 11 Simbología aplicada a soldaduras	120
Figura n° 33 Disposición de soldadura y símbolo de posición	121
Figura n° 34 Simbología de preparación de borde para soldadura.....	121
Figura n° 35 Detalle de Unión columna – Viga de pórtico típico	122
Figura n° 36 Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xy	129
Figura n° 37 comprobaciones para los tornillos	130
Figura n° 38 Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz	131
Figura n° 39 Diseño de ménsula.....	132
Figura n° 40 Diseño de conexión a cortante	137
Figura n° 41 Reacciones por carga viva para el diseño de zapata	145
Figura n° 42 Reacciones por carga viva para el diseño de zapatas	145
Figura n° 43 Geometría:	146

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro n° 1 Emergencias ocurridas en la ciudad de Puno por viento y precipitaciones pluviales desde el año 2003 a la fecha	16
Cuadro n° 2 Escala de Beaufort para velocidades del viento	17
Cuadro n° 3 Factores de Forma (C) en carga de viento (RNE E020, 12.4)	19
Cuadro n° 4 Aceleración espectral y periodo.....	33
Cuadro n° 5 Cuadro 1 Modos de vibración y desplazamientos	34
Cuadro n° 6 Especificaciones de polipastos.....	36
Cuadro n° 7 Tabla 4 Dimensiones de polipastos.....	37
Cuadro n° 8 Selección de Riel para viga carrilera	42
Cuadro n° 9 solicitaciones en las viguetas	50
Cuadro n° 10 Solicitaciones en elementos de Vigas de pórtico.....	81
Cuadro n° 11 Solicitaciones en elementos de columnas de pórtico	105
Cuadro n° 12 Disposiciones constructivas:.....	118
Cuadro n° 13 Comprobación de cordones de soldadura.....	124
Cuadro n° 14 Medición	128
Cuadro n° 15 comprobaciones para soldadura	134
Cuadro n° 16 Comprobación de las placas de anclaje	143
Cuadro n° 17 diseño final de viguetas	153
Cuadro n° 18 diseño de los pórticos.....	154

INTRODUCCION

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 Puno, las velocidades del viento son elevados comparados a nivel nacional y aun es mayor en la orilla del lago, 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 Puno, enmarcándose dentro de la normativa vigente del AISC publicado el año 2010, y el Reglamento Nacional de Edificaciones modificado en el año 2012.

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 diseño y análisis 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 Puno y mediante ello llegar a un diseño y análisis 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 Puno 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 Puno.

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 DE LA INVESTIGACION

1.2.1. Delimitación Espacial

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

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 el 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.

1.2.4. Tipo y nivel de investigación

El tipo de investigación es descriptivo simple de nivel aplicativo.

1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. Problema General

¿Cuáles serán las cargas de diseño para el diseño y análisis óptimo de estructura metálica con puente grúa en la ciudad de Azangaro?

1.3.2. Problemas específicos

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

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Determinar las cargas mínimas de diseño para el diseño y análisis óptimo de estructura metálica con puente grúa en la ciudad de Azángaro.

1.4.2. Objetivos Específicos

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

1.5. 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 Puno 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 Puno 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 Puno 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 Puno, 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. BASES TEORICAS

2.2. 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.

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.

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.

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.

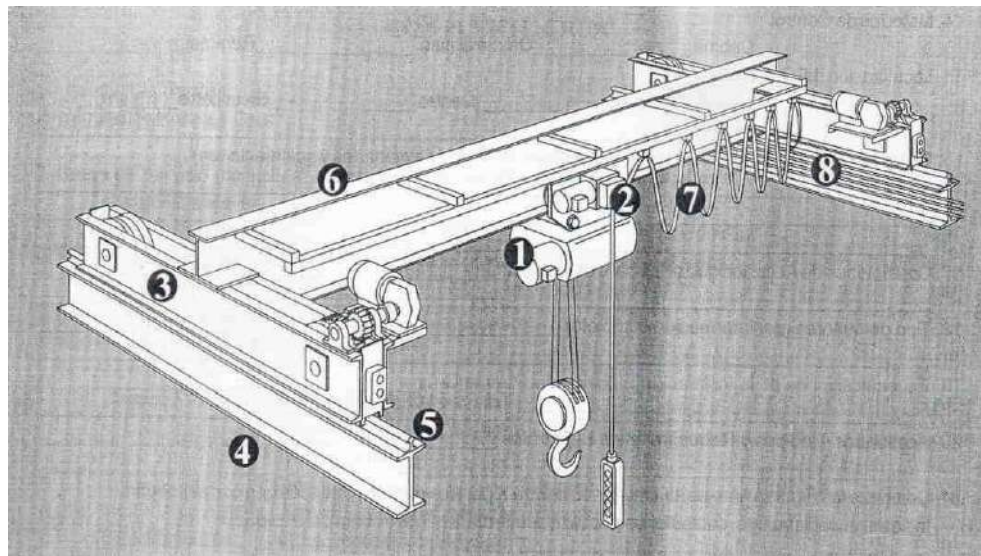
Puente grúa

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.

Figura n° 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.

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.

2.3. MÉTODOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

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.

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.

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.

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).

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 40Kg/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:

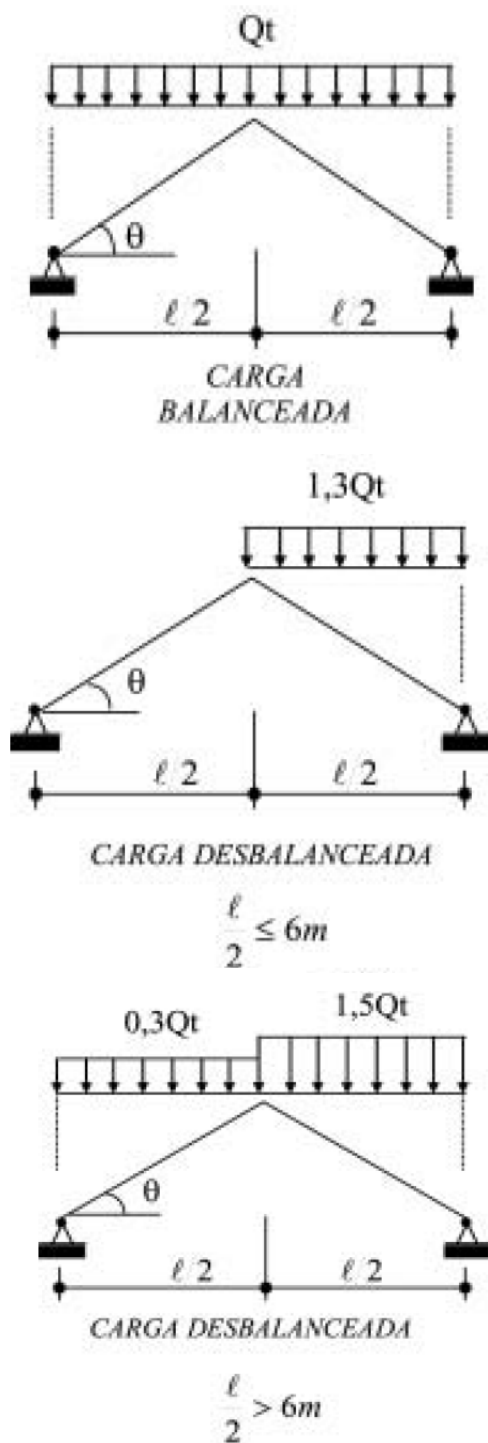
$$Q_s = 0.80Q_t$$

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 $C_s = 1 - 0.025(\theta^\circ - 30^\circ)$, 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

Figura n° 2 Disposición de cargas en techo a dos aguas



Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones E – 020

B. Carga de viento

La ciudad de Puno, 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 Puno por viento y precipitaciones pluviales desde el año 2003 a la fecha

FECHA	CÓDIGO	EMERGENCIA	FENÓMENO																			
				VIVENDAS COLAPSADAS	VIVENDAS INHABITABLES	VIVENDAS 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	ESTABLECIMIENTOS COMERCIALES AFECTADOS	ESTABLECIMIENTOS COMERCIALES DAÑADOS	LOCALES COMUNALES AFECTADOS	LOCALES COMUNALES DESTRUIDOS	TEMPLOS RELIGIOSOS AFECTADOS	TEMPLOS RELIGIOSOS DESTRUIDOS		
29/01/2003	169	INUNDACION	INUNDACION	0	0	0	0	0	11	0	0	7	0	0	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	0	0
30/11/2014 15:45	67760	VIENTOS FUERTES AFECTAN A VIVIENDAS EN MUCRA	VIENTOS FUERTES	0	3	36	0	0	1	0	0	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

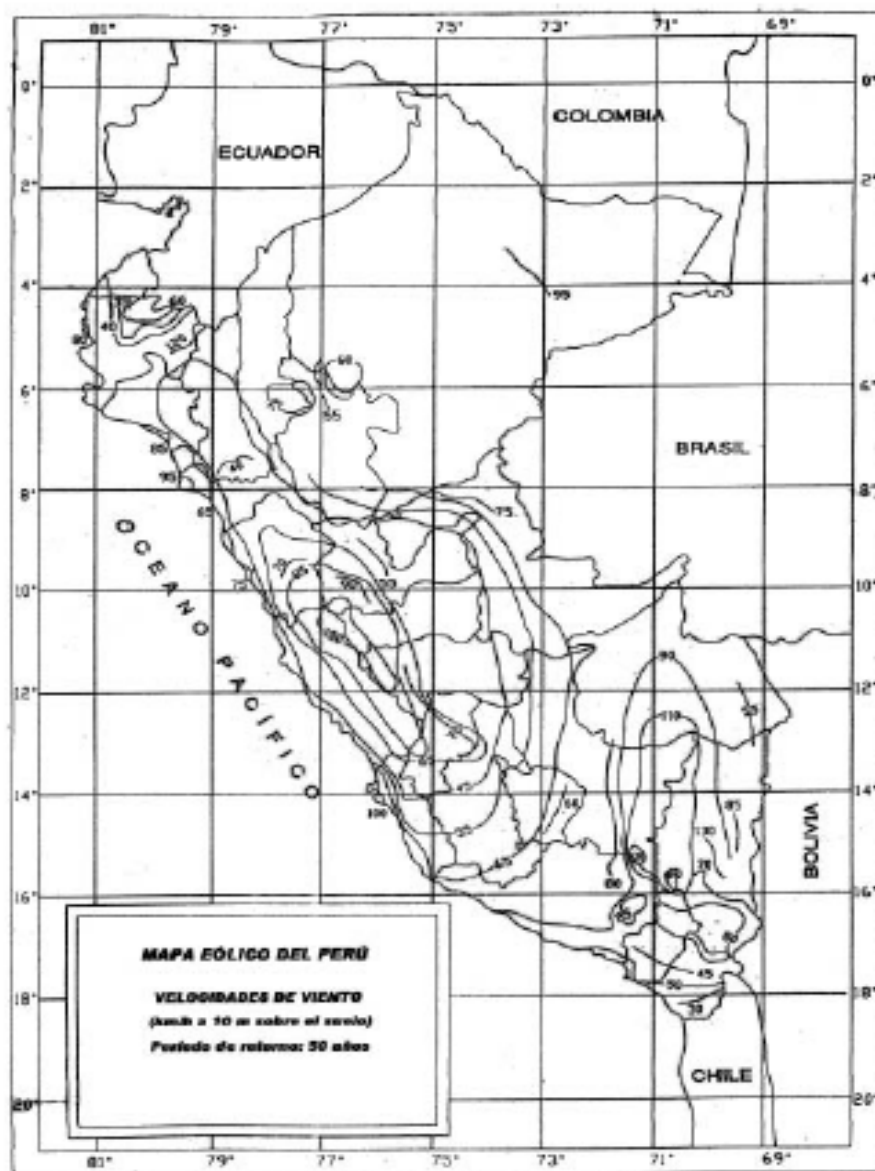
Fuente: (National Weather Service)

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 Puno 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

Figura n° 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. $= h/10$.

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: $= 0.005$

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.

Cuadro n° 3 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 90.00 km/h h = Altura sobre el terreno en metros 8.00 m

Carga Exterior de viento (W) $P_h = 0.005C(V_h^2)$

P_h = Presión o succión del viento a una altura h en Kg/m

V_h = 86 km/h

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 $P_h = 25.89 \text{ kg/m}^2$

Presión o succión en Sotavento $P_h = -22.19 \text{ kg/m}^2$

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 $Ph = 29.58 \text{ kg/m}^2$

Factor de forma en Sotavento -0.60

Presión o succión en Barlovento $Ph = -22.19 \text{ kg/m}^2$

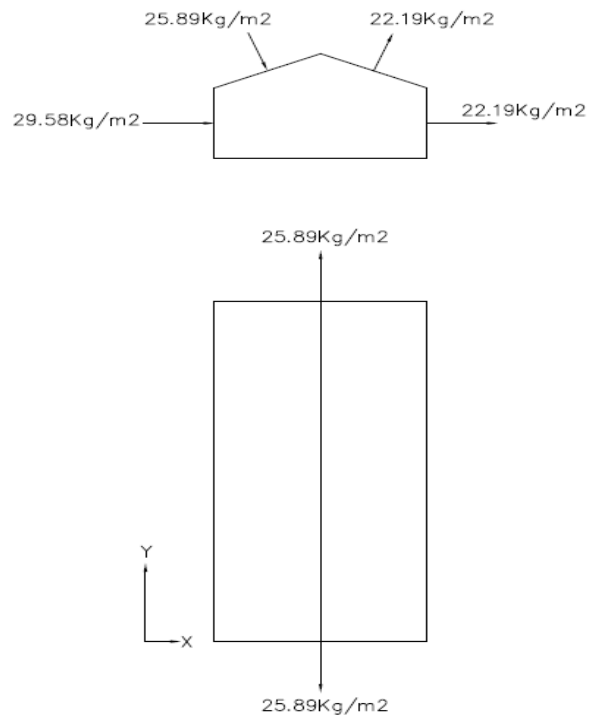
En superficie con dirección paralela en dirección al viento:

Factor de forma -0.70

Presión o succión en Barlovento $Ph = -25.89 \text{ kg/m}^2$

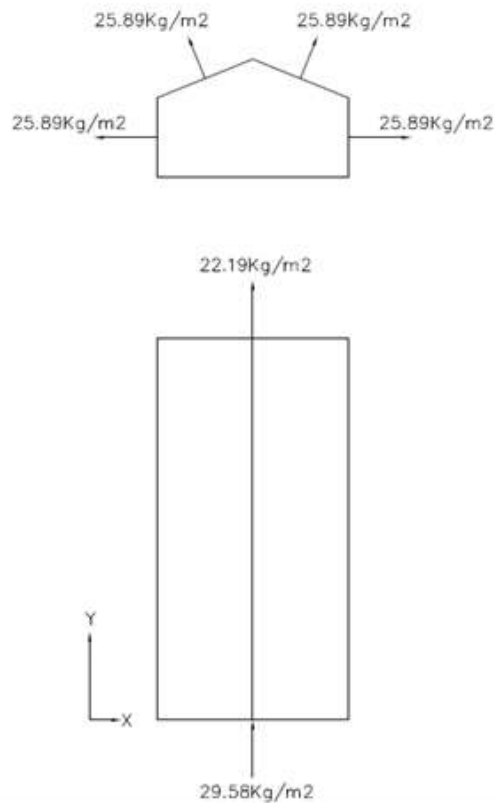
Finalmente, la distribución de cargas de viento queda establecido de la siguiente forma:

Figura n° 4 Cargas de viento en la dirección X-X



Fuente: Elaboración propia

Figura n° 5 Carga de viento en la dirección Y-Y



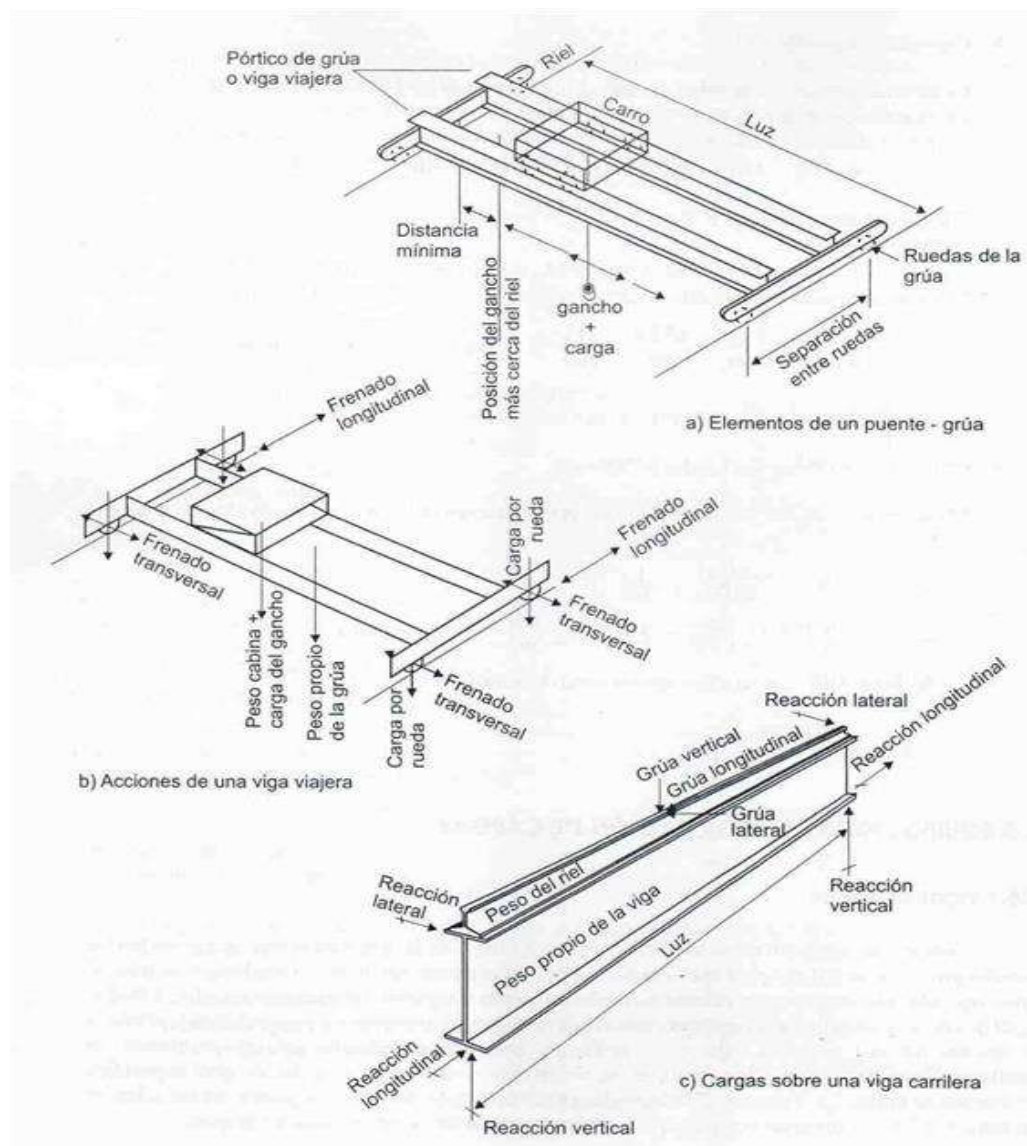
Fuente: Elaboración propia

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.

Figura n° 6 Acciones a considerar en un puente grúa



Fuente: (Arnal 2007)

2.4. 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.

2.5. 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 aplicarse 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

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 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.

Figura n° 7 Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

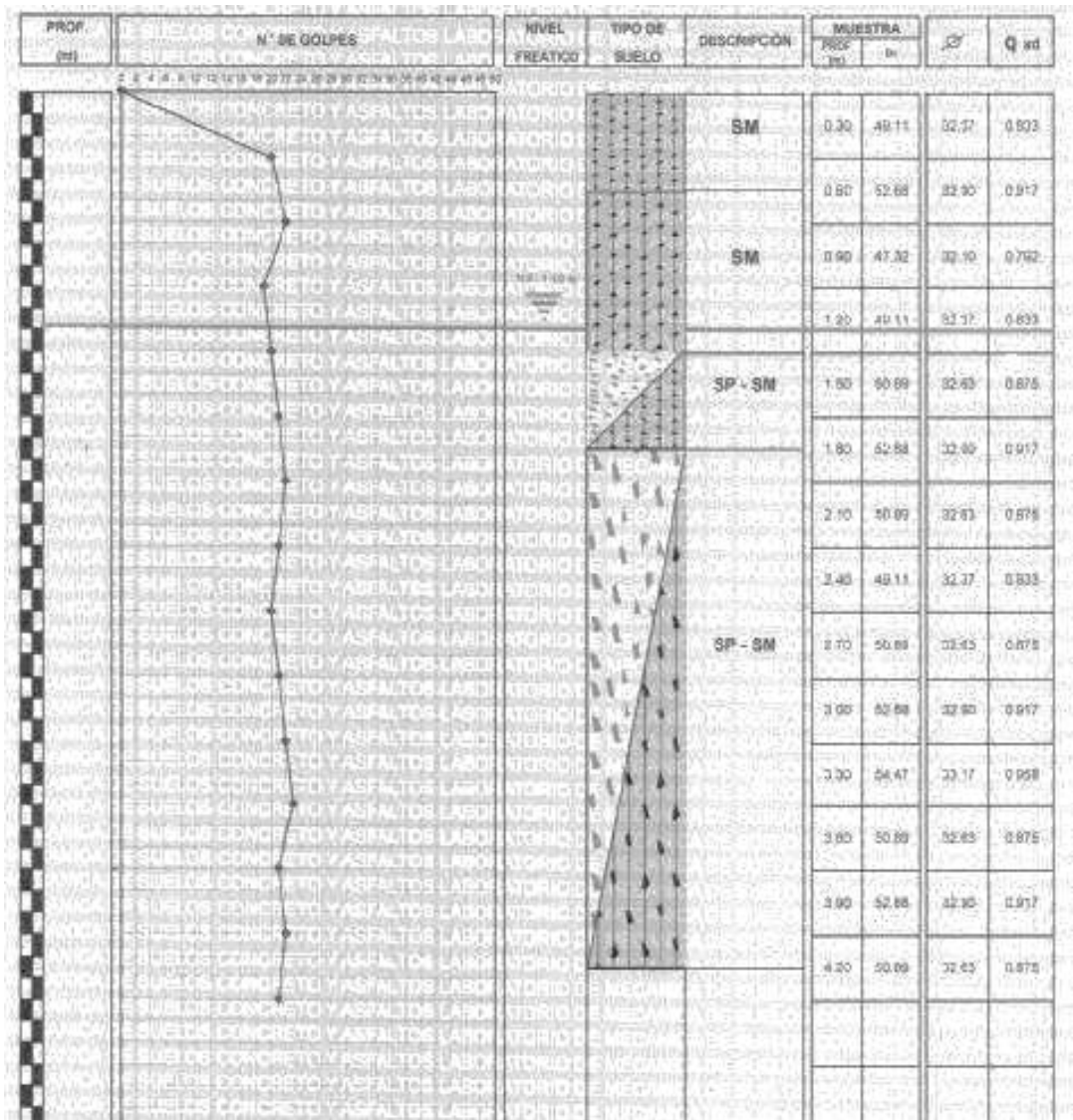


Fuente: Obtención propia

3.2. 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.

Figura n° 8 Perfil estratigráfico del suelo



Fuente: Resultados ensayo SPT

Figura n° 9 Muestra del primer estrato



Fuente: Obtención propia

Figura n° 10 Muestra del segundo estrato



Fuente: Obtención propia

Figura n° 11 Muestra del tercer estrato



Fuente: Obtención propia

Figura n° 12 Muestra del cuarto estrato

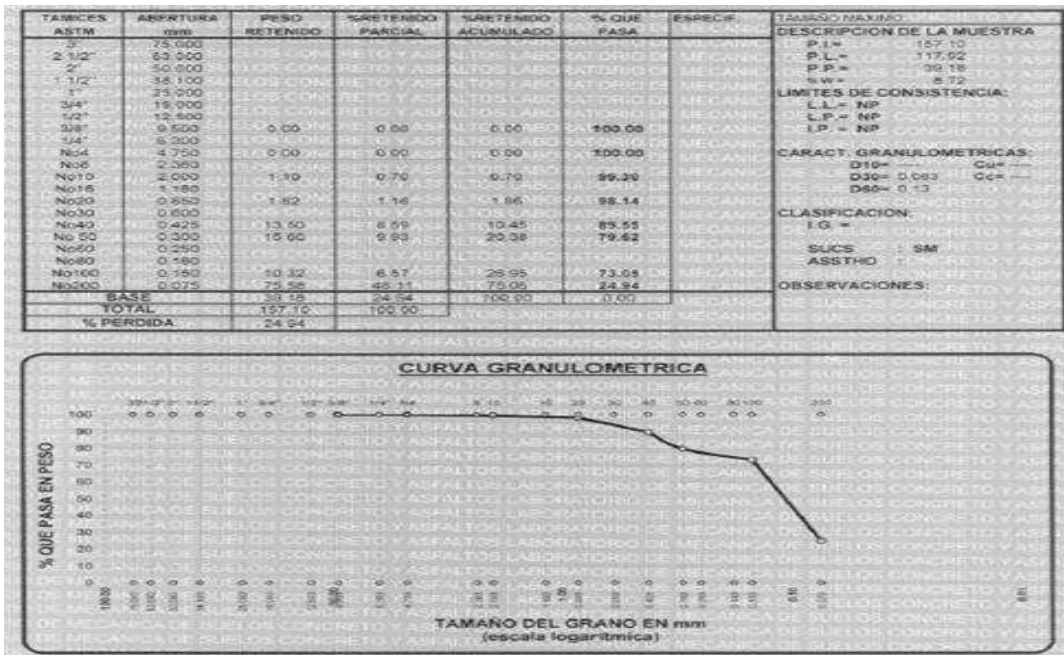


Fuente: Obtención propia

3.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

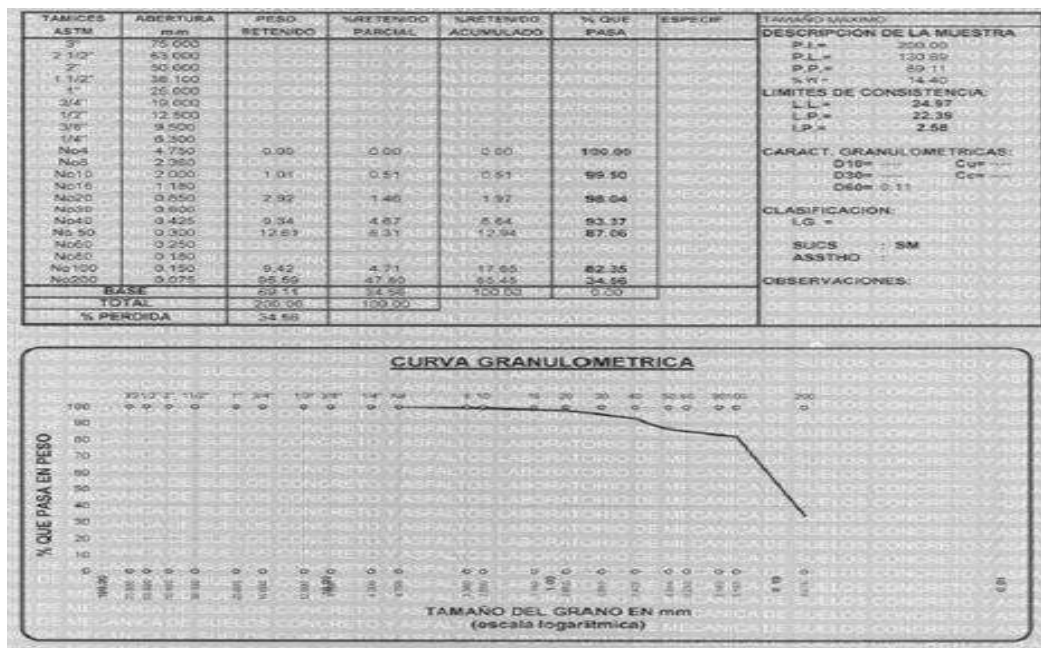
El análisis granulométrico se realizó para los cuatro estratos diferenciados según clasificación SUCS, los resultados que se muestran para los cuatro estratos son los siguientes:

Figura n° 13 Curva de distribución granulométrica del estrato 1:-0.45



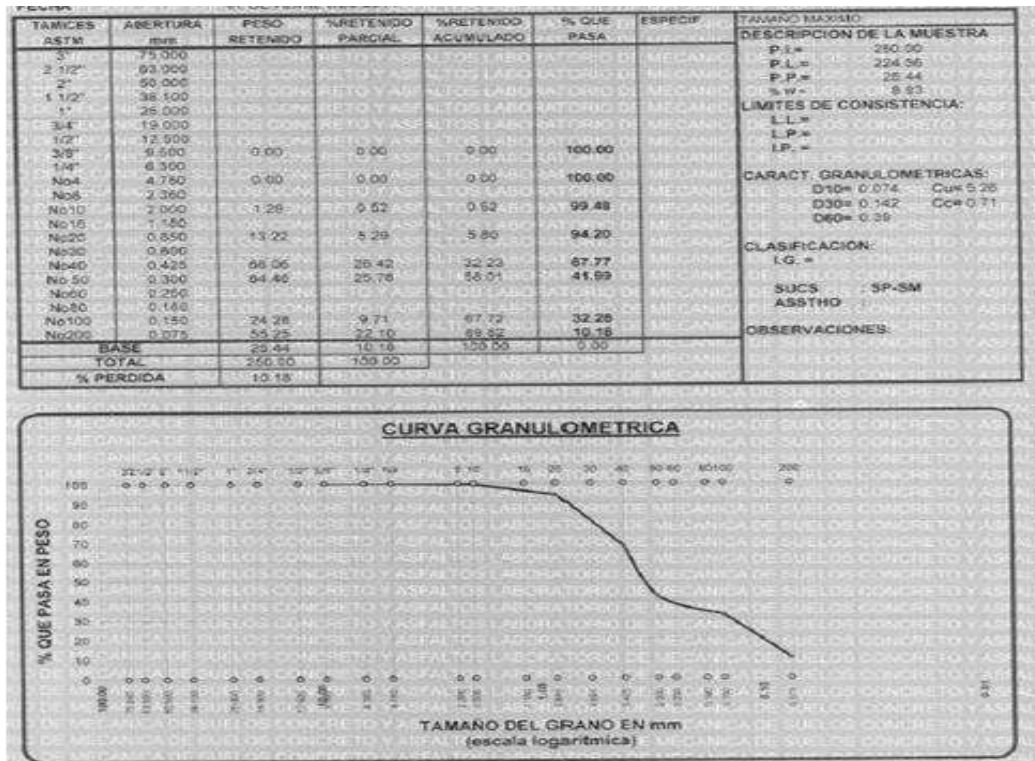
Fuente: Resultados de ensayo SPT

Figura n° 14 Curva granulométrica del estrato 0.45-1.20m



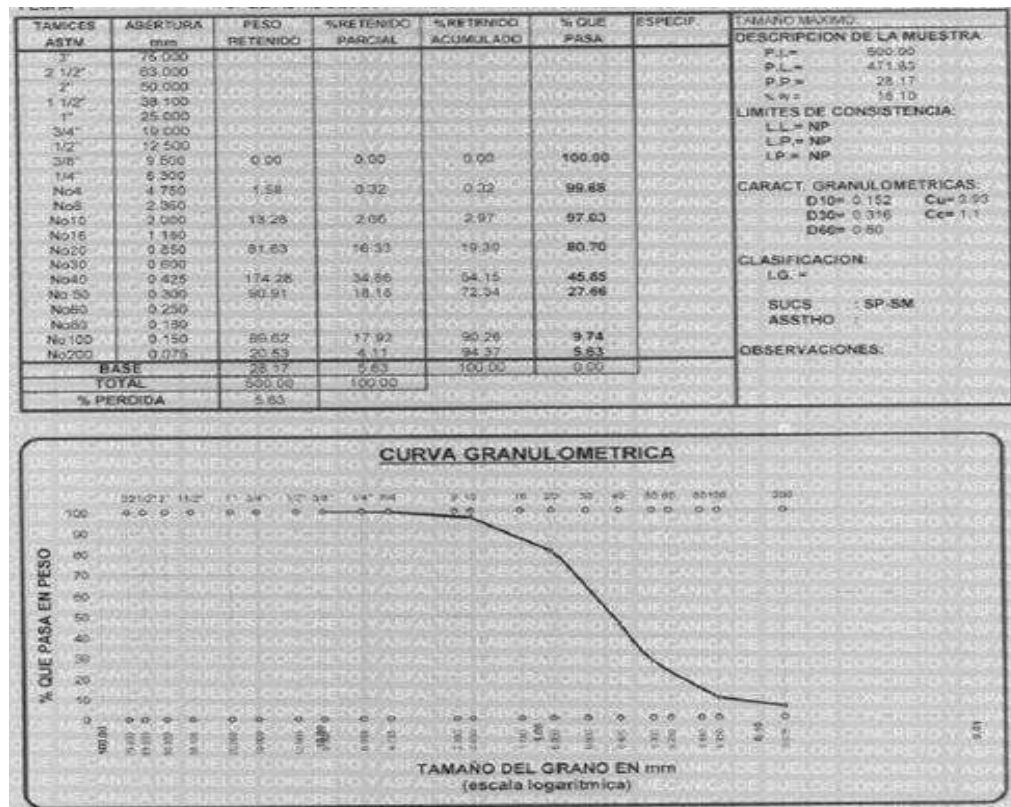
Fuente: Resultados de ensayo SPT

Figura n° 15 Curva granulométrica del estrato 1.20-1.65m



Fuente: Resultados de ensayo SPT

Figura n° 16 Curva granulométrica del estrato 1.65-4.05m



Fuente: Resultados de ensayo SPT

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.

Conclusiones y recomendaciones

La Capacidad portante calculada es de 0.875 Kg/cm² 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.

Determinación de las cargas mínimas de diseño

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.

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).

Carga de nieve

La carga de nieve, en este caso así como se comentó en el marco teórico se considera 40 Kg/m².

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: PUNO

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	Coeficiente básico de
Pórticos de Acero intermedios (IME) resistentes a momentos	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

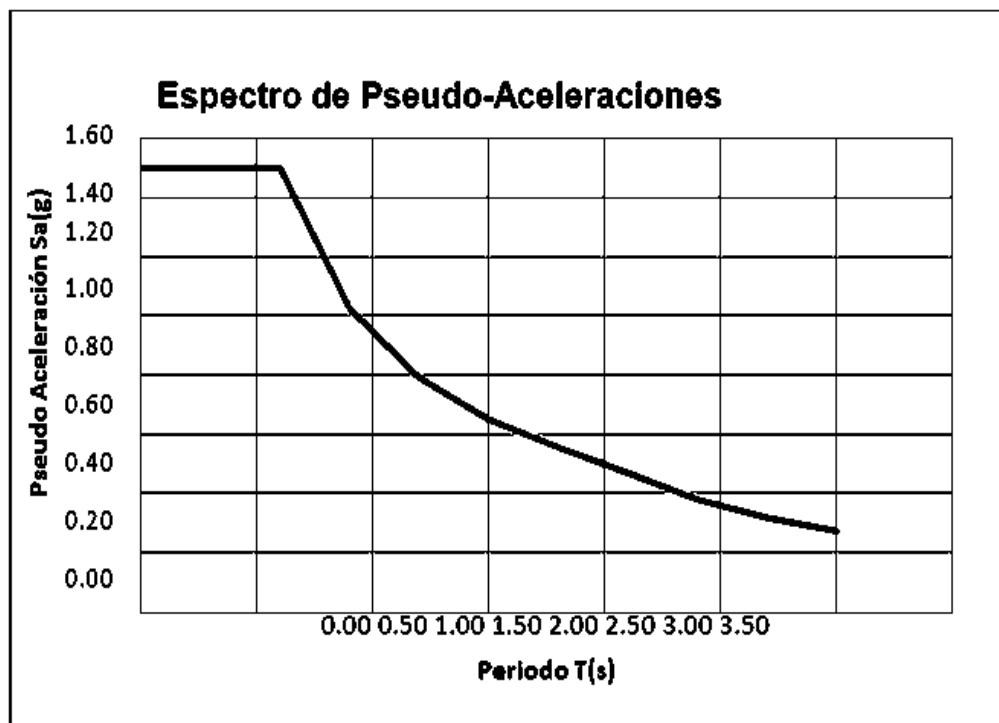
Gravedad "g" (m/s²) 9.81

Cuadro n° 4 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

Figura n° 17 Imagen Espectro de Pseudo-Aceleraciones



Fuente: Elaboración propia

Cuadro n° 5 Cuadro 1 Modos de vibración y desplazamientos

Modo	T	L	L	M	M	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	L	M	My	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.

Lx, Ly: Coeficientes de participación normalizados en cada dirección del análisis.

Mx, My: 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.

3.4. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE GRÚA

3.4.1. 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

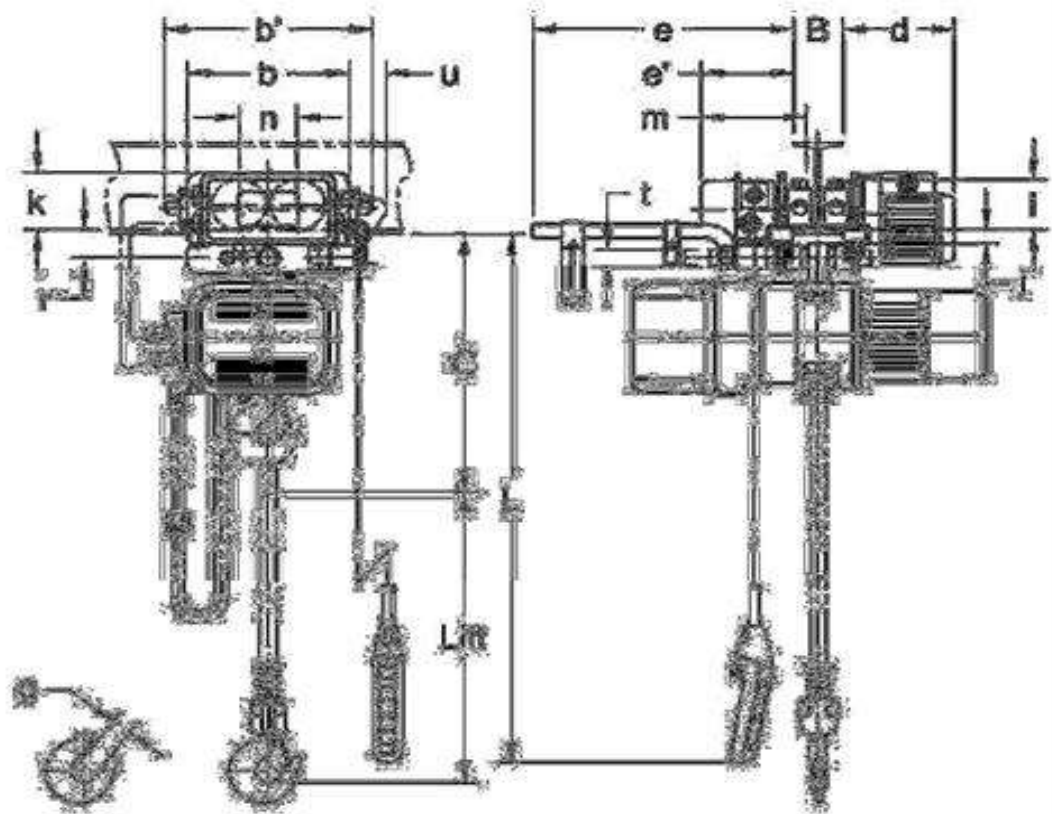
Corriente : Trifásica 60 Hz, 220V 5.4A.

Cuadro n° 6 Especificaciones de polipastos

POLIPASTO DE VELOCIDAD DOBLE CON TROLE DE VELOCIDAD DOBLE - ESPECIFICACIONES																						
Cap. (Tons)	Código de producto	Elev. est. (m)	Cable de la beto-nera L (m)	Velocidad de elevación (m/min)	Velocidad transversal (m/min)	Motor de elevación ¹ Trifásico 60 Hz			Motor de traslación ² Trifásico 60 Hz			Ajuste del ancho de pestalla Ø (mm)		Radio mínimo permitido para curvas (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					
							Ø208 V	Ø460 V		Ø208 V	Ø460 V											
1/8	(N)ERM001HD-SD	3.0	2.5	16.8/2.7	24.4/4.0	0.96	3.6	1.6	0.4	3.4	1.7	56 a 127	126 a 193 Ø 194 a 305	800**	4.3 x 1	59	61	0.42				
1/4	(N)ERM003SD-SD			11.0/1.8		0.96	3.6	1.6	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)ERM009LD-SD			4.6/0.8		0.96	3.6	1.6	0.4	3.4	1.7				6.0 x 1	64	68	0.81				
1/2	(N)ERM009SD-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			8.9/1.4		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				82 a 193	154 a 178 Ø 179 a 305	800 ¹	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				1000	179 a 190 Ø 194 a 305	1800	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	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)ERM060LD-SD	2.8	3.4/0.6	24.4/4.0	3.5	17.3	8.3	0.75	5.4	2.4	100 a 178	179 a 190 Ø 194 a 305	1800	11.2 x 2	199	205	5.6					

Fuente: (HARRINGTON s.f.)

Figura n° 18 Especificaciones de dimensiones de polipasto y carro eléctrico



Cuadro n° 7 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)	l (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.)

3.4.2. 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.

Figura n° 19 Reacciones en la viga polipasto con cargas en posición central sin impacto.

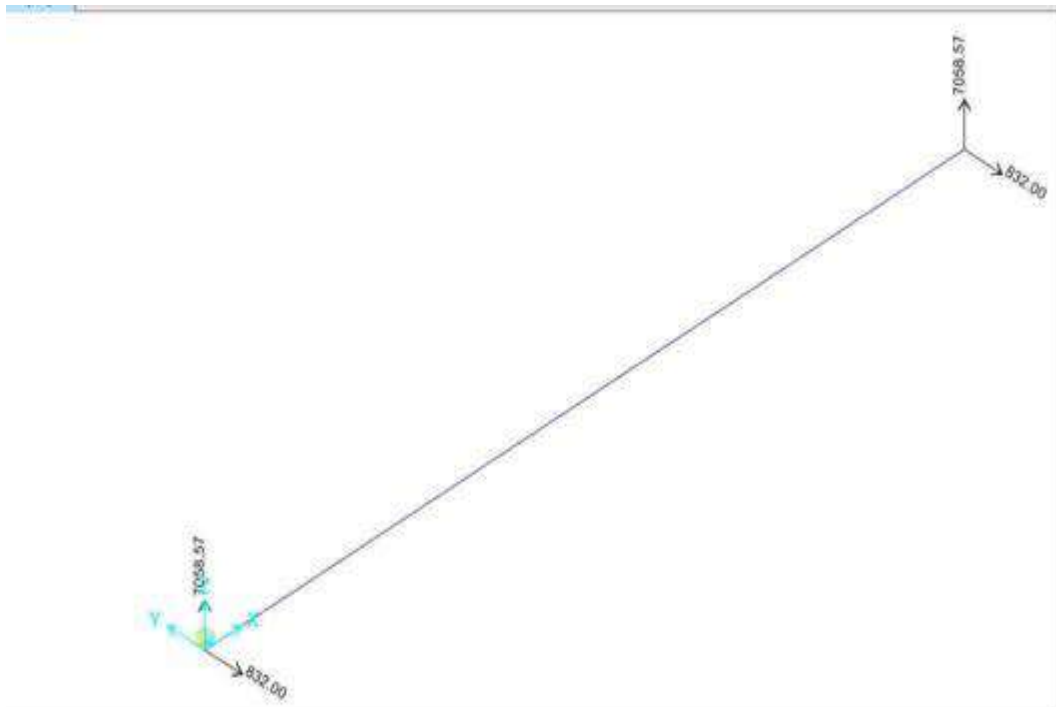


Figura n° 20 Gráfico N° 6 Reacciones en la viga polipasto considerando el impacto

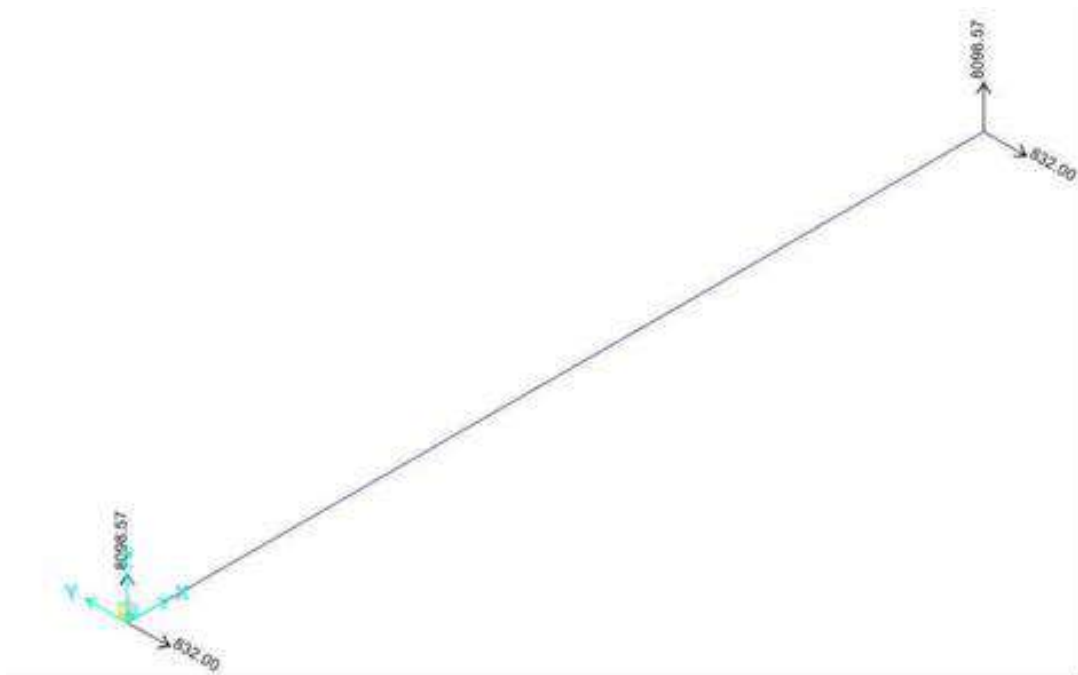
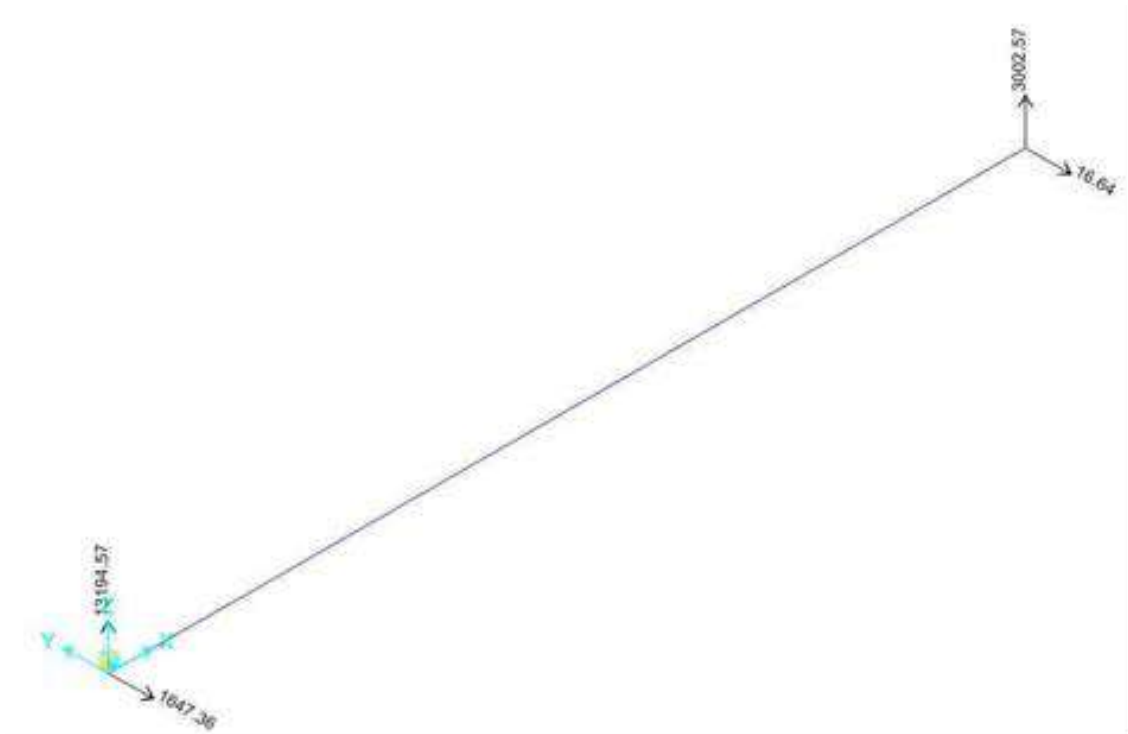


Figura n° 21 Reacciones en la viga polipasto con carga en el extremo considerando el impacto



Utilizamos la hoja de cálculo publicado por AISC Steel Tools

para la comprobación de la viga, teniendo en cuenta que para el pre diseño del peralte de la viga se tomará en cuenta la relación $L/40$ ($20/40=0.50m \approx 20''$ ó $24''$) (Arcelor Mittal 2008, 1-21).

ajustando los espesores según los ratios que arrojan en la hoja de cálculo hasta obtener resultados óptimos.

Figura n° 22 viga W24X146

CRANE BEAM DESIGN

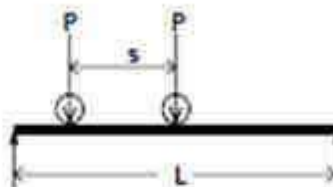
An Educational Tool to aid in Crane Runway Beam Design in accordance with AISC ASD and AISC LRFD.
 (Ref: AISC Steel Design Guide Series - Design Guide 7 "Industrial Buildings")

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 ENDTRUCK

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	0.40	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
Pe so 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.)

Cuadro n° 8 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	Class C	100 fpm	Class D	100 fpm	Class C	100 fpm	Class C	100 fpm	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										
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	24300	
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										
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		
60-0	260TS105L*20		7-6		1615								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.

Figura n° 23 crane beam design

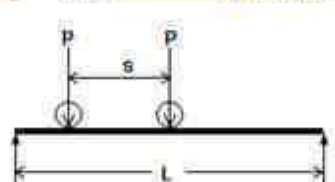
CRANE BEAM DESIGN

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 18.12 LRFD**
 Company: **UAP**
 Designed By: **Sergio R. Barrios Cruz** Date: **3/17/2017**

SINGLE CRANE WITH TWO WHEELS PER ENDTRUCK

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: **15.00** 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	Pv	8.80	kips / wheel (includes impact)
Max. Horizontal Load	Ph**	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	Mx	53.85	kip-ft. (includes impact and girder and rail weight)
Bending Moment	My	4.93	kip-ft.
Shear	Vx	15.59	kips

Crane Runway Beam
 Crane Beam Type ***: **W** (W Shape)
 Crane Beam Designation: **W8X40** (AISC 14th Edition, W8X40)
 Beam Weight: **40.0** lb/ft
 Yield Stress: **50** ksi

Deflection Checks

Vertical - Moment of Inertia X-X	Ix =	146	in. ⁴	o.k.
Horizontal - Top Flange Moment of Inertia Y-Y	Iy 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.

Fuente: (Columbus McKinnon Corporation s.f.)

3.5. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA ESTRUCTURA METÁLICA Y COBERTURA DE TECHO

3.5.1. 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

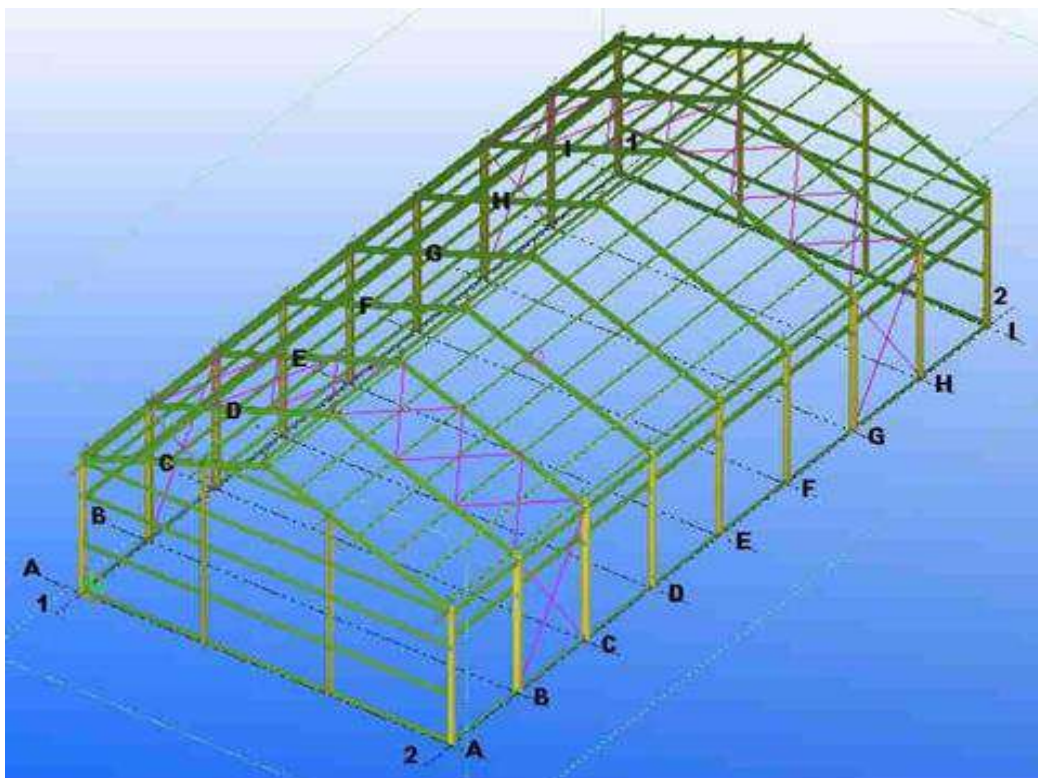
El sistema de fijación depende del tipo de las viguetas. Si el diseño comprende viguetas tipo celosía donde la brida superior esté constituido por perfiles angulares, lo mejor será la fijación con pernos tipo "J". Sin embargo, si se opta por viguetas en celosías con brida superior a base de tubos rectangulares 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.

3.5.2. 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.

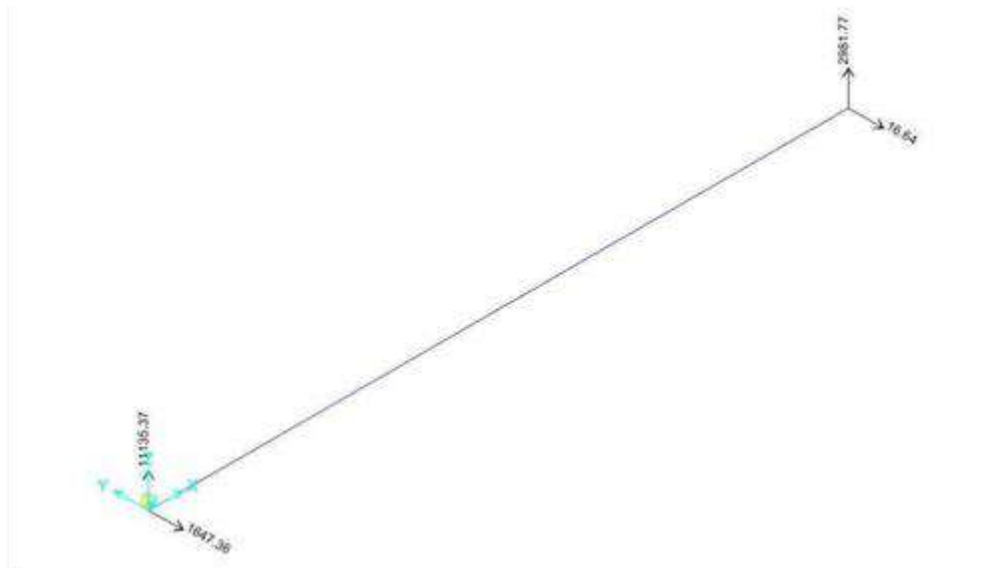
Figura n° 24 Modelo estructural tridimensional



Fuente: Elaboración propia

Partiendo desde la introducción de cargas por puente grúa, principalmente la viga carrilera presenta los mayores esfuerzos por flexión biaxial el cual es transmitido a las columnas y la estructura en general.

Figura n° 25 Reacciones máximas y mínimas con carga en uno de los extremos de la viga polipasto



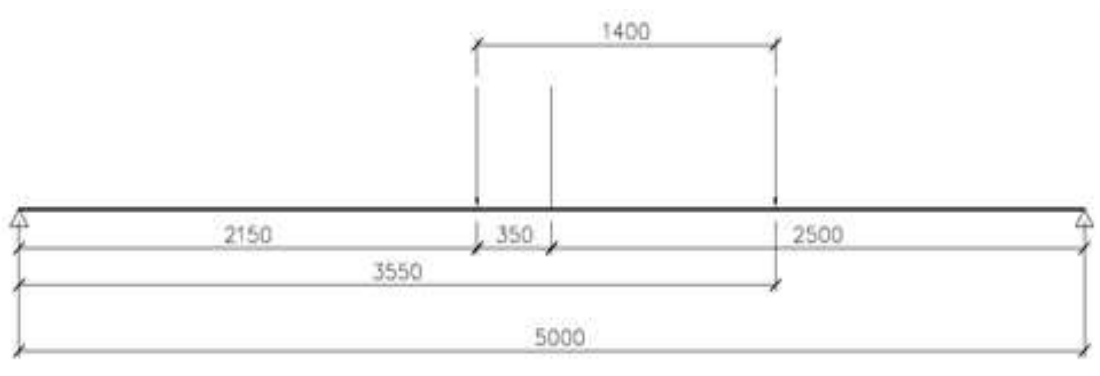
Reacciones máximas y mínimas en la viga polipasto cuando la carga se encuentra cercano a uno de los apoyos.

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

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

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

Figura n° 26 Esquema para la ubicación de cargas para obtener el momento máximo



Fuente: Elaboración Propia

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:

$$= \frac{0.20 * +}{4}$$

Donde:

Fl= Fuerza lateral;

Pp= Peso del polipasto;

Pc= Capacidad total, entonces:

$$Fl=0.20x(5,000+200)/4$$

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

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.

3.5.3. 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 diseño

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/m²

Peso de vigueta 8 Kg/m²

Total carga permanente 13 Kg/m²

Cargas vivas (Lr)

Cargas vivas (Lr) 40 Kg/m²

Carga de viento (W)

Carga de viento (W) 26 Kg/m²

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 ó S ó R)+(0.5L ó 0.8W) 147.57 Kg/m

$$1.2D+1.3W+0.5L+0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) \text{ 100.31 Kg/m}$$

$$0.9D \pm (1.3W \text{ ó } 1.0E) \text{ -25.76 Kg/m}$$

Máxima combinación en Y (Wuy) 147.57 Kg/m

En la dirección X

$$1.4D \text{ 11.59 Kg/m}$$

$$1.2D+1.6L+0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) \text{ 22.67 Kg/m}$$

$$1.2D+1.6(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)+(0.5L \text{ ó } 0.8W) \text{ 50.69 Kg/m}$$

$$1.2D+1.3W+0.5L+0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) \text{ 22.67 Kg/m}$$

$$0.9D \pm (1.3W \text{ ó } 1.0E) \text{ 7.45 Kg/m}$$

Máxima combinación en X (Wux) 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 diseño 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° 9 solicitudes 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 _x	M _y V _x	MT	MP	TPTMV	
N19/N20	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 0.9	= 0.9	= 11.8	< 0.1	x: 5 m = 19.7	x: 0 m = 38.8	x: 0 m = 2.2	x: 5 m = 4.0	x: 5 m = 7.3	x: 0 m = 20.7	x: 5 m = 4.0	x: 0 m = 15.1	x: 0 m = 39.1	x: 0 m = 40.1	x: 0 m = 42.4	CUMPLE = 42.4
N21/N22	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 0.8	= 0.8	= 16.5	< 0.1	x: 3.75 m = 30.0	x: 0 m = 33.9	x: 0 m = 2.1	x: 0 m = 4.9	x: 5 m = 14.1	x: 0 m = 16.2	x: 3.75 m = 9.0	x: 0 m = 11.5	x: 5 m = 22.2	x: 5 m = 63.2	x: 5 m = 61.2	CUMPLE = 63.2
N23/N24	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 0.7	= 0.7	= 2.4	< 0.1	x: 2.188 m = 17.8	x: 0 m = 39.7	x: 0 m = 2.2	x: 5 m = 4.4	x: 5 m = 3.3	x: 0 m = 19.8	x: 2.188 m = 3.2	x: 0 m = 15.8	x: 0 m = 39.8	x: 5 m = 30.7	x: 0 m = 43.2	CUMPLE = 43.2
N25/N26	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 0.5	= 0.5	= 1.8	< 0.1	x: 2.5 m = 22.4	x: 0 m = 39.0	x: 0 m = 2.2	x: 5 m = 4.0	x: 2.5 m = 4.8	x: 0 m = 18.7	x: 2.5 m = 5.0	x: 0 m = 15.3	x: 0 m = 40.0	x: 5 m = 24.5	x: 0 m = 43.9	CUMPLE = 43.9
N27/N28	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 0.2	= 0.2	= 14.3	x: 1.875 m < 0.1	x: 2.813 m = 22.5	x: 0 m = 34.5	x: 0 m = 2.1	x: 0 m = 4.5	x: 4.063 m = 5.9	x: 0 m = 16.3	x: 2.813 m = 5.0	x: 0 m = 11.9	x: 4.688 m = 24.2	x: 0 m = 57.9	x: 0 m = 60.2	CUMPLE = 60.2
N29/N30	x: 0.134 m W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 5.9	= 5.9	= 26.5	N.P. ⁽¹⁾	x: 3.175 m = 31.0	x: 5 m = 21.2	x: 5 m = 1.9	x: 0.133 m = 4.6	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 3.175 m = 9.6	x: 5 m = 4.5	x: 5 m = 43.2	x: 4.087 m = 48.0	x: 3.783 m = 46.6	CUMPLE = 48.0
N31/N32	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 0.5	= 0.5	= 10.5	x: 1.25 m < 0.1	x: 3.125 m = 28.7	x: 0 m = 43.3	x: 0 m = 2.3	x: 0 m = 4.6	x: 5 m = 11.4	x: 0 m = 18.8	x: 3.125 m = 8.2	x: 0 m = 18.8	x: 5 m = 29.0	x: 0 m = 56.0	x: 0 m = 59.4	CUMPLE = 59.4
N33/N34	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 0.8	x: 0 m = 1.3	x: 2.5 m < 0.1	x: 2.5 m < 0.1	x: 5 m = 26.7	x: 0 m = 60.2	x: 0 m = 2.8	x: 5 m = 4.0	x: 5 m = 7.2	x: 0 m = 21.3	x: 5 m = 7.3	x: 0 m = 36.3	x: 0 m = 63.9	x: 0 m = 21.6	x: 0 m = 69.7	CUMPLE = 69.7
N35/N36	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 2.1	x: 2.5 m = 4.0	< 0.1	x: 3.438 m = 24.7	x: 0 m = 56.8	x: 0 m = 2.7	x: 0 m = 3.8	x: 5 m = 14.7	x: 0 m = 16.8	x: 3.438 m = 6.1	x: 0 m = 32.3	x: 0 m = 58.6	x: 0 m = 52.1	x: 0 m = 64.4	CUMPLE = 64.4	
N37/N38	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 0.3	= 0.3	= 2.3	x: 0.625 m < 0.1	x: 5 m = 17.9	x: 0 m = 61.1	x: 0 m = 2.9	x: 5 m = 3.5	x: 5 m = 4.0	x: 0 m = 21.5	x: 5 m = 3.3	x: 0 m = 37.4	x: 0 m = 61.9	x: 0 m = 33.5	x: 0 m = 67.5	CUMPLE = 67.5
N39/N40	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 0.3	= 0.3	= 1.5	< 0.1	x: 2.188 m = 14.2	x: 0 m = 61.3	x: 0 m = 2.9	x: 5 m = 3.2	x: 2.813 m = 4.7	x: 0 m = 20.1	x: 2.188 m = 2.0	x: 0 m = 37.7	x: 0 m = 61.8	x: 0 m = 50.1	x: 0 m = 67.3	CUMPLE = 67.3
N41/N42	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 3.1	= 3.1	= 17.7	x: 1.875 m < 0.1	x: 3.125 m = 13.7	x: 0 m = 59.9	x: 0 m = 2.8	x: 0 m = 3.3	x: 4.063 m = 5.6	x: 0 m = 17.9	x: 3.125 m = 1.9	x: 0 m = 35.9	x: 0 m = 62.9	x: 0 m = 66.8	x: 0 m = 71.7	CUMPLE = 71.7
N43/N44	x: 0.134 m W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 3.7	= 3.7	= 19.4	N.P. ⁽¹⁾	x: 3.175 m = 22.1	x: 2.567 m = 23.7	x: 5 m = 1.8	x: 0.133 m = 3.3	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 3.175 m = 4.9	x: 2.567 m = 5.6	x: 2.567 m = 38.4	x: 5 m = 49.0	x: 5 m = 47.4	CUMPLE = 49.0
N45/N46	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 2.9	= 2.9	= 12.3	x: 2.813 m < 0.1	x: 2.813 m = 19.8	x: 0 m = 63.0	x: 0 m = 2.9	x: 0 m = 3.5	x: 5 m = 11.1	x: 0 m = 20.0	x: 2.813 m = 3.9	x: 0 m = 39.8	x: 0 m = 55.9	x: 0 m = 69.3	x: 0 m = 73.2	CUMPLE = 73.2
N20/N62	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 1.1	= 1.1	= 16.1	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m = 14.2	x: 5 m = 23.4	x: 5 m = 1.8	x: 0 m = 3.4	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽³⁾	x: 0 m = 2.1	x: 5 m = 5.5	x: 5 m = 34.9	x: 0 m = 36.3	x: 0 m = 37.2	CUMPLE = 37.2
N22/N63	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 0.7	= 0.7	= 30.9	N.P. ⁽¹⁾	x: 1.563 m = 21.1	x: 0 m = 19.2	x: 5 m = 1.7	x: 5 m = 4.8	x: 0 m = 12.5	x: 5 m = 5.7	x: 1.563 m = 4.5	x: 0 m = 3.7	x: 5 m = 23.1	x: 5 m = 62.6	x: 5 m = 60.2	CUMPLE = 62.6
N24/N64	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 0.8	= 0.8	= 2.5	< 0.1	x: 5 m = 16.2	x: 5 m = 22.5	x: 5 m = 1.7	x: 5 m = 3.9	x: 5 m = 6.0	x: 0 m = 7.7	x: 5 m = 2.8	x: 5 m = 5.1	x: 5 m = 33.2	x: 5 m = 36.1	x: 5 m = 37.4	CUMPLE = 37.4
N26/N65	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 0.4	N.P. ⁽¹⁾	= 27.1	x: 3.125 m < 0.1	x: 5 m = 17.5	x: 5 m = 23.1	x: 5 m = 1.8	x: 5 m = 4.3	x: 5 m = 5.2	x: 0 m = 7.0	x: 5 m = 3.3	x: 5 m = 5.4	N.P. ⁽³⁾	x: 5 m = 48.4	x: 5 m = 46.4	CUMPLE = 48.4
N28/N66	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 0.4	= 0.4	= 12.1	x: 2.5 m < 0.1	x: 5 m = 19.9	x: 5 m = 21.7	x: 5 m = 1.7	x: 5 m = 5.0	x: 0.5 m = 6.2	x: 0 m = 7.0	x: 5 m = 4.2	x: 5 m = 4.8	x: 1.25 m = 15.5	x: 5 m = 46.3	x: 5 m = 46.8	CUMPLE = 46.8
N30/N67	W / t (w / t) ^{Máx.} Cumple = 3.3	= 3.3	= 26.4	x: 2.5 m < 0.1	x: 1.875 m = 19.5	x: 0 m = 21.1	x: 0 m = 1.7	x: 5 m = 4.8	x: 0.313 m = 6.7	x: 0 m = 6.6	x: 1.875 m = 3.8	x: 0 m = 4.5	x: 5 m = 36.5	x: 5 m = 46.4	x: 5 m = 45.0	CUMPLE = 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 _x	M _y V _y	MT	MP	TPTtMV	
N32/N68	x: 0 m w / t (w / t) _{max} Cumple	= 0,6	= 7.1	< 0.1	x: 1.5 m = 24.1	x: 5 m = 19.3	x: 5 m = 1.6	x: 5 m = 5.3	x: 0 m = 12.5	x: 5 m = 4.9	x: 1.5 m = 5.8	x: 5 m = 3.7	x: 5 m = 25.0	x: 5 m = 42.2	x: 5 m = 42.8	CUMPLE = 42.8
N34/N69	w / t (w / t) _{max} Cumple	= 1.5	= 16.5	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m = 19.0	x: 5 m = 23.3	x: 5 m = 1.8	x: 0 m = 3.2	x: 0 m = 5.3	x: 0 m = 9.9	x: 0 m = 3.7	x: 5 m = 5.5	x: 0 m = 39.4	x: 5 m = 37.1	x: 0 m = 41.0	CUMPLE = 41.0
N36/N70	x: 0 m w / t (w / t) _{max} Cumple	= 2.6	= 15.4	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m = 18.8	x: 0 m = 21.2	x: 0 m = 1.7	x: 5 m = 3.6	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	x: 0 m = 3.6	x: 0 m = 4.5	x: 5 m = 23.6	x: 0 m = 46.1	x: 0 m = 45.1	CUMPLE = 46.1
N38/N71	w / t (w / t) _{max} Cumple	= 0,2 N.P.	= 2.3	x: 0.5 m < 0.1	x: 0 m = 18.1	x: 0 m = 21.6	x: 0 m = 1.7	x: 0 m = 3.1	x: 0 m = 4.0	x: 0 m = 8.2	x: 0 m = 3.4	x: 0 m = 4.7	x: 0 m = 39.5	x: 0 m = 30.4	x: 0 m = 40.8	CUMPLE = 40.8
N40/N72	w / t (w / t) _{max} Cumple	(4)	= 26.1	< 0.1	x: 0 m = 11.6	x: 0 m = 21.7	x: 0 m = 1.7	x: 0 m = 2.8	x: 2.5 m = 4.0	x: 0 m = 7.8	x: 0 m = 1.4	x: 0 m = 4.8	(5)	x: 0 m = 44.3	x: 0 m = 45.5	CUMPLE = 45.5
N42/N73	w / t (w / t) _{max} Cumple	= 2.8	= 14.9	x: 2.5 m < 0.1	x: 2 m = 14.9	x: 0 m = 22.2	x: 0 m = 1.7	x: 5 m = 3.2	x: 1.75 m = 6.3	x: 0 m = 7.9	x: 2 m = 2.2	x: 0 m = 5.0	x: 0 m = 23.2	x: 5 m = 41.5	x: 5 m = 42.8	CUMPLE = 42.8
N44/N74	w / t (w / t) _{max} Cumple	= 1.1	= 20.8	x: 2.5 m < 0.1	x: 2.188 m = 15.7	x: 0 m = 22.5	x: 0 m = 1.7	x: 5 m = 3.2	x: 0.938 m = 6.3	x: 0 m = 7.4	x: 2.188 m = 2.5	x: 0 m = 5.1	x: 5 m = 27.7	x: 0 m = 31.5	x: 5 m = 30.7	CUMPLE = 31.5
N46/N75	x: 0 m w / t (w / t) _{max} Cumple	= 2.9	= 8.0	x: 2.25 m < 0.1	x: 1.75 m = 21.3	x: 0 m = 20.8	x: 0 m = 1.7	x: 5 m = 3.7	x: 0 m = 12.5	x: 0 m = 5.3	x: 1.75 m = 4.5	x: 0 m = 4.4	x: 5 m = 30.9	x: 0 m = 40.9	x: 0 m = 41.9	CUMPLE = 41.9
N62/N76	w / t (w / t) _{max} Cumple	x: 4.063 m N.P.0.5	= 2.7	N.P.0.1	x: 5 m = 21.0	x: 5 m = 46.2	x: 5 m = 2.4	x: 5 m = 3.4	x: 0 m = 8.0	x: 5 m = 18.7	x: 5 m = 4.5	x: 5 m = 21.4	x: 5 m = 48.5	x: 5 m = 39.7	x: 5 m = 51.2	CUMPLE = 51.2
N63/N77	w / t (w / t) _{max} Cumple	(4)	= 17.0	(1)	x: 0 m = 17.9	x: 5 m = 40.8	x: 5 m = 2.3	x: 0 m = 3.6	x: 0 m = 10.2	x: 5 m = 19.1	x: 0 m = 3.2	x: 5 m = 16.7	(5)	x: 0 m = 67.2	x: 0 m = 65.2	CUMPLE = 67.2
N64/N78	w / t (w / t) _{max} Cumple	= 0.8	= 2.3	x: 2.813 m < 0.1	x: 5 m = 17.2	x: 5 m = 46.8	x: 5 m = 2.4	x: 0 m = 3.8	x: 0 m = 5.6	x: 5 m = 18.8	x: 5 m = 3.1	x: 5 m = 22.0	x: 5 m = 46.3	x: 5 m = 49.8	x: 5 m = 53.7	CUMPLE = 53.7
N65/N79	w / t (w / t) _{max} Cumple	= 0.5	x: 0 m = 1.5	x: 3.75 m < 0.1	x: 0 m = 15.8	x: 5 m = 46.7	x: 5 m = 2.4	x: 0 m = 3.9	x: 0 m = 5.6	x: 5 m = 19.2	x: 0 m = 2.7	x: 5 m = 21.8	x: 5 m = 49.5	x: 5 m = 19.8	x: 5 m = 53.7	CUMPLE = 53.7
N66/N80	w / t (w / t) _{max} Cumple	= 0.7	= 8.7	< 0.1	x: 0 m = 17.2	x: 5 m = 45.6	x: 5 m = 2.4	x: 0 m = 3.9	x: 0 m = 5.5	x: 5 m = 18.7	x: 0 m = 3.1	x: 5 m = 20.9	x: 0 m = 48.6	x: 5 m = 59.3	x: 5 m = 62.9	CUMPLE = 62.9
N67/N81	w / t (w / t) _{max} Cumple	= 3.5	= 3.9	< 0.1	x: 0 m = 18.9	x: 5 m = 44.2	x: 5 m = 2.4	x: 0 m = 4.0	x: 0 m = 7.5	x: 5 m = 18.7	x: 0 m = 3.6	x: 5 m = 19.6	x: 0 m = 53.8	x: 0 m = 34.5	x: 0 m = 57.4	CUMPLE = 57.4
N68/N82	w / t (w / t) _{max} Cumple	= 0.8	= 4.4	x: 5 m < 0.1	x: 0 m = 20.8	x: 5 m = 43.0	x: 5 m = 2.3	x: 0 m = 4.0	x: 0 m = 9.2	x: 5 m = 19.1	x: 0 m = 4.4	x: 5 m = 18.5	x: 0 m = 52.2	x: 5 m = 54.7	x: 5 m = 57.9	CUMPLE = 57.9
N69/N83	w / t (w / t) _{max} Cumple	= 1.7	= 2.8	x: 3.75 m < 0.1	x: 5 m = 16.0	x: 0 m = 31.3	x: 0 m = 2.0	x: 5 m = 3.1	x: 5 m = 6.7	x: 0 m = 17.3	x: 5 m = 2.7	x: 0 m = 9.8	x: 0 m = 36.6	x: 5 m = 29.9	x: 0 m = 40.2	CUMPLE = 40.2
N70/N84	w / t (w / t) _{max} Cumple	= 0.1	= 8.1	N.P. (1)	x: 0 m = 28.1	x: 0 m = 33.4	x: 0 m = 2.1	x: 5 m = 4.0	x: 5 m = 10.6	x: 0 m = 15.8	x: 0 m = 8.0	x: 0 m = 11.2	x: 0 m = 17.5	x: 0 m = 50.1	x: 5 m = 50.8	CUMPLE = 50.8
N71/N85	w / t (w / t) _{max} Cumple	= 0.4	= 2.7	< 0.1	x: 5 m = 15.9	x: 0 m = 31.7	x: 0 m = 2.0	x: 5 m = 3.2	x: 5 m = 5.6	x: 0 m = 15.8	x: 5 m = 2.6	x: 0 m = 10.1	x: 0 m = 36.3	x: 5 m = 28.3	x: 0 m = 39.4	CUMPLE = 39.4
N72/N86	w / t (w / t) _{max} Cumple	= 0.4	x: 3.438 m = 0.2	< 0.1	x: 5 m = 16.2	x: 0 m = 31.3	x: 0 m = 2.0	x: 5 m = 3.2	x: 5 m = 5.7	x: 0 m = 15.0	x: 5 m = 2.7	x: 0 m = 9.8	x: 0 m = 36.0	x: 0 m = 15.5	x: 0 m = 38.8	CUMPLE = 38.8
N73/N87	w / t (w / t) _{max} Cumple	= 2.3	= 9.7	< 0.1	x: 5 m = 16.9	x: 0 m = 32.1	x: 0 m = 2.0	x: 5 m = 3.3	x: 5 m = 5.9	x: 0 m = 14.9	x: 5 m = 3.0	x: 0 m = 10.4	x: 5 m = 30.5	x: 0 m = 46.1	x: 0 m = 48.5	CUMPLE = 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) _{min.} Cumple	= 2,2	= 0,7	< 0,1	x: 5 m = 17,0	x: 0 m = 31,7	x: 0 m = 2,0	x: 5 m = 3,4	x: 5 m = 6,0	x: 0 m = 14,6	x: 5 m = 3,0	x: 0 m = 10,1	x: 0 m = 37,7	x: 0 m = 19,7	x: 0 m = 41,4	CUMPLE = 41,4
N75/N89	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 2,5	= 4,2	< 0,1	x: 5 m = 19,0	x: 0 m = 31,1	x: 0 m = 2,0	x: 5 m = 3,5	x: 5 m = 6,9	x: 0 m = 14,5	x: 5 m = 3,7	x: 0 m = 9,7	x: 5 m = 36,0	x: 0 m = 40,8	x: 0 m = 43,1	CUMPLE = 43,1
N76/N90	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 1,7	= 3,0	x: 0,938 m < 0,1	x: 0 m = 14,4	x: 5 m = 29,3	x: 5 m = 1,9	x: 5 m = 3,4	x: 5 m = 3,6	x: 5 m = 12,0	x: 0 m = 2,1	x: 5 m = 8,6	x: 0 m = 31,9	x: 5 m = 42,0	x: 5 m = 43,9	CUMPLE = 43,9
N77/N91	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 0,1	= 16,1	< 0,1	x: 5 m = 13,2	x: 5 m = 22,1	x: 5 m = 1,7	x: 5 m = 3,4	x: 5 m = 6,0	x: 5 m = 6,6	x: 5 m = 1,9	x: 5 m = 4,9	x: 0 m = 4,5	x: 5 m = 50,3	x: 5 m = 49,0	CUMPLE = 50,3
N78/N92	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 0,6	= 0,8	< 0,1	x: 0 m = 18,0	x: 5 m = 29,0	x: 5 m = 1,9	x: 5 m = 3,8	x: 5 m = 3,5	x: 5 m = 10,6	x: 0 m = 3,4	x: 5 m = 8,5	x: 5 m = 35,5	x: 5 m = 28,0	x: 5 m = 38,0	CUMPLE = 38,0
N79/N93	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 0,5	= 1,2	< 0,1	x: 0 m = 15,8	x: 5 m = 28,7	x: 5 m = 1,9	x: 5 m = 3,8	x: 5 m = 3,8	x: 5 m = 9,6	x: 0 m = 2,6	x: 5 m = 8,3	x: 5 m = 34,2	x: 0 m = 11,2	x: 5 m = 36,3	CUMPLE = 36,3
N80/N94	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 0,8	= 7,8	< 0,1	x: 5 m = 14,9	x: 5 m = 28,0	x: 5 m = 1,9	x: 5 m = 3,8	x: 5 m = 4,3	x: 5 m = 9,3	x: 5 m = 2,4	x: 5 m = 7,9	x: 0 m = 24,2	x: 5 m = 41,0	x: 5 m = 43,0	CUMPLE = 43,0
N81/N95	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 3,3	= 3,7	< 0,1	x: 0 m = 14,5	x: 5 m = 26,6	x: 5 m = 1,9	x: 0 m = 3,8	x: 5 m = 4,5	x: 5 m = 8,7	x: 0 m = 2,2	x: 5 m = 7,1	x: 0 m = 35,3	x: 5 m = 25,0	x: 0 m = 36,9	CUMPLE = 36,9
N82/N96	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 0,9	= 3,8	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m = 14,7	x: 5 m = 24,7	x: 5 m = 1,8	x: 5 m = 3,8	x: 5 m = 4,9	x: 5 m = 7,2	x: 5 m = 2,3	x: 5 m = 6,1	x: 0 m = 20,2	x: 5 m = 34,7	x: 5 m = 36,1	CUMPLE = 36,1
N83/N97	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 1,6	= 1,4	< 0,1	x: 0 m = 14,0	x: 5 m = 29,3	x: 5 m = 1,9	x: 0 m = 2,9	x: 0 m = 5,2	x: 5 m = 14,9	x: 0 m = 2,1	x: 5 m = 8,6	x: 5 m = 39,7	x: 5 m = 26,8	x: 5 m = 42,7	CUMPLE = 42,7
N84/N98	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 0,4	= 17,2	x: 3 m < 0,1	x: 0 m = 18,1	x: 5 m = 21,7	x: 5 m = 1,7	x: 0 m = 3,1	x: 0 m = 6,3	x: 5 m = 10,0	x: 0 m = 3,4	x: 5 m = 4,8	x: 5 m = 19,4	x: 0 m = 38,3	x: 0 m = 39,3	CUMPLE = 39,3
N85/N99	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 0,5	= 1,5	< 0,1	x: 0 m = 16,0	x: 5 m = 28,3	x: 5 m = 1,9	x: 0 m = 2,9	x: 0 m = 5,8	x: 5 m = 14,5	x: 0 m = 2,7	x: 5 m = 8,0	x: 5 m = 38,6	x: 5 m = 33,7	x: 5 m = 40,7	CUMPLE = 40,7
N86/N100	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 0,4	= 0,1	x: 2 m < 0,1	x: 0 m = 16,6	x: 5 m = 27,9	x: 5 m = 1,9	x: 0 m = 3,0	x: 0 m = 5,9	x: 5 m = 13,8	x: 0 m = 2,9	x: 5 m = 7,8	x: 5 m = 38,0	x: 0 m = 8,5	x: 5 m = 40,0	CUMPLE = 40,0
N87/N101	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 2,1	= 7,9	x: 2,25 m < 0,1	x: 0 m = 16,0	x: 5 m = 27,1	x: 5 m = 1,9	x: 0 m = 2,9	x: 0 m = 5,5	x: 5 m = 13,8	x: 0 m = 2,6	x: 5 m = 7,4	x: 5 m = 13,0	x: 5 m = 46,4	x: 5 m = 48,1	CUMPLE = 48,1
N88/N102	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 2,0	= 0,9	x: 2 m < 0,1	x: 0 m = 18,2	x: 5 m = 25,9	x: 5 m = 1,8	x: 0 m = 3,0	x: 0 m = 6,6	x: 5 m = 13,0	x: 0 m = 3,4	x: 5 m = 6,7	x: 0 m = 37,3	x: 5 m = 20,4	x: 5 m = 39,0	CUMPLE = 39,0
N89/N103	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 2,4	= 2,8	< 0,1	x: 0 m = 18,0	x: 5 m = 24,1	x: 5 m = 1,8	x: 0 m = 3,0	x: 0 m = 6,5	x: 5 m = 11,7	x: 0 m = 3,3	x: 5 m = 5,9	x: 5 m = 29,3	x: 0 m = 38,8	x: 0 m = 39,6	CUMPLE = 39,6
N90/N104	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 1,4	= 1,5	< 0,1	x: 5 m = 13,8	x: 5 m = 27,8	x: 5 m = 1,9	x: 5 m = 3,4	x: 5 m = 3,6	x: 5 m = 11,5	x: 5 m = 2,0	x: 5 m = 7,8	x: 5 m = 32,1	x: 5 m = 37,4	x: 5 m = 39,3	CUMPLE = 39,3
N91/N105	x: 5 m w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 0,4	= 14,4	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m = 13,6	x: 5 m = 20,0	x: 5 m = 1,7	x: 5 m = 3,4	x: 5 m = 6,3	x: 0 m = 5,7	x: 5 m = 2,0	x: 5 m = 4,0	x: 5 m = 8,6	x: 5 m = 46,6	x: 5 m = 47,5	CUMPLE = 47,5
N92/N106	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 0,6	= 0,1	< 0,1	x: 5 m = 15,9	x: 5 m = 27,0	x: 5 m = 1,9	x: 5 m = 3,8	x: 0 m = 3,5	x: 5 m = 10,0	x: 5 m = 2,7	x: 5 m = 7,3	x: 5 m = 34,2	x: 0 m = 8,6	x: 5 m = 36,2	CUMPLE = 36,2
N93/N107	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 0,4	= 1,2	< 0,1	x: 5 m = 16,6	x: 5 m = 26,6	x: 5 m = 1,9	x: 5 m = 3,9	x: 0 m = 3,9	x: 5 m = 9,0	x: 5 m = 2,9	x: 5 m = 7,1	x: 5 m = 34,8	x: 5 m = 34,2	x: 5 m = 36,1	CUMPLE = 36,1
N94/N108	w / t(w / t) _{min.} Cumple	= 0,9	= 7,8	< 0,1	x: 5 m = 16,0	x: 5 m = 26,3	x: 5 m = 1,8	x: 5 m = 3,8	x: 0 m = 4,3	x: 5 m = 8,8	x: 5 m = 2,7	x: 5 m = 6,9	x: 0 m = 22,6	x: 5 m = 40,1	x: 5 m = 42,0	CUMPLE = 42,0

Barras	COMPROBACIONES (AISI 5100-07 (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) _{mín.} Cumple	= 3,2	= 4,0	< 0,1	x: 5 m = 16,7	x: 5 m = 24,9	x: 5 m = 1,8	x: 5 m = 3,9	x: 5 m = 5,0	x: 5 m = 8,3	x: 5 m = 2,9	x: 5 m = 6,2	x: 5 m = 37,3	x: 5 m = 24,9	x: 5 m = 38,8	CUMPLE = 38,8
N96/N110	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 1,0	= 3,8	< 0,1	x: 5 m = 15,5	x: 5 m = 22,5	x: 5 m = 1,7	x: 5 m = 3,8	x: 5 m = 5,3	x: 5 m = 6,5	x: 5 m = 2,5	x: 5 m = 5,1	x: 0 m = 22,9	x: 5 m = 34,4	x: 0 m = 35,3	CUMPLE = 35,3
N97/N111	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 1,4	= 1,3	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m = 11,8	x: 5 m = 30,5	x: 5 m = 2,0	x: 5 m = 2,8	x: 0 m = 3,4	x: 5 m = 14,7	x: 5 m = 1,5	x: 5 m = 9,3	x: 5 m = 42,4	x: 5 m = 25,6	x: 5 m = 45,5	CUMPLE = 45,5
N98/N112	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 0,1	= 14,6	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m = 10,9	x: 5 m = 23,5	x: 5 m = 1,8	x: 0 m = 2,8	x: 5 m = 4,4	x: 5 m = 9,5	x: 5 m = 1,3	x: 5 m = 5,6	x: 5 m = 6,0	x: 5 m = 39,7	x: 5 m = 40,8	CUMPLE = 40,8
N99/N113	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 0,5	= 0,1	< 0,1	x: 5 m = 12,0	x: 5 m = 30,0	x: 5 m = 2,0	x: 5 m = 2,8	x: 5 m = 2,9	x: 5 m = 14,1	x: 5 m = 1,5	x: 5 m = 9,0	x: 5 m = 41,7	x: 5 m = 23,0	x: 5 m = 44,2	CUMPLE = 44,2
N100/N114	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 0,4	= 1,5	< 0,1	x: 5 m = 11,7	x: 5 m = 29,6	x: 5 m = 1,9	x: 5 m = 2,8	x: 5 m = 2,9	x: 5 m = 13,5	x: 5 m = 1,5	x: 5 m = 8,8	x: 5 m = 31,9	x: 5 m = 41,4	x: 5 m = 43,3	CUMPLE = 43,3
N101/N115	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 2,0	= 6,9	< 0,1	x: 5 m = 11,2	x: 5 m = 29,1	x: 5 m = 1,9	x: 5 m = 2,7	x: 5 m = 3,1	x: 5 m = 13,4	x: 5 m = 1,3	x: 5 m = 8,5	x: 5 m = 12,9	x: 5 m = 47,1	x: 5 m = 49,0	CUMPLE = 49,0
N102/N116	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 2,0	= 1,2	< 0,1	x: 5 m = 11,4	x: 5 m = 27,8	x: 5 m = 1,9	x: 5 m = 2,7	x: 5 m = 3,8	x: 5 m = 13,2	x: 5 m = 1,4	x: 5 m = 7,8	x: 5 m = 38,3	x: 5 m = 18,1	x: 5 m = 41,2	CUMPLE = 41,2
N103/N117	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 2,3	x: 0,625 m = 2,2	< 0,1	x: 5 m = 11,2	x: 5 m = 25,7	x: 5 m = 1,8	x: 5 m = 2,8	x: 5 m = 4,2	x: 5 m = 11,3	x: 5 m = 1,3	x: 5 m = 6,6	x: 5 m = 30,6	x: 5 m = 37,5	x: 5 m = 39,1	CUMPLE = 39,1
N104/N118	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 1,4	= 1,7	< 0,1	x: 0 m = 13,4	x: 5 m = 27,6	x: 5 m = 1,9	x: 0 m = 3,4	x: 5 m = 3,0	x: 5 m = 12,4	x: 0 m = 1,9	x: 5 m = 7,6	x: 5 m = 35,0	x: 0 m = 31,0	x: 5 m = 37,3	CUMPLE = 37,3
N105/N119	x: 5 m w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 0,5	= 15,9	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m = 18,0	x: 0 m = 20,1	x: 0 m = 1,7	x: 0 m = 3,4	x: 5 m = 8,0	x: 5 m = 6,0	x: 5 m = 3,3	x: 0 m = 4,1	x: 5 m = 14,8	x: 0 m = 51,7	x: 0 m = 50,3	CUMPLE = 51,7
N106/N120	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 0,7	= 0,7	x: 3,438 m < 0,1	x: 0 m = 16,0	x: 5 m = 25,8	x: 5 m = 1,8	x: 0 m = 3,9	x: 0 m = 3,3	x: 5 m = 10,4	x: 0 m = 2,7	x: 5 m = 6,7	x: 0 m = 34,4	x: 0 m = 13,1	x: 0 m = 36,0	CUMPLE = 36,0
N107/N121	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 0,4	= 2,7	< 0,1	x: 0 m = 16,3	x: 5 m = 25,2	x: 5 m = 1,8	x: 0 m = 3,9	x: 0 m = 3,8	x: 0 m = 9,3	x: 0 m = 2,8	x: 5 m = 6,4	x: 0 m = 35,1	x: 5 m = 33,3	x: 0 m = 36,6	CUMPLE = 36,6
N108/N122	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 0,8	= 8,8	< 0,1	x: 0 m = 16,7	x: 5 m = 25,1	x: 5 m = 1,8	x: 0 m = 3,9	x: 5 m = 4,5	x: 5 m = 9,2	x: 0 m = 2,9	x: 5 m = 6,4	x: 5 m = 20,4	x: 5 m = 42,5	x: 5 m = 44,0	CUMPLE = 44,0
N109/N123	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 3,4	= 4,4	< 0,1	x: 5 m = 16,0	x: 5 m = 23,7	x: 5 m = 1,8	x: 5 m = 3,8	x: 5 m = 6,6	x: 5 m = 8,5	x: 5 m = 2,7	x: 5 m = 5,6	x: 5 m = 37,4	x: 5 m = 26,3	x: 5 m = 39,6	CUMPLE = 39,6
N110/N124	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 1,1	= 4,3	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m = 17,8	x: 5 m = 20,8	x: 5 m = 1,7	x: 5 m = 3,9	x: 5 m = 8,2	x: 0 m = 6,9	x: 5 m = 3,3	x: 5 m = 4,4	x: 5 m = 22,9	x: 5 m = 39,9	x: 5 m = 40,9	CUMPLE = 40,9
N111/N125	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 1,8	= 0,2	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m = 11,1	x: 5 m = 30,7	x: 5 m = 2,0	x: 5 m = 2,8	x: 5 m = 4,3	x: 0 m = 13,7	x: 5 m = 1,3	x: 5 m = 9,5	x: 5 m = 40,7	x: 0 m = 3,2	x: 5 m = 44,0	CUMPLE = 44,0
N112/N126	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	< 0,1	= 11,1	< 0,1	x: 5 m = 21,1	x: 5 m = 22,7	x: 5 m = 1,7	x: 5 m = 3,2	x: 5 m = 8,5	x: 0 m = 8,9	x: 5 m = 4,5	x: 5 m = 5,2	x: 0 m = 5,6	x: 5 m = 48,7	x: 5 m = 49,6	CUMPLE = 49,6
N113/N127	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 0,4	= 0,8	< 0,1	x: 0 m = 11,9	x: 5 m = 28,4	x: 5 m = 1,9	x: 0 m = 2,9	x: 0 m = 3,0	x: 0 m = 13,0	x: 0 m = 1,5	x: 5 m = 8,1	x: 5 m = 35,8	x: 0 m = 16,1	x: 5 m = 38,5	CUMPLE = 38,5
N114/N128	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 0,5	= 2,9	< 0,1	x: 0 m = 11,6	x: 5 m = 28,1	x: 5 m = 1,9	x: 0 m = 2,8	x: 0 m = 2,7	x: 0 m = 12,4	x: 0 m = 1,4	x: 5 m = 7,9	x: 0 m = 29,6	x: 5 m = 39,0	x: 5 m = 40,8	CUMPLE = 40,8
N115/N129	w / t(w / t) _{mín.} Cumple	= 1,9	= 7,4	< 0,1	x: 5 m = 13,1	x: 5 m = 27,8	x: 5 m = 1,9	x: 5 m = 2,8	x: 5 m = 3,6	x: 0 m = 12,0	x: 5 m = 1,8	x: 5 m = 7,8	x: 0 m = 15,7	x: 5 m = 47,7	x: 5 m = 49,4	CUMPLE = 49,4

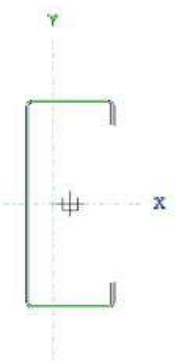
Barras	COMPROBACIONES (AISI S100-07 (2007))															Estado
	w / t	T	P	Tr	M _x	M _y	V _x	V _y	M _x Tr	M _y Tr	M _x V _y	M _y V _x	MT	MP	TPTtMV	
N116/N130	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 2.0	= 1.3	< 0.1	x: 5 m = 16.8	x: 5 m = 26.5	x: 5 m = 1.9	x: 5 m = 3.0	x: 5 m = 5.9	x: 0 m = 11.3	x: 5 m = 2.9	x: 5 m = 7.1	x: 5 m = 43.4	x: 5 m = 23.9	x: 5 m = 45.8	CUMPLE = 45.8
N117/N131	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 2.4	= 2.6	< 0.1	x: 5 m = 20.1	x: 5 m = 24.0	x: 5 m = 1.8	x: 5 m = 3.1	x: 5 m = 7.3	x: 0 m = 10.3	x: 5 m = 4.1	x: 5 m = 5.8	x: 5 m = 31.6	x: 5 m = 44.7	x: 5 m = 45.8	CUMPLE = 45.8
N118/N132	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	x: 2.188 m = 0.2	= 12.5	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m = 14.3	x: 5 m = 23.1	x: 5 m = 1.8	x: 5 m = 3.4	x: 5 m = 4.5	x: 0 m = 10.3	x: 5 m = 2.2	x: 5 m = 5.4	x: 5 m = 30.4	x: 5 m = 39.0	x: 5 m = 40.3	CUMPLE = 40.3
N119/N133	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 0.4	= 21.2	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m = 22.6	x: 0 m = 22.3	x: 0 m = 1.7	x: 0 m = 4.7	x: 5 m = 11.9	x: 0 m = 6.1	x: 5 m = 5.1	x: 0 m = 5.0	x: 5 m = 21.1	x: 0 m = 60.9	x: 0 m = 58.5	CUMPLE = 60.9
N120/N134	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 0.6	= 0.9	x: 0.75 m < 0.1	x: 0 m = 14.6	x: 5 m = 22.2	x: 5 m = 1.7	x: 0 m = 3.8	x: 5 m = 3.0	x: 0 m = 7.8	x: 0 m = 2.3	x: 5 m = 4.9	x: 5 m = 33.7	x: 0 m = 11.1	x: 5 m = 35.3	CUMPLE = 35.3
N121/N135	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	< 0.1	= 28.2	< 0.1	x: 0 m = 15.4	x: 5 m = 21.8	x: 5 m = 1.7	x: 0 m = 4.2	x: 0 m = 3.4	x: 0 m = 7.3	x: 0 m = 2.5	x: 5 m = 4.8	N.P. ⁽²⁾	x: 5 m = 51.4	x: 5 m = 49.1	CUMPLE = 51.4
N122/N136	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 0.8	= 12.1	x: 2.5 m < 0.1	x: 3.25 m = 19.4	x: 5 m = 22.0	x: 5 m = 1.7	x: 0 m = 4.8	x: 4.5 m = 6.8	x: 0 m = 6.8	x: 3.25 m = 3.8	x: 5 m = 4.9	x: 5 m = 24.6	x: 0 m = 46.3	x: 0 m = 47.2	CUMPLE = 47.2
N123/N137	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 2.7	= 8.8	< 0.1	x: 3.125 m = 19.8	x: 5 m = 21.0	x: 5 m = 1.7	x: 0 m = 4.7	x: 4.375 m = 7.2	x: 0 m = 6.3	x: 3.125 m = 3.9	x: 5 m = 4.5	x: 0 m = 34.6	x: 5 m = 29.7	x: 5 m = 36.1	CUMPLE = 36.1
N124/N138	x: 4.75 m w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 1.2	= 6.2	< 0.1	x: 3.5 m = 24.2	x: 0 m = 20.6	x: 0 m = 1.7	x: 0 m = 5.2	x: 5 m = 12.7	x: 0 m = 5.7	x: 3.5 m = 5.9	x: 0 m = 4.3	x: 5 m = 29.2	x: 5 m = 43.2	x: 0 m = 44.1	CUMPLE = 44.1
N125/N139	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 1.1	= 15.3	< 0.1	x: 5 m = 18.4	x: 5 m = 26.5	x: 5 m = 1.9	x: 5 m = 3.1	x: 5 m = 5.0	x: 5 m = 10.3	x: 5 m = 3.5	x: 5 m = 7.1	x: 5 m = 38.8	x: 5 m = 47.8	x: 5 m = 49.2	CUMPLE = 49.2
N126/N140	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	< 0.1	= 8.2	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m = 21.7	x: 5 m = 20.9	x: 5 m = 1.7	x: 0 m = 4.3	x: 5 m = 11.1	x: 5 m = 6.0	x: 0 m = 4.9	x: 5 m = 4.4	x: 5 m = 4.8	x: 0 m = 47.4	x: 0 m = 48.0	CUMPLE = 48.0
N127/N141	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 0.2	= 1.1	x: 2.5 m < 0.1	x: 5 m = 18.8	x: 5 m = 25.8	x: 5 m = 1.8	x: 5 m = 3.1	x: 5 m = 4.5	x: 5 m = 8.5	x: 5 m = 3.6	x: 5 m = 6.7	x: 5 m = 41.8	x: 5 m = 15.1	x: 5 m = 43.3	CUMPLE = 43.3
N128/N142	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	N.P. ⁽⁴⁾	= 29.2	< 0.1	x: 5 m = 13.2	x: 5 m = 26.0	x: 5 m = 1.8	x: 5 m = 2.9	x: 5 m = 3.0	x: 5 m = 8.2	x: 5 m = 1.8	x: 5 m = 6.8	N.P. ⁽³⁾	x: 5 m = 66.1	x: 5 m = 62.7	CUMPLE = 66.1
N129/N143	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 2.1	= 9.8	x: 2.25 m < 0.1	x: 0 m = 13.8	x: 5 m = 25.8	x: 5 m = 1.8	x: 0 m = 3.3	x: 4 m = 4.6	x: 5 m = 8.2	x: 0 m = 2.0	x: 5 m = 6.7	x: 5 m = 18.9	x: 0 m = 36.9	x: 0 m = 37.5	CUMPLE = 37.5
N130/N144	x: 5 m w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 1.4	= 4.2	< 0.1	x: 0 m = 14.4	x: 5 m = 25.2	x: 5 m = 1.8	x: 0 m = 3.5	x: 4.063 m = 5.6	x: 5 m = 8.0	x: 0 m = 2.2	x: 5 m = 6.4	x: 0 m = 25.1	x: 5 m = 32.9	x: 5 m = 34.8	CUMPLE = 34.8
N131/N145	x: 0 m w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 2.7	x: 2.75 m = 3.8	x: 2.75 m < 0.1	x: 0 m = 19.4	x: 5 m = 22.0	x: 5 m = 1.7	x: 0 m = 4.1	x: 5 m = 10.6	x: 5 m = 5.9	x: 0 m = 3.9	x: 5 m = 4.9	x: 5 m = 35.5	x: 5 m = 34.8	x: 5 m = 36.8	CUMPLE = 36.8
N132/N146	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 0.2	= 5.9	x: 4.063 m < 0.1	x: 0 m = 19.3	x: 5 m = 41.9	x: 5 m = 2.3	x: 0 m = 4.0	x: 0 m = 5.6	x: 5 m = 19.1	x: 0 m = 3.9	x: 5 m = 17.6	x: 5 m = 38.9	x: 5 m = 44.8	x: 5 m = 48.3	CUMPLE = 48.3
N133/N147	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 0.4	= 10.0	< 0.1	x: 0.625 m = 29.8	x: 5 m = 28.6	x: 5 m = 1.9	x: 5 m = 4.8	x: 0 m = 14.7	x: 5 m = 11.2	x: 0.625 m = 8.9	x: 5 m = 8.2	x: 0 m = 30.3	x: 1.875 m = 48.2	x: 0 m = 46.6	CUMPLE = 48.2
N134/N148	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 0.7	x: 5 m = 0.7	< 0.1	x: 2.813 m = 17.6	x: 5 m = 40.4	x: 5 m = 2.3	x: 0 m = 4.4	x: 2.813 m = 3.3	x: 5 m = 18.0	x: 2.813 m = 3.1	x: 5 m = 16.4	x: 5 m = 41.1	x: 5 m = 19.1	x: 5 m = 44.9	CUMPLE = 44.9
N135/N149	w / t (w / t) _{máx.} Cumple	= 0.5	= 0.4	< 0.1	x: 2.5 m = 22.0	x: 5 m = 39.8	x: 5 m = 2.2	x: 0 m = 4.0	x: 2.5 m = 4.9	x: 5 m = 17.0	x: 2.5 m = 4.9	x: 5 m = 15.9	x: 5 m = 40.9	x: 0 m = 6.1	x: 5 m = 45.0	CUMPLE = 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) _{lim.} Cumple	= 1.4	= 13.7	x: 2.813 m < 0.1	x: 2.188 m = 22.3	x: 5 m = 36.4	x: 5 m = 2.2	x: 5 m = 4.4	x: 0.625 m = 6.4	x: 5 m = 14.6	x: 2.188 m = 5.0	x: 5 m = 13.3	x: 5 m = 36.2	x: 5 m = 51.7	x: 5 m = 54.4	CUMPLE = 54.4
N137/N151	x: 0 m w / t (w / t) _{lim.} Cumple	= 5.5	= 0.3	N.P. ⁽¹⁾	x: 1.825 m = 30.7	x: 0 m = 20.8	x: 0 m = 1.9	x: 4.867 m = 4.6	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	x: 1.825 m = 9.4	x: 0 m = 4.3	x: 2.434 m = 42.3	x: 0 m = 4.6	x: 0 m = 43.9	CUMPLE = 43.9
N138/N152	x: 5 m w / t (w / t) _{lim.} Cumple	= 1.8	= 8.7	< 0.1	x: 1.875 m = 28.3	x: 5 m = 38.1	x: 5 m = 2.2	x: 5 m = 4.5	x: 0 m = 11.6	x: 5 m = 16.3	x: 1.875 m = 8.0	x: 5 m = 14.6	x: 0 m = 30.9	x: 5 m = 49.9	x: 5 m = 52.4	CUMPLE = 52.4
N139/N153	w / t (w / t) _{lim.} Cumple	= 0.7	= 2.5	N.P. ⁽¹⁾	x: 0 m = 25.9	x: 5 m = 57.8	x: 5 m = 2.8	x: 0 m = 3.9	x: 0 m = 6.9	x: 5 m = 22.6	x: 0 m = 6.9	x: 5 m = 33.4	x: 5 m = 60.7	x: 5 m = 37.1	x: 5 m = 66.6	CUMPLE = 66.6
N140/N154	x: 4.375 m w / t (w / t) _{lim.} Cumple	= 0.6	= 5.5	x: 2.5 m < 0.1	x: 1.563 m = 26.3	x: 5 m = 54.8	x: 5 m = 2.7	x: 5 m = 3.8	x: 0 m = 13.5	x: 5 m = 16.3	x: 1.563 m = 6.9	x: 5 m = 30.1	x: 5 m = 56.7	x: 5 m = 54.0	x: 5 m = 62.2	CUMPLE = 62.2
N141/N155	w / t (w / t) _{lim.} Cumple	= 0.1	x: 5 m = 0.4	< 0.1	x: 0 m = 18.9	x: 5 m = 60.1	x: 5 m = 2.8	x: 0 m = 3.5	x: 0 m = 4.4	x: 5 m = 22.7	x: 0 m = 3.7	x: 5 m = 36.2	x: 5 m = 60.4	x: 5 m = 54.2	x: 5 m = 65.5	CUMPLE = 65.5
N142/N156	w / t (w / t) _{lim.} Cumple	= 0.3	= 1.1	< 0.1	x: 0 m = 13.6	x: 5 m = 60.4	x: 5 m = 2.8	x: 0 m = 3.3	x: 2.813 m = 3.7	x: 5 m = 21.5	x: 0 m = 2.0	x: 5 m = 36.5	x: 5 m = 60.7	x: 5 m = 36.7	x: 5 m = 66.0	CUMPLE = 66.0
N143/N157	w / t (w / t) _{lim.} Cumple	= 2.2	= 10.8	x: 2.813 m < 0.1	x: 2.188 m = 13.8	x: 5 m = 59.3	x: 5 m = 2.8	x: 5 m = 3.0	x: 1.25 m = 4.7	x: 5 m = 19.5	x: 2.188 m = 1.9	x: 5 m = 35.3	x: 5 m = 45.6	x: 5 m = 69.1	x: 5 m = 72.9	CUMPLE = 72.9
N144/N158	x: 0 m w / t (w / t) _{lim.} Cumple	= 3.7	= 0.7	N.P. ⁽¹⁾	x: 2.129 m = 21.5	x: 2.434 m = 23.6	x: 0 m = 1.7	x: 4.867 m = 3.3	N.P. ⁽²⁾	N.P. ⁽²⁾	x: 2.129 m = 4.6	x: 2.434 m = 5.6	x: 2.434 m = 39.7	x: 0 m = 5.6	x: 2.434 m = 38.7	CUMPLE = 39.7
N145/N159	x: 4.063 m w / t (w / t) _{lim.} Cumple	= 2.7	= 4.3	x: 4.375 m < 0.1	x: 1.875 m = 23.3	x: 5 m = 60.9	x: 5 m = 2.8	x: 5 m = 3.3	x: 0.313 m = 10.8	x: 5 m = 21.0	x: 1.875 m = 5.4	x: 5 m = 37.1	x: 5 m = 62.6	x: 5 m = 65.5	x: 5 m = 70.2	CUMPLE = 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, axial y torsión - Comprobación de Von Mises
 x: Distancia al origen de la barra
 : 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>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</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>															

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)																														
	<p>Nudos Características mecánicas</p> <p>Longitud Inicial Final (m) Area $I_x^{(1)}$ $I_y^{(1)}$ $I_t^{(2)}$ $x_g^{(3)}$ $y_g^{(3)}$ (cm²) (cm⁴) (cm⁴) (cm⁴) (mm) (mm)</p> <p>N45 N46 5.000 11.59 728.64 91.81 0.35 -14.43 0.00</p> <p>Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad</p>																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Pandeo</th> <th colspan="2">Pandeo lateral</th> </tr> <tr> <th>Plano ZX</th> <th>Plano ZY</th> <th>Ala sup.</th> <th>Ala inf.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>b</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>L_k</td> <td>5.000</td> <td>5.000</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> </tr> <tr> <td>C_m</td> <td>1.000</td> <td>1.000</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>C_b</td> <td colspan="2">-</td> <td colspan="2">1.000</td> </tr> </tbody> </table> <p>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</p>		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	
			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:

w / t: Limitaciones geométricas

T: Resistencia a tracción

P: Resistencia a compresión

Tr: Resistencia a torsión

Mx: Resistencia a flexión alrededor del eje X My: Resistencia a flexión alrededor del eje Y

Vx: Resistencia a corte en la dirección del eje X Vy: Resistencia a corte en la dirección del eje Y

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

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

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

MyVx: 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

TPTTrMV: 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: $w_1 / t \leq 90$

Donde: $w_1 / t : 21.40$ ok

w1: Longitud del tramo recto del elemento horizontal (paralelo al eje X).

w1 : 64.20 mm

t: Espesor. t : 3.00 mm

w2/t 200 w2 / t : 63.73 ok

Donde:

w2: Longitud del tramo recto del elemento vertical (paralelo al eje Y).

w2 : 191.20 mm

t: Espesor. t : 3.00 mm

w3 t 60 w3 / t : 6.47 ok

Donde:

w3: Longitud del tramo recto del rigidizador de borde.

w3 : 19.40 mm

t: Espesor. t : 3.00 mm

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

Se debe satisfacer:

Tf 1

Tc

$\eta_T : 0.029$

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

Donde:

Tf: Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga

LRFD. Tf : 0.772 t

Tc: Resistencia de diseño a tracción.

$T_c \leq T_n$

Donde:

Tc : 26.594 t

ϕ_t : Factor de resistencia para tracción. ϕ_t : 0.90

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

C2.1 Plastificación de la sección bruta.

Tn : 29.548 t

$T_n = A_g F_y$

Donde:

Tn : 29.548 t

Ag: Área de la sección bruta.

Ag : 11.59 cm²

Fy: Límite elástico del acero.

Fy : 2548.42 kg/cm²

3. Resistencia a compresión (C4)

Se debe satisfacer:

$\eta \leq 1.0$ ok

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

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

$1.2 \cdot PP + 1.2 \cdot COBERTURA + 1.2 \cdot RIEL + 1.2 \cdot GRUA + 0.8 \cdot VYY + 1.6 \cdot NIEVE$

Donde:

Pf: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga

LRFD Pf : 0.578 t

Pc: Resistencia de diseño a compresión.

P_c cPn

P_c : 4.715 t

ϕ_c : Factor de resistencia para compresión. ϕ_c :0.85

P_n : Resistencia nominal a compresión, tomada como el menor de los valores. PP_n 5.54 t

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

P_n AeFn P_n : 5.547

Donde:

Ae: Área de la sección eficaz.

Ae : 9.78 cm²

Para c 1.5

Donde:

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

$$c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \quad l_c : 1.98$$

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

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

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

Fcrit: Tensión crítica de pandeo, tomada como la menor de

Fex y Fey. Fcrit : 646.85 kg/cm²

Donde:

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

$$F_{ex} : 5133.74 \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

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

$$r_x : 79.27 \text{ mm}$$

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

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

$$F_{ey} : 646.85 \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

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

$$r_y : 28.14 \text{ mm}$$

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_y : 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:

$$\eta_{Tr} \frac{T_{rf}}{T_{rc}} \leq 1 \qquad \eta_{Tr} < 0.001 \text{ ok}$$

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. $T_{rf} : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$

T_{rc} : Resistencia de diseño a torsión.

$T_{rc} = \phi T_r T_{rn}$

Donde:

$T_{rc} : 0.016 \text{ t}\cdot\text{m}$

ϕT_r : Factor de resistencia para torsión, tomado de AISC-05.

$\phi T_r : 0.90$

T_{rn} : Resistencia nominal a torsión.

$T_{rn} = F_n C \qquad T_{rn} : 0.018 \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

C: Módulo resistente a torsión.

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

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

Donde:

J: Momento de inercia a torsión uniforme. **J** : 0.35 cm⁴

t: Espesor. **t** : 3.00 mm

$$F_n = 0.6 F_y$$

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

Donde:

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

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

Se debe satisfacer:

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

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

M_f: Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones de carga LRFD. **M_f** : 0.343 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 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•PP+0.9•COBERTURA+0.9•RIEL+0.9•GRUA+1.6•VYY.

M_{f-}: Resistencia requerida para flexión negativa. **M_{f-}** : 0.164 t•m

M_c: Resistencia de diseño a flexión.

$$M_c \phi_b M_n$$

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

Donde:

ϕ_b : Factor de resistencia para flexión. $\phi_b : 0.95$

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

$$M_n : 1.828 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_n^+ : 1.828 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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

$$M_n^- : 1.828 \text{ t}\cdot\text{m}$$

C3.1.1 Resistencia nominal de la sección.

$$M_n \leq S_{ex} F_y$$

$$M_n : 1.828 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

$$S_{ex} = \frac{I_{ex} - I_{xy}^2}{I_{ey} - I_{xy}}$$

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

Donde:

I_{ex} : Momento eficaz de inercia respecto al eje X. $I_{ex} : 728.64 \text{ cm}^4$

I_{ey} : Momento eficaz de inercia respecto al eje Y. $I_{ey} : 91.81 \text{ cm}^4$

I_{exy} : Producto eficaz de inercia. $I_{exy} : 0.00 \text{ cm}^4$ x : Distancia a la fibra extrema en flexión.

$x : 17.67 \text{ mm}$ y : Distancia a la fibra extrema en flexión.

$y : 101.60 \text{ mm}$

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:

$$\eta \frac{M_f}{M_c} \leq 1$$

η_e : 0.630 ok

M_f : Resistencia a flexión crítica requerida para las combinaciones 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.

$$M_c \geq \phi_b M_n$$

M_c : 0.406 t·m

Donde

ϕ_b : Factor de resistencia para flexión.

$$\phi_b : 0.95$$

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

$$M_n : 0.427 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_n^+ : 0.445 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$M_n^- : 0.427 \text{ t}\cdot\text{m}$$

C3.1.1 Resistencia nominal de la sección.

$$M_n \leq S_{ey} F_y$$

$$M_n^+ : 0.445 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_n^- : 0.427 \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

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

$$S_{ey}^+ : 17.48 \text{ cm}^3$$

$$S_{ey}^- : 16.77 \text{ cm}^3$$

I_{ex} : Momento eficaz de inercia respecto al eje X. $I_{ex}^+ : 728.64 \text{ cm}^4$

$I_{ex}^- : 723.08 \text{ cm}^4$

I_{ey} : Momento eficaz de inercia respecto al eje Y. $I_{ey}^+ : 91.81 \text{ cm}^4$

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

I_{exy} : Producto eficaz de inercia. $I_{exy} : 0.00 \text{ cm}^4$ x: Distancia a la fibra extrema en flexión. $x^+ :$

52.53 mm $x^- : 48.41 \text{ mm}$

y: Distancia a la fibra extrema en flexión. $y : 76.20 \text{ mm}$

F_y : Límite elástico del acero. $F_y : 2548.42 \text{ kg/cm}^2$

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

Se debe satisfacer:

Se debe satisfacer:

$$\eta \frac{V}{V_c} \leq 1$$

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

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N45, para la combinación de acciones

$$1.2 \cdot PP + 1.2 \cdot COBERTURA + 1.2 \cdot RIEL + 1.2 \cdot GRUA + 0.8 \cdot VXX + 1.6 \cdot NIEVE.$$

Donde:

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

$$V_f : 0.081 \text{ t}$$

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.

Vc: Resistencia de diseño a cortante.

$$V_c \phi_v V_n$$

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

Donde:

ϕ_v : Factor de resistencia para cortante. $\phi_v : 0.95$

Vn: La resistencia nominal a cortante es el menor de los valores calculados según la Sección C3.2.1. $V_n : 2.945 \text{ t}$

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

$$V_n A_w F_v$$

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

Donde:

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

$$A_w h t$$

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

$$\frac{h}{t} F_y \sqrt{E k_v}$$

$$F_v = 0.6 F_y$$

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

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

Para 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:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N45, para la combinación de acciones

$1.2 \cdot PP + 1.2 \cdot COBERTURA + 1.2 \cdot RIEL + 1.2 \cdot GRUA + 1.6 \cdot NIEVE.$

Donde:

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

$V_f : 0.294$ t

V_c : Resistencia de diseño a cortante.

$V_c \geq \phi_v V_n$

$V_c : 8.332$ 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.

$V_n : 8.771$ t

C3.2.1 Resistencia a cortante del alma descontando los agujeros

$$V_n A_w F_v \qquad V_n : 8.771 \text{ t}$$

Donde:

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

$$A_w = h t \qquad A_w : 5.74 \text{ cm}^2$$

Donde:

h : Altura del tramo recto del alma. $h : 191.20 \text{ mm}$

t : Espesor de los elementos paralelos a la dirección del cortante. $t : 3.00 \text{ mm}$

(a)

$$\frac{h}{t} F_y \sqrt{\frac{E}{K_v}}$$

Donde:

h : Altura del tramo recto del alma.

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

E : Módulo de Young.

F_y : Límite elástico del acero.

1. Para almas sin rigidizadores transversales:

K_v : Coeficiente de abolladura por cortante.

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

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

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

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

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

$$K_v : 5.34$$

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

Se debe satisfacer:

$$B \eta \frac{M_f}{M_c R} \leq 1$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N46, para la combinación de acciones

$$1.2 \cdot PP + 1.2 \cdot COBERTURA + 1.2 \cdot RIEL + 1.2 \cdot GRUA + 0.2 \cdot NIEVE - SY.$$

Donde:

Mf: Resistencia requerida para flexión positiva.

Mf : 0.193 t·m

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

Mc : 1.736 t·m

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

$$R = \frac{f_{bx}}{f_{bx} + f_{Tr}}$$

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 mm

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

y : 101.60 mm

fbx: Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje X.

fbx: Tensión normal debida a la flexión alrededor del eje X.

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

Donde:

Mfx: Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD.

Mfx : 0.193 t·m

Ix: Momento de inercia respecto al eje X.

Ix : 728.64 cm⁴

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

f_{Tr} : 0.18 kg/cm²

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

(C3.6)

Se debe satisfacer:

$$B \leq \eta \frac{M_f}{M_c R} \leq 1$$

ηB : 0.200 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 t·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.

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

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.

$$f = M \frac{-X}{I_{ey} f_y}$$

$$F_{by} : -525.06 \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

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

$M_{fy} : 0.081 \text{ t}\cdot\text{m}$

I_{ey} : Momento eficaz de inercia respecto al eje Y. $I_{ey} : 81.21 \text{ cm}^4$

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

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

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

Se debe satisfacer:

$$\eta \leq 1 \quad \eta : 0.039$$

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.

$$\eta = \frac{\left(\frac{M_{fx}}{M_{cx}} \right)^2 + \left(\frac{V_{fy}}{V_{cy}} \right)^2}{1}$$

$$\eta : 0.039$$

Donde:

M_{fx} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. $M_{fx} : 0.343 \text{ t}\cdot\text{m}$ M_{cx} : Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje X. $M_{cx} : 1.736$

$t\cdot\text{m}$ V_{fy} : Resistencia a cortante requerida en la dirección del eje Y para las combinaciones de carga LRFD. $V_{fy} : 0.003 \text{ t}$

V_{cy} : Resistencia de diseño a cortante en la dirección del eje Y. $V_{cy} : 8.332 \text{ t}$

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.

$$\eta = \frac{\sqrt{\left(\frac{M_{fy}}{M_y}\right)^2 + \left(\frac{V_{fx}}{V_x}\right)^2}}{\left(\frac{M_{fy}}{M_y}\right) + \left(\frac{V_{fx}}{V_x}\right)}$$

$$\eta : 0.398$$

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_y : Resistencia de diseño a flexión alrededor del eje Y. $M_y : 0.406 \text{ t}\cdot\text{m}$

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_x : Resistencia de diseño a cortante en la dirección del eje X.

$$V_x : 2.798 \text{ t}$$

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

Se debe satisfacer:

$$\eta_r \leq 1$$

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

$$\eta \leq 1$$

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

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:

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

$$\eta_r : 0.559$$

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

$$M_{nxt} \quad S_{f_{tx}} F_y$$

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

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

$$S_{f_{tx}} : 71.72 \text{ cm}^3$$

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

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

$$M_{nyt} = S_{f_{ty}} F_y$$

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

Donde

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

$$S_{f_{ty}} : 17.48 \text{ cm}^3$$

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

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.

$$M_{ny} : 0.427 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

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

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

(b) Se debe satisfacer el siguiente criterio si $\frac{P_f}{\phi_c P_n} + \frac{M_{fx}}{\phi_{bx} M_{nx}} + \frac{M_{fy}}{\phi_{by} M_{ny}} \leq 0.15$

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

$$\eta : 0.693 \text{ ok}$$

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+0.5·VIVA+1.6·NIEVE.

Donde:

ϕ_c : Factor de resistencia para compresión. $\phi_c : 0.85$

P_f : Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD. $P_f : 0.483 \text{ t}$ P_n : Resistencia nominal a compresión según la Sección C4. $P_n : 5.547 \text{ t}$ 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. $M_{fx} : 0.139 \text{ t}\cdot\text{m}$

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. $\phi_{by} : 0.95$

acciones $1.2 \cdot PP + 1.2 \cdot COBERTURA + 1.2 \cdot RIEL + 1.2 \cdot GRUA + 0.5 \cdot VIVA + 1.6 \cdot NIEVE$.

Donde:

ϕ_c : Factor de resistencia para compresión. $\phi_c : 0.85$

P_f : Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD. $P_f : 0.483 \text{ t}$ P_n : Resistencia nominal a compresión según la Sección C4. $P_n : 5.547 \text{ t}$ 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. $M_{fx} : 0.139 \text{ t}\cdot\text{m}$ 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. $M_{fy} : 0.207 \text{ t}\cdot\text{m}$

M_{ny} : Resistencia nominal a flexión alrededor del eje Y según la Sección C3.1. $M_{ny} : 0.427 \text{ t}\cdot\text{m}$

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:

$$\left| \frac{f_a}{F_a} \quad \frac{f_{bx}}{F_{bx}} \quad \frac{f_{by}}{F_{by}} \right| \leq 1 \quad \eta : 0.732 \text{ ok}$$

$$\left| \frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} \quad \frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} \quad \frac{f_{Tr}}{F_{Tr}} \right| \leq 1 \quad \eta : 0.010 \text{ ok}$$

$$\left[\left(\frac{f_a}{F_a} \right)^2 + \left(\frac{f_{bx}}{F_{bx}} \right)^2 + \left(\frac{f_{by}}{F_{by}} \right)^2 + \left(\frac{f_{Vx}}{F_{Vx}} \right)^2 + \left(\frac{f_{Vy}}{F_{Vy}} \right)^2 + \left(\frac{f_{Tr}}{F_{Tr}} \right)^2 \right] \leq 1 \quad \eta : 0.536 \text{ ok}$$

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+0.5·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.

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

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

Donde:

M_{bx} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje X para las combinaciones de carga LRFD. $M_{bx} : -0.139 \text{ t}\cdot\text{m}$

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.

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

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

Donde:

M_{by} : Resistencia requerida a flexión respecto al eje Y para las combinaciones de carga LRFD. $M_{by} : -0.207 \text{ t}\cdot\text{m}$

I_y : Momento eficaz de inercia respecto al eje Y. $I_y : 81.21 \text{ cm}^4$

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_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.

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

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

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

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

3.5.4. Diseño de pórticos principales

A. Metrado de cargas

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

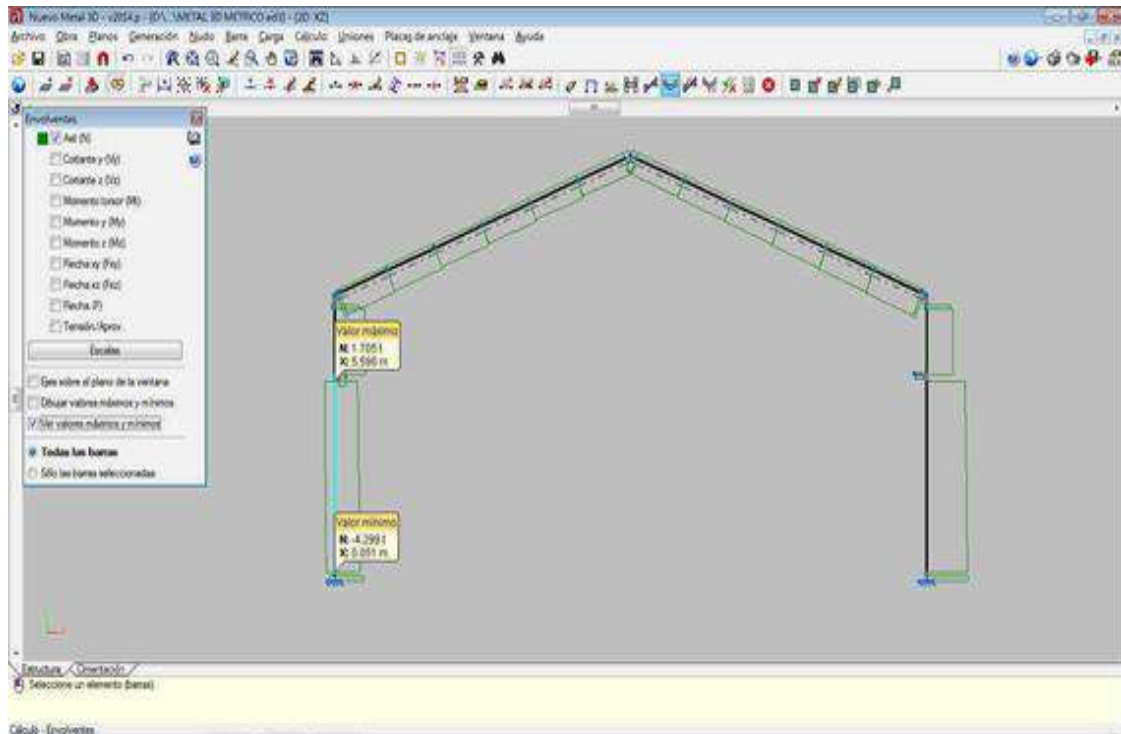
Debido a que las cargas actúan en la cobertura y cerramientos, los cuales transmiten a los pórticos, excepto las cargas de sismo, no se adicionan cargas adicionales para el diseño.

B. Análisis estructural

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

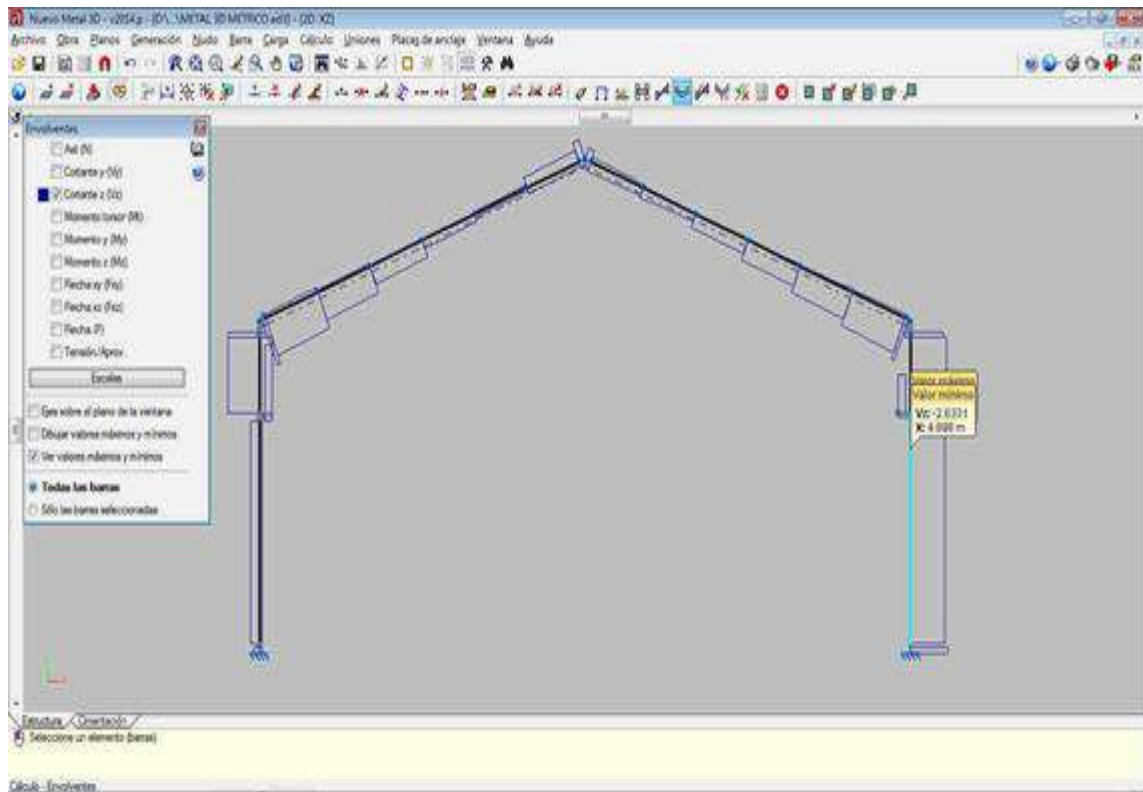
Los resultados del análisis del pórtico principal, se muestran en las siguientes figuras.

Figura n° 27 Esfuerzos axiales en el pórtico



Esfuerzos axiales en el pórtico

Figura n° 28 Esfuerzos cortantes en el pórtico



Esfuerzos cortantes en el pórtico

Figura n° 29 Diagrama de momentos flectores

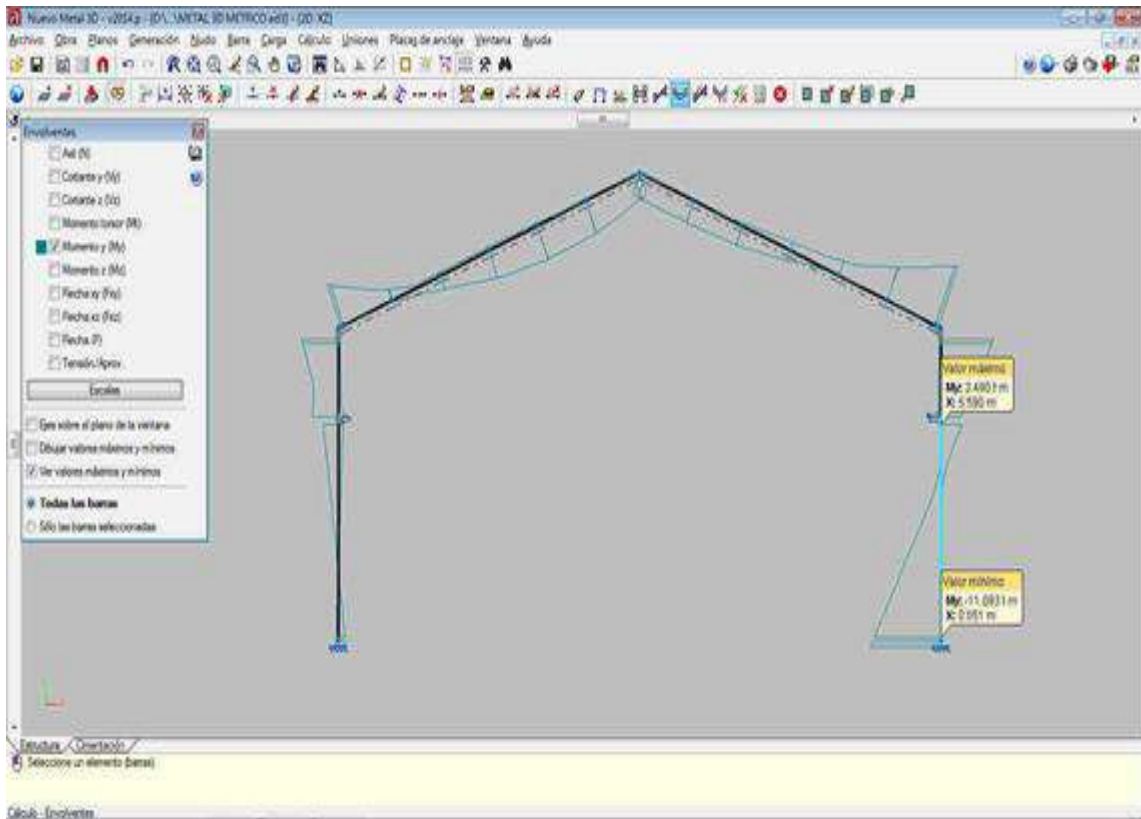
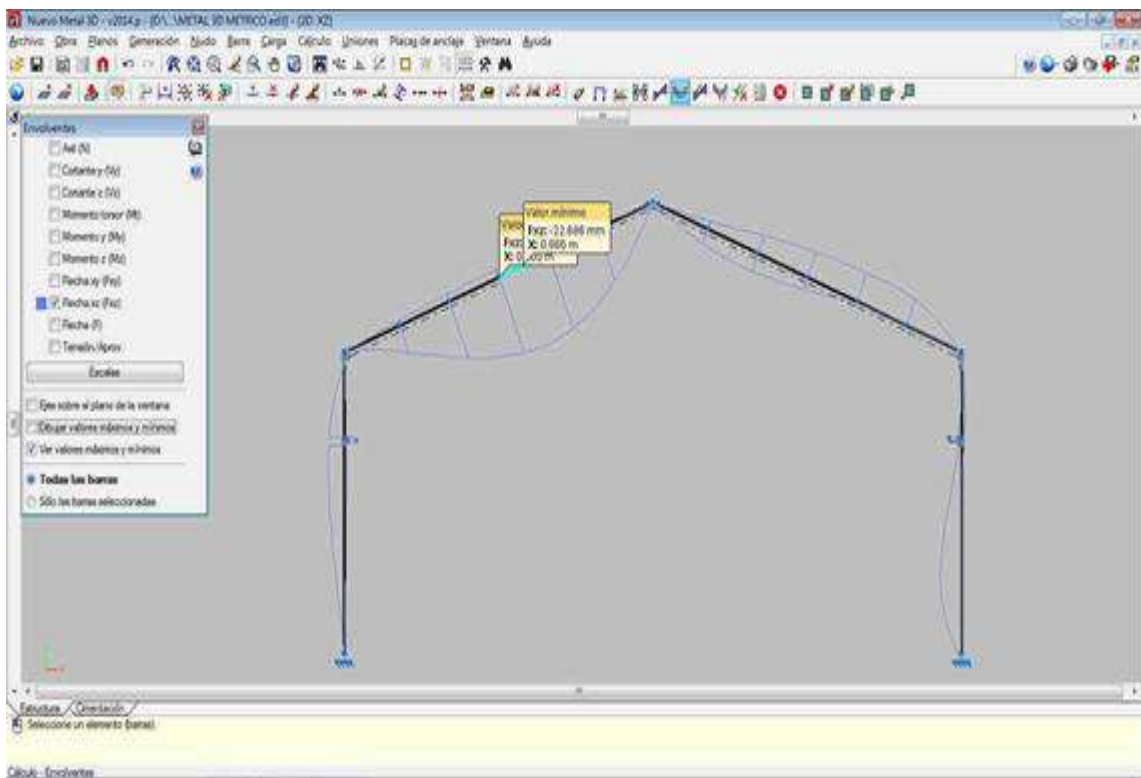


Diagrama de momentos flectores

Figura n° 30 Deformada de la estructura



Deformada de la estructura

C. Pre diseño 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

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

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° 10 Solicitaciones en elementos de Vigas de pórtico

Barras	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-10 (LRFD))								Estado
	P _t	I _b	P _c	M _x	M _y	V _x	V _y	P.M.V.V.V.I.	
N1/N19	N.P. ^(*)	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. ^(*)	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. ^(*)	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. ^(*)	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. ^(*)	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. ^(*)	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. ^(*)	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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	l ≤ 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⁾	l ≤ 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⁾	l ≤ 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⁾	l ≤ 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⁾	l ≤ 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⁾	l ≤ 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⁾	l ≤ 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⁾	l ≤ 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⁾	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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⁾	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	I ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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⁾	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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	l ≤ 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⁾	l ≤ 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⁾	l ≤ 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⁾	l ≤ 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	I _c	P _c	M _x	M _y	V _x	V _y	PM _x MyV _x	
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 _x MyV _x V _y T: 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

Para la verificación de diseño seleccionamos el elemento con mayor sollicitación

Perfil: W12x30 Material: Acero (A36)		Nudos		Longitud	Características mecánicas		
Inicial	Final		(m)	Área (cm ²)	I _x ¹ , I _t ² (cm ⁴)	(1) (cm ⁴)	(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.		
		1.00	1.00	0.00	0.00		
L _k	1.732	1.732		0.000	0.000		
C _b		-		1.000			
Notación: : Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _b : Factor de modificación para el momento crítico							

Figura n° 31 comprobaciones (ansi/aisc 360-10 (lrfd))

Barra	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-10 (LRFD))								Estado
	P _t	c	P _c	M _x	M _y	V _x	V _y	PM _x MyV _x V _y	
N139/N141	x: 1.732 m	200.0	x: 0 m	x: 0 m	x: 0 m	= 0.2	x: 0 m	x: 0 m	CUMPLE
Notación: P _t : Resistencia a tracción 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 MyV _x V _y T: Esfuerzos combinados y torsión x: Distancia al origen de la barra : Coeficiente de aprovechamiento (%)									

Barra	COMPROBACIONES (ANSI/AISC 360-10 (LRFD))								Estado
	P _t	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:

$$T : \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

T : 0.004 OK

El axil de tracción solicitante de cálculo pésimo Pr 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:

Pr: Resistencia a tracción pa l
 combinaciones de carga $\frac{P}{P} = \frac{0.494}{130.50}$
Pc: Resistencia de diseño a

Pc tPn

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:

t: Factor de resistencia a tracción, tomado como:

t : 0.90

a) Para fluencia bajo tracción en la sección bruta:

Pn Fy A (D2 1) $P_n : \underline{145.005 t}$

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra.

A : 56.90 cm²

Fy: Límite elástico mínimo especificado

Fy : 2548.42 Kg/cm²

2. Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

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

200 : **45 OK**

Donde:

Coeficiente de esbeltez

KL : 45r

Donde:

L: Longitud de la barra

L : 10684 m

K: Factor de longitud efectiva.

K : 0.16

ry: Radio de giro respecto al eje Y

ry : 3.88 c

Donde: r

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

ry : 3.88 cm

y A

Donde:

Iy: Momento de inercia respecto al eje Y

Iy : 855.00 cm⁴

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

A : 56.90 cm²

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:

$$T \leq \frac{P_r}{P_c} \leq 1 \quad T : \underline{0.032} \text{ OK}$$

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:

Pr: Resistencia a compresión requerida para las

de carga LRFD

Pr : 3.719

Pc: Resistencia de diseño a compresión

Pc : 117.398

Pc pPn

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:

p: Factor de resistencia a compresión, tomado como: **p :** 0.90

Pn: Resistencia nominal a compresión, calculada

según el Artículo E7-1-2: **Pn :** 130.442 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
Fcr: Tensión de pandeo por flexión, tomada como: **Fcr :** 2292.47 Kg/cm²

Donde

a) Cuando: $\frac{Q F_x}{F_e} \geq 2.25$

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

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

$$F_e = \frac{E C_1}{K_z L_{xy} \sqrt{I_x + I_y}}$$

F_e : _____

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

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

I_x : 9920.00 cm⁴

I_y: Momento de inercia respecto al eje

I_y : _____

Donde:

$$F_e = \frac{\pi^2 E I_y}{(K L)^2} > F_y$$

F_e: Tensión crítica elástica de pandeo,
 tomada como la menor de: **F_e** : 10077.72 Kg/cm²

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.

L: Longitud de la barra

r: Radio de giro dominante

K_x : 0.16

K_y : 0.16

L : 10684 mm

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 : 855.00 cm⁴

A: Área total de la sección transversal de la barra. **A** : 56.90 cm²

Q : 1.00

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

Q_s: se calcula de la siguiente forma: **Q_s** : 1.00

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

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

Donde:

A: Área total de la sección transversal de la barra. **A : 56.90 cm²**

A : Suma de las áreas eficaces de la sección transversal basadas en el ancho eficaz reducido 'h_e'.
A_{eff} : 56.90 cm²

a) en elementos esbeltos uniformemente comprimidos, excepto alas de secciones cuadradas y rectangulares de espesor uniforme **h_e : 290.60 mm**

Q_s 1.0

Q_s : 1.00

4.

Donde:

b: Ancho del elemento comprimido no rigidizado **b : 83.00 mm**

t: Espesor del ala **t : 11.20 mm**

E: Módulo de elasticidad del acero **E : 2038735.98 Kg/cm²**

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

F_y : 2548.42 Kg/cm²

Q_a $\frac{A_g}{A_{eff}}$

Q_a : 1.00

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

h_e h

h_e : 290.60 mm

Donde:

h: Ancho del elemento comprimido no rigidizado

h : 290.60 mm

t: Espesor del alma

t : 6.60 mm

E: Módulo de elasticidad del acero **E : 2038735.98 Kg/cm²**

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).

Donde

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\phi \frac{M_r}{M_c} \leq 1$$

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

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

Donde

Donde:

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

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

M_c : Resistencia de diseño a flexión

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

$$M_c \leq \phi_b M_n$$

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 $\phi_b : 0.90$

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

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

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

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

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado $F_y : 2548.42$

Kg/cm^2

Z_x : Módulo resistente plástico respecto al eje X $Z_x : 708.00 \text{ cm}^3$

Pandeo lateral

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

Donde:

L_b : Distancia entre puntos de arriostramiento al desplazamiento lateral del ala comprimida o de la torsión de la sección transversal $L_b : 0 \text{ mm}$

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

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

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero

$$E : \frac{2038735.9}{8} \text{ Kg/cm}^2$$

F_y : Límite elástico mínimo especificado

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

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

$$r_y : \underline{\quad\quad\quad}$$

Donde:

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y

$$I_y : \frac{855.00}{\quad} \text{ cm}^4$$

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

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

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:

$$\phi M_n \geq M_r$$

$$\phi : \underline{0.044} \text{ OK}$$

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

Donde:

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

$$M_r : \frac{0.159}{\quad} \text{ t}\cdot\text{m}$$

M_c : Resistencia de diseño a flexión

$$M_c : \frac{3.624}{\quad} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_c \phi_b M_n$$

$$M_c \phi_b M_n$$

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 $\phi_b : 0.90$

M_n : La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 6, Sección 1 $M_n : 4.027 \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

M_r : Resistencia a flexión requerida

$$M_r^+ : \underline{0.045} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_r^- : \underline{0.159} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Fluencia

$$M_n M_b \quad F_y Z_y \quad 1.6 F_y S_y$$

$$M_n : \underline{4.027} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado $F_y : 2548.42 \text{ Kg/cm}^2$

Z_y : Módulo resistente plástico respecto al eje Y $Z_y : 158.00 \text{ cm}^3$

S_y : Módulo resistente elástico respecto al eje Y

Donde

$$S_y = \frac{I_y}{x}$$

$$S_y : \underline{103.01} \text{ cm}^3$$

Donde:

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y $I_y : 855.00 \text{ cm}^4$

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

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:

$$v \eta \frac{V}{V_c} \leq 1$$

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

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+0.5·VXX+1.6·NIEV E.

Donde:

V_r : Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD $V_r : 0.123 \text{ t}$

V_c : Resistencia de diseño a cortante

$$V_c \phi_v V_n$$

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

Donde:

ϕ_v : Factor de resistencia a cortante $\phi_v : 0.90$

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).

$$V_n \leq 0.6 F_y A_w C_v$$

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

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado $F_y : 2548.42$ Kg/cm²

$A_w 2b_f t_f$ $A_w : 37.18 \text{ cm}^2$

Donde:

b_f : Anchura total del ala $b_f : 166.00 \text{ mm}$
 t_f : Espesor del ala $t_f : 11.20 \text{ mm}$

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: v

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

$C_v 1.0$ $C_v : 1.00$

Donde:

b : La mitad del ancho total del ala $b : 83.00 \text{ mm}$
 t_f : Espesor del ala $t_f : 11.20 \text{ mm}$
 E : Módulo de elasticidad del acero $E : 2038735.9 \text{ Kg/cm}^2$
 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:

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$v \eta \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

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

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.

V_r : Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD $V_r : 2.442 \text{ t}$

V_c : Resistencia de diseño a cortante $V_c \phi V_n$

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

En la Sección G2.1 a: v : Factor de resistencia a cortante $v : 1.00$

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).

$$V_n \leq 0.6 F_y A_w C_v$$

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

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado $F_y : 2548.42 \text{ Kg/cm}^2$

$$A_w d t_w$$

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

Donde:

d : Canto total

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

t_w : Espesor del alma

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

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

$C_v : \underline{1.00}$

Donde:

C_v : Coeficiente de cortante del alma	C_v :	<u>1.00</u>
Donde:		
h : Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo	h :	<u>290.60</u> mm
E : Módulo de elasticidad del acero	E :	<u>2038735.98</u> Kg/cm ²

Comprobación de rigidizadores transversales

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

No son necesarios rigidizadores transversales.

Donde:

h : Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo	h :	<u>290.60</u>	mm
t_w : Espesor del alma	t_w :	<u>6.60</u>	mm
E : Módulo de elasticidad del acero	E :	<u>2038735.98</u>	Kg/cm ²
F_y : Límite elástico mínimo especificado	F_y :	<u>2548.42</u>	Kg/cm ²

8. Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

$$\eta < 1: 0.686 \text{ OK}$$

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:

$$\eta = \frac{T}{T_c} < \underline{0.001 \text{ OK}}$$

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:

critérios para la tensión de Von Mises:

$$\sqrt{\frac{f_a^2 + f_{bx}^2 + f_{by}^2}{F_a^2 + F_{bx}^2 + F_{by}^2}} : \underline{0.686 \text{ OK}}$$

$$\sqrt{\frac{f_{vx}^2 + f_{vy}^2 + f_T^2}{F_{vx}^2 + F_{vy}^2 + F_T^2}} < \underline{0.001 \text{ OK}}$$

$$\sqrt{\frac{f_a^2 + f_{bx}^2 + f_{by}^2 + f_{vx}^2 + f_{vy}^2 + f_T^2}{F_a^2 + F_{bx}^2 + F_{by}^2 + F_{vx}^2 + F_{vy}^2 + F_T^2}} : \underline{0.471 \text{ OK}}$$

Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas

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

$$T_c T_n \qquad T_c : 0. \text{t} \cdot \text{m}$$

Tr: Resistencia a torsión requerida **Tr** : 0.000 t·m

$$T_c T_n \qquad T_c : 0.235 \text{ t} \cdot \text{m}$$

Donde:

τ: Factor de resistencia para torsión **τ** : 0.90

Tn: Resistencia nominal a torsión, definida como:

$$T_n F_n C \qquad T_n : \underline{0.261} \text{ t} \cdot \text{m}$$

Donde:

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

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

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

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.

$$f_a = \frac{P_r}{A} \qquad f_a : \underline{65.36 \text{ Kg/cm}^2}$$

Donde:

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

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

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.

$$f_{bx} = \frac{M_{rx} y}{I_x} \qquad f_{bx} : \underline{1347.32 \text{ Kg/cm}^2}$$

Donde:

M_{rx} : Resistencia requerida a flexión alrededor del eje x (para las combinaciones de carga LRFD). $M_{rx} : 8.540 \text{ t}\cdot\text{m}$

I_x : Momento de inercia respecto al eje X $I_x : 9920.00 \text{ cm}^4$

y : Coordenada y del punto pésimo respecto al centro de gravedad. $y : -156.50 \text{ mm}$

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

$$f_{by} = \frac{M_{ry} x}{I_y} \qquad f_{by} : \underline{154.29 \text{ Kg/cm}^2}$$

Donde:

M_{ry} : Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD). $M_{ry} : 0.159 \text{ t}\cdot\text{m}$

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y $I_y : 855.00 \text{ cm}^4$

x : Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad. $x : -83.00 \text{ mm}$

$$f_{by} = \frac{M_x}{I_y}$$

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

Donde:

M_{ry}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD). **M_{ry}** : 0.159 t·m

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y **I_y** : 855.00 cm⁴

x: Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad. **x** : -83.00 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** : 0.123 t

Q_y: Momento estático respecto del eje y de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. **Q_y** : 0.00 cm³

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y **I_y** : 855.00 cm⁴

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. **b** : 11.20 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** : 2.290 t

Q_x: Momento estático respecto del eje x de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. **Q_x** : 0.00 cm³

I_x: Momento de inercia respecto al eje X **I_x** : 9920.00 cm⁴

b: Espesor del elemento en el punto pésimo.

$$b : 11.20$$

mm

f_T: Tensión tangencial debida a torsión.

$$f_{bT}$$

$$f_T : -0.25 \text{ Kg/cm}^2$$

$$T_{Jr}$$

Donde:

Tr: Resistencia requerida a torsión las combinaciones

de carga LRFD). 0.000 t·m

J: Momento de inercia a torsión uniforme 19.10 cm⁴

b: Espesor del elemento en el punto pésimo. 11.20 mm

Fa: Resistencia a compresión de la sección.

FacFcr **Fa : 2063.23 Kg/cm²**

Donde:

c: Factor de seguridad para compresión. **c : 0.90**

Fcr: Resistencia crítica de pandeo (calculada según el Capítulo E).

Fcr : 2292.47 Kg/cm²

Fbx, Fby: Resistencia de la sección a flexión alrededor de los ejes x y y, respectivamente. **Fbx Fby bFy**

Donde:

b: Factor de resistencia para flexión. **b : 0.90**

Fy: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

Fy : 2548.42 Kg/cm²

FVx, FVy: Resistencia de la sección a cortante en las direcciones x y y respectivamente.

bx : 2293.58 Kg/cm²

Fby : 2293.58 Kg/cm²

FVx : 1324.20 Kg/cm² **FVx FVy vFy / 3**

Donde: **FVy: 1324.20 Kg/cm²**

V: Factor de resistencia para cortante.

V : 0.90

Fy: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

Fy : 2548.42 Kg/cm²

FT: Resistencia a torsión de la sección.

FT TFy / 3 **FT : 1324.20 Kg/cm²**

Donde:

T: Factor de resistencia para torsión T : 0.90

Fy: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

Fy : 2548.42 Kg/cm²

E. Verificación de diseño de columnas del pórtico

Verificamos las solicitaciones en las columnas de los pórticos.

Cuadro n° 11 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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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

Notación:

P_t : Resistencia a tracción
 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.

Realizamos la verificación de diseño para la columna más crítica.

Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	(1) (cm ⁴)	I_y (cm ⁴)	(2) (cm ⁴)	
N206	N246	0.200	75.90	12900.00	1830.00	39.70

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.
	1.00	1.00	0.00	0.00
L_k	0.200	0.200	0.000	0.000
C_b	-		1.000	

Notas:
 (1) Inercia respecto al eje indicado
 (2) Momento de inercia a torsión uniforme

Notación:
 I_x : 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	c	P_c	M_x	M_y	V_x	V_y	$PM_xM_yV_xV_yT$	
N206/N246	N.P. ⁽¹⁾	200.0 Cumple	$x: 0$ m = 4.0	$x: 0$ m = 55.2	$x: 0$ m = 3.4	= 0.1	= 8.3	$x: 0$ m = 65.0	CUMPLE = 65.0

Notación:
 P_t : Resistencia a tracción
 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.

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*:

$$200 : \quad 40k$$

Donde:

: Coeficiente de esbeltez

$$\frac{KL}{r} \quad : \quad \underline{4}$$

Donde:

L: Longitud de la barra **L:** 8023 mm

K: Factor de longitud efectiva. **K:** 0.02

r_y: Radio de giro respecto al eje Y **r_y:** 4.91 cm

Donde:

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

$$r_y : \underline{4.91 \text{ cm}}$$

Donde:

I_y: Momento de inercia respecto al eje Y **I_y:** 1830.00 cm⁴

A: Área total de la sección transversal de la barra. **A:** 75.90 cm²

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:

$$\tau = \frac{P_r}{P_c} < 1 \quad \tau : \underline{0.040} \text{ ok}$$

El axil de compresión solicitante de cálculo pésimo P_r se produce en el nudo N206, para la combinación de hipótesis
 1.2·PP+1.2·COBERTURA+1.2·RIEL+1.2·GRUA+0.5·VIVA+1.6·NIEVE.

Donde:

P_r : Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD $P_r : \underline{7.033} \text{ t}$

P_c : Resistencia de diseño a compresión $P_c : \underline{173.930} \text{ t}$

$$P_{cp} P_n$$

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 : Factor de resistencia a compresión, tomado como: $\phi : \underline{0.90}$

P_n : Resistencia nominal a compresión, calculada según el Artículo E3-A: $P_n : \underline{193.255} \text{ t}$

$$P_n F_{cr} A$$

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. $A : 75.90 \text{ cm}^2$

F_{cr} : Tensión de pandeo por flexión, tomada como: $F_{cr} : 2546.18 \text{ Kg/cm}^2$

i) Cuando: $\frac{F_y}{F_e} > 2.25$

$$F_{cr} = \left[\begin{matrix} E \\ 0.658 F_e \end{matrix} \right] F_y$$

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras $F_y : 2548.42 \text{ Kg/cm}^2$

F_e : Tensión crítica elástica de pandeo, tomada como la menor de: $F_e : 1212858.27 \text{ Kg/cm}^2$

$$\frac{E}{(KL)^2}$$

$$(r)$$

$F_{ex} : \underline{8549656.69} \text{ Kg/cm}^2$

$F_{ey} : \underline{1212858.27} \text{ Kg/cm}^2$

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:

$$M \leq \phi \frac{M_r}{M_c}$$

M : 0.552 ok

El momento flector solicitante de cálculo pésimo, Mr, 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:

Mr: Resistencia a flexión requerida para las carga LRFD

Mr : 11.908 t·m

Mc: Resistencia de diseño a flexión

Mc : 21.583 t·m

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:

b: Factor de resistencia a flexión **b** : 0.90

Mn: La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 2, Sección 1 **Mn** : 23.981 t·m

Fluencia

$M_n = M_p = F_y Z_x$

Mn : 23.981 t·m

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado F_y : 2548.42 Kg/cm²

Z_x : Módulo resistente plástico respecto al eje X Z_x : 941.00 cm³

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 arriostramiento al desplazamiento lateral del ala comprimida o de la torsión de la sección transversal L_b : 0 mm

Donde

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y I_y : 1830.00 cm⁴

A : Área total de la sección transversal de la barra. A : 75.90 cm²

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:

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:

Mr: Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de

carga LRFD	Mr :	<u>0.214 t·m</u>
Mc: Resistencia de diseño a flexión	Mc :	<u>6.307 t·m</u>

$$M_c \leq \phi_b M_n$$

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:

$$M_r = 0.168 \text{ t·m}$$

Donde:

b: Factor de resistencia a flexión **b** : 0.90

Mn: La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 6, Sección 1 **Mn** : 7.008 t·m

Donde:

Mr: Resistencia a flexión requerida **Mr** : 0.214

t·m **Fluencia**

$$M_n \leq \phi_b M_p = \phi_b F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y \quad \text{Mn : } \underline{7.008} \text{ t·m}$$

Donde:

Fy: Límite elástico mínimo especificado

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

Zy: Módulo resistente plástico respecto al eje Y

$$Z_y : 275.00 \text{ cm}^3$$

Sy: Módulo resistente elástico respecto al eje Y

$$S_y : 80.30$$

Donde:

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y $I_y : 1830.00 \text{ cm}^4$

x : Distancia a la fibra extrema en flexión desde el baricentro $x : 101.50 \text{ mm}$

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:

$$v \eta \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

$$v : \underline{0.001} \text{ ok}$$

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 $V_r : 0.047 \text{ t}$

V_c : Resistencia de diseño a cortante

$$V_c \phi_v V_n$$

$$V_c : \underline{73.192} \text{ t}$$

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

ϕ_v : Factor de resistencia a cortante $\phi_v : 0.90$

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).

$$V_n \leq 0.6F_y A_w C_v$$

$$V_n : \underline{81.324} \text{ t}$$

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado $F_y : 2548.42 \text{ Kg/cm}^2$

$$A_w = 2b_f t_f$$

$$A_w : 53.19 \text{ cm}^2$$

Donde:

b_r: Anchura total del ala **b_r** : 203.00 mm

t_r: Espesor del ala **t_r** : 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:

$$i) \frac{b}{t_r} \frac{1.10 k E}{F_y \sqrt{v}}$$

C_v 1.0

C_v : 1.00

Donde:

b: La mitad del ancho total del ala

b : 101.50 mm

t_r: Espesor del ala

t_r : 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:

$$v \eta \frac{V_r}{V_c} \leq 1$$

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+0.5·VXX+1.6·NIEVE.

Donde:

V_r: Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD **V_r** : 2.870 t

V_c: Resistencia de diseño a cortante

$$V_c \phi_v V_n$$

V_c : 34.748 t

La resistencia de diseño a cortante viene dada por:

Donde:

En la Sección G2.1 a:

v: Factor de resistencia a cortante **v** : 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).

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v \quad V_n : 34.748 \text{ t}$$

Donde:

$$F_y : \text{Límite elástico mínimo especificado } F_y : 2548.42 \text{ Kg/cm}^2$$

$$A_w dt_w \quad A_w : 22.73 \text{ cm}^2$$

Donde:

$$d : \text{Canto total} \quad d : \frac{303.00}{7.50} \text{ mm}$$

$$t_w : \text{Espesor del alma} \quad t_w : 7.50 \text{ mm}$$

Resistencia nominal a cortante

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

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

$$C_v : \text{Coeficiente de cortante del alma} \quad C_v : 1.00$$

Donde:

$$h : \text{Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo} \quad h : 276.80 \text{ mm}$$

$$E : \text{Módulo de elasticidad del acero } E : 2038735.98 \text{ Kg/cm}^2$$

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:

$$h : \text{Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo } h : 276.80 \text{ mm}$$

$$t_w : \text{Espesor del alma } t_w : 7.50 \text{ mm}$$

$$E : \text{Módulo de elasticidad del acero } E : 2038735.98 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_y : \text{Límite elástico mínimo especificado } F_y : 2548.42 \text{ Kg/cm}^2$$

8. Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio: $\eta \leq 1$: 0.650 ok

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo

N206, para la combinación de acciones

$$1.2 \cdot PP + 1.2 \cdot COBERTURA + 1.2 \cdot RIEL + 1.2 \cdot GRUA + 0.5 \cdot VXX + 1.6 \cdot NIEVE.$$

Donde:

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

$$\eta = \frac{T_r}{T_c} \leq 1 \quad < \mathbf{0.001} \text{ ok}$$

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:

$$\sqrt{\frac{f_a^2 + f_{bx}^2 + f_{by}^2}{F_a^2 + F_{bx}^2 + F_{by}^2}} \leq 1 \quad : \mathbf{0.650} \text{ ok}$$

$$\sqrt{\frac{f_{vx}^2 + f_{vy}^2 + f_T^2}{F_{vx}^2 + F_{vy}^2 + F_T^2}} \leq 1 \quad < \mathbf{0.001} \text{ ok}$$

$$\sqrt{\frac{f_a^2 + f_{bx}^2 + f_{by}^2 + f_{vx}^2 + f_{vy}^2 + f_T^2}{F_a^2 + F_{bx}^2 + F_{by}^2 + F_{vx}^2 + F_{vy}^2 + F_T^2}} \leq 1 \quad : \mathbf{0.422} \text{ ok}$$

Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas

T_r : Resistencia a torsión requerida $T_r : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$

T_c : T_c

$T_c : 0.417 \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

τ : Factor de resistencia para torsión $\tau : 0.90$

T_n : Resistencia nominal a torsión, definida como:

$$T_n = F_n C$$

$T_n : 0.463 \text{ t}\cdot\text{m}$

Donde:

C: Módulo resistente a torsión **C** : 30.31 cm^3

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

$$F_n = 0.6 F_y$$

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

F_y : Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras $F_y : 2548.42 \text{ Kg/cm}^2$

Comprobación de Von Mises (comprobación adicional)

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

$$f_a = \frac{P_r}{A} \quad f_a : 91.15 \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

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

$$P_r : \frac{6.918}{75.90} \text{ t}$$

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

$$A : 75.90 \text{ cm}^2$$

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

$$f_{bx} = \frac{M_x}{I_x} \quad f_{bx} : 1398.54 \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

M_{rx} : Resistencia requerida a flexión alrededor del eje x (para las combinaciones de carga LRFD). $M_{rx} : 11.908 \text{ t}\cdot\text{m}$

I_x : Momento de inercia respecto al eje X $I_x : 12900.00 \text{ cm}^4$

y : Coordenada y del punto pésimo respecto al centro de gravedad. $y : -151.50 \text{ mm}$

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

$$f_{by} = \frac{M_y}{I_y} \quad f_{by} : 1.05 \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

M_{ry} : Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD). $M_{ry} : 0.002 \text{ t}\cdot\text{m}$

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y $I_y : 1830.00 \text{ cm}^4$

x : Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad. $x : -101.50 \text{ mm}$

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

$$f_{vx} = \frac{V_x Q_x}{I_y b} \quad f_{vx} : 0.00 \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

V_x : Resistencia requerida a cortante en la dirección x (para las combinaciones de carga LRFD). $V_x : 0.000 \text{ t}$

Q_y : Momento estático respecto del eje y de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. $Q_y : 0.00 \text{ cm}^3$

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y $I_y : 1830.00 \text{ cm}^4$

b : Espesor del elemento en el punto pésimo. $b : 13.10 \text{ mm}$

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

$$f_{vy} = \frac{V_y Q_x}{I_y b} \quad f_{vy} : 0.00 \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

V_y : Resistencia requerida a cortante en la dirección y (para las combinaciones de carga LRFD). $V_y : 2.870$ t

Q_x : Momento estático respecto del eje x de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo. $Q_x : 0.00$ cm³

I_x : Momento de inercia respecto al eje X $I_x : 12900.00$ cm⁴

b : Espesor del elemento en el punto pésimo. $b : 13.10$ mm

f_T : Tensión tangencial debida a torsión.

$$f_T = \frac{b}{J} T$$

$$f_T : \underline{-0.48} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

T_r : Resistencia requerida a torsión (para las combinaciones de carga LRFD).

$$T_r : 0.000 \text{ t}\cdot\text{m}$$

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.

$$F_a = F_c$$

$$F_a : \underline{2291.56} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

c : Factor de seguridad para compresión. $c : 0.90$

F_{cr} : Resistencia crítica de pandeo (calculada según el Capítulo E). $F_{cr} : 2546.18$ Kg/cm²

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

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

$$F_{bx} : 2293.58 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_{by} : 2293.58 \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

b : Factor de resistencia para flexión. $b : 0.90$

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

F_{Vx} , F_{Vy} : Resistencia de la sección a cortante en las direcciones x y y, respectivamente.

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

$$F_{Vx} : \underline{1324.20} \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_{Vy} : \underline{1324.20} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

v : Factor de resistencia para cortante. $v : 0.90$

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

F_T : Resistencia a torsión de la sección.

$$F_T = F_y / 3 \quad \sqrt{\quad}$$

$$F_T : \underline{1324.20} \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

Fy: Factor de resistencia para torsión $T : 0.90$

Fy : Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

Fy : 2548.42 Kg/cm²

3.5.5. 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:

Cuadro n° 12 Disposiciones constructivas:

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 2/3·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

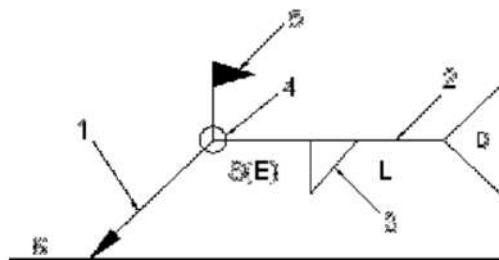
Para la representación de los símbolos de soldaduras se consideran las indicaciones de la norma ANSI/AWS A2.4-98

'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:

Figura n° 32 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.

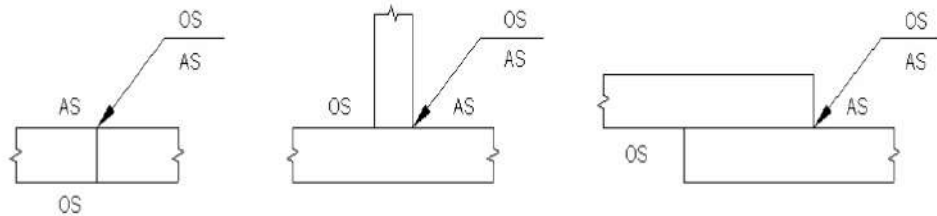
(E): tamaño del cordón en soldaduras a tope.

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:

Figura n° 33 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

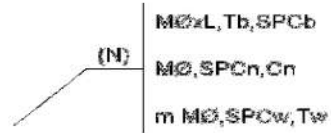
Referencia 3

Figura n° 34 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		
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

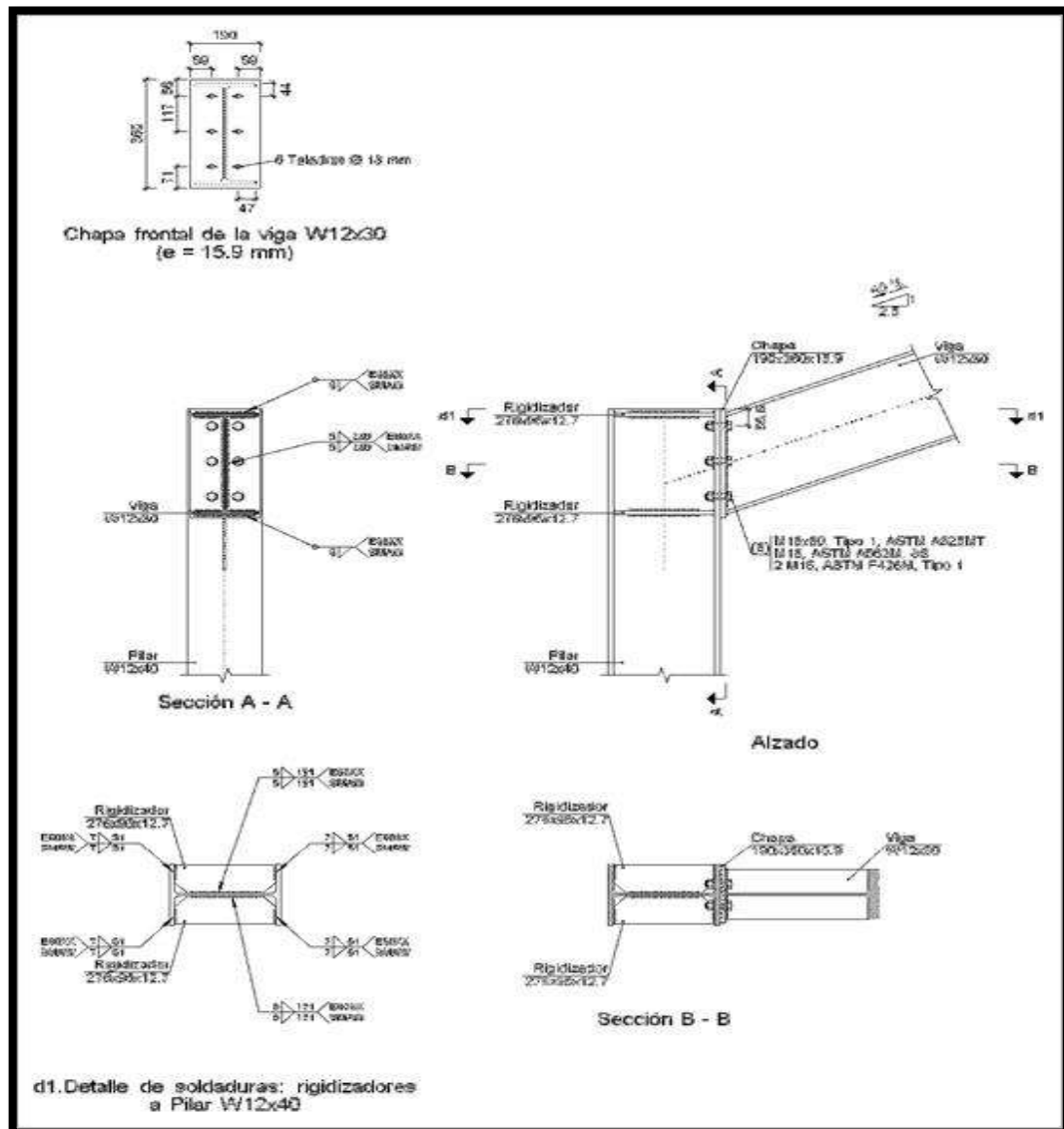
Gráfico N° 14 Representación de tornillos en los planos



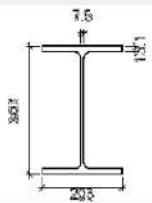
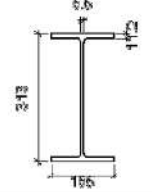
- Referencias:
 N: Cantidad de tornillos
 Ø[mm]: Diámetro nominal
 L"[mm]: Longitud nominal del tornillo
 Tb: Tipo o grado del tornillo
 SPCb: Clase de calidad del acero del tornillo
 SPCn: Clase de calidad del acero de la tuerca
 Cn: Clase o grado de la tuerca
 m: Cantidad de arandelas
 SPCw: Clase de acero de la arandela
 Tw: Tipo o grado de la arandela

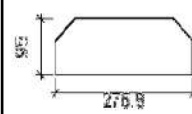
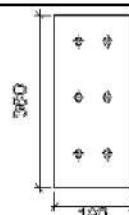
A. Diseño de conexión viga – columna

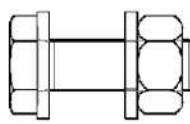
Figura n° 35 Detalle de Unión columna – Viga de pórtico típico



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	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)
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

Cuadro n° 13 Comprobación de cordones de soldadura

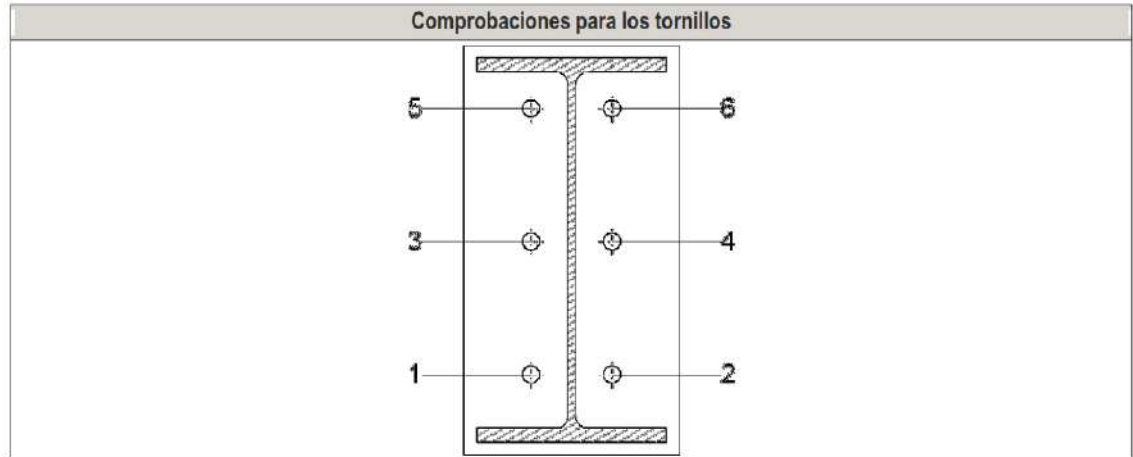
Comprobación de cordones de soldadura													
Descripción	Tipo	Ejecución	Perimetral	Lado (mm)	Metal base		Electrodo	P.S. ⁽¹⁾	Tensiones			Factor de resistencia	
					F (kg/cm ²)	w F (kg/cm ²)			Pésima (kg/cm ²)	Resistente (kg/cm ²)	Aprov. (%)	f _{material base}	f _{soldadura}
Soldadura del rigidizador 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	

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 (kg/cm ²)	w F (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 (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

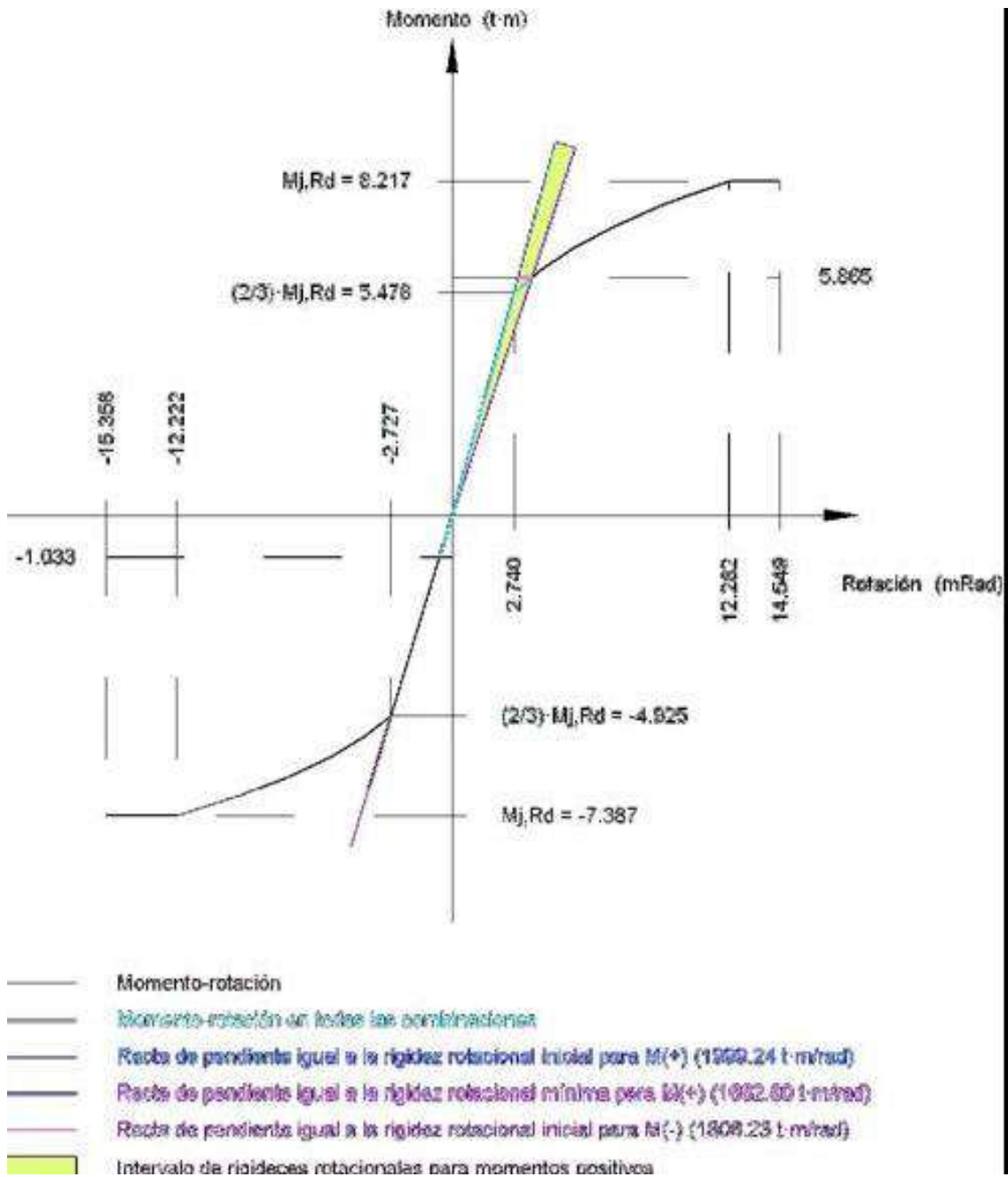
⁽¹⁾Procedimiento de soldo



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

Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano x



d) Medición

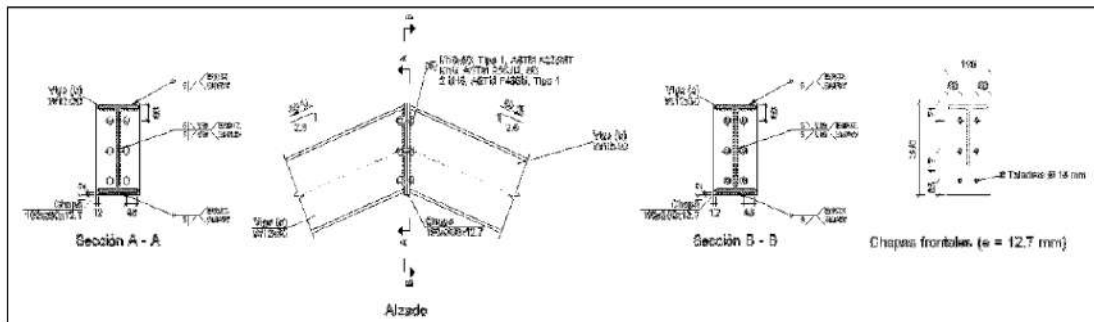
Soldaduras				
Clase de resistencia	Ejecución	Tipo	Lado (mm)	Longitud de cordones (mm)
E60XX	En taller	En ángulo	5	2105
			6	654
			7	816

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
Tomillos	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

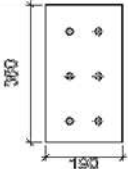
a) Detalle

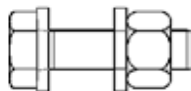


b) Descripción de los componentes de la unión

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 _T (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

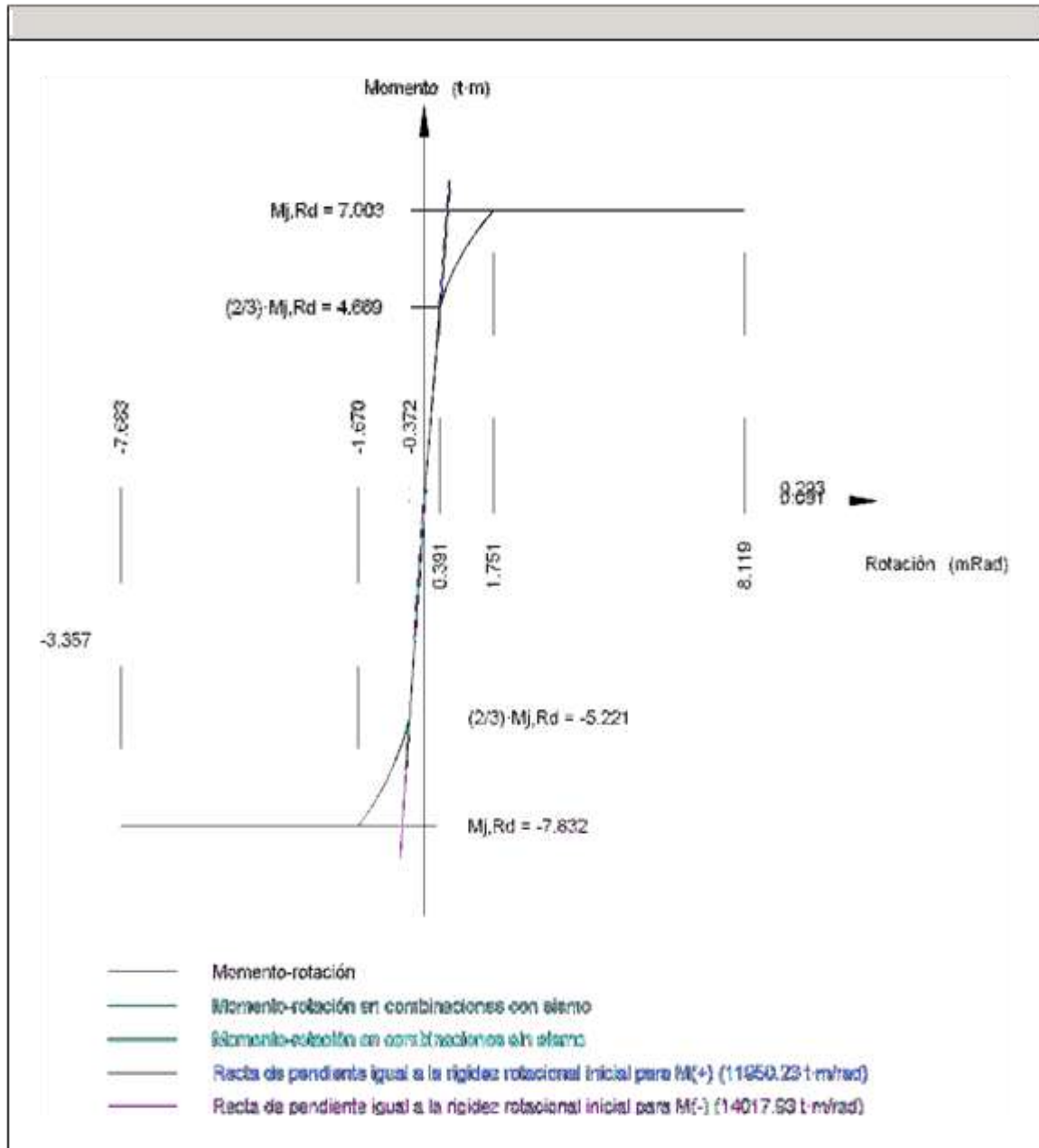
Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tracción por flexión	t	4.002	8.709	45.96
Ala	Aplastamiento	t	13.229	44.665	29.62
	Tracción	t	2.117	20.265	10.45
Alma	Tracción	t	3.770	11.221	33.60

Cuadro n° 14 Medición

Comprobación de cordones de soldadura												
Descripción	Tipo	Ejecución	Perimetral	Lado (mm)	Metal base F (kg/cm ²)	Electrodo F (kg/cm ²)	P.S. ⁽¹⁾	Tensiones			Factor de resistencia	
								Pésimo (kg/cm ²)	Resistente (kg/cm ²)	Aprov. (%)	f _{metri el base}	f _{soladura}
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

Medimiento de soldado

Figura n° 36 Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xy



2) Viga (b) W12x30

Rigidez rotacional	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

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 (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 (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	--	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

Figura n° 37 comprobaciones para los tornillos

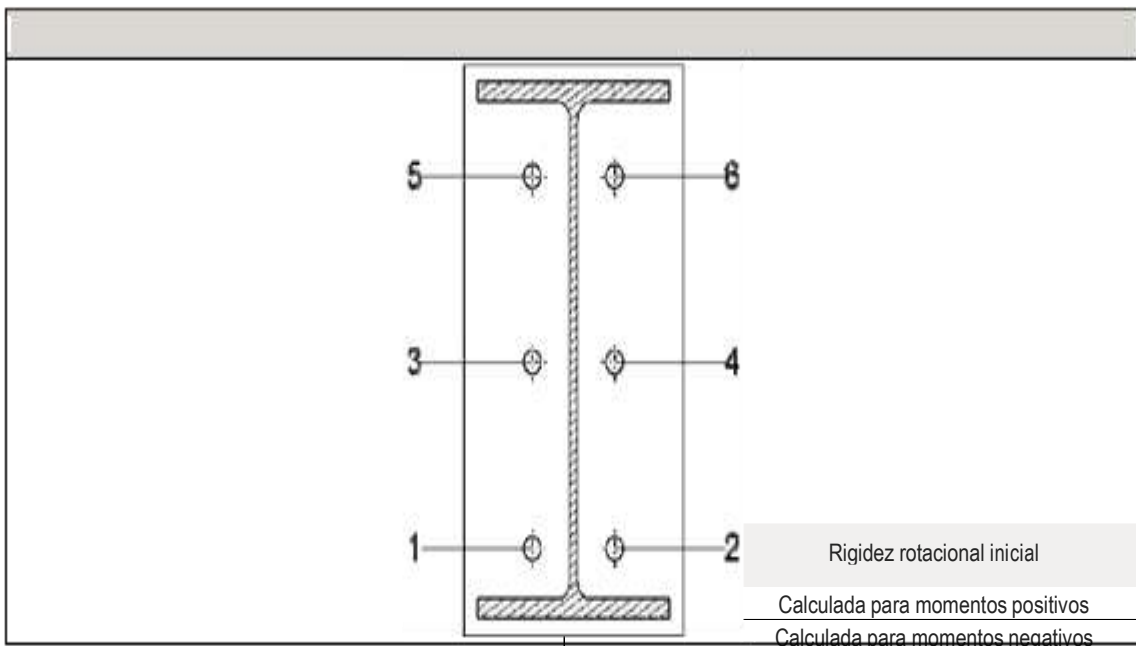
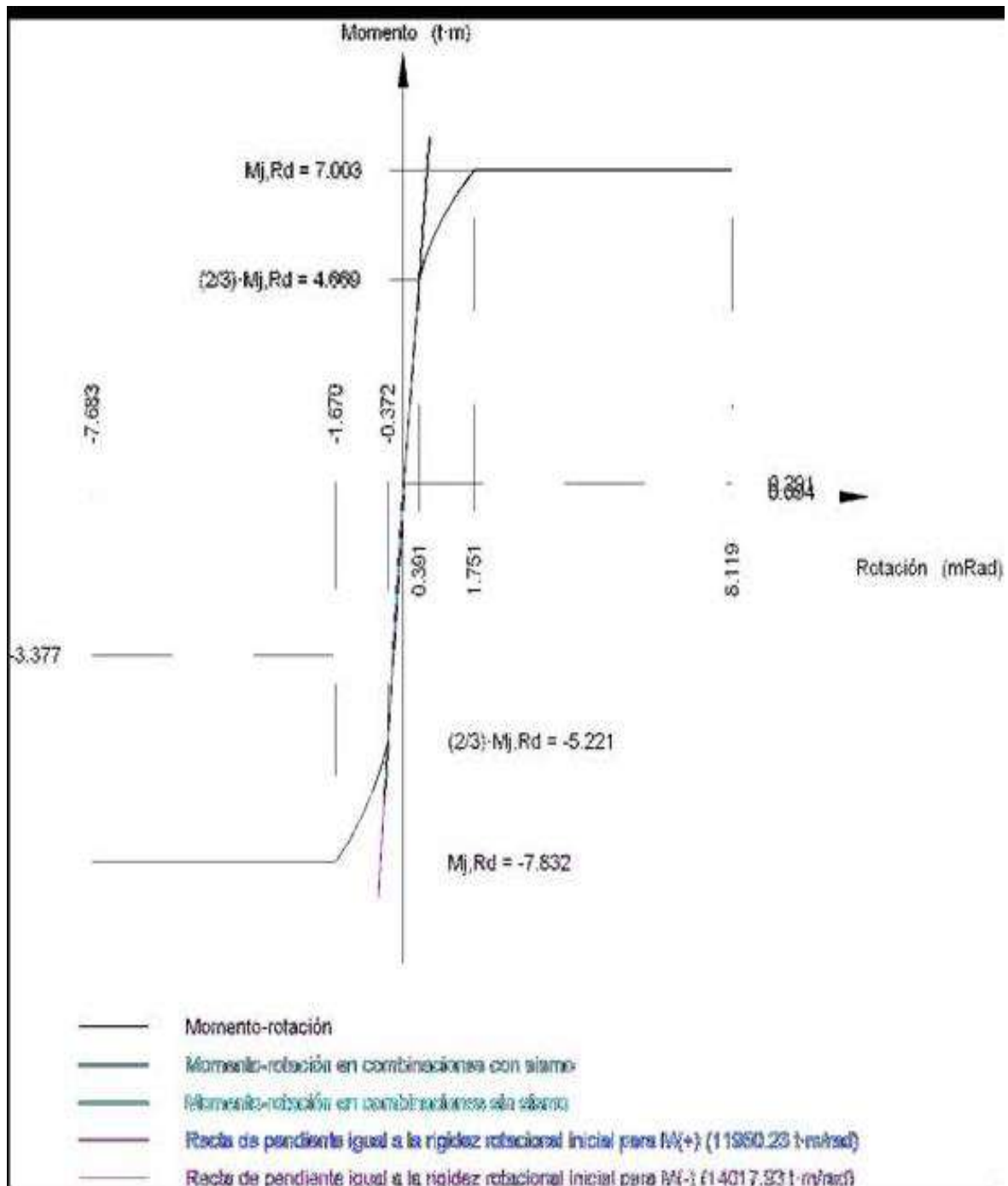


Figura n° 38 Comportamiento de la unión para flexión simple en el plano xz



d) Medición

Soldaduras				
Clase de resistencia	Ejecución	Tipo	Lado (mm)	Longitud de cordones (mm)
E60XX	En taller	En ángulo	5	2466

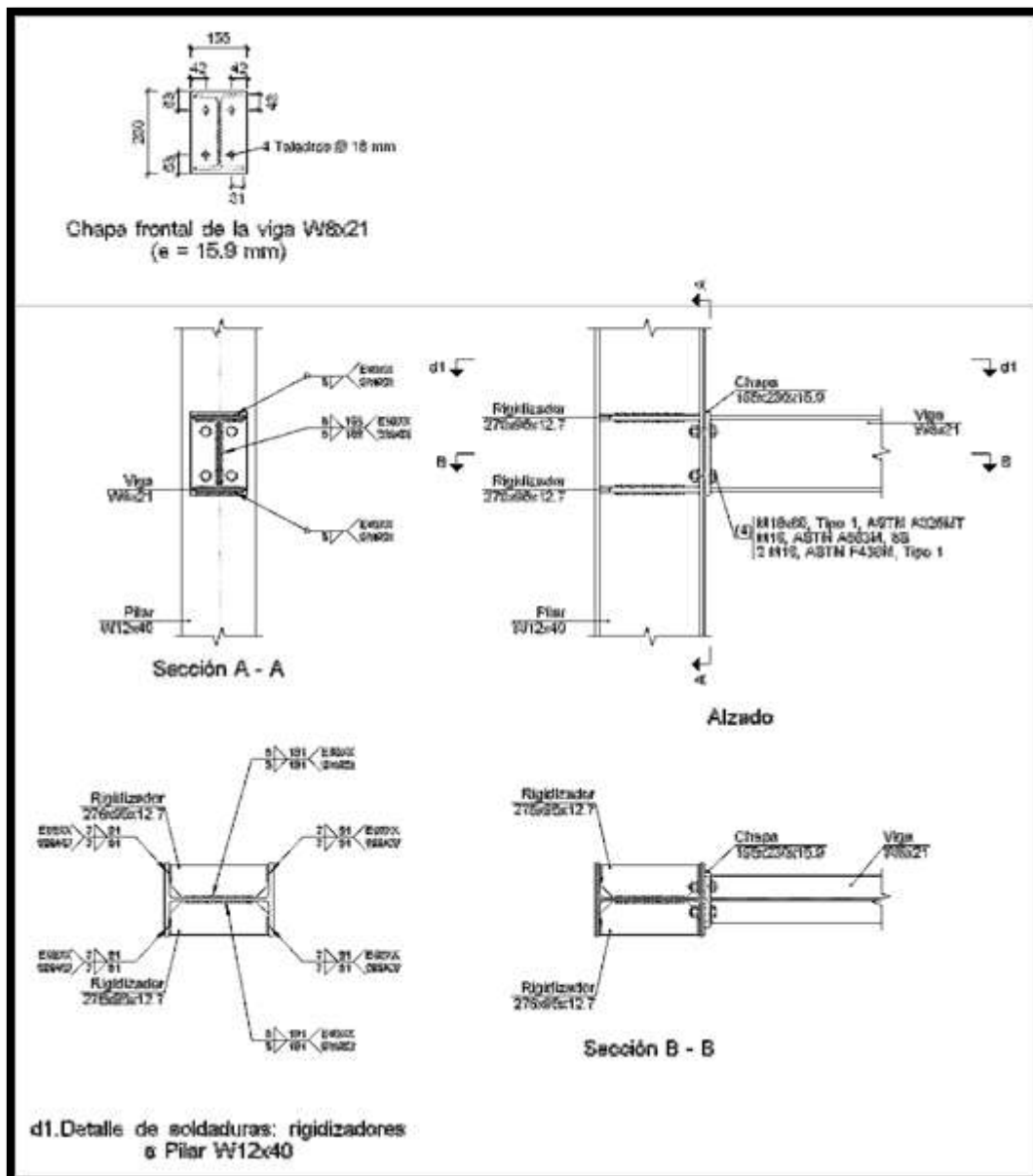
Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
A36	Chapas	2	190x360x12.7	13.64
				Total

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

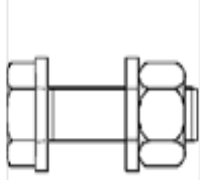
Figura n° 39 Diseño de ménsula



b) Descripción de los componentes de la unión

Perfiles									
Categoría	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)
Ala	W12x40		303	203	13.1	7.5	A36	2548.4	4077.5
Ala	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
Placa 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)
6x60, Tipo 1, ASTMA325MT 6, ASTMA563M, 8S 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
Ala 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

Cuadro n° 15 comprobaciones para soldadura

Comprobación de cordones de soldadura													
Descripción	Tipo	Ejecución	Perimetral	Lado (mm)	Metal base		Electrodo	P.S. ⁽¹⁾	Tensiones			Factor de resistencia	
					F (kg/cm ²)	F (kg/cm ²)			Pésima (kg/cm ²)	Resistente (kg/cm ²)	Aprov. (%)	f _{metal base}	f _{soldadura}
Rigidizador alas	En ángulo	En taller	--	7	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	788.0	1903.7	41.39	0.90	0.75	
Rigidizador na	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	247.8	1903.7	13.01	0.90	0.75	
Rigidizador alas	En ángulo	En taller	--	7	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	707.2	1903.7	37.15	0.90	0.75	
Rigidizador a	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	167.9	1903.7	8.82	0.90	0.75	
Rigidizador alas	En ángulo	En taller	--	7	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	790.4	1903.7	41.52	0.90	0.75	
Rigidizador na	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	248.5	1903.7	13.05	0.90	0.75	
Rigidizador alas	En ángulo	En taller	--	7	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	704.1	1903.7	36.99	0.90	0.75	
Rigidizador a	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	167.1	1903.7	8.78	0.90	0.75	

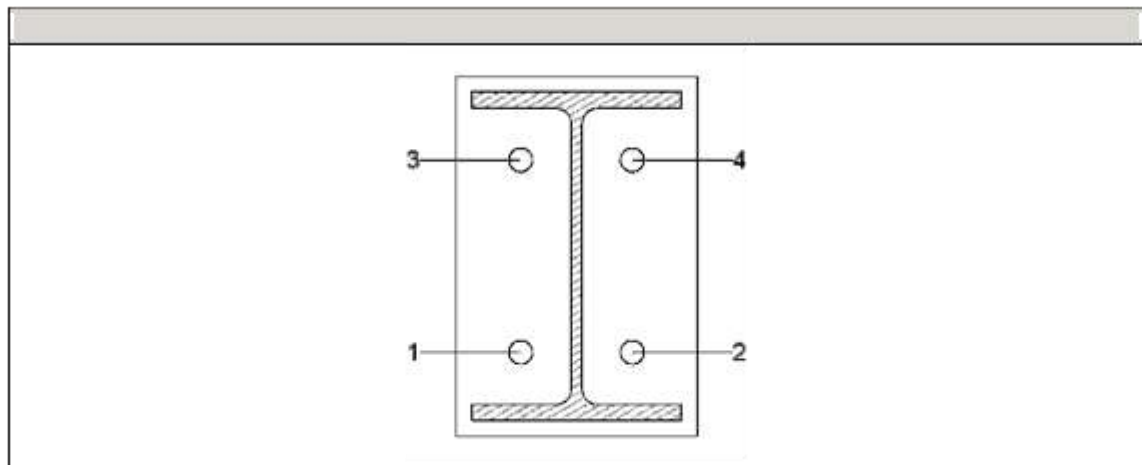
de soldado

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

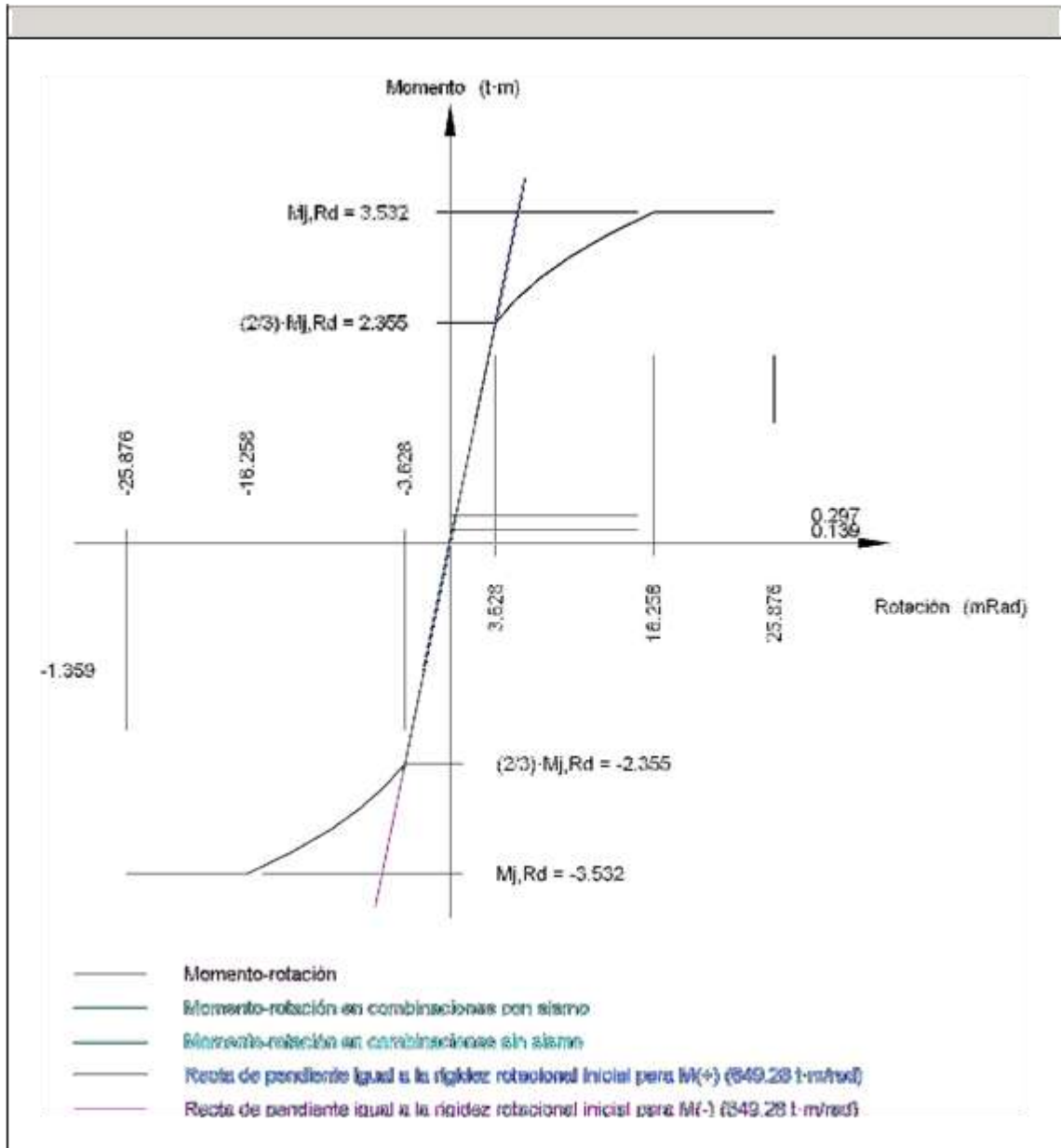
Comprobación de cordones de soldadura													
Comprobación	Tipo	Ejecución	Perimetral	Lado (mm)	Metal base		Electrodo	P.S. ⁽¹⁾	Tensiones			Factor de resistencia	
					F (kg/cm ²)	F (kg/cm ²)			Pésima (kg/cm ²)	Resistente (kg/cm ²)	Aprov. (%)	f _{metal base}	f _{soldadura}
ala	En ángulo	En taller	X	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	821.4	1903.7	43.15	0.90	0.75	
alma	En ángulo	En taller	--	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	815.2	1903.7	42.82	0.90	0.75	
ala inferior	En ángulo	En taller	X	5	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW	1014.9	1903.7	53.31	0.90	0.75	

de soldado



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



Soldaduras				
Clase de resistencia	Ejecución	Tipo	Lado (mm)	Longitud de cordones (mm)
E60XX	En taller	En ángulo	5	2388
			7	816

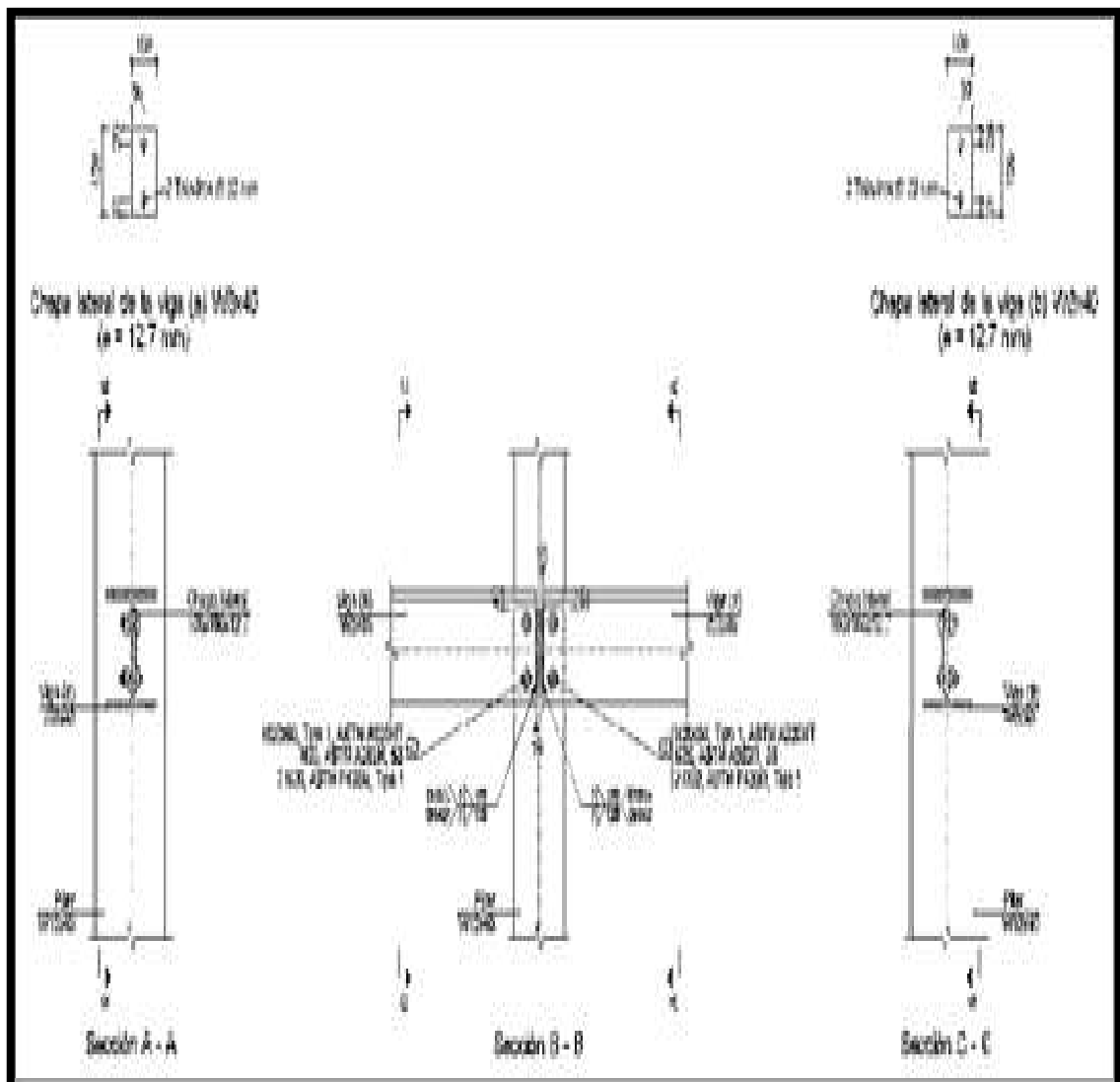
Chapas			
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)
A36	Rigidizadores	4	276x95x12.7
	Chapas	1	155x230x15.9
			Total

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tomillos	ASTM A325M	4	M16x60, Tipo 1, ASTM A325MT
Tuercas	Clase 8S	4	M16, ASTM A563M
Arandelas	Tipo 1	8	M16, ASTM F436M

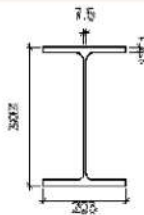
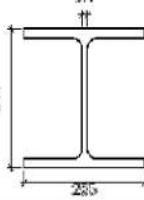
D. Diseño de conexión a cortante


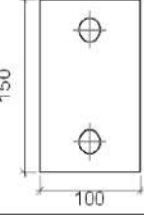
a) Detalle

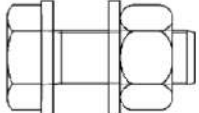
Figura n° 40 Diseño de conexión a cortante



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	W8x40		210	205	14.2	9.1	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 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

c) Comprobación

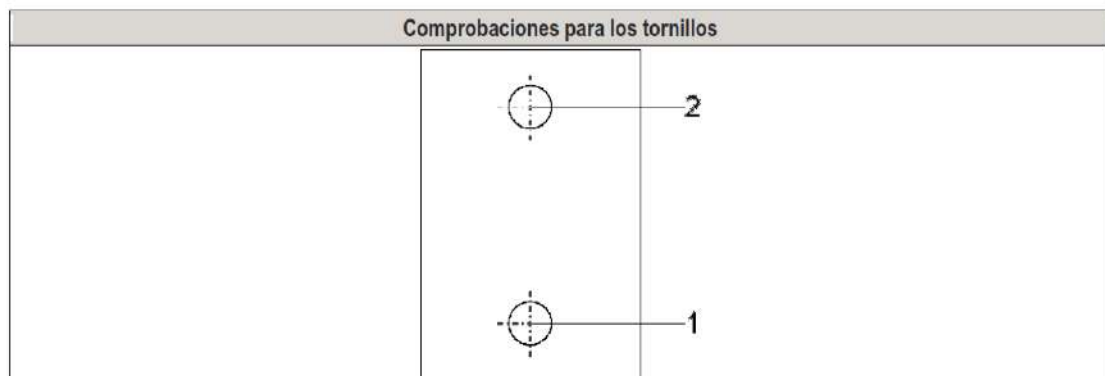
1) Pilar W12x40

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

Comprobación de cordones de soldadura													
Descripción	Tipo	Ejecución	Perimetral	Lado (mm)	Metal base		Electrodo	P.S. ⁽¹⁾	Tensiones			Factor de resistencia	
					F (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



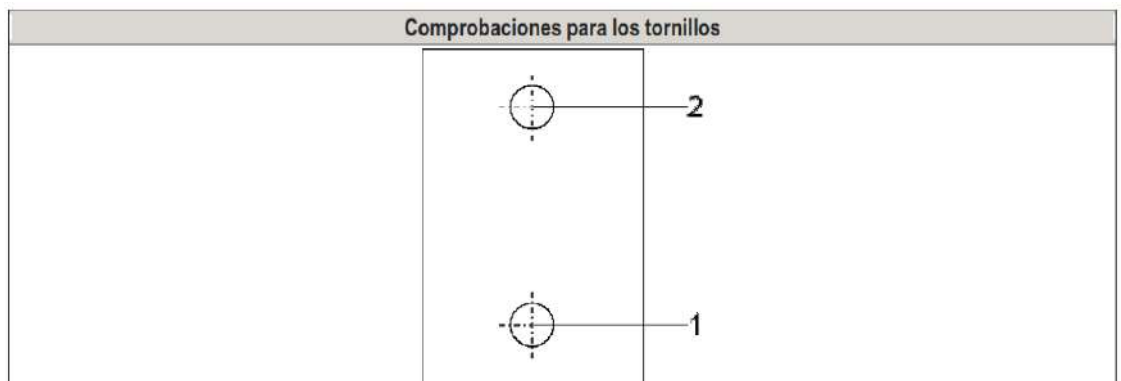
Tornillo	Diámetro	Cortante				Tracción				Interacción tracción y cortante	Aprov. Máx. (%)
		Comprobación	Pésimo (t)	Resistente (t)	Aprov. (%)	Comprobación	Pésimo (t)	Resistente (t)	Aprov. (%)		
1	M20	Sección transversal	0.701	8.971	7.82	Vástago	0.332	14.951	2.22	7.82	7.82
		Aplastamiento	0.701	11.782	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 (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	0.635	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

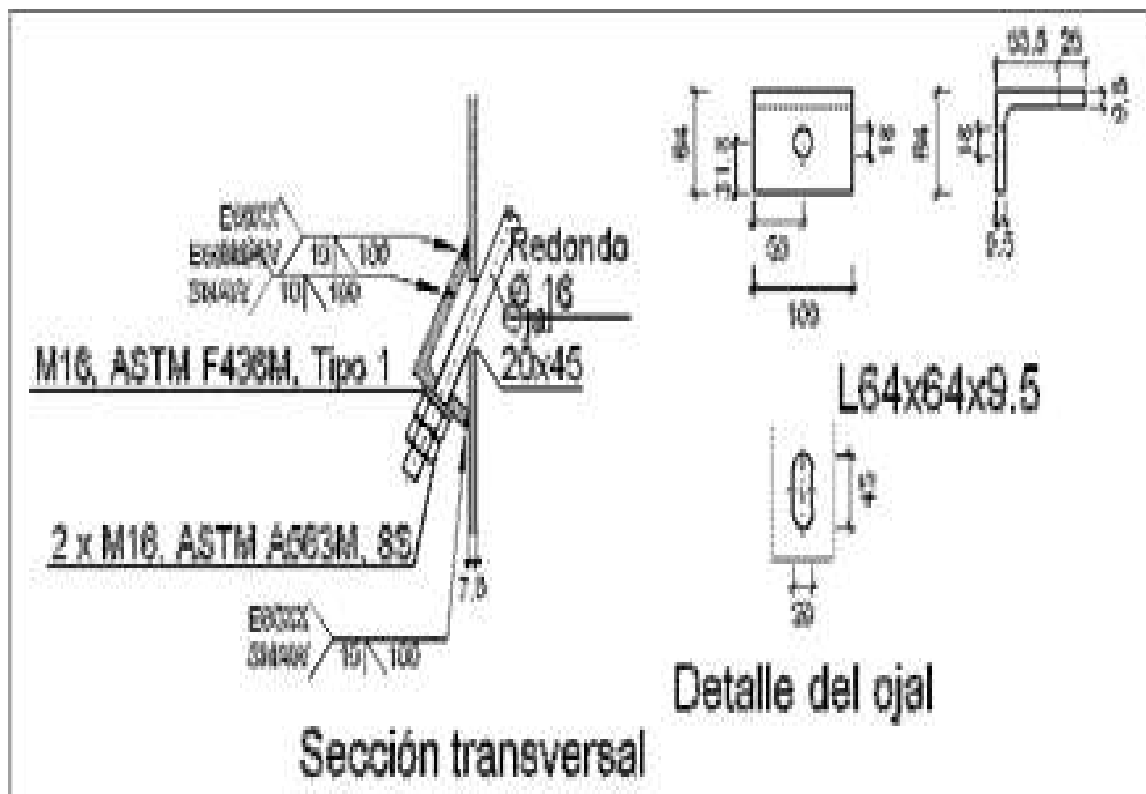
Soldaduras				
Clase de resistencia	Ejecución	Tipo	Lado (mm)	Longitud de cordones (mm)
E60XX	En taller	En ángulo	7	600

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 _{metal base}	f _{soladura}
Soldaduras a tope angular a la zanca	S.P.T.	En taller	--	10	10	2548.4	E60XX (4230.4)	SMAW		279.2	1376.1	20.29	0.90	0.75

¹T.: Soldadura de penetración total

²Coeficiente de soldado

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

Elementos de tornillería			
Tipo	Material	Cantidad	Descripción
Tuercas	Clase 8.8	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
07	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

Cuadro n° 16 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
Acción 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
Desplazamiento 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
Deflexión 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		

3.5.6. 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.

Figura n° 41 Reacciones por carga viva para el diseño de zapata

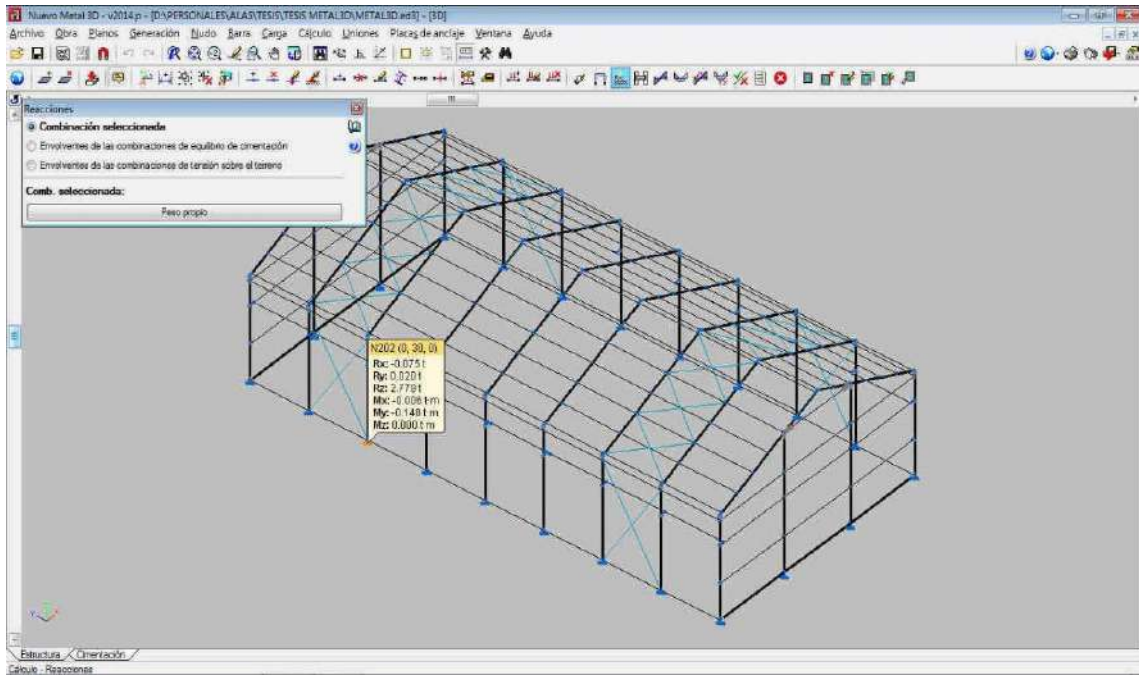
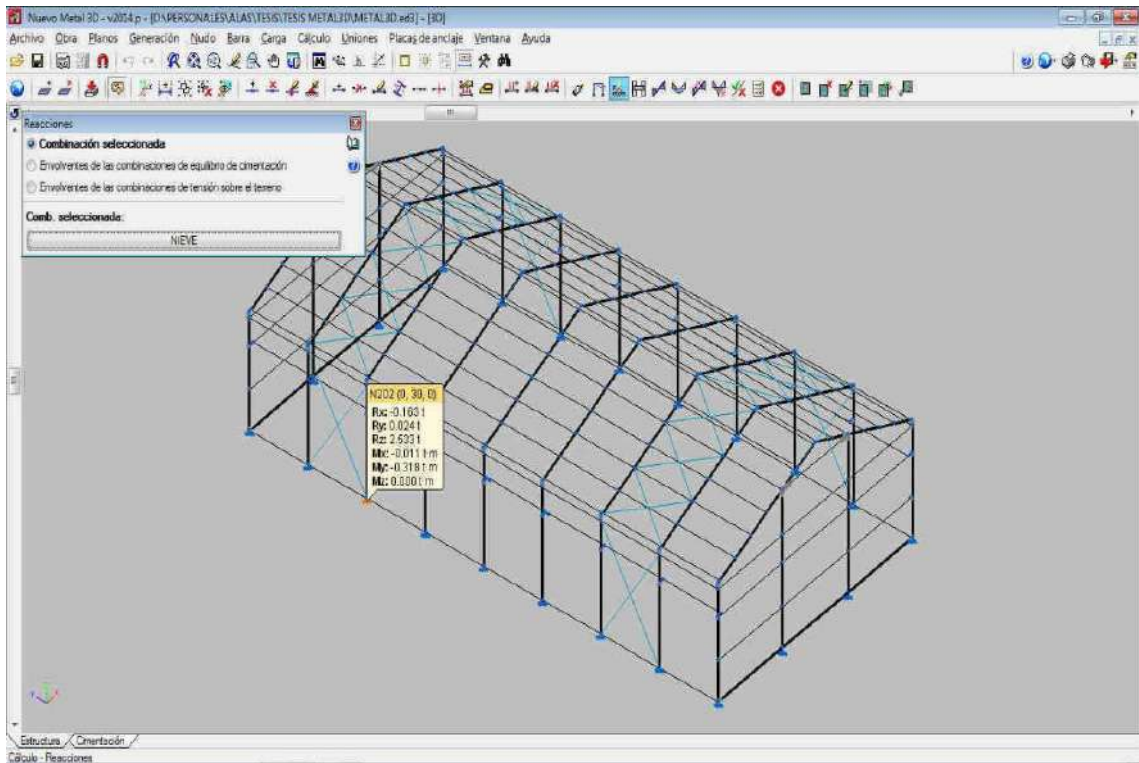


Figura n° 42 Reacciones por carga viva para el diseño de zapatas



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

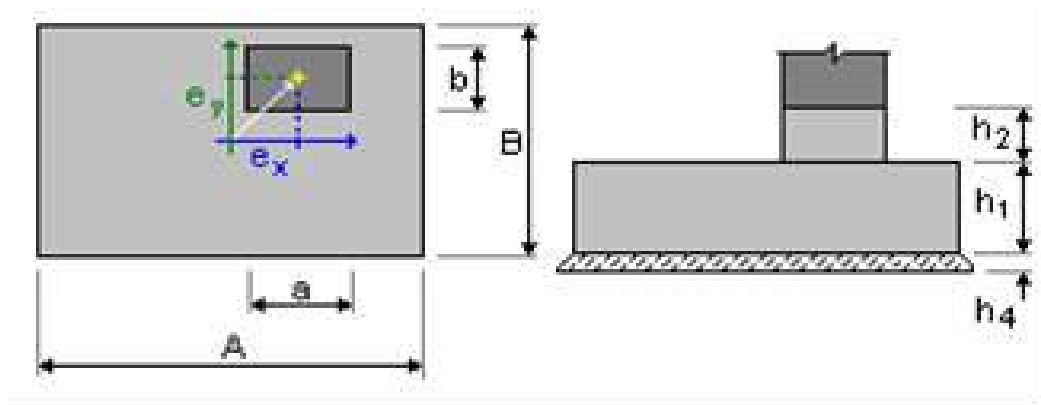
Norma para los cálculos geotécnicos: ACI

Norma para los cálculos de hormigón armado: ACI 318-08

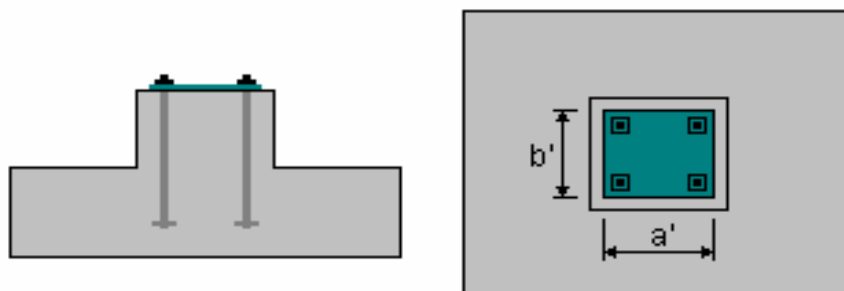
Forma de la cimentación: libre

Geometría:

Figura n° 43 Geometría:



A	= 1.35 (m)	a	= 0.70 (m)
B	= 1.85 (m)	b	= 0.60 (m)
h1	= 0.50 (m)	e_x	= 0.00 (m)
h2	= 0.90 (m)	e_y	= 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	:	Grade	resiste
característica = 4218.42	tip	60	ncia
	o		
Armaduras transversales	:	Grade	resiste
característica = 4218.42	tip	60	ncia
	o		

Cargas:

Cargas sobre la cimentación:

Caso	Natura	Grupo	N	Fx	Fy
			(T)	(T)	(T)
G1	permanente	1	2.78	-0.08	0.02
Q1	explotación	1	2.53	-0.16	0.02

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) Coeficiente de seguridad:
1.125 > 1

Alzamiento

Alzamiento en ELS

Combinación dimensionante: ELS : 1.00G1+1.00Q1

Coeficientes de carga: 1.00 * peso de la cimentación

1.00 * peso del suelo

Superficie de contacto: $s = 1.77 \text{ slim} = 1.00$

Hundimiento medio

Tipo de suelo debajo de la cimentación: uniforme

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: $G_r = 7.43 \text{ (T)}$ Tensión
media debida a la carga de dimensionado: $q = 0.54 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$

Espesor del suelo con hundimiento activo: $z = 1.01 \text{ (m)}$

Tensión en el nivel z:

- adicional: $z_d = 0.13 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$

- debida al peso del suelo: $z = 0.46 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ Hundimientos:

- primario $s' = 0.0 \text{ (cm)}$

- secundario $s'' = 0.0 \text{ (cm)}$

- TOTAL $S = 0.0 \text{ (cm)} < S_{adm} = 5.1 \text{ (cm)}$ 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: $S = 0.0 \text{ (cm)} < S_{adm} =$
5.1 (cm) Coeficiente de seguridad: 206.3 > 1

Vuelco

Alrededor del eje OX

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) Carga de diseño:

$Nr = 12.74$ (T) $Mx = -3.22$ (T*m) $My = -0.80$ (T*m) Momento estabilizador:
 $Mstab = 9.17$ (T*m)

Momento de vuelco: $Mrenv = 0.08$ (T*m)

Estabilidad al vuelco: $116.6 > 1$

Alrededor del eje OY

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)

Carga de diseño:

$Nr = 12.74$ (T) $Mx = -3.22$ (T*m) $My = -0.80$ (T*m) Momento estabilizador:
 $Mstab = 8.60$ (T*m)

Momento de vuelco: $Mrenv = 0.80$ (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:

Nr = 14.07 (T)	Mx = -4.42 (T*m)	My = -
1.18 (T*m)		
Longitud del perímetro crítico:	2.12 (m)	
Fuerza de punzonamiento:	1.22 (T)	
Altura útil de la sección	heff = 0.44 (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

My = 0.47 (T*m) Asx = 9.00 (cm²/m)

ELU : 1.20G1+1.60Q1

Mx = 0.02 (T*m) Asy = 9.00 (cm²/m)

As min = 9.00 (cm²/m)

Armaduras superiores:

A'sx = 0.00 (cm²/m)

ELU : 1.20G1+1.60Q1

Mx = -0.22 (T*m) A'sy = 9.00 (cm²/m) As min = 0.00 (cm²/m)

Fuste:

Armaduras longitudinales A = 42.57 (cm²) A mín. = 42.00 (cm²)

A = 2

* (Asx + Asy)

Asx = 7.98 (cm²) Asy = 13.30 (cm²)

Armadura real

Cimentación aislada: Armaduras inferiores: Dirección X:

14 Grade 60 #4 l = 1.25 (m) e = 1*-0.83 + 1*0.29 + 12*0.11

Dirección Y:

10 Grade 60 #4 l = 1.75 (m) e = 1*-0.57 + 9*0.13

Superiores:

Dirección X:

$$4 \text{ Grade } 60 \#3 \text{ l} = 1.25 \text{ (m)} \quad e = 1 \cdot -0.68 + 3 \cdot 0.46$$

Dirección Y:

$$10 \text{ Grade } 60 \#4 \text{ l} = 1.75 \text{ (m)} \quad e = 1 \cdot -0.57 + 9 \cdot 0.13$$

Fuste

Armaduras longitudinales

Dirección X:

$$7 \text{ Grade } 60 \#5 \text{ l} = 3.62 \text{ (m)} \quad e = 1 \cdot -0.26 + 6 \cdot 0.09$$

Dirección Y:

$$5 \text{ Grade } 60 \#5 \text{ l} = 3.88 \text{ (m)} \quad e = 1 \cdot 0.36 + 4 \cdot 0.10$$

Armaduras transversales

$$7 \text{ Grade } 60 \#3 \text{ l} = 2.34 \text{ (m)} \quad e = 1 \cdot 0.22 + 4 \cdot 0.20 + 2 \cdot 0.13$$

CAPITULO IV

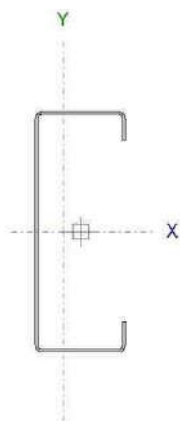
RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1. DISEÑO 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).

Cuadro n° 17 diseño final de viguetas

Perfil: CC 203.2x76.2x25.4x3 Material: Acero (ASTM A 36 36 ksi)								
Nudos		Longitud (m)	Área (cm ²)	Características Mecánicas				
Inicia	Final			(1)	(1)	(2)	(3)	(3)
			(cm ²)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(mm)	(mm)
N45	N46	5.000	11.59	728.6	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								
		Pande		Pandeo lateral				
		Plano ZX	Plano ZY	Ala sup.	Ala inf.			
		1.0	1.00	0.0	0.00			
L _K		5.000	5.000	0.000	0.000			
C _m		1.000	1.000	-	-			
C _b		-		1.00				
Notación: : 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. DISEÑO 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:

Cuadro n° 18 diseño de los pórticos

Perfil: W12x30 Material: Acero (A36)						
Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm ²)	$I_x I_y I_t$ (cm ⁴)	⁽¹⁾ (cm ⁴)	⁽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.		
	1.00	1.00	0.00	0.00		
L_k	1.732	1.732	0.000	0.000		
C_b	-		1.000			
Notación: : 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:

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 Puno 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 Puno, 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 diseño 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 diseños 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 Puno.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

(SINPAD), Sistema de Información Nacional para la respuesta y rehabilitación.

«Base de datos emergencias.» s.f.
http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/Estadística/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 Paolo, 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 Aco Brasil/Centro Brasileiro da Construcao em aco. Galpoes para usos gerais. Rio de Janeiro: Instituto Aco Brasil, 2010.

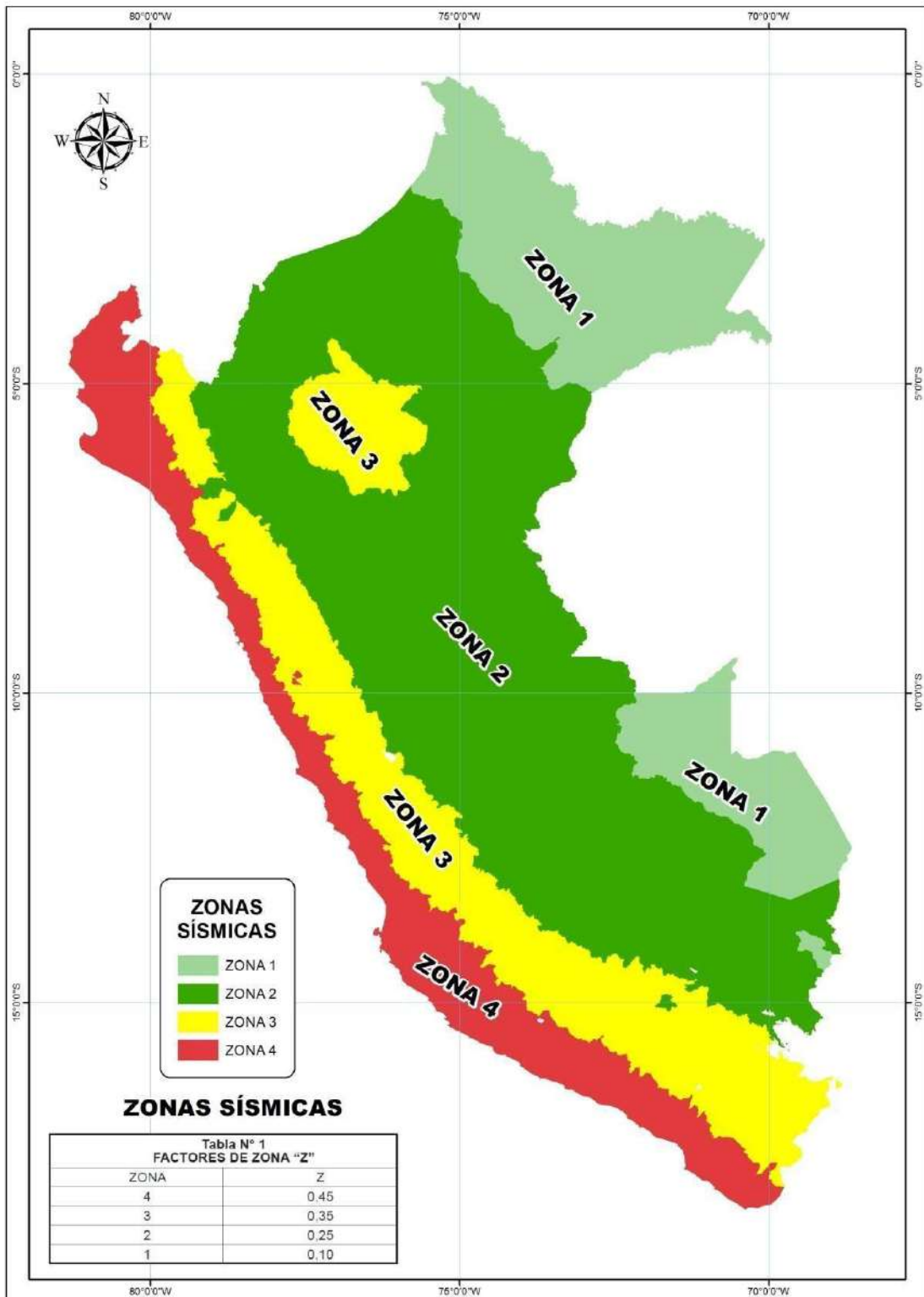
Ministerio de Vivienda. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima: Diario Oficial El Peruano, 2006.

Municipalidad Provincial de San Roman. Plan Director de Puno. Puno, Julio de 2004.

Vivienda, Ministerio de. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima: Ministerio de Vivienda, 2006.

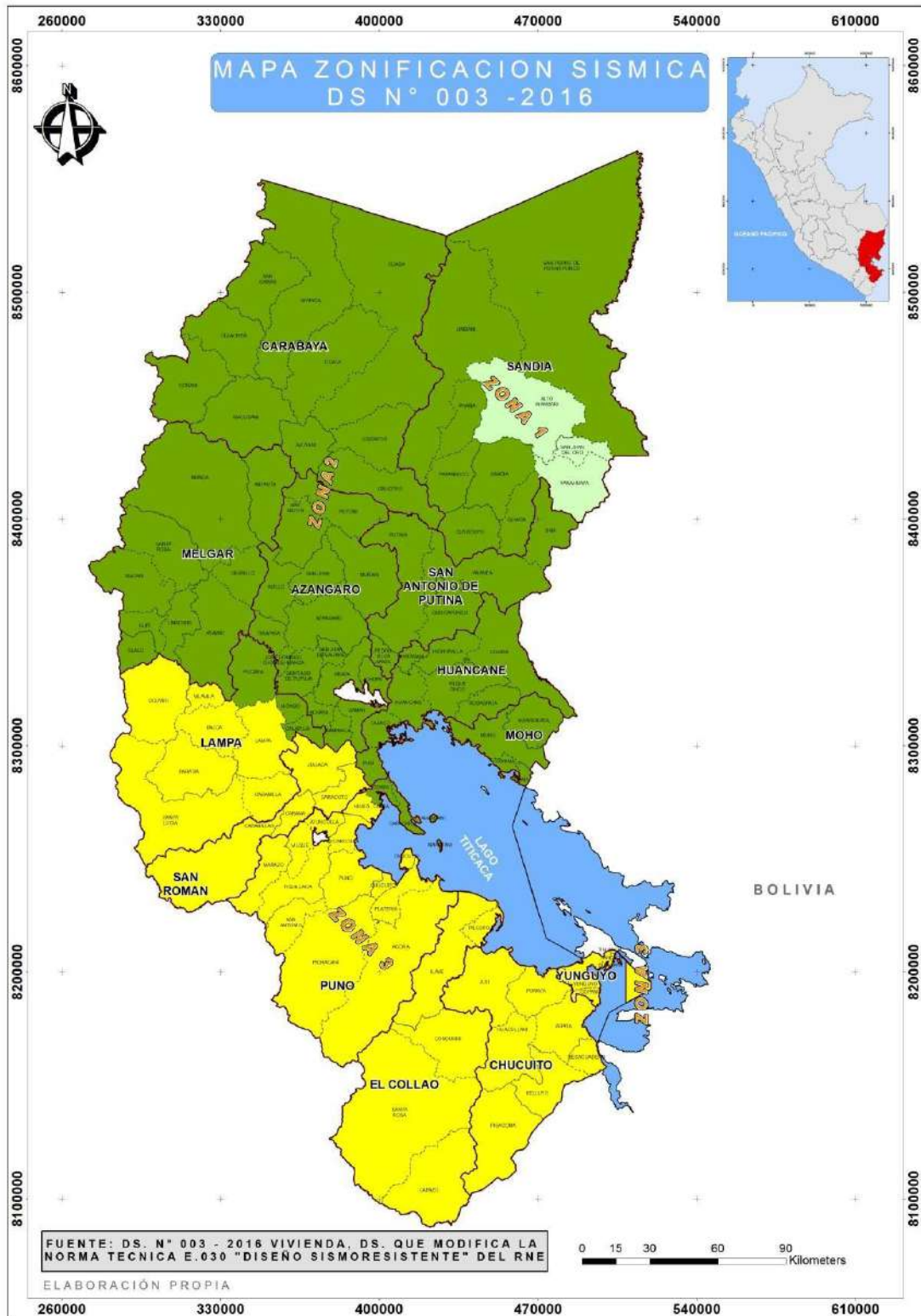
ANEXOS

MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA PERÚ - MINISTERIO DE VIVIENDA 2016



Fuente: NORMA E.030 DISEÑO SISMORESISTENTE - MINISTERIO DE VIVIENDA 2016

MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA PUNO



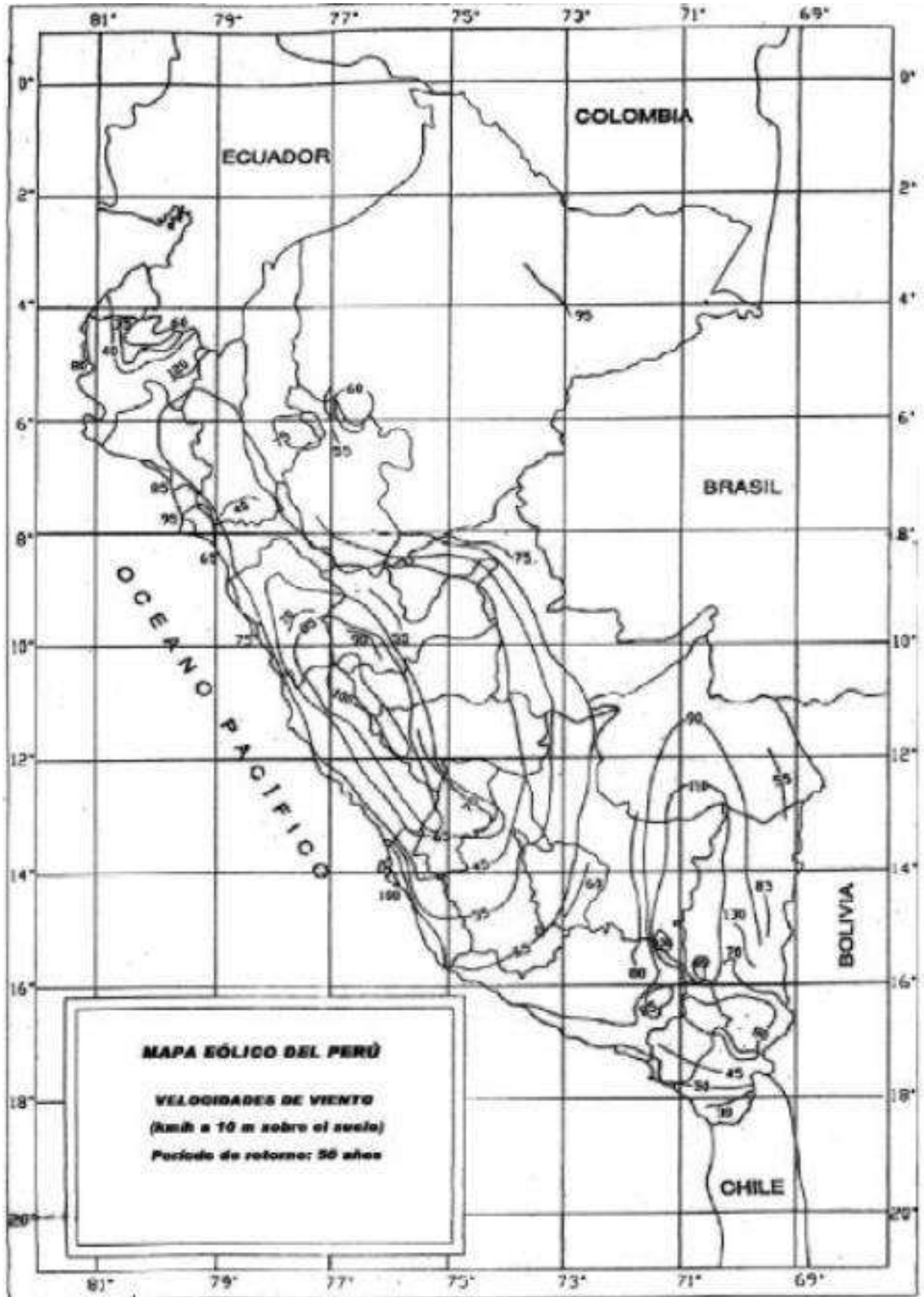
Fuente: NORMA E.030 DISEÑO SISMORESISTENTE - MINISTERIO DE VIVIENDA 2016
 ELABORACION PROPIA

MAPA DE SISMOS PUNO 2017



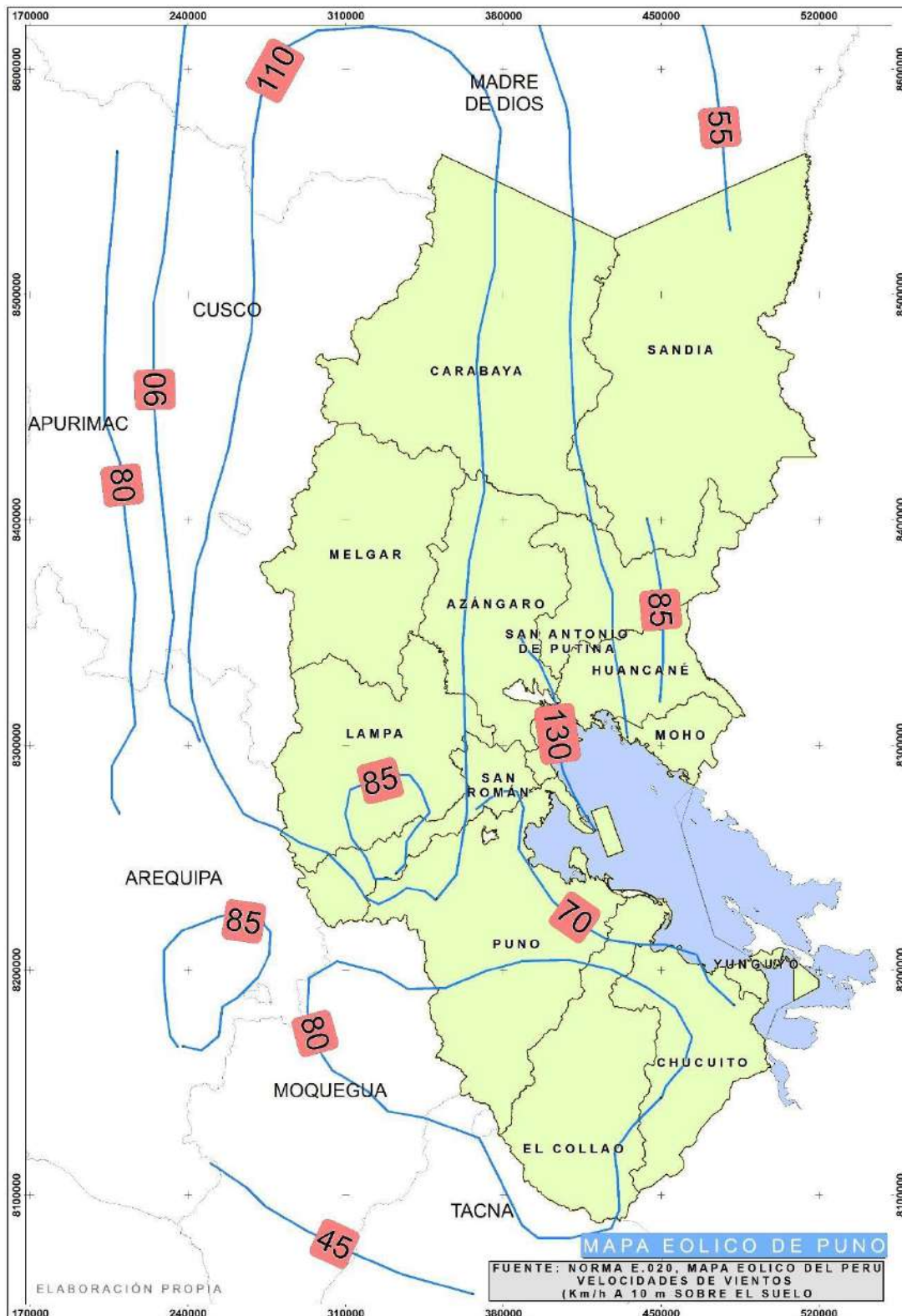
Fuente: CENTRO DE OPERACIONES DE EMERGENCIA REGIONA – COER ELABORACION PROPIA

MAPA EÓLICO DEL PERU MINISTERIO DE VIVIENDA 2006



Fuente: NORMA E.020 CARGAS - MINISTERIO DE VIVIENDA 2006

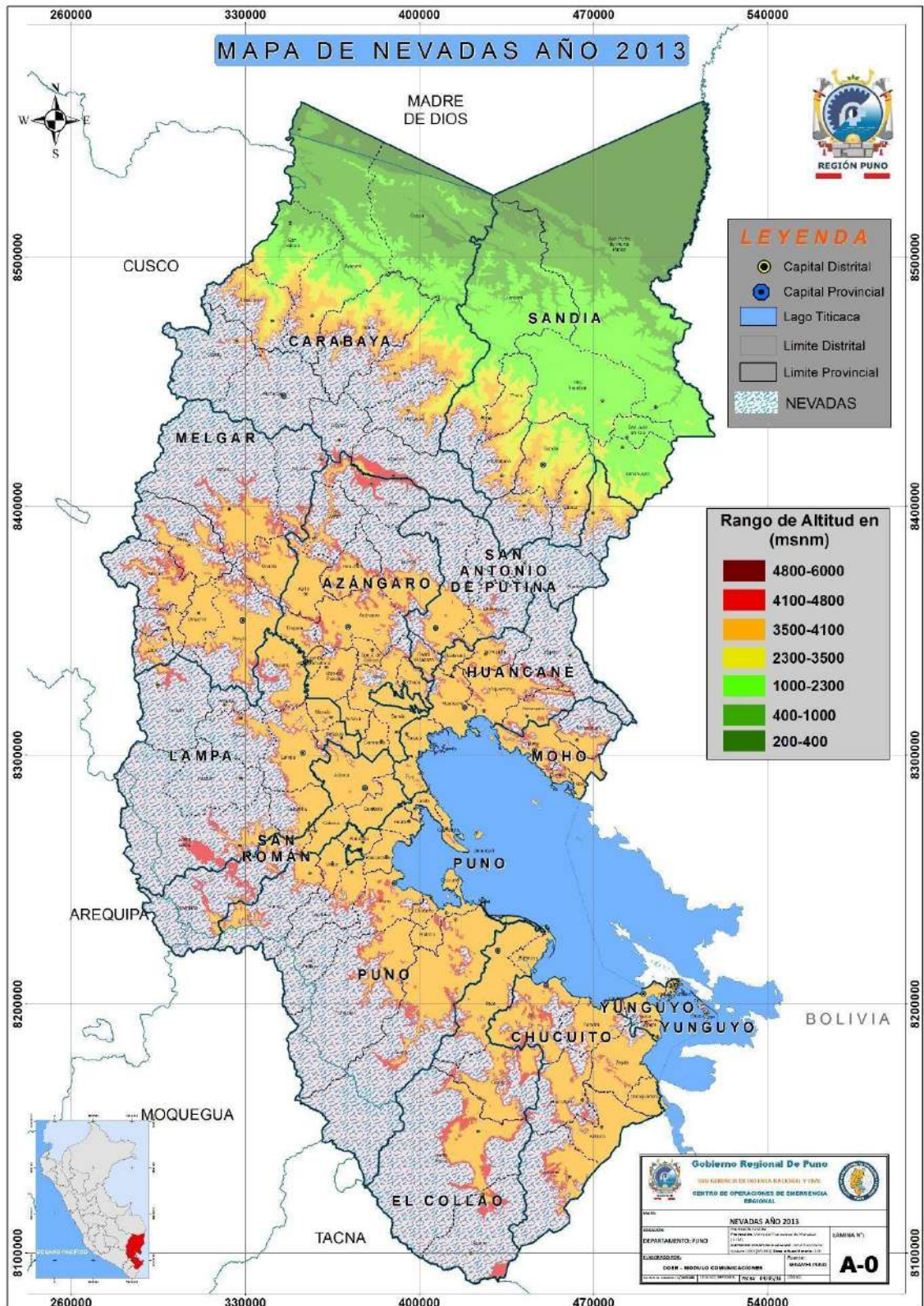
MAPA EÓLICO DE PUNO



Fuente: NORMA E.020 CARGAS - MINISTERIO DE VIVIENDA 2006

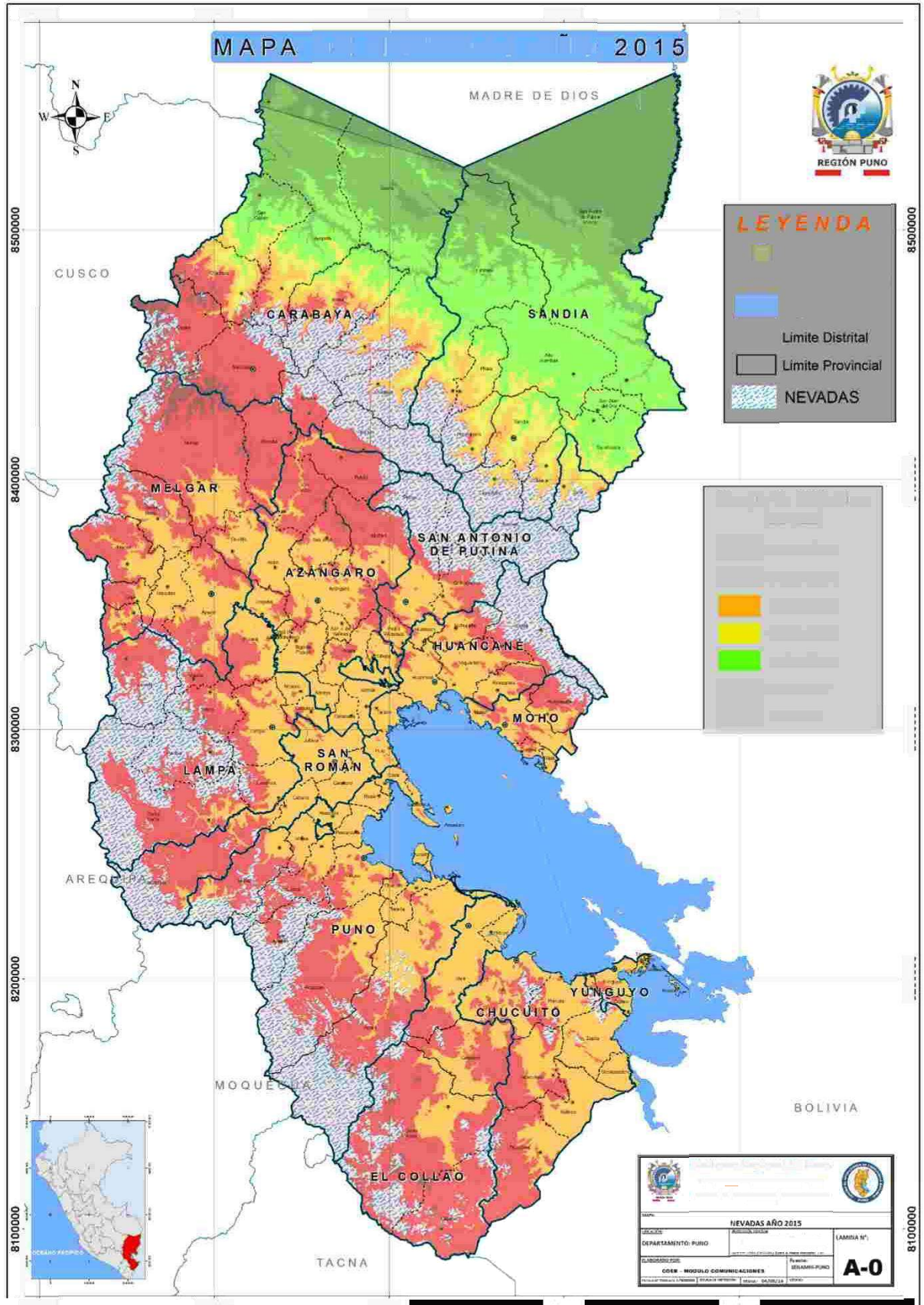
ELABORACION PROPIA

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

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES	TECNICAS DE INSTRUMENTOS
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.	Objetivo General Determinar las Cargas Mínimas para el diseño y análisis óptimo de una estructura metálica con puente grúa en la ciudad de Puno	Hipótesis General La determinación de las cargas mínimas del Diseño conducen al diseño y análisis óptimo de estructura metálica con puente Grúa en la ciudad de Puno	Variable Independiente Cargas Mínimas de Diseño Variable Independiente Diseño Óptimo de Estructuras Metálicas	Cargas permanentes y accidentales	Peso propio. Altura de la Nieve. Velocidad del Viento. Cargas de Sismo.	Estudios Meteorológicos SENAMHI. Utilización de normas E020, E060, E050, E090. Especificaciones AISC 360-10 Y ASCE.
¿Se podrá determinar el diseño y análisis óptimo mediante el análisis estructural tridimensional y la aplicación de las cargas mínimas de diseño?	Determinar el Diseño Óptimo mediante el análisis Estructural Tridimensional y la aplicación de las cargas mínimas de Diseño.	El diseño y análisis óptimo mediante el análisis estructural tridimensional depende de la aplicación de las cargas mínimas de Diseño.		Análisis Estructural Tridimensional	Esfuerzo Axiales. Deflexiones. Momentos Flectores. Esfuerzos Cortantes. Desplazamientos.	Especificaciones para estructuras de acero perfiles del código AISC.
¿Se podrá determinar el diseño y análisis óptimo mediante el diseño estructural y la aplicación de las cargas mínimas de diseño?	Determinar el diseño y análisis óptimo mediante el diseño estructural y la aplicación de las cargas mínimas de Diseño	El Diseño Oprimo mediante el diseño estructural depende de la aplicación de las cargas mínimas de Diseño.		Diseño Estructural	Sección Mínima	El análisis estructural tridimensional se realizara mediante la aplicación de cargas y la utilización de los programas ETABS y SAFE.