



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

**“ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO
PARA EL SOPORTE DE GRÚAS VIAJERAS”**

TESIS

PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA
OPCIÓN TERMINAL EN ESTRUCTURAS**

PRESENTA:

JORGE RUBÉN PENICHE REYNOSO

ASESOR DE TESIS:

DR. DAVID DE LEÓN ESCOBEDO

CO-ASESOR:

M.I. EDGAR IRAM VILLAGRÁN ARROYO

PUEBLA, PUE.

JUNIO, 2018

Esta tesis la dedico especialmente a la memoria de mi abuela Irene Fernández Mendieta, por apoyarme en todo momento, por los valores que me inculcó y sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
CAPITULO 1.	7
INTRODUCCION	7
1.1 ANTECEDENTES	8
1.2 PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.3 OBJETIVO.....	9
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	9
CAPITULO 2.	10
2.1 INTRODUCCIÓN.....	11
2.2 METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE.....	14
2.3 CONFIGURACIONES PARA EL SOPORTE PARA GRUAS VIAJERAS.	17
2.4 SOFTWARES ESPECIALIZADOS PARA EL ANALISIS	25
2.5 MANUALES Y NORMATIVAS EN MEXICO.....	26
DESCRIPCION DE LAS CARGAS.....	27
CAPITULO 3.	27
3.1 ANTECEDENTES.....	28
3.2 CONSIDERACIONES DE CARGAS POR GRÚAS VIAJERAS	29
3.3COMBINACIONES DE CARGA.....	31
3.4 EFECTOS DE FATIGA.....	34
CAPITULO 4.	35
METODOLOGIA PARA EL DISEÑO POR CARGAS REPETIDAS	35
4.1 DETERMINACIÓN DE LOS CICLOS EFECTIVOS	36
4.2 CLASIFICACION DE LA ESTRUCTURA	38
4.3 DISEÑO POR FATIGA DE LAS ESTRUCTURA	40

CAPITULO 5.	48
ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE	48
5.1 DESCRIPCION DEL MODELO ESTRUCTURAL	49
5.2 ELEMENTOS MECÁNICOS MAXIMOS DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE.	72
5.3 DISEÑO DE ELEMENTOS DE ACERO	74
5.4 REVISIÓN DE LOS ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO	86
5.5 DISEÑO DE TRABE CARRIL	92
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	126
CAPITULO 6.	126
CAPITULO 7.	132
BIBLIOGRAFIA	132
ANEXOS	136
CAPITULO 8.	136
8.1 LISTADO DE ILUSTRACIONES.....	137
8.2 LISTADO DE TABLAS.....	140
8.3 DIAGRAMAS DE FLUJO PARA EL DISEÑO DE LOS MIEMBROS ESTRUCTURALES.	142

RESUMEN

El diseño de estructuras de soporte para grúas viajeras es una problemática que se presenta de forma muy común en la práctica para la cual en México no existen metodologías precisas para facilitar al diseñador la toma de decisiones tanto en la estructuración como en la evaluación del nivel de seguridad que dicha estructura debe tener.

Es muy común encontrar que las industrias requieran de la implementación de un sistema de grúas para poder mejorar su producción, por lo que se requiere diseñar estructuras o reforzar las existentes para poder resistir los efectos de carga repetidas inducidas a la estructura y poder seguir cumpliendo los parámetros permisibles normativos de seguridad estructural.

Se presentan en ejemplo real de una estructura que fue diseñada para resistir unas grúas de común capacidad en donde se requiere por necesidad del usuario cubrir los estándares más altas de ingeniería para garantizar los requisitos para una estructura con clasificación de grúa clase E, donde evitar grandes desplazamientos perceptibles, grandes costos de mantenimiento derivados de sus efectos negativos y altos pagos de seguros sean objetivos reales.

Al final de la tesis se presentan propuestas y recomendaciones para las consideraciones de una nueva estructura con un diseño óptimo o por el reforzamiento de estructuras existentes.

Se considerara el uso de distintas bibliografías ya sean normativas existentes nacionales e internacionales, manuales y libros de diseño; y se hicieron comentarios sobre lo que se propone en las ultimas normativas nacionales, como las Normas Técnicas de la Ciudad de México y el manual IMCA Edición 5°, referente a este tipo de estructuras.

Por tanto se garantizara que la metodología sea práctica para todos los casos y que sirvan como una base elemental a quienes trabajan en este tema que esta principalmente asociado a la industria

ABSTRACT

Crane supporting steel structures design is a problem that is very common in practice for which in Mexico there are no precise methodologies to facilitate the decision making of the designer for both, the pre-design and the security evaluation level that said structure must have.

It is standard to find that industries steel structures require the implementation of a crane system to improve their production, so it is necessary to design structures or reinforce existing ones in order to resist the repeated load effects induced additional stress to the structure and to fulfill the allowable parameters of structural safety regulations.

They are presented in a real example of a structure that was designed to withstand cranes of common capacity where it is required by the user to meet the highest engineering standards to guarantee the requirements for a structure with class E crane classification, where to avoid large perceptible displacements, high maintenance costs derived from its negative effects and high insurance payments are real objectives.

At the end of the thesis, proposals and recommendations are presented to considerate in a new structure with an optimal design or for the reinforcement of existing structures.

Will be used the use of different bibliographies, considering national and international regulations, manuals and design books; and comments were made on what is proposed in the latest national regulations, such as the Technical Standards of Mexico City and the manual IMCA 5th Edition, referring to this type of structure.

Therefore, it will be guaranteed that the methodology is practical for all cases and that it serves as an ground base to those who work on this issue that is mainly associated with the industry.

CAPITULO 1.

INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES

Este estudio parte de la necesidad de profundizar en el estudio de estructuras que son de uso común en la industria en México y que deben soportar los efectos de cargas variables repetidas por efecto de Grúas Viajeras, que en muchos casos se implementan de forma improvisada por la necesidad de las industrias para mejorar las condiciones de producción.

Se toma como referencia los análisis convencionales que se realizan en la práctica Mexicana utilizando las recomendaciones de la Norma Técnica Complementaria para el diseño de Estructuras de Acero para la ciudad de México, publicadas en la Gaceta Oficial Mexicana el 15 de Diciembre del 2017; el manual IMCA 5ta Edición, el manual de obras civiles de la CFE sobre el diseño de naves industriales, y se compara contra las recomendaciones propuestas en códigos como el AISC (American Institute Steel Construction), CISC (Canadian Institute Steel Construction), CMAA (Crane Manufacturing American Association), el EUROCODIGO 1991-3, 1993-1-9 y el 1993-6.

1.2 PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

Se propone abordar los casos más comunes en la práctica para estructuras de acero que implementan grúas pesadas tipo monopunte y bipunte desde una concepción favorable, implementación de refuerzo para estructura existente, así como la rehabilitación de estructuras dañadas por dichos efectos negativos.

Se considera el uso de datos reales proporcionados por empresas que suministran la parte de las estructuras puentes, describiendo el dialogo correcto que debe existir entre el estructurista de la obra en general y el de la estructura para las grúas que proporcione las consideraciones necesarias para la compatibilidad y confiabilidad del diseño propuesto.

1.3 OBJETIVO

Generar recomendaciones que sirvan de guía para facilitar la implementación de las técnicas de diseño modernas consideradas en los diferentes códigos internacionales y contrastar los requerimientos propuestos en la normativa nacional y la implementación de criterios dentro de ella.

Se realizara una comparativa considerando un diseño basado en límites para desplazamientos contra un diseño de fatiga de la estructura para evaluar la aproximación entre los diseños con ambos métodos y para generar una serie de recomendaciones para que el diseñador pueda abordar mejor este último enfoque.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

Realizar una descripción general y comparativa de los códigos más relevantes en la literatura como son el AISC, CMAA, CISC y EN contra la NTC de la ciudad de México para la implementación de fórmulas y/o criterios relevantes dentro de estas.

Desarrollar una secuencia de diseño para que se pueda generar un estudio confiable, consistente, accesible y práctico, proponiendo la revisión de los todos los elementos estructurales que participan en el soporte de la estructura viajera.

Dar alternativas de solución para los casos de estructuras que se necesitan reforzar y/o rehabilitar que pueda garantizar tanto la seguridad de la estructura existente, el control de desplazamientos permisibles y la reducción de costos de mantenimiento en este tipo de estructuras.

CAPITULO 2.

ESTADO DEL ARTE PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS PARA EL
SOPORTE DE GRUAS VIAIERAS

2.1 INTRODUCCIÓN

Una de las problemáticas en el desarrollo de naves industriales es el diseño de las estructuras de soporte para grúas viajeras, estos elementos debido a su función, trabajan bajo una serie de cargas cíclicas, la cual hace necesario considerar los efectos de fatiga al analizarlas. Debido a que este efecto no se encuentra considerado de forma explícita en las normas mexicanas vigentes, se presentan las consideraciones necesarias tomando como base algunas normas extranjeras de renombre como son:

1.-Crane Manufacturers Association of America, (CMAA), es la asociación de fabricantes de grúas de américa, la cual es una asociación de comercio independiente afiliada con la industria de manipulación de material y su división, industria de manipulación y de material de américa. Existen 3 especificaciones dependiendo el tipo de grúa que se requiera instalar y son:

Especificación No. 70 – Puentes Grúas Rodantes Eléctricas de Vigas Múltiples de Puente que corre por la Parte Superior y del tipo Gantry*.

Especificación no. 74 – Grúas Rodantes Eléctricas de viga Simple que corre por la parte Superior e Inferior que Usan Polipasto de Carro que corre por la parte inferior.

Especificación no. 78 – Estándares y Pautas Para Servicios Profesionales Efectuados a Grúas Rodante y Puentes Grúas y Equipo de Levante Asociado.

Tienen como objetivo dar especificaciones que contienen información que debiera ser útil para los compradores y usuarios de grúas y para profesionales de ingeniería de planta y mantenimiento. En tanto que la mayoría de esta información debe ser de naturaleza general, los puntos pueden ser verificados con los fabricantes individuales, y se pueden hacer comparaciones tendientes a una elección óptima de un proveedor de servicio.

2.- Guía para el diseño de estructuras de acero para grúas. CISC, 2013

Esta guía llena todos los requerimientos con información técnica para el diseño y construcción de la estructura de acero para grúas y es compatible con los códigos canadienses y normas escritas dentro de los límites del estado. En el entendido de que sea usada en conjunto con el código nacional de construcción Canadiense (NBCC 2005) y la Asociación de normas Canadienses (CSA) Norma S16-01.

El alcance de esta guía de diseño incluye la estructura de acero para la grúa sin importar el tipo de grúa. La interacción de la grúa y su estructura de soporte está dirigida. El diseño de la grúa por sí misma, incluye grúas pluma, grúas de pórtico, puentes de minerales, y si está más allá del alcance de esta guía, las normas como la CMAA las cubre.

3.- Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC)

El Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC), con sede en Chicago, es un instituto técnico y comercial asociación sin fines de lucro establecida en 1921 para servir a la comunidad de diseño de estructuras de acero y la industria de la construcción en Estados Unidos, y que considera las siguientes referencias:

Especificaciones para los edificios de acero estructural (ANSI / AISC 360)

Código de AISC de Práctica estándar para edificios de acero estructural y Puentes (AISC 303)

Manual AISC para la Construcción en Acero, que contiene información sobre especificaciones para los rieles y sus conexiones

Guías de Diseño, de las cuales se consideran la Guía 7 sobre el Edificios Industriales para la consideración de los parámetros y recomendaciones para el diseño de estructuras de soporte para grúas viajeras y la guía 9 para el diseño de elementos sometidos a torsión.

4.- Euro-código EN

Estas consideran estándares procedimientos de alternativa, valores y recomendaciones, para ser usados en el diseño de estructuras, para la cual se utilizaran las siguientes:

EN 1991-3 Acciones en estructuras, parte 3 para acciones inducidas por grúas y maquinas.

EN 1993-1-9 Diseño de estructuras de acero, parte 1-9: Fatiga

EN 1993-6 Diseño de estructuras de acero, parte 6 para el diseño de estructuras de soporte.

2.2 METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE.

1. Obtener las cargas de la grúa, la carga máxima de la rueda, las cargas laterales y las cargas longitudinales del fabricante de la grúa. Esto implica clasificar la estructura dependiendo los ciclos de trabajo con los que estará trabajando y así poder tener un primer criterio sobre los desplazamientos laterales máximos permitidos en la construcción; esto es importante para edificios industriales con grúas, ya que tiene prioridad sobre los otros límites de desplazamientos establecidos sobre la base y la altura máxima (por lo general los valores son de $H / 250$ o $H / 500$).

2. Calcular las cargas laterales, el viento y el sísmico; Para los edificios industriales generalmente habrá grandes aberturas por puertas, cortinas etc. Esta consideración es importante dado que es probable que la puerta esté abierta durante una tormenta, por lo que hay que tener en cuenta la presión interna del viento siendo esto un escenario crítico para el diseño ya que aumentará la presión neta sobre las paredes y en consecuencia las distorsiones serán mayores. También la succión de la cubierta pudiera ser significativa, este levantamiento es el valor que se va a dar al instalador del tejado para diseñar los sujetadores del techo.

3. Para las cargas verticales de la grúa considerar utilizar el factor de impacto según el código de referencia.

4. Calcular las cargas principales y combinarlas según el código aplicable. Considerar añadir las cargas de la grúa a las combinaciones de carga.

5. Para la respuesta de la estructura se deberán evaluar dos conjuntos de cargas combinadas; cargas máximas por el criterio de estado límite de falla (cargas factorizadas) para los cálculos de resistencia y cargas para la revisión del estado límite de servicio (sin factores de carga) para los cálculos de las derivas laterales.

6. Modelar la estructura en todos sus elementos usando un programa de computadora, como Staadpro, SAP 2000, etc. y comprobar las derivas laterales resultantes. La deriva del edificio debe estar dentro de los límites establecidos por el fabricante de la grúa. De ser necesario aumentar la rigidez de los elementos de columnas o combinar con sistemas de contravientos.

7. Al modelar el edificio, verificar la condición de apoyo real viendo en lo posible modelar apoyos empotrados para controlar la deriva máxima siendo el caso de apoyos articulados un diseño como una alternativa conservadora pero real por el efecto de sedancia que estas pudieran desarrollar a lo largo de su vida útil.
8. Aplicar las cargas de la grúa en la dirección longitudinal del edificio como cargas excéntricas a las columnas de la ménsula de apoyo de las trabes carril; estas cargas provocan efectos torsionales en las columnas.
9. Para las estructuras de cubierta y fachada ligadas a las estructuras de grúas, considerar dar los refuerzos necesarios para controlar los empujes laterales horizontales continuos que se presentaran en la estructura de cubierta. Esto ayudará a mantener la uniformidad de la deriva lateral del edificio.
10. Utilizar arrostramientos en la dirección latera de la estructura ya que no interferirá con la operación de la grúa. Proporcionar refuerzos laterales verticales en dirección longitudinal. Consultar recomendaciones para el posicionamiento de refuerzos verticales que no compliquen la operatividad en el interior del edificio.
11. Proponer conexiones precalificadas para la unión de secciones de trabe columna que garanticen una transmisión de esfuerzo entre los elementos utilizando en lo posible conexiones con tornillos de alta resistencia con torque
13. Para los elementos columnas, y trabes que soporten la grúa verificar las recomendaciones para las soldaduras en los diferentes códigos
14. Para la trabe carril de la grúa, utilice claros simplemente apoyados, pues dar continuidad pudiera crear problemas.

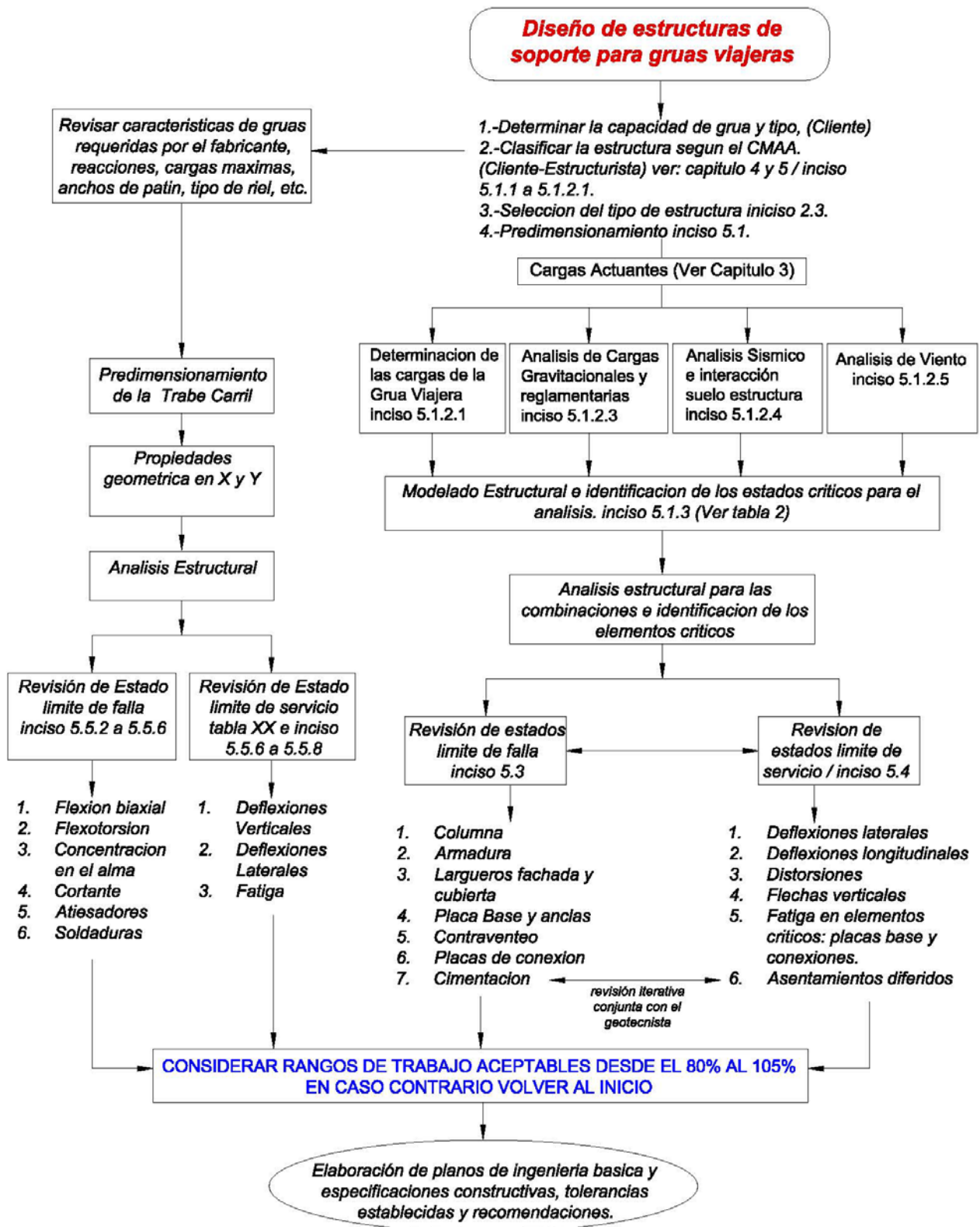


Ilustración 1. Diagrama de Flujo para el análisis y diseño de estructuras de soporte.

2.3 CONFIGURACIONES PARA EL SOPORTE PARA GRUAS VIAJERAS.

La configuración de la nave será función del área por cubrir y de la definición de los claros; pudiéndose formar con una sola cumbrera o con varias. Por lo que respecta a las estructuras pueden estar constituidas por armaduras o traveses de sección constante o variable; las columnas pueden ser por medio de perfiles tubulares del tipo OC o OR (HSS) o bien perfiles de tipo IR o "H". La nave deberá tener la capacidad de resistir las acciones de diseño en todas las direcciones; en la dirección perpendicular a los marcos principales es necesario proporcionar elementos de rigidización. De esta forma se pueden tener las siguientes configuraciones:

- a) Propuestas de marco de carga principal para trabe carril.

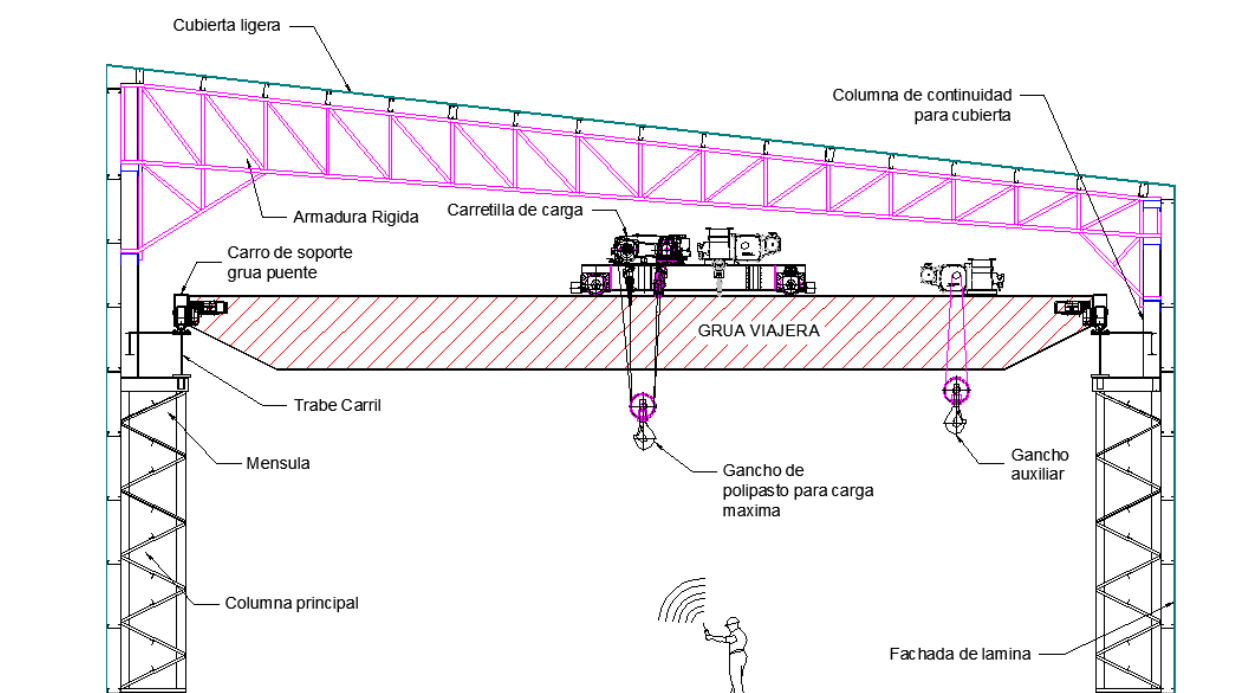


Ilustración 2. Estructura principal a base de columnas en celosía y armadura rígida a un agua para la cubierta

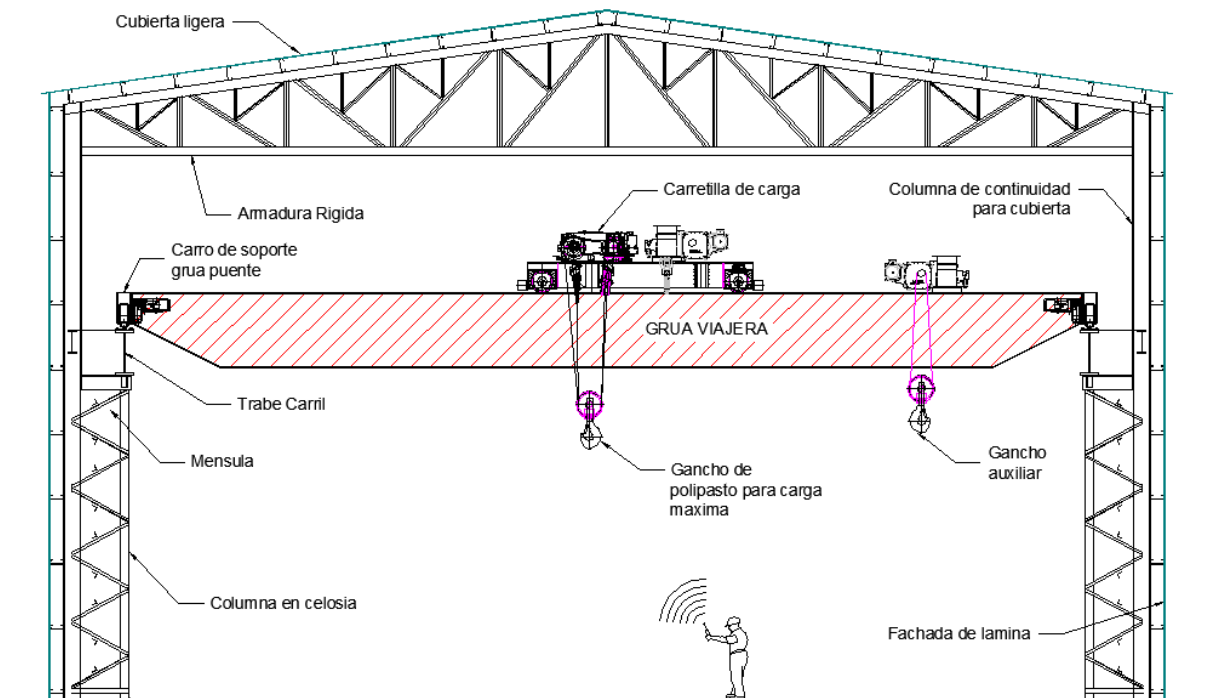


Ilustración 3. Estructura principal a base de columnas en celosía y armadura rígida a dos aguas para la cubierta.

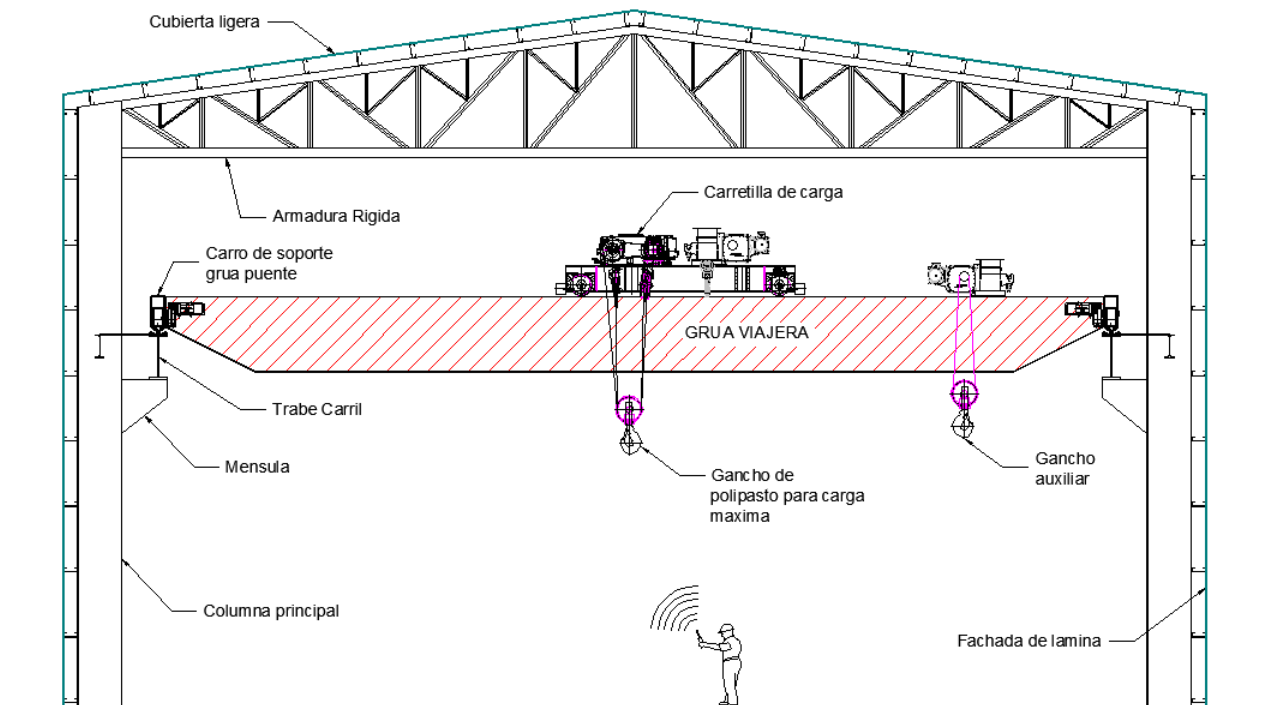


Ilustración 4. Estructura principal a base de columnas en de concreto o acero con apoyo de ménsula para trabe carril y armadura rígida a dos aguas para la cubierta.

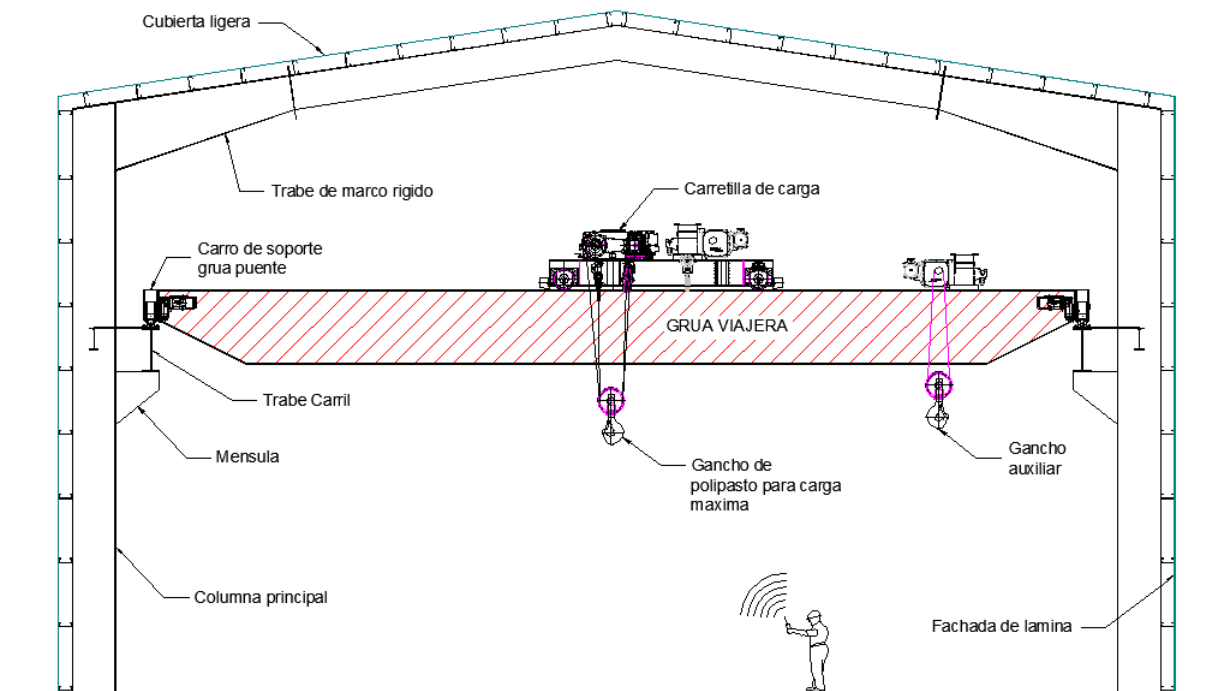


Ilustración 5. Estructura principal a base de columnas en de concreto o acero con apoyo de ménsula para trabe carril y trabe de acero de sección variable a dos aguas para la cubierta

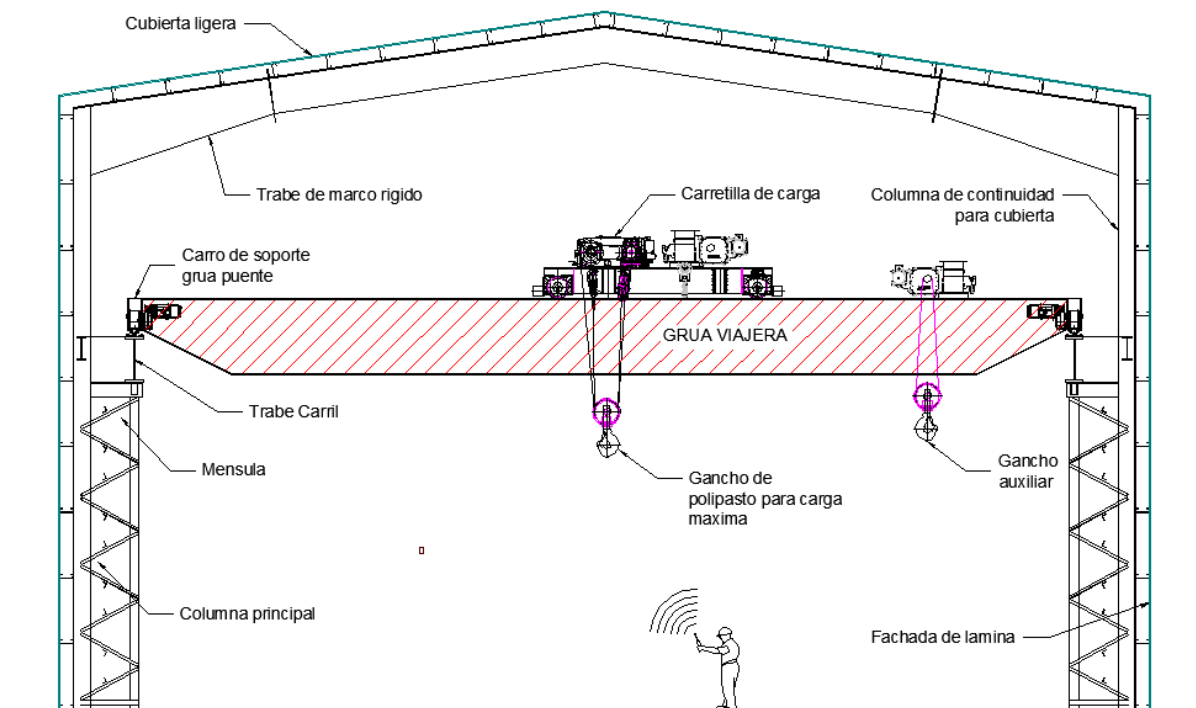


Ilustración 6. Estructura principal a base de columnas en de columnas de acero en celosía para trabe carril y trabe de acero de sección variable a dos aguas para la cubierta.

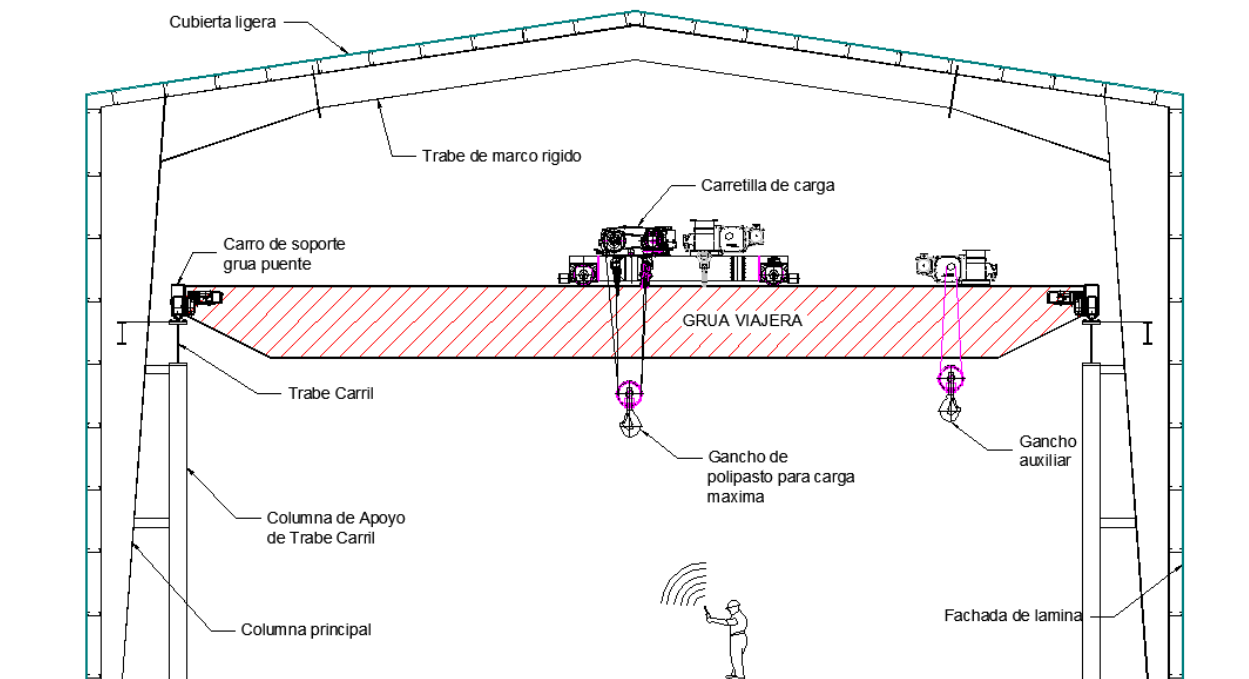


Ilustración 7. Estructura principal a base de columnas de acero de sección variable con adosó de columna para apoyo de trabe carril y trabe de acero de sección variable a dos aguas para la cubierta

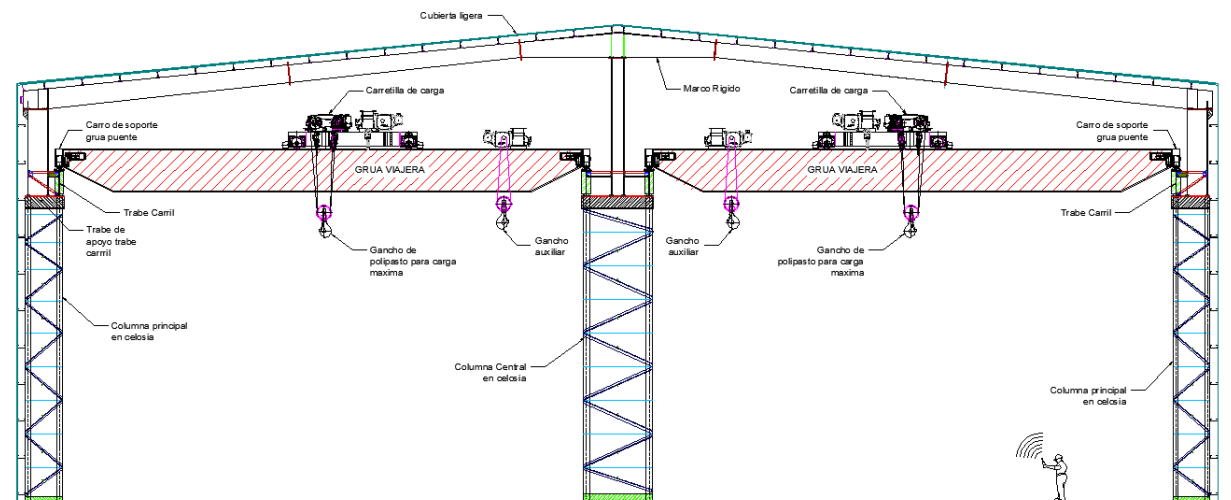


Ilustración 8. Estructura principal en dos crujeas a base de columnas de acero en celosía para trabe carril y trabe de acero de sección variable a dos aguas para la cubierta.

ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE GRÚAS VIAJERAS

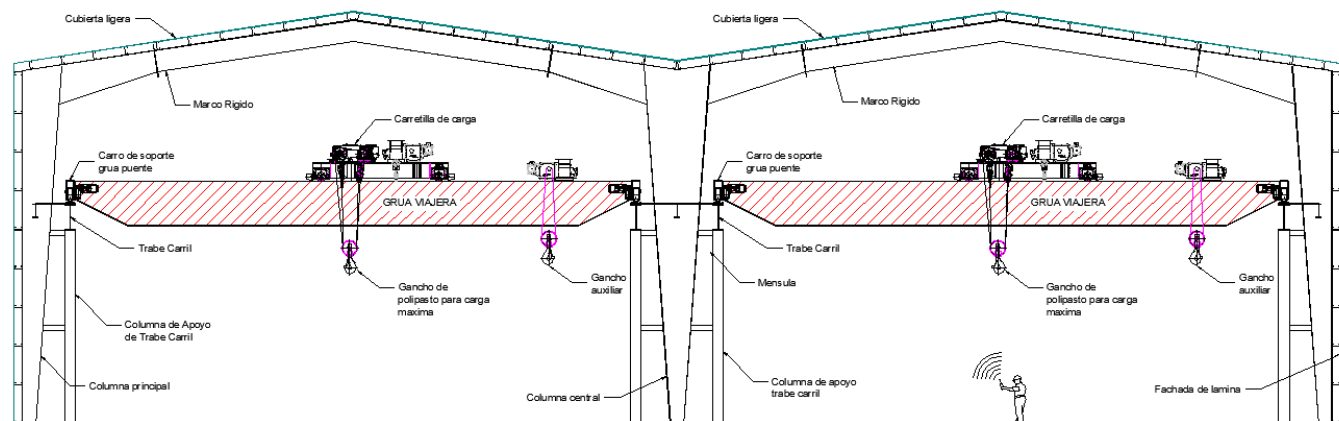


Ilustración 9. Estructura principal en dos crujeas a base de columnas de acero de sección variable con adosado de columna para apoyo de trabe carril y trabe de acero de sección variable a dos aguas para la cubierta.

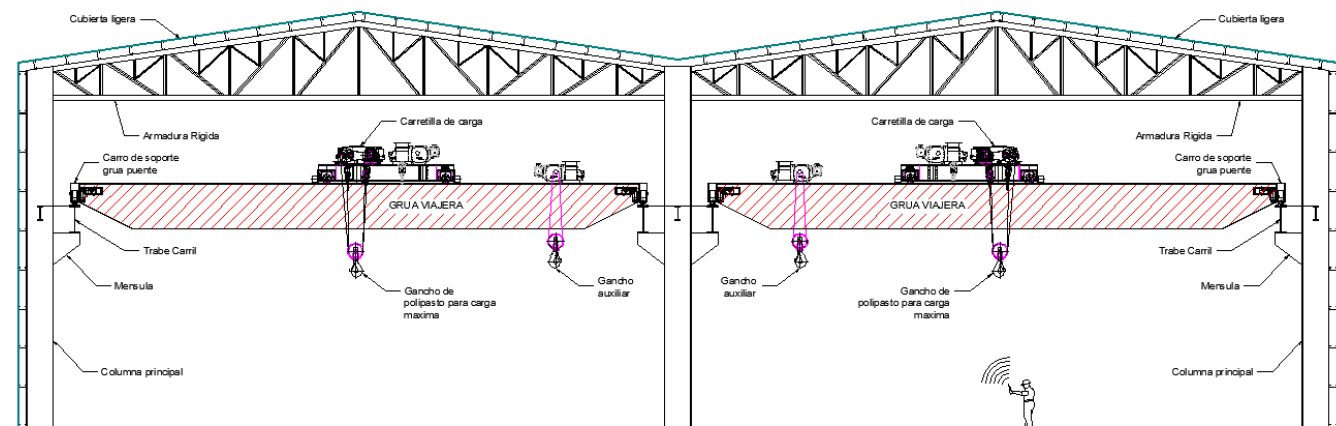


Ilustración 10. Estructura principal en dos crujeas a base de columnas de concreto o acero con apoyo de ménsula para trabe carril y armadura rígida de acero a dos aguas para la cubierta.

b) Propuestas para la rigidez longitudinal de la estructura:

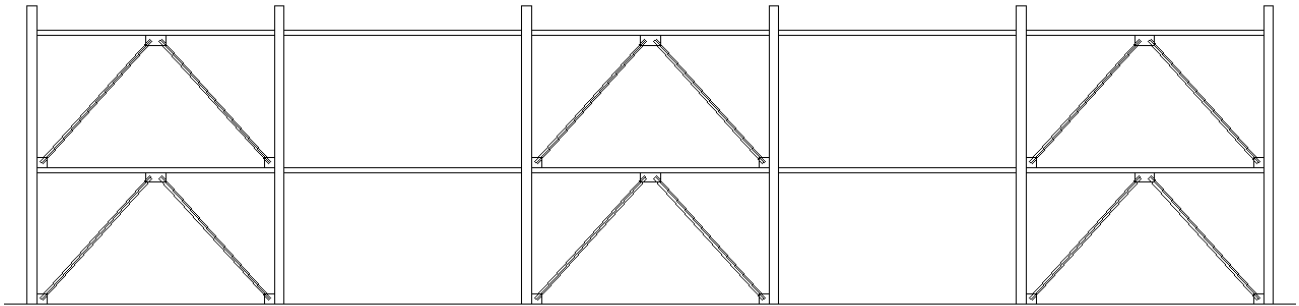


Ilustración 11. Estructura longitudinal rigidizada con contravéntes rígidos en "V" invertida en dos niveles en marcos discontinuos

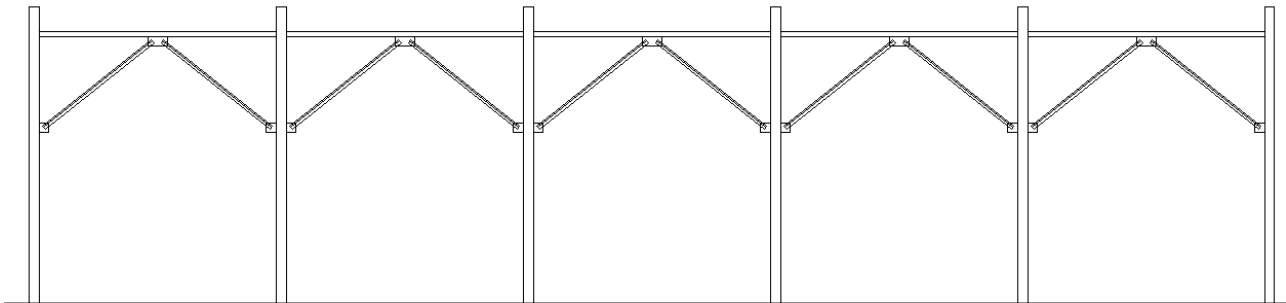


Ilustración 12. Estructura longitudinal rigidizada con contravéntes rígidos en "V" invertida en un nivel en marcos continuos..

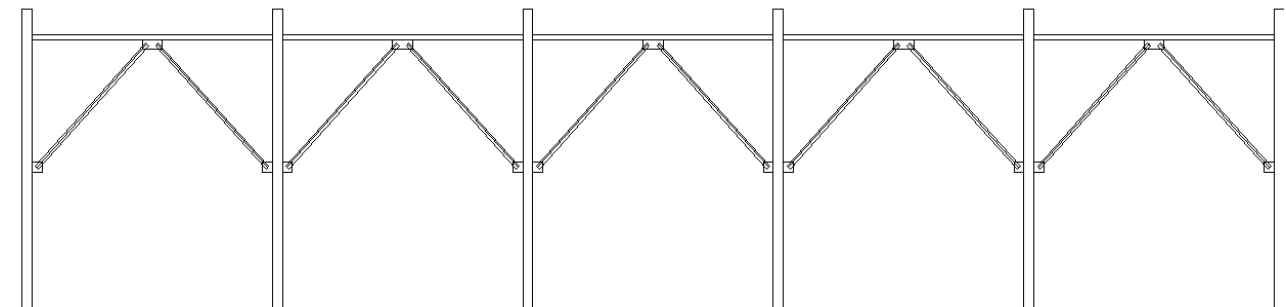


Ilustración 13. Estructura longitudinal rigidizada con contravéntes rígidos en "V" invertida en un nivel en marcos continuos.

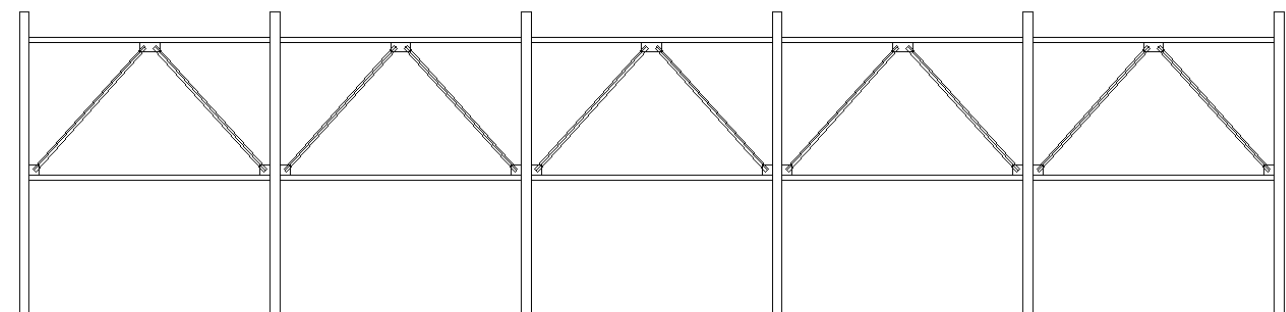


Ilustración 14. Estructura longitudinal rigidizada con contraventeos rígidos en “V” invertida en un nivel en marcos continuos con trabe intermedia.

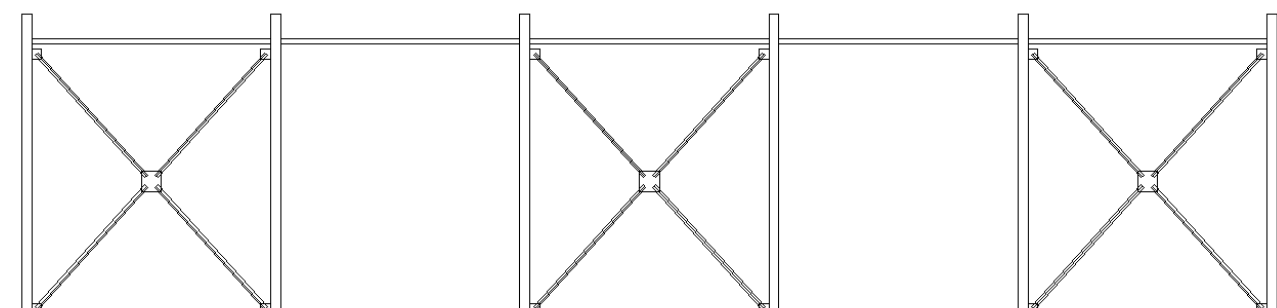


Ilustración 15. Estructura longitudinal rigidizada con contraventeos rígidos en cruz en marcos discontinuos.

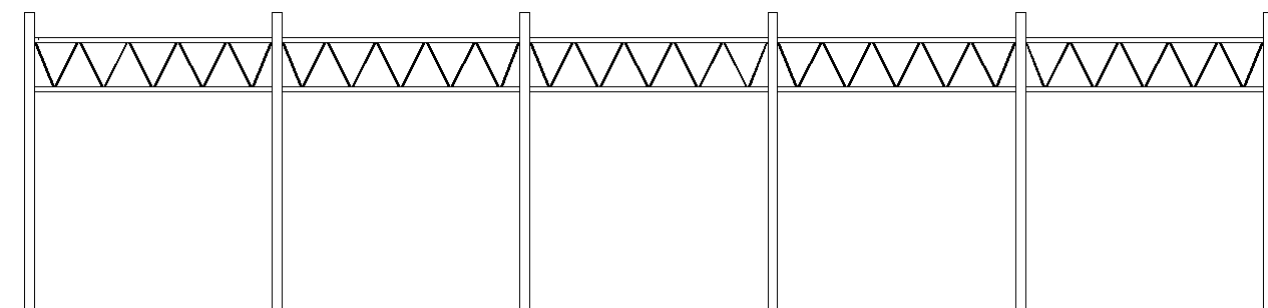


Ilustración 16. Estructura longitudinal rigidizada con armadura rígida en marcos continuos.

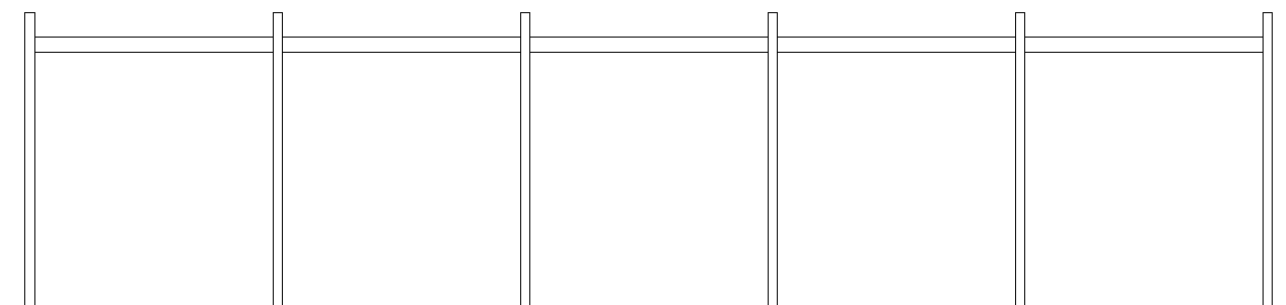


Ilustración 17. Estructura longitudinal rigidizada con trabe rígida en marcos continuos.

C) Propuestas para rigidez de Traves Carrileras:

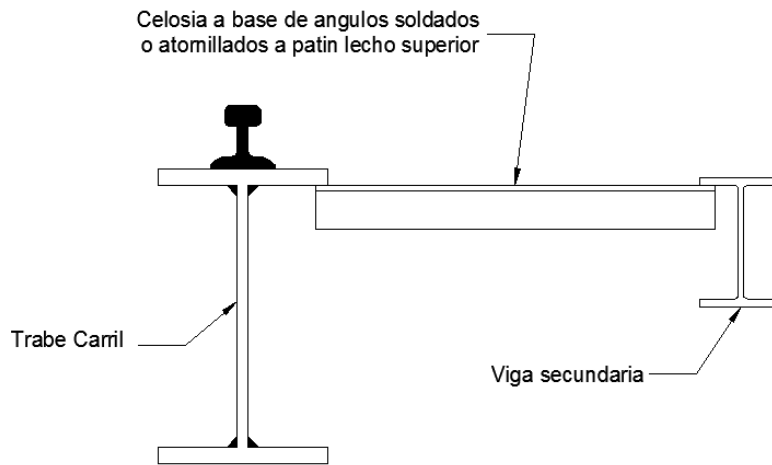


Ilustración 18. Trabe carril rigidizada lateralmente hacia trabe secundaria unida con celosía a base de ángulo

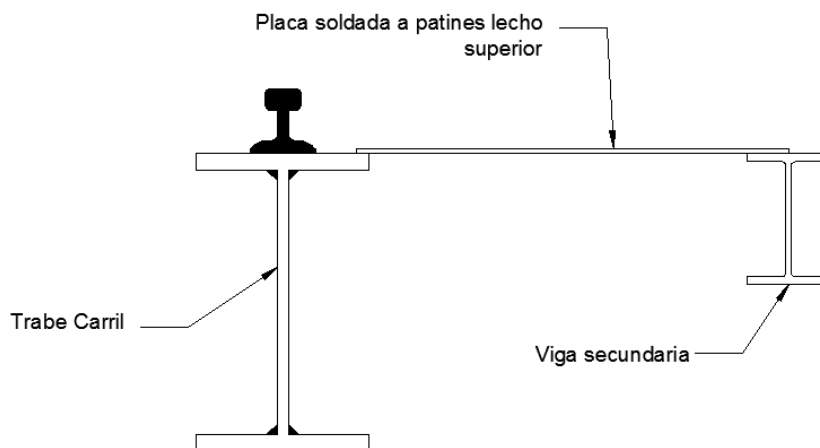


Ilustración 19. Trabe carril rigidizada lateralmente hacia trabe secundaria unida con placa.

2.4 SOFTWARES ESPECIALIZADOS PARA EL ANALISIS

Existen una serie de programas desde básicos a muy complejos donde se puede elaborar el análisis, lo importante es conocer el comportamiento de este tipo de estructuras se podría generar la elaboración de una revisión para estructuras de soporte de una manera completa y confiable.

Para esta tesis se consideró elaborar el modelado y análisis estructural en el software “RAM elements”, que es una plataforma de simulación del comportamiento de sistemas estructurales, sometidos a cargas externas, posee capacidades avanzadas para la modelación y análisis lineal de sistemas estructurales, para ello dispone de un amplio rango de modelos de materiales, y elementos de acero.

“RAM elements” utiliza métodos basados en elementos finitos, por lo tanto el primer paso para la modelación es subdividir el sistema en elementos y nudos, para de esta manera definir la acción de cargas, y las restricciones nodales.

Se obtendrán los siguientes datos:

- ✓ Elementos mecánicos en los elementos tipo barra.
 - Dado que el modelo se desarrolló por medio de elementos lineales se obtiene el valor del esfuerzo máximo para la longitudinal en las que sean discretizadas las secciones.
- ✓ Análisis de desplazamientos laterales y longitudinales.
 - Se restringirá previo al diseño que se cumplan los parámetros permisibles.
- ✓ Análisis modal de la estructura.
 - Este valor será utilizado para la construcción del espectro de diseño con interacción suelo estructura y el análisis modal espectral.
- ✓ Deformación del suelo.
 - Se calcularán las deformaciones impuestas al terreno para poder evaluar si los asentamientos diferenciales entran en los parámetros permisibles.

2.5 MANUALES Y NORMATIVAS EN MEXICO.

Para el caso sobre investigación realizada en México existen los siguientes manuales y normas para el diseño de estructuras de acero pero que no refieren una especificación que simplifique al diseñador la correcta revisión completa para el caso de estructuras de soporte, por lo que es común recurrir a toma de decisiones practicas limitado a estados limite despreciando en la mayoría de los casos los ciclos de cargas que sugieren una revisión más allá de lo convencional.

Manuales como el IMCA que copia de manera fiel las practicas propuestas en el AISC con la excepción de la información contenida en la guía 7 para el diseño de estructuras para la industria.

Existe también el Manual de obras civiles en el diseño de naves industriales que no es una guía de carácter público y que está en continuas revisiones por lo que este borrador no es un documento confiable a la fecha.

Recientemente se publicaron la normas técnicas complementarias para el diseño de estructuras de acero para la ciudad de México, en la cual se ha incluido un anexo que para el diseño de la fatiga, grúas viajeras y sobre edificios industriales, pero que son lo mínimo a conocer para el diseño de estas estructuras pero que por primera vez se nombra en una normativa de manera concreta.

CAPITULO 3.

DESCRIPCION DE LAS CARGAS

3.1 ANTECEDENTES

Se tomaron los valores recomendados por RCDMX-16, en cuanto a cargas muertas y vivas, con una variación en cuanto a la carga viva utilizada para techos y cubiertas donde se especifica una variación de las cargas en función de la pendiente de está. Para la carga viva máxima se recomienda 100 kg/m², 60kg/m², 40 kg/m² y 30 kg/m² dependiendo de si la pendiente es menor o igual a 5%, entre 6% y 10%, entre 11% y 20% ó mayor a 20%, respectivamente.

Las acciones debido a sismo y viento se deben evaluar de acuerdo a las especificaciones y recomendaciones de los capítulos C.3.3 y C.3.4 del Manual, respectivamente. En este capítulo solo se presenta de manera resumida los parámetros a considerar para la evaluación de estas acciones, dando las referencias donde se pueden obtener las ecuaciones y una explicación detallada de cada uno.

En esta sección también se hacen recomendación es para la evaluación de la carga debido a grúas viajeras, que son de uso frecuente en este tipo de estructuras que, además de las cargas gravitacionales que generan, pueden inducir carga longitudinal debido a frenado, empuje lateral y/o la falla por fatiga de los elementos de soporte. Por lo tanto, se presenta un procedimiento para la evaluación de dichas acciones. En el caso de las cargas debido a frenado y empuje lateral, se considera un porcentaje de la carga gravitacional, mientras que para la fatiga se evalúa el número de ciclos de cargas de acuerdo con un procedimiento que es recomendado por el Manual de la AISC.

Aunque la fatiga también aparece en las recomendaciones en la sección de cargas y acciones de este capítulo, se tratara ampliamente en la sección que corresponde al diseño de los elementos principales.

3.2 CONSIDERACIONES DE CARGAS POR GRÚAS VIAJERAS

Las cargas de la grúa tienen muchas características únicas que conducen a las siguientes consideraciones:

A) Un factor de impacto, aplicado a las cargas de las ruedas verticales para tener en cuenta los efectos dinámicos a medida que la grúa se mueve.

B) Para las grúas individuales, debe considerarse la baja probabilidad de algunas cargas, algunas de corta duración, actuando de forma simultánea.

C) Para múltiples grúas en un pasillo o grúas en varios pasillos se debe considerar la ocurrencia razonable de las combinaciones de carga.

D) Se aplicarán cargas laterales al carril de la grúa para tener en cuenta efectos tales como aceleración y fuerzas de frenado del carro y la carga levantada, la inclinación de la grúa, la desalineación del carril y no recoger la carga hacia arriba verticalmente.

E) Se consideran las fuerzas longitudinales debidas a la aceleración y frenado del puente de la grúa y a él no recoger la carga verticalmente son considerados.

F) Los topes finales de la pista de la grúa están diseñados para posibles impactos accidentales a toda velocidad del puente.

G) Ciertas clases especializadas de grúas como grúas magnéticas, grúas de cucharón, grúas con mástiles rígidos.

Siempre que haya grúa viajera dentro de la estructura existen acciones y efectos dinámicos, debido al funcionamiento del equipo que pueden ser tomados en cuenta como un porcentaje de la carga vertical.

Tabla 1 Porcentaje que debe ser considerado en los casos de carga para grúas viajeras. Tomada del Manual de obras civiles, Capítulo 10, diseño de naves industriales, CFE.

Tipo de Grua Viajera ^a	Carga Vertical incluyendo impacto	Carga Lateral Total (ambos lado) - el mayor de:			Fuerza de frenado ⁱ
	Máxima carga por rueda ^b	Carga levantada ^c	Carga levantada ^c más carro de traslación	Carga levantada ^c más peso propio grúa	Máxima carga sobre rueda de tracción
Operada por cabina o radio-control	125	40 ^d	20 ^e	10 ^d	20
Grúa de electroiman o de cuchara bivalva ^f	125	100	20	10	20
Grúa de brazo guía o con estibador	125	200	40 ^g	15	20
Grúa de mantenimiento	120	30 ^d	20	10 ^d	20
Grúa de control colgante	110		20	10	20
Grúa de cadena	105		10		10
Mono-puente	115		10		10

NOTAS:

- (a) Se distingue la clasificación por tipo de grúa viajera presentada aquí del tipo de servicio de la grúa viajera según la CMAA
- (b) Ocurre con el carro de rodadura en exceso sobre uno de los extremos del puente.
- (c) Carga levantada incluye la carga total levantada por la grúa al menos que se indique otra cosa, no incluye columna, corredera, u otro dispositivo de manipulación del material que sirva de guía en la dirección vertical durante el izaje.
- (d) Grúas viajeras en fábrica de acero (AISE, 2003).
- (e) Este criterio ha sido satisfactorio para grúas con servicio de ligero a moderado.
- (f) Servicios severos tales como depósitos de chatarra, no incluye levantamiento de productos tales como bobina y placas en operaciones de almacenamiento.
- (g) Carga levantada incluyendo brazo rígido.
- (h) Debido a la naturaleza lenta de la operación, las fuerzas dinámicas son menores que para una grúa de control colgante.
- (i) Si el número de ruedas de tracción es desconocido, considerar como fuerza de frenado el 10% de la carga total sobre todas las ruedas.

3.3 COMBINACIONES DE CARGA

Los factores de carga a utilizar en cada combinación deben ser coherentes con el Reglamento utilizado para el cálculo de las resistencias de diseño. Debido a que este capítulo se apoya ampliamente en el RCDMX,, considerando los factores de reducción de resistencia recomendados, se deben utilizar las combinaciones y factores de carga que se especifican en la siguiente tabla:

Tabla 2 Combinaciones para estados de carga en naves industriales pesadas.

1	$1.3 C_m + 1.5 G + 1.5 C_v + T + H$	Carga Gravitacional
2	$1.1 C_m + 1.1 G + 1.1 C_{vr} + 0.7 T + H$	Distribución no uniforme de carga viva más desfavorable.
3	$1.1 C_m + 1.1 G_{cm} + 1.1 C_{vr} \pm 1.1 S_x \pm 0.33 S_y \pm 0.33 S_z + 0.5T + H$	Sismo X
4	$1.1 C_m + 1.1 G_{cm} + 1.1 C_{vr} \pm 0.33 S_x \pm 1.1 S_y \pm 0.33 S_z + 0.5T + H$	Sismo Y
5	$1.1 C_m + 1.1 G_{cm} + 1.1 C_{vr} \pm 0.33 S_x \pm 0.33 S_y \pm 1.1 S_z + 0.5T + H$	Sismo Z
6	$1.1 C_m + 1.1 GR \text{ o } (1.1 V_x + 0.33 V_y) + 0.5T + H$	Viento 90° (x) o granizo.
7	$1.1 C_m + 1.1 GR \text{ o } (0.33 V_x + 1.1 V_y) + 0.5T + H$	Viento 0° (y) o granizo.
8	$0.9 C_m + 1.0 C_{v_{media}} + 1.0 (S_x \text{ ó } S_y \text{ ó } V_x \text{ ó } V_y) + H$	Revisión de estados límite de servicio
9	$0.9 C_m + 1.0 G_1 + 1.0 C_v + T + H$	Revisión por fatiga

Para las combinaciones presentadas se utilizan los siguientes símbolos y significados:

- CM** Carga Muerta.
- CV** Carga viva máxima.
- CVr** Carga viva accidental.
- CVm** Grúas viva media.
- T** Carga debido a efectos de temperatura.
- H** Acción debida a hundimiento diferencial más contracción por fraguado más deformaciones durante el proceso constructivo.
- Sx** Sismo en dirección X.
- Sy** Sismo en dirección Y.
- Sz** Sismo en dirección vertical.
- GR** Carga debido a granizo.
- Vx** Viento en la dirección X.
- Vy** Viento en la dirección Y.
- G** Cualquier combinación de la G2 a G7 por grúas viajeras. (Ver Tabla 3)
- Gcm** Carga muerta por grúa viajera en la posición más desfavorable en combinación con sismo.

En el caso de las cargas debido a grúas viajeras se presentan las posibles combinaciones de cargas debido los efectos de la operación de este uno o varios equipos que deben ser consideradas:

Tabla 3 Combinaciones para estados de carga por efecto de la grúas viajeras.

G1	$Gvs + 0.5 Gss$	Fatiga
G2	$Gvs + Gis + Gss + Gls$	Una grúa viajera en un pasillo único.
G3	$Gvm + Gss + Gls$	Cualquier número de grúas viajeras en uno o múltiples pasillos.
G4	$Gvm + 0.5 Gsm + 0.9 Glm$	Dos grúas viajeras en serie en un solo pasillo. No se necesita considerar más de dos excepto en condiciones extraordinarias.
G5	$Gvm + 0.5 Gsm + Gim + 0.5 Glm$	Una grúa en cada pasillo adyacente.
G6	$Gvm + 0.5 Gsm$	Máximo de dos grúas viajeras adyacentes en cada pasillo, y empuje lateral de dos grúas en un solo pasillo. No se necesita considerar mas de dos excepto en circunstancias extraordinarias.
G7	$Gvs + Gis + Gbs$	Impacto de parachoques.

Donde se considera la siguiente notación:

- Gvs*** Carga vertical debido a una grúa viajera.
- Gvm*** Carga vertical debido a múltiples grúas viajeras.
- Gss*** Empuje lateral debido a una grúa viajera.
- Gsm*** Empuje lateral debido a múltiples grúas viajeras.
- Gis*** Impacto debido a una grúa viajera.
- Gim*** Impacto debido a múltiples grúas viajeras.
- Gls*** Frenado debido a una grúa viajera.
- Gl m*** Frenado debido a múltiples grúas viajeras.
- Gbs*** Impacto de parachoques debido a una grúa viajera.

Excepto por la primera combinación que corresponde al caso de fatiga, (que es un estado de servicio), la combinación más desfavorable gobierna considerando un factor de carga igual al utilizado para carga gravitacional para efecto de combinación de las demás cargas como se ve en la *Tabla 2*.

Existen casos especiales como pueden ser deformaciones impuestas, vibraciones de maquinaria, nieve, granizo o empujes estáticos de tierra o líquidos. También que puedan ocurrir bajo condiciones extraordinarias tales como explosiones e incendios que deberán tenerse presente dependiendo el riesgo que le competan.

En algunos lugares de la República Mexicana existe alta probabilidad de la ocurrencia de granizo, ver ilustración 20. Esta carga debe considerarse dependiendo de la ubicación de la nave industrial ya que es una de las principales causas de fallas locales o colapso total de las naves industriales.

Para tomar en cuenta el efecto de granizo los reglamentos establecen una carga uniformemente repartida sobre el techo y una acumulación en los valle considerando a está como una acción accidental para fines de combinaciones de carga. En sitios donde existe una alta probabilidad de ocurrencia de este fenómeno, como en Puebla, la ciudad de México y el Estado de México, se ha reportado la falla de un gran número de naves industriales por este tipo de carga (CENAPRED). Un valor de 100 kg/m^2 se considera conservador en algunos lugares pero puede llegar a subestimar esta carga en otros, por lo que se necesita mayor investigación en cuanto al tema.

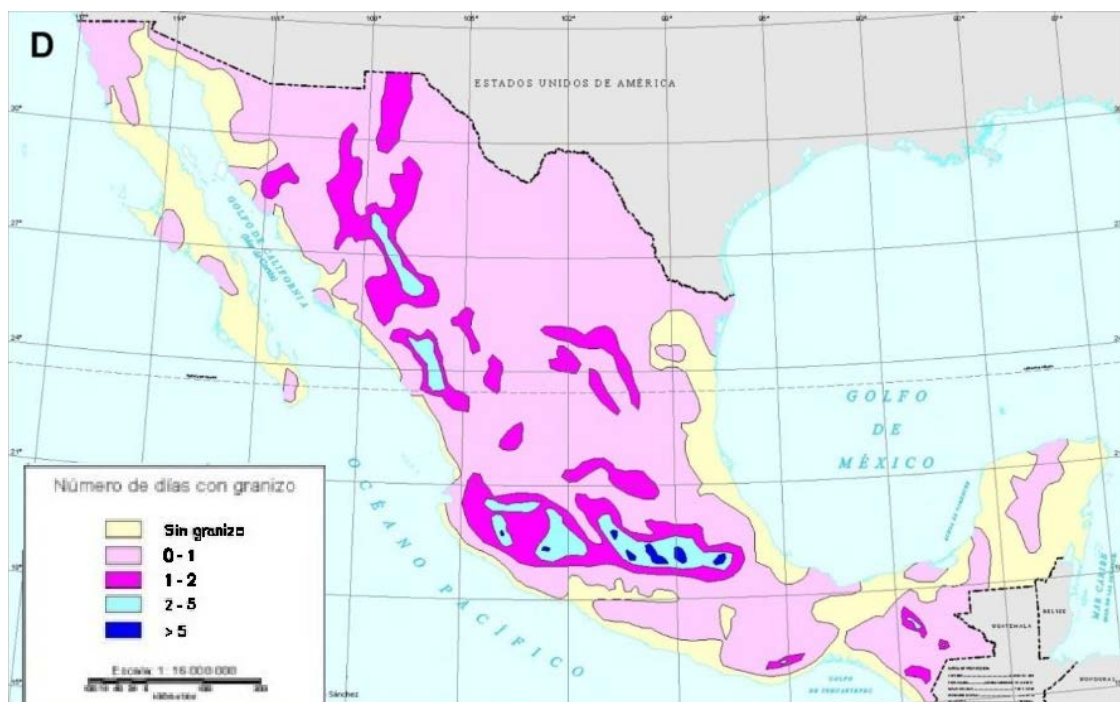


Ilustración 20. Mapa de número de días con granizo (Vidal, y otros, 2007)

Para tales efectos es recomendable revisar las normas ASCE/SFPE 29-99 y en el apéndice 4 de las especificaciones del AISC (2016) para mayor detalle de cálculo y consideraciones.

3.4 EFECTOS DE FATIGA.

Los efectos de fatiga tienen repercusión principalmente en las conexiones que conectan los elementos y que varían dependiendo su tipo y posición.

Debido a que este estado es mayormente considerado con un estado límite de servicio es común que se obvие su seguridad y en muchos casos puede ser despreciado.

Para el caso de Naves industriales Pesadas se someten a las estructuras a múltiples estados de fatiga que difícilmente pueden ser revisados con softwares de análisis convencionales pero existen ya estudios internacionales que proponen valores para su revisión como se describirá en el siguiente capítulo.

CAPITULO 4.

METODOLOGIA PARA EL DISEÑO POR CARGAS REPETIDAS

4.1 DETERMINACIÓN DE LOS CICLOS EFECTIVOS

Conocido el número de ciclos para cada porcentaje de la máxima carga al que va a estar sometida la estructura (espectro de carga) se puede establecer un valor estimado del número de ciclo de carga completa para el diseño de la estructura, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$N = \sum N_i a_i^3$$

Donde,

- N** Número de ciclo de la carga máxima de diseño.
- N_i** Número de ciclos para el porcentaje de la carga máxima i.
- a_i** Porcentaje de la carga máxima i (P_i/PTOTAL).

En la tabla 10.2.6 se presenta el número de ciclos estimado de diseño para una amplitud uniforme de carga completa a la que va a estar sometida la estructura de soporte determinado de un análisis de ciclos de servicio de la grúa (MacCrimmon, 2004). La clasificación de la estructura según el tipo de servicio se deriva de la clasificación para grúas viajera establecida por la Asociación de Fabricantes de Grúas de América (CMAA).

Tabla 4 Número de ciclo recomendados para diseño de la estructura de soporte de grúas viajera (MacCrimmon).

Clasificación de servicio de la estructura	Numero de ciclos de carga completa recomendadas, N	Servicios de la Grúa de acuerdo a CMAA
SA	20,000	Mantenimiento
SB	40,000	Ligero
SC	100,000	Mediano
SD	400,000	Pesado
SE	1,000,000	Cíclico
SF	>2,000,000	Continuo

En los manuales CMAA 70 y 74 (CMAA, 2002; CMAA, 2000) se establecen criterios para clasificar grúas viajeras de acuerdo a la magnitud de la carga en relación a su capacidad y la

frecuencia de está. Es importante señalar que estos ciclos son estimados y por tanto para un equipo específico los ciclos de carga deben de ser establecidos por el fabricante del equipo y el propietario de la estructura.

Del espectro de carga para la grúa viajera tenemos que el número de ciclos equivalentes con la máxima carga por rueda es igual a:

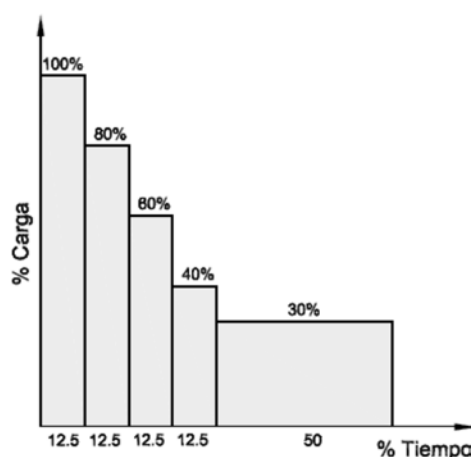


Ilustración 21. Espectro de carga.

$$N = (500 + 500 * (0.8^3 + 0.6^3 + 0.4^3) + 2,000 * 0.30^3) * 10^3$$

$$N = 500,000 + 396,000 + 54,000 = 950,000 \text{ ciclos}$$

950,000 representa el 48% de número de ciclo para el cual fue diseñada la grúa viajera.

Este valor es aproximadamente igual que el valor recomendado en la tabla 2.5. La estructura de soporte será diseñada para 1,000,000 ciclos de carga máximo.

El criterio para carga vertical es de 1,000,000 ciclo de paso de la grúa viajera con la carga máxima por rueda.

El criterio para carga lateral es de 500,000 ciclos de paso de la grúa viajera con el 50% de la carga producida por el empuje lateral.

4.2 CLASIFICACION DE LA ESTRUCTURA

Un elemento importante a considerar, es definir el tipo de servicio que dará la grúa. Éste se puede estimar por medio de la frecuencia de carga y el porcentaje en que se utiliza con su carga máxima. La clasificación de trabajo usualmente empleada por los fabricantes de grúas es la indicada tanto en el manual del Instituto Canadiense de Diseño de Elementos de Acero (CISC, 2009) como en el manual de la Asociación de Fabricantes de Grúas de América (CMAA, 2002), en los cuales se definen las siguientes 6 categorías:

Clase A (Uso esporádico): A ésta clasificación corresponden plantas de generación de energía, edificios públicos, cuartos de máquinas, etc., en los cuales el mayor movimiento de carga se hizo durante la instalación de los equipos y que ocasionalmente se emplea para realizar trabajos de mantenimiento de éstos.

Clase B (Uso ligero): En ésta categoría se incluyen las grúas empleadas en talleres, bodegas pequeñas y todas aquellas que requieran un movimiento de las cargas que por lo regular no supera el 30% de la carga máxima de la grúa y cuyos ciclos de carga son menores a 5 por hora.

Clase C (Uso moderado): En éste punto se ubican aquellas grúas que se ubican en tiendas de venta de máquinas o en fábricas de papel donde las cargas levantadas son en promedio del 50% de la capacidad máxima de la grúa y cuyos ciclos de carga se ubican entre 5 y 10 por hora.

Clase D (Uso pesado): Corresponden a éste punto grúas ubicadas en cuartos de máquinas, plantas de fundición, almacenes de perfiles de acero y todas aquellas donde se haga producción a gran escala. En éstas es requisito que las grúas se muevan a alta velocidad y que las cargas levantadas sean hasta del 65% de la capacidad máxima de la grúa teniendo ciclos de carga entre 10 y 20 por hora.

Clase E (Servicio Severo): Estas corresponden a aquellas grúas que requieren el manejo de cargas prácticamente, a toda su capacidad de forma constante. Sus aplicaciones pueden ser

en grúas en plantas de reciclaje de metales, plantas de concreto, sistemas de carga y descarga de contenedores y todas aquellas que demanden el empleo de más del 90% de la capacidad de la grúa con más de 20 ciclos de carga por hora.

Clase F (Servicio Severo continuo): Estas corresponden a un tipo especial de la clasificación anterior en las cuales, adicionales a las altas demandas de carga, se requiere el uso constante de la grúa por largas jornadas de trabajo y de las cuales depende toda la producción de la planta.

4.3 DISEÑO POR FATIGA DE LAS ESTRUCTURA

4.3.1 Estado del Arte

La fatiga no es una carga propiamente dicha sino que es un estado de falla frágil generado por la aplicación de la carga de servicio un número elevado de veces durante la vida útil de la estructura. Se considera como un estado límite de servicio porque se genera durante la operación normal y continua, por lo que se estudia considerando las cargas sin amplificar.

Las especificaciones para diseño por fatiga se establecen para ciclos de carga de amplitud constante, mientras que para una estructura real los ciclos de carga son de amplitud variable. Cada amplitud de carga contribuye con un número de ciclos a daño por fatiga de la estructura. Por tanto, solo se puede llegar a un estimado de número de ciclos equivalente con la carga total de diseño. Conocido el número de ciclos para cada porcentaje de la máxima carga al que va a estar sometida la estructura (espectro de carga) se puede establecer un valor estimado del número de ciclo de carga completa para el diseño de la estructura.

Para esta carga, que tiene la mayor amplitud de variación, se calcula el esfuerzo de servicio máximo y mínimo, y con la diferencia entre ambos se obtiene la amplitud de esfuerzo, f_s , para el número de ciclos de carga equivalente calculado

El método más común para estudiar los efectos de los ciclos de carga en un componente estructural es mediante la llamada "Curva S-N". Esta consiste en una gráfica del nivel de esfuerzo constante requerido para causar una falla por fatiga de un componente dado un número de ciclos de carga repetitiva.

De la regla de Palmgren-Minier, tenemos que para una amplitud de esfuerzo constante resistente, F_C , dado para un número de ciclo, N_C , se puede calcular la amplitud de esfuerzo constante resistente equivalente, F_{SR} , para N ciclos de carga.

Los valores de FCmNC ya vienen tabulados en diferentes reglamentos internacionales (Manual AISC, Código Canadiense, Código Europeo) y van a depender del tipo de detalle en revisión.

No se considera diseño por fatiga para un número de ciclos de aplicación de la carga repetitiva menor a 20,000 o para una amplitud de esfuerzo de servicio menor que la amplitud de esfuerzo límite, FTH. Este último va a depender del detalle en revisión.

En el caso de la NTC-17 para la CDMX para el diseño de estructuras de Acero se solicita que cuando haya elementos móviles en la estructura, se deben considerar los siguientes aspectos:

1.-Identificación de los elementos estructurales y conexiones que estarán sometidos a un número elevado de veces durante su vida útil a la acción de cargas variables repetidas

2.-La amplitud de los esfuerzos, calculada con la teoría elástica lineal, usando propiedades de la sección total, sin considerar concentraciones de esfuerzo en el punto o detalle que se revisa. La amplitud de esfuerzos se define como el cambio en su valor producido por la fluctuación de la carga viva de servicio.

Si los esfuerzos variables son siempre de compresión, la revisión por fatiga no es necesaria.

Al estudiar Fatiga no se consideran cargas producidas por viento, sismo o impacto.

3.-El número de ciclos de carga y descarga con inversión de signo para cada amplitud de esfuerzo de los elementos estructurales que soportan a los elementos o equipos que puedan producir la fatiga. Los registros de cargas y número de ciclos son proporcionados en este caso por las especificaciones particulares del equipo.

4.-Espectro de carga, que se define como la frecuencia para cada por ciento de carga durante un periodo determinado de tiempo, tomándolo como base para calcular el número de ciclos de carga completa equivalente de diseño.

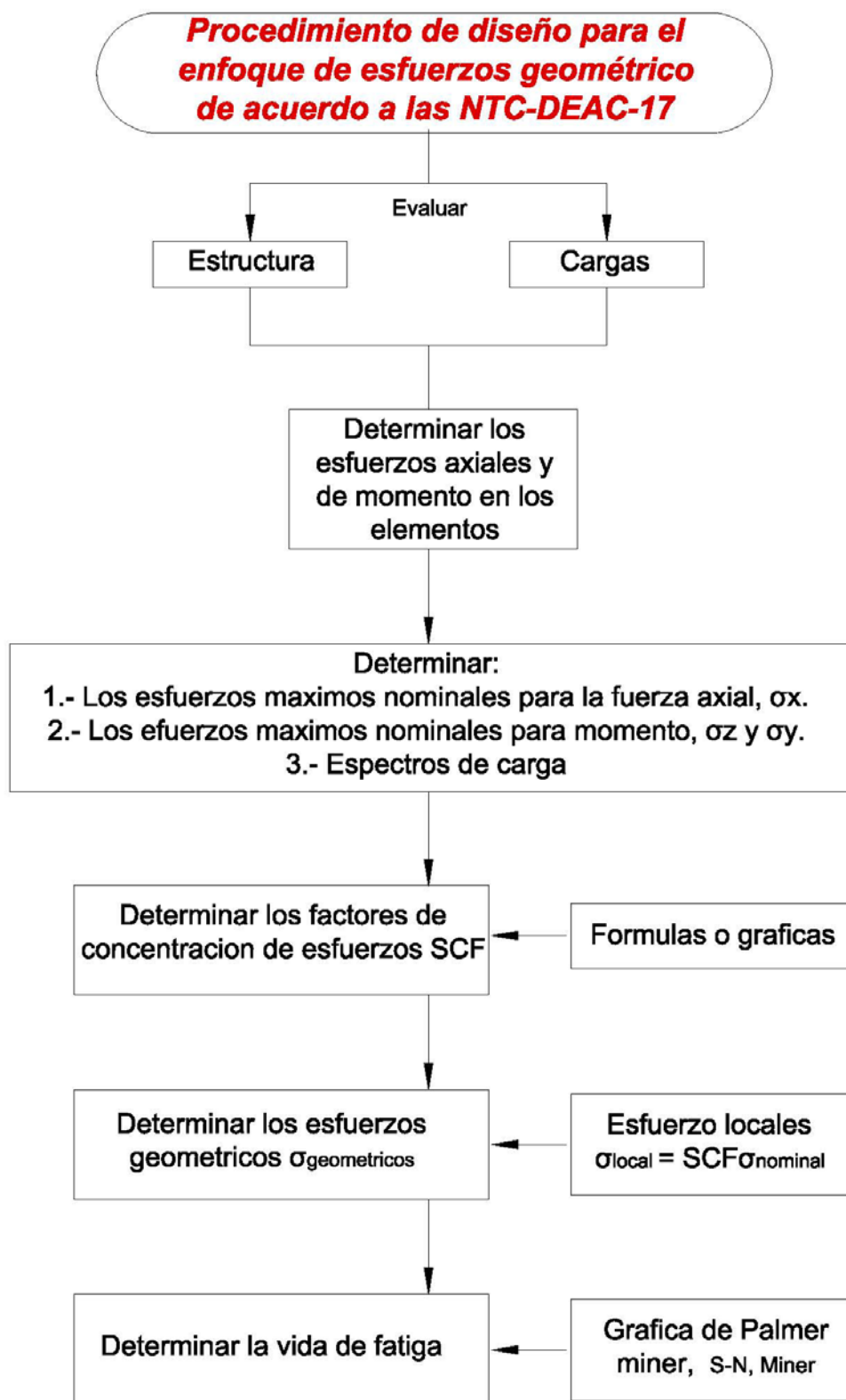


Ilustración 22. Diagrama de flujo para revisión por fatiga propuesto por la NTC-DCEA-17.4.3.2 Consideraciones para el Diseño por Fatiga

Para el diseño por fatiga se aplica la siguiente ecuación:

$$f_{sr} \leq F_{SR}$$

Donde,

f_{sr} Amplitud constante de esfuerzo de servicio por fatiga calculado para un determinado número de ciclos de carga, ver Ilustración 23.

F_{SR} Es la amplitud constante de esfuerzo resistente para un determinado número de ciclos de carga y una categoría de esfuerzo para el detalle en revisión.

No se considera diseño por fatiga para un número de ciclos de aplicación de la carga repetitiva por fatiga menor a 20,000.

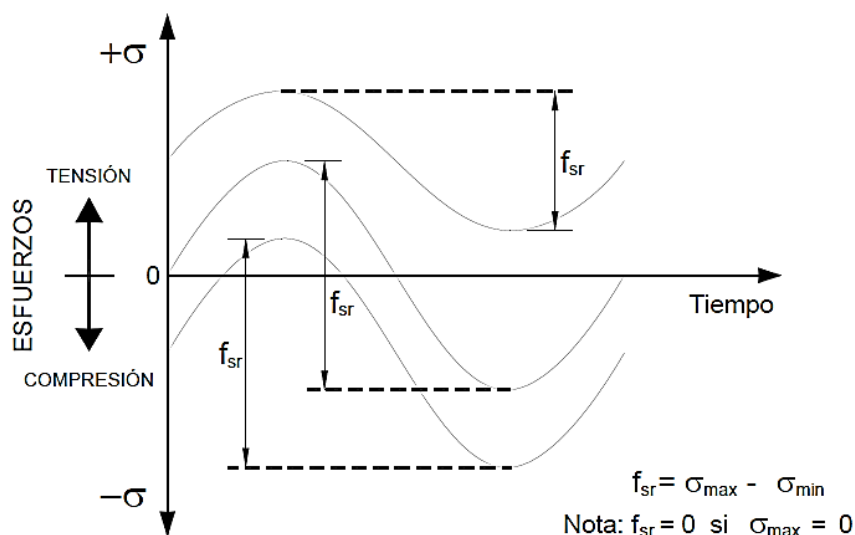


Ilustración 23. Intervalos de esfuerzos en curvas de variación de carga

La amplitud constante de esfuerzo resistente se obtiene con la siguiente expresión:

$$F_{SR} = \left(\frac{C_f}{N} \right)^{\frac{1}{m}} \geq F_{TH} \tag{3}$$

Donde,

C_f Constate que depende de categoría del esfuerzo de detalle en revisión.

F_{TH} Amplitud constante de esfuerzo límite.

m Exponente que va a depender de la categoría en estudio (3 para todas las categorías excepto la F, y 5 para categoría F).

Número de ciclos de variación de la amplitud constante de esfuerzo

N durante la vida útil del elemento.

Dependiendo del detalle a revisar se tienen ocho categorías con diferentes valores de la constante C_f y la amplitud constante de esfuerzo límite, F_{TH} (**ver tabla 5**). Las categorías de detalle se establecen de acuerdo a lo establecido en el apéndice 3 de Manual para Construcciones de Acero del Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC, 2005).

Tabla 5 Constantes y amplitudes de esfuerzo por categoría.

Categoría	C_f	FTH (kg/cm²)
A	865×10^{13}	1,680
B	410×10^{13}	1,120
B'	210×10^{13}	840
C	150×10^{13}	700
D	75×10^{13}	490
E	37×10^{13}	315
E'	13.5×10^{13}	182
F	129×10	315

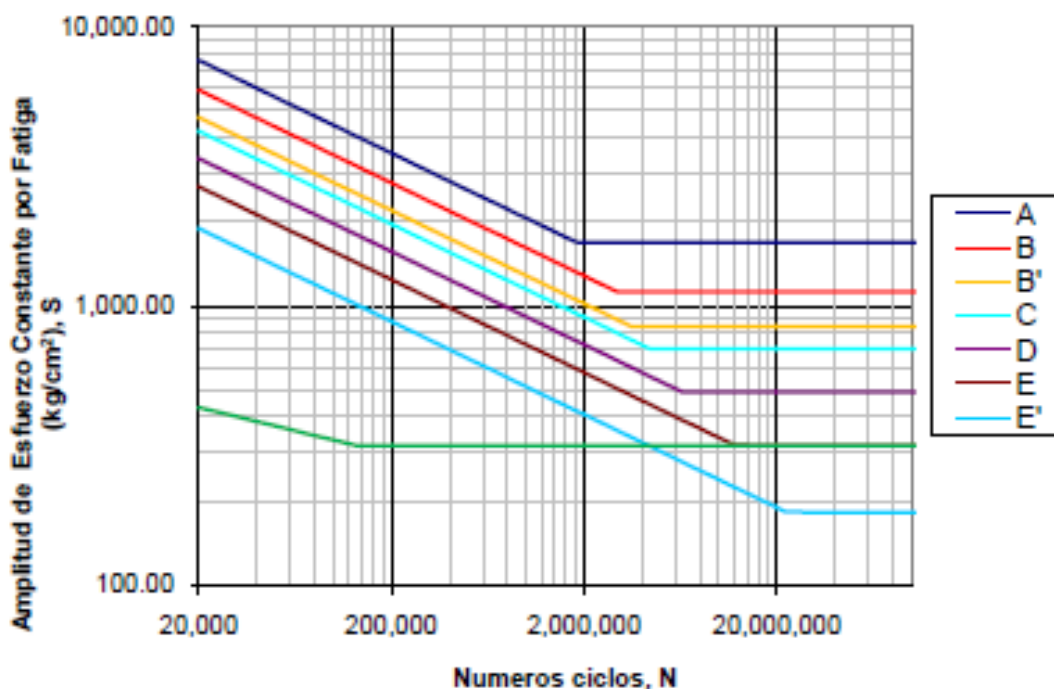


Ilustración 24. Curvas de la resistencia a fatiga para las diferentes categorías (Curva S-N).

Cuando se revisa algún detalle de soldadura de penetración parcial o filete que está dentro de la categoría C, la amplitud constante de esfuerzo resistente deber ser reducida de acuerdo a la siguiente expresión:

$$F_{SR} = R_F \left(\frac{150 \times 10^{13}}{N} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde el factor de reducción R_f es igual a:

1.-Para detalle dentro de la categoría C usando soldadura de penetración parcial (PJP) transversal con ó sin refuerzo, categoría C (AISC, 2005):

$$R_f = \left(\frac{1.12 - 1.01 \left(\frac{2a}{tp} \right) + 1.24 \left(\frac{w}{tp} \right)}{tp^{0.167}} \right) \leq 1.0$$

2.-Para detalle dentro de la categoría C usando un par de soldadura de filete transversal, categoría C (AISC,2005):

$$R_f = \left(\frac{0.10 + 1.24 \left(\frac{w}{tp} \right)}{tp^{0.167}} \right)$$

Donde,

- 2a** Longitud de la raíz no soldada en la dirección del espesor de la placa sometida a tensión
- tp** Espesor de la placa en tensión (mm)
- w** Tamaño nominal de filete de contorno ó refuerzo, en su caso, en la dirección del espesor de la placa a tensión
- N** Número de ciclos de variación de amplitud constante de esfuerzo durante la vida útil del elemento.

4.3.2 Efectos de la fatiga en las estructuras

Cuando un elemento estructural o una junta están sujetos a cargas de intensidad variable repetidas, durante un número elevado de veces, puede presentarse la fractura bajo magnitudes de carga menores. A este fenómeno se le conoce como fatiga.

La falla por fatiga consiste en la fractura del material, bajo esfuerzos relativamente reducidos, después de un número suficientemente grande de aplicaciones de la carga, que pueden o no incluir cambios de signo en los esfuerzos.

La fractura se inicia en un lugar donde hay una pequeña imperfección que puede ser de tamaño microscópico, y se propaga en forma de una grieta, que suele crecer lentamente, hasta que la pieza se rompe.

Las fracturas por fatiga, que se presentan asociadas con esfuerzos normales de tensión, se inician con una deformación aparentemente muy reducida, son de naturaleza frágil, es decir, están acompañadas por deformaciones muy limitadas. La fractura por fatiga se propaga lentamente y presenta un aspecto característico, ya que en la superficie de la fractura aparecen dos zonas claramente diferenciadas, una lisa y generalmente brillante, y otra de granos gruesos y mate.

Por consiguiente, cuando un elemento de acero estructural falla por fatiga, su comportamiento no es dúctil y dado que no puede efectuarse una redistribución de esfuerzos, los métodos de diseño modernos no son válidos a estructuras sometidas a un número importante de repeticiones de carga.

La resistencia a la fatiga de un metal depende del número total de repeticiones de carga a que queda sometido y no depende del tiempo total bajo la carga, así mismo es función de la magnitud del rango de esfuerzos y de la amplitud de la parte variable de los ciclos de carga.

No es posible establecer reglas generales para el diseño de elementos estructurales cuya resistencia a la fatiga sea un factor predominante y en los que el problema se complique por su forma geométrica, número muy elevado de ciclos de carga, etc. Sin embargo, las concentraciones de esfuerzos ocasionados por discontinuidades o muescas, cambios bruscos de sección, deficiencias en la fabricación, hacen que disminuya de manera importante la resistencia de las uniones a la fatiga y de los miembros estructurales por lo que deberán eliminarse o reducirse drásticamente en la zonas críticas de las piezas sometidas a cargas repetidas.

Los valores del esfuerzo de fluencia, F_y , y de ruptura en tensión, F_u , que se utilizarán en el diseño, serán los mínimos especificados en la norma correspondiente. No se emplearán en el diseño los valores reportados en certificados de ensayos de los productos laminados

CAPITULO 5.

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE

5.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL

5.1.1 Descripción del Tipo de Grúa Viajera

Para la explicación del análisis se tomara un caso real de una estructura de soporte y grúa bipuente como se describe a continuación:

Se tienen por tanto la siguiente configuración de estructura de soporte y tipo de grúa viajera:

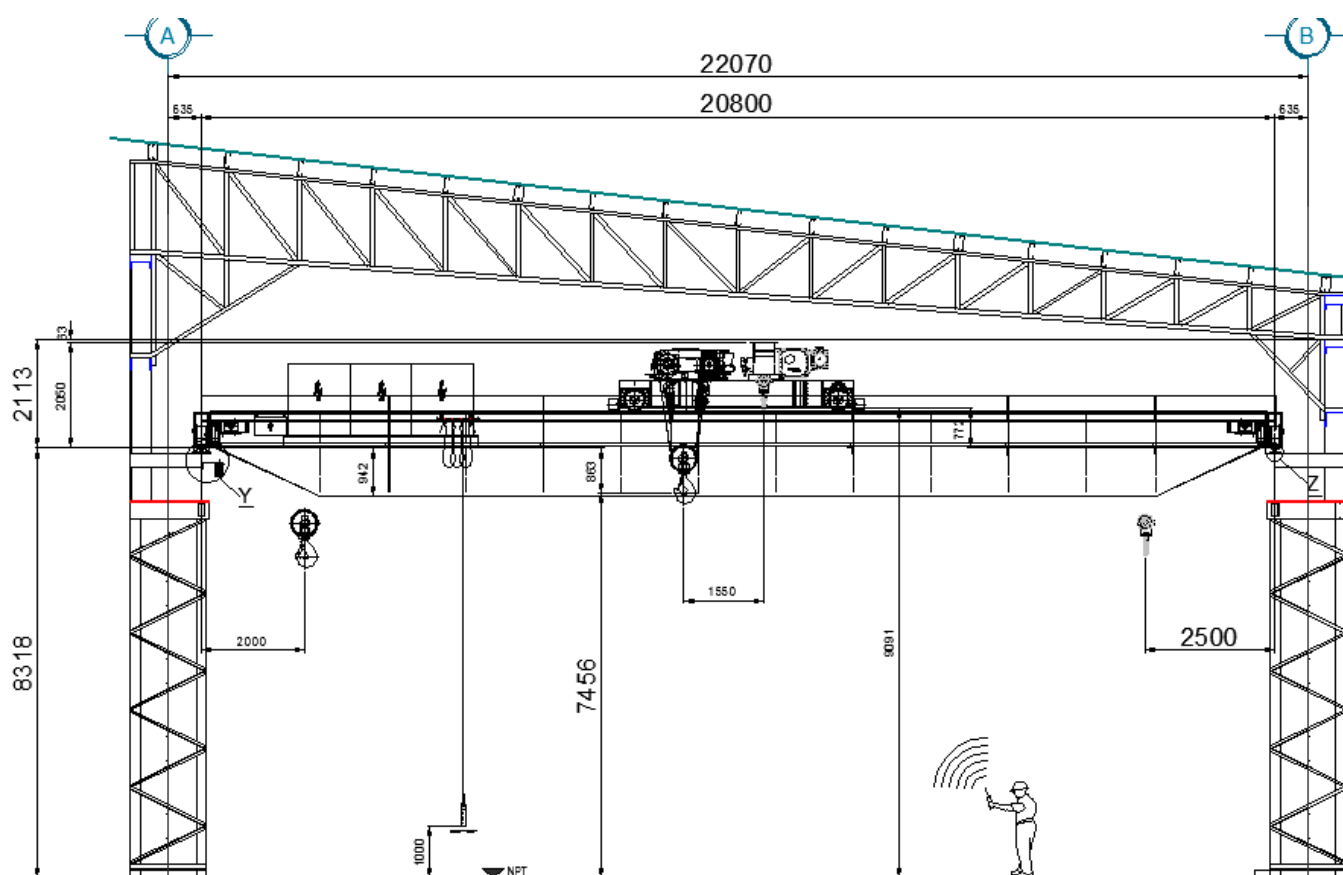


Ilustración 25. Dimensiones del marco rígido transversal.

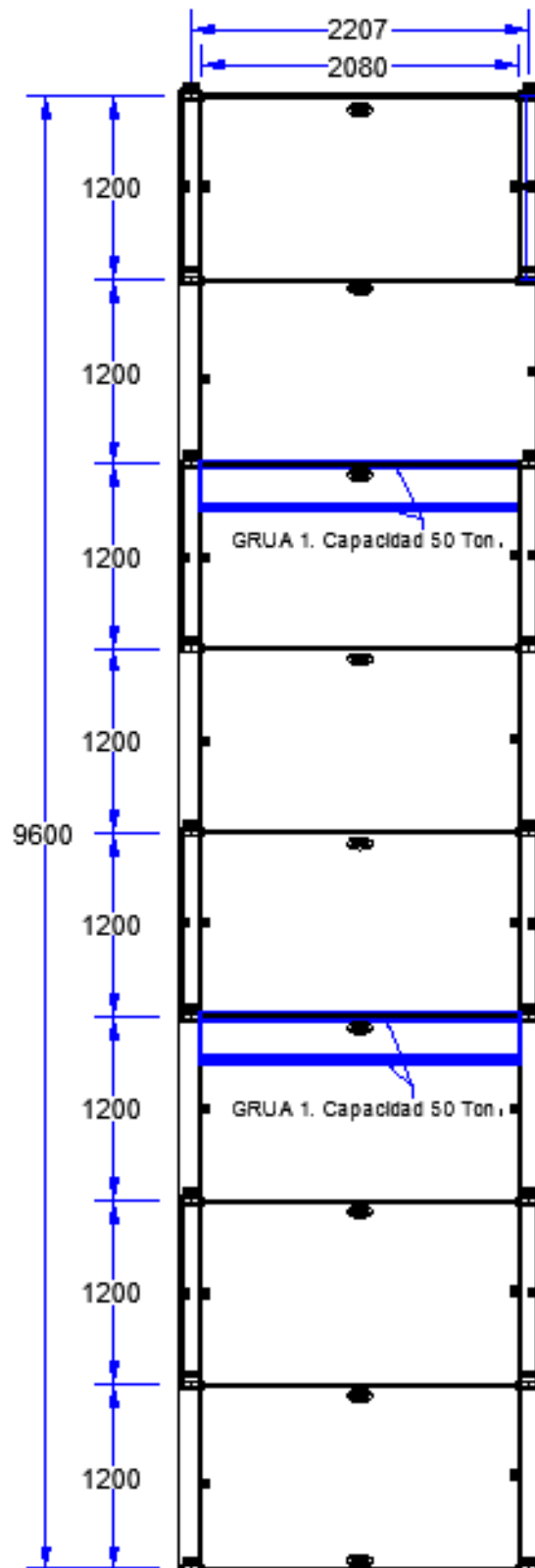


Ilustración 26. Dimensiones en planta de la estructura de soporte.

PARÁMETRO	VALOR
Clase de Grúa	CMAA Clase D
Tipo de grúa	Bi Puente con Grúa de electro imán
Capacidad del gancho de la grúa	50 Toneladas
Peso del Carro de rodadura	8.13 Toneladas
Peso del Puente de la Grúa	19.37 Toneladas
Ruedas del Puente por Riel	4 Ruedas

Tabla 6. Características y clasificación de la grúa.

5.1.2 Análisis de Carga para la estructura

5.1.2.1 Reacciones de la Grúa Bipuente

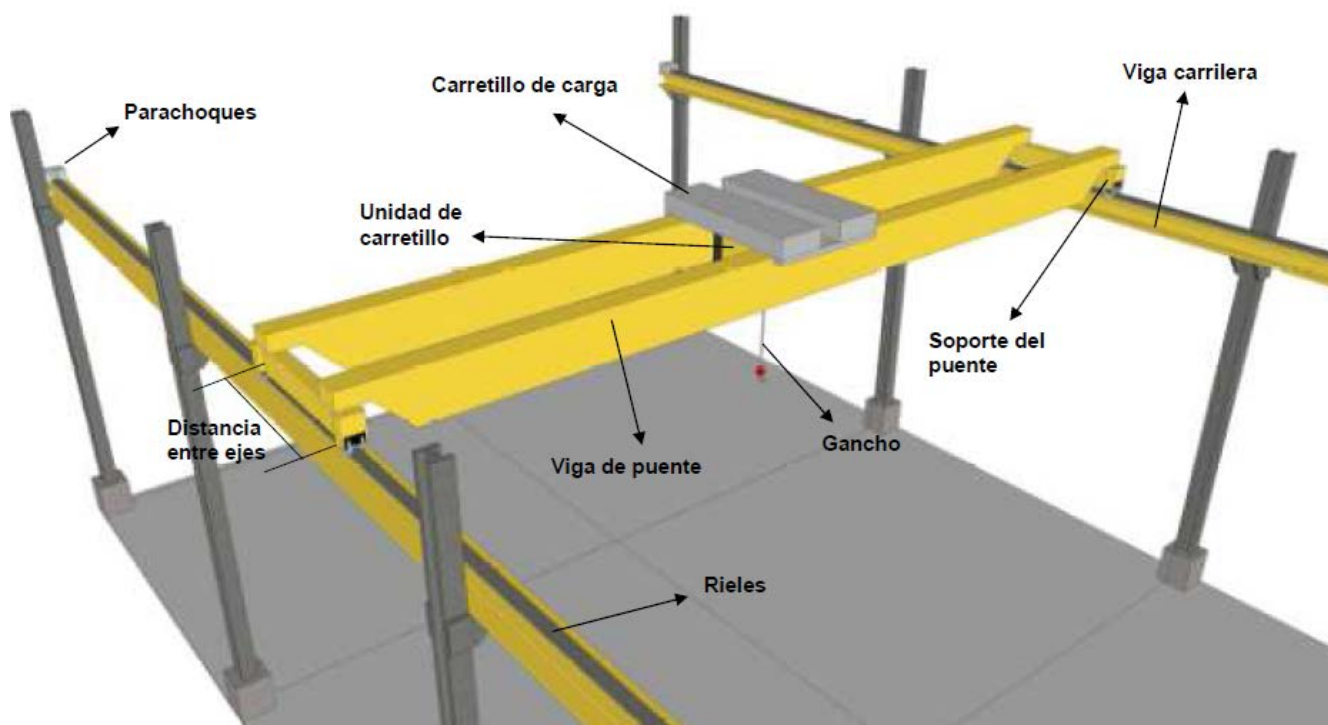


Ilustración 27. Características de la grúa tipo bipuente seleccionada.

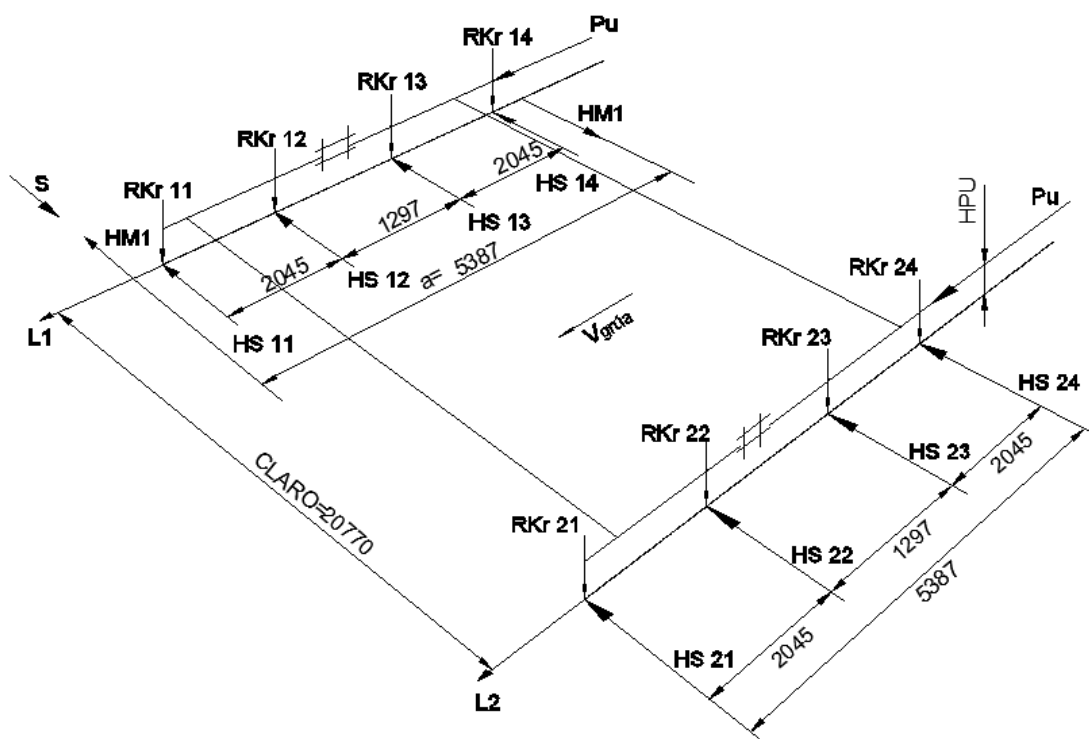


Ilustración 28. Gráfico de reacción de la grúa bipunte sobre la trabe carril considerando la reacción sobre 4 ruedas.

REACCIONES DE LA GRUA VIAJERA SOBRE LA ESTRUCTURA					
NODO	Rkr Max. (kg)	Rkr Min (kg).	+/- HS (kg)	Estado	(kg)
11	17,232	4,302	33,589.44	HM1	3,580.65
12	16,021	2,899	16,912.44	HM2	17,030.16
13	15,116	2,776	6,327.45	L1	8,103.06
14	15,635	3,475	-10,349.55	L2	8,103.06
21	17204	4,273	6,925.86	Viento	
22	16049	2,927	3,492.36	Pu*	50,129.1
23	15149	2,809	1,304.73	HPU	127,530
24	15667	3,507	-2,138.58	Vgrúa	0-40 m/min
Fuerzas de marcha inclinada S=sun			56,064.15		

Tabla 7. Tabla de valores de reacción de la grúa bipunte sobre la trabe carril considerando la reacción sobre 4 ruedas.

5.1.2.2 Parámetros mecánicos del suelo, geofísicos y consideración de interacción dinámica del suelo.

De acuerdo a los requerimientos para exploración del suelo para estructura del grupo A este tipo de estructuras requiere se considere al menos

Se tiene los siguientes parámetros mecánicos del suelo.

Tabla 6 Tabla de valores de reacción de la grúa bipunte sobre la trabe carril considerando la reacción sobre 4 ruedas.

Profundidad de Desplante (Df), m.	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
C (kg/m ²)	6	6.5	10	10	10
Φ	31	32	35	35	35
Nc	18	19	22	22	22
Ny	6	7	9	9	9
Nq	9	10	11	11	11
B (m)	1	1	1	1	1
γ1	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62
γ2	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Df (m)	2	2.5	3	3.5	4
FS	3	3	3	3	3
Capacidad admisible de carga (Ton/m ²)	47.2	56.4	93.4	96.3	99.2

Se tienen los siguientes parámetros geofísicos del sitio obtenidos con un estudio de DOWN HOLE hasta una profundidad de 24 m. desde la superficie hasta el contacto con el terreno con Vs mayor a 720 m/s (roca) como se describe a continuación:

Capa 1. Comprende desde la superficie hasta los 4 m., velocidad V_p de 471 m/s y V_s de 229 m/s. Asociado a arenas limosas según el S.U.C.S. con una estimado peso específico de 1600 kg/cm³, con valores de módulo de corte y de Young de 84 y 227 MPa respectivamente.

Capa 2. Comprende de los 4 hasta los 24 m. de profundidad, velocidad V_p de 1282 m/s y V_s de 548 m/s. Asociado a arenas limosa y arenas mal graduadas, arenas con gravas con poca o nada de finos de clasificación según el S.U.C.S. con una estimado peso específico de 1630 kg/cm³, con valores de módulo de corte y de Young de 489 y 1359 MPa respectivamente.

Consideración de interacción dinámica del suelo para el análisis sísmico.

Con los parámetros anteriores se calcula el periodo del suelo de acuerdo a la siguiente expresión:

$$T_s = \frac{4}{\sqrt{g}} * \sqrt{\left(\sum_{i=1}^M \frac{h_i}{G_i}\right) * \left[\sum_{i=1}^M \gamma_i * h_i (w_i^2 + w_i * w_{i-1} + w_{i-1}^2)\right]}$$

Donde,

- γ_i** Es el peso volumétrico del i-ésimo estrato
- G_i** Es el módulo de rigidez en cortante del i-ésimo estrato, igual a $\gamma_i * v_i^2 / g$
- g** Es la aceleración de la gravedad
- v_i** Es la velocidad de programación de ondas de corte del m-ésimo estrato
- h_i** Es el espesor de m-ésimo estrato
- M** Es el número de estratos

Tabla 7 Cálculo del periodo del suelo de acuerdo a sus parámetros sísmicos.

hi	vs	ys	ys	ys*h	Gi=y*v ² /g	h/G	h/(y*v ²)	h/(y*v ²) acum	wi	wn ²	wn*wn-1	(wn-1) ²	const
2	229	1.6	1600	3200	8.6E+06	2.3E-07	2.38E-08	8.9E-08	1	1	0.73	0.53	7247.2
2	229	1.6	1600	3200	8.6E+06	2.3E-07	2.38E-08	6.5E-08	0.73	0.534	0.34	0.21	3469.6
6	548	1.63	1630	9780	5.0E+07	1.2E-07	1.23E-08	4.1E-08	0.46	0.213	0.15	0.10	4562.0
6	548	1.63	1630	9780	5.0E+07	1.2E-07	1.23E-08	2.9E-08	0.32	0.104	0.06	0.03	1937.3
8	548	1.63	1630	13040	5.0E+07	1.6E-07	1.63E-08	1.6E-08	0.18	0.034	0.00	0.00	444.4
	1500	2	2000	0	4.6E+08	0.0E+00	0.00E+00	0.0E+00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.0
=	1500	1.618	1618					0	0				
Σ=24				39000		8.7E-07	8.9E-08						17660.5

$$T_s = \frac{4}{\sqrt{9.81}} * \sqrt{(8.7 \times 10^7) * [17660.5]} = 0.158$$

Para determinar si deben considerarse los efectos de interacción suelos estructura, se revisa la ec. 2.5 del inciso 3.2.6 del MOC-SISMO-2015

$$\frac{T_{e0}}{T_s} * \frac{H_s}{H_{e0}} < 2.5 \quad (7)$$

Donde,

- T_{e0} Periodo fundamental de la estructura supuesta con base rígida.
- T_s Periodo dominante del terreno equivalente.
- H_s Espesor total del estrato de terreno equivalente.
- H_{e0} Altura efectivo fundamental de la estructura supuesta con base rígida.

Por tanto

$$\frac{0.305}{0.158} * \frac{28}{12} = 4.15 > 2.5 \dots \dots \textit{se deben considerar los efectos I.S.E.}$$

Para fines prácticos se considerara que no hay incremento del amortiguamiento ni una disminución de la ordenada espectral por el incremento del periodo de la estructura.

5.1.2.3 Análisis de Cargas Gravitacionales

a) Cargas Muertas

Se deben considerar el peso propio de la estructura y sus componentes tales: como láminas, elementos principales y secundarios e instalaciones, así como el peso propio de la grúa y su equipamiento. El peso propio de los elementos estructurales se debe calcular en función de las dimensiones nominales y de los valores característicos de los pesos específicos mismos que se toman del software de cálculo como se describe en la siguiente tabla:

Tabla 8 Análisis de cargas muertas.

<i>Elemento</i>	<i>Perfil Estructural</i>	<i>Material</i>	<i>Peso [Ton/m]</i>	<i>Longitud [m]</i>	<i>Peso T [Ton]</i>
Trabe Carril	3 Placas IR 914 X 400	A36	0.422	192	81.02
Largueros cubierta	AISI CF 12X3.5X105	A570 GR50	0.0106	1748	18.53
Templadores	OR R 2X1X1/8	A36	0.00308	162.188	0.50
Montantes y Diagonales	OR C 3-1/2X3-1/2X1/8	A36	0.00781	1128.011	8.81
Cuerdas Armadura	LI 6X6X3/8	A36	0.0186	958.513	17.83
Riostras columnas	T2LD 3-1/2X3-1/2X1/4X3/4	A36	0.0173	262.526	4.54
Columnas Armadura	IR 10X49	A992 GR50	0.0725	262.278	19.02
Columnas Cubierta	IR 16X36	A992 GR50	0.0533	95.884	5.11
Trabe S Carril	IR 18X65	A992 GR50	0.0961	192	18.45
Viga de asiento	IR 8X31	A992 GR50	0.0459	25.991	1.19
Contraventeo	X2LI 5X5X5/16	A36	0.0307	544.435	16.71
			Peso Total [Ton]	191.72	

b) Cargas Vivas

La norma técnica complementaria para la ciudad de México consideran un valor mínimo probable para la carga viva máxima de diseño en cubiertas y entresijos, en la tabla 9 se presentan algunos valores recomendados para el diseño de Naves Industriales.

Tabla 9 Cargas vivas para diferentes usos (kg/m²).

Uso	CV _a	CV _{Rb}	CV _{Mc}	COMENTARIO
Área de oficina, despacho y laboratorios	250	180	100	
Área de almacén	CV	0.9CV	0.8CV	Se determinara atendiendo el destino del piso y no será inferior a 350 kg/m ² , además de la carga viva máxima uniformemente repartida se debe Considerar una distribución de carga no uniforme.
Techo y cubierta ⁽¹⁾	100	70	15	Pendiente no mayor de 5%
	60	30	10	Pendiente del 6 al 10%
	40	20	5	Pendiente del 11 al 20%
	30	20	5	Pendiente mayor a 20%
^a Carga viva máxima, ^b Carga viva accidental y ^c Carga viva media Se deben revisar los elementos de las cubiertas con una carga concentrada de 100 kg en la posición más crítica.				

Además de la carga viva máxima de diseño, se especifica carga viva accidental y carga viva media. La primera es la carga que debe ser tomada en cuenta en el cálculo de la masa para el análisis por sismo, en las combinaciones de diseño para las cargas accidentales, como sismo y viento, cuando esta resulte desfavorable ó para la revisión de una distribución no uniforme de la carga viva. La carga viva media se utilizara para la revisión de los asentamientos en los cimientos de la estructura.

5.1.2.4 Análisis Sísmico

Para el cálculo de los efectos de sismo en la estructura se tomara en cuenta la respuesta del sitio donde se construirá la obra. Se tomara en cuenta la estratigrafía del lugar, por lo que se tomaran las recomendaciones contenidas en la mecánica de suelos.

Las fuerzas inerciales debido a sismo serán evaluadas de acuerdo al manual de obras civiles Capítulo C.1.3 para el diseño por sismo.

De acuerdo al apartado C.1.3.9 se establecen criterios de análisis específico para este tipo de estructura como se observa en la siguiente imagen.

En la tabla 8 se presentan datos y referencias que se deben tomaron en cuenta para la determinación de las acciones por sismo.

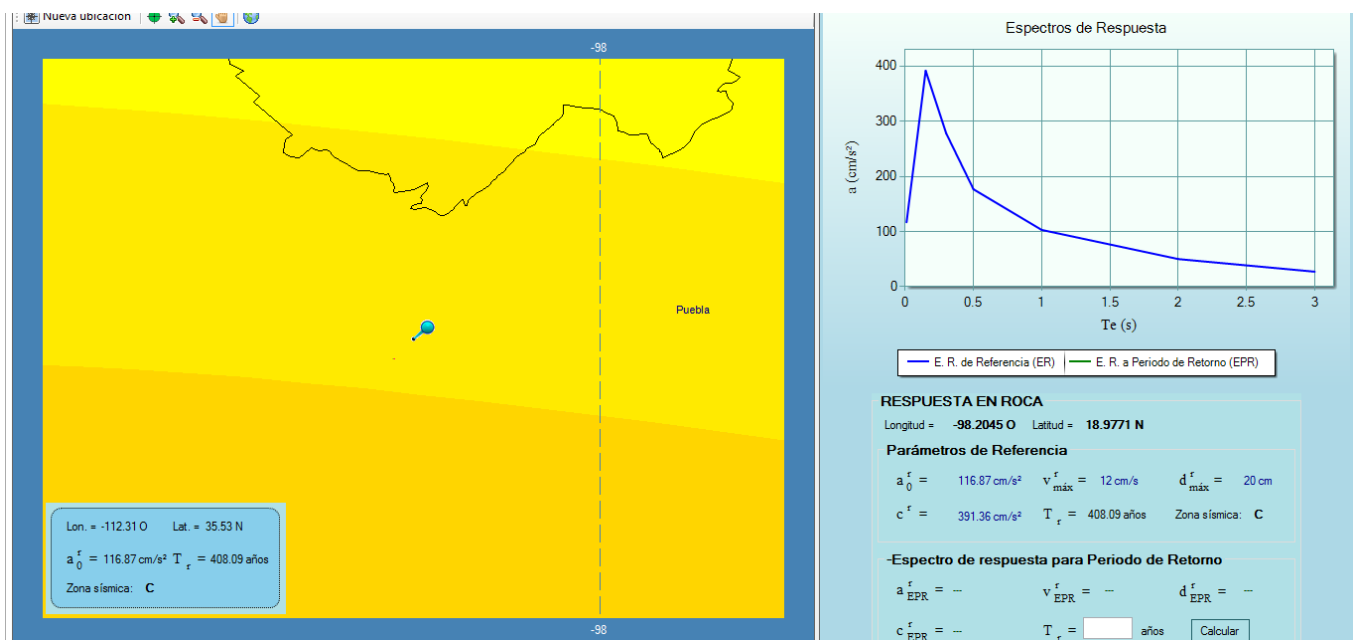


Ilustración 29. Espectro de respuesta en roca para la ciudad de Puebla, según el PRODISIS.

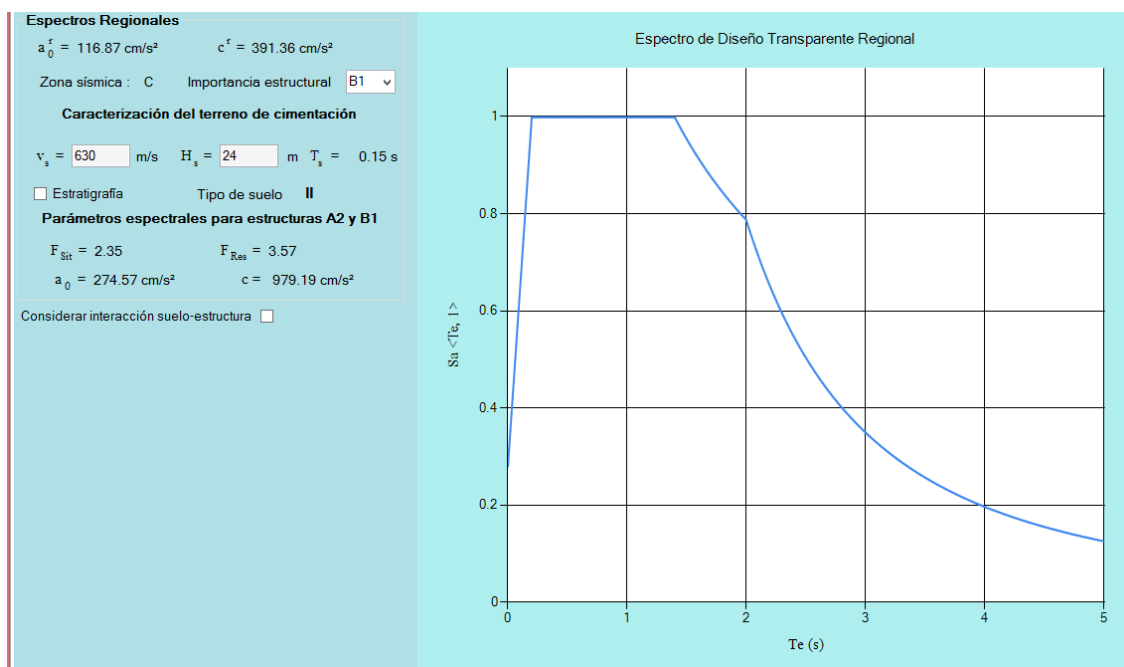


Ilustración 30. Espectro de diseño transparente regional para las propiedades dinámicas del sitio.

Tabla 10 Valores para obtener el espectro de sitio transparente.

PARAMETROS PARA OBTENER LA RESPUESTA SISMICA DEL SITIO		
Parámetros sísmicos del sitio Vs y Ts	Ts= 0.158 s.	Vs=607.59 m/s
Localización de proyecto	Puebla, Puebla	
Clasificación de construcción según su destino	Grupa B1	Inciso C.1.3.2.2
Aceleración máxima del terreno en roca	$a_{0ref}=116.87 \text{ cm/s}^2$ Tr=408 años	Espectro de referencia en roca
Factor de sitio	Fsit=2.35	
Factor de respuesta	Fres=3.57	
Aceleración máxima del terreno para el sitio.	$a_0= 274.57 \text{ cm/s}^2$	
Coefficiente sísmico	C= 979.2 cm/s^2	

Tabla 11 Tabla de valores considerados para la construcción del espectro de diseño.

COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA		
Factor de comportamiento sísmico	Q=1.5	
Factor de reducción por irregularidad	K=1	
Factor de reducción por sobrerresistencia	R _o =1.8	
Factor de redundancia	P=0.8	

Ver especificaciones para estructuras tipo 1: Estructuras de edificios, Interacción suelo-estructura, especificaciones para estructuras tipo 6: Estructuras Industriales, sección C.1.3.3, C.1.3.5 y C.1.3.9 del MOC-2015

Espectros obtenidos con el software PRODISIS V4.0

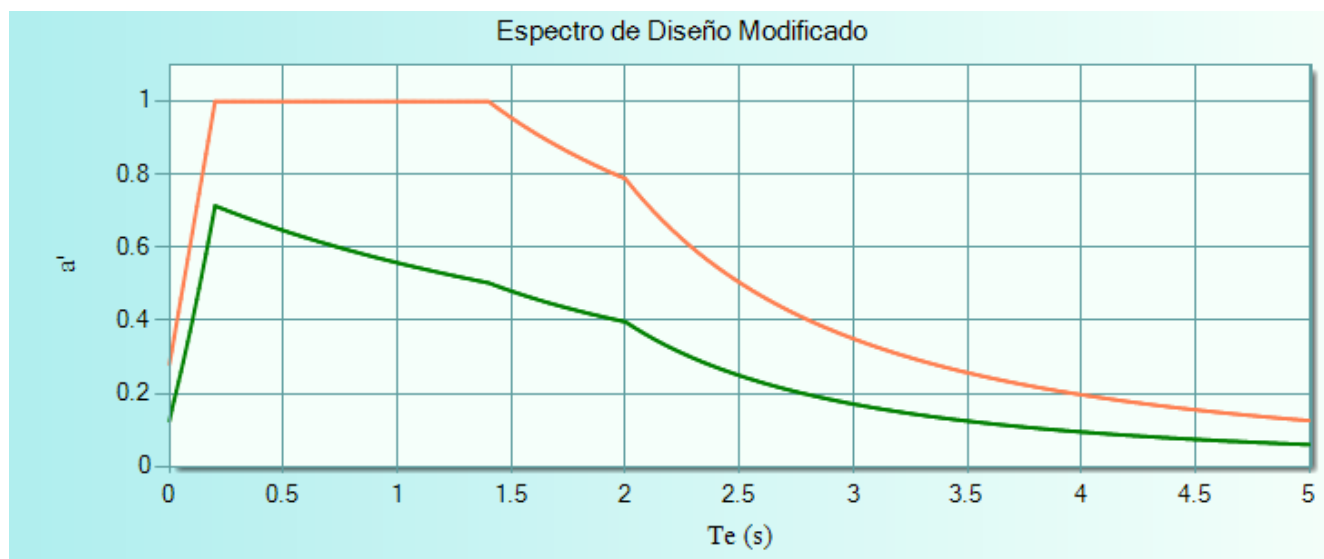


Ilustración 31. Espectro para diseño para la prevención contra colapso.

Tabla 12 Espectro de diseño para colapso.

ESPECTRO DE DISEÑO PARA COLAPSO											
T (seg)	Sa (1/g)	T (seg)	Sa (1/g)	T (seg)	Sa (1/g)	T (seg)	Sa (1/g)	T (seg)	Sa (1/g)	T (seg)	Sa (1/g)
0	0.1250	0.23	0.7057	0.46	0.6537	0.69	0.6089	0.92	0.5698	1.15	0.5354
0.01	0.1552	0.24	0.7033	0.47	0.6516	0.7	0.6071	0.93	0.5682	1.16	0.5340
0.02	0.1810	0.25	0.7008	0.48	0.6496	0.71	0.6053	0.94	0.5666	1.17	0.5326
0.03	0.2068	0.26	0.6985	0.49	0.6475	0.72	0.6035	0.95	0.5651	1.18	0.5312
0.04	0.2328	0.27	0.6961	0.5	0.6455	0.73	0.6017	0.96	0.5635	1.19	0.5298
0.05	0.2593	0.28	0.6937	0.51	0.6434	0.74	0.5999	0.97	0.5619	1.2	0.5284
0.06	0.2861	0.29	0.6914	0.52	0.6414	0.75	0.5982	0.98	0.5604	1.21	0.5271
0.07	0.3135	0.3	0.6890	0.53	0.6394	0.76	0.5964	0.99	0.5589	1.22	0.5257
0.08	0.3413	0.31	0.6867	0.54	0.6374	0.77	0.5947	1	0.5573	1.23	0.5244
0.09	0.3696	0.32	0.6844	0.55	0.6354	0.78	0.5930	1.01	0.5558	1.24	0.5230
0.1	0.3983	0.33	0.6821	0.56	0.6334	0.79	0.5912	1.02	0.5543	1.25	0.5217
0.11	0.4276	0.34	0.6798	0.57	0.6315	0.8	0.5895	1.03	0.5528	1.25	0.5217
0.12	0.4573	0.35	0.6776	0.58	0.6295	0.81	0.5878	1.04	0.5513	1.26	0.5204
0.13	0.4875	0.36	0.6753	0.59	0.6276	0.82	0.5861	1.05	0.5498	1.27	0.5190
0.14	0.5182	0.37	0.6731	0.6	0.6257	0.83	0.5845	1.06	0.5484	1.28	0.5177
0.15	0.5494	0.38	0.6709	0.61	0.6238	0.84	0.5828	1.07	0.5469	1.29	0.5164
0.16	0.5812	0.39	0.6687	0.62	0.6219	0.85	0.5811	1.08	0.5454	1.3	0.5151
0.17	0.6134	0.4	0.6665	0.63	0.6200	0.86	0.5795	1.09	0.5439	1.31	0.5138
0.18	0.6461	0.41	0.6644	0.64	0.6181	0.87	0.5779	1.1	0.5425	1.32	0.5125
0.19	0.6793	0.42	0.6622	0.65	0.6162	0.88	0.5762	1.11	0.5411	1.33	0.5112
0.2	0.7131	0.43	0.6601	0.66	0.6144	0.89	0.5746	1.12	0.5396	1.34	0.51
0.21	0.7106	0.44	0.6579	0.67	0.6125	0.9	0.5730	1.13	0.5382	1.35	0.5087
0.22	0.7081	0.45	0.6558	0.68	0.6107	0.91	0.5714	1.14	0.5368	1.36	0.5074

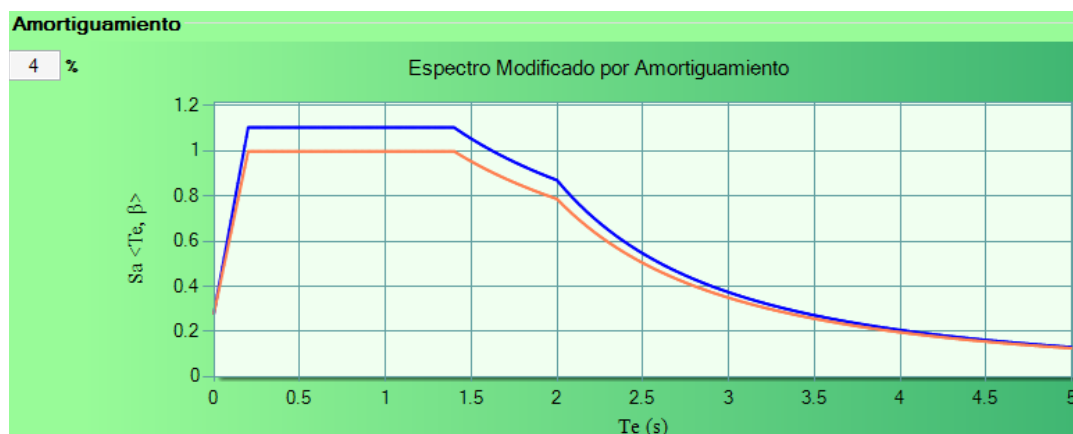


Ilustración 30. Espectro para revisión de los estados límite de servicio.

5.1.2.5 Análisis de Viento

Esta se representa mediante presiones y succiones estáticas equivalente sobre la estructura valuadas de acuerdo con el capítulo C.1.4. Esta carga estará en función de la ubicación, altura de edificio, geometría del edificio y las características locales de exposición que van a depender de la topografía y rugosidad local. De acuerdo al capítulo C.1.4 se debe seguir el siguiente procedimiento para el caso de naves industriales:

1. Clasificar la estructura según importancia y respuesta.
2. Determinar ubicación, elevación con respecto al nivel medio del mar y temperatura media del sitio donde se va a construir la estructura.
3. Determinar velocidad regional, V_R , para un período de retorno de 50 años de acuerdo a la ubicación de la obra.
4. Definir categoría del terreno según rugosidad y clase de estructura según tamaño.
5. Calcular factor de rugosidad y altura, F_{rz} , en función de clase de estructura y categoría del terreno.
6. Definir topografía local del sitio donde se construirá la nave.
7. Obtener factor de topografía, F_T , en función de la topografía local del sitio.
8. Calcular velocidad de diseño $V_D = F_T F_{rz} V_R$
9. Calcular factor de corrección por altura y temperatura en función de temperatura ambiental (τ) y presión barométrica (Ω), $G = 0.392 \Omega / (273 + \tau)$.
10. Calcular presión dinámica de base, $q_z = 0.0048 G V_{D2}$
11. Obtener las presiones de diseño sobre la estructura en función de la dirección de viento y geometría de esta.

En la tabla 10.2.4 se presentan las referencias para obtener los datos y más detalle sobre el cálculo de la presión sobre una nave industrial.

Para el cálculo de la presión de diseño se debe utilizar la siguiente expresión:

$$P_z = C_p * q_z$$

El valor del coeficiente C_p se calcula de acuerdo a la forma estructural especificada a partir del inciso C.1.4.8.2. Se debe considerar el viento actuando sobre la estructura en dos direcciones mutuamente perpendiculares (ver ilustración 31).

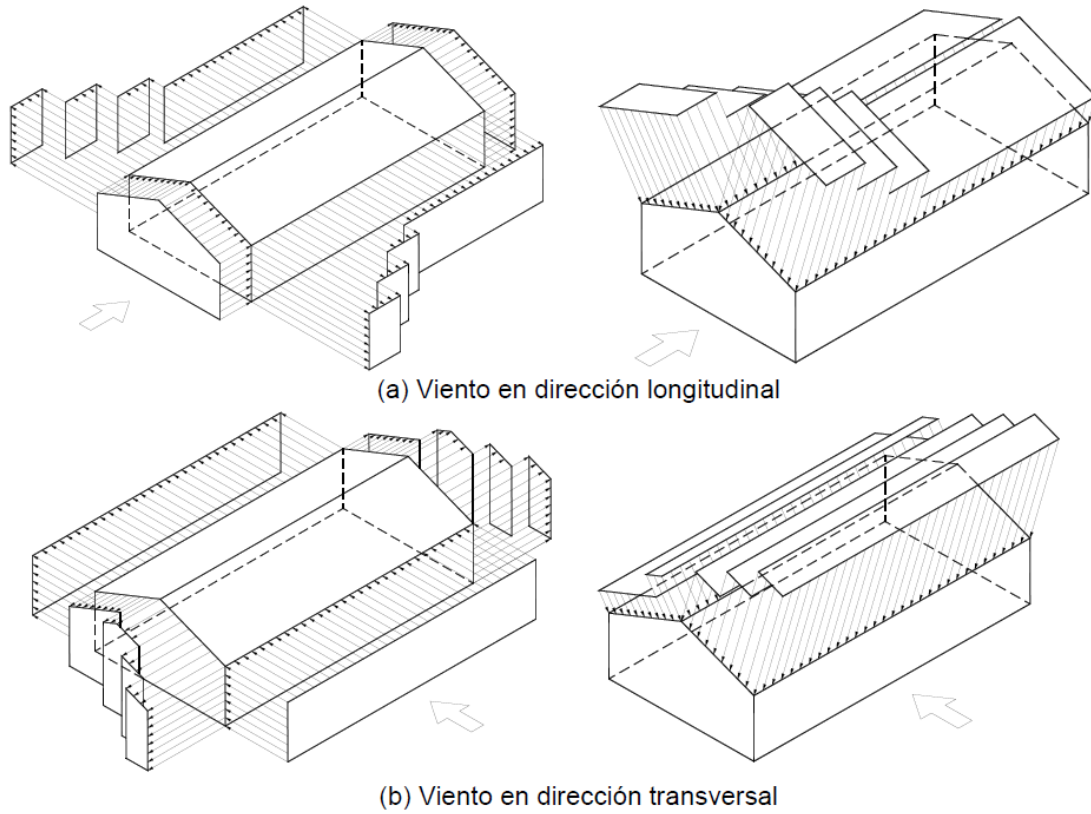


Ilustración 31. Aplicación de presiones de viento en la estructura

Mapa de Isolíneas para Periodo de Retorno de 50 Años

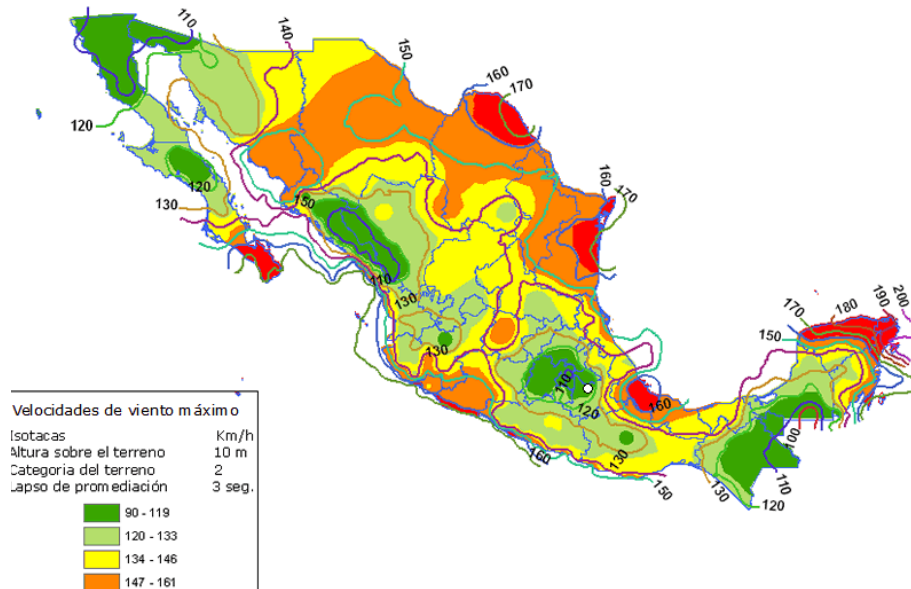


Ilustración 32. Mapa de isolíneas para periodo de retorno de 50 años.

Resumen de los parámetros para obtener la presión dinámica de base:

Tabla 13 Parámetros para obtener la presión dinámica base.

PARÁMETROS DE LA ESTRUCTURA	VALOR
Largo (b):	96.0 m
Ancho (d):	22.07 m
Altura (H):	11.5 m
Altura (H _T):	14.0 m
Altura Sobre el Nivel del Mar:	2150.0 m
Temperatura Media Anual:	17.0 °C
Clasificación según su Importancia:	Grupo B
Clasificación según su Respuesta a la Acción del Viento:	Tipo 1
Categoría del Terreno según su Rugosidad:	Categoría 4
Factor de Topografía:	0.9
Latitud:	19.03
Longitud:	-98.2
Velocidad Regional:	112.0 km/h (31.11 m/s)
Velocidad de Diseño:	85.62 km/h (23.78 m/s)
Ciudad:	Puebla, Pue.
Periodo de Retorno:	50 años
Factor de Exposición Estático:	0.86
Factor G:	0.8
Presión Dinámica de Base (q _z):	27.98 kg/m ²
Altura del Techo:	2.5 m
Pendiente (γ):	-11.3 °

Con la presión dinámica de base calculada y tomando los valores de los coeficientes de presión obtenidos en el manual de obras civiles para el diseño por viento como se ilustra en la siguiente imagen:

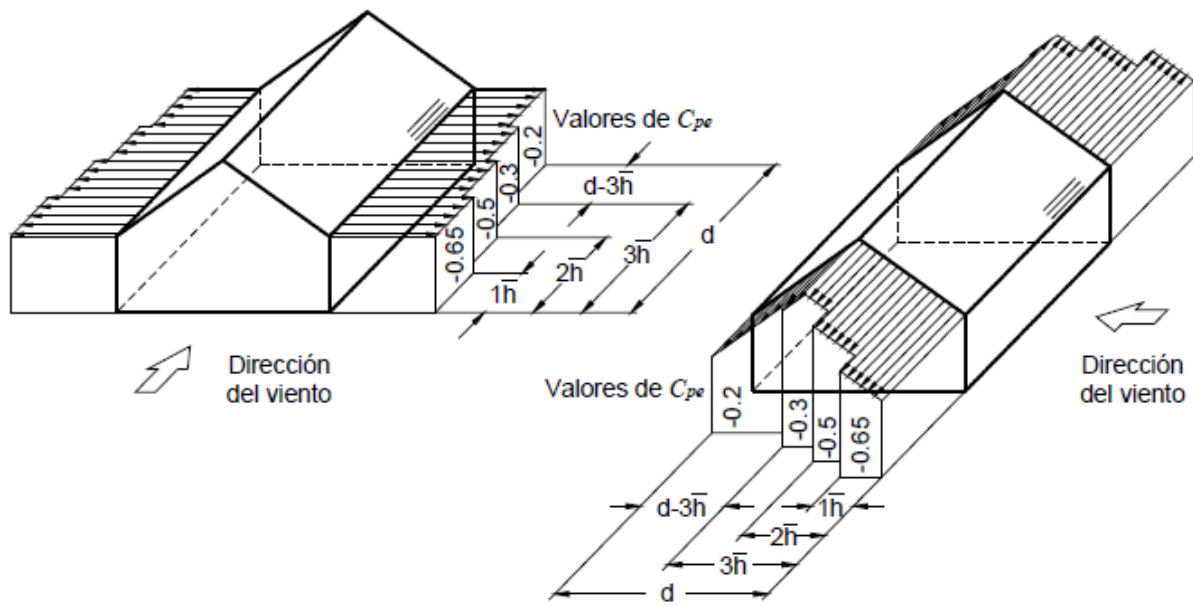


Ilustración 32 Coeficientes de presión en muros.

Resultados del análisis de viento a 0°

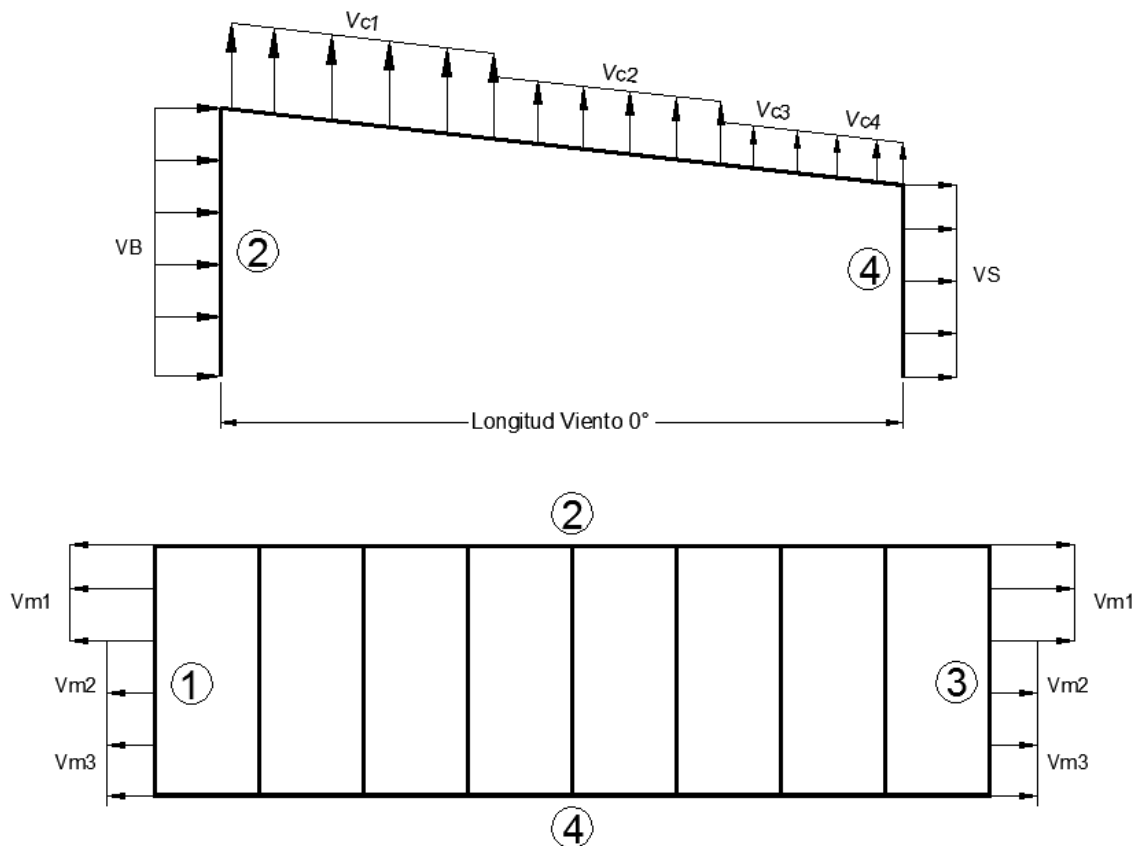


Ilustración 33 Planta y corte de distribución de presión en muros de viento a 0°.

Tabla 14 Presión actuante en viento a 0°

Viento a 0°

Asignación	Presión qz	Coefficiente	Fuerza	Distancia	Descripción
VB	27.98 kg/m ²	0.8	22.38 kg/m ²	Toda	Viento Barlovento
VS	27.98 kg/m ²	-0.433	-12.12 kg/m ²	Toda	Viento Sotavento
Vc1	27.98 kg/m ²	-0.96	-26.86 kg/m ²	0 - 6.38 m.	Viento en cubierta por C1
Vc2	27.98 kg/m ²	-0.87	-24.34 kg/m ²	6.38 - 12.75 m.	Viento en cubierta por C2
Vc3	27.98 kg/m ²	-0.53	-14.83 kg/m ²	12.75 - 22.07 m.	Viento en cubierta por C3
Vm1	27.98 kg/m ²	-0.65	-18.19 kg/m ²	0 - 12.75 m.	Viento en muro por C1
Vm2	27.98 kg/m ²	-0.5	-13.99 kg/m ²	12.75 - 22.07 m.	Viento en muro por C2
Vm3	27.98 kg/m ²	-0.3	-8.39 kg/m ²	22.07 - 22.07 m.	Viento en muro por C3

Resultados del análisis de viento a 90°

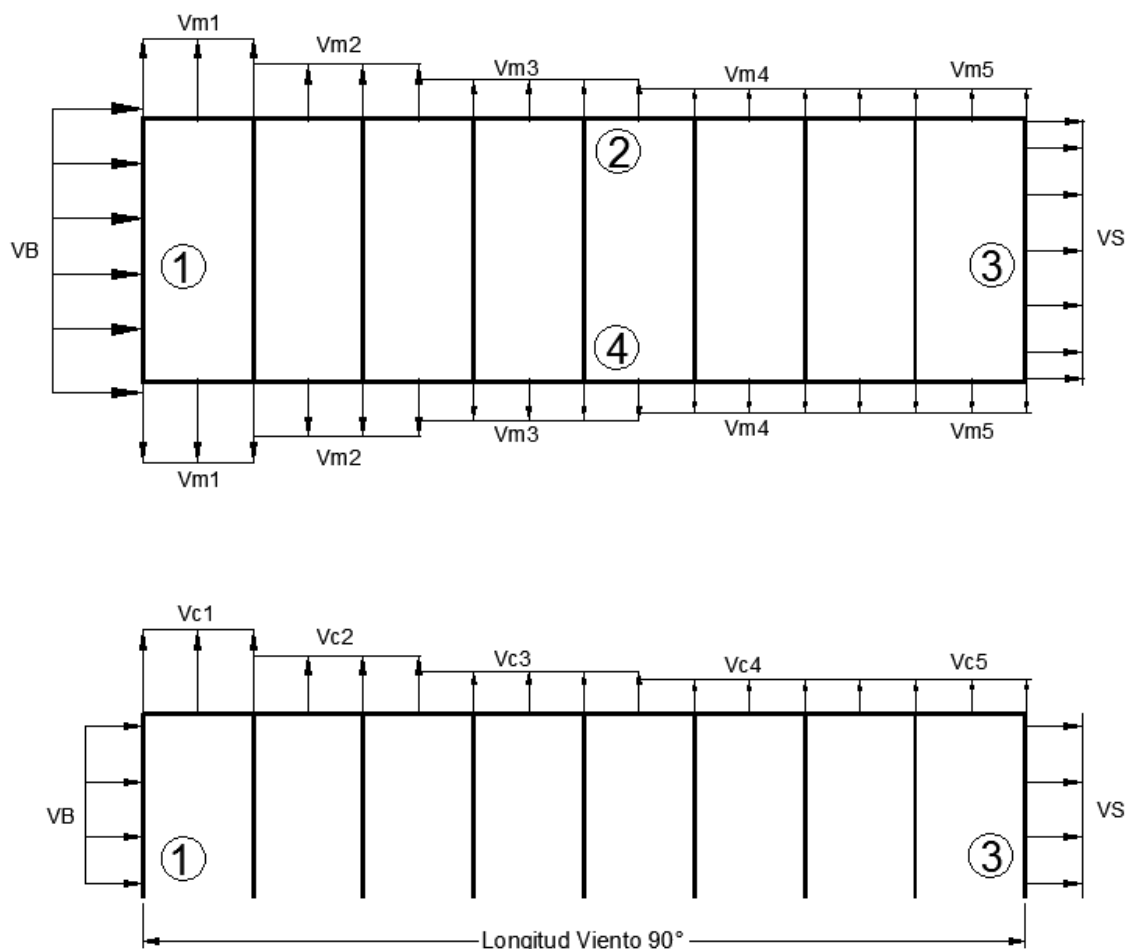


Ilustración 34 Planta y corte de distribución de presión en muros de viento a 90°.

Tabla 15 Presión actuante en viento a 90°

Viento a 90°

Asignación	Presión qz	Coefficiente	Fuerza	Distancia	Descripción
VB	27.98 kg/m ²	0.8	22.38 kg/m ²	Toda	Viento Barlovento
VS	27.98 kg/m ²	-0.433	-12.12 kg/m ²	Toda	Viento Sotavento
Vc1	27.98 kg/m ²	-0.9	-25.18 kg/m ²	0 - 12.75 m.	Viento en cubierta por C1
Vc2	27.98 kg/m ²	-0.9	-25.18 kg/m ²	12.75 - 25.5 m.	Viento en cubierta por C2
Vc3	27.98 kg/m ²	-0.5	-13.99 kg/m ²	25.5 - 38.25 m.	Viento en cubierta por C3
Vc4	27.98 kg/m ²	-0.3	-8.39 kg/m ²	38.25 - 96.0 m.	Viento en cubierta por C4
Vc5	27.98 kg/m ²	-0.2	-5.60 kg/m ²	96.0 - 96.0 m.	Viento en cubierta por C5
Vm1	27.98 kg/m ²	-0.65	-18.19 kg/m ²	0 - 12.75 m.	Viento en muro por C1
Vm2	27.98 kg/m ²	-0.5	-13.99 kg/m ²	12.75 - 25.5 m.	Viento en muro por C2
Vm3	27.98 kg/m ²	-0.3	-8.39 kg/m ²	25.5 - 38.25 m.	Viento en muro por C3
Vm4	27.98 kg/m ²	-0.2	-5.60 kg/m ²	38.25 - 96.0 m.	Viento en muro por C4
Vm5	27.98 kg/m ²	-0.2	-5.60 kg/m ²	96.0 - 96.0 m.	Viento en muro por C5

5.1.3 Descripción del modelado de la estructura.

La estructuración es a base de marcos rígidos de acero, formado por las armaduras y columnas.

Las columnas se encuentran con las posiciones geométricas tales que servirán para resistir los efectos causados por las cargas a las que estará solicitada la estructura en interés.

El análisis de la estructura se realizó mediante el programa de cómputo "RAM ELEMENTS ", el cual permitió modelar de la manera tridimensional la estructura así como de todos sus elementos estructurales como traveses y columnas. Este programa idealiza a los materiales con comportamiento elástico lineal y al calcular la respuesta de la estructura, considera las deformaciones por efecto de flexión, carga axial, cortante y torsión.

La superestructura se analizó bajo las combinaciones de cargas descritas en el capítulo POSTERIOR y se obtuvieron como resultado desplazamientos y elementos mecánicos para el diseño de los miembros. Se verificó que en ningún caso se excedieran los estados límite de servicio permisible.

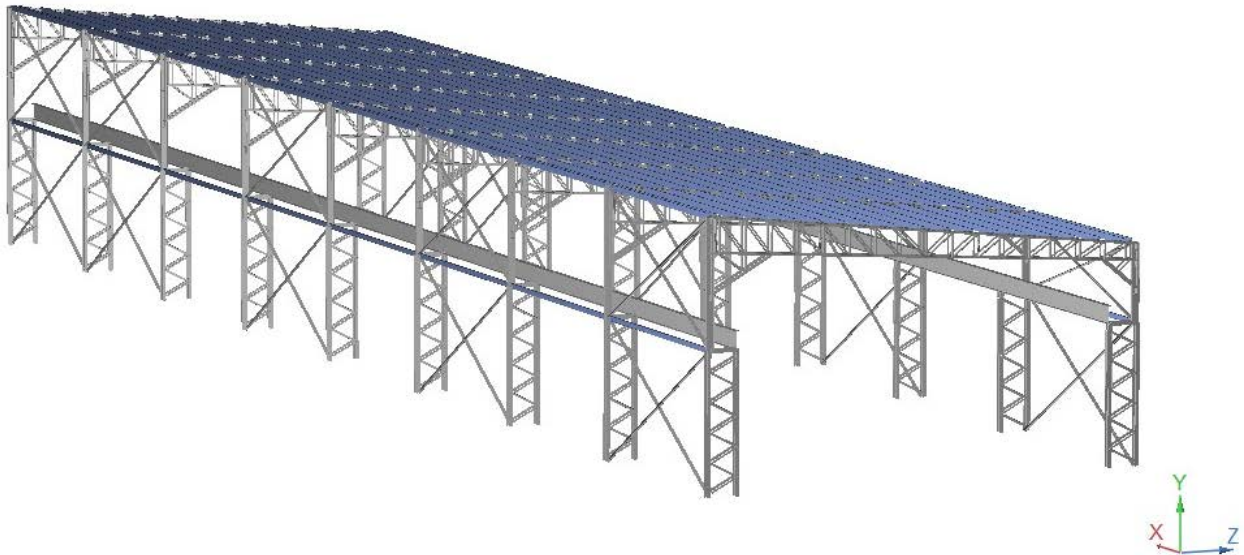


Ilustración 35 Modelo tridimensional de la estructura en estudio para análisis y diseño.



Ilustración 36 Vista de cubierta donde se observa el modelado de los largueros

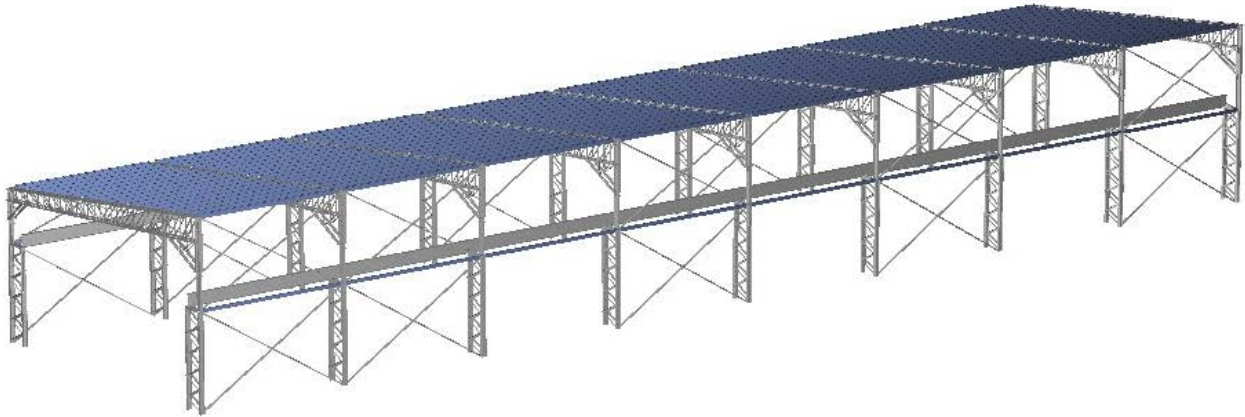


Ilustración 37. Vista isométrico lateral donde se observa el modelado de los contravénteos.

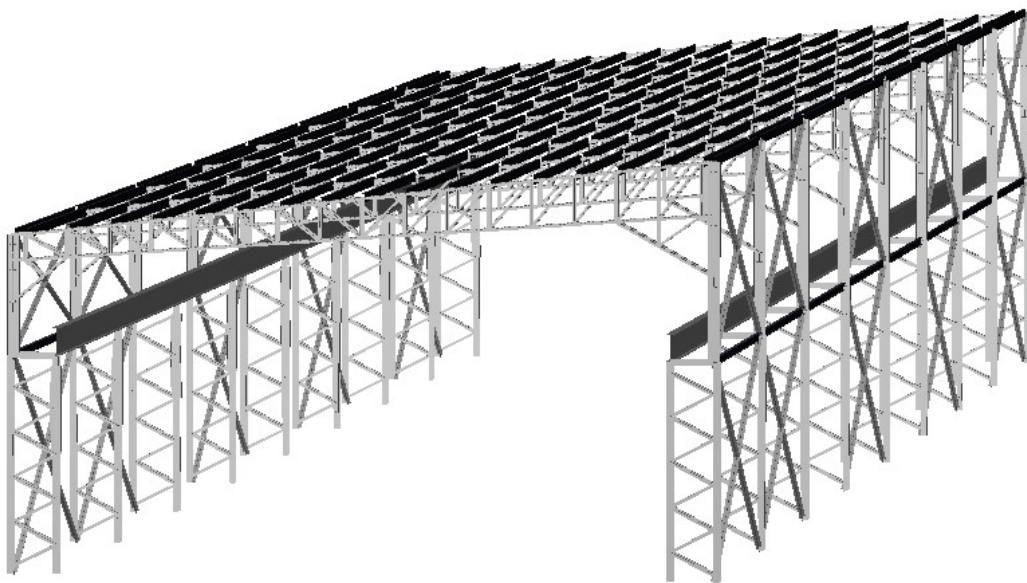


Ilustración 38. Vista 3D transversal de la nave con modelación de largueros de fachada

5.1.4 Aplicación de Cargas

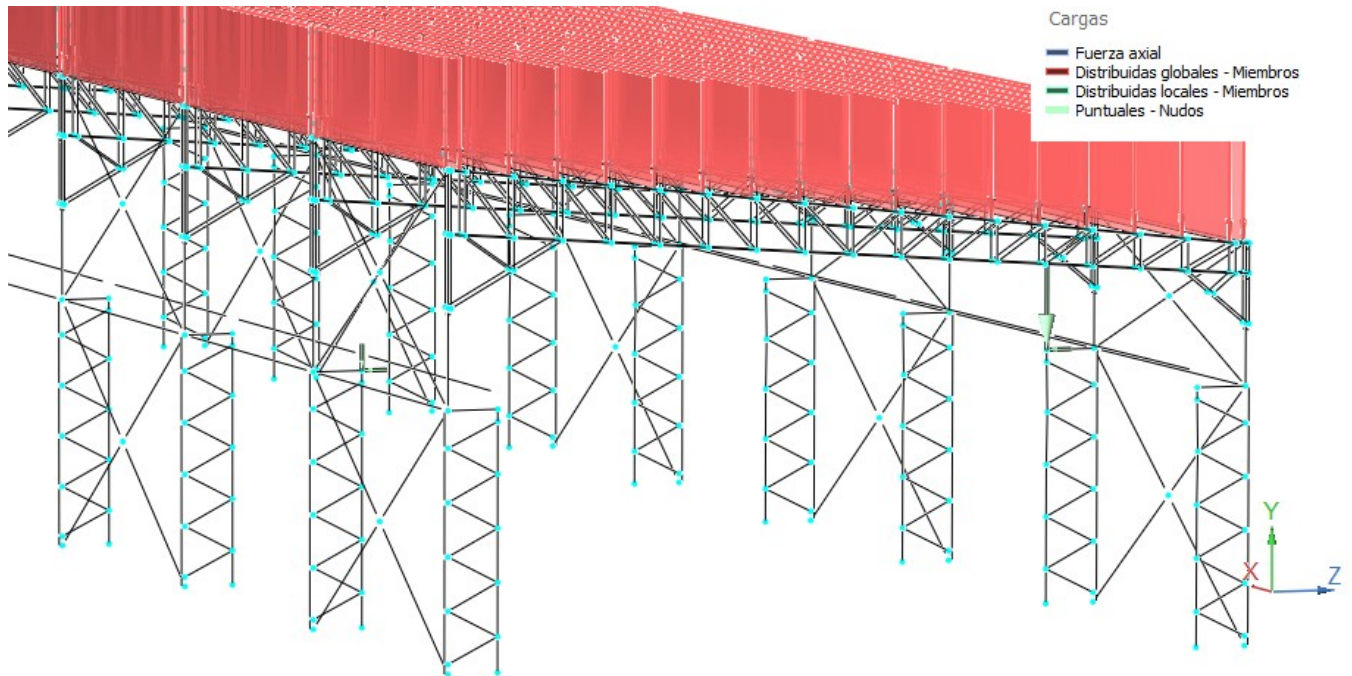


Ilustración 39. Aplicación de las cargas en los distintos puntos de la estructura.

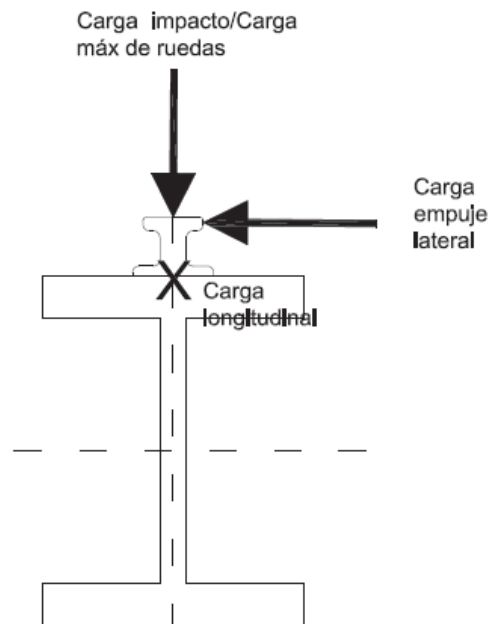


Ilustración 40. Criterio de aplicación de las cargas de operación de la grúa.

Tabla 16 Tabla de estados de carga aplicados

ID	DESCRIPCIÓN
CM	Carga Muerta
CV	CARGA VIVA
VTOx	VIENTO X
VTOy	VIENTO Y
SX	SISMO X
SY	SISMO Y
SXG	SISMO GRUA X
SYG	SISMO GRUA Y
Glm	CARGA LONGITUDINAL
Gim	CARGA DE IMPACTO
Gsm	CARGA EMPUJE
Gcm	REACCION GRUA

Tabla 17 Tabla de combinaciones considerados en el análisis.

Comb	CM	CV	VTx	VTy	Sx	Sy	SXG	SYG	Glm	Gim	Gsm	Gcm
C1	1.3	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	1.1	0	1.1	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	1.1	0	0.33	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	1.1	0.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C5	1.1	0.55	0	0	0.55	0.18	0.63	0.155	0	0	0	1.1
C6	1.1	0.55	0	0	0.18	0.55	0.155	0.63	0	0	0	1.1
C7	1.1	0.55	0	0	0	0	0	0	1.56	0	0	1.1
C8	1.1	0.55	0	0	0	0	0	0	0	1.56	1.56	1.56
C9	1	0.5	0	0	1	0	1.56	0	0	0	0	0
C10	1	0.5	0	0	0	1	0	1.56	0	0	0	0
C11	0.9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1

5.2 ELEMENTOS MECÁNICOS MAXIMOS DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE.

5.3.1 Resumen de elementos mecánicos utilizados para el análisis

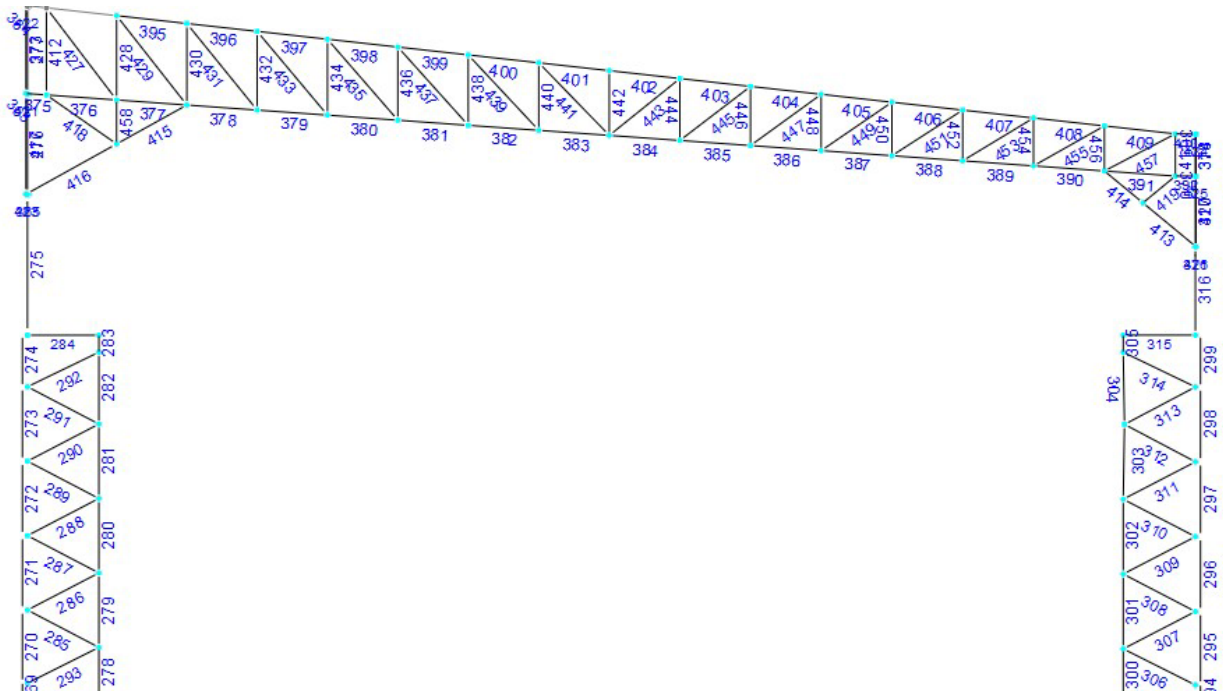


Ilustración 41 Vista en marco con la numeración de los miembros

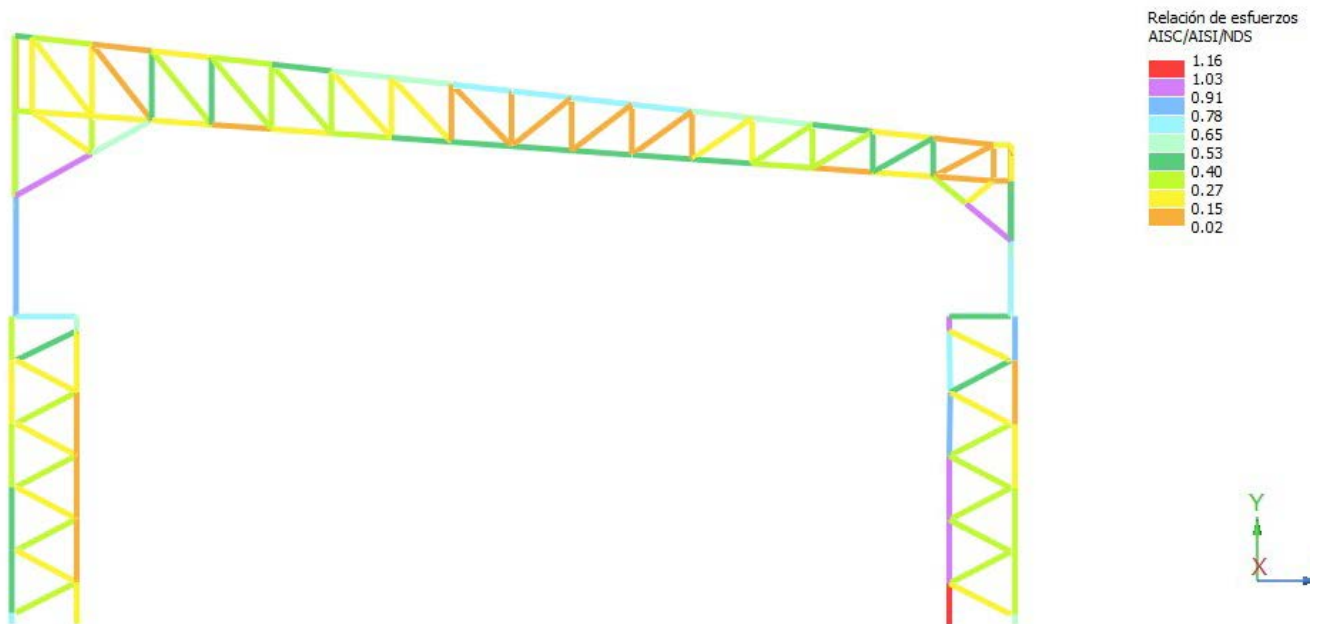


Ilustración 42. Relación de esfuerzos según el AISC-10

COMBINACIONES DOMINANTES

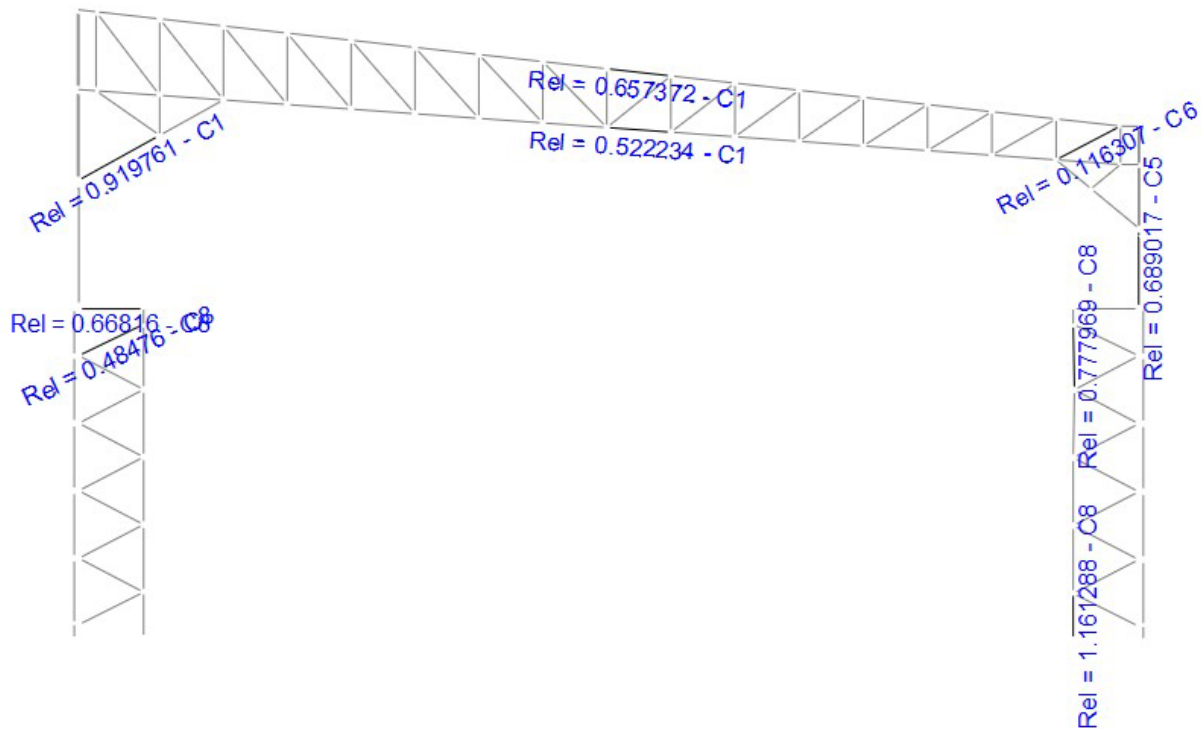


Ilustración 43. Combinaciones en el marco transversal.

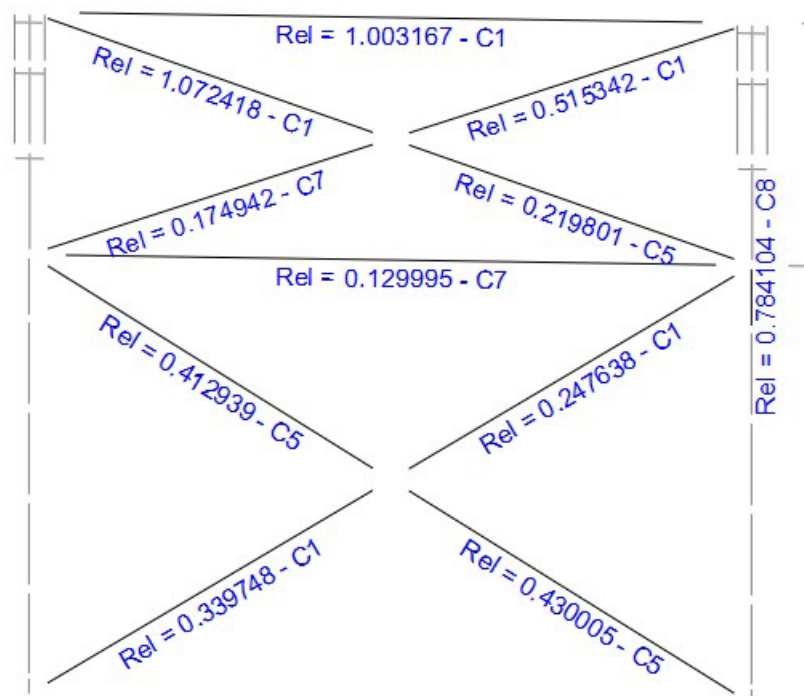


Ilustración 44. Combinaciones en marco longitudinalinal

5.3 DISEÑO DE ELEMENTOS DE ACERO

5.3.2.1 Diseño de armadura

a) Cuerda Superior

Se considerara para la revisión los elementos mecánicos que actúan sobre el miembro 402 para la combinación C-1, considerando la sección de LI

Tabla 18 Propiedades mecánicas para la combinación C-1

Caso	Axial (ton)	Corte V2 (ton)	Corte V3 (ton)	Torsión (ton-m)	M22 (ton-m)	M33 (ton-m)
Comb 1	-18.79	0	0	0	0	.05

a.1) Pandeo por flexión y flexotorsión ángulo individual.

Propiedades Geométricas de la sección:

Tabla 19 Propiedades geométricas del ángulo individual

	B =	152	mm	$I_{xx} = I_{yy} =$	640.6	cm ⁴
	t =	9.5	mm	$r_x = r_y =$	4.78	cm
	A =	28.13	cm ²	$I_{zz} =$	262.5	cm ⁴
	x = y =	4.16	cm	$r_z =$	3.05	cm
	$e_z =$	5.88	cm	$I_{ww} =$	1,018.6	cm ⁴
	$r_w =$	6.02	cm			

$$J = \frac{1}{3} \sum bt^3 = \frac{1}{3} \sum 15.2 * 0.95^3 = 8.65 \text{ cm}^4$$

$$C_a = \frac{1}{36} \sum b^3 t^3 = \frac{1}{36} \sum 15.2^3 * 0.95^3 = 167.27 \text{ cm}^4$$

Para la revisión del pandeo del ángulo individual se considera una longitud de 100 cm. debido a que se colocaran placas a la mitad de la distancia entre montantes para restringirlo. Se considera $K=1.00$ para el cálculo de la longitud efectiva en todas las direcciones.

a.1.1) Clasificación de la sección:

$$\frac{b}{t} = \frac{15.2 - 0.95}{0.95} = 15 > 0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.45 * \sqrt{\frac{2,039,000}{2,530}} = 12.78 \dots \dots \text{Seccion tipo 4}$$

a.1.2) Pandeo por flexión:

$$F_{ez} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K_z * L}{r_z}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 2,039,000}{\left(\frac{1 * 100}{3.05}\right)^2} = 18,720 \text{ kg/cm}^2$$

a.1.3) Pandeo por flexotorsión:

Se tiene que la distancia perpendicular al eje z-z desde el centro de torsión hasta el centroide de la sección es igual a:

$$y_o = e_z - \sqrt{\left(\frac{t}{2}\right)^2 + \left(\frac{t}{2}\right)^2} = 5.88 - \sqrt{\left(\frac{0.95}{2}\right)^2 + \left(\frac{0.95}{2}\right)^2} = 3.95 \text{ cm.}$$

El radio polar de giro de la sección transversal con respecto al centro de torsión es igual a:

$$r_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_{zz} + I_{ww}}{A} = 0^2 + 3.95^2 + \frac{262.5 + 1,018.6}{28.13} = 61.14 \text{ cm}^2$$

El esfuerzo crítico de pandeo por flexotorsión del ángulo es igual a:

$$H = 1 - \left(\frac{x_o^2 + y_o^2}{r_o^2}\right) = 1 - \left(\frac{0^2 + 3.95^2}{61.14}\right) = 0.74$$

$$F_{ew} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K_w * L}{r_w}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 2,039,000}{\left(\frac{1 * 100}{6.02}\right)^2} = 72,930 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{et} = \left[\frac{\pi^2 E C_a}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{A r_0^2} = F_{et} = \left[\frac{\pi^2 2,039,000 * 167.27}{(1 * 100)^2} + 784,000 * 8.65 \right] \frac{1}{28.13 * 61.14}$$

$$= 4138.81 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e = \frac{F_{ew} + F_{et}}{2H} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ew}F_{et}H}{(F_{ew} + F_{et})^2}} \right]$$

$$F_e = \frac{72,930 + 4138.81}{2 * 0.74} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 * 72,930 * 4138.81 * 0.74}{(72,930 + 4138.81)^2}} \right]$$

$$F_e = 4,047.51 < F_{ez} = 18,720 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \dots \dots \text{Rige el pandeo por flexotorsión}$$

a.1.4) Resistencia por compresión:

El parámetro de esbeltez de la sección será igual a:

$$\lambda = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} = \sqrt{\frac{2,530}{4,047.51}} = 0.79$$

El esfuerzo resistente nominal para un ángulo será igual a:

$$F_n = \frac{F_y}{(1 + \lambda^{2.8} - 0.15^{2.8})^{1.4}} = \frac{2,530}{(1 + 1.00^{2.8} - 0.15^{2.8})^{1.4}} = 1,883.16 \text{ kg/cm}^2$$

Como la sección elegida es tipo 4 se debe considerar el área efectiva para el cálculo de la resistencia a compresión con un $F_R=0.85$, por tanto:

$$\lambda = \frac{1.052}{\sqrt{k_p}} * \left(\frac{b}{t}\right) * \sqrt{\frac{F_n}{E}} = \frac{1.052}{\sqrt{0.43}} * \left(\frac{15.2}{0.95}\right) * \sqrt{\frac{1,883.16}{2,039,000}} = 0.78$$

Como $\lambda > 0.673$; $b_e = \rho b$

$$\rho = \left(1 - \frac{0.22}{\lambda}\right) * \frac{1}{\lambda} = \left(1 - \frac{0.22}{0.78}\right) * \left(\frac{1}{0.78}\right) = 0.92$$

$$b_e = 0.92 * 15.2 = 13.98 \text{ cm.}$$

El área efectiva va a ser igual a:

$$A_e = t(2b_e - t) = 0.6 * (2 * (13.98) - 0.95) = 16.21 \text{ cm}^2$$

La resistencia a compresión de un ángulo individual será igual a:

$$R_c = F_R * A_e * F_n = 0.85 * 16.21 * 1,883.16 = 25,944.91 \text{ kg}$$

Por tanto se tiene una relación de que

$$\frac{F_a}{R_c} = \frac{18.96}{25.94} = 0.73 \dots \dots \dots \text{por tanto la seccion es adecuada.}$$

5.3.2.2 *Diseño de columna*

a) Cargas de Diseño.

Tabla 20 Propiedades mecánicas para la combinación C-1 superior e inferior.

Caso	Axial (ton)	Corte V2 (ton)	Corte V3 (ton)	Torsión (ton-m)	M22 (ton-m)	M33 (ton-m)
Comb1 Sup	-8.89	9.13	0.428	0	0.056	15.92
Comb1 Inf	-9.09	9.13	0.428	0	0.065	9.99

b) Efectos geométricos de segundo orden

Por se una estructura regular se considera que los momentos producidos por carga vertical son de traslación impedida y los momentos producidos por cargas laterales (sismo y viento) son los de traslación permitida. De manera aproximada se toma en cuenta este efecto calculando el índice de estabilidad de entrepiso y el factor de ampliación de momento debido al efecto P-Δ.

$$\sum P_u = 64.48 \text{ Ton.}$$

$$L = 2.85 \text{ m.}$$

b.1) Revisión de índice de inestabilidad del cambio de sección.

$$I_x = \frac{\sum P_u Q_x \Delta_{OHX}}{(\sum H_x)L} < 0.08 \dots \text{Por tanto los efectos } P - \Delta \text{ son despreciables.}$$

$$I_y = \frac{\sum P_u Q_y \Delta_{OHY}}{(\sum H_y)L} < 0.08 \dots \text{Por tanto los efectos } P - \Delta \text{ son despreciables.}$$

Se propone revisar una sección IR de 406 x 65 kg/ml. Utilizando el diagrama de flujo para miembros en flexo compresión del anexo.

5.3.2.3 Diseño de larguero de cubierta

a) Descripción del análisis y diseño

Se analizará el larguero como un elemento aislado dada sus condiciones de frontera.

La primera condición será considerando la máxima presión de viento tomada de la **tabla xx** considerando el factor de presión local $KL=1.5$ de acuerdo a la tabla 4.3.5 del MOC-Viento-08 para su área tributaria de $1.42 \times 12 = 17.04 \text{ m}^2$

La segunda condición será la carga gravitacional producto de la combinación de la carga muerta + la carga viva

La tercera será la carga muerta más la carga instantánea producida por el granizo de 100 kg/m^2 .

Tabla 21 Condiciones de frontera del larguero

Caso	Carga
1.- (1.1 Carga Muerta – 1.1 Viento Succión)* Jd	$(1.1 * 15 - 1.1 * 37.77) * 1.33 = -33.31 \text{ kg/cm}^2$
2.- 1.3 Carga Muerta + 1.5 Carga Viva	$1.3 * 15 + 1.5 * 40 = 79.50 \text{ kg/cm}^2$
3.- Carga Muerta + Granizo	$1.1 * 15 + 1.1 * 100 = 126.50 \text{ kg/cm}^2$

Se propone un perfil CF de 305 mm. Calibre 12, para resistir la carga más desfavorable de carga muerta más granizo, mismo que se describe a continuación:

Tabla 22 Propiedades geométricas del perfil CF de 305 mm

$H =$	30.5	cm.	$A_s =$	17.39	cm^2
$B =$	8.89	cm.	$I_{xx} =$	2,333.24	cm^4
$D =$	2.54	cm	$S_x =$	153.10	cm^3
$t =$	0.342	cm	$I_{yy} =$	164.52	cm^4
$R =$	0.48	cm	$J =$	0.317	cm^4
$F_y =$	3,230	Kg/cm^2	$C_a =$	23,868.6	cm^6

b) Cálculo del momento resistente

Debido a que el larguero se encuentra correctamente arriostrado por la lámina en el patín superior, se puede considerar que se tiene soporte lateral continuo al patín en compresión del larguero, por lo que el momento resistente es igual a:

$$M_R = F_R * M_N = F_R * S_{ex} * F_y$$

Donde el módulo de elasticidad para el módulo de sección S_{ex} se calcula considerando los anchos efectivos de las placas que conforman el perfil CF para un esfuerzo en compresión igual a F_y .

b.1) Cálculo de las propiedades efectivas para esfuerzo F_y :

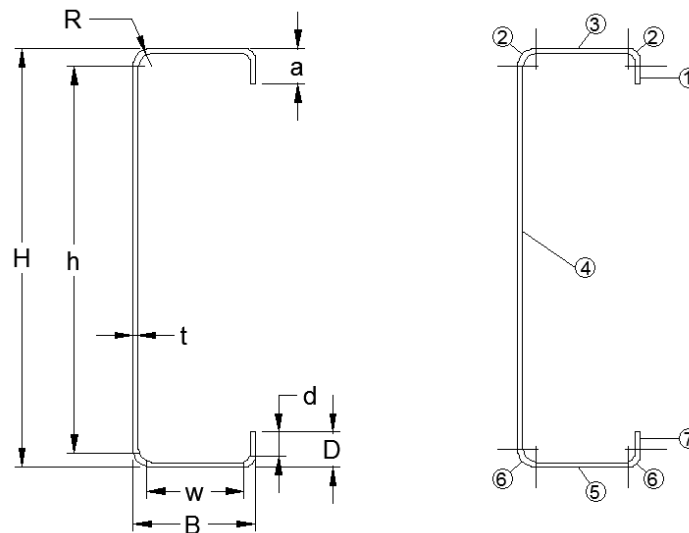


Ilustración 45 Perfil CF de 305 mm

b.1.1) Propiedades del elemento 2

$$r = R + \frac{t}{2} = 0.48 + \frac{0.342}{2} = 0.651 \text{ cm.}$$

Radio arco a eje

$$u = \frac{\pi * r}{2} = 1.02 \text{ cm.}$$

Longitud del arco

$$c = 0.637 * r = 0.415 \text{ cm.}$$

Distancia centroide desde centro arco

$$I'_c = 0.149 * r^3 = 0.0411 \text{ cm}^3$$

Inercia centroide arco

b.1.2) Propiedades del elemento 1. Borde en compresión (Elemento no rigidizado uniformemente comprimido).

$$d = D - (R + t) = 0.254 - (0.48 + 0.342) = 1.718 \text{ cm.}$$

$$k_u = 0.43$$

$$\lambda = \frac{1.052}{\sqrt{k_u}} \left(\frac{d}{t} \right) \sqrt{\frac{f}{E}} = \frac{1.052}{\sqrt{0.43}} \left(\frac{1.54}{0.27} \right) \sqrt{\frac{3,230}{2,039,000}} = 0.364 < 0.673 \dots \dots d's = d = 1.72 \text{ cm.}$$

$$I_s = \frac{d'^3 * t}{12} = \frac{1.72^3 * 0.342}{12} = 0.145 \text{ cm}^4$$

Se debería utilizar para “f” el esfuerzo f3 (como se ve en la ilustración 46), pero para el caso es suficiente que f=Fn con una distribución uniforme.

b.1.3) Elemento 3: Patín en compresión (Elemento uniformemente comprimido con un rigidizador de borde).

$$w = B - 2(R + t) = 8.89 - 2 * (0.48 + 0.342) = 7.25 \text{ cm.}$$

$$\frac{w}{t} = \frac{7.25}{0.342} = 21.19 < 60, \text{ que es limite segun AISI, seccion B1.1}$$

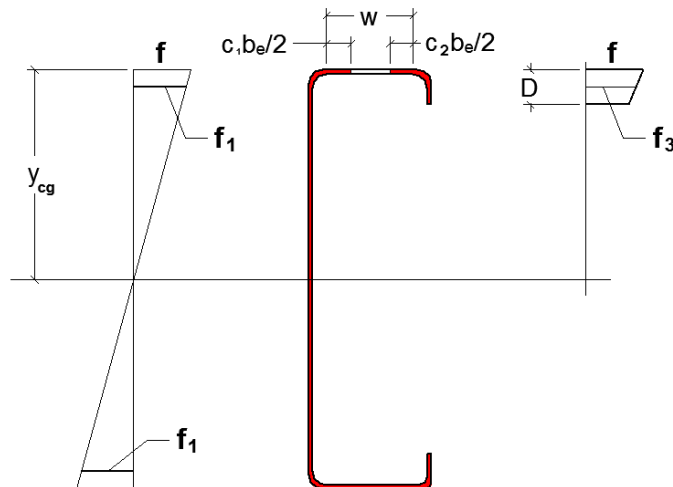


Ilustración 46 Esfuerzos de la sección.

$$s = 1.28 \sqrt{\frac{E}{f}} = 1.28 * \sqrt{\frac{2,039,000}{3,230}} = 32.16$$

Como $w/t > 0.328S$ aplica el caso 2 de acuerdo a la ecuación B4-4 del AISI, de donde la rigidez requerida para el rigidizador de borde será:

$$I_a = 399t^4 \left(\frac{w}{S} - \sqrt{\frac{k_u}{4}} \right)^3 = 399 * 0.342^4 \left(\frac{21.19}{32.16} - \sqrt{\frac{0.43}{4}} \right)^3 = 0.198 \text{ cm}^4$$

Como $I_s < I_a$, entonces:

$$n=0.50$$

$$C_2 = \frac{I_s}{I_a} = \frac{0.145}{0.198} = 0.732$$

$$C_1 = 2 - C_2 = 2 - 0.732 = 1.268$$

Se calcula entonces el coeficiente de pandeo de la placa (k_p) y el ancho efectivo reducido del rigidizador de borde para el cálculo de propiedades de la sección efectiva:

$$k_a = 5.25 - 5 \left(\frac{D}{w} \right) = k_p = 5.25 - 5 \left(\frac{2.54}{7.25} \right) = 3.49$$

(Valido para $140 \geq \Theta \geq 40^\circ$ y $0.25 \leq D/w \leq 0.80$)

$$k_p = C_2^n (k_a - k_u) + k_u = 0.732^{0.50} (3.49 - 0.43) + 0.43 = 3.05$$

$$d_s = C_2 d' s = 0.732 * 1.72 = 1.26 \text{ cm}$$

Ancho efectivo del elemento 3 para su máxima capacidad de carga:

$$\lambda = \frac{1.052}{\sqrt{k_p}} \left(\frac{w}{t} \right) \sqrt{\frac{f}{E}} = \frac{1.052}{\sqrt{3.05}} (21.19) \sqrt{\frac{3,230}{2,039,000}} = 0.508 < 0.673 \dots$$

el patin no esta sujeto a pandeo local por tanto $b_e = b = 7.25 \text{ cm}$.

b.1.4) Elemento 4: Alma con gradiente de esfuerzo.

Tabla 23 Calculo de la inercia efectiva

Elemento	Longitud efectiva L (cm)	y	Ly	Ly ²	lo
1	1.26	1.28	1.61	2.07	1.67E-01
2	2.04	0.33	0.66	0.22	8.22E-02
3	7.25	1.71	12.40	21.20	0.00E+00
4	29.18	15.24	444.67	6,776.81	2.07E+03
5	7.25	30.31	219.74	6,660.11	0.00E+00
6	2.04	30.15	61.52	1,854.96	8.22E-02
7	1.72	28.97	49.77	1,441.85	4.23E-01
Σ=	50.74		790.37	16,757.21	2,070.83

$$y_{cg} = \frac{\sum L_y}{\sum L} = \frac{790.37}{50.74} = 15.57 \text{ cm.}$$

$$f_1 = [y_{cg} - (R + t)] * \frac{f}{y_{cg}} = [15.57 - (0.48 + 0.342)] * \frac{3,230}{15.57} = 3,059.47 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f_2 = -[h + (R + t) - y_{cg}] * \frac{f}{y_{cg}} = -[30.5 + (0.48 + 0.342) - 15.57] * \frac{3,230}{15.57} = -3,267.75 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\Psi = \left| \frac{f_2}{f_1} \right| = \left| \frac{-3,267.75}{3,059.47} \right| = 1.07$$

$$k = 4 + 2(1 + \Psi)^3 + 2(1 + \Psi) = 4 + 2(1 + 1.07)^3 + 2(1 + 1.07) = 25.88$$

$$\lambda = \frac{1.052}{\sqrt{k}} \left(\frac{h}{t} \right) \sqrt{\frac{f_1}{E}} = \frac{1.052}{\sqrt{25.88}} \left(\frac{29.18}{0.342} \right) \sqrt{\frac{3,059.47}{2,039,000}} = 0.721$$

> 0.673 ... por tanto el alma esta sujeta a pandeo local entonces $b = b_e = \rho b$

$$\rho = \frac{1 - \frac{0.22}{\lambda}}{\lambda} = \frac{1 - \frac{0.22}{0.721}}{0.721} = 0.963 \dots \dots b_e = 0.963 * 29.18 = 28.10 \text{ cm.}$$

$$b_1 = \frac{b_e}{(3 - \Psi)} = \frac{28.10}{(3 - 1.07)} = 14.56 \text{ cm.}$$

Como $\Psi < -0.236 \dots \dots b_2 = b_e/2 = 14.05 \text{ cm.}$

$$b_1 + b_2 = 14.56 + 14.05 = 28.61 \text{ cm.} > y_{cg} - (R + t) = 14.748 \text{ cm.}$$

Por tanto es completamente efectiva

b.1.5) Propiedades efectivas:

$$I'_x = \sum I_o + \sum Ly^2 - \sum Ly_{cg}^2 = 2,070.83 + 16,757.21 - (15.57)^2(50.74) = 6,527.19 \text{ cm}^3$$

$$I_{ex} = I'_x t = 6,527.19 * 0.342 = 2,232.29 \text{ cm}^4$$

$$S_{ex} = \frac{I_{ex}}{y_{cg}} = \frac{2,232.29}{15.57} = 143.37 \text{ cm}^3$$

b.2) Momento nominal resistente:

El módulo de sección considerando la reducción del área del borde en compresión para un esfuerzo en compresión de la fibra extrema de F_y , es igual a:

$$S_n = S_{ex} = 143.37 \text{ cm}^3$$

El momento resistente del larguero considerando soporte lateral continuo es igual a:

$$M_N = S_n f_y = 143.37 * 3,230 \times 10^5 = 4.63 \text{ Ton} - \text{m.}$$

$$M_R = F_R M_N = 0.90 * 4.63 = 4.167 \text{ Ton} - \text{m.}$$

b.3) Comparación del momento último y el momento nominal resistente:

Para obtener el momento de diseño último se considera el caso 3 de la tabla 21 de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$M_u = \frac{0.127 * 12^2}{8} = 2.28 T - m < 4.167 T - m \dots \dots \text{por tanto el diseño es adecuado.}$$

c) Revisión por cortante:

$K_v = 5.0$ (Coeficiente de pandeo por cortante para almas no reforzadas)

$$\begin{aligned} \frac{h}{t} = \frac{29.18}{0.342} = 84.76 > 1.415 \sqrt{\frac{EK_v}{f_y}} &= 1.415 \sqrt{\frac{2,039,000 * 5.0}{3,230}} \\ &= 79.50 \dots \dots \text{Por tanto hay pandeo elastico} \end{aligned}$$

$$V_N = \frac{0.905EK_v}{\left(\frac{h}{t}\right)^2} A_a = \frac{0.905 * 2,039,000 * 5.0}{(84.76)^2} * 29.18 * 0.342 = 12,816.38 Kg. - - 12.8 Ton.$$

$$V_R = F_R V_N = 0.90 * 12.8 = 11.53 Ton.$$

El cortante ultimo de diseño se considera dónde termina la unión de los perfiles y es máximo en el vano extremo, que tenemos que el cortante último es igual a:

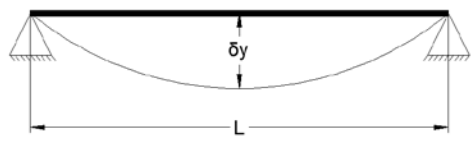
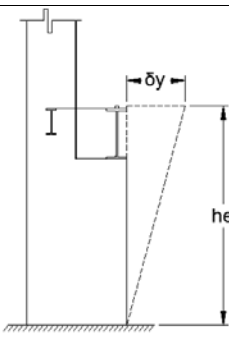
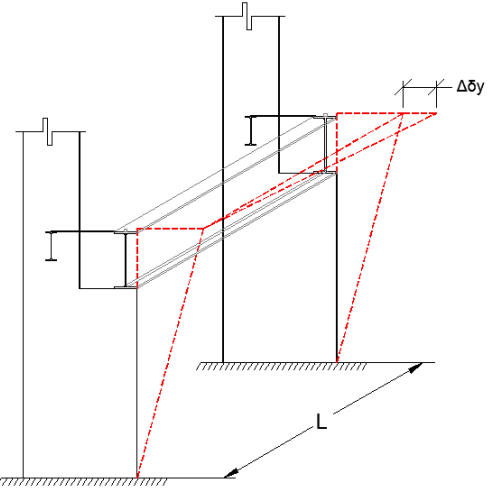
$$V_u = \frac{0.127 * 12}{2} = 0.762 < V_R - - \text{por tanto el diseño es adecuado.}$$

Nota: En el caso de considerarse un larguero continuo ZF, deberá ser revisado el momento negativo en los extremos en combinación con el cortante actuante.

5.4 REVISIÓN DE LOS ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

La primera condición que se deberá satisfacer será cumplir con los siguientes parámetros descritos según las siguientes tablas:

Tabla 24 Tabla de valores permisibles para la estructura según el AISC para la operatividad de la grúa.

Descripción de la deflexión.	Diagrama
<p>a) Deformación Horizontal δ_y de la grúa viajera medida al nivel superior del riel para la grúa:</p> $\delta_y \leq L/600$	
<p>b) Desplazamiento horizontal δ_x o δ_y del marco (o de la columna) a la altura de la trabe carril debido a las cargas de la grúa.</p> $\delta_y \leq h_e/400$	
<p>c) Diferencia $\Delta\delta_y$ entre el desplazamiento horizontal de marcos adyacentes (o columnas) soportando las traveses carril al interior de la grúa viajera:</p> $\Delta\delta_y \leq L/600$	
<p>d) Diferencia $\Delta\delta_y$ entre el desplazamiento horizontal de marcos adyacentes (o columnas) soportando las traveses carril al exterior de la grúa viajera:</p> <p>Debido a la combinación de fuerzas laterales de la grúa en operación y la carga de viento:</p> $\Delta\delta_y \leq L/600$ <p>Debido a la combinación de fuerzas laterales de la grúa fuera de operación y la carga de viento:</p> $\Delta\delta_y \leq L/400$	

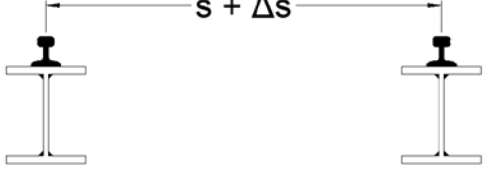
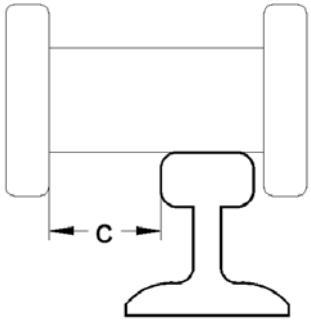
Descripción de la deflexión.	Diagrama
<p>e) Cambio del espaciamiento Δs entre los centro de la trabe carril, incluyendo los efectos de los cambios de temperatura</p> $\delta_y \leq L/600$	
<p>NOTE: Deflexión horizontal y desviaciones de la grúa viajera son consideradas juntas en el diseño de la grúa. Deflexiones aceptables y las tolerancias dependen de los detalles y autorizaciones en las guías. Siempre que la autorización c entre los patines de las llantas y el riel de la grúa (o entre la alternativa guía de los medio y la trabe puente) es lo suficiente para acomodar las tolerancias necesarias, límites de las deflexiones longitudinales pueden ser especificadas en cada proyecto si coincide con los requerimientos del cliente.</p>	

Tabla 25 Tabla de valores permisibles según el manual de obras civiles.

Desplazamientos verticales para elementos estructurales		
Elemento	Carga	Desplazamiento máximo
Miembros que soportan cubiertas de techo rígidas	CV ¹	L/240 + 5 mm
Miembros que soportan cubiertas de techo flexibles	CV ¹	L/180
¹ Carga vertical total.		
Desplazamientos laterales para marcos estructurales		
Elemento	Carga	Desplazamiento máximo
Miembros que soportan elementos incapaces de soportar deformaciones apreciables.	Sismo ¹	0.006H
	Viento	0.002H
Miembros soportando elementos que no sufran daños por su deformación.	Sismo ¹	0.012H
	Viento	0.005H
¹ Nota: Los desplazamientos debido a la acción de sismo obtenido por un análisis elástico con un espectro transparente.		

5.4.1 Reporte de desplazamientos de la estructura totales en dirección X

Caso Crítico: Operación de la Grúa.

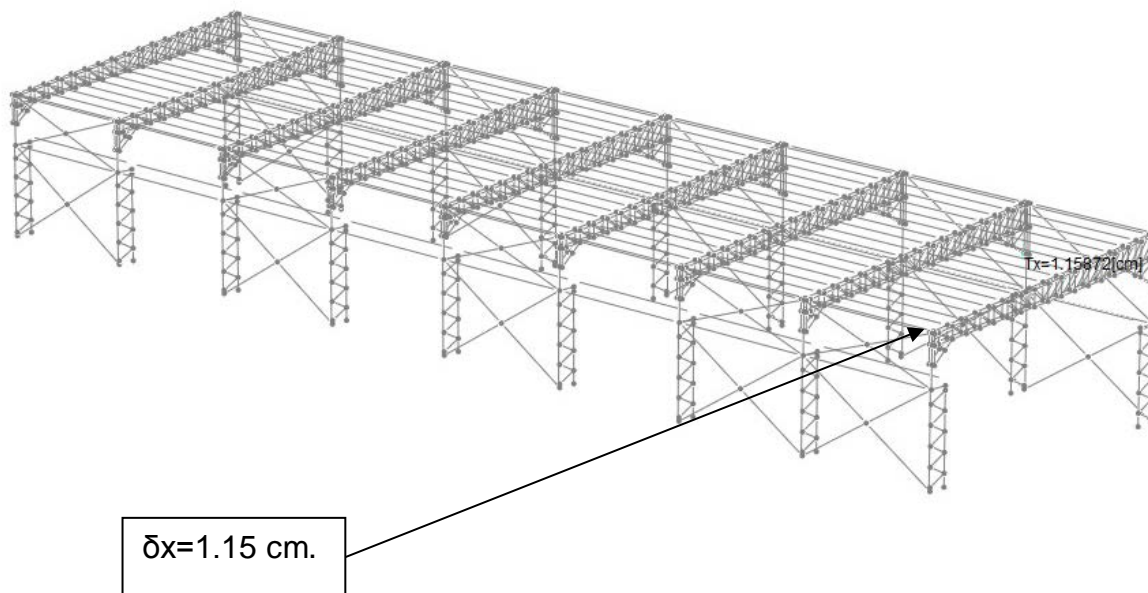


Ilustración 47. Vista en isométrico de la estructura desplazada en sentido X.

Desplazamiento máximo en X = 1.15 cm.

Desplazamiento permisible = $700/400 = 1.75 \text{ cm.}$

Nota: Los valores de los desplazamientos máximos en todos los nodos reportan valores mayores al permisible en esta dirección, los cuales son el doble del permisible de 1.75 cm. según lo establece las AISC-IMCA.

*Ver anexo: Corrida Estructural-Tabla de envolvente de desplazamientos máximas.

5.4.2 Reporte de desplazamientos de la estructura totales en dirección Y.

Caso Crítico: Operación de la Grúa

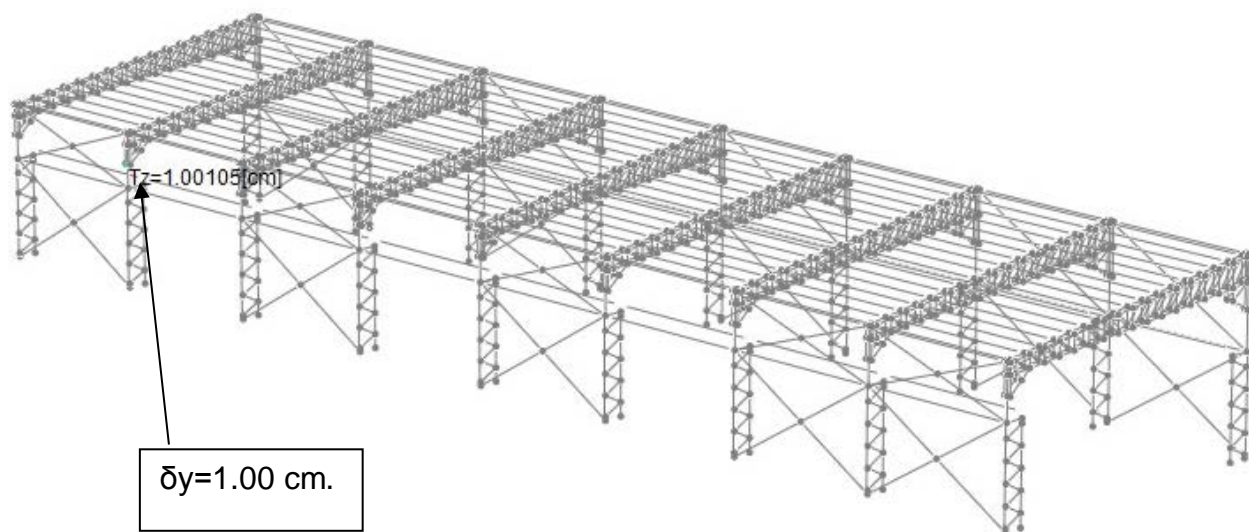


Ilustración 48. Vista en isométrico de la estructura desplazada en sentido Y

Desplazamiento máximo en Y = 1.00 cm.

Desplazamiento permisible = $700/400 = 1.75 \text{ cm}$.

Nota: Los valores de los desplazamientos máximos en todos los nodos reportan valores MENORES al permisible en esta dirección, los cuales son el doble del permisible de 1.75 cm. según lo establece las AISC-IMCA.

*Ver anexo: Corrida Estructural-Tabla de envolvente de desplazamientos máximas.

5.4.3 Revisión de flecha en largueros

a) Calculo del esfuerzo de servicio en la fibra extrema

La deformación máxima se presenta para el momento máximo en el centro del claro del tramo para la carga de granizo, por lo que el esfuerzo de la fibra para carga de servicio es igual a:

$$M = \frac{Mu}{Fc} = \frac{2.28}{1.1} = 2.07T - m.$$

$$f = \frac{M}{S} = \frac{2.07 \times 10^5}{153.10} = 1,352.06 \text{ kg/cm}^2$$

b) Calculo de las propiedades efectivas para esfuerzo f:

b.1) Patin en compresión:

$$S = 1.28 \sqrt{\frac{E}{f}} = S = 1.28 \sqrt{\frac{E}{1,352.06}} = 49.7$$

$$\frac{S}{3} = 16.57 < \frac{w}{t} = 21.19 < S = 49.7 \text{ --- aplica caso II}$$

$$I_a = 399t^4 \left(\frac{w}{S} - \sqrt{\frac{k_u}{4}} \right)^3 = 399 * 0.342^4 \left(\frac{21.19}{49.7} - \sqrt{\frac{0.43}{4}} \right)^3 = 0.0052 \text{ cm}^4 \text{ --- inercia requerida}$$

como $I_s = 0.145 \text{ cm}^4 > I_a = 0.0052 \text{ cm}^4$ --- el borde es completamente efectivo

Por tanto como $C_2=1.0$ y $k_a=3.05$, el ancho efectiva para el patín en compresión para su máxima capacidad de carga será:

$$\lambda = \frac{1.052}{\sqrt{k_a}} \left(\frac{w}{t} \right) \sqrt{\frac{f}{E}} = \frac{1.052}{\sqrt{3.05}} (21.19) \sqrt{\frac{1,352.06}{2,039,000}} = 0.328 < 1.0 \text{ ... el patin es total}$$

c) Deformación del larguero:

La inercia total de la sección transversal es:

$$I_{xx} = 2,333.24 \text{ cm}^4$$

Donde la flecha máxima al centro del claro es:

$$\Delta_{max} = \frac{5wl^4}{385EI} = \frac{5 * 1.15 * 1200^4}{385 * 2,039,000 * 2,333.24} = 6.50 \text{ cm}$$

$$\Delta_{permissible} = \frac{L}{180} = \frac{1200}{180} = 6.66 \text{ cm.}$$

$\Delta_{max} < \Delta_{permissible}$ — *por tanto la seccion es adeucada por servicio*

5.5 DISEÑO DE TRABE CARRIL.

De la revisión del tren de carga considerando las múltiples reacciones que genera la trabe puente o grúa viajera.

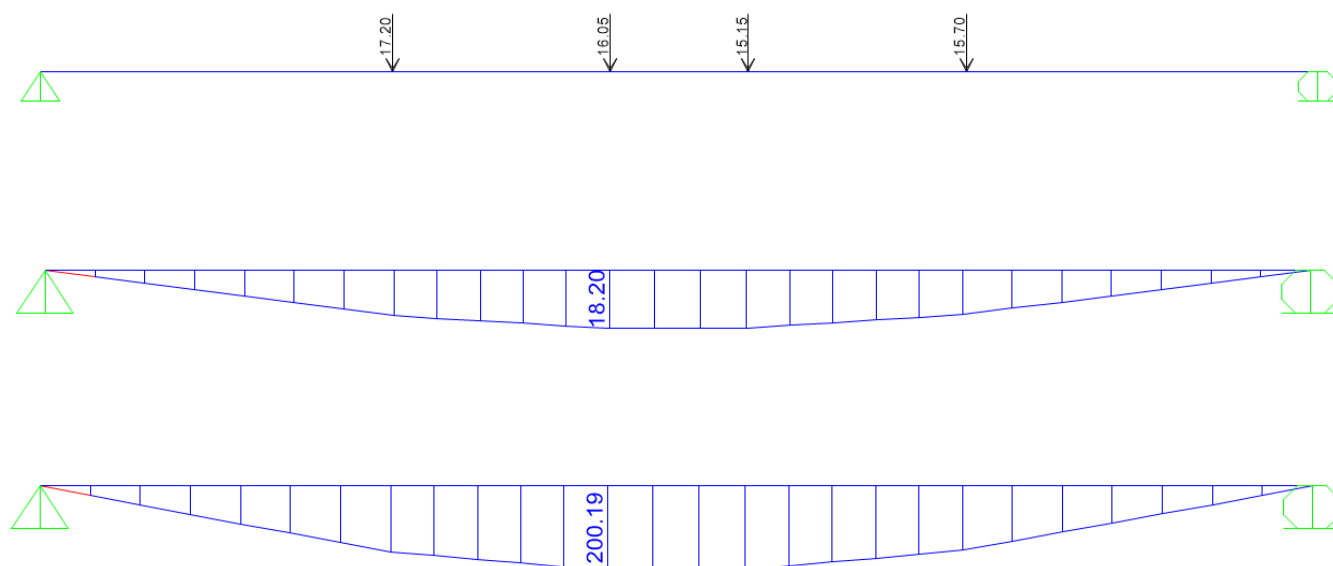


Ilustración 49. Diagrama de cuerpo libre, momento y cortante.

5.5.1 Sección preliminar

Se tomara el valor Momento Máximo por carga viva $M_{cv} = 200.19$ t-m. Debido a que la carga es de servicio el momento de diseño será:

$$M_u = F_c * M_{cv} = 1.5 * 200.19 = 300.28 \text{ t - m.}$$

Se tomara el valor Momento Máximo por muerta $M_{cm} = 18.20$ t-m., Debido a que la carga es de servicio el momento de diseño será:

$$M_u = F_c * M_{cv} = 1.3 * 18.20 = 23.66 \text{ t - m.}$$

Por tanto el valor del momento de diseño M_{ut} será:

$$M_{ut} = M_{cv} + M_{cm} = 300.28 + 23.66 = 323.94 \text{ t - m.}$$

Considerando que el momento resistente, M_r , debe de ser igual o mayor a M_u , con lo que conforme al capítulo 6 (NTC-DCEA, 2017).

$$M_u = M_r = F_R * M_n$$

Con un factor de reducción, F_r , igual a 0.9, conforme a la sección 6.2, inciso 1.

Se calcula la resistencia nominal, M_n , en fluencia considerando miembros de sección 1 de doble simetría tipo 3 o 4, y alma tipo 1,2 o 3.

$$S_x - \text{necesario} = \frac{M_u}{F_r * F_y} = \frac{32,394,000}{0.9 * 2,530} = 14,226.61 \text{ cm}^3$$

Se busca una sección con un módulo de sección igual o mayor que el obtenido tomando una sección de referencia del Manual IMCA de la características de una viga 914x417.3 kg/ml.

Se considera la elaboración de una viga de 3 placas con medidas:

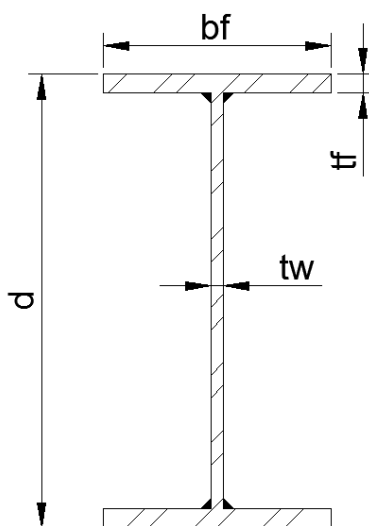
Dimensiones:

$$d = 99.02 \text{ mm.}$$

$$t_w = 25.4 \text{ mm.}$$

$$b_f = 400 \text{ mm.}$$

$$t_f = 38.1 \text{ mm.}$$



Propiedades Geométricas:

$$I_x = 771,315 \text{ cm}^4.$$

$$I_y = 41,219 \text{ cm}^4$$

$$S_x = 16,877 \text{ cm}^3.$$

Ilustración 50. Sección transversal trabe carril.

Así mismo es importante cumplir con el permisible para la deformación, por lo que se tomara como referencia la Tabla 26 de (NTC-DCEM-04)

Tabla 26 Desplazamientos permisibles (NTC-DCEM-04).

Elemento	Carga	Desplazamiento maximo	Comentarios
Desplazamientos verticales			
<u>Trabe Carril</u>			
Grua colgada o monorraiel, clase A, B o C.	Carga vertical de la grúa (sin impacto)	L / 450	L es el claro de la trabe carril
<u>Grua de puente</u>			
Clase A, B o C		L / 600	L es el claro de la trabe carril
Clase D	Carga vertical de la grúa (sin impacto)	L / 800	L es el claro de la trabe carril
Clase E		L / 1000	L es el claro de la trabe carril
Desplazamientos laterales			
<u>Marco de acero</u>			
Grua operada desde el piso	Fuerza lateral de la grúa	H / 100	H es la altura a la que se apoya la trabe carril; el desplazamiento se mide a esa altura
Grua operada desde una cabina	viento o sismo	H / 240 ≤ 50 mm.	
<u>Trabe carril</u>	Fuerza lateral de la grúa	L / 400	L es el claro de la trabe carril

Se deberá cumplir con el valor para la grúa clase D.

$$\delta_{perm} = \frac{L}{800} = \frac{1200}{800} = 1.5 \text{ cm}$$

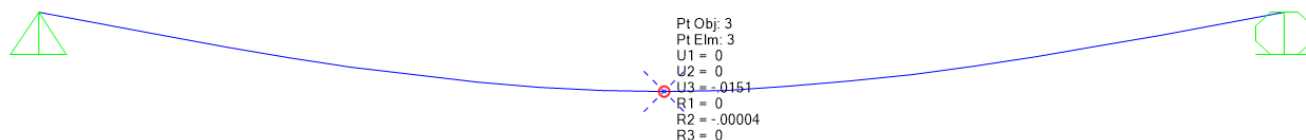


Ilustración 51. Flecha vertical en la trabe carril.

Se acepta la inercia de la sección propuesta al tener que:

$$\delta_{perm} = \delta_{act}.$$

5.5.2 Clasificación de la Sección.

La trabe principal se clasifica conforme a su relación ancho/grueso, tabla 3.2.2 (NTC-DCEA,2017).

a) Para los patines:

$$\text{Limite para el tipo 1: } 0.3 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0.3 \sqrt{\frac{2,040,000}{2,530}} = 8.5$$

$$\text{Relacion ancho grueso: } \frac{bf}{tb} = \frac{40}{3.81} = 5.25 \dots \text{Cumple condicion para Tipo 1}$$

b) Para el alma:

$$\text{Liimte para el tipo 1: } 2.45 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 2.45 \sqrt{\frac{2,040,000}{2,530}} = 69.6$$

$$\text{Relacion ancho grueso: } \frac{h}{tw} = \frac{99.02}{2.54} = 5.25 \dots \text{Cumple condicion para Tipo 1}$$

Nota: Se considerara un diseño elástico de la viga aunque teóricamente es posible considerar un diseño plástico, sin embargo por la relevancia y costo de la obra no sería viable permitir una plastificación de los elementos.

5.5.3 Análisis de Cargas actuantes en la trabe carril.

a) Cálculo de la Carga de Impacto

De la tabla D3.2 (NTC-DCEA, 2017), la carga de impacto, C_{si} , es igual al 25 por ciento de la carga máxima por rueda.

Momento por Impacto $M_{Csi} = 0.25 * 200.19 = 50.05 \text{ Ton} - \text{m}$,

Cortante por Impacto $V_{Csi} = 0.25 * 47.77 = 11.95 \text{ Ton}$,

b) Cálculo de carga lateral

De la tabla D.3.2 (NTC-DCEA, 2017), la carga lateral total debe ser la mayor de:

Tabla 27 Carga lateral total, a partir de la tabla D.3.2 (NTC-DCEA, 2017).

a) 100% de la carga levantada	$1.0 * 50.0$	= 50 ton. Rige este estado.
b) 20 % de (carga levantada + carro de traslación)	$0.2 * (50 + 8.13)$	=11.63 ton.
c) 10 % de (carga levantada + peso propio de grúa)	$0.1 * (50 + 19.17)$	=6.92 ton.

Debido a que la estructura tendrá la misma rigidez, en la dirección lateral, en ambos lados del riel, la máxima carga será distribuida equitativamente en cada lado, por lo que $50/2=25 \text{ ton}$, La carga lateral actuando en cada rueda de la grúa es $25 \text{ ton} / 4 \text{ ruedas} = 6.25 \text{ ton por rueda}$.

El momento y cortante por la carga lateral son proporcional a la carga máxima por rueda, en una relación $6.25/50 \text{ Ton} = 0.125$

Momento por carga lateral $M_{Csl} = 0.125 * 200.19 = 25.02 \text{ Ton} - \text{m}$,

Cortante por carga lateral $V_{Csl} = 0.125 * 47.77 = 5.97 \text{ Ton}$.

c) Cálculo de la carga de frenado

De la tabla D.3.2 (NTC-DCEA, 2017), la carga de frenado, C_{sf} , es igual al 20 por ciento de la carga máxima de las ruedas de tensión, esta consideración se realiza solo para una grúa.

Dicha fuerza actuara justo por encima del riel, por lo que en el extremo de la trabe se generara un momento igual a:

$$10 * (0.146 + 1.08) = 12.26 \text{ t} - \text{m}.$$

La fuerza cortante en los extremos de la trabe carril, será igual al momento ocasionado por el frenado, entre la longitud del claro:

$$V_{Csf} = \frac{12.26}{12} = 1.02 \text{ t}.$$

El momento máximo ocurrirá a la distancia de la misma rueda que para la carga viva.

$$M_{Csf} = V_{csf} * 7.2 = 7.4 \text{ t} - \text{m}.$$

d) Cálculo de la fuerza cortante de diseño

$$V_u = \left(\frac{C_{sm} * L}{2} \right)$$

El momento y cortante por la carga lateral son proporcional a la carga máxima por rueda se resume de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 28 Cálculo de momento y cortante

Cargas	Momento (t-m)	Cortante (t)
Carga Muerta	18.20	4.34
Carga Viva	200.19	47.01
Impacto	50.25	11.75
Carga lateral	74.08	17.12
Frenado	40 t-m	9.44

d.1) Cálculo de la fuerza cortante máxima

$$V_{max} = \left(\frac{C_{sm} * L}{2} \right) + (V_{cv} + V_{impacto} + V_{frenado})$$

$$V_{max} = \left(\frac{4.34 * 12.00}{2} \right) + (47.01 + 11.75 + 9.44) = 94.22 \text{ Ton.}$$

e) Excentricidad de la carga lateral.

La carga lateral actúa justo encima del riel de la grúa, por lo que se debe de calcular la reacción de la placa de soporte y la reacción en el patín inferior

$$H_{ps} = \frac{114.6}{99.6} * C_{sl} = 1.15 * C_{sl} = 1.15 * 25.02 = 28.77 \text{ t - m.}$$

$$H_{pi} = 0.15 * C_{sl} = 0.15 * 25.05 = 3.76 \text{ t - m.}$$

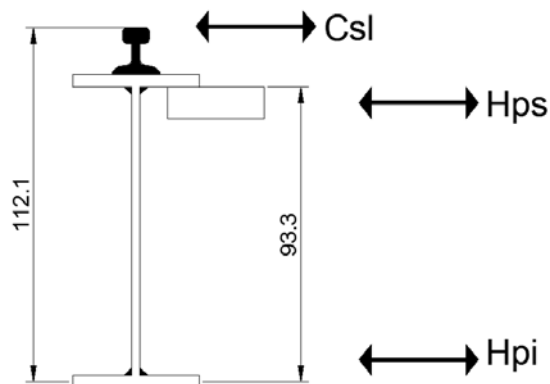


Ilustración 52. Diagrama de cuerpo libre por empuje lateral.

f) Combinaciones de Carga a considerar:

f.1) Combinación con impacto.

$$\text{Comb1} = 1.3 C_m + 1.5(C_{mv} + C_{impacto} + C_{frenado})$$

f.2) Combinación sin impacto

$$\text{Comb2} = 1.3 C_m + 1.5(C_{mv} + C_{frenado})$$

f.3) Combinación de empuje lateral en patín superior

$$\text{Comb3} = 1.5(\text{Hps} * \text{Csl})$$

f.4) Combinación de empuje lateral en patín inferior.

$$\text{Comb4} = 1.5(\text{Hpi} * \text{Csl})$$

f.5) Cortante máximo gravitacional con impacto.

$$\text{Comb1} = 1.3 * \left(\frac{C_{sm} * L}{2} \right) + 1.5 * (V_{cv} + V_{\text{impacto}} + V_{\text{frenado}}) = 136.15 \text{ Ton.}$$

f.6) Cortante por carga lateral, amplificado por la excentricidad de la carga.

$$\text{Comb3} = 1.5 * V_{\text{carga lateral}} * 1.15 = 29.53 \text{ Ton.}$$

Tabla 29 Elementos mecánicos de diseño.

Combinaciones	Momentos (t-m)	Cortantes (t)
Comb1	459.32	136.15
Comb2	383.95	-
Comb3	127.79	29.532
Comb4	16.67	-

5.5.4 Revisión de los estados límite de falla de acuerdo a la NTC-DCEA-17

5.4.4.1 Calculo de la viga como sección simple

a) Momentos Resistentes de fluencia

Se cumplen las condiciones para secciones tipo 1 por lo que se usaran las siguientes expresiones de acuerdo al (NTC-DEA-17):

$$M_r = F_r * M_r \quad (\text{Capitulo 6})$$

$$F_r = 0.9 \quad (\text{Sección 6.2})$$

$$M_r = F_n * S_{min} \quad (\text{Ec. 6.12.1})$$

$$F_n = F_y \quad (\text{Ec. 6.12.2})$$

i) Momento resistente alrededor del eje de mayor inercia. M_x (sin considerar el arrostramiento lateral).

$$M_{rx} = 0.9 * 2,530 * 16,877 = 384.28 \text{ t} - \text{m} \dots \text{No cumple para combinación 1}$$

ii) Momento resistente alrededor de eje de menor inercia. M_y (sin considerar el arrostramiento lateral).

$$M_{ry} = 0.9 * 2,530 * 2,060 = 46.90 \text{ t} - \text{m} \dots \dots \dots \text{No cumple para combinación 3}$$

iii) Momento resistente al patín inferior

$$M_{ry} = 0.9 * 2,530 * \frac{3.81 * 40^3}{12} * \frac{1}{20} = 18.22 \text{ t} - \text{m} \dots \text{Cumple para combinación 4}$$

Se observa que la viga tiene una sección resistente menor a la actuante en flexión M_{xx} y M_{yy} , por lo que existen 3 posibles consideración para aumentar la sección resistente de la viga:

- 1.- Considerar una sección compuesta proporcionada del arrostramiento lateral
- 2.- Aumentar la resistencia de la placa por un grado más alto.
- 3.- Modificar las dimensiones de la placa para aumentar la Inercia en X y Y.

Se considerara la opción número como primera alternativa dado que por especificación siempre es recomendable considerar un arrostamiento lateral por lo que se buscaría aprovechar al máximo las virtudes de este arrostamiento.

b) Calculo de la Resistencia a cortante, sin alma atiesada.

$$V_r = F_r * V_n \quad (\text{Capitulo 6})$$

$$F_r = 0.9 \quad (\text{Sección 6.2})$$

$$V_n = 0.6 * F_y * A_a * C_v \quad (\text{Ec. 6.12.1})$$

El coeficiente C_v (Coeficiente para cortante del alma), depende de la relación de esbeltez del

alma $\frac{h}{t_w} = \frac{91.4}{2.54} = 35.98$, por lo que C_v se toma de la ecuación:

$$C_v = \frac{1.10}{\frac{h}{t_w}} * \sqrt{\frac{K_v * E}{F_y}} \quad (\text{Ec. 7. 2.4})$$

Donde $K_v=5.0$ (Coeficiente de pandeo en cortante de la placa del alma).

$$C_v = \frac{1.10}{\frac{91.4}{2.54}} * \sqrt{\frac{5.0 * 2,040,000}{4200}} = 1.94$$

Por tanto el cortante V_n será:

$$V_n = 0.6 * 2530 * (91.4 * 2.54) * 1.94 = 683,680.84 \text{ kg}$$

$$V_n = 683 \text{ Ton.}$$

$$V_r = 683 * 0.9 = 615 \text{ Ton.}$$

5.4.4.2 Cálculo de la viga como sección compuesta

a) Propiedades geométricas del conjunto.

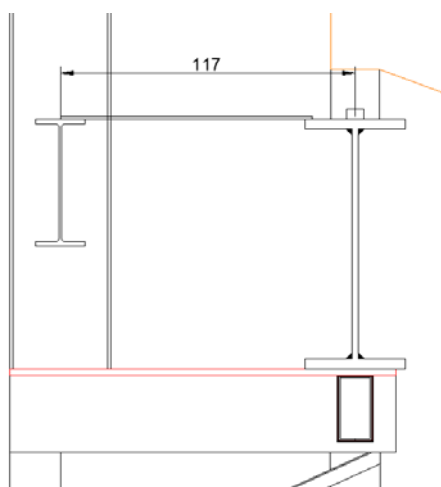


Ilustración 53. Arrostramiento de la trabe carril con la trabe secundaria

La viga trabaja como sección compuesta debido a la unión con la trabe secundaria con una sección de IR 457x96.7 kg/ml, que para la flexión respecto al eje X la sección tendrá una porción de la placa de soporte, por lo que perderá simetría en el plano a flexión. Para determinar el ancho de la placa de soporte que trabaja con la trabe principal, se considerará que debe cumplir con la relación ancho/groeso de secciones tipo 3, por lo que tendrá que cumplir con:

Para patines:

$$\text{Limite para el tipo 3: } 1.0 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1.0 \sqrt{\frac{2,040,000}{2,530}} = 28.4 \quad (\text{Tabla 3.2.2 NTC-CDMX-17-DYCEA})$$

Igualando con la relación ancho grueso podemos determinar el ancho necesario para el límite en tipo 3

$$\frac{b}{t} = 28.4 \quad \text{Se propone un espesor de 16 mm.}$$

Por tanto se considera mínimo una base $b = 454.4$ mm.

Para flexión respecto al eje Y la trabe principal y la trabe secundaria trabajaran en conjunto como secciones "T" unidad por la placa de soporte. Por tanto se considerara que la altura del alma de cada sección "T" debe cumplir con la relación ancho/grueso de secciones tipo "T", por lo que tendrán que cumplir con la siguiente relación:

$$\text{Limite para el tipo 3: } 1.03 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1.03 \sqrt{\frac{2,040,000}{2,530}} = 29.25 \quad (\text{Tabla 3.2.2 NTC-CDMX-17-DYCEA})$$

Para las propiedades y-y, la altura de las almas de las traves será:

1) Para la trabe carril, $h=29.25 * 25.4= 742.95$ mm.

2) Para la trabe secundaria, $h=29.25*11.4 =333.45$ mm.

b) Calculo de las propiedades geométricas del conjunto X-X.

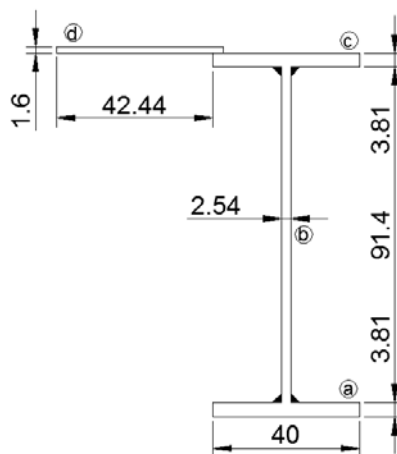


Ilustración 54. Sección equivalente de la trabe carril con la placa de respaldo en X-X.

Tabla 30 Propiedades geométricas

Elemento	b cm	h cm	A cm ²	y _b cm	Ay _b cm ³	Ay _b ² cm ⁴	lo cm ⁴
	40.0	3.8	152.0	1.5	228.0	342.0	182.9
	2.5	91.4	232.2	54.0	12536.4	676966.9	161618.5
	40.0	3.8	152.0	106.5	16188.0	1724022.0	182.9
	(45.44 + 3)	1.6	77.5	108.5	8409.2	912396.5	16.5
Σ =			613.7		37361.6	3313727.4	162000.8

Distancia al centroide.

$$y_B = \frac{\Sigma Ay_b}{\Sigma A} = \frac{37,361.6}{613.7} = 60.88 \text{ cm}; \quad y_A = 100.62 - 60.88 = 39.74 \text{ cm.}$$

$$I_{xx} = \Sigma I_o + \Sigma Ay_b^2 - y_B^2 \Sigma A$$

$$I_{xx} = 162,000 + 3'313,727.4 - 60.88^2 * 613.7 = 1',201,125.43 \text{ cm}^4$$

Módulo de Sección S_{xinf}

$$S_{xinf} = \frac{I_{xx}}{y_B} = \frac{1',201,125.43}{60.88} = 19,729.39$$

Módulo de Sección S_{xsup}

$$S_{xsup} = \frac{I_{xx}}{y_B} = \frac{1',201,125.43}{39.74} = 30,224.59$$

b) Calculo de las propiedades geométricas del conjunto Y-Y.

Se calcula el momento de inercia I_y y el módulo de Sección S_y para la figura mostrada:

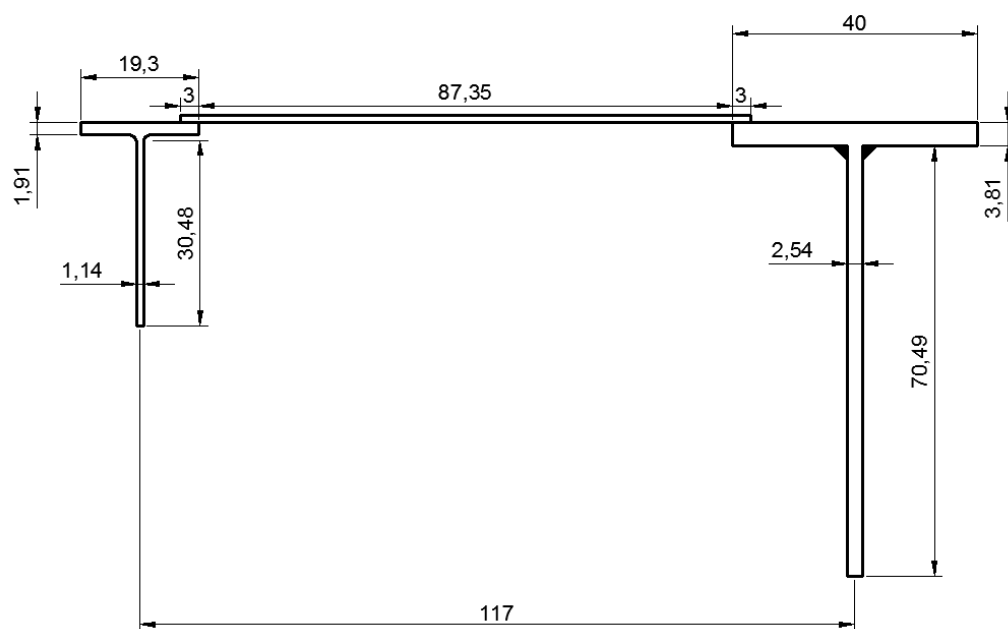


Ilustración 55. Sección equivalente de la trabe carril con la placa de respaldo y la viga secundaria

Tabla 31 Propiedades geométricas.

Elemento	b cm	h cm	A cm ²	x _i cm	Ax _i cm ³	Ax _i ² cm ⁴	I _o cm ⁴
	3.81	40.00	152.4	20.0	3048.0	60960.0	20320.0
	74.30	2.54	188.7	20.0	3774.2	75483.7	101.5
	1.60	87.35	139.8	70.3	9821.6	690215.3	88864.3
	1.91	19.30	36.9	131.0	4829.1	632605.9	1144.3
	33.35	1.14	38.0	131.0	4979.7	652346.2	4.1
Σ =			555.7		26452.6	2111611.2	110434.2

Distancia al centroide.

$$X_{izq} = \frac{\sum AX_i}{\sum A} = \frac{26,452}{555.7} = 47.60 \text{ cm}; \quad X_{der} = 146.65 - 47.60 = 99.05 \text{ cm.}$$

$$I_{yy} = \sum I_o + \sum AX_i^2 - X_c^2 \sum A$$

$$I_{yy} = 110,434 + 2'111,611.2 - 47.60^2 * 555.7 = 962,962.37 \text{ cm}^4$$

Módulo de Sección $S_{x_{inf}}$

$$S_{y_{izq}} = \frac{I_{yy}}{X_{izq}} = \frac{962,962.37}{47.60} = 20,230.30 \text{ cm}^3$$

$$S_{y_{der}} = \frac{I_{yy}}{X_{der}} = \frac{962,962.37}{99.05} = 9,721.98 \text{ cm}^3$$

i) Momento resistente en “x” del patín superior. M_{x-s} (considerando el arrostramiento lateral).

$$M_{rx-s} = 0.9 * 2,530 * 30,224.59 = 688.67 \text{ t - m} \dots\dots\dots \text{Cumple}$$

ii) Momento resistente en “x” del patín inferior. M_{x-s} (considerando el arrostramiento lateral).

$$M_{rx-i} = 0.9 * 2,530 * 19,729.39 = 449.24 \text{ t - m} \dots\dots\dots \text{Cumple}$$

iii) Momento resistente en “y” del patín en riel. M_{y-riel} (considerando el arrostramiento lateral).

$$M_{ry-riel} = 0.9 * 2,530 * 20,230.30 = 460.64 \text{ t - m} \dots\dots\dots \text{Cumple}$$

iv) Momento resistente en “y” del lado de la trabe secundaria. M_{y-sec} (considerando el arrostramiento lateral).

$$M_{ry-sec} = 0.9 * 2,530 * 9721.98 = 221.36 \text{ t - m} \dots\dots\dots \text{Cumple}$$

v) Momento resistente al patín inferior

$$M_{ry} = 0.9 * 2,530 * \frac{3.81 * 40^3}{12} * \frac{1}{20} = 18.22 \text{ t - m} \dots\dots\dots \text{Cumple}$$

Se observa que la viga aumenta considerablemente su sección al considerar la sección compuesta.

5.5.4.3 Revisión de la sección por flexión biaxial, esquina superior-lado riel

$$\frac{M_{uox}}{M_{Rx}} + \frac{M_{uoy}}{M_{Ry}} \leq 1.0$$

a) Esquina superior-lado del riel. Cargas vivas, sin impacto

$$\frac{383.95}{668} + \frac{127.99}{460} = 0.574 + .278 = 0.85 < 1.00$$

b) Patín inferior. Cargas vivas, sin carga lateral

$$\frac{459.32}{449.24} + \frac{0.00}{460} = 1.02 + 0 = 1.02 \geq 1.00$$

c) Patín inferior. Cargas vivas, sin impacto

$$\frac{383.95}{668} + \frac{15.99}{18.22} = 0.57 + 0.87 = 1.44 \geq 1.00$$

5.5.4.4 Revisión de la sección por flexo-torsión

Este estado no se requiere revisar debido a que el patín en compresión está restringido lateralmente

5.5.4.5 Revisión por flexión, esquina superior-lado de la trabe secundaria.

$$\frac{M_{uy}}{M_{Ry}} \leq 1.0$$

$$\frac{127.79}{235.63} = 0.54 \leq 1.0$$

5.5.4.6 Revisión de la resistencia en cortante.

$$\frac{V_u}{V_y} \leq 1.0$$

$$\frac{136.15}{615} = 0.22 \leq 1.0$$

5.5.4.7 Revisión del alma por carga concentrada.

Se revisa el alma por una carga concentrada igual a 1.5 veces la carga máxima por rueda = $1.5 * 50 = 75 \text{ Ton.}$

Debido a que se colocaran atiesadores en el alma en la parte extrema de la trabe carril, solo se revisaran las condiciones alejadas del extremo.

a) Flujo plástico local del alma

La resistencia del alma al flujo plástico local, (índice 10.8.3 NTC-DEA,2017)

$$R_N = (5k + N) * F_y * t_a \quad \text{Dónde:}$$

$$F_R = 1.0$$

F_y esfuerzo de fluencia especificado del acero del alma.

N longitud del apoyo o grueso de la placa que aplica la fuerza lineal.

k distancia de la cara exterior del patín a la región crítica del alma definida arriba.

t_a grueso del alma.

Considerando una soldadura de filete igual a 16 mm., conforme a la tabla 10.2.4 (NTC-DCEA,2017).

$$k = (38 + 16) = 54 \text{ mm.}$$

Considerando una carga puntual actuando en la parte superior del riel, y que la fuerza llegara distribuida al patín en una relación 1:1, N es igual a dos veces la altura del riel,

$$N = 2 * 146 = 292 \text{ mm.}$$

$$R_N = [(5 * 5.4) + 29.2] * 2530 * 1.5 = 213,279 \text{ kg}$$

$$F_R R_N = 213.23 * 0.9 = 191.91 > 75 \text{ Ton.}$$

b) Abollamiento local del alma

La resistencia del alma al abollamiento local, inciso 10.8.5, es igual $F_R R_N$, donde:

$$R_N = 0.80 t_a^2 * \left[1 + 3 \frac{N}{d} * \left(\frac{t_a}{t} \right)^{1.5} \right] * \sqrt{\frac{E * F_y * t}{t_a}} \quad y \quad F_R = 0.75$$

$$R_N = 0.80 * 2.54^2 * \left[1 + 3 \frac{2.92}{99} * \left(\frac{2.54}{3.80} \right)^{1.5} \right] * \sqrt{\frac{2,040,000 * 2,530 * 3.8}{2.54}} = 475,462.42 \text{ kg.}$$

$$F_R R_N = 0.75 * 475.46 = 356.60 > 75 \text{ Ton.}$$

5.5.5 Diseño de los atiesadores

a) Revisión por relación ancho/grueso de la sección.

Para los extremos de la trabe se colocan atiesadores de peralte completo en ambos lados del alma. El ancho de los atiesadores debe dar apoyo a los patines de la trabe hasta sus bordes exteriores, o lo más cerca posible:

$$b_{at} = b - \frac{t_a}{2} = \frac{400}{2} - \frac{25.4}{2} = 187.3 \text{ mm.}$$

Se escoge un ancho de los atiesadores de 21.23 cm.

Conforme al inciso 10.8.8a, los atiesadores en compresión no deben de fallar por pandeo local, por lo que su relación ancho/grueso debe dar una sección tipo 1,2 o 3, por lo tanto:

$$\frac{b}{t} \leq 0.45 * \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots (\text{Tabla 3.2.1})$$

$$t_{at} \geq \frac{b_{at}}{0.45 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}} = \frac{18.73}{0.45 * \sqrt{\frac{2,040,000}{2530}}} = 1.46 \text{ cm.}$$

Conforme al inciso 10.8.8.c, el grueso del atiesador no será menor que la mitad del grueso del patín (38/2)=19 mm., ni menor que el ancho del patín entre 16 (40/16=2.5); por lo que se elige un atiesador de 3 cm. de ancho.

b) Revisión de acción de columna.

Conforme al inciso 6.13.6 (NTC-DCEA,2017), el atiesador se diseña como columnas de sección transversal formada por el par de atiesadores y una faja de alma de ancho no mayor que 12 veces su grueso, figura, por lo que la faja del alma será de 12 x 2.54 = 30.48 cm. Las propiedades geométricas de la sección son:

$$A = [2 * (18.73 * 2.54)] + (2.54 * 30.5) = 172.62 \text{ cm}^2.$$

$$I_x = \left(2 * \left\{ \left[\frac{3.0 * (18.73^3)}{12} \right] + [(3 * 18.73) * \left(\frac{2.54}{2} \right)^2] \right\} \right) + \left[\frac{30.48 * (2.54^3)}{12} \right] = 3,508.2 \text{ cm}^4.$$

La longitud de la sección será igual a tres cuartos de la longitud del atiesador, conforme al inciso 6.13.6 (NTC-DCEA, 2017).

$$L = \frac{3}{4} * 99 = 74.25 \text{ cm.}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{5,187.5}{172.62}} = 4.47 \text{ cm.}$$

Estado límite de inestabilidad por flexión:

$$R_c = F_R * \chi * F_y * A \dots \dots \dots (Ec. 5.2.1)$$

$$\chi = [1 + \lambda_c^{2n}]^{-\frac{1}{n}} = \left[1 + \left(\frac{F_y}{F_e} \right)^n \right]^{-\frac{1}{n}} \dots \dots \dots (Ec. 5.2.2)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{K * L}{r} \right)^2} \dots \dots \dots (Ec. 5.2.4)$$

Del inciso 5.2.1b (NTC-DCEA, 2017), se establece n=1.4.

$$F_e = \frac{\pi^2 * 2,040,000}{\left(\frac{1 * 74.25}{5.29} \right)^2} = 102,199.4 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\chi = \left[1 + \left(\frac{2530}{102,199.4} \right)^{1.4} \right]^{-\frac{1}{1.4}} = 0.996$$

$$R_c = 0.9 * 0.996 * 2530 * 185.32 = 420.29 \text{ Ton.} > 136.15 \text{ Ton} \dots \dots \dots \text{Correcto}$$

c) Revisión por aplastamiento

Se revisa el aplastamiento para un solo atiesador, por lo que la carga actuante es la mitad de la carga factorizada, es decir:

$$\frac{136.15}{2} = 68.08 \text{ Ton.}$$

Con base en el inciso 6.13.6 (NTC-DCEA, 2017), la resistencia al aplastamiento es igual al área de contacto por:

$$1.8 * F_R * F_y \dots \dots \dots \text{con } F_R = 0.75$$

El área de contacto es igual a la base del atiesador por su espesor, menos la ranura de detalle colocada en la esquina de intersección alma con patín (figura):

$$A = [18.73 - 2.54] * 2.54 = 41.12 \text{ cm}^2.$$

$$1.8 * F_R * F_y * A = 1.8 * 0.75 * 2530 * 41.12 = 140.44 \text{ Ton.} > 68.08 \text{ Ton.}$$

5.5.6 Diseño de soldaduras.

Las soldaduras de la trabe carril deben de resistir el flujo cortante,

$$\frac{V_u * A_y}{I}$$

En el sentido vertical, el cortante de diseño por carga gravitacional es igual al cortante máximo con impacto, $V_u = 136.15 \text{ Ton.}$,

En el sentido horizontal, el cortante de diseño es por carga lateral, $V_u = 127.79 \text{ Ton.}$

La posición de las soldaduras se muestra en la siguiente figura:

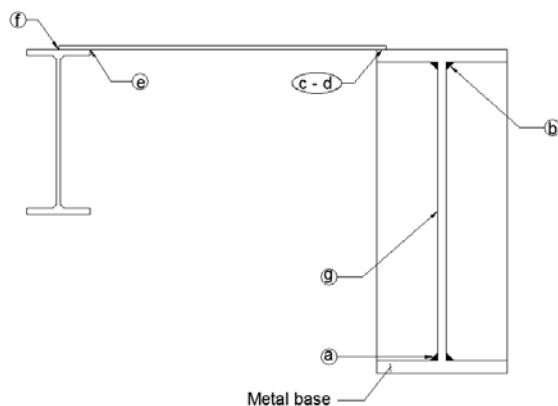


Ilustración 56. Sección equivalente de la trabe carril con la placa de respaldo y la viga secundaria

5.5.6.1 Soldadura que une el patín inferior con el alma (caso a)

Las propiedades de la sección x-x del conjunto generaran el flujo plástico siguiente:

$$A_{a1} = 40 * 3.8 = 152 \text{ cm}^2$$

$$d_{a1} = \frac{3.8}{2} = 1.9 \text{ cm.}$$

$$y_{a1} = y_B - d_{a1} = 60.88 - 1.9 = 58.98 \text{ cm.}$$

$$q_{a1} = \frac{V_u * A_{a1} * y_{a1}}{I_{xx}} = \frac{136,150 * 152 * 58.98}{1'201,125.43} = 1,103.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

Se proponen soldadura de filete a cada lado del alma. Conforme al inciso 10.2.8, la resistencia nominal del metal del electrodo es

$$F_R * F_S * A_s, \text{ con } F_R = 0.75$$

Con base en la tabla 10.2.4 el tamaño mínimo de una soldadura de filete, para un espesor de placa de 25.4 mm., es de 8 mm. Considerando un electrodo de la serie E-70XX, la resistencia nominal será:

$$0.75 * 4,900 * \text{sen}(45) * 0.8 = 2,078.89 \text{ kg/cm}$$

La resistencia de las dos soldaduras de filete que unen el patín inferior con el alma de la trabe es:

$$\frac{q_{a1}}{2 * (F_R * F_S * A_s)} = \frac{1,103.2}{2 * 2,078.89} = 0.27 \dots \dots \text{Cumple}$$

5.5.6.2 Soldadura que une el patín superior con el alma (Caso b)

$$A_{b1} = (40 * 3.8) + (45.44 * 1.6) = (152) + (72.70) = 224.70 \text{ cm}^2$$

$$d_{b1} = \frac{(152 * 1.9) + (72.70 * 0.80)}{224.70} = 1.54 \text{ cm.}$$

$$y_{b1} = y_A - d_{b1} = 39.74 - 1.54 = 38.2 \text{ cm.}$$

$$q_{b1} = \frac{V_u * A_{b1} * y_{b1}}{I_{xx}} = \frac{136,150 * 224.7 * 38.2}{1'201,125.43} = 972.96 \frac{kg}{cm}$$

Las propiedades de la sección y-y del conjunto generan el flujo plástico siguiente:

$$A_{b2} = \left[\left(\frac{40}{2} * 2.54 \right) * 3.8 \right] + (74.29 * 2.54) = (193.04) + (188.70) = 381.74 \text{ cm}^2$$

$$d_{b2} = \frac{\left(193.04 * \left(\frac{40/2 + 2.54}{2} \right) \right) + (72.70 * \left(\frac{40}{2} + \frac{2.54}{2} \right))}{381.74} = 9.71 \text{ cm.}$$

$$X_{b2} = X_{izq} - d_{b2} = 47.60 - 9.71 = 37.89 \text{ cm.}$$

$$q_{b2} = \frac{V_u * A_{b2} * X_{b2}}{I_{yy}} = \frac{29,532 * 381.74 * 37.89}{962,962.37} = 443.58 \frac{kg}{cm}$$

El flujo cortante total es:

$$q_b = q_{b1} + q_{b2} = 972.96 + 443.58 = 1,416.54 \frac{kg}{cm}$$

Se propone de igual manera 8 mm. a cada lado del alma, la resistencia nominal para un electrodo E-70XX será:

$$F_R * F_S * A_s = 0.75 * 4,900 * \text{sen}(45) * 0.8 = 2,078.89 \text{ kg/cm}$$

$$\frac{q_b}{2 * (F_R * F_S * A_s)} = \frac{1,416.54}{2 * 2,078.89} = 0.34 \dots \dots \text{Cumple}$$

5.5.6.3 Soldadura que une el patín superior con la placa de respaldo (Caso c-d)

Las propiedades de la sección x-x del conjunto generan el flujo plástico siguiente:

$$A_{cd1} = (45.44 * 1.6) = 72.70 \text{ cm}^2$$

$$d_{cd1} = \frac{1.6}{2} = 0.80 \text{ cm.}$$

$$y_{cd1} = y_A - d_{cd1} = 39.74 - 0.80 = 38.94 \text{ cm.}$$

$$q_{cd1} = \frac{V_u * A_{cd1} * y_{cd1}}{I_{xx}} = \frac{136,150 * 72.70 * 38.94}{1'201,125.43} = 320.9 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

Las propiedades de la sección y-y del conjunto generan el flujo plástico siguiente:

$$A_{cd2} = [40 * 3.8] + (74.29 * 2.54) = (152) + (188.70) = 340.70 \text{ cm}^2$$

$$d_{cd2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ cm.}$$

$$X_{cd2} = X_{izq} - d_{cd2} = 47.60 - 20 = 27.60 \text{ cm.}$$

$$q_{b2} = \frac{V_u * A_{cd2} * X_{cd2}}{I_{yy}} = \frac{29,532 * 340.70 * 27.60}{962,962.37} = 288.38 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

El flujo cortante total es:

$$q_{cd} = q_{cd1} + q_{cd2} = 320.9 + 288.38 = 609.28 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

Se propone de igual manera 6 mm. a cada lado del alma, la resistencia nominal para un electrodo E-70XX será:

$$F_R * F_S * A_S = 0.75 * 4,900 * \text{sen}(45) * 0.6 = 1,559.17 \text{ kg/cm}$$

$$\frac{q_{cd}}{2 * (F_R * F_S * A_S)} = \frac{609.28}{2 * 1,557.17} = 0.20 \dots \dots \text{Cumple}$$

5.5.6.4 Soldadura que une la placa de respaldo con el patín de la trabe secundaria (Caso e)

Las propiedades de la sección y-y del conjunto generan el flujo plástico siguiente:

$$A_{e2} = [9.65 * 1.6] + (19.3 * 1.91) + (33.34 * 1.2) = (15.44) + (36.86) + (40) = 92.3 \text{ cm}^2$$

$$d_{e2} = 9.65 + \left(\frac{\left((15.44 + \frac{9.65}{2}) + (36.86 * 0) + (40 * 0) \right)}{92.3} \right) = 9.65 + 0.65 = 10.3 \text{ cm.}$$

$$X_{e2} = X_{der} - d_{e2} = 47.60 - 10.3 = 57.9 \text{ cm.}$$

$$q_{e2} = \frac{V_u * A_{e2} * X_{e2}}{I_{yy}} = \frac{29,532 * 92.3 * 57.9}{962,962.37} = 163.89 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

Se propone de igual manera 6 mm., a cada lado del alma, la resistencia nominal para un electrodo E-70XX será:

$$F_R * F_s * A_s = 0.75 * 4,900 * \text{sen}(45) * 0.6 = 1,559.17 \text{ kg/cm}$$

$$\frac{q_{e2}}{(F_R * F_s * A_s)} = \frac{163.89}{1,559.17} = 0.105 \dots \dots \text{Cumple}$$

5.5.6.5 Segunda soldadura que une la placa de respaldo con el patín de la trabe secundaria (Caso f)

Las propiedades de la sección y-y del conjunto generan el flujo plástico siguiente:

$$A_{f2} = (9.65 * 1.91) + (33.34 * 1.14) = (18.43) + (38) = 56.43 \text{ cm}^2$$

$$d_{f2} = 9.65$$

$$X_{f2} = X_{der} - d_{f2} = 93.05 - 9.65 = 83.4 \text{ cm.}$$

$$q_{f2} = \frac{V_u * A_{f2} * X_{f2}}{I_{yy}} = \frac{29,532 * 56.43 * 83.4}{962,962.37} = 144.33 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

Se propone de igual manera 6 mm. a cada lado del alma, la resistencia nominal para un electrodo E-70XX será:

$$F_R * F_S * A_S = 0.75 * 4,900 * \text{sen}(45) * 0.6 = 1,559.17 \text{ kg/cm}$$

$$\frac{q_{f2}}{(F_R * F_S * A_S)} = \frac{144.33}{1,559.17} = 0.092 \dots \dots \text{Cumple}$$

5.5.6.6 Soldadura que une el atiesador al alma de la trabe carril.

La soldadura del atiesador debe de resistir un cortante $V_u=136.15\text{Ton.}$, distribuidos en una longitud igual al peralte de a trabe, 91.4 Ton., menos las ranura de detalle de 17 cm ($2.25e^2$). Se proponen dos soldaduras de filete, a cada lado del atiesador, con un tamaño mínimo de 8 mm. La resistencia nominal para un electrodo E70XX es:

$$F_R * F_S * A_S = 0.75 * 4,900 * \text{sen}(45) * 0.8 * 74.4 = 145,669.7 \text{ kg.}$$

La resistencia de las soldaduras de filete es:

$$\frac{V_u}{2 * (F_R * F_S * A_S)} = \frac{136.15}{290} = 0.47 \dots \dots \text{Cumple}$$

5.5.7 Revisión de la trabe carril por fatiga

El criterio de fatiga para carga vertical es 1,000,000 ciclos de la grúa con la máxima carga de las ruedas, mientras que el criterio para carga lateral es de 500,000 ciclos de carga al 50% del empuje lateral. Para el diseño se debe determinar el nivel de carga lateral que ante 1,000,000 ciclos ocasionara el mismo daño.

La vida útil por fatiga es inversamente proporcional al valor del estrés para valores por arriba de la amplitud limite. El rango de estrés es proporcional a la carga.

$$\frac{\text{vida util 1}}{\text{vida util 2}} = \left(\frac{\text{rango de carga 2}}{\text{rango de carga 1}} \right)^3 = \text{Relacion de carga}^3 \dots \dots \text{Cumple}$$

$$\text{Relacion de carga} = \sqrt[3]{\frac{500,000}{1,000,000}} = \sqrt[3]{0.5} = 0.794$$

Para la revisión de la resistencia se usara $0.795 * 50\% = 39.7\%$ de la carga lateral especificada.

5.5.7.1 Calculo de las cargas para fatiga y los rangos de estrés.

a) Para el sentido vertical:

$$M_{xcv} = 200.19 \text{ t} - \text{m. (solo por carga viva)}$$

$$V_{xcv} = 47.01 \text{ ton. (solo por carga viva)}$$

b) Para el sentido vertical:

$$M_{y\text{superior}} = \pm 0.397 * H_{ps} = \pm 0.397 * 28.77 = 11.42 \text{ t} - \text{m}.$$

$$M_{y\text{inferior}} = \pm 0.397 * H_{pi} = \pm 0.397 * 3.76 = 1.49 \text{ t} - \text{m}.$$

$$V_y = \pm 0.397 * \frac{Comb3}{1.5} = \pm 0.397 * \frac{29.53}{1.5} = 7.82 \text{ ton}.$$

c) Para soldadura del atiesador:

$$V_y = V_{max} = 94.22 \text{ ton}.$$

5.5.7.2 Calculo del rango de esfuerzo en el metal base

(+) Significa tensión.

a) Metal base del patín inferior.

$$f_{sr} = \frac{M_x}{S_{x_{inf}}} = \frac{200.19 * 10^5}{19,729.39} = 1,014.68 \text{ kg/cm}^2.$$

Para la obtención de los esfuerzos en los distintos puntos de las soldaduras deberá considerarse la fórmula de esfuerzo a flexión con los valores de la distancia de acuerdo a la siguiente imagen:

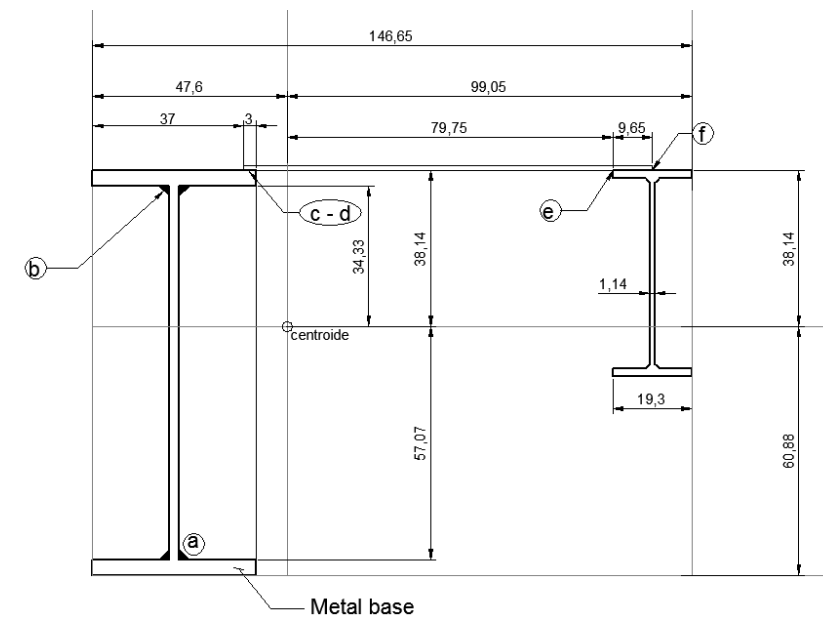


Ilustración 57. Puntos de esfuerzos en la trabe carril en sección compuesta

b) Cálculo de esfuerzos en "a".

$$f_{sra} = \frac{Mx * dy(a)}{I_{xx}} = \frac{200.19 * 10^5 * 57.07}{1'205,125.43} = 948 \text{ kg/cm}^2.$$

c) Cálculo de esfuerzos en "b".

$$f_{srb} = -\frac{Mx * dy(b)}{I_{xx}} \pm \frac{My * dx(b)}{I_{yy}} = -\left(\frac{200.19 * 10^5 * 34.33}{1'205,125.43}\right) \pm \left(\frac{11.42 * 10^5 * 27.6}{962,962.37}\right)$$

$$f_{srb} = -570.27 \pm 40.71 \text{ kg/cm}^2.$$

d) Cálculo de esfuerzos en "c" y "d".

$$f_{srcd} = -\frac{Mx * dy(c)}{I_{xx}} \pm \frac{My * dx(d)}{I_{yy}} = -\left(\frac{200.19 * 10^5 * 38.14}{1'205,125.43}\right) \pm \left(\frac{11.42 * 10^5 * 7.6}{962,962.37}\right)$$

$$f_{srcd} = -633.56 \pm 9.01 \text{ kg/cm}^2.$$

e) Cálculo de esfuerzos en "e".

$$f_{sre} = \pm \frac{My * d(e)}{I_{yy}} = \pm \frac{11.42 * 10^5 * 79.75}{962,962.37}$$

$$f_{sre} = \pm 94.58 \text{ kg/cm}^2.$$

f) Calculo de esfuerzos en "f".

$$f_{srf} = \pm \frac{My * d(f)}{I_{yy}} = \pm \frac{11.42 * 10^5 * 89.4}{962,962.37}$$

$$f_{srf} = \pm 106.02 \text{ kg/cm}^2.$$

5.5.7.3 Calculo del flujo cortante en el metal de la soldadura

a) Calculo de cortante actuante en "a".

$$V_{ra} = \frac{V_{x_{cv}} * A_{a1} * y_{a1}}{I_{xx}} = \frac{47,010 * 152 * 57.07}{1'205,125.43} = 338.38 \text{ kg/cm}$$

b) Calculo de cortante actuante en "b".

$$V_{rb} = \frac{V_{x_{cv}} * A_{b1} * X_{b1}}{I_{xx}} \pm \frac{V_y * A_{b2} * X_{b2}}{I_{yy}}$$

$$V_{rb} = \frac{47,010 * 224.7 * 34.33}{1'205,125.43} \pm \frac{7,820 * 381.74 * 27.6}{962,962.37} = 300.91 \pm 85.56 \text{ kg/cm}$$

c) Calculo de cortante actuante en "c" y "d".

$$V_{rcd} = \frac{V_{x_{cv}} * A_{cd1} * y_{cd1}}{I_{xx}} \pm \frac{V_y * A_{cd2} * y_{cd2}}{I_{yy}}$$

$$V_{rcd} = \frac{47,010 * 72.70 * 38.94}{1'205,125.43} \pm \frac{7,820 * 340.70 * 7.6}{962,962.37} = 110.43 \pm 21.02 \text{ kg/cm}$$

d) Calculo de cortante actuante en “e”.

$$V_{re} = \pm \frac{Vy * A_{e1} * y_{e1}}{I_{yy}} = \pm \frac{7,820 * 92.3 * 79.75}{962,962.37} = \pm 59.78 \text{ kg/cm}$$

e) Calculo de cortante actuante en “f”.

$$V_{rf} = \pm \frac{Vy * A_{f1} * y_{f1}}{I_{yy}} = \pm \frac{7,820 * 56.43 * 89.4}{962,962.37} = \pm 40.97 \text{ kg/cm}^2$$

5.5.7.4 Revisión del Metal Base y soldaduras.

Para la revisión de las placas de acero que conforman la viga se toma como referencia los factores expuestos en el Apéndice D tabla donde se tomaran los valores para cumplir la siguiente relación:

$$F_{sr} = \left(\frac{C_f}{n_{SR}} \right)^{\frac{1}{m}} * 70.3 \geq F_{TH}$$

Donde m, será 3 por todos las categorías a excepción de la F donde se utilizara 6

a) Metal base del patín inferior.

Caso 1.1. El primer caso es el corresponde a un metal base, excepto acero intemperizable sin protección, lamina o con superficie limpia. Bordes cortados con soplete, con una rugosidad de 25+ o menor, y sin esquinas entrantes.

Tabla 32 Metal base del patín inferior.

Ubicación	Rango de esfuerzos f_{sr}	Categoría de esfuerzos	Constante Cf	Umbral F_{TH}	Amplitud de esfuerzo permisible F_{SR}	Comentario
	[kg/cm ²]			[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	
Metal base del patin inferior	935.3	A	2.50E+10	1680	2055.6	Cumple

b) Revisión de la unión “a”.

Caso 3.1. Metal base y metal de soldadura en miembros unidos a ellos, formado por placas o perfiles conectados con soldaduras de filete continuas.

Tabla 33 Metal base y metal de soldadura.

Ubicación	Rango de esfuerzos f_{sr}	Categoría de esfuerzos	Constante Cf	Umbral F_{TH}	Amplitud de esfuerzo permisible F_{SR}	Comentario
	[kg/cm ²]			[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	
Union patin inferior con el alma	948	B	1.20E+10	1120	1609.5	Cumple

c) Revisión en la unión “b”.

Debido a que no se presentan tensiones en la zona no se revisa por fatiga.

d) Revisión en la unión “c-d”.

Debido a que no se presentan tensiones en la zona no se revisa por fatiga.

e) Revisión en la unión “e”.

Caso 3.4. Metal base en extremos de segmentos longitudinales de soldadura de filete intermitentes.

Tabla 34 Metal base en extremos de segmentos longitudinales de soldadura de filete intermitentes.

Ubicación	Rango de esfuerzos f_{sr}	Categoría de esfuerzos	Constante Cf	Umbral F_{TH}	Amplitud de esfuerzo permisible F_{SR}	Comentario
	[kg/cm ²]			[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	
Union de la placa de respaldo con el patin de la trabe secundaria	94.58	E	1.10E+09	315	725.7	Cumple

f) Revisión de la placa "f".

Caso 3.4. Metal base en extremos de segmentos longitudinales de soldadura de filete intermitentes.

Tabla 35 Metal base en extremos de segmentos longitudinales de soldadura de filete intermitentes.

Ubicación	Rango de esfuerzos f_{sr}	Categoría de esfuerzos	Constante Cf	Umbral F_{TH}	Amplitud de esfuerzo permisible F_{SR}	Comentario
	[kg/cm ²]			[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	
Segunda union de la placa de respaldo con el patin de la trabe secundaria	106.02	E	1.10E+09	315	725.7	Cumple

5.5.7.5 Revisión de las soldaduras por fatiga por cortante

Caso 8.2. Esta revisión es específica por cortante en la garganta de soldaduras de filete continuas o intermitentes, longitudinales o transversales.

Se toma en referencia la sección 8 de la tabla D.2.7

Ubicación	Tamaño de la soldadura	Area de la garganta	Rango de esfuerzos f_{sr}	Categoría de esfuerzos	Constante Cf	Umbral F_{TH}	Amplitud de esfuerzo permisible F_{SR}	Comentario
	[cm]	[cm ² /cm]	[kg/cm ²]			[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	
"a"	0.8	0.566	299.09	F	1.50E+12	560	752.1	Cumple
"b"	0.8	0.566	341.59	F	1.50E+12	560	752.1	Cumple
"c-d"	0.6	0.424	154.92	F	1.50E+12	560	752.1	Cumple
"e"	0.6	0.424	140.90	F	1.50E+12	560	752.1	Cumple
"f"	0.6	0.424	96.57	F	1.50E+12	560	752.1	Cumple

5.5.6 Revisión de los estados límite de servicio

Corrección de la deflexión vertical.

Es posible determinar la inercia a razón del cociente de la inercia de la trabe carril y la trabe carril con sección compuesta.

$$\delta_v = \frac{I_{XX-trabe}}{I_{XX-compuesta}} * \delta_{v-trabe} = \frac{771,315}{1',201,125.43} * 1.5 = 0.963 \text{ cm.}$$

Cálculo y revisión de la deflexión horizontal.

La deflexión horizontal es proporcional a la deflexión vertical por un factor de 1.15, conforme a la excentricidad debido a carga lateral, y de 0.15, conforme a la proporción de la carga lateral respecto a la carga máxima por rueda:

$$\delta_h = 1.15 * 0.15 * \frac{I_{XX-compuesta}}{I_{yy-compuesta}} * \delta_v = 1.15 * 0.15 * \frac{1',201,125.43}{962,962.37} * 1.15 = 0.247$$

Conforme a la tabla 7.2 de las NTC-DCEM-04, la deflexión es igual a la longitud del claro entre 400

$$\delta_{perm} = \frac{L}{400} = \frac{1200}{400} = 3.00 \text{ cm}$$

CAPITULO 6.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En un diseño estructural para una estructura que considere cargas repetidas producto de grúas participan estados de carga que complican este tipo de diseño por lo que ir identificando desde un inicio los efectos a los que este tipo de estructura estará sometida.

En este diseño se vio que el viento no jugó un papel importante como estructuras ligeras como bodegas o naves sin grúas de gran capacidad, sin embargo es importante tener en cuenta que configuraciones estructurales y sus elementos son los ideales para este tipo de escenarios.

Para el claro elegido y estructura bipunte ayudo a minimizar los efectos de cargas que se transmiten hacia la trabe carril al tener una mayor longitud del carro de apoyo de las grúas con 4 ruedas en cada extremo.

Para efectos de sismo se vi que utilizando el manual de obras civiles y al ser una estructura muy pesada en la trabe carril, el tipo de columna elegida minimizo el efecto que esta sometió a la estructura y no se vio afectada la cubierta por lo que es viable optimizar la estructura por encima de la trabe carril.

Conjuntamente el periodo del suelo y la estructura en la relación para la consideración de los efectos de interacción dinámica para este caso era beneficioso ya que se reducían la aceleración espectral al estar la estructura en una rama descendente del espectro de diseño, además el amortiguamiento recomendado para el tipo de estructuras con armaduras en cubierta fue respetado.

Para el diseño de los elementos estructurales se utilizaron los manuales de diseño mas completos en su área, para los elementos principales de acero al carbón la NTC-DCEA-17, para la trabe carril el Manual para estructuras de soporte del CISC, para la revisión por fatiga criterios contenidos en el Eurocodigo fueron muy útiles para la aplicación de los distintos casos, y para los elementos de rolados en frio el manual AISI proporciona la información para la correcta revisión de las propiedades efectivas de la secciones y sus tolerancias.

Revisando la historia de desempeño de las estructuras para grúas viajeras, es interesante notar porque algunas pueden o no tener un buen desempeño y varias cosas salen a relucir.

Para algunos aspectos de diseño permiten en estructuras de grúas ligeras (capacidad menor a 5 Ton) con claros menores a los 12 metros, casi se pueden desprestigiar los efectos, a partir de ese valor grúas pesadas generan sobre la estructura una participación relevante de sus sistema.

Se presenta para este caso el sistema más económico en cantidad de acero requerido sin embargo el tiempo de fabricación y de mano especializada pudiera ser mayor que un escenario con estructura de pórtico completo sin embargo es importante recordar que debido a la gran gama de tamaños y usos de las grúas, es prácticamente imposible establecer un solo conjunto de reglas aplicables a todos los criterios.

Inicialmente el diseñador deberá en cualquier caso tener en cuenta las siguientes consideraciones básicas para desarrollar un diseño seguro:

1. Carga máxima de la rueda y espacio entre ruedas.
2. Los efectos de múltiples grúas en el mismo pasillo o en pasillos adyacentes.
3. Impacto.
4. Fuerzas de tracción y frenado.
5. Las fuerzas de impacto en la grúa se detienen.
6. Carga cíclica y los efectos de la fatiga.
7. Cargas horizontales laterales

Muchas variaciones de cargas de grúas simples y múltiples son posibles y más si se trata de una zona sísmica, con incidencia a vientos fuertes o granizo, etc. Es mejor dejarlo al criterio del diseñador y experiencia para determinar lo que es más adecuado para el un conjunto particular de parámetros a partir de los cuales se acoplen su diseño

Durante el diseño preliminar de las estructuras es probable que no se cuenten con toda la información de carga a las que estará sometida la estructura o especificaciones de las grúas por lo que es posible estimar las cargas y dimensiones de las grúas por medio de diversos manuales (ver bibliografía).

Hay consideración de equipamiento que son importantes tener en cuenta para determinar el dimensionamiento de la estructura y su trabe carril. Tener en consideración como se ancla el riel a la trabe carril, en muchas ocasiones esta por necesidad la grúa podría viajar por debajo del patín en tensión por cuestiones de librar alguna instalación o estructura.

Tener la sensibilidad para interpretar que tipo de conexiones serán las que ayuden a minimizar los efectos de la grúa.

Las tolerancias de fabricación y construcción, así como el montaje y alineación vertical y horizontal son de vital importancia para la correcta operación de la grúa y estas deben tenerse también presentes e independiente a los estados límite de servicio para los que la estructura estará impedida.

Se deben proporcionar ajustes y levantamientos para abatir tales efectos como imprecisiones en la construcción de los elementos de la cimentación, asentamientos, desviaciones en la plomada de la columna, esviajes en traveses carril y tolerancias de fabricación en la propia grúa. Los fabricantes de grúas deberán suministrar datos y tolerancias para sus equipos.

Anteriormente se ha mencionado que las características de la grúa gobiernan otros aspectos del diseño de la estructura como pueden ser

1. Capacidad de gancho (cantidad de carga levantada incluyendo dispositivos de elevación).
2. Peso de la grúa
3. Peso del polipasto y del carro.
4. Altura de la grúa y del gancho de la grúa.
5. Clase de servicio.
6. Velocidad de viaje, velocidades de aceleración y frenado.
7. El claro de la grúa. (Distancia de centro a centro de los rieles).
8. Número de ruedas y su espacio.
9. Carga máxima de la rueda.
10. Tipo y ubicación de los rieles del colector (u otra fuente de poder fuente).
11. Tamaño del carril de la pista.

12. Longitud de la carrera de compresión del parachoques dispositivo.
13. Altura del paragolpes sobre la parte superior del carril de la grúa.

La capacidad del gancho, el peso de la grúa, el peso del carro y del polipasto, y el rango de gancho lateral determinan las cargas verticales de las ruedas que se envían de la grúa viajera a los rieles de la trabe.

Estas cargas de ruedas se incluyen en la información que el fabricante de la grúa suministra con su producto. Sin embargo, a veces se requiere esta información antes de que se seleccione un fabricante de grúa por lo que existen tablas donde se pueden determinar el tamaño del riel a través de la carga de la rueda, tipo y clasificación de la grúa.

Como conclusión no queda más que decir que los pros y los contras de los diversos componentes y detalles de la construcción, así como los diversos enfoques de diseño, pueden discutirse indefinidamente. La conclusión es que la grúa viajera pueda funcionar satisfactoriamente durante el período de servicio deseado con el menor costo para el propietario.

La "vida" de un edificio industrial se calcula comúnmente que es de aproximadamente 50 años. Una grúa viajera que "vive" la mitad de ese tiempo sin una gran coste de mantenimiento debería ser beneficioso para el dueño.

Lo que puede funcionar bien para un conjunto de condiciones puede no funcionar en absoluto para un conjunto diferente. La amplia gama de capacidades de las grúas y las clases de servicio hacen que un conjunto de reglas sea virtualmente imposible de aplicar a todas las grúas. Aquí es donde la experiencia, el juicio y la discreción del ingeniero de diseño es importante.

Por último las siguientes recomendaciones ayudarán a asegurar mejores estructuras para grúas viajeras:

1. Limite la desviación de las traveses carril de la grúa.
2. Evite el uso de traveses carril en voladizo o vigas carril de dos tramos si es posible.
3. No use riostras de la columna para el apuntalamiento de la trabe carril.
4. Conecte el patín superior de las traveses carril a la columna para resistir cargas laterales. No conectes a las almas.
5. Recuerde usar esfuerzos permisibles reducidos cuando la carga cíclica ocasione fatiga estructural.
6. Las conexiones de campo deben realizarse con pernos de alta resistencia debidamente tensados, excepto cuando se requieran conexiones deslizantes. Los pernos de alta resistencia son preferibles para las conexiones deslizantes debido a su dureza y mayor resistencia a la abrasión.
7. Anticipar las peores condiciones de operación posibles porque es seguro que sucederán en algún momento.
8. Tenga en cuenta que para lidiar con las grúas viajeras, un diseño conservador puede no ser siempre una mala elección.

CAPITULO 7.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- *Instituto Mexicano de la construcción en acero. (2015). Manual de construcción en acero. México: Limusa.*
- 2.- *Instituto Mexicano de la construcción en acero. (4ta Edición). Manual de construcción en acero. México: Limusa.*
- 3.- *American Institute of Steel Construction, Inc.. (1999, Second Edition). Manual of Steel Construction. Estados Unidos: AISC.*
- 4.- *American Institute of Steel Construction, Inc.,. (2004, Second Edition). Design Guide 7, Industrial Buildings, Roofs to anchor rods. Estados Unidos: AISC.*
- 5.- *Canadian Institute of Steel Structures. (2009, Second Edition). Guide for the Design of Crane-Supporting Steel Structures. Canada: CISC-ICCA.*
- 6.- *Crane Manufacturers Association of America, Inc . (2008). Specifications Top Running & Gantry Type Multiple Girder Electric Overhead Traveling Cranes for #70. Estados Unidos: MHI.*
- 7.- *Crane Manufacturers Association of America, Inc . (2010). Specifications for Top Running & Under Running Single Girder Electric Traveling Cranes Utilizing Under Running Trolley Hoist #74. Estados Unidos: MHI.*
- 8.- *Crane Manufacturers Association of America, Inc . (2002). Specifications for Guidelines for Professional Services Performed on Overhead and Traveling Cranes and Associated Hoisting Equipment #78. Estados Unidos: MHI.*
- 7.- *The European Union Per Regulation . (2006). EN 1993-3, Eurocode 1, Actions on structures-Part : Actions induced by cranes and machinery. Europa: European Committee for Standardization CEN.*

- 8.- *The European Union Per Regulation . (2005). EN 1993-1-9, Eurocode 3, Design of Steel Structures, Part 1-9, Fatigue . Europa: European Committee for Standardization CEN.*
- 9.- *The European Union Per Regulation . (2007). EN 1993-6, Eurocode 3, Design of Steel Structures, Part 6, Crane Supporting Structures. Europa: European Committee for Standardization CEN.*
- 10.- *Órgano de Difusión del Gobierno de la Ciudad de México. (2017). Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero. Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.*
- 11.- *Órgano de Difusión del Gobierno de la Ciudad de México. (2017). Norma Técnica Complementaria sobre Criterios y Acciones para el Diseño de Edificaciones. Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.*
- 12.- *Órgano de Difusión del Gobierno de la Ciudad de México. (2017). Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Cimentaciones. Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.*
- 13.- *Órgano de Difusión del Gobierno de la Ciudad de México. (2017). Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.*
- 14.- *Comisión Federal de Electricidad. (2015). Manual de Diseño de Obras Civiles, Capítulo C.1.3: Diseño por Sismo. México: Instituto de Investigaciones Eléctricas*
- 15.- *Comisión Federal de Electricidad. (2008). Manual de Diseño de Obras Civiles, Capítulo C.1.4: Diseño por Viento. México: Instituto de Investigaciones Eléctricas.*
- 16.- *Comisión Federal de Electricidad. (2015). Manual de Diseño de Obras Civiles, Capítulo C.2.9: Estructuras Industriales. México: Instituto de Investigaciones Eléctricas.*

- 17.- Comisión Federal de Electricidad. (2015). Manual de Diseño de Obras Civiles, Capítulo C.2.1: Diseño de Cimentaciones. México: Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- 18.- Comité de Acero SMIE-IMCA. (2017). Estructuras de Acero, Ejemplos de Diseño de Acuerdo a NTC-DCEA. México: SMIE-IMCA.
- 19.- Charles G. Salmon. (2008). Steel Structures: Design and Behavior (5th Edition). Estados Unidos: Pearson.
- 20.- Alain Nussbaumer, Luís Borges & Laurence Davaine. (2011). Fatigue Design of Steel and Composite Structures. Estados Unidos: ECCS.
- 21.- *American Institute of Steel Construction, Inc., (1972, Second Edition). Structural Steel Detailing. Estados Unidos: AISC.*
- 22.- *Delfino Rodríguez Peña. (2012). Diseño Práctico de Estructuras de Acero. México: Trillas*
- 23.- H. G. Greiner . (1979). Crane handbook: Design data and engineering information used in the manufacture and application of overhead and gantry cranes. Estados Unidos: Whiting Corporation
- 24.- Guillermo Villarreal Garza. (2013), Diseño básico de estructuras de acero. México: Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).
- 25.- Héctor Soto Rodríguez. (2014). Manual Ilustrado de Estructuras de Acero. México: Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil.

CAPITULO 8.

ANEXOS

8.1 LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama de Flujo para el análisis y diseño de estructuras de soporte.....	16
Ilustración 2. Estructura principal a base de columnas en celosía y armadura rígida a un agua para la cubierta....	17
Ilustración 3. Estructura principal a base de columnas en celosía y armadura rígida a dos aguas para la cubierta.	18
Ilustración 4. Estructura principal a base de columnas en de concreto o acero con apoyo de ménsula para trabe carril y armadura rígida a dos aguas para la cubierta.....	18
Ilustración 5. Estructura principal a base de columnas en de concreto o acero con apoyo de ménsula para trabe carril y trabe de acero de sección variable a dos aguas para la cubierta	19
Ilustración 6. Estructura principal a base de columnas en de columnas de acero en celosía para trabe carril y trabe de acero de sección variable a dos aguas para la cubierta.	19
Ilustración 7. Estructura principal a base de columnas en de acero de sección variable con adosó de columna para apoyo de trabe carril y trabe de acero de sección variable a dos aguas para la cubierta	20
Ilustración 8. Estructura principal en dos crujiás a base de columnas de acero en celosía para trabe carril y trabe de acero de sección variable a dos aguas para la cubierta.	20
Ilustración 9. Estructura principal en dos crujiás a base de columnas en de acero de sección variable con adosó de columna para apoyo de trabe carril y trabe de acero de sección variable a dos aguas para la cubierta.	21
Ilustración 10. Estructura principal en dos crujiás a base de columnas de concreto o acero con apoyo de ménsula para trabe carril y armadura rígida de acero a dos aguas para la cubierta.....	21
Ilustración 11. Estructura longitudinal rigidizada con contravénteos rígidos en “V” invertida en dos niveles en marcos discontinuos.....	22
Ilustración 12. Estructura longitudinal rigidizada con contravénteos rígidos en “V” invertida en un nivel en marcos continuos.	22
Ilustración 13. Estructura longitudinal rigidizada con contravénteos rígidos en “V” invertida en un nivel en marcos continuos.	22
Ilustración 14. Estructura longitudinal rigidizada con contravénteos rígidos en “V” invertida en un nivel en marcos continuos con trabe intermedia.....	23

Ilustración 15. Estructura longitudinal rigidizada con contravénteos rígidos en cruz en marcos discontinuos.	23
Ilustración 16. Estructura longitudinal rigidizada con armadura rígida en marcos continuos.....	23
Ilustración 17. Estructura longitudinal rigidizada con trabe rígida en marcos continuos.	23
Ilustración 18. Trabe carril rigidizada lateralmente hacia trabe secundaria unida con celosía a base de ángulo.....	24
Ilustración 19. Trabe carril rigidizada lateralmente hacia trabe secundaria unida con placa.....	24
Ilustración 20. Mapa de número de días con granizo (Vidal, y otros, 2007)	33
Ilustración 21. Espectro de carga.	37
Ilustración 22. Diagrama de flujo para revisión por fatiga propuesto por la NTC-DCEA-17.4.3.2 Consideraciones para el Diseño por Fatiga	42
Ilustración 23. Intervalos de esfuerzos en curvas de variación de carga.....	43
Ilustración 24. Curvas de la resistencia a fatiga para las diferentes categorías (Curva S-N).....	45
Ilustración 25. Dimensiones del marco rígido transversal.....	49
Ilustración 26. Dimensiones en planta de la estructura de soporte.	50
Ilustración 27. Características de la grúa tipo bipunte seleccionada.	51
Ilustración 28. Gráfico de reacción de la grúa bipunte sobre la trabe carril considerando la reacción sobre 4 ruedas.....	52
Ilustración 29. Espectro de respuesta en roca para la ciudad de Puebla, según el PRODISIS.....	58
Ilustración 30. Espectro de diseño transparente regional para las propiedades dinámicas del sitio.	59
Ilustración 31. Espectro para diseño para la prevención contra colapso.....	60
Ilustración 32 Coeficientes de presión en muros.....	65
Ilustración 33 Planta y corte de distribución de presión en muros.	65
Ilustración 34 Planta y corte de distribución de presión en muros.	66
Ilustración 35 Modelo tridimensional de la estructura en estudio para análisis y diseño.....	68
Ilustración 36 Vista de cubierta donde se observa el modelado de los largueros.....	68
Ilustración 37. Vista isométrico lateral donde se observa el modelado de los contravénteos.	69

Ilustración 38. Vista 3D transversal de la nave con modelación de largueros de fachada.....	69
Ilustración 39. Aplicación de las cargas en los distintos puntos de la estructura.....	70
Ilustración 40. Criterio de aplicación de las cargas de operación de la grúa.....	70
Ilustración 41 Vista en marco con la numeración de los miembros.....	72
Ilustración 42. Relación de esfuerzos según el AISC-10.....	72
Ilustración 43. Combinaciones en el marco transversal.....	73
Ilustración 44. Combinaciones en marco longitudinalinal.....	73
Ilustración 45 Perfil CF de 305 mm.....	80
Ilustración 46 Esfuerzos de la sección.....	81
Ilustración 47. Vista en isométrico de la estructura desplazada en sentido X.....	88
Ilustración 48. Vista en isométrico de la estructura desplazada en sentido Y.....	89
Ilustración 49. Diagrama de cuerpo libre, momento y cortante.....	92
Ilustración 50. Sección transversal trabe carril.....	93
Ilustración 51. Flecha vertical en la trabe carril.....	94
Ilustración 52. Diagrama de cuerpo libre por empuje lateral.....	98
Ilustración 53. Arrostramiento de la trabe carril con la trabe secundaria.....	102
Ilustración 54. Sección equivalente de la trabe carril con la placa de respaldo en X-X.....	103
Ilustración 55. Sección equivalente de la trabe carril con la placa de respaldo y la viga secundaria.....	105
Ilustración 56. Sección equivalente de la trabe carril con la placa de respaldo y la viga secundaria.....	112
Ilustración 57. Puntos de esfuerzos en la trabe carril en sección compuesta.....	120

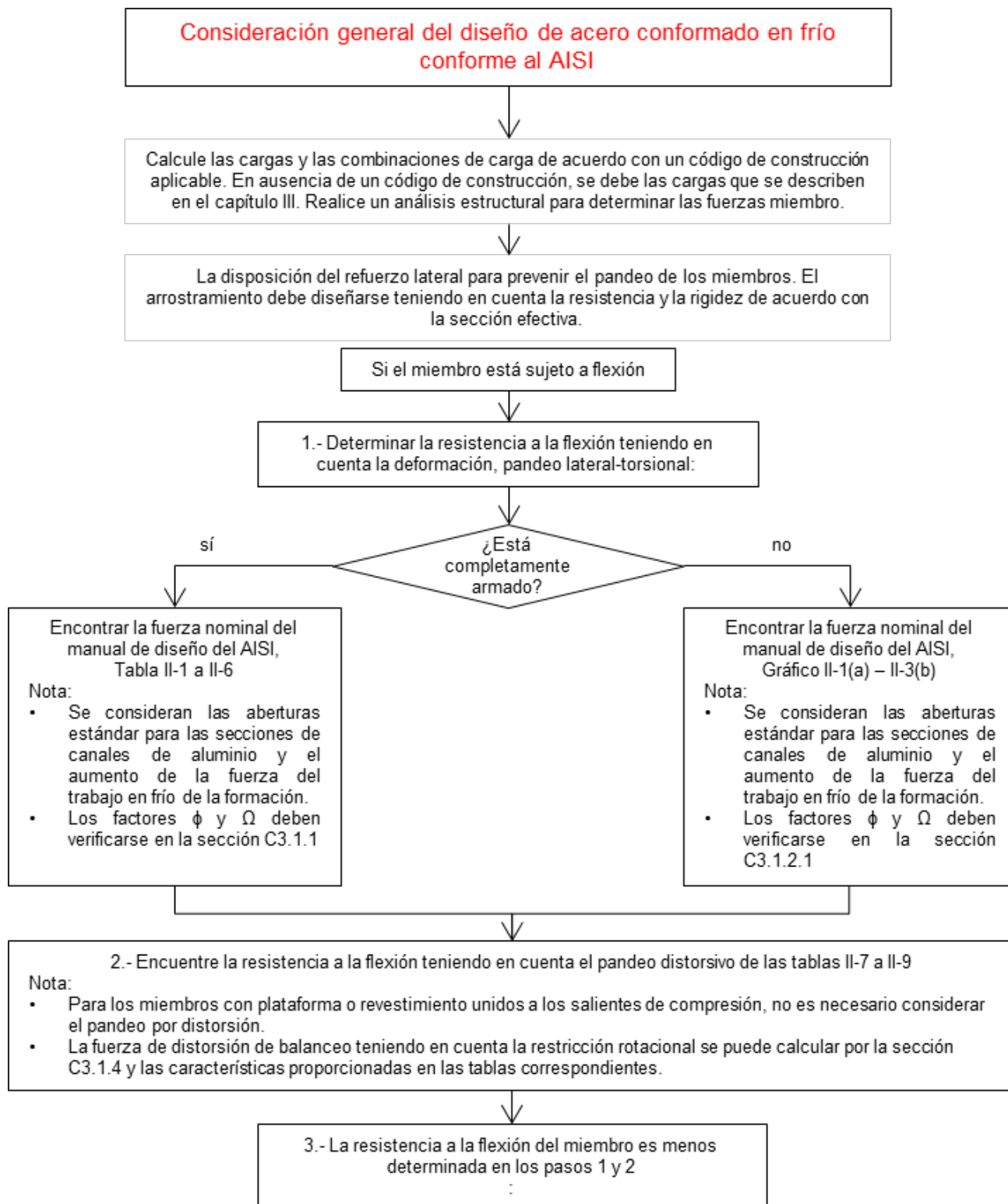
8.2 LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Porcentaje que debe ser considerado en los casos de carga para grúas viajeras. Tomada del Manual de obras civiles, Capítulo 10, diseño de naves industriales, CFE.	30
Tabla 2 Combinaciones para estados de carga en naves industriales pesadas.	31
Tabla 3 Combinaciones para estados de carga por efecto de la grúas viajeras.	32
Tabla 4 Número de ciclo recomendados para diseño de la estructura de soporte de grúas viajera (MacCrimmon).	36
Tabla 5 Constantes y amplitudes de esfuerzo por categoría.	44
Tabla 6 Tabla de valores de reacción de la grúa bipunte sobre la trabe carril considerando la reacción sobre 4 ruedas.	53
Tabla 7 Cálculo del periodo del suelo de acuerdo a sus parámetros sísmicos.	54
Tabla 8 Análisis de cargas muertas.	56
Tabla 9 Cargas vivas para diferentes usos (kg/m ²).	57
Tabla 10 Valores para obtener el espectro de sitio transparente.	59
Tabla 11 Tabla de valores considerados para la construcción del espectro de diseño.	60
Tabla 12 Espectro de diseño para colapso.	61
Tabla 13 Parámetros para obtener la presión dinámica base.	64
Tabla 14 Presión actuante en viento a 0°	66
Tabla 15 Presión actuante en viento a 90°	67
Tabla 16 Tabla de estados de carga aplicados	71
Tabla 17 Tabla de combinaciones considerados en el análisis.	71
Tabla 18 Propiedades mecánicas para la combinación C-1	74
Tabla 19 Propiedades geométricas del ángulo individual	74
Tabla 20 Propiedades mecánicas para la combinación C-1 superior e inferior.	78
Tabla 21 Condiciones de frontera del larguero	79
Tabla 22 Propiedades geométricas del perfil CF de 305 mm	79
Tabla 23 Calculo de la inercia efectiva	83
Tabla 24 Tabla de valores permisibles para la estructura según el EUROCODIGO para la operatividad de	86

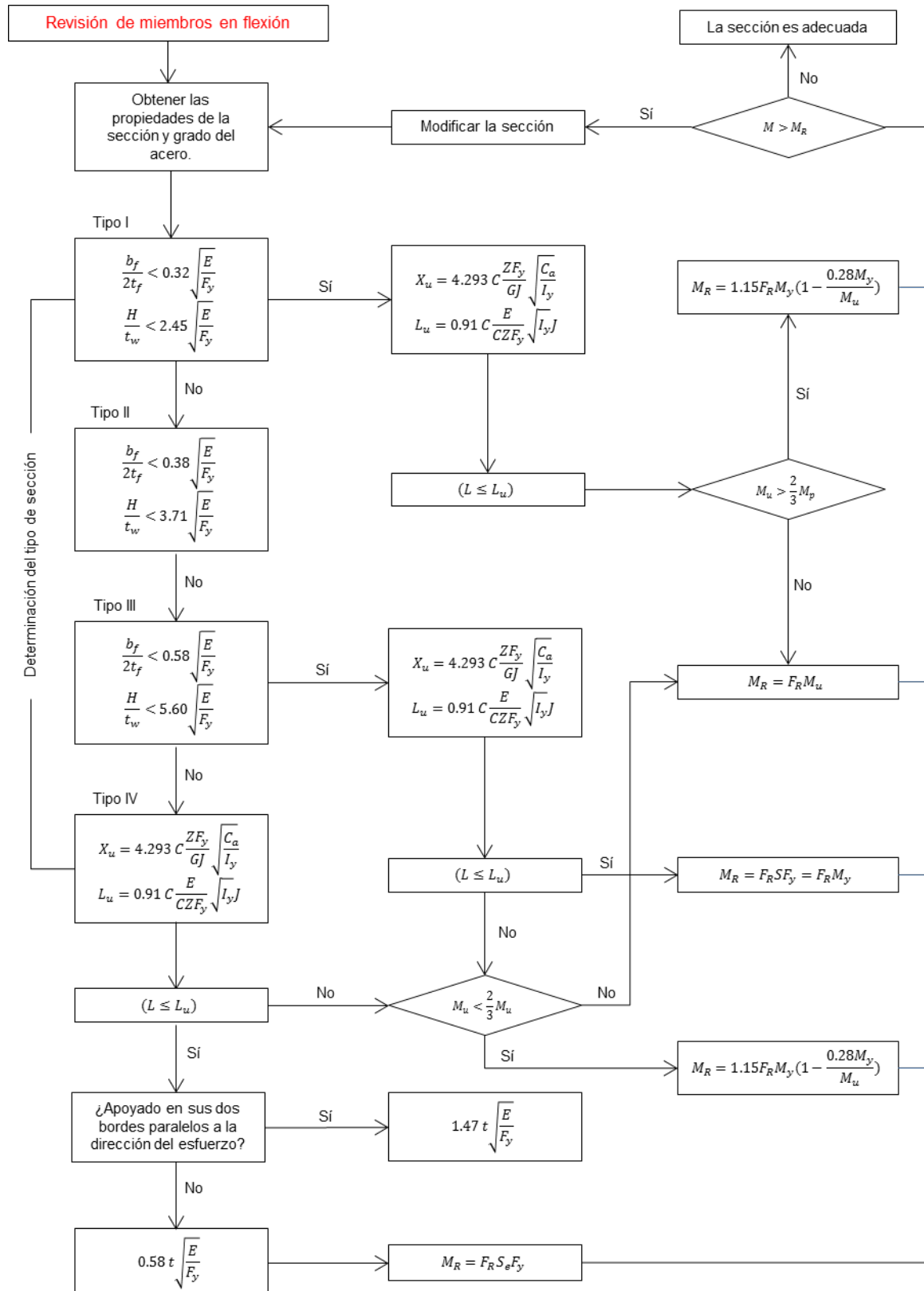
la grúa.	
Tabla 25 Tabla de valores permisibles para la estructura según el EUROCODIGO para la operatividad de la grúa.	87
Tabla 26 Desplazamientos permisibles (NTC-DCEM-04).	94
Tabla 27 Carga lateral total, a partir de la tabla D.3.2 (NTC-DCEA, 2017).	96
Tabla 28 Cálculo de momento y cortante	97
Tabla 29 Elementos mecánicos de diseño.	99
Tabla 30 Propiedades geométricas	104
Tabla 31 Propiedades geométricas.	105
Tabla 32 Metal base del patín inferior.	123
Tabla 33 Metal base y metal de soldadura.	123
Tabla 34 Metal base en extremos de segmentos longitudinales de soldadura de filete intermitentes.	124
Tabla 35 Metal base en extremos de segmentos longitudinales de soldadura de filete intermitentes.	124

8.3 DIAGRAMAS DE FLUJO PARA EL DISEÑO DE LOS MIEMBROS ESTRUCTURALES.

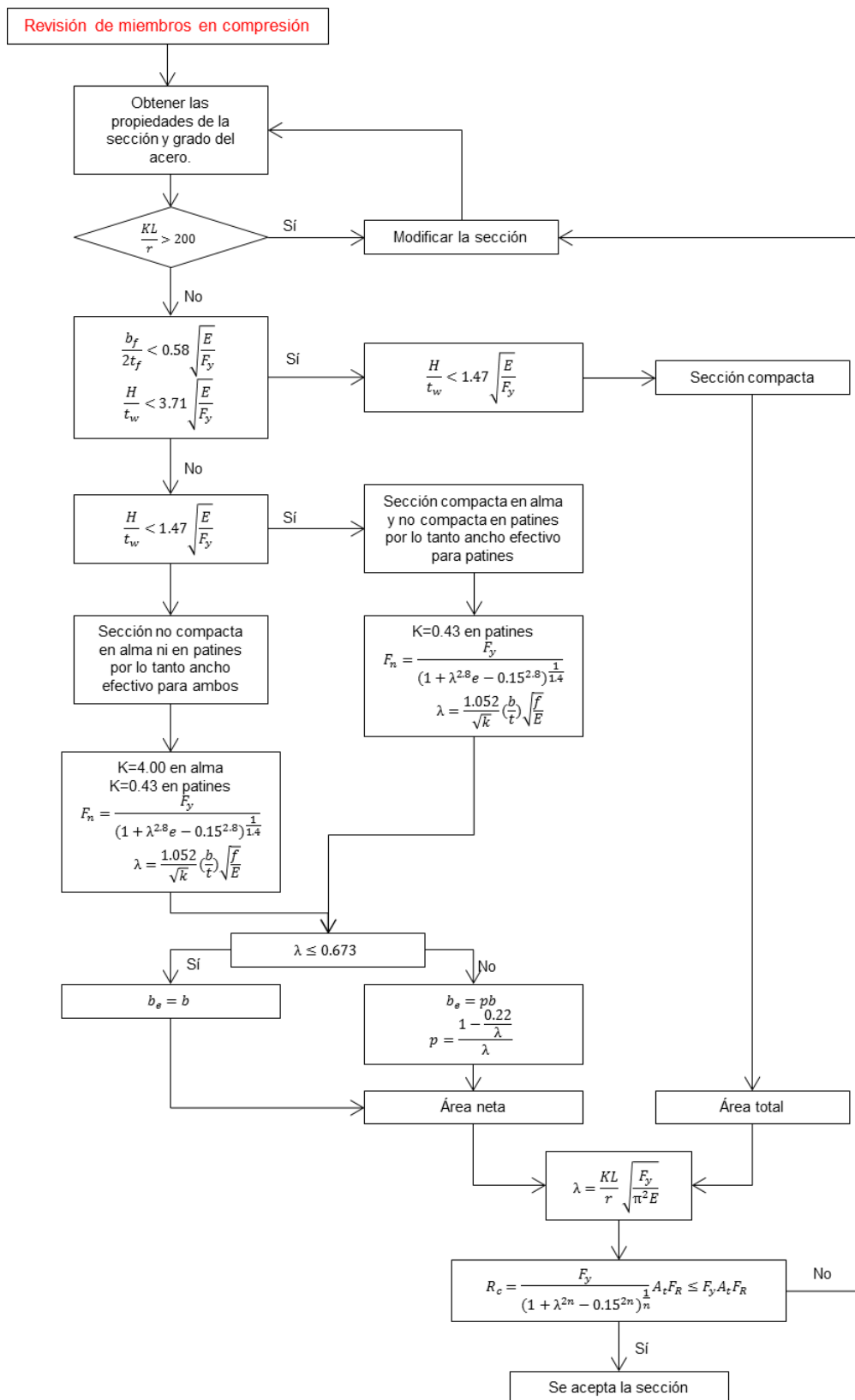
8.3.1 Diagrama de flujo para diseño de secciones formadas en frío en flexión AISI.



8.3.2 Diagrama de flujo para diseño de miembros en tensión conforme la NTC-DCEA-17



8.3.3 Diagrama de flujo para diseño de miembros en compresión conforme la NTC-DCEA-17.



8.3.4 Diagrama de flujo para diseño de miembros en flexo-compresión conforme la NTC-DCEA-17.

