



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE
PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:
JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ**

**DIRECTOR DE TESIS:
M.I. MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ VEGA**



MÉXICO, D.F.

2011



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCG/SEAC/UTIT/083/08

Señor
JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ VEGA, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL"

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. MODELO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE
- III. SOLICITACIONES
- IV. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA ESTRUCTURA DE APOYO
- V. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA ESTRUCTURA DE APOYO
- VI. PROPUESTA Y DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN
- VII. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 3 de Octubre del 2008.
EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA

GGZ/RSU/gar.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Enrique y Ma. Esperanza

Gracias por los interminables desvelos que hasta la fecha perduran.
Gracias por los todos los esfuerzos cotidianos que a diario me dan ejemplo.

Gracias por todo el amor que forja mi humanidad.
Gracias por todas las palabras que se pronuncian y por las que se guardan.

Gracias por la confianza que me otorgan.
Gracias por el apoyo que recibo y siempre recibiré.

A mi hermana, Dulce

La familia no se elige, pero yo me saqué la lotería contigo!

A mi familia

Con gran cariño y agradecimiento.

A mis compañeros y amigos

Tenemos un largo camino por andar. El mundo es pequeño, nos volveremos a reunir.

A mis profesores

Con gran respeto y admiración.

A mis colegas

No solo de trabajo vive el hombre.

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	2
I. ANTECEDENTES	
I.1 El desarrollo económico e industrial en México	8
I.2 La industria del Acero, del Cemento y sus problemas ambientales	14
I.3 ¿Es redituable invertir en calidad ambiental?	31
II. MODELO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE	
II.1 Geometría general	36
III.2 Materiales	42
III. SOLICITACIONES	
III.1 Cargas Gravitacionales	46
III.1.a Cargas Muertas	46
III.1.b Cargas Vivas	46
III.2 Cargas Accidentales	47
III.2.a Cargas por Sismo	47
III.2.b Cargas por Viento	65
IV. ANALISIS ESTRUCTURAL DE LA ESTRUCTURA DE APOYO	
IV.1 Método de análisis	81
IV.2 Análisis estructural asistido por computadora	86
IV.3 Datos de entrada y resultados	87
V. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA ESTRUCTURA DE APOYO	
V.1 Reglamentos y ayudas	105
V.2 Revisión por estados límite de falla	106
V.3 Revisión por estados límite de servicio	133
VI. PROPUESTA Y DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN	148
VII. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	163
ANEXOS	164
BIBLIOGRAFÍA	169

INTRODUCCIÓN

La ingeniería es la profesión que aplica conocimientos y experiencias para que mediante diseños, modelos y técnicas puedan resolverse problemas que afectan a la humanidad. En ella, el conocimiento de las matemáticas y ciencias naturales, obtenido mediante estudio, experimentación y experiencia, se aplica con juicio para desarrollar formas económicas de utilizar los materiales y las fuerzas de la naturaleza para beneficio de la humanidad y del ambiente.

Este trabajo se enfoca en el análisis y diseño de una estructura de acero para el soporte de un equipo mecánico destinado al control de contaminación hacia el ambiente, utilizado principalmente en las industrias cementera y siderúrgica, industrias básicas para la fabricación de materiales fundamentales en la ingeniería civil: el cemento y el acero.

Breve descripción del equipo, funcionamiento y aplicaciones.

Un colector de polvos, conocido comúnmente como Casas de Bolsas, usa el principio de filtración física para separar las partículas de polvo de gases con altas concentraciones de partículas sólidas. Ver figura 1.1.

El flujo de gas cargado entra a la casa de bolsas por el ducto de entrada para después ingresar a los compartimentos. Dentro de ellos pasa por las bolsas que sirven de material filtrante en primera instancia junto con otros efectos, como lo serán, la presencia de carga electrostática entre las partículas y el filtro así como el efecto del movimiento browniano para partículas muy finas, se producirá una costra de polvo en las bolsas. El conjunto de estos mecanismos es lo que le hace tan efectivo a este sistema de limpieza. Las bolsas pueden ser de diferentes materiales, su elección está en función de la temperatura de los gases, del tamaño y del grado de abrasión de la partícula de polvo principalmente. Ya libre de polvo, el flujo de gas se dirige al pleno de aire limpio donde ingresará al ducto de aire limpio, para inmediatamente después salir del filtro hacia la atmósfera a través de una chimenea.

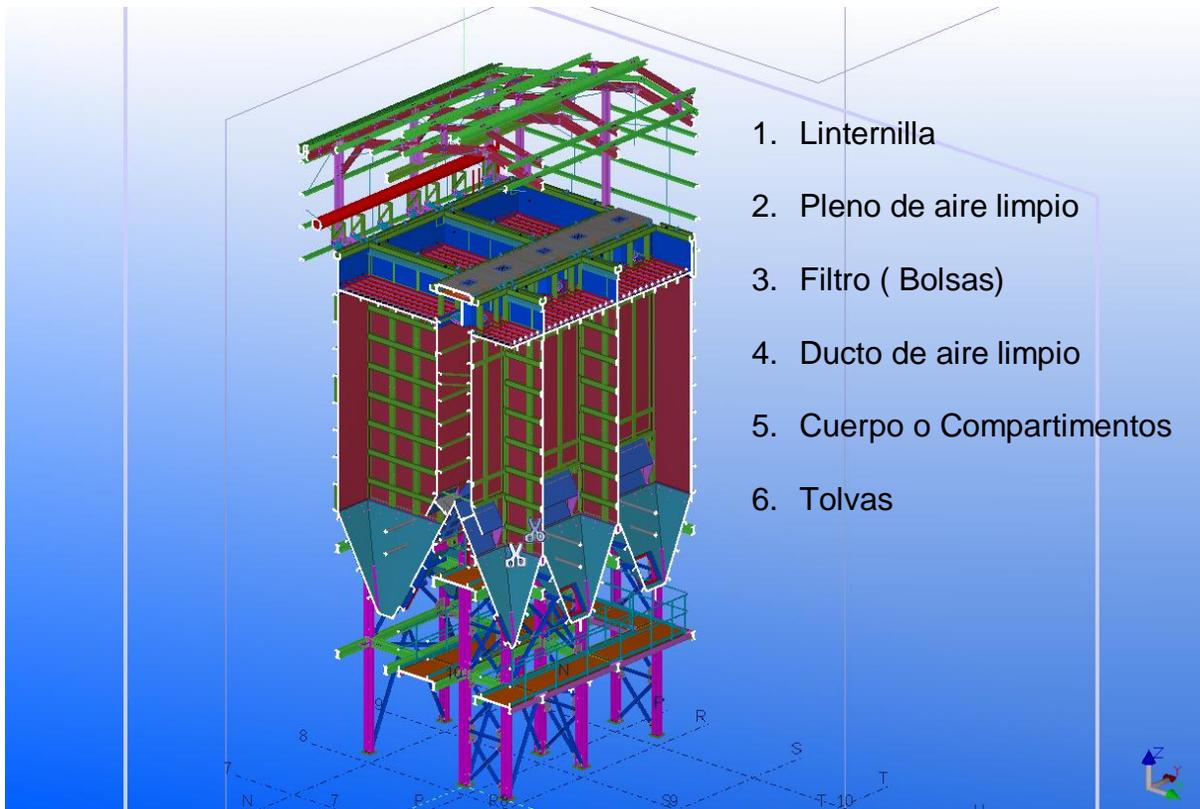


Figura 1.1. Esquema General. Casa de Bolsas.

Entre algunas de las aplicaciones de este sistema en la industria se encuentran:

- Hierro y Acero
 - Ventilación de zona de colada
 - Aspiración en planta de sinterización
 - Baterías de coque
 - Desulfuración
 - Ventilación Horno de Oxígeno Básico
 - Horno de arco eléctrico
 - Extracciones primaria y secundaria de gases
- Cementera. Ver figura 1.2.
 - Horno.
 - Enfriador de clinker

Breve resumen del contenido por capítulo incluido en este trabajo de tesis:

Capítulo I. Antecedentes. Se describe el entorno económico y técnico en que tiene aplicación un colector de polvo, equipo mecánico para el cual tiene objeto de estudio la estructura desarrollada en este trabajo.

Capítulo II. Modelo de la estructura de soporte. Se consideran las particularidades requeridas del proyecto para generar la topología de la estructura. Se describen algunas propiedades mecánicas del material utilizado en el diseño de los elementos estructurales, el acero estructural.

Capítulo III. Solicitaciones. Define y cuantifica las magnitudes de las cargas básicas utilizadas en el desarrollo de este trabajo de estudio. Se considera utilizar Cargas Muertas, Cargas Vivas, Cargas por Sismo y Cargas por Viento, atendiendo a los lineamientos establecidos en el reglamento IBC 2009 y el ASCE 7 05.

Capítulo IV. Análisis de la estructura de apoyo. Describe el método empleado en el programa STAAD.Pro y la información requerida para el análisis de la estructura, las propiedades geométricas y mecánicas de los elementos estructurales. Se enuncian las condiciones de carga básicas y sus combinaciones para la obtención de los elementos mecánicos en las secciones y de los desplazamientos en los nodos.

Capítulo V. Diseño estructural de la estructura de apoyo. Se incluyen aspectos relacionados con el cumplimiento de los estados límite de falla y estados límite de servicio relativos a los elementos de la estructura considerando las condiciones críticas de las combinaciones de carga.

Capítulo VI. Propuesta y diseño de la cimentación. Describe el sistema de cimentación utilizado, las características del suelo con base en los parámetros de aceleración máxima del terreno en roca, las acciones y combinaciones utilizadas en su diseño. Determina la capacidad de carga del suelo así como el cumplimiento de los estados límite de falla aplicables en el sistema elegido.

Capítulo VII. Comentarios y conclusiones. Está dedicado a dar mención a los comentarios y conclusiones resultado de la elaboración de este texto, considerando los análisis y revisiones hechos en los elementos de la estructura de soporte en estudio.

Objetivo

Plantear los antecedentes en los cuales tiene aplicación la estructura objeto de estudio.

Realizar el análisis con ayuda del programa STAAD.Pro V8i para determinar el efecto de las combinaciones de carga que actúan sobre la estructura y evaluar el cumplimiento de los estados límite de falla y de los estados límite de servicio para los elementos más esforzados.

Determinar los comentarios y conclusiones resultado de la evaluación de los diferentes índices de seguridad que dicta la normatividad considerada, respecto a la estructura metálica y de la cimentación.

Alcance

El siguiente trabajo escrito propone una alternativa de análisis y revisión para la estructura en estudio, limitada a sollicitaciones accidentales por sismo y viento, así como una propuesta para su cimentación. De ninguna manera es única y definitiva, por lo que los conceptos plasmados solo sirven a los fines que sigue este documento, el cual es el de la obtención del grado de Ingeniero Civil por parte de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.



Figura 1.2
Colector de Polvos en Planta de Cemento

		Tesis Profesional	
ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL			
Presento:		JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ	
Director de Tesis:		M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega	
Concepto:	Colector de Polvo	Dibujo:	Cemex, Tepeaca
Archivo:	70801.D.01	Escala:	S/E
Aprobó:		Fecha:	MAR/11

I. ANTECEDENTES

I.1 El desarrollo económico e industrial en México

La industria mexicana ha pasado por varias etapas a lo largo de su desarrollo, adaptándose a las necesidades imperantes de los mercados domésticos e internacionales, sufriendo continuas transformaciones “progresivas” derivadas de las condiciones de los mercados de bienes. Siempre buscando incorporarse sin tener claro los objetivos y sin que éstos obedecieran a un plan preconcebido de industrialización. Es decir que las condiciones se fueron presentando y la presión económica fue tan fuerte que la industrialización se impuso poco a poco.

Los campos de aplicación de la ingeniería civil se encuentran plasmados en el quehacer diario, formando parte fundamental en el desarrollo y calidad de vida de una población, desde los talleres o maquilas donde se elabora todo tipo de bienes del sector secundario o terciario, pasando por los espacios urbanos y hasta la energía eléctrica que utilizamos a cada momento. Es evidente que el desarrollo de infraestructura estará condicionado al avance tecnológico y económico, y sin embargo es necesario uno para producir el otro.

En las siguientes líneas se recorre brevemente la ideología y el esquema económico mexicano.

Los primeros intentos de industrialización en el México independiente estuvieron a cargo de Lucas Alamán. Para él la conversión de México en un país próspero atravesaba forzosamente por el desarrollo de la industria. Recomendaba para su desenvolvimiento, mecanizarla y usar las exenciones de impuestos para alentar las importaciones de maquinaria y equipo, y “decretar, no prohibiciones, sino tarifas protectoras que contrarrestarán las diferencias de precios entre las mercaderías importadas y las producidas en el país, hasta que éstas, producidas por medios mecánicos, pudieran venderse más baratas”¹.

¹ POTASH, A. ROBERT.: *El Banco de Avío. El fomento a la industria, 1821-1846*. México: FCE 1959. 36 p.

Alamán pensaba lograrlo mediante el crédito y la segunda los aranceles a los productos importados. Con este objetivo se creó el Banco de Avío, que tenía como propósito fomentar la industria otorgando préstamos y maquinaria, “por primera vez se señaló la creación del sistema fabril como objetivo”².

Sin embargo, no pudo cumplir con su cometido por la inestabilidad política posterior a la guerra de la independencia y el apoyo que pedían otros sectores económicos. El debate generado entre las políticas proteccionistas y liberales mostraba que la industrialización en México no estaba dentro de los problemas más importantes del país. Todavía necesitaban hacerse grandes transformaciones sociales y políticas para que fuera el eje del desarrollo económico.

La industria prototipo del siglo XIX fue la textil. Los inventos científicos y técnicos encuentran aplicación en ella y a la vez ésta tiene un efecto multiplicador sobre la técnica y otras ramas industriales.

Durante los 33 años que dura la dictadura porfirista grandes cambios se dieron en el terreno económico que afectaron el crecimiento industrial. México se incorpora a la economía mundial mediante las exportaciones de materias primas agrícolas y ganaderas. Se incrementa la inversión extranjera sobre todo en los medios de transporte (ferrocarril) y en algunas ramas industriales como el textil, petróleo, tabaco, electricidad, etc. La construcción de los ferrocarriles repercutió en todas las actividades productivas. Al mejorar los medios de transporte, la agricultura estuvo en condiciones de vender sus productos en los mercados externos e interno, así como a menor costo.

Las actividades preferidas del capital extranjero fueron: ferrocarriles, minería y agricultura y en los últimos años del Porfiriato, el petróleo. La inversión extranjera dentro del país estaba representada principalmente por la inglesa, francesa, alemana y estadounidense. Una tercera parte de la inversión extranjera de los Estados Unidos estaba en México.

² POTASH, A. ROBERT.: *El Banco de Avío. El fomento a la industria, 1821-1846*. México: FCE 1959. 78 p.

El modelo de sustitución de importaciones, 1946 a 1981. En su primera etapa, 1946 a 1956, elabora principalmente bienes de consumo. Los instrumentos de protección a la industria estuvieron presentes: los aranceles a la importación y los subsidios a las exportaciones, las licencias de importación (principal instrumento de protección y regulación a la compras en los mercados internacionales), programas de fabricación, política fiscal, incluyendo regímenes preferenciales a las empresas manufactureras, la Ley de Industrias Nuevas y Necesarias para promover la creación de empresas, y las ventas de insumos baratos producidos por las empresas estatales.

En la segunda etapa, 1956 a 1970, creció la producción de bienes intermedios y de consumo duradero. Se otorgaron apoyos estatales, pero las divisas se obtuvieron por medio de los créditos externos y de la inversión extranjera directa. Las exportaciones manufactureras reputaron, aunque no alcanzaron a financiar las importaciones de su propio sector.

En la tercera etapa, 1970 a 1982, corresponde al fomento de la producción de bienes de capital, sobre todo de aquellos ligados a la industria petrolera y eléctrica. La forma de crear empresas cambió, pues se hizo mediante la coinversión del capital del estatal con el privado nacional y extranjero.

Durante su vigencia se presentó el llamado “Milagro Mexicano”, con tasas de crecimiento industrial de 8.3% de 1953 a 1965, superiores a las del Producto Nacional Bruto en esos años. Asimismo se establecieron las empresas monopólicas, sobre todo en la industria manufacturera. México dejó de ser un país rural. Se fortalecieron los grupos industriales, se robusteció el sistema financiero, la población asalariada aumentó, al igual que el mercado interno.

La política industrial del Estado no supo corregir a tiempo los excesos del modelo, no tuvo un plan guía, en síntesis no quiso someter a los industriales a las necesidades de la competencia externa, fue incapaz de privilegiar ramas e industrias y por sobre todo, permitió que por medio del manejo de los bienes públicos se generaran

cuantiosas fortunas, se hicieran despilfarros y por último, que creciera la corrupción, todo lo cual hizo mella en el modelo.

Modelo de industrialización orientado a la exportación, 1982 a 2000. En 1982 la economía mexicana estaba en quiebra, los precios del petróleo habían bajado, la elevación de las tasas de interés provocaron una cuantiosa fuga de capitales y la deuda externa se hizo impagable. Se le ofreció a Estados Unidos la venta de petróleo “como pago adelantado por mil millones de dólares que ese país daría a México para ayudar a estabilizar su balanza de pagos”³. La tasa de crecimiento promedio anual de la producción creció sólo 0.68%, la formación bruta de capital fija cayó 8.4%. Los salarios que representaban 34.06% del PIB en 1981, bajaron a 25.53% en 1987. Sólo las exportaciones crecieron de manera constante, 21.81%, las importaciones decrecieron 8.5%.

Los principales ganadores de las políticas de ajuste fueron las empresas transnacionales (ET) y los grupos industriales financieros. La reestructuración se realizó con el propósito de integrar la economía mexicana con la economía de Estados Unidos; las ET fueron los ejes centrales “...y han pasado a liderar el comercio entre los dos países, en gran medida a través de operaciones intrafirma”⁴. Se aplicaron varias tácticas para conformar las nuevas relaciones destacando:

- Aprovechar la reducción del mercado interno para exportar. Al favorecer las ventas al exterior las ET que tienen mejores condiciones para exportar, fortalecen su posición en el mercado mundial por medio de múltiples mecanismos uno de los cuales es el comercio intrafirmas, que en realidad es un intercambio de insumos entre las grandes corporaciones.
- Establecer filiales de empresas transnacionales para aprovechar las ventajas de la mano de obra barata y la cercanía del mercado estadounidense.

³ MIRÓN, ROSA MARÍA, PEREZ, GERMÁN: *López Portillo. Auge y crisis de un sexenio*. México: Plaza y Valdés-UNAM 1988. 156 p.

⁴ BIELGOWSKY, RICARDO, STUMPO, GIOVANNI: *Empresas transnacionales y cambios estructurales en las industrias de Argentina, Chile y México*. Santiago de Chile: CEPAL 1995. 155 p.

Mundialmente esta industria se convertiría en el prototipo de la reestructuración, aunque en México apenas empiezan a aplicarse estas nuevas estrategias.

- Compra y fusiones de empresas. Las grandes empresas manufactureras, pertenecientes a poderosos grupos industriales-financieros, durante los años de crisis se fusionaron con empresas, compraron otras se asociaron con el capital extranjero. Los ejemplos más conocidos son los de la industria del vidrio y del cemento, con dos empresas líderes, Vitro y Cemex. Las exportaciones crecieron entre 1982 a 1986, las del cemento en 131.1% promedio anual, y las del vidrio en 43.9%.

En la etapa de la globalización los elementos clave son los requerimientos de las ET. Ellas necesitan distribuir su producción en países con mano de obra barata para estar en mejores condiciones en el mercado mundial. Su estrategia es invertir en la construcción de plantas maquiladoras, o llegar a acuerdos con firmas para que maquilen; esto se da aunado a las políticas de apertura comercial y las privatizaciones, elementos que transforman la industria, conforme a los intereses de las ET.

Enrique Dussels resume la posición de los economistas que sostiene la llamada “industrialización orientada a las exportaciones” cuando dice: “... el libre comercio y la apertura total de las economías, la abolición de las barreras arancelarias y no arancelarias, las estrategias anti-inflacionarias y un Estado minimalista ligado a las políticas fiscales y monetarias restrictivas son las metas macroeconómicas y las principales propuestas de la industrialización orientada a la exportación. El sector privado es concebido como el motor del desarrollo y de la futura industrialización⁵.”

En general la condición primordial que consideran las ET para establecer las maquiladoras es el empleo a bajo precio, después entran en consideración otros factores como la existencia de ciertas materias primas, cercanía a grandes mercados, buenas vías de comunicación, entre otras.

⁵ DUSSEL, ENRIQUE: *La economía de polarización. Teoría y evolución del cambio estructural de las manufacturas mexicanas (1988-1996)*. México: Jus 1997. 36 p.

Dentro de las industrias fabricantes de bienes intermedios envueltos en actividades relacionadas con la ingeniería civil hablaremos de los casos de la industria del cemento y la siderurgia, estos ilustran varios fenómenos característicos de la reestructuración industrial como son: la modernización tecnológica, la orientación de la producción hacia las exportaciones y la consolidación de grupos industriales.

- a. Industria del cemento. Al estar fuertemente ligada a la construcción esta industria es muy sensible al ciclo económico y está muy afectada por la reducción de las inversiones públicas en obras de infraestructura. Se reestructuró centralizando la producción en unas cuantas empresas (Cemex y Apasco), asociándose con el capital extranjero para obtener tecnología de punta, diversificando mercados y fortaleciendo las empresas multinacionales.

Otro paso que dio esta industria para reestructurarse fue diversificar mercados, exportar hacia Estados Unidos, América Latina e incluso Europa; esto fue posible porque compró empresas cementeras de otros países. Ante la baja de mercado interno encamino sus productos a los mercados emergentes; 57% de las ventas y 58% de sus operaciones provenían del mercado internacional en 1998.

- b. La industria siderúrgica. La siderúrgica es el ejemplo de la reestructuración de una industria básica dominada por el sector público. Hasta antes de su privatización, el grueso de su producción era contralada por Altos Hornos de México (AHMSA) y Siderúrgica Lázaro Cárdenas Las Truchas (Sicartsa). Antes eran sobre todo aceros no planos para la industria de la construcción, después de la privatización aumentó la producción de aceros planos, lámina rolada y placa. Este tipo de bienes tiene más demanda en el mercado mundial, además de que son ampliamente consumidos por la industria automotriz y la de aparatos electrodomésticos.

El consumo interno no ha llegado a los montos de 1981, lo que habla de una pobre recuperación económica (1997). Sin embargo, atrás de las exportaciones de acero están las importaciones que rebasan los ingresos obtenidos. Por ejemplo, de 1997 a

1999 se vendieron al exterior US\$7,788.9 millones y se compraron US\$11,411.1 millones. Esto sucede en una industria reestructurada para exportar.

I.2 La industria del Acero, del Cemento y sus problemas ambientales

Industria del Hierro y del Acero

Cuando se consideran grupos específicos de industrias, es usual encontrar que hay diferentes procesos de producción involucrados en la misma, dando como resultado diferentes clases de agentes contaminantes, y también muchas formas posibles de combatirlas. Frecuentemente, sin embargo, los procesos son similares; esto trae por consecuencia la discusión de los procesos de tratamiento “generales” para los desechos “típicos” producidos.

La industria del hierro y del acero es muy compleja y usualmente integrada de manera verticalmente. Existen cuatro grandes etapas para el proceso convencional:

1. Explotación minera
2. Concentración de mineral de hierro
3. Tratamiento al Alto Horno
4. Producción de acero

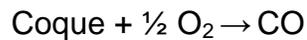
Las primeras dos etapas son generalmente realizadas en o cerca de la cantera, mientras que los últimas etapas son realizadas en plantas siderúrgicas.

Tratamiento al Alto Horno

El mineral concentrado, después de ser enviado a las plantas siderúrgicas, es llevado a los Altos Hornos donde es procesado con coque y caliza en una proporción 1.75 ton mineral de hierro - 0.75 ton coque - 0.25 ton caliza - 4 ton de aire.

Coque. El coque es producido en sitio, calentando carbón de 13 a 14 horas en altos y angostos “hornos de cocción” en ausencia de aire. Diferentes calidades de carbón se mezclan para obtener coque con las características químicas y físicas apropiadas. Las grasas retiradas del carbón son recuperadas como alquitrán, sulfato de amonio, aceite ligero y gases del proceso, los cuales son transformados eventualmente en explosivos, fertilizantes, hule sintético, y medicinas o usados para combustibles. Al residuo sólido del proceso se le denomina coque.

Este coque se enfría en cuanto sale del horno con agua, usualmente agua tratada de algún otro proceso. El propósito del coque en la producción del hierro y el acero tiene una función doble: 1) convertir el Fe_2O_3 y el Fe_3O_4 a hierro puro (Fe) y 2) remover impurezas. En los altos hornos, el coque arde con aire a una temperatura aproximada de 1500°C . En condiciones limitadas de oxígeno (O_2), el coque reacciona de la siguiente forma:



El monóxido de carbono (CO) es un agente reductor que puede reaccionar con el Fe_2O_3 y el Fe_3O_4 para producir hierro (Fe). Adicionalmente, el calor funde el hierro y las impurezas, la escoria flota y es removida, mientras que el hierro en blanco caliente en estado líquido fluye fuera del horno.

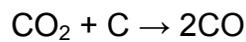
Caliza. El propósito de la caliza es ayudar a remover las impurezas del mineral. La caliza (principalmente CaCO_3) puede servir como reactivo, provocando que las impurezas -particularmente el dióxido de silicio (SiO_2)- se fundan a una temperatura menor que en otras condiciones lo harían. Cuando el CaCO_3 se calienta fuertemente se descompone en:



Este proceso es llamado calcinación. El dióxido de carbono (CO_2) liberado puede reaccionar como $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$ para formar CO , el cual sirve como agente reductor. El óxido de calcio (CaO), por otro lado, puede reaccionar con el óxido de sílice (SiO_2) para formar CaSiO_2 . Este CaSiO_2 es el principal componente de la escoria sólida de desecho. Esta escoria puede ser separada del hierro fundido puesto que es más ligero, y por ende flota en la superficie del hierro líquido.

La operación de los Altos Hornos

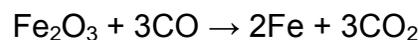
En un alto horno, el coque es alimentado en la parte alta junto con el mineral de hierro y carbonato de calcio y la mezcla es “bombardeada” desde la parte baja con aire caliente. El coque localizado cerca del fondo tiene oxígeno adecuado para reaccionar completamente para formar dióxido de carbono. El dióxido de carbono después reacciona un poco más en el coque, generando monóxido de carbono:



El monóxido de carbono adicional es producido por la reacción del coque con la limitada cantidad de oxígeno (O_2) disponible:



El monóxido de carbono (CO) puede reaccionar con el mineral de hierro para purificarlo, a:



El hierro (Fe) producido de esta forma es llamado crudo o hierro sucio.

La figura 1.1.1 ilustra un Alto Horno típico. Básicamente, un Alto Horno es un gran cilindro vertical de acero, recubierto por ladrillo refractario resistente al calor en

su interior, y en su exterior, una espiral trazada mediante placas para el flujo de agua para su enfriamiento. Un aproximado de sus dimensiones comunes podrían ser 45 metros de alto y 9 metros de diámetro en la base.

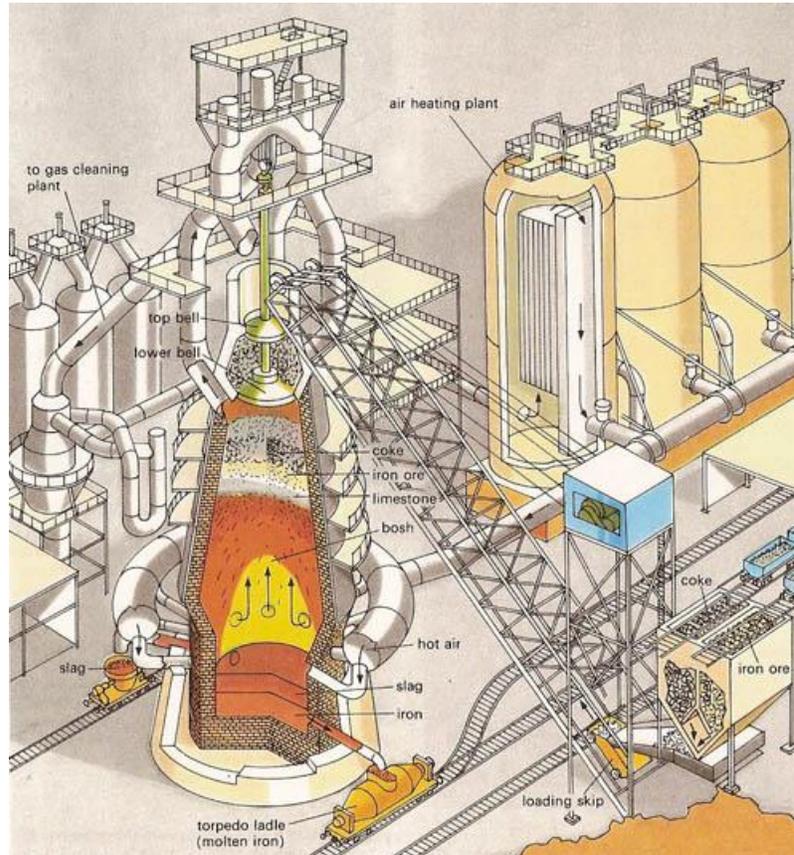


Figura 1.1.1. Esquema. Configuración de un Alto Horno.

Los materiales crudos son almacenados en tolvas cercanas al horno. Para llenar el horno, los materiales son llevados a la parte alta mediante carros viajeros de 5 a 10 toneladas de capacidad, que viajan en una rampa inclinada. Puesto que la producción de acero es un proceso continuo, las materias primas son agregadas ininterrumpidamente.

El aire caliente es lanzado dentro del horno a través de boquillas localizadas cerca del fondo, entonces el aire caliente entonces enciende el coque, provocando que las materias primas se fundan y fluyan juntas. En cuanto los materiales se unen, el volumen decrece, permitiendo que más materia prima sea incorporada

dentro del horno por la parte superior. El hierro puro fundido, al ser más denso que las impurezas se deposita al fondo del horno (al corazón) y la escoria flota en la superficie de esta piscina de hierro (crisol) de 1.20 a 1.50 metros de profundidad.

Cada cuatro o cinco horas es necesario “pinchar” el horno para retirar el hierro fundido. Esto se realiza “quemando” un tapón localizado cerca del nivel de piso, en un punto llamado “muesca de hierro”. El hierro fluye en un vertedero de cemento hasta los carros de carga con una capacidad de hasta 160 toneladas. Después de pinchar y haber extraído la cantidad típica de 400 toneladas, el horno se vuelve a sellar con un nuevo tapón.

Una vez encendido el horno, sólo programa un “paro” cuando se presentan problemas con el ladrillo refractario pues los altos niveles de calor eventualmente afectan el ladrillo y crean “puntos calientes”. Temporalmente, estos “puntos calientes” pueden controlarse mediante enfriamiento exterior con agua, pero esta solución no es permanente. Como media se considera un periodo de operación continua de seis a siete años sin un paro programado de producción, usualmente cuando éste se realiza es sólo de un par de meses para hacer cambios en el ladrillo refractario y cualquier otra actualización que se requiera para poner “a punto” la planta.

Contaminantes asociados con la operación de Altos Hornos

Mayormente, los contaminantes asociados con esta etapa en el proceso de producción de hierro se ubican en cuatro categorías: contaminantes en el aire y agua proveniente de la manufactura del coque, y contaminantes aéreos y desechos sólidos provenientes de la operación del Alto Horno. La manufactura del coque también produce desechos sólidos. Los hornos de coque inicialmente remueven la materia orgánica del carbón común proveniente de origen natural destilando las sustancias volátiles en ausencia de aire. Partículas de SO₂, y algunas otras son emitidas a la atmósfera, particularmente durante las etapas de alimentación (llenado

del horno) provenientes de fugas en puertas y orificios, y de sofocar el coque con agua de proceso. Actualmente los hornos de coque son uno de los principales problemas que atañen a la industria del acero en materia ambiental, ya que estas emisiones son difíciles de controlar.

La operación de los Altos Hornos produce tanto contaminantes del aire, como desechos sólidos. Los contaminantes del aire son principalmente SO_2 y CO . El sulfuro remanente en el coque se oxida para formar SO_2 , el cual se encuentra presente en el efluente de gases conducido desde la parte alta del horno. El SO_2 puede ser minimizado por el uso inicial de carbón con bajo contenido en sulfuro. CO inerte también se encuentre presente en el efluente. Usualmente, éste se oxida formando CO_2 mientras es expulsado del sistema.

Por varios años se han realizado estudios a la posibilidad de realizar un bypass al alto horno, reduciendo directamente las altas concentraciones de mineral de hierro. Generalmente, un proceso de reducción directa involucra secado, quebrado y precalentamiento del mineral, el cual debe tener una concentración de cerca del 68% de hierro (Fe), para después ser introducido el mineral en una columna reductora. Uno de los gases reductores más eficientes es el hidrógeno (H_2). Esto convierte directamente los óxidos de hierro a hierro metálico, el cual puede ser procesado posteriormente en hornos de arco eléctrico.

Son muchas las ventajas que ofrece la reducción directa del hierro (Fe). Un alto horno consume aproximadamente 50% del total de la energía utilizada en la producción de acero. El proceso de alto horno incorpora además carbono (C) al hierro (Fe), el cual debe ser posteriormente removido. Además, el Alto Horno genera algunos de los problemas más serios de la industria.

Algunas compañías de diferentes países se encuentran desarrollando una variedad amplia de técnicas basadas en reducción directa, para producir hierro para la industria del acero. Algunos de los procesos son los siguientes:

- El proceso original de reducción directa, el “Proceso Hyl” fue desarrollado hace ya varias décadas por Hylsa S.A. (Monterrey, México). EL gas natural es reformado a hidrógeno (H_2) y monóxido de carbono (CO) reduciendo gases, los cuales a 800 a 900°C son utilizados para remover oxígeno del mineral para así obtener hierro esponjoso.
- El proceso Corex, un proceso alemán usado comercialmente desde 1989 en Sudáfrica, reduce el mineral de hierro en una caldera de eje. El mineral reducido es posteriormente fundido en un “Gasificador de Fundición”, que produce los gases utilizados en el proceso de reducción de la caldera de eje.
- La Federación Japonesa del Hierro y el Acero está desarrollando un proceso presurizado en el que, pélets de mineral son alimentadas dentro de un horno reductor de cama fluida, en el cual el carbón es introducido por la parte baja y el oxígeno es inyectado mediante una lanza. El mineral parcialmente reducido y el alquitrán son alimentados a un horno secundario para su posterior proceso.
- El proceso “Fastmed” utiliza mineral de hierro finamente quebrado, carbón, agua, y taconita para aglomerar, para formar pequeños pélets dentro de un tambor. Éstos, son parcialmente deshidratados con aire. Hornillas de gran intensidad los calientan lo suficiente para gasificar el carbón produciendo gases reductores, en vez de incendiarlos directamente con altas temperaturas.
- El proceso “Hismelt”, una coproducción entre Australia y EUA, utiliza carbón y oxígeno inyectado para producir hierro. Cualquier exceso de monóxido de carbono (CO) del reactor es utilizado para pre-reducir partículas finas de hierro en una cama fluidizante.

La ventaja ambiental decisiva para todos estos procesos es evitar la utilización de coque. Algunas compañías, en lugar de instalar procesos de reducción directa al momento, se encuentran modificando sus Altos Hornos para reducir el consumo de coque. Aún hay que esperar, para ver si la tecnología mejorada revertirá la ventaja económica de añadir un proceso indirecto a una tecnología obsoleta.

Producción de Acero

El producto de la operación de un Alto Horno se denomina arrabio, una combinación de alrededor de 95% hierro, 3 a 4% carbón, y pequeñas cantidades de manganeso, fósforo, azufre, silicio.

Los propósitos de la etapa de la producción de acero son principalmente dos:

- Remover impurezas, principalmente el exceso de carbón.
- Agregar materiales deseables para formar aleaciones.

El arrabio no es un buen material estructural dada su baja resistencia, debido principalmente a la presencia de impurezas de carbón. Estos pasos son dirigidos a mejorar la resistencia y durabilidad del producto. Las propiedades específicas de varios tipos de acero, pueden ser influenciadas por el proceso utilizado en el tratamiento térmico, a los cuales son sujetos.

Existen muchos tipos de aceros que pueden ser producidos:

- Acero al carbono. El más común de los diferentes tipos de acero, principalmente producido mediante la remoción de carbono del arrabio hasta que se alcanza una concentración de menos del 1%. Gran cantidad del acero al carbono es utilizado como acero estructural, con una concentración de 0.25% aproximadamente de carbono.
- Acero aleado. Aunque este tipo de acero también contiene pequeñas cantidades de carbono, sus propiedades están determinadas mayormente por los otros aditivos. En términos de contenido de carbono, los aceros inoxidables se encuentran en un contenido de 0.08 a 1.2%, muchos podrían también tener algo de níquel.

Otros materiales típicos para aleación y sus propiedades agregadas al acero son:

- a) Níquel. Incrementa la tenacidad, la resistencia a los ácidos y a las altas temperaturas.
 - b) Tungsteno. Incrementa la dureza a altas temperaturas.
 - c) Molibdeno. Incrementa la resistencia y mejora la habilidad de resistir calor.
 - d) Manganeso. Incrementa la resistencia y mejora la resistencia al desgaste.
 - e) Vanadio. Incrementa la resistencia y la resiliencia.
- Acero para herramientas. Como el nombre lo indica, este es acero fino de grado utilizado en la producción de herramientas. Sus propiedades pueden variar notoriamente. Algunas herramientas utilizan solamente acero al carbono, otras utilizan una o más de las aleaciones para controlar las características deseadas.

El acero es manufacturado utilizando arrabio, chatarra de hierro y acero como materia prima. Estos “desechos” representan aproximadamente el 50% de la materia prima utilizada en la producción de acero en los EUA

El proceso de producción de acero en sí, es muy complicado. El metal debe sufrir varios pasos durante el proceso:

- Fundición, remoción de carbono y adición de elementos de aleación
- Molino de laminado
- Decapado
- Moldeado final
- Acabados

Estas operaciones son bastantes diversas, como lo son las consideraciones ambientales. Para clarificar la fuente y la naturaleza de los diferentes contaminantes, las discusiones sobre cada uno de los pasos anteriores se abordarán por la consideración de los problemas ambientales y por alternativas

actuales factibles. Por interés a este trabajo se hará mención sólo de las dos primeras actividades.

Proceso de fundición y remoción de carbono

Para la producción del acero cuatro son los procesos más comunes, se hará mención a los dos más comunes en la actualidad.

- a) Proceso de Oxígeno Básico. El proceso del oxígeno básico (POB) es principalmente el mismo que el proceso Martin-Siemens, excepto que el sistema utiliza oxígeno (O_2), no aire. Esta adaptación permite un proceso más rápido y económico de los materiales. El proceso Martin-Siemens requiere usualmente un promedio de ocho horas para procesar el acero; en comparación, el POB que requiere 40 a 45 minutos
- b) Hornos Eléctricos. El horno de Arco Eléctrico es una estructura circular de acero recubierto con ladrillo refractario para altas temperaturas. Tres electrodos de carbono o grafito son insertados a través de la cubierta, éstos son alimentados por grandes cantidades de electricidad. El puente eléctrico producido entre el electrodo y la escoria fundida genera temperaturas extremadamente altas, superiores a los $1,900^{\circ}C$.

El proceso es restringido principalmente a recuperar chatarra de acero y aleaciones, no al procesado del arrabio. Gran parte del producto es de un tipo específico de aleación o de acero al carbón, por lo tanto, el proceso es utilizado cuando es necesario producir un acero con características muy exactas.

Problemas ambientales asociados a operaciones con hornos

Los problemas de contaminación del aire de estos varios procesos están concentrados en la generación de gases de los hornos y en los procesos de vaciado de las coladas. Las emisiones de los hornos son los problemas más

serios que tienen que controlar las compañías siderúrgicas. Los hornos Martin-Siemens convencionales y modificados para oxígeno (POB) emplean usualmente precipitadores electrostáticos, agitadores con Venturi para remoción de partículas y muchos de los más nuevos hornos de arco eléctrico emplean Casas de Bolsas. Las áreas apropiadas deben ser acondicionadas con campanas de extracción, y los gases removidos filtrados mediante equipos similares a Casas de Bolsas para controlar y mantener las emisiones bajo control, dentro de las normas pertinentes.

Talleres de laminación

Después de los hornos, el taller de laminado es el siguiente paso en el proceso de producción de acero. Estas operaciones consisten en la conversión, mediante técnicas tradicionales de los lingotes de acero a formas llamadas tochos, planchón y palanquilla, o a la producción de placas mediante colada continua. Los lingotes deben ser calentados a una temperatura cercana a los 1230°C antes de pasar al moldeado, esto se realiza usualmente en fosas de calentamiento llamados “fosos de remojo”. A estas temperaturas, los lingotes se tornan de color blanco y de alguna forma, suaves. El acero entonces se dirige a una o a varias líneas de laminado dependiendo del producto final deseado. En general, existen dos clases de línea de laminado: 1) semi-terminado, los cuales sólo forman bloques obtusos rectangulares, y 2) de terminado, los cuales moldean los bloques primitivos en productos utilizables. Éstos, más tarde incluirán líneas de laminación para placas, riel, perfil estructural, cable, barra sólida, tubo y trenes de laminación continua.

Contaminación producida por los trenes de laminación

El contaminante principal del aire proveniente de estas operaciones son las partículas suspendidas generadas por el corte en caliente (utilizando un soplete

de oxígeno O₂) y, si se utilizan métodos húmedos para la recolección de estas partículas, se genera un problema de contaminación de agua.

Industria del Cemento

La manufactura del cemento es una gran industria en los Estados Unidos y el mundo. También es una industria, potencialmente muy polvorienta (la novena en los Estados Unidos en contaminantes potenciales del aire), y que consume mucha energía (la sexta en los Estados Unidos). Se han realizado numerosos programas en años recientes para modernizar sus procesos y equipos; sin embargo, tal como en la industria del acero, muchas de las plantas del país vecino son bastante viejas y el capital de inversión requerido para muchas de las conversiones de los procesos, es muy elevado.

El proceso de manufactura del cemento, figura 1.2.1, consiste en tomar materias primas como piedra caliza, esquisto o pizarra, arena, arcilla, mineral de hierro y cenizas volantes, pulverizarlas finamente y mezclarlas en tales proporciones, que después de calentarlas ligeramente para eliminar cualquier residuo de agua y dióxido de carbono (CO₂) en la piedra caliza (CaCO₃), generalmente se obtenga 64% de óxido de calcio (CaO), 22% de dióxido de silicio (SiO₂), 3.5% de óxido de aluminio (Al₂O₃), y 3.0% de mineral de hierro (como Fe₂O₃). Estas materias primas son procesadas a muy altas temperaturas y mediante reacciones sólido-sólido forman cuatro componentes del cemento: silicato tricálcico (3CaO.SiO₂), silicato dicálcico (2CaO.SiO₂), aluminato tricálcico (3CaO.Al₂O₃), y la aluminoferrita tetracálcica (4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃). Las proporciones exactas de esos productos finales determinaran las características del cemento; por ejemplo, el tiempo de fraguado, la resistencia temprana y la resistencia final.

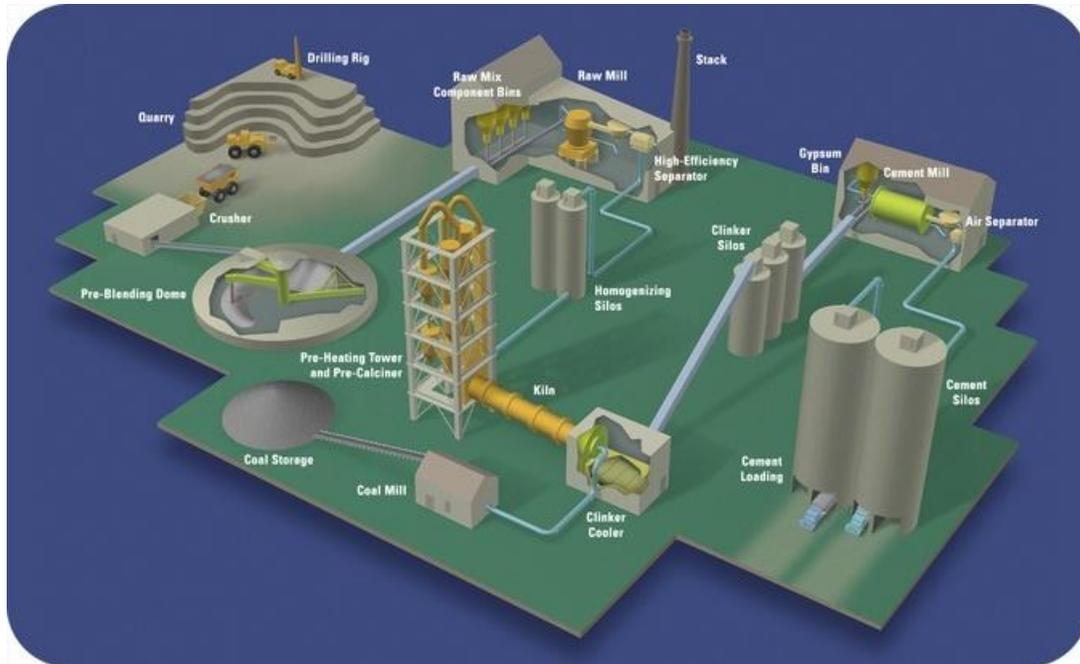


Figura 1.2.1. Esquema general de una planta de cemento.

La caliza extraída de la cantera debe ser molida a un tamaño máximo de $\frac{3}{8}$ " y después mezclada con arena, pizarra y otros ingredientes para triturarla hasta un máximo de 60 μm de diámetro. Frecuentemente, la molienda inicial se realiza en la cantera antes de ser transportada a los patios de almacenaje, generalmente mediante transportadores mecánicos. Después de ser triturada, dependiendo del proceso exacto, debe agregársele agua. La mezcla se lleva entonces a una unidad de procesamiento de altas temperaturas para su transformación a clinker. Después de su enfriamiento, se tritura con yeso y otros aditivos hasta ser convertido en polvo fino, el cemento terminado.

Los distintos tipos de procesos de manufactura del cemento pueden ser clasificados en: húmedo, seco y semi-húmedo. Actualmente, los procesos húmedos representan casi el 60% de la capacidad de los Estados Unidos, los procesos secos (y en alguna medida los semi-húmedos) están continuamente siendo más comunes. Los procesos húmedos son particularmente convenientes cuando las materias primas están húmedas al extraerse y también porque la adición de agua permite una mejor y más sencilla mezcla de las materias primas. Los procesos secos consumen significativamente

menos energía y con frecuencia pueden manejar más fácilmente cualquier problema de emisión de partículas. Sin embargo, debido a la gran inversión de capital requerida, no resulta actualmente económico hacer la conversión de un proceso húmedo a uno seco sólo por esta razón.

Proceso vía húmeda.

Después de ser mezcladas las materias primas con agua, son introducidas en un extremo del horno. Mientras el horno gira lentamente, los materiales se desplazan hacia el otro extremo con la flama más intensa. El horno giratorio común utiliza carbón/coque, o una combinación de ambos, pulverizado como combustible. Inicialmente, el material se deshidrata por la vaporización del agua. El siguiente paso es la de calcinación: la eliminación del dióxido de carbono (CO_2) de la caliza (CaCO_3). La reacción procede como $\text{CaCO}_{3(s)} \rightarrow \text{CaO}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)}$. Para cuando los materiales alcanzan el área de la flama, se ponen al rojo blanco (1,425 a 1,540°C) y ocurren una serie de reacciones sólido-sólido. Esto lleva a la “clinkerización”, la formación del cemento clinker. Finalmente, los materiales salen del horno hacia el enfriador, para ser enfriados rápidamente, mediante convección, ya sea forzada o no.

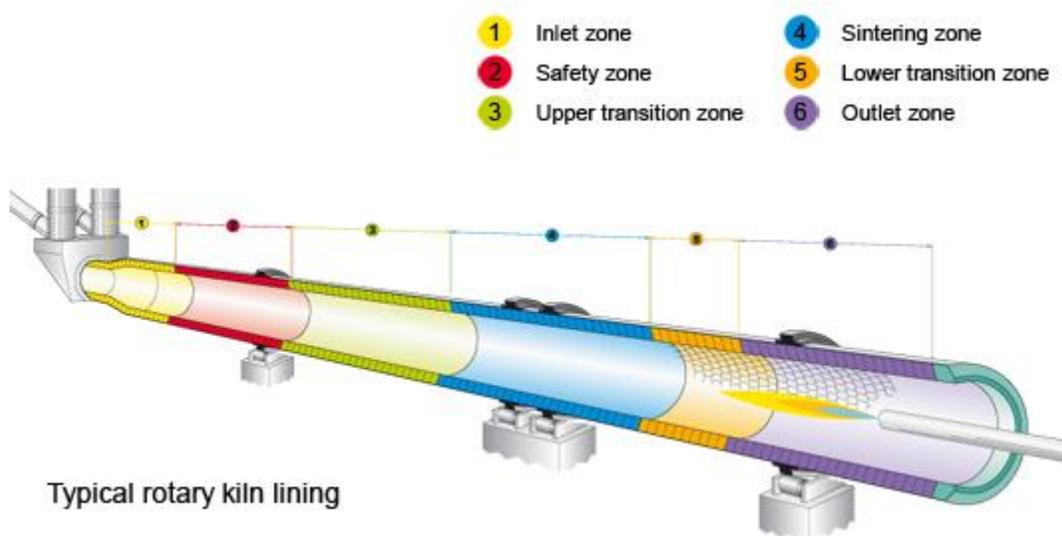


Figura 1.2.2. Refractario. Distribución por zona dentro del horno.

En la figura 1.2.2 se muestra la distribución del revestimiento del material refractante dentro del horno de acuerdo a la intensidad de la temperatura y el proceso físico – químico desarrollado en cada sección.

Antes de que el aire del proceso salga del horno, atraviesa una densa cortina de cadenas. Las cadenas tienen dos propósitos: 1) remover parte del polvo incorporado, y 2) actuar como mecanismo de transferencia de calor para retenerlo en el horno, tanto, como sea posible.

Después de dejar el horno, el aire es conducido hacia un sistema de control ambiental (Precipitador Electrostático/Casa de Bolsas) para remover las partículas suspendidas y dirigido finalmente a la chimenea. Las partículas en ese momento se encuentran en un rango de temperatura de 269 a 315 °C, razón por la cual, el uso de Casas de Bolsas ha sido por lo regular impráctico, sin embargo, algunas instalaciones lo utilizan introduciendo un sistema de enfriamiento por convección forzado, junto con una válvula de mariposa en caso de emergencia. En esencia todas las partículas son recolectadas, la incógnita surge con respecto a su eliminación.

Problemas ambientales asociados a la industria del cemento

La más grande dificultad ambiental que experimenta la industria del cemento es con respecto al manejo de los residuos de polvo, que se forma en el proceso proveniente del horno. Esto es particularmente cierto para aquellas plantas que emplean los procesos vía húmeda. Los problemas de contaminación del agua que tienen las plantas están generalmente asociados a la recolección y/o disposición del polvo. Por este motivo, la discusión se enfocará en el manejo y disposición del polvo.

Los procesos vía húmeda producen grandes cantidades de polvo, que deben ser recolectadas y eliminadas de alguna manera. La mayoría del polvo es generado dentro de la región de calcinación del horno, por lo tanto, químicamente está compuesto de materias primas parcialmente procesadas. El polvo tiende a tener un porcentaje más

grande de álcalis y trióxido de azufre (SO_3) que la lechada de alimentación, en algunas ocasiones, con un factor de 10 veces más, lo cual deriva en la dificultad de reutilizar estos residuos.

La cantidad de polvo generada depende de varios factores como del tipo y tamaño exacto del equipo de proceso, especialmente, del sistema en cadena, de las velocidades del aire del horno, del tipo de combustible (las plantas a base de carbón producen más polvo), de la composición y de los parámetros físicos asociados a la materia prima, del porcentaje de agua utilizado para producir la lechada (más agua reduce la producción de polvo), y del tamaño al que las materias primas son trituradas. De manera similar, ha habido muchas técnicas propuestas para reducir la cantidad de polvo que se genera. En una planta común la salida de polvo varía alrededor de las 150 a 250 toneladas/día/horno, dependiendo de la capacidad del horno. Hoy día, los lineamientos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés), demandan esencialmente que se recolecte el 100% del polvo. Esto se realiza usualmente a través de precipitadores electrostáticos. Medioambiental y económicamente, es sobremanera preferible reciclar este polvo nuevamente en el proceso, más que disponerlo usualmente como relleno.

Los mercados para este polvo (como por ejemplo, los fertilizantes) son limitados, aunque para algunos suelos pueda ser muy benéfico. Por ejemplo, a inicios de los años setenta, una planta en Iowa fue forzada (como muchas otras) por la EPA a dejar de emitir partículas de su chimenea. Este polvo había sido diseminado por muchos años sobre las tierras de cultivo de los alrededores. Después de la instalación de varios equipos, el problema fue solucionado, o al menos así lo consideró la planta. Sin embargo, los granjeros del área apreciaban que el polvo cayera en sus tierras, así que arremetieron contra la compañía, demandando que ésta continuara permitiendo la emisión del polvo. Los granjeros ganaron. La resolución de la controversia fue que la compañía debía recolectar y embolsar parte del polvo y hacerlo disponible de manera gratuita para los granjeros locales.

Composición típica del polvo de cemento	
Compuesto	Porcentaje
SiO ₂	14.70
Al ₂ O ₃	3.35
Fe ₂ O ₃	2.18
CaO	47.20
MgO	2.10
SO ₃	4.95
Na ₂ O ₃	0.90
K ₂ O	4.80
CO ₂	21.10

Los rellenos de polvo de cemento no son del tipo de los “rellenos sanitarios”. Usualmente son sólo viejas canteras o áreas similares. La relativa no reactividad de estos polvos, no demanda protección contra contaminación o precauciones similares. Los procedimientos de los vertederos son costosos en numerosos sentidos. El polvo ha tenido una inversión monetaria y de energía significativa en su producción, que literalmente se desperdiciaría si el polvo se tirara. Los lugares apropiados para la ubicación de vertederos cercanos a las plantas son cada vez más escasos, mientras que la cantidad de desperdicios crece. Muchos sitios tienen problemas ambientales, como la filtración del álcali del polvo debido a las lluvias. El polvo es de una densidad muy baja, por lo tanto, algunos terrenos pueden también ser peligrosos: si una persona o animal cayera accidentalmente dentro de un área recientemente rellena, se hundiría y rápidamente se asfixiaría.

Debido a las extremadamente grandes cantidades de polvo, generalmente formadas en la manufactura de cemento, es muy favorable para una planta reciclar su polvo dentro del mismo proceso.

En este momento existen tres maneras de volver a procesar el polvo:

- Mezclando el polvo con la lechada de alimentación. El método más simple y económico de ellos es el primero, mezclar el polvo con la lechada, pero esta técnica sólo tiene aplicabilidad limitada debido a las propiedades químicas del polvo residual y al procesamiento parcial que ha ocurrido. La mezcla cuaja parcialmente y atasca el extremo de alimentación del horno.
- Los sistemas de palas. Estuvieron muy en boga durante los años sesenta. La técnica tiene seguras ventajas teóricas, una de las cuales consiste en regresar el polvo a un lugar similar a donde se generó, proporcionando por lo tanto, de una manera muy coincidente en sus propiedades químicas a aquellos materiales de procesamiento normal, pero se experimentaron muchas dificultades prácticas. Pocas plantas actualmente utilizan sistemas de palas debido a la infiltración de aire en la ubicación de las palas, que llegan a alterar al horno.
- La insuflación. Es la técnica más común de todas las anteriores, y la más exitosa. El polvo es inyectado junto con el combustible dentro del horno en sentido paralelo a la flauta de inyección de combustible. La turbulencia extrema provocada por la flama, permite un tiempo de permanencia relativamente largo dentro de la región de 1500°C de la flama, aumentando la probabilidad de clinkerización del polvo, así como la interacción intermolecular, que lleva a la aglomeración y menor arrastre de polvo.

I.3 ¿Es redituable invertir en calidad ambiental?

Costos

Los costos monetarios para el control de la contaminación varían de industria a industria y de compañía a compañía, pero ninguna dirá seguramente, que cualquiera de los costos es insignificante. Un reporte de la EPA, “Inversión Medioambiental: Los Costos de un Limpio Entorno”, basado en un estudio que fue conferido por mandato del Estatuto de Aire Limpio (Clean Air Act) y del Estatuto de Agua Limpia (Clean Water

Act), resume los proyectos y los costos asociados a su cumplimiento para el año 2000. El estudio encontró que, en 1990, los EUA gastaron US\$115 mil millones/año, o el equivalente al 2.1% de su Producto Interno Bruto (PIB) en control de contaminación. Sin embargo, para el año 2000, este costo se incrementó a US\$185 mil millones (con una equivalencia de divisa a 1990), ó 2.8% del PIB.

Aunque los costos de control ambiental están continuamente incrementándose, lo han estado haciendo de manera descendente. Mientras que entre 1972 y 1973, el promedio del incremento era del 14%; para mediados de los años 80, oscilaba entre el 6 a 8%; y para finales de la década de 1990, ya se estimaba en cerca de un 3% por año.

El gran factor determinante en los costos de limpieza medioambiental es la amplitud de limpieza de emisiones. Esto aparenta ser cierto, no importando el tipo de contaminante y el método de limpieza utilizado.

- Cerca de 18 millones de toneladas de dióxido de azufre (SO₂) son emitidas anualmente en los EUA por compañías dedicadas a la industria y al consumo de primera necesidad. Se ha estimado que los costos para reducir esta cantidad serían: para una tercera parte (6 millones de toneladas de SO₂) costará US\$500/ton; para las siguientes 4 millones de toneladas de US\$900/ton; y para las siguientes 2 millones de toneladas, totalizando la reducción a dos tercios, ó 12 millones de toneladas, el costo sería de US\$1,400/ton.
- La industria de la pulpa y el papel gastó US\$30 mil millones entre 1970 y 1978 para reducir su problema de contaminación del agua a un 95%. Aunque, para alcanzar una remoción del 98% de los contaminantes para 1984 como estableció la EPA, y sucesivamente removerlos en otro 3% adicional requirió de una cantidad adicional estimada en US\$4.8 mil millones.

Costos no monetarios

Existe otro tipo de costos además de los monetarios que son de igual importancia. Cambiar el sistema de combustible de carbón de una planta a uno de bajo contenido de azufre, por ejemplo, fue la causa de que una cuarta parte de la plantilla de trabajo de una planta de carbón en Illinois fuese despedida.

Problemas Costo/Beneficio

Pocos serían aquellos que argumentarían en contra del hecho de que las regulaciones medioambientales son muy benéficas para nuestra sociedad y estilos de vida. Aunque, algunos no estarían de acuerdo pues también han sido muy costosas. El mayor problema, por lo tanto, es cómo obtener un “impacto mayor por nuestro dinero”.

Usualmente hay poco debate sobre las regulaciones cuando los efectos dañinos de un contaminante son grandes, inmediatos y cuando las sustancias en cuestión son rastreables, o incluso cuando exista la incógnita acerca de qué sustancia puede ser removida de un efluente mediante una técnica correctiva o un cambio de proceso. Las dificultades y dilemas son aparentes cuando una actividad altamente benéfica genera bajos niveles de contaminación de sustancias cuyos riesgos dañinos no han sido comprobados mediante estudios epidemiológicos y cuya eliminación resulta muy costosa. Enseguida esto se convierte entonces en un problema de análisis de riesgos.

Tendencias generales

Ser medioambientalista es buen negocio y buena política. Los intereses medioambientales se han convertido finalmente en parte estructural de muchas instituciones.

Las estrategias para reducir los contaminantes de las fuentes, en lugar de utilizar dispositivos de recolección al final del proceso, finalmente están “de moda”. Aunque los equipos de recolección han tenido algo de éxito, sufren siempre el problema de contaminar en lugar del aire, la tierra y al agua, y quizá de regreso. Más aún, la

tecnología basada en las regulaciones ha dejado muchos problemas mayores, como por ejemplo, cambio climático potencial y posiblemente el adelgazamiento de la capa estratosférica de ozono. Algunas de las regulaciones podrían haber sido contraproducentes, en la medida en que han impedido la innovación y han animado a las industrias a cumplir sólo con los mínimos requerimientos legales.

II. MODELO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE

II.1 Geometría general

La topología de la estructura en estudio será determinada por las características generales del filtro. En sentido transversal, es decir perpendicular a la entrada del aire, el común denominador son cuatro marcos. En sentido longitudinal, el número de compartimentos usualmente determinará el número necesario de marcos en la estructura, uno entre cada uno de ellos. Estos marcos se arriostrarán para tomar las fuerzas laterales generadas por las cargas accidentales.

Entonces, el sistema estructural se compondrá de marcos de acero ortogonales entre sí, arriostrados concéntricamente con elementos en forma de “X” o “V”, para tomar las acciones laterales producto de las cargas accidentales.

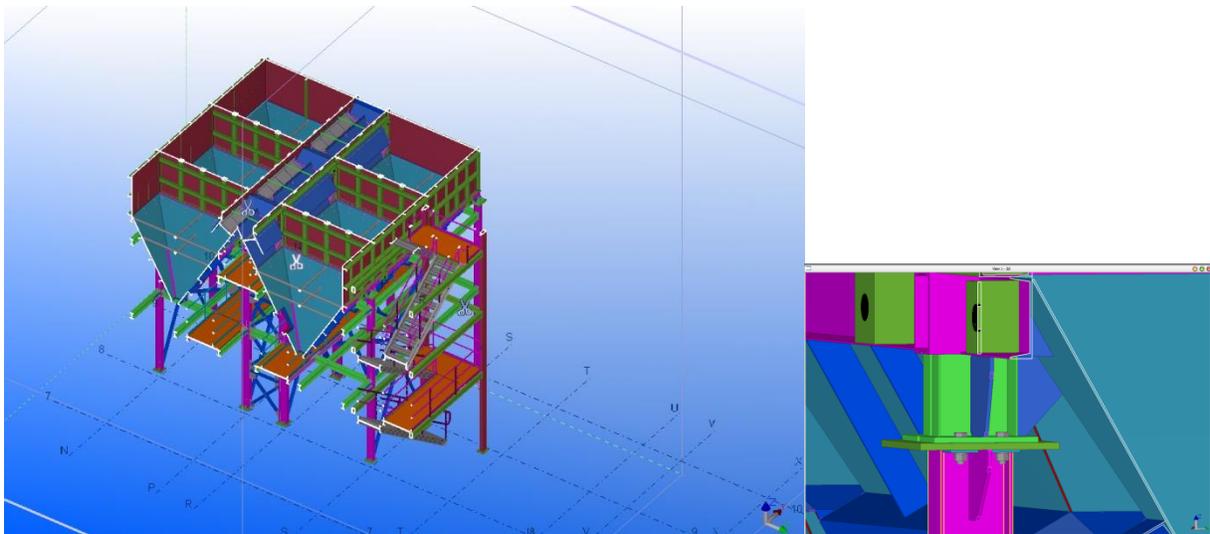


Figura 2.1.1. Corte transversal y detalle. Estructura de soporte con accesos, ensamblado a un equipo que muestra 6 cámaras de recuperación. Detalle de unión de filtro a estructura inferior, apoyo en arista superior de cada tolva.

Las cargas se transmiten a la estructura de soporte por medio de unas columnas cortas localizadas en las aristas de la base mayor de cada tolva, ver figura 2.1.1. Se supone que esta conexión proporcionará continuidad de los elementos mecánicos entre el equipo y la estructura de apoyo.

Para determinar una primera aproximación a la altura de la estructura se necesita conocer el nivel de piso terminado (NPT), la elevación del ducto de entrada (NID) y la altura del filtro.

La elevación del nivel de las plataformas de operación dependerá de dos factores, véase las figuras 2.1.2 y 2.1.3:

- El nivel de descarga de los transportadores localizados bajo las tolvas, estos pueden ser tornillos sinfín, de rastras, de banda, inclusive podría considerarse la posibilidad de descarga directa.
- La altura libre mínima requerida por seguridad.

Es obvio que los factores anteriores podrían modificar la altura determinada en primera instancia mediante el nivel de entrada del ducto y la altura del equipo. La diferencia generada, imperceptible quizá, representa mayor consumo eléctrico para el ventilador encargado de generar la carga negativa de presión en el sistema.

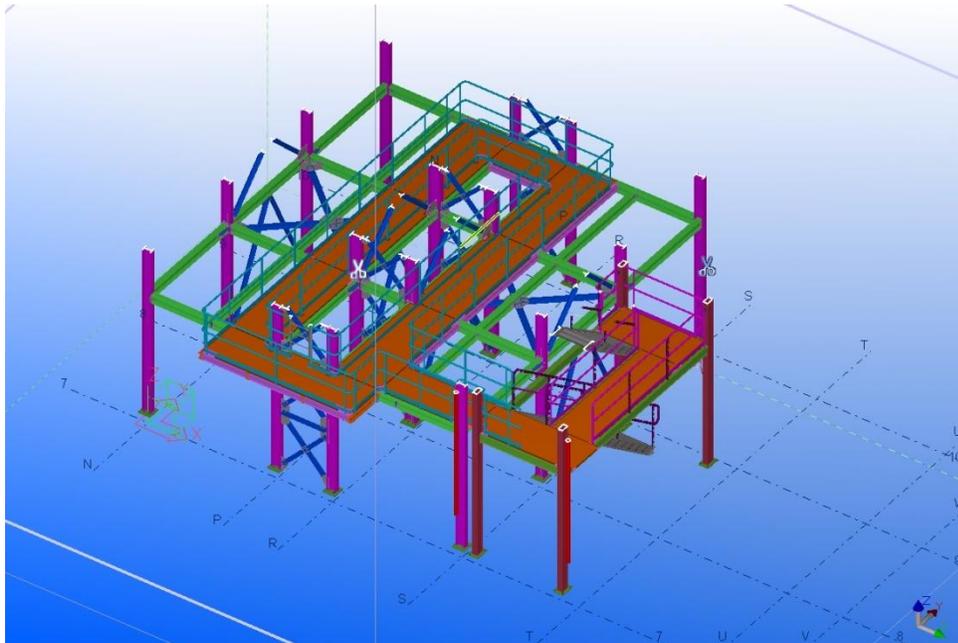


Figura 2.1.2. Vista general. Estructura de soporte.

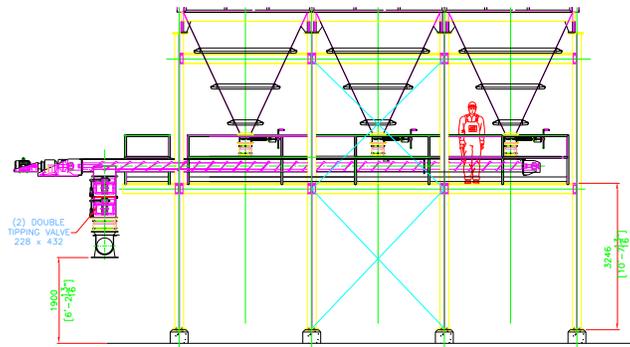


Figura 2.1.3. Vista lateral. Sistema de transporte mecánico, tornillos sinfín.

Considerando la figura 2.1.4 y tomando en cuenta que, de proyecto, el nivel de piso terminado es + 30.180 m, la elevación del centro de línea del ducto es NPT+10.550 m, y la altura entre el NID y la base del equipo es 3.670 m. La altura de la estructura de apoyo con base en lo anterior será de 6.880 m.

La altura de la descarga del transportador está considerada en NPT+3.700, este transportador presenta una altura entre la descarga y su base de 455 mm. Se requiere además de una segunda plataforma considerando una altura libre aproximada entre ambas de 2,900 mm.

En la figura 2.1.5 se muestra una vista en planta de las alineaciones de los ejes de columna para la estructura del caso en estudio. La distancia entre las alineaciones T y U es de 3300 mm, al igual que entre las alineaciones R y S. Entre las alineaciones U y R es de 1430 mm. En el sentido longitudinal se muestran tres crujeas equidistantes entre sí a 2920 mm.

En la figura 2.1.6 se muestra el modelo analítico tridimensional generado con la información anteriormente descrita, así como el sistema coordinado global utilizado, en donde el sentido longitudinal está representado por el eje X, el sentido transversal por el eje Z y el vertical Y representa la altura.

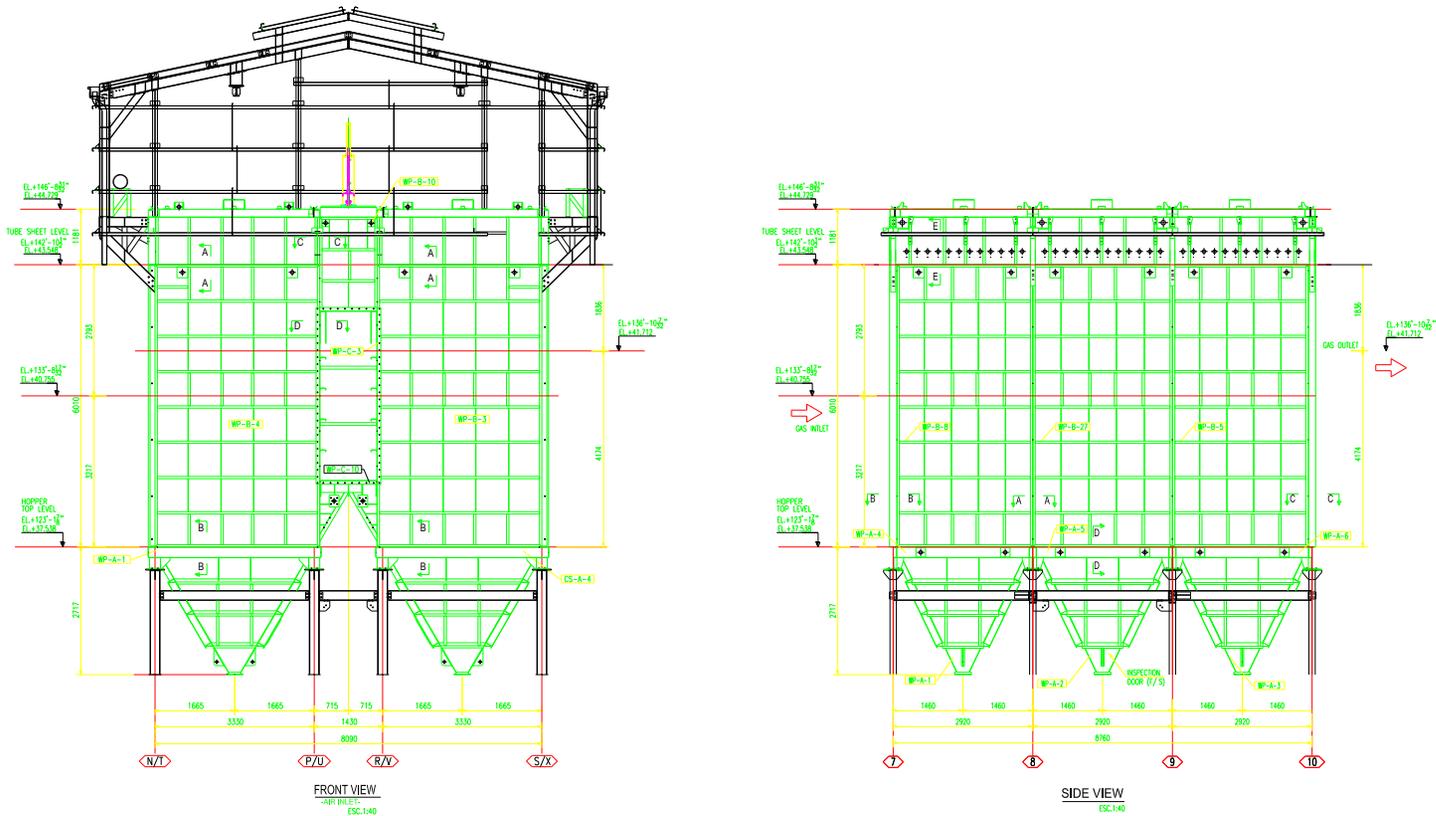


Figura 2.1.4. Dimensiones Generales de la Casa de Bolsas.
 Vista transversal. La distancia entre las alineaciones T/S y R/U 3300 mm y entre R y U 1430 mm, centro a centro.
 Vista longitudinal. 3 crujeas @ 2920 mm centro a centro, alineaciones 7 – 8 – 9 - 10.
 Altura Total. 18.802 m
 Altura de columna. 6580 mm.
 Nivel de descarga del transportador requerido. +33.880 m.
 Nivel de piso terminado. +30.180 m

 Tesis Profesional	
ANALISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	
Presentó: JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ	
Director de Tesis: M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega	
Concepto: Arreglo General	Dibujo: Alzados
Archivo: 70801.G.01	Escala: S/E
Aprobo:	Fecha: MAR/11

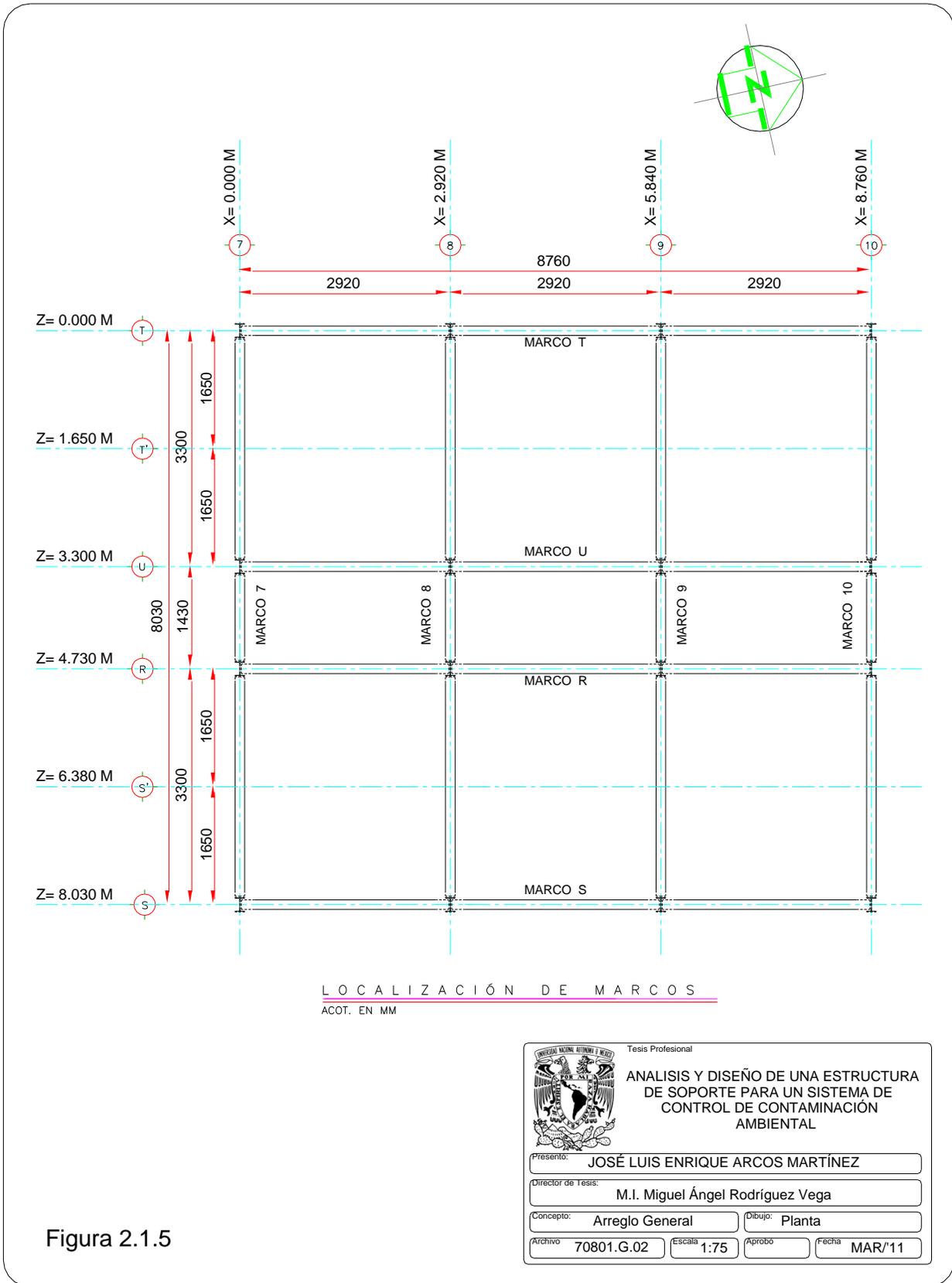


Figura 2.1.5

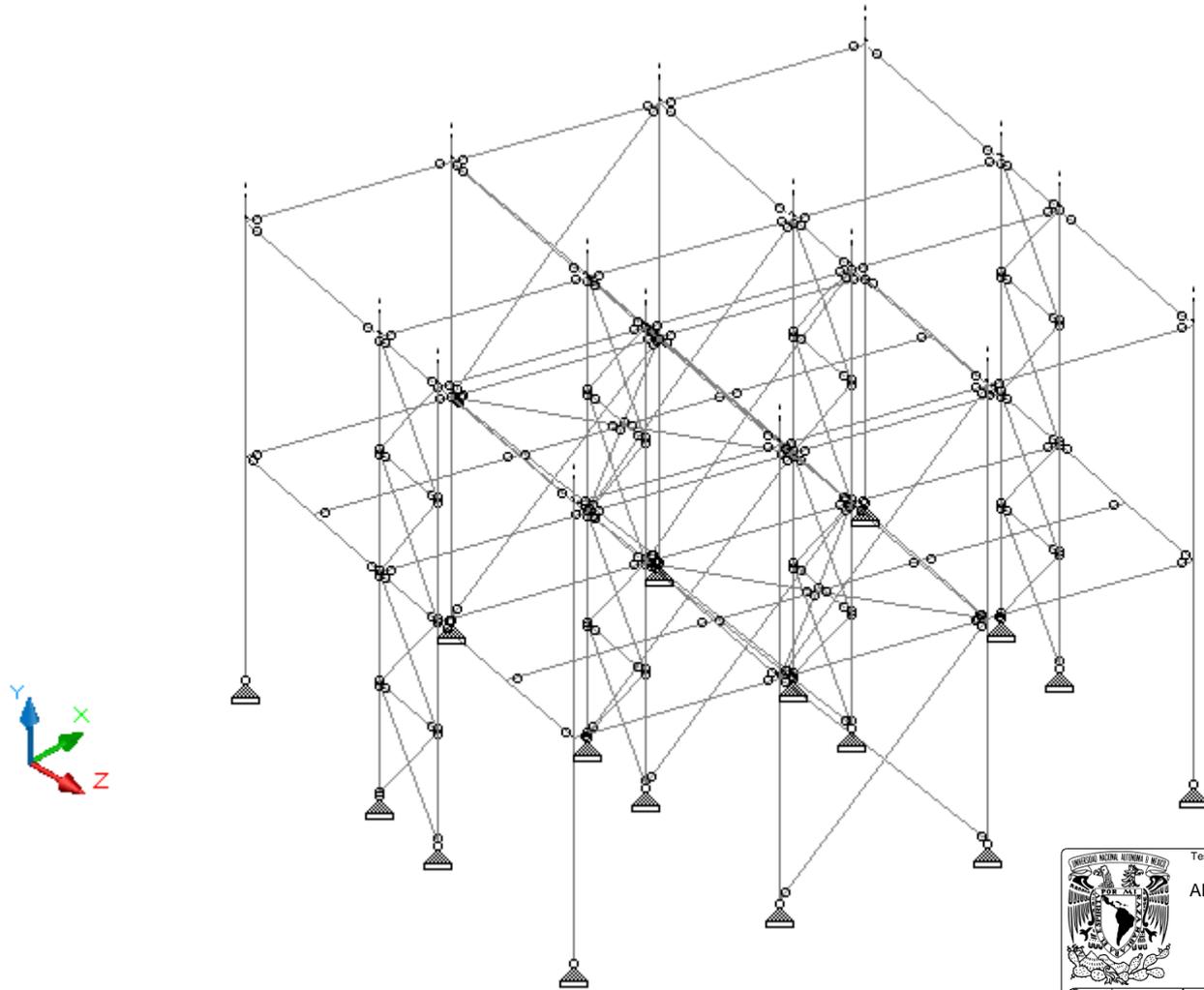


Figura 2.1.6
Modelo Analítico Tridimensional

				Tesis Profesional	
ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL					
Presentó: JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ					
Director de Tesis: M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega					
Concepto: Modelo Analítico			Dibujo: Isométrico		
Archivo: 70801.M.01		Escala: S/E	Aprobó:	Fecha: MAR/'11	

II.2 Materiales

Acero

Todos los materiales poseen ciertas propiedades las cuales debemos conocer para poder favorecer su correcto uso. Estas propiedades son esenciales para seleccionar el mejor material, para cualquier miembro estructural.

La mejor forma de definir estas propiedades es mediante una descripción de lo que sucede cuando un espécimen del material es sujeto a carga durante pruebas en laboratorio. La prueba a tensión, es una forma precisa y fácil de obtener las propiedades mecánicas más importantes para el diseño de estructuras y que se toman del diagrama esfuerzo – deformación a tensión.

Un diagrama típico esfuerzo – deformación de un acero estructural al carbono (Fig. 2.2.1) se caracteriza por la existencia de una zona inicial en la que los esfuerzos y deformaciones están relacionados entre sí linealmente (límite proporcional elástico, punto P), justamente después del límite de proporcionalidad, en Y, la curva disminuye su pendiente y el material se deforma con muy poco o ningún esfuerzo adicional. El esfuerzo para el cual comienza esta fluencia del material es denominado esfuerzo de fluencia. El material pasa enseguida por la llamada región plástica, donde tienen lugar deformaciones considerables sin incremento apreciable de esfuerzos, y termina en una región de endurecimiento por deformación, en la cual un incremento de deformación es nuevamente acompañado por un incremento de esfuerzo, alcanzando un valor máximo en U, denominado esfuerzo último. Después, desciende hasta la fractura en F.

Los aceros al carbono tratados y templados, al igual que los aceros de aleación, no exhiben un punto de fluencia bien definido como se indica en la figura 2.2.1.

Esfuerzo de fluencia (σ_y)

Es el esfuerzo para el cual termina la proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación. Corresponde al primer punto del diagrama esfuerzo-deformación para el cual la tangente a la curva es horizontal. Dicho de otra forma, es el esfuerzo mediante el cual se consigue un incremento en la deformación sin requerir un incremento de esfuerzo. Para propósitos comerciales ordinarios se asume que el límite elástico coincide con el esfuerzo de fluencia.

Recordemos que el Instituto Americano para la Construcción en Acero, AISC por sus siglas en inglés, ha hecho muy fácil conocer el esfuerzo de fluencia de cualquier acero a partir de la nomenclatura de su nombre. El A-36⁶, tiene un esfuerzo de fluencia de 36 ksi (36,000 psi), o su equivalencia en SI, 2,530 kg/cm² y el A-572 Grado 50, 50 ksi ó 3,515 kg/cm².

Módulo de elasticidad (E)

También llamado módulo de Young. Es la relación de esfuerzo a la deformación en la zona donde el esfuerzo es linealmente proporcional a la deformación.

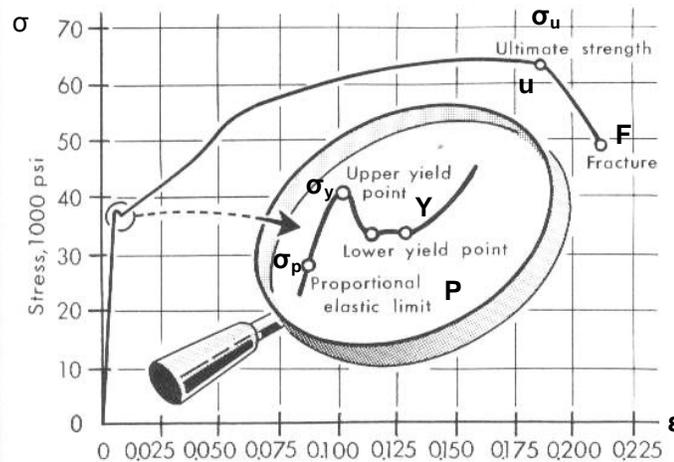


Figura 2.2.1. Gráfica Esfuerzo (σ) – Deformación (ϵ)

Cualquier acero posee un módulo de elasticidad a la tensión de aproximadamente 2,109,000 kg/cm² (30,000,000 psi). La AISC en sus especificaciones todavía utiliza un valor conservador de 2,039,000 kg/cm² (29,000,000 psi)⁷. El acero posee el valor más alto de módulo de elasticidad de cualquier metal comercialmente disponible en la industria de la construcción.

⁶ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. *Standard Specification for Carbon Structural Steel, A36/A36M*. United States of America: 2005. 3 p. Tabla 3.

⁷ BRESLER, LIN, SCALZI. *Design of Steel Structures*. New York: 1968, 56 p.

Relación de Poisson (μ)

Es la relación de la deformación unitaria transversal a la deformación unitaria longitudinal, bajo una carga axial dada. Este valor varía para el acero de 0.25 a 0.33 dentro del rango elástico. Para aceros estructurales, la AISC especifica para un valor de 0.3⁸.

⁸ INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO, A.C. *Manual de Construcción en Acero*. 4 ed. México: 2003. 22 p. ISBN 968-18-6116-7.

III. SOLICITACIONES

III.1 Cargas Gravitacionales

III.1.a. Cargas Muertas

Las cargas muertas consisten en el peso de todos los materiales de construcción incorporados en la edificación incluyendo, pero no limitado a muros, pisos, cubiertas, plafones, escaleras, módulos incorporados, terminados, revestimientos y otros elementos arquitectónicos y estructurales similarmente incorporados, así como equipos de servicio fijos incluyendo el peso de grúas.

• Penthouse	10,500 kg
• Pleno	23,200 kg
• Bolsas y Canastillas	9,300 kg
• Cuerpo	30,400 kg
• Compuertas de entrada	11,800 kg
• Tolvas	13,200 kg
• Transportadores y válvulas	8,900 kg
• Rejilla tipo Irving y barandales	4,000 kg
• Peso Propio Estructura	9,200 kg

III.1.b. Cargas Vivas

Son las cargas producidas por el uso y la ocupación de un edificio, que no incluyen cargas debidas a la construcción o medioambientales, tales como, cargas de viento, nieve, lluvia, sísmicas o muertas.

- Carga de Polvo. Tolvas llenas al 100%.
⁹Clinker, peso volumétrico de 1,410 kg/m³
- Carga de Polvo. Costra de 3 mm en mangas 8.837 kg/pieza
 (Diámetro de manga, 130mm. Longitud 5.00 m.1080 piezas)
- Andadores de mantenimiento ¹⁰CV_{Max} 500 kg/m²

⁹ MELI PIRALLA, Roberto: *Diseño Estructural*. 2da Edición. México: Ed. Limusa, 2001. 172 p. ISBN 968-18-5391-1

• Andadores	${}^{11}CV_{Red}$	350 kg/m ²
	${}^{12}CV_{Max}$	250 kg/m ²
	${}^3CV_{Red}$	150 kg/m ²
• Cubierta	${}^2CV_{Max}$	100 kg/m ²
	${}^3CV_{Red}$	40 kg/m ²

III.2 Cargas Accidentales

En esta categoría se encuentran las acciones que en forma excepcional pueden afectar a la estructura, es decir, no siempre están actuando.

III.2.a. Cargas por Sismo

La ubicación de la estructura será en la ciudad de Progreso, Guatemala.

Se aplicará el Reglamento de Construcción Internacional (IBC, por sus siglas en inglés) y Sociedad Americana de Ingenieros Civiles 7 (ASCE 7, por sus siglas en inglés), así como sus provisiones para determinar los espectros de diseño.

Los parámetros de aceleración máxima del terreno en roca para periodos cortos (0.2 segundos) y de un segundo del sitio son:

$$S_s = 1.50$$

$$S_1 = 0.75$$

S_s y S_1 son los parámetros que relacionan el riesgo sísmico, estos dependen de las coordenadas geográficas y de un factor de distancia, que es una medida de

¹⁰ AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS: *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. United States of America: 2006. 12 p. Table 4.1. ISBN 0-7844-0831-9

¹¹ AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS: *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. United States of America: 2006. 271 p. Reductions in Live Loads. ISBN 0-7844-0831-9

¹² AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS: *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. United States of America: 2006. 274 p. Table C4.1. ISBN 0-7844-0831-9

la distancia relativa a las fuentes generadoras de temblores en función de la intensidad sísmica. S_s , es la aceleración máxima para periodos cortos, usualmente del orden de 0.2 segundos. S_1 , es la aceleración máxima para periodos de un segundo.

Categoría de ocupación del edificio¹³

Una estructura puede ser clasificada en función de su ocupación o importancia, en una categoría posible de cuatro. La ASCE define estas categorías en la tabla 1-1.

Categoría I. Edificios y estructuras que representan un bajo peligro para la vida humana en caso de falla.

Categoría II. Todos los edificios y estructuras, excepto las mencionadas en las categorías I, III y IV.

Categoría III. Edificios y estructuras que representen un riesgo considerable para la vida humana, además de aquellas con potencial de causar un considerable impacto económico y/o una interrupción masiva en las actividades cotidianas de la población civil en caso de falla.

Categoría IV. Edificios y estructuras designadas como instalaciones esenciales y/o de alto peligro, por la peligrosidad de las sustancias que manejan dentro de ellas.

Tal cual se define y de acuerdo a la importancia de la estructura para la cual se utilizará, podemos catalogarla dentro de la categoría III.

Categoría del sitio¹⁴

¹³ AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS: *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. United States of America: 2006. 3 p. ISBN 0-7844-0831-9

¹⁴ INTERNATIONAL CODE COUNCIL, INC.: *2009 International Building Code*. United States of America: 2009. 340 p. ISBN 978-1-58001-725-1

De acuerdo a las características físicas de un suelo específico, determinadas mediante pruebas estandarizadas, se clasifica un determinado sistema de estratos de suelo. La combinación de estos estratos, le otorgan al sitio una capacidad determinada para restringir o amplificar la propagación de ondas sísmicas a través de ellos.

Las estructuras catalogadas en categoría I, II ó III, localizadas donde el mapeo de la aceleración de respuesta espectral para el parámetro de periodo de 1 segundo (S_1), es mayor o igual que 0.75, deberán ser asignadas dentro de la categoría E.

Una vez determinada la categoría del terreno, se procederá a determinar los coeficientes para calcular las aceleraciones del máximo espectro de diseño sísmico considerado (MCE por sus siglas en inglés).

$$S_{MS} = F_a S_S$$

$$S_{M1} = F_V S_1$$

F_a , coeficiente de suelo para periodos cortos

F_V , coeficiente de suelo para periodo de 1 segundo

Los valores de los coeficientes de F_a y F_V para las distintas categorías de terreno se encuentran tabulados en las tablas 1613.5.3(1) y 1613.5.3(2)¹⁵

Para nuestro caso, los coeficientes de suelo son:

$$F_a = 0.9$$

$$F_V = 2.4$$

¹⁵ INTERNATIONAL CODE COUNCIL, INC.: 2009 *International Building Code*. United States of America: 2009. 341 p. ISBN 978-1-58001-725-1

Espectro de diseño¹⁶

Ahora, definiremos el espectro de diseño para los datos del sitio de interés por medio de las siguientes expresiones en función del periodo.

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0}\right), & \text{para } T \leq T_0 \\
 S_a &= S_{DS}, & \text{para } T_0 \leq T \leq T_S \\
 S_a &= \frac{S_{D1}}{T}, & \text{para } T_S \leq T \leq T_L \\
 S_a &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2}, & \text{para } T > T_L \\
 T_0 &= 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 T_S &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 S_{DS} &= \frac{2}{3} S_{MS} \\
 S_{D1} &= \frac{2}{3} S_{M1}
 \end{aligned}$$

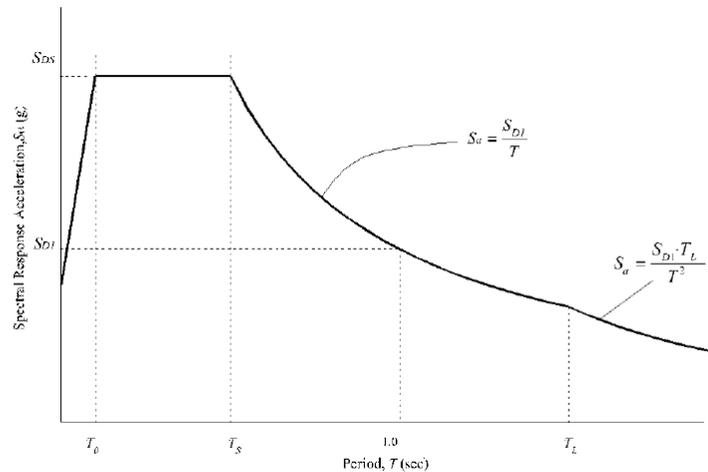


Figura 3.1. Espectro de diseño (Figura 11.4-1, ASCE. Página 115)

¹⁶ AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS: *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. United States of America: 2006. 115 p. ISBN 0-7844-0831-9

Calculemos las expresiones anteriores para obtener nuestro espectro de diseño, en la figura 3.2 se muestra el espectro de diseño para el sitio de interés:

$$S_{MS} = 1.35g$$

$$S_{M1} = 1.80g$$

$$S_{DS} = 0.90g$$

$$S_{D1} = 1.20g$$

$$T_0 = 0.267 s$$

$$T_S = 1.333 s$$

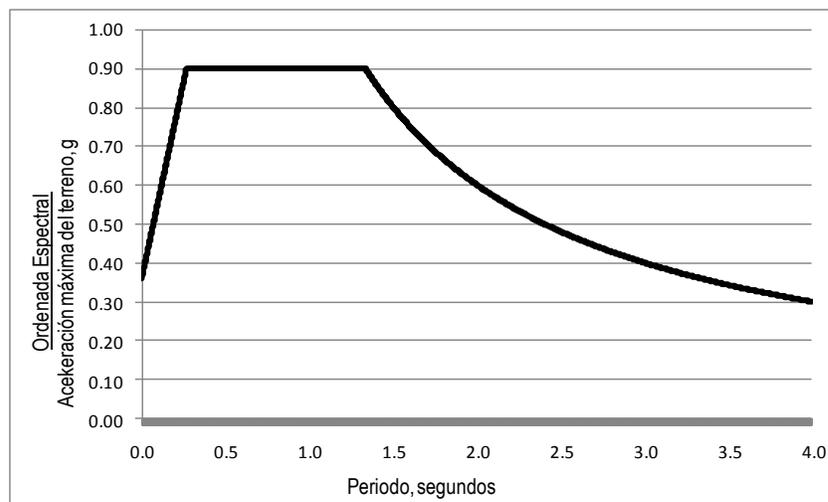


Figura 3.2. Espectro de diseño. Progreso, Guatemala.

Procedimiento de la fuerza lateral equivalente¹⁷

Este método se enfoca en determinar la fuerza cortante en la base de una estructura (“Cortante Basal”) a partir de su fuerza de inercia, que se induce en un sistema equivalente de un grado de libertad. Esta fuerza se distribuirá en un sistema de fuerzas equivalente a lo largo de la altura, obviamente se supone que vibrará en su primer modo natural.

¹⁷ AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS: *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. United States of America: 2006. 129 p. ISBN 0-7844-0831-9

El cortante basal, V , en cualquier dirección puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$V = C_S W$$

Donde, W es el peso por sección, y C_S se define como el coeficiente de respuesta sísmica y se determinará de acuerdo a la siguiente expresión:

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I}}$$

Donde, I es el factor de importancia de la estructura definidos en la tabla 11.5-1¹⁸, para estructuras del grupo III, es 1.25, y R es el factor de respuesta sísmica, los valores de R están tabulados en la tabla 12.2-1¹⁹ de acuerdo a los materiales utilizados, el sistema estructural empleado y su detallado. Los requisitos para los diferentes tipos de estructuraciones se encuentran contenidos en el anexo AISC 341²⁰. Para nuestra estructura el factor de respuesta sísmica será de 6 en ambas direcciones (X y Z).

Se deberá revisar que el valor calculado de C_S no exceda las siguientes restricciones.

$$C_S = \frac{S_{D1}}{T^R}, \quad \text{para } T \leq T_L$$

$$C_S = \frac{S_{D1} T_L}{T^{2R}}, \quad \text{para } T > T_L$$

$$C_S \geq 0.01$$

¹⁸ AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS: *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. United States of America: 2006. 116 p. ISBN 0-7844-0831-9

¹⁹ AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS: *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. United States of America: 2006. 120 p. ISBN 0-7844-0831-9

²⁰ AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, INC : *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. United States of America:2006.

$$C_S \geq \frac{0.5S_1}{\frac{R}{I}}, \quad \text{para cuando } S_1 \geq 0.6$$

Resolviendo para nuestro caso el valor de C_S es:

$$C_S = 0.1875g$$

Ahora, revisamos para comprobar que cumplimos con las restricciones.

Para aproximar el periodo fundamental de la estructura utilizaremos las consideraciones de la sección 12.8²¹. Los valores de la tabla 12.8-2 están basados en el sistema sismo resistente de la estructura. Nuestro sistema se basa en marcos de acero arriostrados concéntricamente para resistir las fuerzas laterales. Tomaremos los valores de:

$$T_a = C_t h_a^x, \quad h_a \text{ es la altura total de la estructura}$$

$$h_a = 18.802 \text{ m}$$

$$C_t = 0.0731$$

$$x = 0.75$$

$$T_a = 0.66 \text{ s}$$

Ahora que hemos obtenido el periodo de la estructura podemos corregir la aceleración de respuesta espectral, ya que el periodo fundamental obtenido se encuentra dentro de la sección lineal constante del espectro de diseño. Entonces, $S_a = S_{DS}$, por lo que no hay decremento de la aceleración espectral:

$$C_S = 0.1875g$$

$$C_S < 0.379g, \quad \text{ya que } T_a < T_L$$

$$C_S \geq 0.0781g$$

²¹ AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS: *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. United States of America: 2006. 129 p. ISBN 0-7844-0831-9

Se cumplen todas las restricciones.

El efecto de la torsión se produce por la distribución de fuerzas horizontales en un mismo plano, generando un momento M_T , resultado de la excentricidad entre el centro de masa y el centroide de rigideces.

Entonces, la excentricidad a considerar será tal cual define el reglamento, la suma de la excentricidad inherente, más una excentricidad accidental²² equivalente al cinco por ciento (5%) de la dimensión perpendicular de la estructura a la dirección de las fuerzas aplicadas.

Por lo que las expresiones a utilizar para el cálculo de las excentricidades son:

$$e = e_c \pm 0.05b$$

$$e = e_c$$

donde,

$$e_{c_x} = X_M - X_T$$

$$e_{c_z} = Z_M - Z_T$$

Mediante el uso del programa Análisis y Diseño Estructural Pro (STAAD.Pro, por su nombre comercial en inglés) se determinó el centro de masa de toda la estructura, obteniendo que la coordenada en donde se encuentra ubicado es (ver figuras 2.1.6 y 2.1.7 en páginas 40 y 41 para referencia visual):

$$(X_M, Z_M) = (4.390, 4.010) \text{ m}$$

Para determinar el centroide de rigideces, primero determinaremos la rigidez de cada marco. Se aplicará una carga horizontal determinada, generando así un desplazamiento particular a la rigidez de cada marco.

²² AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS: *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. United States of America: 2006. 130 p. ISBN 0-7844-0831-9

Conociendo la fuerza aplicada y el desplazamiento relativo a esa fuerza, se puede obtener la rigidez utilizando la siguiente expresión:

$$R_i = \frac{F_i}{\Delta_i}$$

Finalmente el centroide de rigideces se determinará mediante las siguientes expresiones:

$$X_T = \frac{\sum R_{iz} x_i}{\sum R_{iz}} \qquad Z_T = \frac{\sum R_{ix} z_i}{\sum R_{ix}}$$

A continuación se concentran los resultados obtenidos del planteamiento descrito anteriormente:

Marcos en sentido longitudinal (XY)			
Alineación	Fuerza	Desplazamiento	Rigidez
	(Kg)	(cm)	(Kg/cm)
T	1000	0.0673	14858.84
U	1000	0.0674	14836.79
R	1000	0.0674	14836.79
S	1000	0.0673	14858.84
$\Sigma =$			59391.26

Marcos en sentido transversales (ZY)			
Alineación	Fuerza	Desplazamiento	Rigidez
	(Kg)	(cm)	(Kg/cm)
7	1000	0.1866	5359.06
8	1000	0.1323	7558.58
9	1000	0.1323	7558.58
10	1000	0.1866	5359.06
$\Sigma =$			25835.28

Tabla 3.1. Tabla de rigidez lineal por alineación

De la figura 3.4 a la figura 3.6 se muestra la configuración deformada de cada marco para las diferentes alineaciones de columnas, la carga aplicada y el desplazamiento obtenido.

De lo anterior obtenemos que el centroide de rigideces está ubicado en la coordenada:

$$(X_T, Z_T) = (4.380, 4.015) \text{ m}$$

La excentricidad inherente por lo tanto es:

$$e_x = 0.010 \text{ m}$$

$$e_z = 0.005 \text{ m}$$

La excentricidad accidental será:

$$e_x = 0.4015 \text{ m}$$

$$e_z = 0.4380 \text{ m}$$

Antes de realizar el análisis sísmico estático es conveniente tabular las masas con respecto a su ubicación, para representar de mejor forma su distribución respecto a la altura y así obtener el Cortante Basal.

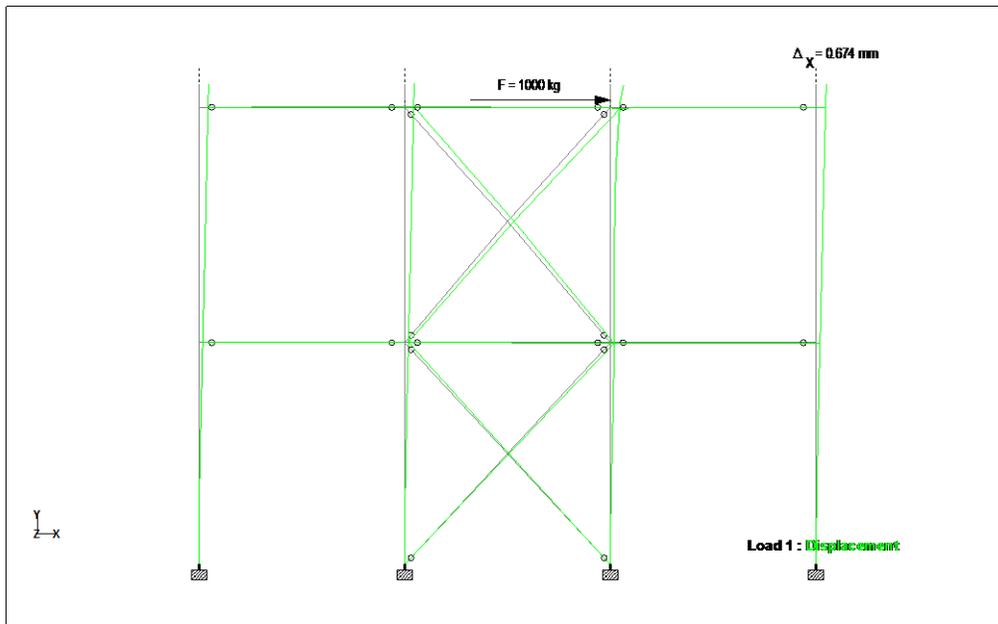


Figura 3.3. Marco tipo, alineaciones U y R.

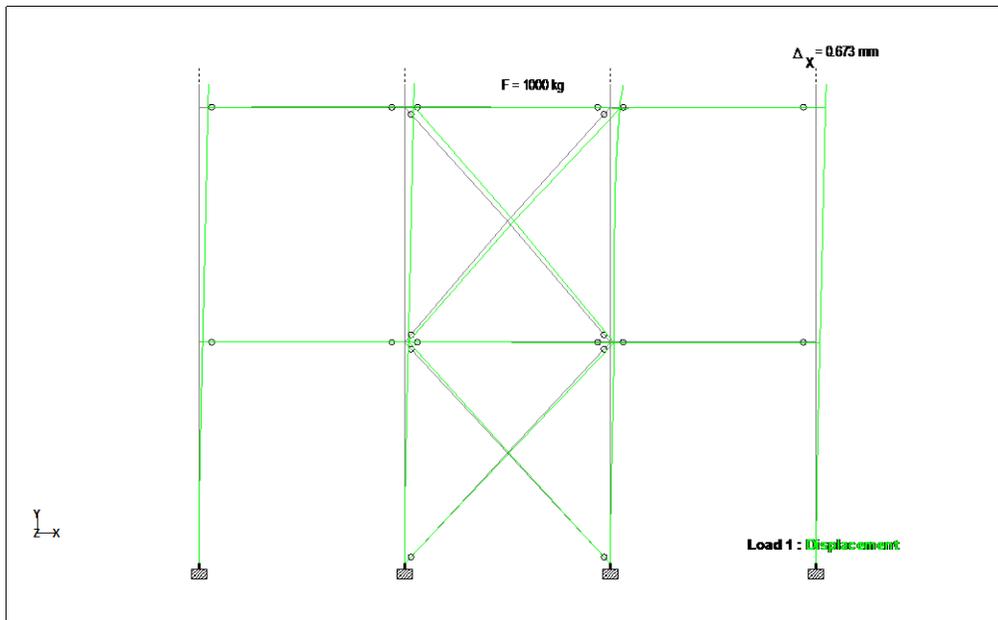


Figura 3.4. Marco tipo, alineaciones T y S.

			
Tesis Profesional			
ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL			
Presentó: JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ			
Director de Tesis: M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega			
Concepto:	Desplazamientos	Dibujo:	Marcos T, U, R y S
Archivo:	70801.M.02	Escala:	S/E
Aprobo:		Fecha:	MAR/11

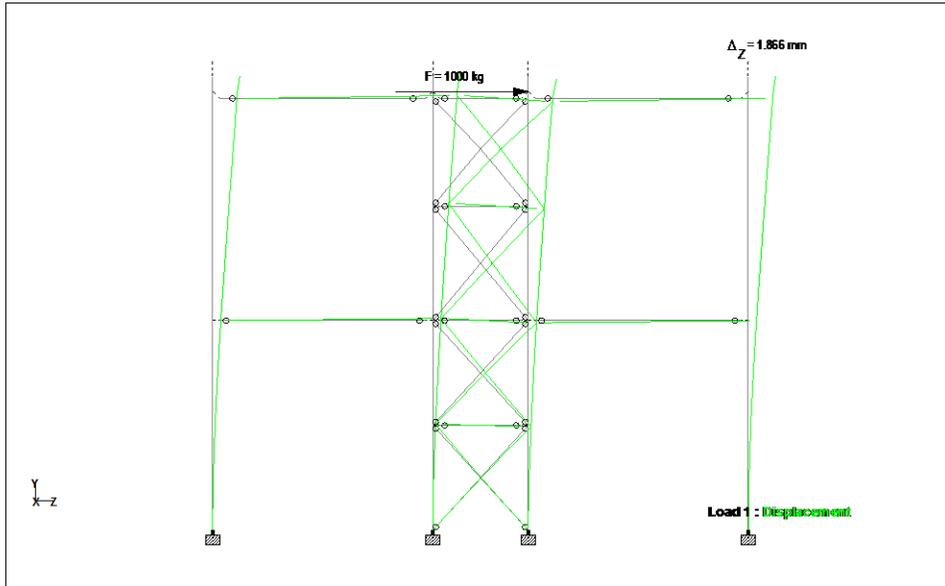


Figura 3.5. Marco tipo, alineaciones 7 y 10.

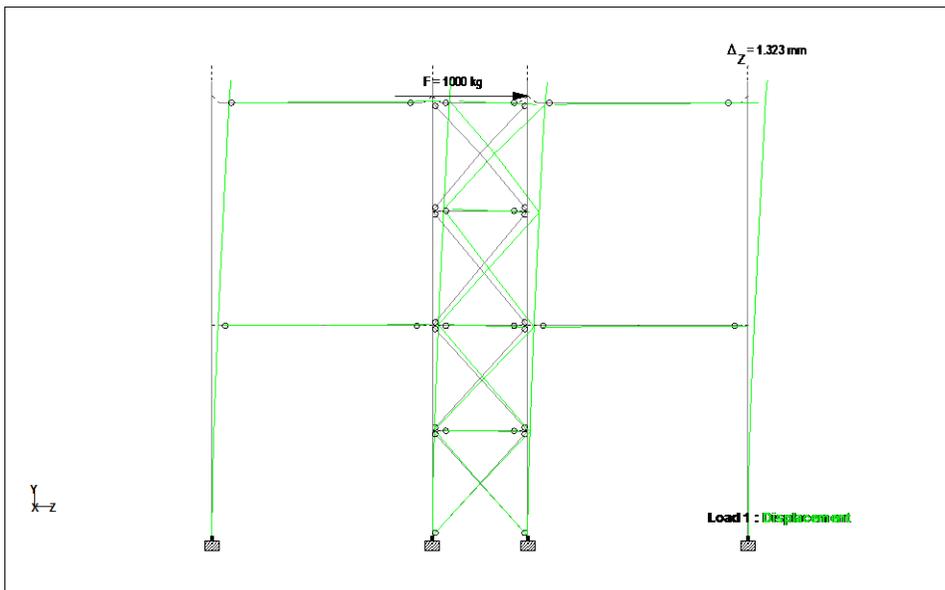


Figura 3.6. Marco tipo, alineaciones 8 y 9.

Tesis Profesional

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Presenta: **JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ**

Director de Tesis: **M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega**

Concepto: **Desplazamientos** Dibujo: **Marcos 7, 8, 9 y 10**

Archivo: **70801.M.03** Escala: **S/E** Aprobó: Fecha: **MAR/11**

En la tabla 3.2 se muestra un esquema con algunos datos importantes para el análisis a desarrollar.

La figura 3.7 muestra el cálculo desarrollado para la cuantificación de la carga de polvo considerad dentro de las tolvas y su centro de masa desde el NPT+0.000.

En la tabla 3.3 se muestra la distribución de cargas actuantes por sección dentro del sistema junto con su punto de aplicación. Se muestran las cargas para las condiciones de carga muerta, carga viva y carga viva reducida.

En la tabla 3.4 se muestra el cálculo para la obtención de una fuerza equivalente a la fuerza sísmica efectiva actuante (Carga Muerta + Carga Viva reducida) y su centro de masa.

El cálculo del peso de polvo dentro de las tolvas se muestra en la figura 3.3.

DATOS DEL EQUIPO :

ALTURA DE PENTHOUSE:	4.240	m
ALTURA DE PLENO:	1.219	m
ALTURA DE CUERPO:	6.010	m
ALTURA DE TOLVA:	2.667	m
PATA DE TOLVA:	0.453	m
ALTURA 2° NIVEL DE PLATAFORMA	6.095	m
ALTURA 1° NIVEL DE PLATAFORMA	3.187	m
ALTURA DE ESTRUCTURA:	6.580	m
ALTURA PLACA BASE:	0.300	m

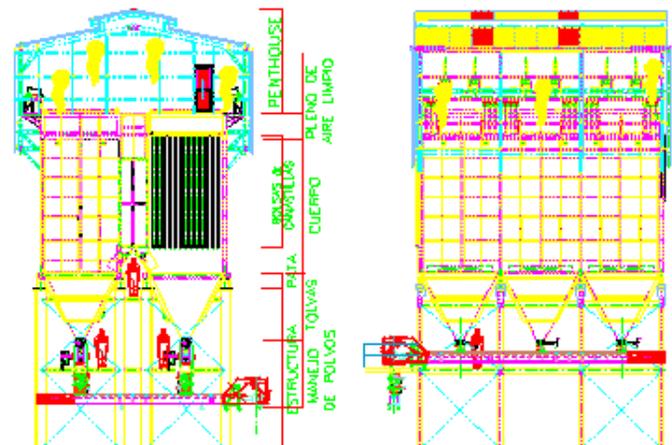


Tabla 3.2. Información general del equipo.

Calculemos el cortante basal

$$V = 165,762 \times 0.1875 = 31,080.4 \text{ kg}$$

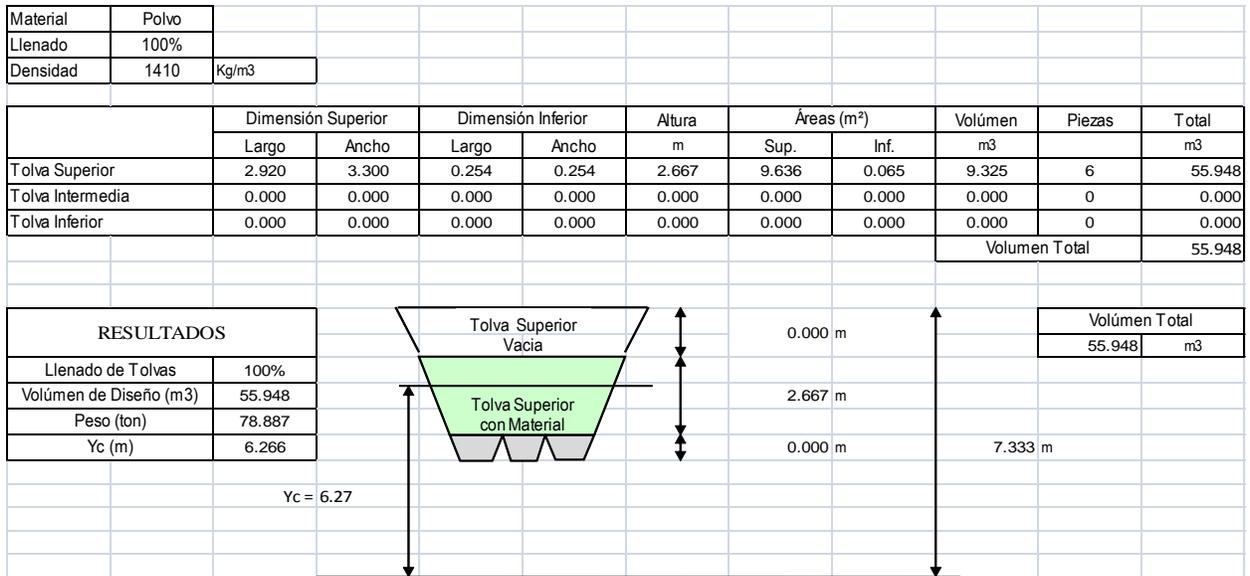


Figura 3.7. Cálculo de la carga de polvo en tolvas y centro de masa.

SECCIÓN	CM (Kg)	*Centro de Masa (m)	CV (Kg)	*Centro de Masa (m)	CVr (Kg)	*Centro de Masa (m)
Penthouse	10,500	16.620	10,876	17.507	4,350	17.507
Pleno	23,200	14.010	14,586	14.224	10,210	14.224
Bolsas y Canastillas	9,300	10.707	9,544	10.707	9,544	10.707
Cuerpo	30,400	10.170				
Compuertas de entrada	11,800	7.930				
Tolvas	13,200	6.260	78,887	6.266	39,444	6.266
Transportadores y válvulas	8,900	4.334	4,250	4.334	4,250	4.334
Plataforma de Servicio 1°N	2,490	3.092	16,336	3.092	11,435	3.092
Plataforma de Servicio 2°N	790	6.000	2,300	6.000	1,380	6.000
Plataforma de Acceso 3°N	720	10.177	1,540	10.177	924	10.177
Acumulados	111,300		138,319		81,537	

Tabla. 3.3. Fuerzas y centro de masa para Carga Muerta, Carga Viva y Carga Viva Reducida.

Determinemos el sistema de fuerzas actuantes en cada eje resistente mediante el análisis sísmico estático. Se calculará para la excentricidad que genera la condición más desfavorable

$$e_x = 0.01 \text{ m}$$

$$e_z = 0.443 \text{ m}$$

SECCIÓN	CM + CVr		
	Wi	hi	Wi x hi
Penthouse	10,500	16.620	174,510
	4,350	17.507	76,155
Pleno	23,200	14.010	325,032
	10,210	14.224	145,227
Bolsas y Canastillas	9,300	10.707	99,575
	9,544	10.707	102,188
Plataforma de Acceso 3°N	720	10.177	7,327
	924	10.177	9,404
Cuerpo	30,400	10.170	309,168
			0
Compuertas de entrada	11,800	7.930	93,574
			0
Tolvas	13,200	6.260	82,632
	39,444	6.266	247,153
Plataforma de Servicio 2°N	790	6.000	4,740
	1,380	6.000	8,280
Transportadores y válvulas	8,900	4.334	38,573
	4,250	4.334	18,420
Plataforma de Servicio 1°N	2,490	3.092	7,699
	11,435	3.092	35,357
Acumulados	165,762		1,785,013

Fuerza Resultante equivalente (kg)	
CM + CVr =	165,762

Centro de Masa (m)	
Yc =	10.769

Tabla 3.4. Cálculo de fuerza equivalente Carga Muerta + Carga Viva Reducida y centro de masa.

Análisis sísmico estático longitudinal, X

Eje	Rix	Vd (kg)	Yi	Yit	RixYit	RixY ² it	Vt	Vtotal
T	14858.840	7775.870	0.000	-4.015	-59658.243	239527.844	-1122.040	6653.830
U	14836.790	7764.330	3.300	-0.715	-10608.305	7584.938	-199.519	7564.812
R	14836.790	7764.330	4.730	0.715	10608.305	7584.938	199.519	7963.849
S	14858.840	7775.870	8.030	4.015	59658.243	239527.844	1122.040	8897.909
	59391.26	31080.4				494225.564		31080.4

Análisis sísmico estático longitudinal, X

Eje	Riz	Vd (kg)	Xi	Xit	RiyXit	RiyX ² it	Vt	Vtotal
7	5359.060	6447.065	0.000	-4.380	-23472.683	102810.351	-9.965	6437.100
8	7558.580	9093.135	2.920	-1.460	-11035.527	16111.869	-4.685	9088.450
9	7558.580	9093.135	5.840	1.460	11035.527	16111.869	4.685	9097.820
10	5359.060	6447.065	8.760	4.380	23472.683	102810.351	9.965	6457.030
	25835.3	31080.4				237844.4		31080.4

Tabla. 3.5. Análisis sísmico estático

Definamos la excentricidad (Δy) entre el centro de masa y la estructura para calcular el momento de volteo.

$$\Delta y = 10.769 - 6.880$$

$$\Delta y = 3.889 \text{ m}$$

Paso siguiente, distribuir el cortante total de acuerdo al área tributaria de cada columna, así como el efecto de volteo generado por la excentricidad del centro de masa con la estructura.

Expresando en forma matricial podemos representar el porcentaje que recibe cada columna, entonces:

- $A_{ij} = \frac{a_i b_j}{A_t}$
- $A_t = 8.76 \times 8.03 = 70.343 \text{ m}$
- a_i es la dimensión tributaria en X, expresada en metros
- b_j es la dimensión tributaria en Z, expresada en metros
- $a_1=a_4=1.46 \text{ m}$, $a_2=a_3=2.92 \text{ m}$
- $b_1=b_4=1.65 \text{ m}$, $b_2=b_3=2.365 \text{ m}$

$$\bullet A_{ij} = \begin{bmatrix} 0.0342 & 0.0685 & 0.0685 & 0.0342 \\ 0.0491 & 0.0982 & 0.0982 & 0.0491 \\ 0.0491 & 0.0982 & 0.0982 & 0.0491 \\ 0.0342 & 0.0685 & 0.0685 & 0.0342 \end{bmatrix}$$

Ahora, realizando el producto escalar $V_i \cdot A_{ij}$, obtenemos la distribución de fuerzas para ambos sentidos ortogonales actuando sobre cada columna.

$$\bullet F_{xzij} = V_i \cdot A_{ij}$$

$$\bullet \quad F_{xz_{ij}} = \begin{bmatrix} 1108.97 & 2217.94 & 2217.94 & 1108.97 \\ 1260.80 & 2521.60 & 2521.60 & 1260.80 \\ 1327.31 & 2654.62 & 2654.62 & 1327.31 \\ 1482.98 & 2965.97 & 2965.97 & 1482.98 \end{bmatrix}$$

$$\bullet \quad F_{zx_{ij}} = V_i \cdot A_{ij}$$

$$\bullet \quad F_{zx_{ij}} = \begin{bmatrix} 1322.69 & 1867.49 & 1867.49 & 1322.69 \\ 1895.86 & 2676.74 & 2676.74 & 1895.86 \\ 1895.86 & 2676.74 & 2676.74 & 1895.86 \\ 1322.69 & 1867.49 & 1867.49 & 1322.69 \end{bmatrix}$$

Análogamente, calcularemos la distribución de fuerzas verticales que representen el efecto de volteo.

Sentido longitudinal "X"

Necesitamos descomponer el momento de volteo (M_V) en un sistema de fuerzas equivalente (F_{yx_i}).

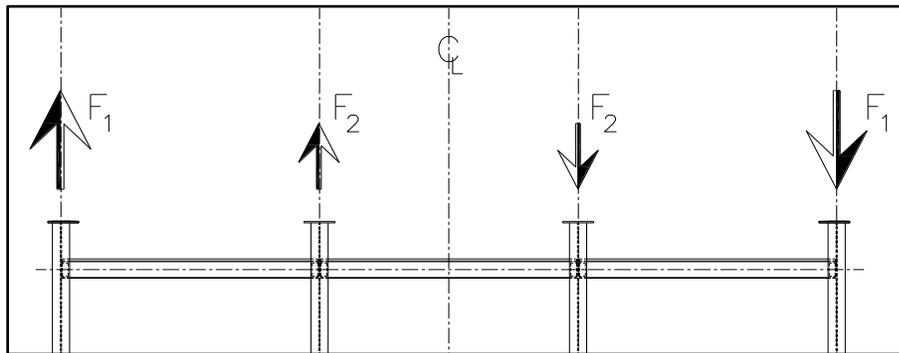


Figura 3.8. Vista longitudinal de la sección de apoyo.

$$\bullet \quad F_{yx_i} = [F_1 \quad F_2 \quad -F_2 \quad -F_1]$$

Utilizaremos las ecuaciones fundamentales de la estática para obtener las magnitudes de las fuerzas. Sea d_1 y d_2 la mínima distancia entre F_1 , F_2 , y el eje de simetría respectivamente. Y, $d_1 = 3d_2$, entonces:

- $M_V = 2 (4.38 \cdot F_1 + 1.46 \cdot F_2)$
- $F_1 = 3F_2$

Resolviendo las ecuaciones anteriores para cada alineación, obtenemos que el sistema de fuerzas es:

$$\bullet \quad Fy_{x_{ij}} = \begin{bmatrix} 2658.6 & 886.2 & -886.2 & -2658.6 \\ 3022.6 & 1007.5 & -1007.5 & -3022.6 \\ 3182.0 & 1060.7 & -1060.7 & -3182.0 \\ 3555.2 & 1185.1 & -1185.1 & -3555.2 \end{bmatrix}$$

Sentido transversal "Z"

Análogamente resolvamos para obtener $Fy_{z_{ij}}$.

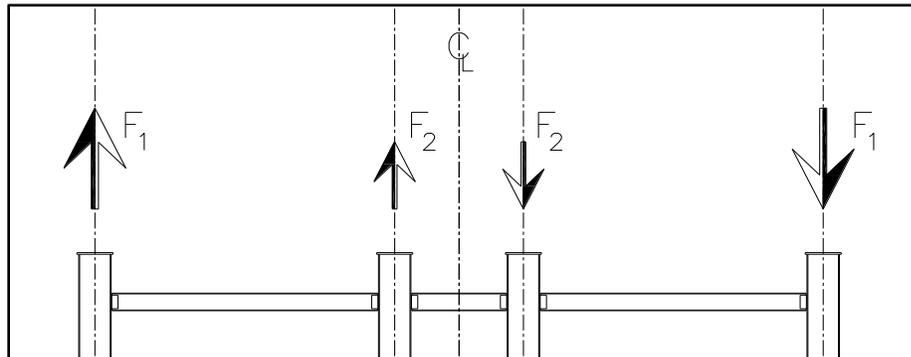


Figura 3.9. Vista transversal de la sección de apoyo.

- $Fy_{z_i} = [F_1 \quad F_2 \quad -F_2 \quad -F_1]$
- $M_V = 2F_1 \cdot d_1 + 2F_2 \cdot d_2$
- $F_1 = d_1 \cdot F_2 / d_2$

Sea d_1 y d_2 , la mínima distancia entre F_1 , F_2 y el eje de simetría en el plano ZY respectivamente.

Resolviendo las ecuaciones anteriores para cada alineación, obtenemos que el sistema de fueras F_{yzij} es:

$$\bullet F_{yzij} = \begin{bmatrix} 3044.3 & 4298.2 & 4302.6 & 3053.7 \\ 538.1 & 759.8 & 760.5 & 539.8 \\ -538.1 & -759.8 & -760.5 & -539.8 \\ -3044.3 & -4298.2 & -4302.6 & -3053.7 \end{bmatrix}$$

III.2.b. Cargas por Viento

Para determinar la magnitud de las fuerzas eólicas, procederemos de igual forma que se hizo para el sismo, la reglamentación de la Asociación Americana de Ingenieros Civiles 7, ASCE por sus siglas en inglés, para cargas por viento²³.

Clasificación de acuerdo a su periodo fundamental de vibración.

Flexibles: Se consideran entre otras, aquellas estructuras esbeltas sensibles a las ráfagas de viento, cuya frecuencia fundamental es menor a 1 hz.

Rígidas: Se consideran entre otras, en general, aquellas estructuras cuya frecuencia fundamental es mayor o igual a 1 hz.

Las variables involucradas para el cálculo de las fuerzas eólicas se enlistan a continuación:

- Velocidad de diseño. Para nuestro sitio de interés se utilizará una velocidad de 125 km/h.
- Factor de importancia. Se encuentra incluido en la tabla 6-1 y tabulados de acuerdo por categorías de ocupación y región susceptible a fenómenos de

²³ American Society of Civil Engineers: *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. United States of America: 2006. 21-80 p. ISBN 0-7844-0831-9

huracán. Para estructuras del grupo III y región no susceptible a huracán, el factor de importancia es 1.15.

- Categoría de exposición. Se basa principalmente en clasificar la rugosidad predominante del terreno circundante. ASCE 7 define tres categorías de rugosidad superficial:
 - B. Áreas urbana y suburbana, o cualquier tipo de terreno con numerosas obstrucciones cercanas unas a otras.
 - C. Terreno abierto con obstrucciones diseminadas con altura promedio menor a 9 metros.
 - D. Áreas planas sin obstáculos y superficies acuáticas fuera de regiones susceptibles de huracán.

Nuestra estructura estará situada dentro de una planta industrial, ubicada en una distancia aproximada de 60 kilómetros a las afueras del área urbana más cercana. El terreno circundante presente es poco accidentado y con poca vegetación. Por lo anterior, clasificaremos al área en la que se ubicará nuestra estructura como tipo C.

- Coeficiente de exposición a la presión de velocidad (K_z). Tabulados dentro de la tabla 6.3 de ASCE 7, se encuentran los valores de K_z para considerar el incremento de la presión del viento respecto a la altura (z) y categorías de exposición. Se muestran los datos necesarios en la tabla 3.5. La interpolación lineal dentro de los datos tabulados es permitida.

Otra forma de obtener el coeficiente K_z es determinarlo a través de la siguiente expresión.

$$K_z = 2.01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2/a}$$

Los valores de las variables z_g y a , se encuentran tabulados dentro de la tabla 3.7, “Constantes de exposición del terreno”. Para nuestro caso, ‘a’ toma el valor de 9.5 y z_g de 274.32 m.

Altura sobre el nivel de terreno, z (m)	Categoría de exposición
0 a 4.6	0.85
6.1	0.90
7.6	0.94
9.1	0.98
12.2	1.04
15.2	1.09
18	1.13
21.3	1.17
24.4	1.21

Tabla 3.6. Coeficiente de exposición (K_z) para categoría de exposición C.

- Factor por topografía (K_{ZT}). Los accidentes topográficos del terreno, como lo son colinas aisladas, crestas de peñascos o escarpes, generan un incremento en la velocidad del aire. Para considerar estos accidentes topográficos y principalmente sus efectos en el diseño se definen tres coeficientes K, los cuales representan la ubicación de la estructura respecto a la discontinuidad del terreno.

$$K_{ZT} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$$

Los valores asociados a las variables K_1 , K_2 y K_3 se encuentran incluidos en la figura 6-4 dentro del ASCE 7-05.

De la descripción del terreno podemos inferir que los valores asociados a las variables K, son nulos. Por lo que el factor por topografía será de 1.

- Factor por efectos de ráfaga (G). Para estructuras definidas como rígidas, el factor por efectos de ráfaga puede ser considerado como 0.85, o calculado por medio de las siguientes ecuaciones:

$$G = 0.925 \left(\frac{1 + 1.7 \cdot g_Q \cdot I_Z \cdot Q}{1 + 1.7 \cdot g_V \cdot I_Z} \right)$$

En donde:

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.63 \left(\frac{B + h}{L_Z} \right)^{0.63}}}$$

$$L_Z = l \left(\frac{\bar{z}}{10} \right)^\varepsilon$$

$$I_Z = c \left(\frac{10}{\bar{z}} \right)^{1/6}$$

$\bar{z} = 0.6 \cdot h$, pero no menor de \bar{z}_{min}

Los valores de las constantes l , ε y c , se encuentran dentro de la tabla 3.7 “Constantes de exposición del terreno”.

g_Q y g_V , pueden tomar el valor constante de 3.4

h , se define como la altura de la estructura.

B , se define como la dimensión horizontal de la cara normal a la dirección del viento. Por lo que determinaremos dos valores de G , uno para cada dirección ortogonal entre sí.

Categoría de exposición	z_g (m)	a	c	l	ε	z_{min} (m)
C	274.32	9.5	0.2	152.4	1/5.0	4.57

Tabla 3.7. Constantes de exposición del terreno.

$$B_T = 8.08 \text{ m}, B_L = 8.76 \text{ m}$$

$$\bar{z} = 0.6 \cdot 18.862 = 11.32 \text{ m}$$

$$I_Z = 0.2 \cdot 0.884^{0.1667} = 0.1959$$

$$L_Z = 152.4 \cdot 1.132^{0.2} = 156.2$$

$$Q_L = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{0.63 \cdot 26.942^{0.63}}{156.23^{0.63}}}} = 0.91$$

$$Q_T = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{0.63 \cdot 27.622^{0.63}}{156.23^{0.63}}}} = 0.909$$

$$G_L = 0.925 \left(\frac{1 + 1.7 \cdot 3.4 \cdot 0.1959 \cdot 0.9098}{1 + 1.7 \cdot 3.4 \cdot 0.1959} \right) = 0.881$$

$$G_T = 0.925 \left(\frac{1 + 1.7 \cdot 3.4 \cdot 0.1959 \cdot 0.9085}{1 + 1.7 \cdot 3.4 \cdot 0.1959} \right) = 0.88$$

Rigen los valores calculados por la fórmula.

- Clasificación de acuerdo a su encierro. Se clasificarán las estructuras con base en el grado de aberturas en su envolvente en: cerradas, parcialmente cerradas y abiertas. Una estructura se considera abierta si el 80% o más de su cara expuesta a presión positiva externa se encuentra abierta. Definamos entonces el grado de apertura de la estructura por niveles.

Sección	Rango de altura z (m)	% de cerramiento	Clasificación
Estructura	0.300 a 7.333	-	Abierta
Cuerpo	7.333 a 14.562	100%	Cerrada
Penthouse	14.562 a 18.862	85.23%	Parcial Cerrada

- Coeficientes de presión interna. Los coeficientes de presión interna, GC_{pi} , serán determinados de acuerdo a los lineamientos marcados dentro del reglamento, indicados dentro de la tabla 3.8.

Deberán considerarse dos casos para determinar la carga crítica para la condición apropiada:

- Valor positivo a todas las superficies internas.

- Valor negativo a todas las superficies internas.
- Presión por velocidad. La presión, q_z , evaluada a una altura z deberá ser evaluada de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$q_z = 0.0625K_zK_{zt}K_dV^2I; \text{ cuando } V \text{ en m/s}$$

$$q_z = 0.00482K_zK_{zt}K_dV^2I, \text{ cuando } V \text{ en km/h}$$

K_d , se define como el factor de direccionalidad del viento, este factor sólo deberá ser aplicado cuando se utilice la carga de viento en combinaciones de carga. Los valores de este factor se encuentran tabulados en la tabla 6-4 dentro del reglamento. En nuestro caso tomará la constante de 0.85 para cuando se utilice la carga de viento en combinación y 1.0 cuando se utilice como carga básica.

Coeficiente de presión interna, GC_{pi}	Muros y Cubiertas
Para estructuras abiertas, cerradas y parcialmente cerradas	
Clasificación	GC_{pi}
Abierta	0.00
Parcialmente cerrada	± 0.55
Cerrada	± 0.18

Tabla 3.8. Coeficiente de presión interna en Muros y Cubiertas

- Coeficientes de presión externa. Los coeficientes de presión, C_p , para nuestro caso, se encuentran tabulados en la figura 6-6 dentro del ASCE 7-05. Se presentan los valores tabulados en la tabla 3.9.

En donde:

B , representa la dimensión horizontal de la estructura, en metros, medida en dirección normal del viento.

L , representa la dimensión horizontal de la estructura, en metros, medida en dirección paralela del viento.

h , representa la altura media de la superficie, excepto en cubiertas con pendientes $\theta \leq 10^\circ$ donde se utilizará la altura de la rodilla.

z , representa la altura respecto al suelo en metros.

q_z , representa la presión por velocidad, evaluada a una altura z respecto al suelo.

q_h , representa la presión por velocidad, evaluada a la altura media de la cubierta/techo.

θ , ángulo del plano de la cubierta/techo, desde la horizontal, en grados.

Coeficiente de presión en Muros, C_p			
Superficie	L/B	C_p	Evaluar con
Muro de barlovento	Cualquier valor	0.8	q_z
Muro de sotavento	0-1	-0.5	q_h
	2	-0.3	
	≥ 4	-0.2	
Muro lateral	Cualquier valor	-0.7	q_h

Coeficientes de presión en cubierta/techo, C_p , para evaluar con q_h							
Dirección del Viento	h/L	Pared de Barlovento			Pared de Sotavento		
		Ángulo, θ (grados)			θ (grados)		
Normal a cumbrera con $\theta \geq 10^\circ$	≤ 0.25	10	15	20	10	15	≥ 20
		-0.7	-0.5	-0.3	-0.3	-0.5	-0.6
	0.5	-0.18	0.0	0.2	-0.5	-0.5	-0.6
		-0.9	-0.7	-0.4	-0.5	-0.5	-0.6
≥ 1.0	-0.18	-0.18	0.0	-0.7	-0.6	-0.6	
	-1.3	-1.0	-0.7	-0.7	-0.6	-0.6	
Normal a cumbrera con $\theta < 10^\circ$, ó paralelo a cumbrera para todo θ	≤ 0.5	Distancia horizontal del límite de la pared de Barlovento			C_p		
		0 a h/2			-0.9, -0.18		
		h/2 a h			-0.9, -0.18		
		h a 2h			-0.5, -0.18		
	$> 2h$			-0.3, -0.18			
	≥ 1.0	0 a h/2			-1.3*, -0.18		
$> h/2$			-0.7, -0.18				

Tabla 3.9. Coeficiente de presión en Muros y Cubiertas.

- La presión de diseño de viento para estructuras de cualquier altura deberá ser determinada mediante la siguiente ecuación:

$$p = qG C_p - q_i (G C_{pi})$$

En donde;

q ; para pared de barlovento será evaluada a la altura z sobre el nivel del terreno. Para paredes laterales, pared de sotavento y cubierta será evaluada a una altura máxima en las paredes y para la cubierta a una altura promedio entre la rodilla y la cumbrera, siempre que la pendiente sea menor a 10° .

q_i ; para presión positiva y negativa en estructuras parcialmente cerradas y cerradas, las paredes de barlovento, sotavento y cubierta serán evaluadas a una altura máxima en las paredes y para la cubierta a una altura promedio entre la rodilla y la cumbrera, siempre que la pendiente sea menor a 10° .

G ; es el factor de efecto de ráfaga

C_p ; el coeficiente de presión externa

GC_{pi} ; el coeficiente de presión interna

- Condiciones de carga para diseño por viento. Aquellas estructuras cuyas fuerzas hayan sido determinadas mediante las provisiones de los apartados especificados para estructuras clasificadas como: Rígidas para cualquier altura y flexibles, deberán ser diseñadas considerando las condiciones de carga definidas en la figura 6-9 dentro del ASCE 7-05, figura 3.10 "Condiciones de carga para diseño por Viento". La excentricidad e para estructuras consideradas "rígidas", deberá ser medida desde el centro geométrico del edificio, así como ser considerada para cada eje principal (e_x , e_y).

El signo de la excentricidad e deberá ser tomada como positiva o negativa, cualquiera que cause la condición de carga más severa.

Caso 1. Carga de diseño al 100% actuando sobre la superficie perpendicular proyectada de cada eje principal de la estructura. Considere separadamente cada eje principal.

Caso 2. Tres cuartas partes de la carga de diseño actuando en la superficie perpendicular proyectada de cada eje principal de la estructura en conjunto con un momento de torsión equivalente a:

$$M_T = 0.75(P_W + P_L)Be;$$

$$e = \pm 0.15B$$

Caso 3. Carga de diseño definida como en el caso 1, pero actuando simultáneamente en ambos ejes principales a una proporción del 75% del valor especificado.

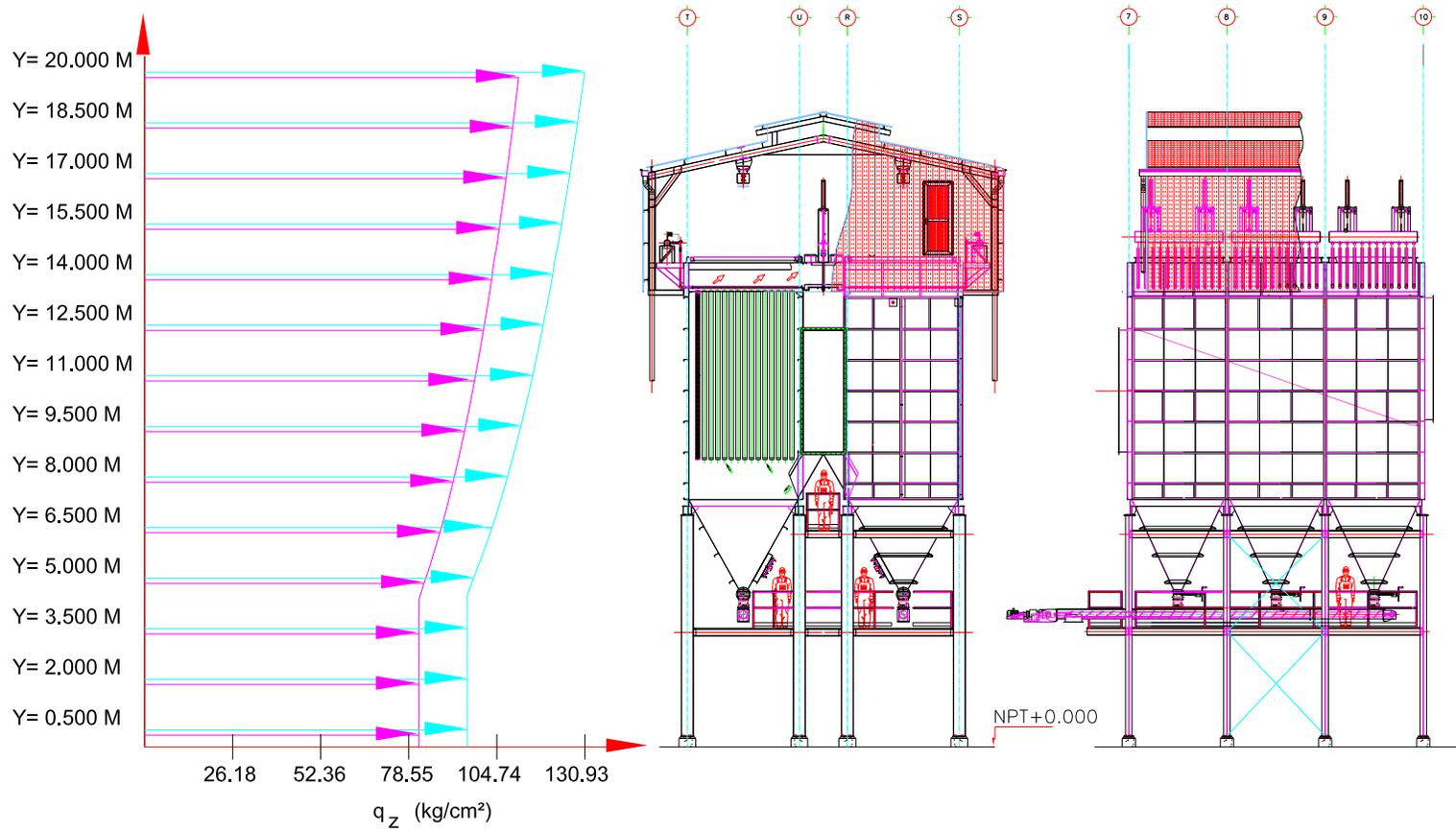
Caso 4. Carga de diseño definida como en el caso 2, pero actuando simultáneamente en ambos ejes principales a una proporción del 75% del valor especificado.

Para una referencia gráfica y mayor información de las condiciones de carga por viento determinadas por ASCE consultar el sección de Anexos al final del texto.

Calculemos las cargas de viento. En la figura 3.10 se muestra la distribución de la presión por velocidad del viento, para condición de carga básica y combinación de carga.

Constantes de cálculo:

- $K_{ZT} = 1$
- $K_D = 1$
- $V = 125 \text{ km/h}$
- $I = 1.15$
- $G_T = 0.881$
- $G_L = 0.88$



P R E S I Ó N P O R V E L O C I D A D

SIMBOLOGÍA

- Distribución de Presion de Velocidad para Carga Básica
- Distribución de Presión de Velocidad para Combinación de Carga

Figura 2.1.5

	Tesis Profesional
	ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL
Presentó: JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ	
Director de Tesis: M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega	
Concepto: Presión de Velocidad	Dibujo: Distribuciones
Archivo: 70801.A.01	Escala: 1:150
Aprobó:	Fecha: MAR/11

La proyección normal a la dirección del viento de cada una de las superficies expuestas a la acción eólica se enlista en la tabla 3.10, así como con su respectivo centro de masa para determinar el coeficiente de exposición a la presión de velocidad (K_z).

Elemento	Pared	Viento Longitudinal			Viento Transversal		
		Proyección de la superficie en ZY (m ²)	y_c (m)	K_z (m)	Proyección de la superficie en XY (m ²)	y_c (m)	K_z (m)
Tolva	Barlovento	4.6622	6.378	0.9105	11.9178	6.368	0.9102
	Sotavento	4.6622	6.000	0.8989	11.9178	6.368	0.9102
Cuerpo	Barlovento	59.034	10.526	1.0118	52.6002	10.408	1.0094
	Sotavento	59.034	10.413	1.0095	52.6002	10.408	1.0094
Penthouse	Barlovento	47.006	16.066	1.1060	33.884	15.321	1.0950
	Sotavento	47.006	16.149	1.1072	33.884	15.321	1.0950
Cubierta 1° Nivel	Barlovento H.				7.4394	17.553	1.1268
	Barlovento V.				34.2019	17.553	1.1268
	Sotavento H.	7.4394	17.553	1.1268	7.4394	17.553	1.1268
	Sotavento V.	34.2019	17.553	1.1268	34.2019	17.553	1.1268
Cubierta 2° Nivel	Barlovento H.				4.0255	18.582	1.1404
	Barlovento V.				18.9562	18.582	1.1404
	Sotavento H.	4.0255	18.582	1.1404	4.0255	18.582	1.1404
	Sotavento V.	18.9562	18.582	1.1404	18.9562	18.582	1.1404

Tabla 3.10. Superficies expuestas al viento y coeficiente K_z

En la tabla 3.11 se presentan las presiones por velocidad para los diferentes elementos que componen el sistema, tanto externas como internas.

$$q = 0.00482K_zK_{zt}K_dV^2I, \text{ cuando } V \text{ se expresa en km/h}$$

$$GC_{pi} = \pm 0.55, \text{ para estructuras parcialmente cerradas.}$$

Elemento	Pared	Viento Longitudinal				Viento Transversal			
		GCp	GCpi	qz (kg/m ²)	qi (kg/m ²)	GCp	GCpi	qz (kg/m ²)	qi (kg/m ²)
Tolva	Barlovento	0.705	0	78.882	0	0.704	0	78.856	0
	Sotavento	-0.441	0	77.877	0	-0.412	0	78.856	0
Cuerpo	Barlovento	0.705	0	87.659	0	0.704	0	87.451	0
	Sotavento	-0.441	0	87.459	0	-0.412	0	87.451	0
Penthouse	Barlovento	0.705	-0.55	95.820	95.820	0.704	-0.55	94.867	94.867
	Sotavento	-0.441	-0.55	95.924	95.924	-0.412	-0.55	94.867	94.867
Cubierta 1° Nivel	Barlovento H.					-0.546	-0.55	97.622	97.622
	Barlovento V.					-0.546	-0.55	97.622	97.622
	Sotavento H.					-0.334	-0.55	97.622	97.622
	Sotavento V.	-0.793	-0.55	97.622	97.622	-0.334	-0.55	97.622	97.622
Cubierta 2° Nivel	Barlovento H.					-0.546	-0.55	98.800	98.800
	Barlovento V.					-0.546	-0.55	98.800	98.800
	Sotavento H.					-0.334	-0.55	98.800	98.800
	Sotavento V.	-0.793	-0.55	98.800	98.800	-0.334	-0.55	98.800	98.800

Tabla 3.11. Presiones por velocidad externa e interna.

Se presentan a continuación, en la tabla 3.12, las presiones de viento de diseño, así como las fuerzas actuantes en cada superficie expuesta al viento.

Elemento	Pared	Viento Longitudinal			Viento Transversal		
		p (kg/m ²)	F (kg)	h _c (m)	p (kg/m ²)	F (kg)	h _c (m)
Tolva	Barlovento	55.596	259.201	6.378	55.515	661.615	6.368
	Sotavento	-34.305	159.935	6.000	-32.476	387.045	6.368
Cuerpo	Barlovento	61.782	3647.227	10.526	61.565	3238.347	10.408
	Sotavento	-38.526	2274.335	10.413	-36.016	1894.433	10.408
Penthouse	Barlovento	120.235	5651.750	16.066	118.963	4030.940	15.321
	Sotavento	10.504	-493.735	16.149	13.107	-444.111	15.321
Cubierta 1° Nivel	Barlovento H.				0.430	3.195	17.553
	Barlovento V.				0.430	-14.691	3.506
	Sotavento H.				21.047	-156.579	17.553
	Sotavento V.	-23.712	811.007	3.506	21.047	-719.857	3.506
Cubierta 2° Nivel	Barlovento H.				0.435	1.750	18.582
	Barlovento V.				0.435	-8.241	1.023
	Sotavento H.				-21.301	-85.748	18.582
	Sotavento V.	-23.999	454.920	1.023	-21.301	-403.791	1.023

*Convención de signos para presión de diseño (p)

*Presión positiva representa empuje y presión negativa representa succión.

h_c, altura respecto al nivel de piso. Para fuerzas verticales, distancia al eje de simetría.

Tabla 3.12. Presiones de diseño de viento

Necesitamos ahora determinar una fuerza equivalente y su punto de aplicación.

La tabla 3.13 presenta las distribuciones de cargas, sus respectivos centros de masa y el cálculo para determinar la fuerza equivalente de cada una de ellas.

Distribución de fuerzas paralelas al eje X

Elemento	Pared	F (kg)	h_c (m)	$F h_c$ (kg m)
Tolva	Barlovento	259.201	6.378	1653.076
	Sotavento	159.935	6.000	959.678
Cuerpo	Barlovento	3647.227	10.526	38391.822
	Sotavento	2274.335	10.413	23682.946
Penthouse	Barlovento	5651.750	16.066	90802.127
	Sotavento	-493.735	16.149	-7973.401
		11498.714		147516.248

$$y_c = \frac{147516.248}{11498.714}$$

Resultante del sistema de fuerzas (X)

$$F_x = 11499 \text{ kg} \quad y_c = 12.829 \text{ m}$$

Distribución de fuerzas paralelas al eje Y

Elemento	Pared	F (kg)	h_c (m)	$F h_c$ (kg m)
Cubierta 1° Nivel	Barlovento V.	-14.691	-3.506	51.511
	Sotavento V.	-719.857	3.506	-2524.033
Cubierta 2° Nivel	Barlovento V.	-8.241	-1.023	8.429
	Sotavento V.	-403.791	1.023	-412.997
		-1146.579		-2877.091

$$z_c = \frac{-2877.091}{-1146.579}$$

Resultante del sistema de fuerzas (Y)

$$F_y = -1147 \text{ kg} \quad z_c = 2.509 \text{ m}$$

Distribución de fuerzas paralelas al eje Z

Elemento	Pared	F (kg)	h_c (m)	$F h_c$ (kg m)
Tolva	Barlovento	661.615	6.368	4212.906
	Sotavento	387.045	6.368	2464.550
Cuerpo	Barlovento	3238.347	10.408	33705.461
	Sotavento	1894.433	10.408	19717.695
Penthouse	Barlovento	4030.940	15.321	61758.911
	Sotavento	-444.111	15.321	-6804.315
Cubierta 1° Nivel	Barlovento H.	3.195	17.553	56.090
	Sotavento H.	-156.579	17.553	-2748.410
Cubierta 2° Nivel	Barlovento H.	1.750	18.582	32.518
	Sotavento H.	-85.748	18.582	-1593.395
		9530.889		110802.011

$$y_c = \frac{110802.011}{9530.889}$$

Resultante del sistema de fuerzas (Z)

$$F_z = 9531 \text{ kg} \quad y_c = 11.626 \text{ m}$$

Tabla 3.13. Fuerzas equivalentes del sistema de fuerzas de viento.

Paso siguiente, distribuir cada una de las fuerzas equivalentes antes calculadas de acuerdo al área tributaria de cada columna, así como el efecto de volteo generado por la excentricidad con la placa de conexión de la estructura.

Para eje X:

- $F_X = 11,499 \text{ kg}$
- $y_c = 12.829 \text{ m}$
- $y_{PB} = 6.880 \text{ m}$
- $\Delta y = 5.949 \text{ m}$
- $M_V = 68,405.09 \text{ kg} \cdot \text{m}$
- $M_V = 2 (4.38 \cdot F_1 + 1.46 \cdot F_2)$
- $F_1 = 3F_2$

Distribución de la fuerza cortante

- $F_{XZ} = F_X \cdot A_{XZ}$
- $A_{XZ} = \begin{bmatrix} 0.0342 & 0.0685 & 0.0685 & 0.0342 \\ 0.0491 & 0.0982 & 0.0982 & 0.0491 \\ 0.0491 & 0.0982 & 0.0982 & 0.0491 \\ 0.0342 & 0.0685 & 0.0685 & 0.0342 \end{bmatrix}$
- $F_X = \begin{bmatrix} 393.8 & 787.6 & 787.6 & 393.8 \\ 564.4 & 1128.9 & 1128.9 & 564.4 \\ 564.4 & 1128.9 & 1128.9 & 564.4 \\ 393.8 & 787.6 & 787.6 & 393.8 \end{bmatrix}$

Efecto de volteo por la excentricidad de la fuerza.

- $F_y = [7027.9 \quad 2342.6 \quad -2342.6 \quad -7027.9]$
- $P_{ij} = \begin{bmatrix} 0.2055 & 0.2055 & 0.2055 & 0.2055 \\ 0.2945 & 0.2945 & 0.2945 & 0.2945 \\ 0.2945 & 0.2945 & 0.2945 & 0.2945 \\ 0.2055 & 0.2054 & 0.2055 & 0.2945 \end{bmatrix}$
- Si $Fy_{11} \cdot P_{i1}, Fy_{12} \cdot P_{i2}, Fy_{13} \cdot P_{i3}, Fy_{14} \cdot P_{i4}$

$$\bullet F_{y_x} = \begin{bmatrix} 1444.1 & 481.4 & -481.4 & -1444.1 \\ 2069.9 & 690.0 & -690.0 & -2069.9 \\ 2069.9 & 690.0 & -690.0 & -2069.9 \\ 1444.1 & 481.4 & -481.4 & -1444.1 \end{bmatrix}$$

Resolviendo análogamente para el eje Z y sumando fuerzas con la distribución para el eje Y, obtenemos:

$$\bullet F_{z_{xz}} = \begin{bmatrix} 326.4 & 652.8 & 652.8 & 326.4 \\ 467.8 & 935.7 & 935.7 & 467.8 \\ 467.8 & 935.7 & 935.7 & 467.8 \\ 326.4 & 652.8 & 652.8 & 326.4 \end{bmatrix}$$

$$\bullet F_{y_z} = \begin{bmatrix} 928.5 & 1857.0 & 1857.0 & 928.5 \\ 116.1 & 232.1 & 232.1 & 116.1 \\ -228.6 & -457.3 & -457.3 & -228.6 \\ -1007.1 & -2014.1 & -2014.1 & -1007.1 \end{bmatrix}$$

Condiciones de carga para diseño por viento a considerar.

Caso 1.

- *Viento X*
- *Viento Z*

Caso 2.

- $0.75 (\text{Viento } X \pm M_{T_x})$
- $0.75 (\text{Viento } Z \pm M_{T_z})$

Caso 3.

- $0.75 (\text{Viento } X + \text{Viento } Z)$

Caso 4.

- $0.75 (0.75 (\text{Viento } X \pm M_{T_x}) + 0.75 (\text{Viento } Z \pm M_{T_z}))$

IV. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA ESTRUCTURA DE APOYO

IV.1 Método de análisis

Los métodos de análisis usados para analizar estructuras pueden clasificarse en general como métodos de fuerzas (flexibilidades) o de desplazamientos (rigideces).

En la aplicación de matrices al análisis estructural, las cargas y los desplazamientos se consideran aplicados en la intersección de los elementos, denominados nodos. Las cargas pueden resolverse en componentes horizontales, verticales, momentos y pares de torsión. Éstas pueden agruparse para cada nodo en un vector y luego, todos los vectores nodales pueden combinarse en un vector fuerza “F” para toda la estructura:

De manera similar, los desplazamientos correspondientes a esas fuerzas pueden resolverse en componentes horizontales, verticales, rotaciones y giros de torsión, y luego agruparse para toda la estructura en un vector “Δ”.

$$F = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ \vdots \\ F_{n-1} \\ F_n \end{bmatrix} \quad \Delta = \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \Delta_3 \\ \vdots \\ \Delta_{n-1} \\ \Delta_n \end{bmatrix}$$

Si la estructura satisface los requisitos para la aplicación del principio de superposición, y las fuerzas y desplazamientos se arreglan en la secuencia apropiada, los vectores de fuerzas y desplazamientos quedan relacionados por:

$$F = k\Delta$$

y

$$\Delta = k^{-1}F \quad \text{o} \quad \Delta = fF$$

donde: k es la matriz de rigidez de la estructura.

f es la matriz de flexibilidad de toda la estructura.

Considerando un elemento cualquiera de un marco, en cada extremo de dicho elemento existen tres elementos mecánicos, que consisten en fuerzas axiales, fuerzas cortantes y momentos flexionantes. De la misma manera, en cada extremo del elemento se generarán deformaciones en forma de desplazamientos o rotaciones, producto de dichos elementos mecánicos.

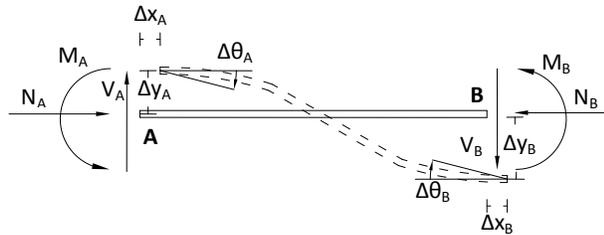


Figura 4.1. Representación de elementos mecánicos y deformación de una barra.

Desplazamientos en X.

Si el miembro sufre un desplazamiento Δx , se generan fuerzas axiales en los extremos del miembro mostrado en la figura 4.2.

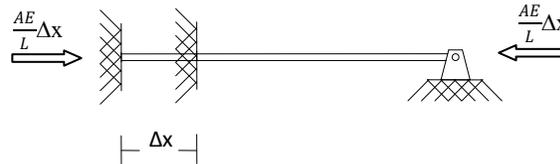


Figura 4.2

Desplazamientos en Y.

En la figura 4.3 se muestran las fuerzas cortantes y momentos flexionantes resultantes que se generan cuando se impone un desplazamiento Δy , mientras todos los otros posibles desplazamientos están impedidos para dos posibles configuraciones de condiciones de frontera.

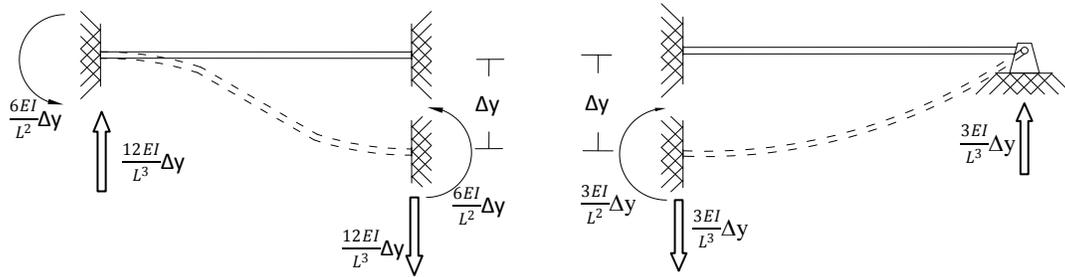


Figura 4.3

Rotaciones en Z.

Si se impone una rotación $\Delta\theta$, mientras que todos los otros posibles desplazamientos están impedidos, las fuerzas cortantes y momentos flexionantes requeridos para esta deformación son como se muestra en la figura 4.4.

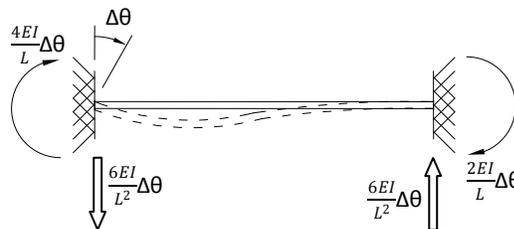


Figura 4.4

Empleando el principio de superposición y considerando desplazamientos y giros positivos, las seis relaciones carga-deformación para el elemento pueden expresarse en forma matricial como:

$$\begin{pmatrix} F_{Ax} \\ F_{Ay} \\ M_{Az} \\ F_{Bx} \\ F_{By} \\ M_{Bz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_x & A_y & A_z & B_x & B_y & B_z \\ \frac{AE}{L} & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^3} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^3} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta_{Ax} \\ \Delta_{Ay} \\ \Delta\theta_A \\ \Delta_{Bx} \\ \Delta_{By} \\ \Delta\theta_B \end{pmatrix}$$

Si lo expresamos en forma reducida:

$$F = k\Delta$$

La matriz de rigidez k es singular, esto es que $\det [k] = 0$. Se entiende necesario que la matriz de rigidez k debe ser no singular para proporcionar una solución única. Esto se realiza considerando las condiciones de frontera en la elástica del sistema, más concretamente y considerando que los nodos transmiten continuidad en los elementos mecánicos, mediante los tipos de apoyo a mencionar empotrado: sin grados de libertad, articulado: un grado de libertad, guiado: un grado de libertad y libre: dos grados de libertad.

En donde las rigideces están en referencia al sistema de coordenadas local de cada barra. Se aprecia necesario que la solución esté en referencia a un sistema más coordinado más general, éste es el global, Para hacer esto se requiere de una matriz de transformación, en la que se descompone cada vector de fuerza en sus proyecciones en referencia a el sistema coordinado global.

La matriz de rigidez, k , transforma los desplazamientos en fuerzas. La matriz de flexibilidad, f , transforma las fuerzas en desplazamientos. Los elementos k_{ij} , llamados coeficientes de influencia, son funciones de las propiedades del material, por ejemplo,

del módulo de Young; de la geometría y propiedades de los elementos, como el segundo momento del área también llamado momento de inercia, y el área transversal. Las matrices k y f son cuadradas, es decir, el número de filas es igual al número de columnas. Además, ambas matrices son simétricas, es decir, en cada matriz las columnas y las filas pueden intercambiarse sin que la matriz cambie.

El método para dar solución al sistema de ecuaciones lineales $[F]=[k][\Delta]$, es un punto importante a considerar en el cálculo de estructuras mediante programas de cómputo. Desde el punto de vista matricial se logra mediante $[\Delta]=[k]^{-1}[F]$, este procedimiento demanda al equipo gran cantidad de memoria y tiempo, por lo que se considera ineficiente. Existen métodos numéricos para resolver sistemas de ecuaciones lineales, sin embargo, algunos de ellos tienen el problema de que su convergencia es lenta y su exactitud dependerá del número de iteraciones realizadas. Un método de solución rápido es el llamado factorización o descomposición de Cholesky, sus ventajas respecto a otros métodos son: la solución es exacta con un número menor operación aritméticas en comparación con otros métodos numéricos.

Para ejemplificar lo anterior, el programa STAAD.Pro se vende comercialmente en dos versiones, la primera incluye un algoritmo de cálculo estándar de menor eficiencia y la segunda incorpora un algoritmo de cálculo 50 veces más rápido. Esto es una gran ventaja cuando se utilizan modelos tridimensionales con una gran cantidad de información.

El método de las rigideces requiere primero la identificación del número de grados de libertad desconocidos de la estructura. Estos desplazamientos se determinan mediante las ecuaciones fundamentales de la estática. Después de calcular los desplazamientos, las fuerzas desconocidas externas e internas en la estructura se determinan a partir de las relaciones de compatibilidad y de carga-desplazamiento.

IV.2 Análisis estructural asistido por computadora

A partir de los métodos mencionados en la sección anterior, se han desarrollado métodos sistemáticos para determinar el comportamiento de una estructura, con base en el conocimiento del comportamiento bajo carga de sus componentes. En esos métodos, un sistema estructural se considera como un conjunto de un número finito de componentes o elementos de tamaño finito. Una consideración importante, es que estos elementos finitos conectan entre sí sólo en puntos discretos llamados nodos. Conocidas la rigidez o flexibilidad de los elementos constituyentes de un sistema, se pueden derivar las características del sistema completo. Al conocer estas características, se pueden calcular aproximadamente los esfuerzos y las deformaciones internas en cualquier punto de la estructura.

La selección de los elementos finitos por usar dependerá del tipo de estructura que se pretenda discretizar, atendiendo especialmente a sus particularidades. Ya sea una armadura, un marco rígido, una estructura tridimensional, una placa o un cascarón, toda estructura puede ser representada mediante elementos finitos, tan detallados como se requiera para lograr la información necesaria requerida por el usuario. Las formas de estos elementos pueden variar desde simples barras pasando por prismas regulares, conectados por sus vértices.

Para muchas estructuras, debido al número de elementos finitos y de nodos, el análisis por el método de rigideces requiere del tratamiento mecánico de grandes cantidades de datos y de la solución de numerosas ecuaciones simultáneas. Los métodos basados en la representación matricial suelen presentar ventajas en el análisis estructural y en el diseño de estructuras complejas. Una de las razones es que las matrices proporcionan un medio compacto para representar y manipular grandes cantidades de números. Otra de ellas es que las computadoras pueden efectuar operaciones matriciales automáticamente y con gran rapidez.

IV.3 Datos de entrada y resultados

Se consideró como hipótesis de trabajo para el análisis, un comportamiento del material elástico – lineal.

Los datos de entrada requeridos para el análisis de la estructura en el programa que se utilizará para este estudio se enlistan a continuación:

- Geometría del modelo

Representación idealizada de la estructura real, en la que los elementos barra son los elementos estructurales que la componen. Los nodos, elementos que definen la longitud y ubicación en el espacio de los elementos barra, se determinarán como la intersección de los ejes centroidales de los elementos concurrentes en él.

El sistema coordenado global utilizado es:



El modelo en estudio está constituido por 114 nodos y 240 elementos barra, ver figura 4.5.

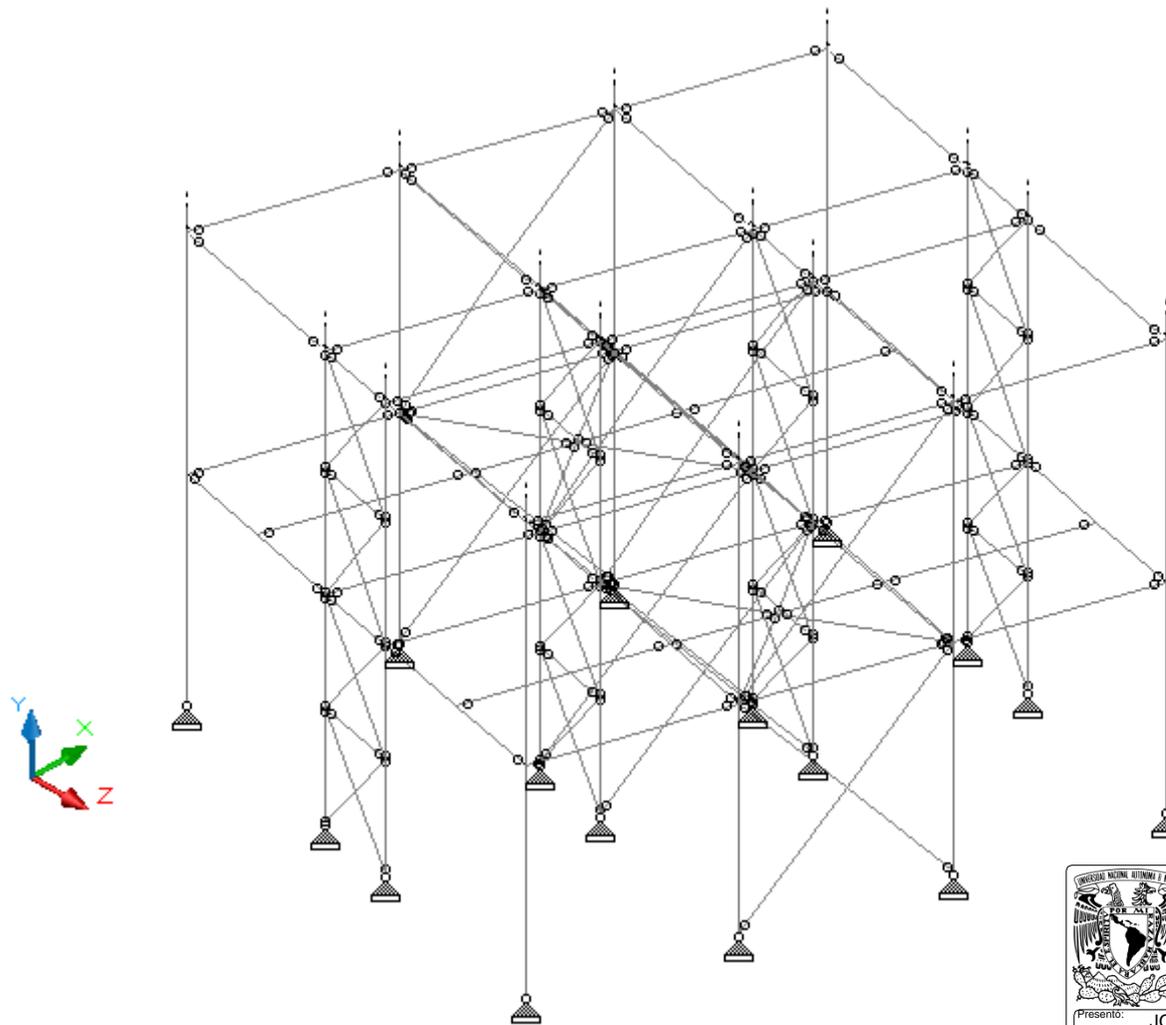


Figura 4.5
Modelo Analítico Tridimensional

		Tesis Profesional	
ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL			
Presento:		JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ	
Director de Tesis:		M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega	
Concepto:	Modelo Analítico	Dibujo:	Isométrico
Archivo:	70801.M.01	Escala:	S/E
Aprobó:		Fecha:	MAR/'11

En la tabla 4.1 se concentran las coordenadas de los nodos utilizados en el modelo.

Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)	Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)	Nodo	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	0.000	7.033	0.000	13552	5.840	6.580	8.030	13591	8.760	4.862	3.300
145	0.000	7.033	3.300	13553	5.840	0.000	8.030	13592	8.760	4.862	4.730
157	2.920	7.033	3.300	13554	8.760	6.580	0.000	13593	0.000	1.572	3.300
301	2.920	7.033	0.000	13555	8.760	0.000	0.000	13594	0.000	1.572	4.730
691	5.840	7.033	3.300	13556	8.760	6.580	3.300	13595	8.760	1.572	3.300
835	5.840	7.033	0.000	13557	8.760	0.000	3.300	13596	8.760	1.572	4.730
1225	8.760	7.033	3.300	13558	8.760	6.580	4.730	13597	2.920	4.862	3.300
1369	8.760	7.033	0.000	13559	8.760	0.000	4.730	13598	2.920	4.862	4.730
1615	0.000	7.033	4.730	13560	8.760	6.580	8.030	13599	5.840	4.862	3.300
1759	0.000	7.033	8.030	13561	8.760	0.000	8.030	13600	5.840	4.862	4.730
1771	2.920	7.033	8.030	13562	0.000	3.143	0.000	13601	2.920	1.572	3.300
1915	2.920	7.033	4.730	13563	0.000	3.143	3.300	13602	2.920	1.572	4.730
2305	5.840	7.033	8.030	13564	0.000	3.143	4.730	13603	5.840	1.572	3.300
2449	5.840	7.033	4.730	13565	0.000	3.143	8.030	13604	5.840	1.572	4.730
2839	8.760	7.033	8.030	13566	2.920	3.143	0.000	13605	0.000	4.002	4.015
2983	8.760	7.033	4.730	13567	2.920	3.143	3.300	13606	0.000	5.721	4.015
13530	0.000	6.580	0.000	13568	2.920	3.143	4.730	13607	8.760	4.002	4.015
13531	0.000	0.000	0.000	13569	2.920	3.143	8.030	13608	8.760	5.721	4.015
13532	0.000	6.580	3.300	13570	5.840	3.143	0.000	13609	0.000	0.786	4.015
13533	0.000	0.000	3.300	13571	5.840	3.143	3.300	13610	0.000	2.357	4.015
13534	0.000	6.580	4.730	13572	5.840	3.143	4.730	13611	8.760	0.786	4.015
13535	0.000	0.000	4.730	13573	5.840	3.143	8.030	13612	8.760	2.357	4.015
13536	0.000	6.580	8.030	13574	8.760	3.143	0.000	13613	5.840	4.002	4.015
13537	0.000	0.000	8.030	13575	8.760	3.143	3.300	13614	5.840	5.721	4.015
13538	2.920	6.580	0.000	13576	8.760	3.143	4.730	13615	2.920	4.002	4.015
13539	2.920	0.000	0.000	13577	8.760	3.143	8.030	13616	2.920	5.721	4.015
13540	2.920	6.580	3.300	13578	0.000	3.143	1.650	13617	2.920	0.786	4.015
13541	2.920	0.000	3.300	13579	0.000	3.143	6.380	13618	2.920	2.357	4.015
13542	2.920	6.580	4.730	13580	2.920	3.143	1.650	13619	5.840	0.786	4.015
13543	2.920	0.000	4.730	13581	2.920	3.143	6.380	13620	5.840	2.357	4.015
13544	2.920	6.580	8.030	13582	5.840	3.143	1.650	13621	4.380	4.862	8.030
13545	2.920	0.000	8.030	13583	5.840	3.143	6.380	13622	4.380	1.572	8.030
13546	5.840	6.580	0.000	13584	8.760	3.143	1.650	13623	4.380	1.572	0.000
13547	5.840	0.000	0.000	13585	8.760	3.143	6.380	13624	4.380	4.862	0.000
13548	5.840	6.580	3.300	13586	4.380	3.143	1.650	13625	4.380	1.572	4.730
13549	5.840	0.000	3.300	13587	4.380	3.143	6.380	13626	4.380	4.862	4.730
13550	5.840	6.580	4.730	13588	0.000	4.862	3.300	13627	4.380	1.572	3.300
13551	5.840	0.000	4.730	13589	0.000	4.862	4.730	13628	4.380	4.862	3.300

Tabla 4.1. Tabla de nodos del modelo en estudio

- Definir y asignar las secciones a los elementos barra.

Elemento	Sección Tipo	Perfil AISC
Columnas de borde	1	WF 8" x 18 lb/ft
Columnas alineaciones 8 y 9	2	WF 8" x 31 lb/ft
Columna Esquina	3	WF 8" x 24 lb/ft
Trabe Interior, NIPB+6.404	1	WF 8" x 18 lb/ft
Trabe Perimetral, NIPB +6.404	1	WF 8" x 18 lb/ft
Trabe Interior, NIPB +3.496	1	WF 8" x 18 lb/ft
Trabe Perimetral, NIPB +3.496	1	WF 8"x 18 lb/ft
Riostra en X,	1	HSS 4"x3"x1/8"
Riostra en Z	2	HSS 3"x2"x1/8"

Tabla 4.2. Tabla de perfiles estructurales

En las figuras 4.6 y 4.7 se muestran algunas propiedades geométricas de los perfiles contenidos dentro de la tabla 4.2 para el diseño de la estructura objeto de estudio. Lo valores incluidos dentro de las figuras fueron tomados del Manual de Construcción en Acero del Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A. C.

- Definir y asignar las propiedades mecánicas del material a los elementos.

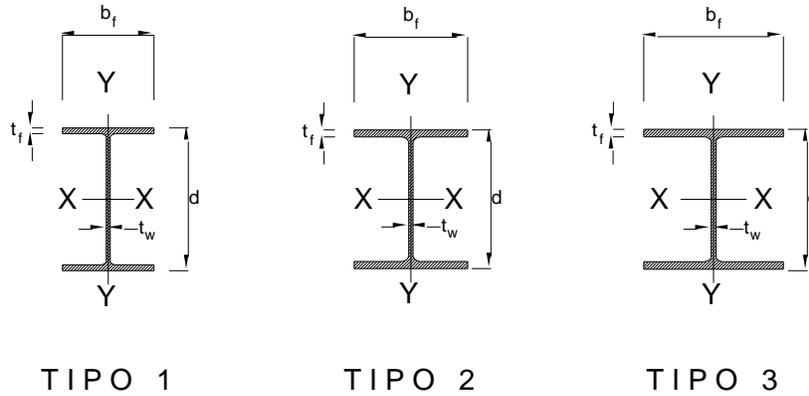
Se utilizará en el análisis la especificación de acero A-36. Las especificaciones para este material definidas por la AISC²⁴ se muestran en la tabla 4.3.

Propiedad	A-36
Densidad (kg/m ³)	800
Peso Volumétrico (kg/m ³)	7,850
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	2,039,000
Relación de Poisson	0.3
Coeficiente de expansión térmica (100/°C)	0.00117
Esfuerzo de fluencia mínimo (kg/cm ²)	2,530

Tabla 4.3. Propiedades del Acero Estructural

²⁴ American Institute of Steel Construction, Inc. *Manual of Steel Construction LRFD*. 2 ed. New York: 1994. Capítulo 7. ISBN 1-56424-042-8

SECCIONES DE ELEMENTOS PRINCIPALES



TIPO	b_f mm	d mm	t_w mm	t_f mm	A cm ²	I_x cm ⁴	S_x cm ³	r_x cm	I_y cm ⁴	S_y cm ³	r_y cm
1	133	207	5.8	8.4	33.90	2 576	249	8.7	332	50	3.1
2	165	201	6.2	10.2	45.70	3 446	342	8.7	762	92	4.1
3	203	203	7.2	11.0	58.90	4 579	451	8.8	1 544	152	5.1

Figura 4.6
Propiedades Geométricas

Tesis Profesional



ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

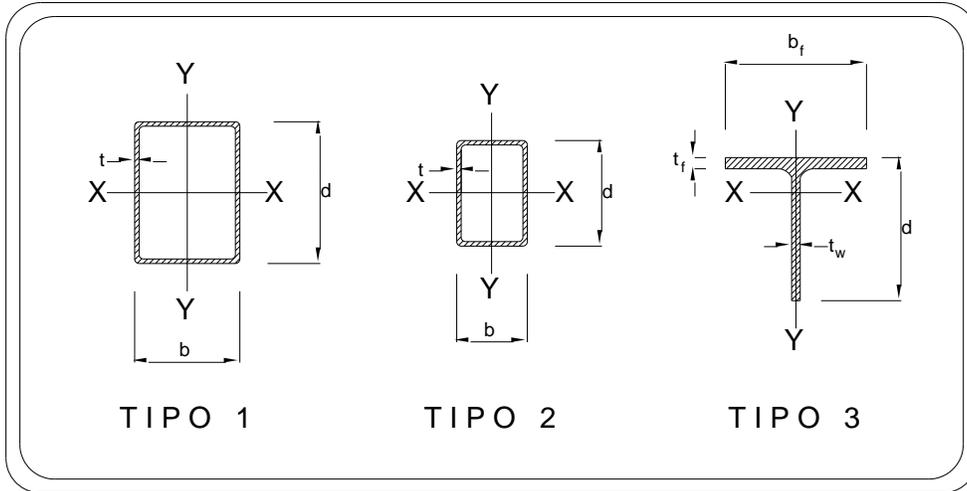
Presento: JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ

Director de Tesis: M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega

Concepto: Secciones y Propiedades Dibujo: Perfiles Metálicos

Archivo: 70801.D.01 Escala: S/E Aprobó: Fecha: MAR/11

SECCIONES DE CONTRAVENTEOS



TIPO	b mm	d mm	t_w mm	t_f mm	A cm ²	I_x cm ⁴	S_x cm ³	r_x cm	I_y cm ⁴	S_y cm ³	r_y cm
1	76	102	3.2		10.62	156.41	20.79	3.93	100.45	26.36	3.07
2	51	76	3.2		7.40	57.41	15.07	2.78	15.07	12.02	2.03
3	102	103	6.2	8.0	14.30	137.00	17.60	3.07	71.00	13.90	2.22

Figura 4.7
Propiedades Geométricas

Tesis Profesional

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Presentó: JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ

Director de Tesis: M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega

Concepto: Secciones y Propiedades Dibujo: Perfiles Metálicos

Archivo: 70801.D.02 Escala: S/E Aprobó: Fecha: MAR/11

- Definir y asignar las condiciones de frontera de los elementos.

Para aquellos elementos, por cuya naturaleza se requieran modificar los grados de libertad, ya sea porque se pretenda limitar su capacidad a transmitir elementos mecánicos o limitar sus desplazamientos, las columnas se considerarán articuladas en su base, por lo que se permitirá su giro e impedirá su desplazamiento.

Para aquellos elementos diseñados a carga axial, para ayudar a contener las cargas laterales generadas por las condiciones de carga de sismo y viento, se permitirá el giro en la dirección ortogonal en planta a la dirección de aplicación de la carga lateral, evitando así la transmisión de momento flector.

- Definir las condiciones básicas de carga.

- CM: 'Carga Muerta'
- CV: 'Carga Viva'
- CVr: 'Carga Viva Reducida'
- SX: 'Sismo X'
- SZ: 'Sismo Z'
- VX: 'Viento X'
- VZ: 'Viento Z'
- VX2: 'Viento X + M_{Tx} '
- VZ2: 'Viento Z + M_{Tz} '

- Asignar las condiciones básicas de carga a los elementos.

Las cargas correspondientes a las condiciones de 'Carga Muerta', 'Carga Viva', se aplicarán sobre las columnas y trabes en forma de cargas nodales y cargas uniformes, de acuerdo a su área tributaria correspondiente: Para las

condiciones de 'Sismo' y 'Viento', las cargas se aplicarán sobre las columnas en forma de cargas nodales de acuerdo al análisis realizado previamente.

- Definir las combinaciones de carga para el análisis.

Utilizaremos las combinaciones de carga recomendadas por la AISC, ACI y la ASCE para diseño de elementos de acero estructural y concreto reforzado para diseño de la cimentación con sus respectivos factores de incremento de carga.

En la tabla 4.4, se muestran las combinaciones de carga por diseño de esfuerzos permisibles para elementos de acero estructural. En la tabla 4.5 se listan las combinaciones por diseño de coeficientes de carga y resistencia para elementos de concreto reforzado, en este caso para la cimentación. Para la revisión de desplazamientos las combinaciones se muestran en la tabla 4.6.

COMB. NO.	CM	CV	CVr	SX	SZ	VX1	VZ1	VX2	VZ2
10	1.0	1.0							
11	0.75	0.75							
12	1.0		0.75	0.525	0.158				
13	1.0		0.75	0.525	-0.158				
14	1.0		0.75	-0.525	0.158				
15	1.0		0.75	-0.525	-0.158				
16	1.0		0.75	0.158	0.525				
17	1.0		0.75	0.158	-0.525				
18	1.0		0.75	-0.158	0.525				
19	1.0		0.75	-0.158	-0.525				
20	1.0		0.75			0.75			
21	1.0		0.75				0.75		
22	1.0		0.75			0.563	0.563		
23	1.0		0.75					0.563	
24	1.0		0.75					-0.563	
25	1.0		0.75						0.563
26	1.0		0.75						-0.563
27	1.0		0.75					0.423	0.423
28	1.0		0.75					0.423	-0.423
29	1.0		0.75					-0.423	0.423
30	1.0		0.75					-0.423	-0.423

Tabla 4.4. Combinaciones de carga por ASD

COMB. NO.	CM	CV	CVr	SX	SZ	VX1	VZ1	VX2	VX2
31	1.4								
32	1.2	1.6	0.5						
33	1.2	1.0	1.6						
34	1.2	1.6				0.8			
35	1.2	1.6					0.8		
36	1.2	1.0	0.5			1.6			
37	1.2	1.0	0.5				1.6		
38	1.2	1.0	0.5			1.2	1.2		
39	1.2	1.0	0.5					1.2	
40	1.2	1.0	0.5						1.2
41	1.2	1.0	0.5					0.9	0.9
42	1.2	1.0	0.5					0.9	-0.9
43	1.2	1.0	0.5					-0.9	0.9
44	1.2	1.0	0.5					-0.9	-0.9
45	1.2	1.0		1.0					
46	1.2	1.0			1.0				
47	1.2	1.0		1.0	0.3				
48	1.2	1.0		1.0	-0.3				
49	1.2	1.0		-1.0	0.3				
50	1.2	1.0		-1.0	-0.3				
51	1.2	1.0		0.3	1.0				
52	1.2	1.0		-0.3	1.0				
53	1.2	1.0		0.3	-1.0				
54	1.2	1.0		-0.3	-1.0				
55	0.9			1.0	0.3				
56	0.9			1.0	-0.3				
57	0.9			-1.0	0.3				
58	0.9			-1.0	-0.3				
59	0.9					1.6			
60	0.9						1.6		
61	0.9					1.2	1.2		
62	0.9							1.2	
63	0.9								1.2
64	0.9							-1.2	
65	0.9								-1.2
66	0.9							0.9	0.9
67	0.9							0.9	-0.9
68	0.9							-0.9	0.9
69	0.9							0.9	0.9

Tabla 4.5. Combinaciones de carga por LRFD

COMB. NO.	CM	CV	CVr	SX	SZ	VX1	VZ1	VX2	VX2
70	1.0	1.0							
71	1.0		1.0	1.0	0.3				
72	1.0		1.0	1.0	-0.3				
73	1.0		1.0	-1.0	0.3				
74	1.0		1.0	-1.0	-0.3				
75	1.0		1.0	0.3	1.0				
76	1.0		1.0	-0.3	1.0				
77	1.0		1.0	0.3	-1.0				
78	1.0		1.0	-0.3	-1.0				
79	1.0		1.0			1.0			
80	1.0		1.0				1.0		
81	1.0		1.0			0.563	0.563		
82	1.0		1.0					0.563	
83	1.0		1.0					-0.563	
84	1.0		1.0						0.563
85	1.0		1.0						-0.563
86	1.0		1.0					0.563	0.563
87	1.0		1.0					0.563	-0.563
88	1.0		1.0					-0.563	0.563
89	1.0		1.0					-0.563	-0.563

Tabla 4.6. Combinaciones para revisión desplazamientos

Datos de Salida.

STAAD.Pro, el programa de análisis estructural que se utilizó, proporciona entre otros datos de salida útiles para el cálculo de estructuras, los siguientes:

- Desplazamientos
- Fuerzas
- Reacciones

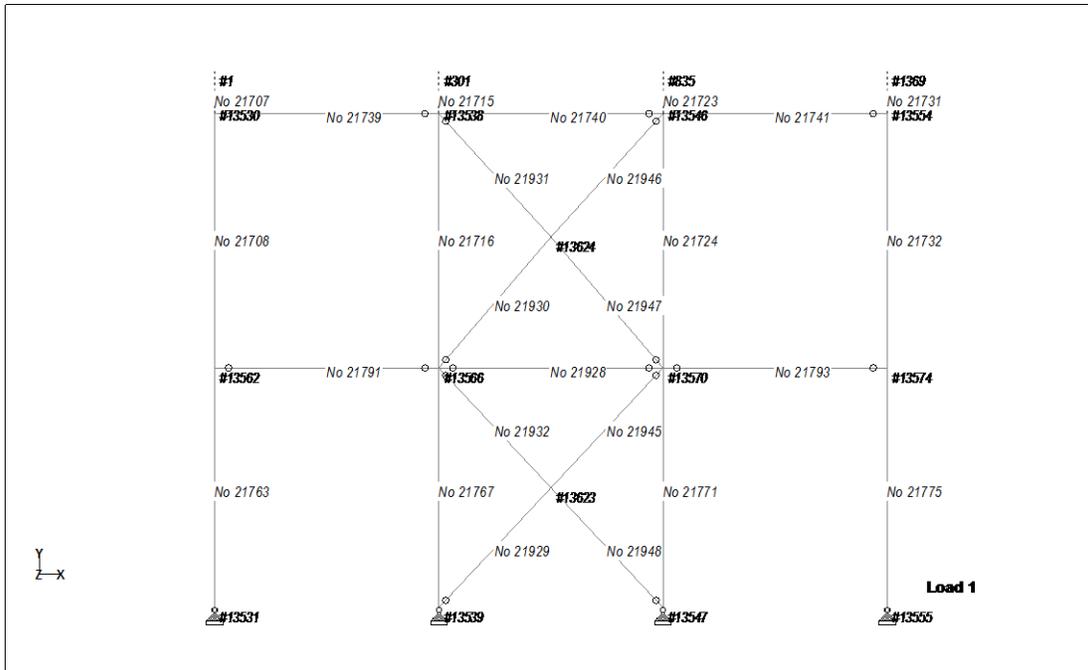


Figura 4.8. Elevación. Marco alineación T. Se indican nodos y barras

NODO		Δ	Δx	Δy	Δz	φx	φy	φz
			cm	cm	cm	rad	rad	rad
1	Máxima		0.566	-0.012	1.121	0.003	0.000	0.004
1	Mínima		-0.568	-0.064	-1.124	-0.003	0.000	-0.004
1369	Máxima		0.568	-0.012	1.124	0.003	0.001	0.004
1369	Mínima		-0.566	-0.064	-1.127	-0.003	-0.001	-0.004
13530	Máxima		0.383	-0.012	0.985	0.003	0.000	0.004
13530	Mínima		-0.385	-0.062	0.009	-0.003	0.000	0.000
13554	Máxima		0.385	-0.012	0.987	0.003	0.001	0.004
13554	Mínima		-0.383	-0.062	-0.989	-0.003	-0.001	-0.004
13562	Máxima		0.128	-0.007	0.326	0.001	0.000	0.000
13562	Mínima		-0.133	-0.032	-0.328	-0.001	0.000	0.000
13574	Máxima		0.133	-0.007	0.326	0.001	0.000	0.000
13574	Mínima		0.049	-0.014	0.100	0.001	0.000	0.000

Tabla 4.7. Desplazamientos y giros para Marco T.

NODO	REACCION	R_x	R_y	R_z	M_x	M_y	M_z
		Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
13531	Máxima	0.04	13.8	0.08	0	0	0
13531	Mínima	-0.04	0.24	-0.05	0	0	0
13539	Máxima	4.43	37.05	0.09	0	0	0
13539	Mínima	-3.02	-10.9	-0.03	0	0	0
13547	Máxima	3.01	37.05	0.09	0	0	0
13547	Mínima	-4.43	-10.9	-0.03	0	0	0
13555	Máxima	0.04	13.8	0.08	0	0	0
13555	Mínima	-0.04	0.24	-0.05	0	0	0

Tabla 4.8. Reacciones para el Marco T.

NODO	FUERZA	Fx	Fy	Fz	Mz	My
		Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m
21707	Máxima	7.36 C	0.69	0.58	0.31	0.26
21707	Minima	3.03 C	-0.69	-0.58	-0.31	-0.26
21708	Máxima	7.56 C	0.07	0.12	0.39	0.34
21708	Minima	3.12 C	-0.1	-0.12	-0.4	-0.34
21715	Máxima	14.71 C	0.98	1.16	0.44	0.53
21715	Minima	7.22 C	-0.98	-1.16	-0.44	-0.53
21716	Máxima	14.08 C	0.11	0.24	0.55	0.67
21716	Minima	6.16 C	-0.16	-0.24	-0.56	-0.67
21723	Máxima	14.71 C	0.98	1.16	0.44	0.53
21723	Minima	7.22 C	-0.98	-1.16	-0.44	-0.53
21724	Máxima	14.08 C	0.11	0.24	0.55	0.67
21724	Minima	6.18 C	-0.16	-0.24	-0.57	-0.67
21731	Máxima	7.36 C	0.7	0.58	0.32	0.26
21731	Minima	3.03 C	-0.7	-0.58	-0.32	-0.26
21732	Máxima	7.56 C	0.07	0.12	0.39	0.34
21732	Minima	3.12 C	-0.1	-0.12	-0.4	-0.34
21739	Máxima	0.70 C	0.04	0.01	0	0.01
21739	Minima	0.70 T	-0.04	-0.01	-0.03	-0.02
21740	Máxima	0.39 T	0.04	0	0	0.01
21740	Minima	0.83 T	0.04	0	-0.03	-0.01
21741	Máxima	0.70 C	0.04	0.02	0	0.03
21741	Minima	0.70 T	-0.04	-0.02	-0.03	-0.03
21763	Máxima	8.60 C	0.02	0.02	0.06	0.07
21763	Minima	4.00 C	-0.05	-0.02	-0.16	-0.07
21767	Máxima	19.40 C	0	0.05	0.01	0.14
21767	Minima	3.74 C	-0.06	-0.04	-0.19	-0.14

NODO	FUERZA	Fx	Fy	Fz	Mz	My
		Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m
21771	Máxima	19.40 C	0	0.04	0.01	0.14
21771	Minima	3.74 C	-0.06	-0.05	-0.19	-0.14
21775	Máxima	8.60 C	0.02	0.02	0.06	0.07
21775	Minima	4.14 C	-0.05	-0.02	-0.16	-0.07
21791	Máxima	0.14 C	0.04	0	0	0.01
21791	Minima	0.13 T	-0.04	-0.01	-0.03	-0.01
21793	Máxima	0.14 C	0.04	0.01	0	0.01
21793	Minima	0.13 T	-0.04	-0.01	-0.03	-0.02
21928	Máxima	0.79 T	0.04	0	0	0
21928	Minima	1.54 T	-0.04	0	-0.03	0
21929	Máxima	3.57 C	0.01	0	0	0
21929	Minima	1.60 T	-0.01	0	0	0
21930	Máxima	4.17 C	0.01	0	0	0
21930	Minima	2.47 T	-0.01	0	0	0
21931	Máxima	4.05 C	0	0	0.01	0
21931	Minima	2.36 T	-0.01	0	0	0
21932	Máxima	3.54 C	0	0	0.01	0
21932	Minima	1.62 T	-0.01	0	0	0
21945	Máxima	3.54 C	0.01	0	0.01	0
21945	Minima	1.62 T	0	0	0	0
21946	Máxima	4.05 C	0.01	0	0.01	0
21946	Minima	2.36 T	0	0	0	0
21947	Máxima	4.17 C	0.01	0	0	0
21947	Minima	2.47 T	-0.01	0	0	0
21948	Máxima	3.57 C	0.01	0	0	0
21948	Minima	1.59 T	-0.01	0	0	0

Tabla 4.9. Elementos mecánicos para Marco T.

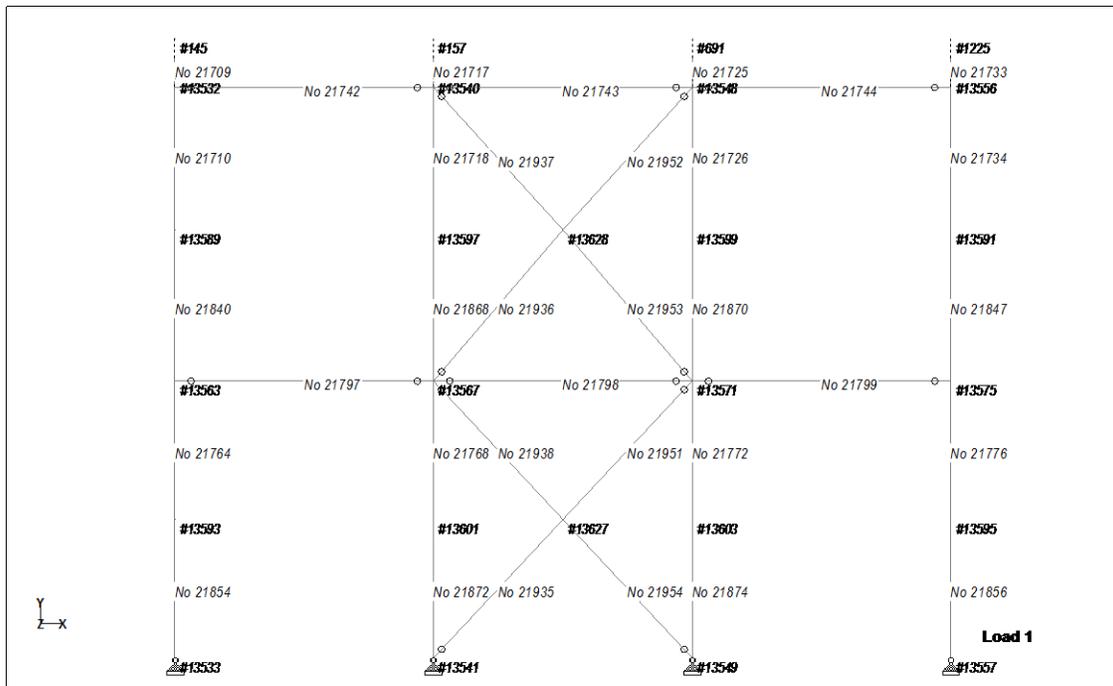


Figura 4.9. Elevación. Marco alineación U. Se indican nodos y barras

NODO	Δ	Δx	Δy	Δz	φx	φy	φz
		cm	cm	cm	rad	rad	rad
145	Máxima	0.862	0.040	1.127	0.003	0.000	0.009
145	Minima	-0.865	-0.192	-1.126	-0.003	0.000	-0.009
1225	Máxima	0.865	0.041	1.130	0.003	0.000	0.009
1225	Minima	-0.862	-0.193	-1.129	-0.003	0.000	-0.009
13532	Máxima	0.468	0.042	0.981	0.003	0.000	0.008
13532	Minima	-0.471	-0.190	-0.982	-0.003	0.000	-0.008
13556	Máxima	0.471	0.043	0.984	0.003	0.000	0.008
13556	Minima	-0.468	-0.190	-0.984	-0.003	0.000	-0.008
13563	Máxima	0.142	0.042	0.326	0.002	0.000	0.001
13563	Minima	-0.150	-0.120	-0.328	-0.002	0.000	-0.001
13575	Máxima	0.150	0.042	0.327	0.002	0.000	0.001
13575	Minima	-0.142	-0.120	-0.329	-0.002	0.000	-0.001

Tabla 4.10. Desplazamientos y giros para Marco U.

NODO	FUERZA	Fx	Fy	Fz	Mz	My
		Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m
21709	Máxima	10.54 C	1	0.66	0.45	0.3
21709	Minima	4.70 C	-1	-0.66	-0.45	-0.3
21710	Máxima	9.98 C	0.36	0.12	0.59	0.34
21710	Minima	3.96 C	-0.36	-0.12	-0.59	-0.34
21717	Máxima	21.07 C	1.41	1.32	0.64	0.6
21717	Minima	11.60 C	-1.41	-1.32	-0.64	-0.6
21718	Máxima	19.39 C	0.47	0.26	0.82	0.75
21718	Minima	8.90 C	-0.49	-0.26	-0.84	-0.75
21725	Máxima	21.07 C	1.41	1.32	0.64	0.6
21725	Minima	11.72 C	-1.41	-1.32	-0.64	-0.6
21726	Máxima	19.39 C	0.47	0.26	0.82	0.75
21726	Minima	9.36 C	-0.49	-0.26	-0.84	-0.75
21733	Máxima	10.54 C	1	0.66	0.45	0.3
21733	Minima	5.03 C	-1	-0.66	-0.45	-0.3
21734	Máxima	9.98 C	0.36	0.12	0.59	0.34
21734	Minima	3.95 C	-0.36	-0.12	-0.6	-0.34
21742	Máxima	0.80 C	0.19	0.01	0	0.02
21742	Minima	0.81 T	-0.19	-0.02	-0.12	-0.02
21743	Máxima	0.44 T	0.19	0.01	0	0.01
21743	Minima	1.14 T	-0.19	-0.01	-0.12	-0.01
21744	Máxima	0.81 C	0.19	0.03	0	0.05
21744	Minima	0.81 T	-0.19	-0.03	-0.12	-0.05
21764	Máxima	20.03 C	0.08	0.03	0.18	0.08
21764	Minima	2.92 T	0.03	-0.03	-0.18	-0.08
21768	Máxima	33.50 C	0.15	0.05	0.33	0.15
21768	Minima	0.40 T	0.11	-0.05	-0.25	-0.16
21772	Máxima	33.51 C	0.15	0.05	0.33	0.16
21772	Minima	0.41 T	0.1	-0.05	-0.25	-0.15
21776	Máxima	20.06 C	0.08	0.03	0.18	0.08
21776	Minima	2.95 T	0.03	-0.03	-0.18	-0.08
21797	Máxima	0.17 C	0.48	0.01	0	0.01
21797	Minima	0.16 T	-0.48	-0.01	-0.31	-0.01
21798	Máxima	0.33 T	0.48	0	0	0
21798	Minima	2.84 T	-0.48	0	-0.31	0

NODO	FUERZA	Fx	Fy	Fz	Mz	My
		Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m
21799	Máxima	0.17 C	0.48	0.01	0	0.02
21799	Minima	0.16 T	-0.48	-0.01	-0.31	-0.02
21840	Máxima	14.59 C	0.11	0.13	0.08	0.14
21840	Minima	0.56 T	-0.06	-0.13	-0.16	-0.14
21847	Máxima	14.61 C	0.11	0.13	0.08	0.14
21847	Minima	0.58 T	-0.06	-0.13	-0.16	-0.14
21854	Máxima	23.94 C	0.08	0.03	0.13	0.04
21854	Minima	6.79 T	-0.12	-0.03	-0.18	-0.04
21856	Máxima	23.98 C	0.09	0.03	0.13	0.04
21856	Minima	6.83 T	-0.12	-0.03	-0.18	-0.04
21868	Máxima	24.25 C	0.17	0.26	0.06	0.3
21868	Minima	2.94 C	-0.03	-0.26	-0.28	-0.3
21870	Máxima	24.26 C	0.17	0.27	0.06	0.3
21870	Minima	2.93 C	-0.03	-0.26	-0.28	-0.3
21872	Máxima	39.01 C	0.1	0.05	0.16	0.08
21872	Minima	5.82 T	-0.16	-0.05	-0.26	-0.08
21874	Máxima	39.03 C	0.1	0.05	0.16	0.08
21874	Minima	5.83 T	-0.16	-0.05	-0.26	-0.08
21935	Máxima	4.66 C	0.01	0	0	0
21935	Minima	1.85 T	-0.01	0	0	0
21936	Máxima	5.06 C	0.01	0	0	0
21936	Minima	2.70 T	-0.01	0	0	0
21937	Máxima	4.94 C	0	0	0.01	0
21937	Minima	2.57 T	-0.01	0	0	0
21938	Máxima	4.63 C	0	0	0.01	0
21938	Minima	1.87 T	-0.01	0	0	0
21951	Máxima	4.63 C	0.01	0	0.01	0
21951	Minima	1.87 T	0	0	0	0
21952	Máxima	4.94 C	0.01	0	0.01	0
21952	Minima	2.57 T	0	0	0	0
21953	Máxima	5.06 C	0.01	0	0	0
21953	Minima	2.70 T	-0.01	0	0	0
21954	Máxima	4.66 C	0.01	0	0	0
21954	Minima	1.85 T	-0.01	0	0	0

Tabla 4.11. Elementos mecánicos para Marco U.

NODO	REACCION	R_x	R_y	R_z	M_x	M_y	M_z
		Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
13533	Máxima	0.05	46.89	4.32	0	0	0
13533	Mínima	-0.05	-19.41	-2.4	0	0	0
13541	Máxima	5.72	78.78	5.94	0	0	0
13541	Mínima	-3.76	-24.14	-3.74	0	0	0
13549	Máxima	3.76	78.8	5.94	0	0	0
13549	Mínima	-5.72	-24.16	-3.74	0	0	0
13557	Máxima	0.05	46.98	4.33	0	0	0
13557	Mínima	-0.05	-19.49	-2.41	0	0	0

Tabla 4.12. Reacciones para el Marco U

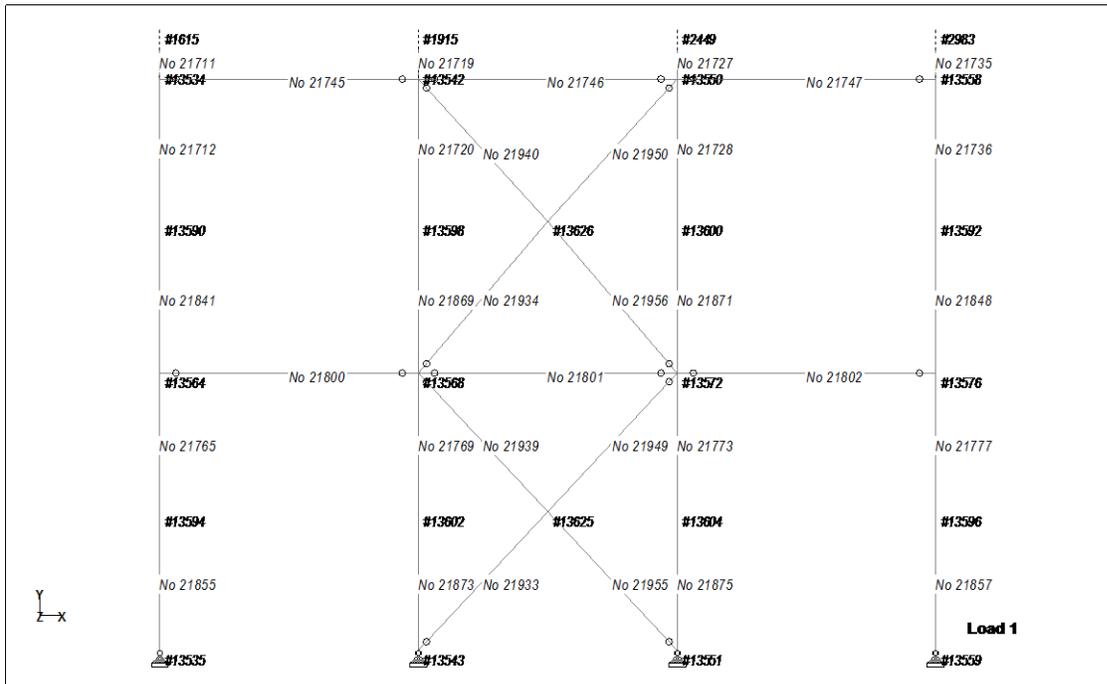


Figura 4.10. Elevación. Marco alineación R. Se indican nodos y barras

NODO	REACCION	R_x	R_y	R_z	M_x	M_y	M_z
		Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
13535	Máxima	0.06	46.79	2.38	0	0	0
13535	Mínima	-0.06	-19.3	-4.3	0	0	0
13543	Máxima	5.97	78.76	3.66	0	0	0
13543	Mínima	-4.01	-24.12	-5.86	0	0	0
13551	Máxima	4.01	78.78	3.66	0	0	0
13551	Mínima	-5.97	-24.14	-5.86	0	0	0
13559	Máxima	0.06	46.87	2.39	0	0	0
13559	Mínima	-0.06	-19.38	-4.31	0	0	0

Tabla 4.13. Reacciones para el Marco R

NODO	Δ	Δx	Δy	Δz	φx	φy	φz
		cm	cm	cm	rad	rad	rad
1615	Máxima	0.9001	0.0402	1.1262	0.0032	0.0001	0.0093
1615	Minima	-0.9027	-0.1922	0.0097	-0.0032	-0.0001	-0.0093
2983	Máxima	0.9027	0.0406	1.1292	0.0032	0.0002	0.0093
2983	Minima	-0.9001	-0.0959	-1.1296	-0.0032	-0.0002	-0.0093
13534	Máxima	0.488	0.0423	0.9816	0.003	0.0001	0.0082
13534	Minima	-0.4915	-0.1895	-0.9809	-0.003	-0.0001	-0.0082
13558	Máxima	0.4915	0.0426	0.9843	0.003	0.0002	0.0082
13558	Minima	-0.488	-0.1898	-0.9836	-0.003	-0.0002	-0.0082
13564	Máxima	0.1504	0.0421	0.3276	0.0016	0.0001	0.0012
13564	Minima	-0.1578	-0.1199	-0.3256	-0.0015	-0.0001	-0.0012
13576	Máxima	0.1578	0.0423	0.3285	0.0016	0.0001	0.0012
13576	Minima	-0.1504	-0.1201	-0.3265	-0.0015	-0.0001	-0.0012

Tabla 4.14. Desplazamientos y giros para Marco R.

NODO	FUERZA	Fx	Fy	Fz	Mz	My
		Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m
21711	Máxima	10.54 C	1	0.7	0.45	0.32
21711	Minima	5.03 C	-1	-0.7	-0.45	-0.32
21712	Máxima	9.98 C	0.36	0.13	0.59	0.36
21712	Minima	3.94 C	-0.36	-0.13	-0.59	-0.36
21719	Máxima	21.07 C	1.41	1.39	0.64	0.63
21719	Minima	11.61 C	-1.41	-1.39	-0.64	-0.63
21720	Máxima	19.39 C	0.49	0.28	0.84	0.79
21720	Minima	9.32 C	-0.47	-0.28	-0.82	-0.79
21727	Máxima	21.07 C	1.41	1.39	0.64	0.63
21727	Minima	11.72 C	-1.41	-1.39	-0.64	-0.63
21728	Máxima	19.39 C	0.49	0.28	0.84	0.79
21728	Minima	9.32 C	-0.47	-0.28	-0.82	-0.79
21735	Máxima	10.54 C	1	0.7	0.45	0.32
21735	Minima	5.03 C	-1	-0.7	-0.45	-0.32
21736	Máxima	9.98 C	0.36	0.13	0.6	0.36
21736	Minima	3.94 C	-0.36	-0.13	-0.59	-0.36
21745	Máxima	0.84 C	0.19	0.01	0	0.02
21745	Minima	0.84 T	-0.19	-0.02	-0.12	-0.02
21746	Máxima	0.44 T	0.19	0.01	0	0.01
21746	Minima	1.14 T	-0.19	-0.01	-0.12	-0.01
21747	Máxima	0.84 C	0.19	0.03	0	0.05
21747	Minima	0.84 T	-0.19	-0.03	-0.12	-0.05
21765	Máxima	20.01 C	-0.03	0.03	0.18	0.08
21765	Minima	2.91 T	-0.08	-0.03	-0.18	-0.08
21769	Máxima	33.57 C	-0.1	0.05	0.25	0.16
21769	Minima	0.48 T	-0.16	-0.05	-0.34	-0.17
21773	Máxima	33.58 C	-0.1	0.05	0.25	0.17
21773	Minima	0.49 T	-0.16	-0.05	-0.34	-0.16
21777	Máxima	20.04 C	-0.03	0.03	0.18	0.08
21777	Minima	2.94 T	-0.08	-0.03	-0.18	-0.08
21800	Máxima	0.19 C	0.48	0	0	0.01
21800	Minima	0.18 T	-0.48	-0.01	-0.31	-0.01
21801	Máxima	0.33 T	0.48	0	0	0
21801	Minima	2.84 T	-0.48	0	-0.31	0

NODO	FUERZA	Fx	Fy	Fz	Mz	My
		Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m
21802	Máxima	0.19 C	0.48	0.01	0	0.02
21802	Minima	0.18 T	-0.48	-0.01	-0.31	-0.02
21841	Máxima	14.64 C	0.06	0.13	0.16	0.14
21841	Minima	0.56 T	-0.11	-0.13	-0.08	-0.14
21848	Máxima	14.62 C	0.06	0.13	0.16	0.14
21848	Minima	0.58 T	-0.11	-0.13	-0.08	-0.14
21855	Máxima	23.90 C	0.12	0.03	0.18	0.04
21855	Minima	6.74 T	-0.09	-0.03	-0.13	-0.04
21857	Máxima	23.94 C	0.12	0.03	0.18	0.04
21857	Minima	6.78 T	-0.09	-0.03	-0.13	-0.04
21869	Máxima	24.30 C	0.04	0.28	0.29	0.31
21869	Minima	2.89 C	-0.17	-0.28	-0.07	-0.31
21871	Máxima	24.30 C	0.04	0.28	0.29	0.31
21871	Minima	2.88 C	-0.17	-0.28	-0.07	-0.31
21873	Máxima	39.00 C	0.16	0.05	0.26	0.08
21873	Minima	5.81 T	-0.1	-0.05	-0.16	-0.08
21875	Máxima	39.01 C	0.16	0.05	0.26	0.08
21875	Minima	5.82 T	-0.1	-0.05	-0.16	-0.08
21933	Máxima	4.85 C	0.01	0	0	0
21933	Minima	2.04 T	-0.01	0	-0.01	0
21934	Máxima	5.22 C	0.01	0	0	0
21934	Minima	2.86 T	-0.01	0	0	0
21939	Máxima	4.82 C	0	0	0.01	0
21939	Minima	2.06 T	-0.01	0	0	0
21940	Máxima	5.09 C	0	0	0.01	0
21940	Minima	2.72 T	-0.01	0	0	0
21949	Máxima	4.82 C	0.01	0	0.01	0
21949	Minima	2.06 T	0	0	0	0
21950	Máxima	5.09 C	0.01	0	0.01	0
21950	Minima	2.72 T	0	0	0	0
21955	Máxima	4.85 C	0.01	0	0	0
21955	Minima	2.04 T	-0.01	0	-0.01	0
21956	Máxima	5.22 C	0.01	0	0	0
21956	Minima	2.86 T	-0.01	0	0	0

Tabla 4.15. Elementos mecánicos para Marco R.

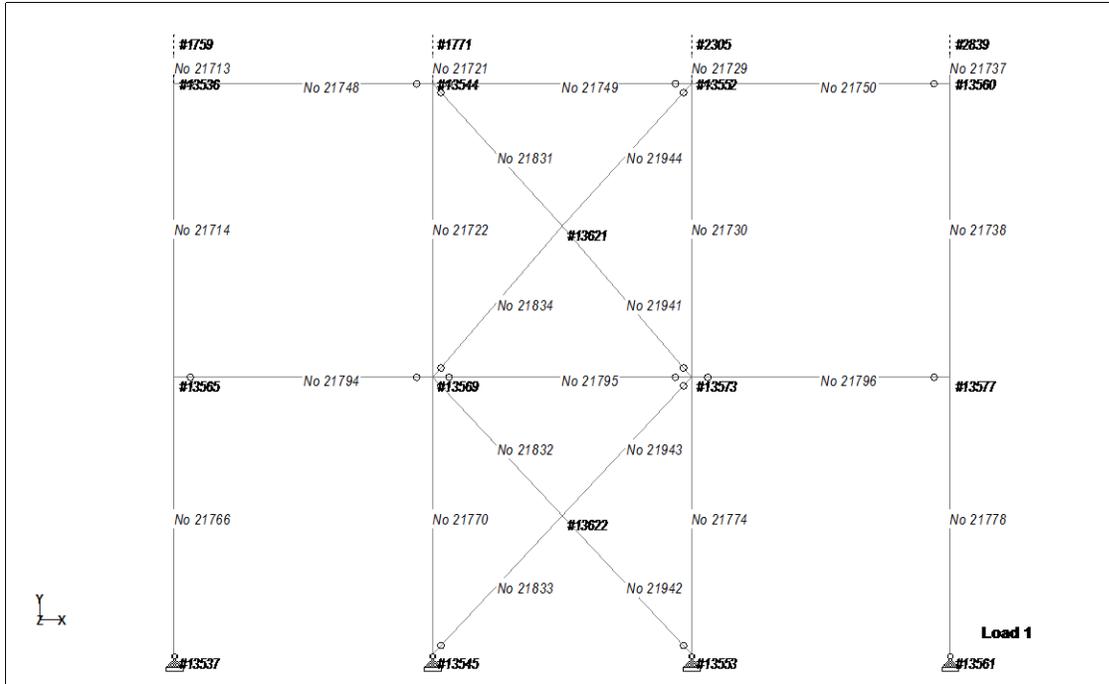


Figura 4.11. Elevación. Marco alineación S. Se indican nodos y barras

NODO	Δ	Δx	Δy	Δz	φx	φy	φz
		cm	cm	cm	rad	rad	rad
1759	Máxima	0.7465	-0.0114	1.1241	0.003	0.0001	0.0055
1759	Mínima	-0.7484	-0.0687	-1.1207	-0.003	-0.0002	-0.0055
2839	Máxima	0.7484	-0.0114	1.1272	0.003	0.0004	0.0055
2839	Mínima	0.3671	-0.023	0.3441	0.0009	-0.0004	-0.0055
13536	Máxima	0.5022	-0.0111	0.9858	0.0029	0.0001	0.005
13536	Mínima	-0.5047	-0.0666	-0.9844	-0.0029	-0.0002	-0.005
13560	Máxima	0.5047	-0.0111	0.9885	0.0029	0.0004	0.005
13560	Mínima	-0.5021	-0.0666	-0.9871	-0.0029	-0.0004	-0.005
13565	Máxima	0.1647	-0.0063	0.3273	0.0012	0	0.0003
13565	Mínima	-0.1698	-0.0339	-0.3253	-0.0013	-0.0001	-0.0003
13577	Máxima	0.1698	-0.0063	0.3282	0.0012	0.0001	0.0003
13577	Mínima	-0.1647	-0.0339	-0.3262	-0.0013	-0.0001	-0.0003

Tabla 4.16. Desplazamientos y giros para Marco S.

NODO	REACCION	R_x	R_y	R_z	M_x	M_y	M_z
		Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
13537	Máxima	0.06	13.92	0.05	0	0	0
13537	Mínima	-0.06	-0.65	-0.08	0	0	0
13545	Máxima	5.35	42.28	0.03	0	0	0
13545	Mínima	-3.93	-16.13	-0.09	0	0	0
13553	Máxima	3.93	42.28	0.03	0	0	0
13553	Mínima	-5.35	-16.13	-0.09	0	0	0
13561	Máxima	0.06	13.92	0.05	0	0	0
13561	Mínima	-0.06	-0.66	-0.08	0	0	0

Tabla 4.17. Reacciones para el Marco S

NODO	FUERZA	F _x	F _y	F _z	M _z	M _y
		Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m
21713	Máxima	7.41 C	0.69	0.78	0.31	0.35
21713	Minima	2.70 C	-0.69	-0.78	-0.31	-0.35
21714	Máxima	7.61 C	0.1	0.16	0.4	0.45
21714	Minima	2.79 C	-0.07	-0.16	-0.39	-0.45
21721	Máxima	14.71 C	0.98	1.56	0.44	0.71
21721	Minima	7.48 C	-0.98	-1.56	-0.44	-0.71
21722	Máxima	14.12 C	0.16	0.32	0.56	0.9
21722	Minima	5.22 C	-0.11	-0.32	-0.55	-0.9
21729	Máxima	14.71 C	0.98	1.56	0.44	0.71
21729	Minima	7.48 C	-0.98	-1.56	-0.44	-0.71
21730	Máxima	14.12 C	0.16	0.32	0.57	0.9
21730	Minima	5.22 C	-0.11	-0.32	-0.55	-0.9
21737	Máxima	7.41 C	0.7	0.78	0.32	0.35
21737	Minima	2.70 C	-0.7	-0.78	-0.32	-0.35
21738	Máxima	7.61 C	0.1	0.16	0.4	0.45
21738	Minima	2.79 C	-0.07	-0.16	-0.39	-0.45
21748	Máxima	0.93 C	0.04	0.01	0	0.01
21748	Minima	0.93 T	-0.04	-0.01	-0.03	-0.02
21749	Máxima	0.41 T	0.04	0	0	0
21749	Minima	0.83 T	-0.04	0	-0.03	0
21750	Máxima	0.93 C	0.04	0.02	0	0.03
21750	Minima	0.93 T	-0.04	-0.02	-0.03	-0.03
21766	Máxima	8.63 C	0.05	0.03	0.16	0.09
21766	Minima	3.82 C	-0.02	-0.03	-0.06	-0.09
21770	Máxima	21.64 C	0.06	0.06	0.19	0.18
21770	Minima	1.50 C	0	-0.06	-0.01	-0.19

NODO	FUERZA	F _x	F _y	F _z	M _z	M _y
		Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m
21774	Máxima	21.64 C	0.06	0.06	0.19	0.19
21774	Minima	1.50 C	0	-0.06	-0.01	-0.18
21778	Máxima	8.63 C	0.05	0.03	0.16	0.09
21778	Minima	3.82 C	-0.02	-0.03	-0.06	-0.09
21794	Máxima	0.20 C	0.04	0	0	0.01
21794	Minima	0.19 T	-0.04	0	-0.03	-0.01
21795	Máxima	0.82 T	0.04	0	0	0
21795	Minima	1.54 T	-0.04	0	-0.03	0
21796	Máxima	0.20 C	0.04	0.01	0	0.02
21796	Minima	0.19 T	-0.04	-0.01	-0.03	-0.02
21831	Máxima	5.09 C	0	0	0.01	0
21831	Minima	3.39 T	-0.01	0	0	0
21832	Máxima	4.22 C	0	0	0.01	0
21832	Minima	2.30 T	-0.01	0	0	0
21833	Máxima	4.25 C	0.01	0	0	0
21833	Minima	2.28 T	-0.01	0	0	0
21834	Máxima	5.24 C	0.01	0	0	0
21834	Minima	3.54 T	-0.01	0	0	0
21941	Máxima	5.24 C	0.01	0	0	0
21941	Minima	3.54 T	-0.01	0	0	0
21942	Máxima	4.25 C	0.01	0	0	0
21942	Minima	2.28 T	-0.01	0	0	0
21943	Máxima	4.23 C	0.01	0	0.01	0
21943	Minima	2.30 T	0	0	0	0
21944	Máxima	5.09 C	0.01	0	0.01	0
21944	Minima	3.39 T	0	0	0	0

Tabla 4.18. Elementos mecánicos para Marco S.

V. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA ESTRUCTURA DE APOYO

V.1 Reglamentos y Ayudas

Los reglamentos para el diseño de estructuras son documentos legales que tienen como función proteger a la sociedad contra el colapso o mal funcionamiento estructural de las construcciones. Esto lo logran fijando una larga lista de requerimientos para poder cubrir el mayor número de casos que puedan presentarse durante su vida útil, demostrando así, que su diseño cumple con los requisitos establecidos.

Los reglamentos son elaborados por comités formados por grupos de especialistas en la materia y revisados por personas e instituciones interesadas, como asociaciones de profesionistas y centros de investigación y de las autoridades competentes. Un reglamento refleja, por tanto, los puntos de vista de los redactores y el estado del conocimiento en el momento de su elaboración.

Es responsabilidad de los redactores fijar los niveles de seguridad para los distintos tipos de categorías de estructuras. Estos niveles de seguridad se basan principalmente en la experiencia del comportamiento de estructuras diseñadas con distintos procedimientos, factores de seguridad y la opinión subjetiva de los autores.

Los reglamentos utilizados en la realización de este trabajo pretenden aportar uniformidad a los diversos reglamentos que se utilizan en EUA, debido a que los grupos involucrados en desarrollar documentos especializados tienen principalmente carácter de aplicación regional. Sin embargo, muchos de los documentos elaborados representan los de mayor divulgación y aceptación a nivel internacional y constituyen la base de proyectos en los que intervienen especialistas de distintas partes del mundo.

V.2 Revisión por Estados Límite de Falla

El diseño se realizará de acuerdo con las provisiones para el “Diseño de Esfuerzos Permisibles”, (Allowable Stress Design, ASD).

Un diseño de acuerdo a las provisiones por Esfuerzos Permisibles, satisface los requerimientos de esta especificación cuando el esfuerzo permisible de cada componente estructural equipara o excede al esfuerzo requerido determinado con base en las combinaciones de carga por ASD:

$$r_u \leq \frac{r_n}{\phi}$$

En donde,

r_u , es el esfuerzo requerido en la sección (ASD).

r_n , es el esfuerzo nominal en la sección, especificado con los capítulos del B al K en el manual del AISC.

ϕ , es el factor de seguridad, especificado en cada capítulo.

r_n/ϕ , es el esfuerzo permisible.

Las secciones serán clasificadas como, compactas, no compactas, y esbeltas. Para que una sección sea clasificada como compacta deberá cumplir con las siguientes características:

1. Los patines deben estar unidos continuamente al alma o almas.
2. La relación ancho-espesor de elementos no atiesados del patín en compresión no excederá de la relación definida en la tabla 5.1.

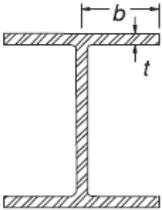
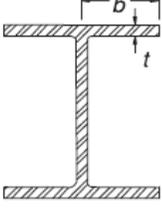
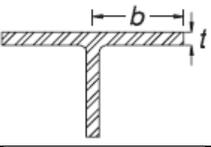
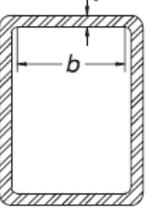
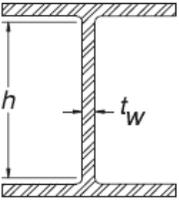
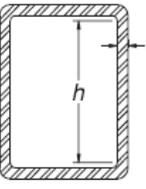
Relaciones límite Ancho-Espesor para elementos en Compresión ²⁵				
Descripción del Elemento	Relación Ancho-Espesor	Sección Compacta	Sección No-Compacta	Ilustración
Flexión en patines de secciones I y CE	$\frac{b}{t}$	$0.38 \sqrt{E/F_y}$	$1.0 \sqrt{E/F_y}$	
Flexión en patines de secciones I armadas en simetría sencilla y doble	$\frac{b}{t}$	$0.38 \sqrt{E/F_y}$	$0.95 \sqrt{k_c E/F_L}$	
Flexión en patines de secciones T	$\frac{b}{t}$	$0.38 \sqrt{E/F_y}$	$1.0 \sqrt{E/F_y}$	
Compresión uniforme en patines de sección cajón y OR de espesor uniforme sujetos a compresión o flexión.	$\frac{b}{t}$	$1.12 \sqrt{E/F_y}$	$1.40 \sqrt{E/F_y}$	
Flexión en alma de secciones I doblemente simétricas y CE.	$\frac{h}{t_w}$	$3.76 \sqrt{E/F_y}$	$5.70 \sqrt{E/F_y}$	
Flexión en alma de secciones OR	$\frac{h}{t_w}$	$2.42 \sqrt{E/F_y}$	$5.70 \sqrt{E/F_y}$	

Tabla 5.1 Relaciones máximas ancho-espesor para placas de acero en compresión.

²⁶Los perfiles actuales bajo la especificación ASTM A6 W, S, M, C y MC excepto W21x48, W14x99, W14x90, W12x65, W10x12, W8x31, W8x10, W6x15, W6x9, W6x8.5,

²⁵ AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, INC: *Specifications for Structural Steel Buildings*. United State of America: 2005. pp 16, 17. ISBN 1-56424-055-X.

y M4X6 tienen patines compactos para un $F_y \leq 3,515 \text{ kg/cm}^2$. Todos los perfiles actuales bajo la especificación ASTM A6 W, S, M, Hp, C y MC tiene alma compacta para un $F_y \leq 4,570 \text{ kg/cm}^2$.

Esfuerzos Combinados en elementos estructurales. Ver figuras 5.1 a 5.8 para representación gráfica.

Para aquellos elementos con simetría sencilla y doble, sujetos a interacción de flexión y compresión axial, deberán ser diseñados de manera que satisfagan las condiciones contenidas en el capítulo H del ASD enunciadas a continuación.

H1-1a. Para $\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$;

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

H1-1b. Para $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$;

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

En donde:

E3-1. Determina la fuerza nominal a compresión.

$$P_c = \frac{P_n}{1.67} = \frac{F_{cr} A_g}{1.67}$$

En donde el esfuerzo de pandeo, F_{cr} , se determina mediante:

E3-2. Para una relación de esbeltez, $\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$, o $F_e \geq 0.44F_y$

²⁶ AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, INC: *Specifications for Structural Steel Buildings*. United State of America: 2005. pp 47. ISBN 1-56424-055-X.

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e} \right) F_y$$

E3-3. Cuando $\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$, o $F_e < 0.44F_y$,

$$F_{cr} = 0.877F_y$$

E3-4. Donde F_e es el esfuerzo crítico de pandeo elástico.

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

La fuerza permisible por flexión, se determina mediante:

$$M_{cx} = \frac{M_n}{1.67}$$

Para secciones IR doblemente simétricas flexionadas sobre su eje mayor.

F2-1. Para $L_b \leq L_p$

$$M_n = M_p = F_y Z_X$$

F2-2. Para $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

F2-3. Para $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_X \leq M_p$$

En donde,

F1-1 Factor de modificación al pandeo lateral torsional para diagrama de momentos uniforme cuando ambos extremos se encuentran restringidos.

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} R_m \leq 3.0$$

F2-4 El esfuerzo crítico de pandeo será determinado mediante:

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2}{\left(\frac{L_b}{r_{is}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{S_X h_0} \left(\frac{L_b}{r_{is}}\right)^2}$$

F2-5 El límite de la longitud de un patín compacto es:

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

F2-6 El límite de la longitud de un patín no compacto es:

$$L_r = 1.95 r_{is} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_X h_0}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y S_X h_0}{E Jc}\right)^2}}$$

F2-7 Referirse para la sección correspondiente para la simplificación de los siguientes factores de diseño:

$$r_{is}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}$$

$$C_w = \frac{I_y h_0^2}{4}$$

Para una sección con alma compacta y patines no compactos, flexionada sobre su eje mayor, se utilizará el menor valor entre el momento nominal de la sección *F2-2*, y de acuerdo a su clasificación, el momento nominal *F3-1* ó *F3-2*.

F3-1 Pandeo local en el patín de compresión para secciones con patines no compactos.

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_z) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \leq M_p$$

F3-2. Pandeo local en el patín de compresión para secciones con patines esbeltos.

$$M_n = \frac{0.9Ek_c S_z}{\lambda^2}$$

Para un perfil I flexionado sobre su eje menor, se utilizará el menor valor entre el momento nominal de la sección *F6-1*, y de acuerdo a su clasificación, el momento nominal *F6-2* ó *F6-3*.

$$M_{cy} = \frac{M_n}{1.67}$$

F6-1 Fuerza nominal a flexión por fluencia (momento plástico):

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6F_y S_y$$

- F6-2. Fuerza nominal a flexión por pandeo local del patín para secciones con patines no compactos.

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right]$$

- F6-3. Fuerza nominal a flexión por pandeo local del patín para secciones con patines esbeltos.

$$M_n = F_{cr} S_y$$

- F6-4. El esfuerzo crítico de pandeo será determinado mediante:

$$F_{cr} = \frac{0.69E}{\left(\frac{b_f}{2t_f} \right)^2}$$

Donde,

L_b , es la longitud sin arriostrar.

λ es la relación ancho-espesor del patín.

λ_{pf} es el límite para la relación ancho-espesor de un patín compacto.

λ_{rf} es el límite para la relación ancho-espesor de un patín no-compacto.

$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$, no menor que 0.35, ni mayor que 0.76 para propósitos de cálculo.

$M_{m\acute{a}x}$, valor absoluto del momento flector máximo.

M_A , valor absoluto del momento flector a una $\frac{1}{4}$ parte de la longitud.

M_B , valor absoluto del momento flector a la $\frac{1}{2}$ de la longitud.

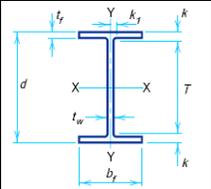
M_C , valor absoluto del momento flector a los $\frac{3}{4}$ de la longitud.

R_m tiene un valor de 1.0 para secciones doblemente simétricas.

c , variable que para perfiles I doblemente simétricos tiene un valor de 1.0.

h_0 , distancia entre centroides de patines.

En las próximas líneas se ejemplifica el diseño de la columna en la intersección de los ejes R y 9. Ver figura 5.7, página 129.

Designación		Area	Peralte	Alma	Patín		Distancia			
		W8x31		A	d	t_w	b_f	t_f	T	k
59.8	203			7.2	203	11.0	156	24	14	
Eje X-X				Eje Y-Y			J	Mod. Plástico		
I	S			r	I	S		r	Z_x	Z_y
4579	451	8.8	1544	152	5.1	22.5	498	231		

Criterio de relación ancho-espesor. Sección no compacta.

X-X		Y-Y	
l	157.15	l	157.15
r	8.8	r	5.1
K	1.0	K	2.0
Kl/r	17.86	Kl/r	61.63

Elemento 21875

Elemento 21773

Ya que $\frac{K_y l}{r_y} < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$,

De E3-4,

$$F_e = 5298.69 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e = 5298.69 \text{ kg/cm}^2$$

De E3-2,

$$F_{cr} = 2071.70 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = 2071.70 \text{ kg/cm}^2$$

De E3-1,

$$P_c = 73067.88 \text{ kg}$$

$$P_c = 73067.88 \text{ kg}$$

Con base en los valores de la tabla 4.15,

$$\frac{P_r}{P_c} = 0.5339 > 0.2$$

$$\frac{P_r}{P_c} = 0.4596 > 0.2$$

Interacción en el eje mayor por flexión

De F2-5,

$$L_p = 254.82 \text{ cm}$$

$$L_p = 254.82 \text{ cm}$$

De F2-6,

$$L_r = 1000.4 \text{ cm}$$

$$L_r = 1000.4 \text{ cm}$$

Ya que,

$$L_b < L_p$$

$$L_b < L_p$$

De F2-1,

$$M_n = M_p = 1259940 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_n = M_p = 1259940 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cx} = 754455.09 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cx} = 754455.09 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

En base a los valores de la tabla 4.15,

$$\frac{M_{rx}}{M_{cx}} = 0.0345$$

$$\frac{M_{rx}}{M_{cx}} = 0.0451$$

Interacción en el eje menor por flexión

De F6-1,

$$M_n = M_p = 584430 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_n = M_p = 584430 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cy} = 349958.08 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cy} = 349958.08 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

En base a los valores de la tabla 4.15,

$$\frac{M_{ry}}{M_{cy}} = 0.0229$$

$$\frac{M_{ry}}{M_{cy}} = 0.0486$$

De H1-1a, la interacción del elemento resulta

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0.59 < 1.0$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0.55 < 1.0$$

X-X		Y-Y	
l	171.85	l	171.85
r	8.8	r	5.1
K	1.0	K	2.0
Kl/r	19.53	Kl/r	67.39

Elemento 21871

Elemento 21728

Ya que $\frac{K_y l}{r_y} < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$,

De E3-4,

$$F_e = 4430.96 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e = 4430.96 \text{ kg/cm}^2$$

De E3-2,

$$F_{cr} = 1992.19 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = 1992.19 \text{ kg/cm}^2$$

De E3-1,

$$P_c = 70263.48 \text{ kg}$$

$$P_c = 70263.48 \text{ kg}$$

Con base en los valores de la tabla 4.15,

$$\frac{P_r}{P_c} = 0.3458 > 0.2$$

$$\frac{P_r}{P_c} = 0.2760 > 0.2$$

Interacción en el eje mayor por flexión

De F2-5,

$$L_p = 254.82 \text{ cm}$$

$$L_p = 254.82 \text{ cm}$$

De F2-6,

$$L_r = 1000.4 \text{ cm}$$

$$L_r = 1000.4 \text{ cm}$$

Ya que,

$$L_b < L_p$$

$$L_b < L_p$$

De F2-1,

$$M_n = M_p = 1259940 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_n = M_p = 1259940 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cx} = 754455.09 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cx} = 754455.09 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Con base en los valores de la tabla 4.15,

$$\frac{M_{rx}}{M_{cx}} = 0.0384$$

$$\frac{M_{rx}}{M_{cx}} = 0.1113$$

Interacción en el eje menor por flexión

De F6-1,

$$M_n = M_p = 584430 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_n = M_p = 584430 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cy} = 349958.08 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cy} = 349958.08 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Con base en los valores de la tabla 4.15,

$$\frac{M_{ry}}{M_{cy}} = 0.0886$$

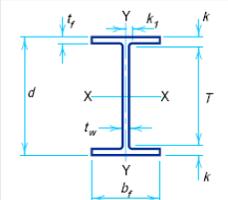
$$\frac{M_{ry}}{M_{cy}} = 0.2257$$

De H1-1a, la interacción del elemento resulta

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0.46 < 1.0$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0.58 < 1.0$$

En las próximas líneas se ejemplifica el diseño de la columna en la intersección de los ejes R y 10. Ver figura 5.7, página 129.

Designación		Area	Peralte	Alma	Patín		Distancia			
		A	d	t_w	b_f	t_f	T	k	k_l	
W8x18		33.9	207	5.8	133	8.4	169	19	11	
		Eje X-X			Eje Y-Y			J	Mod. Plástico	
		I	S	r	I	S	r		Z_x	Z_y
		2576	249	8.7	332	50	3.1	7.1	279	76

Criterio de relación ancho-espesor. Sección compacta.

X-X		Y-Y	
l	157.15	l	157.15
r	8.7	r	3.1
K	1.0	K	2.0
Kl/r	18.06	Kl/r	101.39

Elemento 21777

Elemento 21857

Ya que $\frac{K_y l}{r_y} < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$,

De E3-4,

$$F_e = 1957.72 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e = 1957.72 \text{ kg/cm}^2$$

De E3-2,

$$F_{cr} = 1473.03 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = 1473.03 \text{ kg/cm}^2$$

De E3-1,

$$P_c = 29901.57 \text{ kg}$$

$$P_c = 29901.57 \text{ kg}$$

Con base en los valores de la tabla 4.15,

$$\frac{P_r}{P_c} = 0.6702 > 0.2$$

$$\frac{P_r}{P_c} = 0.8006 > 0.2$$

Interacción en el eje mayor por flexión

De F2-5,

$$L_p = 154.89 \text{ cm}$$

$$L_p = 154.89 \text{ cm}$$

De F2-6,

$$L_r = 523.83 \text{ cm}$$

$$L_r = 523.83 \text{ cm}$$

Ya que,

$$L_p < L_b < L_r$$

$$L_p < L_b < L_r$$

De F2-2,

$$M_n = M_p = 705870 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cx} = 422676.65 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

De F2-2,

$$M_n = M_p = 705870 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cx} = 422676.65 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Con base en los valores de la tabla 4.15,

$$\frac{M_{rx}}{M_{cx}} = 0.0426$$

$$\frac{M_{rx}}{M_{cx}} = 0.0426$$

Interacción en el eje menor por flexión

De F6-1,

$$M_n = M_p = 192280 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cy} = 115137.72 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_n = M_p = 192280 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cy} = 115137.72 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Con base en los valores de la tabla 4.15,

$$\frac{M_{ry}}{M_{cy}} = 0.0695$$

$$\frac{M_{ry}}{M_{cy}} = 0.0347$$

De H1-1a, la interacción del elemento resulta

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0.77 < 1.0 \quad \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0.87 < 1.0$$

X-X		Y-Y	
l	171.85	l	171.85
r	8.7	r	3.1
K	1.0	K	2.0
Kl/r	19.75	Kl/r	110.87

Elemento 21848

Elemento 21736

Ya que $\frac{K_y l}{r_y} < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$,

De E3-4,

$$F_e = 1637.12 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e = 1637.12 \text{ kg/cm}^2$$

De E3-2,

$$F_{cr} = 1324.98 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = 1324.98 \text{ kg/cm}^2$$

De E3-1,

$$P_c = 26896.23 \text{ kg}$$

$$P_c = 26896.23 \text{ kg}$$

En base a los valores de la tabla 4.15,

$$\frac{P_r}{P_c} = 0.5436 > 0.2$$

$$\frac{P_r}{P_c} = 0.3711 > 0.2$$

Interacción en el eje mayor por flexión

De F2-5,

$$L_p = 154.89 \text{ cm}$$

$$L_p = 154.89 \text{ cm}$$

De F2-6,

$$L_r = 523.83 \text{ cm}$$

$$L_r = 523.83 \text{ cm}$$

Ya que,

$$L_p < L_b < L_r$$

$$L_p < L_b < L_r$$

De F2-2,

$$M_n = M_p = 705870 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_n = M_p = 705870 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cx} = 422676.65 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cx} = 422676.65 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Con base en los valores de la tabla 4.15,

$$\frac{M_{rx}}{M_{cx}} = 0.0379$$

$$\frac{M_{rx}}{M_{cx}} = 0.1419$$

Interacción en el eje menor por flexión

De F6-1,

$$M_n = M_p = 192280 \text{ kg} \cdot \text{cm} \quad M_n = M_p = 192280 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cy} = 115137.72 \text{ kg} \cdot \text{cm} \quad M_{cy} = 115137.72 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

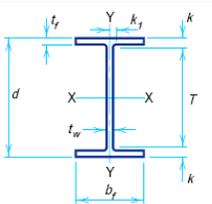
Con base en los valores de la tabla 4.15,

$$\frac{M_{ry}}{M_{cy}} = 0.1216 \quad \frac{M_{ry}}{M_{cy}} = 0.3127$$

De H1-1a, la interacción del elemento resulta

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0.69 < 1.0 \quad \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0.78 < 1.0$$

En las próximas líneas se ejemplifica el diseño de las vigas en el eje 8 entre T y U. Ver figura 5.6, página 128.

Designación		Area		Peralte	Alma	Patín		Distancia		
		A	d	t_w	b_f	t_f	T	k	k_1	
W8x18		33.9	207	5.8	133	8.4	169	19	11	
		Eje X-X			Eje Y-Y			J	Mod. Plástico	
		I	S	r	I	S	r		Z_x	Z_y
		2576	249	8.7	332	50	3.1	7.1	279	76

Criterio de relación ancho-espesor. Sección compacta.

X-X		Y-Y	
l	153.18	l	153.18
r	8.7	r	3.1
K	1.0	K	1.0
Kl/r	17.61	Kl/r	49.41

Elemento 21782

Elemento 21805

Ya que $\frac{K_y l}{r_y} < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$,

De E3-4,

$$F_e = 8242.61 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_e = 8242.61 \text{ kg/cm}^2$$

De E3-2,

$$F_{cr} = 2224.98 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = 2224.98 \text{ kg/cm}^2$$

De E3-1,

$$P_c = 45165.8 \text{ kg}$$

$$P_c = 45165.8 \text{ kg}$$

Con base en los valores obtenidos del análisis en STAAD.Pro,

$$\frac{P_r}{P_c} = 0.0062 > 0.15$$

$$\frac{P_r}{P_c} = 0.0062 > 0.15$$

Interacción en el eje mayor por flexión

De F2-5,

$$L_p = 154.89 \text{ cm}$$

$$L_p = 154.89 \text{ cm}$$

De F2-6,

$$L_r = 523.83 \text{ cm}$$

$$L_r = 523.83 \text{ cm}$$

Ya que,

$$L_b < L_p$$

$$L_b < L_p$$

De F2-1,

$$M_n = M_p = 705870 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_n = M_p = 705870 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cx} = 422676.65 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$M_{cx} = 422676.65 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Con base en los valores obtenidos del análisis en STAAD.Pro,

$$\frac{M_{rx}}{M_{cx}} = 0.6222$$

$$\frac{M_{rx}}{M_{cx}} = 0.634$$

Interacción en el eje menor por flexión

De F6-1,

$$\begin{aligned} M_n = M_p &= 192280 \text{ kg} \cdot \text{cm} & M_n = M_p &= 192280 \text{ kg} \cdot \text{cm} \\ M_{cy} &= 115137.72 \text{ kg} \cdot \text{cm} & M_{cy} &= 115137.72 \text{ kg} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

Con base en los valores obtenidos del análisis en STAAD.Pro,

$$\frac{M_{ry}}{M_{cy}} = 0.0068 \qquad \frac{M_{ry}}{M_{cy}} = 0.0095$$

De H1-3, la interacción del elemento resulta

$$\frac{P_r}{P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0.64 < 1.0 \qquad \frac{P_r}{P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0.65 < 1.0$$

Revisión por cortante en el alma

$$V_c = \frac{V_n}{\Omega_v}$$

De G2.1a,

$$\frac{h}{t_w} = 29.13 < 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \frac{h}{t_w} = 29.13 < 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Por lo que,

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \qquad V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$C_v = 1.0$$

$$C_v = 1.0$$

$$\Omega_v = 1.50$$

$$\Omega_v = 1.50$$

$$V_c = 12150.07 \text{ kg}$$

$$V_c = 12150.07 \text{ kg}$$

$$\frac{V_r}{V_c} = 0.14$$

$$\frac{V_r}{V_c} = 0.17$$

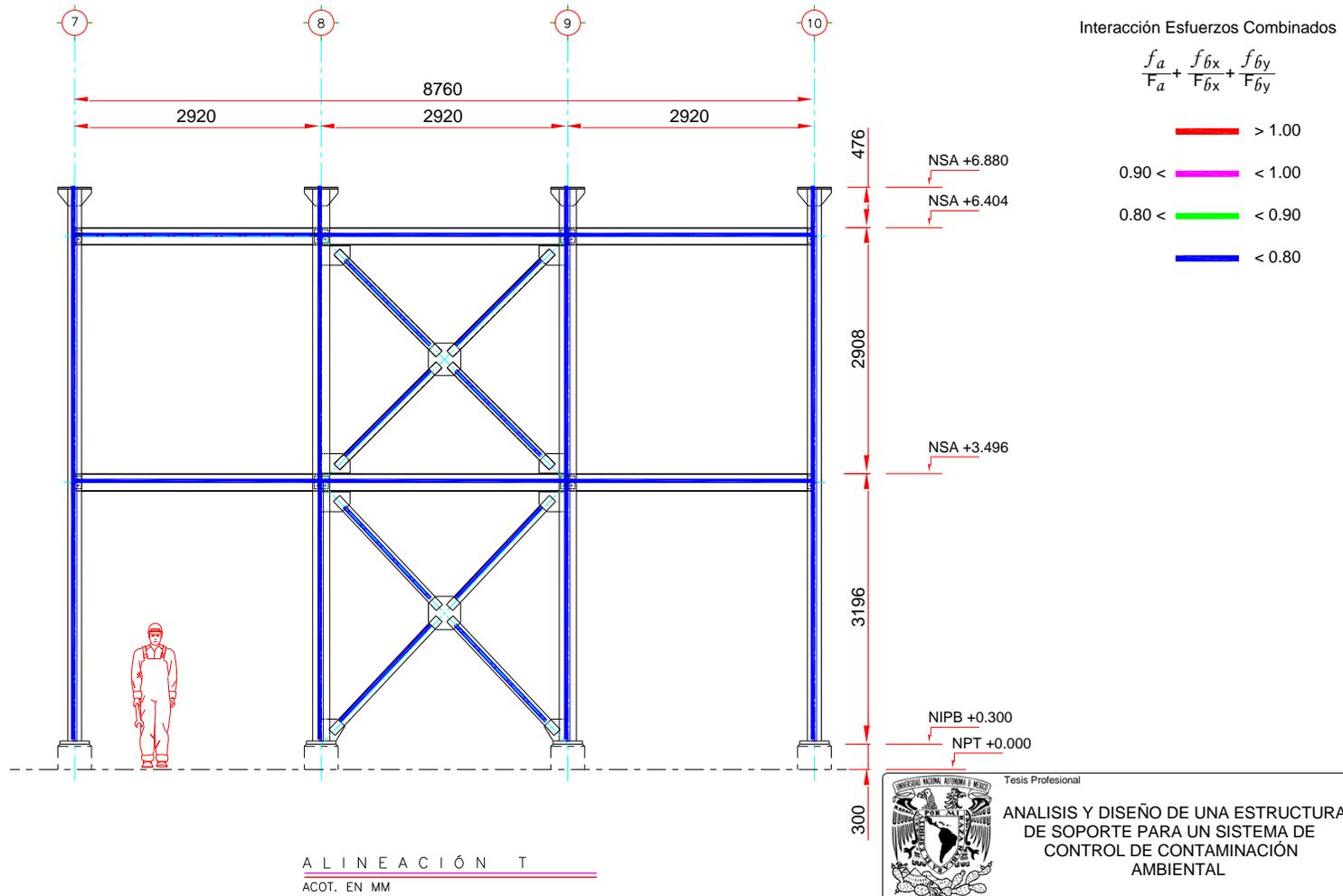


Figura 5.1

Tesis Profesional

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Presento: JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ

Director de Tesis: M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega

Concepto: Interacción de Esfuerzos Dibujo: Alineación T

Archivo: 70801.D.03 Escala: 1:75 Aprobó: Fecha: MAR/'11

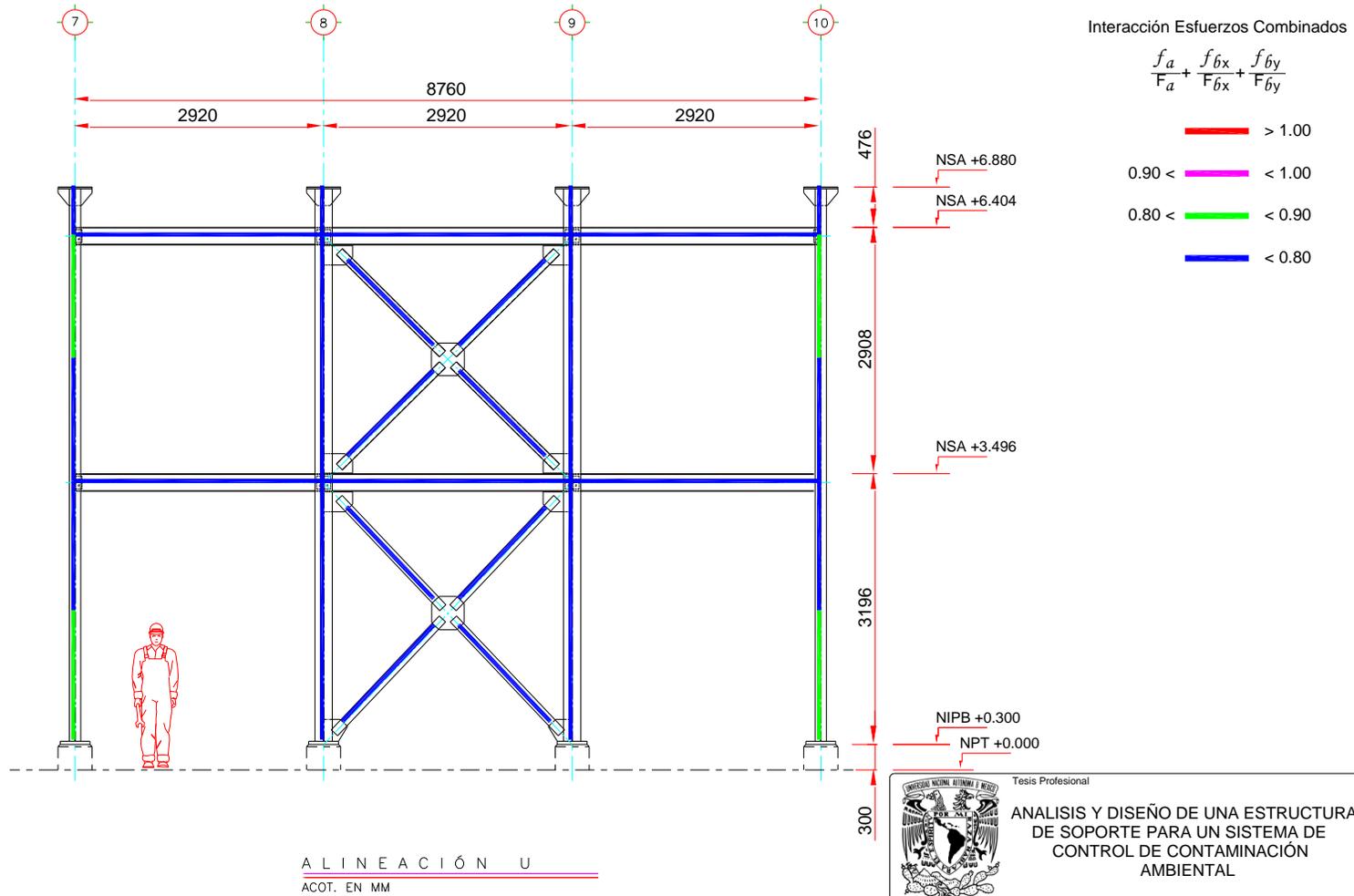


Figura 5.2

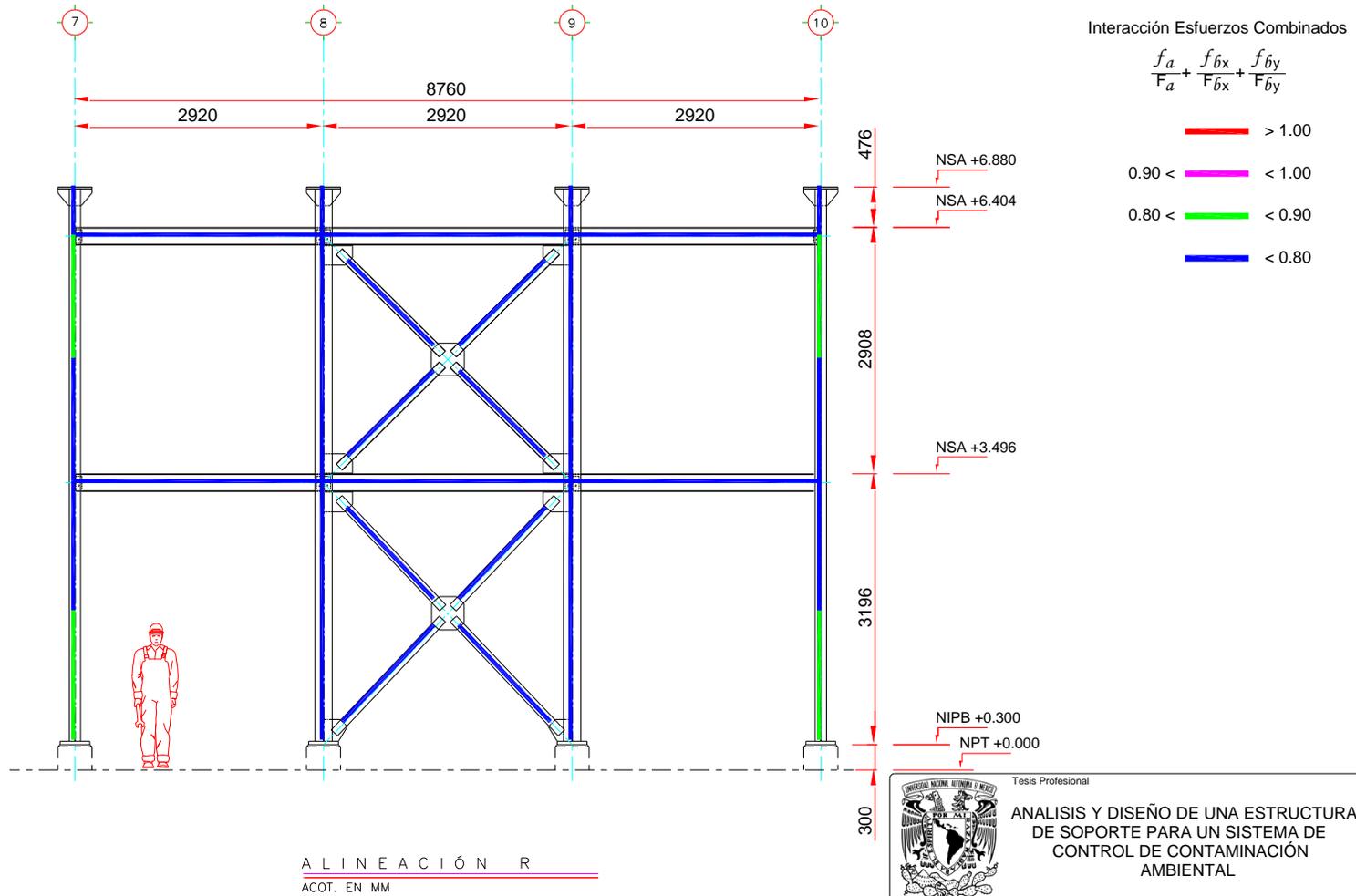


Figura 5.3

Tesis Profesional

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Presenta: JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ

Director de tesis: M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega

Concepto: Interacción de Esfuerzos Dibujo: Alineación R

Archivo: 70801.D.05 Escala: 1:75 Aprobó: Fecha: MAR/11

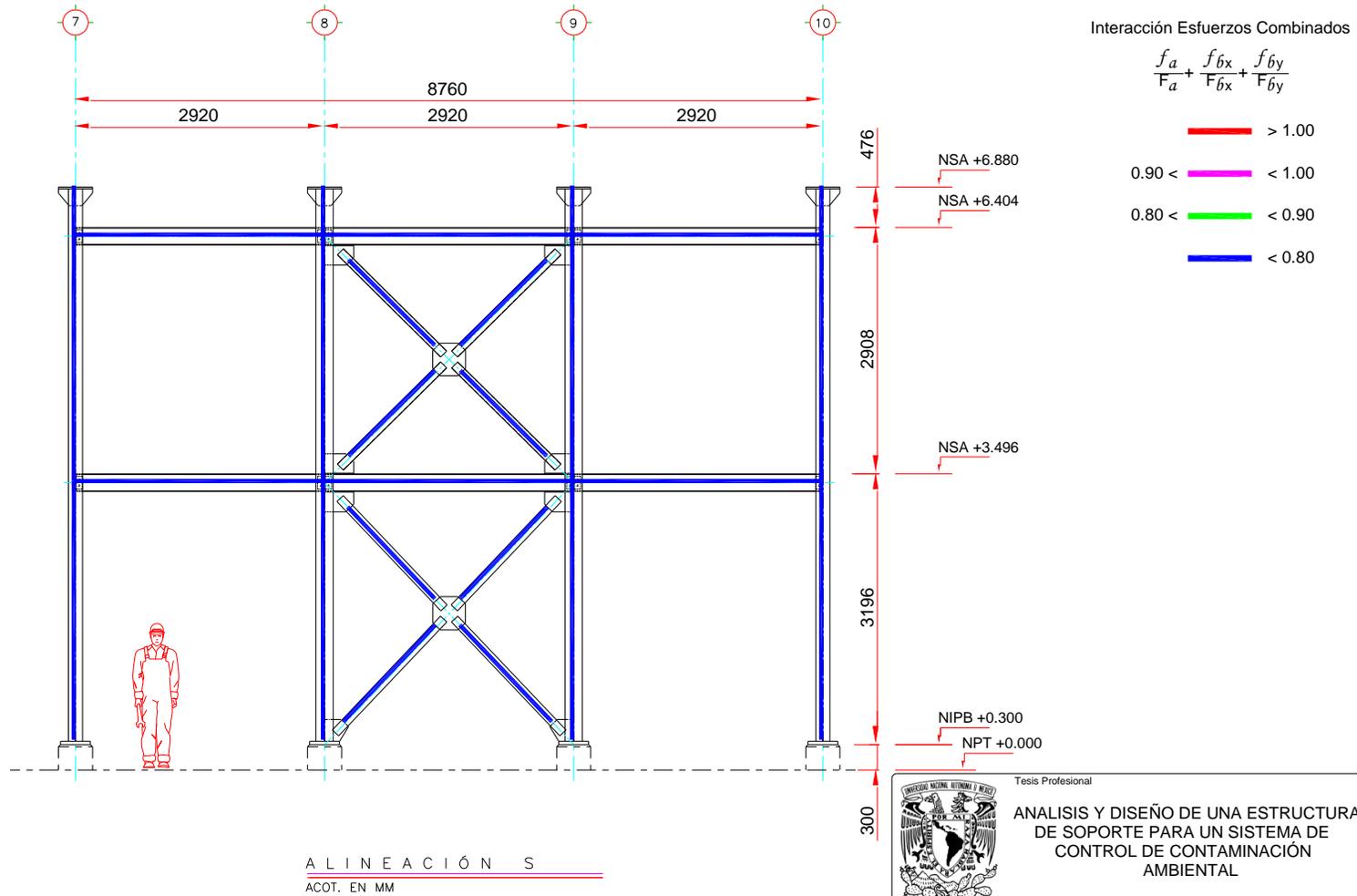


Figura 5.4

Tesis Profesional

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Presento: **JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ**

Director de tesis: **M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega**

Concepto: **Interacción de Esfuerzos** Dibujo: **Alineación S**

Archivo: **70801.D.06** Escala: **1:75** Aprobó: Fecha: **MAR/11**

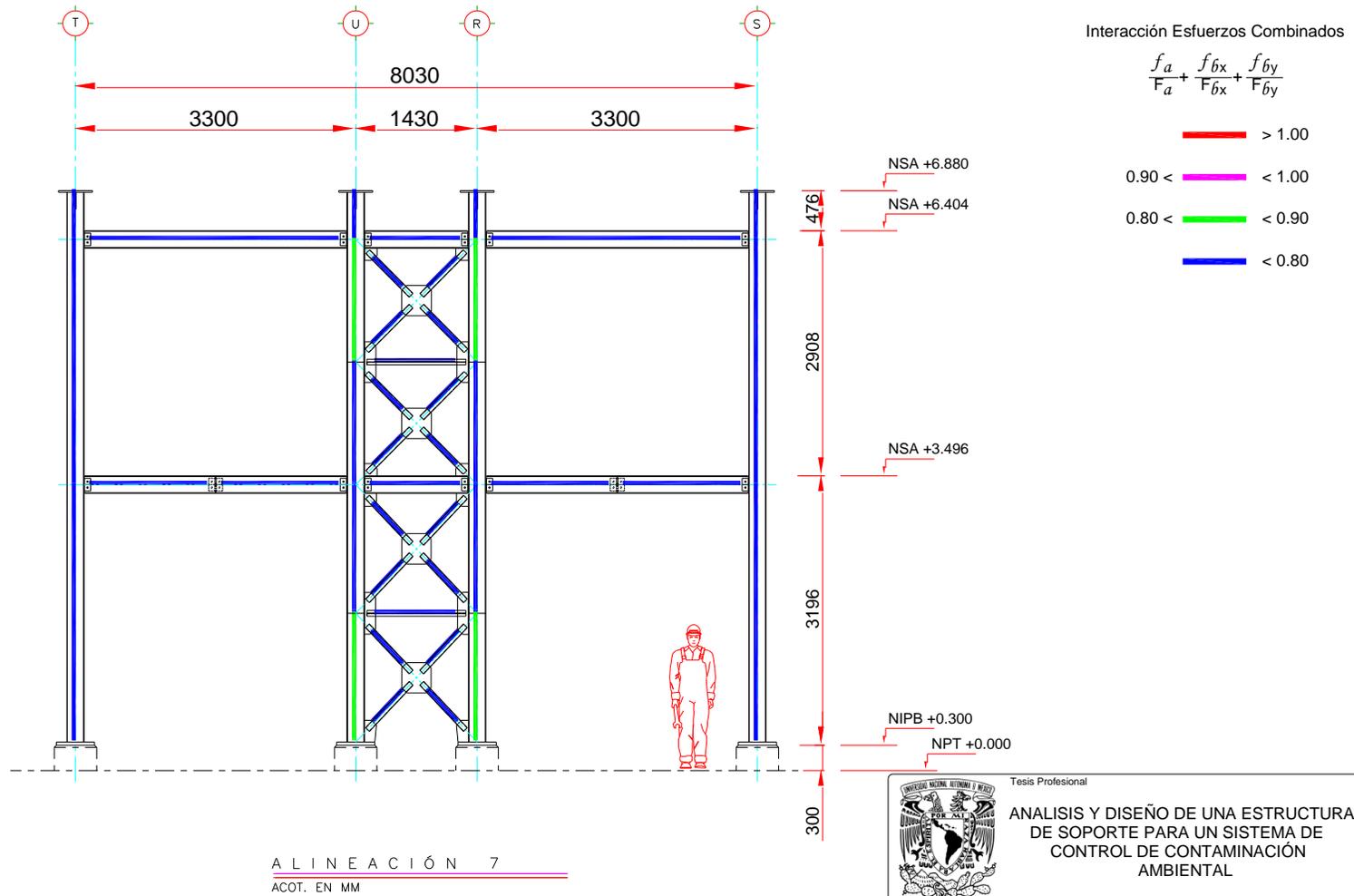


Figura 5.5

Tesis Profesional

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Presento: **JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ**

Director de Tesis: **M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega**

Concepto: **Interacción de Esfuerzos** Dibujo: **Alineación 7**

Archivo: **70801.D.07** Escala: **1:75** Aprobó: Fecha: **MAR/11**

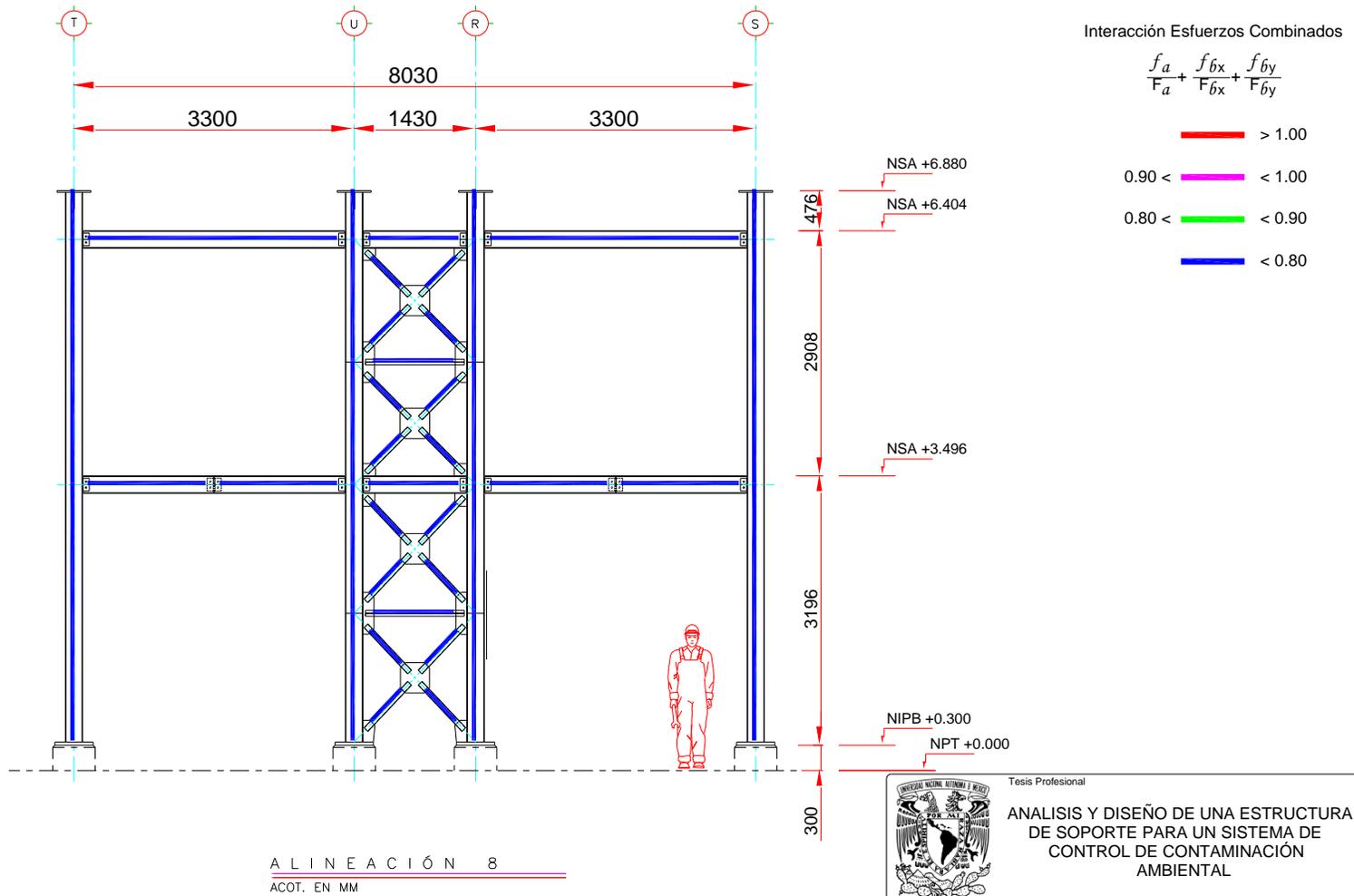


Figura 5.6

Tesis Profesional

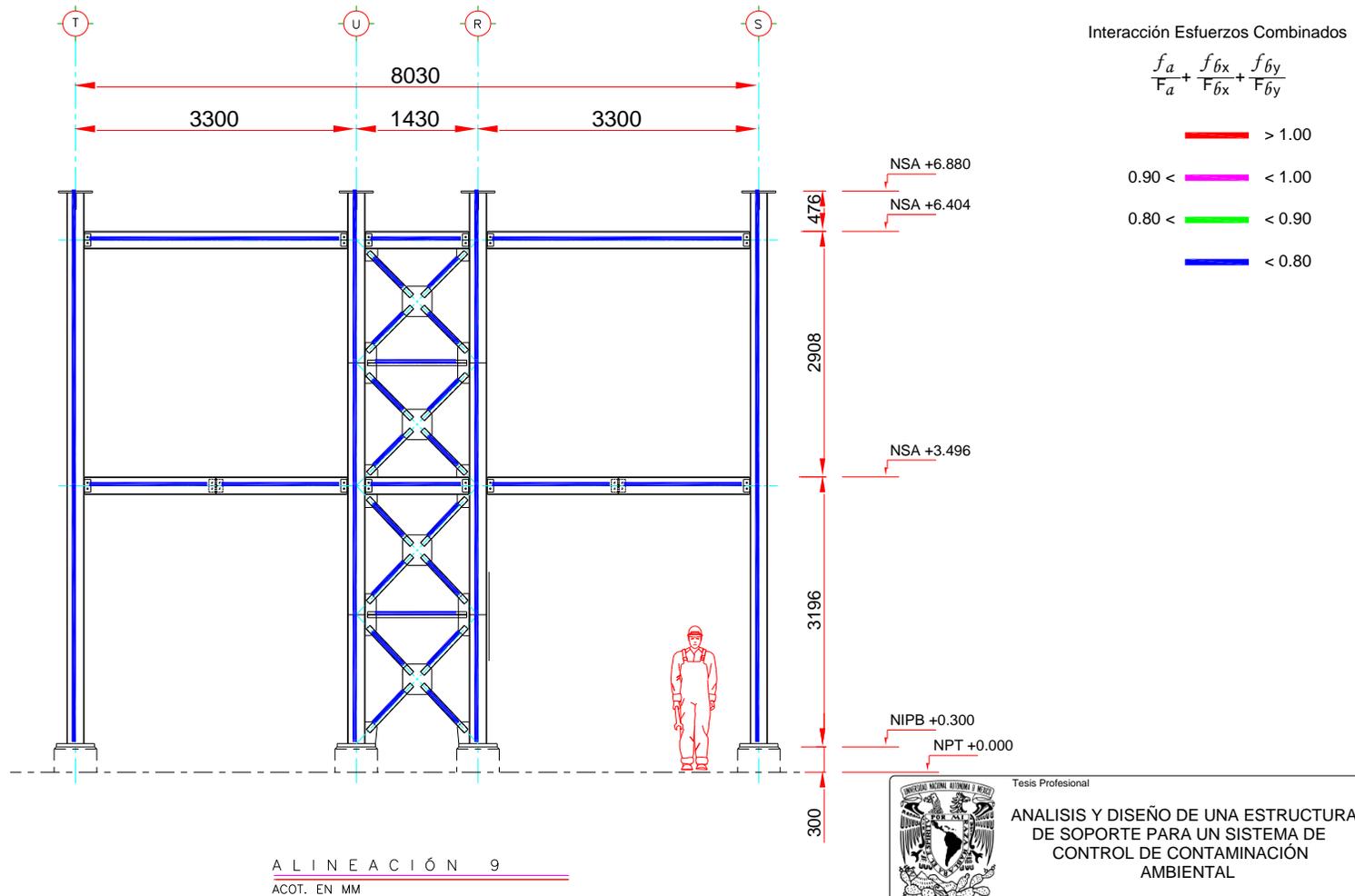
ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Presento: JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ

Director de Tesis: M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega

Concepto: Interacción de Esfuerzos Dibujo: Alineación 8

Archivo: 70801.D.08 Escala: 1:75 Aprobó: Fecha: MAR/11



Tesis Profesional

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Presenta: JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ

Director de tesis: M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega

Concepto: Interacción de Esfuerzos Dibujo: Alineación 9

Archivo: 70801.D.09 Escala: 1:75 Aprobó: Fecha: MAR/11

Figura 5.7

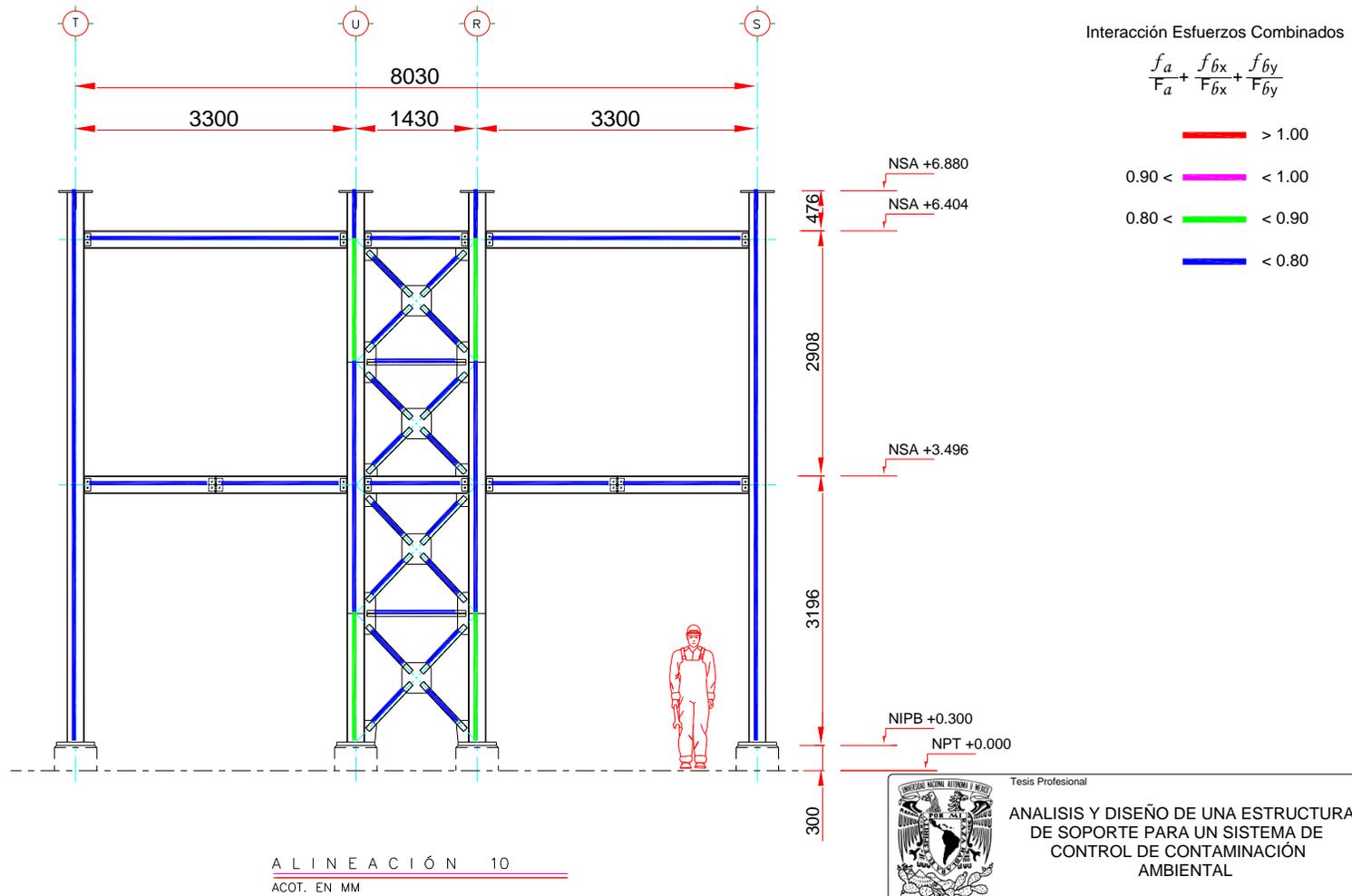


Figura 5.8

Tesis Profesional



ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Presentó: JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ	
Director de tesis: M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega	
Concepto: Interacción de Esfuerzos	Dibujo: Alineación 10
Archivo: 70801.D.10	Escala: 1:75 Aprobó: Fecha: MAR/11

Diseño de Placa de Base para W8x31

Se diseñará una placa base estándar para las columnas. Se utilizaron las reacciones de la tabla 4.12, en la que elemento más esforzado es el nudo número 13541. Se tabulan las reacciones para el cálculo de la placa de base.

NODO	REACCION	R_x	R_y	R_z
		Ton	Ton	Ton
13541	Máxima	5.72	78.78	5.94
13541	Mínima	-3.76	-24.14	-3.74

El esfuerzo permisible de contacto para un concreto con una resistencia a los 28 días de $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

$$F_p = 0.25 \cdot f'_c = 62.5 \text{ kg/cm}^2$$

El área para descargar la fuerza axial es,

$$A = \frac{P}{F_p} = 1260 \text{ cm}^2$$

Aproximamos las dimensiones de la placa de base, entonces

$$B = 350 \text{ mm} \quad n = \frac{B - 0.8b_f}{2} = 93.8 \text{ mm}$$

$$C = 450 \text{ mm} \quad m = \frac{C - 0.95d}{2} = 128.6 \text{ mm}$$

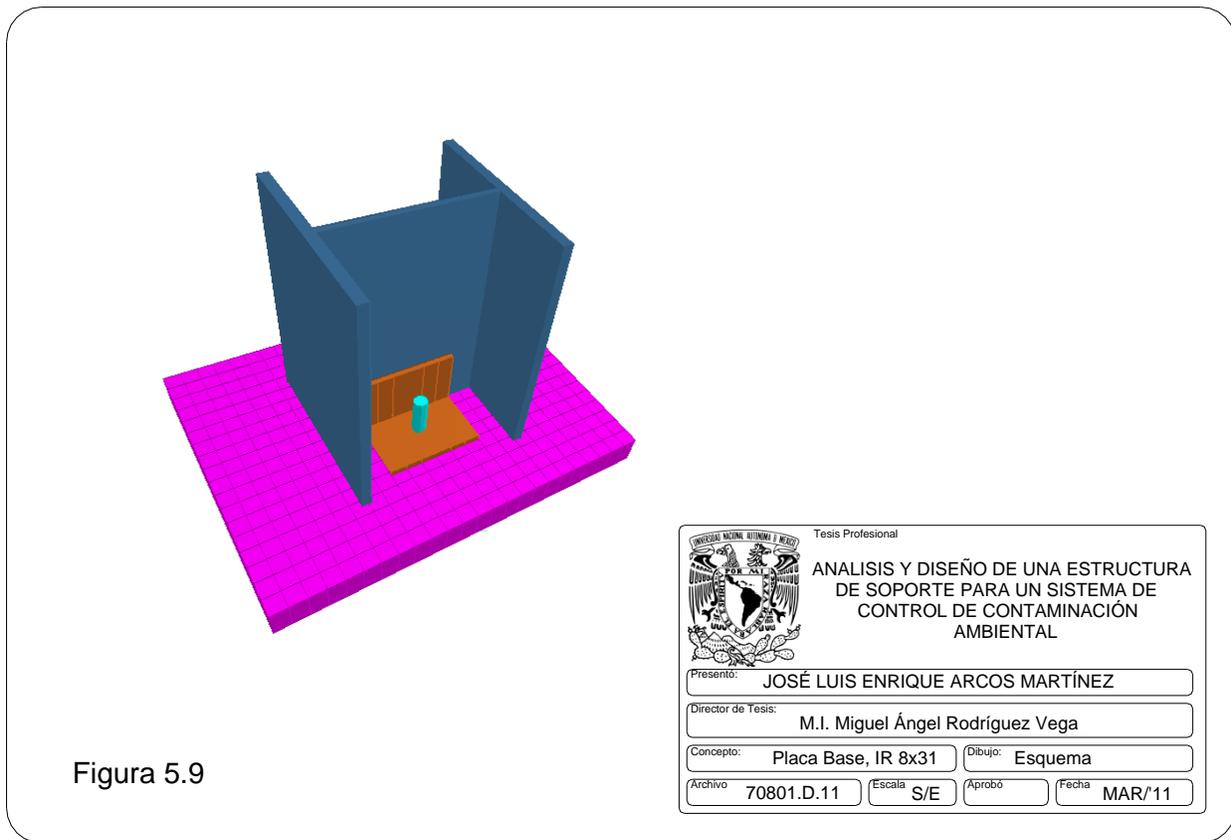
La presión de contacto sobre la superficie es,

$$F_p = \frac{P}{B \times C} = 50 \text{ kg/cm}^2$$

El espesor requerido para la placa es,

$$t = m \sqrt{\frac{3F_p}{0.7F_y}} = 3.62 \text{ cm}$$

Se utilizará un espesor de 1 ½”, equivalente a 3.81 cm



Para el diseño de las anclas, se realizará un primer tanteo por cortante y se revisará por tensión. Las anclas serán de acero, especificación A354, Grado BC, con la rosca excluida del plano de corte.

$$A_v = \frac{8246}{1687} = 12.22 \text{ cm}^2 \quad A_t = \frac{24140}{3515} = 6.86 \text{ cm}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{A_v/2}{\pi/4}} = 2.789 \text{ cm}$$

Gobierna el cortante para la elección de las anclas. Aproximando el diámetro obtenido a uno comercial, se decide por utilizar un par de anclas de 1½". En la figura 5.9 se muestra un esquema de la conexión del perfil W8x31 con la placa de base diseñada.

V.3 Revisión por estados límite de servicio

Se considerarán como estado límite de servicio la ocurrencia de desplazamientos, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten el correcto funcionamiento de cualquier edificación, pero que no perjudiquen su capacidad para soportar cargas. En este trabajo se revisarán desplazamientos tanto verticales como horizontales en los nudos superiores.

Un límite recomendado por la AISC²⁷ para flechas de vigas utilizadas en sistema de piso es:

$$\delta_{ADM} = \frac{l}{360}$$

El nudo número 13580 que se encuentran en el centro del claro de la viga en la figura 5.10, presenta una flecha de 5.7 mm. En comparación con el valor permisible planteado anteriormente obtenemos:

$$\delta = 5.7 \text{ mm} < 9.2 \text{ mm}$$

²⁷ AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, INC: *Specifications for Structural Steel Buildings*. United State of America: 2005. pp 383. ISBN 1-56424-055-X.

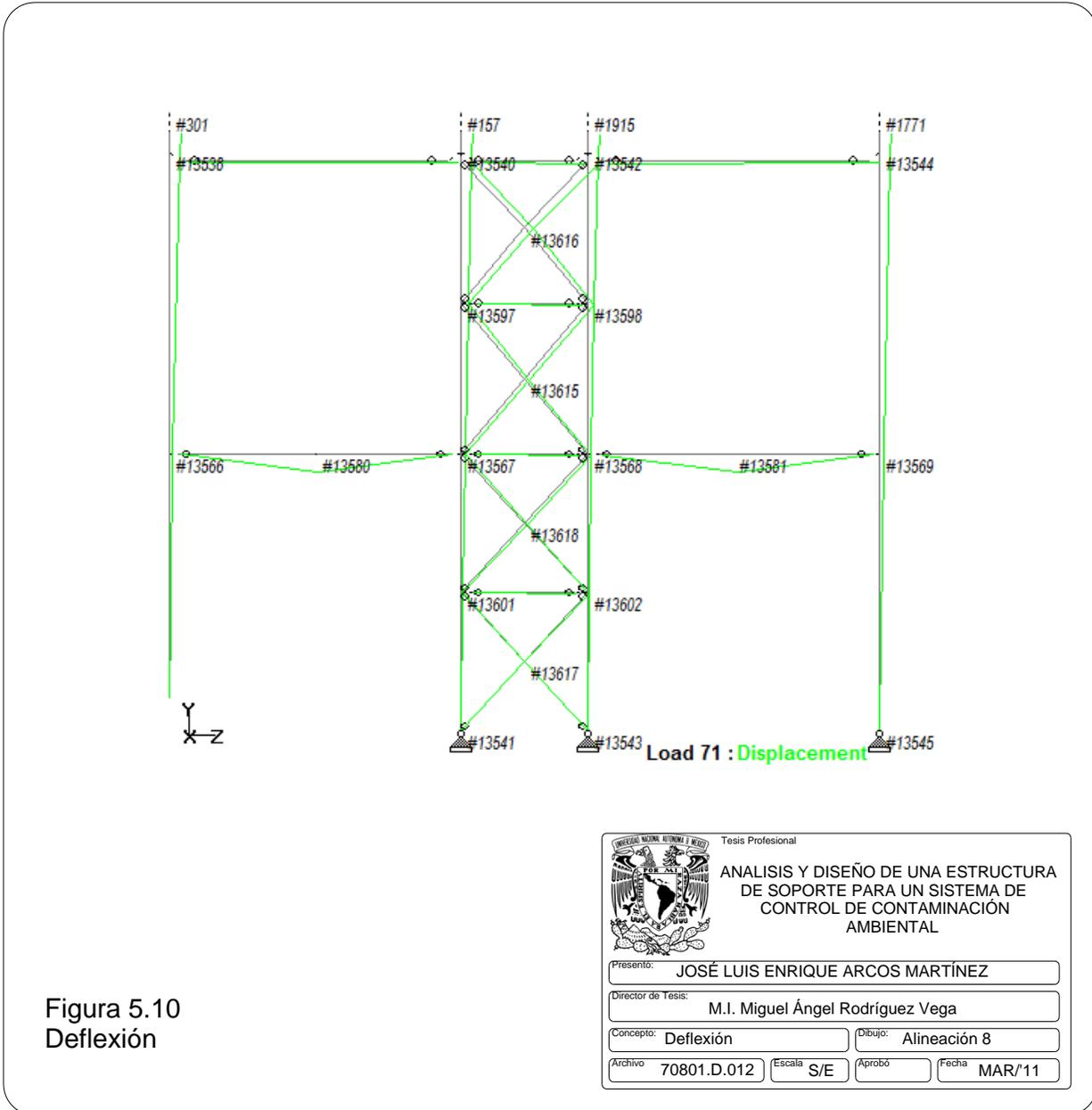


Figura 5.10
Deflexión

 Tesis Profesional			
ANALISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL			
Presento: JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ			
Director de Tesis: M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega			
Concepto:	Deflexión	Dibujo:	Alineación 8
Archivo:	70801.D.012	Escala:	S/E
Aprobo:		Fecha:	MAR/'11

En la figura 5.11 se presenta un corte longitudinal, en la que se presenta la viga analizada previamente, ahora en el sentido largo. El nudo número 13586 que se encuentra en el centro del claro de la viga presentó una flecha de 7.7 mm. Comparemos este valor con el permisible.

$$\delta = 7.7 \text{ mm} < 24.3 \text{ mm}$$

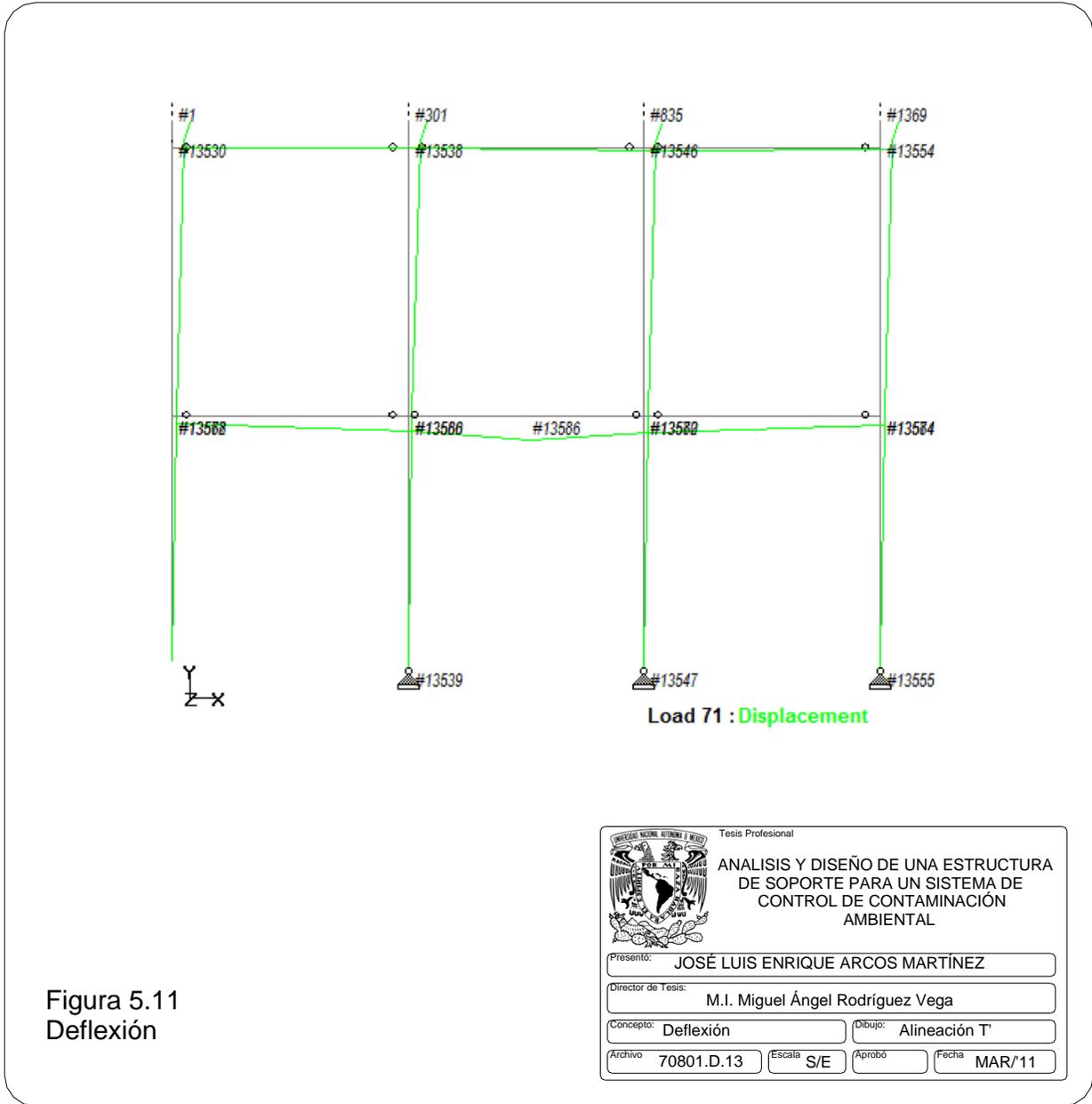
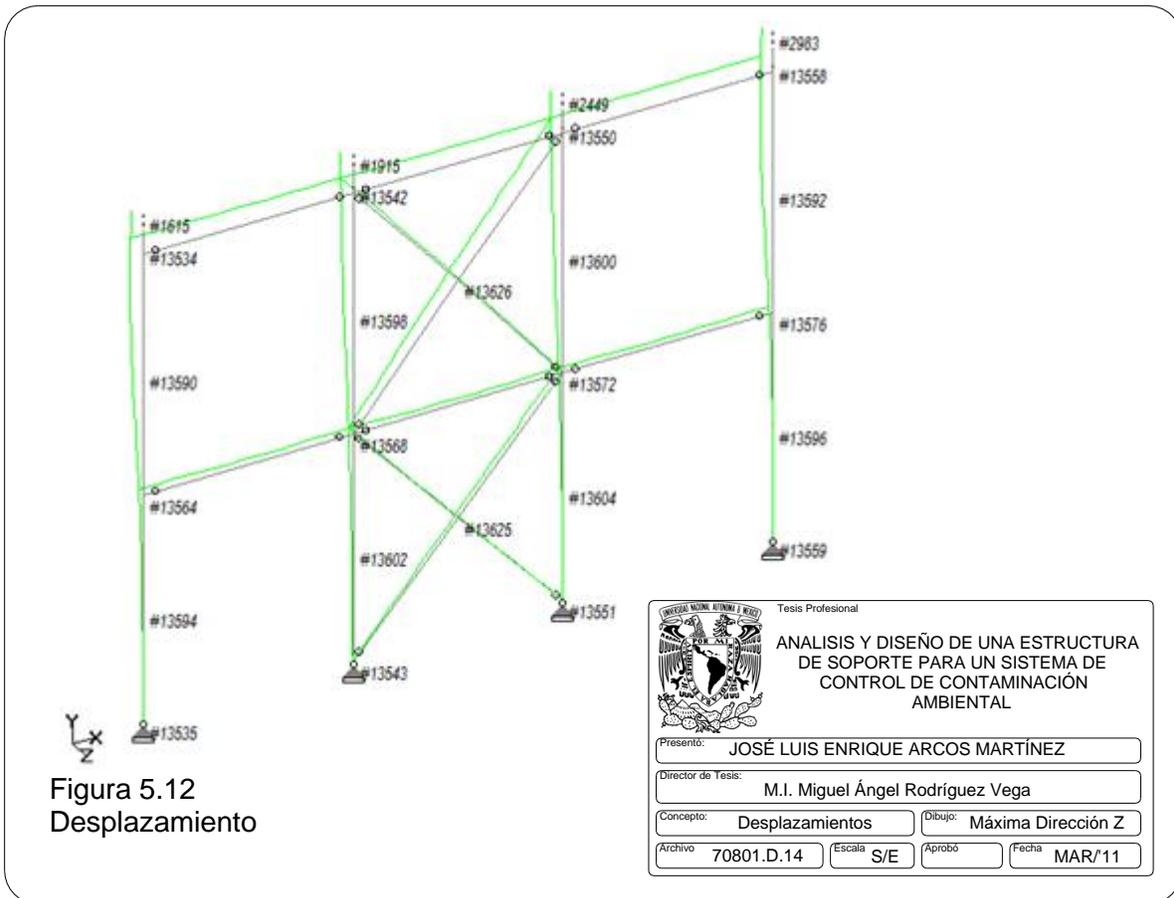


Figura 5.11
Deflexión

De las comparaciones obtenidas se puede concluir que los valores son aceptables, ya que como se mencionó anteriormente, sobre la viga analizada descansa un transportador helicoidal, el cual demanda que la flecha generada por las combinaciones de carga sea limitada para evitar una deflexión excesiva, que podría generar rozamiento de la hélice con su carcasa, además de acumulación de material y reducción de eficiencia en el equipo.

Cuando se trata de desplazamientos horizontales generados por fuerzas sísmicas, el límite considerado es del 1.2% de la altura. Dicho valor se comparará con el desplazamiento amplificado por el factor de comportamiento sísmico.

En la figura 5.12 se muestra el desplazamiento máximo en Z. El nudo que presentó el mayor desplazamiento fue el número 2983, el cual se encuentra a una altura de 6.580 m. Procederemos a comparar con el permisible:



El desplazamiento permisible, resulta,

$$\Delta_p = 79.0 \text{ mm}$$

Y el desplazamiento obtenido es,

$$\Delta_z = 54.2 \text{ mm}$$

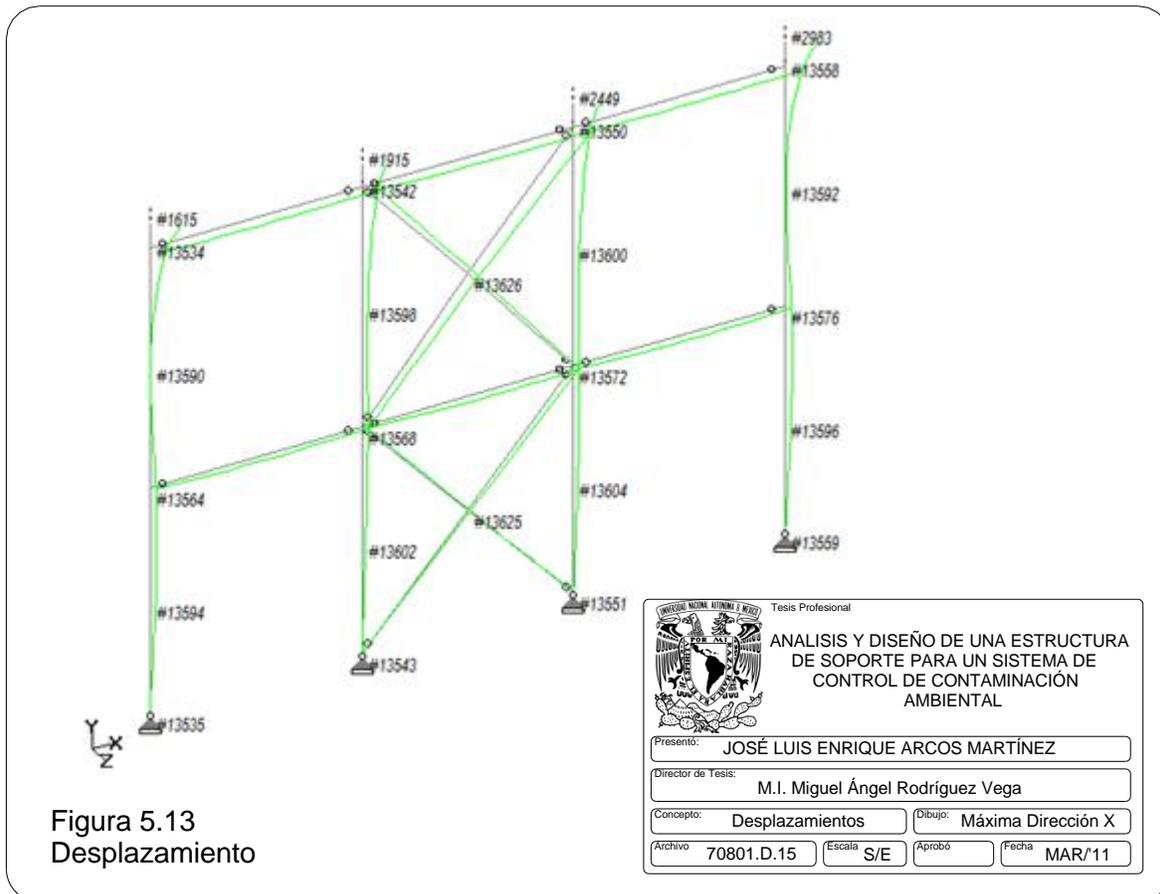
En la figura 5.13 se muestra el desplazamiento máximo en X. El nudo que presentó el mayor desplazamiento fue el número 1615, el cual se encuentra a una altura de 6.580 m. Procederemos a comparar con el permisible:

El desplazamiento permisible, resulta,

$$\Delta_p = 79.0 \text{ mm}$$

Y el desplazamiento obtenido es,

$$\Delta_x = 43.2 \text{ mm}$$



Se puede observar al comparar los desplazamientos obtenidos respecto a los permisibles, que se encuentran en un rango del 69% del valor permisible. Estos datos serían de gran valor, ya que como se mencionó anteriormente, el equipo que soportará esta estructura de estudio se conectará a un sistema de ductos mediante juntas de expansión. Estas juntas, usualmente no son diseñadas para absorber estos desplazamientos, pero es necesario tener en consideración, que además de la expansión térmica que se generará, los desplazamientos generados eventualmente por las solicitaciones también sumarán sus efectos a estos. De no hacerlo existe una alta probabilidad que la junta se desgarre.

En las figuras 5.14 a la 5.21 se muestran las plantas estructurales por nivel y las elevaciones de cada marco de la estructura.

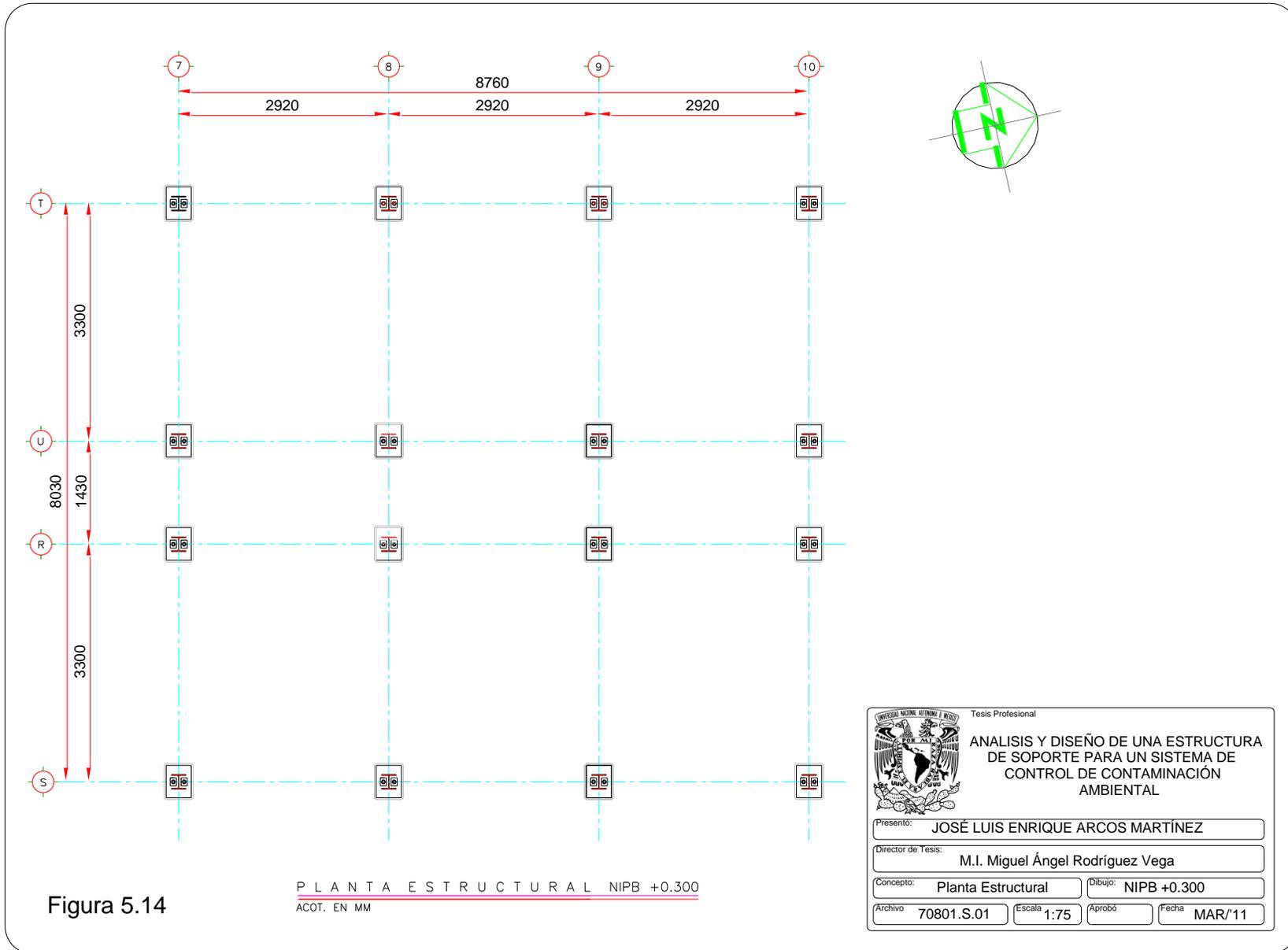


Figura 5.14

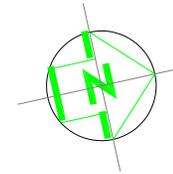
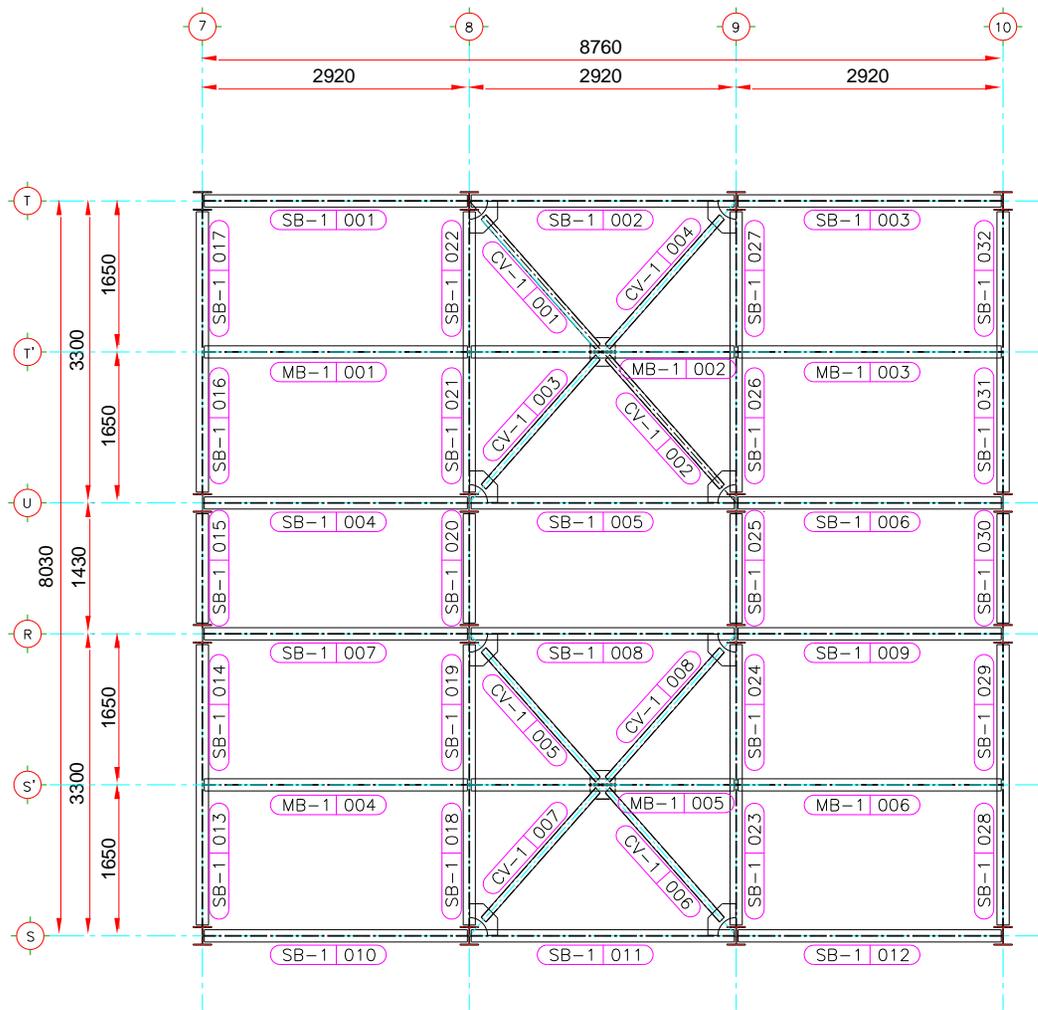


TABLA DE PERFILES	
MARCA	DESIGNACION
MB-1	IR 8" x 18 lb/ft
SB-1	IR 8" x 18 lb/ft
CV-1	OR 4x3x1/8"

PLANTA ESTRUCTURAL NTA +3.496
ACOT. EN MM

Figura 5.15



Tesis Profesional

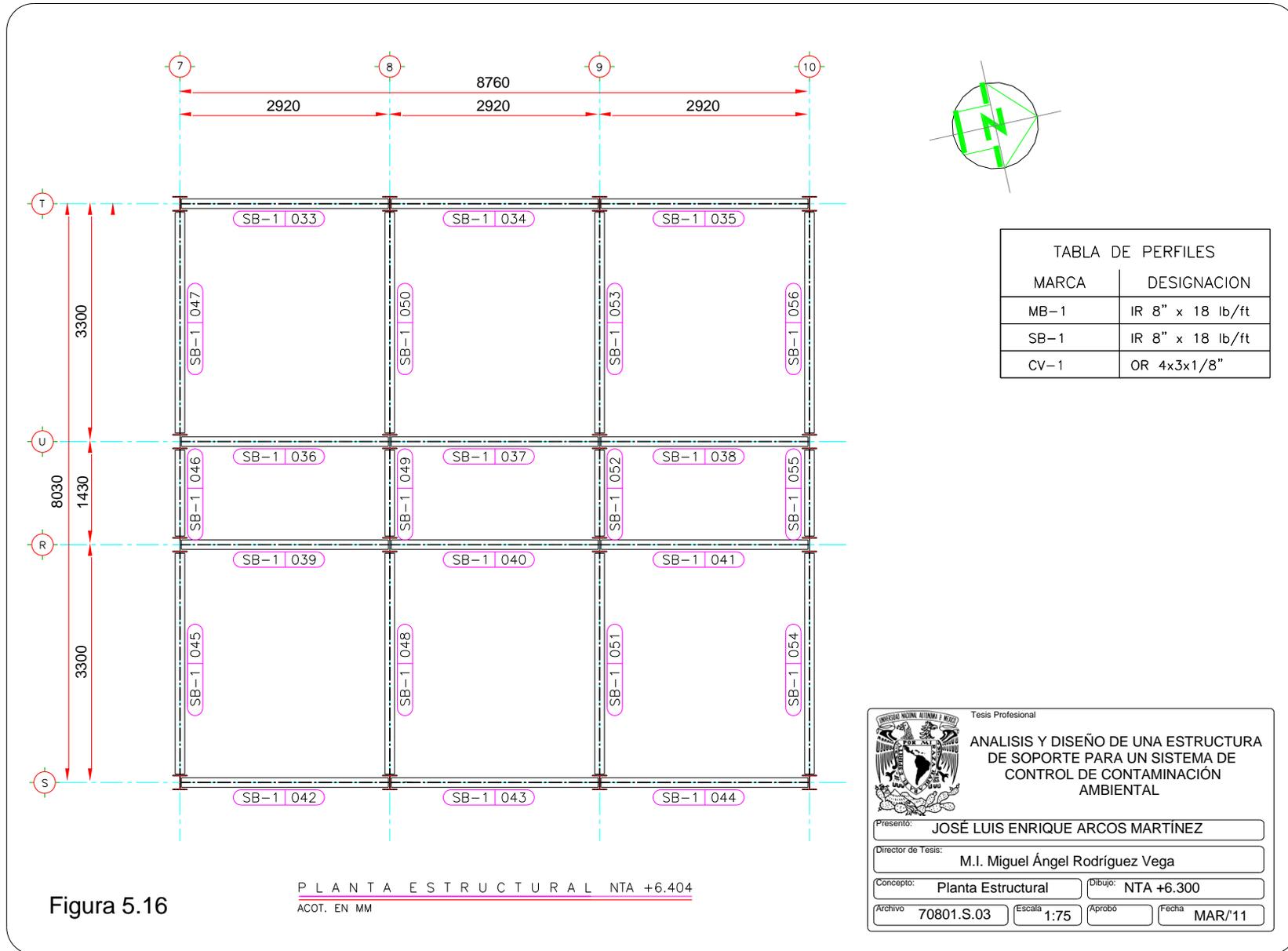
ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Presento: **JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ**

Director de Tesis: **M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega**

Concepto: **Planta Estructural** Dibujo: **NTA +3.392**

Archivo: **70801.S.02** Escala: **1:75** Aprobó: Fecha: **MAR/11**



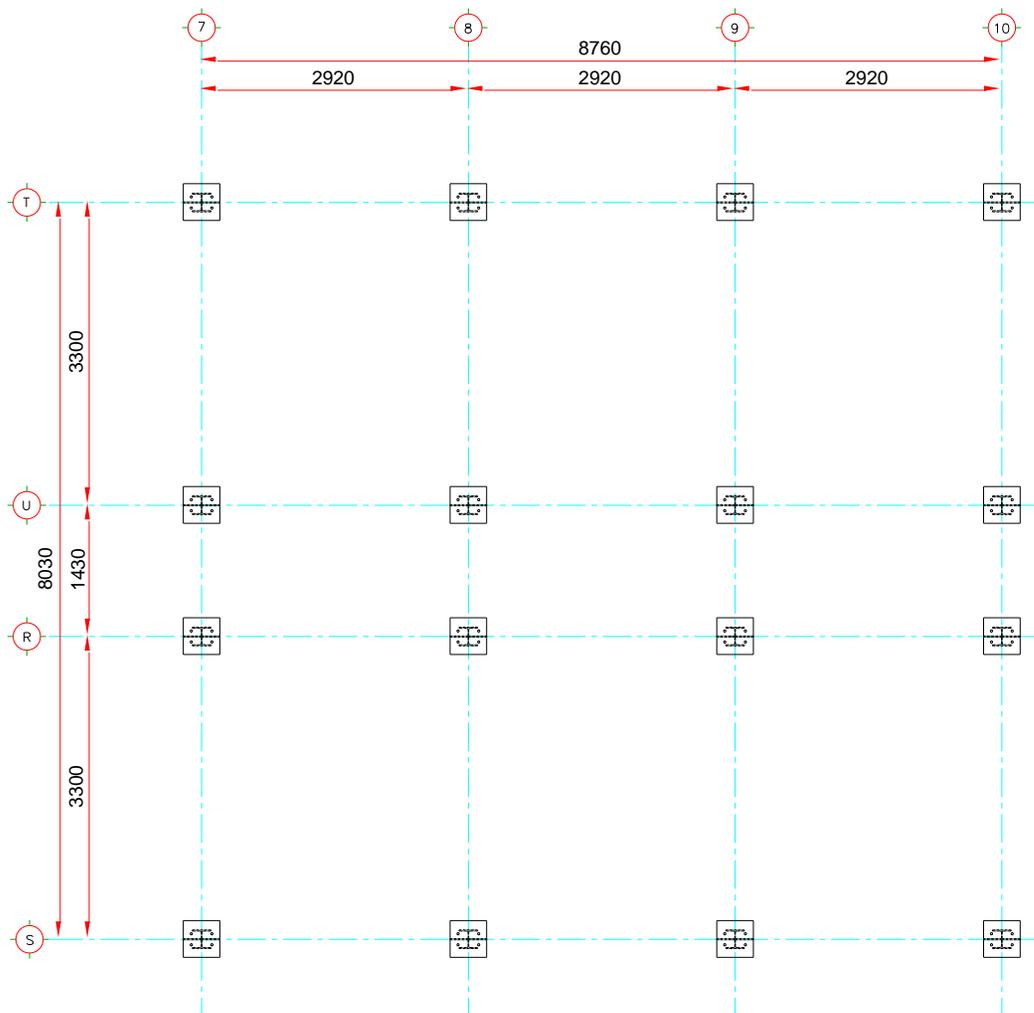


Figura 5.17

PLANTA ESTRUCTURAL NTA +6.880
ACOT. EN MM

		Tesis Profesional	
ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL			
Presento:		JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ	
Director de Tesis:		M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega	
Concepto:	Planta Estructural	Dibujo:	NTA +6.880
Archivo:	70801.S.04	Escala:	1:75
Aprobó:		Fecha:	MAR/'11

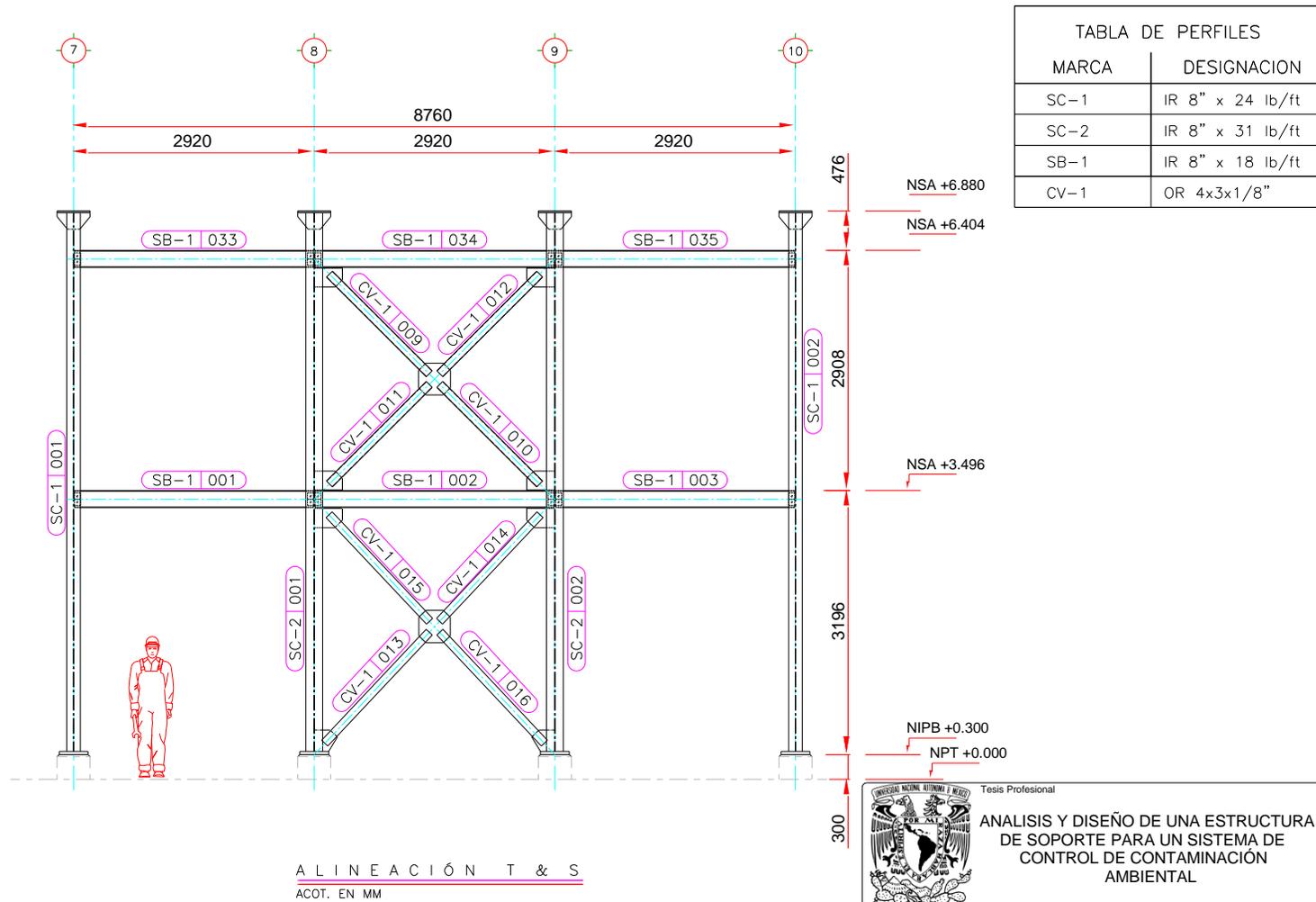


Figura 5.18

Tesis Profesional

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Presento: **JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ**

Director de Tesis: **M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega**

Concepto: **Elevación** Dibujo: **Alineación T & S**

Archivo: **70801.S.05** Escala: **1:75** Aprobó: Fecha: **MAR/11**

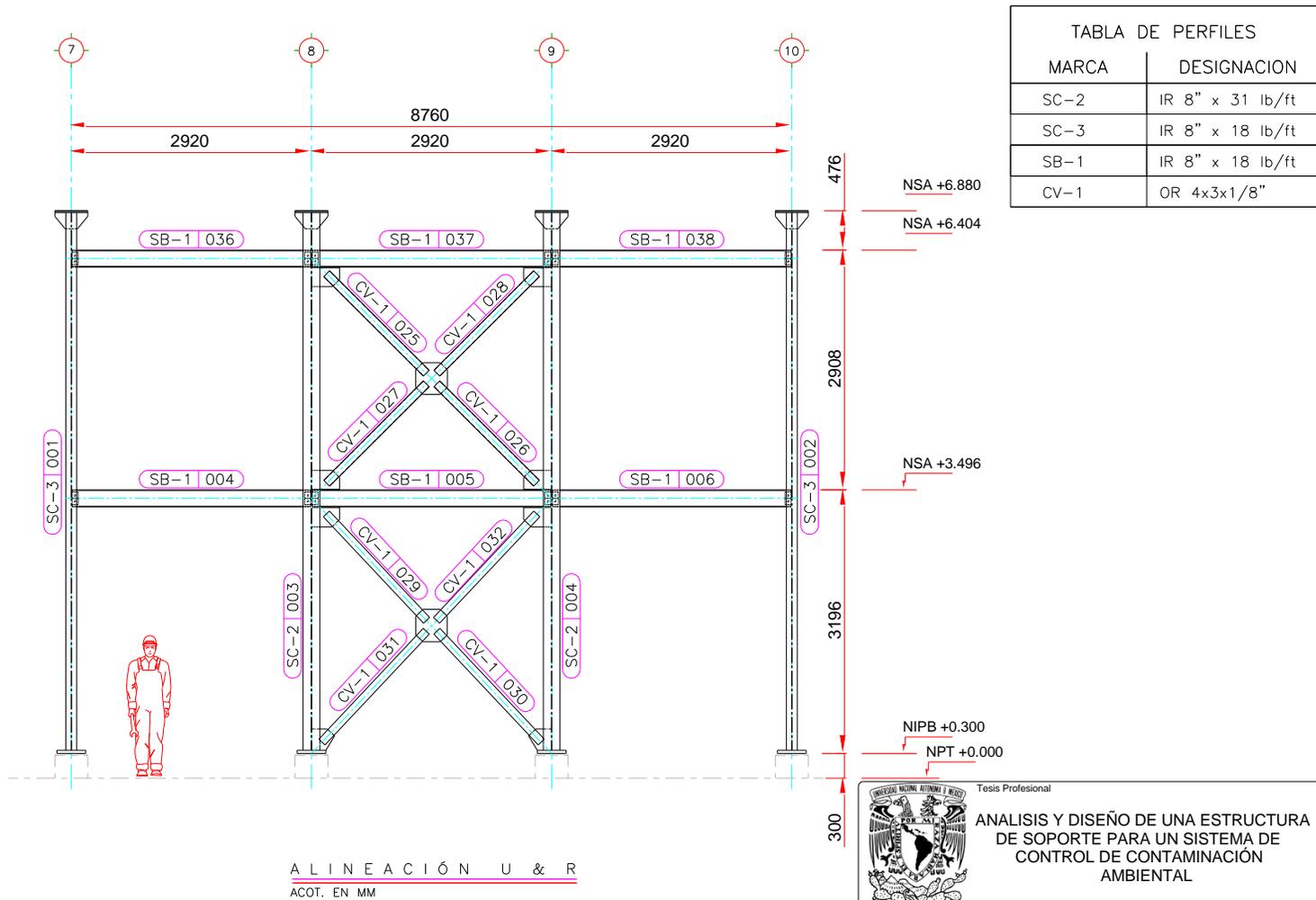


TABLA DE PERFILES	
MARCA	DESIGNACION
SC-2	IR 8" x 31 lb/ft
SC-3	IR 8" x 18 lb/ft
SB-1	IR 8" x 18 lb/ft
CV-1	OR 4x3x1/8"

Figura 5.19

Tesis Profesional

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Presento: **JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ**

Director de Tesis: **M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega**

Concepto: **Elevación** Dibujo: **Alineación U & R**

Archivo: **70801.S.06** Escala: **1:75** Aprobó: Fecha: **MAR/11**

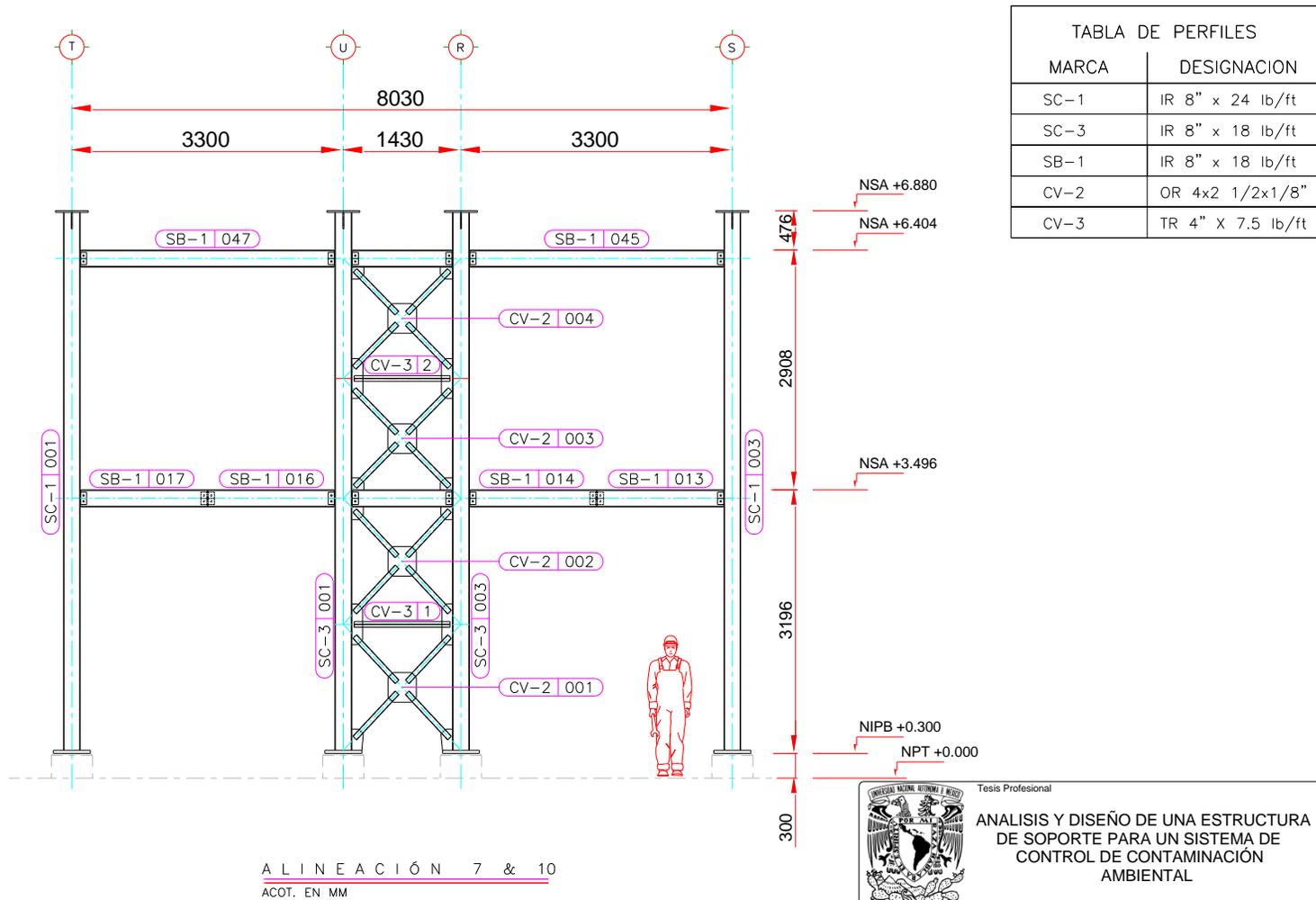


Figura 5.20

Tesis Profesional

ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Presento: **JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ**

Director de Tesis: **M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega**

Concepto: **Elevación** Dibujo: **Alineación 7 & 10**

Archivo: **70801.S.07** Escala: **1:75** Aprobó: Fecha: **MAR/11**

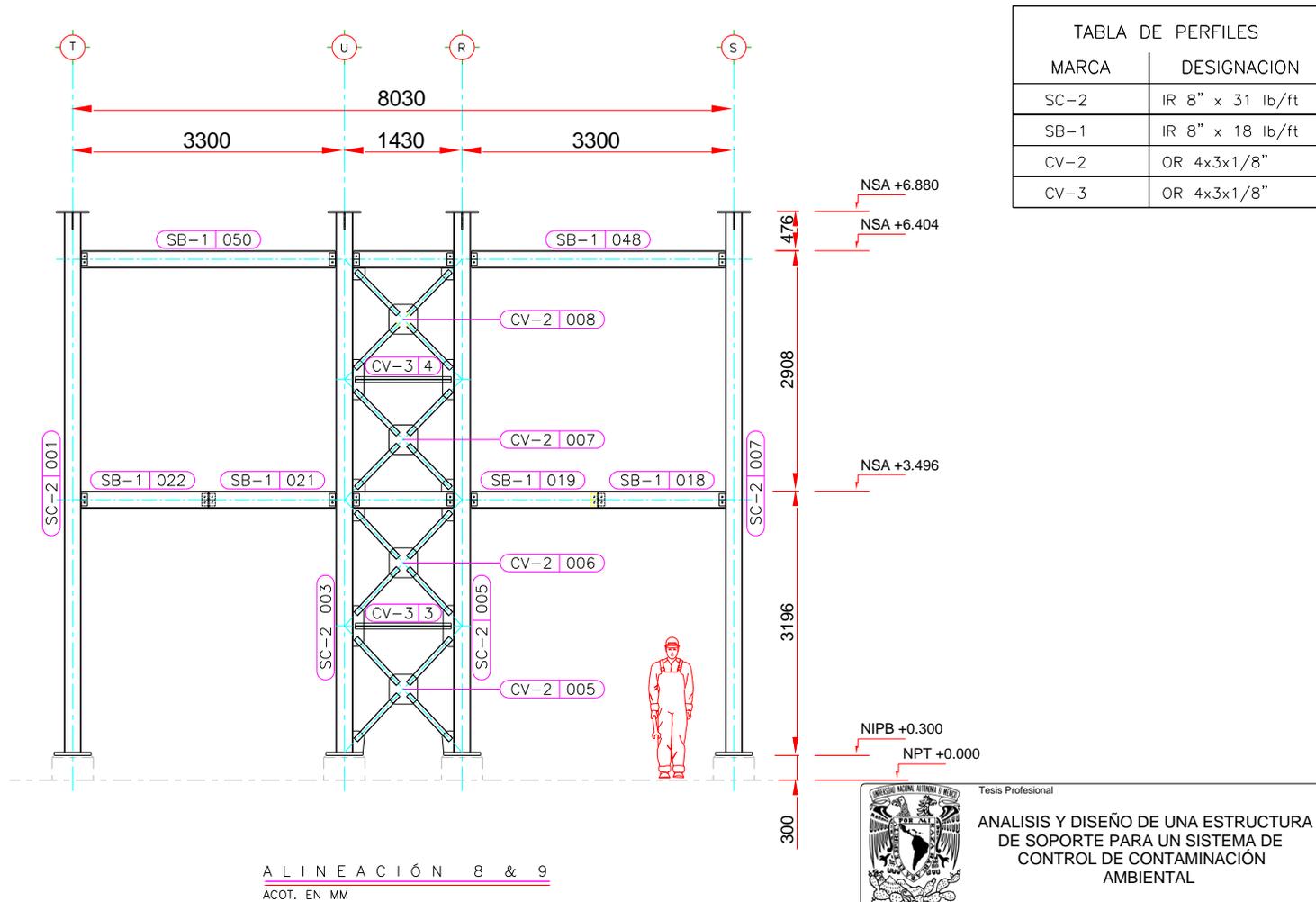


Figura 5.21

VI. PROPUESTA Y DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN

Caracterización del tipo de suelo y capacidad de carga

En el capítulo III se hizo mención de la categoría del sitio, de acuerdo a las características físicas y mecánicas de los estratos de los cuales se compone. En la tabla 1613.5.2²⁸ se encuentran tabuladas las características promedio de los primeros 300 cm para cada tipo de suelo en esa clasificación. Para la categoría E:

Categoría de suelo	Nombre Perfil del suelo	Velocidad de onda de corte v_s (m/s)	Número de golpes, SPT.	Resistencia al corte no drenada, s_u (kg/cm^2)
E	Suelo blando	> 183	< 15	< 2.37
	Cualquier estrato con más de 3 metros de suelo presentando las siguientes características: 1. Índice de plasticidad $IP > 20$ 2. Contenido de agua $w > 40\%$ 3. Resistencia al corte no drenada, $s_u < 1.18 (\text{kg/cm}^2)$			

Con base en lo anterior se desprende que los materiales del subsuelo entre 0 y 300 cm de profundidad media se tienen materiales arcillosos de una densidad relativa suelta, con un índice de resistencia media-baja de 10 golpes. Éstos se encuentran subyacidos por depósitos de roca sedimentaria y metamórfica del tipo serpentina y esquisto, a una profundidad media de 1800 cm.

Considerando los datos expuestos anteriormente, las alternativas de cimentación a considerar por sus características técnicas y económicas serían:

1. Cimentación superficial o somera. Zapatas combinadas a lo largo de los ejes longitudinales y ligadas mediante trabes, para evitar asentamientos diferenciales. La profundidad de desplante se determinará con base en la economía y el factor de seguridad.
2. Cimentación profunda. Pilotes o pilas diseñados por fricción o por punta. Una cimentación profunda será considerada cuando de un análisis, la relación de costo de una cimentación somera a una profunda sea mayor que 1. El factor de seguridad y comportamiento de una cimentación

²⁸ INTERNATIONAL CODE COUNCIL, INC.: 2009 *International Building Code*. United States of America: 2009. 341 p. ISBN 978-1-58001-725-1

desarrollada con pilotes será siempre deseable cuando el costo esté justificado.

Estimación de la Capacidad de Carga. Teoría de Meyerhof.²⁹

Para una carga vertical:

$$q_a = \frac{q_{ult}}{FS} = cN_c s_c d_c + \bar{q}N_q s_q d_q + 0.5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma$$

En donde:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\varphi)$$

Los factores de forma son:

$$s_c = 1 + 0.2K_p \frac{B}{L}$$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1K_p \frac{B}{L}$$

Los factores de profundidad:

$$d_c = 1 + 0.2\sqrt{K_p} \frac{D_f}{B}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\sqrt{K_p} \frac{D_f}{B}$$

Reportes geotécnicos de muestras de suelo determinaron un suelo con peso volumétrico de 1.6 t/m³ y un ángulo de fricción interna de 39.2°, producto de pruebas CD (consolidada drenada, lenta) y triaxiales no consolidadas, no drenadas UU. Estas

²⁹ BOWLES, JOSEPH E.: *Foundations Analysis and Design*. United States of America: 1997. 220-224 pp. ISBN 978-1-007912-247-6.

pruebas no arrojaron datos confiables relativos a la cohesión del material por lo que se considerará la capacidad de carga sin tomarla en cuenta.

Las dimensiones de la zapata para determinar la capacidad de carga desarrollada a un desplante de 1.5 m bajo el nivel de terreno natural, son un ancho de 300 cm y una longitud de 916 cm.

Con base en las características del suelo mencionadas anteriormente, se procederá a determinar la capacidad de carga desarrollada por las dimensiones de la zapata propuesta. Las dimensiones de esta zapata en particular fueron determinadas debido a la proximidad de las alineaciones de columnas U y R, por lo que no fue posible considerar otro tipo de cimentación superficial.

Entonces los factores de carga toman los siguientes valores

$$N_q = 14.926$$

$$N_c = 26.052$$

$$N_\gamma = 11.43$$

Los factores de forma son:

$$s_c = 1.182$$

$$s_q = s_\gamma = 1.091$$

Los factores de profundidad:

$$d_c = 1.167$$

$$d_q = d_\gamma = 1.083$$

Con lo anterior, obtenemos la capacidad de carga admisible

$$q_a = \frac{74.78}{3} = 24.93 \text{ ton/m}^2$$

La capacidad de carga admisible efectiva será:

$$q_{af} = 24.93 - 3.886 = 21.04 \text{ ton/m}^2$$

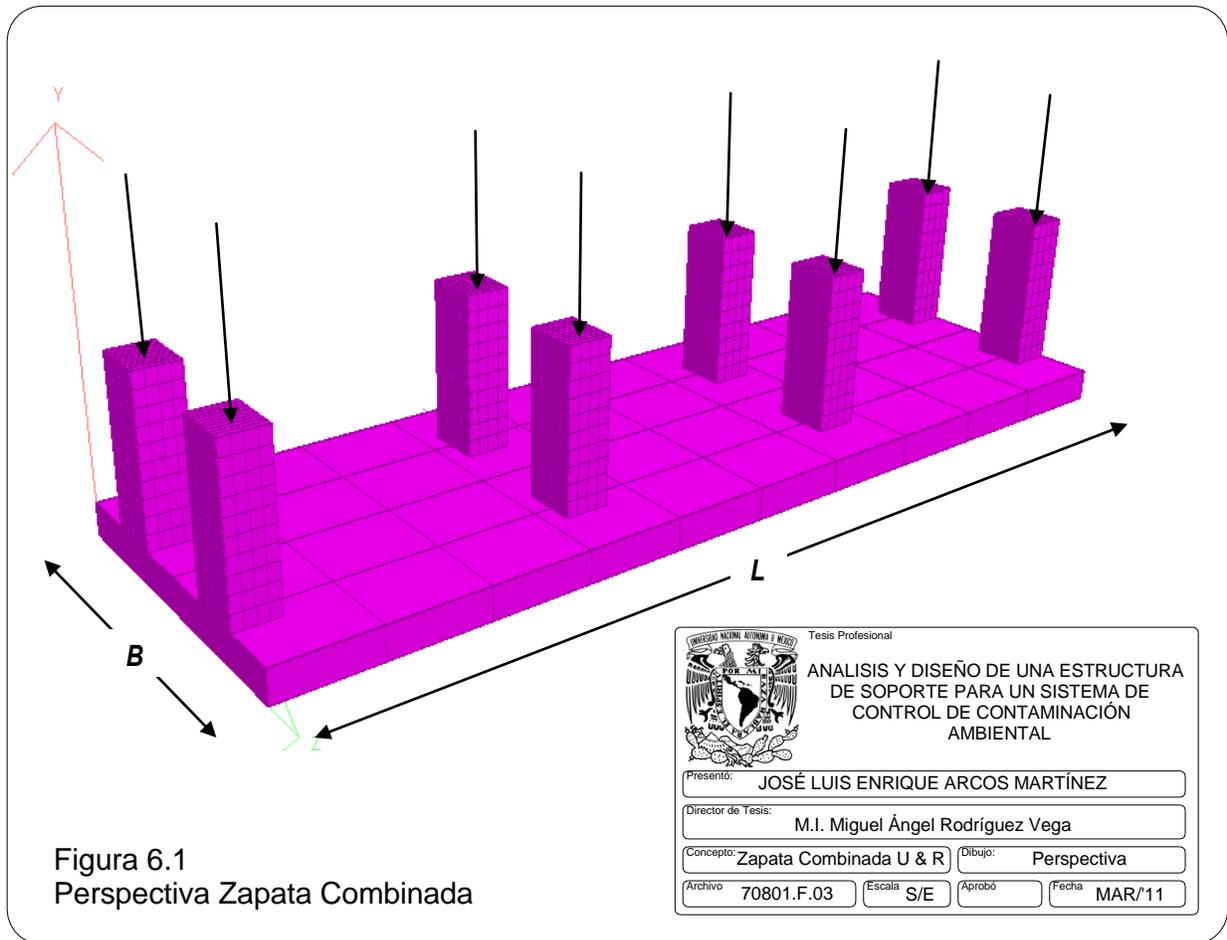


Figura 6.1
Perspectiva Zapata Combinada

Para determinar las dimensiones máximas en planta para la cimentación, se consideraron las características arquitectónicas y estructurales propias del edificio, así como las posibles interferencias con otros equipos existentes y las que se pudieran ubicar en la misma zona en un futuro; limitando así el área disponible para su diseño.

ALINEACION		7	8	9	10
	REACCION	R_y	R_y	R_y	R_y
		Ton	Ton	Ton	Ton
U	Máxima	26.71	45.49	45.5	26.75
	Mínima	-8.1	-8.56	-8.57	-8.15
R	Máxima	26.65	45.48	45.49	26.7
	Mínima	-8.05	-8.55	-8.56	-8.09

Tabla 6.1. Reacciones. Combinaciones para revisión de esfuerzos en el suelo.

ALINEACION		7	8	9	10
	REACCION	R_y	R_y	R_y	R_y
		Ton	Ton	Ton	Ton
U	Máxima	46.89	78.78	78.8	46.98
	Mínima	-19.41	-24.14	-24.16	-19.49
R	Máxima	46.79	78.76	78.78	46.87
	Mínima	-19.3	-24.12	-24.14	-19.38

Tabla 6.2. Reacciones. Combinaciones para diseño de cimentación.

Determinación de la Presión de Contacto y dimensiones efectivas de la zapata.

Área efectiva de la zapata ($B' \times L'$)

Para X,

$$\bar{x} = \frac{\sum P_i x_i}{\sum P_i}$$

$$C_l = \frac{L}{2}$$

$$e_x = |\bar{x} - C_l| = 1.7 \text{ mm}$$

Para Z,

$$\bar{z} = \frac{\sum P_i z_i}{\sum P_i}$$

$$C_l = \frac{B}{2}$$

$$e_z = |\bar{z} - C_l| = 0.1 \text{ mm}$$

Por lo que las excentricidades calculadas son muy pequeñas y se puede decir que el centroide de la zapata y la fuerza resultante de las cargas de las columnas son colineales. Por lo que para efectos prácticos, la longitud propuesta de la zapata es correcta.

$$L' = L - 2e_x$$

$$B' = B - 2e_z$$

Para una dimensión de cimentación de $L = 9.160 \text{ m}$ y $B = 3.00 \text{ m}$, y realizando los cálculos descritos para obtener la excentricidad de la reacción, obtenemos:

$$L' = 9.157 \text{ m}$$

$$B' = 3.00 \text{ m}$$

El momento flector generado por la excentricidad calculada, es;

$$M_z = R \cdot e$$

$$M_x = R \cdot e$$

Por lo que la presión de contacto máxima y mínima para cada dirección estará determinada por:

$$q = \frac{R}{A_f} \pm \frac{M_z}{S_x}$$

$$q = \frac{R}{A_f} \pm \frac{M_x}{S_z}$$

$$q = 18.301 \pm 0.02 \text{ ton/m}^2$$

$$q = 17.989 \pm 0.003 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{max} = 18.321 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{max} = 17.992 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{min} = 18.28 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{min} = 17.986 \text{ ton/m}^2$$

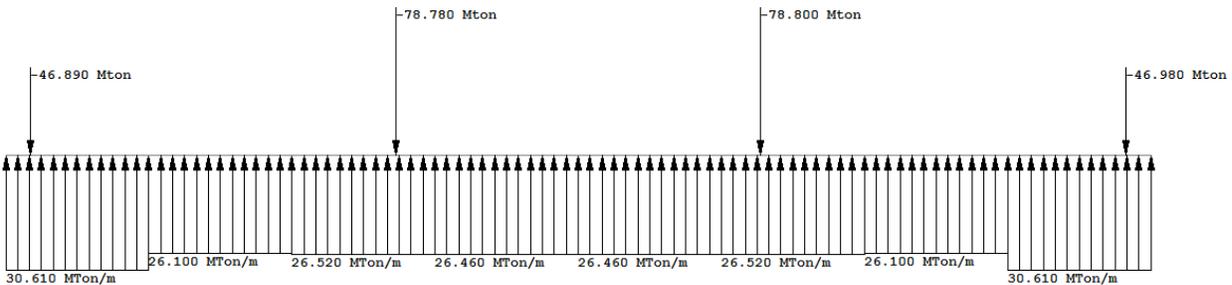


Figura 6.2. Presión de Contacto considerando un hundimiento uniforme.

En las figuras 6.3a y 6.3b se muestran los diagramas de elementos mecánicos en ambas direcciones de la zapata. A la izquierda, dirección longitudinal y transversal a la derecha.

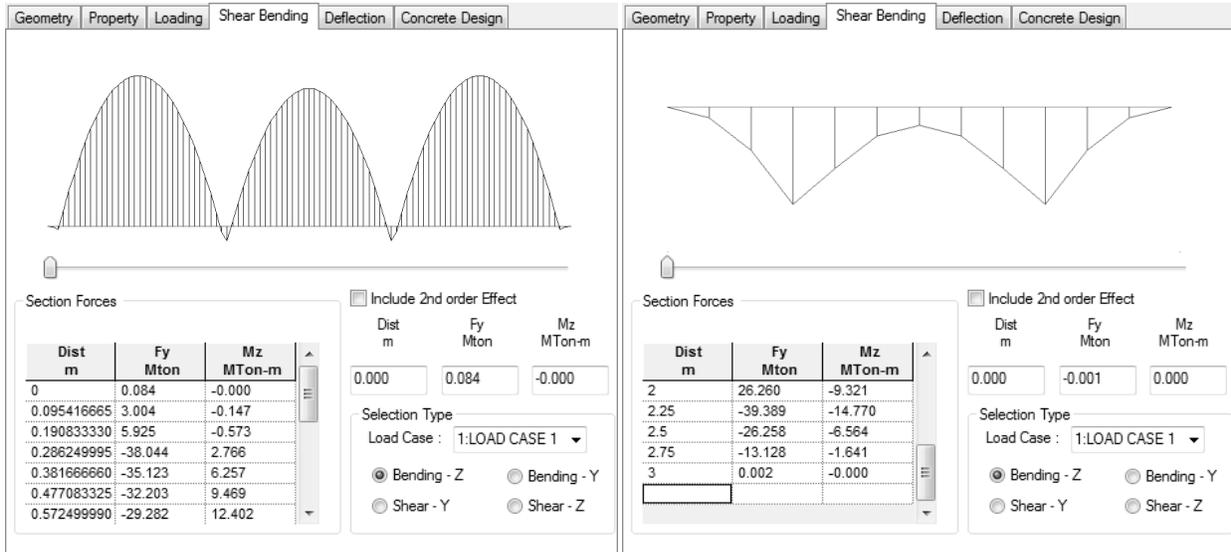


Figura 6.3a. Elementos mecánicos. Momento Flector, ton-m

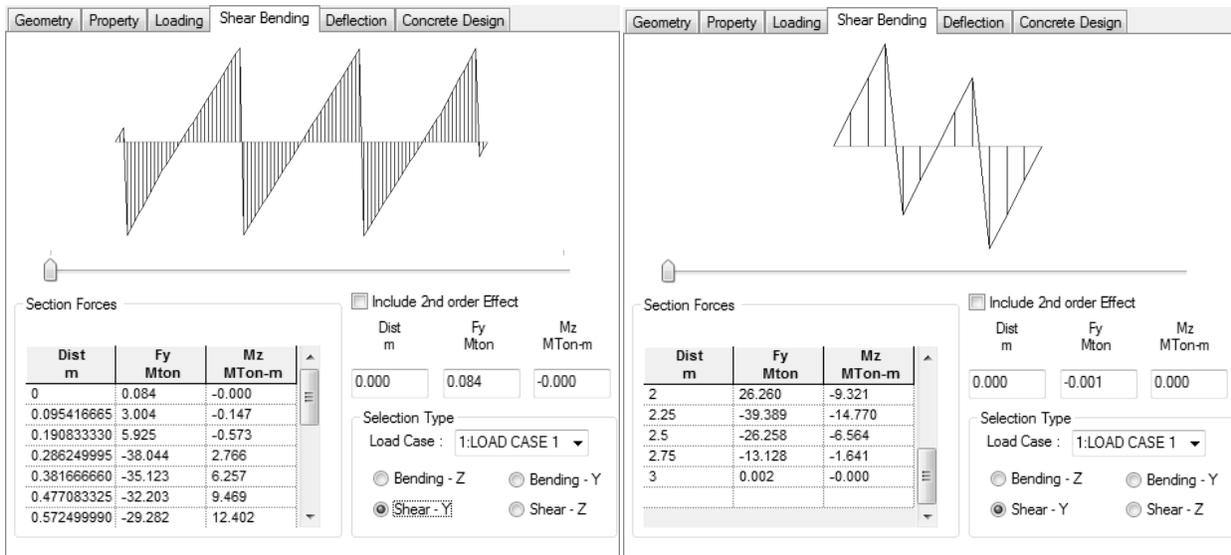


Figura 6.3b. Elementos mecánicos. Fuerza Cortante, ton.

Diseño por estados límite de falla

Las ecuaciones del Código ACI³⁰ para obtener las resistencias a cortante por punzamiento nominal en el perímetro crítico, b_0d , se muestran a continuación:

$$v_c = 1.1 \cdot \varphi \cdot \sqrt{f'_c}$$

Para columnas con secciones transversales muy alargadas, el esfuerzo nominal en sección crítica es:

$$v_c = 0.26 \cdot \varphi \cdot \left(2 + \frac{4}{\beta}\right) \sqrt{f'_c} \quad b, \text{ relación lado largo al corto.}$$

Para casos en los cuales la relación entre el perímetro crítico y el espesor de losa, b_0/d , es muy grande:

$$v_c = 0.26 \cdot \varphi \cdot \left(\frac{a_s}{b_0} + 2\right) \sqrt{f'_c}$$

a_s , 40 Columna interior
 30 Columna de borde
 20 Columna de esquina

Las ecuaciones del Código ACI³¹ para obtener las resistencias a cortante nominal en la sección crítica, por practicidad de cálculos se puede utilizar:

$$v_c = 0.55 \cdot \varphi \cdot \sqrt{f'_c}$$

Si se desea realizar un análisis más fino en la sección se utilizará:

³⁰ AMERICAN CONCRETE INSTITUTE: *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary*. United States of America: 2008. 190, 191 p. ISBN 978-0-870311-264-9

³¹ AMERICAN CONCRETE INSTITUTE: *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary*. United States of America: 2008. 158, 159 p. ISBN 978-0-870311-264-9

$$v_c = \varphi \cdot \left(0.5 \sqrt{f'_c} + 175 \rho \frac{V_u}{M_u} d \right) \leq 0.93 \cdot \varphi \cdot \sqrt{f'_c}$$

Sección Crítica, d			Sección Crítica, d/2	
Distancia	V_u (ton)	M_u (ton m)	Distancia	V_u (ton)
0.691	25.67	15.639	0.545	30.116
2.630	27.13	12.817	2.775	30.982
3.611	25.644	12.084	3.465	29.494
5.550	25.662	12.067	5.695	29.505
6.531	27.133	12.793	6.385	30.985
8.470	25.668	15.619	8.615	30.114

Tabla 6.3. Elementos mecánicos. Para revisión por cortante.

Se determinará el peralte de la zapata mediante la revisión por cortante en la sección más esforzada. Esto es, para un V_u de 27.133 ton, se utilizará un concreto con una resistencia a compresión a los 28 días de 250 kg/cm². Se propondrá un peralte de zapata de 35 cm, y suponiendo que el refuerzo de acero sea en varillas de acero del número 5, entonces el peralte efectivo de la sección será de $d = 29.05$ cm.

$$V_{CR} = \frac{7.0131 \cdot (150) \cdot (29.05)}{1000} = 30.56 \text{ ton} < 0.93 \cdot \varphi \cdot \sqrt{f'_c}$$

El peralte diseñado por cortante por comportamiento de viga ancha usualmente gobierna el cálculo del peralte de zapatas del tipo combinadas, pero revisaremos por punzonamiento para verificar que así sea.

$$V_{CR} = 0.26 \cdot 0.85 \cdot \left(\frac{40}{296.2} + 2 \right) \cdot \sqrt{250} \cdot \frac{296.2 \cdot 29.05}{1000} = 64.194 \text{ ton}$$

$$V_{CR} = 0.26 \cdot 0.85 \cdot \left(\frac{4}{1.25} + 2 \right) \cdot \sqrt{250} \cdot \frac{296.2 \cdot 29.05}{1000} = 156.34 \text{ ton}$$

$$V_{CR} = 1.1 \cdot 0.85 \cdot \sqrt{250} \cdot \frac{296.2 \cdot 29.05}{1000} = 127.21 \text{ ton}$$

Para la revisión de cortante por punzonamiento, las tres desigualdades se cumplen, y se confirma que el comportamiento de cortante por viga ancha es el que gobierna su diseño.

El acero de refuerzo para la sección será determinado por el momento flector último en cada una de sus secciones. Se extrapolará el porcentaje de acero máximo requerido a toda la sección, para simplificar la ingeniería de detalle, la cantidad de cálculos necesarios para tal propósito y la complejidad constructiva hacen innecesario tal requisito.

Para el sentido longitudinal.

La cantidad de acero en el lecho inferior está determinado por el porcentaje mínimo, entonces,

$$A_{s_{min}} = \frac{0.7 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d}{f_y} = \frac{0.7 \sqrt{250} \cdot 150 \cdot 29.05}{4200} = 11.483 \text{ cm}^2$$

El acero por cambios volumétricos es:

$$A_s = \frac{660 \cdot \left(\frac{h}{2}\right) \cdot b}{f_y \cdot \left(100 + \frac{h}{2}\right)} = \frac{660 \cdot 17.5 \cdot 150}{4200 \cdot (100 + 17.5)} = 3.511 \text{ cm}^2$$

La cantidad de acero en el lecho superior está determinado por el momento actuante último, entonces el porcentaje de acero es:

$$\frac{M_u}{\phi b d^2} = 23.514 \text{ kg/cm}^2 \quad p = 0.00675$$

$$A_s = pbd = 0.00675 \cdot 150 \cdot 29.05 = 29.413 \text{ cm}^2$$

El área de acero total para el lecho superior es: 65.848 cm^2
 Equivalente a 24 varillas del #6 @ 12.5 cm. $A_s = 68.40 \text{ cm}^2$

El área de acero total para el lecho inferior es: 29.988 cm^2
 Equivalente a 16 varillas del #5 @ 19 cm. $A_s = 31.68 \text{ cm}^2$

Para el sentido transversal.

La cantidad de acero en el lecho inferior y superior está determinado por el porcentaje mínimo, entonces,

$$A_{s_{min}} = \frac{0.7 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{f_y} = \frac{0.7 \sqrt{250} \cdot 292 \cdot 29.05}{4200} = 22.354 \text{ cm}^2$$

El acero por cambios volumétricos es:

$$A_s = \frac{660 \cdot \left(\frac{h}{2}\right) \cdot b}{f_y \cdot \left(100 + \frac{h}{2}\right)} = \frac{660 \cdot 17.5 \cdot 292}{4200 \cdot (100 + 17.5)} = 6.834 \text{ cm}^2$$

El área de acero total para el lecho superior es: 87.564 cm^2
 El área de acero total para el lecho inferior es: 87.564 cm^2
 Equivalente a 70 varillas del #4 @ 13 cm. $A_s = 88.90 \text{ cm}^2$

Para el diseño del pedestal se considerará un tipo estándar, P-1. La cantidad de acero se determinará mediante los límites de refuerzo para elementos a compresión por el ACI 10.9³²

$$A_{s_{min}} = 0.01 \cdot A_g$$

$$A_{s_{max}} = 0.08 \cdot A_g$$

³² AMERICAN CONCRETE INSTITUTE: *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary*. United States of America: 2008. 138, 139 p. ISBN 978-0-870311-264-9

Y se revisará mediante la desigualdad siguiente:

$$P_u \leq \varphi \cdot (0.85f'_c A_c + A_s f_y)$$

Para la sección transversal del pedestal de $400 \times 500 \text{ mm}$, una resistencia a compresión de f'_c de 250 kg/cm^2 y un esfuerzo de fluencia para el acero de refuerzo de $4,200 \text{ kg/cm}^2$, el refuerzo principal será:

$$A_g = 2000 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{min}} = 20 \text{ cm}^2$$

$$8\#6, A_s = 22.80 \text{ cm}^2$$

Con dos juegos de estribos del #4 @ 20 cm

La capacidad de este pedestal será entonces de:

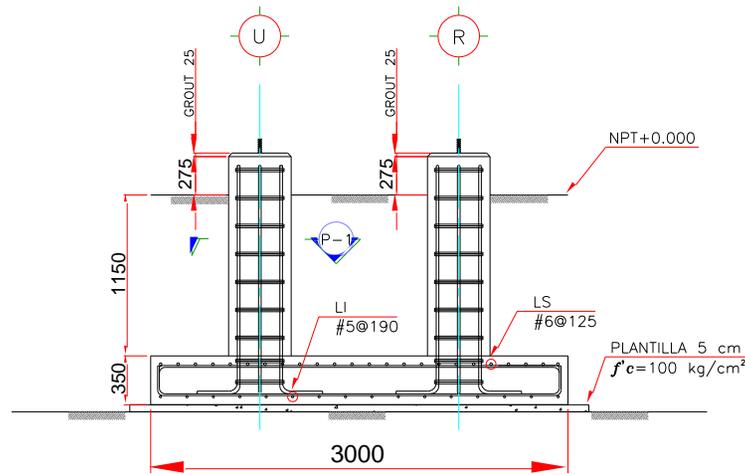
$$P_c = 83.87 \text{ ton}$$

Con una interacción de:

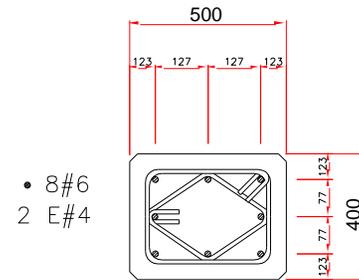
$$\frac{P_u}{P_c} = 0.94$$

En las figuras siguientes, 6.4 y 6.5, se esquematiza el diseño de la zapata combinada realizado en las líneas anteriores.

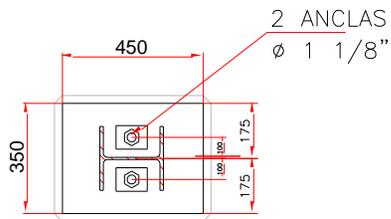
Figura 6.5



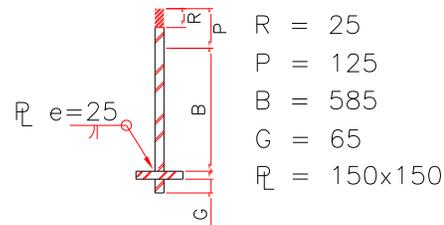
CORTE
ACOT. EN MM
VER EN CONJUNTO CON F.01



SECCIÓN
ACOT. EN MM S/E F.02



PLACA BASE
ACOT. EN MM S/E



ANCLA 1 1/8"
ACOT. EN MM S/E

 Tesis Profesional	
ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	
Presentó: JOSÉ LUIS ENRIQUE ARCOS MARTÍNEZ	
Director de Tesis: M.I. Miguel Ángel Rodríguez Vega	
Concepto: Zapata Combinada U & R	Dibujo: Alzado y Detalles
Archivo: 70801.F.02	Escala: 1:50
Aprobó:	Fecha: MAR/'11

VII. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

A lo largo del desarrollo de los antecedentes de este trabajo se ha tratado de condensar el pasado y la actualidad de la industria cementera y siderúrgica para sensibilizar al lector de las necesidades existentes en materia de regulación medioambiental. Esto es básico para comprender los requerimientos inmediatos a nivel técnico que necesitarán estos nichos de mercado, sin considerar además, las ampliaciones que buscan extender sus capacidades de producción y/o distribución.

Del análisis realizado, se encontró que las condiciones que gobiernan el diseño de los elementos que integran el sistema estructural son las combinaciones de carga que incluyen el sismo. Por lo que para realizar el detallado de la estructura metálica, se recomienda atender a los requisitos marcados por la normal AISC 341, denominada “Provisiones Sísmicas para Edificios de Acero Estructural”.

Después de haber evaluado la interacción de esfuerzos en los elementos estructurales, se llega a la conclusión de que cumplen satisfactoriamente con los requisitos estipulados en la reglamentación considerada respecto a los estados límite de falla y a los estados límite de servicio. Se asegura entonces que la estructura está dotada con un adecuado factor de seguridad.

En cuanto a la cimentación. Se propuso como alternativa de solución un sistema de cimentación superficial basado en zapatas combinadas. La capacidad de carga del suelo determinada se considera aceptable de acuerdo a la teoría de Meyerhof.

El diseño de la zapata cumple con los requisitos de la reglamentación del ACI para los estados límite de falla aplicables.

ANEXOS

TABLE 4-1 MINIMUM UNIFORMLY DISTRIBUTED LIVE LOADS, L_0 , AND MINIMUM CONCENTRATED LIVE LOADS

Occupancy or Use	Uniform pst (kN/m ²)	Conc. lb (kN)
Apartments (see <i>Residential</i>)		
Access floor systems		
Office use	50 (2.4)	2,000 (8.9)
Computer use	100 (4.79)	2,000 (8.9)
Armories and drill rooms	150 (7.18)	
Assembly areas and theaters		
Fixed seats (fastened to floor)	60 (2.87)	
Lobbies	100 (4.79)	
Movable seats	100 (4.79)	
Platforms (assembly)	100 (4.79)	
Stage floors	150 (7.18)	
Balconies (exterior)	100 (4.79)	
On one- and two-family residences only, and not exceeding 100 ft ² (9.3 m ²)	60 (2.87)	
Bowling alleys, poolrooms, and similar recreational areas	75 (3.59)	
Catwalks for maintenance access	40 (1.92)	300 (1.33)
Corridors		
First floor	100 (4.79)	
Other floors, same as occupancy served except as indicated		
Dance halls and ballrooms	100 (4.79)	
Decks (patio and roof)		
Same as area served, or for the type of occupancy accommodated		
Dining rooms and restaurants	100 (4.79)	
Dwellings (see <i>Residential</i>)		
Elevator machine room grating (on area of 4 in. ² [2,580 mm ²])		300 (1.33)
Finish light floor plate construction (on area of 1 in. ² [645 mm ²])		200 (0.89)
Fire escapes	100 (4.79)	
On single-family dwellings only	40 (1.92)	
Fixed ladders	See Section 4.4	
Garages (passenger vehicles only)	40 (1.92) ^{a,b}	
Trucks and buses		
Grandstands (see <i>Stadiums and arenas, Bleachers</i>)		
Gymnasiums—main floors and balconies	100 (4.79)	
Handrails, guardrails, and grab bars	See Section 4.4	
Hospitals		
Operating rooms, laboratories	60 (2.87)	1,000 (4.45)
Patient rooms	40 (1.92)	1,000 (4.45)
Corridors above first floor	80 (3.83)	1,000 (4.45)
Hotels (see <i>Residential</i>)		
Libraries		
Reading rooms	60 (2.87)	1,000 (4.45)
Stack rooms	150 (7.18) ^c	1,000 (4.45)
Corridors above first floor	80 (3.83)	1,000 (4.45)
Manufacturing		
Light	125 (6.00)	2,000 (8.90)
Heavy	250 (11.97)	3,000 (13.40)
Marquees	75 (3.59)	
Office Buildings		
File and computer rooms shall be designed for heavier loads based on anticipated occupancy		
Lobbies and first-floor corridors	100 (4.79)	2,000 (8.90)
Offices	50 (2.40)	2,000 (8.90)
Corridors above first floor	80 (3.83)	2,000 (8.90)
Penal Institutions		
Cell blocks	40 (1.92)	
Corridors	100 (4.79)	
Residential		
Dwellings (one- and two-family)		
Uninhabitable attics without storage	10 (0.48)	
Uninhabitable attics with storage	20 (0.96)	
Habitable attics and sleeping areas	30 (1.44)	
All other areas except stairs and balconies	40 (1.92)	
Hotels and multifamily houses		
Private rooms and corridors serving them	40 (1.92)	
Public rooms and corridors serving them	100 (4.79)	
Reviewing stands, grandstands, and bleachers	100 (4.79) ^d	

Cargas Vivas Mínimas. Uniformemente distribuidas y Concentradas.

TABLE C4-1 MINIMUM UNIFORMLY DISTRIBUTED LIVE LOADS

Occupancy or use	Live Load lb/ft ² (kN/m ²)	Occupancy or use	Live Load lb/ft ² (kN/m ²)
Air-conditioning (machine space)	200 ^a (9.58)	Laboratories, scientific	100 (4.79)
Amusement park structure	100 ^a (4.79)	Laundries	150 ^a (7.18)
Attic, nonresidential		Libraries, corridors	80 ^a (3.83)
Nonstorage	25 (1.20)	Manufacturing, ice	300 (14.36)
Storage	80 ^a (3.83)	Morgue	125 (6.00)
Bakery	150 (7.18)	Office Buildings	
Exterior	100 (4.79)	Business machine equipment	100 ^a (4.79)
Interior (fixed seats)	60 (2.87)	Files (see file room)	
Interior (movable seats)	100 (4.79)	Printing Plants	
Boathouse, floors	100 ^a (4.79)	Composing rooms	100 (4.79)
Boiler room, framed	300 ^a (14.36)	Linotype rooms	100 (4.79)
Broadcasting studio	100 (4.79)	Paper storage	^c
Catwalks	25 (1.20)	Press rooms	150 ^a (7.18)
Ceiling, accessible furred	10 ^f (0.48)	Public rooms	100 (4.79)
Cold storage		Railroad tracks	^d
No overhead system	250 ^b (11.97)	Ramps	
Overhead system		Driveway (see garages)	
Floor	150 (7.18)	Pedestrian (see sidewalks and corridors in Table 4-1)	
Roof	250 (11.97)	Seaplane (see hangars)	
Computer equipment	150 ^a (7.18)	Rest rooms	60 (2.87)
Courtrooms	50–100 (2.40–4.79)	Rinks	
Dormitories		Ice skating	250 (11.97)
Nonpartitioned	80 (3.83)	Roller skating	100 (4.79)
Partitioned	40 (1.92)	Storage, hay or grain	300 ^a (14.36)
Elevator machine room	150 ^a (7.18)	Telephone exchange	150 ^a (7.18)
Fan room	150 ^a (7.18)	Theaters:	
File room		Dressing rooms	40 (1.92)
Duplicating equipment	150 ^a (7.18)	Grid-iron floor or fly gallery:	
Card	125 ^a (6.00)	Grating	60 (2.87)
Letter	80 ^a (3.83)	Well beams, 250 lb/ft per pair	
Foundries	600 ^a (28.73)	Header beams, 1,000 lb/ft	
Fuel rooms, framed	400 (19.15)	Pin rail, 250 lb/ft	
Garages—trucks	^c	Projection room	100 (4.79)
Greenhouses	150 (7.18)	Toilet rooms	60 (2.87)
Hangars	150 ^a (7.18)	Transformer rooms	200 ^a (9.58)
Incinerator charging floor	100 (4.79)	Vaults, in offices	250 ^a (11.97)
Kitchens, other than domestic	150 ^a (7.18)		

^a Use weight of actual equipment or stored material when greater.
^b Plus 150 lb/ft² (7.18 kN/m²) for trucks.
^c Use American Association of State Highway and Transportation Officials lane loads. Also subject to not less than 100% maximum axle load.
^d Paper storage 50 lb/ft² per foot of clear story height.
^e As required by railroad company.
^f Accessible ceilings normally are not designed to support persons. The value in this table is intended to account for occasional light storage or suspension of items. If it may be necessary to support the weight of maintenance personnel, this shall be provided for.

TABLE C4-2 TYPICAL LIVE LOAD STATISTICS

Occupancy or use	Survey Load		Transient Load		Temporal Constants			Mean maximum load ^a lb/ft ² (kN/m ²)
	m_s lb/ft ² (kN/m ²)	σ_s^a lb/ft ² (kN/m ²)	m_t^a lb/ft ² (kN/m ²)	σ_t^a lb/ft ² (kN/m ²)	τ_s^b (years)	v_e^c (per year)	T^d (years)	
Office buildings								
offices	10.9 (0.52)	5.9 (0.28)	8.0 (0.38)	8.2 (0.39)	8	1	50	55 (2.63)
Residential								
renter occupied	6.0 (0.29)	2.6 (0.12)	6.0 (0.29)	6.6 (0.32)	2	1	50	36 (1.72)
owner occupied	6.0 (0.29)	2.6 (0.12)	6.0 (0.29)	6.6 (0.32)	10	1	50	38 (1.82)
Hotels								
guest rooms	4.5 (0.22)	1.2 (0.06)	6.0 (0.29)	5.8 (0.28)	5	20	50	46 (2.2)
Schools								
classrooms	12.0 (0.57)	2.7 (0.13)	6.9 (0.33)	3.4 (0.16)	1	1	100	34 (1.63)

^a For 200 ft² (18.58 m²) area, except 1000 ft² (92.9 m²) for schools.
^b Duration of average sustained load occupancy.
^c Mean rate of occurrence of transient load.
^d Reference period.

Cargas Vivas Mínimas. Uniformemente Distribuidas, continuación.

**TABLE 1613.5.2
SITE CLASS DEFINITIONS**

SITE CLASS	SOIL PROFILE NAME	AVERAGE PROPERTIES IN TOP 100 feet, SEE SECTION 1613.5.5		
		Soil shear wave velocity, \bar{v}_s , (ft/s)	Standard penetration resistance, \bar{N}	Soil undrained shear strength, \bar{s}_u , (psf)
A	Hard rock	$\bar{v}_s > 5,000$	N/A	N/A
B	Rock	$2,500 < \bar{v}_s \leq 5,000$	N/A	N/A
C	Very dense soil and soft rock	$1,200 < \bar{v}_s \leq 2,500$	$\bar{N} > 50$	$\bar{s}_u \geq 2,000$
D	Stiff soil profile	$600 \leq \bar{v}_s \leq 1,200$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$1,000 \leq \bar{s}_u \leq 2,000$
E	Soft soil profile	$\bar{v}_s < 600$	$\bar{N} < 15$	$\bar{s}_u < 1,000$
E	—	Any profile with more than 10 feet of soil having the following characteristics: 1. Plasticity index $PI > 20$, 2. Moisture content $w \geq 40\%$, and 3. Undrained shear strength $\bar{s}_u < 500$ psf		
F	—	Any profile containing soils having one or more of the following characteristics: 1. Soils vulnerable to potential failure or collapse under seismic loading such as liquefiable soils, quick and highly sensitive clays, collapsible weakly cemented soils. 2. Peats and/or highly organic clays ($H > 10$ feet of peat and/or highly organic clay where H = thickness of soil) 3. Very high plasticity clays ($H > 25$ feet with plasticity index $PI > 75$) 4. Very thick soft/medium stiff clays ($H > 120$ feet)		

For SI: 1 foot = 304.8 mm, 1 square foot = 0.0929 m², 1 pound per square foot = 0.0479 kPa. N/A = Not applicable

**TABLE 1613.5.3(1)
VALUES OF SITE COEFFICIENT F_a ^a**

SITE CLASS	MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT SHORT PERIOD				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	Note b	Note b	Note b	Note b	Note b

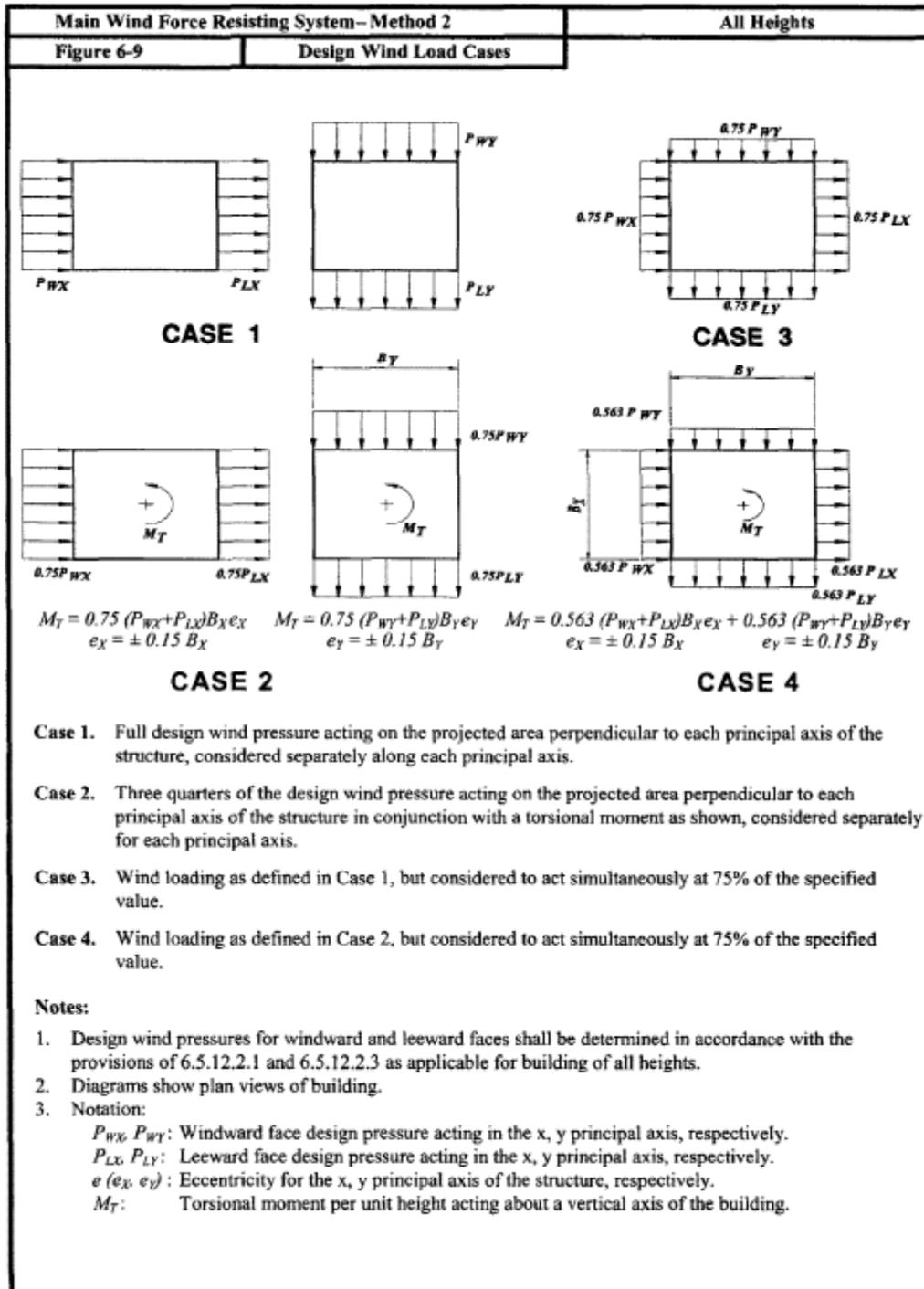
- a. Use straight-line interpolation for intermediate values of mapped spectral response acceleration at short period, S_s .
- b. Values shall be determined in accordance with Section 11.4.7 of ASCE 7.

**TABLE 1613.5.3(2)
VALUES OF SITE COEFFICIENT F_v ^a**

SITE CLASS	MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT 1-SECOND PERIOD				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	Note b	Note b	Note b	Note b	Note b

- a. Use straight-line interpolation for intermediate values of mapped spectral response acceleration at 1-second period, S_1 .
- b. Values shall be determined in accordance with Section 11.4.7 of ASCE 7.

Clasificación y Factores de Modificación por Tipo de Suelo. IBC 2009.



Condiciones de Carga por Viento para Diseño. ASCE 7.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. *Standard Specification for Carbon Structural Steel, A36/A36M*. United States of America: 2005. 3 pp. Tabla 3.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS: *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. United States of America: 2006. ISBN 0-7844-0831-9

BLODGETT, OMER W.: *Design of Welded Structures*. United States of America: 1982. The James F Lincoln Arc Welding Foundation. 2.1-3 pp.

BRESLER, LIN, SCALZI. *Design of Steel Structures*. United States of America: 1968, 56 pp.

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD. *Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Sismo*. México: 2008. 13 pp.

GONZÁLES, MARIA LUISA.: *La industrialización en México*. México: 2002.Ed. UNAM. ISBN 970-701-297-8.

INSTITUTO MEXICANO DE LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO, A.C. *Manual de Construcción en Acero*. 4 ed. México: 2003. 22 p. ISBN 968-18-6116-7.

INTERNATIONAL CODE COUNCIL, INC.: *2009 International Building Code*. United States of America: 2009. 340 p. ISBN 978-1-58001-725-1

MELI, ROBERTO: *Diseño Estructural*. 2da Edición. México: Ed. Limusa, 2001. 172 p. ISBN 968-18-5391-1

MONROY, FERNANDO.: *Análisis Matricial de Marcos Planos*. México. UNAM. 15 pp.

SELL, NANCY JEAN.: *Industrial pollution control: Issues and Techniques*. United States of America: 1945.Van Nostrand Reinhold. 114-130, 219-237 ISBN 0-442.00658-6.