



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

***ESTUDIO COMPARATIVO DE TRES SOLUCIONES ESTRUCTURALES
PARA UNA TORRE DE TELECOMUNICACIONES
DE 40 m. DE ALTURA TIPO AUTOSOPORTADA***

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

JUAN HERNÁNDEZ CHÁVEZ

DIRECTOR DE TESIS

ING. JORGE GONZÁLEZ RAMÍREZ



CIUDAD UNIVERSITARIA

JUNIO, 2005



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

***ESTUDIO COMPARATIVO DE TRES SOLUCIONES ESTRUCTURALES
PARA UNA TORRE DE TELECOMUNICACIONES
DE 40 m. DE ALTURA TIPO AUTOSOPORTADA***

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

JUAN HERNÁNDEZ CHÁVEZ

DIRECTOR DE TESIS

ING. JORGE GONZÁLEZ RAMÍREZ



CIUDAD UNIVERSITARIA

JUNIO, 2005



FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/71/04

Señor
JUAN HERNÁNDEZ CHÁVEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. JORGE GONZÁLEZ RAMÍREZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

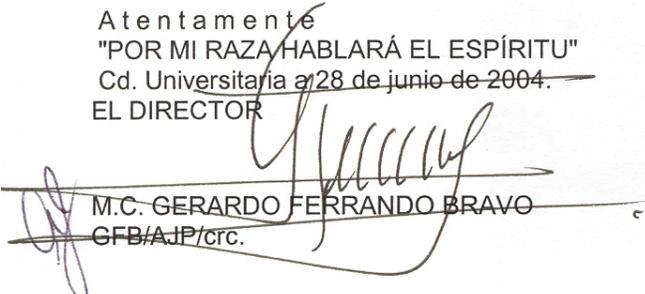
"ESTUDIO COMPARATIVO DE TRES SOLUCIONES ESTRUCTURALES PARA UNA TORRE DE TELECOMUNICACIONES DE 40m DE ALTURA TIPO AUTOSOPORTADA"

- INTRODUCCIÓN
- I. ASPECTOS GENERALES
- II. DISEÑO GEOMÉTRICO
- III. SOLICITACIONES
- IV. ANÁLISIS ESTRUCTURAL
- V. DISEÑO ESTRUCTURAL
- VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS
- VII. CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA

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 28 de junio de 2004.
EL DIRECTOR


M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/AJP/crc.

AGRADECIMIENTOS

A mi Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de pertenecer a ella, por los conocimientos adquiridos y por enseñarme a entender la realidad de mi país.

A mis queridos amigos y compañeros de la Facultad de Ingeniería, Luis Manuel, Juan Carlos, Joel y Gabriel.

Dedico este trabajo a mi padre Gabino y a mis hermanos Ma. Elena, Raquel, Manuel y Sarita, por su vitalidad y entusiasmo y quienes me han ayudado muchísimo en mi desarrollo como persona y a quienes llevo siempre en mi corazón.

Al Ingeniero Jorge González Ramírez:

A usted le doy las gracias por apoyarme desde un principio en la elaboración de este trabajo, y por darme un mejor panorama de lo que debía hacer; por lo que le agradezco su paciencia y ayuda.

"En cuestiones de
ciencia, la autoridad de mil no
vale lo que el humilde
razonamiento de un solo individuo"
(Galileo)

"Quien nunca ha cometido un error
nunca ha probado algo nuevo."
(Albert Einstein)

***ESTUDIO COMPARATIVO DE TRES SOLUCIONES ESTRUCTURALES
PARA UNA TORRE DE TELECOMUNICACIONES
DE 40 m. DE ALTURA TIPO AUTOSOPORTADA***

INDICE

<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
I.- ASPECTOS GENERALES.	
<u>I.1.- CLASIFICACIONES DE LAS TORRES</u>	3
<u>I.2.- ELEMENTOS INTEGRANTES DE UNA TORRE AUTOSOPORTADA</u>	4
<u>I.2.1- ESTRUCTURA PRINCIPAL</u>	4
<u>I.2.2- ESCALERAS DE ASCENSO Y DESCENSO</u>	4
<u>I.2.3- SISTEMA DE SEGURIDAD O LÍNEA DE VIDA</u>	5
<u>I.2.4- CAMA GUÍA DE ONDAS VERTICAL Y HORIZONTAL</u>	5
<u>I.2.5- PLATAFORMA DE TRABAJO</u>	5
<u>I.2.6- SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS</u>	5
<u>I.2.7- SISTEMA DE ILUMINACIÓN O BALIZAMIENTO NOCTURNO</u>	5
<u>I.2.8- PINTURA O BALIZAMIENTO DIURNO</u>	6
<u>I.2.9- SOPORTE DE ANTENAS PARA SU INSTALACIÓN SOBRE LA TORRE</u>	6
<u>I.2.10- SISTEMA DE TIERRA</u>	6
<u>I.3- FACTORES QUE INTERVIENEN EN DISEÑO DE UNA TORRE AUTOSOPORTADA</u>	8
<u>I.3.1- ALTURA DE LA TORRE Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA</u>	8
<u>I.3.2- CARGAS QUE SOPORTARA LA ESTRUCTURA</u>	8
<u>I.3.3- NORMATIVIDAD QUE APLICA PARA SU CALCULO Y DISEÑO</u>	9
II.- DISEÑO GEOMÉTRICO	
<u>II.1- DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA</u>	10
<u>II.2- ESTRUCTURACIÓN</u>	11
<u>II.3- UBICACIÓN DE LA ESTRUCTURA</u>	11
III.- SOLICITACIONES	
<u>III.1- CARGA MUERTA</u>	14
<u>III.1.1- PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA</u>	14
<u>III.1.2- PESO DE PLATAFORMAS</u>	14
<u>III.1.3- PESO DE LA ESCALERA Y GUÍA DE ONDAS</u>	14
<u>III.1.4- PESO DE LAS ANTENAS</u>	14
<u>III.2- CARGA VIVA</u>	15
<u>III.3- CARGA POR VIENTO</u>	16
<u>III.3.1- CLASIFICACIONES DE LA ESTRUCTURA</u>	19
<u>III.3.2- SEGÚN SU IMPORTANCIA</u>	19
<u>III.3.3- SEGÚN SU RESPUESTA ANTE LA ACCIÓN DEL VIENTO</u>	19
<u>III.3.4- SEGÚN SU TAMAÑO</u>	20

INDICE

<u>III.3.5- CATEGORIA DEL TERRENO</u>	20
<u>III.3.6- DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE RUGOSIDAD Y ALTURA</u>	21
<u>III.3.7- DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE TAMAÑO</u>	22
<u>III.3.8- FACTOR DE EXPOSICIÓN</u>	22
<u>III.3.9- DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD REGIONAL</u>	23
<u>III.3.10- DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE TOPOGRAFÍA</u>	23
<u>III.3.11- VELOCIDAD DE DISEÑO</u>	24
<u>III.3.12- FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA Y ALTURA</u>	24
<u>III.3.13- PRESIÓN DINÁMICA BASE EN LA DIRECCIÓN DEL VIENTO</u>	25
<u>III.3.14- FACTOR DE RÁFAGA VARIABLE CON LA ALTURA Z</u>	26
<u>III.3.15- FACTOR DE EXITACIÓN DE FONDO</u>	27
<u>III.3.16- FACTOR DE REDUCCIÓN POR TAMAÑO</u>	27
<u>III.3.17- FACTOR DE RELACIÓN DE ENERGÍA DE RÁFAGA</u>	29
<u>III.3.18- COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO CRÍTICO</u>	30
<u>III.3.19- FACTOR RELACIONADO CON LA RUGOSIDAD DEL TERRENO</u>	30
<u>III.3.20- FACTOR CORRECTIVO POR ALTURA $C_{\alpha'}$</u>	30
<u>III.3.21- VARIACIÓN DE LA CARGA DEBIDA A LA TURBULENCIA DEL VIENTO</u>	31
<u>III.3.22- FACTOR PICO O DE DEFECTO MÁXIMO DE LA CARGA POR VIENTO</u>	31
<u>III.3.23- FACTOR DE RESPUESTA DINÁMICA DEBIDA A RÁFAGAS F_g</u>	32
<u>III.3.24- DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE ADIMENSIONAL C_d</u>	34
<u>III.3.25- CALCULO DE ÁREAS EXPUESTAS</u>	39
<u>III.3.26- PRESIÓN TOTAL EN LA DIRECCIÓN DEL VIENTO</u>	44
<u>III.3.27- FUERZA TOTAL SOBRE LA ESTRUCTURA</u>	46
<u>III.3.28-ANTENAS PARABÓLICAS</u>	47
<u>III.3.29- DESCOMPOSICIÓN DE FUERZAS DE VIENTO SOBRE LAS ANTENAS, EN LAS DIRECCIONES DE ANÁLISIS</u>	50
<u>III.3.30- ANTENAS CELULARES</u>	52
<u>III.4- CARGA POR SISMO</u>	53
<u>III.4.1- CLASIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA SEGÚN SU DESTINO</u>	53
<u>III.4.2- CLASIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA SEGÚN SU ESTRUCTURACIÓN</u>	53
<u>III.4.3- CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE TERRENO SEGÚN SU ESTRATIGRAFIA</u>	53
<u>III.4.4- MÉTODO DE ANÁLISIS</u>	53
<u>III.4.5- REGIONALIZACIÓN SISMICA PARA LA ESTRUCTURA</u>	56
<u>III.4.6- DETERMINACIÓN DE CARGAS</u>	57
<u>III.4.7- PESOS DE LA ESTRUCTURA POR TRAMOS</u>	58

INDICE

IV.- ANALISIS ESTRUCTURAL

<u>IV.1- PROGRAMA DE ANÁLISIS</u>	61
<u>IV.2- EDICIÓN DE DATOS DE ENTRADA Y DE SALIDA</u>	66
<u>IV.3- CONDICIONES DE CARGAS</u>	66
<u>IV.3.1- CONDICIÓN DE CARGA No. 1 PESO PROPIO + CARGA MUERTA EN LA DIRECCIÓN X</u>	66
<u>IV.3.2- CONDICIÓN DE CARGA No. 2 PESO PROPIO</u>	68
<u>IV.3.3- CONDICIÓN DE CARGA No. 3 CARGA MUERTA</u>	68
<u>IV.3.4- CONDICIÓN DE CARGA No. 4 CARGA VIVA</u>	71
<u>IV.3.5- CONDICIÓN DE CARGA No. 5 Y 6 CARGA POR VIENTO SOBRE UNA CARA Y SOBRE UNA ESQUINA</u>	72
<u>IV.3.6- CONDICIÓN DE CARGA No. 7 CARGA POR SISMO</u>	75
<u>IV.3.7- COMBINACIONES DE CARGAS</u>	77

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL

<u>V.1- CRITERIO DE REVISIÓN</u>	78
<u>V.2- ARCHIVO DE RESULTADOS</u>	78

VI.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

<u>VI.2- REVISIÓN DE DESPLAZAMIENTOS</u>	104
<u>VI.2- REVISIÓN DE ESTADO DE ESFUERZOS</u>	107
<u>V.3- COSTOS</u>	111

VII.- CONCLUSIONES

112

ANEXO 1 LISTADO DE ARCHIVOS DE

DATOS..... 115

BIBLIOGRAFÍA.....131

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los medios de comunicación presentan un gran avance tecnológico, destacando entre ellos la telefonía móvil con un crecimiento explosivo. Al grado tal que las líneas celulares superan ya a la telefonía fija.

Este gran avance tecnológico requiere de infraestructura para soportarlo. Anteriormente las emisoras de radio y las compañías telefónicas entre otros eran prácticamente los únicos dispositivos que requerían sus propias torres y antenas.

Hoy las compañías de telefonía celular y sistemas de comunicación personal (PCS) han ido extendiendo su cobertura por todo el país, a través de la instalación de torres de celosía.

Cada vez más en nuestro medio se van instalando estas estructuras, las hay desde arriostradas, autoportadas y monopolos. En el caso de las torres arriostradas, estas necesitan de las retenidas para mantenerse en pie, mientras que los monopolos y las autoportadas se pueden soportar por sí mismos, es decir, que no requieren de elementos externos para sostenerse, la sección transversal de los monopolos casi siempre es tubular, mientras que las arriostradas y autoportadas son de sección triangular y cuadrada (ver figura A), sus elementos estructurales se disponen en forma de celosía y los perfiles laminados comúnmente utilizados pueden ser ángulos, tubos o perfiles tubulares rectangulares llamados PTR, el empleo más diverso de secciones se presenta en las piernas de la torre, de aquí surgió la idea de realizar el presente trabajo. Se seleccionó una torre autoportada porque el área que ocupa es relativamente pequeña comparada con la que ocupan las torres arriostradas y por lo tanto se pueden instalar en cualquier parte principalmente en las zonas densamente pobladas. (Ver figura B).

El presente trabajo pretende realizar una comparación, considerando una torre tipo Autoportada de sección cuadrada con una altura de 40 m

La comparación consiste primero en analizar las piernas de esta torre con perfiles estructurales de sección angular, segundo con perfiles estructurales en las piernas de sección cajón (PTR) y tercero con perfiles estructurales en las piernas de sección tubular (cilíndrica). Únicamente se considerarán y diseñarán las piernas y la celosía, El diseño de las conexiones y cimentación quedan fuera del alcance de este trabajo.

Para ello se considera de importancia realizar un bosquejo para presentar las diferentes estructuras que se utilizan en telecomunicaciones.

Presentar la reglamentación que comúnmente se utiliza en el diseño de estas estructuras, detallar sobre las acciones que gobiernan el diseño y realizar por medio de un programa de computadora el análisis y diseño de los tres casos descritos, de los resultados del análisis y diseño se realizará una discusión, todo con la finalidad de lograr los siguientes objetivos

- 1.- Determinar cual de las tres soluciones estructurales tendrá una mejor respuesta ante las sollicitaciones de las acciones externas que se considera incidirán en la estructura.
- 2.- Realizar una comparación a partir de los resultados obtenidos en este trabajo, con torres autoportadas similares ya construidas en nuestro entorno.

INTRODUCCIÓN

3.- Aportar algo más de información en el diseño de torres autoportadas, para una mejor comprensión preparación y desarrollo del estudiante de ingeniería.

4.- Proporcionar los conocimientos necesarios para desarrollar racionalmente el Diseño estructural aplicado al Cálculo de torres autoportadas.

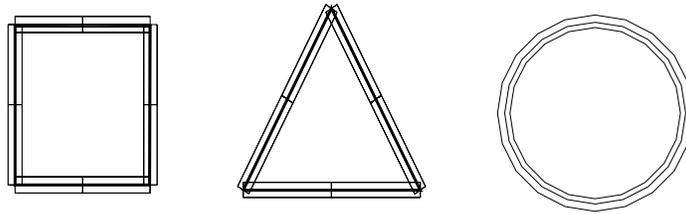


Figura No. A Secciones transversales mas usadas del mástil.

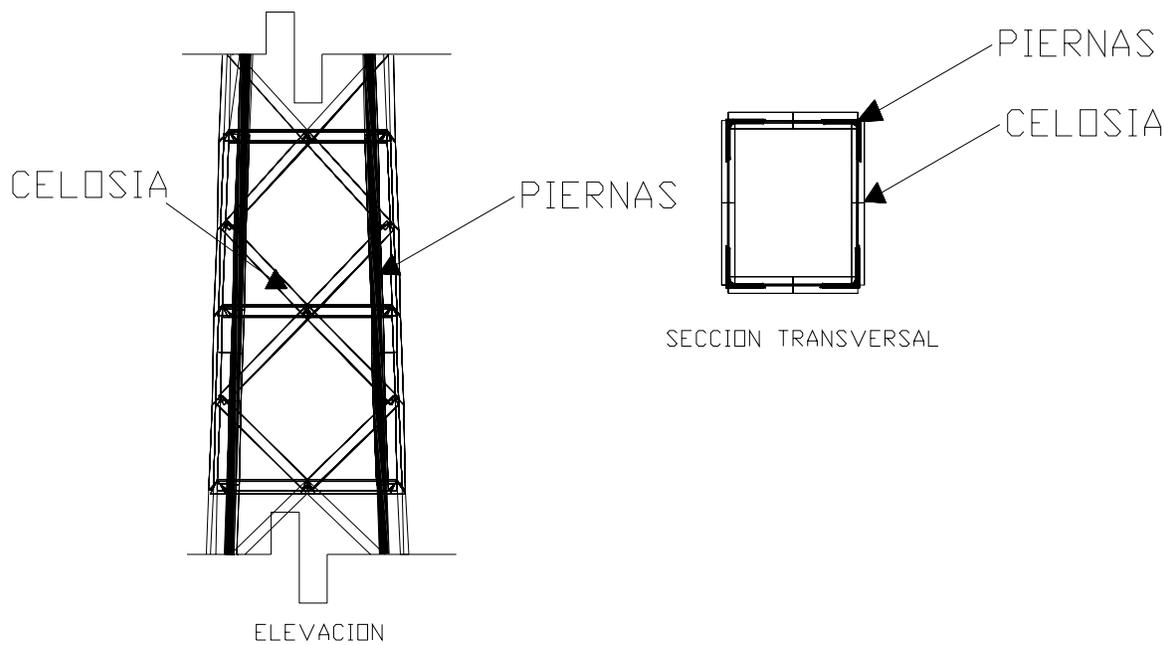


Figura No. B Torre considerada para este trabajo

I.- ASPECTOS GENERALES

1.1.- Clasificación de torres

Por su diseño las torres se clasifican en

- 1.- Arriostradas
- 2.- Monopolos
- 3.- Autosoportadas

Las primeras concentran la carga en un solo punto, ya que son de base estrecha y tienen un costo menor que las autosoportadas, sin embargo requieren de una extensa área para sujetarla mediante tensores. Los monopolos son instalados en lugares en donde se requiere conservar la Estética, pues son las que ocupan menos espacio, y se pintan de algún color o se adornan para que se permita que la estructura se camufleje y se simule la vegetación. Las torres autosoportadas que son las que nos interesan en este trabajo, distribuyen su carga en tres o cuatro piernas con diversas configuraciones pueden ser ensambladas en sitio sin necesidad de utilizar maquinaria pesada y La gran ventaja que tienen estas torres con respecto las arriostradas es que: el área que ocupan es relativamente pequeña comparada con la que ocupan las torres arriostradas. En la siguiente figura se muestran este tipo de torres.

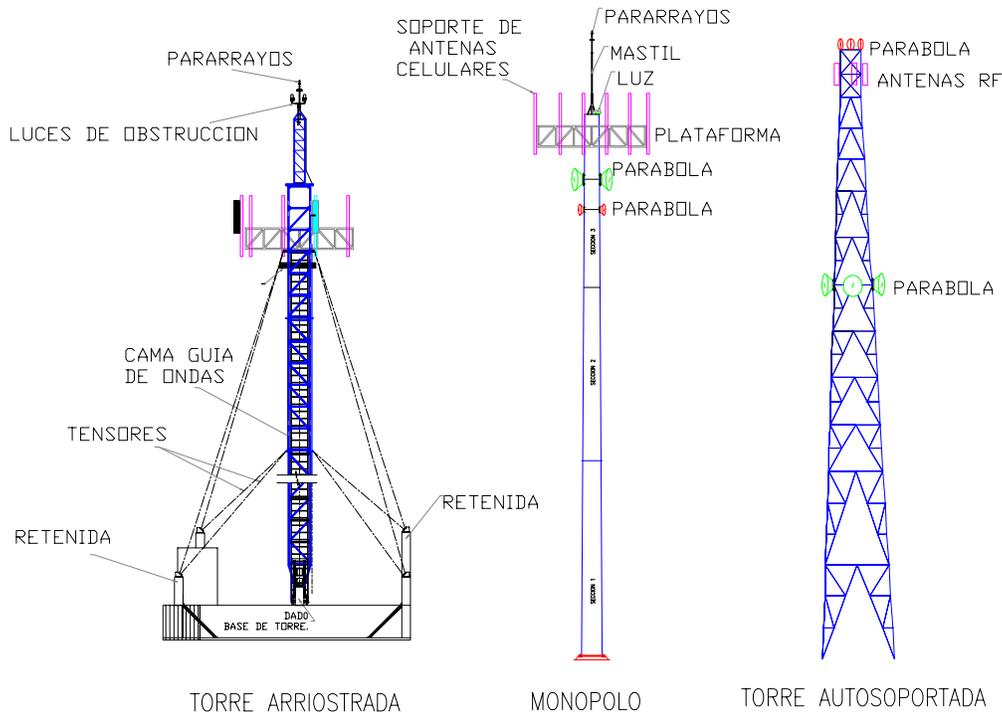


Figura No. I Tipos de torres

I.- ASPECTOS GENERALES

1.2.- Elementos integrantes de una torre autosoportada

Este tipo de Torre se instala fundamentalmente cuando las limitaciones de terreno son importantes y/o cuando la cantidad y dimensiones de las antenas así lo obligan. Estas Torres pueden ser de base triangular o base cuadrada y básicamente se componen de:

1. Estructura principal
2. Escaleras de ascenso y descenso
3. Kit de seguridad o línea de vida
4. Cama de guía de ondas vertical y horizontal
5. Plataforma de trabajo
6. Sistema de protección contra descargas atmosféricas
7. Sistema de iluminación o balizamiento nocturno
8. Pintura o balizamiento diurno.
9. Soporte de antenas para su instalación sobre la torre
10. Sistema de tierra

A continuación se describe en que consisten los elementos arriba mencionados

1.2.1.- Estructura principal

La conforman las piernas, cerramientos horizontales, cerramientos diagonales, cerramientos secundarios, placas de unión de cerramientos diagonales y secundarios y diafragmas.

1.2.2.- Escaleras de ascenso y descenso

El sistema de acceso es el medio que permite la inspección y el control de las antenas y de la propia torre. El sistema de acceso será mediante una escalera que se extiende por el interior de la torre dispuesta por la misma vertical en toda su longitud. La escalera está formada por ángulos verticales de LI 51x6, unidos por peldaños formados por redondos macizos de $\varnothing = 3/4''$ (19 mm), soldados a los ángulos verticales, y separados 250 mm entre sí. El ancho o separación entre los bordes de los montantes verticales será de 400 mm. Como medida de seguridad, para evitar la caída de personas durante las operaciones de ascenso y descenso, se instalará un sistema anticaídas, el cual permite a los operarios trabajar asegurados. este sistema consiste en un arnés utilizado por el operario que sujeto mediante una eslinga bien sea de posicionamiento o fija se engancha a un punto de anclaje o línea de vida.

I.- ASPECTOS GENERALES

1.2.3.- Sistema de seguridad o línea de vida

Es un cable tipo retenida, con herraje superior e inferior, placas de seguridad, tensor de ojillo, separador de cable de seguridad, abrazaderas, placa de unión de escalera.

1.2.4.- Cama de guía de ondas vertical y horizontal

Son cables de radiofrecuencia (RF), relativamente rígidos y con ciertas limitaciones a las curvaturas (no inferiores a 0,5 m), que unen las antenas con los equipos de radio situados en el interior de las casetas destinadas a sitios celulares o al propio equipo, si éste es de intemperie. Su trayectoria se extiende por el interior de la torre (guiaondas verticales) y por el espacio comprendido entre torre y caseta (guiaondas horizontal). La trayectoria vertical se diseña para fijar los cables en un perfil LI 51x5, de 1.24 metros de longitud, dispuesto horizontalmente y paralelo a la escalera de ascenso. Estos perfiles se instalan en toda la vertical separados cada 1.5 metros.

1.2.5.- Plataformas de trabajo

Constituyen la zona de la torre destinada a la instalación, supervisión y mantenimiento de las antenas y de la propia torre, o al descanso de los trabajadores durante la realización de las tareas anteriores o durante su ascenso por dicha torre ver (figura I.1)

Su construcción se efectúa mediante rejilla tipo antiderrapante para evitar el deslizamiento del calzado.

Al mismo tiempo que permite el paso del agua evitando estancamientos y acumulaciones sobre la misma. Las plataformas de descanso poseen una abertura en la zona de escalera

Para el paso del operario, no se les dota de compuerta para facilitar el acceso entre los diferentes tramos. La superficie se diseña con suficiente dimensión para permitir la estancia de una persona cómodamente, además a 1,2 metros de altura de cada plataforma, cuenta con barandal de protección alrededor de la torre.

1.2.6.- Sistema de protección contra descargas atmosféricas

Es un pararrayos dipolo ep-d con mástil de duraluminio de 3m, cable de 2/0 de cobre forrado thw, abrazaderas metálicas sin fin, electrodo profesional pares para la fosa de descarga con relleno especial ep-tr, agregado electrolítico y soldadura cadwell.

1.2.7.- Sistema de iluminación o balizamiento nocturno

Es un faro BEACON en la punta de la torre y cuatro lámparas de obstrucción (2 a la mitad y dos a $\frac{3}{4}$ de la torre) certificados ante la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) a través de la Dirección General de Aviación Civil (DGAC) con mica roja, foto celda de control, cableado correspondiente para su correcta instalación y controlador alarmado.

I.- ASPECTOS GENERALES

I.2.8.- Pintura o balizamiento diurno

El sistema de balizamiento diurno se instala siguiendo normativas de la Dirección General de Aviación Civil y de Telefónica Móviles México. Constituye la señalización mediante balizas, para la localización durante la noche de las estructuras soporte de antenas. El recorrido del cable se efectuará a lo largo de la torre por la parte posterior del soporte guaiandas vertical de la torre. La sujeción de los cable se efectuará mediante abrazaderas, apropiadas que no los dañen y por otro lado que se puedan fijar a los soportes guaiandas mediante sistema de presión, nunca por realización de barrenos.

I.2.9.- Soporte de antenas para su instalación sobre la torre

Los soportes de antenas son los elementos necesarios para la instalación de los sistemas radiantes sobre la torre de la forma más adecuada para que, en cada caso particular se consigan los objetivos de cobertura. Para sujetar las antenas en los soportes, se utilizarán tubos de amarre de diámetro variable según se trate de antenas o microondas que irán fijados mediante abrazaderas roscadas en su totalidad. Para sujetar las antenas de Radio Frecuencia (RF) en los soportes se utilizan tubos de amarre "OC" de $\phi=2$ " cédula 40 ($\phi=60.3 \times 3.91$ mm) de 1.8 metros de longitud, y para sujetar las microondas tubos de amarre "OC" de $\phi=4$ " cédula 40 ($\phi=114 \times 6.02$ mm) de 1.2 metros. Los soportes diseñados para esta estructura son los siguientes:

- Ménsula retráctil para antena tipo panel.
- Ménsula fija para antena tipo panel.
- Ménsula fija para microonda de $\phi=2'$.
- Ménsula fija para microonda de $\phi=4'$.

I.2.10.- Sistema de tierra

Es un arreglo de electrodos, conductores, materiales intensificadores, rellenos especiales, agregados electrolíticos, y difusores que basados en normas internacionales para su diseño y por medio de memorias de calculo, considerando el análisis y criterios correspondientes, se lograr obtener un sistema que sea capaz de reducir la resistencia a tierra cubriendo un área en especifico, asegurando que el valor de la resistencia a tierra será el mismo en cualquier punto de la malla, permitiendo de esta manera que la disipación de las descargas sea la máxima, evitando cualquier diferencia de potencial, y que el riesgo de daño al personal, equipo y/o sistema, disminuya

I.- ASPECTOS GENERALES

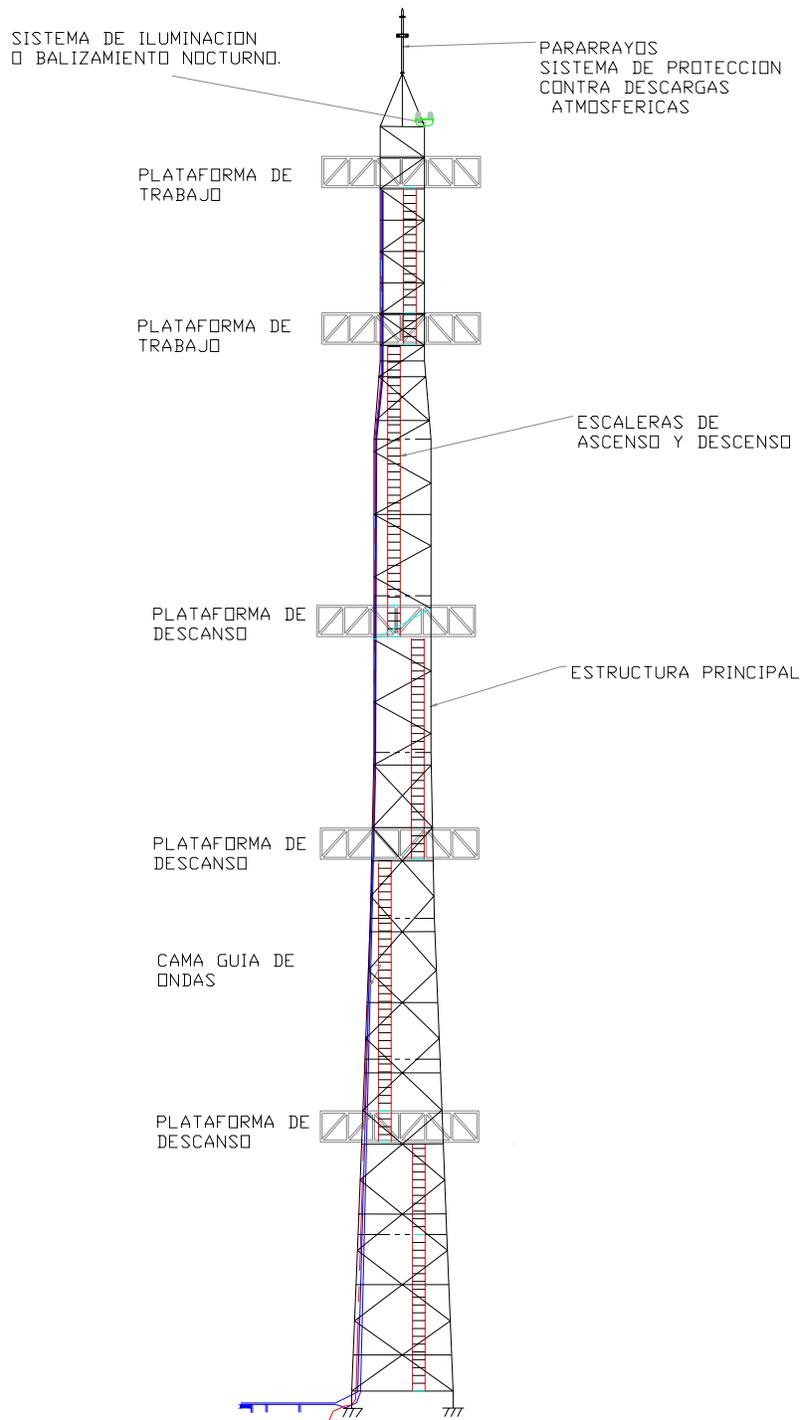


Figura No. I.1 Elementos integrantes de una torre Autosostenida

I.- ASPECTOS GENERALES

I.3.- Factores que intervienen en el diseño de una torre autosoportada

En un proyecto de esta naturaleza deben tomarse en cuenta los siguientes factores.

1. Altura de la torre y ubicación geográfica.
2. Velocidad de vientos
3. Cargas que soportara la estructura
4. Altura de las cargas sobre la torre
5. Accesorios y ubicación sobre la torre
6. Normatividad que aplica para su calculo y diseño

I.3.1.- Altura de la torre, ubicación geográfica y velocidad de vientos.

Los teléfonos celulares son radios sofisticados que trabajan con frecuencias que cubren o abarcan áreas o células de cierto diámetro. Son los departamentos de ingeniería de Radiofrecuencia y Transmisión quienes generan las especificaciones requeridas para estas estructuras, en las cuales indican la altura de centro de radiación de antenas, tipos y número de antenas, inclinación, orientación y espacios necesarios, para que funcionen correctamente.

La mayoría de estas estructuras son ligeras, por lo que en su diseño influye mucho los esfuerzos que genera el viento, debido a que durante su acción se presentan los mayores esfuerzos y deformaciones en la torre, tal como lo veremos mas adelante, Por lo tanto deberá conocerse la velocidad del viento que estará sujeta a factor variable de acuerdo con el sitio específico, así como la carga que será necesaria distribuir en toda la estructura y que esta en función de la superficie que estará expuesta a las fuerzas del viento.

I.3.2.- Cargas que soportara la estructura.

La estructura esta sujeta a acciones permanentes como por ejemplo a su peso propio, el peso de las antenas parabólicas, el peso del equipo y accesorios, así como escaleras e instalaciones, también esta sujeta a acciones variables como la carga viva y en su caso carga por hielo la cual se presenta en torres localizadas en regiones con bajas temperaturas, se puede decir que es poco frecuente y que solo se presenta en el norte de nuestro país, por lo que en este trabajo no será considerada y por ultimo también a acciones accidentales como el viento y sismo, en muchas regiones los sismos representan la causa del mayor numero de fallas y daños de las estructuras y es necesario tomar precauciones muy especiales a este respecto, aunque como se vera mas adelante las torres de telecomunicaciones son generalmente muy ligeras y el sismo no las afecta tanto.

I.- ASPECTOS GENERALES

1.3.3.- Normatividad que aplica para su cálculo y diseño

Para el caso del diseño estructural, la mayor parte de los países de América Latina, utilizan las especificaciones de diseño de uso en Estados Unidos, particularmente del American Institute of Steel Construction AISC (Specification for Structural Steel Buildings-Allowable Stress Design and Plastic Design), esta practica que desde hace muchos años se sigue en México se debe a numerosas razones, una es que los perfiles que se producen en México se laminan con dimensiones del sistema ingles y son parte de los que se producen en Estados Unidos, también por la influencia tecnológica por la cercanía con México ya que buena parte de los programas de análisis y diseño estructural que se utilizan aquí proceden de Estados Unidos y se basan en métodos de diseño adoptados por el AISC.

En el caso de las cargas de viento sobre la estructura, estas se obtienen por medio de fórmulas estipuladas en los reglamentos correspondientes para cada país, por ejemplo, en **Estados Unidos** se calcula por medio del reglamento *ASCE (Guide To The Use Of The Wind Load Provisions)*, en **Argentina** por medio del reglamento *CIRSOC*, en **México** por medio del **Manual De Diseño De Obras Civiles Diseño Por Viento** de la *Comisión Federal De Electricidad*. En dichas fórmulas se calculan las áreas de exposición de los elementos estructurales, las cuales se multiplican generalmente por otros coeficientes, como veremos mas adelante.

II.- DISEÑO GEOMÉTRICO

Para el análisis estructural es necesario tomar el tipo de torre elegido por el cliente, e introducirlo en un modelo matemático, junto con sus cargas, condiciones de viento, nieve, sismo, etc., e ir buscando aquella estructura que, cumpliendo con todos los requisitos técnicos, tenga un mínimo de peso o un menor costo en el material a usar (ambas cosas suelen ir en paralelo). Sin perjuicio de su capacidad para resistir las fuerzas impuestas y aceptar cierto rango de desplazamientos y deformaciones.

La aportación realizada en esta fase es el desarrollo de utilidades que, a partir del mínimo número de datos necesario, pueden realizar el diseño y cálculo de las estructuras y tener la suficiente versatilidad para poder modificar y recalcular los resultados de una forma rápida y precisa. El modelo geométrico es el esquema que representa las principales características geométricas de la estructura.

II.1.- Descripción de la estructura.

La torre será una estructura autosoportada de forma prismática, sección, cuadrada y de esbeltez considerable, que estará constituida por perfiles de acero, unidos entre sí, formando redes triangulares entre las barras verticales y diagonales.

La altura de la torre es el valor nominal en metros desde la base hasta el último nivel de colocación de antenas, no contándose como altura del mismo los herrajes para colocación de pararrayos o tubos soportes que superen la altura de 40m, La torre estará dividida en 8 tramos de acuerdo a la tabla siguiente.(ver figura II y II.1)

Tabla No. II División de los tramos de la torre

Tramo de Torre.	Altura m.
1	5
2	5.6
3	4.5
4	5.3
5	5
6	5
7	2.5
8	7.5

La sección transversal en la base es de 3.3 m. Esta medida se va reduciendo hasta llegar a una altura de 18m y una sección transversal de 1.8m,

Esta medida permanece constante hasta una altura de 31m, en donde su sección transversal disminuye a 1.4 m y finalmente esta sección transversal permanece constante hasta los 40 metros de altura.

II.- DISEÑO GEOMÉTRICO

La torre se proyectará para servir de soporte a una serie de equipos de telecomunicaciones, principalmente antenas de los tipos Radio Frecuencia (R.F) y Microondas (M.W).

La estructura se diseñará para soportar una capacidad de cargas de antenas, con la siguiente distribución ver (Figura II.1)

- 3 antenas de microondas (parábolas) de 0,6 m de diámetro en cota nominal (40 metros): dos orientadas a 0° y una a 90°
- 9 antenas de Radio Frecuencia (RF) (crosspolares) de 1,6 x 0,3 m, situado a 1 metro de la cota nominal (39 metros).
- 3 antenas de microondas (parábolas) de 0,9 m de diámetro situadas a 10 metros por debajo de la cota nominal (30 metros) dos orientadas a 0° y una a 90°

La torre irá dotada de los siguientes elementos y accesorios:

- escalera de acceso y sistema anticaídas;
- soportes guía de ondas y red de tierras.
- Plataformas de trabajo y descanso (ver figura II.1)

La estructura es una torre de acero tipo autosoportada, con una altura total de 40 metros.

II.2 Estructuración

El tipo de arreglo de los elementos estructurales y la distribución de las masas tienen una influencia decisiva en el comportamiento de la estructura, la sencillez, uniformidad y simetría de la estructura son aspectos básicos que contribuyen a reducir de manera importante los riesgos de un mal comportamiento en la respuesta de la estructura ante las solicitaciones externas.

En la estructura se utilizó un arreglo de barras tipo armadura arregladas de tal manera que forman triángulos cuya alta rigidez hace que las acciones exteriores se resistan exclusivamente por fuerzas axiales, el acero se aprovecha eficientemente en este tipo de estructuración debido a como ya se mencionó todos sus elementos están sujetos a fuerzas axiales de tensión o compresión, esto aunado a su ligereza, hace muy conveniente el empleo de este sistema estructural. (ver figura No. II)

II.3.- Ubicación de la estructura

La construcción se encontrará localizada en la zona costera del pacífico Mexicano, en una zona expuesta, al nivel del mar con una altitud de 5 metros, y con unas condiciones de terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. Y topografía suave, es decir no tiene cambios topográficos importantes.

II.- DISEÑO GEOMÉTRICO

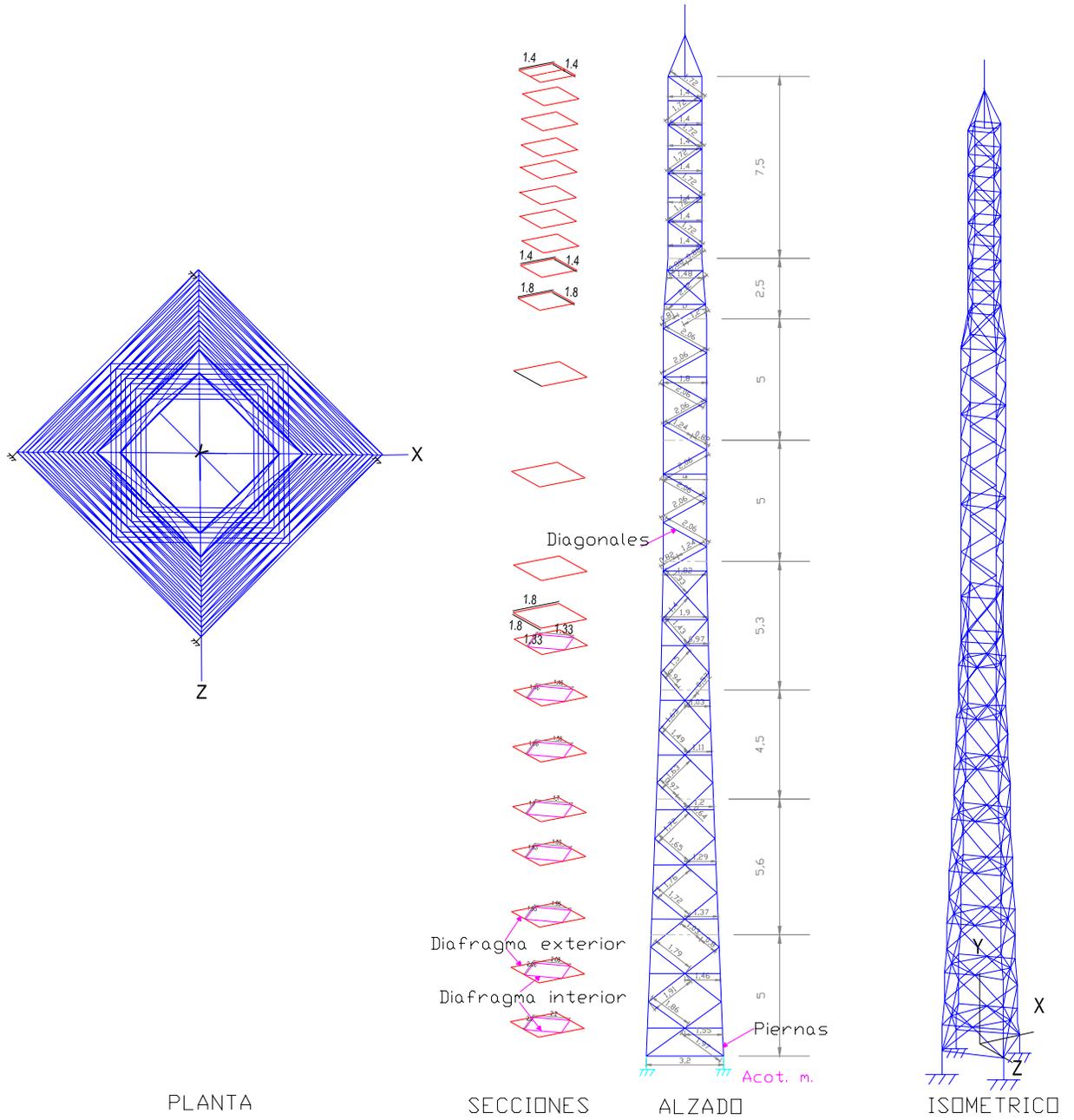


Figura No. II Estructuración de la torre

II.- DISEÑO GEOMÉTRICO

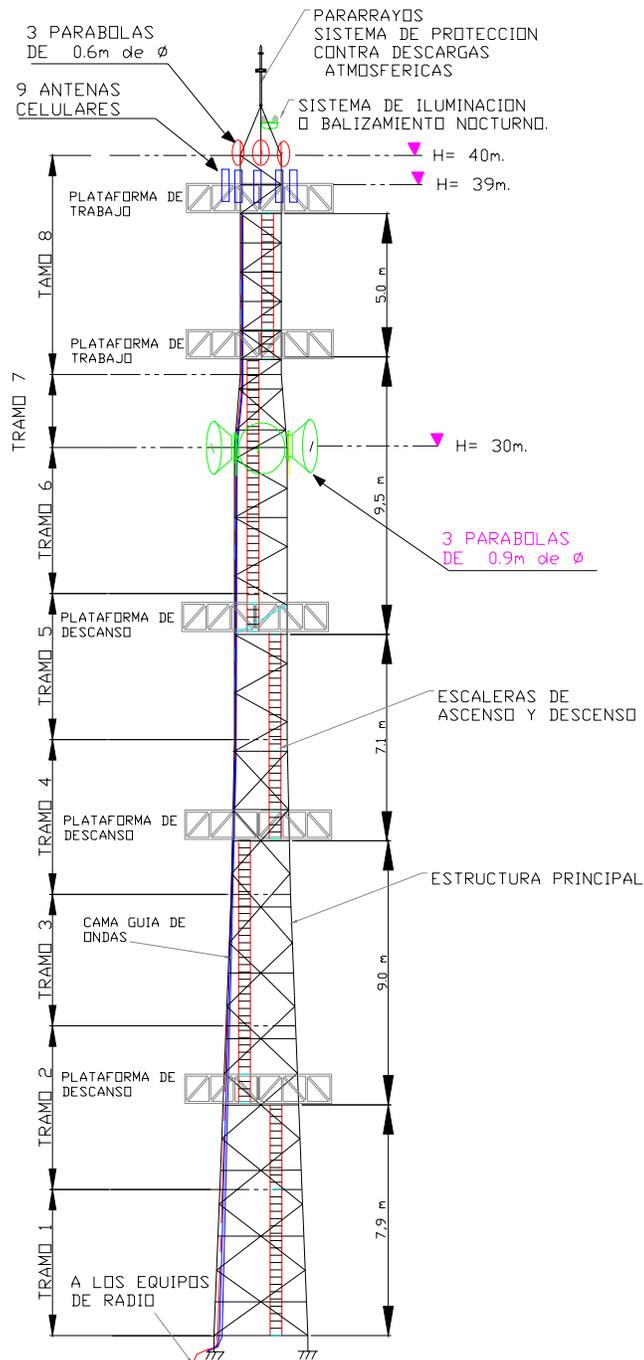


Figura No. II.1 Ubicación de las antenas y accesorios.

III.- SOLICITACIONES

En esta etapa del proyecto, se identifican las acciones que se consideran que van a incidir o que tienen posibilidad de actuar sobre el sistema estructural durante su vida útil. Entre estas acciones se encuentra, por ejemplo, las acciones permanentes como la carga muerta, acciones variables como la carga viva. Acciones accidentales como el viento y el sismo. Cuando se sabe de antemano que en el diseño se tienen que considerar las acciones accidentales es posible seleccionar en base a la experiencia la estructuración más adecuada para absorber dichas acciones. A continuación se describe en que consiste cada una de estas.

III.1.- Carga Muerta.-

Es la carga que esta definida por el peso propio de la estructura, así como el peso de las Antenas celulares, parábolas, cama guía de onda, escalera, plataformas de trabajo y descanso. La carga muerta correspondiente a el peso de las antenas, se tomará directamente de la información proporcionada por el fabricante de acuerdo a sus especificaciones. En este caso se utiliza el boletín No. 38 de Andrew Corporation para las antenas de microondas (parabolicas) y el catalogo Escala para las antenas celulares (Radio Frecuencia RF)

III.1.1.- Peso propio de la estructura

Se determina suponiendo previamente todos los perfiles que forman a la estructura. Esta condición de carga es calculada automáticamente por el programa de diseño estructural que se utilizara en este trabajo, tomando como referencia los perfiles seleccionados para el modelo de la estructura, este peso se calcula en base a la densidad del acero y al volumen de cada elemento estructural.

III.1.2.- Peso de plataformas

El peso de plataformas y carga viva será dividido en el número de nodos donde se colocaran las plataformas. La plataforma tiene un peso de 52 Kg/m². en la torre se instalaran 5 plataformas.

De la figura III.1 se tiene un área de plataforma de 6.64 m², por lo tanto el peso de cada plataforma será de $52 \times 6.64 = 345$ Kg.

III.1.3.- Peso de la escalera y guía de ondas

Para la aplicación de las Cargas de Escalera + Guía de Ondas en el programa de análisis, la carga total será dividida en el número de miembros de la estructura en una cara y será aplicada en cada nodo. Estos tienen un peso de 1200kg.

III.1.4.- Peso de las antenas

Los Pesos de las antenas se obtuvieron como ya se dijo de las especificaciones proporcionadas por el fabricante, ver tabla III

3 antenas de Æ 60cm (50 kg c/u) = 150 kg a 40 m de altura

3 antenas de Æ 90cm (70 kg c/u) = 210 kg a 30 m. de altura

9 antenas de RF (40 kg c/u) = 360 kg a 39 m de altura.

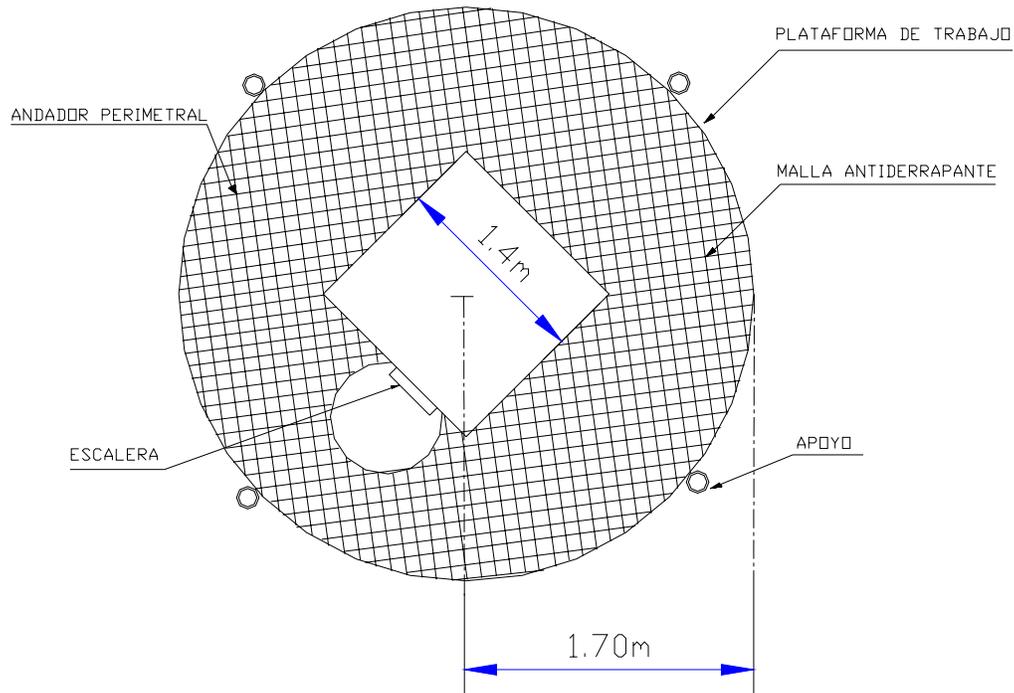
III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III características de antenas

tipo de antena	dimensiones cm	altura m	cantidad	peso unitario kg
microondas	∅ 60	40	3	50
microondas	∅ 90	30	3	70
RF	1.6x0.20	39	9	40

III.2.- Carga Viva.

Se consideran cargas vivas a las fuerzas que se producen por el uso y ocupación variables en magnitud y posición debidas al funcionamiento propio de la estructura, estas cargas se especifican como uniformemente repartidas por unidad de área, Atendiendo a las Normas Técnicas Complementarias Sobre Criterios y Acciones de Diseño Estructural De las Edificaciones del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, la carga viva será de 300 kg/m^2



Planta

Figura No. III.1 Plataforma de trabajo.

III.- SOLICITACIONES

III.3.- Carga por viento.

El procedimiento y criterio a seguir para la realización del diseño por viento será el estipulado en el Manual de Diseño por viento emitido por la Comisión Federal de Electricidad edición 1993. Las cargas de viento se calcularán por medio de un análisis dinámico. En dichas fórmulas de este Manual se calculan las áreas de exposición de los elementos estructurales, las cuales se multiplican generalmente por otros coeficientes.

La fuerza total sobre la estructura debida al flujo del viento se calcula con la siguiente expresión

$$F = P_Z A_Z \text{ -----ec (III.3) en donde:}$$

A_Z es el área de exposición a la acción del viento en m^2 .

P_Z es la presión total en la dirección del viento en kg/m^2

La Presión total en la dirección del viento se calculará con la siguiente expresión.

$$P_Z = q_Z F_g C_a \text{ -----ec (III.3.1) en donde:}$$

F_g es el factor de respuesta dinámica debida a ráfagas adimensional.

q_Z es la presión dinámica de base en la dirección del viento en kg/m^2

C_a es el coeficiente de arrastre, adimensional

El factor de respuesta dinámica debida a ráfagas F_g . Se calcula con la expresión siguiente.

$$F_g = \frac{1}{g^2} \left[1 + g_p (\sigma / \mu) \right] \text{ -----ec(III.3.2) en donde:}$$

g = Es un factor de ráfaga, variable con la altura Z . adimensional.

g_p = Factor pico o de defecto máximo de la carga por viento. Sin unidades

La expresión σ/μ , es la variación de la carga debida a la turbulencia del viento,

La relación σ/μ , se calcula con la siguiente ecuación.

$$\frac{\sigma}{\mu} = \sqrt{\frac{\kappa_r}{C\alpha'} \left[B + \frac{SE}{\zeta} \right]} \text{ -----ec (III.3.3)}$$

III.- SOLICITACIONES

En donde:

k_r = Es un factor relacionado con la rugosidad del terreno

ζ = Es el coeficiente de amortiguamiento critico

B = Es el factor de excitación de fondo.

S = Es el factor de reducción por tamaño.

E = Es el factor de relación de la energía de ráfaga.

Todas las variables que intervienen en esta ecuación son adimensionales.

El factor $C_{\alpha'}$ se define con las expresiones siguientes.

$$C_{\alpha'} = 3.46 F_T^2 \left[\frac{10}{\delta} \right]^{2\alpha'} \quad \text{si } H \leq 10 \text{ -----ec (III.3.4)}$$

$$C_{\alpha'} = 3.46 F_T^2 \left[\frac{H}{\delta} \right]^{2\alpha'} \quad \text{si } 10 < H < \delta \text{ -----ec (III.3.5)}$$

$$C_{\alpha'} = 3.46 F_T^2 \quad \text{si } H \geq \delta \text{ -----ec (III.3.6)}$$

En donde:

F_T = Es el factor de topografía

δ = Altura gradiente

H = Es la altura total de la torre

α' se determina de acuerdo a la categoría del terreno.

Por lo que concierne a los parámetros B , S , E , y g_p , estos se calculan con ayuda de graficas.

El factor de ráfaga variable con la altura Z , se calcula con las siguientes expresiones:

$$g = \kappa \left[\frac{10}{\delta} \right]^{\eta} \quad \text{si } Z \leq 10 \text{ -----ec (III.3.7)}$$

$$g = \kappa \left[\frac{Z}{\delta} \right]^{\eta} \quad \text{si } 10 < Z < \delta \text{ -----ec (III.3.8)}$$

$$g = \kappa \quad \text{si } Z > \delta \text{ -----ec (III.3.9)}$$

III.- SOLICITACIONES

La presión dinámica se determinará con la siguiente ecuación:

$$q_z = 0.0048 G V_D^2 \text{ -----ec.(III.3.10) \quad Donde:}$$

V_D es la velocidad de diseño en km/hr,

El coeficiente 0.0048 corresponde a un medio de la densidad el aire.

G es el factor de corrección por temperatura y por altura con respecto al nivel del mar, adimensional determinado por la expresión:

$$G = \frac{0.392 \Omega}{273 + \tau} = \text{----- ec (III.3.11)}$$

Ω = Es la presión barométrica en mm de Hg. Del sitio de desplante de la torre.

τ = Es la temperatura ambiental en °C. Del sitio de construcción de la torre.

La velocidad de diseño, en km/h, se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$V_D = F_T F_\alpha V_R \text{ -----ec (III.3.12)}$$

En donde:

F_T es el factor de topografía

F_α es el factor de exposición

V_R es la velocidad regional

El factor de exposición se calcula con la siguiente expresión:

$$F_\alpha = F_C F_{rz} \text{ ----- ec (III.3.13)}$$

En donde:

F_C es el factor de tamaño

F_{rz} es el factor de rugosidad y altura

El factor de rugosidad y altura se calcula de acuerdo a las siguientes expresiones.

$$F_{rz} = 1.56 \left(\frac{10}{\delta} \right)^\alpha \quad \text{SI } Z \leq 10 \text{ ----- ec (III.3.14)}$$

$$F_{rz} = 1.56 \left(\frac{Z}{\delta} \right)^\alpha \quad \text{SI } 10 < Z < \delta \text{ -----ec (III.3.15)}$$

$$F_{rz} = 1.56 \quad \text{SI } Z \geq \delta \text{ -----ec (III.3.16)}$$

III.- SOLICITACIONES

En donde:

δ es la altura gradiente.

α es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura (adimensional).

Z corresponde a la altura de la estructura.

A continuación se procederá a calcular cada uno de estos términos y así poder obtener la magnitud de las fuerzas ante viento.

III.3.1.- *Clasificaciones de la estructura*

Afin de establecer disposiciones para el diseño de estructuras contra la acción del viento, se debe simplificar en gran medida el complejo problema de estimar tanto la intensidad de ocurrencia de los vientos como sus efectos.

Para que una construcción cumpla adecuadamente con las funciones para las que haya sido destinada deben establecerse las siguientes clasificaciones.

III.3.2.- *Según su importancia*

Se refiere al grado de importancia necesario para asegurar que una estructura cumpla adecuadamente con las funciones para la que ha sido destinada.

De acuerdo al Manual de Obras Civiles Diseño por Viento de la Comisión Federal de Electricidad, atendiendo al grado de seguridad aconsejable para una estructura, la torre autosoportada en cuestión se clasifica como del **grupo A**, que son las estructuras para las que se recomienda un grado de seguridad elevado, ya que en caso de fallar causarían la pérdida de un numero importante de vidas o perjuicios económicos o culturales excepcionalmente altos.

III.3.3.- *Según su respuesta ante la acción del viento.*

Del citado Manual pero ahora atendiendo a su respuesta ante la acción del viento la torre autosoportada se clasifica del **tipo 2**, estas son estructuras que por su alta relación de aspecto o las dimensiones reducidas de su sección transversal, son especialmente sensibles a las ráfagas de corta duración entre 1 y 5 segundos y cuyos periodos naturales largos favorecen la ocurrencia de oscilaciones en la dirección del viento, y en las que la relación de aspecto $\lambda = H/B$ definida como el cociente entre la altura y la menor dimensión en planta es mayor que 5, en esta expresión $H = 40$ m. $\lambda = 3.2$ m, $40/3.2 = 12.5 > 5$.

III.- SOLICITACIONES

Para diseñar estructuras del tipo 2 como es este caso, se consideraran los efectos dinámicos causados por la turbulencia del viento. Estos se tomaran en cuenta mediante la aplicación del factor de respuesta dinámica debida a ráfagas.

III.3.4.- Según su tamaño

En el análisis estático como dinámico intervienen factores que dependen de las condiciones topográficas y de exposición locales del sitio en donde se desplantara la construcción así como del tamaño de está, a fin de evaluar correctamente dichos factores, el Manual de la CFE presenta clasificaciones de carácter práctico de acuerdo a la tabla. III.3

La estructura es de **clase B**. Debido a que su mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical es mayor de 20 m, pero menor a 50 m. (Ver tabla III.3)

III.3.5.- Categoría del terreno.

De acuerdo con los datos, el terreno se clasifica como **categoría 3** ya que se trata de un terreno cubierto por numerosas obstrucciones. (Ver tabla III.3.1)

Tabla No. III.3 Clases de estructuras según su tamaño

Clase	Descripción
A	Todo elemento de recubrimiento de fachadas, de ventanearías y de techumbres y sus respectivos sujetadores. Todo elemento estructural aislado, expuesto directamente a la acción del viento. Asimismo todas las construcciones cuya mayor dimensión ya sea horizontal o vertical, sea menor que 20 metros
B	Todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, varíe entre 20 y 50 metros
C	Todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, sea mayor que 50 metros

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.3.1 categoría del terreno según su rugosidad

Categoría	Descripción	Ejemplos	Limitaciones
1	Terreno abierto prácticamente plano y sin obstrucciones	Franjas costeras planas, zonas de pantanos, campos Aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas alrededor, Superficies nevadas planas	La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 200 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar la que sea mayor
2	Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones	Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como setos o bardas alrededor, árboles y construcciones dispersas.	Las construcciones tienen alturas de 1.5 a 10 m, en una longitud mínima de 1500 m.
3	Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas	Áreas urbanas, suburbanas y de bosques, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas el tamaño de las construcciones corresponde al de las casas y viviendas	Las obstrucciones presentan alturas de 3 a 5 m la longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m. 0 10 veces la altura de la construcción, la que sea mayor
4	Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas	Centros de grandes ciudades y complejos industriales bien desarrollados.	Por lo menos el 50 % de los edificios tiene una altura mayor de 20 m. Las obstrucciones miden de 10 a 30 m de altura, la longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser mayor entre 400 m y 10 veces la altura de la construcción.

III.3.6.- Determinación del factor de rugosidad y altura

El factor de rugosidad y altura ó factor que establece la variación de la velocidad del viento con la altura Z en metros, en función de la rugosidad del terreno de los alrededores, (adimensional). Dicha variación esta en función de la categoría del terreno y del tamaño de la construcción, se obtiene de acuerdo con las expresiones III.3.14 y III.3.15 En donde:

δ es la altura en metros, medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante, se puede suponer constante, y se le conoce como altura gradiente.

α es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura (adimensional).

Estos coeficientes están en función del tamaño de la construcción tabla III.3 y de la rugosidad del terreno tabla III.3.1

El Manual proporciona la tabla III.3.2 de los valores que se aconsejan para estos coeficientes.

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.3.2 Valores de α y δ

Categoría del terreno	α			δ
	Clase de estructura			m
	A	B	C	
1	0.099	0.101	0.105	245
2	0.128	0.131	0.138	315
3	0.156	0.160	0.171	390
4	0.170	0.177	0.193	455

En donde para la categoría de terreno 3 y clase de estructura B se obtiene $\alpha = 0.160$, y $\delta = 390$, al sustituir estos valores en las ecuaciones III.3.14 y III.3.15 se obtiene:

$$F_{rz} = 1.56 (10/390)^{0.160} = 0.868 \quad \text{si } Z \leq 10 \text{ ----- ec (III.3.17)}$$

$$F_{rz} = 1.56 (Z/390)^{0.160} = 0.601(Z)^{0.160} \quad \text{si } 10 < Z < 390 \text{ --- ec (III.3.18)}$$

Como puede observarse la ecuación III.3.16 no se considera porque queda fuera del rango del problema.

III.3.7.- Determinación del factor de tamaño

Este factor toma en cuenta el tiempo en que la ráfaga del viento actúa de manera efectiva sobre la estructura considerando su clasificación según su tamaño.

Se determina de acuerdo a la tabla III.3.3 contenida en el Manual de la CFE, como la estructura es de clase B le corresponde un factor de tamaño $F_c = 0.95$, sin embargo Debido a las características de las estructuras (torres y monopolos), en el análisis dinámico el Manual recomienda un valor igual a uno (inciso 4.9.2)

Tabla No. III.3.3 Factor de tamaño F_c

Clase de estructura	F_c
A	1
B	0.95
C	0.9

III.3.8.- Factor de exposición

Este factor refleja la variación de la velocidad del viento con respecto a la altura Z , considerando el tamaño de la estructura y las características de exposición.

Al sustituir los valores encontrados ecuaciones III.3.17 y III.3.18 junto con el valor del factor de tamaño en la expresión para el factor de exposición ecuación III.3.13 obtenemos.

III.- SOLICITACIONES

$$F_{\alpha} = (1) (0.868) = 0.868 \text{ si } Z \leq 10 \text{ ----- ec (III.3.19)}$$

$$F_{\alpha} = (1) (0.601) (Z)^{0.160} = 0.601 Z^{0.160} \text{ si } 10 < Z < 390 \text{ ----- ec (III.3.20)}$$

III.3.9.- Determinación de la velocidad regional

La velocidad regional que le corresponde al sitio en donde se construirá la estructura, en km/h. Es la máxima velocidad media probable de presentarse en un cierto periodo de recurrencia en una zona o región determinada del país.

En el citado Manual se incluyen los mapas de isotacas con diferentes periodos de retorno, dicha velocidad se refiere a condiciones homogéneas que corresponden a una altura de 10 metros sobre la superficie del suelo en terreno plano categoría 2 según tabla III.3.1, es decir no considera las características de rugosidad locales del terreno ni la topografía específica del sitio, la velocidad se asocia con ráfagas de 3 segundos y toma en cuenta la posibilidad de que se presenten vientos debidos a huracanes en las zonas costeras, en las figuras I.2 , I.3 Y I.4, del Manual se muestran los mapas de isotacas correspondientes a periodos de recurrencia de 200, 50 y 10 años respectivamente. La importancia de las estructuras dictamina los periodos de recurrencia que deberán considerarse para el diseño por viento, los grupos A, B Y C se asocian con los periodos de retorno arriba mencionados. Correspondiendo a las estructuras del grupo A un periodo de recurrencia de 200 años. El sitio donde se construya la torre se localizara en el mapa con el periodo de recurrencia que corresponde al grupo al que pertenece la estructura. Sin embargo en el tomo III de las ayudas de diseño se presenta una tabla con las principales ciudades del país y sus correspondientes velocidades regionales, para diferentes periodos de retorno.

Tomando en consideración la localización geográfica del sitio de desplante de la estructura y de acuerdo a la tabla III.1 (a) (contenida en el Manual) se obtiene una velocidad regional. $V_R = 146 \text{ km/hr}$

III.3.10.- Determinación del factor de topografía

Este es un factor que toma en cuenta el efecto topográfico local del sitio en donde se desplantará la estructura y si la construcción se localiza en lugares de altura importante con respecto al nivel general del terreno de los alrededores, es probable que se generen aceleraciones del flujo de viento, por lo que la velocidad regional se incrementará. La tabla III.3.4 muestra los valores que se recomiendan con base en la experiencia para este factor. De acuerdo a las características topográficas del sitio.

De acuerdo al lugar donde se ubicara la torre corresponde un factor de topografía de $F_T = 1$.

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.3.4 Factor de topografía local, F_T

Sitios	Topografía	F_T
Protegidos	Base de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento.	0.8
	Valles cerrados.	0.9
Normales	Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5%.	1
Expuestos	Terrenos inclinados entre el 5 y 10 %, valles abiertos y litorales planos.	1.1
	Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores de 10%, cañadas cerradas y valles que formen un embudo o cañon, islas.	1.2

III.3.11.- Velocidad de diseño.

Una vez realizado lo anterior procedemos a determinar la velocidad de diseño V_D que es la velocidad a partir de la cual se calculan los efectos del viento sobre la estructura o sobre un componente de la misma.

Al sustituir los valores de las ecuaciones III.3.19 , III.3.20, así como el valor del factor de topografía y el de la velocidad regional en la expresión para la velocidad de diseño ecuación III.3.12 se obtiene.

$$V_D = (1)(0.868)(146) = 126.72 \text{ km/hr si } Z \leq 10 \text{-----ec (III.3.21)}$$

$$V_D = (1)(0.601Z^{0.160})(146) = 87.746 Z^{0.160} \text{ km/hr si } 10 < Z < 390 \text{-----ec(III.3.22)}$$

III.3.12.- Factor de corrección por temperatura y altura.

El factor de corrección por temperatura y por altura con respecto al nivel del mar, adimensional se determina de la manera siguiente.

La presión barométrica en mm de Hg, se obtiene a partir de la tabla III.3.5 al sitio de desplante de la torre le corresponde una altitud de 6 msnm (ver tabla III.1 (b) contenida en el Manual CFE), por lo que de la tabla III.3.5 por interpolación lineal se obtiene una presión barométrica de $\Omega = 759.5$ Hg.

De la misma tabla III.1 (b) se obtiene la temperatura ambiental en °C. Al sitio de construcción de la torre le corresponde una temperatura ambiental de $\tau = 26$ °C.

III.- SOLICITACIONES

**Tabla No. III.3.5 Relación entre la altitud
 Y la presión barométrica**

Altitud (msnm)	Presión barométrica (mm de Hg)
0	760
500	720
1000	675
1500	635
2000	600
2500	565
3000	530
3500	495

NOTA: Puede interpolarse para valores intermedios de la altitud

A l sustituir para G en la ecuación III.3.11 se obtiene:

$$G = 0.392(759.5)/(273+26) = 0.996 \text{ -----ec (III.3.23)}$$

III.3.13- Presión dinámica de base en la dirección del viento

Es la presión que ejerce el flujo del viento sobre una superficie perpendicular a el, es decir cuando el viento actúa sobre un obstáculo, genera presiones sobre su superficie que varían según la intensidad de su velocidad y su dirección.

Si sustituimos los valores de la velocidad de diseño ecuaciones III.3.21 y III.3.22 junto con el valor del factor por corrección de temperatura y altura G ecuación III.3.23 en la expresión para la presión dinámica base ecuación III.3.10 obtenemos:

$$q_z = 0.0048(0.996)(126.728)^2 = 76.780 \text{ kg/m}^2 \text{ si } Z \leq 10 \text{ -----ec (III.3.24)}$$

$$q_z = 0.0048 (0.996) (87.746 Z^{0.160})^2 = 363.809Z^{0.320} \text{ kg/m}^2 \text{ si } 10 < Z < 390 \text{ ---ec (III.3.25)}$$

Si se recuerda que en la torres es instalaran 15 antenas, 3 a 40 m, 9 a 39 m, y 3 a los 30 m. Entonces se puede determinar la velocidad de diseño y la presión dinámica base a esas alturas, junto con los ocho tramos de la torre, como se muestra en la siguiente tabla:

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.3.6 Velocidad de diseño y presión dinámica base en los 8 tramos de la torre

Tramo	Z (m)	G	F_{rz}	F_{α}	V_D (km/h)	q_z (kg/m ²)
1	2.50	0.996	0.868	0.868	126.7	76.781
2	7.80	0.996	0.868	0.868	126.7	76.781
3	12.85	0.996	0.904	0.904	131.9	83.196
4	17.75	0.996	0.952	0.952	138.9	92.257
5	22.90	0.996	0.991	0.991	144.7	100.093
6	27.90	0.996	1.023	1.023	149.3	106.622
7	31.65	0.996	1.044	1.044	152.4	111.013
8	36.65	0.996	1.069	1.069	156.0	116.348
	40.00	0.996	1.084	1.084	158.2	119.650
Alturas de ubicación de las antenas						
1	40.00	0.996	1.084	1.084	158.21	119.650
2	39.00	0.996	1.079	1.079	157.57	118.685
3	30.00	0.996	1.035	1.035	151.09	109.127

III.3.14.- Factor de ráfaga variable con la altura Z

Este factor representa la relación entre la velocidad máxima promediada sobre un lapso de tiempo t_1 , y otra promediada sobre un lapso mayor t_2 .

En donde las variables k' y η , adimensionales, dependen de la rugosidad del sitio de desplante, y δ es la altura gradiente en metros ya calculada anteriormente. Las variables anteriores se definen según la siguiente tabla.

Tabla No.III.3.7 Factores k' , η , δ

Categoría	1	2	3	4
k'	1.224	1.288	1.369	1.457
η	-0.032	-0.054	-0.096	-0.151
δ	245	315	390	455

Como la categoría del terreno es 3, entonces los factores son:

$$k' = 1.369$$

$$\eta = -0.096$$

$$\delta = 390$$

Si sustituimos estos valores en las ecuaciones III.3.7 y III.3.8 para el factor de ráfaga se Obtiene lo siguiente.

III.- SOLICITACIONES

$$g = 1.369 \left[\frac{10}{390} \right]^{-0.096} = 1.946 \quad \text{Si } Z \leq 10 \text{ -----ec(III.3.26)}$$

$$g = 1.369 \left[\frac{Z}{390} \right]^{-0.096} = 2.427 Z^{-0.096} \quad \text{si } 10 < Z < 390 \text{ ----- ec (III.3.27)}$$

Como puede observarse la ecuación III.3.9 no es aplicable por estar fuera de rango.

III.3.15.- Factor de excitación de fondo

El factor de excitación de fondo B, expresa la influencia que tienen sobre la respuesta estructural los componentes de baja frecuencia que se tienen en el viento. Se obtiene con ayuda de la figura III.3, en donde primeramente se tienen que determinar la siguiente expresión.

$$\frac{b}{H} \text{ ----- ec (III.3.28)}$$

La cual representa la relación entre el ancho b y la altura H de la estructura en m, corresponden al lado del barlovento de la estructura, si sustituimos el ancho y la altura de la torre en esta ecuación se obtiene.

$$b/H = 3.2/40 = 0.08 \text{ -----ec (III.3.29)}$$

con este valor entramos a la figura III.3 en la grafica correspondiente y se obtiene: B = 1.29

III.3.16.- Factor de reducción por tamaño

Es un factor que toma en cuenta la distribución espacial de la turbulencia. Para determinar el factor de reducción por tamaño S se tienen que evaluar las siguientes expresiones.

$$\frac{3.6 n_0 H}{V'_H} \text{ -----ec (III.3.30)}$$

Esta expresión representa la frecuencia reducida adimensional, en donde n_0 es la frecuencia natural de vibración de la estructura en Hz y V'_H es la velocidad media de diseño del viento en km/hr. Dicha velocidad se calcula con la altura mas elevada de la estructura, en m, y se determina a partir de la ecuación siguiente.

$$V'_H = \frac{1}{g_H} V_H \text{ -----ec (III.3.31)}$$

En donde:

g_H adimensional y V_H en km/hr son el factor de ráfaga y la velocidad de diseño ya obtenidos anteriormente y se calcularan para $Z = H = 40$ m

III.- SOLICITACIONES

De la tabla III.3.6 para una altura $Z= 40$ se tiene una velocidad de diseño $V_D = 158.21$ km/hr.

Para el factor de ráfaga, de la ecuación III.3.27 para una altura $Z= 40$ m se obtiene:

$$g_H = 2.427(40)^{-0.096} = 1.703 \text{ -----ec (III.3.32)}$$

Al sustituir estos valores en la ecuación III.3.31 se tiene que la velocidad media de diseño es:

$$V'_H = \frac{1}{g_H} V_H = \frac{1}{1.703} \times 158.328 = 92.97 \text{ Km/ hr.-----ec (III.3.33)}$$

Para calcular la frecuencia natural de vibración n_o , se requiere, inicialmente suponer perfiles de la estructuración para cada tramo de la estructura. Con el objeto de tener una mejor conceptualización del diseño estructural se deben definir los criterios que nos ayuden a la mejor selección de los perfiles que serán utilizados durante el diseño, lo que implica conocer con exactitud las condiciones de trabajo de cada uno de los elementos estructurales y las cargas que les ocasionaran el mayor esfuerzo. Por ejemplo los miembros estructurales como las piernas y celosía se someten a diferentes esfuerzos como la tensión y la compresión, la flexión y el cortante en las placas de conexión, sobre esta base se proponen los siguientes perfiles indicados en la tabla III.3.8 para la primera solución estructural.

Para la frecuencia natural de vibración se considera la masa de la estructura, antenas parabólicas, antenas celulares así como la masa de las plataformas de trabajo y de descanso, todas estas masas actuando en la dirección X. (Ver capítulo de análisis estructural)

Obteniéndose una frecuencia natural de vibración $n_o = 1.73237$ hz Por lo tanto para la frecuencia reducida se tiene de la expresión III.3.30 lo siguiente:

$$\frac{3.6n_o H}{V'_H} = \frac{3.6 \times 1.73237 \times 40}{92.97} = 2.683 \text{ ----- ec (III.3.34)}$$

Al entrar a la figura III.3 con el valor de la frecuencia reducida y el valor de la ecuación III.3.29, se obtiene un valor del factor de reducción por tamaño $S = 0.041$

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.3.8 Secciones de los elementos estructurales

TRAMO	ELEMENTO	SECCIÓN
		mm x mm
1	Piernas	LI 152x22
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	LI76x8
	mont horz ext	LI76x8
2	Piernas	LI 152x22
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	LI64x8
	mont horz ext	LI76x8
3	Piernas	LI 152x22
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	LI64x6
	mont horz ext	LI76x8
4	Piernas	LI 152x19
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	LI64x6
	mont horz ext	LI76x8
5	Piernas	LI 152x16
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	
	mont horz ext	LI76x8
6	Piernas	LI 152x14
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	
	mont horz ext	LI76x8
7	Piernas	LI 102x10
	mont diag	LI64x6
	mont horz int	
	mont horz ext	LI76x8
8	Piernas	LI 76x8
	mont diag	LI64x6
	mont horz int	
	mont horz ext	LI64x6

III.3.17.- Factor de Relación de energía de ráfaga.

Este factor representa la relación de la energía de ráfaga con la frecuencia natural de la estructura.

Para obtener este factor es necesario evaluar la siguiente expresión

III.- SOLICITACIONES

$$\frac{3.6n_o}{V'_H} \text{-----ec (III.3.35)}$$

Al sustituir los valores obtenidos de n_o y V'_H en esta ecuación se obtiene.

$$\frac{3.6n_o}{V'_H} = \frac{3.6 \times 1.73237}{92.97} = 0.067 \text{----- ec (III.3.36)}$$

y con este valor de la figura III.3 se obtiene un factor de relación de energía de ráfaga $E = 0.053$

III.3.18.- Coeficiente de amortiguamiento critico.

El amortiguamiento representa la disipación de energía que la estructura realiza principalmente debido a la fricción interna de los materiales y al rozamiento entre los componentes de la estructura, en vibración libre se define como amortiguamiento critico aquel para el cual el sistema, después de desplazado volvería a su posición de reposo sin oscilar. El coeficiente de amortiguamiento critico, para estructuras formadas por marcos de acero es igual a $\zeta = 0.01$

III.3.19.- Factor relacionado con la rugosidad del terreno

Es un factor de rugosidad que depende de las características de exposición

El Manual proporciona la siguiente tabla para obtener este factor.

Tabla No. III.3.9 Factor relacionado con la rugosidad del terreno.

Categoría del terreno	Factor relacionado con la rugosidad del terreno
1	0.06
2	0.08
3	0.10
4	0.14

De esta tabla se obtiene el factor relacionado con la rugosidad del terreno, para terrenos con categoría 3 es $k_r = 0.10$

III.3.20.- Factor correctivo por altura C_a

Este factor depende de las condiciones de exposición de la estructura en estudio.

El factor de topografía se determinó de acuerdo a la tabla III.3.4 este valor es $F_T = 1.0$

La altura gradiente se estableció conforme a la tabla III.3.2 y correspondió un $\delta = 390$

La altura total de la torre es igual a 40 m,

III.- SOLICITACIONES

y α' se determina de acuerdo a la categoría del terreno. Ver la siguiente tabla

Tabla No. III.3.10 valores de α' según categoría de terreno

α'	categoría de terreno
0.13	1
0.18	2
0.245	3
0.31	4

De acuerdo con esta tabla se tiene que $\alpha' = 0.245$, ya que la categoría del terreno es 3, por lo tanto de la ecuación III.3.5 se tiene lo siguiente.

$$C_{\alpha'} = (3.46) (1^2) (40/390)^{2 \times 0.245} = 1.134 \text{ ----- ec (III.3.37)}$$

III.3.21.- Variación de la carga debida a la turbulencia del viento,

Es una medida de la amplitud de las fluctuaciones de la variable.

Al sustituir los valores obtenidos del factor de excitación de fondo B, factor de reducción por tamaño S, Factor de Relación de energía de ráfaga E, el coeficiente de amortiguamiento crítico ζ , el factor relacionado con la rugosidad del terreno y el factor $C_{\alpha'}$, en la ecuación para la variación de la carga debida a la turbulencia del viento III.3.3 se obtiene lo siguiente.

$$\frac{\sigma}{\mu} = \sqrt{\frac{0.10}{1.134} \left(1.29 + \frac{0.041 \times 0.053}{0.01} \right)} = 0.365 \quad \text{Si } 10 < H < 390 \text{ ----- ec (III.3.38)}$$

III.3.22.- Factor pico o de defecto máximo de la carga por viento.

Este factor permite establecer el numero de desviaciones estándar por las que el valor pico excede su valor medio μ .

El factor pico g_p se obtiene en función del coeficiente de rapidez de fluctuación promedio v el cual se define mediante la siguiente expresión

$$v = n_o \sqrt{\frac{SE}{SE + \zeta B}} \quad \text{Hz.----- ec (III.3.39)}$$

Los términos que aparecen en esta formula ya se han establecido con anterioridad, al sustituirlos se obtiene lo siguiente.

$$v = 1.73237 \sqrt{\frac{0.041 \times 0.053}{0.041 \times 0.053 + 0.01 \times 1.29}} = 0.6578 \text{ -----ec (III.3.40)}$$

III.- SOLICITACIONES

Si entramos con este valor a la figura III.3, obtenemos un factor pico o de efecto máximo de la carga por viento $g_p = 4.08$.

III.3.23.- Factor de respuesta dinámica debida a ráfagas F_g

En el diseño de construcciones pertenecientes al tipo 2 como es el caso de la torre, se toman en cuenta los efectos dinámicos debidos a la turbulencia en la dirección del viento, En la mayoría de las construcciones comunes el factor de respuesta dinámica debida a ráfagas F_g puede ignorarse, no es así para las estructuras clasificadas como del tipo 2 (ver III.3.3.- clasificación de la estructura según su respuesta ante la acción del viento). El procedimiento propuesto para el cálculo de este factor se basa en la teoría de vibraciones aleatorias aplicada al problema del viento, este factor se determina con criterios probabilísticos para que represente la media más cierto numero de veces la desviación estándar de la respuesta, la ecuación esta en función de una serie de variables definidas a su vez con expresiones relativamente complejas por lo que para su cálculo como ya se vio se usaron ayudas de diseño.

Al sustituir los valores de las ecuaciones III.3.26, III.3.27 , III.3.38 y el valor de g_p , en la ecuación III.3.2 se tiene para el factor de ráfaga lo siguiente:

$$F_g = \frac{1}{(1.946)^2} [1 + 4.08 \times 0.365] = 0.658 \quad \text{si } H \leq 10 \text{-----ec (III.3.41)}$$

$$F_g = \frac{1}{(2.427Z^{-0.096})^2} [1 + 4.08 \times 0.365] = 0.4226Z^{0.192} \quad \text{Si } 10 < Z < 390 \text{----- ec (III.3.42)}$$

En la siguiente tabla se presentan los resultados de los valores del factor de ráfaga para los tramos y antenas de la estructura.

Tabla No. III.3.11 Factor de Ráfaga

FACTOR DE RAFAGA		
TRAMO	Z (m)	Fg
1	2.50	0.658
2	7.80	0.658
3	12.85	0.690
4	17.75	0.734
5	22.90	0.771
6	27.90	0.801
7	31.65	0.821
8	36.65	0.844
Fg para las alturas de ubicación de las antenas		
1	39.00	0.854
2	40.00	0.858
3	30.00	0.812

III.- SOLICITACIONES

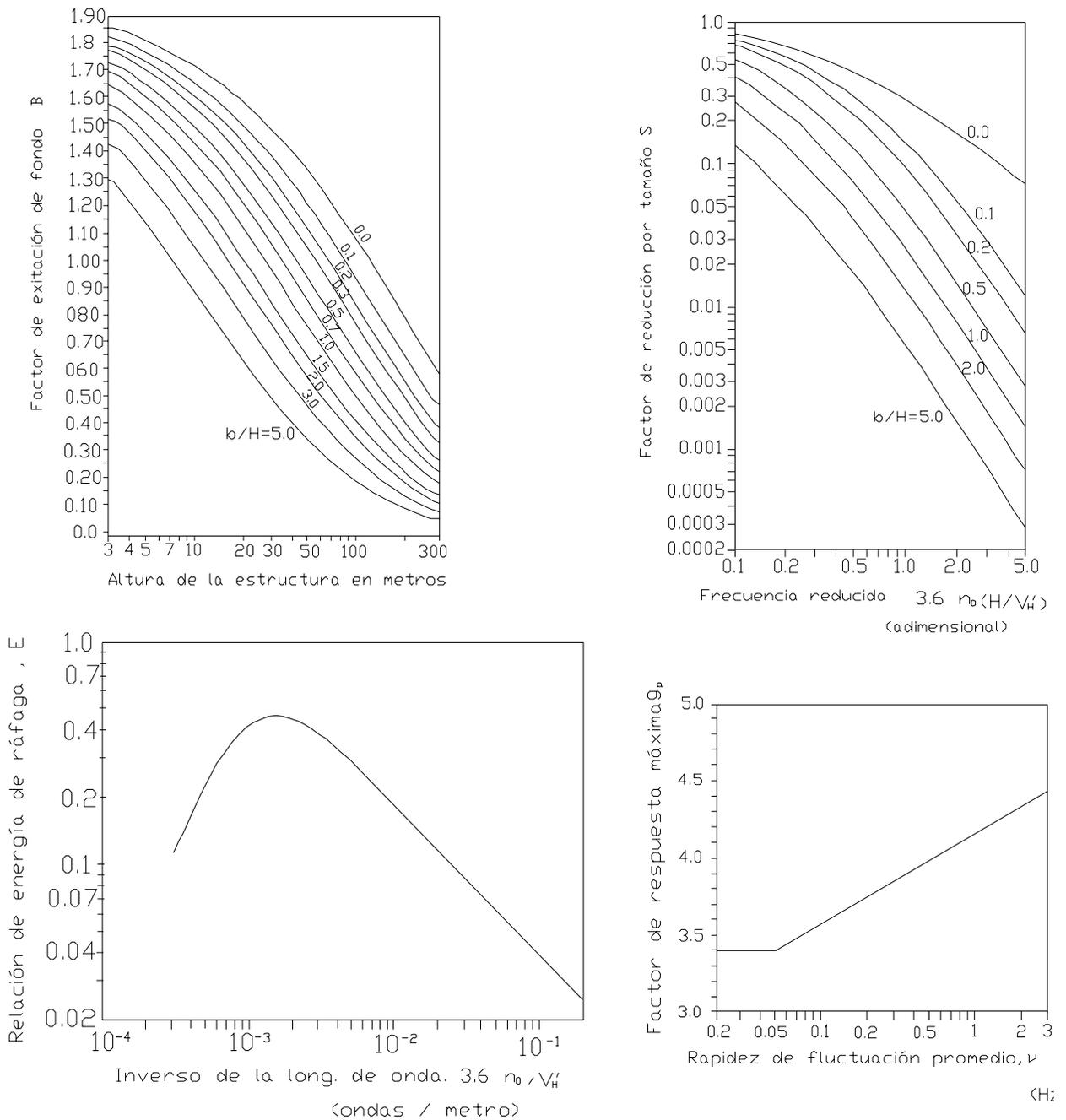


Figura No. 111.3 Parámetros para calcular el factor de respuesta dinámica

III.- SOLICITACIONES

III.3.24.- Determinación del coeficiente de arrastre adimensional C_a

Este coeficiente depende de la forma de la estructura al aplicarlo se obtiene la presión total en la dirección del flujo del viento en la estructura, y se determina con las siguientes ecuaciones, validas solo para torres de sección cuadrada con miembros de lados planos.

$$C_a = 4.2 - 7\phi \quad \text{si } 0 < \phi < 0.2 \quad \text{----- ec (III.3.43)}$$

$$C_a = 3.5 - 3.5\phi \quad \text{si } 0.2 \leq \phi < 0.5 \quad \text{----- ec (III.3.44)}$$

Para torres de sección cuadrada con miembros de sección transversal circular se tiene la tabla siguiente.

Tabla No. III.3.12 Coeficiente de arrastre C_a para torres de celosía de sección transversal cuadrada con miembros de sección transversal circular.

Solidez de la cara	Coeficiente de arrastre (C_a)			
	Partes de la torre dentro del flujo subcritico		Partes de la torre dentro del flujo supercrítico	
	bV _D < 3 m ² /s		bV _D ≥ 6 m ² /s	
frontal	Viento sobre una cara	viento sobre una esquina	Viento sobre una cara	viento sobre una esquina
(ϕ)				
0.05	2.4	2.5	1.4	1.2
0.1	2.2	2.3	1.4	1.3
0.2	1.9	2.1	1.4	1.6
0.3	1.7	1.9	1.4	1.6
0.4	1.6	1.9	1.4	1.6
≥ 0.5	1.4	1.9	1.4	1.6

En donde b es el diámetro promedio de los elementos de sección circular en metros, V_D es la velocidad de diseño del viento convertida a m/s. Y para valores intermedios del producto b V_D se permite la interpolación lineal.

ϕ Es el coeficiente de solidez, el cual se define como el cociente entre la proyección sobre el plano normal al flujo del viento, de la suma de las áreas expuestas de todos los miembros estructurales que sean visibles perpendicularmente al plano de la cara de barlovento, y el área de la envolvente de dicha proyección, este coeficiente también toma en cuenta la obstrucción creada por las contracciones del flujo a través de los huecos.

Auxiliándonos de la figura III.3.1 se tiene:

III.- SOLICITACIONES

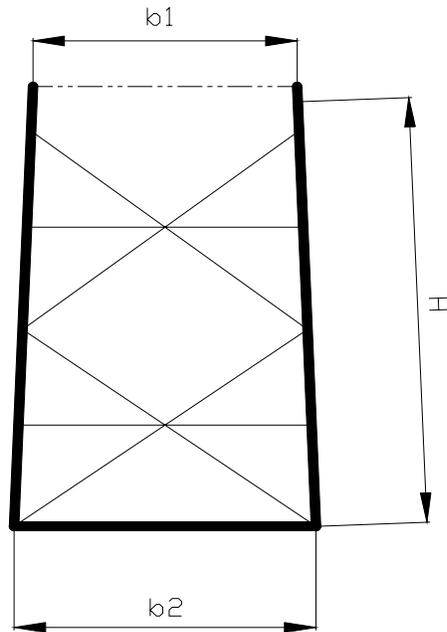


Figura No. III.3.1 Relación de solidez

$$\phi = \frac{2Ae}{(b1+b2)H} \text{ ----- ec (III.3.45)}$$

En donde Ae es el área expuesta y $(b1+b2)H/2$ es el área total.

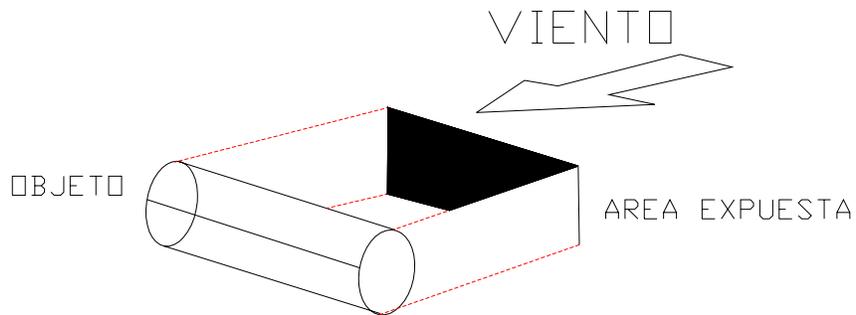


Figura No. III.3.2 Área expuesta de un perfil estructural

III.- SOLICITACIONES

Para determinar este coeficiente se realiza la siguiente metodología.

- a) Se determinará solo una relación de solidez ϕ para cada tramo de la torre en estudio, considerando como área expuesta, la sumatoria de las áreas correspondientes a piernas, diagonales, montantes, cables, escalera, y en general, todo lo que represente un área de exposición sobre la cara de barlovento (cara expuesta directamente al flujo del viento)
- b) Las áreas serán calculadas para cada tramo definido por los montantes, separando el área total en área de miembros de sección transversal circular, y área de miembros de lados planos.
- c) Se calculará un coeficiente de arrastre C_a total que se utilizará en toda la sección considerada. Este coeficiente de arrastre se calculará con la siguiente ecuación:

$$C_a \text{ tramo} = (A_{\text{circular}} \times C_{a \text{ circular}} + A_{\text{planos}} \times C_{a \text{ planos}}) / A_{\text{totalexpuesta}} \text{ -----ec (III.3.46)}$$

Donde A_{planos} y A_{circular} incluyen la suma de todas las áreas de elementos planos y circulares consideradas en la torre: diagonales, celosía, montantes, etc.

Al aplicar esta ecuación se obtienen los coeficientes de arrastre que se utilizaran en los tramos de la torre.

Para el modelo 1 y 2 de la primera y segunda solución estructural con perfiles en las piernas de ángulo y PTR, conocido como OR en el manual del IMCA, se realiza el mismo procedimiento. Dado que estos perfiles son elementos de lados planos. Las fuerzas de viento se mantienen sin cambio. Se proponen los siguientes perfiles para el modelo 2. y modelo 3 sobre la base de lo expuesto en III.3.16 donde se seleccionaron los perfiles angulares para el modelo 1

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.3.13 Secciones de los elementos estructurales modelo 2

TRAMO	ELEMENTO	SECCION
		mm x mm
1	Piernas	OR152x7.9
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	LI76x8
	mont horz ext	LI76x8
2	Piernas	OR152x7.9
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	LI64x6
	mont horz ext	LI76x8
3	Piernas	OR152x7.9
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	LI64x6
	mont horz ext	LI76x8
4	Piernas	OR152x7.9
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	LI64x6
	mont horz ext	LI76x8
5	Piernas	OR152x7.9
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	
	mont horz ext	LI76x8
6	Piernas	OR152x7.9
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	
	mont horz ext	LI76x8
7	Piernas	OR102x7.9
	mont diag	LI64x6
	mont horz int	
	mont horz ext	LI76x8
8	Piernas	OR76x7.9
	mont diag	LI64x6
	mont horz int	
	mont horz ext	LI64x6

Para el modelo 3 de la tercera solución estructural a base de perfiles tubulares en las piernas, conocido en el manual del IMCA como OC se proponen los siguientes perfiles estructurales.

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.3.14 Secciones de los elementos estructurales modelo 3

TRAMO	ELEMENTO	SECCION
		mm x mm
1	Piernas	OC114X8.56
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	LI76x8
	mont horz ext	LI76x8
2	Piernas	OC114X8.56
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	LI64x6
	mont horz ext	LI76x8
3	Piernas	OC114X8.56
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	LI64x6
	mont horz ext	LI76x8
4	Piernas	OC114X8.56
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	LI64x6
	mont horz ext	LI76x8
5	Piernas	OC114X8.56
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	
	mont horz ext	LI76x8
6	Piernas	OC114X8.56
	mont diag	LI76x8
	mont horz int	
	mont horz ext	LI76x8
7	Piernas	OC89X7.62
	mont diag	LI64x6
	mont horz int	
	mont horz ext	LI76x8
8	Piernas	OC73X5.16
	mont diag	LI64x6
	mont horz int	
	mont horz ext	LI64x6

Al tener ya definidas las secciones de los perfiles estructurales para los tres modelos, se continua con la obtención del área expuesta, la relación de solidez y el coeficiente de arrastre, la presión total y finalmente con todos estos datos la fuerza total que el flujo del viento ejerce sobre la estructura.

III.- SOLICITACIONES

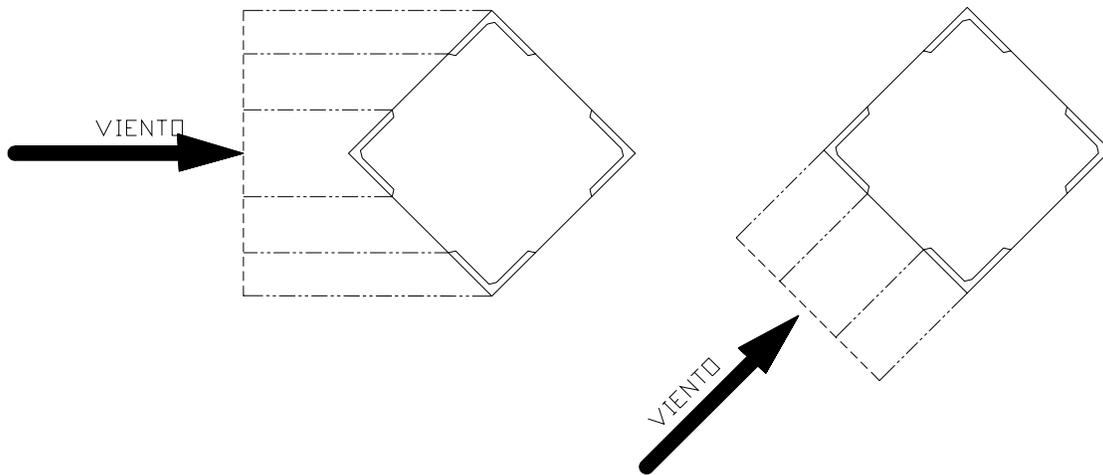


Figura No. III.3.3 Acción del flujo del viento sobre una cara y sobre una esquina.

III.3.25.- Cálculo de áreas expuestas

El Manual de la CFE recomienda que las estructuras se analizaran suponiendo que el viento puede actuar por lo menos en dos direcciones horizontales perpendiculares e independientes entre sí, dado que la sección de la torre es cuadrada las dos direcciones ortogonales resultan iguales para el cálculo de las áreas expuestas, por lo que se calcularán las áreas expuestas para el viento que actúa sobre una esquina 45° y sobre una cara 90° (ver figura III.3.3), y se elegirá aquella que represente las condiciones más desfavorables para la estabilidad de la estructura o parte de la misma en estudio.

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.3.15 Área expuesta a la acción del viento sobre una esquina modelo 1 y 2

TRAMO	ALTURA DEL TRAMO	DE LONGITUD DE PIERNAS	DE LONG. MONT DIAGONAL	DE LONG. MONT HORIZONTAL INTERIOR	DE LONGITUD MONT HORIZONTAL EXTERIOR	PERFIL PIERNAS	PERFIL MONT DIAGONAL	PERFIL MONT HORIZONTAL INTERIOR	PERFIL MONT HORIZONTAL EXTERIOR	AREA DE PIERNAS	AREA MONT DIAGONAL	AREA DE MONT HORIZONTAL INT.	AREA DE MONT HORIZONTAL EXT.	AREA TOTAL
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
1	5.00	20.00	27.86	4.28	6.02	0.11	0.08	0.08	0.08	2.15	2.12	0.33	0.46	5.05
2	5.60	22.40	28.81	5.48	10.91	0.11	0.08	0.06	0.08	2.41	2.19	0.35	0.83	5.78
3	4.50	18.00	21.84	3.04	6.05	0.11	0.08	0.06	0.08	1.93	1.66	0.19	0.46	4.25
4	5.30	21.20	26.06	1.33	7.99	0.11	0.08	0.06	0.08	2.28	1.98	0.09	0.61	4.95
5	5.00	20.00	8.15	0.00	2.56	0.11	0.08	0.00	0.08	2.15	0.62	0.00	0.19	2.96
6	5.00	20.00	8.15	0.00	2.56	0.11	0.08	0.00	0.08	2.15	0.62	0.00	0.19	2.96
7	2.50	10.00	13.72	0.00	4.48	0.07	0.06	0.00	0.08	0.72	0.88	0.00	0.34	1.94
8	7.50	30.00	42.00	0.00	15.62	0.05	0.06	0.00	0.06	1.61	2.69	0.00	1.00	5.30

Tabla No. III.3.16 Área expuesta a la acción del viento sobre una cara modelo 1 y 2

TRAMO	ALTURA DEL TRAMO	DE LONGITUD DE PIERNAS	DE LONGITUD DE CELOSIA	DE LONGITUD DIAFRAGMA INTERIOR	DE LONGITUD DIAFRAGMA EXTERIOR	PERFIL PIERNAS	PERFIL CELOSIA	DE PERFIL DIAFRAGMA INTERIOR	DE PERFIL DIAFRAGMA EXTERIOR	AREA DE PIERNAS	AREA DE CELOSIA	DE AREA DIAFRAGMA INTERIOR	DE AREA DIAFRAGMA EXTERIOR	AREA TOTAL
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
1	5.00	10.00	16.66	6.20	6.02	0.152	0.076	0.076	0.076	1.52	1.27	0.47	0.46	3.72
2	5.60	11.20	17.04	7.70	7.70	0.152	0.076	0.076	0.076	1.70	1.30	0.59	0.59	4.17
3	4.50	9.00	12.58	4.28	4.28	0.152	0.076	0.076	0.076	1.37	0.96	0.33	0.33	2.98
4	5.30	10.60	14.08	1.94	5.66	0.152	0.076	0.076	0.076	1.61	1.07	0.15	0.43	3.26
5	5.00	10.00	10.30	0.00	1.80	0.152	0.076	0.000	0.076	1.52	0.78	0.00	0.14	2.44
6	5.00	10.00	10.29	0.00	1.80	0.152	0.076	0.000	0.076	1.52	0.78	0.00	0.14	2.44
7	2.50	5.00	6.32	0.00	3.18	0.102	0.064	0.000	0.064	0.51	0.40	0.00	0.20	1.11
8	7.50	15.00	12.92	0.00	11.20	0.076	0.064	0.000	0.064	1.14	0.82	0.00	0.71	2.67

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.3.17 Área expuesta a la acción del viento sobre una esuina miembros de sección circular y planos modelo 3

AREA EXPUESTA A LA ACCION DEL VIENTO SOBRE UNA ESQUINA														
TRAMO	ALTURA DEL TRAMO	LONGITUD DE PIERNAS	LONG. MONT DIAGONAL	LONG. MONT HORIZONTAL INTERIOR	LONGITUD MONT HORIZONTAL EXTERIOR	PERFIL PIERNAS TUBULAR	PERFIL MONT DIAGONAL	PERFIL MONT HORIZONTAL INTERIOR	PERFIL MONT HORIZONTAL EXTERIOR	AREA DE PIERNAS	AREA MONT DIAGONAL	AREA DE MONT HORIZONTAL INT.	AREA MONT HORIZONTAL EXT.	AREA TOTAL
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
1	5.00	15.00	27.86	4.28	6.02	0.114	0.076	0.076	0.076	1.71	2.12	0.33	0.46	4.61
2	5.60	16.80	28.81	5.48	10.91	0.114	0.076	0.064	0.076	1.92	2.19	0.35	0.83	5.28
3	4.50	13.50	21.84	3.04	6.05	0.114	0.076	0.064	0.076	1.54	1.66	0.19	0.46	3.85
4	5.30	15.90	26.06	1.33	7.99	0.114	0.076	0.064	0.076	1.81	1.98	0.09	0.61	4.49
5	5.00	15.00	8.15	0.00	2.56	0.114	0.076	0.000	0.076	1.71	0.62	0.00	0.19	2.52
6	5.00	15.00	8.15	0.00	2.56	0.114	0.076	0.000	0.076	1.71	0.62	0.00	0.19	2.52
7	2.50	7.50	13.72	0.00	4.48	0.089	0.064	0.000	0.076	0.67	0.88	0.00	0.34	1.89
8	7.50	22.50	42.00	0.00	15.62	0.073	0.064	0.000	0.064	1.64	2.69	0.00	1.00	5.33

Tabla No. III.3.18 Área expuesta a la acción del viento sobre una cara miembros de sección circular y planos modelo 3

AREA EXPUESTA A LA ACCION DEL VIENTO SOBRE UNA CARA														
TRAMO	ALTURA DEL TRAMO	LONGITUD DE PIERNAS	LONG. MONT DIAGONAL	LONG. MONT HORIZONTAL INTERIOR	LONGITUD MONT HORIZONTAL EXTERIOR	PERFIL PIERNAS TUBULAR	PERFIL MONT DIAGONAL	PERFIL MONT HORIZONTAL INTERIOR	PERFIL MONT HORIZONTAL EXTERIOR	AREA DE PIERNAS	AREA MONT DIAGONAL	AREA DE MONT HORIZONTAL INT.	AREA MONT HORIZONTAL EXT.	AREA TOTAL
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
1	5.00	10.00	16.66	6.20	6.02	0.114	0.076	0.076	0.076	1.14	1.27	0.47	0.46	3.34
2	5.60	11.20	17.04	7.70	7.70	0.114	0.076	0.076	0.076	1.28	1.30	0.59	0.59	3.74
3	4.50	9.00	12.58	4.28	4.28	0.114	0.076	0.076	0.076	1.03	0.96	0.33	0.33	2.63
4	5.30	10.60	14.08	1.94	5.66	0.114	0.076	0.076	0.076	1.21	1.07	0.15	0.43	2.86
5	5.00	10.00	10.30	0.00	1.80	0.114	0.076	0.000	0.076	1.14	0.78	0.00	0.14	2.06
6	5.00	10.00	10.29	0.00	1.80	0.114	0.076	0.000	0.076	1.14	0.78	0.00	0.14	2.06
7	2.50	5.00	6.32	0.00	3.18	0.089	0.064	0.000	0.064	0.45	0.40	0.00	0.20	1.05
8	7.50	15.00	12.92	0.00	11.20	0.073	0.064	0.000	0.064	1.10	0.82	0.00	0.71	2.63

Como puede observarse en las tablas anteriores la condición mas desfavorable se presenta, cuando el viento actúa en una esquina, debido a que la torre es de sección cuadrada, la fuerza de viento máxima actúa a 45° de la torre, por lo que las fuerzas de viento se incrementan en esa dirección.

Al aplicar las ecuaciones III.3.43, III.3.44, III.3.45 y los valores de las áreas de la tabla III.3.17 se obtiene el coeficiente de arrastre para los tramos de la torre, cabe hacer la aclaración de que este coeficiente de arrastre se calcula suponiendo que el viento actúa sobre una cara, pero atendiendo al Manual de la CFE el cual especifica que, para torres de celosía de sección transversal cuadrada con elementos de lados planos, el coeficiente de arrastre para el viento que actúa sobre una esquina deberá tomarse como 1.2 veces el coeficiente de arrastre correspondiente al viento que actúa sobre una cara. Estos resultados

III.- SOLICITACIONES

se presentan en la siguiente tabla.

Tabla No. III.3.19 Coeficiente de arrastre C_a para los tramos de la estructura modelo 1 y 2

tramo	altura m	área expuesta (m ²)	área sólida (m ²)	relación de solidez ϕ	coeficiente de arrastre sobre una cara C_a	coeficiente de arrastre sobre una esquina C_a
1	5.00	3.72	15.01	0.25	2.63	3.16
2	5.60	4.17	14.48	0.29	2.49	2.99
3	4.50	2.98	9.88	0.30	2.45	2.93
4	5.30	3.26	10.12	0.32	2.37	2.85
5	5.00	2.44	9.00	0.27	2.55	3.06
6	5.00	2.44	9.00	0.27	2.55	3.06
7	2.50	1.11	4.00	0.28	2.52	3.03
8	7.50	2.67	10.50	0.25	2.61	3.13

Para el modelo 3 se obtiene la relación de solidez y se asigna un coeficiente de arrastre para cada tipo de sección: plana o circular. Se deberá utilizar la tabla III.3.12 y las ecuaciones III.3.43 y III.3.44 atendiendo las notas correspondientes a las mismas, se obtiene la siguiente tabla.

Tabla No. III.3.20 Coeficientes de arrastre para miembros de sección circular y planos modelo 3

TRAMO	ALTURA DEL TRAMO	ANCHO DEL TRAMO INFERIOR	ANCHO DEL TRAMO SUPERIOR	AREA TOTAL	AREA EXPUESTA	RELACION DE SOLIDEZ	bV_D	COEFICIENTE DE ARRASTRE TUBO	COEFICIENTE DE ARRASTRE	COEFICIENTE DE ARRASTRE ANGULO
	m	m	m	m ²	m ²	ϕ	m ² /s	ver tabla III.3.12	sobre una cara	sobre una esquina
1	5.00	3.200	2.803	15.01	3.34	0.222	4.01	1.9	2.72	3.27
2	5.60	2.803	2.370	14.48	3.74	0.258	4.01	1.85	2.60	3.11
3	4.50	2.370	2.020	9.88	2.63	0.267	4.18	1.82	2.57	3.08
4	5.30	2.020	1.800	10.12	2.86	0.282	4.40	1.78	2.51	3.01
5	5.00	1.800	1.800	9.00	2.06	0.229	4.58	1.81	2.70	3.24
6	5.00	1.800	1.800	9.00	2.06	0.229	4.73	1.79	2.70	3.24
7	2.50	1.800	1.400	4.00	1.05	0.262	3.77	1.88	2.58	3.10
8	7.50	1.400	1.400	10.50	2.63	0.250	3.16	1.98	2.62	3.15

finalmente al aplicar la ecuación III.3.46 se obtiene el coeficiente de arrastre para cada tramo.

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.3.21 Coeficientes de arrastre para los tramos de la torre modelo 3

tramo	COEFICIENTE DE ARRASTRE SOBRE UNA CARA	COEFICIENTE DE ARRASTRE SOBRE UNA ESQUINA
	C_a	C_a
1	2.44	2.80
2	2.34	2.68
3	2.28	2.59
4	2.20	2.49
5	2.21	2.45
6	2.20	2.44
7	2.28	2.58
8	2.36	2.66

Para determinar las áreas expuestas en los accesorios se considera una escalera de un ancho de 40 cm., formada a base de ángulos LI 51 X 6 kg/m (perfil longitudinal) y redondos de 3/4", la cama guía de ondas se ubica dentro de la torre por lo que se van a sujetar perfiles LI 51 X5 a cada 1.5 metros en dirección perpendicular a la longitud de la escalera se tiene un ancho de 1.24 metros incluyendo la escalera, se considera el siguiente numero de cables para el área expuesta al viento: 13 cables de 7/8" lo cual nos da un área expuesta de 30 cm²

Por lo que para la escalera se considerara un área de 0.102 m²/m y para la cama guía de ondas de 0.30 m²/m...

Cabe hacer la aclaración de que la escalera y guía de ondas involucran miembros de sección circular por lo que nos auxiliaremos de la tabla No. III.3.12 y de la ecuación III.3.45 de la relación de solidez, tomando el viento sobre una esquina y sobre una cara se obtienen los coeficientes de arrastre para la escalera y guiaondas, estos resultados se presentan en las siguientes tablas.

Tabla No. III.3.22 Coeficientes de arrastre C_a para la escalera.

tramo	área expuesta	relación de solidez	área sólida	bVD	Sobre una cara	sobre una esquina
	m ²	ϕ	m ²	m ² /s	C_a	C_a
1	0.50	0.03	15.01	5.35	1.62	1.48
2	0.56	0.04	14.48	5.35	1.62	1.48
3	0.45	0.05	9.88	5.57	1.54	1.39
4	0.53	0.05	10.12	5.87	1.45	1.26
5	0.50	0.06	9.00	6.11	1.40	1.21
6	0.50	0.06	9.00	6.31	1.40	1.21
7	0.25	0.06	4.00	6.43	1.40	1.23
8	0.75	0.07	10.50	6.59	1.40	1.24

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.3.23 Coeficientes de arrastre C_a para guiaondas.

tramo	área expuesta	relación de solidez	área sólida	bVD	sobre una cara	sobre una esquina
	m ²	\emptyset	m ²	m ² /s	C_a	C_a
1	1.50	0.10	15.01	10.56	1.40	1.30
2	1.68	0.12	14.48	10.56	1.40	1.35
3	1.35	0.14	9.88	10.99	1.40	1.41
4	1.59	0.16	10.12	11.58	1.40	1.47
5	1.50	0.17	9.00	12.06	1.40	1.50
6	1.50	0.17	9.00	12.45	1.40	1.50
7	0.75	0.19	4.00	12.70	1.40	1.56
8	2.25	0.21	10.50	13.00	1.40	1.60

III.3.26.- Presión total en la dirección del viento

Una vez terminado lo anterior se procede a calcular la presión total en la dirección del viento haciendo uso de la ecuación No. III.3.1, y auxiliándonos de los cálculos ya realizados de la presión dinámica base (tabla III.3.6), el factor de ráfaga (tabla III.3.11) y los coeficiente de arrastre (tablas III.3.19, III.3.21, III.3.22 y III.3.23) se obtienen los siguientes resultados para la estructura, escalera y guiaondas.

Tabla No. III.3.24 Presión total sobre la estructura modelo 1 y 2

Tramo	Presión dinámica base	Factor de respuesta	Coeficiente de arrastre sobre una cara	Coeficiente de arrastre sobre una esquina	Presion total sobre una cara	Presion total sobre una esquina
	q_z	dinámica	C_a	C_a	P_z	P_z
	(kg/m ²)	F g			(kg/m ²)	(kg/m ²)
1	76.78	0.658	2.63	3.16	133.00	159.60
2	76.78	0.658	2.49	2.99	125.89	151.07
3	83.20	0.690	2.45	2.93	140.44	168.53
4	92.26	0.734	2.37	2.85	160.79	192.95
5	100.09	0.771	2.55	3.06	196.94	236.33
6	106.62	0.801	2.55	3.06	217.92	261.51
7	111.01	0.821	2.52	3.03	230.00	276.00
8	116.35	0.844	2.61	3.13	256.28	307.53

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.3.25 Presión total en la estructura modelo 3

Tramo	Presión dinámica base	Factor de respuesta dinámica	Ceficiente de arrastre sobre una cara	Coficiente de arrastre sobre una esquina	Presión total sobre una cara	Presión total sobre una esquina
	qz	Fg				
	kg/m ²		C _a	C _a	kg/m ²	kg/m ²
1	76.78	0.658	2.44	2.80	123.2446	141.34
2	76.78	0.658	2.34	2.68	118.20	135.47
3	83.20	0.690	2.28	2.59	130.64	148.63
4	92.26	0.734	2.20	2.49	149.18	168.81
5	100.09	0.771	2.21	2.45	170.30	188.90
6	106.62	0.801	2.20	2.44	187.47	208.04
7	111.01	0.821	2.28	2.58	208.27	235.39
8	116.35	0.844	2.36	2.66	231.27	261.32

Tabla No. III.3.26 Presión total en la dirección del viento en escalera

Tramo	Presión dinámica base	Factor de respuesta	Coficiente de arrastre sobre una cara	Coficiente de arrastre sobre una esquina	Presion total sobre una cara	Presion total sobre una esquina
	q z	dinámica	sobre una cara	sobre una esquina	P _z	P _z
	(kg/m ²)	F g	C _a	C _a	(kg/m ²)	(kg/m ²)
1	76.78	0.658	1.62	1.48	81.82	74.75
2	76.78	0.658	1.62	1.48	81.82	74.75
3	83.20	0.690	1.54	1.39	88.44	79.82
4	92.26	0.734	1.45	1.26	98.24	85.37
5	100.09	0.771	1.40	1.21	108.07	93.41
6	106.62	0.801	1.40	1.21	119.57	103.34
7	111.01	0.821	1.40	1.23	127.55	112.06
8	116.35	0.844	1.40	1.24	137.49	121.78

Tabla No. III.3.27 Presión total en la dirección del viento en guiaondas

Tramo	Presión dinámica base	Factor de respuesta	Coficiente de arrastre sobre una cara	Coficiente de arrastre sobre una esquina	Presion total sobre una cara	Presion total sobre una esquina
	q z	dinámica	sobre una cara	sobre una esquina	P _z	P _z
	(kg/m ²)	F g	C _a	C _a	(kg/m ²)	(kg/m ²)
1	76.78	0.658	1.40	1.30	70.71	65.66
2	76.78	0.658	1.40	1.35	70.71	68.18
3	83.20	0.690	1.40	1.41	80.40	80.97
4	92.26	0.734	1.40	1.47	94.86	99.60
5	100.09	0.771	1.40	1.50	108.07	115.79
6	106.62	0.801	1.40	1.50	119.57	128.11
7	111.01	0.821	1.40	1.56	127.55	142.12
8	116.35	0.844	1.40	1.60	137.49	157.14

III.- SOLICITACIONES

III.3.27.- Fuerza total sobre la estructura

La fuerza sobre la estructura debida al flujo del viento, resultara de sumar la contribución de cada una de las fuerzas que actúa sobre el área expuesta o parte de ella a una altura Z.

Al hacer uso de la ecuación No. III.3 y de los resultados de la presión total en la dirección del viento tablas III.3.24 a III.3.27, así como de la tablas de áreas expuestas III.3.15 a III.3.18 se obtiene la fuerza total sobre la estructura. Estos resultados se presentan en las siguientes tablas.

Tabla No. III.3.28 Fuerza total sobre la estructura sobre una cara modelo 1 y 2

Tramo	P _z	P _z	P _z	A _e	A _e Escalera	A _e	F _z	F _z	F _z	Fz total
	Estructura	Escalera	guiaondas	Estructura		Guiaondas	Estructura	Escalera	guiaondas	
	(kg/m ²)	(kg/m ²)	(kg/m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(kg)	(kg)	(kg)	(t)
1	133.0	81.82	70.71	3.72	0.50	1.50	494.3	40.9	106.1	0.641
2	125.9	81.82	70.71	4.17	0.56	1.68	524.9	45.8	118.8	0.69
3	140.4	88.44	80.40	2.98	0.45	1.35	417.9	39.8	108.5	0.57
4	160.8	98.24	94.86	3.26	0.53	1.59	524.1	52.1	150.8	0.73
5	196.9	108.07	108.07	2.44	0.50	1.50	480.5	54.0	162.1	0.70
6	217.9	119.57	119.57	2.44	0.50	1.50	531.5	59.8	179.4	0.77
7	230.0	127.55	127.55	1.11	0.25	0.75	256.4	31.9	95.7	0.38
8	256.3	137.49	137.49	2.67	0.75	2.25	684.7	103.1	309.4	1.10

Tabla No. III.3.29 Fuerza total sobre la estructura sobre una esquina modelo 1 y 2

Tramo	P _z	P _z	P _z	A _e	A _e Escalera	A _e	F _z	F _z	F _z	Fz total
	Estructura	Escalera	guiaondas	Estructura		Guiaondas	Estructura	Escalera	guiaondas	
	(kg/m ²)	(kg/m ²)	(kg/m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(kg)	(kg)	(kg)	(t)
1	159.6	74.75	65.66	5.05	0.50	1.50	806.0	37.4	98.5	0.942
2	151.1	74.75	68.18	5.78	0.56	1.68	872.7	41.9	114.5	1.03
3	168.5	79.82	80.97	4.25	0.45	1.35	716.1	35.9	109.3	0.86
4	192.9	85.37	99.60	4.95	0.53	1.59	955.4	45.2	158.4	1.16
5	236.3	93.41	115.79	2.96	0.50	1.50	700.4	46.7	173.7	0.92
6	261.5	103.34	128.11	2.96	0.50	1.50	775.0	51.7	192.2	1.02
7	276.0	112.06	142.12	1.94	0.25	0.75	535.4	28.0	106.6	0.67
8	307.5	121.78	157.14	5.30	0.75	2.25	1629.9	91.3	353.6	2.07

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.3.30 Fuerza total en la estructura sobre una cara modelo 3

Tramo	PZ	Pz	Pz	Ae	Ae	Ae	Fz	Fz	Fz	Fz total
	Estructura	Escalera	guiaondas	Estructura	Escalera	Guiaondas	Estructura	Escalera	guiaondas	
	(kg/m2)	(kg/m2)	(kg/m2)	(m2)	(m2)	(m2)	(kg)	(kg)	(kg)	(t)
1	123.24	81.82	70.71	3.34	0.50	1.50	411.16	40.91	106.06	0.56
2	118.20	81.82	70.71	3.74	0.56	1.68	442.51	45.82	118.79	0.61
3	130.64	88.44	80.40	2.63	0.45	1.35	344.05	39.80	108.54	0.49
4	149.18	98.24	94.86	2.86	0.53	1.59	426.12	52.07	150.82	0.63
5	170.30	108.07	108.07	2.06	0.50	1.50	350.75	54.04	162.11	0.57
6	187.47	119.57	119.57	2.06	0.50	1.50	385.97	59.79	179.36	0.63
7	208.27	127.55	127.55	1.05	0.25	0.75	218.65	31.89	95.66	0.35
8	231.27	137.49	137.49	2.63	0.75	2.25	607.47	103.12	309.36	1.02

Tabla III.3.31 Fuerza total en la estructura sobre una esquina modelo 3

Tramo	Pz	Pz	Pz	A _e Estructura	A _e	A _e	Fz	Fz	Fz	Fz total
	Estructura	Escalera	guiaondas		Escalera	Guiaondas	Estructura	Escalera	guiaondas	
	(kg/m ²)	(kg/m ²)	(kg/m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(kg)	(kg)	(kg)	(t)
1	141.34	74.75	65.66	4.61	0.50	1.50	651.59	37.38	98.49	0.79
2	135.47	74.75	68.18	5.28	0.56	1.68	715.92	41.86	114.55	0.87
3	148.63	79.82	80.97	3.85	0.45	1.35	572.76	35.92	109.31	0.72
4	168.81	85.37	99.60	4.49	0.53	1.59	757.21	45.25	158.36	0.96
5	188.90	93.41	115.79	2.52	0.50	1.50	476.77	46.70	173.69	0.70
6	208.04	103.34	128.11	2.52	0.50	1.50	525.09	51.67	192.17	0.77
7	235.39	112.06	142.12	1.89	0.25	0.75	443.95	28.01	106.59	0.58
8	261.32	121.78	157.14	5.33	0.75	2.25	1,392.9	91.34	353.56	1.84

III.3.28.- Antenas parabólicas.

Debido a que no existe una normatización en nuestro país para asignar coeficientes de arrastre para este tipo de equipo, las fuerzas de viento se calcularán directamente a partir de las medidas experimentales tomadas por los fabricantes del equipo. La información técnica correspondiente. (Catálogos SCALA, DECIBEL y EMS para antenas celulares y Catálogo 38 de Andrew Corporation en el caso de parábolas). En donde se señala que los datos indicados en estos, están basados en investigaciones realizadas en túneles de viento y se pueden aplicar a cualquier tamaño de antena y a cualquier velocidad del viento.

III.- SOLICITACIONES

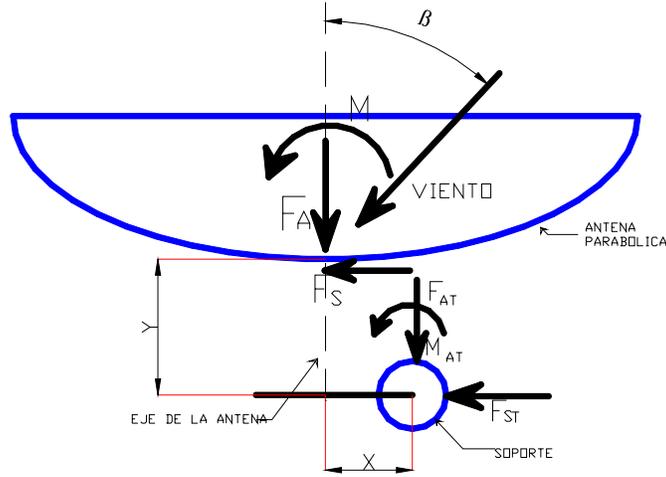


Figura No-III.3.4 Acción del viento sobre antenas parabólicas

En este documento se indica como la fuerza del viento puede ser descompuesta en dos fuerzas componentes y un momento como se muestra en la figura No.III.3.4

En esta figura la fuerza axial F_A actúa a lo largo del eje de la antena, la fuerza lateral F_S actúa perpendicular al eje de la antena con su línea de acción pasando a través del vértice de la parábola y el momento M es un par que actúa en el plano horizontal (plano del viento) al vértice del reflector.

El momento total M_{AT} actúa en el punto soporte donde se apoya la antena, la magnitud de F_A , F_S y M dependen de la proyección del área de la antena y de las características aerodinámicas de la misma, estas características varían con el ángulo del viento. Es conveniente expresar la variación de F_A , F_S y M en términos de los siguientes coeficientes.

$$C_A = \frac{F_A}{A V_D^2} \text{-----ec. (III.3.47)}$$

$$C_S = \frac{F_S}{A V_D^2} \text{-----ec. (III.3.48)}$$

$$C_M = \frac{M}{D A V_D^2} \text{-----ec. (III.3.49)}$$

Donde C_A , C_S y C_m son los coeficientes del elemento mecánico respectivo. A el área frontal de la antena y V_D la velocidad de diseño a la altura de ubicación de las antenas.

III.- SOLICITACIONES

Los coeficientes C_A , C_S y C_M dependen del ángulo de acción del viento y pueden ser determinados a partir de la tabla III.3.32 contenida en el boletín Andrew antes mencionado.

Tabla No. III.3.32 Coeficientes de carga para las antenas estándar

Angulo del viento β	C_A	C_S	C_M
0°	0.07341	0	0
45°	0.07710	0.002311	-0.00290
90°	-0.00056	0.01627	0.00621
135°	-0.02468	0.02163	0.00658
180°	-0.04992	0	0

(Tabla obtenida del programa antwind de andrew corporation)

Ahora bien refiriéndonos a la figura No.III.3.4, el momento total y las fuerzas actuantes en el punto de soporte de la antena pueden determinarse por las siguientes expresiones.

$$F_{AT} = F_A \text{-----ec (III.3.50)}$$

$$F_{ST} = F_S \text{-----ec. (III.3.51)}$$

$$M_{AT} = M + F_A(X) + F_S(Y) \text{-----ec. (III.3.52)}$$

Donde X es la excentricidad del eje de la antena al montaje del tubo. Y la distancia sobre el eje reflector desde el vértice del reflector al centro del montaje del tubo.

Si se recuerda que en la torre se instalaran 6 antenas parabólicas 3 de 0.6 m de diámetro (2 ft) a los 40 m de altura y 3 de 0.9 m de diámetro (3 ft) a los 30 m de altura.

Para los dos tipos de parábolas se tiene, $X= 0.292\text{m}$; $Y= 0.108\text{m}$, estos valores pueden variar de acuerdo al diseño del tipo de soportes.

Al utilizar los datos obtenidos de la velocidad de diseño de la tabla No. III.3.6, en donde se calculo que a los 40 m la velocidad de diseño es 158.21 Km/hr (98.31 mph) y a los 30 metros es de 151.09 Km/hr (93.9mph). Y que para nuestro análisis se consideraran dos antenas de frente a la acción del viento 0° y una a 45° entonces se tiene lo siguiente.

III.- SOLICITACIONES

De la tabla III.3.32 para un ángulo de 0° $C_A = 0.07341$, $C_S = 0$ y $C_M = 0$.
Y para un ángulo de 45° $C_A = 0.07710$, $C_S = 0.002311$ y $C_M = -0.00290$
Al despejar F_A , F_S y M de las ecuaciones III.3.47, III.3.48 y III.3.49 y al sustituir los valores de C_A , C_S , C_M , A y V_D se obtiene la siguiente tabla de resultados.

Tabla No. III.3.33 Fuerzas en las antenas 0.6 m de diámetro

Antenas	Vel. Diseño	area	C_A	C_S	C_M	F_A	F_S	M	F_A	F_S	M
	Km/h	m ²				N	N	N-m	kg	kg	kg-m
2 MW 0,6m (2 a 0°)	158.21	0.2919	0.0734	0	0	536	0	0	54.68	0.00	0.00
1 MW 0,6m (a 45°)	158.21	0.2919	0.0771	0.0023	-0.0029	563	16.8852	-12.726	57.42	1.72	-1.30

Tabla No. III.3.34 Fuerzas en las antenas 0.9 m de diámetro

Antenas	Vel. Diseño	area	C_A	C_S	C_M	F_A	F_S	M	F_A	F_S	M
	Km/h	m ²				N	N	N-m	kg	kg	kg-m
2 MW 0,9m (2 a 0°)	151.09	0.639	0.0734	0	0	1071	0	0	109.13	0	0
1 MW 0,9m (a 45°)	151.09	0.639	0.0771	0.0023	-0.0029	1124.4	33.70	-38.10	114.615	3.435	-3.884

III.3.29.- Descomposición de fuerzas de viento sobre las antenas, en las direcciones de análisis

Estas fuerzas obtenidas son las producidas por la acción del viento sobre las parábolas, sin embargo es necesario descomponerlas en las direcciones de análisis X y Z, auxiliándonos de la figura No.III.3.5 se tiene lo siguiente para las antenas de 0.6 m de diámetro.

En la dirección +X

$$54.68 \times 2 + 57.42 \cos 45^{\circ} + 1.72 \cos 45^{\circ} = 151.18 \text{ Kg.}$$

En la dirección -Z

$$57.42 \cos 45^{\circ} - 1.72 \cos 45^{\circ} = 39.38 \text{ Kg.}$$

Y de la ecuación 4.8 se tiene.

$$M1 = 54.68 \times 0.292 \times 2 = 31.92 \text{ kg-m}$$

$$M2 = -1.30 + 57.42 \times 0.292 + 1.72 \times 0.108 = 15.65 \text{ kg-m}$$

III.- SOLICITACIONES

$$M_{TOTAL} = M1 + M2 = 31.92 + 15.65 = 47.57 \text{ kg-m}$$

Análogamente para las antenas de 0.9 m de diámetro se tiene lo siguiente.

En la dirección +X

$$109.13 \times 2 + 114.615 \text{ Cos } 45^\circ + 3.435 \text{ Cos } 45^\circ = 301.7 \text{ kg.}$$

En la dirección -Z

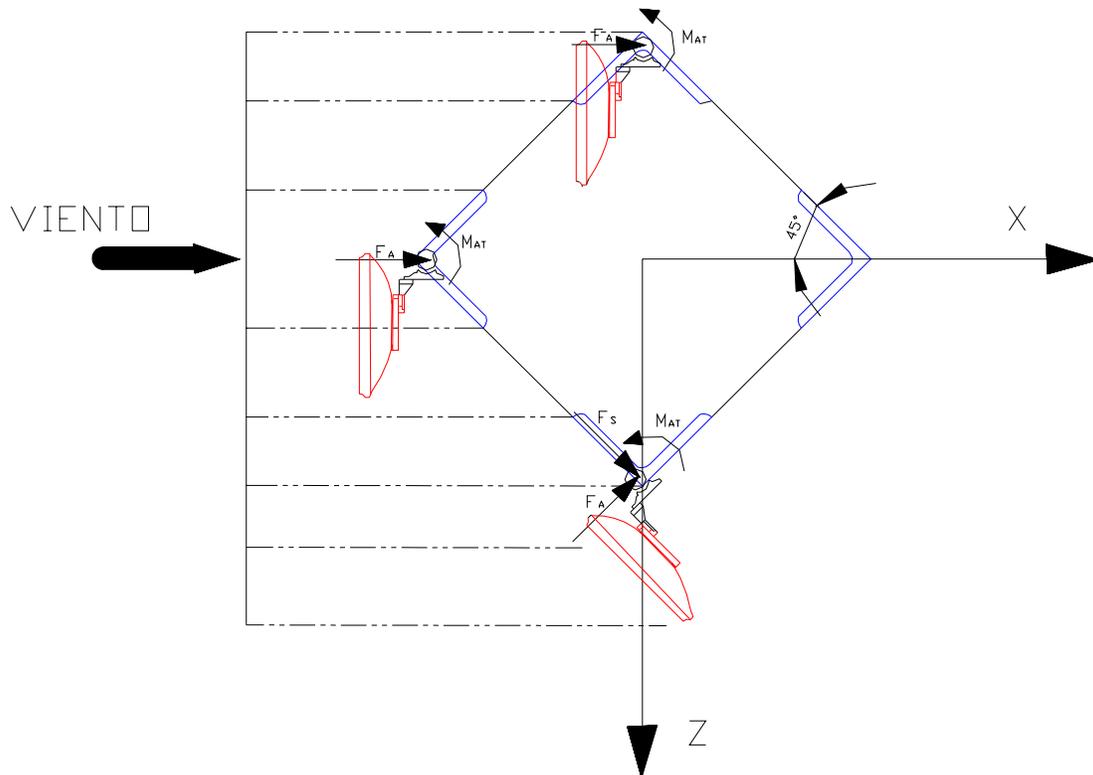
$$114.615 \text{ Cos } 45^\circ - 3.435 \text{ Cos } 45^\circ = 78.616 \text{ kg}$$

Y de la ecuación 4.8 se tiene.

$$M3 = 109.13 \times 0.292 \times 2 = 63.73 \text{ kg-m}$$

$$M4 = -3.884 + 114.615 \times 0.292 + 3.435 \times 0.108 = 29.95 \text{ kg-m}$$

$$M_{TOTAL} = M3 + M4 = 63.73 + 29.95 = 93.68 \text{ kg-m}$$



Planta.

Figura No.III.3.5 Descomposición de fuerzas en las direcciones de análisis.

III.- SOLICITACIONES

III.3.30.- Antenas celulares.

Se considerarán 9 antenas celulares, Para el cálculo de las fuerzas de viento pero atendiendo a las Normas Telcel en su documento “Normas y criterios para el análisis y diseño de torres”. Sólo se considerarán las correspondientes a un frente de la torre es decir, 5 antenas en exposición directa a la acción del viento. Las áreas de exposición se calcularán con las dimensiones reales proporcionadas por el fabricante.

Al hacer uso de las ecuaciones III.3 y III.3.1 de la fuerza total y presión total en la dirección del viento y auxiliándonos de las tablas III.3.6, III.3.11 de la presión dinámica base, factor de ráfaga respectivamente se tiene lo siguiente.

Tabla No. III.3.35 Fuerzas en las antenas celulares

ANTENAS	PIEZAS	ALTURA M	AREA M ²	q _z (kg/m ²)	C _A	F _g	P _z kg/m ²	F _z Total kg
RF'S	9	39.00	0.32	118.685	1.20	0.854	121.66	194.7

III.- SOLICITACIONES

III.4.- Carga por sismo.

El procedimiento que se utiliza para determinar el espectro para diseño sísmico, son los requisitos generales aplicables al diseño de estructuras sometidas a la excitación de un sismo y se consideran como mínimos indispensables. El procedimiento y lineamientos que se siguen son los que se especifican en el Manual De Diseño De Obras Civiles (C.F.E.) Sección C, Tema 1 Criterios de Diseño; Capitulo 3 Diseño por Sismo, Edición 1993., Así mismo se usan las ecuaciones y constantes que en este se indican.

De forma análoga al diseño por viento, en el diseño por sismo es necesario asignarle diferentes clasificaciones a la estructura para a partir de estas obtener sus parámetros de diseño.

III.4.1.- Clasificación de la estructura según su destino.

Por ser una estructura que requiere un grado de seguridad alto, siendo una construcción cuya falla estructural causaría la pérdida de un gran número de vidas así como pérdidas económicas y de comunicación, la transmisión de datos o señales para el funcionamiento de otro grupo de estructuras como la operación de plantas termoeléctricas, hidro- eléctricas, nucleares, centrales telefónicas, e inmuebles de tele-comunicaciones. Bajo estas condiciones se considera a la estructura dentro del **GRUPO A** (inciso 3.2.2)

III.4.2.- Clasificación de la estructura según su estructuración.

Atendiendo las características estructurales que influyen en la respuesta sísmica de la estructura, estas construcciones son de **Tipo 1**, las cuales corresponden a estructuras en que las fuerzas laterales se resisten por marcos continuos contraventeados o no. (Inciso 3.2.3)

III.4.3.- Clasificación del tipo de terreno según su estratigrafía.

Atendiendo la respuesta del sitio ante excitación sísmica se adopta una clasificación de terreno de cimentación según su estratigrafía, que a profundidades menores de 3 metros existen estratos rocosos o de suelo muy compacto, este tipo de terreno se clasifica en dicho Manual como de **Tipo I** (inciso 3.1.2)

III.4.4.- Método de análisis.

Para el análisis sísmico de estructuras tipo I se puede recurrir a tres métodos: A) Método simplificado, B) Análisis estático y C) Análisis dinámico. El método simplificado solo es aplicable a estructuras con altura no mayor de 13 m. las estructuras que no sobrepasen de

III.- SOLICITACIONES

60 m de alto se pueden analizar con el método estático y para alturas superiores a 60 m es forzoso aplicar el método dinámico.

En este trabajo aplicaremos el método estático el cual consiste en lo siguiente.

La determinación de la fuerza lateral total es decir del cortante en la base para después distribuir este cortante en fuerzas concentradas a diferentes alturas de la estructura, obtenidas suponiendo que esta va a vibrar esencialmente en su primer modo natural.(figura No.III.4)

La fuerza lateral que actúa en el centro de masa del nivel i se calcula con la siguiente ecuación.-

$$F_s = W_i H_i \left[\frac{\sum W_i}{\sum W_i H_i} \right] C_s \text{ ----- ec (III.4)} \text{ En donde } i \text{ representa el}$$

numero de masas concentradas igual al numero de tramos de la torre. Obtenida suponiendo que la distribución de aceleraciones en los diferentes niveles de la estructura es lineal partiendo de cero en la base hasta un máximo en la punta.

La fuerza cortante basal se determina como $V = C_s W$ -----ec (III.4.1)

En donde W es el peso total de la estructura, C_s Es el coeficiente de cortante basal, para cuya determinación existen dos opciones, la primera 1) Sin calcular el periodo natural y 2) Calculando el periodo natural.

Si no se calcula el periodo natural de la estructura se tiene lo siguiente:

$$C_s = c/Q \text{----- ec (III.4.2)}$$

En donde Q es el factor de comportamiento sísmico del tipo de estructuración, para estructuras tipo 1 como este caso corresponde un $Q = 2$

c es el coeficiente sísmico, varía según el riesgo sísmico del sitio, según el tipo de suelo y según la importancia de la construcción, y puede determinarse mediante la tabla tabla III.4

III.- SOLICITACIONES

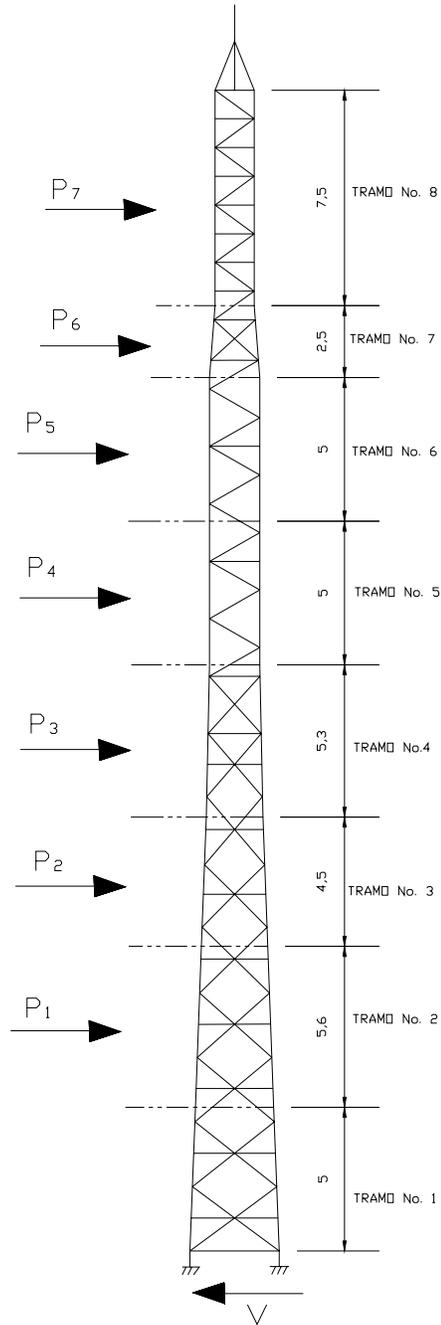


Figura No.III.4 Fuerzas sísmicas en la torre

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.4 Espectros de diseño para estructuras del grupo B

Zona sísmica de la Republica Mexicana	Tipo de suelo	a_0	C	T_a (s)	T_b (s)	r
Zona A	I (Terreno Firme)	0.02	0.08	0.2	0.6	1/2
	II (Terreno de Transición)	0.04	0.16	0.3	1.5	2/3
	III (Terreno Compresible)	0.05	0.2	0.6	2.9	1
Zona B	I	0.04	0.14	0.2	0.6	1/2
	II	0.08	0.3	0.3	1.5	2/3
	III	0.1	0.36	0.6	2.9	1
Zona C	I	0.36	0.36	0.0	0.6	1/2
	II	0.64	0.64	0.0	1.4	2/3
	III	0.64	0.64	0.0	1.9	1
Zona D	I	0.5	0.5	0.0	0.6	1/2
	II	0.86	0.86	0.0	1.2	2/3
	III	0.86	0.86	0.0	1.7	1

III.4.5.- Regionalización sísmica para la estructura.

Con base a un estudio de riesgo sísmico, se encontró que la República Mexicana se considera dividida en cuatro zonas, designadas con las letras de la A a la D en orden creciente de riesgo sísmico Fig. 3.1 (esta figura esta contenida en el Manual). La torre se localiza en las costas del pacifico Mexicano. Por lo tanto según esta figura le corresponde la **Zona D**-(inciso 3.3.1) ---

Y como se clasifico el suelo como tipo 1, los parámetros del espectro son:

$$a_0 = 0.5 ; c = 0.5 ; T_a = 0.0 ; T_b = 0.6 ; r = 0.5$$

Si se sustituye $c = 0.5$ en la ecuación III.4.2 se tiene.

$C_S = 0.5/2 = 0.25$, y como la tabla III.4 solo es valida para estructuras del grupo B, y que para estructuras del grupo A estos valores se deben multiplicar por 1.5 para tomar en cuenta la importancia de la estructura.

Si se calcula el periodo natural de vibración, el Manual proporciona la siguiente formula.

$$T = 2\pi \left[\frac{\sum W_i X_i^2}{g \sum F_i X_i} \right]^{\frac{1}{2}} \text{-----ec (III.4.3) en donde:}$$

W_i es el peso de la mása i

III.- SOLICITACIONES

Fi la fuerza horizontal que actúa en ella.

Xi el desplazamiento correspondiente en la dirección de Fi y g la aceleración de gravedad.

Si en vez de utilizar esta ecuación, se recuerda que en el capítulo de cargas por viento, en la determinación del factor de ráfaga se determinó la frecuencia natural de vibración = 1.733 cps entonces, el periodo natural de vibración $T = 1/1.733 = 0.577$ seg.

Como $T_a = 0.0 < T = 0.577 < T_b = 0.6$, no se admiten reducciones al coeficiente sísmico C_s , por lo tanto se tomara igual 0.25.

Finalmente al sustituir los valores obtenidos la ecuación III.4 obtenemos

$$F_s = W_i H_i \left[\frac{\sum W_i}{\sum W_i H_i} \right] \frac{c}{Q} F_a \text{----- ec (III.4.4)}$$

Donde $c/Q = 0.25$ y $F_a = 1.5$.

La fuerza sísmica será aplicada sobre los elementos estructurales del tramo en cuestión de manera uniforme tomando en cuenta la regularidad geométrica y estructural de la torre.

III.4.6.- Determinación de cargas.

Para el cálculo de los pesos de los perfiles estructurales se consultó el Manual de construcción en acero del IMCA

Tabla No. III.4.1 Cargas de accesorios y perfiles estructurales

Cargas sobre la torre		
Plataformas de descanso y trabajo		345 kg
Antena parabólica 0.6 m de diámetro		50 kg
Antena parabólica 0.9 m de diámetro		70 kg
Antena celular		40 kg
Escalera + Guía de ondas (incluyendo cables)		30 kg/m
Celosía de ángulo	L 3 X 3 X 5/16"	9.08 kg/m
Celosía de ángulo	L 2 1/2 X 2 1/2 X 1/4"	6.10 kg/m
Piernas ángulo	L 6 X 6 X 7/8"	49.26 kg/m
Piernas ángulo	L 6 X 6 X 3/4"	42.71 kg/m
Piernas ángulo	L 6 X 6 X 5/8"	37.65 kg/m
Piernas ángulo	L 6 X 6 X 9/16"	32.59 kg/m
Piernas ángulo	L 4 X 4 X 3/8"	14.58 kg/m
Piernas ángulo	L 3 X 3 X 5/16"	9.08 kg/m

III.- SOLICITACIONES

III.4.7.- Pesos de la estructura por tramos.

Los pesos de los tramos se calculan multiplicando los elementos existentes en cada tramo por los valores de la tabla III.4.1

Tabla No. III.4.2 Peso tramo 8

PESO DE LA ESTRUCTURA TRAMO 8			PESO
			t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	7.5	m	0.23
Celosía de ángulo L 3 X 3 X 5/16"	90.88	m	0.83
Piernas ángulo L 3 X 3 X 5/16"	30	m	0.18
Antena parabólica 0.6 m de diámetro	3.0	pzas	0.15
Antena celular	9.0	pzas	0.36
Plataforma de trabajo	2.0	pzas	0.69
PESO TOTAL TRAMO 8 =			2.43

Tabla No. III.4.3 Peso tramo 7

PESO DE LA ESTRUCTURA TRAMO 7			PESO
			t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	2.5	m	0.08
Celosía de ángulo L 3 X 3 X 5/16"	12.72	m	0.12
Celosía de ángulo L 2 1/2 X 2 1/2 X 1/4"	25.8	m	0.16
Piernas ángulo L 4 X 4 X 3/8"	10	m	0.15
Antena parabólica 0.9m de diámetro	3	pzas	0.21
PESO TOTAL TRAMO 7 =			0.70

Tabla No. III.4.4 Peso tramo 6

PESO DE LA ESTRUCTURA TRAMO 6			PESO
			t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	5.0	m	0.15
Celosía de ángulo L 3 X 3 X 5/16"	48.36	m	0.44
Piernas ángulo L 6 X 6 X 9/16"	20	m	0.65
PESO TOTAL TRAMO 6 =			1.24

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.4.5 Peso tramo 5

PESO DE LA ESTRUCTURA TRAMO 5			PESO
			t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	5.0	m	0.15
Celosía de ángulo L 3 X 3 X 5/16"	48.36	m	0.44
Piernas ángulo L 6 X 6 X 5/8"	20	m	0.75
Plataforma de descanso	1	pza	0.345
PESO TOTAL TRAMO 5 =			1.69

Tabla No. III.4.6 Peso tramo 4

PESO DE LA ESTRUCTURA TRAMO 4			PESO
			t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	5.3	m	0.16
Celosía de ángulo L 3 X 3 X 5/16"	72.72	m	0.66
Celosía de ángulo L 2 1/2 X 2 1/2 X 1/4"	5.33	m	0.03
Piernas ángulo L 6 X 6 X 3/4"	21.2	m	0.91
Plataforma de descanso	1	pza	0.35
PESO TOTAL TRAMO 4 =			2.10

Tabla No. III.4.7 Peso tramo 3

PESO DE LA ESTRUCTURA TRAMO 3			PESO
			t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	4.5	m	0.14
Celosía de ángulo L 3 X 3 X 5/16"	67.44	m	0.61
Celosía de ángulo L 2 1/2 X 2 1/2 X 1/4"	12.16	m	0.07
Piernas ángulo L 6 X 6 X 3/4"	18.02	m	0.77
PESO TOTAL TRAMO 3 =			1.59

Tabla No. III.4.8 Peso tramo 2

PESO DE LA ESTRUCTURA TRAMO 2			PESO
			t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	5.6	m	0.17
Celosía de ángulo L 3 X 3 X 5/16"	99.04	m	0.90
Celosía de ángulo L 2 1/2 X 2 1/2 X 1/4"	20.96	m	0.13
Piernas ángulo L 6 X 6 X 7/8"	22.42	m	1.10
Plataforma de descanso	1	pza	0.35
PESO TOTAL TRAMO 2=			2.64

III.- SOLICITACIONES

Tabla No. III.4.9 Peso tramo 1

PESO DE LA ESTRUCTURA TRAMO 1			PESO
			t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	5.0	m	0.15
Celosía de ángulo L 3 X 3 X 5/16"	49.54	m	0.45
Piernas ángulo L 6 X 6 X 7/8"	20	m	0.99
PESO TOTAL TRAMO 1=			1.59

Una vez determinados los pesos de los tramos de la torre, se utiliza la ecuación III.4.4 con los siguientes valores.

Coefficiente sísmico $c = 0.5$

Factor de comportamiento sísmico $Q = 2$

Factor de amplificación $F_a = 1.5$

Los resultados se presentan en la tabla III.4.10

Tabla No. III.4.10 Fuerza sísmica en los tramos de la torre

TRAMO	ALTURA H_i DE	PESO W_i DE	$W_i H_i$	FUERZA SISMICA
	TRAMO	TRAMO		
	(m)	(t)	(t-m)	(t)
1	5.0	1.6	7.9	0.14
2	10.6	2.6	28.0	0.48
3	15.1	1.6	24.0	0.41
4	20.4	2.1	42.9	0.74
5	25.4	1.7	42.9	0.74
6	30.4	1.2	37.7	0.65
7	32.9	0.7	23.2	0.40
8	40.4	2.4	98.3	1.7
SUMA		14.0	304.9	5.2

Con los datos obtenidos en esta tabla y los de las tablas III.3.28 a III.3.31 y III.3.33 a III.3.35 se procede a cargar los modelos de la torre, en el siguiente capítulo de análisis estructural.

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

Una vez que se ha definido el modelo de la estructura y que se han evaluado las acciones que obran en esta, se procede al análisis estructural, el cual es el procedimiento que se lleva a cabo para la determinación de la respuesta del sistema estructural ante las solicitaciones de las acciones externas que se considera inciden sobre dicho sistema. La respuesta de una estructura o de un elemento es su comportamiento bajo una acción determinada, manifestada por medio de deformaciones, vibraciones, esfuerzos, reacciones, etc.

IV.1.- Programa de análisis

Existen un buen número de programas de computadora desarrollados en México y de procedencia extranjera, cada uno de estos tiene sus propias suposiciones, bases teóricas y limitaciones estos constituyen una herramienta de diseño indispensable para la ejecución del proyecto estructural debido fundamentalmente al ahorro de tiempo en el diseño.

Para la realización de estos 3 análisis se usó el programa de análisis y diseño de estructuras STAAD III cuyas principales características se describen enseguida.

Es un programa basado en el comportamiento de los materiales en el rango elástico de deformaciones, para análisis y diseño de estructuras reticulares con módulos específicamente diseñados, para el análisis y diseño de estructuras, este software permite la generación, análisis y revisión de resultados de una manera rápida y eficiente tanto en forma gráfica como en salida de texto.

Para aplicaciones de ingeniería estructural, tiene implementados la mayoría de los códigos y recomendaciones más utilizados a nivel mundial particularmente del American Institute of Steel Construction AISC. Permite el uso de diferentes tipos de elementos: viga, armadura, placas, y elementos especiales como son elementos a tensión/compresión y resortes lineales. Permite la generación automática y/o facilita la entrada de cargas.

Para que este paquete funcione son requeridos los datos de entrada siguientes.

- La topología de la estructura.
- Las propiedades geométricas de los elementos estructurales
- Las propiedades de los materiales
- La orientación de los perfiles referidos a un sistema de ejes generales
- Las cargas que actúan y sus combinaciones.

Al iniciar se debe proporcionar la siguiente información básica, las coordenadas de cada nodo del modelo referenciadas a un sistema de ejes ortogonales coordinados, a este sistema se le conoce como sistema de coordenadas globales. Numeración de los nodos y de los miembros. Las propiedades geométricas de las secciones de los miembros como son, el área, los momentos de inercia, constante torsional, El modulo de elasticidad de cada miembro, así como lo datos de cargas que pueden estar aplicadas a los miembros o directamente a los nodos.

A continuación se presenta la secuencia más o menos en el orden en que se utilizan los comandos junto con su significado, que se deben indicar para el funcionamiento del programa.

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

STAAD [PLANE, SPACE, TRUSS, FLOOR, DATA]

Inicia el programa especificando si la estructura estará en el plano, en el espacio, armadura plana o espacial, etc. con un asterisco se le puede agregar un Título a la corrida.

PLANE = Estructura plana
SPACE = Estructura espacial
TRUSS = Armazón plano o espacial
FLOOR = Estructura total
DATA = Ejecución de chequeo de datos

UNIT {Unidad de Longitud, Unidad de Fuerza}

Especifica el sistema de unidades a utilizar. Ejemplos:

UNIT METER MTON;
UNIT CM KG;
UNIT INCHES KIP;
UNIT FT POUND;
UNIT MMS KNS;
UNIT DME MNS;
UNIT KM DNS

INPUT WIDTH {Numero de caracteres por línea}

Ejemplo:

INPUT WIDTH 72

Especifica el número de caracteres por línea en el archivo de entrada que serán procesados. En el archivo de datos de entrada no podrá haber una línea completa con más caracteres que el especificado, de lo contrario el programa marcará un error al procesar los datos.

JOINT COORDINATES

1 1.0 2.0 3.0

REPEAT

REPEAT ALL

Permite asignar los datos de los nodos en coordenadas rectangulares o coordenadas cilíndricas. En este ejemplo: el nodo 1 tiene coordenadas en $X = 1$, $Y = 2$, y $Z = 3$

Puede usarse su abreviación: JOINT COORD

La opción Repeat causa que la línea de entrada previa sea repetida un número de veces con incrementos específicos.

La opción Repeat All repite todas las entradas previamente especificadas al más reciente mandato Repeat All, o todos los datos de las uniones, si ningún mandato Repeat All ha sido previamente utilizado.

Cuando se usen los mandatos Repeat y Repeat All, la numeración de los nodos deberá de ser consecutiva y comenzar por el número 1.

EJEMPLO COORDENADAS

STAAD SPACE

UNIT METER MTON

JOINT COORD

1 0.0 0.0 0.0 4 45 0.0 0.0

REPEAT 4 0.0 0.0 15.0

REPEAT ALL 10 0.0 10.0 0.0

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

En este ejemplo, el comando Repeat repite la primera línea 4 veces, incrementando cada coordenada z en 15. De esta forma las primeras dos líneas después del comando JOIN COORD crean un piso de 20 juntas. El Comando Repeat All crea otros 10 pisos iguales.

```
STAAD PLANE
UNIT METER MTON
JOINT COORD
1 0. 0.
2 10. 0.
3 15. 0.
MEMB INCIDENCES
1 1 2
2 2 3
```

MEMBER INCIDENCES

Una vez definidas las coordenadas de los nodos member incidences. Define un miembro (viga, columna, etc.) por medio de sus nodos inicial y final por los cuales esta conectado. Puede abreviarse: MEMB INCI

TABLE (TA) Y USER TABLE

El comando TABLE permite especificar perfiles estándar de acero, manufacturados en diferentes países.

Los siguientes parámetros se pueden usar después de TABLE (ST, RA, D, LD, SD, T, CM, TC, BC y TB)

ST Especifica una sección simple de las tablas estándar.
RA Especifica un ángulo simple con los ejes YZ al revés.
D Especifica un ángulo doble.
LD Especifica un ángulo doble con sus lados largos espalda con espalda.
SD Especifica un ángulo doble con sus lados cortos espalda con espalda.
T Especifica una sección T cortada de vigas de forma I.
CM Especifica una sección compuesta, disponible con vigas de forma I.
TC Especifica vigas con cubre placa arriba.
BC Especifica vigas con cubre placa abajo.
TB Especifica vigas con cubre placas arriba y abajo.

El comando USER TABLE permite usar y crear una tabla personalizada de secciones de acero para la especificación de propiedades, chequeo de código y selección de miembros. Esto es útil para usar secciones con propiedades poco comunes que no están especificadas dentro del programa. Primero veamos un ejemplo de cómo se usan estos comandos.

```
EJEMPLO:
STAAD SPACE * TORRE
INPUT WIDTH 72
UNIT INCHES
```

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

START USER TABLE * INICIA LA TABLA
TABLE 1 * NUMERO DE CATALOGO

ANGLES * TIPO DE LA SECCION

L15153 * NOMBRE DE LA SECCION

1.5 1.5 0.1875 0.293 0.000 0.000 * ESPECIFICACION DE LAS PROPIEDADES

END * FIN DE LA TABLA

UNIT METER MTON

.

MEMBER PROPERTY AMERICAN *Este comando inicia la definición de propiedades

* TRAMO 1

4 TO 38 **UPTABLE 1 L15153**

46 TO 50 **UPTABLE 1 L15153**

58 TO 62 **UPTABLE 1 L15153**

* TRAMO 2

1 TO 5 **TABLE ST L30304** *Se usa el comando TABLE para perfiles estándar

12 TO 16 **TABLE ST W12X30**

En este ejemplo se usaron las unidades de medida de pulgadas (INCHES) para poder definir las propiedades de una sección usando START USER TABLE. Se uso una sección de tipo Angular (L). Las 6 propiedades definidas en este ejemplo son las correspondientes a este tipo de sección L como se describe mas adelante. Cada tipo de sección tendrá sus propiedades a definir, como en el caso del patín ancho W en donde se tienen que definir 10 propiedades. Al final del ejemplo, al definir las propiedades de algunos elementos, con el comando UPTABLE se usa la tabla creada para definir miembros con estas propiedades. También se definen las propiedades de algunos otros elementos con algunas secciones de la librería estándar de secciones de acero ya definidas en STAAD.

MEMBER RELEASE

Dependiendo del tipo de estructura, por default se considera que los miembros están rígidamente unidos entre si. Cuando esta completa rigidez no es aplicable, los componentes individuales de las fuerzas, en cualquiera de los extremos del miembro, pueden ser igualados a cero con la instrucción MEMBER RELEASE.

MEMBER TRUSS y MEMBER CABLE

Se usa para definir miembros como armaduras o cables. Los miembros armadura son solo capaces de soportar fuerzas axiales. Por lo general, los miembros de esta naturaleza son los que se usan para contraventeo en una estructura.

Los miembros cable, además de la deformación axial elástica, son también capaces de acoplarse al efecto de tensión inicial.

Ejemplo:

MEMB TRUSS

1 TO 10 12 14

MEMB CABLE

15 TO 20 11 13

CONSTANTS

Especifica las constantes del modulo de Elasticidad E, Relación de Poisson, Densidad, etc.

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

SUPPORTS

Define el tipo de los apoyos indicando los nodos y sus restricciones

SELFWEIGHT

Especifica que se considere la carga debido al peso propio de la estructura

JOINT LOAD

Especifica cargas en los nodos.

MEMBER LOAD

Especificación de carga sobre un miembro

CALCULATE NATURAL FREQ

Especificación para calcular la frecuencia natural de vibración.

LOAD COMBINATION

Especificación de combinación de cargas definas anteriormente con sus respectivos factores.

LOAD LIST

Activa solo los casos de carga especificados en este comando para la impresión y diseño en la ejecución de los cálculos específicos.

PERFORM ANALYSIS

Instruye al programa para que se ejecute el análisis. Este comando se podrá volver a usar, por ejemplo si se hacen cambios en los tamaños de los miembros y se quiere volver a analizar la estructura..

CODE

Parámetro que se refiere al código con el que se desea realizar el diseño

STEEL TAKE OFF

Se puede usar para hacer una estimación del volumen total del acero

CHECK CODE

Especifica la revisión de miembros de acuerdo al código seleccionado

FINISH

Comando que indica el fin de la corrida de STAAD

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

IV.2.- Edición de datos de entrada y salida.

A continuación se describe brevemente la forma en que el programa edita los datos de entrada y de salida.

Datos de entrada

- Datos de los nodos: numero del nodo y sus coordenadas X, Y y Z para cada nodo
- Datos de los miembros: numero del miembro, nodo inicial y nodo final.
- Propiedades de las secciones de los miembros
- Constantes de los materiales: modulo de elasticidad, densidad y modulo de poisson.
- Características de los soportes: condiciones de apoyo de la estructura, articulado o empotrado.
- Definición de miembros como armaduras o cables o miembros que se consideren que no están unidos rígidamente.
- Datos de condiciones de carga: peso propio, carga muerta, carga viva, carga por viento y carga por sismo así como sus diferentes combinaciones.

Datos de salida

- Desplazamientos de la estructura, así como sus giros en las tres direcciones para cada nodo y para todas las combinaciones de carga.
- Fuerzas y los momentos en los soportes
- Esfuerzos en todos los miembros.
- Estimación del volumen del material concreto o acero.

IV.3.- Condiciones de cargas..

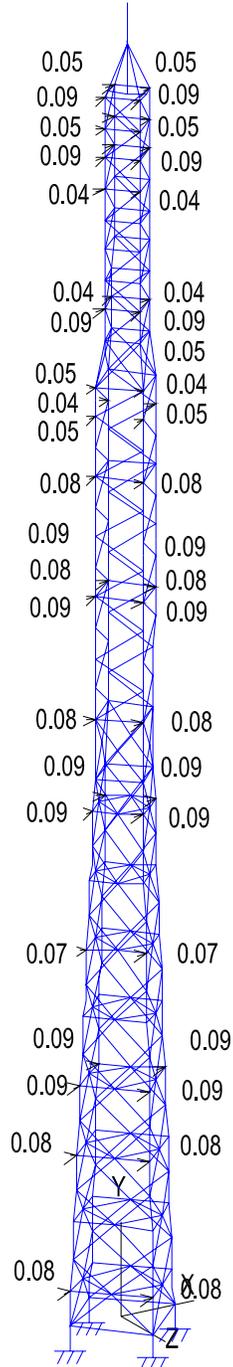
IV.3.1.- Condicion de carga No.1 Peso propio + Carga muerta en la dirección X.

Una estimación muy buena para obtener el periodo natural de vibración de la estructura se obtiene calculando los desplazamientos en la punta de la estructura producida por un conjunto de cargas horizontales iguales a su peso propio. Si cargamos con esta condición al modelo de la estructura, en el programa de análisis estructural utilizado para este trabajo y se acelera la torre, concentrando las masas en las zonas donde actúan las fuerzas verticales actuando en el plano horizontal. (El programa de análisis calcula esta frecuencia por el Método de iteración de Rayleigh.) Se obtiene una frecuencia natural de vibración de 1.7323 cps, este valor se utilizo en la determinación del factor de ráfaga.

Se presenta el modelo cargado con esta condición en la siguiente figura.

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

SELFWEIGHT X 1.0 LN= 1 MN/ELEM



J=229,M=582

UNIT MET MTO

Figura No. IV Cargas para determinar la frecuencia natural de vibración.

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

IV.3.2.-Condicion de carga No. 2 Peso propio

El peso propio es la carga mas sencilla de evaluar ya que previamente, se pueden suponer como lo hicimos en la determinación de cargas por viento, todos los perfiles que forman la torre, El programa de análisis calcula automáticamente el peso de los perfiles estructurales, en base al volumen de cada elemento estructural y a la densidad del acero.

IV.3.3.- Condicion de carga No. 3 Carga muerta

En cada tramo de la torre, la carga muerta se divide entre el número de nodos que soportaran dicha carga, a continuación se presentan las tablas No. IV a IV.7, con los cálculos realizados de la carga muerta para cada tramo de la torre. Para el tramo No. 8 se tiene.

Tabla No. IV Carga muerta en el tramo 8

CARGA MUERTA TRAMO 8			PESO	NUMERO DE NODOS	CARGA POR NODO
			t		t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	7.5	m	0.23	6.0	0.038
Antena parabólica 0.6 m de diámetro	3.0	pzas	0.15	4.0	0.038
Antena celular	9.0	pzas	0.36	8.0	0.045
Plataforma de trabajo 38.5m	1.0	pzas	0.35	4.0	0.086
Plataforma de trabajo 33.5m	1.0	pzas	0.35	4.0	0.086

Procediendo similarmente, se calculan los tramos subsecuentes.

Tabla No. IV.1 Carga muerta en el tramo 7

CARGA MUERTA TRAMO 7			PESO	NUMERO DE NODOS	CARGA POR NODO
			t		t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	2.5	m	0.08	2.0	0.038
Antena parabólica 0.9m de diámetro	3	pzas	0.21	4.0	0.053

Tabla No. IV.2 Carga muerta en el tramo 6

CARGA MUERTA TRAMO 6			PESO	NUMERO DE NODOS	CARGA POR NODO
			t		t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	5.0	m	0.15	2.0	0.075

Tabla No. IV.3 Carga muerta en el tramo 5

CARGA MUERTA TRAMO 5			PESO	NUMERO DE NODOS	CARGA POR NODO
			t		t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	5.0	m	0.15	2.0	0.075
Plataforma de descanso 24.0m	1.0	pzas	0.35	4.0	0.086

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

Tabla No. IV.4 Carga muerta en el tramo 4

CARGA MUERTA TRAMO 4		PESO	NUMERO DE NODOS	CARGA POR NODO
		t		t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	5.3 m	0.16	2.0	0.080
Plataforma de descanso 16.9m	1.0 pzas	0.35	4.0	0.086

Tabla No. IV.5 Carga muerta en el tramo 3

CARGA MUERTA TRAMO 3		PESO	NUMERO DE NODOS	CARGA POR NODO
		t		t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	4.5 m	0.14	2.0	0.068

Tabla No. IV.6 Carga muerta en el tramo 2

CARGA MUERTA TRAMO 2		PESO	NUMERO DE NODOS	CARGA POR NODO
		t		t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	5.6 m	0.17	2.0	0.084
Plataforma de descanso 7.9m	1.0 pzas	0.35	4.0	0.086

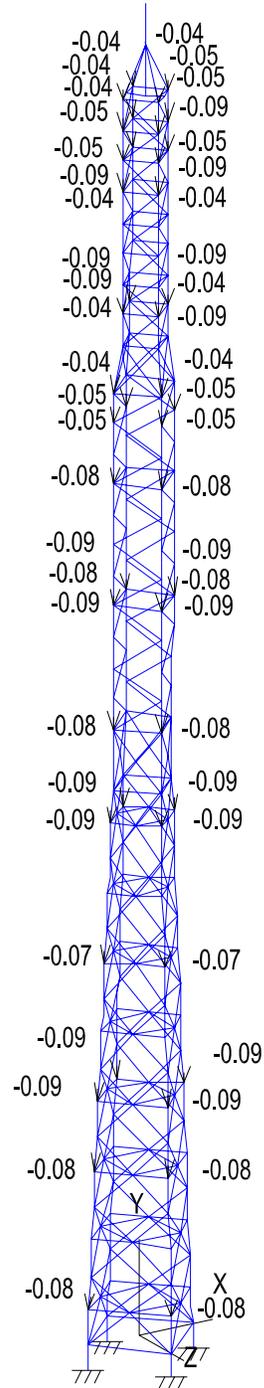
Tabla No IV.7 Carga muerta en el tramo 1

CARGA MUERTA TRAMO 1		PESO	NUMERO DE NODOS	CARGA POR NODO
		t		t
Escalera + Guia de ondas (incluyendo cables)	5.0 m	0.15	2.0	0.075

En la siguiente figura se presenta esquemáticamente el modelo cargado con esta condición de carga (Figura No.IV.1).

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

LN= 3 MN/ELEM



J=229,M=582 UNIT MET MTO

Figura No. IV.1 Carga muerta sobre la torre

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

IV.3.4.-Condicion de carga No. 4 Carga viva.

Esta carga se aplica a las plataformas de trabajo las cuales se ubican solamente en el tramo No, 8 de la torre. En el capitulo de solicitaciones se determinó una carga viva de 300 Kg/m^2 , de la figura III.1 del mismo capitulo se tiene un área de plataforma de 6.64 m^2 y por lo tanto la carga viva sobre la plataforma será de $300 \times 6.64 = 1992 \text{ Kg}$.

Esta carga se distribuirá en 4 nodos que son los que soportaran la plataforma, entonces la carga por nodo será de $1992/4 = 498 \text{ kg}$. se presenta la figura No.IV.2 con el modelo cargado con esta condición.

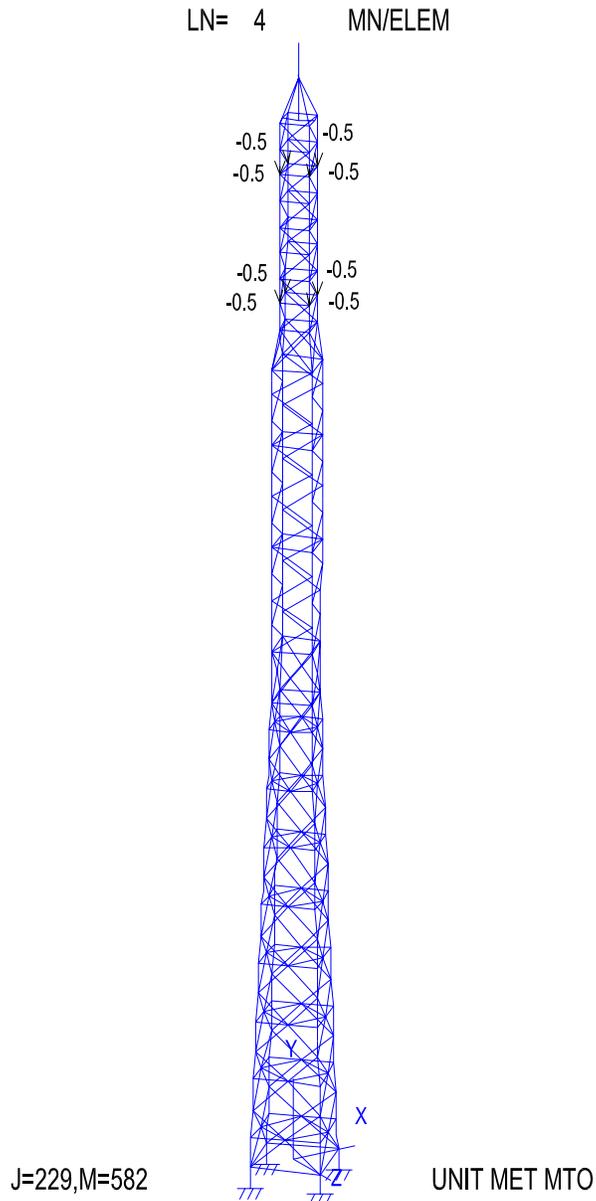


Figura No. IV.2 Carga viva sobre la torre

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

IV.3.5.- Condición de carga No.5 y 6 Carga por viento. Sobre una cara y sobre una esquina

De los resultados obtenidos de la fuerza total sobre la estructura tablas III.3.29 a III.3.32 así como de las antenas parabólicas y celulares (capítulo de solicitaciones, cargas por viento), se tiene lo siguiente.

Tabla No. IV.8 Distribución de las fuerzas de viento sobre los nodos, estructura modelos 1 y 2

tramo	Fuerza total sobre una cara	Fuerza total sobre una esquina	N° De nodos	Fuerza en los nodos sobre una cara		Fuerza en los nodos sobre una esquina
				(X)	(-Z)	
	t	t		t	t	
8	1.10	2.042	32	0.0242	0.0242	0.064
7	0.38	0.663	8	0.0339	0.0339	0.083
6	0.77	1.014	16	0.0341	0.0341	0.063
5	0.70	0.917	24	0.0205	0.0205	0.038
4	0.73	1.158	16	0.0321	0.0321	0.072
3	0.57	0.864	16	0.0250	0.0250	0.054
2	0.69	1.037	16	0.0305	0.0305	0.065
1	0.64	0.953	20	0.0227	0.0227	0.048

Tabla No. IV.9 Distribución de las fuerzas de viento sobre los nodos, estructura modelo 3

tramo	Fuerza total sobre una cara	Fuerza total sobre una esquina	N° De nodos	Fuerza en los nodos sobre una cara		Fuerza en los nodos sobre una esquina
				(X)	(-Z)	
	t	t		t	t	
8	1.02	1.838	32	0.0225	0.0225	0.057
7	0.35	0.579	8	0.0306	0.0306	0.072
6	0.63	0.769	16	0.0276	0.0276	0.048
5	0.57	0.697	24	0.0167	0.0167	0.029
4	0.63	0.961	16	0.0278	0.0278	0.060
3	0.49	0.718	16	0.0218	0.0218	0.045
2	0.61	0.872	16	0.0268	0.0268	0.055
1	0.56	0.787	20	0.0197	0.0197	0.039

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

Tabla No. IV.10 Distribución de las fuerzas de viento sobre los nodos, antenas microondas

ANTENAS DE MICRO ONDAS tipo ANDREW										
ANTENAS	ANT 90° (1)	ANT 45° (1)		Fza. Total (2 a 90°, 1 a 45°)		Momento	# nodos	FZA NODO (2 a 90°, 1 a 45°)	FZA NODO (2 a 90°, 1 a 45°)	Momento
∅	(x) t	(x) t	(-z) t	(x) t	(-z)t	t-m		(x) t	(-z) t	t-m
0.6m	0.055	0.042	0.039	0.151	0.039	0.0476	4	0.038	0.010	0.012
0.9m	0.109	0.084	0.079	0.302	0.079	0.094	8	0.038	0.010	0.012

Tabla No. IV.11 Distribución de las fuerzas de viento sobre los nodos, antenas celulares

ANTENAS	PIEZAS	ALTURA	F _z Total	VIENTO 45 °	
		m	t	# nodos	FZA NODO t
RF'S	9	39.00	0.1947	8	0.024

El modelo con estas cargas se presenta en la figura No. IV.3

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

IV.3.6.- Condición de carga No. 7 Carga por sismo.

De los resultados obtenidos de la tabla No. III.4.10 de fuerza sísmica en los tramos de la torre se tiene lo siguiente.

Tabla No IV.12 Distribución de las fuerzas de sismo sobre los nodos

TRAMO	ALTURA Hi DE	PESO Wi DE	WiHi	FUERZA SISMICA	# DE NODOS	FUERZA POR NODO
	TRAMO	TRAMO				
	(m)	(t)	(t-m)	(t)		(t)
1	5.0	1.6	7.9	0.14	16	0.009
2	10.6	2.6	28.0	0.48	20	0.024
3	15.1	1.6	24.0	0.41	16	0.026
4	20.4	2.1	42.9	0.74	16	0.046
5	25.4	1.7	42.9	0.74	20	0.037
6	30.4	1.2	37.7	0.65	20	0.032
7	32.9	0.7	23.2	0.40	8	0.050
8	40.4	2.4	98.3	1.69	32	0.053
SUMA		14.0	304.9	5.25	148	

La fuerza por nodo se distribuye en la dirección X y el 30% de esta fuerza en la dirección Z, tomando en cuenta que serian de igual magnitud si se determinaran en la dirección Z. Como puede observarse, comparando los resultados de esta tabla con respecto a los de la tablas III.3.29 a III.3.32 de fuerzas por viento sobre la estructura, éstas son mayores a las del sismo. El modelo cargado con esta condición se muestra en la siguiente figura.

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

LOAD= 7 MN/ELEM

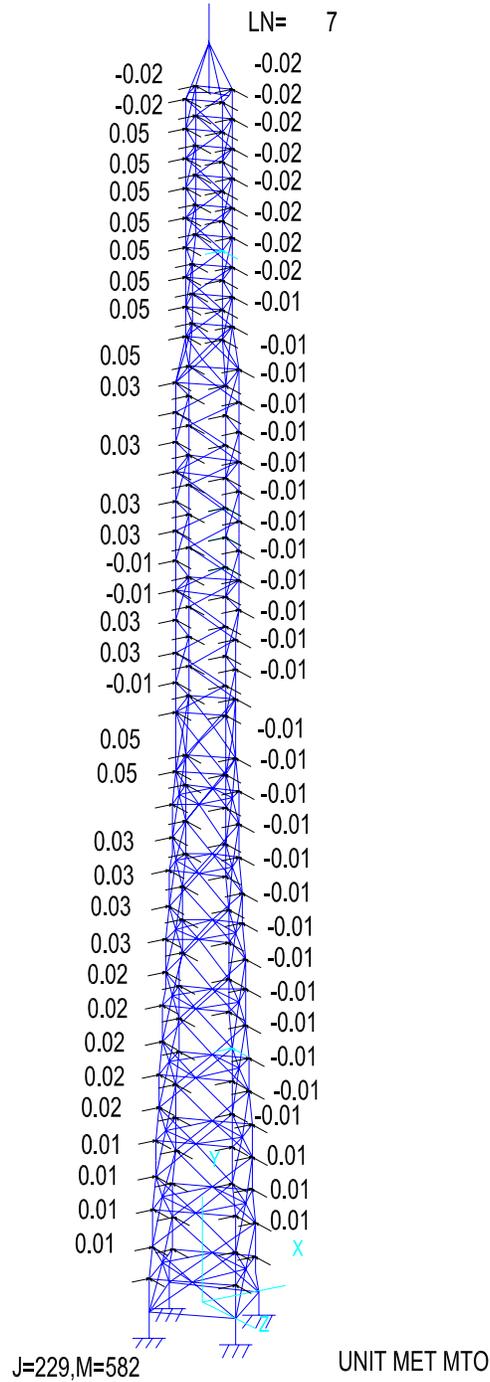


Figura No. IV.4 Cargas sísmicas sobre la torre

IV.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

IV.3.7.- Combinación de cargas.

El efecto combinado de todas las acciones que tengan una cierta probabilidad de ocurrir simultáneamente se llama combinación de acciones de diseño, estas pueden clasificarse en comunes y excepcionales, las comunes son aquellas que incluyen solamente las acciones permanentes y variables y las excepcionales las que incluyen alguna acción accidental como viento y sismo. Las acciones permanentes, por su carácter intervienen en todas las combinaciones ya que siempre están presentes sobre el sistema estructural, las acciones variables también intervienen en todas las combinaciones pero no necesariamente con los valores máximos, no debe tomarse más de una acción accidental en una misma combinación ya que la probabilidad de que las ocurran simultáneamente es nula.

Las condiciones de carga anteriormente descritas, se combinaron para realizar el análisis estructural de la torre, estas combinaciones se realizaron de la siguiente forma.

- 8.- (Peso propio + Carga muerta + Carga viva) 1.0.
- 9.- (peso propio + Carga muerta + Viento sobre una esquina) 0.75
- 10.- (peso propio + carga muerta + viento sobre una cara) 0.75

En las combinaciones No. 9 y 10 se omite la intensidad de la acción variable (carga viva reducida por ser favorable a la estabilidad de la estructura.

- 11.- (Peso propio + Carga muerta + SismoX +0.3 SismoZ) 0.75
- 12.- (peso propio + Carga muerta + Viento sobre una esquina) 1.0
- 13.- (peso propio + carga muerta + viento sobre una cara) 1.0
- 14.- (Peso propio + Carga muerta + SismoX +0.3 SismoZ) 1.0

Las combinaciones 12, 13 y 14 son para la revisión de los estados límite de servicio. En donde se considera un factor de carga unitario.

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

V.1.- Criterio de revisión

El diseño estructural es el procedimiento mediante el cual se definen los elementos que integran a la estructura, en lo referente a los materiales, dimensiones, detalles en general y su ubicación relativa en la estructura, estos elementos deberán presentar un comportamiento adecuado en condiciones de servicio y tener capacidad para resistir las fuerzas a las que estén sometidos.

El criterio de revisión considera un análisis estructural elástico lineal y el diseño será con la teoría de esfuerzos permisibles. (AISC) Las acciones de diseño resultaran de la combinación más desfavorable entre las acciones permanentes (peso propio, carga muerta, carga viva) y las accidentales de viento y sismo.

Toda la estructura y cada una de sus partes deberán diseñarse para cumplir con los requisitos básicos siguientes:

- I. Tener seguridad adecuada contra la aparición de todo estado limite de falla posible ante las combinaciones de acciones más desfavorables que puedan presentarse durante su vida esperada.
- II. No rebasar ningún estado limite de servicio ante combinaciones de acciones que corresponden a condiciones normales de operación.

Una vez expuesto lo anterior se procede a correr el programa, cabe aclarar que este es un proceso iterativo, es decir si los perfiles supuestos están muy sobrados o son deficientes, se tienen que corregir y con estas correcciones volver a correr el programa nuevamente hasta lograr un análisis óptimo.

V.1.- Archivo de resultados

Se anexan los archivos de datos del programa STAAD al final de este trabajo.

El programa proporciona un archivo de salida el cual produce un importante volumen de información, por tal motivo solo se presentaran los datos de los miembros mas esforzados de cada tramo de la torre, para los tres modelos (de las tres soluciones estructurales).

Se tiene para el primer modelo (primera solución estructural) que corresponde a perfiles angulares en las piernas de la torre los siguientes resultados.

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

Estado de esfuerzos.

STAAD-III CODE CHECKING - (AISC)

ALL UNITS ARE - MTON METE (UNLESS OTHERWISE NOTED)

MEMBER	TABLE	RESULT/ FX	CRITICAL COND/ MY	RATIO/ MZ	LOADING/ LOCATION
87	ST L25 253	PASS	COMPRESSION	0.608	9
		1.39 C	0.00	0.00	0.00
110	ST L20 202	PASS	AISC- H1-3	0.047	9
		0.02 C	0.00	0.00	0.00
178	ST L40 407	PASS	AISC- H1-1	0.540	9
		31.36 C	0.00	0.06	1.16
199	ST L40 407	PASS	AISC- H1-1	0.602	9
		35.01 C	0.00	0.06	0.00
236	ST L25 253	PASS	COMPRESSION	0.232	9
		0.83 C	0.00	0.00	0.00
238	ST L40 407	PASS	AISC- H1-1	0.485	9
		27.62 C	0.00	0.06	0.00
265	ST L25 253	PASS	AISC- H1-1	0.512	9
		2.51 C	0.00	0.00	0.00
266	ST L40 407	PASS	AISC- H1-1	0.951	9
		19.79 C	0.01	-0.01	2.00
276	ST L40 406	PASS	AISC- H1-1	0.177	9
		10.17 C	0.02	0.00	0.00
281	ST L25 253	PASS	COMPRESSION	0.720	9
		1.65 C	0.00	0.00	0.00
282	ST L40 406	PASS	AISC- H1-1	0.301	9
		17.50 C	-0.01	-0.01	1.00
308	ST L30 305	PASS	AISC- H1-1	0.416	9
		4.67 C	0.01	0.00	0.00
322	ST L30 303	PASS	AISC- H1-1	0.351	9
		3.37 C	0.01	0.00	0.00
381	ST L25 253	PASS	AISC- H1-3	0.037	9
		0.17 C	0.00	0.00	1.29
384	ST L25 253	PASS	COMPRESSION	0.241	9
		0.78 C	0.00	0.00	0.00
424	ST L25 253	PASS	AISC- H1-3	0.034	9
		0.13 C	0.00	0.00	0.00
443	ST L25 253	PASS	AISC- H1-1	0.486	9
		1.34 C	0.00	0.00	1.80
449	ST L25 253	PASS	AISC- H1-3	0.027	9
		0.02 C	0.00	0.00	1.80
464	ST L20 202	PASS	AISC- H1-1	0.680	9
		0.67 C	0.00	0.00	1.80
513	ST L20 202	PASS	AISC- H1-3	0.052	9
		0.04 C	0.00	0.00	1.40
526	ST L25 253	PASS	AISC- H1-3	0.039	9
		0.12 C	0.00	0.00	0.91

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

532	ST	L25	253	PASS	COMPRESSION	0.375	9
				0.93 C	0.00	0.00	0.00
633	ST	L20	202	PASS	COMPRESSION	0.656	9
				0.74 C	0.00	0.00	0.00
640	ST	L20	202	PASS	COMPRESSION	0.686	9
				0.78 C	0.00	0.00	0.00

Peso propio de los elementos estructurales.

PROFILE	LENGTH (METE)	WEIGHT (MTON)
ST L40 407	82.11	1.374
ST L40 406	40.00	0.578
ST L30 305	10.11	0.091
ST L30 303	30.00	0.166
ST L25 253	459.58	2.102
ST L20 202	186.15	0.455
ST PIP S20	3.00	0.016
TOTAL =		4.78

Desplazamientos en los nodos.

JOINT DISPLACEMENT (CM RADIANS)		STRUCTURE TYPE = SPACE					
JOINT	LOAD	X-TRANS	Y-TRANS	Z-TRANS	X-ROTAN	Y-ROTAN	Z-ROTAN
43	12	38.1247	-0.1335	-0.5839	0.0007	0.0000	-0.0150
	13	18.9240	0.3942	13.5236	0.0060	0.0000	-0.0075
	14	23.5557	-0.3813	-6.9629	-0.0026	0.0000	-0.0093
77	12	38.1257	1.3664	-0.5850	0.0000	0.0000	-0.0151
	13	18.9242	0.6227	13.5232	0.0054	0.0000	-0.0075
	14	23.5569	0.8039	-6.9632	-0.0027	0.0000	-0.0093
199	12	38.1268	-0.0908	-0.5838	0.0001	0.0000	-0.0150
	13	18.9256	-0.6183	13.5238	0.0054	0.0000	-0.0075
	14	23.5574	0.1572	-6.9629	-0.0027	0.0000	-0.0093
200	12	38.1257	-1.5906	-0.5871	0.0000	0.0000	-0.0149
	13	18.9243	-0.8469	13.5215	0.0054	0.0000	-0.0074
	14	23.5569	-1.0280	-6.9649	-0.0027	0.0000	-0.0092

Elementos mecanicos de los miembros.

MEMBER END FORCES		STRUCTURE TYPE = SPACE						
ALL UNITS ARE -- MTON METE								
MEMBER	LOAD	JT	AXIAL	SHEAR-Y	SHEAR-Z	TORSION	MOM-Y	MOM-Z
87	8	29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	29	70	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		87	-1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

	10	29	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		70	-0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	29	1.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		70	-1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	8	31	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		82	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	31	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		82	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	31	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		82	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	31	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		82	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
178	8	109	2.54	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
		110	-2.52	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
	9	109	31.36	0.11	0.00	0.00	0.00	0.06
		110	-31.35	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.06
	10	109	16.24	0.06	0.05	0.00	-0.04	0.03
		110	-16.23	-0.06	-0.05	0.00	-0.01	0.03
	11	109	19.87	0.07	-0.02	0.00	0.02	0.04
		110	-19.85	-0.07	0.02	0.00	0.01	0.04
199	8	113	2.75	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
		126	-2.73	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
	9	113	35.01	0.11	0.00	0.00	0.00	0.06
		126	-34.99	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.06
	10	113	18.11	0.06	0.06	0.00	-0.05	0.03
		126	-18.10	-0.06	-0.06	0.00	-0.01	0.03
	11	113	21.90	0.07	-0.03	0.00	0.02	0.04
		126	-21.88	-0.07	0.03	0.00	0.01	0.04
236	8	148	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		140	-0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	148	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		140	-0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	148	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		140	-0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	148	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		140	-0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
238	8	140	2.25	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
		149	-2.23	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
	9	140	27.62	0.11	0.00	0.00	0.00	0.06
		149	-27.60	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.06
	10	140	14.29	0.06	0.05	0.00	-0.04	0.03
		149	-14.28	-0.06	-0.05	0.00	-0.01	0.03
	11	140	17.57	0.07	-0.02	0.00	0.02	0.04
		149	-17.56	-0.07	0.02	0.00	0.01	0.04
265	8	153	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		160	-0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	153	2.51	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
		160	-2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	153	1.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		160	-1.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	153	1.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

		160	-1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
266	8	153	1.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		104	-1.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	153	19.79	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00
		104	-19.76	0.01	0.01	0.00	0.01	-0.01
	10	153	10.23	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
		104	-10.21	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01
	11	153	12.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		104	-12.49	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.01
276	8	168	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		167	-1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	168	10.17	0.00	-0.03	0.00	0.02	0.00
		167	-10.16	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00
	10	168	4.97	0.01	-0.02	0.00	0.01	0.01
		167	-4.96	-0.01	0.02	0.00	0.00	0.00
	11	168	6.76	0.00	-0.02	0.00	0.01	0.00
		167	-6.75	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00
281	8	103	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		174	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	103	1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		174	-1.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	103	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		174	-0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	103	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		174	-1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
282	8	103	1.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		175	-1.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	103	17.50	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
		175	-17.49	0.00	-0.02	0.00	-0.01	-0.01
	10	103	9.30	-0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
		175	-9.29	0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.01
	11	103	11.00	0.00	0.01	0.00	-0.01	0.00
		175	-10.99	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00
308	8	186	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		163	-1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	186	4.67	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
		163	-4.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	186	2.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		163	-2.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	186	3.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		163	-3.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
322	8	164	0.81	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00
		196	-0.80	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	9	164	3.37	0.00	-0.01	0.00	0.01	0.00
		196	-3.36	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
	10	164	1.98	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00
		196	-1.97	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	11	164	2.11	0.00	-0.01	0.00	0.01	0.00
		196	-2.10	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
381	8	87	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		207	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

	9	87	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		207	-0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	87	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		207	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	87	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		207	-0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
384	8	9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		206	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	9	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		206	-0.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	9	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		206	-0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	9	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		206	-0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
424	8	213	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		133	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	213	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		133	-0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	213	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		133	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	213	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		133	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
443	8	58	-0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		101	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	58	1.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		101	-1.34	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	58	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		101	-0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	58	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		101	-0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
449	8	83	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		170	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	83	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		170	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	83	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		170	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	83	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		170	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
464	8	184	-0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		72	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	184	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		72	-0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	184	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		72	-0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	184	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		72	-0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
513	8	81	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		162	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	81	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		162	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	81	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

		162	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	81	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		162	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
526	8	84	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		221	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	84	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		221	-0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	84	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		221	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	84	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		221	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
532	8	119	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		222	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	119	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		222	-0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	119	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		222	-0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	119	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		222	-0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
633	8	164	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		195	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	164	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		195	-0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	164	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		195	-0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	164	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		195	-0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
640	8	163	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		36	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	163	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		36	-0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	163	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		36	-0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	163	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		36	-0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Para el segundo modelo (segunda solucion estructural) que corresponde a perfiles estructurales de PTR en las piernas, el archivo de salida es el siguiente:

Estado de esfuerzos.

STAAD-III CODE CHECKING - (AISC)

ALL UNITS ARE - MTON METE (UNLESS OTHERWISE NOTED)

MEMBER	TABLE	RESULT/ FX	CRITICAL COND/ MY	RATIO/ MZ	LOADING/ LOCATION
87	ST L25 253	PASS	COMPRESSION	0.606	9

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

			1.39 C	0.00	0.00	0.00	
110	ST	L20 202	PASS	AISC- H1-3	0.050	9	
			0.02 C	0.00	0.00	0.00	
178	ST	TUB 30304	PASS	AISC- H1-1	0.302	9	
			31.15 C	0.00	0.12	0.00	
199	ST	TUB 30304	PASS	AISC- H1-1	0.336	9	
			34.82 C	0.00	0.13	0.00	
236	ST	L25 253	PASS	COMPRESSION	0.285	9	
			1.02 C	0.00	0.00	0.00	
238	ST	TUB 30304	PASS	AISC- H1-1	0.268	9	
			27.35 C	0.00	0.13	0.00	
265	ST	L25 253	PASS	AISC- H1-1	0.675	9	
			3.14 C	0.00	0.01	0.00	
266	ST	TUB 30303	PASS	AISC- H1-1	0.662	9	
			18.80 C	0.00	-0.02	2.00	
276	ST	TUB 30303	PASS	AISC- H1-3	0.089	9	
			10.16 C	0.01	0.00	0.00	
281	ST	L25 253	PASS	COMPRESSION	0.718	9	
			1.64 C	0.00	0.00	0.00	
282	ST	TUB 30303	PASS	AISC- H1-1	0.154	9	
			17.48 C	-0.01	-0.01	1.00	
308	ST	TUB 25253	PASS	AISC- H1-1	0.178	9	
			4.66 C	0.00	0.01	1.53	
322	ST	TUB 25253	PASS	AISC- H1-3	0.055	9	
			3.38 C	0.01	0.00	0.00	
381	ST	L25 253	PASS	AISC- H1-3	0.061	9	
			0.28 C	0.00	0.00	1.29	
384	ST	L25 253	PASS	COMPRESSION	0.215	9	
			0.70 C	0.00	0.00	0.00	
424	ST	L25 253	PASS	AISC- H1-3	0.041	9	
			0.06 C	0.00	0.00	0.00	
443	ST	L25 253	PASS	AISC- H1-1	0.628	9	
			1.74 C	0.00	0.00	1.80	
449	ST	L25 253	PASS	AISC- H1-3	0.029	9	
			0.03 C	0.00	0.00	1.80	
464	ST	L20 202	PASS	AISC- H1-1	0.691	9	
			0.68 C	0.00	0.00	1.80	
513	ST	L20 202	PASS	AISC- H1-3	0.043	9	
			0.03 C	0.00	0.00	1.40	
526	ST	L25 253	PASS	AISC- H1-3	0.068	9	
			0.23 C	0.00	0.00	1.04	
532	ST	L25 253	PASS	COMPRESSION	0.385	9	
			0.96 C	0.00	0.00	0.00	
633	ST	L20 202	PASS	COMPRESSION	0.653	9	
			0.74 C	0.00	0.00	0.00	
640	ST	L20 202	PASS	COMPRESSION	0.682	9	
			0.77 C	0.00	0.00	0.00	

Peso propio de los elementos estructurales.

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

STEEL TAKE-OFF

PROFILE	LENGTH (METE)	WEIGHT (MTON)
ST TUB 30304	60.90	0.797
ST TUB 30303	61.21	0.625
ST TUB 25253	40.11	0.332
ST L25 253	459.58	2.102
ST L20 202	186.15	0.455
ST PIP S20	3.00	0.016

TOTAL =		4.33

Desplazamientos en los nodos.

JOINT DISPLACEMENT (CM RADIANS) STRUCTURE TYPE = SPACE

JOINT	LOAD	X-TRANS	Y-TRANS	Z-TRANS	X-ROTAN	Y-ROTAN	Z-ROTAN
43	12	50.5992	-0.1643	-0.7743	0.0001	0.0000	-0.0197
	13	25.1019	0.5345	17.9546	0.0071	0.0000	-0.0098
	14	26.7187	-0.4269	-7.6935	-0.0029	0.0000	-0.0103
77	12	50.6002	1.8067	-0.7755	0.0000	0.0000	-0.0197
	13	25.1022	0.8274	17.9543	0.0070	0.0000	-0.0098
	14	26.7198	0.8811	-7.6935	-0.0030	0.0000	-0.0103
199	12	50.6013	-0.1077	-0.7743	0.0000	0.0000	-0.0197
	13	25.1038	-0.8063	17.9547	0.0071	0.0000	-0.0098
	14	26.7205	0.1550	-7.6934	-0.0030	0.0000	-0.0103
200	12	50.6002	-2.0788	-0.7776	0.0000	0.0000	-0.0197
	13	25.1023	-1.0992	17.9523	0.0070	0.0000	-0.0097
	14	26.7199	-1.1530	-7.6952	-0.0029	0.0000	-0.0103

Elementos mecanicos de los miembros.

MEMBER END FORCES STRUCTURE TYPE = SPACE

ALL UNITS ARE -- MTON METE

MEMBER	LOAD	JT	AXIAL	SHEAR-Y	SHEAR-Z	TORSION	MOM-Y	MOM-Z
87	8	29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	29	70	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		70	-1.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	29	70	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		70	-0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	29	70	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		70	-0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	8	31	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		82	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	31	82	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		82	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

	10	31	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		82	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	31	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		82	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
178	8	109	2.44	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
		110	-2.42	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
	9	109	31.15	0.21	0.00	0.00	0.00	0.12
		110	-31.14	-0.21	0.00	0.00	0.00	0.12
	10	109	16.10	0.11	0.03	0.00	-0.03	0.06
		110	-16.09	-0.11	-0.03	0.00	-0.01	0.06
	11	109	17.25	0.12	-0.01	0.00	0.01	0.07
		110	-17.24	-0.12	0.01	0.00	0.00	0.07
199	8	113	2.64	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
		126	-2.62	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
	9	113	34.82	0.21	0.00	0.00	0.00	0.13
		126	-34.81	-0.21	0.00	0.00	0.00	0.12
	10	113	17.97	0.11	0.03	0.00	-0.03	0.07
		126	-17.96	-0.11	-0.03	0.00	-0.01	0.06
	11	113	19.17	0.12	-0.01	0.00	0.01	0.07
		126	-19.16	-0.12	0.01	0.00	0.00	0.07
236	8	148	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		140	-0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	148	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		140	-1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	148	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		140	-0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	148	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		140	-0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
238	8	140	2.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
		149	-2.12	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
	9	140	27.35	0.21	0.00	0.00	0.00	0.13
		149	-27.34	-0.21	0.00	0.00	0.00	0.12
	10	140	14.12	0.11	0.03	0.00	-0.03	0.07
		149	-14.11	-0.11	-0.03	0.00	-0.01	0.06
	11	140	15.07	0.12	-0.01	0.00	0.01	0.07
		149	-15.06	-0.12	0.01	0.00	0.00	0.07
265	8	153	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		160	-0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	153	3.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
		160	-3.14	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	153	1.77	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
		160	-1.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	153	1.68	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
		160	-1.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
266	8	153	1.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		104	-1.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	153	18.80	-0.02	0.00	0.00	0.00	-0.01
		104	-18.78	0.02	0.00	0.00	0.00	-0.02
	10	153	9.70	-0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
		104	-9.68	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01
	11	153	10.10	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

		104	-10.08	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01
276	8	168	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		167	-1.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	168	10.16	0.00	-0.02	0.00	0.01	0.00
		167	-10.16	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00
	10	168	4.98	0.01	-0.01	0.00	0.01	0.01
		167	-4.97	-0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
	11	168	5.57	0.00	-0.01	0.00	0.01	0.00
		167	-5.56	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
281	8	103	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		174	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	103	1.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		174	-1.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	103	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		174	-0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	103	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		174	-1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
282	8	103	1.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		175	-1.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	103	17.48	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
		175	-17.47	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.01
	10	103	9.28	-0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
		175	-9.27	0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.01
	11	103	9.27	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
		175	-9.26	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00
308	8	186	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		163	-1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	186	4.66	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
		163	-4.65	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
	10	186	2.51	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
		163	-2.50	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
	11	186	2.49	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
		163	-2.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
322	8	164	0.83	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00
		196	-0.82	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	9	164	3.38	0.00	-0.01	0.00	0.01	0.00
		196	-3.38	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	10	164	1.99	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00
		196	-1.99	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	11	164	1.70	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00
		196	-1.70	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
381	8	87	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		207	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	87	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		207	-0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	87	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		207	-0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	87	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		207	-0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
384	8	9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		206	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

	9	9	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		206	-0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	9	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		206	-0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	9	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		206	-0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
424	8	213	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		133	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	213	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		133	-0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	213	-0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		133	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	213	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		133	-0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
443	8	58	-0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		101	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	58	1.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		101	-1.74	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	58	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		101	-0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	58	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		101	-0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
449	8	83	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		170	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	83	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		170	-0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		170	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	83	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		170	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
464	8	184	-0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		72	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	184	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		72	-0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	184	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		72	-0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	184	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		72	-0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
513	8	81	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		162	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	81	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		162	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	81	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		162	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	81	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		162	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
526	8	84	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		221	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	84	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		221	-0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	84	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

		221	-0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	84	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		221	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
532	8	119	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		222	-0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	119	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		222	-0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	119	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		222	-0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	119	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		222	-0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
633	8	164	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		195	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	164	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		195	-0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	164	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		195	-0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	164	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		195	-0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
640	8	163	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		36	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	163	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		36	-0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	163	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		36	-0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	163	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		36	-0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Para el tercer modelo (tercera solución estructural), que corresponde a perfiles tubulares en las piernas de la torre se tiene:

Estado de esfuerzos.

STAAD-III CODE CHECKING - (AISC)

ALL UNITS ARE - MTON METE (UNLESS OTHERWISE NOTED)

MEMBER	TABLE	RESULT/ FX	CRITICAL COND/ MY	RATIO/ MZ	LOADING/ LOCATION
--------	-------	---------------	----------------------	--------------	----------------------

=====

87	ST L25 253	PASS	COMPRESSION	0.525	9
		1.20 C	0.00	0.00	0.00
110	ST L20 202	PASS	AISC- H1-3	0.045	9
		0.01 C	0.00	0.00	0.00
178	ST PIP S30	PASS	AISC- H1-1	0.274	9
		26.67 C	0.00	0.12	0.00
199	ST PIP S30	PASS	AISC- H1-1	0.304	9
		29.77 C	0.00	0.12	0.00
236	ST L25 253	PASS	COMPRESSION	0.257	9
		0.91 C	0.00	0.00	0.00
238	ST PIP S30	PASS	AISC- H1-1	0.244	9

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

			23.47 C	0.00	0.12	0.00
265	ST	L25 253	PASS	AISC- H1-1	0.633	9
			2.95 C	0.00	0.01	0.00
266	ST	PIP S25	PASS	AISC- H1-1	0.956	9
			15.97 C	0.00	0.01	2.00
276	ST	PIP S25	PASS	AISC- H1-3	0.136	9
			9.07 C	0.00	0.01	0.00
281	ST	L25 253	PASS	COMPRESSION	0.610	9
			1.39 C	0.00	0.00	0.00
282	ST	PIP S25	PASS	AISC- H1-1	0.229	9
			15.32 C	0.00	0.01	1.00
308	ST	PIP S25	PASS	AISC- H1-3	0.148	9
			4.24 C	0.00	0.01	1.53
322	ST	PIP S25	PASS	AISC- H1-3	0.046	9
			3.09 C	0.00	0.01	0.00
381	ST	L25 253	PASS	AISC- H1-3	0.057	9
			0.26 C	0.00	0.00	1.29
384	ST	L25 253	PASS	COMPRESSION	0.176	9
			0.57 C	0.00	0.00	0.00
424	ST	L25 253	PASS	AISC- H1-3	0.040	9
			0.04 C	0.00	0.00	0.00
443	ST	L25 253	PASS	AISC- H1-1	0.586	9
			1.64 C	0.00	0.00	1.80
449	ST	L25 253	PASS	AISC- H1-3	0.023	9
			0.02 C	0.00	0.00	1.80
464	ST	L20 202	PASS	AISC- H1-1	0.611	9
			0.60 C	0.00	0.00	1.80
513	ST	L20 202	PASS	AISC- H1-3	0.038	9
			0.03 C	0.00	0.00	1.40
526	ST	L25 253	PASS	AISC- H1-3	0.064	9
			0.22 C	0.00	0.00	1.04
532	ST	L25 253	PASS	COMPRESSION	0.330	9
			0.82 C	0.00	0.00	0.00
633	ST	L20 202	PASS	COMPRESSION	0.588	9
			0.67 C	0.00	0.00	0.00
640	ST	L20 202	PASS	COMPRESSION	0.609	9
			0.69 C	0.00	0.00	0.00

Peso propio de los elementos estructurales.

PROFILE	LENGTH(METE)	WEIGHT (MTON)
ST PIP S30	60.90	0.686
ST PIP S25	101.32	0.870
ST L25 253	459.58	2.102
ST L20 202	186.15	0.455
ST PIP S20	3.00	0.016
TOTAL =		4.13

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

Desplazamientos en los nodos.

JOINT DISPLACEMENT (CM		RADIANS)		STRUCTURE TYPE = SPACE			
JOINT	LOAD	X-TRANS	Y-TRANS	Z-TRANS	X-ROTAN	Y-ROTAN	Z-ROTAN
43	12	50.5580	-0.1866	-0.9000	0.0000	0.0000	-0.0197
	13	26.9968	0.5493	18.7053	0.0074	0.0000	-0.0106
	14	31.0503	-0.4911	-8.9410	-0.0034	0.0000	-0.0119
77	12	50.5590	1.7940	-0.9010	-0.0001	0.0000	-0.0198
	13	26.9973	0.8867	18.7050	0.0073	0.0000	-0.0106
	14	31.0514	1.0263	-8.9410	-0.0034	0.0000	-0.0120
199	12	50.5601	-0.1205	-0.8999	-0.0001	0.0000	-0.0197
	13	26.9989	-0.8561	18.7054	0.0074	0.0000	-0.0105
	14	31.0521	0.1843	-8.9409	-0.0034	0.0000	-0.0119
200	12	50.5590	-2.1011	-0.9031	-0.0001	0.0000	-0.0197
	13	26.9973	-1.1935	18.7030	0.0074	0.0000	-0.0105
	14	31.0515	-1.3332	-8.9428	-0.0034	0.0000	-0.0119

Elementos mecanicos.

MEMBER	LOAD	JT	AXIAL	SHEAR-Y	SHEAR-Z	TORSION	MOM-Y	MOM-Z
87	8	29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	29	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		70	-1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	29	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		70	-0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	29	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	70	-0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
110	8	31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	31	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		82	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	31	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	82	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
178	8	109	2.39	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
		110	-2.38	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
	9	109	26.67	0.20	0.00	0.00	0.00	0.12
		110	-26.66	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.11
	10	109	14.81	0.11	0.03	0.00	-0.03	0.07
		110	-14.80	-0.11	-0.03	0.00	-0.01	0.06
11	109	17.19	0.13	-0.01	0.00	0.01	0.08	
	110	-17.18	-0.13	0.01	0.00	0.00	0.07	
199	8	113	2.59	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
		126	-2.58	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
	9	113	29.77	0.20	0.00	0.00	0.00	0.12
		126	-29.76	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.11
	10	113	16.48	0.11	0.03	0.00	-0.03	0.07
		126	-16.47	-0.11	-0.03	0.00	-0.01	0.06

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

	11	113	19.12	0.13	-0.01	0.00	0.01	0.08
		126	-19.11	-0.13	0.01	0.00	0.00	0.07
236	8	148	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		140	-0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	148	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		140	-0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	148	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		140	-0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	148	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		140	-0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
238	8	140	2.10	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02
		149	-2.08	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
	9	140	23.47	0.20	0.00	0.00	0.00	0.12
		149	-23.46	-0.20	0.00	0.00	0.00	0.11
	10	140	13.04	0.11	0.03	0.00	-0.03	0.07
		149	-13.03	-0.11	-0.03	0.00	-0.01	0.06
	11	140	14.99	0.13	-0.01	0.00	0.01	0.08
		149	-14.98	-0.13	0.01	0.00	0.00	0.07
265	8	153	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		160	-0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	153	2.95	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
		160	-2.95	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	153	1.88	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
		160	-1.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	153	1.79	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
		160	-1.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
266	8	153	1.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		104	-1.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	153	15.97	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
		104	-15.96	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01
	10	153	8.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		104	-8.86	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01
	11	153	9.85	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
		104	-9.84	0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01
276	8	168	1.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		167	-1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	168	9.07	0.00	-0.02	0.00	0.01	0.00
		167	-9.07	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00
	10	168	4.80	0.01	-0.01	0.00	0.01	0.00
		167	-4.80	-0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
	11	168	5.57	0.00	-0.01	0.00	0.01	0.00
		167	-5.56	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
281	8	103	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		174	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	103	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		174	-1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	103	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		174	-0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	103	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		174	-1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
282	8	103	1.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

		175	-1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	103	15.32	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
		175	-15.31	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00
	10	103	8.75	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
		175	-8.75	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.01
	11	103	9.26	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
		175	-9.25	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00
308	8	186	1.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		163	-1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	186	4.24	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
		163	-4.23	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
	10	186	2.46	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
		163	-2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	11	186	2.49	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
		163	-2.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
322	8	164	0.83	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00
		196	-0.82	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	9	164	3.09	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00
		196	-3.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	10	164	1.95	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00
		196	-1.95	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	11	164	1.70	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00
		196	-1.70	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
381	8	87	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		207	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	87	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		207	-0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	87	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		207	-0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	87	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		207	-0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
384	8	9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		206	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	9	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		206	-0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	9	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		206	-0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	9	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		206	-0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
424	8	213	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		133	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	213	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		133	-0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	213	-0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		133	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	213	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		133	-0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
443	8	58	-0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		101	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	58	1.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		101	-1.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

	10	58	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		101	-0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	58	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		101	-1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
449	8	83	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		170	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	83	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		170	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		170	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	83	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		170	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
464	8	184	-0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		72	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	184	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		72	-0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	184	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		72	-0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	184	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		72	-0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
513	8	81	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		162	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	81	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		162	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	81	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		162	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	81	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		162	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
526	8	84	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		221	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	84	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		221	-0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	84	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		221	-0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	84	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		221	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
532	8	119	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		222	-0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	119	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		222	-0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	119	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		222	-0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	119	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		222	-0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
533	8	222	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		113	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	222	-0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		113	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	222	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		113	-0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	222	-0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

		113	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
633	8	164	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		195	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	164	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		195	-0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	164	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		195	-0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	164	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		195	-0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
640	8	163	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		36	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	163	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		36	-0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10	163	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		36	-0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11	163	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		36	-0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Estos archivos de resultados son como ya se dijo de los elementos más esforzados de cada tramo de la torre, en cada uno de los ocho tramos se identificaron tres elementos, que corresponden a los miembros estructurales piernas, montante, diagonal y montante horizontal, respectivamente. Estos miembros se identifican en las figuras No. V a V.1

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

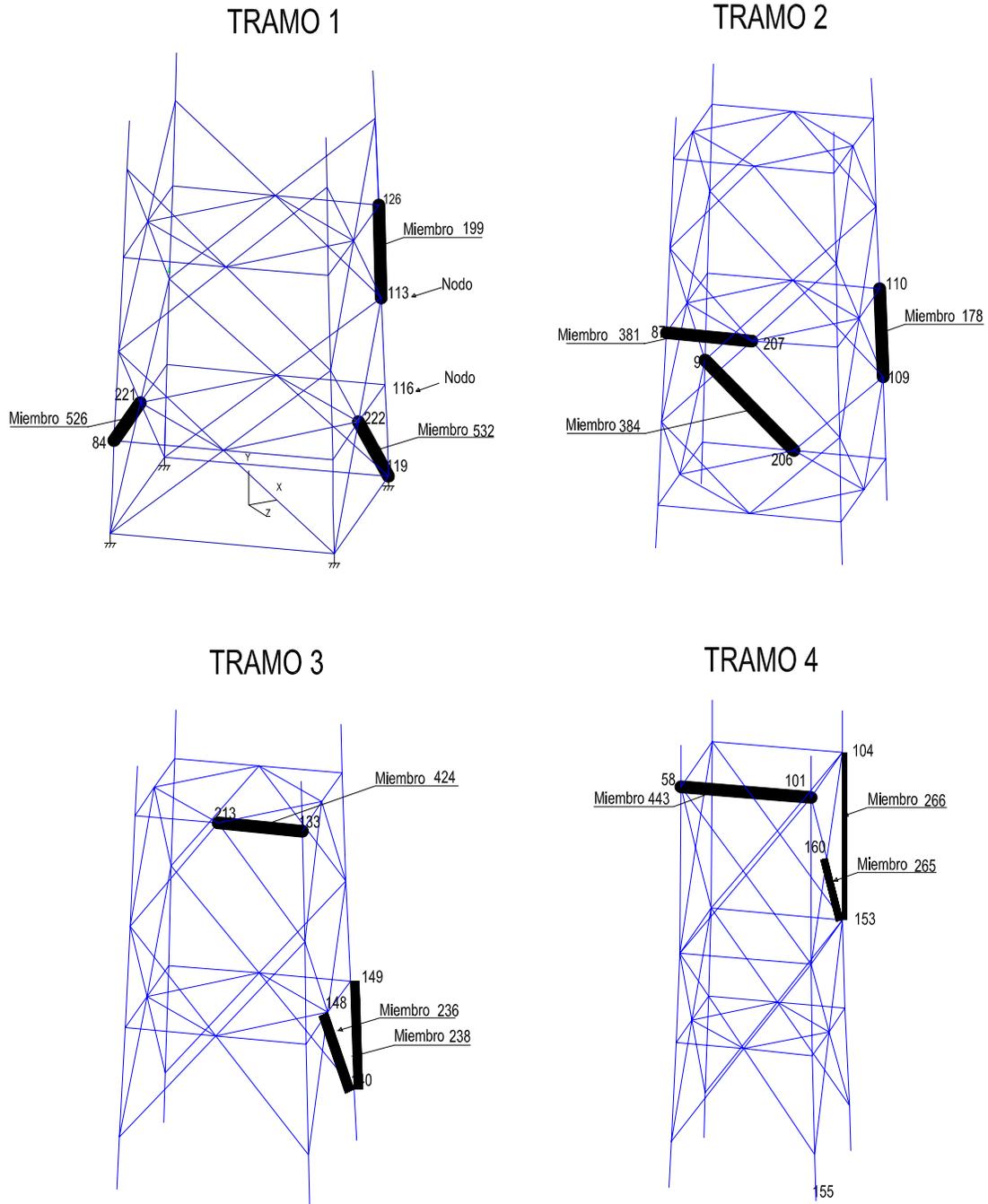


Figura No. V Elementos más esforzados tramos 1 al 4 de los tres modelos

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

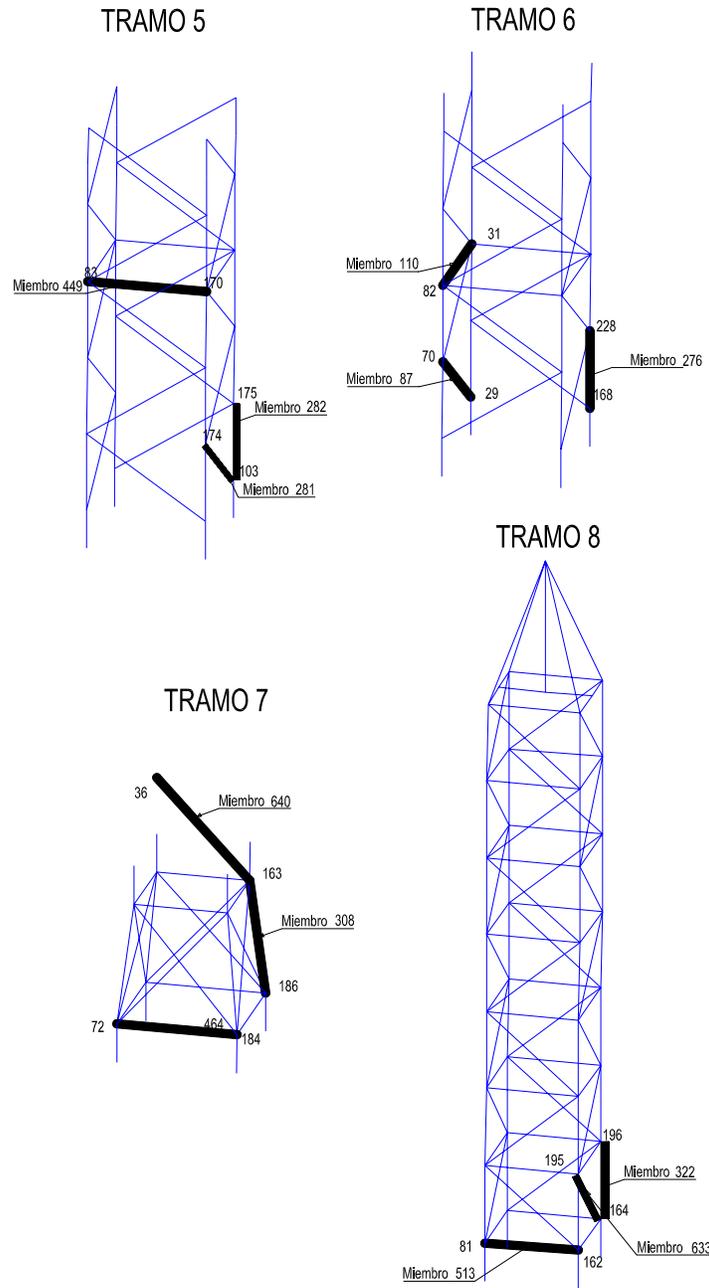


Figura No. V.1 Elementos más esforzados tramos 5 al 8 de los tres modelos.

Estos archivos de salida se traducen en las siguientes tablas que a continuación se presentan. para las tres modelos en estudio.

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

Tabla No. V Miembros mas esforzados de cada tramo para el modelo 1 (solución 1) que corresponde a perfiles de sección angular en las piernas de la torre.

STAAD-III CODE CHECKING - (AISC)						
ALL UNITS ARE - MTON METE (UNLESS OTHERWISE NOTED)						
TRAMO	MEMBER	TABLE	RESULT/ FX	CRITICAL COND/ MY	RATIO/ MZ	LOADING/ LOCATION
PIERNAS						
1	199	ST L40 407	PASS 35.01 C	AISC- H1-1 0	0.602 0.06	9 0
2	178	ST L40 407	PASS 31.36 C	AISC- H1-1 0	0.54 0.06	9 1.16
3	238	ST L40 407	PASS 27.62 C	AISC- H1-1 0	0.485 0.06	9 0
4	266	ST L40 407	PASS 19.79 C	AISC- H1-1 0.01	0.951 -0.01	9 2
5	282	ST L40 406	PASS 17.50 C	AISC- H1-1 -0.01	0.301 -0.01	9 1
6	276	ST L40 406	PASS 10.17 C	AISC- H1-1 0.02	0.177 0	9 0
7	308	ST L30 303	PASS 4.49 C	AISC- H1-1 0.01	0.652 0	9 0
8	322	ST L30 303	PASS 3.37 C	AISC- H1-1 0.01	0.351 0	9 0
MONT DIAGONALES						
1	532	ST L25 253	PASS 0.93 C	COMPRESSION 0	0.375 0	9 0
2	384	ST L25 253	PASS 0.78 C	COMPRESSION 0	0.241 0	9 0
3	236	ST L25 253	PASS 0.83 C	COMPRESSION 0	0.232 0	9 0
4	265	ST L25 253	PASS 2.51 C	AISC- H1-1 0	0.512 0	9 0
5	281	ST L25 253	PASS 1.65 C	COMPRESSION 0	0.72 0	9 0
6	87	ST L25 253	PASS 1.39 C	COMPRESSION 0	0.608 0	9 0
7	640	ST L20 202	PASS 0.78 C	COMPRESSION 0	0.686 0	9 0
8	633	ST L20 202	PASS 0.74 C	COMPRESSION 0	0.656 0	9 0
MONT HORIZONTALES						
1	526	ST L25 253	PASS 0.12 C	AISC- H1-3 0	0.039 0	9 0.91
2	381	ST L25 253	PASS 0.17 C	AISC- H1-3 0	0.037 0	9 1.29
3	424	ST L25 253	PASS 0.13 C	AISC- H1-3 0	0.034 0	9 0
4	443	ST L25 253	PASS 1.34 C	AISC- H1-1 0	0.486 0	9 1.8
5	449	ST L25 253	PASS 0.02 C	AISC- H1-3 0	0.027 0	9 1.8
6	110	ST L20 202	PASS 0.02 C	AISC- H1-3 0	0.047 0	9 0
7	464	ST L20 202	PASS 0.67 C	AISC- H1-1 0	0.68 0	9 1.8
8	513	ST L20 202	PASS 0.04 C	AISC- H1-3 0	0.052 0	9 1.4

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

Tabla No. V.1 Miembros mas esforzados de cada tramo para el modelo 2 (solución 2) que corresponde a perfiles de sección cajon PTR en las piernas de la torre.

STAAD-III CODE CHECKING - (AISC)						
ALL UNITS ARE - MTON METE (UNLESS OTHERWISE NOTED)						
TRAMO	MEMBER	TABLE	RESULT/ FX	CRITICAL COND/ MY	RATIO/ MZ	LOADING/ LOCATION
PIERNAS						
1	199	ST TUB 30304	PASS 34.82 C	AISC- H1-1 0	0.336 0.13	9 0
2	178	ST TUB 30304	PASS 31.15 C	AISC- H1-1 0	0.302 0.12	9 0
3	238	ST TUB 30304	PASS 27.35 C	AISC- H1-1 0	0.268 0.13	9 0
4	266	ST TUB 30303	PASS 18.80 C	AISC- H1-1 0	0.662 -0.02	9 2
5	282	ST TUB 30303	PASS 17.48 C	AISC- H1-1 -0.01	0.154 -0.01	9 1
6	276	ST TUB 30303	PASS 10.16 C	AISC- H1-3 0.01	0.089 0	9 0
7	308	ST TUB 25253	PASS 4.66 C	AISC- H1-1 0	0.178 0.01	9 1.53
8	322	ST TUB 25253	PASS 3.38 C	AISC- H1-3 0.01	0.055 0	9 0
MONT DIAGONALES						
1	532	ST L25 253	PASS 0.96 C	COMPRESSION 0	0.385 0	9 0
2	384	ST L25 253	PASS 0.70 C	COMPRESSION 0	0.215 0	9 0
3	236	ST L25 253	PASS 1.02 C	COMPRESSION 0	0.285 0	9 0
4	265	ST L25 253	PASS 3.14 C	AISC- H1-1 0	0.675 0.01	9 0
5	281	ST L25 253	PASS 1.64 C	COMPRESSION 0	0.718 0	9 0
6	87	ST L25 253	PASS 1.39 C	COMPRESSION 0	0.606 0	9 0
7	640	ST L20 202	PASS 0.77 C	COMPRESSION 0	0.682 0	9 0
8	633	ST L20 202	PASS 0.74 C	COMPRESSION 0	0.653 0	9 0
MONT HORIZONTALES						
1	526	ST L25 253	PASS 0.23 C	AISC- H1-3 0	0.068 0	9 1.04
2	381	ST L25 253	PASS 0.28 C	AISC- H1-3 0	0.061 0	9 1.29
3	424	ST L25 253	PASS 0.06 C	AISC- H1-3 0	0.041 0	9 0
4	443	ST L25 253	PASS 1.74 C	AISC- H1-1 0	0.628 0	9 1.8
5	449	ST L25 253	PASS 0.03 C	AISC- H1-3 0	0.029 0	9 1.8
6	110	ST L20 202	PASS 0.02 C	AISC- H1-3 0	0.05 0	9 0
7	464	ST L20 202	PASS 0.68 C	AISC- H1-1 0	0.691 0	9 1.8
8	513	ST L20 202	PASS 0.03 C	AISC- H1-3 0	0.043 0	9 1.4

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

Tabla No. V.2 Miembros mas esforzados de cada tramo para el modelo 3 (solución 3), que corresponde a perfiles de sección tubular en las piernas de la torre.

STAAD-III CODE CHECKING - (AISC)						
ALL UNITS ARE - MTON METE (UNLESS OTHERWISE NOTED)						
TRAMO	MEMBER	TABLE	RESULT/ FX	CRITICAL COND/ MY	RATIO/ MZ	LOADING/ LOCATION
PIERNAS						
1	199	ST PIP S30	PASS 29.77 C	AISC- H1-1 0	0.304 0.12	9 0
2	178	ST PIP S30	PASS 26.67 C	AISC- H1-1 0	0.274 0.12	9 0
3	238	ST PIP S30	PASS 23.47 C	AISC- H1-1 0	0.244 0.12	9 0
4	266	ST PIP S25	PASS 15.97 C	AISC- H1-1 0	0.956 0.01	9 2
5	282	ST PIP S25	PASS 15.32 C	AISC- H1-1 0	0.229 0.01	9 1
6	276	ST PIP S25	PASS 9.07 C	AISC- H1-3 0	0.136 0.01	9 0
7	308	ST PIP S25	PASS 4.24 C	AISC- H1-3 0	0.148 0.01	9 1.53
8	322	ST PIP S25	PASS 3.09 C	AISC- H1-3 0	0.046 0.01	9 0
MONT DIAGONALES						
1	532	ST L25 253	PASS 0.82 C	COMPRESSION 0	0.33 0	9 0
2	384	ST L25 253	PASS 0.57 C	COMPRESSION 0	0.176 0	9 0
3	236	ST L25 253	PASS 0.91 C	COMPRESSION 0	0.257 0	9 0
4	265	ST L25 253	PASS 2.95 C	AISC- H1-1 0	0.633 0.01	9 0
5	281	ST L25 253	PASS 1.39 C	COMPRESSION 0	0.61 0	9 0
6	87	ST L25 253	PASS 1.20 C	COMPRESSION 0	0.525 0	9 0
7	640	ST L20 202	PASS 0.69 C	COMPRESSION 0	0.609 0	9 0
8	633	ST L20 202	PASS 0.67 C	COMPRESSION 0	0.588 0	9 0
MONT HORIZONTALES						
1	526	ST L25 253	PASS 0.22 C	AISC- H1-3 0	0.064 0	9 1.04
2	381	ST L25 253	PASS 0.26 C	AISC- H1-3 0	0.057 0	9 1.29
3	424	ST L25 253	PASS 0.04 C	AISC- H1-3 0	0.04 0	9 0
4	443	ST L25 253	PASS 1.64 C	AISC- H1-1 0	0.586 0	9 1.8
5	449	ST L25 253	PASS 0.02 C	AISC- H1-3 0	0.023 0	9 1.8
6	110	ST L20 202	PASS 0.01 C	AISC- H1-3 0	0.045 0	9 0
7	464	ST L20 202	PASS 0.60 C	AISC- H1-1 0	0.611 0	9 1.8
8	513	ST L20 202	PASS 0.03 C	AISC- H1-3 0	0.038 0	9 1.4

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

La explicación de las tablas se hace a continuación, la columna 1 es el tramo correspondiente de la torre, la columna 2 corresponde a los elementos estructurales mas esforzados de cada tramo piernas, montantes diagonales y montantes horizontales, la columna 3 corresponde a la sección transversal del perfil estructural, la columna 4 presenta el resultado del análisis y la fuerza axial resultante.

La columna 5 hace referencia al manual del AISC, que se refiere a las siguientes expresiones.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}) F_{by}} \leq 1.0 \quad \text{Si } f_a/F_a > 0.15 \text{-----ec. (H1-1)}$$

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad \text{Si } f_a/F_a > 0.15 \text{-----ec. (H1-2)}$$

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad \text{Si } f_a/F_a \leq 0.15 \text{-----ec (H1-3)}$$

Mismas que aparecen en manual del Instituto Mexicano De La Construcción en Acero (I.M.C.A).

En donde:

La columna 6 se refiere a la relación de esfuerzos determinada mediante las expresiones del manual del AISC. Y finalmente la columna 7 se refiere a la longitud del elemento estructural en donde se encuentra la sección mas esforzada, y a la combinación de carga mas desfavorable para el elemento estructural, recordemos que la combinación 9 se trata de Peso propio+Carga muerta+ Viento en la dirección X).

Se considera una reducción de las fuerzas actuantes al 75% por tratarse de una combinación de carga accidental, para compararse fácilmente con el 100% permitido.

V.- DISEÑO ESTRUCTURAL.

La tabla siguiente resume los perfiles que resultaron óptimos en cada uno de los modelos.

**Tabla No. V.3 Resultado final de diseño para los tres casos.
Secciones de perfiles estructurales en los miembros de la torre.**

Tramo	Elemento	SOL. 1	SOL. 2	SOL. 3
		Seccion	Seccion	Seccion
		in x in	in x in	in x in
1	Piernas	LI 4 x 7/16	OR 3. x 0.25	OC3.5 x0.216
	mont diag	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16
	mont horz int	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16
	mont horz ext	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16
2	Piernas	LI 4 x 7/16	OR 3. x 0.25	OC3.5 x0.216
	mont diag	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16
	mont horz int	LI 2 x 1/8	LI 2 x 1/8	LI 2 x 1/8
	mont horz ext	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16
3	Piernas	LI 4 x 7/16	OR 3. x 0.25	OC3.5 x0.216
	mont diag	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16
	mont horz int	LI 2 x 1/8	LI 2 x 1/8	LI 2 x 1/8
	mont horz ext	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16
4	Piernas	LI 4 x 7/16	OR 3. x 0.1875	OC2.875x0.203
	mont diag	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16
	mont horz int	LI 2 x 1/8	LI 2 x 1/8	LI 2 x 1/8
	mont horz ext	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16
5	Piernas	LI 4 x 3/8	OR 3 x 0.188	OC2.875x0.203
	mont diag	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16
	mont horz int			
	mont horz ext	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16
6	Piernas	LI 4 x 3/8	OR 3 x 0.188	OC2.875x0.203
	mont diag	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16	LI 2 1/2 x 3/16
	mont horz int			
	mont horz ext	LI 2 x 1/8	LI 2 x 1/8	LI 2 x 1/8
7	Piernas	LI 3 x3/16	OR 2.5 x 0.188	OC2.875x0.203
	mont diag	LI 2 x1/8	LI 2 x1/8	LI 2 x1/8
	mont horz int			
	mont horz ext	LI 2 x1/8	LI 2 x1/8	LI 2 x1/8
8	Piernas	LI 3 x3/16	OR 2.5 x 0.188	OC2.875x0.203
	mont diag	LI 2 x1/8	LI 2 x1/8	LI 2 x1/8
	mont horz int			
	mont horz ext	LI 2 x1/8	LI 2 x1/8	LI 2 x1/8

VI.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los requisitos de servicio están relacionados principalmente con la rigidez de la estructura y de sus miembros

La función de un sistema estructural es la de absorber las sollicitaciones de las acciones externas que se derivan del funcionamiento de la misma, la estructura debe soportar estas acciones las cuales le inducen deformaciones, desplazamientos y a veces daños, todo esto representa la respuesta de dicha estructura ante dichas acciones. Para que la estructura cumpla con las funciones para las cuales está siendo diseñada, es necesario que dicha respuesta se mantenga dentro de ciertos límites admisibles para que no afecten su buen funcionamiento ni su estabilidad. Debe por lo tanto definirse cuáles son los límites admisibles de la respuesta, estos por lo regular dependen del tipo de construcción y de su destino y están definidos para las estructuras más comunes en los códigos de diseño.

Se considerará como estado límite de servicio la ocurrencia de desplazamientos, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten el correcto funcionamiento de la edificación, pero que no perjudiquen su capacidad para soportar cargas.

VI.1.- Revisión de desplazamientos

El parámetro que debe limitarse en cuanto a torres de telecomunicaciones, es el ángulo de giro en la punta de la torre, dependiendo de la distancia a la que se encuentran las fuentes de las señales que tienen que transmitirse y recibirse, los desplazamientos laterales en este tipo de estructuras están sujetos a restricciones más severas que las planteadas para las estructuras comunes, ya que los movimientos laterales debidos al viento, producen desviaciones angulares en las antenas que pueden dar lugar a pérdidas de señal.

Telefónica Móviles México.(TMM) establece que para el correcto funcionamiento de las antenas la deflexión en la punta de la torre debe ser menor a 1° , si nos apoyamos de la figura No. VI, se tiene lo siguiente.

$D_p = H \tan(\theta)$ donde H es la altura total de la torre y θ es la deflexión, si evaluamos esta expresión se tiene lo siguiente..

$$D_p = 4000 \times \tan(1^{\circ}) = 69.82 \text{ cm.}$$

Telcel establece que la oscilación máxima debe ser de 0.75° procediendo similarmente y evaluando se tiene.

$$D_p = 4000 \times \tan(0.75^{\circ}) = 52.36 \text{ cm.}$$

De estos dos resultados se tomara $D_p = 52.36 \text{ cm.}$ Por ser la condición más crítica y por ser la más favorable para el correcto funcionamiento de las antenas.

VI.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

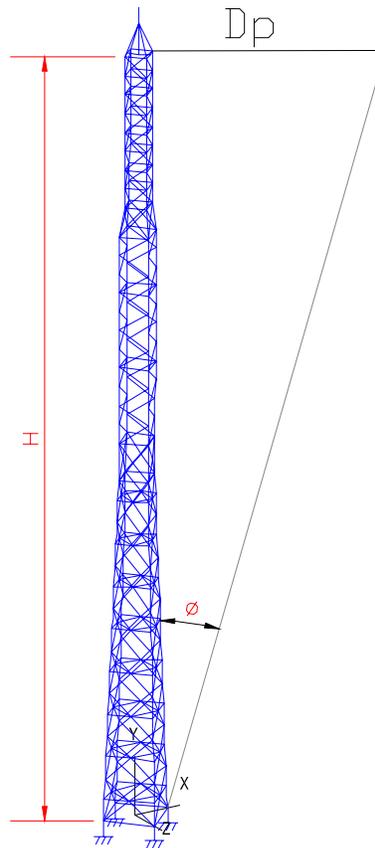


Figura No. VI Obtención de la deflexión permisible.

Del archivo de resultados, se obtiene la tabla No. VI, podemos decir que los tres casos presentan valores razonables, El desplazamiento máximo es de 38.126 cm, 50.60 cm y 50.558 cm en el modelo 1, 2 y 3 respectivamente, debidos a la combinación de carga No. 12 que corresponde a (peso propio + Carga muerta + Viento sobre una esquina) 1.0

Estos valores se encuentran por debajo del límite considerado como criterio de evaluación para no esperar un mal funcionamiento de las antenas, estos resultados también se presentan de manera esquemática en la figura No. VI.1

Tabla No. VI Desplazamientos en el nodo más desfavorable de los tres modelos (de las tres soluciones)

Solución	Combinación De carga	nodo	Desplazamiento cm.
Piernas sección angular	12	199	38.126
Piernas sección cajón	12	199	50.60
Piernas Sección tubular	12	199	50.558

VI.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

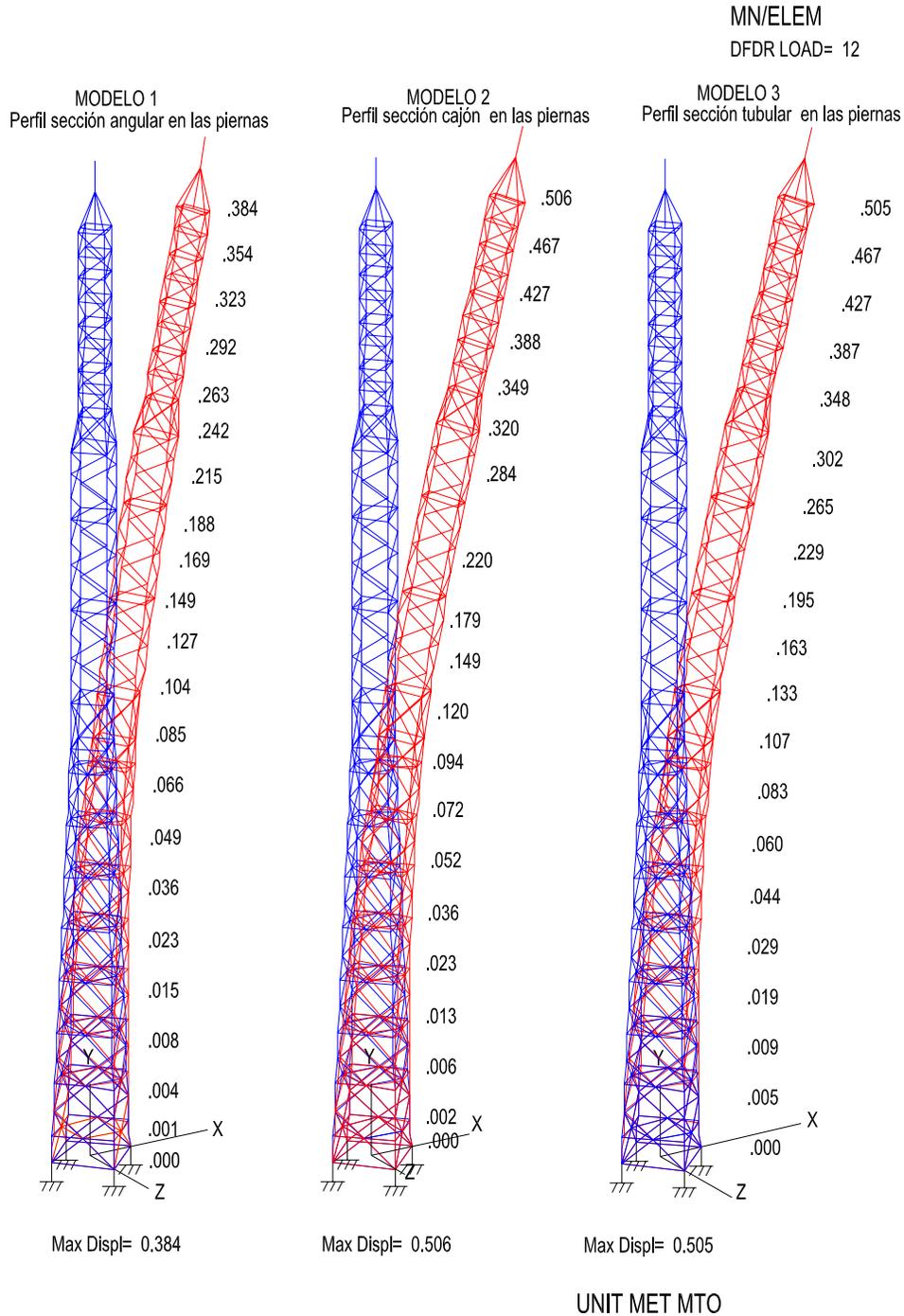


Figura No. VI.1 Desplazamientos máximos para las tres modelos, debido a la condición de carga más desfavorable, combinación de carga No. 12

VI.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

VI.2.- Revisión de estado de esfuerzos

El criterio de revisión como ya se menciono será el de esfuerzos permisibles, el cual esta basado en la suposición de un comportamiento elástico lineal del material, de modo que los esfuerzos actuantes se determinan con una teoría elástica

Se considerará como estado limite de falla cualquier situación que corresponda al agotamiento de la capacidad de carga de la estructura o de cualesquiera de sus componentes, o al hecho de que ocurran daños irreversibles que afecten significativamente la resistencia ante nuevas aplicaciones de carga.

En los tres casos para determinar la condición de falla en los elementos estructurales se utilizan las ecuaciones de interacción de esfuerzos H1-1, H1-3, mencionadas anteriormente y contenidas en el Manual del AISC.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{ex}}\right) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{ey}}\right) F_{by}} \leq 1.0 \quad \text{Si } f_a/F_a > 0.15 \text{-----ec. (H1-1)}$$

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad \text{Si } f_a/F_a > 0.15 \text{-----ec. (H1-2)}$$

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad \text{Si } f_a/F_a \leq 0.15 \text{-----ec (H1-3)}$$

La presente especificación del AISC señala que los miembros sujetos a una combinación de esfuerzos por carga axial de compresión y por flexión (flexocompresión) deben proporcionarse para cumplir con las exigencias de las tres expresiones anteriores

Cuando la relación f_a / F_a sea mayor que 0.15 entonces se puede cumplir con la ecuación H1-1 y H1-2

Cuando f_a / F_a sea menor igual a 0.15 entonces se puede cumplir con la ecuación H1-3

Cuando la flexión ocurra alrededor de un solo eje entonces debe eliminarse de la formula el correspondiente termino inexistente.

En la expresión H1-1 el termino $(1 - f_a / F_e)$ es el factor de amplificación cuya finalidad es tomar en cuenta el momento adicional ocasionado por la flexión lateral.

VI.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

f_a es el esfuerzo de compresión, igual a la carga axial entre el área. ($f_a = P/A$)
 F_a es el esfuerzo de compresión axial permisible, y se obtiene con la formula siguiente.

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(kl/r)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(kl/r)}{8C_c} - \frac{(kl/r)^3}{8C_c^3}} \quad \text{si } 0 \leq \frac{kl}{r} \leq C_c \quad \text{----- ec. (VI.2)}$$

$$F_a = \frac{12\pi E}{23(kl/r)^2} \quad \text{si } C_c < \frac{kl}{r} < 200 \quad \text{----- ec.(VI.2.1)}$$

Donde
 kl/r es la relación de esbeltez.

El AISC considera que el limite superior del pandeo elástico queda definido por un esfuerzo promedio igual al 50% del limite de fluencia ($F_y / 2$). Cuando se iguala este esfuerzo con la expresión de Euler, el valor de la relación de esbeltez, en este límite puede determinarse y se le denomina C_c y es la relación de esbeltez que divide el pandeo elástico del inelástico y se determina como sigue:

$$C_c = \sqrt{\frac{\pi^2 \times E}{0.5 \times F_y}} \quad \text{----- ec (VI.2.2)}$$

Para relaciones de esbeltez menores que C_c se utiliza la formula de tipo parabólico ecuación VI.2, esta representa la resistencia última de un miembro axialmente cargado afectado por un factor de seguridad. En esta expresión k es el factor que multiplica a la longitud libre del miembro para dar su longitud efectiva estimada.

Para valores de la relación de esbeltez mayores que C_c se utiliza la formula de Euler, con un factor de seguridad de (23/12) ecuación (VI.2.1)

El denominador de la ecuación VI.2 es el factor de seguridad y da valores no mayores que los usados por miembros sujetos a tensión, cargados axialmente, a medida que los miembros son más esbeltos, se vuelven más sensibles y el factor de seguridad debe incrementarse hasta en un 15%, se advierte que los miembros de longitud mediana son aquellos en que los esfuerzos residuales y pandeos iniciales resultan importantes. La expresión del factor de seguridad corresponde a un cuarto de onda senoidal, que vale 5/3 cuando kl/r es cero, y llega hasta 23/12 cuando kl/r es C_c .

VI.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

f_b es el esfuerzo de flexión en la dirección x ó y según se a el caso, y se valora como el momento flexionante dividido por el modulo de sección correspondiente al elemento en revisión, ($f_b = M/S$)

F_b es el esfuerzo de flexión permisible en la dirección x ó y según corresponda.

$$F_e' = \frac{12\pi^2 E}{23(kl / r)^2} \quad \text{Es el esfuerzo de Euler dividido entre un factor de seguridad en la}$$

Que l es la longitud no arriostrada, en el plano de flexión, r es el correspondiente radio de giro y k es el factor de longitud efectiva en el plano de flexión, este valor puede incrementarse en 33% cuando se evalué para cargas de viento y sismo.

Para ciertas condiciones dependiendo de la relación de esbeltez $k l / r$ y los valores de la carga axial y del momento flexionante la formula H1-1 resulta conservadora y debe afectarse por un factor C_m de modificación o reducción este factor se aplica al termino de flexión y depende de la curvatura del miembro causada por los momentos aplicados en este y cuyo valor será.

- 1) para miembros en compresión con marcos sujetos a desplazamiento lateral, $C_m = 0.85$
- 2) Para miembros en compresión con extremos restringidos, en marcos arriostrados contra desplazamiento lateral y no sujetos a carga transversal entre sus apoyos en el plano de flexión, $C_m = 0.6 - 0.4M_1/M_2$, pero no menor de 0.4.

Al aplicar lo descrito anteriormente con los datos arrojados por la corrida del programa de análisis (elementos mecánicos), se presenta la siguiente tabla comparando los esfuerzos en los tres modelos.

VI.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla No. VI.1 Esfuerzos en los elementos más desfavorables de los tres modelos (de las tres soluciones)

TRAMO	MEMBER	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3
		PIERNAS DE SECCIÓN ANGULAR	PIERNAS DE SECCIÓN CAJÓN	PIERNAS DE SECCIÓN TUBULAR
		RATIO/	RATIO/	RATIO/
		MZ	MZ	MZ
PIERNAS				
1	199	0.602	0.336	0.304
2	178	0.54	0.302	0.274
3	238	0.485	0.268	0.244
4	266	0.951	0.662	0.956
5	282	0.301	0.154	0.229
6	276	0.177	0.089	0.136
7	308	0.652	0.178	0.148
8	322	0.351	0.055	0.046
MONT DIAGONALES				
1	532	0.375	0.385	0.33
2	384	0.241	0.215	0.176
3	236	0.232	0.285	0.257
4	265	0.512	0.675	0.633
5	281	0.72	0.718	0.61
6	87	0.608	0.606	0.525
7	640	0.686	0.682	0.609
8	633	0.656	0.653	0.588
MONT HORIZONTALES				
1	526	0.039	0.068	0.064
2	381	0.037	0.061	0.057
3	424	0.034	0.041	0.04
4	443	0.486	0.628	0.586
5	449	0.027	0.029	0.023
6	110	0.047	0.05	0.045
7	464	0.68	0.691	0.611
8	513	0.052	0.043	0.038

Para los tres modelos el miembro más esforzado se encuentra en el tramo 4 que corresponde a las piernas con un esfuerzo de trabajo del 95 %, 66% y 95.6% de su capacidad, para el modelo 1, 2 y 3 respectivamente.

Por lo que todos los perfiles se encuentran dentro de los Esfuerzos Permisibles Indicados en la especificación del AISC.

VI.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

VI.3.- Costos

Los factores que determinan la construcción de una estructura se resumen en: costo de la materia prima y costo de la mano de obra, Un diseño racional en acero se basa en una amplia disponibilidad de perfiles estructurales en el mercado, el proyectista debe siempre procurar abatir los costos de construcción sin reducir la resistencia, algunas ideas que permiten hacerlo son la utilización de elementos idénticos o utilizar secciones estándar (con esto se reduce el costo de fabricación y se cometen menos errores), también haciendo un detallado simple de conexiones y previendo un mantenimiento sencillo.

Una comparación de costo puede hacerse fácilmente, a partir de los pesos obtenidos en los tres modelos en estudio, (en la tabla No. VI.2) Como puede observarse el modelo 1 fue el que resulto más pesado con un peso de 4.78 ton, el modelo 2 con el 9.4% menos que el modelo 1 y el modelo 3 fue el que resulto más ligero con el 13.6% menos que el modelo 1. Por lo tanto el modelo 3 (piernas de sección tubular) sería la solución más económica.

Tabla No.VI.2 Pesos obtenidos para los tres modelos.

<i>solución</i>	<i>Peso ton</i>
<i>1</i>	<i>4.78</i>
<i>2</i>	<i>4.33</i>
<i>3</i>	<i>4.13</i>

VII.- CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes que se derivan de este estudio son las siguientes:

- En general el diseño de estructuras de este tipo queda regido por la condición de carga que incluye viento y no por sismo, y son estas las que influyen de manera muy importante en el comportamiento de la estructura.
- Es muy importante definir y estimar las cargas del empuje del viento sobre la estructura, por lo que se debe tener mucho cuidado en la interpretación de los criterios que aparecen en los manuales. Las especificaciones de diseño de estructuras no se han desarrollado para restringir al ingeniero sino para proteger al usuario de estas. No todo se encuentra en los reglamentos así que sin impactar los códigos o especificaciones empleados, la responsabilidad final de la estructura recae en el ingeniero estructurista.
- Respecto a las antenas parabólicas se debe contar con información certificada y completa del proveedor para de esta manera asegurar que se incluirán las cargas de diseño apropiadas.
- Ante la estimación de la magnitud de las fuerzas debidas al flujo del viento que actúan sobre la torre, es de vital importancia contar con información suficiente de las características del lugar donde se construirá la estructura, ya que la falta de información adecuada puede conducir a diseños conservadores o a diseños escasos desde el punto de vista de seguridad estructural.
- En cuanto a los pesos de la estructura se puede observar de la tabla VI.2 que el modelo 3 (piernas de sección tubular) pesa 650 kg menos que el modelo 1 (piernas de sección angular), esto se traduce en un ahorro considerable en cuanto al costo de la estructura dado que estas estructuras se producen en serie. Sin embargo tendría que tomarse en cuenta una vez construidas estas estructuras, el mantenimiento respectivo para cada una de ellas, por ejemplo sería más difícil identificar el ataque de la corrosión en una sección cerrada (casos 2 y 3) al de una abierta (caso 1).
- El comportamiento para el criterio de Estado de servicio (Desplazamientos y deformaciones) obtenida con los perfiles estructurales utilizados en el diseño es satisfactorio para los tres modelos ya que ninguno rebasa el máximo permitido de 52.36 cm. De los desplazamientos reportados en la tabla No. VI se observa que la torre 1 (de perfiles angulares en las piernas) se desplaza mucho menos que los modelos 2 (de perfiles de sección cajón en las piernas) y modelo 3 (perfiles de sección tubular en las piernas), esto podría indicarnos que es la mejor solución, sin embargo al revisar su estado de esfuerzos podemos constatar que algunos miembros

VII.- CONCLUSIONES

Están muy cercanos al límite permisible de esfuerzos, lo que llevaría a la torre a una falla por resistencia.

- En cuanto a esfuerzos al analizar las tablas No. VI.1 comparando los miembros más esforzados en cada tramo, en el caso 1 (piernas de perfiles de sección angular) se obtuvo una relación de esfuerzos actuante a esfuerzo permisible que oscila entre el 17 al 95% en los perfiles de las piernas, por lo que esta solución fue la que resulto la mas esforzada, mientras que en el caso 2 y 3 obtenemos esfuerzos de aproximadamente la mitad del caso 1 en los tramos 1 al 3 , solo en el tramo 4 los esfuerzos de los casos 1 y 3 son similares, mientras que en el caso 2 el esfuerzo es 43% menor. En los tramos del 5 al 8 los esfuerzos de los casos 2 y 3 son aproximadamente similares y menores que en el caso 1. Esto se debe a que desde el punto de vista esencialmente estructural, es bien sabido que un perfil tubular ya sea rectangular o circular (casos 2 y 3). debido a la forma de su sección transversal y a la favorable distribución del material de la misma se comporta mejor que un perfil abierto (caso 1) cuando se encuentra sometido principalmente a compresión. Esta diferencia notable en cuanto a esfuerzos de trabajo entre los casos 1 y 3, también se debe a que, la superficie de proyección de un perfil de sección circular expuesta al viento en distintos ángulos de incidencia de este, siempre es la misma, mientras que para una sección angular existe variación.
- De acuerdo a los resultados obtenidos se estiman razonables y adecuados los comportamientos de los modelos de las tres soluciones estructurales. Sin embargo el caso 3 (piernas de sección tubular), es más eficiente ya que como se menciono sus miembros resultaron con una baja relación de esfuerzos, a pesar de que se tiene un perfil en las piernas con propiedades mecánicas menores a los perfiles de los casos 1 y 2. Por lo tanto este caso sería el que tendría una mejor respuesta ante las sollicitaciones de las acciones externas que se consideraron en ella, el caso 2 (piernas de sección cajón) seguiría en eficiencia, la diferencia muy marcada en cuanto a esfuerzos de trabajo entre los casos 1, 2 y 3 se debe a que el miembro sujeto a compresión más eficiente es aquel que tiene su radio de giro constante con respecto a cualquier eje que pase por su centroide.
- Al encontrar en nuestro entorno torres de telecomunicaciones ya construidas, con las mismas características a la desarrollada en este trabajo con perfiles de sección angular en las piernas, una de ellas se presenta en la tabla No.VII.1, y realizar una comparación con los datos finales de los perfiles estructurales del modelo 1 de la solución 1(tabla No. VII) podemos decir que éstas están sobrediseñadas, tal pareciera que el diseño estructural de éstas construcciones obedece a otros factores dejando al económico en segundo termino,

VII.- CONCLUSIONES

Podría pensarse que el origen de esto es lo rentable que son estas estructuras y que no importa el costo sino mas bien lo Indispensable que suelen ser los servicios que prestan y que por ende la inversión hecha se recupera rápidamente.

**Tabla No. VII Solución del modelo 1
 (perfiles de sección angular en las
 piernas)**

Tramo	Elemento	SOL. 1
		Sección
		in x in
1	Piernas	LI 4 x 7/16
	mont diag	LI 2 1/2 x 3/16
	mont horz int	LI 2 1/2 x 3/16
	mont horz ext	LI 2 1/2 x 3/16
2	Piernas	LI 4 x 7/16
	mont diag	LI 2 1/2 x 3/16
	mont horz int	LI 2 x 1/8
	mont horz ext	LI 2 1/2 x 3/16
3	Piernas	LI 4 x 7/16
	mont diag	LI 2 1/2 x 3/16
	mont horz int	LI 2 x 1/8
	mont horz ext	LI 2 1/2 x 3/16
4	Piernas	LI 4 x 7/16
	mont diag	LI 2 1/2 x 3/16
	mont horz int	LI 2 x 1/8
	mont horz ext	LI 2 1/2 x 3/16
5	Piernas	LI 4 x 3/8
	mont diag	LI 2 1/2 x 3/16
	mont horz int	
	mont horz ext	LI 2 1/2 x 3/16
6	Piernas	LI 4 x 3/8
	mont diag	LI 2 1/2 x 3/16
	mont horz int	
	mont horz ext	LI 2 x 1/8
7	Piernas	LI 3 x3/16
	mont diag	LI 2 x1/8
	mont horz int	
	mont horz ext	LI 2 x1/8
8	Piernas	LI 3 x3/16
	mont diag	LI 2 x1/8
	mont horz int	
	mont horz ext	LI 2 x1/8
Peso total de la estructura 4.78 ton		

**Tabla No. VII.1 Perfiles
 estructurales encontrados en una
 torre similar a la analizada de
 perfiles de sección angular**

Tramo	Elemento	Sección
		in x in
1	Piernas	LI 6 x 7/8
	mont diag	LI 3 x 5/16
	mont horz int	LI 3 x 5/16
	mont horz ext	LI 3 x 5/16
2	Piernas	LI 6 x 7/8
	mont diag	LI 3 x 5/16
	mont horz int	LI 2.5 x 5/16
	mont horz ext	LI 2.5 x 5/16
3	Piernas	LI 6 x 3/4
	mont diag	LI 3 x 5/16
	mont horz int	LI 2.5 x 5/16
	mont horz ext	LI 3 x 5/16
4	Piernas	LI 6 x 3/4
	mont diag	LI 3 x 5/16
	mont horz int	LI 2.5 x 5/16
	mont horz ext	LI 3 x 5/16
5	Piernas	LI 6 x 5/8
	mont diag	LI 3 x 5/16
	mont horz int	
	mont horz ext	LI 3 x 5/16
6	Piernas	LI 6 x 9/16
	mont diag	LI 3 x 5/16
	mont horz int	
	mont horz ext	LI 3 x 5/16
7	Piernas	LI 4 x 3/8
	mont diag	LI 3 x 5/16
	mont horz int	
	mont horz ext	LI 3 x 5/16
8	Piernas	LI 3 x 5/16
	mont diag	LI 3 x 5/16
	mont horz int	
	mont horz ext	LI 3 x 5/16
Peso total de la estructura 10.9 ton		

- La economía de la estructura está en manos del diseñador, quien debe poner en práctica todos sus conocimientos de análisis, comportamiento de los materiales y aprovechamiento optimo de los materiales disponibles en el mercado.

ANEXO 1

ANEXO 1

Listado de datos para los tres modelos.

El listado del archivo de datos para los modelos 1,2 y 3 es el mismo en cuanto a coordenadas y miembros, los modelos 1 y 2 cambian solo en la asignación de propiedades de las secciones en los miembros estructurales, mientras que el modelo 3 cambia en la asignación de propiedades de la secciones y en las condiciones de carga.

STAAD SPACE DISEÑO ESTRUCTURAL DE TORRE AUTOSOPORTADA

INPUT WIDTH 72

*ALTURA DE 40 M

*UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO.

UNIT METER MTON

JOINT COORDINATES

1 0. 0. -2.263; 2 0. 0.6 -2.23; 3 0. 1.157 -2.199; 4 0. 2.25 -2.139
5 0. 3.409 -2.075; 6 0. 4.5 -2.015; 7 0. 5.101 -1.982
8 0. 5.661 -1.951; 9 0. 6.75 -1.892; 10 0. 7.913 -1.828
11 0. 9. -1.768; 12 0. 10.166 -1.704; 13 0. 10.7 -1.674
14 0. 11.25 -1.644; 15 0. 12.419 -1.58; 16 0. 13.5 -1.52
17 0. 14.673 -1.456; 18 0. 15.201 -1.427; 19 0. 15.75 -1.397
20 0. 16.927 -1.332; 21 0. 18. -1.273; 22 0. 20. -1.273
23 0. 20.5 -1.273; 24 0. 21. -1.273; 25 0. 22. -1.273; 26 0. 23. -1.273
27 0. 24. -1.273; 28 0. 25. -1.273; 29 0. 26. -1.273; 30 0. 27. -1.273
31 0. 28. -1.273; 32 0. 29. -1.273; 33 0. 30. -1.273; 34 0. 31. -1.273
35 0. 32.5 -0.99; 36 0. 33.5 -0.99; 37 0. 34.5 -0.99; 38 0. 35.5 -0.99
39 0. 36.5 -0.99; 40 0. 37.5 -0.99; 41 0. 38.5 -0.99; 42 0. 39.5 -0.99
43 0. 40.5 -0.99; 44 -2.263 0. 0.; 46 -2.139 2.25 0.; 49 -1.892 6.75 0.
50 -0.914 7.913 -0.914; 51 -0.852 10.166 -0.852; 52 -1.644 11.25 0.
53 -0.79 12.419 -0.79; 55 -1.397 15.75 0.; 56 -0.666 16.927 -0.666
57 -0.636 19. -0.636; 58 -1.273 20. 0.; 59 -1.273 18. 0.
61 -1.52 13.5 0.; 62 -1.768 9. 0.; 63 -0.975 5.661 -0.976
64 -2.015 4.5 0.; 65 -1.037 3.409 -1.038; 67 -1.273 21. 0.
68 -1.273 23. 0.; 69 -1.273 25. 0.; 70 -1.273 27. 0.; 71 -1.273 29. 0.
72 -1.273 31. 0.; 73 -0.99 32.5 0.; 74 -0.99 34.5 0.; 75 -0.99 36.5 0.
76 -0.99 38.5 0.; 77 -0.99 40.5 0.; 78 -0.99 39.5 0.; 79 -0.99 37.5 0.
80 -0.99 35.5 0.; 81 -0.99 33.5 0.; 82 -1.273 28. 0.; 83 -1.273 24. 0.
84 -2.199 1.157 0.; 85 -2.075 3.409 0.; 86 -1.951 5.661 0.
87 -1.828 7.913 0.; 88 -1.704 10.166 0.; 89 -1.58 12.419 0.
90 -0.728 14.673 -0.728; 91 -1.456 14.673 0.; 92 -1.332 16.927 0.
93 -0.557 31.844 -0.557; 94 -2.23 0.6 0.; 95 -1.674 10.7 0.
96 -1.427 15.201 0.; 97 -1.273 20.5 0.; 98 -1.273 22. 0.
99 -1.273 26. 0.; 100 -1.273 30. 0.; 101 0. 20. 1.273
102 0. 20.5 1.273; 103 1.273 21. 0.; 104 1.273 20. 0.
105 1.273 20.5 0.; 106 0. 6.75 1.892; 107 0. 7.913 1.828
108 0.914 7.913 0.914; 109 1.892 6.75 0.; 110 1.828 7.913 0.
111 0. 1.157 2.199; 112 0. 2.25 2.139; 113 2.139 2.25 0.
116 2.199 1.157 0.; 117 0. 0. 2.263; 118 0. 0.6 2.23; 119 2.263 0. 0.
120 2.23 0.6 0.; 121 0. 3.409 2.075; 122 0. 4.5 2.015
123 1.038 3.409 1.037; 125 2.015 4.5 0.; 126 2.075 3.409 0.
127 0. 5.661 1.951; 128 0.976 5.661 0.975; 130 1.951 5.661 0.
131 1.982 5.101 0.; 132 0. 13.5 1.52; 133 0. 14.673 1.456
135 1.52 13.5 0.; 137 1.456 14.673 0.; 138 0. 10.7 1.674
139 0. 11.25 1.644; 140 1.644 11.25 0.; 141 0.852 10.166 0.852
142 1.674 10.7 0.; 143 0. 9. 1.768; 144 0. 10.166 1.704
145 1.768 9. 0.; 146 1.704 10.166 0.; 147 0. 12.419 1.58

ANEXO 1

148 0.79 12.419 0.79; 149 1.58 12.419 0.; 150 0. 16.927 1.332
151 0. 18. 1.273; 152 0.666 16.927 0.666; 153 1.273 18. 0.
154 1.332 16.927 0.; 155 0. 15.201 1.427; 156 0. 15.75 1.397
157 1.397 15.75 0.; 158 1.427 15.201 0.; 160 0.636 19. 0.636
161 0. 32.5 0.99; 162 0. 33.5 0.99; 163 0.99 32.5 0.; 164 0.99 33.5 0.
165 0. 26. 1.273; 166 0. 27. 1.273; 167 1.273 27. 0.; 168 1.273 26. 0.
169 0. 23. 1.273; 170 0. 24. 1.273; 171 1.273 23. 0.; 172 1.273 24. 0.
173 0. 21. 1.273; 174 0. 22. 1.273; 175 1.273 22. 0.; 176 0. 25. 1.273
177 1.273 25. 0.; 178 0. 29. 1.273; 179 0. 30. 1.273; 180 1.273 29. 0.
181 1.273 30. 0.; 182 0. 28. 1.273; 183 1.273 28. 0.; 184 0. 31. 1.273
185 0.557 31.844 0.557; 186 1.273 31. 0.; 187 0. 38.5 0.99
188 0. 39.5 0.99; 189 0.99 38.5 0.; 190 0.99 39.5 0.; 191 0. 35.5 0.99
192 0. 36.5 0.99; 193 0.99 36.5 0.; 194 0.99 35.5 0.; 195 0. 34.5 0.99
196 0.99 34.5 0.; 197 0. 37.5 0.99; 198 0.99 37.5 0.; 199 0. 40.5 0.99
200 0.99 40.5 0.; 201 -1.1 1.157 1.1; 202 -1.038 3.409 1.038
203 1.1 1.157 -1.1; 204 1.038 3.409 -1.038; 205 -0.976 5.661 0.976
206 0.976 5.661 -0.976; 207 -0.914 7.901 0.914; 208 0.914 7.913 -0.914
209 0.852 10.166 -0.852; 210 -0.852 10.166 0.852; 211 -0.79 12.419 0.79
212 0.79 12.419 -0.79; 213 -0.728 14.673 0.728; 214 0.728 14.673 -0.728
215 -0.666 16.927 0.666; 216 0.666 16.927 -0.666; 217 0.636 19. -0.636
218 -0.636 19. 0.636; 219 -0.557 31.844 0.557; 220 0.557 31.844 -0.557
221 -1.099 1.157 -1.099; 222 1.099 1.157 1.099; 223 0.728 14.673 0.728
224 -1.983 5.101 0.; 225 0. 5.101 1.983; 226 -1.273 25.5 0.
227 0. 25.5 -1.273; 228 1.273 25.5 0.; 229 0. 25.5 1.273
230 0. 30.5 1.273; 231 -1.273 30.5 0.; 232 0. 30.5 -1.273
233 1.273 30.5 0.; 238 -0.99 33. 0.; 239 0. 33. -0.99; 240 0.99 33. 0.
241 0. 33. 0.99; 242 -0.495 40.5 -0.49; 243 0.495 40.5 0.495
244 0. 40.5 0.; 245 0. 42.2 0.; 246 0. 43.5 0.

MEMBER INCIDENCES

1 1 2; 2 2 3; 3 3 4; 4 4 5; 5 5 6; 6 6 7; 7 7 8; 8 8 9; 9 9 10
10 10 11; 11 11 12; 12 12 13; 13 13 14; 14 14 15; 15 15 16; 16 16 17
17 17 18; 18 18 19; 19 19 20; 20 20 21; 21 21 22; 22 22 23; 23 23 24
24 24 25; 25 25 26; 26 26 27; 27 27 28; 28 28 29; 29 29 30; 30 30 31
31 31 32; 32 32 33; 33 33 34; 34 34 35; 35 35 36; 36 36 37; 37 37 38
38 38 39; 39 39 40; 40 40 41; 41 41 42; 42 42 43; 43 43 44; 44 44 45
45 45 46; 46 46 47; 47 47 48; 48 48 49; 49 49 50; 50 50 51
51 51 52; 52 51 51; 53 51 52; 54 52 53; 55 53 16; 58 55 56; 59 56 21
60 21 57; 61 57 58; 62 22 57; 63 57 59; 64 59 56; 65 56 19; 68 61 53
69 53 14; 70 14 51; 71 51 62; 72 62 50; 73 50 9; 80 22 58; 81 22 67
82 67 25; 83 25 68; 84 68 27; 85 27 69; 86 69 29; 87 29 70; 88 70 31
89 31 71; 90 71 33; 91 33 72; 100 43 242; 101 42 78; 102 41 76
103 40 79; 104 39 75; 105 38 80; 106 37 74; 107 36 81; 108 35 73
109 34 72; 110 31 82; 111 27 83; 114 5 65; 115 65 85; 116 8 63
117 63 86; 118 10 50; 119 50 87; 120 12 51; 121 51 88; 122 15 53
123 53 89; 124 17 90; 125 90 91; 126 20 56; 127 56 92; 128 21 59
129 93 34; 130 72 93; 131 44 94; 132 94 84; 133 84 46; 134 46 85
135 85 64; 136 64 224; 137 86 49; 138 49 87; 139 87 62; 140 62 88
141 88 95; 142 95 52; 143 52 89; 144 89 61; 145 61 91; 146 91 96
147 96 55; 148 55 92; 149 92 59; 150 59 58; 151 58 97; 152 97 67
153 67 98; 154 98 68; 155 68 83; 156 83 69; 157 69 226; 158 99 70
159 70 82; 160 82 71; 161 71 100; 162 100 231; 163 72 73; 164 73 238
165 81 74; 166 74 80; 167 80 75; 168 75 79; 169 79 76; 170 76 78
171 78 77; 172 101 102; 173 101 103; 174 104 105; 175 106 107
176 108 109; 177 106 108; 178 109 110; 179 111 112; 182 116 113
183 117 118; 186 119 120; 187 119 117; 188 118 111; 191 120 116
192 121 122; 195 126 125; 196 112 121; 199 113 126; 200 123 121
201 126 123; 202 127 106; 205 130 109; 206 122 225; 209 131 130
210 125 131; 211 128 127; 212 130 128; 213 132 133; 216 135 137

ANEXO 1

217 138 139; 218 140 141; 219 141 139; 220 142 140; 221 143 144
222 141 143; 223 145 141; 224 145 146; 225 107 143; 226 143 108
227 108 145; 228 110 145; 229 108 107; 230 110 108; 231 144 138
232 141 144; 233 146 141; 234 146 142; 235 139 147; 236 148 140
237 139 148; 238 140 149; 239 147 132; 240 132 148; 241 148 135
242 149 135; 243 148 147; 244 149 148; 245 150 151; 246 151 152
247 152 153; 248 154 153; 249 155 156; 252 158 157; 253 133 155
254 137 158; 257 156 150; 258 152 157; 259 156 152; 260 157 154
261 152 150; 262 154 152; 263 151 101; 264 160 151; 265 153 160
266 153 104; 267 153 151; 268 104 160; 269 160 101; 270 104 101
271 161 241; 273 163 240; 274 165 166; 275 165 167; 276 168 167
277 169 170; 278 171 170; 279 171 172; 280 173 174; 281 103 174
282 103 175; 283 102 173; 284 105 103; 285 174 169; 286 174 171
287 175 171; 288 170 176; 289 170 177; 290 172 177; 291 170 172
292 176 229; 293 177 165; 294 177 228; 295 178 179; 296 180 179
297 180 181; 298 182 178; 299 182 180; 300 183 180; 301 166 182
302 167 182; 303 167 183; 304 182 183; 305 184 161; 306 185 184
307 186 185; 308 186 163; 309 179 230; 310 179 186; 311 181 233
312 184 186; 313 161 163; 314 187 188; 316 189 190; 317 191 192
319 194 193; 320 162 195; 322 164 196; 323 162 164; 324 195 191
326 196 194; 327 195 196; 328 191 194; 329 197 187; 331 198 189
332 192 197; 334 193 198; 335 192 193; 336 197 198; 337 187 189
338 188 199; 340 190 200; 341 188 190; 342 199 243; 343 44 117
344 1 119; 345 44 201; 346 201 112; 347 112 202; 348 202 46; 349 46 201
350 201 117; 351 119 203; 352 203 1; 353 4 203; 354 203 113; 355 3 203
356 203 116; 357 84 201; 358 201 111; 359 4 204; 360 204 113; 361 5 204
362 204 126; 363 85 202; 364 202 121; 365 202 64; 366 202 122
367 204 125; 368 204 6; 369 64 205; 370 205 122; 371 125 206; 372 206 6
373 8 206; 374 206 130; 375 86 205; 376 205 127; 377 205 49; 378 49 207
379 207 106; 380 106 205; 381 87 207; 382 207 107; 383 208 9; 384 9 206
385 206 109; 386 109 208; 387 10 208; 388 208 110; 389 11 208
390 208 145; 391 145 209; 392 209 11; 393 207 143; 394 143 210
395 210 62; 396 62 207; 397 12 209; 398 209 146; 399 88 210
400 210 144; 401 210 139; 402 139 211; 403 211 52; 404 52 210
405 209 14; 406 14 212; 407 212 140; 408 140 209; 409 15 212
410 212 149; 411 89 211; 412 211 147; 413 61 211; 414 211 132
415 132 213; 416 213 61; 417 16 212; 418 212 135; 419 135 214
420 214 16; 421 17 214; 422 214 137; 423 91 213; 424 213 133
425 55 213; 426 213 156; 427 156 215; 428 215 55; 429 19 214
430 214 157; 431 157 216; 432 216 19; 433 20 216; 434 216 154
435 92 215; 436 215 150; 437 59 151; 438 21 153; 439 151 215
440 215 59; 441 153 216; 442 216 21; 443 58 101; 444 22 104; 445 21 217
446 217 153; 447 218 151; 448 218 59; 449 83 170; 450 27 172
451 82 182; 452 31 183; 453 58 173; 454 173 98; 455 98 169; 456 169 83
457 83 176; 458 176 99; 459 99 166; 460 166 82; 461 82 178; 462 178 100
463 100 184; 464 184 72; 465 72 219; 466 161 73; 467 219 184
468 104 24; 469 24 175; 470 175 26; 471 26 172; 472 172 28; 473 28 168
474 168 30; 475 30 183; 476 183 32; 477 32 181; 478 181 34; 479 34 186
480 186 220; 481 35 163; 482 220 34; 483 217 22; 484 217 104
485 218 101; 486 58 218; 487 93 35; 488 93 73; 489 219 161; 490 219 73
491 185 161; 492 185 163; 493 220 163; 494 220 35; 511 43 200
512 77 199; 513 81 162; 514 164 36; 515 37 196; 516 74 195; 517 80 191
518 194 38; 519 75 192; 520 79 197; 521 198 40; 522 76 187; 523 189 41
524 78 188; 525 190 42; 526 84 221; 527 111 222; 528 221 3; 529 222 116
530 117 222; 531 222 112; 532 119 222; 533 222 113; 534 44 221
535 221 46; 536 1 221; 537 221 4; 538 46 65; 539 65 64; 540 4 65
541 65 6; 542 112 123; 543 123 122; 544 113 123; 545 123 125; 546 64 63

ANEXO 1

547 63 49; 548 6 63; 549 63 9; 550 122 128; 551 128 106; 552 125 128
553 128 109; 554 221 203; 555 203 222; 556 222 201; 557 201 221
558 65 204; 559 204 123; 560 123 202; 561 202 65; 562 63 206
563 206 128; 564 128 205; 565 205 63; 566 50 208; 567 208 108
568 108 207; 569 207 50; 570 51 209; 571 209 141; 572 141 210
573 210 51; 574 211 53; 575 53 212; 576 212 148; 577 148 211
578 133 223; 579 223 137; 580 61 90; 581 90 55; 582 16 90; 583 90 19
584 132 223; 585 223 156; 586 135 223; 587 223 157; 588 90 214
589 214 223; 590 223 213; 591 213 90; 592 56 216; 593 216 152
594 152 215; 595 215 56; 596 193 39; 597 224 86; 598 225 127
599 226 99; 600 227 29; 601 228 168; 602 229 165; 603 230 184
604 231 72; 605 232 34; 606 233 186; 619 238 81; 620 239 36
621 240 164; 622 241 162; 624 73 162; 625 162 74; 626 74 191
627 191 75; 628 75 197; 629 197 76; 630 76 188; 631 188 77; 632 161 164
633 164 195; 634 195 194; 635 194 192; 636 192 198; 637 198 187
638 187 190; 639 190 199; 640 163 36; 641 36 196; 642 196 38
643 38 193; 644 193 40; 645 40 189; 646 189 42; 647 42 200; 648 35 81
649 81 37; 650 37 80; 651 80 39; 652 39 79; 653 79 41; 654 41 78
655 78 43; 656 242 77; 657 243 200; 658 242 244; 659 244 243
660 244 245; 661 245 246; 662 200 245; 663 245 199; 664 77 245
665 245 43

PARA EL MODELO 1

MEMBER PROPERTY AMERICAN

*** TRAMO 1 ***

** PIERNAS

1 TO 6 131 TO 136 179 182 183 186 188 191 192 195 196 199 206 -
210 TABLE ST L40407

***MONT DIAG.

345 TO 354 359 360 365 TO 372 530 TO 546 548 550 552 TABLE ST L25253

**MONT HORIZ. EXT.

43 114 115 187 200 201 343 344 355 TO 358 361 TO 364 526 TO 528 -
529 TABLE ST L25253

**MONT HORIZ. INT.

554 TO 561 TABLE ST L25253

*** TRAMO 2 ***

** PIERNAS

7 TO 12 137 TO 141 175 178 202 205 209 221 224 225 228 231 234 597 -
598 TABLE ST L40407

** CELOSIA

50 TO 53 70 TO 73 176 177 218 219 222 223 226 227 377 TO 380 -
383 TO 386 389 TO 396 401 404 405 408 547 549 551 553 TABLE ST L25253

** DIAFRAGMA EXTERIOR

116 TO 121 211 212 229 230 232 233 373 TO 376 381 382 387 388 -
397 TO 400 TABLE ST L25253

** DIAFRAGMA INTERIOR

562 TO 573 TABLE ST L25253

*** TRAMO 3 ***

** PIERNAS

13 TO 17 142 TO 146 213 216 217 220 235 238 239 242 253 -
254 TABLE ST L40407

**CELOSIA

54 55 68 69 236 237 240 241 402 403 406 407 413 TO 420 425 426 429 -
430 580 TO 587 TABLE ST L25253

** DIAFRAGMA EXTERIOR

122 TO 125 243 244 409 TO 412 421 TO 424 578 579 TABLE ST L25253

** DIAFRAGMA INTERIOR

ANEXO 1

***MONT DIAG.
345 TO 354 359 360 365 TO 372 530 TO 546 548 550 552 TABLE ST L25253
**MONT HORIZ. EXT.
43 114 115 187 200 201 343 344 355 TO 358 361 TO 364 526 TO 528 -
529 TABLE ST L25253
**MONT HORIZ. INT.
554 TO 561 TABLE ST L25253
*** TRAMO 2 ***
** PIERNAS
7 TO 12 137 TO 141 175 178 202 205 209 221 224 225 228 231 234 597 -
598 TABLE ST TUB30304
** CELOSIA
50 TO 53 70 TO 73 176 177 218 219 222 223 226 227 377 TO 380 -
383 TO 386 389 TO 396 401 404 405 408 547 549 551 553 TABLE ST L25253
** DIAFRAGMA EXTERIOR
116 TO 121 211 212 229 230 232 233 373 TO 376 381 382 387 388 -
397 TO 400 TABLE ST L25253
** DIAFRAGMA INTERIOR
562 TO 573 TABLE ST L25253
*** TRAMO 3 ***
** PIERNAS
13 TO 17 142 TO 146 213 216 217 220 235 238 239 242 253 -
254 TABLE ST TUB30304
**CELOSIA
54 55 68 69 236 237 240 241 402 403 406 407 413 TO 420 425 426 429 -
430 580 TO 587 TABLE ST L25253
** DIAFRAGMA EXTERIOR
122 TO 125 243 244 409 TO 412 421 TO 424 578 579 TABLE ST L25253
** DIAFRAGMA INTERIOR
574 TO 577 588 TO 591 TABLE ST L25253
*** TRAMO 4***
** PIERNAS
18 TO 22 147 TO 151 172 174 245 248 249 252 257 260 263 -
266 TABLE ST TUB30303
** CELOSIA
58 TO 65 81 173 246 247 258 259 264 265 268 269 427 428 431 432 -
439 TO 442 445 TO 448 453 468 483 TO 486 TABLE ST L25253
** DIAFRAGMA EXTERIOR
80 126 TO 128 261 262 267 270 433 TO 438 443 444 TABLE ST L25253
** DIAFRAGMA INTERIOR
592 TO 595 TABLE ST L25253
*** TRAMO 5 ***
** PIERNAS
23 TO 28 152 TO 157 277 279 280 282 TO 285 287 288 290 292 -
294 TABLE ST TUB30303
** MONT DIAG.
82 TO 86 278 281 286 289 293 454 TO 458 469 TO 473 TABLE ST L25253
** MONT HORIZ. EXT.
111 291 449 450 TABLE ST L25253
*** TRAMO 6 ***
** PIERNAS
29 TO 33 158 TO 162 274 276 295 297 298 300 301 303 309 311 -
599 TO 602 TABLE ST TUB30303
** MONT DIAG.
87 TO 91 275 296 299 302 310 459 TO 463 474 TO 478 TABLE ST L25253
**MONT HORIZ EXT.
110 304 451 452 TABLE ST L20202

ANEXO 1

*** TRAMO 7 ***

** PIERNAS

34 35 163 164 271 273 305 308 603 TO 606 TABLE ST TUB25253

** MONT DIAG.

129 130 306 307 465 467 480 482 487 TO 494 624 632 640 -

648 TABLE ST L20202

** DIAFRAGMA

108 109 312 313 464 466 479 481 TABLE ST L20202

*** TRAMO 8

** PIERNAS

36 TO 42 165 TO 171 314 316 317 319 320 322 324 326 329 331 332 334 -

338 340 619 TO 622 TABLE ST TUB25253

** MONT DIAG.

625 TO 631 633 TO 639 641 TO 647 649 TO 655 TABLE ST L20202

**MONT HORZ. EXT.

100 TO 107 323 327 328 335 TO 337 341 342 TABLE ST L20202

511 TO 525 596 656 657 TABLE ST L20202

** PARARRAYOS

658 659 662 TO 665 TABLE ST L20202

660 661 TABLE ST PIPS20

CONSTANT

E STEEL ALL

DENSITY STEEL ALL

POISSON STEEL ALL

BETA 270. MEMB 21 TO 33 35 TO 42 600 605 620

SUPPORT

1 44 117 119 FIXED

MEMBER TRUSS

50 TO 55 59 64 65 68 TO 73 81 TO 91 173 176 177 218 219 222 223 226 -

227 236 237 240 241 246 247 258 259 275 278 281 286 289 293 296 299 -

302 310 345 TO 354 359 360 365 TO 372 377 TO 380 383 TO 386 -

389 TO 396 401 TO 408 413 TO 420 426 427 429 TO 432 439 TO 442 -

453 TO 463 468 TO 478 530 TO 553 580 582 TO 587 624 TO 655

LOAD 1 FRECUENCIA NATURAL

*PESO PROPIO

SELFWEIGHT X 1.

*CARGA MUERTA

JOINT LOAD

*****TRAMO 8*****

*ESCALERA + CGO

77 79 81 162 197 199 FX 0.038

*ANTENAS PARABOLICAS 0.6M DIAMETRO H= 40M

43 77 199 200 FX 0.038

*ANTENAS CELULARES H= 39M

41 42 76 78 187 TO 190 FX 0.045

*PLATAFORMA DE TRABAJO H=38.5M

41 76 187 189 FX 0.086

*PLATAFORMA DE TRABAJO H=33.5M

36 81 162 164 FX 0.086

*****TRAMO 7*****

*ESCALERA + CGO

72 184 FX 0.038

*ANTENAS PARABOLICAS 0.9M DIAMETRO H= 30M

33 100 179 181 FX 0.053

ANEXO 1

*****TRAMO 6*****
*ESCALERA + CGO
82 182 FX 0.075
*****TRAMO 5*****
*ESCALERA + CGO
83 170 FX 0.075
*PLATAFORMA DE DESCANSO H=24M
27 83 170 172 FX 0.086
*****TRAMO 4*****
*ESCALERA + CGO
58 101 FX 0.08
*PLATAFORMA DE DESCANCO H=16.9M
20 92 150 154 FX 0.086
*****TRAMO 3*****
*ESCALERA + CGO
89 147 FX 0.068
*****TRAMO 2*****
*ESCALERA + CGO
86 127 FX 0.084
*PLATAFORMA DE DESCANSO H= 7.90M
10 87 107 110 FX 0.086
*****TRAMO 1*****
*ESCALERA + CGO
84 111 FX 0.075
CALCULATE NATURAL FREQUENCY
LOAD 2 PESO PROPIO PP
SELFWEIGHT Y -1.
LOAD 3 CARGA MUERTA C.M
JOINT LOAD
*****TRAMO 8*****
*ESCALERA + CGO
77 79 81 162 197 199 FY -0.038
*ANTENAS PARABOLICAS 0.6M DIAMETRO H= 40M
43 77 199 200 FY -0.038
*ANTENAS CELULARES H= 39M
41 42 76 78 187 TO 190 FY -0.045
*PLATAFORMA DE TRABAJO H=38.5M
41 76 187 189 FY -0.086
*PLATAFORMA DE TRABAJO H=33.5M
36 81 162 164 FY -0.086
*****TRAMO 7*****
*ESCALERA + CGO
72 184 FY -0.038
*ANTENAS PARABOLICAS 0.9M DIAMETRO H= 30M
33 100 179 181 FY -0.053
*****TRAMO 6*****
*ESCALERA + CGO
82 182 FY -0.075
*****TRAMO 5*****
*ESCALERA + CGO
83 170 FY -0.075
*PLATAFORMA DE DESCANSO H=24M
27 83 170 172 FY -0.086
*****TRAMO 4*****
*ESCALERA + CGO
58 101 FY -0.08
*PLATAFORMA DE DESCANCO H=16.9M

ANEXO 1

20 92 150 154 FY -0.086
*****TRAMO 3*****
*ESCALERA + CGO
89 147 FY -0.068
*****TRAMO 2*****
*ESCALERA + CGO
86 127 FY -0.084
*PLATAFORMA DE DESCANSO H= 7.90M
10 87 107 110 FY -0.086
*****TRAMO 1*****
*ESCALERA + CGO
84 111 FY -0.075
LOAD 4 CARGA VIVA CV
JOINT LOAD
*PLATAFORMA DE TRABAJO H=38.5M
41 76 187 189 FY -0.498
*PLATAFORMA DE TRABAJO H=33.5M
36 81 162 164 FY -0.498
*****VIENTO SOBRE UNA ESQUINA*****
LOAD 5 VIENTO X VX
JOINT LOAD
****TRAMO 8
36 TO 43 74 TO 81 162 164 187 TO 200 FX 0.065
*ANTENAS MICROONDAS H=40M
43 77 199 200 FX 0.038 FZ -0.01
43 77 199 200 MX 0.012
*ANTENAS CELULARES H=39M
41 42 76 78 187 TO 190 FX 0.024
****TRAMO 7
34 35 72 73 161 163 184 186 FX 0.084
*ANTENAS MICROONDAS H=30M
32 33 71 100 178 TO 181 FX 0.038 FZ -0.01
32 33 71 100 178 TO 181 MX 0.012
****TRAMO 6
29 TO 33 70 71 82 99 100 165 TO 168 178 TO 183 FX 0.064
****TRAMO 5
24 TO 28 67 TO 69 83 98 103 169 TO 177 FX 0.038
****TRAMO 4
19 TO 22 55 58 59 92 101 104 150 151 153 154 156 157 FX 0.072
****TRAMO 3
14 TO 17 52 61 89 91 132 133 135 137 139 140 147 149 FX 0.054
***TRAMO 2
8 TO 12 49 62 86 TO 88 106 107 109 110 127 130 143 TO 146 FX 0.064
***TRAMO 1
3 TO 6 46 64 84 85 111 TO 113 116 121 122 125 126 FX 0.047
*****VIENTO SOB RE UNA CARA*****
LOAD 6 VIENTO XZ
JOINT LOAD
****TRAMO 8
36 TO 43 74 TO 81 162 164 187 TO 200 FX 0.024 FZ 0.024
*ANTENAS MICROONDAS H=40M
43 77 199 200 FX 0.038 FZ -0.01
43 77 199 200 MX 0.012
*ANTENAS CELULARES H=39M
41 42 76 78 187 TO 190 FX 0.024
****TRAMO 7
34 35 72 73 161 163 184 186 FX 0.034 FZ 0.034

ANEXO 1

*ANTENAS MICROONDAS H=30M
32 33 71 100 178 TO 181 FX 0.038 FZ -0.01
32 33 71 100 178 TO 181 MX 0.012
****TRAMO 6
29 TO 33 70 71 82 99 100 165 TO 168 178 TO 183 FX 0.034
29 TO 33 70 71 82 99 100 165 TO 168 178 TO 183 FZ 0.034
****TRAMO 5
24 TO 28 67 TO 69 83 98 103 169 TO 177 FX 0.021 FZ 0.021
****TRAMO 4
19 TO 22 55 58 59 92 101 104 150 151 153 154 156 157 FX 0.032
19 TO 22 55 58 59 92 101 104 150 151 153 154 156 157 FZ 0.032
****TRAMO 3
14 TO 17 52 61 89 91 132 133 135 137 139 140 147 149 FX 0.025
14 TO 17 52 61 89 91 132 133 135 137 139 140 147 149 FZ 0.025
***TRAMO 2
8 TO 12 49 62 86 TO 88 106 107 109 110 127 130 143 TO 146 FX 0.031
8 TO 12 49 62 86 TO 88 106 107 109 110 127 130 143 TO 146 FZ 0.031
***TRAMO 1
3 TO 6 46 64 84 85 111 TO 113 116 121 122 125 126 FX 0.023 FZ 0.023
SISMO 100%XX
SISMO 30%ZZ
LOAD 7 SISMO
JOINT LOAD
****TRAMO 8
36 TO 43 74 TO 81 162 164 187 TO 200 FX 0.053 FZ -0.016
****TRAMO 7
34 35 72 73 161 163 184 186 FX 0.050 FZ -0.015
****TRAMO 6
29 TO 33 70 71 82 99 100 165 TO 168 FX 0.033 FZ -0.01
178 TO 183 FX 0.033 FZ -0.01
****TRAMO 5
24 TO 28 67 TO 69 83 98 103 169 TO 177 FX 0.032 FZ -0.0096
****TRAMO 4
19 TO 22 55 58 59 92 101 104 150 FX 0.046 FZ -0.0138
151 153 154 156 157 FX 0.046 FZ -0.0138
****TRAMO 3
14 TO 17 52 61 89 91 132 133 135 FX 0.027 FZ -0.0072
137 139 140 147 149 FX 0.027 FZ -0.008
***TRAMO 2
8 TO 12 49 62 86 TO 88 106 107 FX 0.024 FZ -0.007
109 110 127 130 143 TO 146 FX 0.022 FZ -0.007
***TRAMO 1
3 TO 6 46 64 84 85 111 TO 113 FX 0.009 FZ -0.003
116 121 122 125 126 FX 0.009 FZ -0.003
LOAD COMB 8 (PP+CM+CV) 1.0
2 1. 3 1. 4 1.
LOAD COMB 9 (PP+CM+VIENTO X) 0.75
2 0.75 3 0.75 5 0.75
LOAD COMB 10 (PP+CM+VIENTO XZ)0.75
2 0.75 3 0.75 6 0.75
LOAD COMB 11 (PP+CM+SISMO) 0.75
2 0.75 3 0.75 7 0.75
PERFORM ANALYSIS
PARAMETER
CODE AISC
RATIO 1. ALL
BEAM 1. ALL

ANEXO 1

FYLD 3.515E7 ALL
LOAD LIST 8 TO 11
CHECK CODE ALL
STEEL TAKE OFF
PRINT ANALYSIS RESULTS
FINISH

LISTADO DE DATOS PARA EL MODELO 3

MEMBER PROPERTY AMERICAN

*** TRAMO 1 ***

** PIERNAS

1 TO 6 131 TO 136 179 182 183 186 188 191 192 195 196 199 206 -
210 TABLE ST PIPS30

***MONT DIAG.

345 TO 354 359 360 365 TO 372 530 TO 546 548 550 552 TABLE ST L25253

***MONT HORIZ. EXT.

43 114 115 187 200 201 343 344 355 TO 358 361 TO 364 526 TO 528 -
529 TABLE ST L25253

***MONT HORIZ. INT.

554 TO 561 TABLE ST L25253

*** TRAMO 2 ***

** PIERNAS

7 TO 12 137 TO 141 175 178 202 205 209 221 224 225 228 231 234 597 -
598 TABLE ST PIPS30

** CELOSIA

50 TO 53 70 TO 73 176 177 218 219 222 223 226 227 377 TO 380 -
383 TO 386 389 TO 396 401 404 405 408 547 549 551 553 TABLE ST L25253

** DIAFRAGMA EXTERIOR

116 TO 121 211 212 229 230 232 233 373 TO 376 381 382 387 388 -
397 TO 400 TABLE ST L25253

** DIAFRAGMA INTERIOR

562 TO 573 TABLE ST L25253

*** TRAMO 3 ***

** PIERNAS

13 TO 17 142 TO 146 213 216 217 220 235 238 239 242 253 -
254 TABLE ST PIPS30

**CELOSIA

54 55 68 69 236 237 240 241 402 403 406 407 413 TO 420 425 426 429 -
430 580 TO 587 TABLE ST L25253

** DIAFRAGMA EXTERIOR

122 TO 125 243 244 409 TO 412 421 TO 424 578 579 TABLE ST L25253

** DIAFRAGMA INTERIOR

574 TO 577 588 TO 591 TABLE ST L25253

*** TRAMO 4***

** PIERNAS

18 TO 22 147 TO 151 172 174 245 248 249 252 257 260 263 -
266 TABLE ST PIPS25

** CELOSIA

58 TO 65 81 173 246 247 258 259 264 265 268 269 427 428 431 432 -
439 TO 442 445 TO 448 453 468 483 TO 486 TABLE ST L25253

** DIAFRAGMA EXTERIOR

80 126 TO 128 261 262 267 270 433 TO 438 443 444 TABLE ST L25253

** DIAFRAGMA INTERIOR

ANEXO 1

592 TO 595 TABLE ST L25253
*** TRAMO 5 ***
** PIERNAS
23 TO 28 152 TO 157 277 279 280 282 TO 285 287 288 290 292 -
294 TABLE ST PIPS25
** MONT DIAG.
82 TO 86 278 281 286 289 293 454 TO 458 469 TO 473 TABLE ST L25253
** MONT HORIZ. EXT.
111 291 449 450 TABLE ST L25253
*** TRAMO 6 ***
** PIERNAS
29 TO 33 158 TO 162 274 276 295 297 298 300 301 303 309 311 -
599 TO 602 TABLE ST PIPS25
** MONT DIAG.
87 TO 91 275 296 299 302 310 459 TO 463 474 TO 478 TABLE ST L25253
**MONT HORIZ EXT.
110 304 451 452 TABLE ST L20202
*** TRAMO 7 ***
** PIERNAS
34 35 163 164 271 273 305 308 603 TO 606 TABLE ST PIPS25
** MONT DIAG.
129 130 306 307 465 467 480 482 487 TO 494 624 632 640 -
648 TABLE ST L20202
** DIAFRAGMA
108 109 312 313 464 466 479 481 TABLE ST L20202
*** TRAMO 8
** PIERNAS
36 TO 42 165 TO 171 314 316 317 319 320 322 324 326 329 331 332 334 -
338 340 619 TO 622 TABLE ST PIPS25
** MONT DIAG.
625 TO 631 633 TO 639 641 TO 647 649 TO 655 TABLE ST L20202
**MONT HORIZ. EXT.
100 TO 107 323 327 328 335 TO 337 341 342 TABLE ST L20202
511 TO 525 596 656 657 TABLE ST L20202
** PARARRAYOS
658 659 662 TO 665 TABLE ST L20202
660 661 TABLE ST PIPS20

CONSTANT
E STEEL ALL
DENSITY STEEL ALL
POISSON STEEL ALL
BETA 270. MEMB 21 TO 33 35 TO 42 600 605 620
SUPPORT
1 44 117 119 FIXED

MEMBER TRUSS
50 TO 55 59 64 65 68 TO 73 81 TO 91 173 176 177 218 219 222 223 226 -
227 236 237 240 241 246 247 258 259 275 278 281 286 289 293 296 299 -
302 310 345 TO 354 359 360 365 TO 372 377 TO 380 383 TO 386 -
389 TO 396 401 TO 408 413 TO 420 426 427 429 TO 432 439 TO 442 -
453 TO 463 468 TO 478 530 TO 553 580 582 TO 587 624 TO 655
*PESO PROPIO
SELFWEIGHT X 1.
*CARGA MUERTA

JOINT LOAD
*****TRAMO 8*****

ANEXO 1

*ESCALERA + CGO
77 79 81 162 197 199 FX 0.038
*ANTENAS PARABOLICAS 0.6M DIAMETRO H= 40M
43 77 199 200 FX 0.038
*ANTENAS CELULARES H= 39M
41 42 76 78 187 TO 190 FX 0.045
*PLATAFORMA DE TRABAJO H=38.5M
41 76 187 189 FX 0.086
*PLATAFORMA DE TRABAJO H=33.5M
36 81 162 164 FX 0.086
*****TRAMO 7*****
*ESCALERA + CGO
72 184 FX 0.038
*ANTENAS PARABOLICAS 0.9M DIAMETRO H= 30M
33 100 179 181 FX 0.053
*****TRAMO 6*****
*ESCALERA + CGO
82 182 FX 0.075
*****TRAMO 5*****
*ESCALERA + CGO
83 170 FX 0.075
*PLATAFORMA DE DESCANSO H=24M
27 83 170 172 FX 0.086
*****TRAMO 4*****
*ESCALERA + CGO
58 101 FX 0.08
*PLATAFORMA DE DESCANCO H=16.9M
20 92 150 154 FX 0.019
*****TRAMO 3*****
*ESCALERA + CGO
89 147 FX 0.068
*****TRAMO 2*****
*ESCALERA + CGO
86 127 FX 0.084
*PLATAFORMA DE DESCANSO H= 7.90M
10 87 107 110 FX 0.086
*****TRAMO 1*****
*ESCALERA + CGO
84 111 FX 0.075
CALCULATE NATURAL FREQUENCY
LOAD 2 PESO PROPIO PP
SELFWEIGHT Y -1.
LOAD 3 CARGA MUERTA C.M
JOINT LOAD
*****TRAMO 8*****
*ESCALERA + CGO
77 79 81 162 197 199 FY -0.038
*ANTENAS PARABOLICAS 0.6M DIAMETRO H= 40M
43 77 199 200 FY -0.038
*ANTENAS CELULARES H= 39M
41 42 76 78 187 TO 190 FY -0.045
*PLATAFORMA DE TRABAJO H=38.5M
41 76 187 189 FY -0.086
*PLATAFORMA DE TRABAJO H=33.5M
36 81 162 164 FY -0.086

*****TRAMO 7*****

ANEXO 1

*ESCALERA + CGO
72 184 FY -0.038
*ANTENAS PARABOLICAS 0.9M DIAMETRO H= 30M
33 100 179 181 FY -0.053
*****TRAMO 6*****
*ESCALERA + CGO
82 182 FY -0.075
*****TRAMO 5*****
*ESCALERA + CGO
83 170 FY -0.075
*PLATAFORMA DE DESCANSO H=24M
27 83 170 172 FY -0.086
*****TRAMO 4*****
*ESCALERA + CGO
58 101 FY -0.08
*PLATAFORMA DE DESCANSO H=16.9M
20 92 150 154 FY -0.086
*****TRAMO 3*****
*ESCALERA + CGO
89 147 FY -0.068
*****TRAMO 2*****
*ESCALERA + CGO
86 127 FY -0.084
*PLATAFORMA DE DESCANSO H= 7.90M
10 87 107 110 FY -0.086
*****TRAMO 1*****
*ESCALERA + CGO
84 111 FY -0.075
LOAD 4 CARGA VIVA CV
JOINT LOAD
*PLATAFORMA DE TRABAJO H=38.5M
41 76 187 189 FY -0.498
*PLATAFORMA DE TRABAJO H=33.5M
36 81 162 164 FY -0.498
*****VIENTO SOBRE UNA ESQUINA *****
LOAD 5 VIENTO X VX
JOINT LOAD
*****TRAMO 8
36 TO 43 74 TO 81 162 164 187 TO 200 FX 0.057
*ANTENAS MICROONDAS H=40M
43 77 199 200 FX 0.038 FZ -0.01
43 77 199 200 MX 0.012
*ANTENAS CELULARES H=39M
41 42 76 78 187 TO 190 FX 0.024
*****TRAMO 7
34 35 72 73 161 163 184 186 FX 0.072
*ANTENAS MICROONDAS H=30M
32 33 71 100 178 TO 181 FX 0.038 FZ -0.01
32 33 71 100 178 TO 181 MX 0.012
*****TRAMO 6
29 TO 33 70 71 82 99 100 165 TO 168 178 TO 183 FX 0.048
*****TRAMO 5
24 TO 28 67 TO 69 83 98 103 169 TO 177 FX 0.029
*****TRAMO 4
19 TO 22 55 58 59 92 101 104 150 151 153 154 156 157 FX 0.06
*****TRAMO 3

ANEXO 1

14 TO 17 52 61 89 91 132 133 135 137 139 140 147 149 FX 0.045
***TRAMO 2
8 TO 12 49 62 86 TO 88 106 107 109 110 127 130 143 TO 146 FX 0.055
***TRAMO 1
3 TO 6 46 64 84 85 111 TO 113 116 121 122 125 126 FX 0.039
*****VIENTO SOBRE UNA CARA*****
LOAD 6 VIENTO XZ
JOINT LOAD
***TRAMO 8
36 TO 43 74 TO 81 162 164 187 TO 200 FX 0.023 FZ 0.023
*ANTENAS MICROONDAS H=40M
43 77 199 200 FX 0.038 FZ -0.01
43 77 199 200 MX 0.012
*ANTENAS CELULARES H=39M
41 42 76 78 187 TO 190 FX 0.024
***TRAMO 7
34 35 72 73 161 163 184 186 FX 0.031 FZ 0.031
*ANTENAS MICROONDAS H=30M
32 33 71 100 178 TO 181 FX 0.038 FZ -0.01
32 33 71 100 178 TO 181 MX 0.012
***TRAMO 6
29 TO 33 70 71 82 99 100 165 TO 168 178 TO 183 FX 0.028
29 TO 33 70 71 82 99 100 165 TO 168 178 TO 183 FZ 0.028
***TRAMO 5
24 TO 28 67 TO 69 83 98 103 169 TO 177 FX 0.017 FZ 0.017
***TRAMO 4
19 TO 22 55 58 59 92 101 104 150 151 153 154 156 157 FX 0.028
19 TO 22 55 58 59 92 101 104 150 151 153 154 156 157 FZ 0.028
***TRAMO 3
14 TO 17 52 61 89 91 132 133 135 137 139 140 147 149 FX 0.022
14 TO 17 52 61 89 91 132 133 135 137 139 140 147 149 FZ 0.022
***TRAMO 2
8 TO 12 49 62 86 TO 88 106 107 109 110 127 130 143 TO 146 FX 0.027
8 TO 12 49 62 86 TO 88 106 107 109 110 127 130 143 TO 146 FZ 0.027
***TRAMO 1
3 TO 6 46 64 84 85 111 TO 113 116 121 122 125 126 FX 0.02 FZ 0.02
SISMO 100%XX
SISMO 30%ZZ
LOAD 7 SISMO
JOINT LOAD
***TRAMO 8
36 TO 43 74 TO 81 162 164 187 TO 200 FX 0.041 FZ -0.012
***TRAMO 7
34 35 72 73 161 163 184 186 FX 0.051 FZ -0.015
***TRAMO 6
29 TO 33 70 71 82 99 100 165 TO 168 FX 0.033 FZ -0.01
178 TO 183 FX 0.033 FZ -0.01
***TRAMO 5
24 TO 28 67 TO 69 83 98 103 169 TO 177 FX 0.031 FZ -0.009
***TRAMO 4
19 TO 22 55 58 59 92 101 104 150 FX 0.041 FZ -0.012
151 153 154 156 157 FX 0.041 FZ -0.012
***TRAMO 3
14 TO 17 52 61 89 91 132 133 135 FX 0.027 FZ -0.008
137 139 140 147 149 FX 0.027 FZ -0.008
***TRAMO 2
8 TO 12 49 62 86 TO 88 106 107 FX 0.022 FZ -0.007

ANEXO 1

```
109 110 127 130 143 TO 146 FX 0.022 FZ -0.007
***TRAMO 1
3 TO 6 46 64 84 85 111 TO 113 FX 0.009 FZ -0.003
116 121 122 125 126 FX 0.009 FZ -0.003
LOAD COMB 8 (PP+CM+CV) 1.0
2 1. 3 1. 4 1.
LOAD COMB 9 (PP+CM+VIENTO X) 0.75
2 0.75 3 0.75 5 0.75
LOAD COMB 10 (PP+CM+VIENTO XZ)0.75
2 0.75 3 0.75 6 0.75
LOAD COMB 11 (PP+CM+SISMO) 0.75
2 0.75 3 0.75 7 0.75
PERFORM ANALYSIS
PARAMETER
CODE AISC
RATIO 1. ALL
BEAM 1. ALL
FYLD 3.515E7 ALL
LOAD LIST 8 TO 11
CHECK CODE ALL
STEEL TAKE OFF
PRINT ANALYSIS RESULTS
FINISH
```

BIBLIOGRAFIA

1

- Manual de Diseño de Obras Civiles: Diseño por Viento - Comisión Federal de Electricidad – Instituto de Investigaciones Eléctricas 1993 - México.
- Manual de Diseño de Obras Civiles: Diseño por Sismo – Comisión Federal de Electricidad – Instituto de Investigaciones Eléctricas - México.1993
- Manual del Instituto Mexicano De La Construcción en Acero. Vol. 1 Diseño por esfuerzos permisibles.
México 1997 ED. Limusa.
- Manual Of Steel Construction Allowable Stress Design - American Institute Of Steel Construction, Chicago Illinois 1993. Ninth Edition.
- Bulletin Andrew 1015D Andrew Antenna Company Ltd. 1983
- Catalogo No. 38 Andrew Antena Company Ltd.
- Diseño Estructural: Meli Piralla Roberto México 1993 ED. Limusa.
- Estructura de Acero Comportamiento y Diseño: De Buen López de Heredia, Oscar ED. Limusa. México 1990.
- Structural Standard for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures. RS-222-c Engineering Department.
Electronic Industries Association. 1976.
- Apuntes de Fabricacion y Montaje De Estructuras De Acero División De Estudios De Posgrado F.I UNAM.
Soto Rodríguez Héctor y Bianchi Villaseñor Vicente. México 1995.
- Automatización en el diseño de torres: Salvador Merino Cordoba y Manuel Ojeda Aciego -Dpto.de Matematica Aplicada Universidad de Malaga.
- Diseño de Estructuras Metalicas
Mccormac Jack C. Ed. Alfaomega,1999.

BIBLIOGRAFIA

- CD De Torres y Estructuras Para Telecomunicaciones.
[WWW.Construaprende](http://WWW.Construaprende.com) .com Ingenieria Civil Y Arquitectura.
- Normas Telcel para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero (NTDCEA) 1
- Normas y Criterios Telcel para el Analisis y Diseño De Torres.
- Normas tecnicas complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones.
Tomo II 2004 Gaceta Oficial del D.F