



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN ESTRUCTURAS

***MANUAL PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE
TANQUES METÁLICOS ELEVADOS EN LA
REPÚBLICA DE GUATEMALA***

ING. MARCO ANTONIO RUANO PAZ

MSc. Erik Flores Aldana
ASESOR

Guatemala, Agosto de 2,011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN ESTRUCTURAS

***MANUAL PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE
TANQUES METÁLICOS ELEVADOS EN LA
REPÚBLICA DE GUATEMALA***

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO AL COMITÉ DE LA MAESTRÍA EN ESTRUCTURAS
POR

ING. MARCO ANTONIO RUANO PAZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ESTRUCTURAS

GUATEMALA, AGOSTO DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

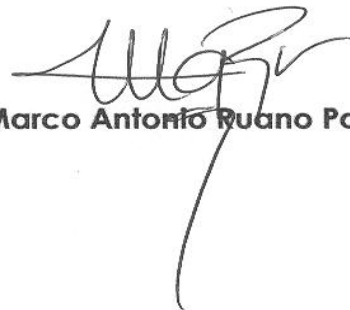
DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADOR	Arq. Francisco Alberto Lizama Bautista
EXAMINADOR	Ing. José Humberto Rosal Paz
EXAMINADOR	Ing. César Augusto Akú Castillo

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

***MANUAL PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE TANQUES
METÁLICOS ELEVADOS EN LA REPÚBLICA DE
GUATEMALA***

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 12 de julio de 2010.



Ing. Marco Antonio Ruano Paz

Guatemala, 11 de Julio de 2011

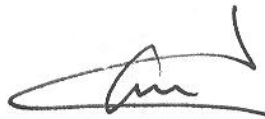
Ingeniero
José Humberto Rosal Paz
Coordinador Maestría en Estructuras
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-

Estimado Ingeniero Rosal:

Luego de asesorar y revisar el trabajo especial de graduación titulado **MANUAL PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE TANQUES METÁLICOS ELEVADOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, realizado por el estudiante de Maestría en Estructuras Ing. Marco Antonio Ruano Paz, me permito informarle que los aspectos técnicos planteados por el suscrito durante el desarrollo del trabajo han cumplido de forma satisfactoria con los requisitos necesarios para un trabajo de graduación y constituyen un valioso aporte para nuestra profesión; razón por la cual se da por **APROBADO**.

En base a lo anterior el Ing. Marco Antonio Ruano Paz puede continuar con los trámites necesarios para proceder con la defensa de su trabajo previo a optar al grado de Maestro en Estructuras.

Atentamente,



MSc. Erik Flores Aldana

ASESOR



Como Coordinador de la Maestría en Estructuras, y revisor del trabajo de tesis de graduación titulado **MANUAL PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE TANQUES METÁLICOS ELEVADOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA** presentado por el Ingeniero Civil **Marco Antonio Ruano Paz**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Jose Humberto Rosal Paz
Coordinador
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Agosto de 2011.

/la.



Como Revisor de la Maestría en Estructuras del trabajo de tesis de graduación titulado **MANUAL PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE TANQUES METÁLICOS ELEVADOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA** presentado por el Ingeniero Civil **Marco Antonio Ruano Paz**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dr. Olmedo España Calderón
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Agosto de 2011.

/la.



El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis de graduación titulado **MANUAL PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE TANQUES METÁLICOS ELEVADOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA** presentado por el Ingeniero Civil **Marco Antonio Ruano Paz**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Dr. Olmedo España Calderón
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Agosto de 2011.

/la.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. D. Postgrado 010.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Estructuras titulado: **MANUAL PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE TANQUES METÁLICOS ELEVADOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por el Ingeniero Civil **Marco Antonio Ruano Paz** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, Agosto de 2011.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

Por ser la luz y fuerza en mi vida.

A LA MEMORIA DE MIS
PADRES Y HERMANO

Porque siempre vivirán en mi
corazón.

A MIS HERMANOS

Por el amor fraternal que nos une.

A MI FAMILIA

Con especial cariño.

A MIS AMIGOS

Por su apoyo incondicional

AGRADECIMIENTO

Al Ingeniero Erik Flores Aldana por su valiosa asesoría al presente trabajo especial de graduación.

Al Ingeniero Julio Benjamín Corado Franco por su apoyo y colaboración desinteresados.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, en especial a la Facultad de Ingeniería, por ser mi centro de formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. GENERALIDADES	1
1.1. Tipos de tanques que se consideran en este manual	3
1.2. Geometría del tanque	3
1.3. Fases que abarca el diseño de tanques metálicos elevados	5
1.4. Propósito del diseño estructural	5
1.5. Procedimiento para el análisis estructural	6
1.6. Factores a considerar previo al diseño estructural	6
1.6.1. Localización	7
1.6.2. Exploración del entorno	7
1.6.3. Dimensiones previas	7
1.6.4. Estudio de suelos	8
1.7. Usos, ventajas, y vulnerabilidades	9
2. INTEGRACIÓN DE CARGAS	11
2.1. Dimensionamiento del tanque	12
2.1.1. Cuerpo	12
2.1.2. Techo	13
2.1.3. Anillo de coronamiento	14
2.1.4. Fondo	15
2.2. Dimensionamiento de la torre	15
2.2.1. Parte superior	17

2.2.2. Parte inferior	18
2.2.3. Elementos columnas, horizontales, y breizas	19
2.3. Predimensionamiento de secciones elementos de torre	21
2.4. Diseño de espesores de elementos del tanque	22
2.4.1. Espesor por corrosión	25
2.4.2. Espesor mínimo elementos sin contacto con agua	26
2.4.3. Espesor mínimo elementos en contacto con agua	26
2.4.4. Espesor mínimo placas cilíndricas en contacto con agua	27
2.4.5. Espesor del techo	27
2.4.6. Espesor del cuerpo	28
2.4.7. Espesor del fondo	28
2.5. Integración de cargas para el análisis estructural	29
2.5.1. Cargas gravitacionales	29
2.5.1.1. Cargas muertas	29
2.5.1.2. Cargas vivas	31
2.5.2. Carga de viento	32
2.5.2.1. Velocidad básica del viento	32
2.5.2.2. Factor de direccionalidad del viento	34
2.5.2.3. Factor de importancia por viento	34
2.5.2.4. Rugosidad de la superficie	35
2.5.2.5. Categorías de exposición	36
2.5.2.6. Coeficiente de exposición de presión de velocidad	37
2.5.2.7. Efectos topográficos	38
2.5.2.8. Factor topográfico	39
2.5.2.9. Presión de velocidad	41
2.5.2.10. Período fundamental de la estructura	41
2.5.2.11. Frecuencia natural de la estructura	42
2.5.2.12. Coeficiente de amortiguamiento	42
2.5.2.13. Altura equivalente de la estructura	43

2.5.2.14. Intensidad de turbulencia	43
2.5.2.15. Longitud integral de turbulencia	44
2.5.2.16. Factor de respuesta de fondo	44
2.5.2.17. Factor máximo de respuesta de fondo	45
2.5.2.18. Factor máximo de respuesta de viento	45
2.5.2.19. Factor máximo de respuesta de resonancia	45
2.5.2.20. Velocidad media del viento	46
2.5.2.21. Frecuencia reducida	46
2.5.2.22. Valores R_n , R_h , R_B , y R_L	47
2.5.2.23. Factor de respuesta de resonancia	48
2.5.2.24. Factor efecto de ráfaga para estructuras rígidas	48
2.5.2.25. Factor efecto de ráfaga para estructuras flexibles	49
2.5.2.26. Coeficiente de fuerza	50
2.5.2.27. Presión del viento	51
2.5.2.28. Fuerza de viento	51
2.5.3. Carga de sismo	51
2.5.3.1. Clase de sitio	52
2.5.3.2. Parámetros de aceleración asignada	53
2.5.3.3. Coeficiente de sitio F_a	62
2.5.3.4. Coeficiente de sitio F_v	63
2.5.3.4.1. Evaluación específica	63
2.5.3.5. Coeficientes para máximo sismo esperado	64
2.5.3.6. Parámetros de aceleración espectral	64
2.5.3.7. Espectro de respuesta	65
2.5.3.8. Factor de importancia por sismo	66
2.5.3.9. Categoría de diseño sísmico	67
2.5.3.10. Sistema estructural	68
2.5.3.11. Período fundamental de la estructura	69
2.5.3.12. Coeficiente de respuesta sísmica	70

2.5.3.13. Cortante en la base	71
2.5.4. Carga por presión hidrostática en cuerpo del tanque	72
3. MODELO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN SAP2000	73
3.1. Fases para el modelado de la estructura	74
3.2. Geometría del modelo	74
3.3. Consideraciones en el ingreso de datos a SAP2000	79
3.4. Análisis estructural en SAP2000	93
4. DISEÑO DE ELEMENTOS	97
4.1. Diseño por capacidad	98
4.2. Diseño de elementos de acero	101
4.2.1. Diseño de elementos breizas	103
4.2.2. Diseño de elementos columnas	103
4.2.3. Diseño de elementos horizontales	104
4.3. Verificación del diseño de elementos en SAP2000	105
4.4. Diseño de conexiones con placa	109
4.5. Diseño de elementos breizas horizontales	109
4.6. Diseño de placa de base y pernos de anclaje	110
4.6.1. Diseño de placa de base	110
4.6.2. Diseño de pernos de anclaje	111
4.7. Diseño de elementos de concreto reforzado	111
4.7.1. Diseño de pedestal	112
4.7.2. Diseño de cimentación	112
5. USO Y APLICACIÓN DEL MANUAL	115
5.1. Ejemplo de diseño	115
CONCLUSIONES	195
RECOMENDACIONES	197
BIBLIOGRAFÍA	199
ANEXOS	201

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Elevación, dimensiones del techo	13
2.	Anillo de coronamiento	14
3.	Elevación, dimensiones del tanque	15
4.	Perspectiva y elevación, elementos de torre	16
5.	Planta, dimensión parte superior torre	17
6.	Perspectiva y planta, inclinación columnas torre	18
7.	Elevación, dimensión parte inferior torre	19
8.	Elevación, parte superior, parte inferior, columnas, horizontales, y breizas	20
9.	Perspectiva y elevación, modelo esquemático de tanque metálico elevado	21
10.	Gráfico F_y , límite de fluencia	23
11.	Elevación, volumen de agua en cuerpo y fondo de tanque	30
12.	Elevación, radio del disco o hipotenusa del fondo	31
13.	Escarpa, colina o cresta	39
14.	Espectro de respuesta	66
15.	Presión hidrostática en cuerpo del tanque	72
16.	Presión de viento en área del tanque perpendicular a Dirección X-X	82
17.	Presión de viento en área del tanque perpendicular a Dirección Y-Y	83
18.	Perspectiva y elevación, verificación elementos diseñados por capacidad	107
19.	Planta y perspectiva, revisión relación demanda/capacidad elementos torre	108

MAPAS

1.	Zonas de velocidad básica del viento para la República de Guatemala (mph)	33
2.	Zonificación sísmica para la República de Guatemala, Parámetros S_s y S_1	53

TABLAS

I.	Predimensionamiento de secciones elementos de torre	22
II.	Clases de material	24
III.	Esfuerzo permisible de diseño, s	25
IV.	Eficiencia de la junta	25
V.	Espesor mínimo placas cilíndricas en contacto con agua	27
VI.	Velocidades máximas del viento	32
VII.	Factor de direccionalidad del viento, K_d	34
VIII.	Categoría de riesgo	34
IX.	Factor de importancia por viento, I_v	35
X.	Constantes de exposición del terreno	37
XI.	Parámetros de velocidad sobre colinas y escarpas	40
XII.	Coeficiente de fuerza	50
XIII.	Clasificación del sitio	52
XIV.	Coeficiente de sitio F_a	62
XV.	Coeficiente de sitio F_v	63
XVI.	Período de transición a largo plazo, T_L	65
XVII.	Factor de importancia por sismo, I_s	67
XVIII.	Categoría de diseño sísmico basada en S_{DS}	67
XIX.	Categoría de diseño sísmico basada en S_{D1}	68
XX.	Coeficientes sísmicos para estructuras no similares a edificios	68
XXI.	Deriva permisible, Δ_{per}	69

LISTA DE SÍMBOLOS

A_e	Área neta efectiva de la sección
A_g	Área gruesa de la sección
A_n	Área neta de la sección
B_i	Parte inferior de la torre
B_s	Parte superior de la torre
C	Constante que expresa la relación de altura del tanque con respecto al su diámetro
d	Radio del disco o hipotenusa del fondo
D_{cuerpo}	Diámetro del cuerpo
E	Módulo de elasticidad del acero
e	Relación de esbeltez
F_a	Coefficiente de sitio
F_{cr}	Fuerza crítica
F_e	Fuerza elástica de pandeo
F_u	Resistencia a la tracción del acero
F_v	Coefficiente de sitio
F_y	Resistencia a la fluencia del acero
h_{cuerpo}	Altura del cuerpo
h_{fondo}	Altura del fondo
h_{techo}	Altura del techo
H_{torre}	Altura de torre
H_z	Hertz
K	Factor de longitud efectiva (Factor de pandeo)
\ln	Logaritmo natural
L_z	Distancia a la proyección del zenit
m	Inclinación de columnas
M_c	Resistencia o capacidad a la flexión disponible

M_n	Resistencia a la flexión nominal
M_r	Resistencia a la flexión requerida
n	Número de columnas
P_c	Fuerza o capacidad axial disponible
P_n	Fuerza de compresión nominal
P_r	Fuerza axial requerida
r	Radio de giro
R_y	Relación entre el límite elástico esperado y el límite elástico mínimo especificado
S	Módulo de sección
S_1	Parámetro de aceleración asignada a períodos de 1 segundo
S_{D1}	Parámetro de diseño de aceleración espectral a períodos de 1 segundo
S_{DS}	Parámetro de diseño de aceleración espectral a períodos cortos
S_{M1}	Coefficiente de aceleración espectral a períodos de 1 segundo
S_{MS}	Coefficiente de aceleración espectral a períodos cortos
S_s	Parámetro de aceleración asignada a períodos cortos
U	Factor de arrastre por cortante
V_n	Resistencia nominal al corte
Z	Modulo de sección plástico
β	Ángulo formado por la horizontal y la inclinación del techo del tanque
ϵ	Relación área sólida/área gruesa
Φ_b	Factor de resistencia a flexión
Φ_c	Factor de resistencia a compresión
Φ_t	Factor de resistencia a tensión
Φ_v	Factor de resistencia a corte

GLOSARIO

ACI	Instituto Americano del Concreto (American Concrete Institute)
AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica
AISC	Instituto Americano de Construcción de Acero (American Institute Of Steel Construction)
Análisis Estructural	Estudio que abarca el cálculo para determinar el comportamiento de una estructura a través de los diagramas de momentos, cortes y deflexiones.
ASCE	Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (American Society of Civil Engineers)
AWWA	Asociación Americana de Abastecimiento de Agua (American Water Works Association)
Cargas de Servicio	Todas las cargas, estáticas o transitorias, que se imponen a la estructura o elemento estructural debido a su uso (sin factores de carga).
Cargas	Fuerzas u otras acciones resultantes del peso de los materiales, la ocupación y sus pertenencias, efectos ambientales, movimientos diferenciales y restricciones a la deformación.

Combinación de Cargas	Combinación de las fuerzas y cargas mayoradas.
Cortante	Fuerza interna que actúa tangencialmente al plano, llamada también tensión diagonal.
Ductilidad	Propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión.
Efecto P-DELTA	Cambios en los momentos y deflexiones de columnas debidos a deflexiones laterales.
Factor de Carga	Factor casi siempre mayor que la unidad que multiplica las cargas de servicio para obtener cargas mayoradas.
Factor de Longitud Efectiva	Factor que se aplica a la longitud de una columna para poder convertirla, de acuerdo a sus condiciones de extremo, en una columna equivalente con apoyos articulados.
Factor de Resistencia (Φ)	Factor casi siempre menor que la unidad empleado para reducir la resistencia nominal y convertirla en resistencia de diseño.
Fuerza Sísmica	Fuerza horizontal correspondiente a la apropiada distribución en la altura de la estructura del cortante sísmico en la base, para el diseño sismo resistente.
IBC	Código Internacional de Construcción (International Building Code)

LRFD	Diseño por Factores de Carga y Resistencia (Load and Resistance Factors Design)
Manual	Guía de uso documental que proporciona instrucciones, procedimientos, y criterios de aplicación, con la finalidad de lograr la estandarización.
Módulo de Elasticidad	Relación entre el esfuerzo de tracción o de compresión y la deformación unitaria producida por aquel, para esfuerzos inferiores al límite elástico del material.
Módulo de Sección	Relación del momento de inercia respecto a un eje particular de una sección dividido entre la distancia a la fibra extrema de la sección, medida perpendicularmente al eje en consideración.
Peso	Fuerza vertical hacia abajo experimentada por una masa, cuando es sometida a la aceleración de la gravedad.
Predimensionar	Efecto de colocarle dimensiones a los miembros estructurales en forma parcial.
Relación de Esbeltez	Relación de la longitud efectiva de una columna a su radio de giro, ambos referidos al mismo eje de flexión.
Resistencia de Diseño	Producto de la resistencia nominal multiplicada por el factor de resistencia.

Resistencia	Propiedad que tiene un elemento para soportar una carga o fuerza.
SCBF	Marcos Especiales Embreizados Concéntricamente (Special Concentrically Braced Frames)
Sección Compacta	Sección que tiene un perfil suficientemente robusto de manera que es capaz de desarrollar una distribución de esfuerzos totalmente plástica sin que suceda el pandeo.
Sobrecarga	Carga muerta adicional al peso propio de una estructura, que se toma como factor de seguridad.
Soldadura de Filete	Soldadura colocada en la esquina formada por dos partes traslapadas en contacto una con otra.
Soldadura de Penetración Completa	Soldadura hecha en ranuras entre los elementos que se unen, pueden extenderse a todo el espesor de los elementos.
Zenit	Punto en la esfera celeste o en el firmamento perpendicular sobre un punto de la tierra.

RESUMEN

El presente estudio especial de graduación contiene un manual para el diseño estructural de tanques metálicos elevados por medio del cual se complementan normas nacionales, códigos internacionales, y el software de aplicación o programa SAP2000. Es una recopilación de normas actualizadas que se utilizan en una aplicación práctica de diseño, la cual es congruente con la situación sísmica de nuestro país.

Se desarrolla la base teórica en donde se exponen los criterios para la determinación de las dimensiones del tanque metálico elevado, para el predimensionamiento de los elementos de la torre, para el diseño de los espesores de los elementos del tanque, y para la integración de cargas para el análisis estructural.

Se propone una metodología para la realización de la geometría del modelo, para el ingreso de datos o factores propios para el análisis estructural, y para el análisis estructural del tanque metálico elevado; todo esto dentro de las plantillas o recuadros que genera el software de aplicación o programa SAP2000.

Se establecen los criterios a aplicar para el diseño de los elementos de la torre, para el sistema de resistencia de la fuerza sísmica o lateral, y para las combinaciones de carga.

Se define el procedimiento para el diseño de cada uno de los elementos de la torre por medio del método denominado diseño por

capacidad, seleccionándose como el eslabón débil o elemento dúctil del sistema al elemento breiza, el cual es apropiadamente diseñado para ser capaz de disipar energía por deformación inelástica.

Se propone una metodología para realizar la verificación del diseño de los elementos de la torre diseñados por capacidad dentro de las plantillas o recuadros que genera el software de aplicación o programa SAP2000.

Se define el procedimiento para el diseño de las conexiones, para el diseño de las placas de base y pernos de anclaje, y para el diseño del pedestal y la cimentación.

Para mostrar el uso del manual y la aplicación de la metodología propuesta, se desarrolla un ejemplo de diseño de un tanque metálico elevado con volumen de almacenamiento de 100 m³ y una altura de torre de 15 m., situado en el municipio de Asunción Mita, del departamento de Jutiapa.

OBJETIVOS

General

1. Proponer un manual que se utilice en la realización de diseños estructurales de tanques metálicos elevados, aplicado a un sistema de Marcos Especiales Embreizados Concéntricamente -SCBF-, el cual contenga los factores y/o parámetros necesarios que sirvan para satisfacer la demanda sísmica de la República de Guatemala.

Específicos

1. Establecer un criterio unificado por medio del cual se enfoque adecuadamente la filosofía de diseño sismo resistente para el desarrollo de diseños estructurales de tanques metálicos elevados.
2. Definir la demanda sísmica a la que se encontrará sometido un tanque metálico elevado, de acuerdo con su ubicación dentro del mapa de zonificación sísmica, en la República de Guatemala.
3. Proponer una metodología para la realización del modelo, para el ingreso de variables en el modelo, para el análisis estructural, y para la verificación del diseño de elementos, por medio del software o programa SAP2000 V.14.2.2.
4. Definir un procedimiento para el diseño de los elementos breizas, columnas, y horizontales, por medio del método denominado diseño por capacidad.

5. Definir un procedimiento para el diseño de conexiones con placa, elementos breizas horizontales, placas de base, y pernos de anclaje.
6. Definir un procedimiento para el diseño de pedestales y cimentación, y para la revisión de la estabilidad global del tanque metálico elevado.
7. Proponer una herramienta de consulta a profesionales, municipalidades, entidades públicas, entidades privadas, y estudiantes, que pueda ser utilizada en el diseño estructural de tanques metálicos elevados.

INTRODUCCIÓN

Por encontrarse Guatemala en una zona geográfica de alta sismicidad, y derivado de la necesidad de diseños que satisfagan las demandas sísmicas de la región, este manual contiene la información necesaria para la realización de diseños estructurales de tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua en la República de Guatemala, aplicada a un sistema de Marcos Especiales Embreizados Concéntricamente -SCBF-, utilizando como apoyo el paquete de software o programa SAP2000 V.14.2.2.

En la actualidad existe una diversidad de métodos de diseño sismo resistente que se están utilizando y otros muchos desarrollándose constantemente, por tal razón toman un carácter de importancia las actualizaciones continuas y el conocimiento de estos nuevos métodos de diseño.

Un paso inicial para ello es conocer que para diferentes regiones o países existen diferentes normas de diseño, las cuales son realizadas por instituciones especializadas en cada uno de éstos. Por ejemplo, podemos mencionar las Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala, desarrolladas por la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica -AGIES-, las cuales brindan una herramienta considerablemente útil para el desarrollo de diseños estructurales en el territorio nacional, pero al igual que todas las normas internacionales, éstas necesitan una constante revisión de su contenido,

y a la vez, una comparación con otras normas, para su respectiva optimización.

Los códigos, reglamentos y guías de diseño utilizados en otros países, por lo general, se encuentran en otro idioma diferente al español y su tratamiento se hace con dimensionales o unidades diferentes a las que se usan en nuestro medio, por lo que en este manual para el diseño de tanques metálicos elevados se utilizarán las dimensionales o unidades del Sistema Inglés, por ser éstas las de uso común en nuestro país para el desarrollo de este tipo de diseños.

En este manual se han recopilado el material y las normas aplicables actualizadas, tanto nacionales como extranjeras, las cuales rigen a este tipo de estructuras y son útiles para el análisis y diseño estructural de tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua en un sistema de marcos especiales embreizados concéntricamente -SCBF-. Con base en toda esta información, se propone una metodología adecuada por medio de la cual se establezca el dimensionamiento del tanque, el dimensionamiento de la torre, el diseño de los espesores de los elementos del tanque, la integración de cargas para el análisis estructural, el análisis estructural con apoyo del paquete de software o programa SAP2000, el diseño por capacidad de los elementos de la torre, y la verificación del diseño de los elementos de la torre, ésta última también con apoyo del paquete de software o programa SAP2000; todo esto para lograr un diseño que satisfaga las demandas sísmicas de nuestro país. Adicionalmente se presenta el diseño estructural de los elementos en concreto reforzado

que servirán de base para la estructura del tanque metálico elevado, tales como el pedestal y la cimentación.

Este manual está basado principalmente en las siguientes publicaciones:

- Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala, edición 2010, de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica -AGIES-;
- Estándar de la Asociación Americana de Abastecimiento de Agua (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION) -AWWA D100-05-;
- Estándar de Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras (MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES) -ASCE 7-10-;
- Especificación para Edificios de Acero Estructural o Código del Instituto Americano de Construcción de Acero (AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION) -AISC 360-10-;
- Provisiones Sísmicas para Edificios de Acero Estructural o Código del Instituto Americano de Construcción de Acero (AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION) -AISC 341-05-
- Código Internacional de Construcción (International Building Code) - IBC 2009-;

- Código del Instituto Americano del Concreto (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE) -ACI 318-08-;

de éstas últimas seis, en lo que corresponda de su aplicación a nuestro país, por lo que se considera un estudio de aplicación práctica profesional.

En el Capítulo 5 se resuelve un ejemplo de diseño de un tanque metálico elevado situado en un municipio del mapa de zonificación sísmica para la República de Guatemala, mostrando así el uso de este manual; y con el fin de no tener un texto demasiado extenso, en dicho ejemplo el análisis y el diseño están estrictamente limitados a los requisitos específicos para este tipo de estructuras, pues aquellos aspectos comunes a diversos tipos estructurales, el lector podrá consultarlos en otras publicaciones especializadas.

Algo importante será que en un futuro se utilice este manual como una herramienta más para el diseño estructural de tanques metálicos elevados en la República de Guatemala, proponiendo para ello los criterios de diseño que en éste se utilizan, ya que se pretende enfocar adecuadamente la filosofía de diseño sismo resistente a estas estructuras, y de esta manera proporcionar una metodología clara en la realización de dichos diseños; aplicando las normas y códigos anteriormente descritos.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

Actualmente en la República de Guatemala, debido al desarrollo acelerado de la economía nacional y al crecimiento demográfico en sus municipios y poblaciones rurales, las autoridades municipales se han visto en la necesidad de encontrar formas de satisfacer la demanda de almacenamiento de agua, siendo una de ellas la construcción de tanques metálicos elevados, los cuales deben ser diseñados tomando en consideración la alta sismicidad de nuestro país.

No se cuenta en la actualidad en nuestro país con una metodología de diseño claramente establecida para el diseño estructural de tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua, por lo que existe un alto riesgo de no enfocar adecuadamente la filosofía de diseño sismo resistente a estas estructuras, debido a que cada diseñador o profesional involucrado en el diseño de este tipo de estructuras utiliza los códigos y parámetros de diseño que considere convenientes; además que algunos de ellos solamente realizan análisis de tipo lineal estático, siendo lo conveniente, adicionalmente de éstos, realizarlos también del tipo lineal dinámico, y así llegar a diseños que satisfagan las demandas sísmicas de la región.

Se investigó en el Instituto de Fomento Municipal -INFOM-, entidad gubernamental encargada de brindar asistencia técnica y financiera a las municipalidades del país, la metodología empleada por esta institución para la realización de diseños estructurales de tanques

metálicos elevados para almacenamiento de agua, y se determinó que por la falta de recursos financieros y tecnológicos, los profesionales encargados de dichos diseños, realizan un análisis de tipo bidimensional estático, considerando cargas gravitacionales (muerta y viva) y cargas laterales (sismo y viento), utilizando códigos o normas para diseño no actualizadas; adicionalmente se corroboró en dicha entidad gubernamental que en nuestro país no existe alguna normativa relacionada con tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua debido a que la ley de aguas no ha sido aprobada en el Congreso de la República.

Adicionalmente se consultó la información existente al respecto en Tesarios de las diferentes Universidades del país para determinar la forma en que ha sido tratado el tema a este nivel, determinándose que en los mismos no se encuentran trabajos relacionados con este tipo de diseños, encontrándose solamente trabajos relacionados con diseños de tipo hidráulico.

Gran parte del material técnico útil se encuentra disperso en más de una publicación, por lo cual es difícil para el usuario hallar en una sola de ellas todo el material necesario para un requerimiento de diseño dado. En la elaboración de este manual, con la recopilación de normas aplicables actualizadas, se ha tenido en mente proporcionar a los estudiantes y profesionales involucrados en el diseño de este tipo de estructuras el material técnico necesario, algunas sugerencias, y una metodología para mejorar y facilitar la realización de dichos diseños, y

así lograr una estructura resistente, durable, y que tenga al mismo tiempo un desempeño satisfactorio durante su vida útil.

Por todo lo anterior, se considera necesaria la implementación de una metodología para este tipo de diseños, haciendo uso de los paquetes de software o programas de uso comercial que actualmente existen en el mercado, y de esta forma establecer los lineamientos técnicos para el Diseño Estructural de Tanques Metálicos Elevados en la República de Guatemala.

1.1. Tipos de tanques que se consideran en este manual

De conformidad con su posición relativa al terreno, los tanques pueden clasificarse como enterrados, superficiales y elevados. En este manual sólo se cubren los tanques metálicos elevados apoyados sobre una torre, la cual estará formada por un número de columnas (n) múltiplo de 2:

$$n = 4, 6, 8, \text{ etc.}$$

1.2. Geometría del tanque

La configuración teórica más conveniente para un tanque es aquella que para una altura y volumen dados, se tenga un perímetro mínimo, lo cual implica una geometría cilíndrica.

En la ecuación del volumen tiene que intervenir la altura, que entra expresada en función de las dimensiones del diámetro. Si la relación de

altura del tanque con respecto a su diámetro (h/D), se expresa como una constante $C = h/D$, se puede decir que los tanques son altos cuando C es mayor que 1 y bajos cuando C es menor que 1.

Si una altura mínima del agua debe mantenerse durante todo el tiempo dentro del tanque vertical cilíndrico y así asegurar una presión deseada, que es como generalmente se diseñan en los sistemas de abastecimiento de agua potable de las poblaciones rurales del país, un tanque con diámetro menor que su altura ($C > 1$, alto) será más económico, debido a que no se necesitará de un sistema de bombeo para mantener dicha presión deseada. En este manual se cubren los tanques verticales cilíndricos con valores de C entre 1 y 1.4, es decir, la altura máxima será igual a 1.4 veces su diámetro, por lo que:

$$1 \leq C \leq 1.4$$

El procedimiento para determinar la geometría del tanque será el fijar o asumir valores del diámetro (D) y de la constante (C), para despejar la altura (h):

$$h/D = C \quad \rightarrow \quad h = C \cdot D$$

Según la norma AWWA D-100-05, cuando se trate de tanques que contengan agua potable, que son los que se cubren en este manual, es conveniente mantenerlos cubiertos por un techo para evitar la contaminación de ésta.

Los techos y los fondos pueden ser planos, cónicos, en forma de domo, o una combinación de estos. En este manual se cubren el techo cónico y el fondo cónico.

1.3. Fases que abarca el diseño de tanques metálicos elevados

El diseño de las estructuras para los tanques metálicos elevados se efectúa en seis (6) fases consecutivas o que pueden estar traslapadas, de la siguiente manera:

- Estudios de campo;
- Diseño funcional;
- Esquema físico de la estructura;
- Diseño hidráulico;
- Diseño electromecánico;
- Diseño estructural;

la fase de diseño estructural representa el objetivo de este manual y por consiguiente la única de las seis que se cubre en detalle.

1.4. Propósito del diseño estructural

El propósito del diseño estructural es el de lograr una probabilidad aceptable de que la estructura del tanque metálico elevado que se vaya a construir no sufra deterioro alguno, de tal suerte que éste

demerite el uso para el cual fue destinada o que inclusive pudiese provocar el colapso de la misma.

La metodología para el diseño estructural de tanques metálicos elevados que se presenta en este manual, se considera como un requisito mínimo para ser aplicado de una manera general en los proyectos a desarrollarse en el territorio nacional. Podrán requerirse diseños especiales, más conservadores, para aquellos aspectos estructurales especiales, las combinaciones de las acciones no usuales o las condiciones de exposición no comunes.

1.5. Procedimiento para el análisis estructural

Para el análisis estructural del tanque metálico elevado se utilizará el análisis lineal estático y el análisis lineal dinámico, reconocidos y aceptados en la ingeniería estructural, utilizando como apoyo el paquete de software o programa SAP2000. A partir de las acciones permanentes, variables y accidentales a que estará sujeta la estructura del tanque metálico elevado, se determinarán o integrarán las cargas que actúan sobre ésta y con ellas se llevará a cabo el análisis estructural.

1.6. Factores a considerar previo al diseño estructural

Algunos de los factores que hay que considerar previo al diseño estructural de un tanque metálico elevado son:

- localización;

- exploración del entorno;
- dimensiones previas;
- estudio de suelos.

1.6.1. Localización

Es importante conocer las características y dimensiones del lugar o sitio donde se va a construir el tanque, buscando la localización y orientación adecuadas, ya que no es adecuado construirlos a orillas de barrancos, en proximidades de taludes, o en sitios muy irregulares o escarpados.

1.6.2. Exploración del entorno

De ser posible deben tenerse los datos más actuales de las condiciones naturales del entorno, evaluando la existencia de amenazas que puedan afectar al proyecto; accesos, proximidades a cambios geográficos, localización en el mapa de zonificación sísmica, velocidades de los vientos en los últimos 20 años, etc.

1.6.3. Dimensiones previas

Por medio de un estudio realizado por el ingeniero hidráulico, se determina la capacidad o volumen de almacenamiento del tanque metálico elevado y la altura entre el suelo y la parte inferior del tanque, llamada altura de torre; y del proyectista, la topografía del lugar, la localización, y la exploración del entorno.

1.6.4. Estudio de suelos

Este estudio, previo al proyecto y a la construcción, es necesario para saber qué sistema y procedimiento de construcción se va a seguir; se hará un muestreo del suelo en toda el área que será ocupada por la cimentación o que la afecte directa o indirectamente, y se estimará la profundidad a la que llegará la influencia del tanque elevado. Se deberá desarrollar de acuerdo a lo que establecen las Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala NSE 2-10 y NSE 2.1-10 de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica -AGIES-.

Es uno de los principales factores para desarrollar el diseño de la cimentación del tanque metálico elevado. Se investiga y determina la capacidad soporte del suelo en el que se va a cimentar, las características mecánicas de éste, y la categoría de riesgo del tanque metálico elevado según su uso o naturaleza de ocupación.

Es importante destacar que en la mayoría de ciudades existen tanques metálicos elevados donde se almacena agua potable y hacen parte del sistema principal de distribución de agua de éstas, tanto para consumo como para el sistema contra incendios; por lo tanto, un evento sísmico en el cual se llegue a comprometer la estabilidad o el funcionamiento integro de estas estructuras debe verse como una catástrofe, por lo que siempre deberán considerarse los resultados del estudio de suelos para el diseño de la cimentación del tanque metálico elevado.

1.7. Usos, ventajas y vulnerabilidades

Por su uso, los tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua a los cuales se hace referencia en este manual, pueden ser:

- Públicos, cuando están localizados de forma tal en la ciudad, municipio o comunidad, que pueden abastecer a un amplio sector de ésta;
- Privados, cuando se encuentran al interior de las viviendas, o en el terreno de un edificio de apartamentos, o en terrenos de una lotificación privada, y sirven exclusivamente a los moradores de éstas.

Dentro de las ventajas que se pueden mencionar en la utilización de este tipo de tanques, se encuentran:

- facilidad de reparación;
- facilidad para mantenimiento y limpieza;
- facilidad de detección y control de fugas;
- facilidad de desmontaje y recuperación de la estructura metálica hasta en un 90%.

Las vulnerabilidades que se pueden presentar en los tanques metálicos elevados para almacenamiento de agua tienen grandes implicaciones, tanto económicas como sociales; por ejemplo, una falla en estas estructuras, aunque no se llegue hasta la pérdida total de la misma, puede dejar sin agua potable a una comunidad o población en el momento que más la requiere, tanto para consumo como para uso

en el combate de incendios. En el caso en el que se presente una falla total de la estructura del tanque metálico elevado los efectos son aún más nocivos, dados los daños que puede causar el contenido de agua de éste, el cual puede provocar inundaciones y otras calamidades.

CAPÍTULO 2

INTEGRACIÓN DE CARGAS

El procedimiento para la integración de cargas contenido en este manual es aplicable al análisis y diseño estructural de tanques metálicos elevados utilizados en los sistemas de abastecimiento de agua potable; se entiende por tanques metálicos elevados los que se apoyan sobre el terreno por intermedio de una torre que los eleva, esta torre está formada por columnas verticales o ligeramente inclinadas y convenientemente arriostradas entre sí; y comprende las siguientes fases:

1. Dimensionamiento del tanque;
2. Dimensionamiento de la torre;
3. Diseño de espesores de elementos del tanque;
4. Integración de cargas.

El ingeniero hidráulico en función de parámetros técnicos, como la cantidad de personas a servir, la dotación promedio por persona, la cantidad de horas de abastecimiento deseadas, la irregularidad del servicio de agua en la localidad, etc., deberá determinar el volumen de almacenamiento ($V_{\text{requerido}}$) y la altura de torre (H_{torre}) necesaria para tener una presión de servicio óptima, que desde el punto de vista técnico se necesitan para la operación y buen funcionamiento del sistema.

2.1. Dimensionamiento del tanque

Estos tanques vistos en planta, pueden presentar una geometría rectangular, circular o poligonal, sin embargo, de acuerdo a lo indicado en el numeral 1.2., en este manual haremos hincapié en los tanques regulares de planta circular, esto es, que generan un volumen cilíndrico en el cuerpo, un volumen cónico en el techo, y volumen cónico en el fondo (Ver Figura 3).

Con el volumen de almacenamiento ($V_{\text{requerido}}$) se procede a dimensionar el tanque en sus elementos cuerpo, techo, y fondo.

2.1.1. Cuerpo

El cuerpo se dimensionará de acuerdo a lo indicado en el numeral 1.2., asumiendo valores para el diámetro del cuerpo (D_{cuerpo}) y para la constante (C):

$$1 \leq C \leq 1.4$$

$$h_{\text{cuerpo}}/D_{\text{cuerpo}} = C$$

despejando la altura del cuerpo (h_{cuerpo}):

$$h_{\text{cuerpo}} = C \cdot D_{\text{cuerpo}} \rightarrow \mathbf{h_{\text{cuerpo}}}$$

2.1.2. Techo

Los techos cónicos autosoportados son empleados en tanques relativamente pequeños. Este consiste en un cono formado de placas soldadas a tope, el cual por su forma física, es capaz de sostenerse sin ningún elemento estructural y únicamente soportado en su periferia por un anillo de coronamiento. Es recomendable fabricar éstos en un diámetro máximo de 40 pies, y cualquier dimensión mayor de ésta requiere el uso de una estructura capaz de soportar al techo.

El techo se dimensionará asumiendo una altura de techo (h_{techo}) que deberá encontrarse en el rango de:

$$1 \text{ pie} \leq h_{\text{techo}} \leq D_{\text{cuerpo}}/6 \rightarrow h_{\text{techo}}$$

y de acuerdo al estándar AWWA D 100-05, tendrá como máximo una pendiente de 9/12 ($\beta=37^\circ$) y como mínimo 2/12 ($\beta=9.5^\circ$), con respecto a la horizontal:

$$\tan \beta = (h_{\text{techo}}/R) \rightarrow \beta = \tan^{-1} (h_{\text{techo}}/R) ; R = D_{\text{cuerpo}}/2$$

$$9.5^\circ \leq \beta \leq 37^\circ$$

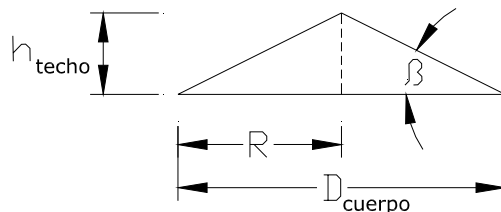


Figura 1. Elevación, dimensiones del techo

2.1.3. Anillo de coronamiento

En la parte superior del cuerpo del tanque se necesita un elemento estructural que conecte el techo a las paredes del cuerpo, llamado anillo de coronamiento (Ver Figura 2). Será el mayor valor del módulo de sección (S) que se encuentre por la formula:

$$S = \frac{D_{\text{cuerpo}}^2}{250} \quad (\text{Sección 3.5, AWWA D 100-05})$$

donde:

S = módulo de sección, en pulgadas cúbicas

D_{cuerpo} = diámetro del cuerpo, en pies

Por lo general es una sección de angular soldado en la parte superior interna o externa del cuerpo, para que el techo se pueda soldar a éste.

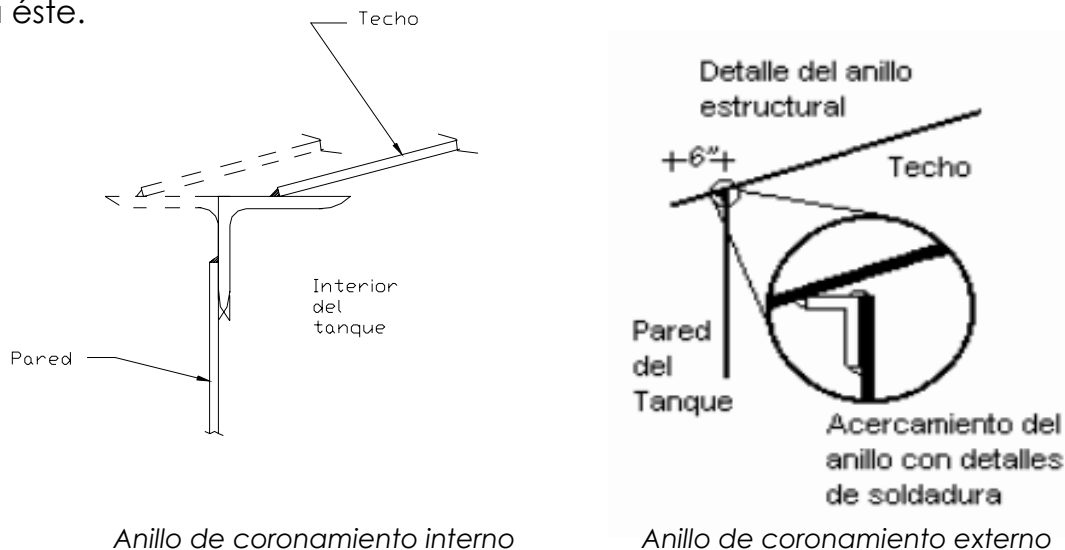


Figura 2. Anillo de coronamiento

2.1.4. Fondo

El fondo se dimensionará asumiendo una altura de fondo (h_{fondo}) que deberá encontrarse en el rango de:

$$2 \text{ pies} \leq h_{\text{fondo}} \leq D_{\text{cuerpo}}/4 \rightarrow h_{\text{fondo}}$$

por lo que las dimensiones del tanque, en los elementos cuerpo, techo, y fondo, quedarán definidas de la siguiente forma:

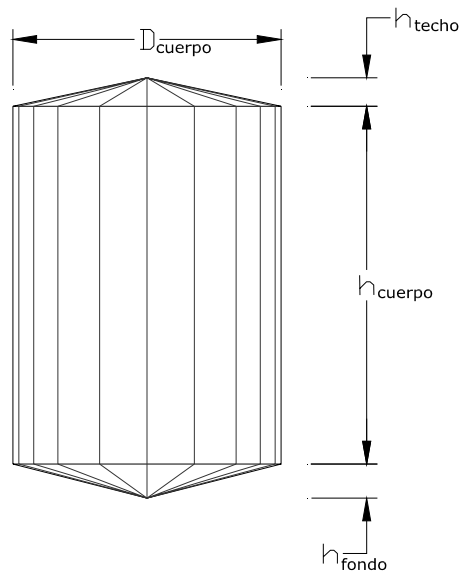


Figura 3. Elevación, dimensiones del tanque

2.2. Dimensionamiento de la torre

La torre es una armazón estructural de gran altura con la función de sostener un tanque para agua a una altura determinada (H_{torre}). Está compuesta por un conjunto de elementos denominados columnas(c),

horizontales(h), y breizas(b) (Ver Figura 4), unidos entre sí por medio de placas o platinas. Cada uno de estos elementos deberá ser diseñado lo más simple posible, y las uniones o conexiones entre los mismos, por medio de placas o platinas, podrán ser soldadas o pernadas.

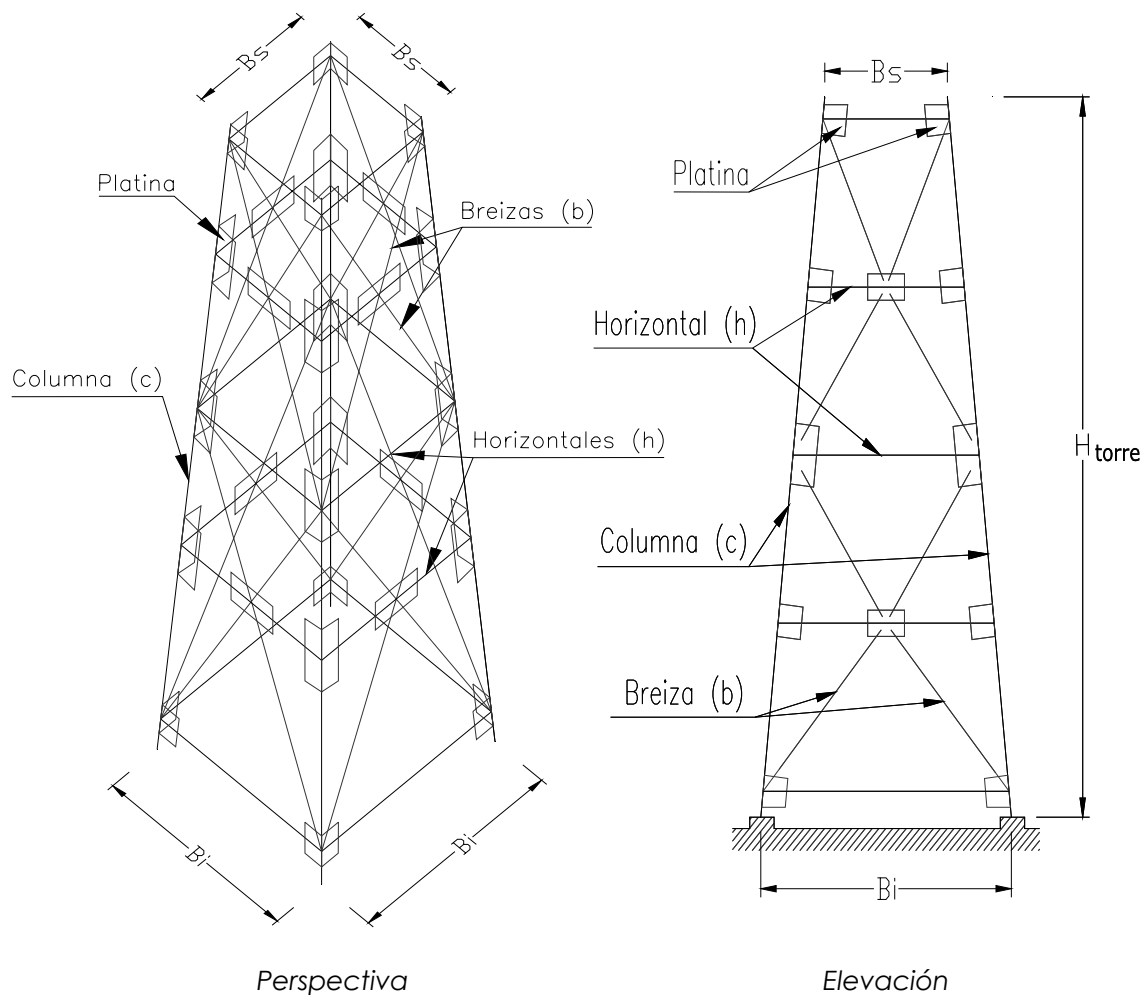


Figura 4. Perspectiva y elevación, elementos de torre

Con el diámetro del cuerpo (D_{cuerpo}), la altura de torre (H_{torre}), y el número de columnas (n) determinados, se procede a dimensionar la parte superior de la torre (B_s) y la parte inferior de la torre (B_i).

2.2.1. Parte superior

El número de columnas (n) de la torre vistas en planta se ubicarán con un ángulo (Φ) formado entre un radio que pasa por una columna (c) y la proyección del eje central horizontal (Ver Figura 5).

La parte superior de la torre (B_s) se dimensionará de acuerdo a la expresión:

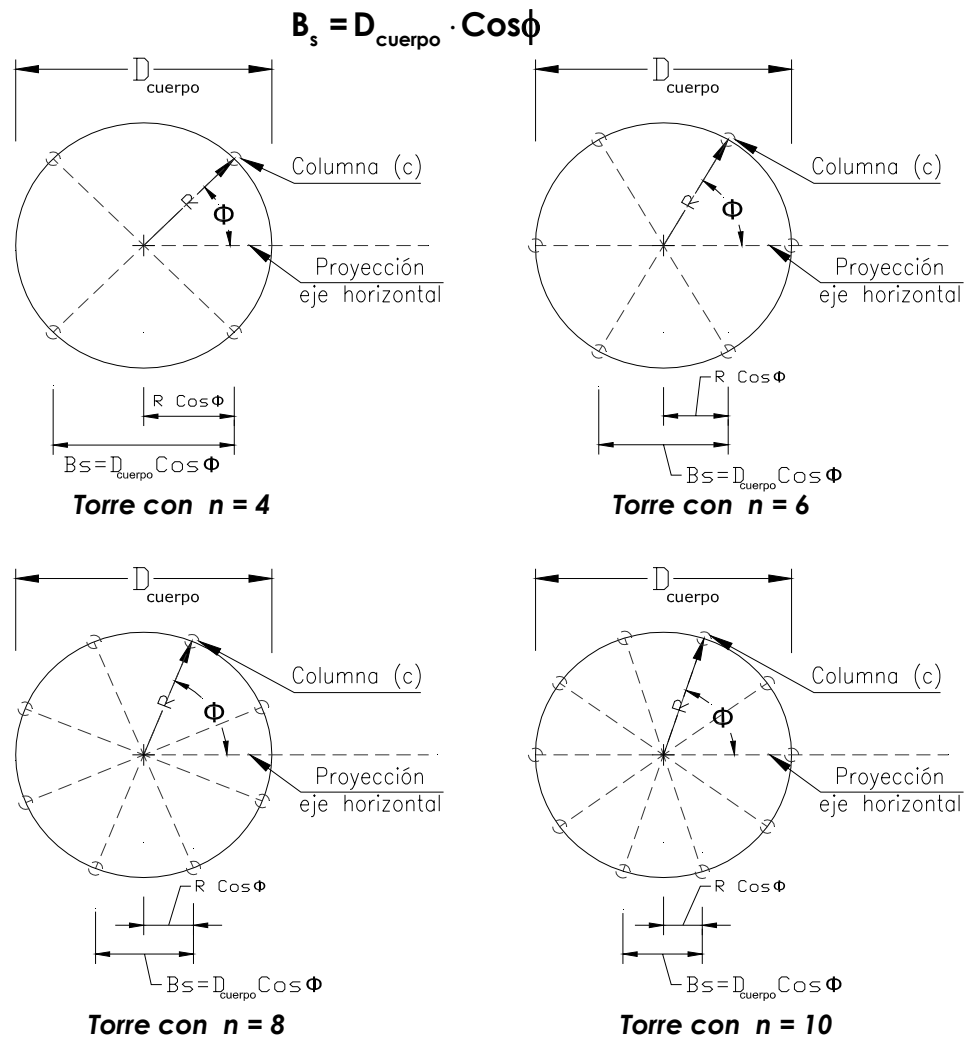


Figura 5. Planta, dimensión parte superior torre

2.2.2. Parte inferior

El eje de las columnas(c) de la torre vistas en perspectiva no podrá desviar su inclinación (m) del zenit por más del 15% de la altura de torre (H_{torre}), esto para limitar la separación de las columnas en la parte inferior y evitar la necesidad de terrenos demasiado extensos, determinándose así las distancias L_z y L :

$$0\% \leq m \leq 15\% \quad ; \quad L_z = m \cdot H_{\text{torre}}$$

$$L = L_z \cdot \text{Cos}\phi$$

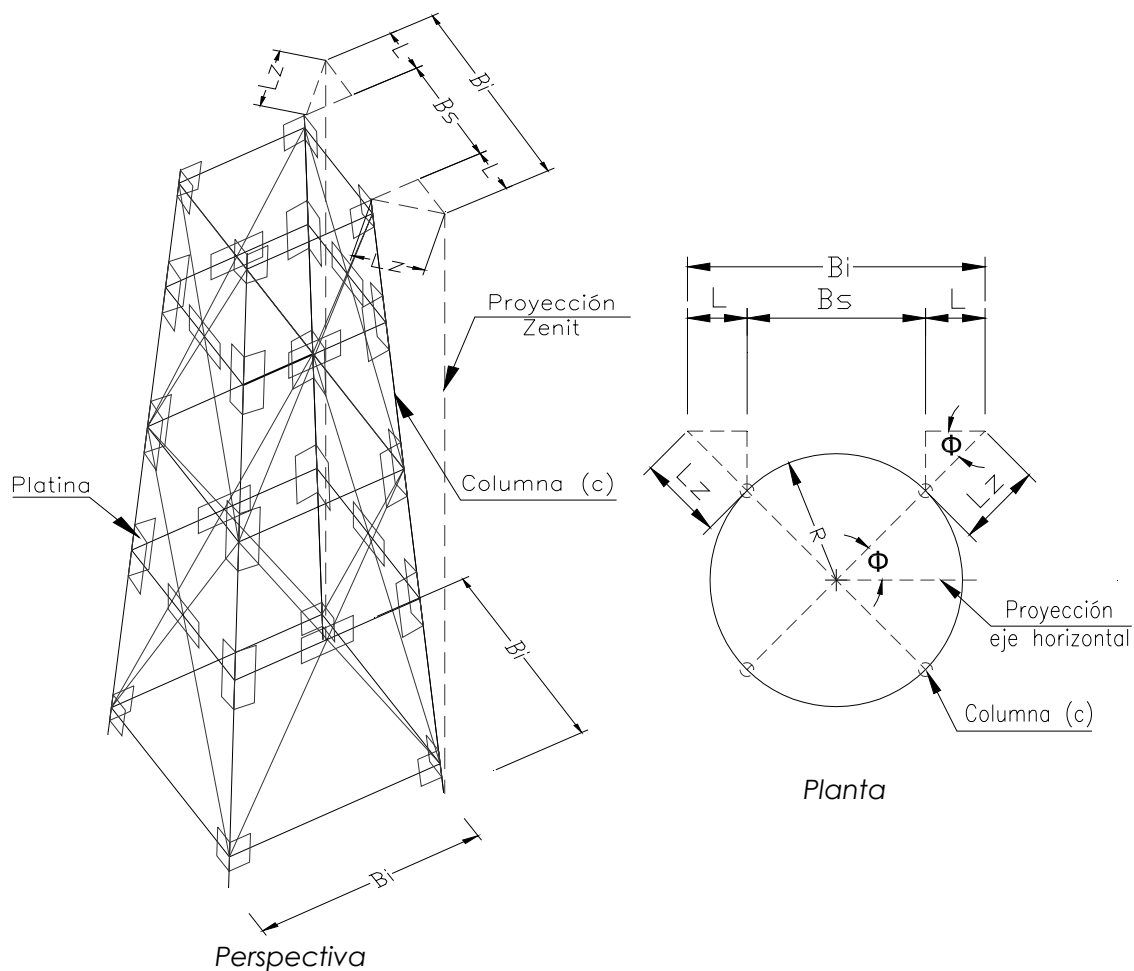


Figura 6. Perspectiva y planta, inclinación columnas torre

por lo que la parte inferior de la torre (B_i) se dimensionará de acuerdo a la expresión:

$$B_i = 2 \cdot L + B_s$$

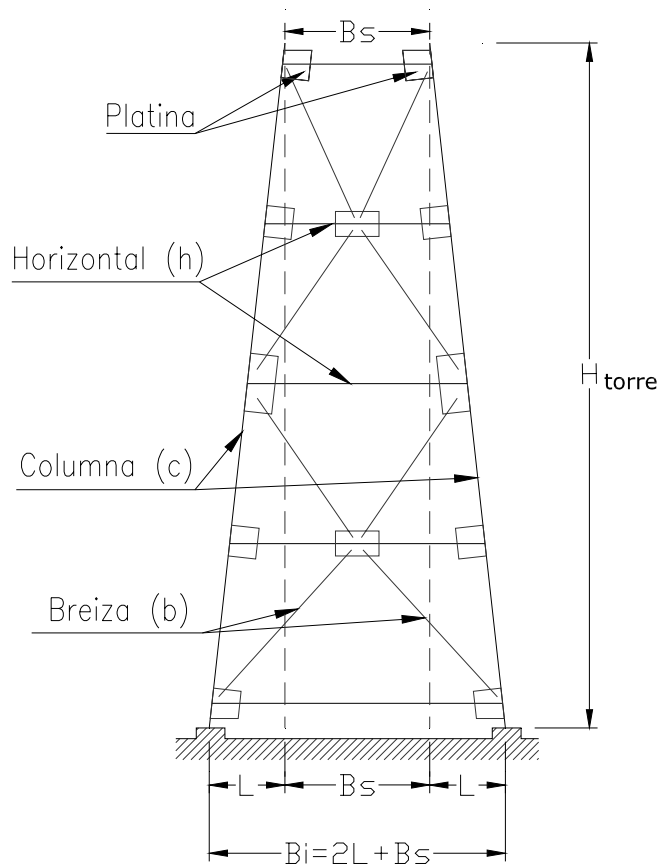


Figura 7. Elevación, dimensión parte inferior torre

2.2.3. Elementos columnas, horizontales, y breizas

El número de elementos columnas(c), horizontales(h), y breizas(b) dependerá de la geometría de la torre, y el espaciamiento entre los elementos horizontales, el cual deberá procurarse que sea en tramos

pares, dependerá a su vez de la altura de torre (H_{torre}), ya que es conveniente establecer tramos iguales para lograr simetría en la estructura de la torre; quedando a criterio de cada diseñador la cantidad y espaciamiento de cada uno de éstos. En este manual se proponen elementos breizas(b) en tramos dobles (Ver Figura 8) para lograr una mejor disipación de energía desde el punto de vista sísmico.

Las dimensiones de la parte superior de la torre (B_s), de la parte inferior de la torre (B_i), y de los elementos columnas(c), horizontales(h), y breizas(b), quedarán definidas de la siguiente forma:

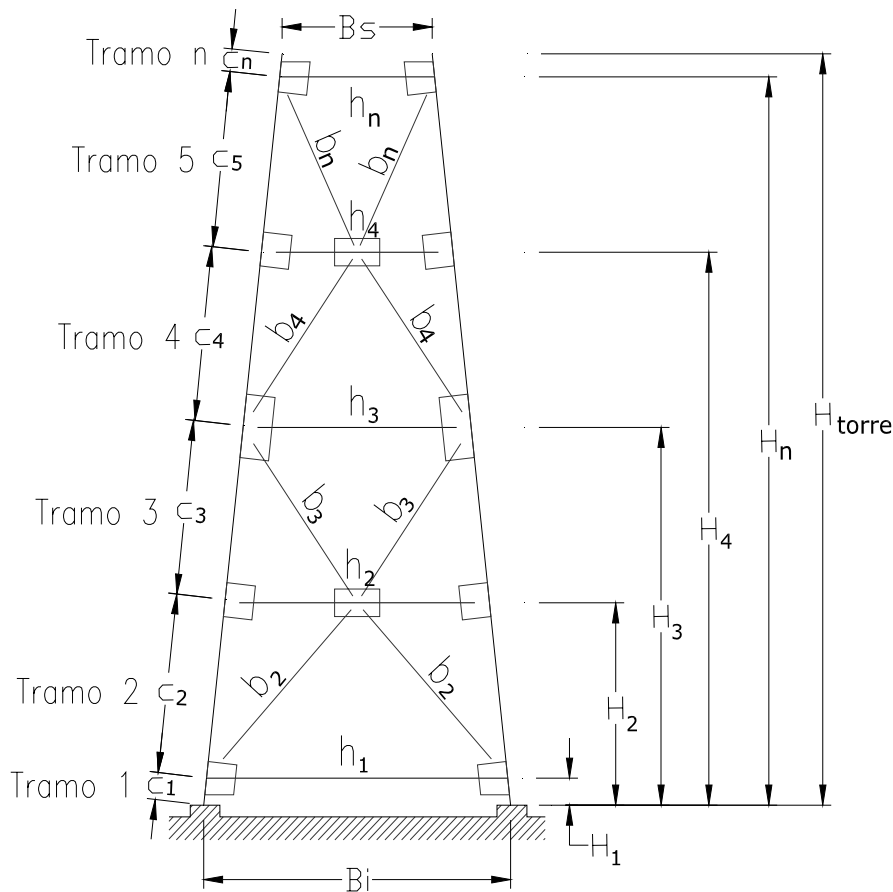


Figura 8. Elevación, parte superior, parte inferior, columnas, horizontales, y breizas

Definidas las dimensiones de los elementos del tanque y los elementos de la torre, el tanque metálico elevado quedará de la siguiente forma:

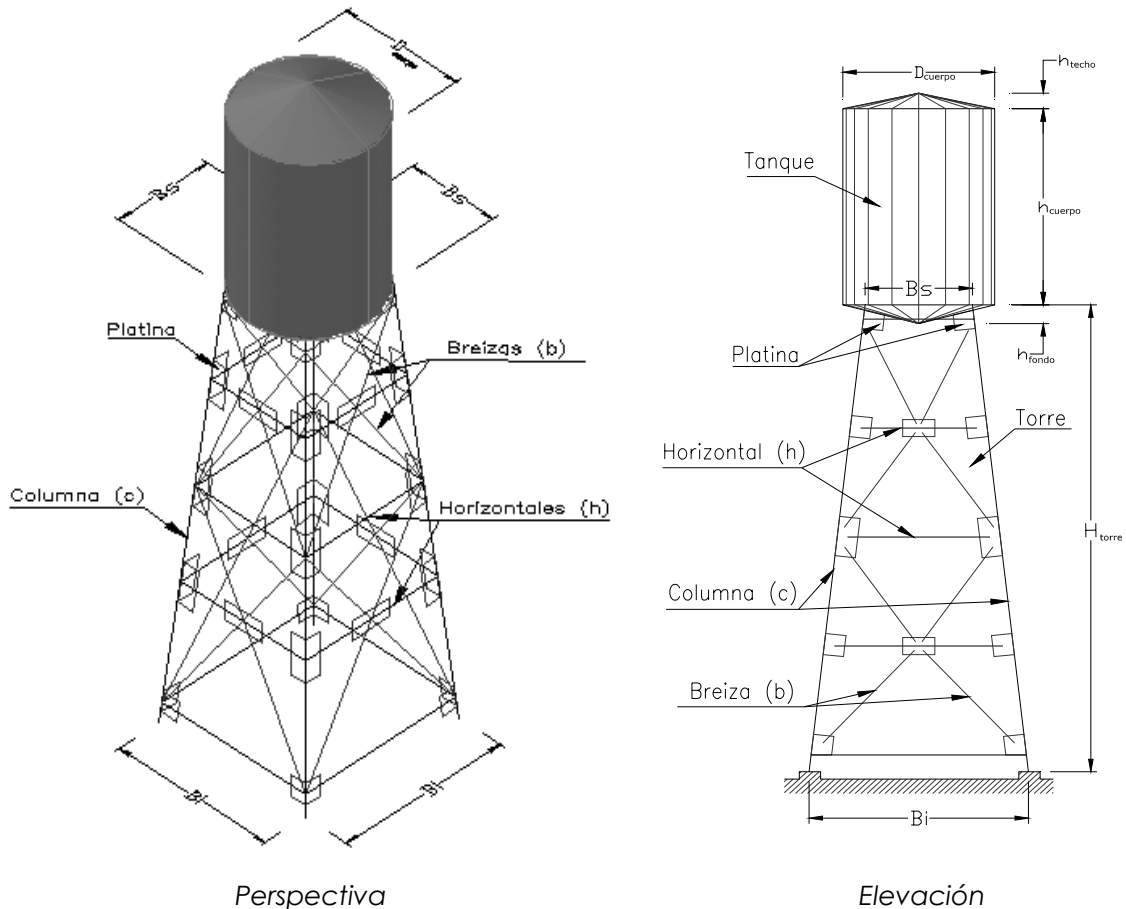


Figura 9. Perspectiva y elevación, modelo esquemático de tanque metálico elevado

2.3. Predimensionamiento de secciones elementos de torre

Para establecer un valor inicial del peso de la torre, previo a la integración de cargas, se deberán predimensionar las secciones de los elementos denominados columnas(c), horizontales(h), y breizas(b); para

el efecto, se proponen como valores iniciales los parámetros indicados en la Tabla I.

Tabla I. Predimensionamiento de secciones elementos de torre			
Altura Torre, H_{torre} (pies)	Módulo Sección Columna, S_c (pul³)	Módulo Sección Horizontal, S_h (pul³)	Módulo Sección Breiza, S_b (pul³)
$H_{\text{torre}} \leq 32.80$	7.11	2.30	1.49
$32.80 < H_{\text{torre}} \leq 49.20$	15.80	4.57	2.93
$49.20 < H_{\text{torre}} \leq 65.60$	33.30	7.62	4.79
$H_{\text{torre}} > 65.60$	42.10	11.40	7.11

Fuente: Marco Antonio Ruano Paz ; Parámetros propuestos con base en resultados de diseños realizados en torres de diferentes alturas y tanques de diferentes volúmenes.

Debido a que estos parámetros son propuestos, queda a criterio de cada diseñador, según las características y dimensiones de la torre y del tanque, las secciones a utilizar en la predimensión de los elementos de la torre.

2.4. Diseño de espesores de elementos del tanque

Los criterios a aplicar para el diseño de espesores de los elementos techo, cuerpo, y fondo del tanque serán los establecidos en el Estándar de la Asociación Americana de Abastecimiento de Agua (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION) -AWWA D100-05-. Los espesores de los elementos cuerpo y fondo del tanque se calcularán como elementos de pared delgada, los cuales van a contener agua a una presión (P) y estarán sometidos a fuerzas o esfuerzos de tensión según su sección transversal, y dichas paredes deberán resistir estas fuerzas o esfuerzos de tensión para evitar su colapso.

En ingeniería estructural se usa el contexto de las teorías de falla como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles. Von Mises propuso que un material dúctil sufría falla elástica cuando la energía de distorsión elástica rebasaba cierto valor. Esta teoría establece que la falla ocurrirá si el esfuerzo equivalente (σ_e) es mayor que la resistencia a la fluencia del material (F_y):

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2} \quad \rightarrow \quad \sigma_e < F_y \quad ; \quad \sigma_1 = \frac{P \cdot r}{t} \quad \& \quad \sigma_2 = \frac{P \cdot r}{2 \cdot t}$$

donde:

σ_1, σ_2 = esfuerzos de tensión, en lb/pul²

P = presión hidrostática, en lb/pul²

r = radio interno del tanque, en pulgadas

t = espesor requerido, en pulgadas

El esfuerzo equivalente (σ_e) también es llamado esfuerzo equivalente de Von Mises. Un material que falla de acuerdo con la teoría de falla elástica de Von Mises puede escribirse como el lugar geométrico de los puntos donde la tensión de Von Mises, como función de las tensiones principales, supera cierto valor.

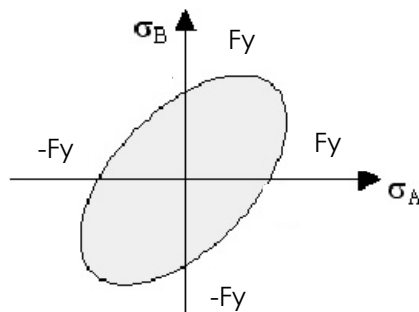


Figura 10. Grafico F_y , limite de fluencia

En la Figura 10, el gráfico F_y representa el límite de fluencia, lo que significa que el material fallará a partir de los límites en el gráfico, o bien resistirá los esfuerzos mientras éstos se mantengan en la zona sombreada; por lo que, en el presente manual, el diseño de los espesores de los elementos cuerpo del tanque y fondo del tanque se deberá revisar de acuerdo con los criterios de la Teoría de Falla de Von Mises descritos anteriormente.

El estándar AWWA D100-05 establece que el espesor de las placas de los elementos del tanque sometidos a esfuerzo por la presión del agua, podrá ser calculado por la fórmula:

$$t = \frac{2.6 \cdot h_p \cdot D_{\text{cuerpo}} \cdot G}{s \cdot E} \quad (\text{Sección 3.7, AWWA D100-05})$$

donde:

t = espesor requerido, en pulgadas

h_p = altura del nivel de diseño del líquido, en pies

D_{cuerpo} = diámetro nominal del cuerpo del tanque, en pies

G = gravedad específica del líquido, para agua 1.0

s = esfuerzo permisible de diseño, en lb/pul² según Tabla III

E = eficiencia de la junta, según Tabla IV

Tabla II. Clases de material	
Clase	F_y (lb/pul²)
0	< 27,000
1	27,000 ≤ F _y ≤ 34,000
2	> 34,000

Fuente: Estándar de la Asociación Americana de Abastecimiento de Agua (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION) -AWWA D100-05-; Tabla 4, página 21.

Tabla III. Esfuerzo permisible de diseño, s		
Renglón	Clase	Esfuerzo permisible de diseño, s (lb/pul ²)
Placas en pared del tanque	1, 2	15,000
Acero estructural, elementos ensamblados, detalles estructurales	0	12,000
	1	15,000
	2	18,000
Anillos de tensión	1, 2	15,000

Fuente: Estándar de la Asociación Americana de Abastecimiento de Agua (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION) -AWWA D100-05-; Tabla 5, pagina 21.

Tabla IV. Eficiencia de la junta		
Tipo de junta	Tensión (%)	Compresión (%)
Doble con penetración completa	85	100
Doble con penetración parcial	$85(Z^*/T)$	$100(Z^*/T)$
Simple con penetración completa	85	100
A traslape con filete continuo en ambas caras de la junta	75	75
A traslape con filete continuo en un lado o discontinuo por los dos lados	$75[(1+X)/2]^+$	$75[(1+X)/2]^+$
A traslape soldado con filete, a puntos o discontinuo por un lado	$75[(XW_1+YW_2)/2t]^{++}$	$75[(XW_1+YW_2)/2t]^{++}$
<p>* Longitud de penetración de soldadura + X, es la longitud del filete discontinuo comparado con la longitud total de la junta, expresado como decimal. ++X & Y, son las longitudes del filete discontinuo de cada lado comparado con las longitudes totales de las juntas W_1 y W_2 respectivamente. Cuando está soldado por una cara, W_2 es cero, y están expresados como decimal. T y t son los espesores respectivos a analizar, use las placas más delgadas del manto.</p>		

Fuente: Estándar de la Asociación Americana de Abastecimiento de Agua (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION) -AWWA D100-05-; Tabla 15, pagina 43.

2.4.1. Espesor por corrosión

El estándar AWWA D100-05 establece que si se desea, se especificará el espesor por corrosión ($t_{\text{corrosión}}$), y éste se adicionará al espesor requerido (t) de los elementos del tanque.

Para elementos que no se encuentran en contacto con agua, tal como el techo, no se considerará espesor por corrosión ($t_{\text{corrosión}}$), a

menos que el tanque se construya en lugares o comunidades con un alto grado de humedad o salinidad relativa y/o por condiciones extremas de lluvia o granizo; esta consideración quedará a criterio de cada diseñador.

Para elementos en contacto con agua, tales como el cuerpo y el fondo, sí se considerará espesor por corrosión ($t_{\text{corrosión}}$).

En este manual se propone utilizar un espesor por corrosión ($t_{\text{corrosión}}$) de 1/16 de pulgada, a menos que el proveedor del material especifique un parámetro diferente.

$$t_{\text{corrosión}} = 1/16''$$

2.4.2. Espesor mínimo elementos sin contacto con agua

El espesor mínimo para elementos que no se encuentran en contacto con agua (t_{min}), será de 3/16 de pulgada.

$$t_{\text{min}} = 3/16'' \quad (\text{Sección 3.10, AWWA D 100-05})$$

2.4.3. Espesor mínimo elementos en contacto con agua

El espesor mínimo para elementos que se encuentran en contacto con agua ($t_{\text{min}h_2O}$), cuando el tanque esté al nivel de su capacidad máxima, será de 1/4 de pulgada.

$$t_{\text{min}h_2O} = 1/4'' \quad (\text{Sección 3.10, AWWA D 100-05})$$

2.4.4. Espesor mínimo placas cilíndricas en contacto con agua

El espesor mínimo para las placas cilíndricas del cuerpo del tanque que se encuentran en contacto con agua ($t_{\min \text{ cuerpo}}$), cuando el tanque esté al nivel de su capacidad máxima, se determinará de acuerdo a las dimensiones de éste, y como se indica en la Tabla V.

Tabla V. Espesor mínimo placas cilíndricas en contacto con agua		
Diámetro Nominal, D (pies)	Altura Nominal, H (pies)	Espesor mínimo, $t_{\min \text{ cuerpo}}$ (pulgadas)
$D \leq 20$	Todas	1/4
$20 < D \leq 50$	$H \leq 48$	1/4
$20 < D \leq 50$	$H > 48$	1/4
$50 < D \leq 120$	Todas	1/4
$120 < D \leq 200$	Todas	5/16
$D > 200$	Todas	3/8

Fuente: Estándar de la Asociación Americana de Abastecimiento de Agua (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION) -AWWA D100-05-; Tabla 16, página 50.

2.4.5. Espesor del techo

El espesor del techo (t_{techo}), por ser un elemento que no se encuentra en contacto con agua, se determinará de acuerdo a lo indicado en el numeral 2.4.2., y de ser necesario se adicionará el espesor por corrosión ($t_{\text{corrosión}}$) indicado en el numeral 2.4.1.

$$t_{\text{techo}} = t_{\min} + t_{\text{corrosión}}$$

2.4.6. Espesor del cuerpo

El espesor del cuerpo (t_{cuerpo}) podrá ser calculado por la fórmula del estándar AWWA D100-05 indicada en el numeral 2.4., donde h_p será la altura del líquido en el cuerpo; adicionándole el espesor por corrosión ($t_{\text{corrosión}}$) indicado en el numeral 2.4.1., pero nunca será menor a lo indicado en la Tabla V del numeral 2.4.4.

$$\left. \begin{array}{l} t_{\text{cuerpo}} = t + t_{\text{corrosión}} \\ \text{ó} \\ t_{\text{cuerpo}} = t_{\text{min cuerpo}} \end{array} \right\} \text{el mayor de los dos}$$

2.4.7. Espesor del fondo

El espesor del fondo (t_{fondo}) podrá ser calculado por la fórmula del estándar AWWA D100-05 indicada en el numeral 2.4., donde h_p será la altura del líquido en el cuerpo más la altura del fondo (h_{fondo}); adicionándole el espesor por corrosión ($t_{\text{corrosión}}$) indicado en el numeral 2.4.1., pero nunca será menor a lo indicado en el numeral 2.4.3.

$$\left. \begin{array}{l} t_{\text{fondo}} = t + t_{\text{corrosión}} \\ \text{ó} \\ t_{\text{fondo}} = t_{\text{min}h20} \end{array} \right\} \text{el mayor de los dos}$$

2.5. Integración de cargas para el análisis estructural

Se considerarán las cargas gravitacionales, las cargas debidas a la acción del viento, y las cargas debidas a la acción de los sismos. Estas se establecerán de acuerdo al código IBC 2009 y al estándar ASCE 7-10.

2.5.1. Cargas gravitacionales

Son las cargas que actúan en sentido y dirección de la gravedad, y se encuentran conformadas por:

- cargas muertas, y;
- cargas vivas.

2.5.1.1. Cargas muertas

Son los pesos de los elementos que forman parte de la estructura del tanque metálico elevado, y de todos los aditamentos permanentemente sujetos a ella. Se considerarán el peso propio de los elementos del tanque, el peso propio de los elementos de la torre, y el peso del agua; debido a que los factores de carga son los mismos.

Aprovechando las características del paquete de software o programa SAP2000, le dejaremos a éste el trabajo de calcular el peso propio de los elementos que componen el tanque y la torre, por lo que únicamente se establecerán el volumen de agua en el cuerpo del tanque ($V_{h_2O \text{ cuerpo}}$), el volumen de agua en el fondo del tanque (V_{h_2O}

fondo), y el peso del agua en el tanque (W_{h20}); esto para determinar la carga por presión hidrostática que actúa en el fondo del tanque (P_{fondo}).

$$V_{h20 \text{ cuerpo}} = \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{cuerpo}}}{2} \right)^2 \cdot h_{h20 \text{ cuerpo}}$$

$$V_{h20 \text{ fondo}} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{D_{\text{cuerpo}}}{2} \right)^2 \cdot h_{h20 \text{ fondo}}}{3}$$

$$W_{h20} = (V_{h20 \text{ cuerpo}} + V_{h20 \text{ fondo}}) \cdot \gamma_{h20}$$

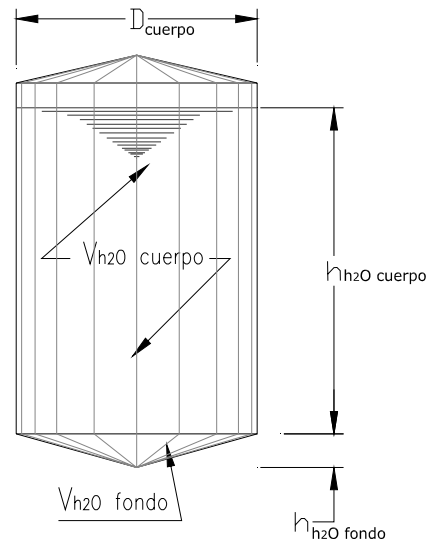


Figura 11. Elevación, volumen de agua en cuerpo y fondo de tanque

donde:

W_{h20} = peso del agua en el tanque, en libras

$V_{h20 \text{ cuerpo}}$ = volumen de agua en el cuerpo del tanque, en pie^3

$V_{h20 \text{ fondo}}$ = volumen de agua en el fondo del tanque, en pie^3

γ_{h20} = peso específico del agua, 62.4 libras/ pie^3

Con el peso del agua en el tanque (W_{h20}) establecido, se procede a encontrar el radio del disco o hipotenusa del fondo (d), y el área de la superficie de carga en el fondo del tanque (A_{fondo}):

$$d = \sqrt{h_{\text{fondo}}^2 + \left(\frac{D_{\text{cuerpo}}}{2}\right)^2}$$

$$A_{\text{fondo}} = \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{cuerpo}}}{2}\right) \cdot d$$

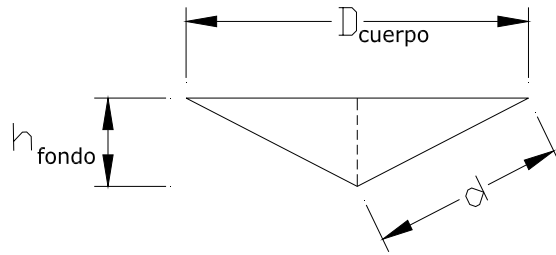


Figura 12. Elevación, radio del disco o hipotenusa del fondo.

Con el radio del disco o hipotenusa del fondo (d) y el área de la superficie de carga en el fondo del tanque (A_{fondo}) establecidos, se determina la carga por presión hidrostática que actúa en el fondo del tanque (P_{fondo}). En este manual la carga por presión P_{fondo} será igual a la carga por fluido F establecida en las combinaciones de carga del -ASCE 7-10-, y será considerada como carga muerta o sobrecarga AGUA:

$$P_{\text{fondo}} = \frac{W_{\text{h2o}}}{A_{\text{fondo}}} \quad (\text{Sobrecarga AGUA})$$

donde:

P_{fondo} = carga por presión hidrostática en el fondo del tanque, en lb/pie²

W_{h2o} = peso del agua en el tanque, en libras

A_{fondo} = área de la superficie de carga en el fondo del tanque, en pie²

2.5.1.2. Cargas vivas

Son las cargas debidas al uso y ocupación de la estructura; se deberá considerar la carga viva en el techo, en las escaleras, y en el balcón; estas últimas dos si dentro del diseño del tanque se encuentran dichos elementos. La carga viva de diseño en el techo del tanque podrá variar entre 12 y 20 libras/pie², tomando en consideración la pendiente del techo; a mayor pendiente menor carga viva (ASCE 7-10).

2.5.2. Carga de viento

Se deberá prever en el diseño los esfuerzos causados por el viento durante el montaje y después de terminada la construcción del tanque metálico elevado. Los procedimientos y limitaciones para dicho diseño deberán determinarse por la velocidad del viento en la zona, la topografía del lugar, la categoría de ocupación, etc.

2.5.2.1. Velocidad básica del viento

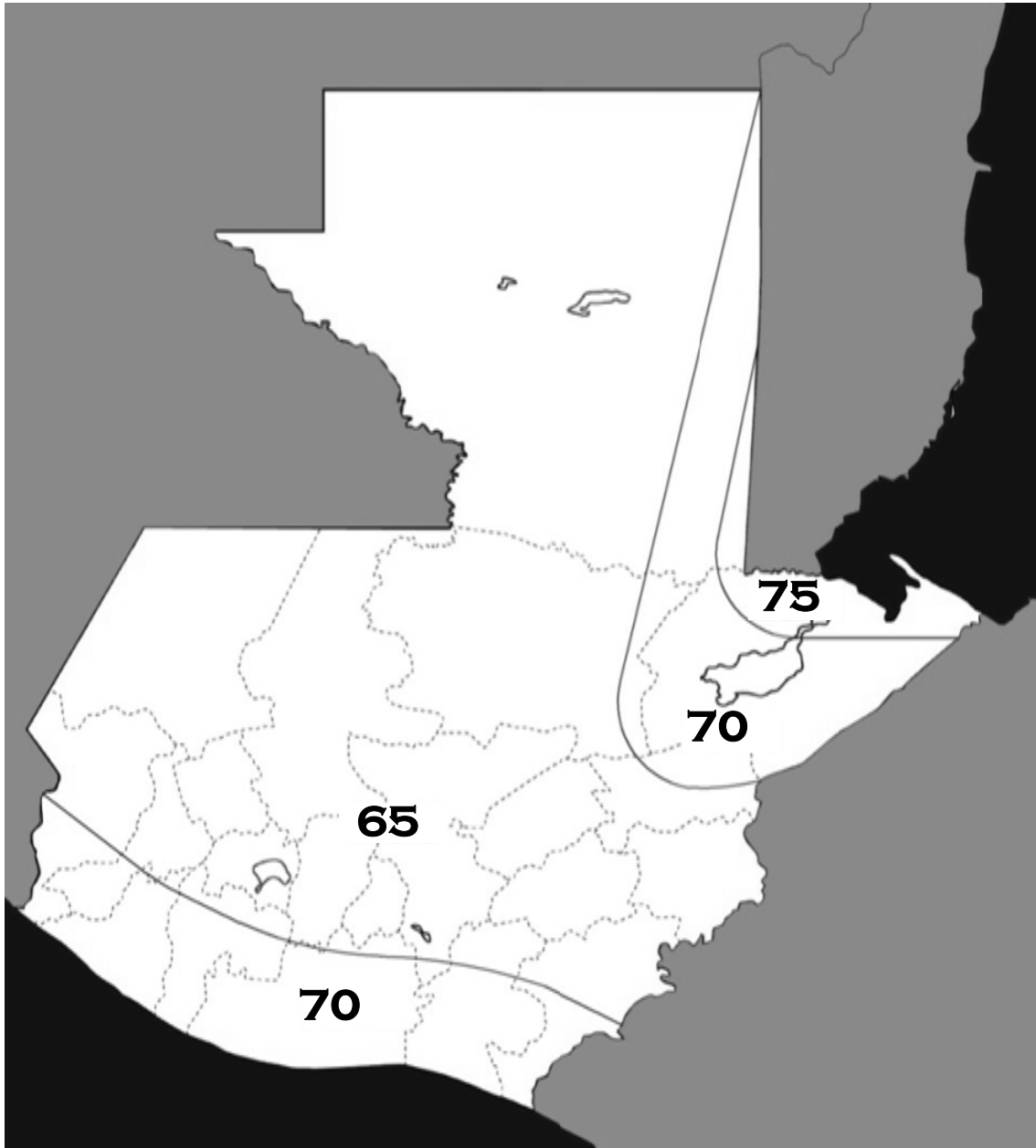
La velocidad básica del viento (V) se podrá determinar de acuerdo a registros de velocidades máximas del viento ocurridas en el territorio nacional, proporcionados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-, de acuerdo con la Tabla VI.

Tabla VI. Velocidades máximas del viento	
Lugar	Velocidad máxima (mph)
Sierra de La Minas	112
Cañón de Palín	110
Resto del territorio nacional	80

Fuente: Departamento de Investigación y Servicios Meteorológicos, Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-.

Se podrán utilizar también los valores de velocidades básicas del viento de acuerdo con el Mapa 1, que indica las zonas de velocidad básica del viento para la República de Guatemala.

Queda a criterio de cada diseñador el dato de velocidad a utilizar para la determinación de la velocidad básica del viento (V).



Fuente: Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala NSE 2-10, Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica -AGIES-, Figura 5-1, página 31.

Mapa 1. Zonas de velocidad básica del viento para la República de Guatemala (mph)

2.5.2.2. Factor de direccionalidad del viento

El factor de direccionalidad del viento (K_d) se determinará de acuerdo con la Tabla VII.

Tabla VII. Factor de direccionalidad del viento, K_d	
Tipo de Estructura	Factor K_d
Tanques y estructuras similares con sección transversal:	
Cuadrada	0.90
Hexagonal	0.95
Circular	0.95

Fuente: Estándar de Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras (MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES) -ASCE 7-10-; Tabla 26.6-1, página 250.

2.5.2.3. Factor de importancia por viento

El factor de importancia por viento (I_v) se asignará de acuerdo con la Tabla IX, basado en la categoría de riesgo que se indica en la Tabla VIII.

Tabla VIII. Categoría de riesgo	
Naturaleza de la ocupación	Categoría de riesgo
Edificios y otras estructuras designadas como instalaciones esenciales, incluyendo, pero no limitado a: Estructuras auxiliares (torres de comunicación, tanques de almacenamiento de combustible, torres de enfriamiento, estructuras de subestaciones eléctricas, tanques de almacenamiento de agua, apoyo de estructuras para tanques de agua o de extinción de incendios) necesarias para el funcionamiento de las estructuras de ocupación categoría IV durante una emergencia.	IV

Fuente: Estándar de Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras (MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES) -ASCE 7-10-; Tabla 1.5-1, página 2.

Tabla IX. Factor de importancia por viento, I_v	
Categoría de riesgo	I_v
IV	1.15

Fuente: Estándar de Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras (MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES) -ASCE 7-05-; Tabla 6-1, página 77.

En el documento ASCE 7-10 se elimina el factor de importancia por viento, debido a que los mapas de velocidades del viento para las zonas allí presentadas ya se encuentran calibrados; por lo que en el presente manual, por carecer Guatemala de estos mapas calibrados, se utilizará el factor de importancia descrito en el documento ASCE 7-05.

2.5.2.4. Rugosidad de la superficie

Con el propósito de asignar una categoría de exposición, la rugosidad de la superficie se define como:

Superficie rugosa B: áreas urbanas y suburbanas, áreas boscosas, otros terrenos con numerosas obstrucciones cercanamente espaciadas que tienen el tamaño de viviendas unifamiliares o más grandes.

Superficie rugosa C: terrenos abiertos, llanuras y sabanas con obstrucciones dispersas con alturas generalmente menores de 30 pies. Se incluyen las superficies costeras en las regiones propensas a huracanes.

Superficie rugosa D: áreas planas sin obstrucciones, superficies costeras fuera de las regiones propensas a huracanes. Se incluyen suelos de barro suave y salinas.

2.5.2.5. Categorías de exposición

Se consideran tres categorías de exposición (B, C, y D), que se definen como:

Exposición B: se aplicará cuando la superficie rugosa B prevalezca en la dirección contra el viento (barlovento) a una distancia de por lo menos 2,630 pies o 20 veces la altura de la estructura, la que sea mayor. (Excepción: para estructuras cuya altura sea menor o igual a 30 pies, la distancia contra el viento puede ser reducida a 1,500 pies).

Exposición C: se aplicará a todos los casos en que las exposiciones B o D no se aplican.

Exposición D: se aplicará cuando la superficie rugosa D prevalezca en la dirección contra el viento (barlovento) a una distancia superior a 5,000 pies o 20 veces la altura de la estructura, la que sea mayor. La exposición D se extenderá a las zonas a sotavento de la superficie rugosa B o C en una distancia de 600 pies o 20 veces la altura de la estructura, la que sea mayor.

2.5.2.6. Coeficiente de exposición de presión de velocidad

El coeficiente de exposición de presión de velocidad (K_z), se determinará de acuerdo con la categoría de exposición indicada en el numeral 2.5.2.5., con la altura del tanque sobre el terreno (z), y con las constantes de exposición del terreno α y z_g que se indican en la Tabla X.

Tabla X. Constantes de exposición del terreno										
Categoría de exposición	α	z_g (pies)	\hat{a}	\hat{b}	\bar{a}	\bar{b}	c	ℓ (pies)	$\bar{\epsilon}$	z_{min} (pies)
B	7.0	1200	1/7.0	0.84	1/4.0	0.45	0.30	320	1/3.0	30
C	9.5	900	1/9.5	1.00	1/6.5	0.65	0.20	500	1/5.0	15
D	11.5	700	1/11.5	1.07	1/9.0	0.80	0.15	650	1/8.0	7

Fuente: Estándar de Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras (MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES) -ASCE 7-10-; Tabla 26.9-1, pagina 256.

- Para $z < 15$ pies:

$$K_z = 2.01 \cdot \left(\frac{15}{z_g} \right)^{2/\alpha} \quad (\text{Sección 27.3.1, ASCE 7-10})$$

- Para $15 \text{ pies} \leq z \leq z_g$:

$$K_z = 2.01 \cdot \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2/\alpha} \quad (\text{Sección 27.3.1, ASCE 7-10})$$

donde:

K_z = coeficiente de exposición de presión de velocidad

z = altura torre (H_{torre})+altura cuerpo (h_{cuerpo})+altura techo (h_{techo}), en pies

z_g = constante de exposición del terreno, Tabla X

α = constante de exposición del terreno, Tabla X

2.5.2.7. Efectos topográficos

Los efectos del viento en colinas aisladas, crestas, y escarpas, que constituyen los cambios bruscos en la topografía general, ubicados en cualquier categoría de exposición, se incluirán en el diseño cuando las condiciones del sitio y la ubicación de la estructura cumplan con las condiciones siguientes:

1. La colina, cresta, o escarpa está aislada y sin obstáculos topográficos a barlovento de altura comparable a 100 veces su propia altura o 2 millas (3.22 km.), la que sea menor. Esta distancia se medirá horizontalmente a partir del momento en que se determina la altura H de la colina, cresta, o escarpa (Ver Figura 13).
2. La colina, cresta, o escarpa sobresale por encima de la altura de las características del terreno a barlovento dentro de un radio de 2 millas (3.22 km.) en cualquiera de los cuadrantes en un factor de dos o más.
3. La estructura está situada en la parte superior de la mitad de una colina o promontorio, o cerca de la cresta de un acantilado (Ver Figura 13).
4. $H/L_h \geq 0.20$.
5. H es mayor o igual a 15 pies (4.50 m.) para exposiciones C y D, y 60 pies (18 m.) para exposición B.

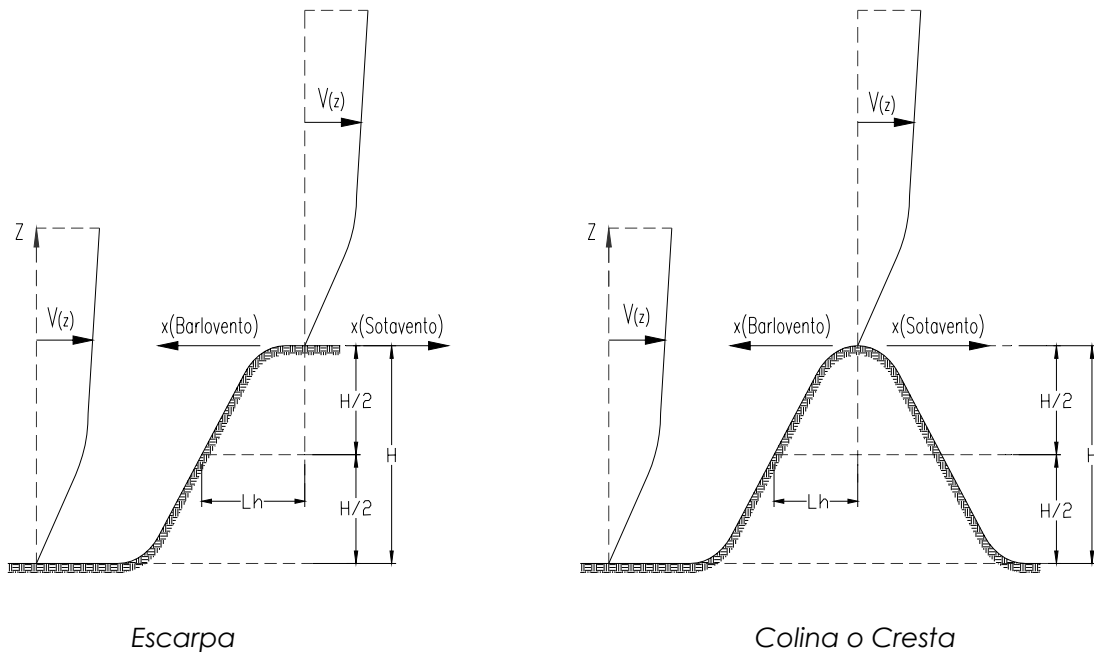


Figura 13. Escarpa, colina o cresta

donde:

H = altura de la colina o escarpa en relación con el terreno a barlovento, en pies (Ver Figura 13)

L_h = distancia de la cresta a donde la diferencia de altitud es la mitad de la altura de la colina o escarpa, en pies (Ver Figura 13)

2.5.2.8. Factor topográfico

El factor topográfico (K_{zt}) representa el efecto de la velocidad del viento a lo largo de colinas aisladas, crestas, y escarpas, y se determinará por la ecuación:

$$K_{zt} = (1 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3)^2 \quad (\text{Sección 26.8.2, ASCE 7-10})$$

donde:

K_1 = factor que considera la forma de accidente topográfico y el máximo efecto de la velocidad, determinado en la Tabla XI;

K_2 = factor que considera la reducción de la velocidad con la distancia a barlovento o sotavento de la cresta;

$$K_2 = \left(1 - \frac{|x|}{\mu L_h} \right) \quad (\text{Figura 26.8-1, ASCE 7-10})$$

K_3 = factor que considera la reducción de la velocidad con la altura sobre el terreno local;

$$K_3 = e^{-\gamma \cdot z/L_h} \quad (\text{Figura 26.8-1, ASCE 7-10})$$

x = distancia a barlovento o sotavento de la cresta a la obra, en pies

z = altura sobre el nivel del suelo, en pies

μ = factor de atenuación horizontal, determinado en Tabla XI

γ = factor de atenuación de altura, determinado en Tabla XI

Tabla XI. Parámetros de velocidad sobre colinas y escarpas						
Forma de la colina o escarpa	K_1			γ	μ	
	Exposición				a barlovento de la cresta	a sotavento de la cresta
	B	C	D			
Cresta en 2 direcciones	1.30	1.45	1.55	3.00	1.50	1.50
Escarpas en 2 direcciones	0.75	0.85	0.95	2.50	1.50	4.00
Colinas en 3 direcciones	0.95	1.05	1.15	4.00	1.50	1.50

Fuente: Estándar de Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras (MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES) -ASCE 7-10-; Figura 26.8-1, pagina 253.

Si las condiciones del sitio y la ubicación de las estructuras no cumplen con todas las condiciones especificadas en el numeral 2.5.2.7., entonces se deberá asignar el valor $K_{zt} = 1.0$.

2.5.2.9. Presión de velocidad

La presión de velocidad (q_z) evaluada a la altura z , se determinará de acuerdo con la ecuación:

$$q_z = 0.00256 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \cdot I_v \quad (\text{Sección 6.5.10, ASCE 7-05})$$

donde:

q_z = presión de velocidad, en lb/pie²

V = velocidad básica del viento, en millas/hora, numeral 2.5.2.1., Tabla VI o Mapa 1

K_d = factor de direccionalidad del viento, numeral 2.5.2.2., Tabla VII

I_v = factor de importancia por viento, numeral 2.5.2.3., Tabla IX

K_z = coeficiente de exposición de presión de velocidad, numeral 2.5.2.6.

K_{zt} = factor topográfico, numeral 2.5.2.8.

2.5.2.10. Período fundamental de la estructura

El período fundamental de la estructura (T) será determinado por la ecuación de dinámica estructural siguiente:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\delta_{st}}{g}} \quad ; \quad \delta_{st} = \frac{0.010 \cdot H_{cm} \cdot I_v}{2.5}$$

donde:

T = período fundamental de la estructura, en segundos

δ_{st} = desplazamiento lateral de la masa, en pies

g = aceleración de la gravedad, en pie/seg²

H_{cm} = altura desde el nivel del terreno hasta el centro de masa del cuerpo del tanque, en pies

I_v = factor de importancia por viento, numeral 2.5.2.3., Tabla IX

2.5.2.11. Frecuencia natural de la estructura

La frecuencia natural de la estructura (f) será determinada por la ecuación:

$$f = \frac{1}{T}$$

donde:

T = período fundamental de la estructura, en segundos, numeral 2.5.2.10.

- Si $f \geq 1$ Hz: *(Sección 26.2, ASCE 7-10)*

Estructura Rígida

- Si $f < 1$ Hz: *(Sección 26.2, ASCE 7-10)*

Estructura Flexible

2.5.2.12. Coeficiente de amortiguamiento

El valor del coeficiente de amortiguamiento (β) para estructuras de soporte, tales como torres de acero, puede ser mucho menor que el de los edificios, y puede encontrarse en el rango de 0.0015 a 0.005 (ASCE 7-10, Sección C26.9). Se utiliza solamente cuando la estructura se considera flexible.

2.5.2.13. Altura equivalente de la estructura

La altura equivalente de la estructura (\bar{z}) será determinada por la ecuación:

$$\bar{z} = 0.60 \cdot h_{\text{equi.}}; \quad h_{\text{equi.}} = \frac{1}{2} \cdot h_{\text{techo}} + h_{\text{cuerpo}} + \frac{1}{2} \cdot h_{\text{fondo}} \quad (\text{Sección 26.9.4, ASCE 7-10})$$

- Si $\bar{z} < z_{\text{min}}$ → utilizar z_{min}

donde:

\bar{z} = altura equivalente de la estructura, en pies

$h_{\text{equi.}}$ = altura equivalente del tanque, en pies

z_{min} = constante de exposición del terreno, numeral 2.5.2.6., Tabla X

2.5.2.14. Intensidad de turbulencia

La intensidad de turbulencia a la altura equivalente de la estructura (I_z) será determinada por la ecuación:

$$I_z = c \cdot \left(\frac{33}{\bar{z}} \right)^{1/6} \quad (\text{Sección 26.9.4, ASCE 7-10})$$

donde:

c = constante de exposición del terreno, numeral 2.5.2.6., Tabla X

\bar{z} = altura equivalente de la estructura, en pies, numeral 2.5.2.13.

2.5.2.15. Longitud Integral de turbulencia

La longitud integral de turbulencia (L_z) será determinada por la ecuación:

$$L_z = \ell \cdot \left(\frac{\bar{z}}{33} \right)^{\bar{\epsilon}} \quad (\text{Sección 26.9.4, ASCE 7-10})$$

donde:

L_z = longitud integral de turbulencia, en pies

ℓ = constante de exposición del terreno, numeral 2.5.2.6., Tabla X

$\bar{\epsilon}$ = constante de exposición del terreno, numeral 2.5.2.6., Tabla X

\bar{z} = altura equivalente de la estructura, en pies, numeral 2.5.2.13.

2.5.2.16. Factor de respuesta de fondo

El factor de respuesta de fondo (Q) será determinado por la ecuación:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.63 \cdot \left(\frac{B+h}{L_z} \right)^{0.63}}} \quad (\text{Sección 26.9.4, ASCE 7-10})$$

donde:

L_z = longitud integral de turbulencia, en pies, numeral 2.5.2.15

B = base del tanque normal a la dirección del viento, en pies

h = altura del tanque, en pies

2.5.2.17. Factor máximo de respuesta de fondo

El factor máximo de respuesta de fondo (g_Q) será tomado como:

$$g_Q = 3.4 \quad (\text{Sección 26.9.5, ASCE 7-10})$$

2.5.2.18. Factor máximo de respuesta de viento

El factor máximo de respuesta de viento (g_v) será tomado como:

$$g_v = 3.4 \quad (\text{Sección 26.9.5, ASCE 7-10})$$

2.5.2.19. Factor máximo de respuesta de resonancia

El factor máximo de respuesta de resonancia (g_R) será determinado por la ecuación:

$$g_R = \sqrt{2 \cdot \ln(3,600 \cdot f)} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \cdot \ln(3,600 \cdot f)}} \quad (\text{Sección 26.9.5, ASCE 7-10})$$

donde:

f = frecuencia natural de la estructura, en Hz, numeral 2.5.2.11.

2.5.2.20. Velocidad media del viento

La velocidad media del viento a una altura equivalente (\bar{V}_z) será determinada por la ecuación:

$$\bar{V}_z = \hat{b} \cdot \left(\frac{\bar{z}}{33} \right)^{\bar{\alpha}} \cdot \left(\frac{88}{60} \right) \cdot V \quad (\text{Sección 26.9.5, ASCE 7-10})$$

donde:

\bar{V}_z = velocidad media del viento a una altura equivalente, en pie/seg.

V = velocidad básica del viento, en millas/hora, numeral 2.5.2.1.

\hat{b} = constante de exposición del terreno, numeral 2.5.2.6., Tabla X

$\bar{\alpha}$ = constante de exposición del terreno, numeral 2.5.2.6., Tabla X

\bar{z} = altura equivalente de la estructura, en pies, numeral 2.5.2.13.

2.5.2.21. Frecuencia reducida

La frecuencia reducida (N_1) será determinada por la ecuación:

$$N_1 = \frac{f \cdot L_z}{\bar{V}_z} \quad (\text{Sección 26.9.5, ASCE 7-10})$$

donde:

f = frecuencia natural de la estructura, en Hz, numeral 2.5.2.11.

L_z = longitud integral de turbulencia, en pies, numeral 2.5.2.15.

\bar{V}_z = velocidad media del viento a altura equivalente, en pie/seg., numeral 2.5.2.20.

2.5.2.22. Valores R_n , R_h , R_B , y R_L

Se determinarán los valores de R_n , R_h , R_B , y R_L de acuerdo con las ecuaciones siguientes:

$$R_n = \frac{7.47 \cdot N_1}{(1 + 10.3 \cdot N_1)^{5/3}} \quad (\text{Sección 26.9.5, ASCE 7-10})$$

• $\eta_h = 4.6 \cdot f \cdot h / \bar{V}_z$ (Sección 26.9.5, ASCE 7-10)

para $\eta_h > 0 \rightarrow R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h})$

para $\eta_h = 0 \rightarrow R_h = 1$

• $\eta_B = 4.6 \cdot f \cdot B / \bar{V}_z$ (Sección 26.9.5, ASCE 7-10)

para $\eta_B > 0 \rightarrow R_B = \frac{1}{\eta_B} - \frac{1}{2 \cdot \eta_B^2} (1 - e^{-2\eta_B})$

para $\eta_B = 0 \rightarrow R_B = 1$

• $\eta_L = 15.4 \cdot f \cdot L / \bar{V}_z$ (Sección 26.9.5, ASCE 7-10)

para $\eta_L > 0 \rightarrow R_L = \frac{1}{\eta_L} - \frac{1}{2 \cdot \eta_L^2} (1 - e^{-2\eta_L})$

para $\eta_L = 0 \rightarrow R_L = 1$

donde:

η_h, η_B, η_L = valores determinados

h = altura del cuerpo del tanque (h_{cuerpo}), en pies

B = base del cuerpo del tanque normal a dirección del viento, en pies

L = base del cuerpo del tanque paralela a dirección del viento, en pies

f = frecuencia natural de la estructura, en Hz, numeral 2.5.2.11.

\bar{V}_z = velocidad media del viento a altura equivalente, en pie/seg.,
numeral 2.5.2.20.

N_1 = frecuencia reducida, numeral 2.5.2.21.

2.5.2.23. Factor de respuesta de resonancia

El factor de respuesta de resonancia (R) será determinado por la ecuación:

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta} \cdot R_n \cdot R_h \cdot R_B \cdot (0.53 + 0.47 \cdot R_L)} \quad (\text{Sección 26.9.5, ASCE 7-10})$$

donde:

β = factor de amortiguamiento, numeral 2.5.2.12.

R_n, R_h, R_B, R_L = valores determinados, numeral 2.5.2.22.

2.5.2.24. Factor de efecto de ráfaga para estructuras rígidas

Una estructura se considera rígida cuando su frecuencia natural (f) es mayor o igual a 1 Hz. Para estructuras rígidas el factor de efecto de ráfaga (G) será el menor entre 0.85 y el determinado por la formula:

$$G = 0.925 \cdot \left(\frac{(1 + 1.7 \cdot g_Q \cdot I_z \cdot Q)}{(1 + 1.7 \cdot g_V \cdot I_z)} \right) \quad (\text{Sección 26.9.4, ASCE 7-10})$$

donde:

I_z = intensidad de turbulencia, numeral 2.5.2.14.

Q = factor de respuesta de fondo, numeral 2.5.2.16.

g_Q = factor máximo de respuesta de fondo, numeral 2.5.2.17.

g_v = factor máximo de respuesta de viento, numeral 2.5.2.18.

2.5.2.25. Factor de efecto de ráfaga para estructuras flexibles

Una estructura se considera flexible cuando su frecuencia natural (f) es menor a 1 Hz. Para estructuras flexibles o dinámicamente sensibles el factor de efecto de ráfaga (G_f) se determinará por la fórmula:

$$G_f = 0.925 \cdot \left(\frac{\left(1 + 1.7 \cdot I_z \cdot \sqrt{g_Q^2 \cdot Q^2 + g_R^2 \cdot R^2} \right)}{\left(1 + 1.7 \cdot g_v \cdot I_z \right)} \right) \quad (\text{Sección 26.9.5, ASCE 7-10})$$

donde:

I_z = intensidad de turbulencia, numeral 2.5.2.14.

Q = factor de respuesta de fondo, numeral 2.5.2.16.

g_Q = factor máximo de respuesta de fondo, numeral 2.5.2.17.

g_v = factor máximo de respuesta de viento, numeral 2.5.2.18.

g_R = factor máximo de respuesta de resonancia, numeral 2.5.2.19.

R = factor de respuesta de resonancia, numeral 2.5.2.23.

2.5.2.26. Coeficiente de fuerza

El coeficiente de fuerza se deberá determinar tanto para el tanque ($C_{f \text{ tanque}}$) como para la torre ($C_{f \text{ torre}}$), de acuerdo con la Tabla XII.

Tabla XII. Coeficiente de fuerza				
Para tanque ($C_{f \text{ tanque}}$)				
Sección Transversal	Tipo de Superficie	Valores de $C_{f \text{ tanque}}$ para h/D		
		1	7	25
Cuadrada (viento normal a la cara)	Todas	1.3	1.4	2
Cuadrada (viento a lo largo en diagonal)	Todas	1	1.1	1.5
Hexagonal u Octogonal	Todas	1	1.2	1.4
Circular ($D \cdot \sqrt{q_z} > 2.5$)	Moderadamente lisa	0.5	0.6	0.7
	Rugosa ($D'/D = 0.02$)	0.7	0.8	0.9
	Muy rugosa ($D'/D = 0.08$)	0.8	1	1.2
Circular ($D \cdot \sqrt{q_z} \leq 2.5$)	Todas	0.7	0.8	1.2

*Para valores de h/D diferentes a los establecidos en la Tabla XII, es permitido utilizar la interpolación lineal para determinar el coeficiente de fuerza $C_{f \text{ tanque}}$.

donde:
 h = altura del cuerpo del tanque (h_{cuerpo}), en pies
 D = diámetro de la sección transversal circular (D_{cuerpo}) o la dimensión horizontal de la sección transversal cuadrada, hexagonal, u octogonal, en pies
 D' = profundidad de las protuberancias que sobresalen, en pies
 q_z = presión de velocidad, en lb/pie², numeral 2.5.2.9.

Para torre ($C_{f \text{ torre}}$)			
Relación Área Sólida/Área Gruesa (ϵ)	Miembros de Lados Planos	Miembros Circulares	
		$D \cdot \sqrt{q_z} \leq 2.5$	$D \cdot \sqrt{q_z} > 2.5$
< 0.1	2	1.2	0.8
0.1 a 0.29	1.8	1.3	0.9
0.30 a 0.70	1.6	1.5	1.1

*El cálculo de las fuerzas de diseño de viento se basará en el área de todos los miembros expuestos y los elementos proyectados en un plano normal a la dirección del viento. Se supone que las fuerzas actúan en paralelo a la dirección del viento.

donde:
 ϵ = relación área sólida/área gruesa
 D = diámetro del miembro circular, en pies
 q_z = presión de velocidad, en lb/pie², numeral 2.5.2.9.

Fuente: Estándar de Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras (MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES) -ASCE 7-10-; Figuras 29.5-1 y 29.5-2, páginas 312 y 313.

2.5.2.27. Presión del viento

La presión del viento (p) se determinará de acuerdo con la ecuación:

$$p = q_z \cdot G \cdot C_f \quad (\text{Sección 6.5.13, ASCE 7-05})$$

donde:

p = presión del viento, en lb/pie²

q_z = presión de velocidad, en lb/pie², numeral 2.5.2.9.

G = factor de efecto de ráfaga, numeral 2.5.2.24 o numeral 2.5.2.25.

C_f = coeficiente de fuerza, numeral 2.5.2.26., Tabla XII.

2.5.2.28. Fuerza de viento

La fuerza de viento (F) se determinará de acuerdo con la ecuación:

$$F = p \cdot A \quad (\text{Sección 29.5, ASCE 7-10})$$

donde:

F = fuerza de viento, en libras

p = presión del viento, en lb/pie², numeral 2.5.2.27.

A = área de tanque proyectada normal a la dirección del viento, en pie²

2.5.3. Carga de sismo

Las estructuras sujetas a sismos se deberán diseñar bajo condiciones que resistan tales efectos, y los tanques metálicos elevados no son la excepción. Los procedimientos y limitaciones para dicho diseño

deberán determinarse por la localización zonal, las características del sitio, la categoría de riesgo, etc.

2.5.3.1. Clase de sitio

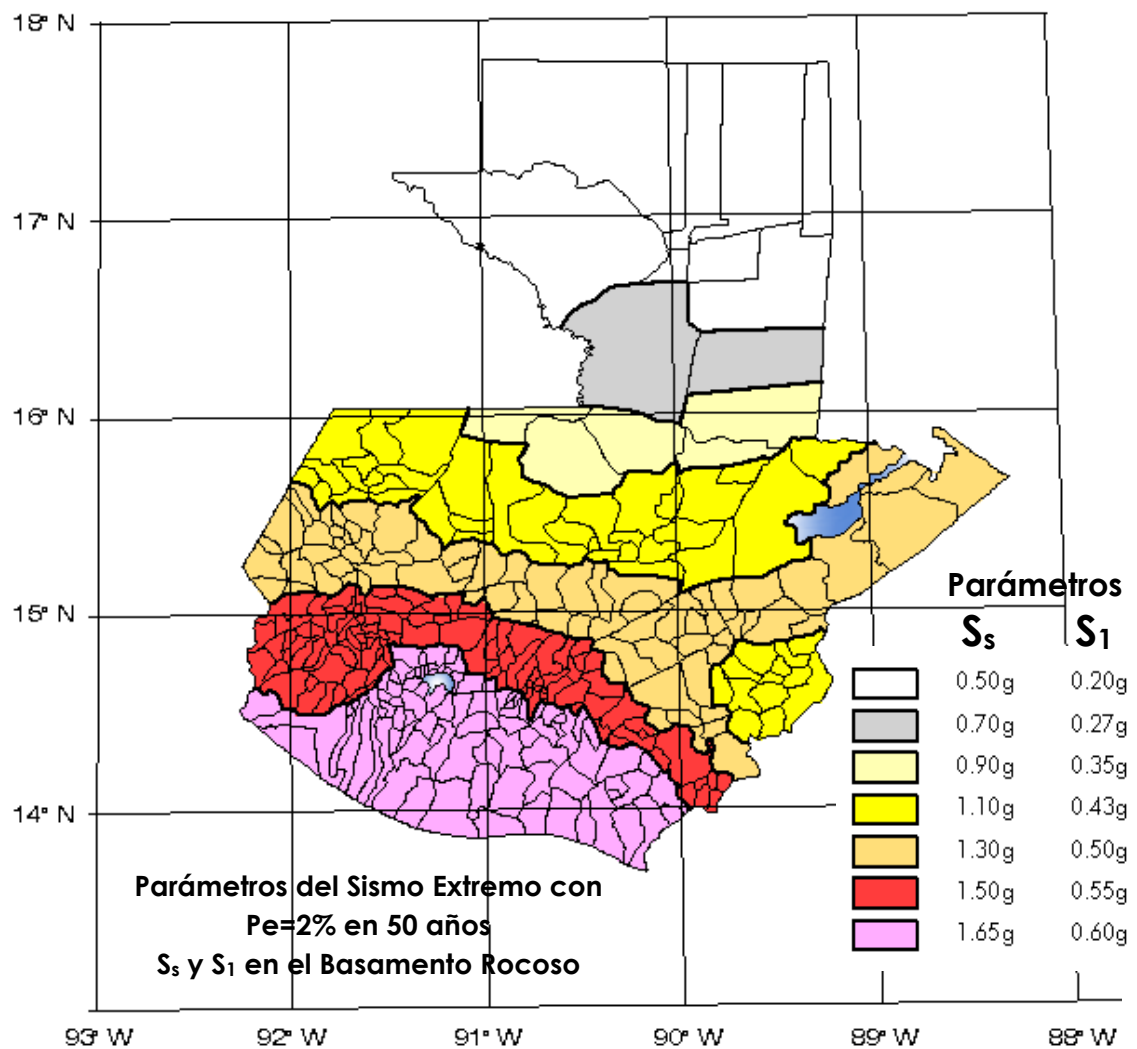
Basado en las propiedades del suelo del sitio, establecidas por un estudio geotécnico, el sitio se clasificará como un sitio Clase A, B, C, D, E o F, de conformidad con la Tabla XIII. Cuando las propiedades del suelo no se conozcan con suficiente detalle como para determinar la clase de sitio, se podrá utilizar el sitio Clase D.

Tabla XIII. Clasificación del sitio				
Clase de sitio	Perfil del suelo	Propiedades promedio sobre la base de primeros 100 pies		
		Velocidad de onda de corte del suelo, V_s, (pie/s)	Resistencia a la penetración estándar, N	Resistencia al corte no drenado, \hat{S}_u, (lb/pul²)
A	Roca	> 5000 pie/s	N/A	N/A
B	Roca blanda	2500 a 5000 pie/s	N/A	N/A
C	Suelo rígido	1200 a 2500 pie/s	> 50	> 2000 lb/pie ²
D	Suelo firme	600 a 1200 pie/s	15 a 50	1000 a 2000 lb/pie ²
E	Suelo suave	< 600 pie/s	< 15	< 1000 lb/pie ²
		Cualquier perfil de suelo con más de 10 pies que tenga las siguientes características: 1. Índice de plasticidad $IP > 20$ 2. Contenido de humedad $w \geq 40\%$, y 3. Resistencia al corte no drenado $\hat{S}_u < 500$ lb/pie ²		
F	Suelo con problema especial	Cualquier perfil de suelo que contenga una o más de las siguientes características: 1. Suelos vulnerables a la posible quiebra o colapso bajo cargas sísmicas, como suelos licuables, arcillas de alta sensibilidad, suelos plegables débilmente cementados. 2. Arcillas con turbas y/o altamente orgánicas ($H > 10$ pies de arcilla con turba y/o altamente orgánica, donde H = espesor del suelo) 3. Arcillas con muy alta plasticidad ($H > 25$ pies con índice de plasticidad $IP > 75$) 4. Arcillas rígidas, blandas o medianas ($H > 120$ pies)		

Fuente: Código Internacional para Edificaciones (INTERNATIONAL BUILDING CODE) -IBC 2009-; Tabla 1613.5.2, pagina 341 & Estándar de Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras (MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES) -ASCE 7-10-; Tabla 20.3-1, pagina 204.

2.5.3.2. Parámetros de aceleración asignada

Los parámetros S_s y S_1 , se determinan a partir de períodos de 0.2 y 1 segundo de aceleraciones espectrales de respuesta, de acuerdo con el Mapa 2, que indica la zonificación sísmica para la República de Guatemala.



Fuente: Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala NSE 2-10, Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica -AGIES-, Figura 4-1, página 14.

Mapa 2. Zonificación sísmica para la República de Guatemala, Parámetros S_s y S_1

Adicionalmente al Mapa 2, los valores de los parámetros S_s y S_1 por municipio para la República de Guatemala se encuentran especificados en el listado de parámetros de aceleración asignada siguiente:

Listado de parámetros de aceleración asignada por municipio

No.	Municipio	Departamento	Parámetros	
			S_s	S_1
1	Acatenango	Chimaltenango	1.65 g	0.60 g
2	Agua Blanca	Jutiapa	1.10 g	0.43 g
3	Aguacatán	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
4	Almolonga	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
5	Alotenango	Sacatepéquez	1.65 g	0.60 g
6	Amatitlán	Guatemala	1.65 g	0.60 g
7	Antigua Guatemala	Sacatepéquez	1.65 g	0.60 g
8	Asunción Mita	Jutiapa	1.30 g	0.50 g
9	Atescatempa	Jutiapa	1.50 g	0.55 g
10	Ayutla	San Marcos	1.50 g	0.55 g
11	Barberena	Santa Rosa	1.65 g	0.60 g
12	Cabañas	Zacapa	1.30 g	0.50 g
13	Cabricán	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
14	Cajola	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
15	Camotán	Chiquimula	1.10 g	0.43 g
16	Canillá	Quiché	1.30 g	0.50 g
17	Cantel	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
18	Casillas	Santa Rosa	1.50 g	0.55 g
19	Catarina	San Marcos	1.50 g	0.55 g
20	Chahal	Alta Verapaz	1.10 g	0.43 g
21	Chajul	Quiché	1.10 g	0.43 g
22	Champerico	Retalhuleu	1.65 g	0.60 g
23	Chiantla	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
24	Chicacao	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
25	Chicamán	Quiché	1.10 g	0.43 g
26	Chiché	Quiché	1.50 g	0.55 g
27	Chichicastenango	Quiché	1.50 g	0.55 g
28	Chimaltenango	Chimaltenango	1.50 g	0.55 g
29	Chinautla	Guatemala	1.50 g	0.55 g
30	Chinique	Quiché	1.50 g	0.55 g
31	Chiquimula	Chiquimula	1.10 g	0.43 g
32	Chiquimulilla	Santa Rosa	1.65 g	0.60 g
33	Chisec	Alta Verapaz	0.90 g	0.35 g
34	Chuarrancho	Guatemala	1.50 g	0.55 g
35	Ciudad Vieja	Sacatepéquez	1.65 g	0.60 g

Listado de parámetros de aceleración asignada por municipio (Continuación)

No.	Municipio	Departamento	Parámetros	
			S _s	S ₁
36	Coatepeque	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
37	Cobán (Norte)	Alta Verapaz	0.90 g	0.35 g
	Cobán (Sur)	Alta Verapaz	1.10 g	0.43 g
38	Colomba	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
39	Colotenango	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
40	Comapa	Jutiapa	1.50 g	0.55 g
41	Comitancillo	San Marcos	1.50 g	0.55 g
42	Concepción	Atitlán	1.65 g	0.60 g
43	Concepción Chiquirichapa	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
44	Concepción Huista	Huehuetenango	1.10 g	0.43 g
45	Concepción Las Minas	Chiquimula	1.10 g	0.43 g
46	Concepción Tutuapa	San Marcos	1.30 g	0.50 g
47	Conguaco	Jutiapa	1.65 g	0.60 g
48	Cubulco	Baja Verapaz	1.30 g	0.50 g
49	Cuilapa	Santa Rosa	1.65 g	0.60 g
50	Cuilco	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
51	Cunén	Quiché	1.10 g	0.43 g
52	Cuyotenango	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
53	Dolores	Petén	0.50 g	0.20 g
54	El Adelanto	Jutiapa	1.50 g	0.55 g
55	El Asintal	Retalhuleu	1.50 g	0.55 g
56	El Estor	Izabal	1.10 g	0.43 g
57	El Jícara	El Progreso	1.30 g	0.50 g
58	El Palmar	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
59	El Progreso	Jutiapa	1.30 g	0.50 g
60	El Quetzal	San Marcos	1.50 g	0.55 g
61	El Rodeo	San Marcos	1.50 g	0.55 g
62	El Tejar	Chimaltenango	1.50 g	0.55 g
63	El Tumbador	San Marcos	1.50 g	0.55 g
64	Escuintla	Escuintla	1.65 g	0.60 g
65	Esquipulas	Chiquimula	1.10 g	0.43 g
66	Esquipulas Palo Gordo	San Marcos	1.50 g	0.55 g
67	Estanzuela	Zacapa	1.30 g	0.50 g
68	Flores	Petén	0.50 g	0.20 g
69	Flores Costa Cuca	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
70	Fraijanes	Guatemala	1.65 g	0.60 g
71	Fray Bartolomé de las Casas	Alta Verapaz	0.90 g	0.35 g
72	Génova	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
73	Granados	Baja Verapaz	1.30 g	0.50 g
74	Gualán	Zacapa	1.30 g	0.50 g
75	Guanagazapa	Escuintla	1.65 g	0.60 g
76	Guastatoya	El Progreso	1.30 g	0.50 g

Listado de parámetros de aceleración asignada por municipio (Continuación)				
--	--	--	--	--

No.	Municipio	Departamento	Parámetros	
			S _s	S ₁
77	Guatemala	Guatemala	1.50 g	0.55 g
78	Guazacapán	Santa Rosa	1.65 g	0.60 g
79	Huehuetenango	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
80	Huitán	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
81	Huité	Zacapa	1.30 g	0.50 g
82	Ipala	Chiquimula	1.10 g	0.43 g
83	Ixcán	Quiché	0.90 g	0.35 g
84	Ixchiguan	San Marcos	1.30 g	0.50 g
85	Iztapa	Escuintla	1.65 g	0.60 g
86	Jacaltenango	Huehuetenango	1.10 g	0.43 g
87	Jalapa	Jalapa	1.30 g	0.50 g
88	Jalpatagua	Jutiapa	1.65 g	0.60 g
89	Jerez	Jutiapa	1.50 g	0.55 g
90	Jocotán	Chiquimula	1.10 g	0.43 g
91	Jocotenango	Sacatepéquez	1.65 g	0.60 g
92	Joyabaj	Quiché	1.50 g	0.55 g
93	Jutiapa	Jutiapa	1.50 g	0.55 g
94	La Democracia	Escuintla	1.65 g	0.60 g
95	La Democracia	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
96	La Esperanza	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
97	La Gomera	Escuintla	1.65 g	0.60 g
98	La Libertad	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
99	La Libertad	Petén	0.50 g	0.20 g
100	La Reforma	San Marcos	1.50 g	0.55 g
101	La Unión	Zacapa	1.30 g	0.50 g
102	Lanquín	Alta Verapaz	1.10 g	0.43 g
103	Livingston Oriente	Izabal	1.30 g	0.50 g
	Livingston Poniente	Izabal	1.10 g	0.43 g
104	Los Amates	Izabal	1.30 g	0.50 g
105	Magdalena Milpas Altas	Sacatepéquez	1.65 g	0.60 g
106	Malacatán	San Marcos	1.50 g	0.55 g
107	Malacatancito	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
108	Masagua	Escuintla	1.65 g	0.60 g
109	Mataquescuintla	Jalapa	1.50 g	0.55 g
110	Mazatenango	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
111	Melchor de Mencos	Petén	0.50 g	0.20 g
112	Mixco	Guatemala	1.50 g	0.55 g
113	Momostenango	Totonicapán	1.50 g	0.55 g
114	Monjas	Jalapa	1.30 g	0.50 g
115	Morales	Izabal	1.30 g	0.50 g
116	Morazán	El Progreso	1.30 g	0.50 g
117	Moyuta	Jutiapa	1.65 g	0.60 g

Listado de parámetros de aceleración asignada por municipio (Continuación)

No.	Municipio	Departamento	Parámetros	
			S _s	S ₁
118	Nahualá	Atitlán	1.65 g	0.60 g
119	Nebaj	Quiché	1.10 g	0.43 g
120	Nentón	Huehuetenango	1.10 g	0.43 g
121	Nueva Concepción	Escuintla	1.65 g	0.60 g
122	Nueva Santa Rosa	Santa Rosa	1.50 g	0.55 g
123	Nuevo Progreso	San Marcos	1.50 g	0.55 g
124	Nuevo San Carlos	Retalhuleu	1.50 g	0.55 g
125	Ocós	San Marcos	1.65 g	0.60 g
126	Olintepeque	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
127	Olopa	Chiquimula	1.10 g	0.43 g
128	Oratorio	Santa Rosa	1.65 g	0.60 g
129	Pachalum	Quiché	1.50 g	0.55 g
130	Pajapita	San Marcos	1.50 g	0.55 g
131	Palencia	Guatemala	1.50 g	0.55 g
132	Palestina de Los Altos	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
133	Palín	Escuintla	1.65 g	0.60 g
134	Panajachel	Atitlán	1.65 g	0.60 g
135	Panzós	Alta Verapaz	1.10 g	0.43 g
136	Parramos	Chimaltenango	1.65 g	0.60 g
137	Pasaco	Jutiapa	1.65 g	0.60 g
138	Pastores	Sacatepéquez	1.65 g	0.60 g
139	Patulul	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
140	Patzicía	Chimaltenango	1.65 g	0.60 g
141	Patzité	Quiché	1.50 g	0.55 g
142	Patzún	Chimaltenango	1.65 g	0.60 g
143	Pochuta	Chimaltenango	1.65 g	0.60 g
144	Poptún	Petén	0.70 g	0.27 g
145	Pueblo Nuevo	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
146	Pueblo Nuevo Viñas	Santa Rosa	1.65 g	0.60 g
147	Puerto Barrios	Izabal	1.30 g	0.50 g
148	Purulhá	Baja Verapaz	1.30 g	0.50 g
149	Quesada	Jutiapa	1.50 g	0.55 g
150	Quetzaltenango	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
151	Quetzaltepeque	Chiquimula	1.10 g	0.43 g
152	Rabinal	Baja Verapaz	1.30 g	0.50 g
153	Raxruhá	Alta Verapaz	0.90 g	0.35 g
154	Retalhuleu	Retalhuleu	1.65 g	0.60 g
155	Río Blanco	San Marcos	1.50 g	0.55 g
156	Río Bravo	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
157	Río Hondo	Zacapa	1.30 g	0.50 g
158	Sacapulas	Quiché	1.30 g	0.50 g
159	Salamá	Baja Verapaz	1.30 g	0.50 g

Listado de parámetros de aceleración asignada por municipio (Continuación)

No.	Municipio	Departamento	Parámetros	
			S _s	S ₁
160	Salcajá	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
161	Samayac	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
162	San Agustín Acasaguastlán	El Progreso	1.30 g	0.50 g
163	San Andrés	Chimaltenango	1.65 g	0.60 g
164	San Andrés	Petén	0.50 g	0.20 g
165	San Andrés Sajcabajá	Quiché	1.30 g	0.50 g
166	San Andrés Semetabaj	Atitlán	1.65 g	0.60 g
167	San Andrés Villa Seca	Retalhuleu	1.65 g	0.60 g
168	San Andrés Xecul	Totonicapán	1.50 g	0.55 g
169	San Antonio Aguas Calientes	Sacatepéquez	1.65 g	0.60 g
170	San Antonio Huista	Huehuetenango	1.10 g	0.43 g
171	San Antonio Ilostenango	Quiché	1.50 g	0.55 g
172	San Antonio La Paz	El Progreso	1.30 g	0.50 g
173	San Antonio Palopó	Atitlán	1.65 g	0.60 g
174	San Antonio Sacatepéquez	San Marcos	1.50 g	0.55 g
175	San Antonio Suchitepéquez	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
176	San Bartolo	Totonicapán	1.50 g	0.55 g
177	San Bartolomé Jocotenango	Quiché	1.30 g	0.50 g
178	San Bartolomé Milpas Altas	Sacatepéquez	1.50 g	0.55 g
179	San Benito	Petén	0.50 g	0.20 g
180	San Bernardino	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
181	San Carlos Alzatate	Jalapa	1.30 g	0.50 g
182	San Carlos Sija	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
183	San Cristóbal Acasaguastlán	El Progreso	1.30 g	0.50 g
184	San Cristóbal Cucho	San Marcos	1.50 g	0.55 g
185	San Cristóbal Totonicapán	Totonicapán	1.50 g	0.55 g
186	San Cristóbal Verapaz	Alta Verapaz	1.10 g	0.43 g
187	San Diego	Zacapa	1.30 g	0.50 g
188	San Felipe	Retalhuleu	1.65 g	0.60 g
189	San Francisco	Petén	0.50 g	0.20 g
190	San Francisco El Alto	Totonicapán	1.50 g	0.55 g
191	San Francisco La Unión	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
192	San Francisco Zapotitlán	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
193	San Gabriel	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
194	San Gaspar Ixchil	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
195	San Ildefonso Ixtahuacán	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
196	San Jacinto	Chiquimula	1.10 g	0.43 g
197	San Jerónimo	Baja Verapaz	1.30 g	0.50 g
198	San José (Escuintla)	Escuintla	1.65 g	0.60 g
199	San José (Petén)	Petén	0.50 g	0.20 g
200	San José Acatempa	Jutiapa	1.65 g	0.60 g
201	San José Chacayá	Atitlán	1.65 g	0.60 g

Listado de parámetros de aceleración asignada por municipio (Continuación)

No.	Municipio	Departamento	Parámetros	
			S _s	S ₁
202	San José del Golfo	Guatemala	1.50 g	0.55 g
203	San José El Ídolo	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
204	San José La Arada	Chiquimula	1.10 g	0.43 g
205	San José Ojetenam	San Marcos	1.30 g	0.50 g
206	San José Pinula	Guatemala	1.50 g	0.55 g
207	San José Poaquil	Chimaltenango	1.50 g	0.55 g
208	San Juan Atitán	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
209	San Juan Bautista	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
210	San Juan Chamelco	Alta Verapaz	1.10 g	0.43 g
211	San Juan Comalapa	Chimaltenango	1.50 g	0.55 g
212	San Juan Cotzal	Quiché	1.10 g	0.43 g
213	San Juan Ermita	Chiquimula	1.10 g	0.43 g
214	San Juan Ixcoy	Huehuetenango	1.10 g	0.43 g
215	San Juan La Laguna	Atitlán	1.65 g	0.60 g
216	San Juan Ostuncalco	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
217	San Juan Sacatepéquez	Guatemala	1.50 g	0.55 g
218	San Juan Tecuaco	Santa Rosa	1.65 g	0.60 g
219	San Lorenzo	San Marcos	1.50 g	0.55 g
220	San Lorenzo	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
221	San Lucas Sacatepéquez	Sacatepéquez	1.50 g	0.55 g
222	San Lucas Tolimán	Atitlán	1.65 g	0.60 g
223	San Luis	Petén	0.90 g	0.35 g
224	San Luis Jilotepeque	Jalapa	1.10 g	0.43 g
225	San Manuel Chaparrón	Jalapa	1.30 g	0.50 g
226	San Marcos	San Marcos	1.50 g	0.55 g
227	San Marcos La Laguna	Atitlán	1.65 g	0.60 g
228	San Martín Jilotepeque	Chimaltenango	1.50 g	0.55 g
229	San Martín Sacatepéquez	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
230	San Martín Zapotitlán	Retalhuleu	1.65 g	0.60 g
231	San Mateo Ixtatán	Huehuetenango	1.10 g	0.43 g
232	San Mateo Ixtatán	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
233	San Miguel Acatán	Huehuetenango	1.10 g	0.43 g
234	San Miguel Chicaj	Baja Verapaz	1.30 g	0.50 g
235	San Miguel Dueñas	Sacatepéquez	1.65 g	0.60 g
236	San Miguel Ixtahuacán	San Marcos	1.30 g	0.50 g
237	San Miguel Panán	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
238	San Miguel Petapa	Guatemala	1.65 g	0.60 g
239	San Miguel Sigüilá	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
240	San Pablo	San Marcos	1.50 g	0.55 g
241	San Pablo Jocopilas	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
242	San Pablo La Laguna	Atitlán	1.65 g	0.60 g
243	San Pedro Ayampuc	Guatemala	1.50 g	0.55 g

Listado de parámetros de aceleración asignada por municipio (Continuación)

No.	Municipio	Departamento	Parámetros	
			S _s	S ₁
244	San Pedro Carchá	Alta Verapaz	1.10 g	0.43 g
245	San Pedro Jocopilas	Quiché	1.30 g	0.50 g
246	San Pedro La Laguna	Atitlán	1.65 g	0.60 g
247	San Pedro Necta	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
248	San Pedro Pinula	Jalapa	1.30 g	0.50 g
249	San Pedro Sacatepéquez	Guatemala	1.50 g	0.55 g
250	San Pedro Sacatepéquez	San Marcos	1.50 g	0.55 g
251	San Pedro Soloma	Huehuetenango	1.10 g	0.43 g
252	San Rafael La Independencia	Huehuetenango	1.10 g	0.43 g
253	San Rafael Las Flores	Santa Rosa	1.50 g	0.55 g
254	San Rafael Petzal	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
255	San Rafael Pie de la Cuesta	San Marcos	1.50 g	0.55 g
256	San Raymundo	Guatemala	1.50 g	0.55 g
257	San Sebastián	Retalhuleu	1.65 g	0.60 g
258	San Sebastián Coatán	Huehuetenango	1.10 g	0.43 g
259	San Sebastián Huehuetenango	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
260	San Vicente Pacaya	Escuintla	1.65 g	0.60 g
261	Sanarate	El Progreso	1.30 g	0.50 g
262	Sansare	El Progreso	1.30 g	0.50 g
263	Santa Ana	Petén	0.50 g	0.20 g
264	Santa Ana Huista	Huehuetenango	1.10 g	0.43 g
265	Santa Apolonia	Chimaltenango	1.50 g	0.55 g
266	Santa Bárbara	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
267	Santa Bárbara	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
268	Santa Catalina La Tinta	Alta Verapaz	1.10 g	0.43 g
269	Santa Catarina Barahona	Sacatepéquez	1.65 g	0.60 g
270	Santa Catarina Ixtahuacán	Atitlán	1.65 g	0.60 g
271	Santa Catarina Mita	Jutiapa	1.30 g	0.50 g
272	Santa Catarina Palopó	Atitlán	1.65 g	0.60 g
273	Santa Catarina Pinula	Guatemala	1.50 g	0.55 g
274	Santa Clara La Laguna	Atitlán	1.65 g	0.60 g
275	Santa Cruz Balanyá	Chimaltenango	1.50 g	0.55 g
276	Santa Cruz Barillas	Huehuetenango	1.10 g	0.43 g
277	Santa Cruz del Quiché	Quiché	1.50 g	0.55 g
278	Santa Cruz el Chol	Baja Verapaz	1.30 g	0.50 g
279	Santa Cruz La Laguna	Atitlán	1.65 g	0.60 g
280	Santa Cruz Muluá	Retalhuleu	1.65 g	0.60 g
281	Santa Cruz Naranjo	Santa Rosa	1.65 g	0.60 g
282	Santa Cruz Verapaz	Alta Verapaz	1.10 g	0.43 g
283	Santa Eulalia	Huehuetenango	1.10 g	0.43 g
284	Santa Lucía Cotzumalguapa	Escuintla	1.65 g	0.60 g
285	Santa Lucía La Reforma	Totonicapán	1.50 g	0.55 g

Listado de parámetros de aceleración asignada por municipio (Continuación)

No.	Municipio	Departamento	Parámetros	
			S _s	S ₁
286	Santa Lucía Milpas Altas	Sacatepéquez	1.65 g	0.60 g
287	Santa Lucía Utatlán	Atitlán	1.65 g	0.60 g
288	Santa María Cahabón	Alta Verapaz	1.10 g	0.43 g
289	Santa María Chiquimula	Totonicapán	1.50 g	0.55 g
290	Santa María de Jesús	Sacatepéquez	1.65 g	0.60 g
291	Santa María Ixhuatán	Santa Rosa	1.65 g	0.60 g
292	Santa María Visitación	Atitlán	1.65 g	0.60 g
293	Santa Rosa de Lima	Santa Rosa	1.50 g	0.55 g
294	Santiago Atitlán	Atitlán	1.65 g	0.60 g
295	Santiago Chimaltenango	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
296	Santiago Sacatepéquez	Sacatepéquez	1.50 g	0.55 g
297	Santo Domingo Suchitepéquez	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
298	Santo Domingo Xenacoj	Sacatepéquez	1.50 g	0.55 g
299	Santo Tomás La Unión	Suchitepéquez	1.65 g	0.60 g
300	Sayaxché	Petén	0.70 g	0.27 g
301	Senahú	Alta Verapaz	1.10 g	0.43 g
302	Sibilia	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
303	Sibinal	San Marcos	1.30 g	0.50 g
304	Sipacapa	San Marcos	1.30 g	0.50 g
305	Siquinalá	Escuintla	1.65 g	0.60 g
306	Sololá	Atitlán	1.65 g	0.60 g
307	Sumpango	Sacatepéquez	1.50 g	0.55 g
308	Tacaná	San Marcos	1.30 g	0.50 g
309	Tactic	Alta Verapaz	1.10 g	0.43 g
310	Tajumulco	San Marcos	1.50 g	0.55 g
311	Tamahú	Alta Verapaz	1.10 g	0.43 g
312	Taxisco	Santa Rosa	1.65 g	0.60 g
313	Tecpán Guatemala	Chimaltenango	1.50 g	0.55 g
314	Tectitán	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
315	Teculután	Zacapa	1.30 g	0.50 g
316	Tejutla	San Marcos	1.30 g	0.50 g
317	Tiquisate	Escuintla	1.65 g	0.60 g
318	Todos Santos Cuchumatanes	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
319	Totonicapán	Totonicapán	1.50 g	0.55 g
320	Tucurú	Alta Verapaz	1.10 g	0.43 g
321	Unión Cantinil	Huehuetenango	1.30 g	0.50 g
322	Uspantán	Quiché	1.10 g	0.43 g
323	Usumatlán	Zacapa	1.30 g	0.50 g
324	Villa Canales	Guatemala	1.65 g	0.60 g
325	Villa Nueva	Guatemala	1.65 g	0.60 g
326	Yepocapa	Chimaltenango	1.65 g	0.60 g
327	Yupiltepeque	Jutiapa	1.50 g	0.55 g

Listado de parámetros de aceleración asignada por municipio (Continuación)

No.	Municipio	Departamento	Parámetros	
			S_s	S_1
328	Zacapa	Zacapa	1.30 g	0.50 g
329	Zacualpa	Quiché	1.50 g	0.55 g
330	Zapotitlán	Jutiapa	1.50 g	0.55 g
331	Zaragoza	Chimaltenango	1.50 g	0.55 g
332	Zunil	Quetzaltenango	1.50 g	0.55 g
333	Zunilito	Suchitupéquez	1.65 g	0.60 g

Fuente: Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala NSE 2-10, Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica -AGIES-, Anexo A, página 55 a página 63.

2.5.3.3. Coeficiente de sitio F_a

El coeficiente de sitio F_a dependerá de la clase de sitio (perfil del suelo), de conformidad con la Tabla XIV.

Tabla XIV. Coeficiente de sitio F_a					
Clase de sitio	Parámetro de aceleración asignada a períodos cortos				
	$S_s \leq 0.50g$	$S_s = 0.70g$	$S_s = 0.90g$	$S_s = 1.10g$	$S_s \geq 1.30g$
A	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00
D	1.40	1.20	1.10	1.00	1.00
E	1.70	1.20	1.00	0.90	0.90
F	Se requiere evaluación específica, ver numeral 2.5.3.4.1.				

Fuente: Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala NSE 2-10, Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica -AGIES-, Tabla 4-2, página 15.

2.5.3.4. Coeficiente de sitio F_v

El coeficiente de sitio F_v dependerá de la clase de sitio (perfil del suelo), de conformidad con la Tabla XV.

Tabla XV. Coeficiente de sitio F_v					
Clase de sitio	Parámetro de aceleración asignada a períodos de 1 segundo				
	$S_1 \leq 0.20g$	$S_1 = 0.27g$	$S_1 = 0.35g$	$S_1 = 0.43g$	$S_s \geq 0.50g$
A	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1.70	1.60	1.50	1.40	1.30
D	2.00	1.80	1.70	1.60	1.50
E	3.20	2.80	2.60	2.40	2.40
F	Se requiere evaluación específica, ver numeral 2.5.3.4.1.				

Fuente: Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala NSE 2, Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica -AGIES-, Tabla 4-3, página 15.

2.5.3.4.1. Evaluación específica

Se deberá establecer el espectro en la superficie a partir de sismo en el basamento rocoso por métodos geofísicos analíticos basados en datos físicos relevantes para el sitio. Se puede utilizar como guía de criterio la sección 21.1 del Estándar de Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras (MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES) -ASCE 7-10-. La sección 21.1.1 de dicho estándar describe una manera de modelar la excitación sísmica en el basamento rocoso utilizando como factores de escala los parámetros S_s y S_1 del sitio de interés. La sección 21.1.2 se refiere a modelar la columna de suelo. La sección 21.1.3 se refiere a la respuesta en la parte superior del perfil de suelo.

Se pueden utilizar otros métodos de análisis que estén de acuerdo a práctica geofísica reconocida. La metodología estará descrita en el informe geofísico - geotécnico, avalada por el ingeniero responsable de estudios de suelos.

2.5.3.5. Coeficientes para máximo sismo esperado

Los coeficientes de aceleración espectral a períodos cortos (S_{MS}) y a períodos de 1 segundo (S_{M1}), ajustados para efectos de la clase de sitio, serán determinados por las ecuaciones:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad \& \quad S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (\text{Sección 11.4.3, ASCE 7-10})$$

donde:

S_s = parámetro de aceleración asignada a , numeral 2.5.3.2., Mapa 2

S_1 = parámetro de aceleración asignada, numeral 2.5.3.2., Mapa 2

F_a = coeficiente de sitio, numeral 2.5.3.3., Tabla XIV

F_v = coeficiente de sitio, numeral 2.5.3.4., Tabla XV

2.5.3.6. Parámetros de aceleración espectral

Los parámetros de diseño de aceleración espectral a períodos cortos (S_{DS}) y a períodos de 1 segundo (S_{D1}), serán determinados por las ecuaciones:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS} \quad \& \quad S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1} \quad (\text{Sección 11.4.4, ASCE 7-10})$$

donde:

S_{MS} = coeficiente de aceleración espectral a períodos cortos, numeral 2.5.3.5.

S_{M1} = coeficiente de aceleración espectral a períodos de 1 segundo, numeral 2.5.3.5.

2.5.3.7. Espectro de respuesta

Se deberán establecer los períodos de control T_o , T_s , y T_L , para desarrollar el espectro de respuesta de diseño, según la Figura 14.

$$T_o = 0.2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}}; \quad T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}; \quad \& \quad T_L \quad (\text{Sección 11.4.5, ASCE 7-10})$$

El período de transición a largo plazo (T_L) dependerá de la magnitud (M) de acuerdo con la Tabla XVI.

Tabla XVI. Período de transición a largo plazo, T_L	
Magnitud (M)	T_L (segundos)
6.00 - 6.50	4
6.50 - 7.00	6
7.00 - 7.50	8
7.50 - 8.00	12
8.00 - 8.50	16
8.50 - 9.00(+)	20

Fuente: Actas de la 8va. Conferencia Nacional de Estados Unidos en Ingeniería Sísmica, Documento No. 533, Desarrollo de Criterios del Movimiento del Suelo para el Estándar ASCE 7-05, Abril del 2006.

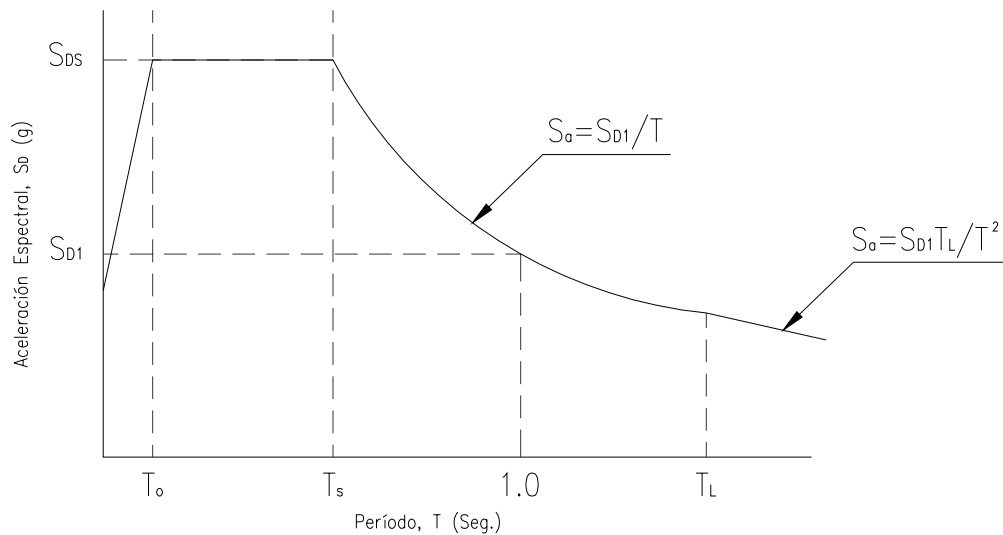


Figura 14. Espectro de respuesta

donde:

S_a = aceleración de diseño de respuesta espectral.

S_{DS} = parámetro de aceleración espectral a períodos cortos, numeral 2.5.3.6.

S_{D1} = parámetro de aceleración espectral a períodos de 1 segundo, numeral 2.5.3.6.

T_0 = período de control, en segundos

T_s = período de control, en segundos

T_L = período de transición a largo plazo

2.5.3.8. Factor de importancia por sismo

El factor de importancia por sismo (I_s) se asignará de acuerdo con la Tabla XVII, basado en la categoría de riesgo que se indica en el numeral 2.5.2.3., Tabla VIII.

Tabla XVII. Factor de importancia por sismo, I_s	
Categoría de riesgo	I_s
IV	1.50

Fuente: Estándar de Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras (MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES) -ASCE 7-10-; Tabla 1.5-2, pagina 5.

2.5.3.9. Categoría de diseño sísmico

Se asignará una categoría de diseño sísmico en función de la categoría de riesgo indicada en el numeral 2.5.2.3., Tabla VIII, y de los parámetros de aceleración espectral S_{DS} y S_{D1} , determinados en el numeral 2.5.3.6.

La categoría de diseño sísmico se determinará de acuerdo con la Tabla XVIII y la Tabla XIX, asignándose la categoría más crítica o severa de ambas, independientemente del período fundamental de vibración de la estructura (T).

Tabla XVIII. Categoría de diseño sísmico basada en S_{DS}	
Valor de S_{DS}	Categoría de riesgo
	IV
$S_{DS} < 0.167$	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	D
$S_{DS} \geq 0.50$	D

Fuente: Estándar de Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras (MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES) -ASCE 7-10-; Tabla 11.6-1, pagina 67.

Tabla XIX. Categoría de diseño sísmico basada en S_{D1}	
Valor de S_{D1}	Categoría de riesgo
$S_{D1} < 0.067$	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	C
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	D
$S_{D1} \geq 0.20$	D

Fuente: Estándar de Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras (MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES) -ASCE 7-10-; Tabla 11.6-2, página 67.

2.5.3.10. Sistema estructural

Se utilizará un sistema estructural para estructuras no similares a edificios, y los coeficientes sísmicos serán de acuerdo con la Tabla XX, los cuales se encuentran sujetos a las limitaciones del sistema (Categoría de diseño sísmico) y a los límites de altura.

Tabla XX. Coeficientes sísmicos para estructuras no similares a edificios								
Tipo de Estructura	Coeficiente de modificación de respuesta, R	Factor de sobreesfuerzo, Ω_o	Factor de amplificación, C_d	Categoría de diseño sísmico y límite de altura (pies)				
				A y B	C	D	E	F
Tanques Elevados, recipientes, contenedores o tolvas:								
Con columnas simétricamente embreizadas	3	2	2.5	sin limite	sin limite	160	100	100
Con columnas no embreizadas o embreizadas asimétricamente	2	2	2.5	sin limite	sin limite	100	60	60

Fuente: Estándar de Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras (MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES) -ASCE 7-10-; Tabla 15.4-2, página 142.

2.5.3.11. Período fundamental de la estructura

El período fundamental de la estructura (T) será determinado por la ecuación de dinámica estructural siguiente:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\delta_{st}}{g}} \quad ; \quad \delta_{st} = \frac{\Delta_{per}}{\left(\frac{C_d}{I_s} \right)}$$

donde:

T = período fundamental de la estructura, en segundos

δ_{st} = desplazamiento lateral de la masa, en pies

g = aceleración de la gravedad, en pie/seg²

I_s = factor de importancia por sismo, numeral 2.5.3.8., Tabla XVII

C_d = factor de amplificación, numeral 2.5.3.10., Tabla XX

Δ_{per} = deriva permisible, en pies, Tabla XXI

Tabla XXI. Deriva permisible, Δ_{per}	
Tipo de estructura	Categoría de riesgo IV
Tanques elevados	0.010 H_{cm}

Fuente: Estándar de Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras (MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES) -ASCE 7-10-; Tabla 12.12-1, pagina 97.

donde:

H_{cm} = altura desde el nivel del terreno hasta el centro de masa del cuerpo del tanque, en pies.

- Si $T < 0.06$ segundos: **Estructura Rígida** (Sección 15.3.2, ASCE 7-10)
- Si $T \geq 0.06$ segundos: **Estructura Flexible** (Sección 15.3.2, ASCE 7-10)

2.5.3.12. Coeficiente de respuesta sísmica

El coeficiente de respuesta sísmica (C_s) se determinará de acuerdo con la ecuación:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_s}\right)} \quad (\text{Sección 12.8.1, ASCE 7-10})$$

donde:

C_s = coeficiente de respuesta sísmica

S_{DS} = parámetro aceleración espectral a períodos cortos, numeral 2.5.3.6.

I_s = factor de importancia por sismo, numeral 2.5.3.8., Tabla XVII

R = coeficiente de modificación de respuesta, numeral 2.5.3.10., Tabla XX

- El valor del coeficiente de respuesta sísmica (C_s), no deberá exceder los límites siguientes:

$$\text{Para } T \leq T_L \rightarrow C_{s_{\max}} = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I_s}\right)} \quad (\text{Sección 12.8.1.1, ASCE 7-10})$$

$$\text{Para } T > T_L \rightarrow C_{s_{\max}} = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2 \cdot \left(\frac{R}{I_s}\right)} \quad (\text{Sección 12.8.1.1, ASCE 7-10})$$

- C_s no deberá ser menor a:

$$C_{s_{\min}} = 0.03 \quad (\text{Sección 15.4, ASCE 7-10})$$

- Para estructuras localizadas en lugares donde $S_1 \geq 0.60g$, C_s no deberá ser menor a:

$$C_{s_{\min}} = \frac{0.80 \cdot S_1}{\left(\frac{R}{I_s} \right)} \quad (\text{Sección 15.4, ASCE 7-10})$$

donde:

$C_{s_{\max}}$ = coeficiente de respuesta sísmica máximo

$C_{s_{\min}}$ = coeficiente de respuesta sísmica mínimo

S_1 = parámetro de aceleración asignada, numeral 2.5.3.2., Mapa 2

S_{D1} = parámetro de aceleración espectral a períodos de 1 segundo, numeral 2.5.3.6.

T_L = período de transición a largo plazo, en segundos, numeral 2.5.3.7.,

Tabla XVI

I_s = factor de importancia por sismo, numeral 2.5.3.8., Tabla XVII

R = coeficiente de modificación de respuesta, numeral 2.5.3.10., Tabla XX

T = período fundamental de la estructura, en segundos, numeral 2.5.3.11.

2.5.3.13. Cortante en la base

El cortante en la base (V), se determinará de acuerdo con la ecuación:

- Para Estructuras Rígidas:

$$V = 0.30 \cdot S_{DS} \cdot W \cdot I_s \quad (\text{Sección 15.4.2, ASCE 7-10})$$

- Para Estructuras Flexibles:

$$V = C_s \cdot W \quad (\text{Sección 12.8.1, ASCE 7-10})$$

donde:

V = cortante en la base, en libras

S_{DS} = parámetro aceleración espectral a períodos cortos, numeral 2.5.3.6.

W = peso de la estructura, en libras

I_s = factor de importancia por sismo, numeral 2.5.3.8., Tabla XVII

C_s = coeficiente de respuesta sísmica, numeral 2.5.3.12.

2.5.4. Carga por presión hidrostática en cuerpo del tanque

Se deberá determinar la carga por presión hidrostática que actúa en el cuerpo del tanque (P_{cuerpo}):

En este manual no se considera dentro del análisis y el diseño la condición de chapoteo (Sloshing) producida por el agua.

$$P_{\text{cuerpo}} = \gamma_{\text{h}_2\text{O}} \cdot h_{\text{cuerpo}} \quad (\text{carga AGUA PR})$$

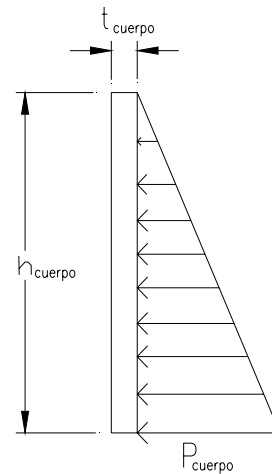


Figura 15. Presión hidrostática en el cuerpo de tanque

donde:

P_{cuerpo} = carga por presión hidrostática en cuerpo del tanque, en lb/pie²

$\gamma_{\text{h}_2\text{O}}$ = peso específico del agua, 62.4 libras/pie³

h_{cuerpo} = altura del cuerpo del tanque, en pies

CAPÍTULO 3

MODELO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN SAP2000

El programa SAP2000 es uno de los paquetes de software o programas de uso comercial líderes en la ingeniería estructural. Es un paquete de software o programa de cálculo estructural que modela estructuras en tres dimensiones mediante el uso del método de elementos finitos con la implementación del cálculo sísmico. Uno de los elementos más destacados en sus ventajas es la posibilidad de transferir información desde otras aplicaciones compatibles con la plataforma de Microsoft®Windows de una forma muy sencilla de utilizar. Con este recurso computacional es posible modelar complejas geometrías, definir diversos estados de carga, generar pesos propios automáticamente, asignar secciones, asignar materiales, así como realizar cálculos y diseños estructurales de manera precisa basados, entre otras normativas, en los códigos americanos, euro códigos, y otros códigos vigentes.

Considerando que los diseñadores poseen el conocimiento de las características básicas para la utilización del paquete de software o programa SAP2000, la metodología propuesta en este Capítulo se restringe al ingreso de datos o factores propios para el análisis estructural de tanques metálicos elevados del tipo que se indica en el numeral 1.1., dentro de las plantillas o recuadros que genera dicho software o programa. Para una referencia completa de los comandos del paquete de software o programa SAP2000 se podrá revisar el manual respectivo.

3.1. Fases para el modelado de la estructura

La preparación de datos para el modelado de una estructura mediante el paquete de software o programa SAP2000 comprende básicamente la siguiente secuencia de fases:

- Descripción de la geometría estructural y de los materiales, así como sus condiciones de borde y datos generales;
- Definición de los estados de carga para los cuales la estructura precisa ser analizada;
- Realización del análisis estructural del modelo;
- Revisión de resultados del análisis estructural;
- Verificación del diseño de la estructura;

usualmente este es un proceso iterativo que puede involucrar varios ciclos de la secuencia de fases anteriormente descrita.

3.2. Geometría del modelo

En el caso específico de los tanques metálicos elevados, la geometría del modelo puede ingresarse o dibujarse de varias formas, de acuerdo al criterio o preferencia de cada diseñador, siendo éstas:

- Importación de datos desde aplicaciones tipo CAD. Se dibuja el modelo utilizando los comandos o instrucciones propias de esta aplicación, y posteriormente se importan las coordenadas y elementos al programa SAP2000 para el dibujo de la estructura.

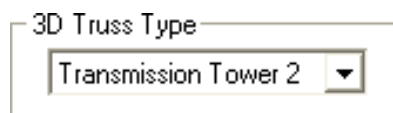
- Dibujo de la estructura con la utilización de comandos o instrucciones de geometría de coordenadas del paquete de software o programa SAP2000. Se ubican las coordenadas y se dibujan los elementos utilizando estos comandos o instrucciones, los cuales pueden ser consultados en los manuales de dicho paquete de software o programa.
- Dibujo de la estructura con la utilización de las diferentes plantillas incluidas dentro del paquete de software o programa SAP2000. Para los tanques metálicos elevados considerados en este manual se propone utilizar las siguientes:

➤ **Para la torre**, armaduras tridimensionales (3D Trusses)

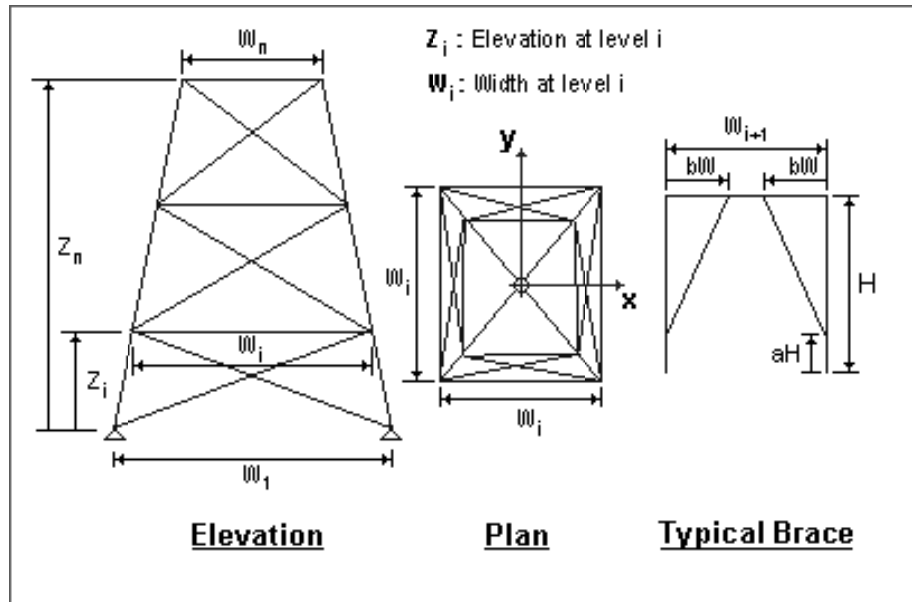


3D Trusses

el tipo de armadura tridimensional (3D Truss Type) recomendado para torres de tanques elevados es Torre de Transmisión 2 (Transmission Tower 2)



definiéndose los parámetros siguientes:



los cuales deben ser ingresados en el recuadro de Dimensiones de Torre de Transmisión Tipo 2 (Transmission Tower Type 2 Dimensions)

	Elevation	Width	a[H]	b[w]	
1					▲
2					
3					
4					
5					▼

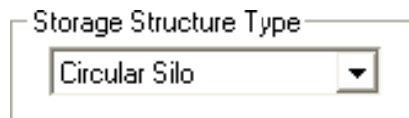
además se pueden asignar las secciones de los elementos; éstas pueden ser definidas o asignadas posteriormente, según los pasos indicados en el manual del paquete de software o programa SAP2000.

➤ **Para el tanque**, estructuras de almacenamiento (Storage Structures)

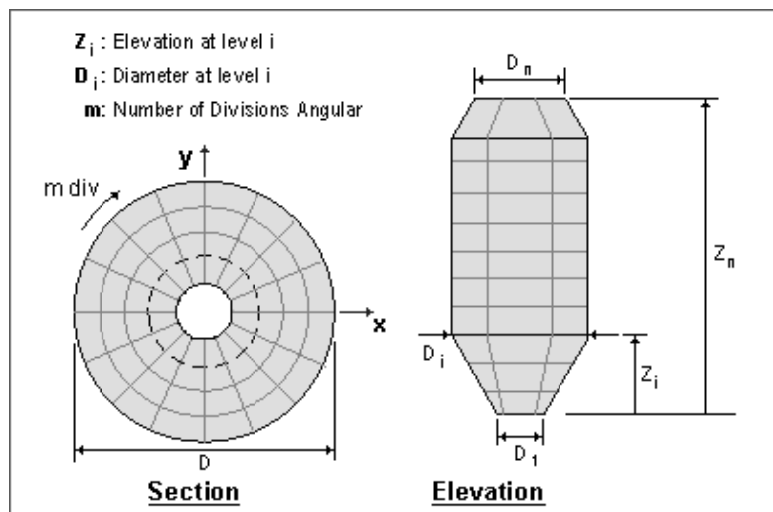


Storage Structures

el tipo de estructura de almacenamiento (Storage Structure Type) recomendado para tanques elevados es Silo Circular (Circular Silo)



definiéndose los parámetros siguientes:



los cuales deben ser ingresados en el recuadro de Dimensiones del Silo Circular (Circular Silo Dimensions)

Num. of Divisions, Angular Max Spacing, Surface Z

	Elevation	Diameter	
1			▲
2			
3			
4			
5			▼

también se deberá localizar el origen del Tanque, según la altura y ubicación de la Torre, para que ambos coincidan

Locate Origin...

Option
 2D 3D

Origin Location
Global X
Global Y
Global Z

Es importante indicar que se deberán realizar las modificaciones respectivas para que el modelo dibujado represente la estructura idealizada.

Para una referencia completa de los comandos o instrucciones utilizadas se podrá revisar el manual del paquete de software o programa SAP2000.

3.3. Consideraciones en el ingreso de datos a SAP2000

De conformidad con las condiciones y alcances de este manual, se describen algunas consideraciones a tomar en cuenta para la definición del modelo, la asignación de cargas, y las combinaciones de carga a utilizar para el análisis estructural de los elementos del tanque metálico elevado en el paquete de software o programa SAP2000:

- Se deberán liberar los extremos de los elementos que representan las breizas, de tal forma que permitan el giro:

➤ Seleccionar los elementos que representan las breizas

➤ Menú: **A**ssign

➤ Submenú: **F**rame

➤ Comando: **R**eleases/Partial Fixity...

	Release		Frame Partial Fixity Springs	
	Start	End	Start	End
Axial Load	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Shear Force 2 (Major)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Shear Force 3 (Minor)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Torsion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Moment 22 (Minor)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Moment 33 (Major)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

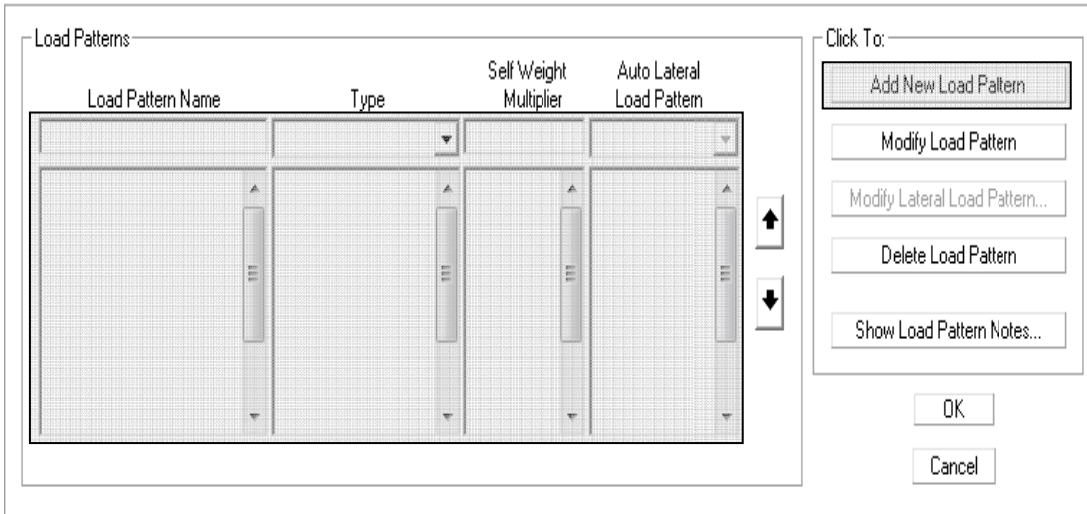
No Releases Units: **Kip. ft. F**

OK Cancel

- Se deberán definir los estados de carga para los cuales la estructura precisa ser analizada:

➤ Menú: **D**efine

➤ Comando: **D**efine Load Patterns...



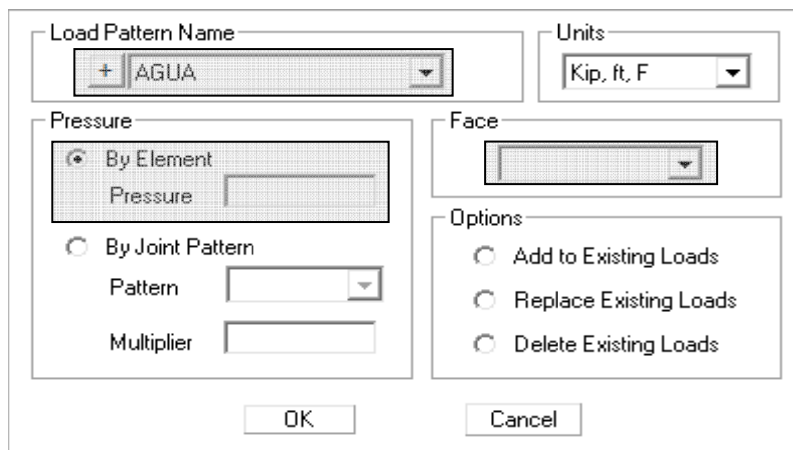
- Se deberá asignar la carga por presión hidrostática P_{fondo} como sobrecarga AGUA (tipo SUPER DEAD) al elemento área del fondo:

➤ Seleccionar el elemento área del fondo

➤ Menú: **A**ssign

➤ Submenú: **A**rea Loads

➤ Comando: **S**urface Pressure (All)...



- Se deberá asignar la carga VIVA (tipo LIVE) al elemento área del techo:

➤ Seleccionar el elemento área del techo

➤ Menú: **Assign**

➤ Submenú: **Area Loads**

➤ Comando: **Uniform (Shell)...**

- Se deberá asignar carga por VIENTO (tipo WIND) ingresando los factores necesarios de acuerdo a los cálculos realizados conforme el Capítulo 2, numeral 2.5.2., en las direcciones X, Y:

- Se deberá asignar presión de viento en el tanque ingresando el Coeficiente de Fuerza para Tanque ($C_{f \text{ tanque}}$), numeral 2.5.2.26., en el apartado C_p , con un valor negativo, en las direcciones X, Y:

➤ Seleccionar los elementos área del techo, área del cuerpo, y área del fondo, perpendiculares a la dirección del viento en X

➤ Menú: **A**ssign

➤ Submenú: **A**rea Loads

➤ Comando: **W**ind Pressure Coefficients (Shell)...

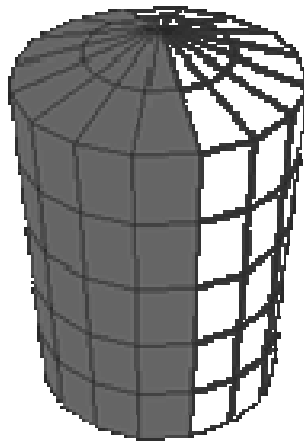
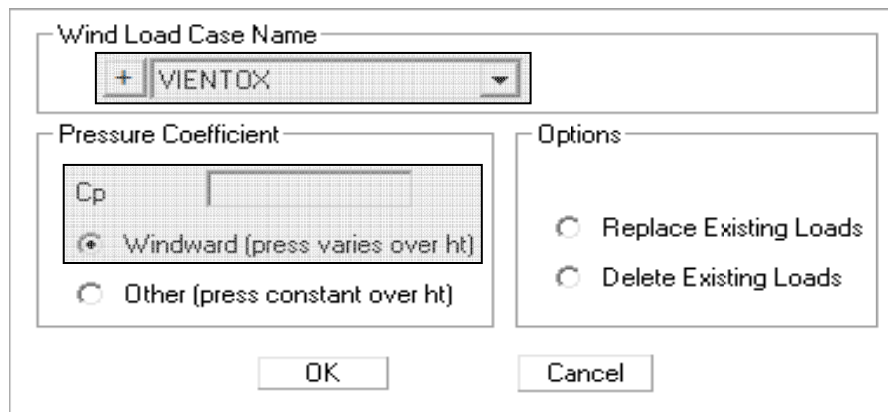


Figura 16. Presión de viento en área del tanque perpendicular a Dirección X-X

- Seleccionar los elementos área del techo, área del cuerpo, y área del fondo, perpendiculares a la dirección del viento en Y
- Menú: **A**ssign
- Submenú: **A**rea Loads
- Comando: **W**ind Pressure Coefficients (Shell)...

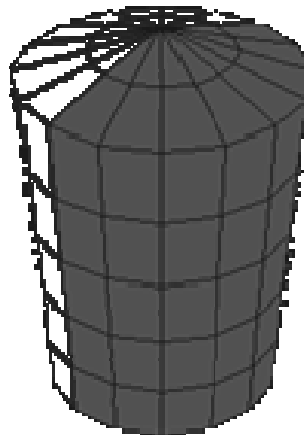
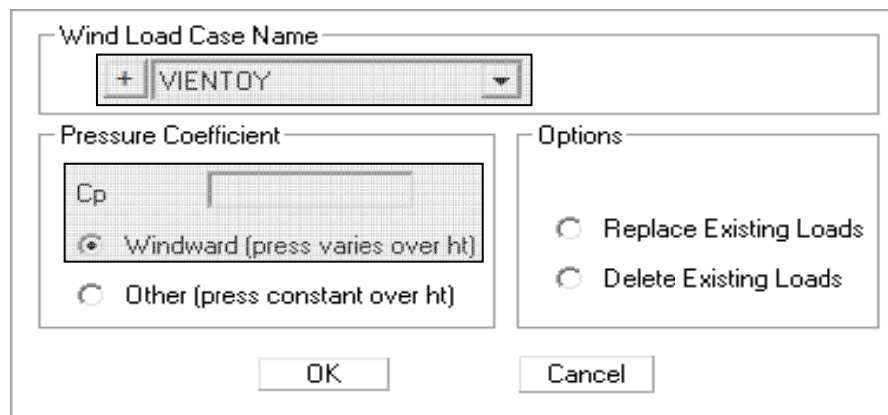


Figura 17. Presión de viento en área del tanque perpendicular a Dirección Y-Y

- Se deberá asignar carga por SISMO (tipo QUAKE) ingresando los factores necesarios de acuerdo a los cálculos realizados conforme el Capítulo 2, numeral 2.5.3., en las direcciones X, Y:

- Se deberá asignar la carga por presión hidrostática P_{cuerpo} como carga AGUA PR (tipo WATER PR) al elemento área del cuerpo, en función de la altura de éste (h_{cuerpo}):

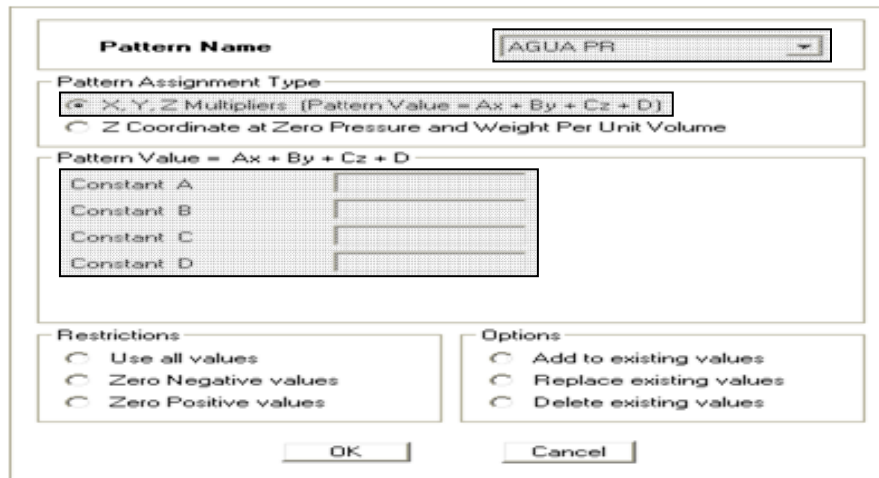
➤ Menú: **Define**

➤ Comando: **Joint Patterns...**

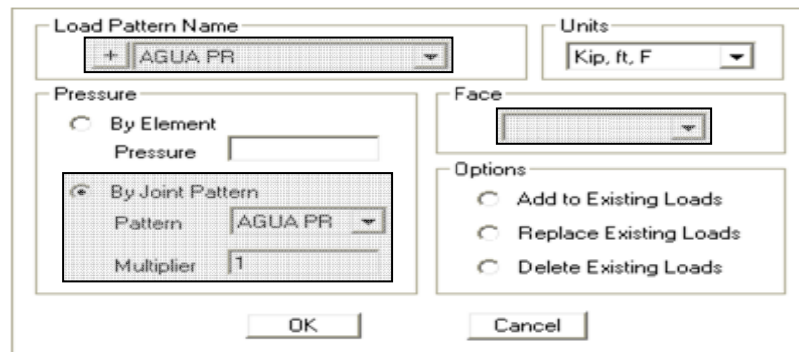
- Seleccionar las juntas en la altura del elemento área del cuerpo (h_{cuerpo})

➤ Menú: **Assign**

➤ Comando: **Joint Patterns...**



- Seleccionar nuevamente las juntas en la altura del elemento área del cuerpo (h_{cuerpo})
- Menú: **A**ssign
- Submenú: **A**rea Loads
- Comando: **S**urface Pressure (All)...



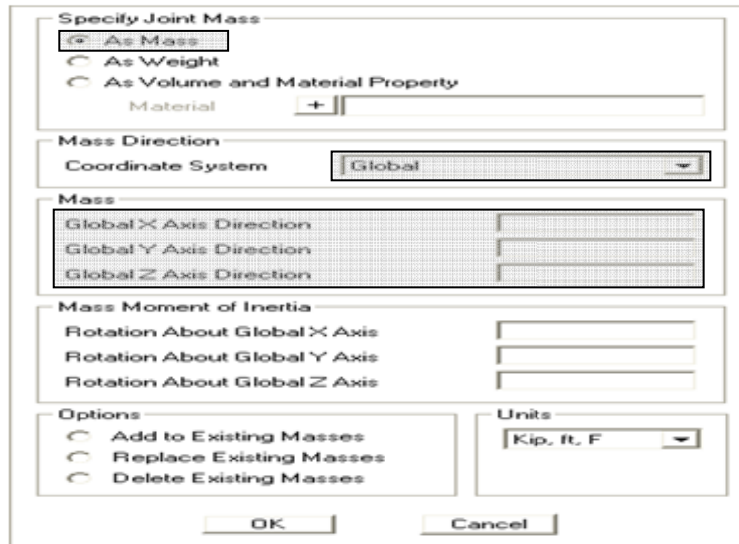
- Para simular el comportamiento hidrodinámico dentro del tanque, se deberán calcular las masas de agua en los nodos o juntas de los elementos área del cuerpo y área del fondo, conforme la geometría radial de éstos, y se deberán asignar éstas en las direcciones X, Y, Z:

- Seleccionar los nodos o juntas del elemento a asignar las masas

➤ Menú: **A**ssign

➤ Submenú: **J**oint

➤ Comando: **M**asses...



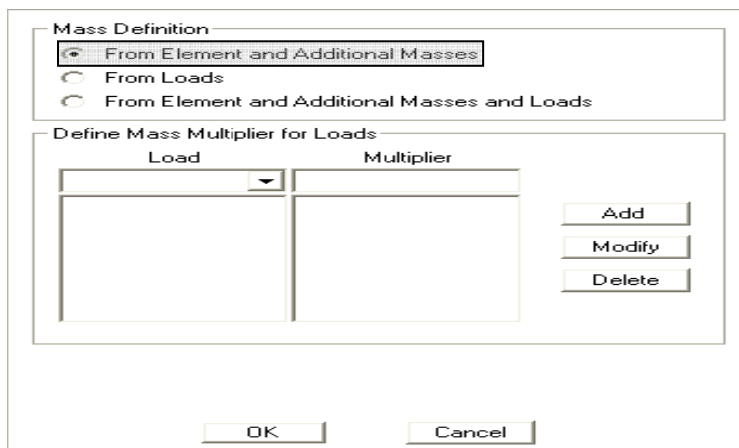
The dialog box is titled "Specify Joint Mass". It contains several sections:

- Specify Joint Mass:** Three radio buttons: "As Mass" (selected), "As Weight", and "As Volume and Material Property". Below the last one is a "Material" field with a "+" button.
- Mass Direction:** A "Coordinate System" dropdown menu set to "Global".
- Mass:** Three input fields for "Global X Axis Direction", "Global Y Axis Direction", and "Global Z Axis Direction".
- Mass Moment of Inertia:** Three input fields for "Rotation About Global X Axis", "Rotation About Global Y Axis", and "Rotation About Global Z Axis".
- Options:** Three radio buttons: "Add to Existing Masses", "Replace Existing Masses", and "Delete Existing Masses".
- Units:** A dropdown menu set to "Kip, ft, F".
- Buttons for "OK" and "Cancel" at the bottom.

- Para que el paquete de software o programa SAP2000 considere el peso del agua como parte de la masa para el cálculo del cortante basal, ésta se deberá definir como se indica a continuación:

➤ Menú: **D**efine

➤ Comando: **M**? Mass Source...



The dialog box is titled "Mass Definition". It contains several sections:

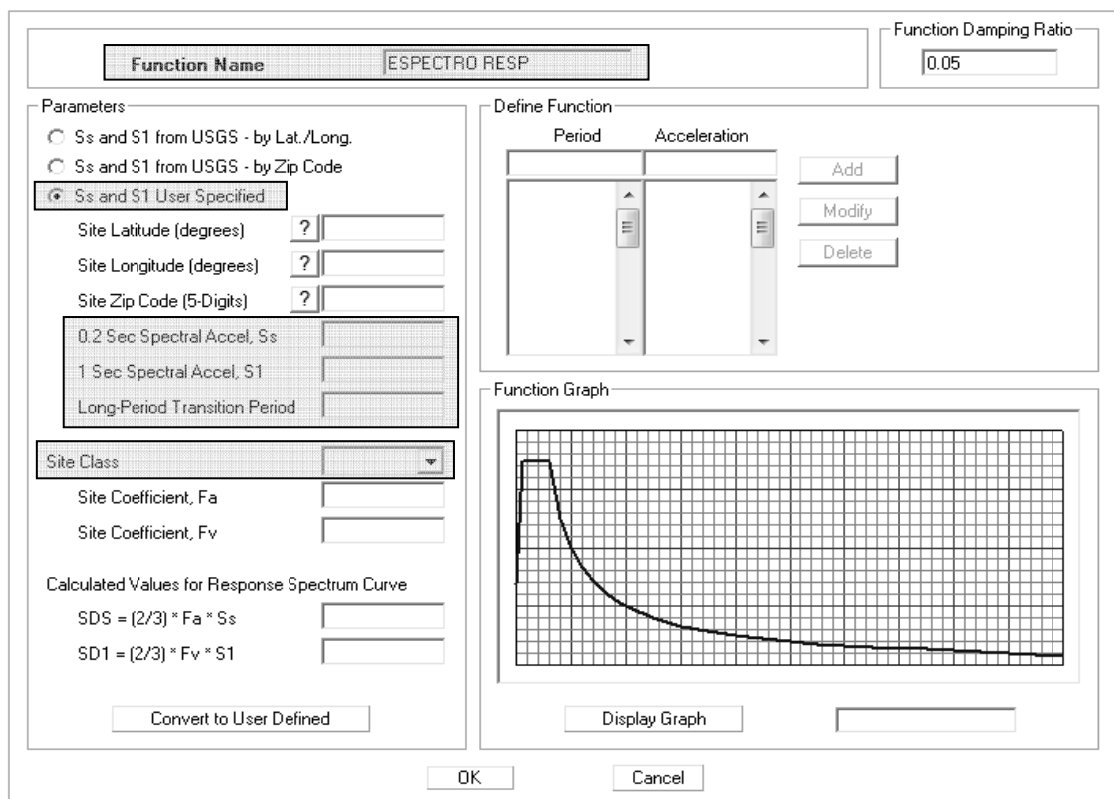
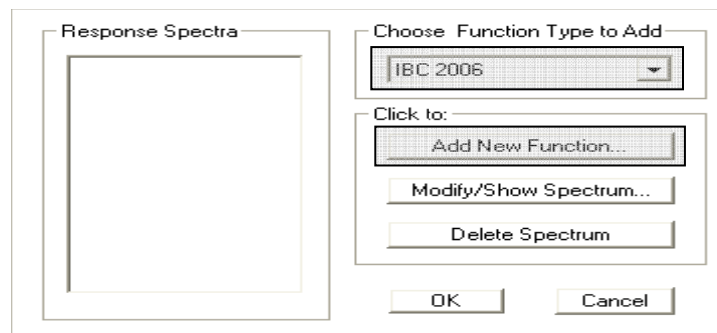
- Mass Definition:** Three radio buttons: "From Element and Additional Masses" (selected), "From Loads", and "From Element and Additional Masses and Loads".
- Define Mass Multiplier for Loads:** A table with two columns: "Load" and "Multiplier". The "Load" column has a dropdown menu. To the right of the table are three buttons: "Add", "Modify", and "Delete".
- Buttons for "OK" and "Cancel" at the bottom.

- Se deberá definir el espectro de respuesta de diseño ingresando los factores necesarios de acuerdo a los cálculos realizados conforme el Capítulo 2, numeral 2.5.3.

➤ Menú: **Define**

➤ Submenú: **Functions**

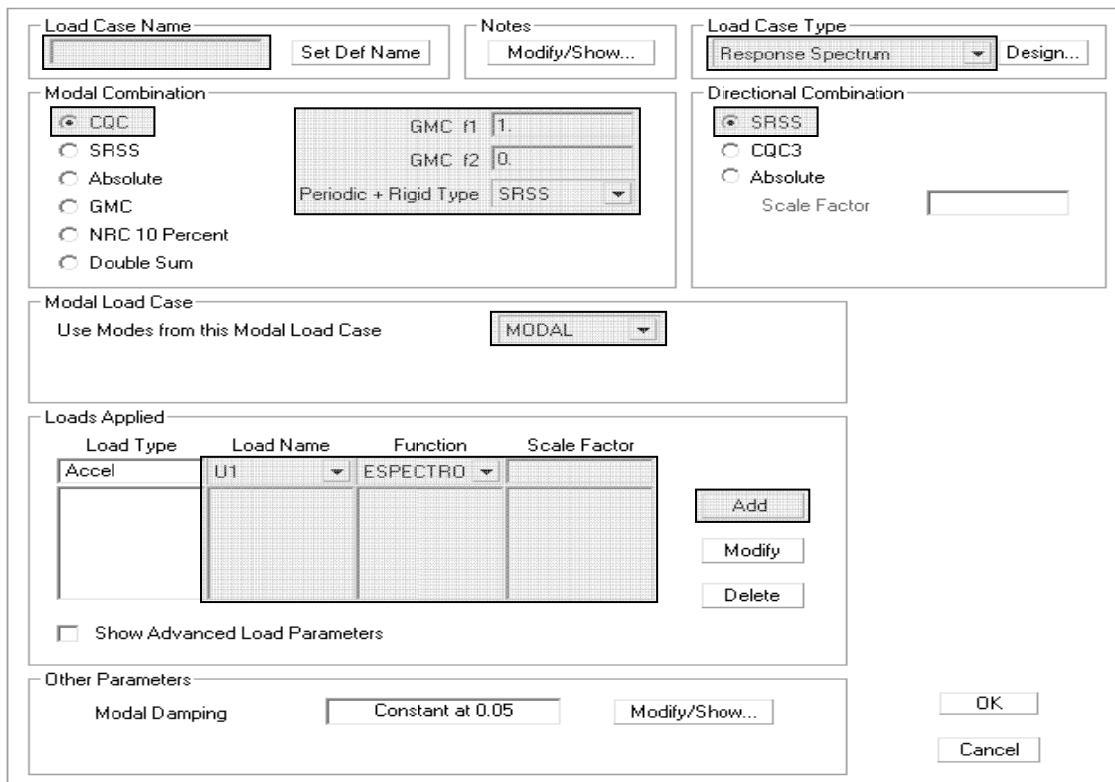
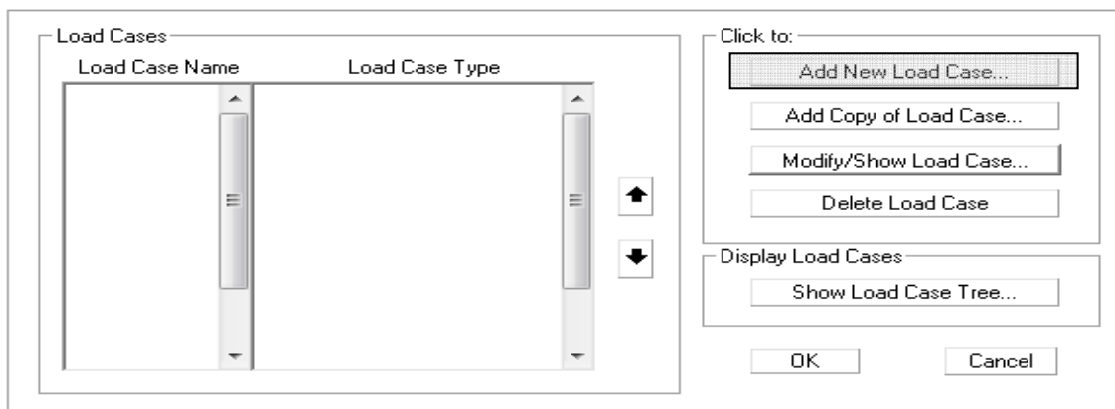
➤ Comando: **Response Spectrum...**



- Se deberá asignar carga por SISMO DINÁMICO utilizando el espectro de respuesta de diseño (Response Spectrum), en las direcciones X, Y:

➤ Menú: **Define**

➤ Comando: **Load Cases...**



el factor de escala (Scale Factor) a utilizar en el apartado de cargas aplicadas (Loads Applied) del recuadro anterior, se determinará por la fórmula:

$$F.E. = \frac{g}{\left(\frac{R}{I_s}\right)}$$

donde:

F.E. = factor de escala

g = aceleración de la gravedad, en pie/seg²

I_s = factor de importancia por sismo, numeral 2.5.3.8., Tabla XVII

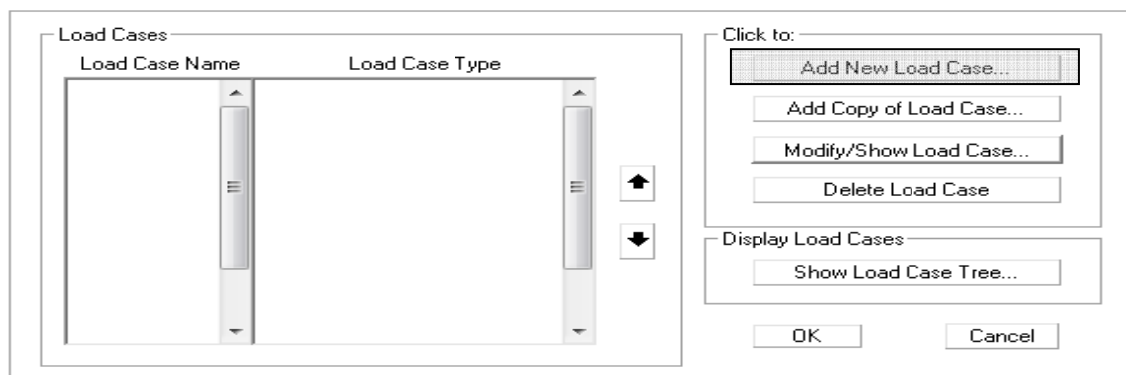
R = coeficiente modificación de respuesta, numeral 2.5.3.10., Tabla XX

y para incluir los efectos ortogonales en cada caso de sismo dinámico, se utilizará el 100% en la dirección que se aplica la carga y el 30% en la dirección perpendicular.

- Se deberá definir el análisis por efecto P-DELTA, indicando las cargas y los factores a utilizar:

➤ Menú: **Define**

➤ Comando: **Load Cases...**



Load Case Name: P-DELTA Set Def Name Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Static Design...

Initial Conditions:
 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
 Continue from State at End of Nonlinear Case [Dropdown]
 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:
 Linear
 Nonlinear
 Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:
 All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL [Dropdown]

Geometric Nonlinearity Parameters:
 None
 P-Delta
 P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
[Dropdown]	[Dropdown]	[Text]

Add Modify Delete

Other Parameters:
 Load Application: [Text] Modify/Show...
 Results Saved: [Text] Modify/Show...
 Nonlinear Parameters: [Text] Modify/Show...

OK Cancel

- Seleccionar los elementos que representan las columnas
- Menú: Assign
- Submenú: Frame
- Comando: Automatic Frame Mesh...

No Auto Meshing
 Auto Mesh Frame

at Intermediate Joints

at Intersection with Other Frames, Area Edges and Solid Edges

Minimum Number of Segments: [Text]

Maximum Length of Segments: [Text]

Maximum Subtended Degrees (Curved Members): [Text]

Units: Kip, ft, F [Dropdown]

OK Cancel

- Para efectos de la integridad o estabilidad estructural y del método de análisis directo (Direct Analysis Method, DAM), se deberán definir las cargas HIPOTÉTICAS (Tipo NOTIONAL) por carga muerta y por carga viva (Sección C.2, AISC 360-10), en las direcciones X, Y:

➤ Menú: **Define**

➤ Comando: **DE** Load Patterns...

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
NX1	NOTIONAL		
NX2	NOTIONAL		
NX3	NOTIONAL		
NY1	NOTIONAL		
NY2	NOTIONAL		
NY3	NOTIONAL		

Notional Load Pattern Value

Base Load Pattern: **MUERTA**

Load Ratio: 2.000E-03

Notional Load Pattern Direction

Global X

Global Y

OK Cancel

Notional Load Pattern Value

Base Load Pattern: **MUERTA**

Load Ratio: 2.000E-03

Notional Load Pattern Direction

Global X

Global Y

OK Cancel

Notional Load Pattern Value

Base Load Pattern: **AGUA**

Load Ratio: 2.000E-03

Notional Load Pattern Direction

Global X

Global Y

OK Cancel

Notional Load Pattern Value

Base Load Pattern: **AGUA**

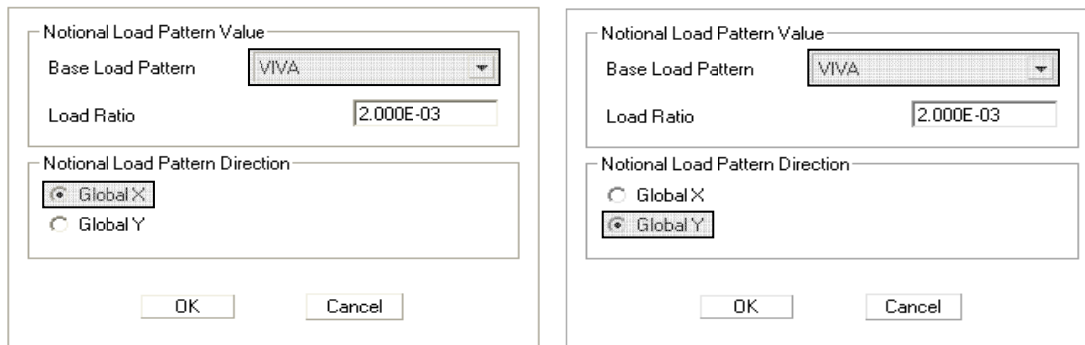
Load Ratio: 2.000E-03

Notional Load Pattern Direction

Global X

Global Y

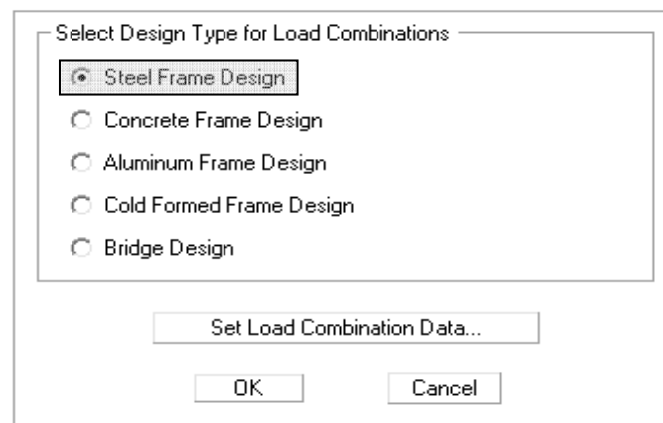
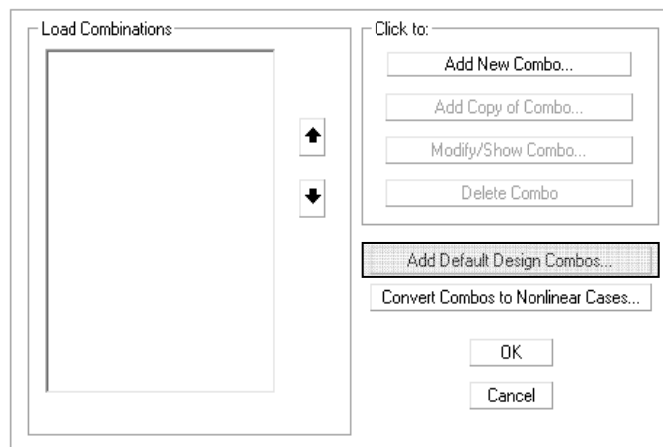
OK Cancel



- Se deberán definir las combinaciones de carga (Capítulo 2, ASCE 7-10):

➤ Menú: **Define**

➤ Comando: **DEL + E Load Combinations...**



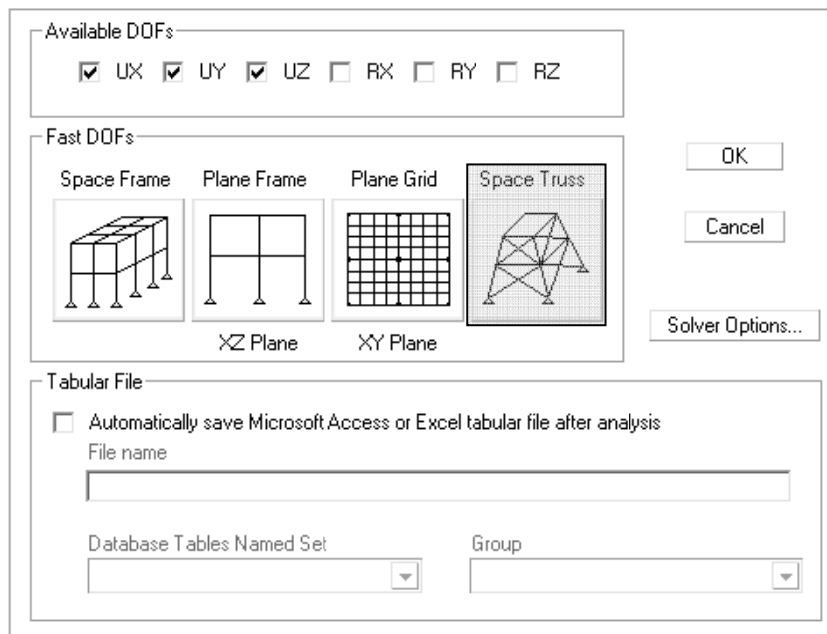
3.4. Análisis estructural en SAP2000

De acuerdo a lo indicado en el numeral 3.1., posterior a la fase de definición de los estados de carga para los cuales la estructura precisa ser analizada, se procederá a la realización del análisis estructural del modelo por medio del paquete de software o programa SAP2000, tomando en cuenta las consideraciones siguientes:

- Se deberá definir la opción del análisis a realizar:

➤ Menú: **Analyze**

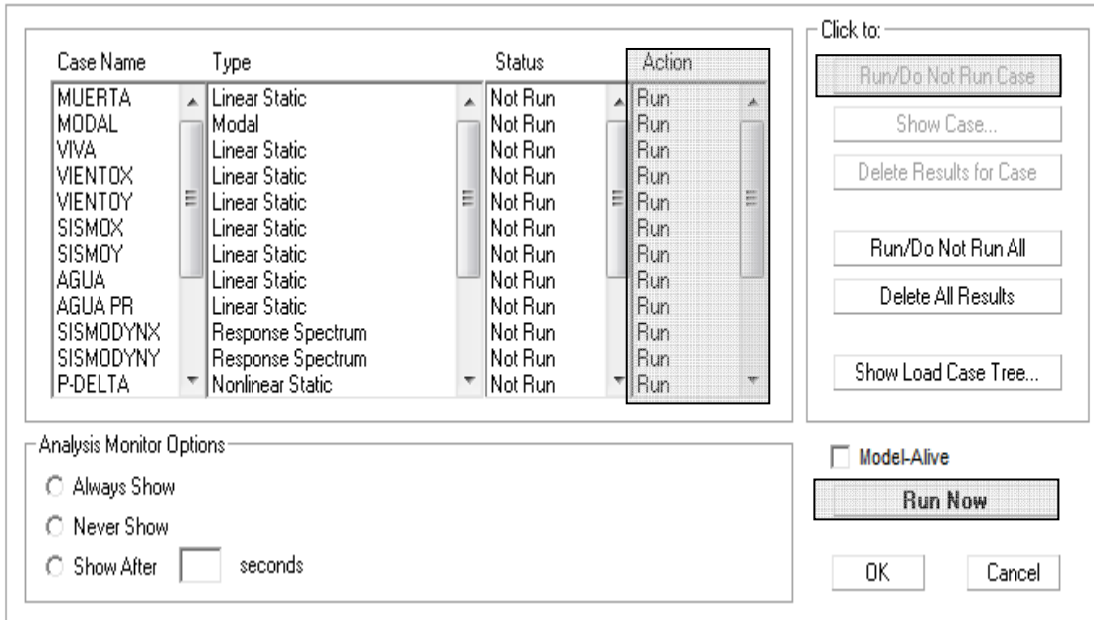
➤ Comando: **Set Analysis Options...**



- Se deberán definir los casos de carga a correr y correr el análisis estructural:

➤ Menú: **Analyze**

➤ Comando: **Set Load Cases to Run...**



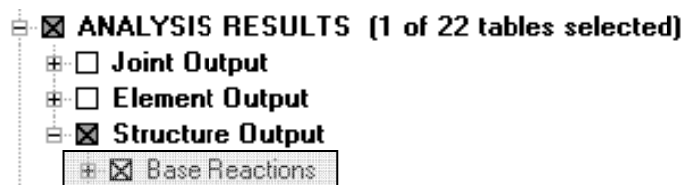
• Después de que se ha corrido el análisis estructural, se deberá revisar:

1. Que el 85% del cortante estático en la base ($V_{\text{estático}}$) sea menor que el cortante dinámico en la base ($V_{\text{dinámico}}$):

$$0.85 \cdot V_{\text{estático}} < V_{\text{dinámico}}$$

➤ Menú: **Display**

➤ Comando: **Show Tables...** Shift+F12



File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Base Reactions

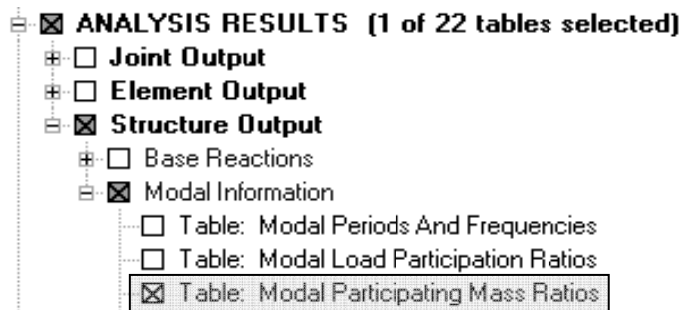
OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Kip	GlobalFY Kip	GlobalFZ Kip	GlobalMX Kip-ft	GlobalMY Kip-ft	GlobalMZ Kip-ft
▶ SISMOX	LinStatic							
SISMOY	LinStatic							
SISMODYNX	LinRespSpec	Max						
SISMODYNY	LinRespSpec	Max						

si esto no se cumple se deberá corregir el factor de escala (F.E.) utilizado en los casos de carga por sismo dinámico, multiplicando éste por el valor de $\frac{V_{\text{dinámico}}}{0.85}$, e ingresándolo de nuevo para dichos casos; para después correr nuevamente el análisis estructural.

2. Que la participación modal de la masa sea por lo menos del 90%:

➤ Menú:

➤ Comando: Shift+F12



File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Modal Participating Mass Ratios

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
▶	MODAL	Mode	1						
	MODAL	Mode	2						
	MODAL	Mode	3						
	MODAL	Mode	4						
	MODAL	Mode	5						
	MODAL	Mode	6						
	MODAL	Mode	7						
	MODAL	Mode	8						
	MODAL	Mode	9						
	MODAL	Mode	10						
	MODAL	Mode	11						
	MODAL	Mode	12						

Es de suma importancia indicar que se deberán ingresar todos los datos necesarios para la adecuada simulación del modelo en el software de aplicación o programa SAP2000, conforme los parámetros de geometría, propiedades y cargas del mismo.

CAPITULO 4

DISEÑO DE ELEMENTOS

La filosofía que orienta el diseño sismo resistente está plasmada en los llamados criterios de diseño que usualmente van desarrollados en los códigos, estándares, o normas de diseño. Esta define cual es el comportamiento deseado de la estructura.

La gran mayoría de normas internacionales coincide en que los objetivos generales del diseño sismo resistente deberán ser los siguientes:

- Prevenir daños no estructurales para temblores o terremotos pequeños que pueden ocurrir frecuentemente durante la vida útil de la estructura;
- Prevenir daños estructurales y hacer que los no estructurales sean mínimos para terremotos moderados que pueden ocurrir de vez en cuando. Usualmente se señala expresamente que la estructura sufrirá varios de éstos;
- Evitar el colapso o daños graves en terremotos intensos y de larga duración que pueden ocurrir raras veces. Usualmente uno durante la vida útil de la estructura.

En base a la experiencia de los últimos años, en que se ha podido registrar con mayor amplitud los movimientos sísmicos, se ha observado que tanto las aceleraciones como las deformaciones que

se pueden desarrollar durante un sismo severo, e incluso moderado, son muy altas; además de las incertidumbres en la determinación de las solicitaciones y capacidades de la estructura. Lo anterior implica que la filosofía ideal del diseño debería intentar alcanzar los objetivos generales mencionados anteriormente, proporcionándole a la estructura la rigidez, resistencia, y capacidad de disipación de energía necesarias.

4.1. Diseño por capacidad

Es un método de diseño para estructuras sometidas a la acción sísmica, en el cual los elementos estructurales que resistirán las fuerzas gravitatorias y las originadas por dicha acción sísmica son cuidadosamente seleccionados y apropiadamente diseñados para ser capaces de disipar energía por deformaciones inelásticas en zonas preestablecidas, todos los otros elementos no pensados para disipar energía deben poseer suficiente resistencia para asegurar su comportamiento elástico mientras las fuentes de disipación de energía desarrollan toda su capacidad.

El objetivo del diseño por capacidad es conseguir una estructura extremadamente tolerante a los desplazamientos impuestos por el sismo, para asegurar que la fluencia ocurra sólo en zonas dúctiles escogidas, lo que orienta a evitar el colapso, a pesar de haberse excedido su resistencia.

La filosofía del diseño por capacidad está basada en el simple modelo de una cadena en la que se ha escogido un eslabón débil,

diseñado expresamente para que se comporte como si fuera dúctil, y así asegurar que cuando ésta sea estirada al máximo sólo este eslabón dúctil se deforme o fluya y se comporte como inelástico, y así los eslabones restantes, teniendo alguna resistencia adicional se comporten elásticos, y por consiguiente podrán ser frágiles, pero la cadena como un todo no tendrá una falla frágil. La fuerza que se aplica a todos los eslabones de la cadena es la misma, por consiguiente si se provee a los eslabones débiles o frágiles con una resistencia mayor a la máxima que puedan tener (sobre resistencia), habremos conseguido una cadena dúctil que resiste la fuerza aplicada.

La ductilidad es una característica esencial en el buen comportamiento sismo resistente de cualquier estructura, la necesidad de contar con ella parte de la metodología de diseño usada en la actualidad, que confía en la disipación de energía por acción inelástica para resistir adecuadamente un sismo severo. Adicionalmente, la ductilidad local es la capacidad que tiene una sección o un elemento para deformarse inelásticamente y disipar energía sin una degradación importante de su resistencia.

Un sistema se puede considerar dúctil cuando es capaz de experimentar deformaciones substanciales bajo carga constante, sin sufrir daños excesivos o pérdida de resistencia bajo ciclos repetidos de carga y descarga.

Para asegurar la supervivencia de la estructura a un sismo, se necesita escoger un sistema plástico racional, o sea, un mecanismo estructural

estáticamente admisible y cinemáticamente posible, que el diseñador debe elegir para aplicar los principios de diseño por capacidad. Esto se hace necesario para asegurar que todos los lugares donde tendrá lugar la disipación de energía por deformación inelástica estén claramente identificados.

Es necesario estimar las demandas de ductilidad de estas regiones plásticas, usualmente llamadas rótulas plásticas. Al escoger el sistema plástico completo, debemos intentar minimizar las demandas locales de ductilidad en estas rótulas plásticas predeterminadas.

Algunos principios en los que se basa este procedimiento son:

- Las zonas de comportamiento inelástico son clara y previamente definidas y diseñadas para alcanzar la resistencia necesaria;
- Las formas indeseables de deformación inelástica (fallas por corte o anclaje) deben evitarse, asegurándose que su resistencia sea mayor a la capacidad, incluyendo la sobre resistencia de las rótulas plásticas;
- Todos los elementos adyacentes a estas rótulas plásticas escogidas donde se desarrollarán las máximas acciones pueden entonces ser diseñados para resistir estas acciones sobre resistentes y permanecer elásticos todo el tiempo. Por consiguiente se conocen cuales son las regiones plásticas y cuales las regiones elásticas protegidas de la estructura.

Debe aceptarse el principio de que un sismo o terremoto sólo reconocerá las propiedades que han sido dadas a la estructura tal como ha sido construida, los sismos o terremotos no reconocerán aquellas propiedades supuestas o especificadas. Por consiguiente en la evaluación de la sobre resistencia de los eslabones débiles o dúctiles deben ser tomadas en cuenta todas las fuentes de resistencia que estarán presentes.

En el caso específico de los tanques metálicos elevados considerados en este manual, después de haber realizado el análisis estructural por medio del paquete de software o programa SAP2000 de los elementos propuestos de acuerdo al numeral 2.3., se procederá a realizar el diseño por capacidad de los elementos breizas(b), columnas(c), y horizontales(h), utilizando como base los resultados de dicho análisis y seleccionándose como el eslabón débil o elemento dúctil del sistema al elemento breiza(b), el cual será apropiadamente diseñado para ser capaz de disipar energía por deformación inelástica, con lo cual se verificarán o se optimizarán las secciones propuestas en dicho predimensionamiento; todo esto aplicado a un sistema de Marcos Especiales Embreizados Concéntricamente -SCBF- (SPECIAL CONCENTRICALLY BRACED FRAMES).

4.2. Diseño de elementos de acero

Los criterios a aplicar para el diseño de los elementos de acero breizas(b), columnas(c), y horizontales(h) de la torre del tanque elevado, serán los establecidos en la Especificación para Edificios de Acero Estructural o Código del Instituto Americano de Construcción de Acero (AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION) -AISC 360-10-.

Los criterios a aplicar para el diseño del sistema de resistencia de la fuerza sísmica o lateral serán los establecidos en las Provisiones Sísmicas para Edificios de Acero Estructural o Código del Instituto Americano de Construcción de Acero (AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION) -AISC 341-05-.

Los criterios a aplicar para las combinaciones de carga serán los establecidos en el Estándar de Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras (MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES) -ASCE 7-10-.

En el presente manual, para el diseño de los elementos de acero se utilizarán las especificaciones de Diseño por Factores de Carga y Resistencia -LRFD- (LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN); y los requerimientos para la integridad estructural deberán basarse en la fuerza nominal en lugar de la resistencia de diseño.

El diseño se fundamentará en el principio de que ninguna fuerza aplicada o estado límite de servicio será excedido cuando la estructura sea sometida a todas las combinaciones de carga definidas. Esto se satisface cuando la fuerza de diseño de cada elemento de la estructura es igual o superior a la fuerza requerida determinada sobre la base de las combinaciones de carga de las especificaciones -LRFD-.

El diseño de los elementos y las conexiones deberá ser coherente con el comportamiento previsto del sistema y las hipótesis formuladas en el análisis estructural.

4.2.1. Diseño de elementos breizas

La función principal de estos elementos será la de resistir la fuerza de sismo extremo en la estructura. El diseño de los elementos breizas(b) se deberá realizar utilizando como base los resultados de las cargas de tensión y compresión máximas aplicadas en éstos y obtenidos del análisis estructural, y se revisará que:

- Las propiedades o especificaciones de la sección propuesta cumplan con las indicadas en la Tabla 2-3 del AISC 360-10;
- La sección propuesta cumpla con los límites de compacidad sísmica establecidos en la Sección 8.2b., Tabla I-8-1 del AISC 341-05;
- La sección propuesta cumpla con la esbeltez límite indicada en la Sección 13.2a. del AISC 341-05;
- El diseño por compresión de la sección propuesta cumpla con lo establecido en el Capítulo E del AISC 360-10;
- El diseño por tensión de la sección propuesta cumpla con lo establecido en el Capítulo D del AISC 360-10;
- La relación Demanda/Capacidad de la sección propuesta, tanto en compresión como en tensión, sea menor del 95%.

4.2.2. Diseño de elementos columnas

El diseño de los elementos columnas(c) se deberá realizar utilizando como base los resultados de las cargas muerta (muerta + sobrecarga) y viva máximas aplicadas en éstos y del parámetro de aceleración espectral a períodos cortos (S_{Ds}) obtenidos del análisis estructural y empleados en la

combinación gravitacional $(1.20 + 0.20 \cdot S_{DS}) \cdot \text{Carga Muerta} + 0.50 \cdot \text{Carga Viva}$, y de las fuerzas totales de compresión y tensión establecidas de acuerdo a la capacidad de los elementos breizas(b), y se revisará que:

- Las propiedades o especificaciones de la sección propuesta cumplan con las indicadas en la Tabla 2-3 del AISC 360-10;
- La sección propuesta cumpla con los límites de compacidad sísmica establecidos en la Sección 8.2b., Tabla I-8-1 del AISC 341-05;
- La sección propuesta cumpla con la esbeltez límite indicada en la Sección 13.2a. del AISC 341-05;
- El diseño por compresión de la sección propuesta cumpla con lo establecido en el Capítulo E del AISC 360-10;
- El diseño por tensión de la sección propuesta cumpla con lo establecido en el Capítulo D del AISC 360-10;
- La relación Demanda/Capacidad de la sección propuesta, tanto en compresión como en tensión, sea menor del 95%.

4.2.3. Diseño de elementos horizontales

El diseño de los elementos horizontales(h) se deberá realizar utilizando como base los resultados de las componentes horizontal y vertical de las fuerzas de tensión y compresión aplicadas en éstos, y establecidas de acuerdo a la capacidad de los elementos breizas(b), y se revisará que:

- Las propiedades o especificaciones de la sección propuesta cumplan con las indicadas en la Tabla 2-3 del AISC 360-10;
- La sección propuesta cumpla con los límites de compacidad sísmica

establecidos en la Sección 8.2b., Tabla I-8-1 del AISC 341-05;

- La sección propuesta cumpla con la esbeltez límite indicada en la Sección 13.2a. del AISC 341-05;
- El diseño por flexo-compresión de la sección propuesta cumpla con lo establecido en el Capítulo H del AISC 360-10;
- El diseño por corte de la sección propuesta cumpla con lo establecido en el Capítulo G del AISC 360-10;
- La relación Demanda/Capacidad de la sección propuesta, en flexo-compresión, sea menor o igual al 95%;
- La relación Demanda/Capacidad de la sección propuesta, en corte, sea menor del 95%.

4.3. Verificación del diseño de elementos en SAP2000

De acuerdo a lo indicado en el numeral 3.1., posterior a la fase de revisión de resultados del análisis, y después de haber realizado el diseño por capacidad de los elementos breizas(b), columnas(c), y horizontales(h), se procederá a la verificación del diseño de éstos por medio del paquete de software o programa SAP2000, tomando en cuenta las consideraciones siguientes:

- Se deberá definir el código de diseño, el sistema estructural, el método de diseño, los parámetros y los coeficientes necesarios para la realización adecuada de la verificación del diseño estructural:

➤ Menú: 

➤ Submenú: 

➤ Comando: View/Revise Preferences...

	Item	Value
1	Design Code	
2	Multi-Response Case Design	
3	Framing Type	
4	Seismic Design Category	
5	Importance Factor	
6	Design System Rho	
7	Design System Sds	
8	Design System R	
9	Design System Omega0	
10	Design System Cd	
11	Design Provision	
12	Analysis Method	
13	Second Order Method	
14	Stiffness Reduction Method	
15	Phi(Bending)	
16	Phi(Compression)	
17	Phi(Tension-Yielding)	
18	Phi(Tension-Fracture)	
19	Phi(Shear)	
20	Phi(Shear-Short Webed Rolled I)	
21	Phi(Torsion)	
22	Ignore Seismic Code?	
23	Ignore Special Seismic Load?	
24	Is Doubler Plate Plug-Welded?	

Item Description

Explanation of Color Coding for Values

Blue: Default Value

Black: Not a Default Value

Red: Value that has changed during the current session

Set To Default Values: All Items Selected Items

Reset To Previous Values: All Items Selected Items

OK Cancel

- Se deberá correr el diseño/verificación de la estructura ya con los elementos breizas(b), columnas(c), y horizontales(h) anteriormente diseñados por capacidad:

➤ Menú: Design

➤ Submenú: **I** Steel Frame Design ▶

➤ Comando: **I** Start Design/Check of Structure

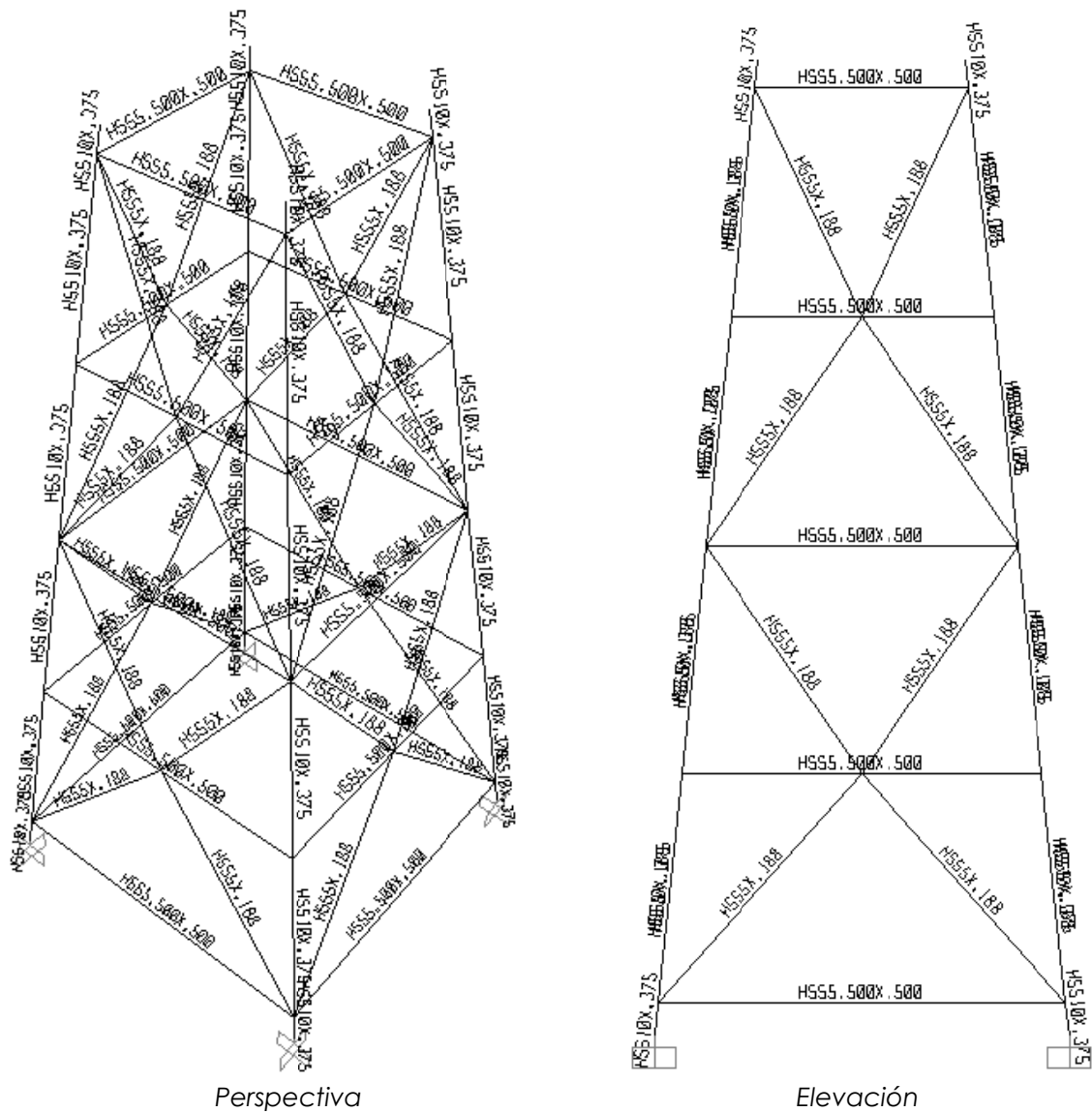
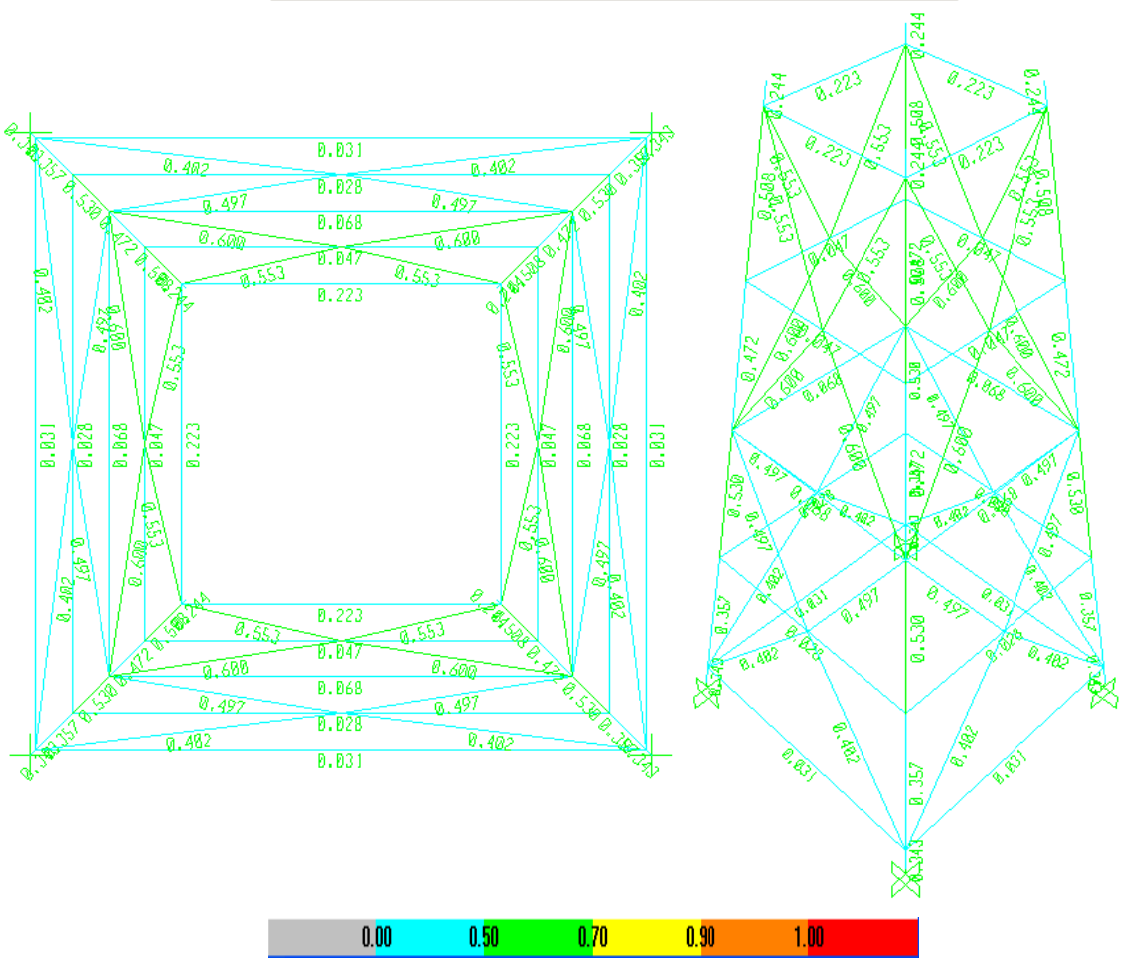
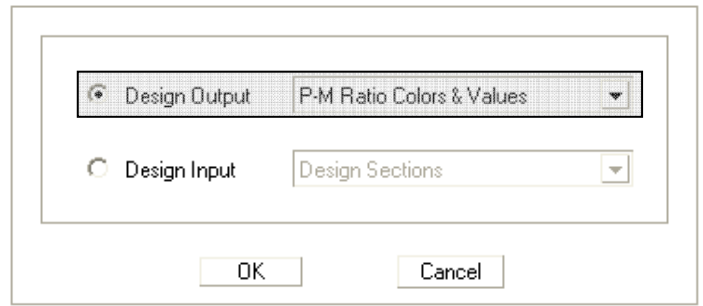


Figura 18. Perspectiva y elevación, verificación elementos diseñados por capacidad

- Se deberá revisar que la relación Demanda/Capacidad de los elementos diseñados sea menor del 95%, de acuerdo con el código de colores que indica el paquete de software o programa SAP2000:

- Menú: **Design**
- Submenú: **Steel Frame Design**
- Comando: **Display Design Info...**



Planta Perspectiva

Figura 19. Planta y perspectiva, revisión relación demanda/capacidad elementos torre

4.4. Diseño de conexiones con placa

Se deberán diseñar conexiones con placa entre los elementos breiza(b)-horizontal(h), y entre los elementos columna(c)-breiza(b)-horizontal(h). El diseño de las conexiones con placa se deberá realizar utilizando como base los resultados de las fuerzas de tensión y compresión máximas aplicadas en éstas, y establecidas de acuerdo a la capacidad de los elementos breizas(b), y se revisará que:

- Las propiedades o especificaciones del elemento breiza(b) cumplan con las indicadas en la Tabla 2-3 del AISC 360-10;
- Las propiedades o especificaciones de la placa de conexión cumplan con las indicadas en la Tabla 2-4 del AISC 360-10;
- El diseño en tensión y en compresión de la conexión cumpla con lo establecido en el Capítulo J del AISC 360-10.

4.5. Diseño de elementos breizas horizontales

La función principal de estos elementos será la de evitar el desplazamiento lateral de los elementos horizontales(h). El diseño de los elementos breizas horizontales se deberá realizar utilizando como base los resultados de la capacidad axial de los elementos horizontales(h), y se revisará que:

- Las propiedades o especificaciones de la sección propuesta cumplan con las indicadas en la Tabla 2-3 del AISC 360-10;
- La sección propuesta cumpla con la resistencia mínima y la rigidez

necesaria según lo establecido en el Apéndice 6 del AISC 360-10;

4.6. Diseño de placa de base y pernos de anclaje

La unión entre el elemento columna(c) y el pedestal de concreto deberá realizarse por medio de una placa de base metálica asegurada al pedestal de concreto con un mínimo de cuatro (4) pernos de anclaje.

Se utilizará el pedestal de concreto para lograr mantener la columna(c) por encima del nivel del terreno, y de esta forma prevenir algún tipo de corrosión por contacto de ésta con el suelo.

La placa de base y el extremo del pedestal que estará en contacto con ella se podrán alisar para efectuar la transferencia de carga por asiento directo. La placa de base generalmente se asienta sobre el pedestal de concreto usando un grout de alta resistencia, el cual tiene como objetivo igualar un desajuste entre la cimentación y el pedestal.

4.6.1. Diseño de placa de base

El diseño de la placa de base se deberá realizar utilizando los resultados de la fuerza de compresión máxima aplicada en ésta, y establecida de acuerdo a la capacidad de los elementos breizas(b), y se revisará que:

- Las propiedades o especificaciones del elemento columna(c) cumplan con las indicadas en la Tabla 2-3 del AISC 360-10;

- Las propiedades o especificaciones de la placa de base cumplan con las indicadas en la Tabla 2-4 del AISC 360-10;
- El dimensionamiento de la placa de base cumpla con lo establecido en el Capítulo J, sección J8, y Parte 14 del AISC 360-10;
- La resistencia del pedestal de concreto cumpla con lo establecido en el Capítulo J, sección J8, del AISC 360-10;
- El espesor requerido de la placa de base cumplan con lo establecido en la Parte 14 del AISC 360-10.

4.6.2. Diseño de pernos de anclaje

Los pernos de anclaje deberán estar diseñados para proporcionar la resistencia necesaria a las cargas sobre el pedestal de concreto, incluyendo las componentes de tensión neta de cualquier momento de volteo (M_v) en la parte inferior de la torre (B_i) que pueda resultar de la acción del cortante estático en la base ($V_{\text{estático}}$) por la altura al centro de masa del tanque (H_{cm}); y de acuerdo a lo estipulado en el Capítulo J, Tabla J3.2., y sección J9 del -AISC 360-10-.

El diseño de los pernos de anclaje embebidos en los pedestales de concreto, para el traslado de fuerzas a la cimentación, podrá cumplir también con los requisitos del Apéndice D del Código del Instituto Americano del Concreto (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE) -ACI 318-08-.

4.7. Diseño de elementos de concreto reforzado

Los criterios a aplicar para el diseño de los elementos de concreto

reforzado que servirán de base, darán estabilidad, y resistirán las cargas transmitidas por la estructura del Tanque Metálico Elevado, serán los establecidos en el Código del Instituto Americano del Concreto (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE) -ACI 318-08-.

4.7.1. Diseño de pedestal

El pedestal deberá ser considerado como un elemento tipo columna corta, por lo que su relación de esbeltez deberá ser menor o igual a 22.

$$e \leq 22$$

El diseño del pedestal se deberá realizar utilizando como base los resultados de las cargas que actúan sobre éste, y se revisará que cumpla con los requerimientos establecidos en el -ACI 318-08-.

4.7.2. Diseño de cimentación

El tipo de cimentación a utilizar lo determinarán los resultados del Estudio de Suelos realizado en el sitio de construcción del tanque metálico elevado, el cual establecerá las características mecánicas del suelo, el tipo de cimentación recomendado, y la cota de cimentación respectiva.

Los tipos de cimentación más recomendados y utilizados en estas estructuras son las zapatas, las losas de cimentación, y/o los pilotes.

El diseño de la cimentación se deberá realizar con base a los resultados de las cargas que actúan sobre ésta, y se revisará que cumpla con los requerimientos establecidos en el -ACI 318-08-.

Adicionalmente se deberá realizar la revisión de la estabilidad global del tanque metálico elevado. Se tiene un momento de volteo (M_v) provocado por la carga sísmica ($V_{estático}$) aplicada a la altura del centro de masa del tanque (H_{cm}), y por otro lado se tiene un momento resistente (M_r) que es igual al peso total del tanque metálico elevado (W) multiplicado por su brazo de momento respecto a uno de sus apoyos en la parte inferior de la torre (B_i). Si la relación $\frac{M_r}{M_v} > 1.50$ el tanque se considera estable; de lo contrario se deberá diseñar la cimentación para resistir la tensión provocada por el momento de volteo (Extracción).

$$M_v = V_{estático} \cdot H_{cm} \quad \& \quad M_r = W \cdot \frac{B_i}{2}$$

CAPITULO 5

USO Y APLICACIÓN DEL MANUAL

Para mostrar el uso de este manual y la aplicación de la metodología propuesta, en este Capítulo se desarrollará un ejemplo de diseño de un tanque metálico elevado situado en un municipio del mapa de zonificación sísmica para la República de Guatemala. En dicho ejemplo se incluirán los cálculos numéricos para el dimensionamiento del tanque, para el dimensionamiento de la torre, para el diseño de espesores de elementos del tanque, para la integración de cargas del análisis estructural, para el diseño por capacidad de los elementos de la torre, y para el diseño de conexiones; además, se hará uso del paquete de software o programa SAP2000 en la realización del análisis estructural del tanque metálico elevado y en la posterior verificación del diseño de los elementos de la torre.

5.1. Ejemplo de diseño

Se requiere realizar el diseño estructural de un tanque metálico elevado para un proyecto de Acueducto en el municipio de Asunción Mita, del departamento de Jutiapa; se han proporcionado por parte del ingeniero hidráulico los datos de volumen de almacenamiento requerido y altura de la torre, siendo éstos:

- $V_{\text{requerido}} = 100 \text{ m}^3$
- $H_{\text{torre}} = 15 \text{ m.}$

Paso 1. Dimensionamiento del tanque

1.1. DATOS PROPORCIONADOS POR ING. HIDRÁULICO

Volumen Tanque ($V_{requerido}$) =	100.00	m^3
	3,510.52	pie³
Altura de Torre (H_{torre}) =	15.00	m
	49.20	pie

1.2. DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE (Numeral 2.1.)

Diámetro Cuerpo (D_{cuerpo}) =	4.50	m	(Asumido)
	14.76	pie	
Constante C a utilizar =	1.40		(Asumido) $\rightarrow 1 \leq C \leq 1.4$
Altura Cuerpo (h_{cuerpo}) =	6.30	m	
	20.66	pie	
Altura Techo (h_{techo}) =	0.75	m	(Asumido) $\rightarrow 1 \text{ pie} \leq h_{techo} \leq D_{cuerpo}/6$
	2.46	pie	
Pendiente Techo (β) =	18.43	$^{\circ}$	$9.5^{\circ} \leq \beta \leq 37^{\circ}$ Pendiente Techo OK!!!
$S_{requerido}$ anillo de coronamiento =	0.8714	pul^3	
Sección Propuesta =	L4X4X1/4		Sección Propuesta Anillo OK!!!
$S_{x,y}$ =	1.0300	pul^3	
Altura Fondo (h_{fondo}) =	0.75	m	(Asumido) $\rightarrow 2 \text{ pie} \leq h_{fondo} \leq D_{cuerpo}/4$
	2.46	pie	
Radio del disco (d) =	2.37	m	
	7.78	pie	
H_{cm} =	18.15	m	
	59.53	pie	

1.3. REVISIÓN VOLUMEN DE AGUA EN TANQUE

Volumen $_{cuerpo}$ =	99.431565	m^3
Volumen $_{fondo}$ =	3.886718	m^3
Volumen $_{Nominal}$ =	103.318283	m^3
Volumen $_{Nominal}$ =	3,627.01	pie³

Volumen OK!!!

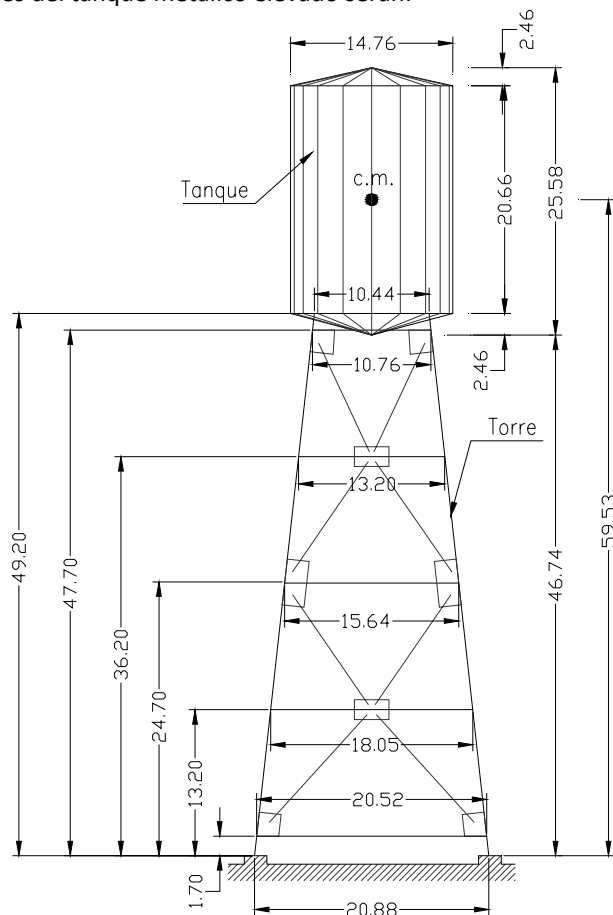
Paso 2. Dimensionamiento de la torre

2.1. DIMENSIONAMIENTO DE LA TORRE (Numeral 2.2.)

Numero de Columnas (n) =	4.00		
$\Phi =$	45	°	
Parte Superior Torre (B _s) =	10.44	pie	
Inclinación Columnas (m) =	15	%	0% ≤ m ≤ 15%
Distancia L _z =	7.38	pie	
Distancia L =	5.22	pie	
Parte Inferior Torre (B _i) =	20.88	pie	

2.2. ELEMENTOS COLUMNAS, HORIZONTALES Y BREIZAS

El espaciamiento de los elementos columnas, horizontales y breizas se deberá realizar de acuerdo a lo establecido en el numeral 2.2.3., y de esta forma definir las dimensiones de la torre; por lo que las dimensiones finales del tanque metálico elevado serán:



Esquema de tanque metálico elevado (dimensiones en pies)

Paso 3. Predimensionamiento de secciones elementos de torre

3.1. PREDIMENSIONAMIENTO ELEMENTOS TORRE (Numeral 2.3.)

De acuerdo a lo indicado en el numeral 2.3., para establecer un valor inicial del peso de la torre se sugiere predimensionar los elementos de ésta utilizando como valores iniciales los parámetros propuestos en la Tabla I. Según las características y dimensiones de la torre y del tanque se propone utilizar las siguientes secciones:

Elemento	Sección Propuesta	S (pul ³)
Columna(c)	HSS 10 X 0.375	24.70
Horizontal(h)	HSS 5.50 X 0.500	8.55
Breiza(b)	HSS 5 X 0.188	3.08

Paso 4. Diseño de espesores de elementos del tanque

4.1. DISEÑO ESPESORES (t) DEL TANQUE (Numeral 2.4.)

$$t_{\text{requerido}} = 2.6 \cdot h_p \cdot D_{\text{cuerpo}} \cdot G / (s \cdot E)$$

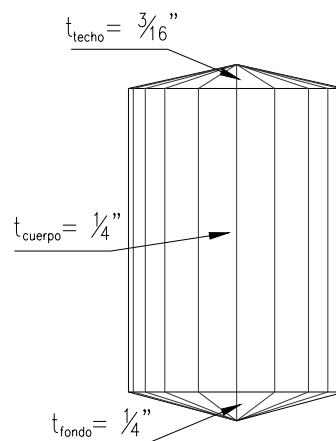
(Altura Líquido) h_p =	23.1240	pie	
(Diámetro Cuerpo) D_{cuerpo} =	14.76	pie	
(Gravedad Específica Agua) G =	1.00		
(Esfuerzo Permisible) s =	15,000	lb/pul ²	(Tabla III)
(Eficiencia de la Junta) E =	75	%	(Tabla IV)

$t_{\text{corrosión}}$: utilizar en lugares con alto grado de salinidad o humedad relativa o a criterio de diseñador.

Utilizar $t_{\text{corrosión}}$ =	SI	
$t_{\text{requerido}}$ =	0.0789	pul
$t_{\text{corrosión}}$ =	1/16	pul
$t_{\text{análisis}}$ =	0.1414	pul
$t_{\text{análisis}} \approx$	3/16	pul
$t_{\text{mínimo sin contacto con agua}}$ =	3/16	pul
$t_{\text{mínimo en contacto con agua}}$ =	1/4	pul
para $D \leq 20$ pie, $t_{\text{mínimo}}$ =	1/4	pul (Tabla V)

Espesores a Utilizar:

t_{techo} =	3/16	pul
t_{cuerpo} =	1/4	pul
t_{fondo} =	1/4	pul



Esquema espesores "t" tanque

Paso 5. Integración de cargas para el análisis estructural

5.1. CARGAS MUERTAS (Numeral 2.5.1.1.)

De acuerdo a lo indicado en el numeral 2.5.1.1., aprovechando las características del paquete de software o programa SAP2000, le dejaremos a éste el trabajo de calcular el peso propio de los elementos que componen el tanque y la torre, por lo que únicamente se establecerá el peso del agua en el tanque (W_{h20}) para determinar la carga por presión hidrostática que actúa en el fondo de éste (P_{fondo}), la cual para el análisis estructural será considerada como sobrecarga AGUA (tipo SUPER DEAD).

$W_{h20} =$	229.340874	Klb
$h_{fondo} =$	2.46	pie
$D_{cuerpo}/2 =$	7.38	pie
$d = \sqrt{(h_{fondo}^2 + D_{cuerpo}/2^2)} =$	7.78	pie
$A_{fondo} = \pi * (D_{cuerpo}/2) * d =$	180.36	pie ²

$$P_{fondo} = W_{h20}/A_{fondo} = \mathbf{1.2715696} \text{ klb/pie}^2 \text{ (Sobrecarga AGUA)}$$

5.2. CARGAS VIVAS (Numeral 2.5.1.2.)

Se considerará una carga viva en el techo del tanque de 20 libras/pie² de acuerdo al ASCE 7-10

$CV_{techo} =$	20.00	lb/pie ²
$CV_{techo} =$	0.02000	klb/pie ²

5.3. CARGA DE VIENTO (Numeral 2.5.2.)

(Velocidad básica viento) V =	80	mph (Numeral 2.5.2.1., Tabla VI o Mapa 1)
(Factor direccionalidad) Kd =	0.95	(Numeral 2.5.2.2., Tabla VII)
Categoría de Ocupación =	IV	(Numeral 2.5.2.3., Tabla VIII)
Categoría de Exposición =	B	(Numeral 2.5.2.5.)
$K_{zt} =$	1.00	(Factor Topográfico, Numeral 2.5.2.8.)
$h_{techo} =$	2.46	pies (Altura Techo)
$h_{cuerpo} =$	20.66	pies (Altura Cuerpo)
$h_{fondo} =$	2.46	pies (Altura Fondo)
$H_{torre} =$	49.20	pies (Altura Torre)
$D_{cuerpo} =$	14.76	pies (Diámetro del Cuerpo)
Forma Tanque =	Circular	(Circular, Hexagonal, o Cuadrada)
$\beta =$	0.002	(Coeficiente de Amortiguamiento, Numeral 2.5.2.12.)
$g =$	32.20	pie/seg ² (Aceleración de la Gravedad)
$\delta_{st} =$	0.2738	pie (Desplazamiento Lateral, Numeral 2.5.2.10.)
T =	0.5794	seg. (Período Fundamental, Numeral 2.5.2.10.)
f =	1.726	Hz. (Frecuencia Natural, Numeral 2.5.2.11.)

Determinación del Factor de Efecto de Ráfaga, G:

Flexible? $f \geq 1$ Hz.

1. Método Simplificado para Estructura Rígida

$G = 0.85$

Parámetros a ser utilizados en numerales 2 y 3 subsiguientes (Numeral 2.5.2.6., Tabla X):

a^{\wedge}	0.143
b^{\wedge}	0.84
$\alpha(\text{bar})$	0.250
$b(\text{bar})$	0.45
c	0.30
ℓ	320
	pies
$\varepsilon(\text{bar})$	0.333
z_{min}	30
	pies

Parámetros usados en Estructura Rígida y/o Flexible:

$z(\text{bar})$	30.00	= $0.6 \cdot h_{\text{equi}}$, pero no $< z_{\text{min}}$, pies (Numeral 2.5.2.13.)
$Iz(\text{bar})$	0.305	= $c \cdot (33/z(\text{bar}))^{1/6}$ (Numeral 2.5.2.14.)
$Lz(\text{bar})$	309.99	= $\ell \cdot (z(\text{bar})/33)^{\varepsilon(\text{bar})}$, pies (Numeral 2.5.2.15.)
Q	0.925	= $(1/(1+0.63 \cdot ((B+h)/Lz(\text{bar}))^{0.63}))^{1/2}$ (Numeral 2.5.2.16.)
g_Q	3.4	(Numeral 2.5.2.17)
g_v	3.4	(Numeral 2.5.2.18)
g_R	4.318	= $(2 \cdot (\ln(3600 \cdot f)))^{1/2} + 0.577 / (2 \cdot \ln(3600 \cdot f))^{1/2}$ (Numeral 2.5.2.19)

2. Cálculo de G para Estructura Rígida

$G = 0.881 = 0.925 \cdot ((1 + 1.7 \cdot g_Q \cdot Iz(\text{bar}) \cdot Q) / (1 + 1.7 \cdot g_v \cdot Iz(\text{bar})))$ (Numeral 2.5.2.24.)

3. Cálculo de G_f para Estructura Flexible

β	0.002	Coefficiente de Amortiguamiento (Numeral 2.5.2.12.)
T	0.5794	= $2 \cdot \pi \cdot \nu(\delta_{st}/g)$, seg., (Numeral 2.5.2.10.)
f	1.726	= $1/T$, Hz. (Numeral 2.5.2.11.)
V	N.A.	= $V(\text{mph}) \cdot (88/60)$, pie/seg.
$V(\text{bar}, z\text{bar})$	N.A.	= $b(\text{bar}) \cdot (z(\text{bar})/33)^{\alpha(\text{bar})} \cdot V \cdot (88/60)$, pie/seg., (Numeral 2.5.2.20.)
N_1	N.A.	= $f \cdot Lz(\text{bar}) / (V(\text{bar}, z\text{bar}))$, (Numeral 2.5.2.21.)
R_n	N.A.	= $7.47 \cdot N_1 / (1 + 10.3 \cdot N_1)^{5/3}$, (Numeral 2.5.2.22.)
η_h	N.A.	= $4.6 \cdot f \cdot h / (V(\text{bar}, z\text{bar}))$ (Numeral 2.5.2.22.)
R_h	N.A.	= $(1/\eta_h) - 1 / (2 \cdot \eta_h^2) \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_h})$ para $\eta_h > 0$, $o = 1$ para $\eta_h = 0$, (Numeral 2.5.2.22.)
η_B	N.A.	= $4.6 \cdot f \cdot b / (V(\text{bar}, z\text{bar}))$ (Numeral 2.5.2.22.)
R_B	N.A.	= $(1/\eta_B) - 1 / (2 \cdot \eta_B^2) \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_B})$ para $\eta_B > 0$, $o = 1$ para $\eta_B = 0$, (Numeral 2.5.2.22.)
η_L	N.A.	= $15.4 \cdot f \cdot L / (V(\text{bar}, z\text{bar}))$ (Numeral 2.5.2.22.)
R_L	N.A.	= $(1/\eta_L) - 1 / (2 \cdot \eta_L^2) \cdot (1 - e^{-2 \cdot \eta_L})$ para $\eta_L > 0$, $o = 1$ para $\eta_L = 0$, (Numeral 2.5.2.22.)
R	N.A.	= $((1/\beta) \cdot R_n \cdot R_h \cdot R_B \cdot (0.53 + 0.47 \cdot R_L))^{1/2}$, (Numeral 2.5.2.23.)
G_f	N.A.	= $0.925 \cdot (1 + 1.7 \cdot Iz(\text{bar}) \cdot (g_Q^2 \cdot Q^2 + g_R^2 \cdot R^2))^{1/2} / (1 + 1.7 \cdot g_v \cdot Iz(\text{bar}))$, (Numeral 2.5.2.25.)

Usar: $G = 0.850$ (Factor de efecto de Ráfaga)

Determinación del Coeficiente de Fuerza para Tanque ($C_{f(\text{tanque})}$):

$h_{\text{equi.}}$ =	23.12	pies (Altura Equivalente Tanque)
H_{cm} =	59.53	pies (Altura al Centro de Masa del Tanque)
δ_{st} =	0.2738	pies (Desplazamiento Lateral, Numeral 2.5.2.10.)
l_v =	1.15	(Numeral 2.5.2.3., Tabla IX)
α =	7.00	(Numeral 2.5.2.6., Tabla X)
z_g =	1200	(Numeral 2.5.2.6., Tabla X)
h/D =	1.567	(Numeral 2.5.2.26., Tabla XII)
f =	1.726	Hz. (Numeral 2.5.2.11., Estructura Rígida)
G =	0.850	(Numeral 2.5.2.24. ó Numeral 2.5.2.25.)
$C_{f(\text{tanque})}$ =	0.509	(Coeficiente de Fuerza Tanque, Tabla XII, Numeral 2.5.2.26.) (Superficie Moderadamente Lisa)

Presión de Velocidad (Numeral 2.5.2.9.):

$$qz = 0.00256 * K_z * K_{zt} * K_d * V^2 * I_v$$

Presión del Viento (Numeral 2.5.2.27.):

$$p = qz * G * C_f \text{ (lb/pie}^2\text{)}$$

Fuerza de Viento (Numeral 2.5.2.28.):

$$F = qz * G * C_f * D \text{ (lb/ft)}$$

Si $z < 15$ pies, entonces: $K_z = 2.01 * (15/z_g)^{(2/a)}$, (Numeral 2.5.2.6.)

Si $z \geq 15$ pies, entonces: $K_z = 2.01 * (z/z_g)^{(2/a)}$, (Numeral 2.5.2.6.)

Determinación del Cortante en la base debido al Tanque (V_{Tanque}):

Tabulación de Fuerza de Viento y Corte en la Base debido al Tanque					
z (pies)	K_z	qz (lb/pie ²)	$p=qz * G * C_{f(\text{tanque})}$ (lb/pie ²)	$F=qz * G * C_{f(\text{tanque})} * D$ (lb/pie)	V_{Tanque} Tributario (klb)
49.20	0.81	14.44	6.25	92.32	0.000
54.20	0.83	14.85	6.43	94.91	0.468
59.20	0.85	15.23	6.59	97.33	0.481
64.20	0.87	15.59	6.75	99.61	0.492
69.20	0.89	15.92	6.89	101.77	0.503
72.32	0.90	16.12	6.98	103.06	0.320
$\Sigma V_{\text{Tanque}} =$					2.264

Relación Área Sólida/Área Gruesa en torre (ϵ):

Con las dimensiones de la torre establecidas y con las secciones de los elementos de la torre predimensionados se procede a encontrar la relación ϵ . El área sólida (A_s) será la formada por los elementos de la torre expuestos y proyectados en un plano normal a la dirección del viento; el área gruesa (A_g) será el área total de un lado de la torre expuesto a la dirección del viento.

Sección	Tipo	Cantidad de elementos	Longitud (pie)	Peso (Klb)	Ø ó Altura (pie)	Área Sólida (pie ²)
HSS 10 X 0.375	Columna	24.00	199.00	7.178	0.833333333	165.84
HSS 5.500 X 0.500	Horizontal	20.00	312.68	7.831	0.458333333	143.31
HSS 5X 0.188	Breiza	32.00	449.08	4.034	0.416666667	187.12
(4 lados torre) Σ =						496.26

$$A_s = \frac{A_{s(\text{columnas})}}{2} + \frac{A_{s(\text{horizontales})}}{4} + \frac{A_{s(\text{breizas})}}{4} \quad (\text{1 lado torre})$$

$$A_s = \boxed{165.53} \text{ pie}^2$$

Dimensiones Torre		
H _{torre} (pie)	B _i (pie)	B _s (pie)
49.20	20.88	10.44

$$A_g = \left(\frac{B_i + B_s}{2} \right) \cdot H_{\text{torre}}$$

$$A_g = \boxed{770.55} \text{ pie}^2$$

$$\epsilon = A_s/A_g = \boxed{0.215} \quad (\text{Tabla XII, Numeral 2.5.2.26.})$$

Determinación del Cortante en la base debido a la Torre (V_{Torre}):

Elemento= COLUMNA HSS10X0.375

X	Y	Z
-10.44	-10.44	0
-5.22	-5.22	49.2

Diámetro	
0.833	pie

Mr	10.081
MZ	1.064
MY	10.024
FX	0.380

d _x	d _y	d _z
5.22	5.22	49.20

L _{proyec} YZ	θYZ
49.751	1.465
seno	0.994
coseno	0.106

	%	ht	kz	qz	qz G	DVqz	C _f (torre)	qz G C _f	F (klb)	V _{torre}
0	0.00	0.000	0.575	10.287	8.744	2.673	0.900	7.870	0.008	
1	0.20	9.950	0.575	10.287	8.744	2.673	0.900	7.870	0.008	0.065
2	0.40	19.900	0.623	11.153	9.480	2.783	0.900	8.532	0.009	0.068
3	0.60	29.850	0.700	12.522	10.644	2.949	0.900	9.580	0.010	0.075
4	0.80	39.801	0.760	13.595	11.556	3.073	0.900	10.400	0.010	0.083
5	1.00	49.751	0.810	14.490	12.317	3.172	0.900	11.085	0.011	0.089

Σ = 0.380
Cantidad= 2
V = **0.7605**

Elemento= **HORIZONTAL (h1) HSS 5.50 X 0.500**

X	Y	Z
0.0	0.0	1.7
0.0	10.0	1.7

Diámetro
0.458 pie

Mr	1.112
MZ	1.097
MY	0.182
FX	0.107

dX	dY	dZ
0	10	0

LproyecYZ	θYZ
20.52	0
seno	0
coseno	1

	%	ht	kz	qz	qz G	DVqz	C _f (torre)	qz G C _f	F (klb)	V _{torre}
0	0.00	0.000	0.575	10.287	8.744	1.470	1.300	11.367	0.011	
1	0.33	6.840	0.575	10.287	8.744	1.470	1.300	11.367	0.011	0.036
2	0.67	13.680	0.575	10.287	8.744	1.470	1.300	11.367	0.011	0.036
3	1.00	20.520	0.575	10.287	8.744	1.470	1.300	11.367	0.011	0.036

Σ = **0.107**

Elemento= **HORIZONTAL (h2) HSS 5.50 X 0.500**

X	Y	Z
0.0	0.0	13.2
0.0	10.0	13.2

Diámetro
0.458 pie

Mr	1.507
MZ	0.852
MY	1.243
FX	0.094

dX	dY	dZ
0.0	10.00	0.00

LproyecYZ	θYZ
18.05	0
seno	0
coseno	1

	%	ht	kz	qz	qz G	DVqz	C _f (torre)	qz G C _f	F (klb)	V _{torre}
0	0.00	0.000	0.575	10.287	8.744	1.470	1.300	11.367	0.011	
0	0.00	0.000	0.575	10.287	8.744	1.470	1.300	11.367	0.011	0.000
1	0.50	9.040	0.575	10.287	8.744	1.470	1.300	11.367	0.011	0.047
2	1.00	18.080	0.575	10.287	8.744	1.470	1.300	11.367	0.011	0.047

Σ = **0.094**

Elemento= HORIZONTAL (h3) HSS 5.50 X 0.500

X	Y	Z
0.0	0.0	24.7
0.0	10.0	24.7

Diámetro
0.458 pie

Mr	2.434
MZ	0.735
MY	2.321
FX	0.094

dX	dY	dZ
0.00	10.00	0.00

LproyecYZ	θYZ
15.64	0
seno	0
coseno	1

	%	ht	kz	qz	qz G	DVqz	C _f (torre)	qz G Cf	F (klb)	V _{torre}
0	0.00	0.000	0.663	11.863	10.083	1.579	1.300	13.108	0.013	
0	0.00	0.000	0.663	11.863	10.083	1.579	1.300	13.108	0.013	0.000
1	0.50	7.820	0.663	11.863	10.083	1.579	1.300	13.108	0.013	0.047
2	1.00	15.640	0.663	11.863	10.083	1.579	1.300	13.108	0.013	0.047
Σ =										0.094

Elemento= HORIZONTAL (h4) HSS 5.50 X 0.500

X	Y	Z
0.0	0.0	36.2
0.0	10.0	36.2

Diámetro
0.458 pie

Mr	3.255
MZ	0.584
MY	3.202
FX	0.088

dX	dY	dZ
0.00	10.00	0.00

LproyecYZ	θYZ
13.20	0
seno	0
coseno	1

	%	ht	kz	qz	qz G	DVqz	C _f (torre)	qz G Cf	F (klb)	V _{torre}
0	0.00	0.000	0.739	13.232	11.247	1.667	1.300	14.621	0.015	
0	0.00	0.000	0.739	13.232	11.247	1.667	1.300	14.621	0.015	0.000
1	0.50	6.600	0.739	13.232	11.247	1.667	1.300	14.621	0.015	0.044
2	1.00	13.200	0.739	13.232	11.247	1.667	1.300	14.621	0.015	0.044
Σ =										0.088

Elemento= HORIZONTAL (h5) HSS 5.50 X 0.500

X	Y	Z
0.0	0.0	47.7
0.0	10.0	47.7

Diámetro
0.458 pie

Mr	3.745
MZ	0.420
MY	3.722
FX	0.078

dX	dY	dZ
0.00	10.00	0.00

LproyecYZ	θYZ
10.76	0
seno	0
coseno	1

	%	ht	kz	qz	qz G	DVqz	C _{f(torre)}	qz G C _f	F (klb)	V _{torre}
0	0.00	0.000	0.800	14.317	12.169	1.734	1.300	15.820	0.016	
0	0.00	0.000	0.800	14.317	12.169	1.734	1.300	15.820	0.016	0.000
1	0.50	5.380	0.800	14.317	12.169	1.734	1.300	15.820	0.016	0.039
2	1.00	10.760	0.800	14.317	12.169	1.734	1.300	15.820	0.016	0.039
$\Sigma =$										0.078

Elemento= BREIZA HSS 5 X 0.188 (TRAMO 2)

X	Y	Z
-10.26	-10.26	1.70
-9.04	0.00	13.20

Diámetro	
0.417	pie

Mr	0.043
MZ	0.029
MY	0.032
FX	0.074

dX	dY	dZ
1.22	10.26	11.50

LproyecYZ	θ_{YZ}
15.460	0.842
seno	0.746
coseno	0.666

	%	ht	kz	qz	qz G	DVqz	C _{f torre}	qz G C _f	F= p*D	V _{torre}
0	0.00	1.700	0.575	10.287	8.744	1.336	1.300	11.367	0.005	0.000
0	0.00	1.700	0.575	10.287	8.744	1.336	1.300	11.367	0.005	0.000
0	0.00	1.700	0.575	10.287	8.744	1.336	1.300	11.367	0.005	0.000
0	0.00	1.700	0.575	10.287	8.744	1.336	1.300	11.367	0.005	0.000
1	0.50	9.430	0.575	10.287	8.744	1.336	1.300	11.367	0.005	0.037
2	1.00	17.160	0.597	10.690	9.087	1.362	1.300	11.813	0.005	0.037
$\Sigma =$										0.074
Cantidad=										2
V =										0.148

θ_{xy}	0.118	
r_{xy}	10.332	
θ_z	0.839	
$\pi/2-\theta_z$	0.732	
diámetro	0.417	pie
radio	0.208	pie

$\pi/2-\theta_{xy}$	1.452
	0.025

x1	0.155
r	0.260
θ_1	0.640
θ_2	0.813
Y1	0.178

z	0.139
Z1	0.139

Elemento= BREIZA HSS 5 X 0.188 (TRAMO 3)

X	Y	Z
-9.04	0.00	13.20
-7.82	-7.82	24.70

Diámetro	
0.417	pie

Mr	0.045
MZ	0.025
MY	0.037
FX	0.072

dX	dY	dZ
1.22	7.82	11.50

LproyecYZ	θ_{YZ}
13.960	0.974
seno	0.827
coseno	0.562

	%	ht	kz	qz	qz G	DVqz	C _{f torre}	qz G C _f	F= p*D	V _{torre}
0	0.00	13.200	0.575	10.287	8.744	1.336	1.300	11.367	0.005	0.000
0	0.00	13.200	0.575	10.287	8.744	1.336	1.300	11.367	0.005	0.000
0	0.00	13.200	0.575	10.287	8.744	1.336	1.300	11.367	0.005	0.000
0	0.00	13.200	0.575	10.287	8.744	1.336	1.300	11.367	0.005	0.000
1	0.50	20.180	0.626	11.197	9.518	1.394	1.300	12.373	0.005	0.035
2	1.00	27.160	0.681	12.189	10.361	1.455	1.300	13.469	0.006	0.038

Σ = 0.072
Cantidad= 2
V = **0.144**

θ _{xy}	0.155		
r _{xy}	7.915	π/2-θ _{xy}	1.416
θ _z	0.968		0.032
π/2-θ _z	0.603		
diámetro	0.417	pie	
radio	0.208	pie	
		x1	0.172
		r	0.270
		θ1	0.689
		θ2	0.727
		Y1	0.202
z	0.118		
Z1	0.118		

Elemento= BREIZA HSS 5 X 0.188 (TRAMO 4)

X	Y	Z
-7.82	-7.82	24.70
-6.60	0.00	36.20

Diámetro	0.417	pie
----------	-------	-----

Mr	0.058
MZ	0.033
MY	0.048
FX	0.082

dX	dY	dZ
1.22	7.82	11.50

LproyecYZ	θYZ
13.960	0.974
seno	0.827
coseno	0.562

	%	ht	kz	qz	qz G	DVqz	C _{f torre}	qz G C _f	F= p*D	V _{torre}
0	0.00	24.700	0.663	11.863	10.083	1.435	1.300	13.108	0.005	0.000
0	0.00	24.700	0.663	11.863	10.083	1.435	1.300	13.108	0.005	0.000
0	0.00	24.700	0.663	11.863	10.083	1.435	1.300	13.108	0.005	0.000
0	0.00	24.700	0.663	11.863	10.083	1.435	1.300	13.108	0.005	0.000
1	0.50	31.680	0.712	12.737	10.826	1.487	1.300	14.074	0.006	0.040
2	1.00	38.660	0.753	13.483	11.460	1.530	1.300	14.898	0.006	0.042

Σ = 0.082
Cantidad= 2
V = **0.164**

θ _{xy}	0.155		
r _{xy}	7.915	π/2-θ _{xy}	1.416
θ _z	0.968		0.032

$\pi/2-\theta z$	0.603				
diámetro	0.417	pie	x1	0.172	
radio	0.208	pie	r	0.270	
			$\theta 1$	0.689	
z	0.118		$\theta 2$	0.727	
Z1	0.118		Y1	0.202	

Elemento= BREIZA HSS 5 X 0.188 (TRAMO 5)

X	Y	Z
-6.60	0.00	36.20
-5.38	-5.38	47.70

Diámetro	
0.417	pie

Mr	0.063
MZ	0.027
MY	0.057
FX	0.081

dX	dY	dZ
1.22	5.38	11.50

LproyecYZ	θYZ
12.755	1.133
seno	0.906
coseno	0.424

	%	ht	kz	qz	qz G	DVqz	C _{f torre}	qz G C _f	F= p*D	V _{torre}
0	0.00	36.200	0.739	13.232	11.247	1.516	1.300	14.621	0.006	0.000
0	0.00	36.200	0.739	13.232	11.247	1.516	1.300	14.621	0.006	0.000
0	0.00	36.200	0.739	13.232	11.247	1.516	1.300	14.621	0.006	0.000
0	0.00	36.200	0.739	13.232	11.247	1.516	1.300	14.621	0.006	0.000
1	0.50	42.577	0.774	13.860	11.781	1.551	1.300	15.315	0.006	0.040
2	1.00	48.955	0.806	14.423	12.260	1.582	1.300	15.938	0.007	0.042

$\Sigma =$ 0.081
Cantidad= 2
V = **0.162**

θxy	0.223				
rx _y	5.517		$\pi/2-\theta xy$	1.348	
θz	1.124			0.046	
$\pi/2-\theta z$	0.447				
diámetro	0.417	pie	x1	0.188	
radio	0.208	pie	r	0.281	
			$\theta 1$	0.734	
z	0.090		$\theta 2$	0.614	
Z1	0.090		Y1	0.229	

$$\Sigma V_{Torre} = V_{columnas} + V_{horizontales} + V_{breizas}$$

$\Sigma V_{Torre} =$ **1.840** klb

Resultados de Corte Basal por Viento:

$V_{\text{Tanque}} =$	2.264	Klb
$V_{\text{Torre}} =$	1.840	Klb
$V_{\text{viento}} =$	4.104	Klb

5.4. CARGA DE SISMO (Numeral 2.5.3.)

Clase de Sitio =	D	(Numeral 2.5.3.1., Tabla XIII)
Municipio =	Asunción Mita	(Numeral 2.5.3.2., Mapa 2 ó Listado por Municipio)
Parámetro $S_s =$	1.300	(Numeral 2.5.3.2., Mapa 2 ó Listado por Municipio)
Parámetro $S_1 =$	0.500	(Numeral 2.5.3.2., Mapa 2 ó Listado por Municipio)
Categoría de Riesgo =	IV	(Numeral 2.5.2.3., Tabla VIII)
$T_L =$	8	seg. (Numeral 2.5.3.7., Tabla XVI)
$I_s =$	1.50	(Factor de Importancia sismo, Numeral 2.5.3.8., Tabla XVII)
$g =$	32.20	pie/seg ² (Aceleración de la gravedad)
$H_{cm} =$	59.532	Pies (Altura al centro de masa del tanque)
Peso Total, $W =$	261.25	klb (Agua, Tanque y Torre)
Tipo de Estructura =	5a	Tanques Elevados, columnas simétricamente embreizadas

Deriva Máxima Permissible:

$\Delta_{per} =$ pies $\Delta_{per} = 0.010 * H_{cm}$ (Numeral 2.5.3.11., Tabla XXI)

Coefficientes de Sitio:

$F_a =$	1.000	(Numeral 2.5.3.3., Tabla XIV)
$F_v =$	1.500	(Numeral 2.5.3.4., Tabla XV)

Coefficientes para Máximo Sismo Esperado:

$S_{MS} =$	1.300	$S_{MS} = F_a * S_s$, (Numeral 2.5.3.5.)
$S_{M1} =$	0.750	$S_{M1} = F_v * S_1$, (Numeral 2.5.3.5.)

Parámetros de diseño de Aceleración Espectral:

$S_{DS} =$	0.8667	$S_{DS} = 2 * S_{MS} / 3$, (Numeral 2.5.3.6.)
$S_{D1} =$	0.500	$S_{D1} = 2 * S_{M1} / 3$, (Numeral 2.5.3.6.)

Categoría de Diseño Sísmico:

Categoría por $S_{DS} =$	D	(Numeral 2.5.3.9., Tabla XVIII)
Categoría por $S_{D1} =$	D	(Numeral 2.5.3.9., Tabla XIX)
Usar Categoría =	D	(Asignar la categoría más crítica de ambas)

Coefficientes de Diseño Sísmico:

$R =$	3	(Numeral 2.5.3.10., Tabla XX)
$\Omega_0 =$	2	(Numeral 2.5.3.10., Tabla XX)
$C_d =$	2.5	(Numeral 2.5.3.10., Tabla XX)

Período Fundamental:

Desp. Lateral, δ_{st} =	0.3572	pies (Numeral 2.5.3.11.)
Período, T =	0.6618	seg. $T = 2 \pi \sqrt{(\delta_{st}/g)}$, (Numeral 2.5.3.11)
Rígida o Flexible?	Flexible	Si $T < 0.06$, Est. Rígida; Si $T \geq 0.06$, Est. Flexible

Coefficiente de Respuesta Sísmica:

Cs =	0.433	$Cs = S_{DS}/(R/I_s)$, (Numeral 2.5.3.12.)
Si $T \leq T_L$, Cs(max) =	0.378	$Cs(max) = S_{D1}/((R/I_s)*T)$, (Numeral 2.5.3.12.)
Si $T > T_L$, Cs(max) =	4.567	$Cs(max) = (S_{D1}*T_L)/((R/I_s)*T^2)$, (Numeral 2.5.3.12.)
Cs(max) =	0.378	$T \leq T_L$
Cs(min) =	0.030	$Cs(min) = 0.03$, (Numeral 2.5.3.12.)
Usar Cs =	0.378	CS(min) <= CS <= CS(max)

Resultados de Corte Basal por Sismo:

V_{sismo} =	98.69	klb	Est. Flexible: $V = Cs*W$, (Numeral 2.5.3.13.)
---------------	-------	-----	---

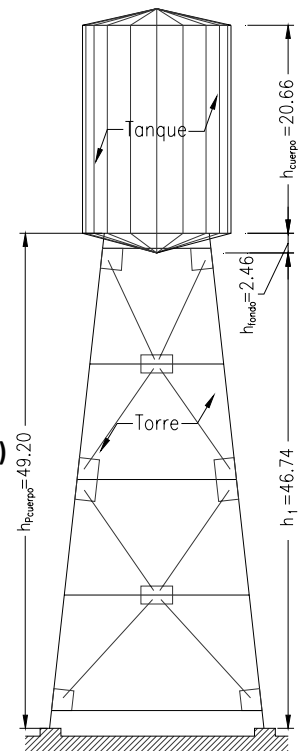
Debido a que $V_{sismo} \gg V_{viento} \rightarrow$ rige V_{sismo}

5.5. CARGA POR PRESIÓN HIDROSTÁTICA EN CUERPO TANQUE (Numeral 2.5.4.)

h_1 =	46.74	pie
h_{fondo} =	2.46	pie
h_{cuerpo} =	20.66	pie
$h_{final} = h_1 + h_{fondo} + h_{cuerpo}$ =	69.864	pie
δ_{h20} =	62.40	lb/pie ³

Constante A =	0	
Constante B =	0	
Constante C =	-0.0624	klb/pie ³
Constante D =	4.3595136	klb/pie ²

$h_{pcuerpo}$ =	49.20	
P_{cuerpo} =	1.289434	klb/pie ² (Carga AGUA PR)



Esquema de alturas tanque

5.6. REVISIÓN ESPESES (t) DEL TANQUE (Numeral 2.4.)

$P_{max} =$	1.289434	klb/pie ² (la mayor entre sobrecarga AGUA y carga AGUA PR)
$P_{max} =$	0.0089544	klb/pul ²
$r =$	88.56	pul
$t =$	0.2500	pul

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2)}$$

$$\sigma_1 = (P_{max} * r) / t$$

$$\sigma_2 = (P_{max} * r) / (2 * t)$$

$F_y =$	36.00	klb/pul ²
$\sigma_1 =$	3.17	klb/pul ²
$\sigma_2 =$	1.59	klb/pul ²
$\sigma_e =$	2.75	klb/pul ²

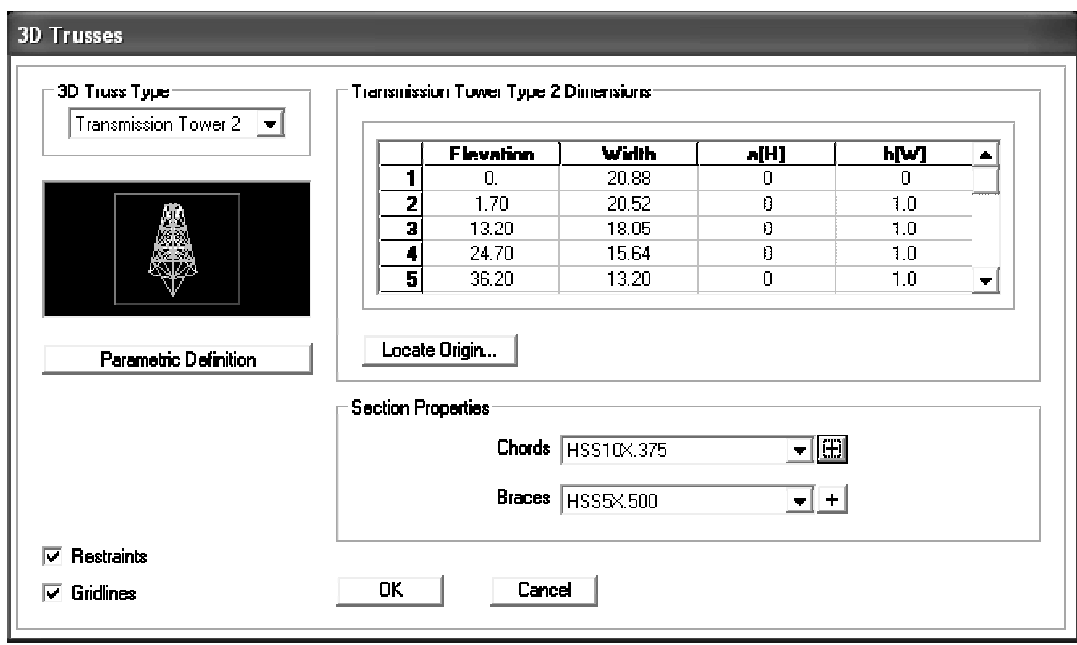
$\sigma_e < F_y$, Espesores OK!!!

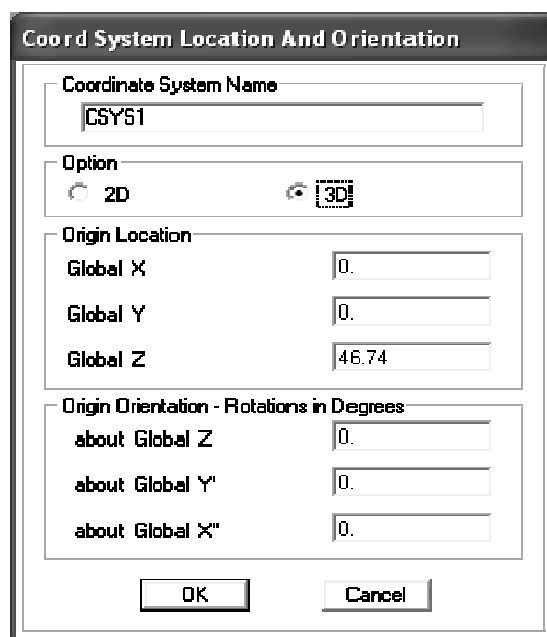
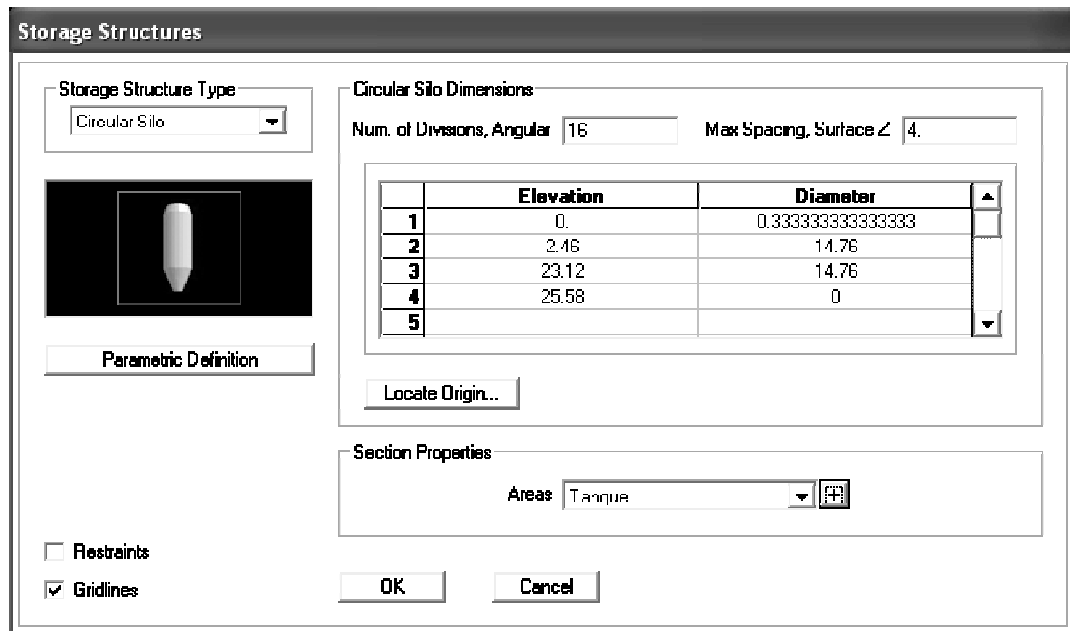
Paso 6. Modelo estructural en SAP2000

De acuerdo a lo indicado en el Capítulo 3, se considera que los diseñadores poseen el conocimiento de las características básicas para la utilización del paquete de software o programa SAP2000, por lo que el Paso 6 se restringirá al ingreso de datos o factores obtenidos en los Pasos anteriores dentro de las plantillas o recuadros que genera dicho software o programa.

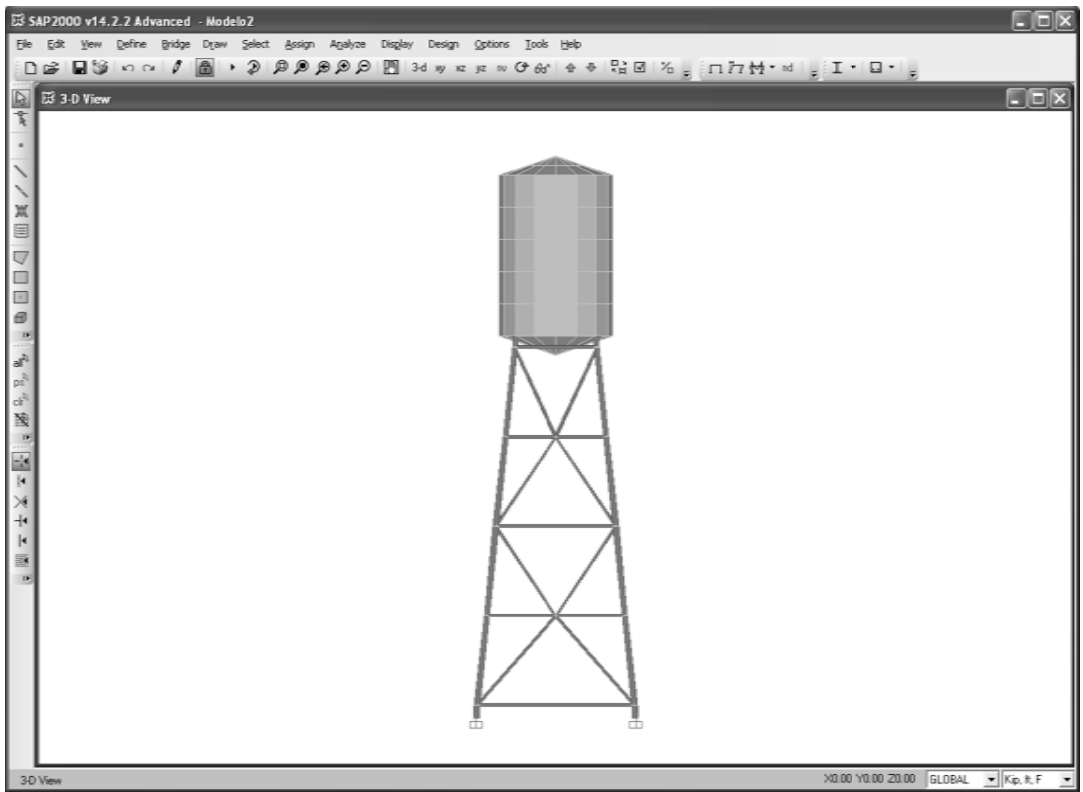
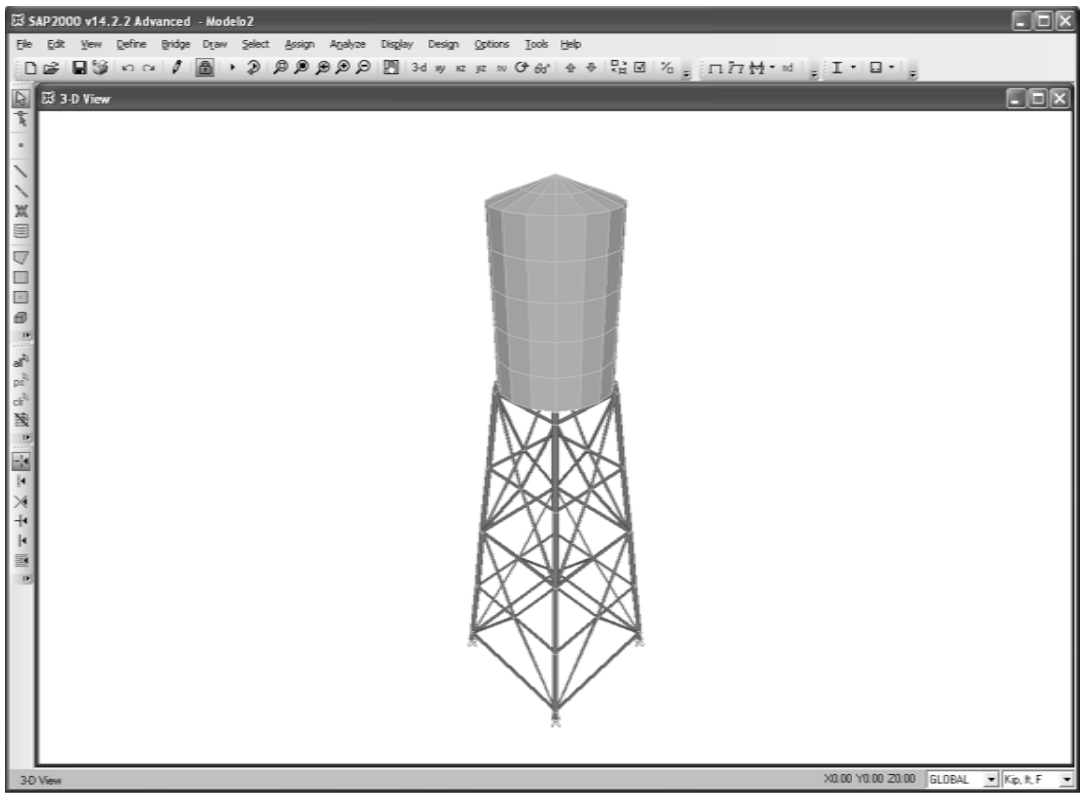
6.1. GEOMETRÍA DEL MODELO (Numeral 3.2.)

Se deberán ingresar las dimensiones indicadas en los Pasos 1 y 2 de acuerdo con la metodología propuesta en el numeral 3.2.





Se realizaron las modificaciones respectivas con los comandos del paquete de software o programa SAP2000 para que la geometría del modelo dibujado represente la estructura idealizada, también se asignaron las secciones a los elementos de la torre denominados columnas(c), horizontales(h), y breizas(b), determinadas en el Paso 3, y se asignaron los espesores a los elementos del tanque denominados techo, cuerpo, y fondo, determinados en el Paso 4; por lo que el modelo del tanque metálico elevado se representa de la siguiente manera:



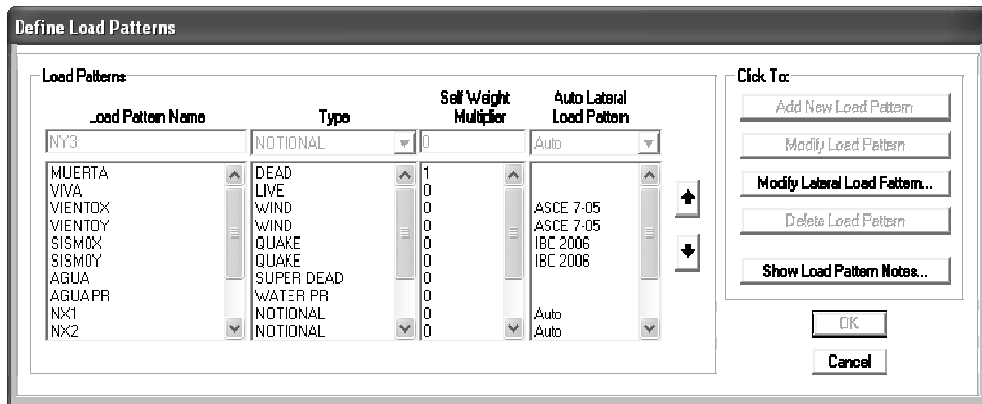
6.2. CONSIDERACIONES EN EL INGRESO DE DATOS A SAP2000 (Numeral 3.3.)

Liberar extremos de elementos breizas:

Se deberán liberar los extremos de los elementos que representan las breizas, de tal forma que permitan el giro, de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.3.

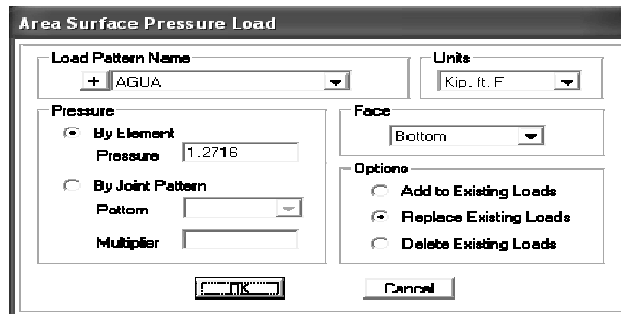
Definir estados de carga:

Se deberán definir los estados de carga para los cuales la estructura precisa ser analizada de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.3.



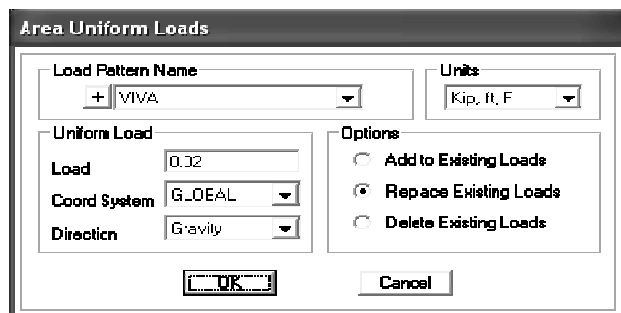
Asignar carga por presión hidrostática P_{fondo} (sobrecarga AGUA):

Se deberá asignar la sobrecarga AGUA determinada en el Paso 5 al elemento área del fondo, de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.3.



Asignar carga VIVA:

Se deberá asignar la carga VIVA determinada en el Paso 5 al elemento área del techo, de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.3.



Asignar carga por VIENTO:

Se deberá asignar carga por VIENTO ingresando los factores determinados en el Paso 5, de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.3.

- Dirección X:

The screenshot shows the 'ASCE 7-05 Wind Load Pattern' dialog box. The 'Exposure and Pressure Coefficients' section has 'Exposure from Frame and Area Objects' selected, with 'Include Area Objects' and 'Include Frame Objects (Open Structure)' checked. The 'Wind Exposure Parameters' section has 'Wind Direction Angle' set to 0. The 'Wind Coefficients' section has 'Wind Speed (mph)' at 80, 'Exposure Type' at B, 'Importance Factor' at 1.15, 'Topographical Factor, Kzt' at 1, 'Gust Factor' at 0.85, 'Directionality Factor, Kd' at 0.95, and 'Solid / Gross Area Ratio' at 0.215. The 'Exposure Height' section has 'Program Calculated' selected. Buttons for 'OK' and 'Cancel' are visible.

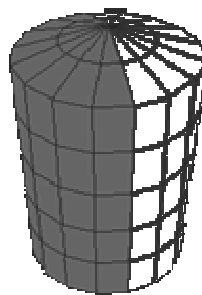
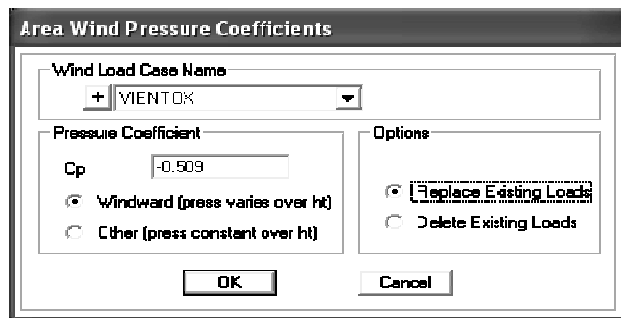
- Dirección Y:

The screenshot shows the 'ASCE 7-05 Wind Load Pattern' dialog box. The 'Exposure and Pressure Coefficients' section has 'Exposure from Frame and Area Objects' selected, with 'Include Area Objects' and 'Include Frame Objects (Open Structure)' checked. The 'Wind Exposure Parameters' section has 'Wind Direction Angle' set to 90. The 'Wind Coefficients' section has 'Wind Speed (mph)' at 80, 'Exposure Type' at B, 'Importance Factor' at 1.15, 'Topographical Factor, Kzt' at 1, 'Gust Factor' at 0.85, 'Directionality Factor, Kd' at 0.95, and 'Solid / Gross Area Ratio' at 0.215. The 'Exposure Height' section has 'Program Calculated' selected. Buttons for 'OK' and 'Cancel' are visible.

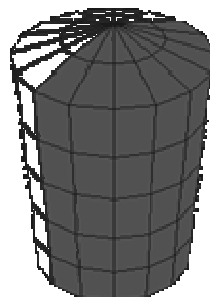
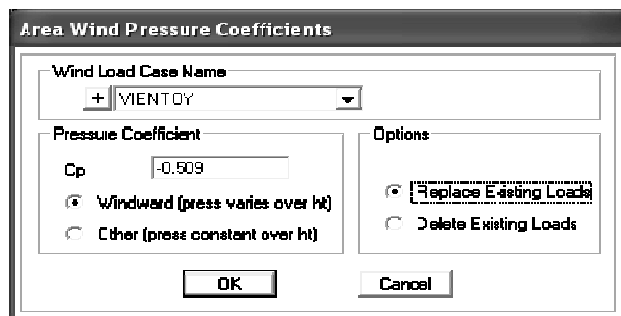
Asignar presión de viento en tanque:

Se deberá asignar presión de viento en el tanque ingresando el Coeficiente de Fuerza para Tanque (C_f (tanque)) determinado en el Paso 5 con un valor negativo, de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.3.

- Dirección X:



- Dirección Y:



Asignar carga por SISMO:

Se deberá asignar carga por SISMO ingresando los factores determinados en el Paso 5, de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.3.

- Dirección X:

- Dirección Y:

Asignar carga por presión hidrostática P_{cuerpo} (carga AGUA PR):

Se deberá asignar la carga AGUA PR determinada en el Paso 5 al elemento área del cuerpo, de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.3.

Pattern Data

Pattern Name: AGUA PR

Pattern Assignment Type:

- X, Y, Z Multipliers (Pattern Value = Ax + By + Cz + D)
- Z Coordinate at Zero Pressure and Weight Per Unit Volume

Pattern Value = Ax + By + Cz + D

Constant A: 0
 Constant B: 0
 Constant C: -0.0624
 Constant D: 4.3695136

Restrictions:

- Use all values
- Zero Negative values
- Zero Positive values

Options:

- Add to existing values
- Replace existing values
- Delete existing values

OK Cancel

Area Surface Pressure Load

Load Pattern Name: + AGUA PR Units: Kip, ft, F

Pressure:

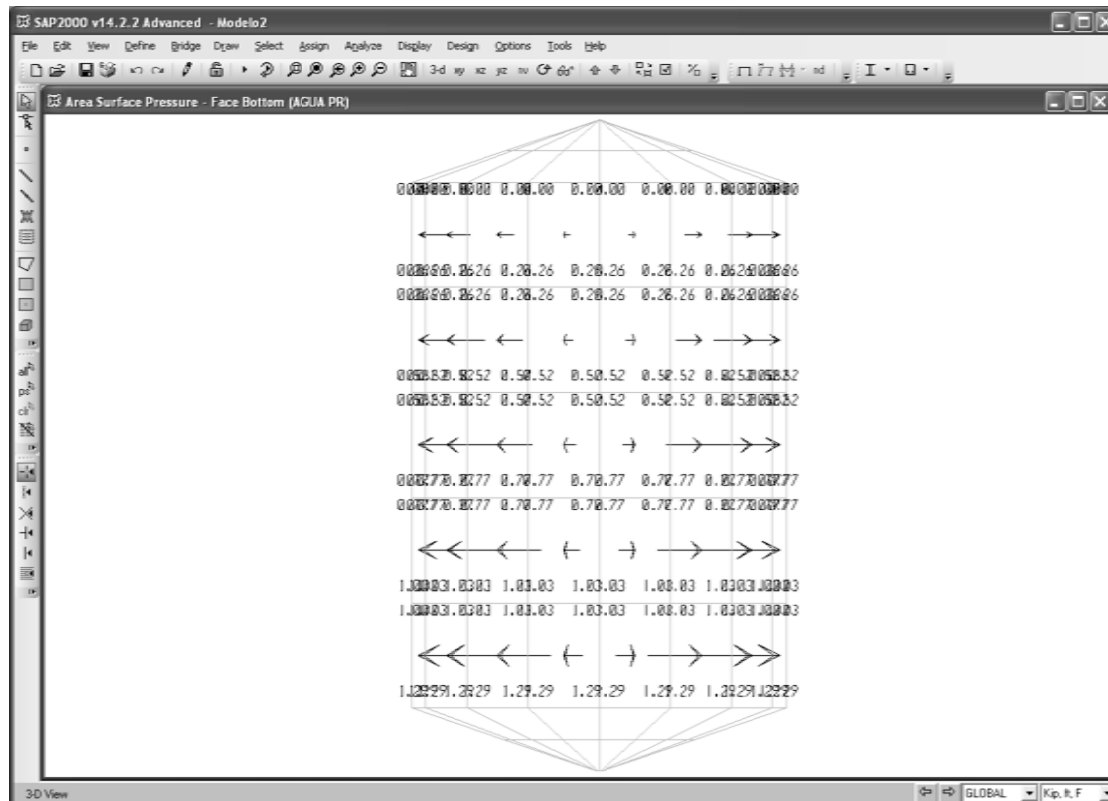
- By Element Pressure
- By Joint Pattern Pattern: AGUA PR Multiplier: 1

Face: Bottom

Options:

- Add to Existing Loads
- Replace Existing Loads
- Delete Existing Loads

OK Cancel



Calcular y asignar masas de agua en nodos o juntas de los elementos área del cuerpo y área del fondo:

Para simular el comportamiento hidrodinámico dentro del tanque, se deberán calcular las masas de agua en los nodos o juntas de los elementos área del cuerpo y área del fondo.

N = Número de Divisiones Angulares (en Planta)

n = Máx. número de Divisiones intermedias en Cuerpo (en Elevación)

N =	16.00	(de Geometría de SAP2000)
n =	4.0000	(de Geometría de SAP2000)
D _{cuerpo} =	14.76	pie
h _{fondo} =	2.46	pie
h =	4.1320	pie
Área =	10.69406	pie ²
Volumen =	44.18786	pie ³
δ _{h2o} =	62.40	lb/pie ³
W _{h2o} =	2.7573	klb
g =	32.20	pie/s ²
m_{h2o} =	0.085631	klb s²/pie

h _{fondo} =	2.46	pie
D _{cuerpo} =	14.76	pie
V _{h2o fondo} =	140.3061	pie ³

h _{inferior} =	1.8450	pie
D _{inferior} =	11.0700	pie
V _{inferior} =	59.1916	pie ³
m_{h2o} =	0.007169	klb s²/pie

V _{RESTANTE} =	81.1144	pie ³
m_{h2o} =	0.009824	klb s²/pie

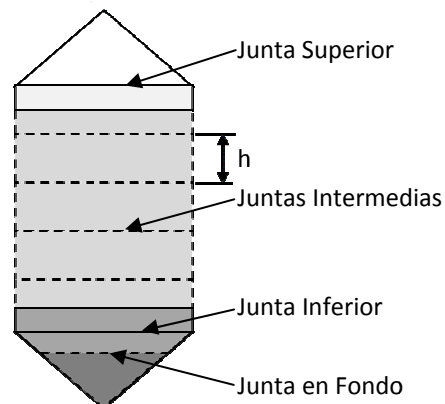
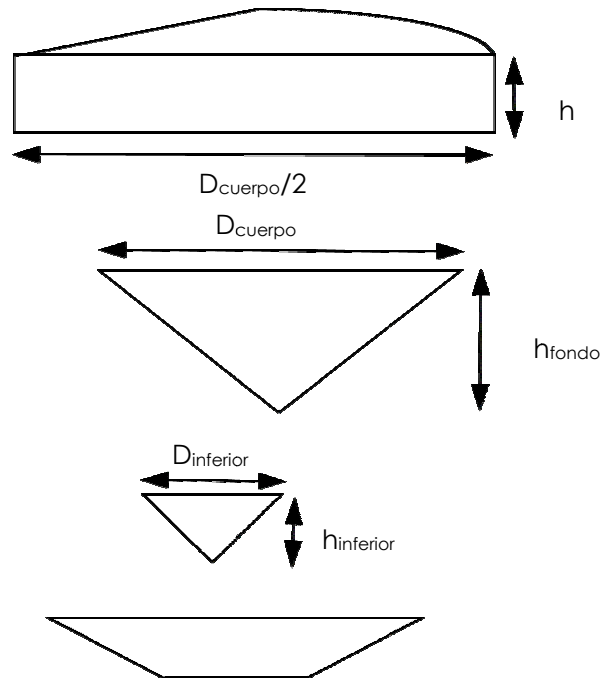
m_{h2o} (junta sup.) = 0.042816 klb s²/pie

m_{h2o} (junta inte.) = 0.085631 klb s²/pie

m_{h2o} (junta inf.) = 0.052640 klb s²/pie

m_{h2o} (junta fon.) = 0.007169 klb s²/pie

(de Geometría de SAP2000)



Se deberán asignar las masas de agua en las juntas superior, intermedias, inferior, y en fondo del tanque, de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.3.

Junta superior de tanque:

Joint Masses

Specify Joint Mass

As Mass
 As Weight
 As Volume and Material Property

Material

Mass Direction

Coordinate System

Mass

Global X Axis Direction
 Global Y Axis Direction
 Global Z Axis Direction

Mass Moment of Inertia

Rotation About Global X Axis
 Rotation About Global Y Axis
 Rotation About Global Z Axis

Options

Add to Existing Masses
 Replace Existing Masses
 Delete Existing Masses

Units

Juntas intermedias de tanque:

Joint Masses

Specify Joint Mass

As Mass
 As Weight
 As Volume and Material Property

Material

Mass Direction

Coordinate System

Mass

Global X Axis Direction
 Global Y Axis Direction
 Global Z Axis Direction

Mass Moment of Inertia

Rotation About Global X Axis
 Rotation About Global Y Axis
 Rotation About Global Z Axis

Options

Add to Existing Masses
 Replace Existing Masses
 Delete Existing Masses

Units

Junta inferior de tanque:

Joint Masses

Specify Joint Mass

As Mass
 As Weight
 As Volume and Material Property

Material

Mass Direction

Coordinate System

Mass

Global X Axis Direction
 Global Y Axis Direction
 Global Z Axis Direction

Mass Moment of Inertia

Rotation About Global X Axis
 Rotation About Global Y Axis
 Rotation About Global Z Axis

Options

Add to Existing Masses
 Replace Existing Masses
 Delete Existing Masses

Units

Junta en fondo de tanque:

Joint Masses

Specify Joint Mass

As Mass
 As Weight
 As Volume and Material Property

Material

Mass Direction

Coordinate System

Mass

Global X Axis Direction
 Global Y Axis Direction
 Global Z Axis Direction

Mass Moment of Inertia

Rotation About Global X Axis
 Rotation About Global Y Axis
 Rotation About Global Z Axis

Options

Add to Existing Masses
 Replace Existing Masses
 Delete Existing Masses

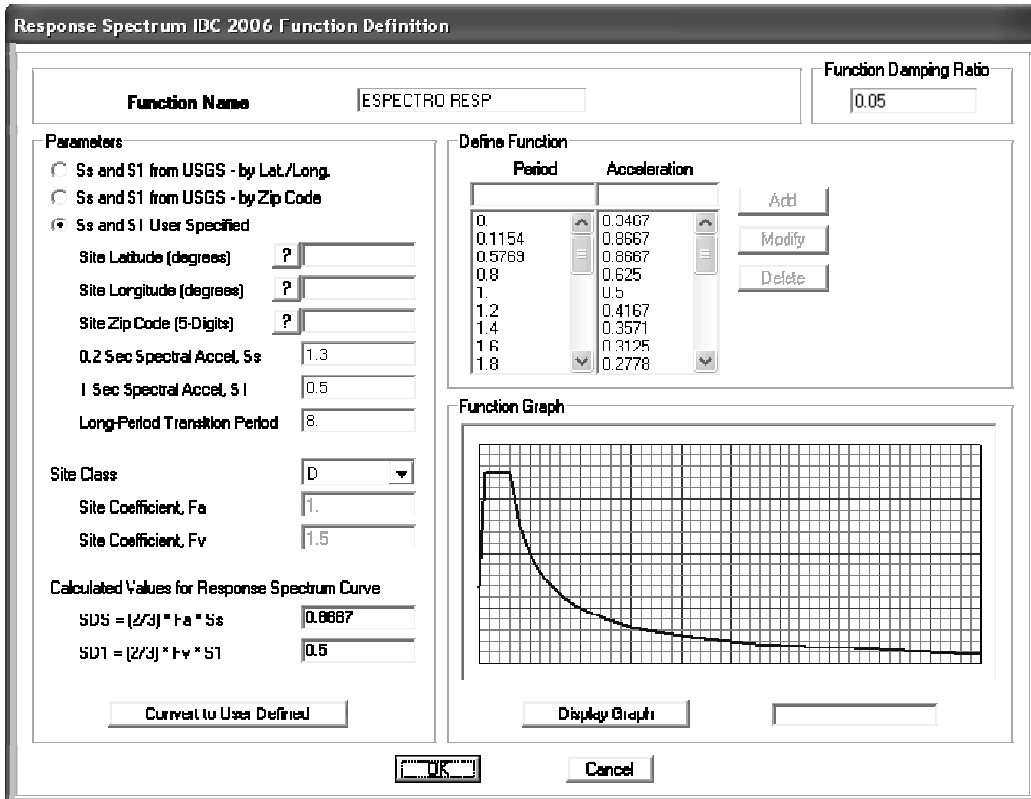
Units

Peso del agua como parte de la masa:

Para que el paquete de software o programa SAP2000 considere el peso del agua como parte de la masa para el cálculo del cortante basal, ésta se deberá definir de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.3.

Espectro de respuesta de diseño:

Se deberá definir el espectro de respuesta de diseño ingresando los factores determinados en el Paso 5, de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.3.



Asignar carga por SISMO DINÁMICO:

Se deberá asignar carga por SISMO DINÁMICO utilizando el espectro de respuesta de diseño y definiendo el factor de escala (F.E.) a utilizar con los parámetros determinados en el Paso 5, de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.3.

g =	32.20	pie/s ² (Aceleración de la gravedad)
I _s =	1.50	(Numeral 2.5.3.8., Tabla XVII)
R =	3.00	(Numeral 2.5.3.10., Tabla XX)

F.E. = $g / (R/I)$

F.E. =	16.10	pie/s ²
30% F.E. =	4.83	pie/s ²

- Dirección X:

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: SISMODYNX Notes:

Load Case Type: Response Spectrum

Modal Combination

CQC GMC f1: 1.
 SRSS GMC f2: 0.
 Absolute
 GMC Periodic + Rigid Type: SRSS
 NRC 10 Percent
 Double Sum

Directional Combination

SRSS
 CQC3
 Absolute
 Scale Factor:

Modal Load Case

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	ESPECTRO	16.1
Accel	U1	ESPECTRO RE	1E-1
Accel	U2	ESPECTRO RE	4.83

Show Advanced Load Parameters

Other Parameters

Modal Damping: Constant at 0.05

- Dirección Y:

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: SISMODYNY Notes:

Load Case Type: Response Spectrum

Modal Combination

CQC GMC f1: 1.
 SRSS GMC f2: 0.
 Absolute
 GMC Periodic + Rigid Type: SRSS
 NRC 10 Percent
 Double Sum

Directional Combination

SRSS
 CQC3
 Absolute
 Scale Factor:

Modal Load Case

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	ESPECTRO	4.83
Accel	U1	ESPECTRO RE	4.83
Accel	U2	ESPECTRO RE	1E-1

Show Advanced Load Parameters

Other Parameters

Modal Damping: Constant at 0.05

Definir análisis P-DELTA:

Se deberá definir el análisis P-DELTA de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.3.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: P-DELTA [Set Def Name] [Modify/Show...]

Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:
 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
 Continue from State at End of Nonlinear Case []
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:
 Linear
 Nonlinear
 Nonlinear Staged Construction

Geometric Nonlinearity Parameters:
 None
 P-Delta
 P-Delta plus Large Displacements

Modal Load Case:
All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL []

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	MJEFTA	1.2
Load Pattern	MJEFTA	1.2
Load Pattern	AGUA	1.2
Load Pattern	VIVA	1.6

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:
Load Application: Full Load [Modify/Show...]
Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]
Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Assign Automatic Frame Mesh

No Auto Meshing
 Auto Mesh Frame

at Intermediate Joints
 at Intersection with Other Frames, Area Edges and Solid Edges
 Minimum Number of Segments: 3
 Maximum Length of Segments: []
 Maximum Subtended Degree (Curved Members): []

Units: Kip, ft, F []

[OK] [Cancel]

Definir cargas HIPOTÉTICAS:

Para efectos de la integridad o estabilidad estructural y del método de análisis directo (Direct Analysis Method, DAM), se deberán definir las cargas HIPOTÉTICAS (Tipo NOTIONAL) por carga muerta y por carga viva, en las direcciones X & Y, de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.3.

Definir COMBINACIONES DE CARGA:

Se deberán definir las COMBINACIONES DE CARGA de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.3.

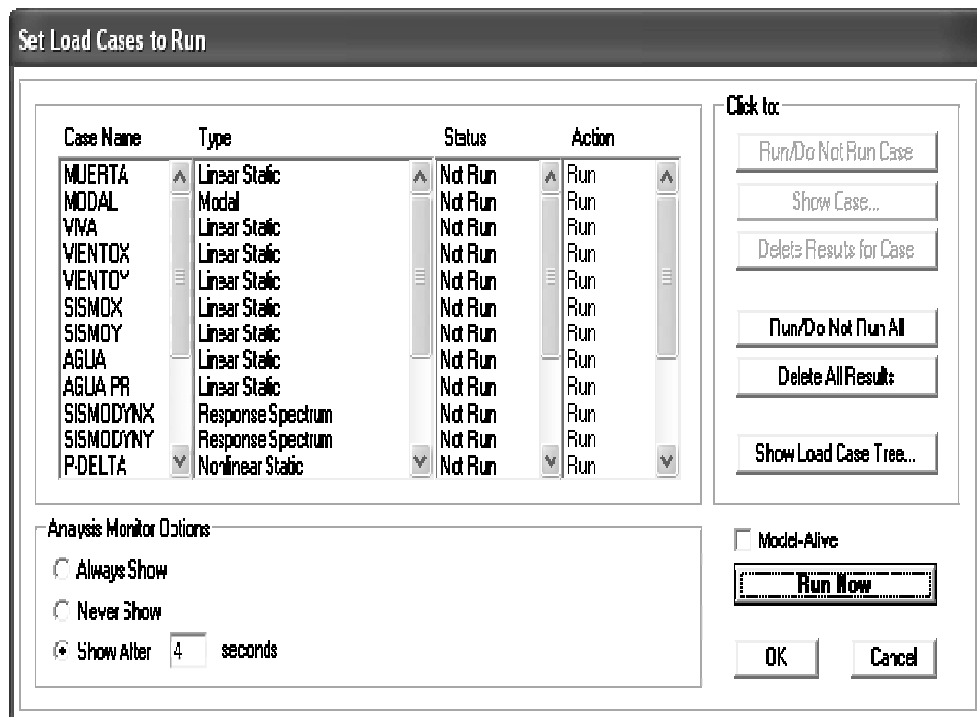
6.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN SAP2000 (Numeral 3.4.)

Definir ANÁLISIS a realizar:

Se deberá definir la opción del ANÁLISIS a realizar de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.4.

Definir casos de carga a correr y correr el ANÁLISIS ESTRUCTURAL:

Se deberán definir los casos de carga a correr y se deberá correr el ANÁLISIS ESTRUCTURAL, de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.4.



Revisar relación Cortante Estático-Cortante Dinámico:

Se deberá revisar que el 85% del cortante estático en la base ($V_{\text{estático}}$) sea menor que el cortante dinámico en la base ($V_{\text{dinámico}}$), de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.4.

Output Case Text	Case Type	Step Type	Global FX Kip	Global FY Kip	Global FZ Kip	Global MX Kip-ft	Global MY Kip-ft	Global MZ Kip-ft
SISMOX	LinStatic		-97.649	0.00000006493	0.00000001712	0.00000001606	-2250.9051	0.00000001586
SISMOY	LinStatic		0.00000006444	-97.649	0.00000001464	2250.9051	0.00000001618	0.000000017162
SISMODYNX	LinRespSpec	Max	108.254	32.476	0.000001055	747.6352	2492.1174	0.000006927
SISMODYNY	LinRespSpec	Max	32.476	108.254	0.000001716	2492.1174	747.6352	0.000002097

$$0.85 V_{\text{estático}} = 0.85 (97.649) = \mathbf{83.00 \text{ Klb}} \quad \& \quad V_{\text{dinámico}} = \mathbf{108.25 \text{ Klb}}$$

➔ SI CUMPLE!!!

Revisar participación modal de la masa:

Se deberá revisar que la participación modal de la masa sea por lo menos del 90%, de acuerdo a lo indicado en el numeral 3.4.

Output Case Text	Step Type Text	Step Num Units	Period Sec	UX Units	UY Units	UZ Units	Sum UX Units	Sum UY Units
MODAL	Mode	1	0.362253	0.92592	0.03989	0	0.92592	0.03989
MODAL	Mode	2	0.062250	0.00000	0.92502	0	0.0050	0.9050
MODAL	Mode	3	0.149017	4.978E-17	5.418E-18	0.01699	0.9658	0.9658
MODAL	Mode	4	0.146058	0.00000005058	0.00000003103	1.267E-19	0.9658	0.9658
MODAL	Mode	5	0.146058	0.00000003102	0.00000000506	3.352E-18	0.9658	0.9658
MODAL	Mode	6	0.13971	6.101E-19	1.901E-16	3.482E-17	0.9658	0.9658
MODAL	Mode	7	0.138538	2.43E-16	1.125E-16	1.288E-16	0.9658	0.9658
MODAL	Mode	8	0.126975	0.000004288	0.00000002029	2.807E-16	0.96581	0.96581
MODAL	Mode	9	0.126975	0.0000000203	0.000004288	1.564E-18	0.96581	0.96581
MODAL	Mode	10	0.121033	9.789E-17	3.103E-16	0.7572	0.96581	0.96581
MODAL	Mode	11	0.109422	3.774E-16	5.949E-16	3.171E-17	0.96581	0.96581
MODAL	Mode	12	0.105719	1.032E-16	6.711E-16	0.19217	0.96581	0.96581

a partir del segundo modo de vibración → SI CUMPLE!!!

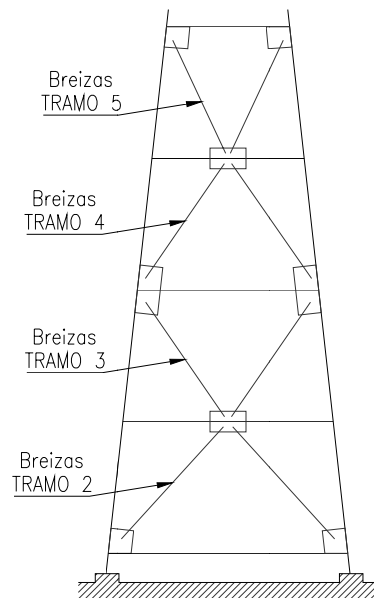
Paso 7. Diseño de elementos de acero

De acuerdo a lo indicado en el Capítulo 4, para enfocar adecuadamente la filosofía de diseño sismo resistente, el diseño de los elementos de la torre se realizará por medio del método denominado DISEÑO POR CAPACIDAD, utilizando como base para el diseño los resultados obtenidos del análisis estructural realizado en el software o programa SAP2000.

7.1. DISEÑO DE ELEMENTOS BREIZAS (Numeral 4.2.1.)

Resultados obtenidos de Análisis Estructural y Geometría en SAP2000

Tramo	CARGAS MAXIMAS APLICADAS		GEOMETRÍA	
	Tensión Máxima (Klb)	Compresión Máxima (Klb)	Altura Tramo (Pie)	Longitud Breiza (Pie)
5	28.92	44.95	11.56	12.75
4	25.53	43.43	11.56	13.96
3	18.58	27.76	11.56	13.96
2	15.11	25.84	11.56	15.46



DISEÑO DE ELEMENTO BREIZA TRAMO 5 (SCBF)

Predimensionamiento Sección de la Breiza

E=	29,000.00	Klb/pul ²
Long·breiza=	12.75	pies
K=	1.00	
Long·breiza=	153.06	pul
4v(E/Fy)=	105.11	
r _{mínimo} =	1.46	pul

Con r_{mínimo} proponer Sección HSS Circular

Propiedades de la Breiza

Sección Propuesta=	HSS5X0.188	
Acero=	A500 Gr B (Round)	Tabla 2-3 AISC 360-10
Fy=	42.00	Klb/pul ²
Fu=	58.00	Klb/pul ²

PASO 1. COMPACIDAD SÍSMICA DE LA BREIZA

SI CUMPLEiii

D/t < 0.044 (E/F _y)	Tabla I-8-1, AISC 341-05
D/t=	28.70
0.044 (E/F _y)=	30.38

Sección Sísmicamente Compacta

PASO 2. LÍMITE DE ESBELTEZ EN LA BREIZA

SI CUMPLEiii

Esbeltéz Límite ==> KL/r < 4v(E/Fy)

13.2a., AISC 341-05

4v(E/Fy)=	105.11
KL/r=	89.51
KxL/rx=	89.51
KyL/ry=	89.51
Kx=	1.00
Ky=	1.00
Long·breiza=	153.06 pul
rx=	1.71 pul
ry=	1.71 pul

PASO 3. DISEÑO POR COMPRESIÓN

Capítulo E AISC 360-10

Capacidad Axial de la Breiza

$\phi P_n = \phi F_{cr} A_g =$	60.98	Klb
$\phi_c =$	0.90	
F _{cr} =	25.66	Klb/pul ²
A _g =	2.64	pul ²
F _{cr} (E3-2, AISC 360-10)=	25.66	Klb/pul ²
F _{cr} (E3-3, AISC 360-10)=	31.30	Klb/pul ²
KL/r _{crítico} =	89.51	
4.71v(E/Fy)=	123.76	
Fe= π ² E/(KL/r) ² =	35.69	Klb/pul ²

Compresión Máxima (Demanda)=	44.95 Klb	del Análisis
Relación Demanda/Capacidad	0.74	
Conclusión	Sección OK por Compresión	

PASO 4. DISEÑO POR TENSIÓN	Capítulo D AISC 360-10
Fluencia en el Área Gruesa	

$\phi P_n = \phi F_y A_g =$	99.79 Klb
$\phi_t =$	0.90
$F_y =$	42.00 Klb/pul ²
$A_g =$	2.64 pul ²

Ruptura en el Área Neta

$\phi P_n = \phi F_u A_e =$	110.11 Klb
$\phi_t =$	0.75
$F_u =$	58.00 Klb/pul ²
$A_e = U A_n =$	2.53 pul ²

PROPIEDADES DE PLACA DE CONEXION		
Acero=	A36	
$F_y =$	36.00	Klb/pul ²
$F_u =$	58.00	Klb/pul ²
$t_{placa} =$	5/16	pul
$L_{conexión} =$	14.00	pul
$1.3D =$	6.50	pul

$U =$	1.00	Tabla D3.1 AISC 360-10, Caso 5
$U = 1 - (X_c / L_{conexión})$	0.89	
$X_c =$	1.59 pul	
$D =$	5.00 pul	
$A_n = A_g - A_{slot} =$	2.53 pul ²	
$A_g =$	2.64 pul ²	
$A_{slot} = 2 t_{placa} t_{HSS} =$	0.11 pul ²	
$t_{HSS} =$	0.174 pul	

Capacidad en Tensión=	99.79 Klb	
Tensión Máxima (Demanda)=	28.92 Klb	del Análisis
Relación Demanda/Capacidad	0.29	
Conclusión	Sección OK por Tensión	
DOMINA FLUENCIA EN Ag ==> SECCION NO NECESITA REFUERZO!!! (VER CONEX.)		

DISEÑO DE ELEMENTO BREIZA TRAMO 4 (SCBF)

Predimensionamiento Sección de la Breiza

E=	29,000.00	Klb/pul ²
Long-breiza=	13.96	pies
K=	1.00	
Long-breiza=	167.52	pul
4v(E/Fy)=	105.11	
r _{mínimo} =	1.59	pul

Con r_{mínimo} proponer Sección HSS Circular

Propiedades de la Breiza

Sección Propuesta=	HSS5X0.188	
Acero=	A500 Gr B (Round)	Tabla 2-3 AISC 360-10
Fy=	42.00	Klb/pul ²
Fu=	58.00	Klb/pul ²

PASO 1. COMPACIDAD SÍSMICA DE LA BREIZA

SI CUMPLEii

D/t < 0.044 (E/Fy)	Tabla I-8-1 AISC 341-05
D/t=	28.70
0.044 (E/Fy)=	30.38

Sección Sísmicamente Compacta

PASO 2. LÍMITE DE ESBELTEZ EN LA BREIZA

SI CUMPLEii

Esbeltéz Límite ==> $KL/r < 4v(E/Fy)$

13.2a., AISC 341-05

4v(E/Fy)=	105.11
KL/r=	97.97
KxL/rx=	97.97
KyL/ry=	97.97
Kx=	1.00
Ky=	1.00
Long-breiza=	167.52 pul
rx=	1.71 pul
ry=	1.71 pul

PASO 3. DISEÑO POR COMPRESIÓN

Capítulo E AISC 360-10

Capacidad Axial de la Breiza

$\phi P_n = \phi F_{cr} A_g =$	55.31	Klb
$\phi_c =$	0.90	
F _{cr} =	23.28	Klb/pul ²
A _g =	2.64	pul ²
F _{cr} (E3-2, AISC 360-10)=	23.28	Klb/pul ²
F _{cr} (E3-3, AISC 360-10)=	26.13	Klb/pul ²
KL/r _{crítico} =	97.97	
4.71v(E/Fy)=	123.76	
F _e = $\pi^2 E / (KL/r)^2 =$	29.79	Klb/pul ²

Compresión Máxima (Demanda)=	43.43 Klb	del Análisis
Relación Demanda/Capacidad	0.79	
Conclusión	Sección OK por Compresión	

PASO 4. DISEÑO POR TENSION	Capítulo D AISC 360-10
Fluencia en el Área Gruesa	

$\phi P_n = \phi F_y A_g =$	99.79 Klb
$\phi_t =$	0.90
$F_y =$	42.00 Klb/pul ²
$A_g =$	2.64 pul ²

Ruptura en el Área Neta

$\phi P_n = \phi F_u A_e =$	110.11 Klb
$\phi_t =$	0.75
$F_u =$	58.00 Klb/pul ²
$A_e = U A_n =$	2.53 pul ²

PROPIEDADES DE PLACA DE CONEXION		
Acero=	A36	
$F_y =$	36.00	Klb/pul ²
$F_u =$	58.00	Klb/pul ²
$t_{placa} =$	5/16	pul
$L_{conexión} =$	14.00	pul
$1.3D =$	6.50	pul

$U =$	1.00	Tabla D3.1 AISC 360-10, Caso 5
$U = 1 - (X_c / L_{conexión})$	0.89	
$X_c =$	1.59 pul	
$D =$	5.00 pul	
$A_n = A_g - A_{slot} =$	2.53 pul ²	
$A_g =$	2.64 pul ²	
$A_{slot} = 2 t_{placa} t_{HSS}$	0.11 pul ²	
$t_{HSS} =$	0.174 pul	

Capacidad en Tensión=	99.79 Klb	
Tensión Máxima (Demanda)=	25.53 Klb	del Análisis
Relación Demanda/Capacidad	0.26	
Conclusión	Sección OK por Tensión	
DOMINA FLUENCIA EN Ag ==>	SECCION NO NECESITA REFUERZO!!! (VER CONEX.)	

DISEÑO DE ELEMENTO BREIZA TRAMO 3 (SCBF)

Predimensionamiento Sección de la Breiza

E=	29,000.00	Klb/pul ²
Long·breiza=	13.96	pies
K=	1.00	
Long·breiza=	167.51	pul
4v(E/Fy)=	105.11	
r _{mínimo} =	1.59	pul

Con r_{mínimo} proponer Sección HSS Circular

Propiedades de la Breiza

Sección Propuesta=	HSS5X0.188	
Acero=	A500 Gr B (Round)	Tabla 2-3 AISC 360-10
Fy=	42.00	Klb/pul ²
Fu=	58.00	Klb/pul ²

PASO 1. COMPACIDAD SÍSMICA DE LA BREIZA

SI CUMPLEiii

D/t < 0.044 (E/F _y)	Tabla I-8-1 AISC 341-05
D/t=	28.70
0.044 (E/F _y)=	30.38

Sección Sísmicamente Compacta

PASO 2. LÍMITE DE ESBELTEZ EN LA BREIZA

SI CUMPLEiii

Esbeltéz Límite ==> $KL/r < 4v(E/F_y)$

13.2a., AISC 341-05

4v(E/F _y)=	105.11
KL/r=	97.96
KxL/rx=	97.96
KyL/ry=	97.96
Kx=	1.00
Ky=	1.00
Long·breiza=	167.51 pul
rx=	1.71 pul
ry=	1.71 pul

PASO 3. DISEÑO POR COMPRESIÓN

Capítulo E AISC 360-10

Capacidad Axial de la Breiza

$\phi P_n = \phi F_{cr} A_g =$	55.32	Klb
$\phi_c =$	0.90	
F _{cr} =	23.28	Klb/pul ²
A _g =	2.64	pul ²
F _{cr} (E3-2, AISC 360-10)=	23.28	Klb/pul ²
F _{cr} (E3-3, AISC 360-10)=	26.13	Klb/pul ²
KL/r _{crítico} =	97.96	
4.71v(E/F _y)=	123.76	
F _e = $\pi^2 E / (KL/r)^2 =$	29.80	Klb/pul ²

Compresión Máxima (Demanda)=	27.76 Klb	del Análisis
Relación Demanda/Capacidad	0.50	
Conclusión	Sección OK por Compresión	

PASO 4. DISEÑO POR TENSIÓN

Capítulo D AISC 360-10

Fluencia en el Área Gruesa

$\phi P_n = \phi F_y A_g =$	99.79 Klb
$\phi_t =$	0.90
$F_y =$	42.00 Klb/pul ²
$A_g =$	2.64 pul ²

Ruptura en el Área Neta

$\phi P_n = \phi F_u A_e =$	110.11 Klb
$\phi_t =$	0.75
$F_u =$	58.00 Klb/pul ²
$A_e = U A_n =$	2.53 pul ²

PROPIEDADES DE PLACA DE CONEXION		
Acero=	A36	
$F_y =$	36.00	Klb/pul ²
$F_u =$	58.00	Klb/pul ²
$t_{placa} =$	5/16	pul
$L_{conexión} =$	14.00	pul
$1.3D =$	6.50	pul

$U =$	1.00	Tabla D3.1 AISC 360-10, Caso 5
$U = 1 - (X_c / L_{conexión})$	0.89	
$X_c =$	1.59 pul	
$D =$	5.00 pul	

$A_n = A_g - A_{slot} =$	2.53 pul ²
$A_g =$	2.64 pul ²
$A_{slot} = 2 t_{placa} t_{HSS}$	0.11 pul ²
$t_{HSS} =$	0.174 pul

Capacidad en Tensión=	99.79 Klb	
Tensión Máxima (Demanda)=	18.58 Klb	del Análisis
Relación Demanda/Capacidad	0.19	
Conclusión	Sección OK por Tensión	
DOMINA FLUENCIA EN Ag ==>	SECCION NO NECESITA REFUERZO!!! (VER CONEX.)	

DISEÑO DE ELEMENTO BREIZA TRAMO 2 (SCBF)

Predimensionamiento Sección de la Breiza

E=	29,000.00	Klb/pul ²
Long·breiza=	15.46	pies
K=	1.00	
Long·breiza=	185.53	pul
4v(E/Fy)=	105.11	
r _{mínimo} =	1.77	pul

Con r_{mínimo} proponer Sección HSS Circular

Propiedades de la Breiza

Sección Propuesta=	HSS5.500X0.258	
Acero=	A500 Gr B (Round)	Tabla 2-3 AISC 360-10
Fy=	42.00	Klb/pul ²
Fu=	58.00	Klb/pul ²

PASO 1. COMPACIDAD SÍSMICA DE LA BREIZA

SI CUMPLEiii

D/t < 0.044 (E/F _y)	Tabla I-8-1 AISC 341-05
D/t=	22.90
0.044 (E/F _y)=	30.38

Sección Sísmicamente Compacta

PASO 2. LÍMITE DE ESBELTEZ EN LA BREIZA

SI CUMPLEiii

Esbeltez Límite ==> $KL/r < 4v(E/F_y)$

13.2a., AISC 341-05

4v(E/F _y)=	105.11
KL/r=	99.75
KxL/rx=	99.75
KyL/ry=	99.75
Kx=	1.00
Ky=	1.00
Long·breiza=	185.53 pul
rx=	1.86 pul
ry=	1.86 pul

PASO 3. DISEÑO POR COMPRESIÓN

Capítulo E AISC 360-10

Capacidad Axial de la Breiza

$\phi P_n = \phi F_{cr} A_g =$	81.40	Klb
$\phi_c =$	0.90	
F _{cr} =	22.78	Klb/pul ²
A _g =	3.97	pul ²
F _{cr} (E3-2, AISC 360-10)=	22.78	Klb/pul ²
F _{cr} (E3-3, AISC 360-10)=	25.20	Klb/pul ²
KL/r _{crítico} =	99.75	
4.71v(E/F _y)=	123.76	
$F_e = \pi^2 E / (KL/r)^2 =$	28.74	Klb/pul ²

Compresión Máxima (Demanda)=	25.84 Klb	del Análisis
Relación Demanda/Capacidad	0.32	
Conclusión	Sección OK por Compresión	

PASO 4. DISEÑO POR TENSION	Capítulo D AISC 360-10
Fluencia en el Área Gruesa	

$\phi P_n = \phi F_y A_g =$	150.07 Klb
$\phi_t =$	0.90
$F_y =$	42.00 Klb/pul ²
$A_g =$	3.97 pul ²

Ruptura en el Área Neta

$\phi P_n = \phi F_u A_e =$	162.26 Klb
$\phi_t =$	0.75
$F_u =$	58.00 Klb/pul ²
$A_e = U A_n =$	3.73 pul ²

PROPIEDADES DE PLACA DE CONEXION		
Acero=	A36	
$F_y =$	36.00	Klb/pul ²
$F_u =$	58.00	Klb/pul ²
$t_{placa} =$	8/16	pul
$L_{conexión} =$	16.00	pul
$1.3D =$	7.15	pul

$U =$	1.00	Tabla D3.1 AISC 360-10, Caso 5
$U = 1 - (X_c / L_{conexión})$	0.89	
$X_c =$	1.75	pul
$D =$	5.50	pul

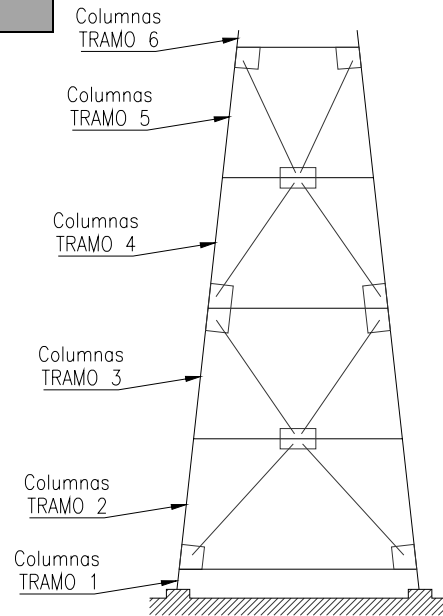
$A_n = A_g - A_{slot} =$	3.73	pul ²
$A_g =$	3.97	pul ²
$A_{slot} = 2 t_{placa} t_{HSS}$	0.24	pul ²
$t_{HSS} =$	0.240	pul

Capacidad en Tensión=	150.07 Klb	
Tensión Máxima (Demanda)=	15.11 Klb	del Análisis
Relación Demanda/Capacidad	0.10	
Conclusión	Sección OK por Tensión	
DOMINA FLUENCIA EN A_g ==>	SECCION NO NECESITA REFUERZO!!! (VER CONEX.)	

7.2. DISEÑO DE ELEMENTOS COLUMNAS (Numeral 4.2.2.)

de Geometría en SAP2000

Tramo	Longitud de Columna (Pie)
6	1.5170
5	11.6287
4	11.6287
3	11.6256
2	11.6319
1	1.7190



Resultados obtenidos del Análisis Estructural en SAP2000 y de Capacidad de las Breizas

$S_{DS} = 0.8667$ Numeral 2.5.3.6.

FUERZA DE COMPRESION GRAVITACIONAL EN COLUMNAS (COMBINACION GRAVITACIONAL)				
Tramo	Carga muerta (C.M.) (Klb)	Sobrecarga AGUA (Klb)	Carga viva (C.V.) (Klb)	Combinación Gravitacional $(1.20 + 0.20 S_{DS})$ C.M. + 0.5 C.V. (Klb)
6	3.205	48.766	0.869	71.808
5	2.836	33.031	0.588	49.552
4	3.333	33.115	0.586	50.348
3	5.279	43.240	0.725	66.996
2	6.155	43.055	0.722	87.325
1	8.483	53.662	0.902	85.797

$\phi = 0.90$ $R_y = 1.40$ Tabla I-6-1, AISC 341-05
 $F_{ybreiza} = 42.00$ Klb/pul²

FUERZA COMPRESION EN COLUMNAS (CAPACIDAD BREIZAS + COMPRESIÓN GRAVITACIONAL)				
Tramo	Compresión Breiza $0.3 P_n \cos \theta$ (Klb)	Tensión Breiza $R_y F_y A_g \cos \theta$ (Klb)	Compresión Gravitacional (Klb)	Compresión Total (Klb)
6	0.00	0.00	71.808	71.808
5	18.42	0.00	49.552	67.974
4	0.00	128.54	50.348	197.313
3	15.27	0.00	66.996	229.231
2	0.00	174.54	87.325	424.097
1	0.00	0.00	85.797	422.570

FUERZA TENSION EN COLUMNAS (CAPACIDAD BREIZAS - COMPRESIÓN GRAVITACIONAL)				
Tramo	Compresión Breiza 0.3 Pn cos θ (Klb)	Tensión Breiza Ry Fy Ag cos θ (Klb)	Compresión Gravitacional (Klb)	Tensión Total (Klb)
6	0.00	0.00	-71.808	-71.808
5	0.00	140.69	-49.552	91.140
4	15.27	0.00	-50.348	105.611
3	0.00	128.55	-66.996	217.518
2	20.29	0.00	-87.325	217.457
1	0.00	0.00	-85.797	219.003

DISEÑO DE ELEMENTO COLUMNA TRAMO 6 (SCBF)

Propiedades de la Columna

Sección Propuesta= **HSS10X0.375**
 Acero= **A500 Gr B (Round)** Tabla 2-3 AISC 360-10
 Fy= 42.00Klb/pul²
 Fu= 58.00Klb/pul²
 Long.columna= 1.517pie

PASO 1. COMPACIDAD SÍSMICA DE LA COLUMNA

SI CUMPLE

D/t < 0.044 (E/F_y) Tabla I-8-1 AISC 341-05

D/t= 28.70

0.044 (E/F_y)= 30.38

Sección Sísmicamente Compacta

PASO 2. LÍMITE DE ESBELTEZ EN LA COLUMNA

SI CUMPLE

Esbeltez Límite ==> KL/r < 4v(E/F_y)

13.2a., AISC 341-05

4v(E/F_y)= 105.11

KL/r= 5.34

KxL/rx= 5.34

KyL/ry= 5.34

Kx= 1.00

Ky= 1.00

Long.columna= 18.20pul

rx= 3.41pul

ry= 3.41pul

PASO 3. DISEÑO POR COMPRESIÓN

Capítulo E AISC 360-10

Capacidad Axial de la Columna

$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g =$ **399.98Klb**

$\phi_c =$ 0.90

F_{cr}= 41.93Klb/pul²

$$\begin{aligned}
 Ag &= 10.60 \text{ pul}^2 \\
 F_{cr}(E3-2, \text{ AISC } 360-10) &= 41.93 \text{ Klb/pul}^2 \\
 F_{cr}(E3-3, \text{ AISC } 360-10) &= 8798.97 \text{ Klb/pul}^2 \\
 KL/r_{\text{critico}} &= 5.34 \\
 4.71\sqrt{E/F_y} &= 123.76 \\
 F_e = \pi^2 E / (KL/r)^2 &= 10033.04 \text{ Klb/pul}^2
 \end{aligned}$$

Compresión Total (Demanda)=	71.808Klb	de Cap. Breiza
Relación Demanda/Capacidad	0.18	
Conclusión	Sección OK por Compresión	

PASO 4. DISEÑO POR TENSION	Capítulo D AISC 360-10
Fluencia en el Área Gruesa	

$$\begin{aligned}
 \phi_t P_n = \phi_t F_y A_g &= 400.68 \text{ Klb} \\
 \phi_t &= 0.90 \\
 F_y &= 42.00 \text{ Klb/pul}^2 \\
 A_g &= 10.60 \text{ pul}^2
 \end{aligned}$$

Ruptura en el Área Neta

$$\begin{aligned}
 \phi_t P_n = \phi_t F_u A_e &= 461.10 \text{ Klb} \\
 \phi_t &= 0.75 \\
 F_u &= 58.00 \text{ Klb/pul}^2 \\
 A_e = U A_n &= 10.60 \text{ pul}^2 \\
 U &= 1.00 \quad \text{Tabla D3.1 AISC 360-10, Caso 3} \\
 A_n = A_g &= 10.60 \text{ pul}^2
 \end{aligned}$$

Capacidad en Tensión=	400.68Klb	
Tensión Total (Demanda)=	-71.808Klb	de Cap. Breiza
Relación Demanda/Capacidad	-0.18	
Conclusión	Sección OK por Tensión	

DISEÑO DE ELEMENTO COLUMNA TRAMO 5 (SCBF)

Propiedades de la Columna

$$\begin{aligned}
 \text{Sección Propuesta} &= \text{HSS10X0.375} \\
 \text{Acero} &= \text{A500 Gr B (Round)} \quad \text{Tabla 2-3 AISC 360-10} \\
 F_y &= 42.00 \text{ Klb/pul}^2 \\
 F_u &= 58.00 \text{ Klb/pul}^2 \\
 \text{Long. columna} &= 11.6287 \text{ pie}
 \end{aligned}$$

PASO 1. COMPACIDAD SÍSMICA DE LA COLUMNA

SI CUMPLE!!!

$$D/t < 0.044 (E/F_y) \quad \text{Tabla I-8-1 AISC 341-05}$$

$$D/t = 28.70$$

$$0.044 (E/F_y) = 30.38$$

Sección Sísmicamente Compacta

PASO 2. LÍMITE DE ESBELTEZ EN LA COLUMNA

$$\text{Esbeltez Límite} \Rightarrow KL/r < 4\sqrt{E/F_y}$$

SI CUMPLE

13.2a., AISC 341-05

$$4\sqrt{E/F_y} = 105.11$$

$$KL/r = 40.92$$

$$K_x L/r_x = 40.92$$

$$K_y L/r_y = 40.92$$

$$K_x = 1.00$$

$$K_y = 1.00$$

$$\text{Long. columna} = 139.54 \text{ pul}$$

$$r_x = 3.41 \text{ pul}$$

$$r_y = 3.41 \text{ pul}$$

PASO 3. DISEÑO POR COMPRESIÓN

Capítulo E AISC 360-10

Capacidad Axial de la Columna

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g = 361.48 \text{ Klb}$$

$$\phi_c = 0.90$$

$$F_{cr} = 37.89 \text{ Klb/pul}^2$$

$$A_g = 10.60 \text{ pul}^2$$

$$F_{cr}(E3-2, \text{ AISC } 360-10) = 37.89 \text{ Klb/pul}^2$$

$$F_{cr}(E3-3, \text{ AISC } 360-10) = 149.74 \text{ Klb/pul}^2$$

$$KL/r_{\text{critico}} = 40.92$$

$$4.71\sqrt{E/F_y} = 123.76$$

$$F_e = \pi^2 E / (KL/r)^2 = 170.74 \text{ Klb/pul}^2$$

$$\text{Compresión Total (Demanda)} = 67.974 \text{ Klb}$$

de Cap. Breiza

$$\text{Relación Demanda/Capacidad} = 0.19$$

Conclusión Sección OK por Compresión

PASO 4. DISEÑO POR TENSIÓN

Capítulo D AISC 360-10

Fluencia en el Área Gruesa

$$\phi_t P_n = \phi_t F_y A_g = 400.68 \text{ Klb}$$

$$\phi_t = 0.90$$

$$F_y = 42.00 \text{ Klb/pul}^2$$

$$A_g = 10.60 \text{ pul}^2$$

Ruptura en el Área Neta

$$\phi_t P_n = \phi_t F_u A_e = 461.10 \text{ Klb}$$

$$\phi_t = 0.75$$

$$F_u = 58.00 \text{ Klb/pul}^2$$

$$A_e = U A_n = 10.60 \text{ pul}^2$$

$$U = 1.00 \quad \text{Tabla D3.1 AISC 360-10, Caso 3}$$

An= Ag =	10.60pul ²	
Capacidad en Tensión=	400.68Klb	
Tensión Total (Demanda)=	91.140Klb	de Cap. Breiza
Relación Demanda/Capacidad	0.23	
Conclusión	Sección OK por Tensión	

DISEÑO DE ELEMENTO COLUMNA TRAMO 4 (SCBF)

Propiedades de la Columna

Sección Propuesta=	HSS10X0.375
Acero=	A500 Gr B (Round) Tabla 2-3 AISC 360-10
Fy=	42.00Klb/pul ²
Fu=	58.00Klb/pul ²
Long _{columna} =	11.6287pie

PASO 1. COMPACIDAD SÍSMICA DE LA COLUMNA

SI CUMPLE!!!

$$D/t < 0.044 (E/F_y) \quad \text{Tabla I-8-1 AISC 341-05}$$

$$D/t = 28.70$$

$$0.044 (E/F_y) = 30.38$$

Sección Sísmicamente Compacta

PASO 2. LÍMITE DE ESBELTEZ EN LA COLUMNA

SI CUMPLE!!!

$$\text{Esbeltéz Límite} \Rightarrow KL/r < 4\sqrt{E/F_y}$$

13.2a., AISC 341-05

$$4\sqrt{E/F_y} = 105.11$$

$$KL/r = 40.92$$

$$K_x L/r_x = 40.92$$

$$K_y L/r_y = 40.92$$

$$K_x = 1.00$$

$$K_y = 1.00$$

$$\text{Long}_{columna} = 139.54\text{pul}$$

$$r_x = 3.41\text{pul}$$

$$r_y = 3.41\text{pul}$$

PASO 3. DISEÑO POR COMPRESIÓN

Capítulo E AISC 360-10

Capacidad Axial de la Columna

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g = 361.48\text{Klb}$$

$$\phi_c = 0.90$$

$$F_{cr} = 37.89\text{Klb/pul}^2$$

$$A_g = 10.60\text{pul}^2$$

$$F_{cr}(E3-2, \text{AISC } 360-10) = 37.89\text{Klb/pul}^2$$

$$F_{cr}(E3-3, \text{AISC } 360-10) = 149.74\text{Klb/pul}^2$$

$$KL/r_{\text{critico}} = 40.92$$

$$4.71\sqrt{E/F_y} = 123.76$$

$$F_e = \pi^2 E / (KL/r)^2 = 170.74\text{Klb/pul}^2$$

Compresión Total (Demanda)=	197.313Klb	de Cap. Breiza
Relación Demanda/Capacidad	0.55	
Conclusión	Sección OK por Compresión	

PASO 4. DISEÑO POR TENSION

Capítulo D AISC 360-10

Fluencia en el Área Gruesa

$\phi_t P_n = \phi_t F_y A_g =$	400.68Klb
$\phi_t =$	0.90
$F_y =$	42.00Klb/pul ²
$A_g =$	10.60pul ²

Ruptura en el Área Neta

$\phi_t P_n = \phi_t F_u A_e =$	461.10Klb	
$\phi_t =$	0.75	
$F_u =$	58.00Klb/pul ²	
$A_e = U A_n =$	10.60pul ²	
$U =$	1.00	Tabla D3.1 AISC 360-10, Caso 3
$A_n = A_g =$	10.60pul ²	

Capacidad en Tensión=	400.68Klb	
Tensión Total (Demanda)=	105.611Klb	de Cap. Breiza
Relación Demanda/Capacidad	0.26	
Conclusión	Sección OK por Tensión	

DISEÑO DE ELEMENTO COLUMNA TRAMO 3 (SCBF)

Propiedades de la Columna

Sección Propuesta=	HSS10X0.375
Acero=	A500 Gr B (Round) Tabla 2-3 AISC 360-10
$F_y =$	42.00Klb/pul ²
$F_u =$	58.00Klb/pul ²
Long.columna=	11.6256pie

PASO 1. COMPACIDAD SÍSMICA DE LA COLUMNA

SI CUMPLE!!!

$D/t < 0.044 (E/F_y)$ Tabla I-8-1 AISC 341-05

$D/t =$	28.70
$0.044 (E/F_y) =$	30.38

Sección Sísmicamente Compacta

PASO 2. LÍMITE DE ESBELTEZ EN LA COLUMNA

SI CUMPLE!!!

Esbeltez Límite ==> $KL/r < 4\sqrt{E/F_y}$

13.2a., AISC 341-05

$4\sqrt{E/F_y} =$	105.11
$KL/r =$	40.91
$K_x L/r_x =$	40.91

$K_y L/r_y =$	40.91
$K_x =$	1.00
$K_y =$	1.00
Long. _{columna} =	139.51 pul
$r_x =$	3.41 pul
$r_y =$	3.41 pul

PASO 3. DISEÑO POR COMPRESIÓN
Capacidad Axial de la Columna

Capítulo E AISC 360-10

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g = 361.50 \text{ Klb}$$

$$\phi_c = 0.90$$

$$F_{cr} = 37.89 \text{ Klb/pul}^2$$

$$A_g = 10.60 \text{ pul}^2$$

$$F_{cr}(E3-2, \text{ AISC } 360-10) = 37.89 \text{ Klb/pul}^2$$

$$F_{cr}(E3-3, \text{ AISC } 360-10) = 149.82 \text{ Klb/pul}^2$$

$$KL/r_{\text{critico}} = 40.91$$

$$4.71 \sqrt{E/F_y} = 123.76$$

$$F_e = \pi^2 E / (KL/r)^2 = 170.83 \text{ Klb/pul}^2$$

Compresión Total (Demanda) = 229.231 Klb

de Cap. Breiza

Relación Demanda/Capacidad	0.63
Conclusión	Sección OK por Compresión

PASO 4. DISEÑO POR TENSIÓN
Fluencia en el Área Gruesa

Capítulo D AISC 360-10

$$\phi_t P_n = \phi_t F_y A_g = 400.68 \text{ Klb}$$

$$\phi_t = 0.90$$

$$F_y = 42.00 \text{ Klb/pul}^2$$

$$A_g = 10.60 \text{ pul}^2$$

Ruptura en el Área Neta

$$\phi_t P_n = \phi_t F_u A_e = 461.10 \text{ Klb}$$

$$\phi_t = 0.75$$

$$F_u = 58.00 \text{ Klb/pul}^2$$

$$A_e = U A_n = 10.60 \text{ pul}^2$$

$$U = 1.00 \quad \text{Tabla D3.1 AISC 360-10, Caso 3}$$

$$A_n = A_g = 10.60 \text{ pul}^2$$

Capacidad en Tensión = 400.68 Klb
Tensión Total (Demanda) = 217.518 Klb

de Cap. Breiza

Relación Demanda/Capacidad	0.54
Conclusión	Sección OK por Tensión

DISEÑO DE ELEMENTO COLUMNA TRAMO 2 (SCBF)

Propiedades de la Columna

Sección Propuesta=	HSS10X0.500
Acero=	A500 Gr B (Round) Tabla 2-3 AISC 360-10
Fy=	42.00Klb/pul ²
Fu=	58.00Klb/pul ²
Long _{columna} =	11.6319pie

PASO 1. COMPACIDAD SÍSMICA DE LA COLUMNA

SI CUMPLE!!!

D/t < 0.044 (E/Fy) Tabla I-8-1 AISC 341-05	
D/t=	21.50
0.044 (E/Fy)=	30.38

Sección Sísmicamente Compacta

PASO 2. LÍMITE DE ESBELTEZ EN LA COLUMNA

SI CUMPLE!!!

Esbeltez Límite ==> $KL/r < 4\sqrt{E/Fy}$

13.2a., AISC 341-05

4√(E/Fy)=	105.11
KL/r=	41.30
KxL/rx=	41.30
KyL/ry=	41.30
Kx=	1.00
Ky=	1.00
Long _{columna} =	139.58pul
rx=	3.38pul
ry=	3.38pul

PASO 3. DISEÑO POR COMPRESIÓN

Capítulo E AISC 360-10

Capacidad Axial de la Columna

$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g =$	473.12Klb
$\phi_c =$	0.90
F _{cr} =	37.82Klb/pul ²
A _g =	13.90pul ²

F _{cr} (E3-2, AISC 360-10)=	37.82Klb/pul ²
F _{cr} (E3-3, AISC 360-10)=	147.04Klb/pul ²
KL/r _{crítico} =	41.30
4.71√(E/Fy)=	123.76
F _e = $\pi^2 E / (KL/r)^2 =$	167.66Klb/pul ²

Compresión Total (Demanda)= 424.097Klb

de Cap. Breiza

Relación Demanda/Capacidad

0.90

Conclusión

Sección OK por Compresión

PASO 4. DISEÑO POR TENSIÓN

Capítulo D AISC 360-10

Fluencia en el Área Gruesa

$\phi_t P_n = \phi_t F_y A_g =$ **525.42Klb**

$\phi_t = 0.90$
 $F_y = 42.00 \text{Klb/pul}^2$
 $A_g = 13.90 \text{pul}^2$

Ruptura en el Área Neta

$\phi_t P_n = \phi_t F_u A_e = 604.65 \text{Klb}$

$\phi_t = 0.75$
 $F_u = 58.00 \text{Klb/pul}^2$
 $A_e = U A_n = 13.90 \text{pul}^2$

$U = 1.00$ Tabla D3.1 AISC 360-10, Caso 3
 $A_n = A_g = 13.90 \text{pul}^2$

Capacidad en Tensión = 525.42Klb
Tensión Total (Demanda) = 217.475Klb

de Cap. Breiza

Relación Demanda/Capacidad = 0.41
Conclusión = Sección OK por Tensión

DISEÑO DE ELEMENTO COLUMNA TRAMO 1 (SCBF)

Propiedades de la Columna

Sección Propuesta = **HSS10X0.500**
 Acero = **A500 Gr B (Round)** Tabla 2-3 AISC 360-10
 $F_y = 42.00 \text{Klb/pul}^2$
 $F_u = 58.00 \text{Klb/pul}^2$
 $\text{Long. columna} = 1.719 \text{pie}$

PASO 1. COMPACIDAD SÍSMICA DE LA COLUMNA

SI CUMPLE!!!

$D/t < 0.044 (E/F_y)$ Tabla I-8-1 AISC 341-05

$D/t = 21.50$
 $0.044 (E/F_y) = 30.38$

Sección Sísmicamente Compacta

PASO 2. LÍMITE DE ESBELTEZ EN LA COLUMNA

SI CUMPLE!!!

Esbeltez Límite $\Rightarrow KL/r < 4\sqrt{E/F_y}$

13.2a., AISC 341-05

$4\sqrt{E/F_y} = 105.11$
 $KL/r = 6.10$
 $K_x L/r_x = 6.10$
 $K_y L/r_y = 6.10$
 $K_x = 1.00$
 $K_y = 1.00$
 $\text{Long. columna} = 20.63 \text{pul}$
 $r_x = 3.38 \text{pul}$
 $r_y = 3.38 \text{pul}$

PASO 3. DISEÑO POR COMPRESIÓN

Capítulo E AISC 360-10

Capacidad Axial de la Columna

$$\begin{aligned} \phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g &= 524.22 \text{Klb} \\ \phi_c &= 0.90 \\ F_{cr} &= 41.91 \text{Klb/pul}^2 \\ A_g &= 13.90 \text{pul}^2 \end{aligned}$$

$$F_{cr}(E3-2, \text{AISC } 360-10) = 41.90 \text{Klb/pul}^2$$

$$F_{cr}(E3-3, \text{AISC } 360-10) = 6732.50 \text{Klb/pul}^2$$

$$KL/r_{\text{critico}} = 6.10$$

$$4.71 \sqrt{E/F_y} = 123.76$$

$$F_e = \pi^2 E / (KL/r)^2 = 7676.73 \text{Klb/pul}^2$$

$$\text{Compresión Total (Demanda)} = 422.570 \text{Klb}$$

de Cap. Breiza

Relación Demanda/Capacidad**0.81****Conclusión****Sección OK por Compresión****PASO 4. DISEÑO POR TENSIÓN**

Capítulo D AISC 360-10

Fluencia en el Área Gruesa

$$\begin{aligned} \phi_t P_n = \phi_t F_y A_g &= 525.42 \text{Klb} \\ \phi_t &= 0.90 \\ F_y &= 42.00 \text{Klb/pul}^2 \\ A_g &= 13.90 \text{pul}^2 \end{aligned}$$

Ruptura en el Área Neta

$$\begin{aligned} \phi_t P_n = \phi_t F_u A_e &= 604.65 \text{Klb} \\ \phi_t &= 0.75 \\ F_u &= 58.00 \text{Klb/pul}^2 \\ A_e = U A_n &= 13.90 \text{pul}^2 \end{aligned}$$

$$U = 1.00 \quad \text{Tabla D3.1 AISC 360-10, Caso 3}$$

$$A_n = A_g = 13.90 \text{pul}^2$$

$$\text{Capacidad en Tensión} = 525.42 \text{Klb}$$

$$\text{Tensión Total (Demanda)} = 219.003 \text{Klb}$$

de Cap. Breiza

Relación Demanda/Capacidad**0.42****Conclusión****Sección OK por Tensión**

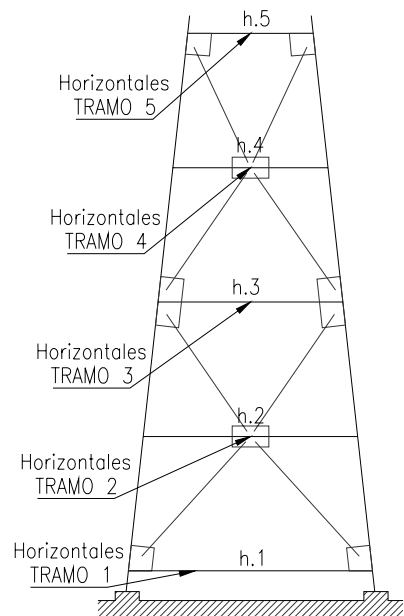
7.3. DISEÑO DE ELEMENTOS HORIZONTALES (Numeral 4.2.3.)

de Geometría en SAP2000

Elemento Horizontal	LONGITUD (L) (Pie)
h.5	10.76
h.4	13.20
h.3	15.64
h.2	18.05
h.1	20.52

Ry	1.40
----	------

Tabla I-6-1 AISC 341-05



Resultados obtenidos de la Capacidad de las Breizas

CAPACIDAD DE LAS BREIZAS Y COMPONENTES INDUCIDAS POR LAS BREIZAS				
Elemento Horizontal	Compresión P _n (Klb)	Tensión Ry Fy Ag (Klb)	Componente Horizontal P _h =(Ry Fy Ag + P _n) sin θ (Klb)	Componente Vertical P _v =(Ry Fy Ag - P _n) cos θ (Klb)
h.4	67.76	155.23	-94.06	-79.28
	61.46	155.23	121.38	77.65
h.2	61.47	155.23	-121.40	-77.65
	90.44	233.44	214.93	106.91

Resultados obtenidos del Análisis Estructural en SAP2000 y de Capacidad de las Breizas

CORTANTE, CARGA AXIAL, Y MOMENTOS MÁXIMOS EN ELEMENTOS h.4 y h.2					
Elemento Horizontal	LONGITUD (L) (Pie)	Cortante Máximo (Klb)	Carga Axial Máxima (klb)	Momento M = P _v L/4 (Klb-pie)	Momento Máximo (Klb-pie)
h.4	13.20	1.63	27.32	-261.63	5.39
				256.24	
h.2	18.05	29.26	93.53	-350.40	132.05
				482.45	

Resultados obtenidos del Análisis Estructural en SAP2000

CORTANTE, CARGA AXIAL, Y MOMENTOS MÁXIMOS EN ELEMENTOS h.5, h.3, Y h.1				
Elemento Horizontal	LONGITUD (L) (Pie)	Cortante Máximo (Klb)	Carga Axial Máxima (klb)	Momento Máximo (Klb-pie)
h.5	10.76	0.142	23.69	0.404
h.3	15.64	0.175	14.11	0.232
h.1	20.52	0.229	1.96	0.800

DISEÑO DE ELEMENTO HORIZONTAL TRAMO 5, h.5 (SCBF)

Propiedades de la Horizontal

E=	29,000.00Klb/pul ²
Sección Propuesta=	HSS5X0.188
Acero=	A500 Gr B (Round) Tabla 2-3 AISC 360-10
F _y =	42.00Klb/pul ²
F _u =	58.00Klb/pul ²
Long. _{horizontal} =	10.760pie

PASO 1. COMPACIDAD SÍSMICA DE HORIZONTAL

SI CUMPLE!!!

D/t < 0.044 (E/F_y) Tabla I-8-1, AISC 341-05

D/t= 28.70

0.044 (E/F_y)= 30.38

Sección Sísmicamente Compacta

PASO 2. LÍMITE DE ESBELTEZ EN HORIZONTAL

SI CUMPLE!!!

Esbeltez Límite ==> $KL/r < 4\sqrt{E/F_y}$

13.2a., AISC 341-05

4√(E/F_y)= 105.11

KL/r= 75.51

K_xL/r_x= 75.51

K_yL/r_y= 75.51

K_x= 1.00

K_y= 1.00

Long._{horizontal}= 129.12pul

r_x= 1.71pul

r_y= 1.71pul

PASO 3. DISEÑO POR FLEJO-COMPRESIÓN

Capítulo H AISC 360-10

Capacidad Axial de la Horizontal

P_c = φ_c P_n = φ_c F_{cr} A_g = 70.28Klb

φ_c= 0.90

F_{cr}= 29.58Klb/pul²

A_g= 2.64pul²

F_{cr}(E3-2, AISC 360-10)= 29.58Klb/pul²

F_{cr}(E3-3, AISC 360-10)= 43.98Klb/pul²

KL/r_{crítico}= 75.51

4.71√(E/F_y)= 123.76

F_e = π² E / (KL/r)² = 50.15Klb/pul²

Carga Axial Máxima (Demanda), P_r = 23.69Klb

de Análisis Est.

Capacidad a Flexión de la Horizontal

M_c = φ_b M_n = φ_b F_y Z = 12.76Klb-pie

φ_b= 0.90

F_y= 42.00Klb/pul²

$$Z = 4.05 \text{ pul}^3$$

Momento Máximo (Demanda), Mr=

0.404 Klb-pie

de Análisis Est.

Aplicación Ecuación H1-1

Cuando $\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$ $\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$ (H1-1a)

Cuando $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$ $\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$ (H1-1b)

Pr/Pc = 0.34 Utilizar Ecuación H1-1a

Pr = 23.69 Klb

Pc = 70.28 Klb

Mr = 0.40 Klb-pie

Mc = 12.76 Klb-pie

H1-1a = 0.37

Conclusión

Sección OK por Flexo compresión

PASO 4. DISEÑO POR CORTE

Capítulo G AISC 360-10

Capacidad a Corte de la Horizontal

$\phi_v V_n = \phi_v F_c r A_g / 2 = 29.94 \text{ Klb}$

$\phi_v = 0.90$

Fcr = 25.20 Klb/pul²

A_g = 2.64 pul²

Fcr(G6-2a, AISC 360-10) = 194.39 Klb/pul²

Fcr(G6-2b, AISC 360-10) = 147.12 Klb/pul²

Fcr = 194.39 Klb/pul²

Fcr = 0.60 F_y = 25.20 Klb/pul²

L_v = 64.56 pul

D = 5.00 pul

Cortante Máximo (Demanda) = 0.142 Klb

de Análisis Est.

Relación Demanda/Capacidad

0.005

Conclusión

Sección OK por Corte

DISEÑO DE ELEMENTO HORIZONTAL TRAMO 4, h.4 (SCBF)

Propiedades de la Horizontal

E=	29,000.00Klb/pul ²	
Sección Propuesta=	HSS5X0.188	
Acero=	A500 Gr B (Round)	Tabla 2-3 AISC 360-10
F _y =	42.00Klb/pul ²	
F _u =	58.00Klb/pul ²	
Long. _{horizontal} =	13.200pie	

PASO 1. COMPACIDAD SÍSMICA DE HORIZONTAL

SI CUMPLEiii

D/t < 0.044 (E/F _y)	Tabla I-8-1, AISC 341-05
D/t=	28.70
0.044 (E/F _y)=	30.38

Sección Sísmicamente Compacta

PASO 2. LÍMITE DE ESBELTEZ EN HORIZONTAL

SI CUMPLEiii

Esbeltez Límite ==> KL/r < 4V(E/F_y)

13.2a., AISC 341-05

4V(E/F _y)=	105.11
KL/r=	92.63
K _x L/r _x =	92.63
K _y L/r _y =	92.63
K _x =	1.00
K _y =	1.00
Long. _{horizontal} =	158.40pul
r _x =	1.71pul
r _y =	1.71pul

PASO 3. DISEÑO POR FLEJO-COMPRESIÓN

Capítulo H AISC 360-10

Capacidad Axial de la Horizontal

P_c = φ_c P_n = φ_c F_{cr} A_g=	58.88Klb
φ _c =	0.90
F _{cr} =	24.78Klb/pul ²
A _g =	2.64pul ²
F _{cr} (E3-2, AISC 360-10)=	24.78Klb/pul ²
F _{cr} (E3-3, AISC 360-10)=	29.22Klb/pul ²
KL/r _{critico} =	92.63
4.71V(E/F _y)=	123.76
F _e = π ² E/(KL/r) ² =	33.32Klb/pul ²

Carga Axial Máxima (Demanda), P_r=

27.32Klb

de Cap. Breiza

Capacidad a Flexión de la Horizontal

M_c = φ_b M_n = φ_b F_y Z=	12.76Klb-pie
φ _b =	0.90
F _y =	42.00Klb/pul ²

$$Z = 4.05 \text{ pul}^3$$

Momento Máximo (Demanda), Mr=

5.39Klb-pie

de Cap. Breiza

Aplicación Ecuación H1-1

Cuando $\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$ $\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$ (H1-1a)

Cuando $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$ $\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$ (H1-1b)

Pr/Pc = 0.46 Utilizar Ecuación H1-1a

Pr= 27.32Klb

Pc= 58.88Klb

Mr= 5.39Klb-pie

Mc= 12.76Klb-pie

H1-1a= 0.84

Conclusión

Sección OK por Flexo compresión

PASO 4. DISEÑO POR CORTE

Capítulo G AISC 360-10

Capacidad a Corte de la Horizontal

$\phi_v V_n = \phi_v F_{cr} A_g / 2 = 29.94 \text{ Klb}$

$\phi_v = 0.90$

$F_{cr} = 25.20 \text{ Klb/pul}^2$

$A_g = 2.64 \text{ pul}^2$

$F_{cr}(G6-2a, \text{ AISC } 360-10) = 175.50 \text{ Klb/pul}^2$

$F_{cr}(G6-2b, \text{ AISC } 360-10) = 147.12 \text{ Klb/pul}^2$

$F_{cr} = 175.50 \text{ Klb/pul}^2$

$F_{cr} = 0.60 F_y = 25.20 \text{ Klb/pul}^2$

$L_v = 79.20 \text{ pul}$

$D = 5.00 \text{ pul}$

Cortante Máximo (Demanda) =

1.63Klb

de Cap. Breiza

Relación Demanda/Capacidad

0.05

Conclusión

Sección OK por Corte

DISEÑO DE ELEMENTO HORIZONTAL TRAMO 3, h.3 (SCBF)

Propiedades de la Horizontal

E=	29,000.00Klb/pul ²	
Sección Propuesta=	HSS5.500X0.258	
Acero=	A500 Gr B (Round)	Tabla 2-3 AISC 360-10
Fy=	42.00Klb/pul ²	
Fu=	58.00Klb/pul ²	
Long _{horizontal} =	15.640pie	

PASO 1. COMPACIDAD SÍSMICA DE HORIZONTAL

SI CUMPLE!!!

D/t < 0.044 (E/F_y) Tabla I-8-1, AISC 341-05

D/t=	22.90
0.044 (E/F _y)=	30.38

Sección Sísmicamente Compacta

PASO 2. LÍMITE DE ESBELTEZ EN HORIZONTAL

SI CUMPLE!!!

Esbeltez Límite ==> $KL/r < 4\sqrt{E/F_y}$

13.2a., AISC 341-05

4√(E/F _y)=	105.11
KL/r=	100.90
K _x L/r _x =	100.90
K _y L/r _y =	100.90
K _x =	1.00
K _y =	1.00
Long _{horizontal} =	187.68pul
r _x =	1.86pul
r _y =	1.86pul

PASO 3. DISEÑO POR FLEJO-COMPRESIÓN

Capítulo H AISC 360-10

Capacidad Axial de la Horizontal

P_c = φ_c P_n = φ_c F_{cr} A_g=	80.25Klb
φ _c =	0.90
F _{cr} =	22.46Klb/pul ²
A _g =	3.97pul ²
F _{cr} (E3-2, AISC 360-10)=	22.46Klb/pul ²
F _{cr} (E3-3, AISC 360-10)=	24.63Klb/pul ²
KL/r _{critico} =	100.90
4.71√(E/F _y)=	123.76
F _e = π ² E / (KL/r) ² =	28.08Klb/pul ²

Carga Axial Máxima (Demanda), P_r= 14.11Klb

de Análisis Est.

Capacidad a Flexión de la Horizontal

M_c = φ_b M_n = φ_b F_y Z=	20.92Klb-pie
φ _b =	0.90
F _y =	42.00Klb/pul ²

$$Z = 6.64 \text{ pul}^3$$

Momento Máximo (Demanda), Mr= 0.232Klb-pie de Análisis Est.

Aplicación Ecuación H1-1

Cuando $\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$ $\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$ (H1-1a)

Cuando $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$ $\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$ (H1-1b)

Pr/Pc = 0.18 Utilizar Ecuación H1-1b
 Pr= 14.11Klb
 Pc= 80.25Klb
 Mr= 0.23Klb-pie
 Mc= 20.92Klb-pie
H1-1b= 0.10

Conclusión Sección OK por Flexo compresión

PASO 4. DISEÑO POR CORTE
Capacidad a Corte de la Horizontal

Capítulo G AISC 360-10

$$\phi_v V_n = \phi_v F_{cr} A_g / 2 = 45.02 \text{ Klb}$$

$$\phi_v = 0.90$$

$$F_{cr} = 25.20 \text{ Klb/pul}^2$$

$$A_g = 3.97 \text{ pul}^2$$

$$F_{cr}(G6-2a, \text{ AISC } 360-10) = 224.24 \text{ Klb/pul}^2$$

$$F_{cr}(G6-2b, \text{ AISC } 360-10) = 206.41 \text{ Klb/pul}^2$$

$$F_{cr} = 224.24 \text{ Klb/pul}^2$$

$$F_{cr} = 0.60 F_y = 25.20 \text{ Klb/pul}^2$$

$$L_v = 93.84 \text{ pul}$$

$$D = 5.50 \text{ pul}$$

Cortante Máximo (Demanda) = 0.175Klb de Análisis Est.

Relación Demanda/Capacidad 0.004
Conclusión Sección OK por Corte

DISEÑO DE ELEMENTO HORIZONTAL TRAMO 2, h.2 (SCBF)

Propiedades de la Horizontal

E=	29,000.00Klb/pul ²	
Sección Propuesta=	HSS10X0.625	
Acero=	A500 Gr B (Round)	Tabla 2-3 AISC 360-10
F _y =	42.00Klb/pul ²	
F _u =	58.00Klb/pul ²	
Long. _{horizontal} =	18.05pie	

PASO 1. COMPACIDAD SÍSMICA DE HORIZONTAL

SI CUMPLE!!!

D/t < 0.044 (E/F _y)	Tabla I-8-1, AISC 341-05
D/t=	17.20
0.044 (E/F _y)=	30.38

Sección Sísmicamente Compacta

PASO 2. LÍMITE DE ESBELTEZ EN HORIZONTAL

SI CUMPLE!!!

Esbeltez Límite ==> $KL/r < 4\sqrt{E/F_y}$

13.2a., AISC 341-05

4√(E/F _y)=	105.11
KL/r=	64.85
K _x L/r _x =	64.85
K _y L/r _y =	64.85
K _x =	1.00
K _y =	1.00
Long. _{horizontal} =	216.60pul
r _x =	3.34pul
r _y =	3.34pul

PASO 3. DISEÑO POR FLEJO-COMPRESIÓN

Capítulo H AISC 360-10

Capacidad Axial de la Horizontal

P_c = φ_c P_n = φ_c F_{cr} A_g=	502.03Klb
φ _c =	0.90
F _{cr} =	32.43Klb/pul ²
A _g =	17.20pul ²
F _{cr} (E3-2, AISC 360-10)=	32.43Klb/pul ²
F _{cr} (E3-3, AISC 360-10)=	59.63Klb/pul ²
KL/r _{critico} =	64.85
4.71√(E/F _y)=	123.76
F _e = π ² E / (KL/r) ² =	67.99Klb/pul ²

Carga Axial Máxima (Demanda), P_r=

93.53Klb

de Cap. Breiza

Capacidad a Flexión de la Horizontal

M_c = φ_b M_n = φ_b F_y Z=	162.54Klb-pie
φ _b =	0.90
F _y =	42.00Klb/pul ²

$$Z = 51.60 \text{ pul}^3$$

Momento Máximo (Demanda), Mr = 132.051 Klb-pie

de Cap. Breiza

Aplicación Ecuación H1-1

Cuando $\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$ $\frac{P_r}{P_c} + 8 \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$ (H1-1a)

Cuando $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$ $\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$ (H1-1b)

Pr/Pc = 0.186 Utilizar Ecuación H1-1b

Pr = 93.53 Klb

Pc = 502.03 Klb

Mr = 132.05 Klb-pie

Mc = 162.54 Klb-pie

H1-1b = 0.91

Conclusión

Sección OK por Flexo-compresión

PASO 4. DISEÑO POR CORTE

Capítulo G AISC 360-10

Capacidad a Corte de la Horizontal

$\phi_v V_n = \phi_v F_{cr} A_g / 2 = 195.05 \text{ Klb}$

$\phi_v = 0.90$

Fcr = 25.20 Klb/pul²

Ag = 17.20 pul²

Fcr(G6-2a, AISC 360-10) = 402.53 Klb/pul²

Fcr(G6-2b, AISC 360-10) = 317.10 Klb/pul²

Fcr = 402.53 Klb/pul²

Fcr = 0.60 Fy = 25.20 Klb/pul²

Lv = 108.30 pul

D = 10.00 pul

Cortante Máximo (Demanda) = 29.263 Klb

de Cap. Breiza

Relación Demanda/Capacidad

0.15

Conclusión

Sección OK por Corte

DISEÑO DE ELEMENTO HORIZONTAL TRAMO 1, h.1 (SCBF)

Propiedades de la Horizontal

E=	29,000.00Klb/pul ²	
Sección Propuesta=	HSS6.875X0.250	
Acero=	A500 Gr B (Round)	Tabla 2-3 AISC 360-10
F _y =	42.00Klb/pul ²	
F _u =	58.00Klb/pul ²	
Long _{horizontal} =	20.520pie	

PASO 1. COMPACIDAD SÍSMICA DE HORIZONTAL

SI CUMPLE!!!

D/t < 0.044 (E/F_y) Tabla I-8-1, AISC 341-05

D/t=	29.50	
0.044 (E/F _y)=	30.38	

Sección Sísmicamente Compacta

PASO 2. LÍMITE DE ESBELTEZ EN HORIZONTAL

SI CUMPLE!!!

Esbeltez Límite ==> $KL/r < 4\sqrt{E/F_y}$

13.2a., AISC 341-05

4√(E/F _y)=	105.11	
KL/r=	104.78	
K _x L/r _x =	104.78	
K _y L/r _y =	104.78	
K _x =	1.00	
K _y =	1.00	
Long _{horizontal} =	246.24pul	
r _x =	2.35pul	
r _y =	2.35pul	

PASO 3. DISEÑO POR FLEJO-COMPRESIÓN

Capítulo H AISC 360-10

Capacidad Axial de la Horizontal

P_c = φ_c P_n = φ_c F_{cr} A_g=	93.53Klb	
φ _c =	0.90	
F _{cr} =	21.38Klb/pul ²	
A _g =	4.86pul ²	
F _{cr} (E3-2, AISC 360-10)=	21.38Klb/pul ²	
F _{cr} (E3-3, AISC 360-10)=	22.84Klb/pul ²	
KL/r _{critico} =	104.78	
4.71√(E/F _y)=	123.76	
F _e = π ² E / (KL/r) ² =	26.04Klb/pul ²	

Carga Axial Máxima (Demanda), P_r = 1.96Klb

de Análisis Est.

Capacidad a Flexión de la Horizontal

M_c = φ_b M_n = φ_b F_y Z=	32.45Klb-pie	
φ _b =	0.90	
F _y =	42.00Klb/pul ²	

$$Z = 10.30 \text{ pul}^3$$

Momento Máximo (Demanda), Mr= 0.800Klb-pie

de Análisis Est.

Aplicación Ecuación H1-1

Cuando $\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$ $\frac{P_r}{P_c} + 8 \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$ (H1-1a)

Cuando $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$ $\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$ (H1-1b)

Pr/Pc = 0.02 Utilizar Ecuación H1-1b

Pr= 1.96Klb

Pc= 93.53Klb

Mr= 0.80Klb-pie

Mc= 32.45Klb-pie

H1-1b= 0.04

Conclusión

Sección OK por Flexo compresión

PASO 4. DISEÑO POR CORTE

Capítulo G AISC 360-10

Capacidad a Corte de la Horizontal

$\phi_v V_n = \phi_v F_{cr} A_g / 2 = 55.11 \text{ Klb}$

$\phi_v = 0.90$

Fcr= 25.20Klb/pul²

Ag= 4.86pul²

Fcr(G6-2a, AISC 360-10)= 159.48Klb/pul²

Fcr(G6-2b, AISC 360-10)= 141.18Klb/pul²

Fcr= 159.48Klb/pul²

Fcr= 0.60 Fy= 25.20Klb/pul²

Lv= 123.12pul

D= 6.88pul

Cortante Máximo (Demanda) = 0.229Klb

de Análisis Est.

Relación Demanda/Capacidad 0.004

Conclusión Sección OK por Corte

RESUMEN DE ELEMENTOS DISEÑADOS POR CAPACIDAD

Tramo	Breiza(b)	Columna(c)	Horizontal(h)
6		HSS 10X0.375	
5	HSS 5X0.188	HSS 10X0.375	HSS 5X0.188
4	HSS 5X0.188	HSS 10X0.375	HSS 5X0.188
3	HSS 5X0.188	HSS 10X0.375	HSS 5.50X0.258
2	HSS 5.50X0.258	HSS 10X0.500	HSS 10X0.625
1		HSS 10X0.500	HSS 6.875X0.250

De acuerdo a lo indicado en el Numeral 3.1., usualmente este es un proceso iterativo que puede involucrar varios ciclos de la secuencia de fases, por lo que después de haber definido las secciones finales de los elementos de la torre se procederá a realizar de nuevo los cálculos del peso total del tanque metálico elevado (W) y de la Relación Área Sólida/Área Gruesa (ϵ) ya con dichas secciones, para utilizarlos en el cálculo del Corte Basal por Sismo y Corte Basal por Viento, respectivamente, y para correr nuevamente el análisis estructural en el paquete de software o programa SAP2000.

7.4. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE ELEMENTOS EN SAP2000 (Numeral 4.3.)

Después de haber realizado el diseño por capacidad de los elementos breizas(b), columnas(c), y horizontales(h), se procederá a la verificación del diseño de éstos por medio del paquete de software o programa SAP2000.

Definir código de diseño, sistema estructural, método de diseño, parámetros y coeficientes:

Se deberá definir el código de diseño, el sistema estructural, el método de diseño, los parámetros y los coeficientes necesarios para la realización adecuada de la verificación del diseño estructural, de acuerdo a lo indicado en el numeral 4.3.

Steel Frame Design Preferences for AISC360-05/IBC2006

Item	Value
1 Design Code	AISC360-05/IBC2006
2 Multi-Response Case Design	Envelopes
3 Framing Type	SCBF
4 Seismic Design Category	D
5 Importance Factor	1.5
6 Design System Rho	1.
7 Design System Sds	0.8667
8 Design System R	3.
9 Design System Omega0	2.
10 Design System Cd	2.5
11 Design Provision	LRFD
12 Analysis Method	Direct Analysis
13 Second Order Method	General 2nd Order
14 Stiffness Reduction Method	Tau-b Fixed
15 Phi(Bending)	0.9
16 Phi(Compression)	0.9
17 Phi(Tension-Yielding)	0.9
18 Phi(Tension-Fracture)	0.75
19 Phi(Shear)	0.9
20 Phi(Shear-Short Webed Rolled I)	1.
21 Phi(Torsion)	0.9
22 Ignore Seismic Code?	No
23 Ignore Special Seismic Load?	No
24 Is Doubler Plate Plug-Welded?	Yes

Item Description

Explanation of Color Coding for Values

- Blue:** Default Value
- Black:** Not a Default Value
- Red:** Value that has changed during the current session

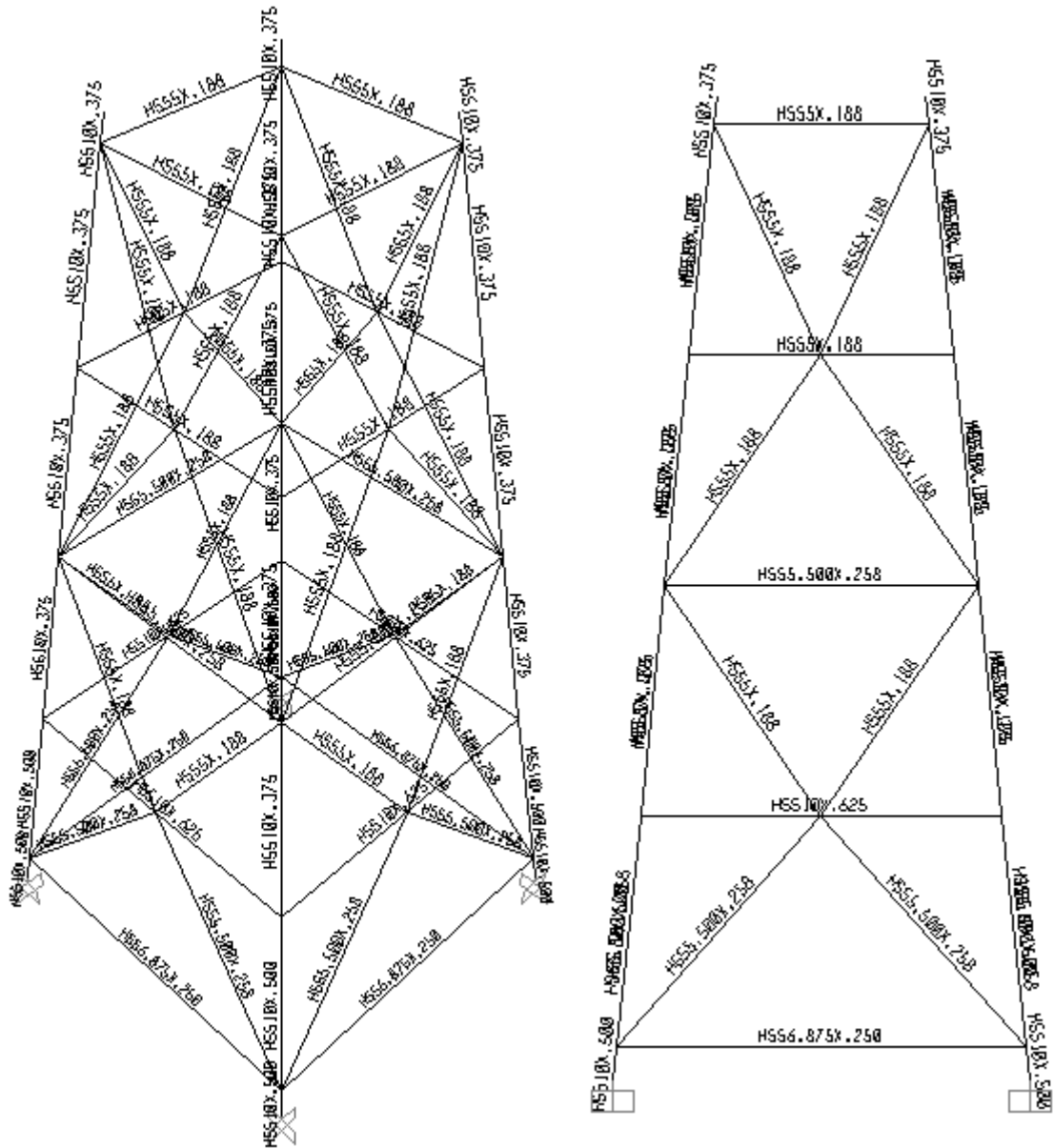
Set To Default Values: All Items Selected Items

Reset To Previous Values: All Items Selected Items

OK Cancel

Correr el DISEÑO/VERIFICACIÓN:

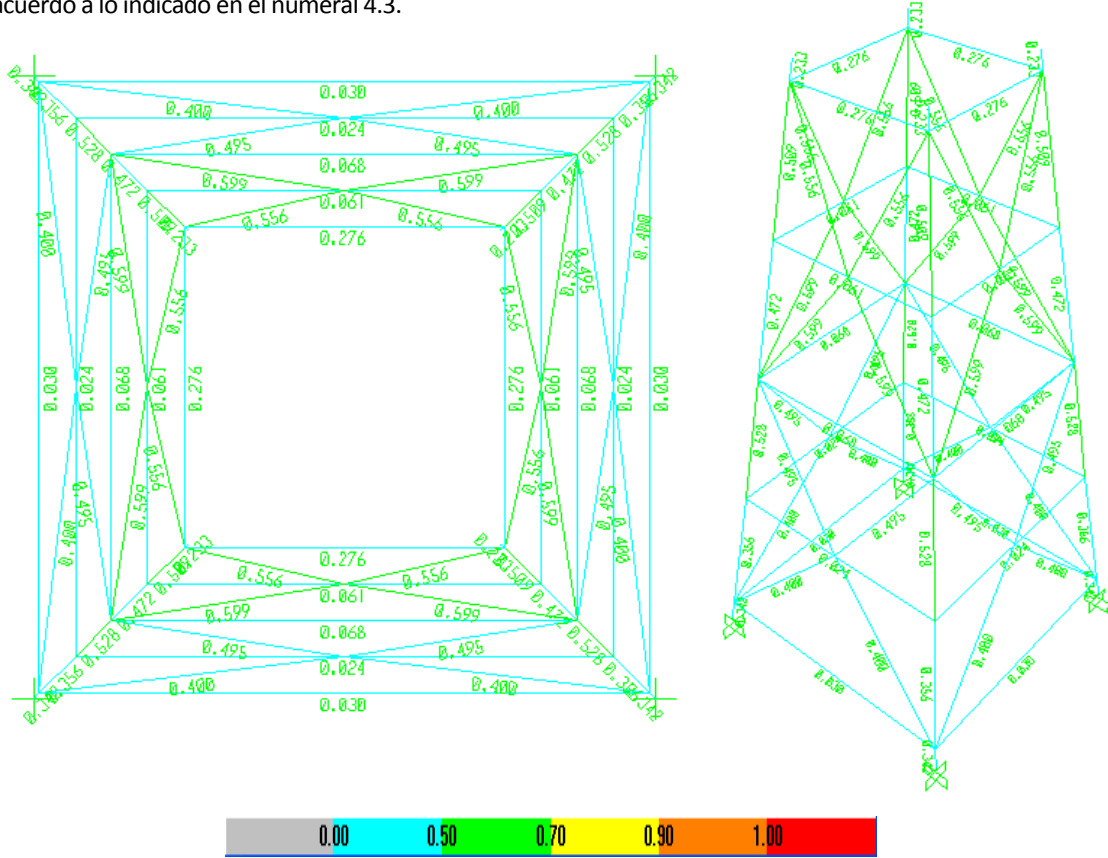
Ya realizadas las modificaciones respectivas al modelo, en cuanto a la asignación de los elementos diseñados por capacidad, y a la asignación de la relación área sólida/área gruesa (ϵ) debida a éstos, se deberá correr el diseño/verificación de la estructura, de acuerdo a lo indicado en el numeral 4.3.



→ se verifica que los elementos del modelo sean los diseñados por capacidad.

Revisar relación DEMANDA/CAPACIDAD:

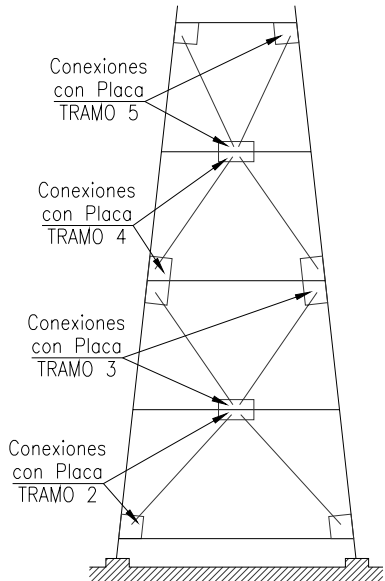
Se deberá revisar que la relación Demanda/Capacidad de los elementos diseñados sea menor del 95%, de acuerdo a lo indicado en el numeral 4.3.



➔ todos los elementos de la torre CUMPLEN con la relación Demanda/Capacidad ≤ a 0.95

7.5. DISEÑO DE CONEXIONES CON PLACA (Numeral 4.4.)

Tramo	Diámetro Breiza (D _{HSS}) (Pul)	Ancho de Whitmore A= 2(L _{conexión} Seno 30)+D _{HSS} (Pul)
5	5.00	19.00
4	5.00	19.00
3	5.00	19.00
2	5.50	21.50



FUERZAS DE TENSIÓN Y COMPRESIÓN MÁXIMAS APLICADAS		
Tramo	Tensión Máxima $T_{max} = R_y F_y A_g$ (Klb)	Compresión Máxima $P_{max} = 1.1 R_y P_n$ (Klb)
5	155.23	104.34
4	155.23	94.65
3	155.23	94.66
2	233.44	139.28

DISEÑO DE CONEXIÓN CON PLACA TRAMOS 5, 4, & 3 (SCBF)

Propiedades de la Breiza

Sección Propuesta= HSS5X0.188
 Acero= A500 Gr B (Round) Tabla 2-3 AISC 360-10
 $F_y = 42.00$ Klb/pul²
 $F_u = 58.00$ Klb/pul²

Propiedades de la Placa de Conexión

Acero= **A36** Tabla 2-4 AISC 360-10
 $F_y = 36.00$ Klb/pul²
 $F_u = 58.00$ Klb/pul²

PASO 1. DISEÑO DE CONEXIÓN EN TENSIÓN

PASO 1.1. DISEÑO DE LA PLACA DE CONEXIÓN

Capítulo J, J4., AISC 360-10

Fluencia en Tensión en la Placa

$\phi R_n = \phi F_y A_g = 192.38$ Klb
 $\phi = 0.90$
 $F_y = 36.00$ Klb/pul²
 $A_g = A_{whitmore} t_{usar} = 5.94$ pul²
 $A_{gmin} = T_{max} / \phi F_y = 4.79$ pul²
 $\phi = 0.90$
 $F_y = 36.00$ Klb/pul²
 $A_{whitmore} = 19.00$ pul
 $A_{gmin} = A_{whitmore} t \implies t_{min} = A_{gmin} / A_{whitmore} = 0.25$ pul
 $t_{usar} = 5/16$ pul

Ruptura en Tensión en la Placa

$\phi R_n = \phi F_u A_e = 258.28$ Klb
 $\phi = 0.75$
 $F_u = 58.00$ Klb/pul²
 $A_e = A_g = 5.94$ pul²

Capacidad en Tensión= **192.38** Klb
 Tensión Máxima (Demanda)= **155.23** Klb

Cap. Breiza

Relación Demanda/Capacidad

0.81

Conclusión

Placa OK en Tensión

DOMINA FLUENCIA ==>

PLACA DE CONEXIÓN OK EN TENSIÓN!!!

Fluencia en Corte en la Placa

$\phi Rn_{total} = 2 \phi Rn =$	189.00 Klb
$\phi Rn = \phi 0,6 Fy Ag_v =$	94.50 Klb
$\phi =$	1.00
$Fy =$	36.00 Klb/pul ²
$Ag_v = L_{conexión} t_{usar} =$	4.38 pul ²

Ruptura en Corte en la Placa

$\phi Rn_{total} = 2 \phi Rn =$	228.38 Klb
$\phi Rn = \phi 0,6 Fu An_v =$	114.19 Klb
$\phi =$	0.75
$Fu =$	58.00 Klb/pul ²
$An_v = Ag_v = L_{conexión} t_{usar} =$	4.38 pul ²

Capacidad en Corte =	189.00 Klb
Tensión Máxima (Demanda) =	155.23 Klb

Cap. Breiza

Relación Demanda/Capacidad

0.82

Conclusión

Placa OK en Corte**DOMINA FLUENCIA ==>****PLACA DE CONEXIÓN OK EN CORTE!!!****Soldadura entre Breiza y Placa de Conexión**

usar Soldadura de Filete, Electrodo E70

$\phi Rn = 1.392 DL_{soldadura} =$	233.86 Klb
$L_{soldadura} = 4 L_{conexión} =$	56.00 pul
$D_{min} = T_{max} / (1.392 L_{soldadura}) =$	1.99 /16 pul
$D_{usar} =$	3 /16 pul

Tensión Máxima (Demanda) =	155.23 Klb
-----------------------------------	-------------------

Cap. Breiza

Relación Demanda/Capacidad

0.66

Conclusión

Soldadura OK!!!**PASO 1.2. DISEÑO DE CONEXIÓN EN LA BREIZA****Fractura en la Sección Neta**

Debe dominar fluencia en Ag y no ruptura en Ae

$$\phi R_t Fu Ae \geq Ry Fy Ag \implies Ae/Ag \geq (Ry Fy) / (\phi R_t Fu)$$

$Ry =$	1.40	Tabla I-6-1, AISC 341-05
$Fy_{breiza} =$	42.00 Klb/pul ²	
$\phi =$	0.75	
$R_t =$	1.30	Tabla I-6-1, AISC 341-05
$Fu_{breiza} =$	58.00 Klb/pul ²	
$Ae/Ag \geq$	1.04	

Conclusión

Reforzar Sección de Breiza!!!**Área de Refuerzo**

$Ae_{min} \geq Ag_{breiza} \implies Ae_{min} =$	2.75 pul ²
$Ag_{breiza} =$	2.64 pul ²

$$A_{e_{\text{actual}}} = A_{g_{\text{breiza}}} - A_{\text{slot}} = 2.53 \text{ pul}^2$$

$$A_{\text{slot}} = 2 t_{\text{usar}} t_{\text{HSS}} = 0.11 \text{ pul}^2$$

$$t_{\text{HSS}} = 0.174 \text{ pul}$$

Aumentar Ae en= 0.21 pul²

Dimensiones de Refuerzo

$$D_{\text{HSS}} = 5.00 \text{ pul}$$

Usar sección con mismo Diámetro de Breiza= **HSS5X0.125**

$$t_{\text{refuerzo}} = 0.116 \text{ in}$$

$$\text{Area}_{\text{refuerzo}} = 0.29 \text{ pul}^2$$

$$2 \text{ Area}_{\text{refuerzo}} = 0.58 \text{ pul}^2$$

Ae= 3.11 pul²

Conclusión

Refuerzo OK!!!

Fuerza de Tensión en Placa de Refuerzo

$$F_{\text{tensión}} = \text{Area}_{\text{refuerzo}} / A_e T_{\text{max}} = 0.09 T_{\text{max}}$$

$$F_{\text{tensión}} = 14.47 \text{ Klb}$$

$$L_{\text{soldadura}} = L_{\text{conexión}} + 2 D_{\text{HSS}} = 24.00 \text{ pul}$$

Fluencia en corte en la placa

$$\phi R_n = \phi 0.6 F_y A_g = 60.13 \text{ Klb}$$

$$\phi = 1.00$$

$$F_y = 36.00 \text{ Klb/pul}^2$$

$$A_g = L_{\text{soldadura}} t_{\text{placa refuerzo}} = 2.78 \text{ pul}^2$$

Ruptura en corte en la placa

$$\phi R_n = \phi 0.6 F_u A_n = 72.66 \text{ Klb}$$

$$\phi = 0.75$$

$$F_u = 58.00 \text{ Klb/pul}^2$$

$$A_n = A_g = L_{\text{soldadura}} t_{\text{placa refuerzo}} = 2.78 \text{ pul}^2$$

Capacidad en Corte, ϕR_n máximo= 60.13 Klb

$F_{\text{tensión}}$ (Demanda)= 14.47 Klb

Relación Demanda/Capacidad

0.24

Conclusión

Placa OK en Corte

Soldadura entre HSS y Placa de Refuerzo

$$\phi R_n = 1.392 D L_{\text{soldadura}} = 100.22 \text{ Klb}$$

$$L_{\text{soldadura}} = 24.00 \text{ pul}$$

$$D_{\text{min}} = \phi R_n / (1.392 L_{\text{soldadura}}) = 1.80 / 16$$

$$D_{\text{usar}} = 3 / 16$$

$F_{\text{tensión}}$ (Demanda)= 14.47 Klb

Relación Demanda/Capacidad

0.14

Conclusión

Soldadura OK!!!

Resumen	
$t_{placa} =$	5/16 pul
$L_{conexión} =$	14.00 pul
$D_{soldadura} =$	3/16 pul
Soldadura de Filete, Electrodo =	E70

PASO 2. DISEÑO DE CONEXIÓN EN COMPRESIÓN Capítulo J, J4., AISC 360-10
Esbeltez de la Placa

Cuando $KL/r \leq 25 \implies P_n = F_y A_g$
 Cuando $KL/r > 25 \implies$ Aplica Capítulo E

$KL/r =$	4.50	\leq	25
$K =$	0.65		
$L = 2 t_{usar} =$	0.625 pul		
$r = \sqrt{I/A} =$	0.09 pul		
$I = 1/12 b h^3 =$	0.05 pul ⁴		
$A = bh =$	5.94 pul ²		
$b = A_{whitmore} =$	19.00 pul		
$h = t_{usar} =$	5/16 pul		
$\phi P_n = \phi F_y A_g =$	192.38 Klb		
$\phi =$	0.90		
$F_y =$	36.00 Klb/pul ²		
$A_g =$	5.94 pul ²		

Compresión Máxima (Demanda), $P_{max} =$	104.34 Klb	Cap. Breiza
Relación Demanda/Capacidad	0.54	
Conclusión	Conexión OK en Compresión!!!	

DISEÑO DE CONEXIÓN CON PLACA TRAMO 2 (SCBF)

Propiedades de la Breiza	
Sección Propuesta=	HSS5.500X0.258
Acero=	A500 Gr B (Round) Tabla 2-3 AISC 360-10
$F_y =$	42.00 Klb/pul ²
$F_u =$	58.00 Klb/pul ²

Propiedades de la Placa de Conexión	
Acero=	A36 Tabla 2-4 AISC 360-10
$F_y =$	36.00 Klb/pul ²
$F_u =$	58.00 Klb/pul ²

PASO 1. DISEÑO DE CONEXIÓN EN TENSIÓN
PASO 1.1. DISEÑO DE LA PLACA DE CONEXIÓN Capítulo J, J4., AISC 360-10
Fluencia en Tensión en la Placa

$\phi R_n = \phi F_y A_g =$ **261.23 Klb**

ϕ =	0.90
F_y =	36.00 Klb/pul ²
$A_g = A_{whitmore} t_{usar}$ =	8.06 pul ²
$A_{g_{min}} = T_{max} / \phi F_y$ =	7.20 pul ²
ϕ =	0.90
F_y =	36.00 Klb/pul ²
$A_{whitmore}$ =	21.50 pul
$A_{g_{min}} = A_{whitmore} t \implies t_{min} = A_{g_{min}} / A_{whitmore}$ =	0.34 pul
t_{usar} =	6/16 pul

Ruptura en Tensión en la Placa

$\phi R_n = \phi F_u A_e$ =	350.72 Klb
ϕ =	0.75
F_u =	58.00 Klb/pul ²
$A_e = A_g$ =	8.06 pul ²

Capacidad en Tensión=	261.23 Klb
Tensión Máxima (Demanda)=	233.44 Klb

Cap. Breiza

Relación Demanda/Capacidad **0.89**

Conclusión

Placa OK en Tensión

DOMINA FLUENCIA ==>

PLACA DE CONEXIÓN OK EN TENSIÓNiii

Fluencia en Corte en la Placa

$\phi R_{n_{total}} = 2 \phi R_n$ =	259.20 Klb
$\phi R_n = \phi 0,6 F_y A_{g_v}$	129.60 Klb
ϕ =	1.00
F_y =	36.00 Klb/pul ²
$A_{g_v} = L_{conexión} t_{usar}$ =	6.00 pul ²

Ruptura en Corte en la Placa

$\phi R_{n_{total}} = 2 \phi R_n$ =	313.20 Klb
$\phi R_n = \phi 0,6 F_u A_{n_v}$	156.60 Klb
ϕ =	0.75
F_u =	58.00 Klb/pul ²
$A_{n_v} = A_{g_v} = L_{conexión} t_{usar}$ =	6.00 pul ²

Capacidad en Corte=	259.20 Klb
Tensión Máxima (Demanda)=	233.44 Klb

Cap. Breiza

Relación Demanda/Capacidad **0.90**

Conclusión

Placa OK en Corte

DOMINA FLUENCIA ==>

PLACA DE CONEXIÓN OK EN CORTEiii

Soldadura entre Breiza y Placa de Conexión

usar Soldadura de Filete, Electrodo E70

$\phi R_n = 1.392 D L_{soldadura}$ =	356.35 Klb
$L_{soldadura} = 4 L_{conexión}$ =	64.00 pul
$D_{min} = T_{max} / (1.392 L_{soldadura})$ =	2.62 /16 pul

$$D_{\text{usar}} = 4 / 16 \text{ pul}$$

Tensión Máxima (Demanda)=	233.44 Klb	Cap. Breiza
Relación Demanda/Capacidad	0.66	
Conclusión	Soldadura OK!!!	

PASO 1.2. DISEÑO DE CONEXIÓN EN LA BREIZA

Fractura en la Sección Neta

$$\phi R_t F_u A_e \geq R_y F_y A_g \implies A_e/A_g \geq (R_y F_y)/(\phi R_t F_u)$$

$R_y =$	1.40	Tabla I-6-1, AISC 341-05
$F_{y_{\text{breiza}}} =$	42.00	Klb/pul ²
$\phi =$	0.75	
$R_t =$	1.30	Tabla I-6-1, AISC 341-05
$F_{u_{\text{breiza}}} =$	58.00	Klb/pul ²
$A_e/A_g \geq$	1.04	

Conclusión	Reforzar Sección de Breiza!!!
------------	-------------------------------

Área de Refuerzo para breiza

$A_{\text{emin}} \geq A_{\text{breiza}} \implies A_{\text{emin}} =$	4.13	pul ²
$A_{\text{breiza}} =$	3.97	pul ²
$A_{\text{actual}} = A_{\text{breiza}} - A_{\text{slot}} =$	3.79	pul ²
$A_{\text{slot}} = 2 t_{\text{usar}} t_{\text{HSS}} =$	0.18	pul ²
$t_{\text{HSS}} =$	0.240	pul
Aumentar Ae en=	0.34	pul²

Dimensiones de Refuerzo para breiza

$D_{\text{HSS}} =$	5.50	pul
Usar sección con mismo Diámetro de Breiza=	HSS5.500X0.258	
$t_{\text{refuerzo}} =$	0.240	in
$\text{Area}_{\text{refuerzo}} =$	0.66	pul ²
$2 \text{Area}_{\text{refuerzo}} =$	1.32	pul ²
Ae=	5.11	pul²

Conclusión	Refuerzo OK!!!
------------	----------------

Fuerza de Tensión en el refuerzo para breiza

$F_{\text{tensión}} = \text{Area}_{\text{refuerzo}}/A_e T_{\text{max}} =$	0.13	T_{max}
$F_{\text{tensión}} =$	30.15	Klb
$L_{\text{soldadura}} = L_{\text{conexión}} + 2 D_{\text{HSS}} =$	27.00	pul

Fluencia en corte en el refuerzo para breiza

$\phi R_n = \phi 0.6 F_y A_g =$	163.30	Klb
$\phi =$	1.00	
$F_y =$	42.00	Klb/pul ²

$$A_{gv} = L_{\text{soldadura}} t_{\text{refuerzo}} = 6.48 \text{ pul}^2$$

Ruptura en corte en el refuerzo para breiza

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi 0.6 F_u A_{gv} = 169.13 \text{ Klb} \\ \phi &= 0.75 \\ F_u &= 58.00 \text{ Klb/pul}^2 \\ A_{gv} &= A_{gv} = L_{\text{soldadura}} t_{\text{refuerzo}} = 6.48 \text{ pul}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Capacidad en Corte, } \phi R_{n_{\text{máximo}}} = 163.30 \text{ Klb}$$

$$F_{\text{tensión}}(\text{Demanda}) = 30.15 \text{ Klb}$$

$$\text{Relación Demanda/Capacidad} = 0.18$$

Conclusión **Placa OK en Corte**

Soldadura entre breiza y refuerzo para breiza

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1.392 D L_{\text{soldadura}} = 150.34 \text{ Klb} \\ L_{\text{soldadura}} &= 27.00 \text{ pul} \\ D_{\text{min}} &= \phi R_{n_{\text{máximo}}} / (1.392 L_{\text{soldadura}}) = 4.34 / 16 \\ D_{\text{usar}} &= 4 / 16 \end{aligned}$$

$$F_{\text{tensión}}(\text{Demanda}) = 30.15 \text{ Klb}$$

$$\text{Relación Demanda/Capacidad} = 0.20$$

Conclusión **Soldadura OK!!!**

Resumen

$$\begin{aligned} t_{\text{placa}} &= 3/8 \text{ pul} \\ L_{\text{conexión}} &= 16.00 \text{ pul} \\ D_{\text{soldadura}} &= 1/4 \text{ pul} \\ \text{Soldadura de Filete, Electrodo} &= E70 \end{aligned}$$

PASO 2. DISEÑO DE CONEXIÓN EN COMPRESIÓN

Esbeltéz de la Placa

Cuando $KL/r \leq 25 \implies P_n = F_y A_g$

Cuando $KL/r > 25 \implies$ Aplica Capítulo E

$$KL/r = 4.50 \leq 25$$

$$K = 0.65$$

$$L = 2 t_{\text{usar}} = 0.750 \text{ pul}$$

$$r = \sqrt{I/A} = 0.11 \text{ pul}$$

$$I = 1/12 b h^3 = 0.09 \text{ pul}^4$$

$$A = bh = 8.06 \text{ pul}^2$$

$$b = A_{\text{whitmore}} = 21.50 \text{ pul}$$

$$h = t_{\text{usar}} = 6/16 \text{ pul}$$

$$\phi P_n = \phi F_y A_g = 261.23 \text{ Klb}$$

$$\phi = 0.90$$

$$F_y = 36.00 \text{ Klb/pul}^2$$

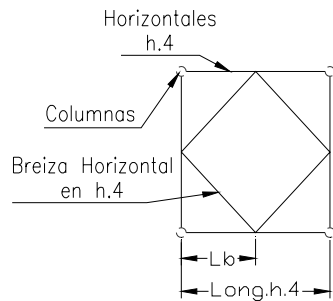
$$A_g = 8.06 \text{ pul}^2$$

Compresión Máxima (Demanda), P_{max} =	139.28 Klb	Cap. Breiza
Relación Demanda/Capacidad	0.53	
Conclusión	Conexión OK en Compresión!!!	

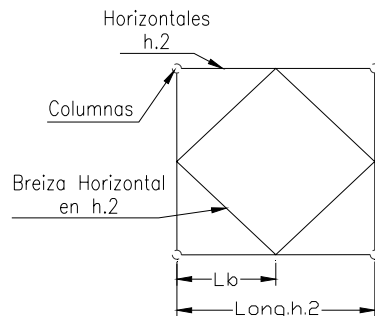
7.6. DISEÑO DE ELEMENTOS BREIZAS HORIZONTALES (Numeral 4.5.)

Resultados obtenidos de Capacidad de Elementos Horizontales

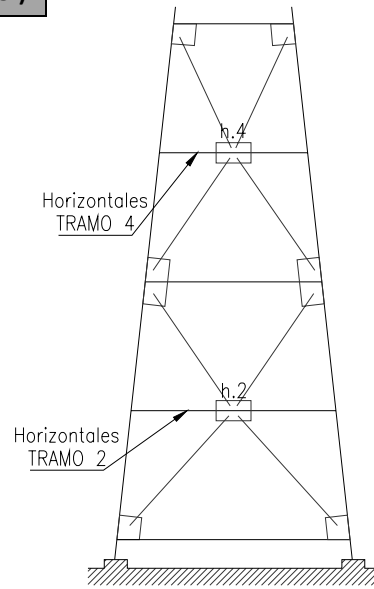
Elemento Horizontal	Longitud (L) (Pie)	Capacidad Axial ($P_r = \Phi_c P_n$) (Klb)
h.4	13.20	58.88
h.2	18.05	502.03



Planta en h.4



Planta en h.2



Elevación

DISEÑO DE ELEMENTO BREIZA HORIZONTAL EN h.2

Propiedades de la Horizontal h.2

E=	29,000.00	Klb/pul ²
Sección Horizontal h.2=	HSS10X0.625	
Acero=	A500 Gr B (Round)	Tabla 2-3 AISC 360-10
Fy=	42.00	Klb/pul ²
Fu=	58.00	Klb/pul ²
Long.horizontal=	18.050	pie
$L_b = \text{Long.horizontal} / 2 =$	108.30	pul

PASO 1. RESISTENCIA NECESARIA

Apéndice 6, Sección 6.2, AISC 360-10

$$P_{rb} = 0.01 Pr = 5.020 \text{ Klb}$$

$$Pr = \Phi_c P_n = 502.03 \text{ Klb}$$

PASO 2. RIGIDEZ NECESARIA

Apéndice 6, Sección 6.2, AISC 360-10

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{8P_r}{L_b} \right) = 49.45 \text{ Klb/pul}$$

$$\phi = 0.75$$

$$Pr = 502.03 \text{ Klb}$$

$$L_b = 108.30 \text{ pul}$$

$$K=AE/L \implies A_{\min}=KL/E= \quad \quad \quad \mathbf{0.185 \text{ pul}^2}$$

$$K=\beta_{br}= \quad \quad \quad 49.45 \text{ Klb/pul}$$

$$L=L_b= \quad \quad \quad 108.30 \text{ pul}$$

$$E= \quad \quad \quad 29,000.00 \text{ Klb/pul}^2$$

PASO 3. DEFINIR SECCIÓN BREIZA HORIZONTAL Tablas Parte 4, AISC 360-10

Se debe cumplir que $\Phi_c P_n > P_{rb}$ y que $A_g > A_{\min}$

Shape		HSS4.000 x											
		0.237		0.226		0.220		0.188		0.125			
t_{design} in.		0.220		0.210		0.205		0.174		0.116			
Wt/ft		9.53		9.12		8.89		7.66		5.18			
Design		P_n/Ω_c		$\Phi_c P_n$		P_n/Ω_c		$\Phi_c P_n$		P_n/Ω_c		$\Phi_c P_n$	
		ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD
radius of gyration r_y	0	65.7	98.8	62.9	94.5	61.5	92.4	52.6	79.1	35.6	53.5		
	1	65.4	98.3	62.6	94.1	61.2	91.9	52.3	78.7	35.4	53.3		
	2	64.4	96.8	61.7	92.7	60.3	90.6	51.6	77.5	34.9	52.5		
	3	62.8	94.5	60.2	90.4	58.8	88.4	50.4	75.7	34.1	51.3		
	4	60.7	91.3	58.1	87.4	56.8	85.4	48.7	73.2	33.0	49.6		
	5	58.1	87.3	55.6	83.6	54.4	81.7	46.6	70.1	31.7	47.6		
	6	55.0	82.7	52.7	79.2	51.5	77.4	44.2	66.5	30.1	45.2		
	7	51.6	77.5	49.4	74.3	48.4	72.7	41.5	62.4	28.3	42.5		
	8	47.9	72.0	45.9	69.0	44.9	67.5	38.6	58.1	26.4	39.6		
	9	44.1	66.2	42.2	63.5	41.3	62.1	35.6	53.5	24.4	36.6		
	10	40.1	60.3	38.5	57.8	37.7	56.6	32.5	48.8	22.3	33.5		
Properties													
A_g (in. ²)		2.61		2.50		2.44		2.09		1.42			
I (in. ⁴)		4.68		4.50		4.41		3.83		2.67			
r (in.)		1.34		1.34		1.34		1.35		1.37			
ASD		LRFD		Note: Heavy line indicates KL/r equal to or greater than 200.									
$\Omega_c = 1.67$		$\Phi_c = 0.90$											

$$\Phi_c P_n = 36.60 \text{ Klb} > P_{rb} = 5.02 \text{ Klb} \rightarrow \text{SI CUMPLE!!!}$$

$$A_g = 1.42 \text{ pul}^2 > A_{\min} = 0.185 \text{ pul}^2 \rightarrow \text{SI CUMPLE!!!}$$

→ utilizar sección HSS 4 X 0.125 como Breiza Horizontal en Elemento Horizontal h.2

DISEÑO DE ELEMENTO BREIZA HORIZONTAL EN h.4

Propiedades de la Horizontal h.4

$$E= \quad \quad \quad 29,000.00 \text{ Klb/pul}^2$$

$$\text{Sección Horizontal h.4}= \quad \quad \quad \text{HSS5X0.188}$$

$$\text{Acero}= \quad \quad \quad \mathbf{A500 \text{ Gr B (Round)}} \quad \text{Tabla 2-3 AISC 360-10}$$

$$F_y= \quad \quad \quad 42.00 \text{ Klb/pul}^2$$

$$F_u= \quad \quad \quad 58.00 \text{ Klb/pul}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Long}_{\text{horizontal}} &= 13.200 \text{ pie} \\ L_b &= \text{Long}_{\text{horizontal}}/2 = 79.20 \text{ pul} \end{aligned}$$

PASO 1. RESISTENCIA NECESARIA

Apéndice 6, Sección 6.2, AISC 360-10

$$\begin{aligned} P_{rb} &= 0.01 Pr = 0.589 \text{ Klb} \\ Pr &= \Phi_c P_n = 58.88 \text{ Klb} \end{aligned}$$

PASO 2. RIGIDEZ NECESARIA

Apéndice 6, Sección 6.2, AISC 360-10

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{8P_r}{L_b} \right) = 7.93 \text{ Klb/pul}$$

$$\begin{aligned} \phi &= 0.75 \\ Pr &= 58.88 \text{ Klb} \\ L_b &= 79.20 \text{ pul} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K &= AE/L \implies A_{\min} = KL/E = 0.022 \text{ pul}^2 \\ K &= \beta_{br} = 7.93 \text{ Klb/pul} \\ L &= L_b = 79.20 \text{ pul} \\ E &= 29,000.00 \text{ Klb/pul}^2 \end{aligned}$$

PASO 3. DEFINIR SECCIÓN BREIZA HORIZONTAL

Tablas Parte 4, AISC 360-10

Se debe cumplir que $\Phi_c P_n > P_{rb}$ y que $A_g > A_{\min}$

Table 4-5 (continued)
Available Strength in Axial Compression, kips $F_y = 42 \text{ ksi}$

Round HSS

HSS4.000

Shape		HSS4.000											
		0.237		0.226		0.220		0.188		0.125			
t _{design} , in.		0.220		0.210		0.205		0.174		0.118			
Wt/ft		9.53		9.12		8.89		7.66		5.18			
Design		P_n/Ω_c		$\phi_c P_n$		P_n/Ω_c		$\phi_c P_n$		P_n/Ω_c		$\phi_c P_n$	
		ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD	ASD	LRFD		
i of gyration r _y	0	65.7	98.8	62.9	94.5	61.5	92.4	52.6	79.1	35.6	53.5		
	1	65.4	98.3	62.6	94.1	61.2	91.9	52.3	78.7	35.4	53.3		
	2	64.4	96.8	61.7	92.7	60.3	90.6	51.6	77.5	34.9	52.5		
	3	62.8	94.5	60.2	90.4	58.8	88.4	50.4	75.7	34.1	51.3		
	4	60.7	91.3	58.1	87.4	56.8	85.4	48.7	73.2	33.0	49.6		
	5	58.1	87.3	55.6	83.6	54.4	81.7	46.6	70.1	31.7	47.6		
	6	55.0	82.7	52.7	79.2	51.5	77.4	44.2	66.5	30.1	45.2		
	7	51.6	77.5	49.4	74.3	48.4	72.7	41.5	62.4	28.3	42.5		
	8	47.9	72.0	45.9	69.0	44.9	67.5	38.6	58.1	26.4	39.6		
Properties													
A_g (in. ²)		2.61		2.50		2.44		2.09		1.42			
I (in. ⁴)		4.68		4.50		4.41		3.83		2.67			
r (in.)		1.34		1.34		1.34		1.35		1.37			
ASD		LRFD		Note: Heavy line indicates K/r equal to or greater than 200.									
$\Omega_c = 1.67$		$\phi_c = 0.90$											

$$\Phi_c P_n = 42.50 \text{ Klb} > P_{rb} = 0.589 \text{ Klb} \rightarrow \text{SI CUMPLE!!!}$$

$$A_g = 1.42 \text{ pul}^2 > A_{\min} = 0.022 \text{ pul}^2 \rightarrow \text{SI CUMPLE!!!}$$

→ utilizar sección HSS 4 X 0.125 como Breiza Horizontal en Elemento Horizontal h.4

7.7. DISEÑO DE PLACA DE BASE (Numeral 4.6.1.)

DISEÑO DE PLACA DE BASE

Propiedades de la Columna

Sección Elemento Columna=	HSS10X0.500
Acero=	A500 Gr B (Round) Tabla 2-3 AISC 360-10
F _y =	42.00 Klb/pul ²
F _u =	58.00 Klb/pul ²
D=	10.00 pul

Propiedades de la Placa de Base

Acero=	A36 Tabla 2-4 AISC 360-10
F _y =	36.00 Klb/pul ²
F _u =	58.00 Klb/pul ²

Propiedades del Pedestal

f' _c Pedestal=	3.00 Klb/pul ²
f' _c Grout=	4.00 Klb/pul ²

PASO 1. ÁREA DE PLACA DE BASE

Capítulo J, sección J8, AISC 360-10

$A_{1(req)} = P_u / \phi_c 0.85 f'_c \text{ Pedestal} =$	254.94 pul²
P _u =	422.57 Klb
$\phi_c =$	0.65
f' _c Pedestal=	3.00 Klb/pul ²
$L_{placa} = \sqrt{A_{1(req)}} =$	15.97 pul
Dimensiones Placa de Base propuestas (NB)=	16 pul x 16 pul

$$\text{Verificar que } N \geq D + 2(3 \text{ pul}) \implies N = 16 \text{ Pul} \quad \text{SI CUMPLE!!!}$$

$$\text{Verificar que } B \geq D + 2(3 \text{ pul}) \implies B = 16 \text{ Pul} \quad \text{SI CUMPLE!!!}$$

$$A_1 = NB = 256 \text{ pul}^2$$

$$A_1 > A_{1(req)} \quad \text{SI CUMPLE!!!}$$

$$A_1 = 256 \text{ pul}^2$$

$$A_{1(req)} = 254.94 \text{ pul}^2$$

PASO 2. ÁREA DEL PEDESTAL

Dimensiones del Pedestal propuestas=	18 pul x 18 pul
A ₂ =	324 pul²

Verificar capacidad de resistencia del concreto

$\phi_c P_p = \phi_c 0.85 f'_c C_{pedestal} A_1 \sqrt{A_2/A_1} \leq 1.7 f'_c C_{pedestal} A_1$		SI CUMPLE!!!
$\phi_c P_p = \phi_c 0.85 f'_c C_{pedestal} A_1 \sqrt{A_2/A_1} =$	477.36 Klb	
$1.7 f'_c C_{pedestal} A_1 =$	1,305.60 Klb	
$\phi_c P_p > P_u$		SI CUMPLE!!!
$\phi_c P_p =$	477.36 Klb	
$P_u =$	422.57 Klb	

PASO 3. ESPESOR PLACA DE BASE

Parte 14, AISC 360-10

$m = n = (N - 0.80D)/2 =$	4.00 pul
$n' = (VDD)/4 =$	2.50 pul
$X = (4DDP_u)/((D+D)^2 \phi_c P_p) =$	0.885
$\lambda = (2\sqrt{X})/(1+\sqrt{1-X}) \leq 1$	1.41
Usar $\lambda =$	1.00
$\lambda n' =$	2.50 pul
$\ell = \max(m, n, \lambda n') =$	4.00 pul
$f_{pu} = P_u/NB =$	1.65 Klb/pul ²
$t_{p(req)} = \ell \sqrt{(2 f_{pu})/(\phi_b F_y)} =$	1.28 pul
$\phi_b =$	0.90
Usar $t_p =$	1 1/2 pul

Resumen	
DIMENSIÓN PLACA DE BASE=	16 X 16 pul
$t_p =$	1 1/2 pul
DIMENSIÓN PEDESTAL=	18 X 18 pul

7.8. DISEÑO DE PERNOS DE ANCLAJE (Numeral 4.6.2.)

DISEÑO DE PERNOS DE ANCLAJE

Datos de SAP2000 y Dimensiones del Tanque

Corte Basal por Sismo ($V_{estático}$)=	97.88 Klb
Altura al Centro de Masa del Tanque (H_{cm})=	59.53 pie
Parte Inferior Torre (B_i)=	20.88 pie

Propiedades del Perno de Anclaje

Acero=	Gr 36	Tabla 2.2. Guía Diseño 1, AISC 360-10
$F_u =$	58.00 Klb/pul ²	
$F_{nt} =$	43.50 Klb/pul ²	
$F_{nv} (X) =$	29.00 Klb/pul ²	
$F_{nv} (N) =$	23.20 Klb/pul ²	

PASO 1. MOMENTO DE VOLTEO

Capítulo J, sección J9, AISC 360-10

$$M_v = V_{\text{estático}} H_{cm} = 5826.80 \text{ Klb-pie}$$

PASO 2. TENSIÓN DEBIDA AL MOMENTO M_v

$$\text{Tensión en 2 zapatas, } 2T = M_v / B_i = 279.06 \text{ Klb}$$

$$T = 139.53 \text{ Klb}$$

PASO 3. DIÁMETRO DE PERNOS DE ANCLAJE

$$A_{\text{req}} = T / (\phi 0.75 F_u) = 4.28 \text{ pul}^2$$

$$\phi = 0.75$$

$$\phi_{\text{perno}} = A_{\text{req}} / n = 1.07 \text{ pul}$$

$$n = 4.00 \text{ pernos}$$

$$\text{usar 4 pernos } \phi = 1 \frac{1}{4} \text{ pul}$$

→ usar 4 pernos Gr 36 de 1 ¼" X 24"

7.9. DISEÑO DE UNIÓN COLUMNAS

Se deberá considerar una unión en las columnas dentro de toda su longitud; para el presente caso la unión en las columnas se realizará a la mitad del tramo 4.

DISEÑO DE UNIÓN COLUMNA EN TRAMO 4**Propiedades de la Columna**

Sección Elemento Columna= HSS10X0.375

Acero= **A500 Gr B (Round)** Tabla 2-3 AISC 360-10

$$F_y = 42.00 \text{ Klb/pul}^2$$

$$F_u = 58.00 \text{ Klb/pul}^2$$

Propiedades de la Placa de UniónAcero= **A36** Tabla 2-4 AISC 360-10

$$F_y = 36.00 \text{ Klb/pul}^2$$

$$F_u = 58.00 \text{ Klb/pul}^2$$

Tensión Total y Corte en Columna Tramo 4

$$P_u = 105.61 \text{ Klb} \quad \text{de Columnas}$$

$$V_u = 13.22 \text{ Klb} \quad \text{de Horizontales}$$

PASO 1. DIÁMETRO DE PERNOS

$$r_{ut} = P_u / n = 26.40 \text{ Klb}$$

$$n = 4.00 \text{ pernos}$$

De Tabla 7-2 AISC 360-10, para perno A325 $d_b=3/4"$, $\phi r_n=$ **29.80Klb**

SI CUMPLE!!!

Usar 4 pernos A325 con $d_b=$ **3/4pul**

PASO 2. DIMENSIÓN DE LA PLACA DE UNIÓN

$L_{placa} = D + 2a + 2b =$ 16pul
 $D =$ 10.00pul
 $a =$ 1.50pul
 $b =$ 1.50pul

Dimensiones de la Placa= 16 pul x 16 pul

PASO 2. ESPESOR DE LA PLACA DE UNIÓN

Parte 9, AISC 360-10

$a =$ 1.50pul
 $b =$ 1.50pul
 $d_b =$ 3/4pul

$a' = a + d_b/2 \leq 1.25b + d_b/2 \implies a' =$ 1.88pul
 $a + d_b/2 =$ 1.88pul
 $1.25b + d_b/2 =$ 2.25pul
 $b' = b - d_b/2 \implies b' =$ 1.13pul
 $\rho = b'/a' =$ 0.60
 $\delta = 1 - (\rho) =$ 0.92
 $d' = d_b + 1/16 =$ 0.81
 $p =$ 10.00pul
 $\beta = 1/\rho((\phi r_n/r_{ut}) - 1) =$ 0.21 < 1
 $\alpha' = 1/\delta(\beta/(1-\beta)) =$ 0.30 < 1
 $t_{req} = \sqrt{(4.44 r_{ut} b')/(p F_u (1+\delta\alpha'))} =$ 0.42pul

SI CUMPLE!!!

Usar $t_p =$ **1/2pul**

Resumen	
DIMENSIÓN PLACA DE UNIÓN=	16 X 16pul
$t_p =$	1/2pul
4 Pernos A325 $d_b =$	3/4pul

Paso 8. Diseño de elementos de concreto reforzado

En virtud de que el alcance del presente manual se restringe al diseño de tanques metálicos elevados, en el Paso 8 del ejemplo de diseño no se desarrollará el cálculo estructural de los elementos de concreto reforzado, sin embargo, para efectos prácticos y académicos, a continuación se presentan los parámetros y cargas utilizadas en el diseño y los esquemas de los diseños resultantes, los cuales podrán verificarse bajo los requerimientos del código ACI 318-08 de acuerdo a lo indicado en el Capítulo 4, numeral 4.7.

8.1. DISEÑO DE PEDESTAL

Parámetros utilizados en el diseño:

$$-f'_c = 3.0 \text{ Klb/pul}^2$$

$$-F_y = 40 \text{ Klb/pul}^2$$

$$-A_g = 18 \text{ pul} \times 18 \text{ pul}$$

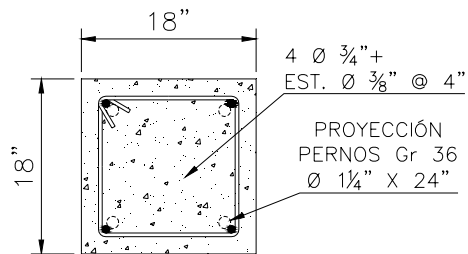
$$-P_{Cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$$

$$-P_u = 422.57 \text{ Klb (de Columnas Tramo 1)}$$

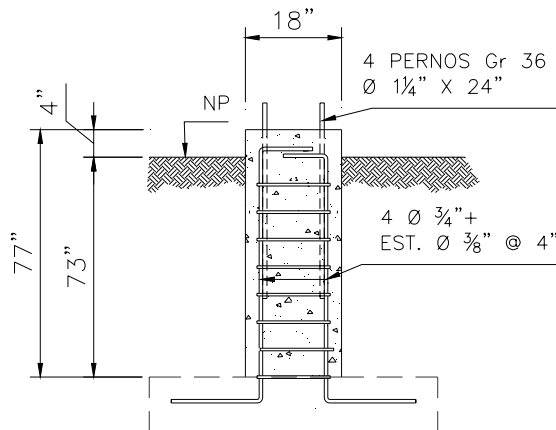
$$-A_{s_{min}} = 0.01 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot A_g\right) \text{ (ACI 318 - 08, Sección 10.8.4)}$$

$$-A_{s_{prop}} = 4 \text{ } \varnothing \frac{3}{4}''$$

$$-P_{res} = \phi \cdot \left[0.85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{s_{prop}}) + A_{s_{prop}} \cdot F_y \right]$$



Esquema Planta Pedestal



Esquema Sección Pedestal

8.2. DISEÑO DE CIMENTACIÓN

Parámetros utilizados en el diseño:

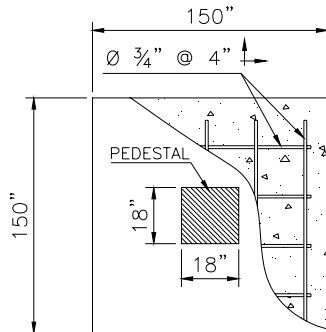
- $f'_c = 3.0 \text{ Klb/pul}^2$
- $F_y = 40 \text{ Klb/pul}^2$
- Columna= 18pul X 18 pul

El estudio de suelos realizado en el sitio de construcción del tanque establece que la cota de cimentación recomendada y las características mecánicas del suelo son:

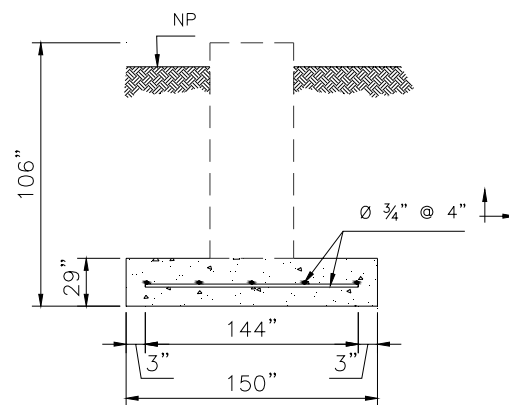
- $\gamma_{\text{suelo}} = 0.10 \text{ Klb/pie}^3$
- $\gamma_{\text{concreto}} = 0.15 \text{ Klb/pie}^3$
- $V_{\text{soporte}} = 5.32 \text{ Klb/pie}^2$
- $F_{c.u.} = 1.50$
- $h_{\text{cimentación}} =$ estrato adecuado se encuentra a partir de 8 pies → usar 8.35 pies
- Se utilizará zapata cuadrada concéntrica.
- $n = 4$ zapatas

$$-M_{\text{max}} = \frac{[V_{\text{estático}} \cdot (h_{\text{columna}} + t_{\text{zapata}})]}{n}$$

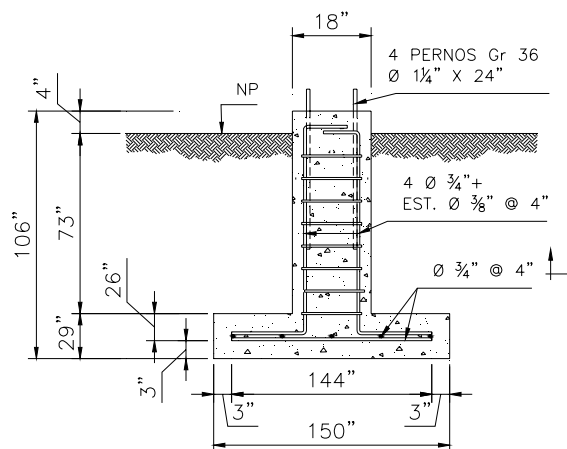
- $P_{\text{max}} = 422.57 \text{ Klb}$ (de Columnas Tramo 1)



Esquema Planta Cimentación



Esquema Sección Cimentación



Esquema Sección Pedestal-Cimentación

8.3. REVISIÓN DE ESTABILIDAD GLOBAL DEL TANQUE

De acuerdo a lo indicado en el último párrafo del numeral 4.7.2, se deberá revisar la estabilidad global del tanque metálico elevado con la relación:

$$\frac{M_r}{M_v} > 1.50$$

$$\begin{aligned} W &= 261.87 \text{ Klb} \\ B_f &= 20.88 \text{ pie} \\ M_r &= (261.87)(20.88/2) \\ M_r &= \mathbf{2,733.93 \text{ Klb-pie}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{estático}} &= 97.88 \text{ Klb} \\ H_{cm} &= 59.53 \text{ pie} \\ M_v &= (97.88)(59.53) \\ M_v &= \mathbf{5,826.80 \text{ Klb-pie}} \end{aligned}$$

$$\frac{2,733.93}{5,826.80} > 1.50 \quad ; \quad 0.47 < 1.50 \quad \rightarrow \quad \mathbf{NO \text{ CUMPLE!!! DISEÑAR ZAPATAS POR EXTRACCIÓN}}$$

DISEÑO DE ZAPATAS POR EXTRACCIÓN

Parámetros de diseño

Densidad del suelo (γ_{suelo})=	1.60ton/m ³	0.10Klb/pie ³
Densidad del concreto (γ_{concreto})=	2.40ton/m ³	0.15Klb/pie ³
Valor soporte (Vs)=	26.00ton/m ²	5.32Klb/pie ²
Valor soporte viento= 1.33Vs, (Vsv)=	34.58ton/m ²	7.07Klb/pie ²
f' c=	210.00kg/cm ²	3.00Klb/pul ²
Fy=	2,810.00kg/cm ²	40.00Klb/pul ²

Dimensiones Zapata

Ancho de la zapata (B)=	3.80m	12.46pie
Chaflán en zapata= (A)	0.15m	0.49pie
Ancho de la columna (C)=	0.4572m	1.50pie
h de columna=	1.85m	6.07pie
Peralte de la zapata (D)=	0.73m	2.39pie
Angulo arranque (α)=	30.00grados	0.52radianes

Cargas aplicadas

Tensión máxima=	63.42ton	139.52Klb
Compresión máxima=	192.08ton	422.58Klb
Corte máximo=	11.12ton	24.46Klb

PASO 1. CHEQUEOS DE ESTABILIDAD

Peso del concreto, W_{concreto} =	26.23ton	57.70Klb
Volumen concreto=	10.93m ³	385.62pie ³
Peso del suelo, W_{suelo} =	89.64ton	197.22Klb
Volumen cono mayor= $\pi/3 r^2 h$ =	80.38m ³	2,836.42pie ³

$h_{total}=$	6.13m	20.12pie
Base cono mayor=	7.08m	23.21pie
Volumen cono punta=	13.42m ³	473.72pie ³
$h = (A_{zap}/2) / \tan \alpha =$	3.55m	11.65pie
Volumen cono truncado=	66.96m ³	2,362.70pie ³
Volumen del suelo=	56.03m ³	1,977.08pie ³

Chequeo 1

$$W_{suelo}/2 + W_{concreto}/1.25 > \text{Tensión}$$

$$W_{suelo}/2 + W_{concreto}/1.25 = 65.80\text{Ton} \quad 144.77\text{Klb}$$

Conclusión **CHEQUEO 1 OK!!!**

Chequeo 2

$$(W_{suelo} + W_{concreto})/1.5 > \text{Tensión}$$

$$(W_{suelo} + W_{concreto})/1.5 = 77.25\text{ton} \quad 169.94\text{Klb}$$

Conclusión **CHEQUEO 2 OK!!!**

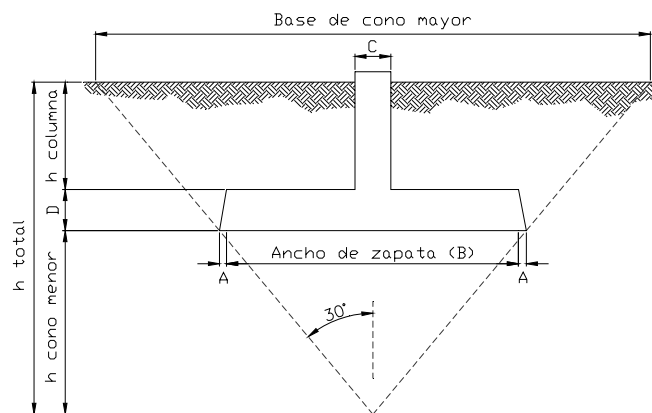
PASO 2. REVISIÓN PRESIONES EN SUELO

P max=	192.08ton	422.58Klb
M max=	28.69t-m	207.02Klb-pie
Área=	14.44m ²	155.35pie ²
c=	1.90m ²	20.44pie ²
$I = 1/12 bh^3 =$	17.38m ⁴	2,011.17pie ⁴

$$\sigma_1 = P/A + Mc/I = 16.44\text{t/m}^2 < VS? => \text{PRESIONES OK!!!}$$

$$\sigma_2 = P/A - Mc/I = 10.16\text{t/m}^2 < VS? => \text{PRESIONES OK!!!}$$

➔ DIMENSIONES PROPUESTAS DE ZAPATA SI CUMPLENiii



Esquema dimensiones zapata

CONCLUSIONES

1. Se propone un manual en el cual se complementan normas nacionales y códigos internacionales, que contiene los factores y/o parámetros necesarios para el adecuado diseño estructural de tanques metálicos elevados en la República de Guatemala, aplicado a un sistema de marcos especiales embreizados concéntricamente -SCBF-.
2. Se definen procedimientos y metodologías de aplicación general en las cuales se enfoca adecuadamente la filosofía de diseño sismo resistente para la realización de los análisis y diseños estructurales de tanques metálicos elevados que satisfagan la demanda sísmica de nuestro país.
3. El uso del software o programa SAP2000 acelera la obtención de los resultados del análisis estructural, por lo que el diseñador puede dedicar mayor tiempo a la realización de detalles y otros aspectos importantes dentro del diseño, efectuando un modelo más apegado a la realidad y por consiguiente un diseño optimizado.
4. El diseño por capacidad de los elementos de la torre no es realizado por el software o programa SAP2000, por lo que éste deberá realizarse por aparte, y posteriormente, con dichos elementos diseñados por capacidad, se podrá proceder con la verificación del diseño por medio de dicho software o programa.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar este manual como una guía general que sirva de ayuda a los estudiantes y profesionales dedicados a la realización de este tipo de diseños, debido a que con la metodología propuesta se obtienen diseños de tanques metálicos elevados que satisfacen la demanda sísmica de nuestro país.
2. Realizar consultas periódicas a las normas, especificaciones, códigos, y demás documentos que publiquen entidades como AGIES, ASCE, AISC, AWWA, ACI, e IBC, para actualizar los parámetros o coeficientes utilizados en este manual y así proponer los cambios necesarios a los procedimientos y metodologías presentadas.
3. Utilizar software o programas que aceleran los procesos de cálculo y la obtención de resultados, para dedicar mayor tiempo a la realización de detalles y otros aspectos importantes dentro del diseño.
4. Retroalimentarse y capacitarse constantemente sobre metodologías y/o programas que se utilicen en la realización de análisis y diseños estructurales de tanques metálicos elevados, y así proceder a realizar diseños congruentes con la situación sísmica de Guatemala.
5. Cada diseñador debe justificar la procedencia de los parámetros, cálculos, y metodologías utilizadas en el diseño estructural, para que éste sea de aplicabilidad en el territorio nacional.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACI (2008), **Building Code Requirements for Structural Concrete**, ACI 318-08, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI., USA.
2. AGIES (2010), **Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala**, Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, Guatemala.
3. AISC (2010), **Manual of Steel Construction**, ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, Illinois, USA.
4. AISC (2005), **Seismic Provisions for Structural Steel Building**, ANSI/AISC 341-05, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, Illinois, USA.
5. ASCE (2010), **Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures**, ASCE/SEI 7-10, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA.
6. AWWA (2005), **Welded Steel Tanks for Water Storage**, ANSI/AWWA D100-05, American Water Works Association, Denver, Colorado, USA.
7. IBC (2009), **International Building Code**, IBC 2009, West Flossmoor Road, Country Club Hills, Illinois, USA.

ANEXOS

