



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
Coordinación de Investigación y Posgrado



“DISEÑO SÍSMICO DE PLANTA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE GAS L.P. UBICADA EN FRACCIÓN II-B1 DE LA SECCIÓN "B" DEL PREDIO CONOCIDO COMO "SAN JOAQUÍN" FRACCIÓN OESTE-B UBICADO A LA ALTURA DEL KILÓMETRO 9+751 DE LA CARRETERA ENSENADA - OJOS NEGROS EN LA DELEGACIÓN DE MANEADERO, MUNICIPIO DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA.”

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN

PRESENTA:
ING. ABRAHAM CÓRDOVA PERALTA PS976

DIRECTOR DE TESIS:
M.I. JORGE ALFREDO AGUILAR CARBONEY

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, JUNIO DE 2021

CONSTANCIA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA C-I



Tuxtla Gutiérrez; Chiapas.
A 31 de mayo del 2021
Oficio. FI. 01/733/2021

C. Abraham Córdova Peralta
Maestría en Ingeniería con formación en Construcción
Presente.

Por este medio comunico a usted, que se autoriza la impresión de su trabajo de tesis denominado: "Diseño sísmico de planta de almacenamiento y distribución de gas L.P., ubicada en fracción II-B1 de la sección "B" del predio conocido como "San Joaquín" fracción Oeste-B ubicado a la altura del kilómetro 9+751 de la carretera Ensenada - Ojos Negros en la delegación de Maneadero, municipio de Ensenada, Baja California", para que pueda continuar con los trámites de titulación para la obtención del Grado de la Maestría en Ingeniería con formación en Construcción.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

Atentamente.
"Por la conciencia de la necesidad de servir"

Dr. José Alonso Figueroa Gallegos
Encargado de Dirección



C. c. p. Dra. Daisy Escobar Castillejos. Coordinadora de Investigación y Posgrado. - F.I.
Archivo Minutario.
JAFG/DEC/itcpq*

Tels. (961) 617-80-00 ext. 1560. (961) 615-03-22. www.ingenieria.unach.mx
Boulevard Belisario Domínguez, Km 1081, Sin Número. | Terán Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. C.P. 29050. | www.unach.mx



Código: FO-113-09-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Abraham Córdova Peralta,
Autor (a) de la tesis bajo el título de "Diseño sísmico de Planta de Almacena-
miento y distribución de Gas L.P. ubicada en Fracción II-B1
de la sección "0" del predio conocido como "San Joaquín" Fracción este-0
Ubicada a la altura del kilómetro 9+751 de la carretera ensenada-
ojos negros en la delegación de mancadero, municipio de
Ensenada, Baja California.",
presentada y aprobada en el año 20 21 como requisito para obtener el título o grado
de Maestría en Ingeniería con formación en construcción autorizo a la
Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que
realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que
contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se
produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 19 días del mes de noviembre del año 20 21.

Abraham Córdova Peralta

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

DEDICATORIA

Mi tesis se la dedico a mi padre, madre y hermanos por brindarme su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A mi amada esposa Angélica Elide Camas Flores por su apoyo en los momentos difíciles que hemos tenido siempre me ha brindado su comprensión, cariño y amor.

A mis hijos Abraham Antonio, Adriana Elide y Santiago Nicolás que son mi motivación para superarme y poderles brindar en sus vidas un mejor futuro.

AGRADECIMIENTO

A mis catedráticos por compartirme sus conocimientos, en especial al M.I. Jorge Alfredo Aguilar Carboney por su orientación, asesoría y apoyo en este trabajo que hoy culmino.

A mis compañeros que participamos en este proyecto, me llevo muy gratos recuedos.

Al Ing. Juan Alberto Sánchez Hernández que ha sido mi ejemplo para seguir en lo profesional desde que egrese de la licenciatura en ingeniería civil, así también me motivo a culminar este trabajo.

RESUMEN

La presente tesis nos da un criterio de diseño sísmico de las bases de sustentación de tanques horizontales para almacenar gas L.P. en Plantas de almacenamiento y distribución de gas L.P. considerando la NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación; así como con el Manual de Obras Civiles de Comisión Federal de Electricidad (CFE), en su capítulo de Diseño Sísmico 2015 (MOC-CFE-DS-2015), el cual recibió su última actualización en el 2015 y el capítulo de Diseño por Viento de CFE que fue actualizado en el 2008 por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (ahora Instituto de Investigaciones Eléctricas y de Energías Limpias).

El primer capítulo refiere a la evolución de las Normas de gas L.P. en México desde 1970 a la NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación. El segundo capítulo describe la definición del gas licuado de petróleo, su obtención y características. En el tercer capítulo expone las Normas aplicables al análisis estructural de plantas de gas L.P. El cuarto capítulo describe el Diseño sísmico considerando los espectros de diseño sísmico y análisis de masas inerciales impulsivas y convectivas. El quinto capítulo y último es el desarrollo de un caso real del análisis estructural de una planta de gas L.P. en Ensenada, Baja California; considerando el problema de investigación, justificándolo, determinando el objetivo general y objetivos específicos, planteando las hipótesis, analizando las características del sitio y diseñando las bases para dos tanques de diferentes capacidades el primero con capacidad de 250,000 lts al 100% de agua y el segundo con capacidad de 93,000 lts al 100% de agua.

INDICE

CONSTANCIA	II
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN	VII
INDICE	VIII
INDICE DE TABLAS	XI
INDICE DE FIGURAS	XII
INTRODUCCION	1
1.- Evolución de las Normas de Gas L.P. en México	3
2.- El gas licuado de Petróleo	8
2.1.- Definición del gas licuado de Petróleo	8
2.2.- Obtención del gas licuado de Petróleo	8
2.3.- Características del gas licuado de Petróleo	9
2.3.1.- Especificaciones del gas licuado de Petróleo	10
3.- Normas aplicables al Análisis Estructural de Plantas de Gas L.P.	12
3.1.- Proyecto de las bases de sustentación	15
3.2.- Proyecto del sistema contra incendio	19
4.- Diseño Sísmico	23
4.1.- Espectros de diseño sísmico	24
4.2.- Análisis de masas inerciales impulsivas y convectivas	28
5.- Análisis Estructural de Planta de Gas en Ensenada B.C.	31
5.1.- Problema de investigación	31
5.2.- Justificación	31
5.3.- Objetivo general	32
5.4.- Objetivos específicos	32
5.5.- Hipótesis	33
5.6.- Características de sitio	33

5.7.- Análisis y diseño de Bases de soporte del tanque crítico con capacidad de 250,000 litros al 100% de agua.....	37
5.2.1.- Características Técnicas del Tanque.....	37
5.7.2.- Análisis de cargas.	38
5.7.3.- Condición sísmica de sitio.	38
5.7.4.- Ductilidad y sobre resistencia.	38
5.7.5.- Fuerza sísmica básica.....	39
5.7.6.- Análisis sísmico de masa líquida.	40
5.7.7.- Análisis por viento.	42
5.7.8.- Análisis por temperatura.	46
5.7.9.- Efectos de segundo orden.	46
5.7.10.- Concentrado de elementos mecanicos.	50
5.7.11.- Diseño de bases.....	51
5.7.12.- Revisión por flexión con acero en sismo en X y sismo en Y.	52
5.7.13.- Revisión por cortante en columnas.	65
5.7.14.- Diseño de zapata.	69
5.8.- Análisis y diseño de Bases de soporte del tanque de 93,000 litros al 100% de agua.....	91
5.8.1.- Características Técnicas del Tanque.....	91
5.8.2.- Análisis de cargas.	92
5.8.3.- Condición sísmica de sitio.	92
5.8.4.- Ductilidad y sobre resistencia.	92
5.8.5.- Fuerza sísmica básica.....	92
5.8.6.- Análisis sísmico de masa líquida.	92
5.8.7.- Análisis por viento.	92
5.8.8.- Analisis por temperatura.	92
5.8.9.- Efectos de segundo orden.	92
5.8.10.- Concentrado de elementos mecanicos.	92
5.8.11.- Diseño de bases.....	93
5.8.12.- Revisión por flexión con acero en sismo en X y sismo en Y.	93
5.8.13.- Revisión por cortante en columnas.	95

5.8.14.- Diseño de zapata.	96
6.- Resultados	98
7.- Conclusiones.	103
8.- Bibliografía	104
9.- Anexos.	106

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Especificaciones del gas licuado de Petróleo (1)</i>	10
Tabla 2 <i>Distancias mínimas entre elementos Las plantas de distribución deben cumplir con las siguientes distancias mínimas de la tangente del recipiente de almacenamiento más cercano a:</i>	16
Tabla 3 <i>Distancias mínimas externas de las tangentes de los recipientes de almacenamiento. Las distancias mínimas entre elementos externos a la planta de distribución y la tangente de sus recipientes de almacenamiento deben ser las siguientes:</i>	17
Tabla 4 <i>Combinaciones de Equipos de bombe del sistema contra incendios.</i>	20
Tabla 5 <i>Factor debido a la topografía local</i>	42
Tabla 6 <i>Coeficientes de rugosidad del terreno</i>	43
Tabla 7 <i>Relación entre altitud y presión barométrica</i>	44
Tabla 8 <i>Valores de parametros utilizados para estimar el factor Fa</i>	49
Tabla 9 <i>Concentrado de elementos mecanicos</i>	50
Tabla 10 <i>Combinaciones a revisar</i>	50
Tabla 11 <i>Distribución de armados</i>	52
Tabla 12 <i>Interacción de la profundidad del eje neutro</i>	53
Tabla 13 <i>Determinación del Diagrama de iteracción</i>	54
Tabla 14 <i>Distribución de armados</i>	55
Tabla 15 <i>Interacción de la profundidad del eje neutro</i>	56
Tabla 16 <i>Determinación del Diagrama de iteracción</i>	57
Tabla 17 <i>Distribución de armados</i>	58
Tabla 18 <i>Interacción de la profundidad del eje neutro</i>	59
Tabla 19 <i>Determinación del Diagrama de iteracción</i>	60
Tabla 20 <i>Distribución de armados</i>	61
Tabla 21 <i>Interacción de la profundidad del eje neutro</i>	62
Tabla 22 <i>Determinación del Diagrama de iteracción</i>	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Espectro de Respuesta en Roca (Ensenada)</i>	26
Figura 2 <i>Espectro Inelástico terreno tipo I</i>	27
Figura 3 <i>Comportamiento de líquidos en tanques</i>	28
Figura 4 <i>Efectos hidrodinámicos.</i>	29
Figura 5 <i>Ubicación del sitio para estimación de Peligro sísmico en el PRODISIS</i>	34
Figura 6 <i>Evaluación de la aceleración y espectro de respuesta para un Periodo de Retorno Específico</i>	35
Figura 7 <i>Espectro Sísmico Transparente</i>	36
Figura 8 <i>Geometría para tanque</i>	37
Figura 9 <i>Espectro reducido por periodo fundamental</i>	40
Figura 10 <i>Diagrama de iteración</i>	53
Figura 11 <i>Diagra de interacción</i>	56
Figura 12 <i>Diagrama de iteración</i>	59
Figura 13 <i>Diagrama de iteración</i>	62
Figura 14 <i>Armado por flexión de murete</i>	65
Figura 15 <i>Armado de estribos por cortante</i>	68
Figura 16 <i>Geometría de Zapata</i>	69
Figura 17 <i>Revisión de la penetración</i>	71
Figura 18 <i>Diseño por flexión</i>	73
Figura 19 <i>Diseño por flexión</i>	73
Figura 20 <i>Redistribución de presiones</i>	74
Figura 21 <i>Revisión por cortante Dirección X</i>	76
Figura 22 <i>Revisión por cortante Dirección Y</i>	77
Figura 23 <i>Geometría de Zapata</i>	79
Figura 24 <i>Revisón de la penetración</i>	81
Figura 25 <i>Diseño por flexión</i>	83
Figura 26 <i>Diseño por flexión</i>	83
Figura 27 <i>Redistribución de presiones</i>	84
Figura 28 <i>Revisión por cortante Dirección X</i>	86

Figura 29 <i>Revisión por cortante Dirección Y</i>	87
Figura 30 <i>Armado de zapata (Planta)</i>	89
Figura 31 <i>Armado de zapata (Corte transversal)</i>	90
Figura 32 <i>Armado de zapata (Corte longitudinal)</i>	90
Figura 33 <i>Geometría para tanque</i>	91
Figura 34 <i>Armado por flexión de murete</i>	94
Figura 35 <i>Armado de estribos por cortante</i>	95
Figura 36 <i>Armado de zapata (Planta)</i>	96
Figura 37 <i>Armado de zapata (Corte transversal)</i>	97
Figura 38 <i>Armado de zapata (Corte longitudinal)</i>	97
Figura 39 <i>Corte transversal de diseño de base de tanque de 250,000 litros al 100% de agua.</i>	98
Figura 40 <i>Corte longitudinal de diseño de base de tanque de 250,000 litros al 100%</i>	99
Figura 41 <i>Contratrabe CT-1 de zapata base de tanque de 250,000 litros al 100%</i>	99
Figura 42 <i>Zapata de base de tanque de 250,000 litros al 100%</i>	100
Figura 43 <i>Corte transversal de diseño de base de tanque de 93,000 litros al 100%</i>	100
Figura 44 <i>Corte transversal de diseño de base de tanque de 93,000 litros al 100%</i>	101
Figura 45 <i>Contratrabe CT-1 de zapata base de tanque de 93,000 litros al 100%</i>	101
Figura 46 <i>Zapata de base de tanque de 93,000 litros al 100%</i>	102

INTRODUCCION

INTRODUCCION

El presente trabajo de tesis tiene como principal objetivo establecer un criterio de diseño sísmico de las bases de sustentación de tanques horizontales para plantas de almacenamiento y distribución de gas L.P. construidas en México aplicando los criterios que considera el Manual de Obras Civiles de Comisión Federal de Electricidad (CFE), en su capítulo de Diseño Sísmico 2015 (MOC-CFE-DS-2015), el cual recibió su última actualización en el 2015 y el capítulo de Diseño por Viento de CFE que fue actualizado en el 2008 por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (ahora Instituto de Investigaciones Eléctricas y de Energías Limpias); lo anterior se origina ya que la NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación., deja libertad para referirse a cualquier código de diseño o reglamento de construcción aplicable a la localidad en la que se desarrolle la obra, esto debido a que los municipios de la República Mexicana, tienen libertad de emitir sus propios códigos y reglamentaciones para la construcción de obras de los cuales son pocos que cuentan con ellos y muchos menos aun los que poseen estudios sismológicos y zonificación sísmica con parámetros de diseño.

Para poder obtener un criterio de diseño sísmico confiable se consideran espectros de diseño sísmico y análisis de masas inerciales impulsivas y convectivas basadas en Modelo Mecánico equivalente de Housner. En nuestro país este tipo de estructuras son diseñadas en su gran mayoría con los criterios y recomendaciones que se especifican en el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad en su Capítulo C.1.3 Diseño por Sismo el cual se basa en el Modelo Mecánico equivalente de Housner el cual para determinar la respuesta mecánica de los tanques de almacenamiento sujetos a efectos dinámico por sismo, Housner formuló una idealización para estimar la respuesta del fluido en tanques rígidos rectangulares y cilíndricos bajo una excitación sísmica. El estudio presenta valores para masas equivalentes y sus localizaciones que determinan las fuerzas y momentos producidos por el líquido en el tanque. (Cobos, 2009)

INTRODUCCION

En el capítulo 1 se abordan la evolución de la normativa aplicable a las Plantas de Almacenamiento y Distribución de gas L.P. en México desde 1970 con el Instructivo para el diseño y construcción, obras o instalaciones relativas a plantas de almacenamiento de gas licuado de petróleo hasta la NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación.

En el capítulo 2 se define el concepto de gas licuado de Petróleo, como se obtiene a partir de la obtención del petróleo y es mediante dos métodos separación o síntesis, sus características y especificaciones.

En el capítulo 3 se describen las Normas aplicables al análisis estructural de las plantas de gas L.P. en la cual especifican los requisitos mínimos a cumplir, el Proyecto de las bases de sustentación y el Proyecto del sistema contra incendio, si bien la norma se enfoca principalmente en el análisis y diseño de las bases de sustentación del tanque o tanques de la planta, el resto de las estructuras no dejan de ser importantes y requieren así mismo contar con el adecuado análisis estructural de acuerdo a las condiciones de sitio.

En el capítulo 4 habla del Diseño sísmico considerando el uso de los lineamientos de diseño del Manual de Obras Civiles de Comisión Federal de Electricidad (CFE), en su capítulo de Diseño Sísmico 2015 (MOC-CFE-DS-2015), el cual recibió su última actualización en el 2015 y el capítulo de Diseño por Viento de CFE que fue actualizado en el 2008 por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (ahora Instituto de Investigaciones Eléctricas y de Energías Limpias), elaborando espectros de diseño sísmico y aplicando el análisis de masas inerciales impulsivas y convectivas.

En el capítulo 5 es el análisis estructural de planta de gas en Ensenada, Baja California; aplicando el criterio de diseño sísmico que es origen de esta tesis, considerando los dos tanques de almacenamiento de gas L.P. el primero con capacidad de 250,000 Lts al 100% de agua y el segundo con capacidad de 93,000 Lts al 100% de agua.

Al final se exponen los resultados obtenidos a través de este criterio de diseño y se anexan los planos estructurales finales.

EVOLUCIÓN DE LAS NORMAS DE GAS L.P. EN MÉXICO

1.- Evolución de las Normas de Gas L.P. en México.

La evolución de las normas para las plantas de almacenamiento y distribución de Gas L.P. que operan en el país se ha dado para mejorar las condiciones de seguridad basado en estudios estadísticos y técnicos cuyos resultados indicaron que dichas plantas no ofrecen las medidas de seguridad necesarias y que en algunos casos significan un peligro inminente para las poblaciones aledañas. Las normas no pueden ser retroactivas en su totalidad a plantas de almacenamiento y distribución de Gas L.P. que se encuentran en operación anterior a la fecha de publicación de la Norma Oficial Mexicana que entra en vigor.

Por lo anterior la línea del tiempo de la normativa para las plantas de almacenamiento y distribución de gas L.P. en México es la siguiente:

Instructivo para el diseño y construcción, obras o instalaciones relativas a plantas de almacenamiento de gas licuado de petróleo, publicado en el Diario Oficial de la Federación el lunes 21 de diciembre de 1970, el cual establece las medidas de seguridad correspondientes, las que se estima indispensable y urgente ampliar, para garantizar efectivamente la seguridad tanto de las instalaciones como de la población vecina a ellas.

La **NORMA Oficial Mexicana NOM-EM-001-SCFI-1993, "Plantas de almacenamiento para gas L.P.- Diseño y Construcción"**. Publicada el lunes 31 de enero de 1994 en el Diario Oficial de la Federación la cual deroga el instructivo para el diseño y construcción, obras o instalaciones relativas a plantas de almacenamiento de gas licuado de petróleo.

Fue elaborada por que detectaron que el riesgo de que se presenten siniestros en las plantas de almacenamiento de gas L.P., es significativamente más alto al no contar con la ampliación de las medidas de seguridad pertinentes, y que las consecuencias por falta de atención oportuna de este asunto puede significar graves daños a la población.

Que es necesario reglamentar debidamente las medidas de seguridad y demás aspectos técnicos relacionados con las plantas de referencia, en beneficio de la población en general, con carácter prioritario y de emergencia, situación que está debidamente comprendida dentro de los preceptos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. (NOM-EM-001-SCFI-1993, plantas de almacenamiento para gas L.P., diseño y construcción., 1994, pág. 5)

EVOLUCIÓN DE LAS NORMAS DE GAS L.P. EN MÉXICO

Cabe mencionar que entre el periodo de entrada en vigor de la NORMA Oficial Mexicana NOM-EM-001-SCFI-1993, "Plantas de almacenamiento para gas L.P.- Diseño y Construcción", sucedieron varios accidentes en las plantas de almacenamiento para gas L.P., siendo el mas relevante el incendio y explosión de contenedores de gas LP en San Juan Ixhuatepec, México, el 19 de noviembre de 1984.

La **NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDG-1996, Plantas de almacenamiento para gas L.P. Diseño y Construcción**. Publicada el lunes 30 de agosto de 1996 en el Diario Oficial de la Federación la cual deroga la NORMA Oficial Mexicana NOM-EM-001-SCFI-1993, "Plantas de almacenamiento para gas L.P.- Diseño y Construcción".

En base al Reglamento de Distribución de Gas Licuado de Petróleo, estableciendo que el diseño y construcción de plantas de almacenamiento para Gas L.P., se llevarán a cabo con apego a las normas y demás disposiciones aplicables en la materia.

Que en vista del riesgo que representan las plantas de almacenamiento de Gas L.P., es preciso establecer y observar las medidas de seguridad necesarias, considerando los daños que pueden significar para la población.

Que es necesario regular las medidas de seguridad y los aspectos técnicos relacionados con las plantas de Gas L.P., en beneficio de la población, situación que se encuentra comprendida dentro de los preceptos señalados en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. (NOM-001-SEDG-1996, Plantas de almacenamiento para Gas L.P. Diseño y construcción., 1996, pág. 32)

El **PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-015-SECRE-2012, Diseño, construcción, seguridad, operación y mantenimiento de sistemas de almacenamiento de gas licuado de petróleo mediante planta de depósito o planta de suministro que se encuentran directamente vinculados a los sistemas de transporte o distribución por ducto de gas licuado de petróleo, o que forman parte integral de las terminales terrestres o marítimas de importación de dicho producto**. (PROY-NOM-015-SECRE-2012, 2013, pág. 11)

El martes 7 de enero de 2013 en el Diario Oficial de la Federación, se realizó la publicación ya que en el Reglamento de Gas Licuado de Petróleo publicado el miércoles 5 de diciembre de 2007 en el CAPITULO III. PERMISOS. Artículo 14. Establece los tipos de permisos para Plantas de Almacenamiento (Plantas de suministro y Plantas de Deposito) y Plantas de

EVOLUCIÓN DE LAS NORMAS DE GAS L.P. EN MÉXICO

Distribución las cuales difieren al adquieren el Gas L.P. y a quien se lo entregan, las primera de venta de primera mano Petróleos Mexicanos (PEMEX) o importación por medio de PMI, Comercio Internacional, filial de Petróleos Mexicanos para entregar a Plantas de distribución y las segundas de Petróleos Mexicanos o una Planta de Suministro o Deposito para entregar a usuario final; así como la capacidad de almacenar por lo que ellas se regían para su diseño y construcción por la misma NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDG-1996 dejando criterios y especificaciones de seguridad limitados para las Plantas de Almacenamiento.

El jueves 12 de diciembre de 2013 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la **NORMA Oficial Mexicana NOM-015-SECRE-2013, Diseño, construcción, seguridad, operación y mantenimiento de sistemas de almacenamiento de gas licuado de petróleo mediante planta de depósito o planta de suministro que se encuentran directamente vinculados a los sistemas de transporte o distribución por ducto de gas licuado de petróleo, o que forman parte integral de las terminales terrestres o marítimas de importación de dicho producto.** La cual deroga el PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-015-SECRE-2012 dando cumplimiento al procedimiento que señalan los artículos 44 al 47, y demás relativos a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento. (NOM-015-SECRE-2013, 2013, pág. 1)

El miércoles 22 de octubre de 2014 se publico en el Diario Oficial de la Federación la **NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación.**

Ya que la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDG-1996, Plantas de almacenamiento para Gas L.P. Diseño y construcción, la cual se encontraba vigente, no establece las diferencias técnicas entre los diferentes tipos de plantas que almacenan Gas L.P. de acuerdo con su actividad: depósito, suministro o distribución, ni los criterios para el mantenimiento de las instalaciones en uso.

Que el Reglamento de Gas Licuado de Petróleo publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de diciembre de 2007, define a las plantas de distribución como las instalaciones que cuentan con la infraestructura necesaria para prestar el servicio de distribución, es decir, la recepción de Gas L.P. para su posterior traslado, conducción, entrega o venta a adquirentes y usuarios finales, actividades que se llevarán a cabo

EVOLUCIÓN DE LAS NORMAS DE GAS L.P. EN MÉXICO

con apego a las normas oficiales mexicanas y demás disposiciones aplicables en la materia.

Que las características técnicas de las plantas de distribución de Gas L.P. son diferentes a las requeridas en las plantas o sistemas de depósito y suministro de dicho hidrocarburo, por lo que se hace indispensable contar con la norma oficial mexicana específica para las plantas de distribución de Gas L.P., actualizando las consideraciones técnicas mínimas de seguridad, respecto a su diseño, construcción y mantenimiento, reemplazando la normatividad vigente.

Que con fecha 15 de octubre de 2013, en cumplimiento del acuerdo del Comité Consultivo Nacional de Normalización en Materia de Hidrocarburos y lo previsto en el artículo 47, fracción I, de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se publicó en el Diario Oficial de la Federación, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-001-SESH-2013, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación, a efecto de que, dentro de los siguientes 60 días naturales posteriores a dicha publicación, los interesados presentarán sus comentarios al Comité Consultivo Nacional de Normalización en Materia de Hidrocarburos.

Que la Norma Oficial Mexicana NOM-015-SECRE-2013, Diseño, construcción, seguridad, operación y mantenimiento de sistemas de almacenamiento de gas licuado de petróleo mediante planta de depósito o planta de suministro que se encuentran directamente vinculados a los sistemas de transporte o distribución por ducto de gas licuado de petróleo, o que forman parte integral de las terminales terrestres o marítimas de importación de dicho producto, fue publicada en el Diario Oficial de la Federación, el 12 de diciembre de 2013. Las especificaciones técnicas de esta última Norma Oficial Mexicana se relacionan, en lo general, con las actividades de depósito y suministro de Gas L.P., no así con la distribución.

Que en su Segunda Sesión Ordinaria del Ejercicio 2014, celebrada el 26 de junio de 2014, el Comité Consultivo Nacional de Normalización en Materia de Hidrocarburos, aprobó la Respuesta a los comentarios recibidos respecto del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-001-SESH-2013, Plantas de distribución de Gas L.P.

EVOLUCIÓN DE LAS NORMAS DE GAS L.P. EN MÉXICO

Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación, siendo publicada el 14 de agosto de 2014 en el Diario Oficial de la Federación.

Que la presente Norma Oficial Mexicana fue aprobada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización en Materia de Hidrocarburos, en su Segunda Sesión Ordinaria del Ejercicio 2014, celebrada el 26 de junio de 2014.

Por lo expuesto y fundado, habiendo dado cumplimiento al procedimiento que señalan los artículos 44, 45, 47 y demás relativos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización se realizó la publicación. (NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación., 2014, pág. 16)

2.- El gas licuado de Petróleo.

2.1.- Definición del gas licuado de Petróleo.

la Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos, define al gas licuado de Petróleo (gas L.P.). como petrolífero obtenido de los procesos de la refinación del petróleo y de las plantas procesadoras de gas natural, compuesto principalmente de gas propano y butano que cumple con las especificaciones de la Tabla 1. (NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos., 2016, pág. 67)

Petrolíferos: Productos que se obtienen de la refinación del Petróleo o del procesamiento del Gas Natural y que derivan directamente de Hidrocarburos, tales como gasolinas, diésel, querosenos, combustóleo y Gas Licuado de Petróleo, entre otros, distintos de los Petroquímicos. (NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos., 2016, pág. 69)

La NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SESH-2014, define al gas L.P. como combustible compuesto primordialmente por butano y propano. (NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación., 2014, pág. 19)

2.2.- Obtención del gas licuado de Petróleo.

La fuente principal de obtención de los hidrocarburos es el petróleo, por lo que la obtención de gas LP está íntimamente relacionada con la obtención y el beneficio del petróleo. El combustible que nos ocupa puede obtenerse por dos grandes grupos de métodos, los de separación y los de síntesis. Los primeros se refieren a la recuperación de las porciones de hidrocarburos licuables asociados con la extracción del petróleo o del gas natural o con su tratamiento primario. Los segundos logran la obtención de gas L.P. como producto principal o subproductos de la petroquímica y refinación reactiva del petróleo.

A grandes rasgos, los métodos de separación consisten en que el petróleo crudo y el gas natural, tal como salen de los pozos, contiene un porcentaje de gases licuables

GAS LICUADO DE PETROLEO.

que se separan de la corriente principal por medio de separación física de la porción líquida gaseosa. Así, después de la eliminación de las impurezas indeseables (tales como agua, bióxido de carbono, sal, etc.), y del proceso de endulzado (eliminación de compuestos azufrados), del petróleo crudo se separan los gases del gas natural se separan los condensables. De la purificación de las corrientes gaseosa, formadas principalmente por metano y etano, se recuperan como subproductos algunos componentes del gas LP, que se almacenan. Las corrientes líquidas, o sea el petróleo endulzado, se someten a la destilación fraccionada que separa los diferentes cortes aprovechables, tales como gasolinas aceites, etc., uno de los cuales es el de los gases licuables. Este se reúne con los licuables provenientes de la purificación del gas natural y se ajustan sus características (adorización, etc.) a la norma para su distribución.

Los métodos de síntesis surgen como una respuesta a la demanda creciente de gases licuables y otros productos de mayor valor comercial, y consisten en métodos petroquímicos que parten de cortés obtenidos de la destilación fraccionada tales como naftas pasadas, aceite ligero o aceites pesados que se hacen reaccionar por diferentes métodos térmicos (por ejemplo pirólisis de aceite o asfaltos) o catalíticos (tales como el llamado visbreaking o el proceso Merol, entre otros) para obtener cortes más ligeros, entre los cuales se encuentran los gases licuables. Estos métodos por ser procesos desarrollados por empresas petroquímicas privadas tienden a ser caros tanto en el costo de transferencia de tecnología como en la construcción y operación de las plantas sobre todo por los catalizadores es paralizados que emplean) Las eficiencias de conversión a gases licuados de Petróleo normalmente no sobrepasan el 50%. (Mabarak, 1995)

2.3.- Características del gas licuado de Petróleo.

No tiene olor, ni color. Para distinguir su presencia se ha optado por odorizarlo con mercaptano que es la sustancia que le da el olor característico, asume los tres estados físicos de la materia; sólido, líquido y gaseoso. Este gas tiene la particularidad de que si a temperatura ambiente se somete a presiones mayores que la presión atmosférica,

GAS LICUADO DE PETROLEO.

se condensa y se vuelve líquido, permitiendo así, su fácil transportación, almacenamiento y uso. (Gomez, 2009, pág. 28)

2.3.1.- Especificaciones del gas licuado de Petróleo.

Tabla 1

Especificaciones del gas licuado de Petróleo (1)

Propiedad	Unidad	Método de Prueba	Valor límite	
			Resto del País	ZMVM y las ciudades de Puebla, Toluca, Querétaro y Monterrey
Presión de vapor en exceso a la atmosférica a 37.8 °C	kPa (lb/pulg ²)	Presión de vapor de gases licuados de petróleo (Método gas-LP, ASTM D1267) Cálculo de propiedades físicas del gas LP mediante análisis de composición (ASTMD2598)	688 (100.0) mínimo 1379 (200.0) máximo	896 (130.0) mínimo 1379 (200.0) máximo
Temperatura máxima de destilación del 95 %	°C	Volatilidad de gases licuados de petróleo (LP) (ASTM D1837)	2.0	2.0
Composición (2) : Etano Propano n-butano + iso-butano Pentano y más pesados Olefinas totales	% vol.	Análisis de gases licuados de petróleo (LP) y concentrados de propano por cromatografía de gases (ASTM D2163)	2.50 máximo 60.00 mínimo 40.00 máximo 2.00 máximo 2.00 máximo Informar	2.50 máximo 60.00 mínimo 40.00 máximo 2.00 máximo 2 máximo
Residuo de la evaporación de 100 mL	mL	Residuos en gases licuados de petróleo (ASTM D2158)	0.05 máximo	0.05 máximo
Densidad relativa a 15.6 °C	Adimensional	Densidad o densidad relativa de hidrocarburos ligeros por termohidrómetro de presión (ASTM D1657) Cálculo de propiedades físicas del gas LP mediante análisis de composición (ASTMD2598)	informar	0.504 a 0.540
Corrosión de placa de cobre, 1 hora a 37.8 °C	Adimensional	Corrosión de cobre por gases licuados de petróleo (LP) (ASTM D1838)	Estándar no. 1 máximo	Estándar no. 1 máximo

GAS LICUADO DE PETROLEO.

Azufre total ⁽¹⁾	ppm (en peso)	Azufre total en combustibles gaseosos por hidrogenólisis y colorimetría con medidor de relaciones (logómetro) (ASTM D4468).	140 máximo	140 máximo
Agua libre	Adimensional	Visual	Nada	Nada

Nota. OBLIGACIONES ADICIONALES:

- (1) El gas L.P., por razones de seguridad, deberá ser odorizado conforme a lo establecido en las Normas aplicables, por ejemplo, National Fire Protection Association, NFPA 58 LP-Gas Code.
- (2) El gas L.P. importado mediante el Sistema de transporte por medio de ductos Hobbs-Méndez, podrá presentar un contenido máximo de etano de 5 % vol., siempre y cuando la presión de vapor en exceso a la atmosférica a una temperatura de 37.8 °C no exceda de 1379 kPa (200 lb/pulg²). Tomado de la NOM-016-CRE-2016. (NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos., 2016, pág. 85)

3.- Normas aplicables al Análisis Estructural de Plantas de Gas L.P.

Como ya hemos visto, las normas en materia de gas L.P., han ido evolucionando para acoplarse desde el conocimiento básico a las normas de seguridad internacionales. Los cambios desde la NOM-EM-001-SCFI-1994, la NOM-001-SEDG-1996, el PROY-NOM-015-SECRE-2012, la NOM-015-SECRE-2013 hasta la actual NOM-001-SESH 2014 así parecen indicarlo. También las normas de análisis y diseño de las distintas áreas de la ingeniería se han venido actualizando con base a la experiencia obtenida del comportamiento de las instalaciones y edificaciones sometidas a condiciones de trabajo e incluso a eventos extraordinarios. El Gobierno de Ciudad de México (CDMX) con motivo del sismo de noviembre del 2017, emitió Nuevas Normas Técnicas (NTC) que reunían información basada en líneas de investigación generadas desde el sismo de 1985 que afectó grandemente las edificaciones. Algunas de estas normas de CDMX se actualizaron en el 2020.

No obstante que el diseño de los elementos estructurales para resistir los eventos extraordinarios, incluso fuera de su rango elástico, en CDMX se actualizó y sus metodologías resultan de aplicación un tanto genérica para el resto de la República Mexicana, especialmente en edificaciones. El análisis de las fuerzas sísmicas y de viento solo se circunscribe a la CDMX sin abarcar el Estado de México. Por tal razón, en materia de diseño estructural de estructuras industriales no existe normativa específica, por lo que el análisis de las planta de gas L.P., se apoyan para la realización de sus proyectos en el Manual de Obras Civiles de Comisión Federal de Electricidad (CFE), en su capítulo de Diseño Sísmico 2015 (MOC-CFE-DS-2015), el cual recibió su última actualización en el 2015 y el capítulo de Diseño por Viento de CFE que fue actualizado en el 2008 por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (ahora Instituto de Investigaciones Eléctricas y de Energías Limpias).

Tanto el manual de diseño sísmico, como el manual de diseño por viento de CFE, recopilan información regional de distintas ubicaciones en que se encuentran sus plantas y estaciones eléctricas, Manual que aun siendo de uso en proyectos de la paraestatal no tiene calidad de norma, pero es idóneo para solventar la falta de parámetros de sitio en las distintas localidades en que se proyecta y es referido en las NTC de CDMX para el análisis y diseño de elementos estructurales propios de las instalaciones industriales.

NORMAS APLICABLES AL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTAS DE GAS L.P.

Sin embargo, la existencia de este manual de CFE, no eximen la necesidad de estudios específicos locales como la mecánica de suelos y la recolección de datos de estaciones meteorológicas cercanas como las de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, BC (CICESE), así como otras de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), Administración Portuaria Integral (API), Secretaría de la Defensa (SEDENA), Etc. Y de estaciones sismológicas o acelerográficas del Servicio Sismológico Nacional (SSN) y el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México (II UNAM) y el Instituto de Geología y Geofísica de la UNAM.

Los proyectos de plantas de gas L.P. deben cumplir con los siguientes puntos establecidos en la NOM-001-SESH 2014 y que a continuación se transcriben:

1. Memoria técnico descriptiva del proyecto Civil,
2. Memoria técnico descriptiva del proyecto Mecánico,
3. Memoria técnico descriptiva del proyecto Eléctrico,
4. Memoria técnico descriptiva del proyecto del Sistema Contra incendio y,
5. Planos

El contenido de la memoria del proyecto civil y del sistema contra incendios, son las partes que trataremos en este trabajo, en el caso del sistema contra incendio, nos enfocaremos en la cisterna como parte de las competencias del diseño sísmico.

Las memorias técnico descriptivas y los planos deben llevar: nombre completo y firma autógrafa del proyectista en todas y cada una de las páginas que la integren, su número de cédula profesional correspondiente a estudios de licenciatura relacionados con la materia de los proyectos mencionados; así como el nombre y firma del propietario o su representante legal y datos del registro de la unidad de verificación correspondiente.

La memoria técnico descriptiva del proyecto: Civil, Urbanización y Sistema Contra incendio debe contener una descripción general, los datos usados como base para cada especialidad, los cálculos y la mención de las normas, reglamentos y/o referencias empleados.

Proyecto civil.

NORMAS APLICABLES AL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTAS DE GAS L.P.

Elementos mínimos del proyecto:

- a) Dimensiones y orientación del predio de la planta de distribución.
- b) Características de todas las construcciones, indicando materiales empleados o a emplearse.
- c) Descripción y cálculo estructural de las bases de sustentación de los recipientes de almacenamiento.
- d) Descripción constructiva del muelle de llenado, en su caso.
- e) Descripción de los materiales de la zona de venta al público de Gas L.P., en recipientes transportables, en su caso.
- f) Descripción de los materiales de las áreas de circulación interior.
- g) Las distancias mínimas indicadas en la norma NOM-001-SESH 2014 entre los diferentes elementos de la planta de distribución (+/- 2% de tolerancia). (NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación., 2014, pág. 23)

Urbanización.

- a) El terreno de la planta de distribución debe tener las pendientes y los sistemas para desalojo del agua pluvial que eviten su inundación. Las zonas de circulación y los estacionamientos de los auto-tanques y vehículos de reparto deben tener como mínimo una terminación superficial consolidada.
- b) Las zonas de circulación deben tener amplitud mínima de 3.5 m para que el movimiento de vehículos sea seguro.

Sistema Contra incendio.

- a) Cálculo hidráulico del sistema de agua contra incendio.
- b) Descripción detallada del sistema de agua contra incendio, indicando las características de los equipos, tuberías, accesorios y materiales empleados.
- c) Indicar la capacidad de la cisterna o tanque de agua.
- d) Indicar la ubicación, cantidad y características de los extintores. (NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación., 2014, pág. 24)

3.1.- Proyecto de las bases de sustentación.

Si bien la norma se enfoca principalmente en el análisis y diseño de las bases de sustentación del tanque o tanques de la planta, el resto de las estructuras no dejan de ser importantes y requieren así mismo contar con el adecuado análisis estructural de acuerdo a las condiciones de sitio. Dentro de las indicaciones que la norma exige para las bases de sustentación tenemos:

Bases de sustentación de los recipientes de almacenamiento.

- Deben diseñarse de conformidad con un estudio de mecánica de suelos o considerar un valor de 5 ton/m². Para su cálculo, como mínimo, debe considerarse que el recipiente de almacenamiento se encuentra lleno con un fluido cuya densidad sea de 0.6 kg/L.
- Deben permitir los movimientos de dilatación y contracción del recipiente de almacenamiento.
- Cuando el recipiente de almacenamiento cuente con silletas metálicas, éstas deberán sujetarse a la base mediante unión atornillada y los agujeros deben ser ovalados o circulares holgados, o contar con la sujeción necesaria que amortigüen los movimientos sísmicos y permita la dilatación y contracción del recipiente de almacenamiento.
- Las silletas deben ser instaladas de fábrica; se prohíbe instalar éstas a recipientes de almacenamiento que no cuenten con ellas.
- A los recipientes de almacenamiento que, conforme a su fabricación no cuenten con placa de apoyo, se les debe adaptar una en cada base donde se vayan a sustentar.
- Los recipientes de almacenamiento diseñados para ser colocados sobre bases de sustentación tipo cuna deben quedar colocados en la parte de la placa de apoyo; a aquéllos en los que las placas originales no coincidan con las bases, se les debe adaptar una en el sitio donde se vayan a sustentar.

La placa de apoyo debe:

- a) Cubrir un ángulo no menor a 120°.
- b) Tener un espesor mínimo de 6.35 mm.

NORMAS APLICABLES AL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTAS DE GAS L.P.

- c) Estar soldada al recipiente de almacenamiento, en todo su perímetro, por arco eléctrico, y su cara interior y la del recipiente se deben cubrir, mínimo, con un primario anticorrosivo.
- d) Quedar su superficie completamente sobre la base de sustentación. (NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación., 2014, pág. 24 a 25)

Tabla 2

Distancias mínimas entre elementos

Las plantas de distribución deben cumplir con las siguientes distancias mínimas de la tangente del recipiente de almacenamiento más cercano a:

Elemento	Distancia
Límite del predio de la planta de distribución	15 m
Espuela de ferrocarril, riel más próximo	15 m
Llenaderas de recipientes transportables	6 m
Plataforma del muelle de llenado	5 m
Lindero de la zona de revisión de recipientes transportables	5 m
Zona de venta al público	15 m
Oficinas, bodegas, cuarto de servicio o caseta de vigilancia	15 m
Otro recipiente de almacenamiento de Gas L.P., ubicado en el interior de la planta de distribución	1.5 m o 1/4 de la suma de los diámetros de ambos tanques, lo que resulte mayor
Piso terminado	1.5 m
Planta generadora de energía eléctrica	25 m
Talleres, incluyendo los de equipos de carburación a Gas L.P.	25 m
Zona de almacenamiento interno de diésel	25 m
Boca de toma de carga y descarga de diésel	15 m
Boca de toma de carburación de autoconsumo	5 m
Boca de toma de recepción de carro-tanque de ferrocarril	12 m
Boca de toma de recepción y suministro	5 m

NORMAS APLICABLES AL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTAS DE GAS L.P.

Vegetación de ornato	15 m
Cara exterior del medio de protección a los recipientes de almacenamiento	2 m
Fuente de calor del sistema de sellado que no es adecuada para áreas clasificadas Clase 1, División 1	12 m
Calentadores de agua a fuego directo colocados fuera de construcciones, en muros que den hacia la planta de distribución	25 m
A construcciones en cuyo interior existan estufas, calentadores de agua o parrillas eléctricas o a fuego directo	15 m
El cajón de estacionamiento para vehículos distintos de los de reparto, auto-tanques o semirremolques	10 m

Tomado de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SESH-2014 (NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación., 2014, pág. 15 a 16)

Tabla 3

Distancias mínimas externas de las tangentes de los recipientes de almacenamiento.

Las distancias mínimas entre elementos externos a la planta de distribución y la tangente de sus recipientes de almacenamiento deben ser las siguientes:

Elemento	Distancia
a) Almacén de combustible externo	100 m
b) Almacén de explosivos	100 m
c) Casa habitación	100 m
d) Escuela	100 m
e) Hospital	100 m
f) Iglesia	100 m
g) Lugar de reunión	100 m
h) Recipientes de almacenamiento de otras plantas de distribución, depósito o suministro propiedad de terceros	30 m

NORMAS APLICABLES AL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTAS DE GAS L.P.

- i) Recipientes de almacenamiento de una estación de Gas 15 m
L.P., para carburación

Tomado de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SESH-2014 (NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación., 2014, pág. 17)

Como puede notarse, estos requisitos son muy básicos, si bien se le da importancia al diseño de las bases de sustentación, no se determina ninguna metodología, por ello también recurriremos a la norma NOM-015-SECRE-2013, de la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2013) de manera supletoria a fin de dar cumplimiento a los pormenores de seguridad del diseño estructural, por lo que, a continuación se transcribe los requisitos que se deben cumplir.

Sistema civil

Se debe contar con cimentaciones y soportes para recipientes a presión y tuberías relacionadas. Dichas estructuras deben fabricarse de uno o de una combinación de los materiales siguientes:

- a) Mampostería reforzada.
- b) Concreto reforzado.
- c) Placa de acero, tuberías o perfiles estructurales.

Cimentación de recipientes

- 1) El diseño de la cimentación debe basarse en información sobre la capacidad de carga y propiedades de asentamiento del suelo.
- 2) La cimentación deben diseñarse para limitar el asentamiento del tanque de almacenamiento y evitar tensiones excesivas tanto en el tanque como en las tuberías conectadas.
- 3) Las cargas a considerar sobre la estructura de soporte son:
 - a) Cargas Estáticas durante la construcción, más viento, hielo y cargas de nieve previstas.
 - b) Cargas Estáticas durante las pruebas con agua, más las cargas correspondientes a viento, hielo y de nieve.

NORMAS APLICABLES AL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTAS DE GAS L.P.

- c) Cargas Estáticas durante la operación (incluyendo la carga que resulte de la aplicación de la protección contra incendios) más las combinaciones de viento, hielo, nieve y cargas por sismo que resulten aplicables.
- d) Cargas resultantes de la expansión y contracción del tanque de almacenamiento debido a la presión interna y a los cambios de temperatura.
- e) Cargas resultantes del asentamiento diferencial a lo largo de las estructuras y cimentaciones de soporte.
- f) Cargas Estáticas y dinámicas durante el mantenimiento y las operaciones.
- g) Cargas ocasionadas por oleaje del líquido dentro del recipiente a presión (en zonas sísmicas). (NOM-015-SECRE-2013, 2013, pág. 17 a 18)

3.2.- Proyecto del sistema contra incendio

Aun cuando el alcance de este trabajo se enfoca al diseño por sismo, el dimensionamiento de algunos elementos estructurales está ligado al funcionamiento de otros sistemas, tal es el caso del sistema contra incendios, cuya operación normativa nos servirá de referencia para dimensionar la cisterna.

Requisitos generales

- La planta de distribución debe contar con extintores, un sistema de enfriamiento por aspersión de agua sobre todos los recipientes de almacenamiento, y un sistema de hidrantes y/o monitores.
- La activación de las bombas de alimentación a los sistemas de agua contra incendio se podrá efectuar por operación manual o automática.
- Los controles de arranque manual de los sistemas de agua contra incendio se deben instalar en el o los lugares estratégicos que determine la (el) proyectista, debidamente señalizados.

Cisterna o tanque de agua

- Los sistemas de agua contra incendio pueden ser alimentados desde una cisterna o un tanque de agua y deben ser para uso exclusivo de estos sistemas.
- La capacidad mínima de la cisterna o tanque de agua debe ser la que resulte de sumar 21,000 L a la requerida de acuerdo al cálculo hidráulico para la operación del sistema de

NORMAS APLICABLES AL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTAS DE GAS L.P.

enfriamiento durante 30 min, tomando como base el recipiente de almacenamiento de mayor superficie en la planta de distribución, calculada de acuerdo al cálculo de la superficie mínima a cubrir por aspersión (S_m).

- El agua almacenada debe representar cuando menos el 95% de la capacidad mínima calculada de la cisterna o tanque.

Equipos de bombeo

- El equipo de bombeo contra incendio debe estar compuesto por una bomba principal y, como mínimo por una de respaldo.
- Es aceptable cualquiera de las siguientes combinaciones:

Tabla 4

Combinaciones de Equipos de bombe del sistema contra incendios.

Principal	Respaldo
Motor eléctrico	Motor de combustión interna
Motor eléctrico	Motor eléctrico (siempre que se cuente con planta de distribución de generación de energía eléctrica). La planta de generación puede abastecer más de un servicio siempre que tenga la capacidad de generación para alimentar simultáneamente los servicios que abastece
Motor de combustión interna	Motor de combustión interna

Tomado de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SESH-2014 (NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación., 2014, pág. 43)

Es admisible el uso del mismo equipo de bombeo para abastecer simultáneamente tanto al sistema de hidrantes y monitores, como al de enfriamiento por aspersión de agua. En este caso, el sistema se debe diseñar tomando en cuenta que simultáneamente funciona el sistema de aspersión del recipiente de almacenamiento de mayor área y los dos hidrantes o dos

NORMAS APLICABLES AL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTAS DE GAS L.P.

monitores hidráulicamente más desfavorables de acuerdo a los caudales y presiones mínimas que a cada uno normativamente le corresponden y que se enuncian adelante.

Caudal y presión de bombeo mínimos.

El caudal y presión de bombeo mínimos de cada uno de los equipos debe de estar de acuerdo a los requisitos del sistema de agua contra incendio que abastecen; dichos requisitos deben ser calculados siguiendo los criterios que a continuación se indican:

Caudal mínimo de bombeo del equipo principal y de respaldo

- Para el sistema de hidrantes: 700 L/min.
- Para el sistema de monitores de 38 mm (1.5"): 950 L/min.
- Para el sistema de monitores de 63.5 mm (2.5"): 1 900 L/min.

Para el sistema de enfriamiento por aspersión de agua: Es el requerido según el cálculo hidráulico para que se cubra con aspersión directa el área mínima calculada para aspersión (S_m), la cual es establecida usando como base el recipiente de almacenamiento de la planta de distribución que presente la mayor superficie, considerando que por la boquilla hidráulicamente más desfavorable se debe emitir el caudal necesario para aplicar 10 L de agua por minuto a cada metro cuadrado de la superficie del recipiente de almacenamiento cubierto por el cono de agua que hacia él se proyecte desde dicha boquilla.

Presión mínima de bombeo

La presión mínima de bombeo debe ser la requerida según el cálculo para que, en la descarga del elemento hidráulicamente más desfavorable, se tenga una presión manométrica mínima de:

- Hidrantes: 0.2942 MPa (3 kgf/cm²).
- Monitores: 0.4903 MPa (5 kgf/cm²).

Sistema de enfriamiento por aspersión de agua

Debe ser la requerida según cálculo para que, en la boquilla hidráulicamente más desfavorable, se alcancen las condiciones mínimas de caudal de 10 lpm; asimismo, debe establecerse de acuerdo con el coeficiente de descarga de la boquilla utilizada y, para el caso de la hidráulicamente más desfavorable, no debe ser menor a 0.1471 MPa (1.5 kgf/cm²).

NORMAS APLICABLES AL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTAS DE GAS L.P.

Cuando el sistema de bombeo alimente tanto al sistema de hidrantes y/o monitores como al sistema de enfriamiento por aspersión de agua, la presión mínima debe ser la que resulte al calcular el sistema considerando el caudal total conducido.

Hidrantes y monitores

Los hidrantes deben contar con, al menos, una manguera de longitud máxima de 30 m, diámetro nominal mínimo de 38 mm (1.5”) y las mangueras equipadas con boquilla reguladora que permita surtir neblina.

Los monitores estacionarios deben ser tipo corazón o similar, de una o dos cremalleras.

Este sistema debe cubrir el 100% de las áreas de almacenamiento, trasiego y estacionamiento de auto-tanques y vehículos de reparto.

Para establecer el cumplimiento del párrafo anterior, las áreas mencionadas deben quedar dentro del radio de cobertura de los hidrantes o monitores.

Sistema de enfriamiento por aspersión de agua

Aspersores

El agua descargada por los aspersores debe rociar directamente cuando menos el 90% de la superficie por encima del ecuador del recipiente de almacenamiento que corresponda.

Para establecer dicha cobertura, los círculos proyectados por el agua de las boquillas de aspersión sobre el recipiente de almacenamiento deben tocarse cuando menos en un punto.

El área correspondiente a la superficie mínima a cubrir con la aspersión directa debe calcularse usando la siguiente expresión:

$$S_m = 0.9 \pi D L_t / 2$$

Dónde:

S_m = Superficie mínima a cubrir con aspersión directa [m^2],

D = Diámetro exterior del recipiente de almacenamiento [m],

L_t = Longitud total del recipiente de almacenamiento incluyendo los casquetes [m].

(NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación., 2014, pág. 43 a 44)

4.- Diseño Sísmico

Los elementos de obra civil cuya exposición a los efectos dinámicos de los sismos resultan en un incremento crítico del riesgo en una planta de gas L.P. son las bases de sustentación de los tanques de almacenamiento de gas y la cisterna del sistema contra incendio, y de manera secundaria las estructuras de oficinas administrativas de la planta, el taller y la zona de envasado. No obstante la norma NOM-001-SESH 2014, tan solo exige el diseño de las bases de sustentación dejando libertad para referirse a cualquier código de diseño o reglamento de construcción aplicable a la localidad en la que se desarrolle la obra, esto debido a que los municipios de la República Mexicana, tienen libertad de emitir sus propios códigos y reglamentaciones para la construcción de obras.

En México son pocos los municipios que cuentan con reglamentos de construcción y muchos menos aun los que poseen estudios sismológicos y zonificación sísmica con parámetros de diseño. La Comisión Federal de Electricidad (CFE), a través del Instituto Nacional Electricidad y Energías Limpias (INEEL) ha desarrollado reglamentos y manuales de análisis y diseño, que consideran mapas de peligro sísmico y eólico a nivel nacional, y que se enfocan principalmente en el diseño de infraestructura industrial como es nuestro caso, por lo que a la carencia de información regional y de sitio en cuanto a sismos, la referencia obligada es el Manual de Obras Civiles de la CFE (MOC-CFE) y en su caso las Normas Técnicas Complementarias de Ciudad de México (CDMX) cuya constante investigación de las condiciones adversas existentes en la ciudad han llevado a crear códigos de diseño de vanguardia.

El Manual de Obras Civiles provee los lineamientos de diseño de todas las obras de ingeniería civil, y lo hace incorporando los avances tecnológicos y la experiencia técnica acumulada por la ingeniería mexicana desde 1969, año en que se editó la primera versión de este capítulo (CFE/INEEL, 2015)

Para la determinación de los parámetros sísmicos, el MOC-CFE toma en consideración el hecho de que la República Mexicana está ubicada en la confluencia de varias placas tectónicas, que originan continuamente sismos de magnitud importante que afectan a todas las construcciones que se ubican en la proximidad de los epicentros, incluso aquellos a cientos de kilómetros de distancia de ellos. Para que las Estructuras resistan adecuadamente

DISEÑO SÍSMICO

los efectos de los sismos, es indispensable realizar un diseño racional de ellas, considerando todas las fuentes sísmicas que pueden dar origen a sismos fuertes, la distancia a la que se ubican, el tipo de estructura, su importancia y materiales empleados, y las condiciones locales del suelo en que se cimientan.

El capítulo de Diseño por Sismo incorpora los criterios más modernos (a decir del mismo INEEL) para tomar en cuenta en el diseño las características particulares de cada tipo de estructuración, su amortiguamiento, ductilidad y adicionalmente los periodos de retorno.

4.1.- Espectros de diseño sísmico

Los espectros de diseño sísmicos son envolventes derivados del análisis de la dinámica estructural utilizados para determinar las frecuencias con que responden las estructuras de acuerdo a modelos de péndulos de un grado de libertad ante diferentes excitaciones sísmicas recopilados de acelerogramas de sismos reales y sintéticos afectados por leyes de atenuación debidos a la distancia y la probabilidad de ocurrencia.

Los sismos más comunes en México y los de mayor intensidad ($M > 7$) son los sismos de subducción, originados por la penetración de las placas tectónicas del pacifico mexicano, bajo la placa norteamericana. Estos sismos se generan principalmente dentro de la franja de convergencia de las placas (interplaca), no obstante hay regiones generadoras de sismos intraplaca debido a fallamientos normales de la placa subducida y corticales no asociados a placas tectónicas, estos últimos normalmente de magnitudes menores ($M < 7$) pero no por ello menos letales debido a su poca profundidad.

Regiones como Chiapas y California, presentan sismos superficiales y transcurrentes originados por el corrimiento lateral de las placas, como la falla de Motagua-Polochic y la de San Andrés.

Estas regiones generadoras de sismos son denominadas comúnmente regiones sismogénicas y diversos investigadores han tratado de definir límites geográficos basados en el origen de los sismos (interplaca, intraplaca, corticales o transcurrentes), la profundidad media de los mismos y sus parámetros estadísticos que miden la recurrencia de los mismos apoyados en reglas como la de Gutenberg-Richter, Gutenberg-Richter modificada y Sismo Característico. El INEEL posee un catálogo de las regiones sismogénicas con parámetros estadísticos estimados con métodos bayesianos de recurrencia actualizados continuamente en base a la

DISEÑO SÍSMICO

información generada por el Sismológico Nacional, el Instituto de Ingeniería de la UNAM y otras instituciones como Protección Civil y CENAPRED, así como la estimación experta de magnitudes sísmicas máximas que pueden generarse en cada fuente.

Una vez determinada la tasa de incidencia ligada a la sismicidad de cada región sismogénica, se hace necesario determinar los efectos que un sismo de cada región causan sobre un punto específico de la geografía nacional, las ecuaciones que relacionan la magnitud de los sismos y la distancia al sitio de interés con la intensidad se les denomina leyes de atenuación.

Las leyes de atenuación están relacionadas con cada región sísmica y las características geológicas de las trayectorias que recorren. El INEEL utiliza las leyes propuestas por Arroyo et al (2010) para temblores interplaca en la costa sur del Pacífico; para sismos de profundidad intermedia emplea la ley de atenuación propuesta por Zhao et al (2006) y la leyes de Abrahamson y Silva (1997) para temblores superficiales.

Con estas leyes se estima la magnitud del manto rocoso subyacente al sitio de interés y se propaga el movimiento a la superficie considerando el tipo de suelo que sobreyace al manto de roca. Suele suponerse que la intensidad de la aceleración (S_a) es una variable aleatoria de distribución lognormal, con mediana dada por la ley de atenuación y desviación estándar igual al logaritmo natural de dicha mediana.

La relación entre la aceleración máxima de un sismo y la magnitud espectral en roca, determina el factor de respuesta en roca del punto de interés (F_{res}), en tanto que la relación entre la aceleración en roca y la aceleración en la superficie del suelo de desplante corresponde al factor de sitio (F_{sit}), mencionado en el Manual de Obras Civiles de CFE.

La estimación de la propagación de la onda sísmica se realiza mediante la evaluación de la velocidad de las ondas de corte en cada estrato mediante diferentes métodos de campo, por ejemplo el “Cross-Hole”, “Down-Hole” y aun estudios de vibración ambiental, ligada a los de mecánica de suelos.

Una vez evaluado los efectos en el punto de interés de las diferentes fuentes sísmicas el peligro sísmico, que determina la aceleración que no será superada para un tiempo de retorno determinado y cada periodo de vibración, se evalúa en función de la

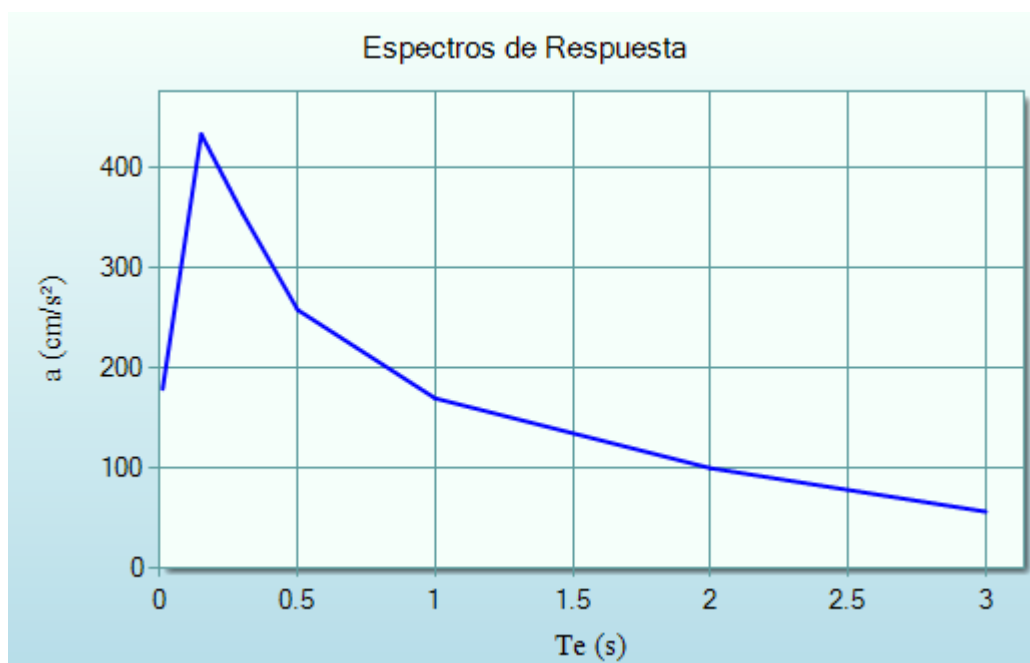
DISEÑO SÍSMICO

probabilidad de ocurrencia de cada fuente y con esta base se construye el espectro.
(CFE/INEEL, 2015)

Este cálculo es muy laborioso, por ello el INEEL, desarrollo un software, el Programa de Diseño Sísmico (PRODISIS), que permite estimar el espectro regional transparente con el 5% de amortiguamiento y los espectros elásticos e inelásticos para periodos de retorno basados en el peligro sísmico y retornos de tiempo específico particularmente para estructuras de importancia secundaria, o bien la aplicación del procedimiento en la evaluación de espectros de sitio para estructuras estratégicas.

Figura 1

Espectro de Respuesta en Roca (Ensenada).



Nota. El grafico representa el espectro en roca generado por un análisis de peligro sísmico.
Tomado del Programa de Diseño Sísmico (PRODISIS) versión 4.1.

Espectros de diseño inelásticos

Las estructuras sometidas a una carga sísmica son capaces de resistir debido a la sobre-resistencia de los elementos estructurales inducida en el diseño e intrínsecas a los materiales y su fabricación, a la re-distribución de esfuerzos a través de la hiperestaticidad y a las redundancias estructurales, magnitudes de carga y desplazamientos mayores a su capacidad dentro del rango elástico. Estas capacidades suelen repercutirse en los espectros

DISEÑO SÍSMICO

disminuyendo la magnitud de las aceleraciones, con la finalidad que la diferencia entre la magnitud del espectro y la real, sea solventada por el comportamiento inelástico de la estructura.

FACTOR REDUCTOR POR DUCTILIDAD. El factor reductor por ductilidad $Q' \{T_e, Q\}$ permite tomar en cuenta la capacidad de la estructura y sus elementos constitutivos de deformarse finitamente más allá de su límite elástico antes de la falla.

FACTOR REDUCTOR POR SOBRERRESISTENCIA. El factor reductor por sobrerresistencia $R \{T_e, R_o\}$ puede diferir en las dos direcciones ortogonales en que se analiza la estructura, según sean sus propiedades en cada dirección y tiene que ver con los factores reductores y de carga inducidos en el diseño estructural, así como las propiedades de los materiales empleados en construcción.

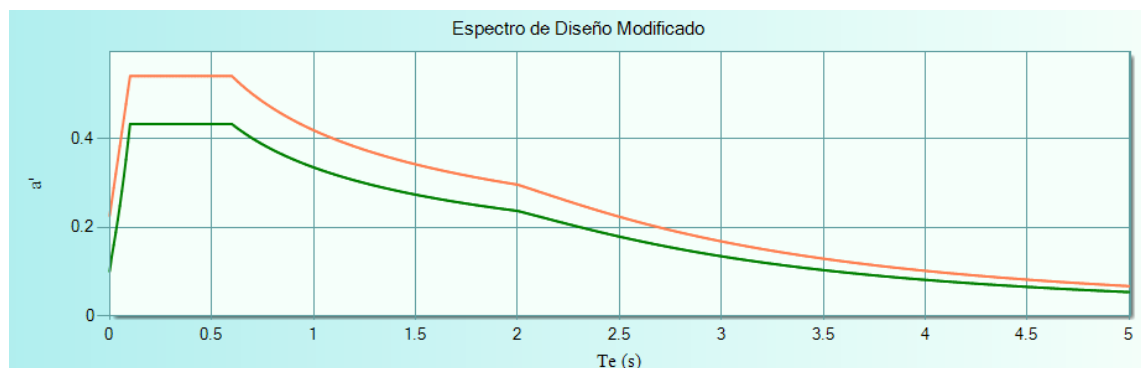
FACTOR REDUCTOR POR REDUNDANCIA. Está estrechamente relacionada con el grado de hiperstaticidad de la estructura en la dirección del análisis, por lo que varía de acuerdo al eje en que se aplique.

Estos factores afectarán a las ordenadas espectrales a fin de constituir el espectro sísmico inelástico.

En el caso de las edificaciones dentro de la planta, cuando se prefiera un método más refinado que el método simplificado (permitido por el Manual de CFE), se deberá determinar el nivel de regularidad de la estructura e castigar el espectro mediante un divisor denominado coeficiente de regularidad (α).

Figura 2

Espectro Inelástico terreno tipo I



Nota. El gráfico representa el espectro inelástico en suelo generado de acuerdo al modelo del MOC-CDS-CFE-2015. Tomado del Programa de Diseño Sísmico (PRODISIS) versión 4.1.

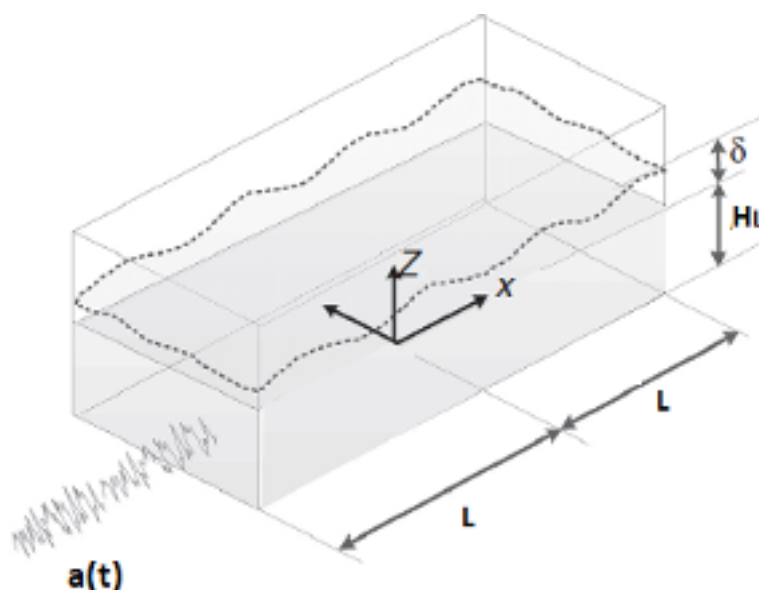
DISEÑO SÍSMICO

4.2.- Análisis de masas inerciales impulsivas y convectivas

Las bases de sustentación y la cisterna por su contenido líquido merecen una evaluación especial de los efectos de las masas móviles sobre los elementos estructurales portantes. En este sentido el Manual de Obras de CFE proporciona una metodología para evaluar el comportamiento de los líquidos en depósitos directamente sobre el suelo y montados sobre una estructura (ver ACI 350.3 y API STD 650).

Figura 3

Comportamiento de líquidos en tanques



Tomado de Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, Efecto del oleaje no lineal en tanques de almacenamiento sometidos a sismos intensos. (Hernández, H., Hernández, A., & Gálvez., 2015, pág. 200)

Factores de comportamiento sísmico y sobrerresistencia

El valor Q , que define la capacidad de disipar energía debido al comportamiento inelástico por ductilidad de los tanques elevados, adoptará valores de Q establecidos para estructuras tipo industrial III, es decir, estructuras que dan soporte a equipos industriales; en tanto que los tanques apoyados sobre el terreno, los valores de Q serán los que corresponden a un tipo industrial I, de baja altura.

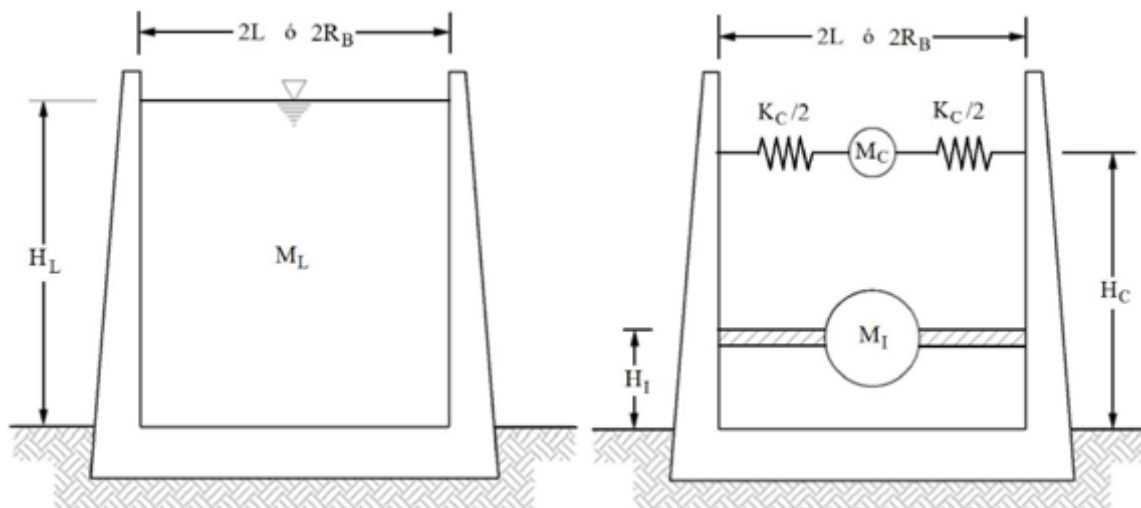
DISEÑO SÍSMICO

Para nuestro caso las estructuras de soporte, tanto de los tanque de almacenamiento del gas L.P., como los de la cisterna, están elaborados de concreto hidráulico reforzado cuyo valor de Q , para ambos casos es $Q=2$. En tanto que el valor de la sobre resistencia se usará $R_o=2$ debido a que este valor ha sido aceptable en los elementos de concreto reforzado de edificaciones y se emplean los mismos modelos y parámetros de diseño.

No se considera aporte por redundancia, aun en depósitos con separadores.

Figura 4

Efectos hidrodinámicos.



Nota. Modelo y nomenclatura. Tomado del Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE/INEEL, 2015, pág. 193).

De acuerdo a la metodología descrita en el Manual de Obras Civiles de CFE (2015), la ecuación de equilibrio dinámico del líquido se basa en suponer que el recipiente es rígido y el fluido incompresible y considerar las ondas superficiales mediante la condición de Poisson, esto da lugar a un número infinito de masas ligadas al recipiente mediante resortes lineales a diferentes alturas, asociadas a un modo natural de vibración del fluido y una masa adicional ligada al modo del cuerpo rígido del recipiente.

No obstante, de acuerdo a la participación de las masas impulsivas (M_I) y convectivas (M_C) a la respuesta total, se puede observar que el modo fundamental de vibración es el más importante, pudiéndose despreciar los modos superiores.

DISEÑO SÍSMICO

Las fórmulas requeridas para evaluar las masas impulsivas y convectivas son:

$$M_I = \tanh(1.73 L/H_L) M_L / (1.73 L/H_L)$$

$$M_C = \tanh(1.58 H_L/L) M_L / (1.89 H_L/L)$$

$$K_C = 3 g M_C^2 H_L / (M_L L^2)$$

Donde

M_I – Masa Impulsiva

M_C – Masa Convectiva

L – Semi-longitud en dirección de análisis

H_L – Altura de líquido

M_L – Masa del líquido

g – Aceleración de la gravedad

La ubicación de las masas Impulsivas y convectivas se puede evaluar de la siguiente manera:

$$H_I = 0.375 H_L \quad H_L/L \leq 1.50$$

$$H_I = [0.50 - 0.1875(L/H_L)] H_L \quad H_L/L > 1.50$$

$$H_C = [1 - (\cosh(1.58 H_L/L) - 1) / ((1.58 H_L/L) \sinh(1.58 H_L/L))] H_L$$

Y los elementos mecánicos a la base serán:

$$V_o = (M_I^2 + M_C^2)^{1/2} g C_s / (Q R)$$

$$M_o = [(M_I H_I)^2 + (M_C H_C)^2]^{1/2} g C_s / (Q R)$$

Para el caso de los tanques sobre soportes, debe considerarse la altura del soporte (H_p) para obtener los elementos mecánicos en la base.

5.- Análisis Estructural de Planta de Gas en Ensenada B.C.

5.1.- Problema de investigación.

No existe un criterio definido de diseño estructural para las bases de sustentación de los tanques de almacenamiento para gas L.P., de la norma NOM-001-SESH-2014 Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación., la cual en las especificaciones de diseño y construcción del proyecto civil define como deben diseñarse las bases de sustentación de los tanques de almacenamiento para gas L.P., dejando la libertad para referirse a cualquier código de diseño o reglamento de construcción aplicable a la localidad en la que se desarrolle la obra, esto debido a que los municipios de la República Mexicana, tienen libertad de emitir sus propios códigos y reglamentaciones para la construcción de obras. Pero en México son pocos los municipios que cuentan con reglamentos de construcción y muchos menos aun los que poseen estudios sismológicos y zonificación sísmica con parámetros de diseño por lo que la referencia obligada es el Manual de Obras Civiles de la CFE (MOC-CFE) y en su caso las Normas Técnicas Complementarias de Ciudad de México (CDMX).

5.2.- Justificación.

Debido que en el caso de México, no existe un reglamento que opere en todo el país, sino que los municipios tienen la facultad de establecer reglamentos locales, que en ocasiones se basan en el Reglamento de Construcciones para la ciudad de México (RCCDMX) y Normas Técnicas Complementarias de la ciudad de México cuya más reciente versión es del 2020 (NTCCDMX-20) y en muchas otras ocasiones en el Manual de Obras Civiles de la CFE (MOC-CFE). La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SESH-2014 Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación., no es clara en definir un criterio de diseño estructural para las bases de sustentación de los tanques de almacenamiento para gas L.P., por tal motivo se propone usar el Manual de Obras Civiles de Comisión Federal de Electricidad, cuya versión del capítulo de diseño sísmico más actualizada es de 2015 (MOC-CDS-CFE-2015) para el análisis estructural ya que en el provee los lineamientos de diseño de todas las obras de ingeniería civil, considerando los

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

parámetros sísmicos de todas las regiones de la República Mexicana para poder obtener las condiciones sísmicas de sitio, en base al tipo de estructura y las características geológicas donde se ubique el proyecto y así poder obtener los espectros de diseño sísmicos, así también se considera análisis de masas inerciales impulsivas y convectivas, análisis de las acciones accidentales como son análisis por viento, análisis por sismos y análisis por temperatura con la finalidad de obtener los elementos mecánicos para el diseño de las bases de sustentación y su cimentación.

5.3.- Objetivo general.

Diseñar sísmicamente las bases de sustentación de los tanques para las Plantas de Almacenamiento y Distribución de Gas L.P., mejorando las condiciones de seguridad y especificaciones técnicas, cumpliendo con la normatividad vigente.

5.4.- Objetivos específicos.

Analizar la normatividad vigente para el diseño sísmico de las bases de sustentación de los tanques de almacenamiento de gas L.P. de una Planta de Almacenamiento y Distribución de Gas L.P.

Analizar y diseñar las bases de sustentación de los tanques de almacenamiento de gas L.P., mejorando la seguridad estructural, cumpliendo con la normatividad vigente.

Definir la acción accidental mas significativa en el diseño estructural para las bases de sustentación de los tanques de almacenamiento de gas L.P. de una Planta de Almacenamiento y Distribución de Gas L.P.

5.5.- Hipótesis.

Para la seguridad estructural de las bases de sustentación de un tanque de almacenamiento de gas L.P., se tiene que definir un criterio de diseño estructural a partir de la aplicación de la normativa vigente y considerando como base el Manual de Obras Civiles de Comisión Federal de Electricidad, cuya versión del capítulo de diseño sísmico más actualizada es de 2015 (MOC-CDS-CFE-15).

5.6.- Características de sitio

Características Geológicas

La planta de Gas se encuentra ubicada en La Formación Alisitos, la cual es una unidad volcanosedimentaria del Cretácico Temprano que aflora discontinuamente en la porción occidental del Estado de Baja California, desde la ciudad de Ensenada, en el norte, hasta la localidad de El Arco, en el sur (Villa, 2010, pág. 19 a 20). Esta unidad está constituida por rocas volcánicas y volcanoclásticas metamorfizadas en la facies de esquistos verdes (Manuel Cruz Castillo y Luis A. Delgado Argote, 1999, pág. 161) lo cual es el resultado de un metamorfismo de baja temperatura y presión moderada.

Características del suelo

De acuerdo al estudio de suelos, la capacidad de carga de la roca sana es superior a las 20 ton/m², no obstante hubo necesidad de realizar compensaciones de cortes y terraplenes, por lo que se tienen los siguientes parámetros:

$$PV = 1.80 \text{ ton/m}^3$$

$$\phi = 40^\circ; c = 0 \text{ (se desprecia cohesión)}$$

$$FS = 3; q = 12 \text{ ton/m}^2$$

$$K = 2.75 \text{ kg/cm}^2/\text{cm} \text{ (módulo de reacción)}$$

Debido a la afloración de roca y el espesor de las capas es posible considerar que se trata de terreno Tipo I, de acuerdo con la clasificación del Manual de Diseño Sísmico de CFE:

TIPO I Terreno firme o rocoso en que no se presentan amplificaciones dinámicas:

Depósito de suelo con $v_s \geq 720 \text{ m/s}$ ó $H_s \leq 2 \text{ m}$. (CFE/INEEL, 2015, pág. 29)

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Peligro sísmico y espectros transparentes

Debido al tipo de construcción que involucra tanto edificaciones como obra tipo industrial, resulta pertinente basar el análisis sísmico en los resultados que genera el software PRODISIS Versión 4.1., disponible en la página del INEEL, para su descarga:

<https://www2.ineel.mx/prodisis/es/prodisis.php>

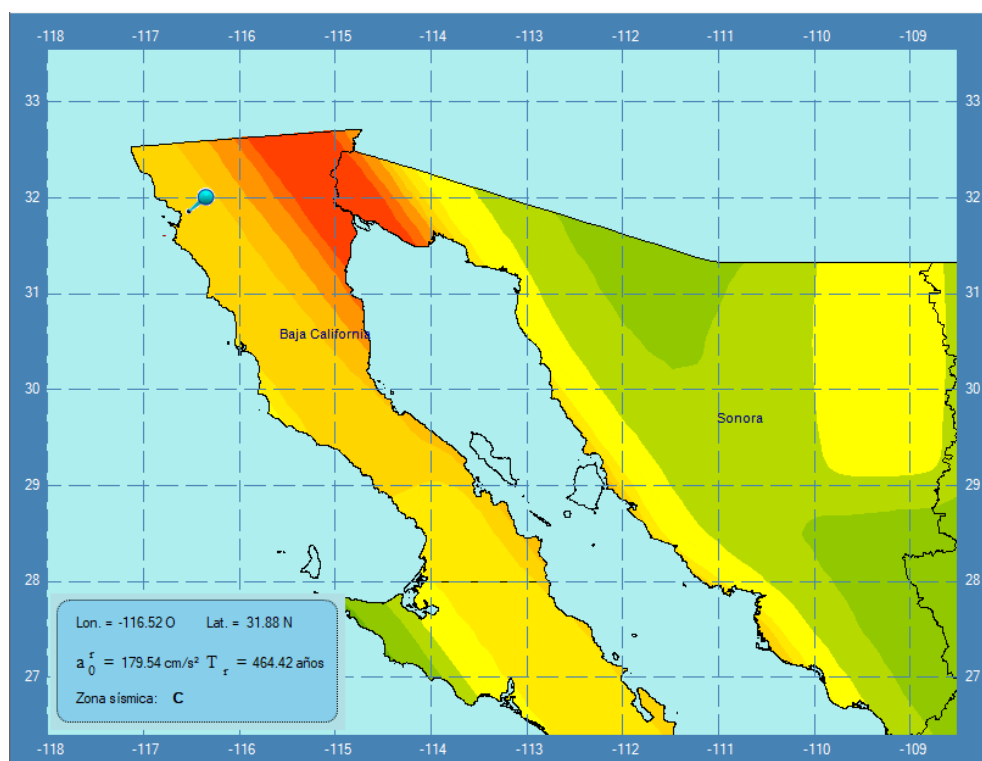
Coordenadas del sitio:

Longitud -116.530278°

Latitud 31.879722°

Figura 5

Ubicación del sitio para estimación de Peligro sísmico en el PRODISIS



Nota. El gráfico representa la ubicación con coordenadas del sitio para estimación de peligro sísmico. Tomado del Programa de Diseño Sísmico (PRODISIS) versión 4.1.

Como podemos observar, el sitio se encuentra en la zona sísmica C, que es la segunda en importancia debido al rango de aceleraciones sísmicas, de 100 m/s^2 a 200 m/s^2 (CFE/INEEL,

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

2015, pág. 25) que pueden excitar a la roca basal en esa zona debido a su proximidad con las fuentes sísmicas.

De acuerdo con el PRODISIS, la aceleración sísmica máxima que puede experimentarse en el sitio del proyecto es de $a_0 = 179.54 \text{ cm/s}^2$ con un período de retorno de $TR = 464.42$ años.

Esta aceleración se encuentra por debajo de la que pudiera ser suficiente para estructuras comunes con una vida útil esperada de 50 años (VU) (Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, 2017, pág. 392) y con una probabilidad de 10% (P) de que la magnitud de la aceleración sea excedida en ese tiempo, el periodo de retorno (TR) sería:

$$P(a < a_0) = [1 - (1/TR)]^{VU}$$

$$TR = -VU / [\ln(1-P)]$$

Por lo que, $TR = -50/\ln(1-10\%) = 475$ años

Por lo que se debe evaluar la aceleración en el PRODISIS para un periodo de retorno específico de 475 años.

Figura 6

Evaluación de la aceleración y espectro de respuesta para un Periodo de Retorno Específico



Nota. Evaluación de la aceleración y espectro de respuesta para un Periodo de Retorno Específico de 475 años. Tomado del Programa de Diseño Sísmico (PRODISIS) versión 4.1.

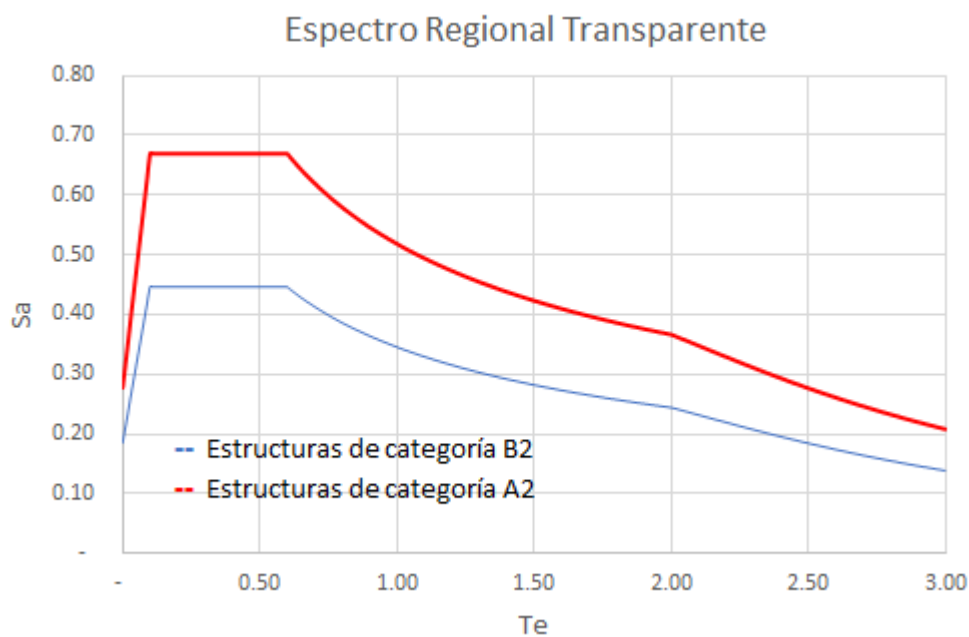
Así mismo en la planta de gas, se tienen tanto estructuras de categoría B2, como estructuras de Categoría A2 (CFE/INEEL, 2015, pág. 21 a 22), por lo que será necesario evaluar los espectros de diseño sísmicos transparentes a partir de la metodología expuesta en el Manual

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

de Obras Civiles de CFE en su capítulo 3.1.6. (CFE/INEEL, 2015, pág. 32 a 36), para ambos casos. Particularmente el espectro para categoría A2 es el mismo que para la categoría B2 pero afectada por el factor de importancia estructural de 1.5 (CFE/INEEL, 2015, pág. 26).

Figura 7

Espectro Sísmico Transparente



Nota. El espectro para categoría A2 se utilizará en el diseño de los soportes del tanque, en tanto que el B2 para el resto de las estructuras.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

5.7.- Análisis y diseño de Bases de soporte del tanque crítico con capacidad de 250,000 litros al 100% de agua.

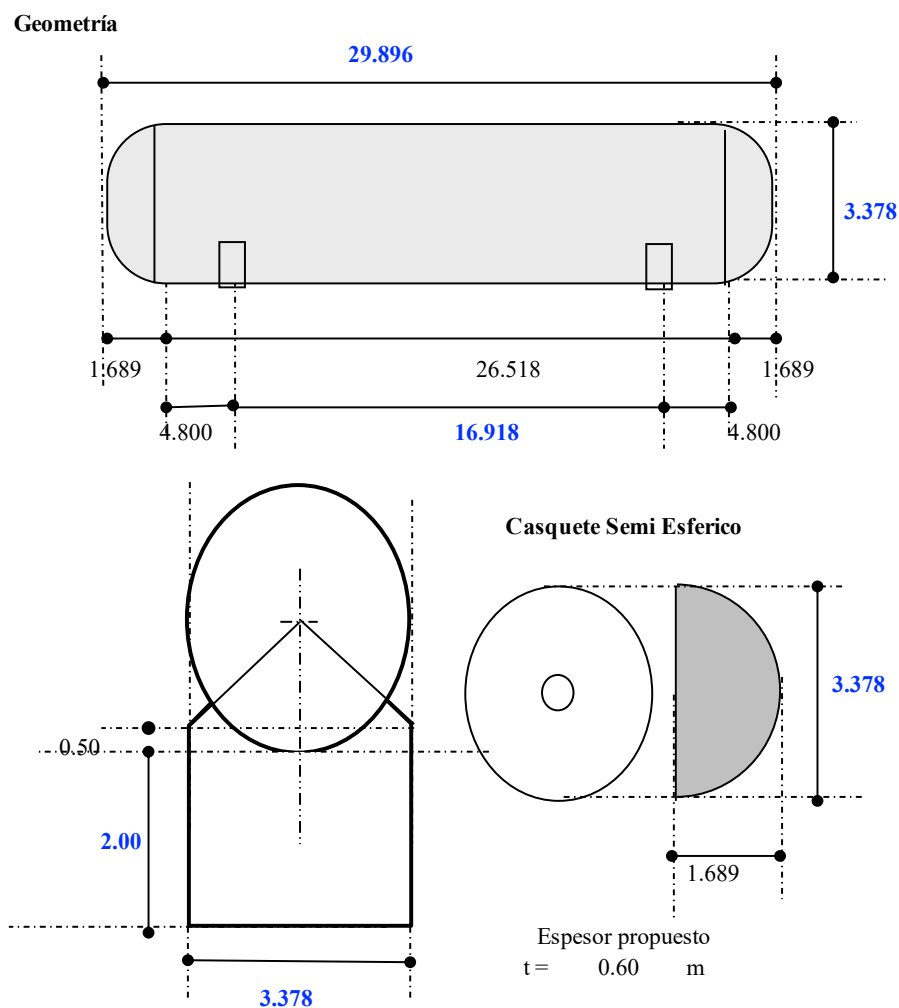
5.2.1.- Características Técnicas del Tanque

Constantes

Peso de Acero:	8,070.00 Kg/m ³
Peso de Gas:	0.60 kg/Lt
Volumen del Depósito:	250,000.00 Lts
Tara del Depósito:	33,700.00 Kg
Peso del Gas L.P.:	150,000.00 Kg

Figura 8

Geometría para tanque



ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

5.7.2.- *Análisis de cargas.*

Carga Muerta

Gas L.P. =	135,000.00 kg (Se llena al 90%)
Tara de Tanque =	33,700.00 kg
Bases =	24,321.60 kg
Instalaciones =	3,370.00 kg (10% de la Tara de Tanque)

$$\mathbf{CM = 196,391.60 \text{ kg}}$$

Se consideró el tanque lleno al 90%, así como 10% de la tara como el peso correspondiente a las instalaciones sobre el tanque.

Carga Viva

Se considerara el posible tránsito de una o dos persona en la superficie del tanque en operaciones por Mantenimiento.

$$\mathbf{CV = 250.00 \text{ kg}}$$

5.7.3.- *Condición sísmica de sitio.*

Se ajustó la ordenada máxima del espectro a un periodo de retorno de 475 años, adoc con la vida útil mínima esperada ver Figura 6. Evaluación de la aceleración y espectro de respuesta para un Periodo de Retorno Específico.

Se consideró categoría A2 a las bases de soporte, afectando las ordenadas espectrales por el factor de importancia estructural 1.5. Ver Figura 7. *Espectro Sísmico Transparente.*

5.7.4.- *Ductilidad y sobre resistencia.*

$$\left. \begin{array}{l} Q = 1.50 \\ R = 2.00 \end{array} \right\} \text{ PÉNDULOS (CFE/INEEL, 2015, pág. 123)}$$

$$Cs = 0.67$$

$$Cs/Q'R = 0.22 \text{ (Meseta)}$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

5.7.5.- Fuerza sísmica básica.

$$F = m a = (W/g) (g C_s/Q'R) = (C_s/Q'R) W$$

Solo se considera la CM+CV sin la masa líquida, cuyo efecto se evaluará por aparte.

Elemento	Carga (Ci)	Yi	CiYi
Tanque	33,700.00	3.69	124,319.30
Bases	24,321.60	1.00	24,321.60
Instalaciones	3,370.00	5.38	18,123.86
	<u>61,391.60</u>		<u>166,764.76</u>

$$W_s = 61,641.60 \text{ kg} \quad Y = 2.716 \text{ m}$$

Reducción de espectro por periodo fundamental

Periodo fundamental estructura sentido largo

$$T_e = (2\pi/g)(W\Delta^2/P\Delta)^{1/2} = 2.23 \text{ s}$$

$$C_s = 0.32$$

$$C_s/Q'R = 0.11$$

$$F = 6,575.10 \text{ kg}$$

Periodo fundamental estructura sentido corto

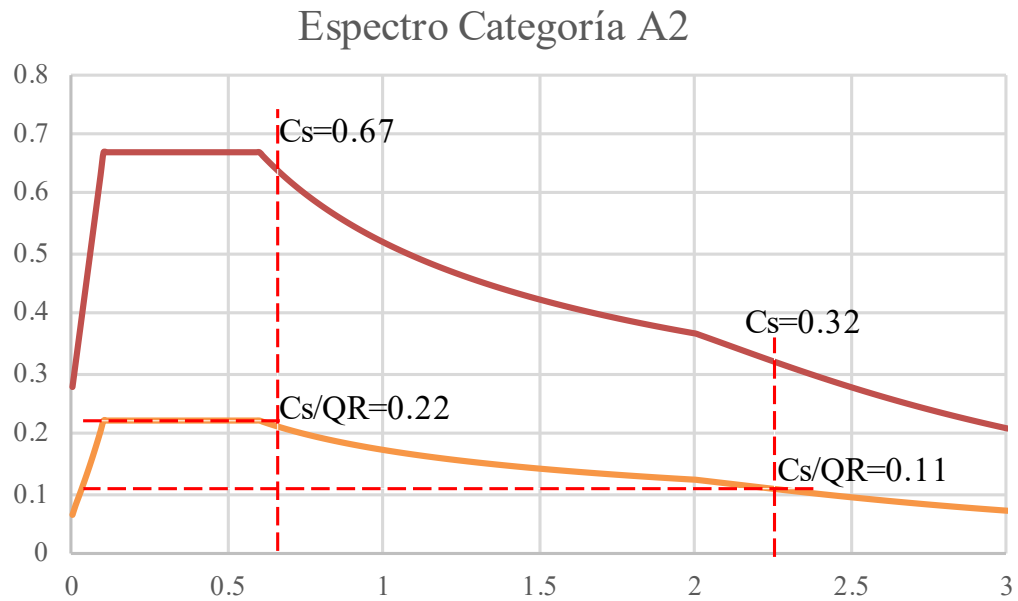
$$T_e = (2\pi/g)(W\Delta^2/P\Delta)^{1/2} = 0.64 \text{ s}$$

$$C_s = 0.67$$

$$C_s/Q'R = 0.22$$

$$F = 13,766.62 \text{ kg}$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Figura 9*Espectro reducido por periodo fundamental***5.7.6.- Análisis sísmico de masa líquida.**

Nomenclatura usada para el análisis corresponden a lo establecido en la Figura 4. *Efectos hidrodinámicos.*

Sentido largo

$$ML = 13,761.47$$

$$L = 14.948$$

$$HL = 3.040 \quad HL/L = 0.20$$

	H_j	M_{j2}	$(M_j H_j)^2$
$M_i = 1,617.85$	$H_i = 1.140$	$2.62E+06$	$3.40E+06$
$M_c = 11,124.00$	$H_c = 1.533$	$1.24E+08$	$2.91E+08$
	$M = 11,241.03$		$17,153.08$
$F = m a$		$H = 1.526$	

$$K_c = 3 \text{ g } MC^2 HL / (ML L^2) = 3,600.67 \text{ kg/m}$$

$$F = 7,351.64 \text{ kg}$$

$$T_c = 2 \pi (M_c / K_c)^{1/2} = 11.04 \text{ s}$$

$$Y = 3.526 \text{ m}$$

$$C_s = 0.20$$

$$C_s / Q^* R = 0.07$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Sentido corto

$$ML = 13,761.47$$

$$L = 1.689$$

$$HL = 3.040$$

$$HL/L = 1.80$$

	H_j	M_j^2	$(M_j H_j)^2$
$M_i = 10,663.86$	$H_i = 1.203$	$1.14E+08$	$1.65E+08$
$M_c = 4,017.81$	$H_c = 2.089$	$1.61E+07$	$7.04E+07$
	$M =$	$11,395.65$	$15,333.55$
$F = m a$		$H =$	1.346

$$K_c = 3 g MC^2 HL / (ML L^2) = 3,600.67 \text{ kg/m} \quad \mathbf{F = 13,414.95 \text{ kg}}$$

$$T_c = 2 \pi (M_c / K_c)^{1/2} = 2.08 \text{ s} \quad \mathbf{Y = 3.346 \text{ m}}$$

$$C_s = 0.36$$

$$C_s / Q'R = 0.12$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

5.7.7.- *Análisis por viento.***Tabla 5***Factor debido a la topografía local*

				FTR = 1.200
Sitios	Selección	Tipo	Topografía	FTR
Protegidos		T1	Base de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento.	0.8
		T2	Valles cerrados.	0.9
Normales		T3	Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores que 5%	1
Expuestos		T4	Terrenos inclinados con pendientes entre 5 y 10%, valles abiertos y litorales planos.	1.1
		T5	Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores que 10%, cañadas cerradas y valles que formen un embudo o cañón, islas.	1.2

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Tomado de Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por viento de CFE (CFE/IIIE, 2008, pág. 12)

Tabla 6

Coefficientes de rugosidad del terreno

		0.128	315
Selección	Tipo de terreno	α	δ
	R1 - Escasa o nulas obstrucciones al flujo del viento, como campo abierto.	0.099	245
X	R2 - Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones.	0.128	315
	R3 - Zona urbana y suburbana, rodeado de construcciones de mediana y baja altura y/o arboledas.	0.156	390
	R4 - Zona de urbana de gran densidad de edificios altos mayores a 20 m (más del 50%, en un radio de 500 m).	0.17	455

Tomado de Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por viento de CFE (CFE/IIIE, 2008, pág. 11)

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Tabla 7*Relación entre altitud y presión barométrica*

Altitud, hm (msnm)	Presión barométrica, Ω (msnm)
0	760
500	720
1000	675
1500	635
2000	600
2500	565
3000	530
3500	495

Tomado de Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por viento de CFE (CFE/IIIE, 2008, pág. 16)

Coefficiente de corrección por presión y temperatura

Ct coeficiente de corrección presión y temperatura

$$C_t = 0.392 P_b / (273 + t)$$

$$C_t = 1.00$$

Altitud: 288.00 msnm

Presión (Pb): 732.84 mm

Temperatura

Mínimas 9.0 °C

Máxima 20.0 °C

Media 14.5 °C

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Velocidad de Ráfaga en: **Ensenada B.C.** $V_{200} =$ **120.00** km/h

$V_D = FTR F\alpha V_R$ (Velocidad de diseño)

$$V_D = 144.00 \text{ km/h}$$

$P = 0.0048 C_t V_D^2$ (Presión de viento)

$$P = 99.45 \text{ kg/m}^2$$

$$C_f = 0.80$$

$$P_v = 79.56 \text{ kg/m}^2$$

Presión de viento sobre cara corta, sentido longitudinal

Elemento	Área (Ai)	Altura (Yi)	AiYi
Tanque	8.96	3.69	33.06
Apoyo	7.60	1.00	7.60
	16.56		40.66

$$F = 1,317.77 \text{ kg}$$

$$Y = 2.46 \text{ m}$$

Presión de viento sobre cara larga, sentido transversal

Elemento	Área (Ai)	Altura (Yi)	AiYi
Tanque	100.99	3.69	372.55
Apoyo	2.40	1.00	2.40
	103.39		374.95

$$F = 8,225.92 \text{ kg}$$

$$Y = 3.63 \text{ m}$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

5.7.8.- *Análisis por temperatura.*

$\Delta =$	5.50 °C	Variación de temperatura de la media a una extrema
$E_s =$	2.00E+06 kg/cm ²	Acero
$\alpha =$	1.10E-05	
$A =$	1,398.00 cm ²	Área de la sección transversal del tanque (e=1/2")

$$P = A E \alpha \Delta t$$

$P =$	169,158.00 kg	
$\mu =$	0.14	Fricción acero-concreto
$F =$	11,841.06 kg	Actuando sobre cada base
$Y =$	2.00 m	Actuando en la unión acero-concreto

5.7.9.- *Efectos de segundo orden.***Propiedades de los materiales**

$F'_c =$	250.00	Kg/cm ²	Resistencia del concreto
$E_c =$	221,359.44	Kg/cm ²	Modulo de elasticidad del concreto
$G_c =$	88,543.77	Kg/cm ²	Modulo de cortante

Momento de Inercia

Sentido longitudinal

$b =$	337.800 cm
$t =$	60.00 cm
$h =$	200.00 cm

$A =$	20,268.00 cm ²
$I =$	6.08E+06 cm ⁴

Rigidez del muro

$K =$	4.78E+05 Kg/cm
-------	----------------

Desplazamiento de la estructura

$V =$	21,118.26 Kg
-------	--------------

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

$$QR \Delta = 0.133 \text{ cm}$$

Desplazam. Despreciable

$$(1) \quad QR \Delta / h = 0.0010$$

$$(2) \quad 0.08 V/P = 0.0086$$

$$(3) \quad [\delta/h]_{\text{máx}} = 0.0020$$

(1)<(2) No requiere considerar los efectos de 2o. Orden

Momento de Inercia

Sentido transversal

$$b = 60.00 \text{ cm}$$

$$t = 337.80 \text{ cm}$$

$$h = 200.00 \text{ cm}$$

$$A = 20,268.00 \text{ cm}^2$$

$$I = 1.93E+08 \text{ cm}^4$$

$$K = 5.75E+06 \text{ Kg/cm}$$

$$V = 27,181.58 \text{ Kg}$$

$$QR \Delta = 0.014 \text{ cm}$$

Desplazam. Despreciable

$$(1) \quad QR \Delta / h = 0.0001 \text{ (Distorsión NTC2017, inciso 1.8a)}$$

$$(2) \quad 0.08 V/P = 0.0111 \text{ (Distorsión NTC2017, inciso 2.3)}$$

$$(3) \quad [\delta/h]_{\text{máx}} = 0.0020 \text{ (Distorsión Máxima CFE2015, pág.114)}$$

(Distorsión NTC2017, inciso 1.8b)

(1)<(2) No requiere considerar los efectos de 2o. Orden

$$\text{Coeficiente de resistencias} \quad \alpha = (V_x - V_y) / 2W_o = 0.015$$

Terreno tipo I

$$V_s = 750 \text{ m/s} \quad (\text{roca})$$

$$H_s = 140 \text{ m} \quad (\text{geología regional})$$

$$T_s = 0.75 \text{ s} \quad (\text{CFE/INEEL, 2015})$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Período fundamental del líquido

Periodo masa liquida sentido largo

$$\begin{array}{lll}
 & a = 0.04 & \\
 Kc = 3 \text{ g MC}^2 \text{ HL}/(\text{ML L}^2) = 3,600.67 \text{ kg/m} & b = 0.10 & Fa = 1.04 \\
 Tc = 2 \pi (Mc/Kc)^{1/2} = 11.04 \text{ s} & c = 0.12 & \\
 & d = 1.00 &
 \end{array}$$

Periodo masa liquida sentido corto

$$\begin{array}{lll}
 & a = 0.05 & \\
 Kc = 3 \text{ g MC}^2 \text{ HL}/(\text{ML L}^2) = 36,791.42 \text{ kg/m} & b = 0.90 & Fa = 1.04 \\
 Tc = 2 \pi (Mc/Kc)^{1/2} = 2.08 \text{ s} & c = 0.12 & \\
 & d = 1.00 &
 \end{array}$$

Periodo fundamental estructura sentido largo

$$\begin{array}{lll}
 & a = 0.05 & \\
 Te = (2p/g)(WD^2/PD)^{1/2} = 2.23 \text{ s} & b = 0.90 & Fa = 1.05 \\
 & c = 0.12 & \\
 & d = 1.00 &
 \end{array}$$

Periodo fundamental estructura sentido corto

$$\begin{array}{lll}
 & a = 0.06 & \\
 Te = (2p/g)(WD^2/PD)^{1/2} = 0.64 \text{ s} & b = 8.80 & Fa = 1.14 \\
 & c = 0.10 & \\
 & d = 1.06 &
 \end{array}$$

$$Fa = \frac{a_a \left(\frac{T_1}{T_s} \right)^{b_a}}{c_a + \left| \frac{T_1}{T_s} - 1 \right|} + d_a$$

$$Fa = \frac{a_a \left(\frac{T_1}{T_s} \right)^{b_a}}{c_a + \left(\frac{T_1}{T_s} \right)} + d_a$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Tabla 8*Valores de parametros utilizados para estimar el factor Fa*

Periodo del Sitio (s)	a_a	b_a	c_a	d_a
$T_s \leq 0.5$	$(3.5Q - 1.5) \alpha$	13.4	0.1	$1.6\alpha + 1.0$
$0.5 < T_s \leq 1.0$	$(4.8Q - 3.0) \alpha$	8.8	0.1	$4.1\alpha + 1.0$
$1.0 < T_s \leq 1.5$	$(1.5Q - 1.4) \alpha$	0.7	0.08	1.0
$1.5 < T_s \leq 2.0$	$(2.0Q - 1.6) \alpha$	0.5	0.1	1.0
$2.0 < T_s \leq 2.5$	$(1.5Q - 0.8) \alpha$	0.9	0.12	1.0
$2.5 < T_s \leq 3.0$	$(1.5Q - 1.1) \alpha$	0.7	0.13	1.0
$3.0 < T_s \leq 4.0$	$(1.9Q - 0.05) \alpha$	0.1	0.12	1.0

Tomado de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por sismo. (Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, 2017, pág. 58)

Factor de ampliación largo $F_a = 1.05$

Factor de ampliación corto $F_a = 1.14$

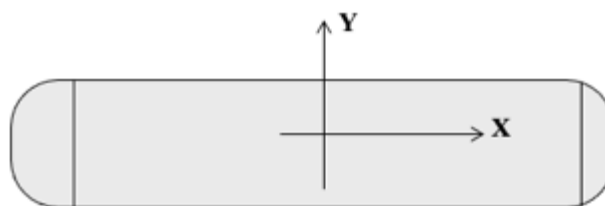
	LARGO	CORTO
	$P = 43,860.79 \text{ kg}$	
	$j = 0.0007 \text{ rad}$	$j = 0.0000 \text{ rad}$
	$r = 17.32 \text{ cm}$	$r = 97.51 \text{ cm}$
	$X = 0.133 \text{ cm}$	$X = 0.014 \text{ cm}$
	$M = 970.24 \text{ kg-m}$	$M = 9,068.64 \text{ kg-m}$

$M = 9,120.39 \text{ kg-m}$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

5.7.10.- *Concentrado de elementos mecanicos.***Factores de carga**

Gravitacional	1.5 CM + 1.5 CV
Sísmica	1.25 CM + 1.25 CV
Carga viento	1.1 CM + 1.1 CV
Temperatura	CM + CV

**Tabla 9***Concentrado de elementos mecanicos*

Acción	Global			H (m)	Base		
	CM (kg)	CV (kg)	F (kg)		Pu (kg)	Vu (kg)	Mu (kg)
Gravedad	196,391.60	250.00			147,481.20		
Sismo X	196,391.60	250.00	13,926.74	3.14	122,901.00	8,704.21	27,363.79
Sismo Y	196,391.60	250.00	27,181.58	3.03	122,901.00	16,988.49	51,422.73
Viento X	196,391.60	250.00	1,317.77	2.46	108,152.88	724.77	1,779.34
Viento Y	196,391.60	250.00	8,225.92	3.63	108,152.88	4,524.25	16,407.56
Temperatura			11,841.06	2.00		13,025.17	26,050.33
Torsión Sísmica						673.87	11,400.49

Bajo el supuesto indicado en el libro de criterios de las NTC, los eventos sísmicos y de viento, son independientes. Evidentemente la condición sísmica rige sobre las de viento y temperatura.

Tabla 10*Combinaciones a revisar*

Acción	Base				
	Pu (kg)	VXu (kg)	VYu (kg)	MXu (kg-m)	MYu (kg-m)
Gravedad	147,481.20				
SX + 0.3 SY	122,901.00	87,04.21	5,096.55	27,363.79	15,426.82
SY + 0.3 SX	122,901.00	2,611.26	16,988.49	8,209.14	51,422.73
Torsión Sísmica		673.87		11,400.49	

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

5.7.11.- Diseño de bases.

Factor de amplificación por esbeltez

$$C_m = 0.6 + 0.4 \left(\frac{M_{1b}}{M_{2b}} \right) = 0.60$$

Factor de empotre (K)

Concreto

$$f_c = 250.00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_c = 221,359.44 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\beta d = (\text{Carga Muerta entre carga Gravitacional})$$

$$\phi = \frac{\Sigma K_{col}}{\Sigma K_{piso}} = 1.00$$

$$\beta d = 1.00$$

Dirección X

$$I_g = 6.08E+06 \text{ cm}^4$$

$$EI = \frac{\left(\frac{E_c \times I_g}{2.5} \right)}{1 + \beta d} = 2.69E+11 \text{ Kg-cm}^2$$

$$H' = 2.00 (1.0) = 200.00 \text{ cm}$$

$$P_c = \frac{F_R \times \pi^2 \times EI}{(H')^2} = 4.65E+07 \text{ Kg}$$

$$P_c = 1.47E+09$$

$$F_a = \frac{C_m}{1 - \left(\frac{P_u}{P_c} \right)} \geq 1 = 1.00$$

$$F_a = 1.00$$

Nota : Columnas cortas, no requieren corrección de esbeltez.

Fa = Este factor se aplica al momento de diseño

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

5.7.12.- Revisión por flexión con acero en sismo en X y sismo en Y.

Diseño por diagrama de interacción de columnas.

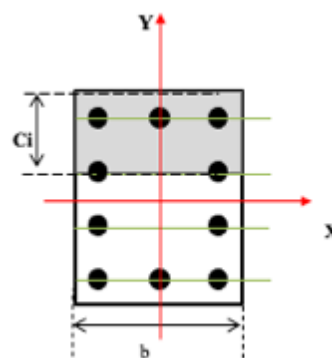
Columna con sismo en dirección X

b = 337.80 cm	Concreto	Acero
h = 60.00 cm	$f'_c = 250.00 \text{ Kg/cm}^2$	$E_s = 2.10 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$
r = 7.00 cm	$f'_c = 212.50 \text{ Kg/cm}^2$	$f_y = 4,200.00 \text{ Kg/cm}^2$
d = 53.00 cm	b1 = 0.85	es = 0.0020

Tabla 11

Distribución de armados

i	Ci (cm)	Armado	Asi (cm ²)
1	7.00	2N8+12N6	44.334 cm ²
2	30.00	2N8	10.134
3	53.00	2N8+12N6	44.334
		As =	98.80 cm ²
		$\rho =$	0.49%



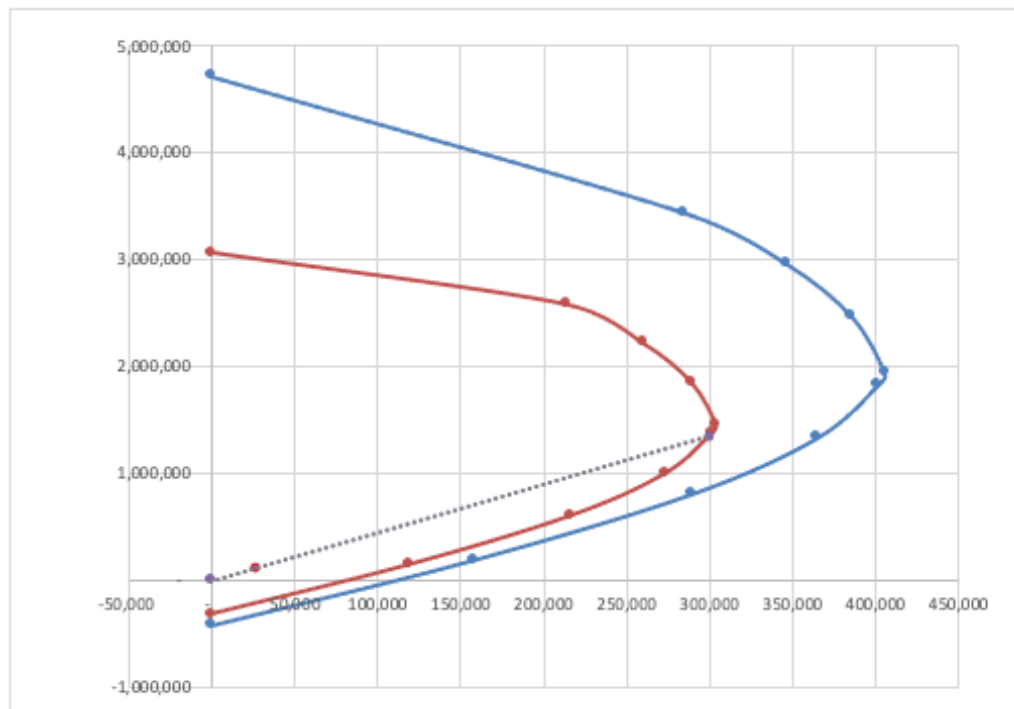
Puntos base

PUNTO 1	(Tensión pura)	$P = - \sum A_{si} f_y$
PUNTO 6	(Sección Balanceada)	$c_b = 0.6 d = 31.80 \text{ cm}$
PUNTO 10	(Compresión pura)	$P = A_g f'_c + \sum A_{si} f_y$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Tabla 12*Interacción de la profundidad del eje neutro*

Profundidad del E.N.			C= 29.50		
i	ϵ_s	P (Kg)	b (m)	M (Kg-m)	
1	-	0.0020	186,203	0.230	42,827
	-	0.0020	-	0.300	-
2	0.0001	-	1,082	-	-
	-	0.0020	-	0.300	-
3	0.0020	-	186,203	0.230	42,827
C		1,799,946	0.175	314,316	
P (Kg) =		1,798,864	M(Kg-m) =		399,969

Figura 10*Diagrama de iteración*

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Tabla 13*Determinación del Diagrama de iteración*

Punto	c	Nominales		Resistentes					
		Mn	Pn	e	FR	MR	PR		
1	- ∞	-	-	414,968	-	0.75	-	-	311,226
2	7.00	158,252		198,342	0.80	0.75	118,689		148,756
3	14.67	289,092		812,125	0.36	0.75	216,819		609,094
4	22.33	365,115		1,340,755	0.27	0.75	273,836		1,005,567
5	30.00	401,407		1,830,454	0.22	0.75	301,055		1,372,840
6	31.80	405,509		1,943,895	0.21	0.75	304,132		1,457,921
7	38.87	385,898		2,470,657	0.16	0.75	289,424		1,852,992
8	45.93	346,379		2,968,007	0.12	0.75	259,784		2,226,005
9	53.00	284,553		3,447,710	0.08	0.75	213,415		2,585,782
10	+ ∞	-		4,721,918	-	0.65	-		3,069,247
Prop = -2.27E+00									
Ultimos				27,364		122,901		0.22	
Resistentes				299,977		1,349,148		0.22	
dif= -								0.00	

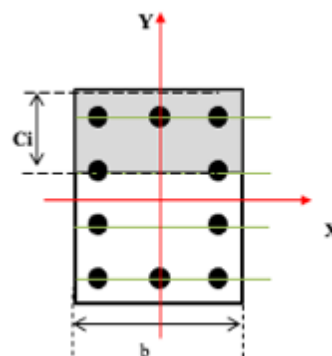
ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Columna con sismo en dirección X

$b = 60.00$ cm	Concreto	Acero
$h = 337.80$ cm	$f'_c = 250.00$ Kg/cm ²	$E_s = 2.10E+06$ Kg/cm ²
$r = 7.00$ cm	$f'_c = 212.50$ Kg/cm ²	$f_y = 4,200.00$ Kg/cm ²
$d = 330.80$ cm	$b_l = 0.85$	$e_s = 0.0020$

Tabla 14*Distribución de armados*

i	Ci (cm)	Armado	Asi (cm ²)
1	7.00	3N8	15.201
2	33.98	2N6	5.700
3	60.97	2N6	5.700
4	87.95	2N6	5.700
5	114.93	2N6	5.700
6	141.92	2N6	5.700
7	168.90	2N6	5.700
8	192.03	2N6	5.700
9	215.16	2N6	5.700
10	238.29	2N6	5.700
11	261.41	2N6	5.700
12	284.54	2N6	5.700
13	307.67	2N6	5.700
14	330.80	3N8	15.201
		As =	98.81 cm²
		ρ =	0.49%

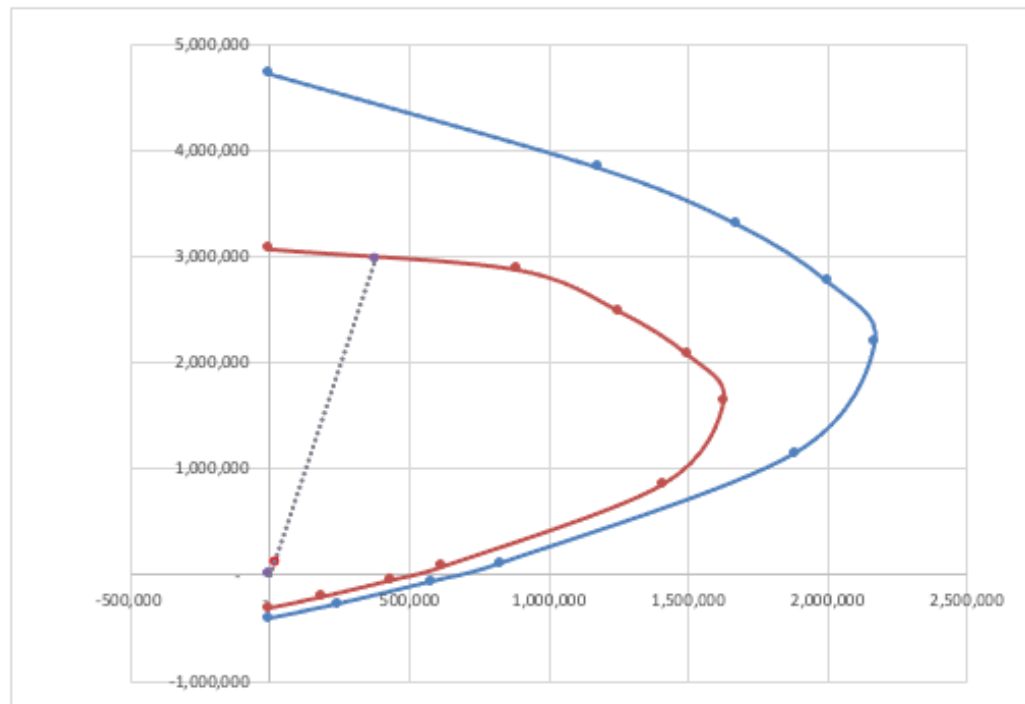
**Puntos Base**

PUNTO 1	(Tensión pura)	$P = - \sum A_{si} f_y$
PUNTO 6	(Sección Balanceada)	$c_b = 0.6 d = 198.48$ cm
PUNTO 10	(Compresión pura)	$P = A_g f'_c + \sum A_{si} f_y$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Tabla 15*Interacción de la profundidad del eje neutro*

Profundidad del E.N.			C= 376.00		
i	e _s	P (Kg)	b (m)	M (Kg-m)	
1	-	0.0020	63,845	1.619	103,365
2	-	0.0020	23,942	1.349	32,302
3	-	0.0020	23,942	1.079	25,841
4	-	0.0020	23,942	0.810	19,381
5	-	0.0004	11,513	1.619	18,639
C		4,074,900	0.091	370,816	
P (Kg) =		4,222,083	M(Kg-m) =		533,066

Figura 11*Diagra de interacción*

Determinación del Diagrama de iteración

[illegible]

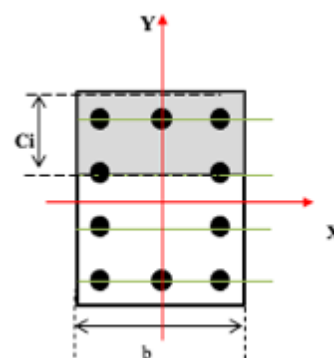
ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Columna con sismo en dirección Y

$b = 337.80$ cm	Concreto	Acero
$h = 60.00$ cm	$f'_c = 250.00$ Kg/cm ²	$E_s = 2.10E+06$ Kg/cm ²
$r = 7.00$ cm	$f'_c = 212.50$ Kg/cm ²	$f_y = 4,200.00$ Kg/cm ²
$d = 53.00$ cm	$b_1 = 0.85$	$e_s = 0.0020$

Tabla 17*Distribución de armados*

i	Ci (cm)	Armado	Asi (cm ²)
1	7.00	2N8+12N6	44.334 cm ²
2	30.00	2N8	10.134
3	53.00	2N8+12N6	44.334
		As =	98.80 cm ²
		$\rho =$	0.49%

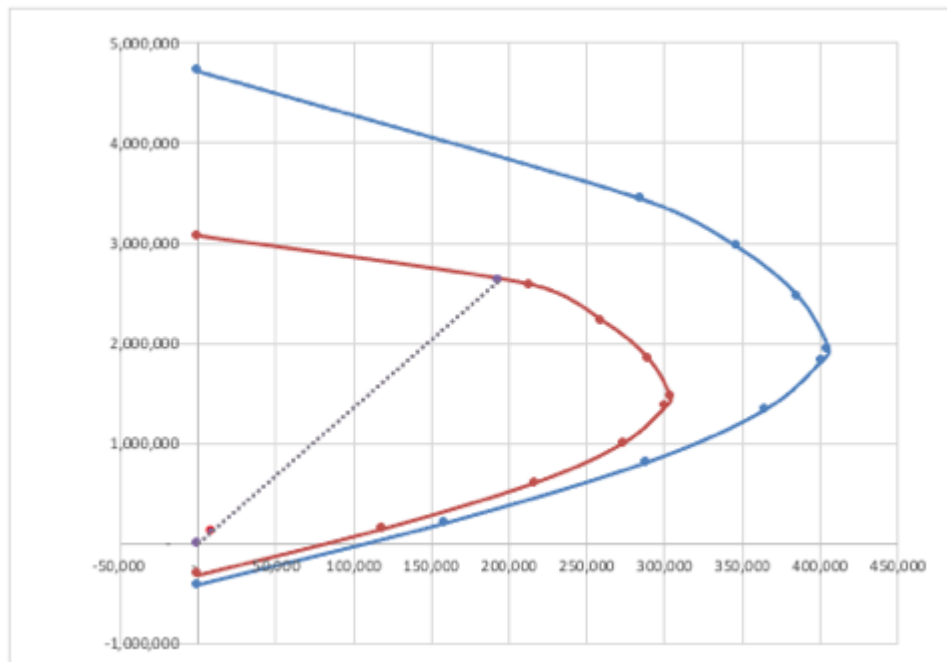
**Puntos base**

PUNTO 1	(Tensión pura)	$P = - \Sigma A_{si} f_y$
PUNTO 6	(Sección Balanceada)	$c_b = 0.6 d = 31.80$ cm
PUNTO 10	(Compresión pura)	$P = A_g f'_c + \Sigma A_{si} f_y$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Tabla 18*Interacción de la profundidad del eje neutro*

Profundidad del E.N.			C= 56.00		
i	ϵ_s	P (Kg)	b (m)	M (Kg-m)	
1	-	0.0020	186,203	0.230	42,827
	-	0.0020	-	0.300	-
2		0.0001	29,641	-	-
	-	0.0020	-	0.300	-
3		0.0020	14,963	-	0.230
					3,441
C			3,416,847	0.062	211,845
P (Kg) =		3,647,654	M(Kg-m) =		251,230

Figura 12*Diagrama de iteración*

Determinación del Diagrama de iteración

[illegible]

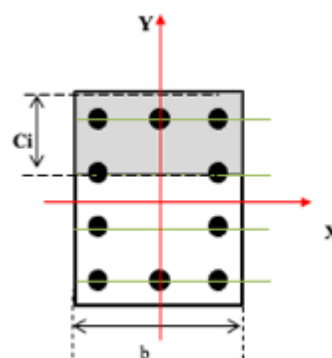
ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Columna con sismo en dirección Y

$b = 60.00$ cm	Concreto	Acero
$h = 337.80$ cm	$f'_c = 250.00$ Kg/cm ²	$E_s = 2.10E+06$ Kg/cm ²
$r = 7.00$ cm	$f'_c = 212.50$ Kg/cm ²	$f_y = 4,200.00$ Kg/cm ²
$d = 330.80$ cm	$b_l = 0.85$	$e_s = 0.0020$

Tabla 20*Distribución de armados*

i	Ci (cm)	Armado	Asi (cm ²)
1	7.00	3N8	15.201
2	33.98	2N6	5.700
3	60.97	2N6	5.700
4	87.95	2N6	5.700
5	114.93	2N6	5.700
6	141.92	2N6	5.700
7	168.90	2N6	5.700
8	192.03	2N6	5.700
9	215.16	2N6	5.700
10	238.29	2N6	5.700
11	261.41	2N6	5.700
12	284.54	2N6	5.700
13	307.67	2N6	5.700
14	330.80	3N8	15.201
		As =	98.81 cm²
		ρ =	0.49%

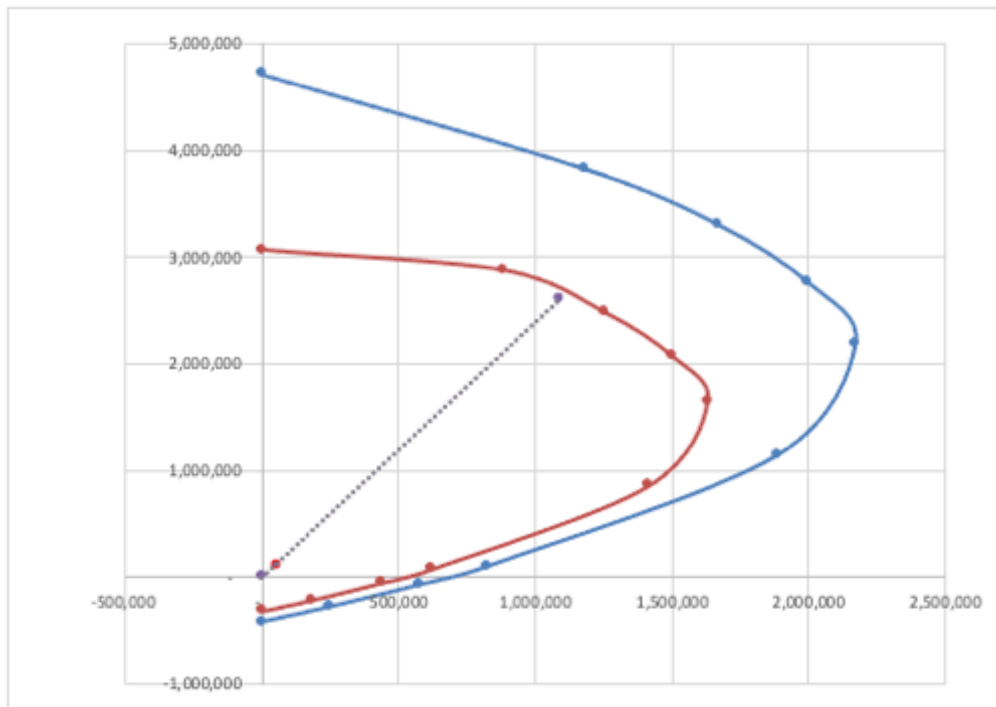
**Puntos Base**

PUNTO 1	(Tensión pura)	$P = - \sum A_{si} f_y$
PUNTO 6	(Sección Balanceada)	$c_b = 0.6 d = 198.48$ cm
PUNTO 10	(Compresión pura)	$P = A_g f'_c + \sum A_{si} f_y$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Tabla 21*Interacción de la profundidad del eje neutro*

Profundidad del E.N.				C=	309.00		
i		ϵ_s	P (Kg)	b (m)	M (Kg-m)		
1	-	0.0020	63,845	1.619	103,365		
2	-	0.0020	23,942	1.349	32,302		
3	-	0.0020	23,942	1.079	25,841		
4	-	0.0020	23,942	0.810	19,381		
5		0.0002	-	6,756	-	1.619	10,939
C			3,348,788	0.376	1,258,307		
P (Kg) =			3,477,702	M(Kg-m) =	1,450,135		

Figura 13*Diagrama de iteración*

Determinación del Diagrama de iteración

[illegible]

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Revisión por flexión con acero – Sismo en X

$$P_{ro} = 3,069,247 \text{ kg}$$

$$P_{Rx} = 1,349,148 \text{ kg}$$

$$P_{Ry} = 2,986,792 \text{ kg}$$

$$P_R = \frac{1}{\frac{1}{P_{Rx}} + \frac{1}{P_{Ry}} - \frac{1}{P_{Ro}}}$$

$$P_R = 1,332,973 \text{ OK}$$

$$P_R / P_{Ro} = 0.43 \text{ OK}$$

$$M_{Rx} = 299,977 \text{ kg-m}$$

$$M_{Ry} = 378,562 \text{ kg-m}$$

$$\text{Relación de momentos} = 0.13 \text{ OK}$$

$$\frac{M_{Rx}}{M_{Ry}} + \frac{M_{Ly}}{M_{Lx}} = 1.0$$

Revisión por flexión con acero – Sismo en Y

$$P_{ro} = 3,069,247 \text{ kg}$$

$$P_{Rx} = 2,632,316 \text{ kg}$$

$$P_{Ry} = 2,608,276 \text{ kg}$$

$$P_R = \frac{1}{\frac{1}{P_{Rx}} + \frac{1}{P_{Ry}} - \frac{1}{P_{Ro}}}$$

$$P_R = 2,285,841 \text{ OK}$$

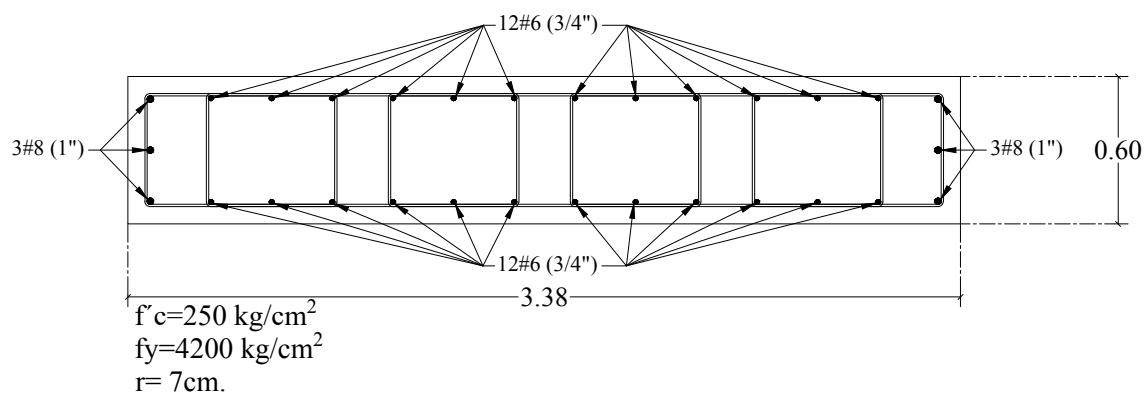
$$P_R / P_{Ro} = 0.74 \text{ OK}$$

$$M_{Rx} = 192,874 \text{ kg-m}$$

$$M_{Ry} = 1,087,601 \text{ kg-m}$$

$$\text{Relación de momentos} = 0.09 \text{ OK}$$

$$\frac{M_{Rx}}{M_{Ry}} + \frac{M_{Ly}}{M_{Lx}} = 1.0$$

Figura 14*Armado por flexión de murete**5.7.13.- Revisión por cortante en columnas.***Diseño Estructural**

Revisión por cortante

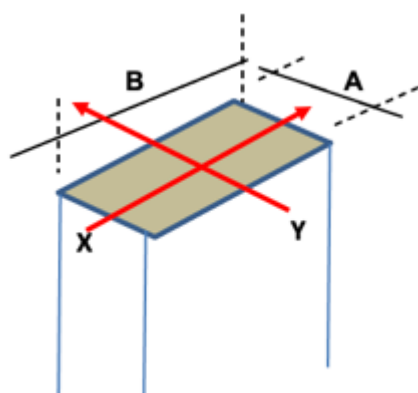
$$V_u = 9,378.08 \text{ Kg}$$

Sección X-X

$$b = 337.8 \text{ cm}$$

$$h = 60.0 \text{ cm}$$

$$d = 55.0 \text{ cm}$$

**Refuerzo propuesto**

Refuerzo propuesto

$$10N3 \quad A_{sv} = 7.13 \text{ cm}^2$$

$$F_{yv} = 4,200.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_c = 250.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$A_{sv \text{ mín}} = 10.49 \text{ cm}^2$$

$$FR_v = 0.70$$

$$FR_v (0.7 f_c A_g + 2000 A_s) = 2,621,161 \text{ Ok}$$

$$P_u < FR_v (0.7 f_c A_g + 2000 A_s)$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

$$\begin{aligned}
 K_v &= 1.5 b d \sqrt{f_c} F_{Rv} & K_v &= 308,448 \\
 S_v &= a_s v f_y / (3.5 b) & S_v &= 25 \\
 V_{smax} &= 1.5 b d \sqrt{f_c} & V_{smax} &= 440,639.67 \text{ Kg} \\
 p &= A_s / b d & p &= 0.00488 \\
 & & P_u / A_g &= 6.06 \\
 & & 1 + 0.007 P_u / A_g &= 1.04
 \end{aligned}$$

COLUMNAS

$$\begin{aligned}
 \text{Si } p \geq 0.015 \quad V_{cr} &= 0.5 (1 + 0.007 P_u / A_g) b d \sqrt{f_c} F_{Rv} \\
 \text{Si } p < 0.015 \quad V_{cr} &= (0.2 + 20 p) (1 + 0.007 P_u / A_g) b d \sqrt{f_c} F_{Rv} \\
 V_{cr} &= 63,772.47 \text{ Kg} \\
 V_d &= \quad - \quad \text{Kg}
 \end{aligned}$$

$V_d < V_{smax}$ Ok, comportamiento ductil

Por lo que se acepta los estribos de especificación.

Separación	$S_v = A_{sv} * f_y / (3.5 * b)$	25 cm
	$S = F_{Rv} A_{sv} * f_y * d / V_d$	- No requiere
Armado de barra N6	$S = 850 d b / f_y^{1/2}$	25 cm
	$S = 48 * d_e$	46 cm
	S_{max}	28 cm
	$S_d =$	25 cm
En zona de confinamiento usar $S=10$ cm		
	$V_s =$	46,115 Kg
	$V_R =$	109,887 Kg > V_u

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Diseño Estructural

Revisión por cortante

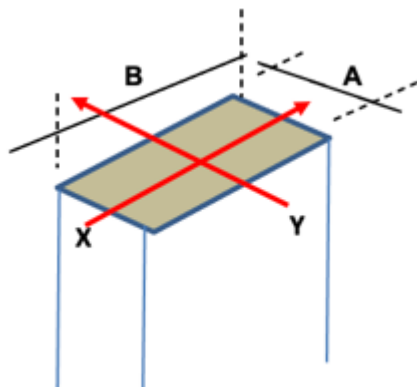
$$V_u = 17,662.35 \text{ Kg}$$

Sección Y-Y

$$b = 60.0 \text{ cm}$$

$$h = 337.8 \text{ cm}$$

$$d = 337.8 \text{ cm}$$

**Refuerzo propuesto**

Refuerzo propuesto

$$2N3 \quad A_{sv} = 1.43 \text{ cm}^2$$

$$F_{yv} = 4,200.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_c = 250.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$A_{sv} \text{ mín} = 10.49 \text{ cm}^2$$

$$F_{Rv} = 0.70$$

$$F_{Rv} (0.7 f_c A_g + 2000 A_s) = 2,621,161 \text{ Ok}$$

$$P_u < F_{Rv} (0.7 f_c A_g + 2000 A_s)$$

$$K_v = 1.5 b d \sqrt{f_c} F_{Rv}$$

$$K_v = 331,508$$

$$S_v = a_{sv} f_y / (3.5 b)$$

$$S_v = 29$$

$$V_{smax} = 1.5 b d \sqrt{f_c}$$

$$V_{smax} = 473,582.70 \text{ Kg}$$

$$p = A_s / b d$$

$$p = 0.00488$$

$$P_u / A_g = 6.06$$

$$1 + 0.007 P_u / A_g = 1.04$$

COLUMNAS

$$\text{Si } p \geq 0.015 \quad V_{cr} = 0.5 (1 + 0.007 P_u / A_g) b d \sqrt{f_c} F_{Rv}$$

$$\text{Si } p < 0.015 \quad V_{cr} = (0.2 + 20 p) (1 + 0.007 P_u / A_g) b d \sqrt{f_c} F_{Rv}$$

$$V_{cr} = 68,540.22 \text{ Kg}$$

$$V_d = - \text{ Kg}$$

$$V_d < V_{smax} \quad \text{Ok, comportamiento ductil}$$

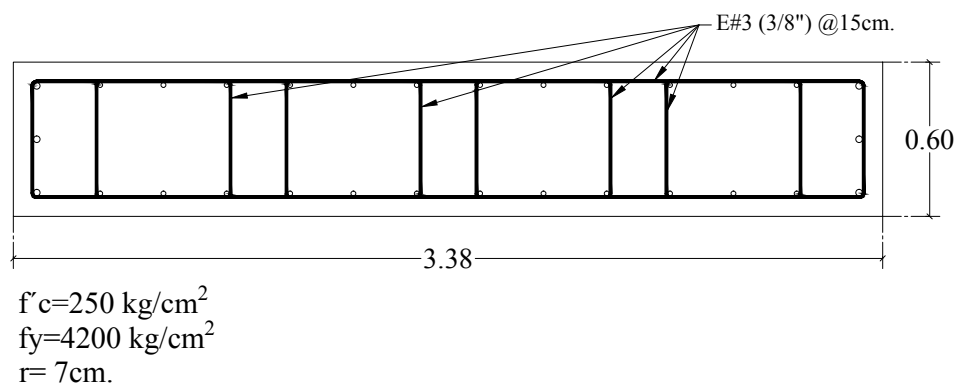
Por lo que se acepta los estribos de especificación.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Separación	$S_v = A_{sv} \cdot f_y / (3.5 \cdot b)$	29 cm
	$S = F R_v A_{sv} \cdot f_y \cdot d / V_d$	- No requiere
Armado de barra N6	$S = 850 \text{ db} / f_y^{1/2}$	25 cm
	$S = 48 \cdot d_e$	46 cm
	$S_{\max}$	166 cm
	$S_d =$	25 cm
En zona de confinamiento usar $S=10 \text{ cm}$		
	$V_s =$	55,807 Kg
	$V_R =$	124,348 Kg > V_u

Revisión por cortantes.

Dirección X			Dirección Y		
$V_{ux} =$	8,704.21	kg	$V_{ux} =$	16,988.49	kg
$V_T =$	673.87	kg	$V_T =$	673.87	kg
$V_u =$	9,378.08	kg	$V_u =$	17,662.35	kg
$V_{cR} =$	63,772.47		$V_{cR} =$	68,540.22	
$V_{sR} =$	46,114.83		$V_{sR} =$	55,807.33	
$V_R =$	109,887.30	OK	$V_R =$	124,347.55	OK

Figura 15*Armado de estribos por cortante*

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

5.7.14.- Diseño de zapata.

Diseño de zapata aislada con sismo en X

Solicitaciones

Sentido X

$$P_u = 122,901.00 \text{ Kg}$$

$$M_u = 27,363.79 \text{ Kg-m}$$

Sentido Y

$$M_u = 15,426.82 \text{ Kg-m}$$

Observaciones:

Datos geotécnicos

$$\sigma = 15.00 \text{ Ton/m}^2 \quad (\text{Capacidad de carga})$$

$$\gamma = 1,800.00 \text{ Kg/m}^3 \quad (\text{Peso volumétrico del relleno})$$

Concreto hidráulico

$$f'_c = 250.00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f''_c = 212.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_{Vc} = 2,400.00 \text{ Kg/m}^3$$

$$E'_c = 221,359 \text{ Kg/cm}^2$$

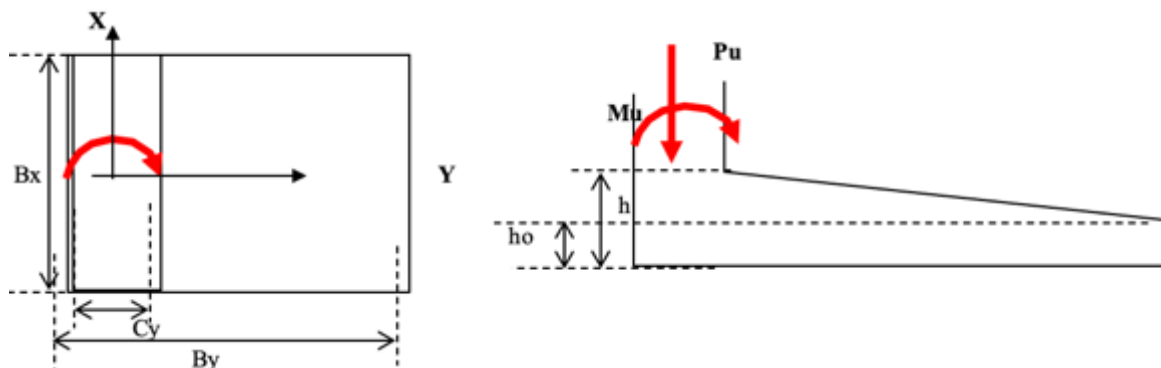
$$\beta_1 = 0.85$$

Barras de Acero

$$f_y = 4,200.00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_y = 2.00 \text{E}+06 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\varepsilon_y = 0.002$$

Figura 16*Geometría de Zapata*

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Datos de la sección

Estimación de Bx:

$$K = P_u / \sigma$$

$$P_u = 158,301 \text{ kg}$$

$$C_x = 3.38 \text{ m}$$

$$K = 11 \text{ m}^2$$

$$C_y = 0.80 \text{ m} \quad e = M / P$$

$$e = 0.17 \text{ m} \quad e = 0.10$$

$$B_y = 4.00 \text{ m}$$

$$B_x = 3.43 \text{ m} \quad B_y = 3.35$$

$$B_x = 4.40 \text{ m}$$

$$h = 0.50 \text{ m}$$

$$h_o = 0.25 \text{ m}$$

$$D_f = 1.00 \text{ m}$$

Profundidad mínima recomendada de desplante.

Peso propio de cimentación

Dado

$$PP1 = P_{Vc} C_x C_y (D_f - h) = 3,243 \text{ Kg}$$

Zapata

$$PP2 = P_{Vc} [(C_x C_y) + (B_x B_y)] (h - h_o) / 2 = 6,088 \text{ Kg}$$

$$PP3 = P_{Vc} B_x B_y h_o = 10,555 \text{ Kg}$$

Peso cimentación

$$PP = PP1 + PP2 + PP3 = 19,886 \text{ Kg}$$

$$\text{Carga Actuante} = 148,753 \text{ Kg}$$

Esfuerzos sobre el suelo

Distribución teorica de esfuerzos:

$$\sigma = P/A (+/-) Mx/I$$

Capacidad del terreno

$$15.00 \text{ Ton/m}^2$$

Dirección X

Dirección Y

$$P = 158.30 \text{ Ton}$$

$$A = B_x B_y = 17.59 \text{ m}^2$$

$$P/A = 9.00 \text{ Ton/m}^2$$

$$M = 27.36 \text{ Ton-m}$$

$$M = 15.43 \text{ Ton-m}$$

$$x = B_x/2 = 2.20 \text{ m}$$

$$x = B_y/2 = 2.00 \text{ m}$$

$$I = B_y B_x^3/12 = 28.36 \text{ m}^4$$

$$I = B_y B_x^3/12 = 23.46 \text{ m}^4$$

$$Mx/I = 2.12 \text{ Ton/m}^2$$

$$Mx/I = 1.32 \text{ Ton/m}^2$$

$$\sigma_1 = 11.12 \text{ Ton/m}^2 < 15.00 \text{ Ton/m}^2 \text{ OK}$$

$$\sigma_1 = 10.31 \text{ Ton/m}^2$$

$$\sigma_2 = 6.88 \text{ Ton/m}^2$$

$$\sigma_2 = 7.68 \text{ Ton/m}^2$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Revisión por penetración.

Se considera unicamente la contribución del concreto a la resistencia de penetración, por lo que se acepta como valida las teorias aplicadas al concreto reforzado con acero.

$$h = 50.00 \text{ cm}$$

$$h_o = 25.00 \text{ cm}$$

Proponiendo un recubrimiento

Se considera que la falla ocurre a una distancia de medio peralte efectivo. Por lo que se debe evaluar el peralte crítico de penetración a esa distancia.

$$r = 7.00 \text{ cm}$$

Peralte crítico

Peralte efectivo en extremo de zapata

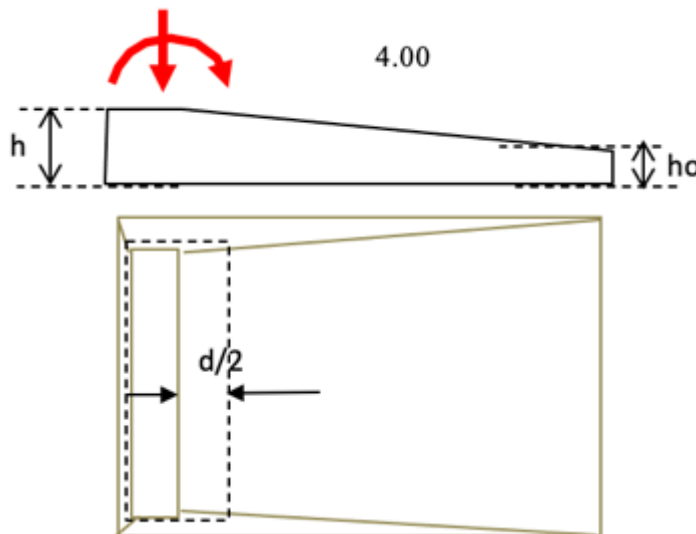
$$h_c = 28.92 \text{ cm}$$

$$d = h - r = 43.00 \text{ cm}$$

$$d_c = 21.92 \text{ cm}$$

Figura 17

Revisión de la penetración



Verificación para la contribución del momento

$$M_u > 0.20 V_u d$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

DIRECCIÓN X

$$Mu = 27,363.79 \text{ Kg-m}$$

$$Vu = 158,300.52 \text{ Kg}$$

DIRECCIÓN Y

$$Mu = 15,426.82 \text{ Kg-m}$$

$$Vu = 158,300.52 \text{ Kg}$$

$$0.20 Vu d = 6,939.89 \text{ Kg-m}$$

$$0.20 Vu d = 6,939.89 \text{ Kg-m}$$

Debe tomarse en cuenta la contribución del momento.

$$(Cx+d) = 359.72 \text{ cm}$$

$$(Cx+d) = 359.72 \text{ cm}$$

$$(Cy+d) = 101.92 \text{ cm}$$

$$(Cy+d) = 101.92 \text{ cm}$$

$$Jo = [d(Cx+d)^3 + (Cx+d)d^3 + 3(Cy+d)(Cx+d)^2]/6$$

$$\alpha = 1 - 1/[1 + 0.67\sqrt{(Cx+d)/(Cy+d)}]$$

DIRECCIÓN X

$$Jo = 3.15.E+08 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = 0.557$$

Esfuerzo último

$$vu = Vu/Acr + \alpha Mu [(Cy+d)/2]/Jo$$

$$Acr = 20,238.30 \text{ cm}^2$$

$$vux = 8.07 \text{ Kg/cm}^2$$

DIRECCIÓN Y

$$Jo = 4.50.E+07 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = 0.263$$

Esfuerzo último

$$vu = Vu/Acr + \alpha Mu [(Cy+d)/2]/Jo$$

$$Acr = 20,238.30 \text{ cm}^2$$

$$vux = 9.44 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzo Resistente

$$vcr = FR [0.50 + (Bx/By)] \sqrt{f'c}; \text{ con } By > Bx$$

$$vcr = FR \sqrt{f'c}$$

Esfuerzo Resistente

$$vcr = FR [0.50 + (Bx/By)] \sqrt{f'c}; \text{ con } By > Bx$$

$$vcr = FR \sqrt{f'c}$$

$$FR = 0.70$$

$$FR = 0.70$$

$$vcr 1 = 17.70 \text{ Kg/cm}^2$$

$$vcr 1 = 15.60 \text{ Kg/cm}^2$$

$$vcr 2 = 11.07 \text{ Kg/cm}^2$$

$$vcr 2 = 11.07 \text{ Kg/cm}^2$$

vu < vcr, resiste por penetración, OK.

vu < vcr, resiste por penetración, OK.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

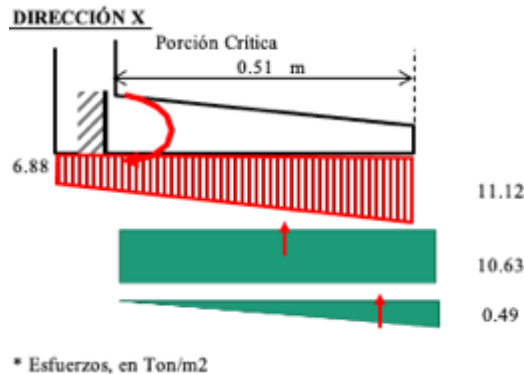
Diseño por flexión

Momento actuante, Método directo

Se considera que el esfuerzo del suelo actúa como carga. Tomando una sección en cantiliver.

Figura 18

Diseño por flexión



Para determinar el momento, dividimos la presión en dos cargas, una rectangular y otra triangular.

por triangulos semejantes, evaluamos la proporción crítica de cargas.

Carga de presión rectangular

$$P_1 = 21.68 \text{ Ton}$$

$$\text{brazo} = 0.26 \text{ m}$$

Carga de presión rectangular

$$P_2 = 0.50 \text{ Ton}$$

$$\text{brazo} = 0.34 \text{ m}$$

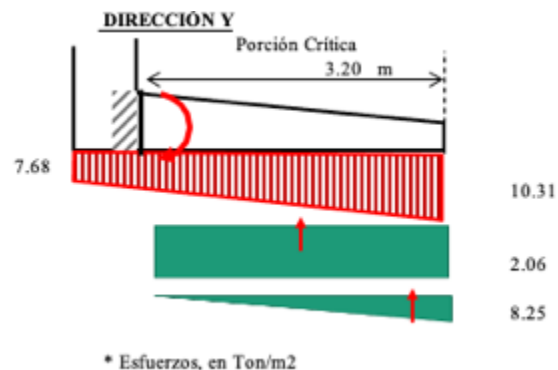
Momento X

$$M = 5.70 \text{ Ton-m}$$

$$\mathbf{Mu = 5.700 \text{ Ton-m}}$$

Figura 19

Diseño por flexión



Para determinar el momento, dividimos la presión en dos cargas, una rectangular y otra triangular.

por triangulos semejantes, evaluamos la proporción crítica de cargas.

Carga de presión rectangular

$$P_1 = 29.03 \text{ Ton}$$

$$\text{brazo} = 1.60 \text{ m}$$

Carga de presión rectangular

$$P_2 = 58.06 \text{ Ton}$$

$$\text{brazo} = 2.13 \text{ m}$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Momento Y

$$M = 170.31 \text{ Ton-m}$$

$$\mathbf{Mu = 170.312 \text{ Ton-m}}$$

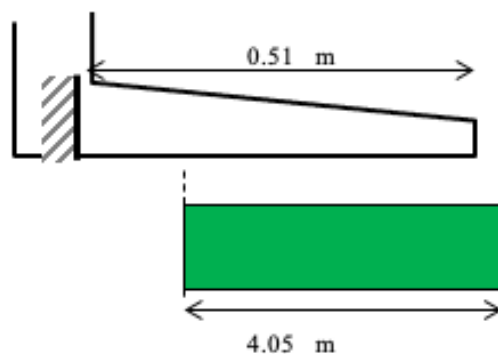
Momento actuante, Metodo de redistribución de presiones

Se considera que la presión del suelo, se redistribuye ante la sollicitación en una superficie crítica, en una carga uniforme, sobre la sección en cantiliver.

Ancho de la sección crítica. $X = Bx - 2e$

Figura 20

Redistribución de presiones



Asumiremos la revisión con el momento más desfavorable

Momento X

$$e = M / P = 0.17 \text{ m}$$

$$X = 4.05 \text{ m}$$

Momento Y

$$e = M / P = 0.10 \text{ m}$$

$$X = 3.81 \text{ m}$$

$$qu = Nu / [(Bx - 2ex)By]$$

$$Nu = 158,300.52 \text{ Kg}$$

$$qu = 9.77 \text{ Ton/m}^2$$

$$qu = Nu / [(Bx - 2ex)By]$$

$$Nu = 158,300.52 \text{ Kg}$$

$$qu = 9.46 \text{ Ton/m}^2$$

Carga de presión rectangular

$$Pu = 19.92 \text{ Ton}$$

$$Mu = 5.080 \text{ Ton-m}$$

$$Mux = 5,699.54 \text{ kg-m}$$

Carga de presión rectangular

$$Pu = 133.13 \text{ Ton}$$

$$Mu = 213.004 \text{ Ton-m}$$

$$Muy = 213,003.55 \text{ kg-m}$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Diseño por flexión

FORMULA GENERAL

FR = 0.90

Balanceada

$$A_s = \frac{f_c''}{f_y} \frac{6000 \beta_1}{f_y + 6000} b d$$

$$q = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

A = 0.50

A = 0.50

B = (1.00)

B = (1.00)

C = 0.00

C = 0.14

q1 = 1.996

q1 = 1.852

q2 = 0.004 As = 3.51 cm²q2 = 0.148 As = 141.51 cm²

p = 0.0002

p = 0.0075

p mín = 0.0026 As mín = 45.33 cm²p mín = 0.0026 As mín = 49.84 cm²p bal = 0.0298 As bal = 511.90 cm²p bal = 0.0298 As bal = 562.84 cm²p max = 0.0268 As max = 460.71 cm²p max = 0.0268 As max = 506.56 cm²As dis = 45.33 cm²As dis = 141.51 cm²

Diam Cantidad Área

6 1 2.85

Total = 2.85 cm²

Núm. pzas = 16.00

s = 25.00 cm

Mínimo Longitudinal

As real = 45.60 cm²**p real = 0.0027**

Diam Cantidad Área

8 1 5.07

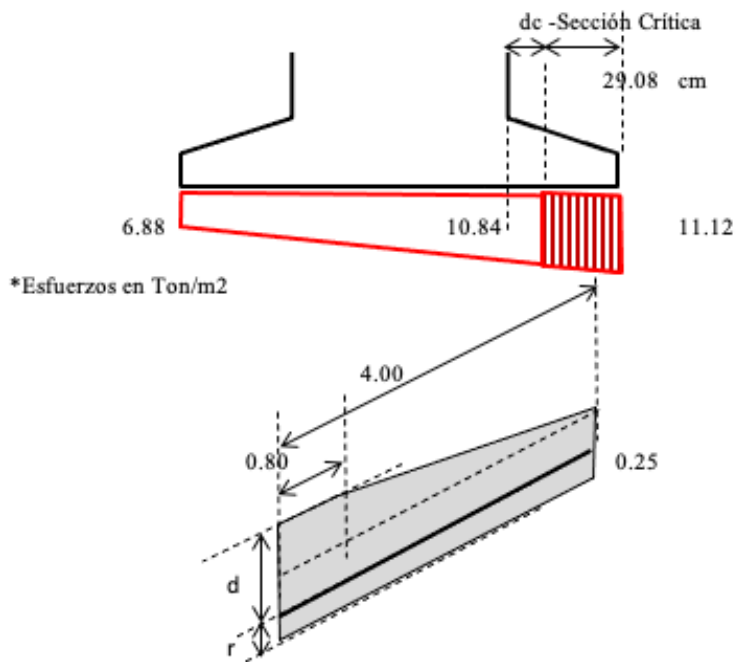
Total = 5.07 cm²

Núm. pzas = 28.00

s = 15.00 cm

As real = 141.88 cm²**p real = 0.0075**

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Revisión por cortante Dirección X**Figura 21***Revisión por cortante Dirección X*

Determinación del peralte en zona de corte

$$h_c = 28.92 \text{ cm}$$

$$d_c = 21.92 \text{ cm}$$

Determinación del volado crítico de cortante

$$L_c = 29.08 \text{ cm}$$

Cortante actuante último

$$V = 12,771.47 \text{ Kg}$$

$$V_u = 12,771.47 \text{ Kg}$$

Area Crítica

$$A_c = 6,461.18 \text{ cm}^2$$

Cuantía de refuerzo

$$p = 0.0027$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Revisión del cortante de la sección gruesa

$$FR = 0.70$$

$$V_r = FR ((0.2+20p)\sqrt{f'_c}) A_c \quad p < 0.015 \quad V_{r1} = 18,094.53 \text{ Kg}$$

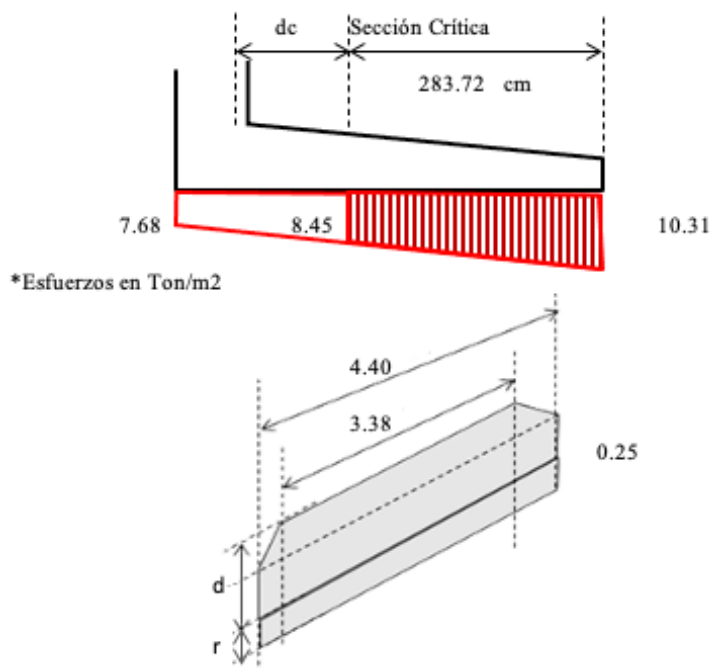
$$V_r = FR (0.50\sqrt{f'_c}) A_c \quad p > 0.015 \quad V_{r2} = 35,756.06 \text{ Kg}$$

$V_r = 18,094.53 \text{ Kg}$ pasa por cortante de la sección gruesa

Revisión por cortante Dirección Y

Figura 22

Revisión por cortante Dirección Y



Determinación del peralte en zona de corte

$$h_c = 43.28 \text{ cm}$$

$$d_c = 36.28 \text{ cm}$$

Determinación del volado crítico de cortante

$$L_c = 283.72 \text{ cm}$$

Cortante actuante último

$$V = 117,053.46 \text{ Kg}$$

$$V_u = 117,053.46 \text{ Kg}$$

Area Crítica

$$A_c = 12,302.55 \text{ cm}^2$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Cuantía de refuerzo

$$p = 0.0075$$

Revisión del cortante de la sección gruesa

$$FR = 0.70$$

$$V_r = FR ((0.2+20p)\sqrt{f'_c}) A_c \quad p < 0.015 \quad V_{r1} = 47,663.63 \text{ Kg}$$

$$V_r = FR (0.50\sqrt{f'_c}) A_c \quad p > 0.015 \quad V_{r2} = 68,082.14 \text{ Kg}$$

$$V_r = 47,663.63 \text{ Kg} \quad \text{No cumple}$$

Habrá que considerar las contratraves contrafruentes

$$L = 100.00 \text{ cm}$$

$$d_c = 33.23 \text{ cm}$$

Área Crítica de la sección base Área Crítica a 100.00 cm del paño : 11,115.16 cm²

$$A_c = 7,916.40 \text{ cm}^2$$

Revisión del cortante de la sección gruesa

$$FR = 0.70$$

$$V_r = FR ((0.2+20p)\sqrt{f'_c}) A_c \quad p < 0.015 \quad V_{r1} = 30,670.42 \text{ Kg} \quad V_{r1} = 43,063.35 \text{ Kg}$$

$$V_{dT} = 86,383.04 \text{ kg} \quad V_{dT} = 73,990.11 \text{ kg}$$

$$\text{En 3 contratraves} \quad V_d = 28,794.35 \text{ kg} \quad V_d = 24,663.37 \text{ kg}$$

SECCIÓN PROPUESTA

$$V_r = FR ((0.2+20p)\sqrt{f'_c}) b d \quad b = 30.00 \text{ cm}$$

$$h = 60.00 \text{ cm}$$

$$r = 7.00 \text{ cm}$$

$$d = 53.00 \text{ cm}$$

Diam	Cantidad	Área	Diam	Cantidad	Área
------	----------	------	------	----------	------

6	2	5.70	4	2	2.53
---	---	------	---	---	------

$A_s = 5.70 \text{ cm}^2$			$A_{sv} = 2.53 \text{ cm}^2$		
---------------------------	--	--	------------------------------	--	--

$$p = 0.0036$$

$$S = FR_v A_{sv} f_y d / V_{sd} = 16.44 \text{ cm}$$

$$V_r = 4,781.47 \text{ kg}$$

$$V_{sd} = 24,012.88 \text{ kg}$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Diseño de zapata aislada con sismo en Y

Solicitaciones

Sentido X

Sentido Y

$$P_u = 122,901.00 \text{ Kg}$$

$$M_u = 8,209.14 \text{ Kg-m}$$

$$M_u = 51,422.73 \text{ Kg-m}$$

Observaciones:

Datos geotécnicos

$$\sigma = 15.00 \text{ Ton/m}^2 \quad (\text{Capacidad de carga})$$

$$\gamma = 1,800.00 \text{ Kg/m}^3 \quad (\text{Peso volumétrico del relleno})$$

Concreto hidráulico

$$f'_c = 250.00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f''_c = 212.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_{Vc} = 2,400.00 \text{ Kg/m}^3$$

$$E'_c = 221,359 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\beta_1 = 0.85$$

Barras de Acero

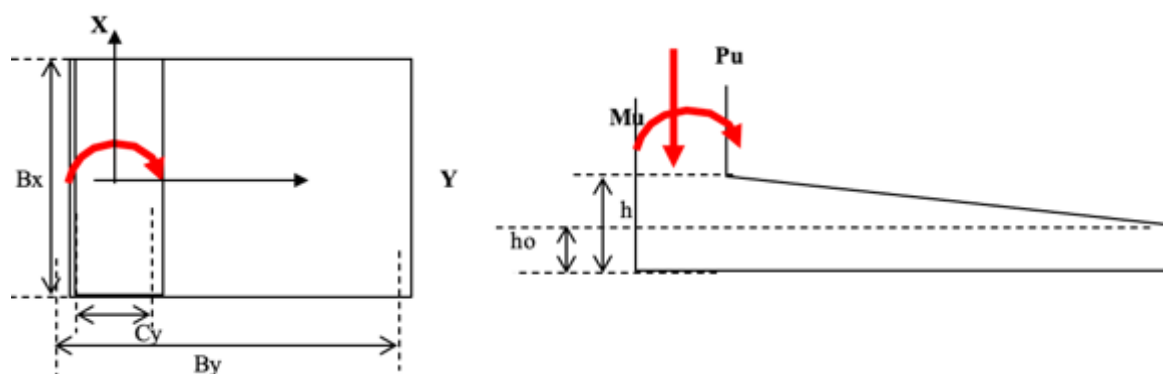
$$f_y = 4,200.00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_y = 2.00 \text{E}+06 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\epsilon_y = 0.002$$

Figura 23

Geometría de Zapata



ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Datos de la sección

Estimación de Bx:

$$K = P_u / \sigma$$

$$P_u = 158,301 \text{ kg}$$

$$C_x = 3.38 \text{ m}$$

$$K = 11 \text{ m}^2$$

$$C_y = 0.80 \text{ m} \quad e = M / P$$

$$e = 0.05 \text{ m} \quad e = 0.32$$

$$B_y = 4.00 \text{ m}$$

$$B_x = 3.30 \text{ m} \quad B_y = 3.59$$

$$B_x = 4.40 \text{ m}$$

$$h = 0.50 \text{ m}$$

$$h_o = 0.25 \text{ m}$$

$$D_f = 1.00 \text{ m}$$

Profundidad mínima recomendada de desplante.

Peso propio de cimentación

Dado

$$PP1 = P_{Vc} C_x C_y (D_f - h) = 3,243 \text{ Kg}$$

Zapata

$$PP2 = P_{Vc} [(C_x C_y) + (B_x B_y)] (h - h_o) / 2 = 6,088 \text{ Kg}$$

$$PP3 = P_{Vc} B_x B_y h_o = 10,555 \text{ Kg}$$

Peso cimentación

$$PP = PP1 + PP2 + PP3 = 19,886 \text{ Kg}$$

$$\text{Carga Actuante} = 148,753 \text{ Kg}$$

Esfuerzos sobre el suelo

Distribución teorica de esfuerzos:

$$\sigma = P/A (+/-) Mx/I$$

Capacidad del terreno

$$15.00 \text{ Ton/m}^2$$

Dirección X

Dirección Y

$$P = 158.30 \text{ Ton}$$

$$A = B_x B_y = 17.59 \text{ m}^2$$

$$P/A = 9.00 \text{ Ton/m}^2$$

$$M = 8.21 \text{ Ton-m}$$

$$M = 15.43 \text{ Ton-m}$$

$$x = B_x/2 = 2.20 \text{ m}$$

$$x = B_y/2 = 2.00 \text{ m}$$

$$I = B_y B_x^3/12 = 28.36 \text{ m}^4$$

$$I = B_x B_y^3/12 = 23.46 \text{ m}^4$$

$$Mx/I = 0.64 \text{ Ton/m}^2$$

$$Mx/I = 1.32 \text{ Ton/m}^2$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

$$\sigma 1 = 9.64 \text{ Ton/m}^2 < 15.00 \text{ Ton/m}^2 \text{ OK}$$

$$\sigma 1 = 13.38 \text{ Ton/m}^2$$

$$\sigma 2 = 8.36 \text{ Ton/m}^2$$

$$\sigma 2 = 4.61 \text{ Ton/m}^2$$

Revisión por penetración.

Se considera unicamente la contribución del concreto a la resistencia de penetración, por lo que se acepta como valida las teorías aplicadas al concreto reforzado con acero.

$$h = 50.00 \text{ cm}$$

$$h_o = 25.00 \text{ cm}$$

Proponiendo un recubrimiento

Se considera que la falla ocurre a una distancia de medio peralte efectivo. Por lo que se debe evaluar el peralte crítico de penetración a esa distancia.

$$r = 7.00 \text{ cm}$$

Peralte crítico

Peralte efectivo en extremo de zapata

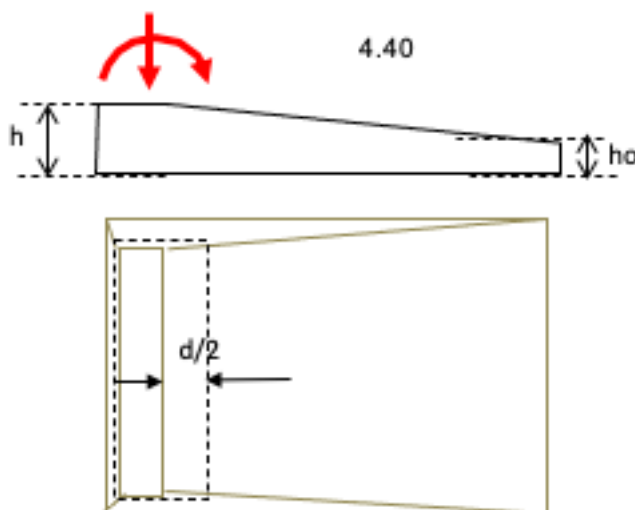
$$h_c = 28.92 \text{ cm}$$

$$d = h - r = 43.00 \text{ cm}$$

$$d_c = 21.92 \text{ cm}$$

Figura 24

Revisón de la penetración



ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Verificación para la contribución del momento

$$M_u > 0.20 V_u d$$

DIRECCIÓN X

$$M_u = 8,209.14 \text{ Kg-m}$$

$$V_u = 158,300.52 \text{ Kg}$$

DIRECCIÓN Y

$$M_u = 51,422.73 \text{ Kg-m}$$

$$V_u = 158,300.52 \text{ Kg}$$

$$0.20 V_u d = 6,939.89 \text{ Kg-m}$$

$$0.20 V_u d = 6,939.89 \text{ Kg-m}$$

Debe tomarse en cuenta la contribución del momento.

$$(C_x+d) = 359.72 \text{ cm}$$

$$(C_x+d) = 359.72 \text{ cm}$$

$$(C_y+d) = 101.92 \text{ cm}$$

$$(C_y+d) = 101.92 \text{ cm}$$

$$J_o = [d(C_x+d)^3 + (C_x+d)d^3 + 3(C_y+d)(C_x+d)^2]/6$$

$$\alpha = 1 - 1/[1 + 0.67 \sqrt{(C_x+d)/(C_y+d)}]$$

DIRECCIÓN X

$$J_o = 3.15.E+08 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = 0.557$$

Esfuerzo último

$$v_u = V_u/Acr + \alpha M_u [(C_y+d)/2]/J_o$$

$$Acr = 20,238.30 \text{ cm}^2$$

$$v_{ux} = 7.90 \text{ Kg/cm}^2$$

DIRECCIÓN Y

$$J_o = 4.50.E+07 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = 0.263$$

Esfuerzo último

$$v_u = V_u/Acr + \alpha M_u [(C_y+d)/2]/J_o$$

$$Acr = 20,238.30 \text{ cm}^2$$

$$v_{uy} = 13.22 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzo Resistente

$$v_{cr} = FR [0.50 + (B_x/B_y)] \sqrt{f'_c}; \text{ con } B_y > B_x$$

$$v_{cr} = FR \sqrt{f'_c}$$

$$FR = 0.70$$

$$v_{cr1} = 17.70 \text{ Kg/cm}^2$$

$$v_{cr2} = 11.07 \text{ Kg/cm}^2$$

 $v_u < v_{cr}$, resiste por penetración, OK.

Esfuerzo Resistente

$$v_{cr} = FR [0.50 + (B_x/B_y)] \sqrt{f'_c}; \text{ con } B_y > B_x$$

$$v_{cr} = FR \sqrt{f'_c}$$

$$FR = 0.70$$

$$v_{cr1} = 15.60 \text{ Kg/cm}^2$$

$$v_{cr2} = 11.07 \text{ Kg/cm}^2$$

 $v_u < v_{cr}$, no pasa.

Se plantea colocar unas contratraveses tipo contrafuertes para incrementar la sección crítica.

3 contratraveses de dimensión en planta

$$L = 100 \text{ cm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

$$A_c = 32,526.30$$

$$v_{uy} = 10.27 \text{ Kg/cm}^2$$

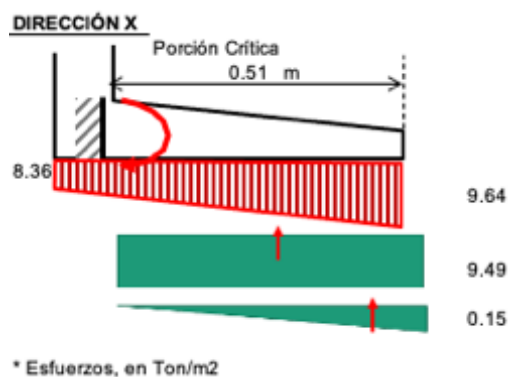
Diseño por flexión

Momento actuante, Método directo

Se considera que el esfuerzo del suelo actúa como carga. Tomando una sección en cantiliver.

Figura 25

Diseño por flexión



Para determinar el momento, dividimos la presión en dos cargas, una rectangular y otra triangular.

por triángulos semejantes, evaluamos la proporción crítica de cargas.

Carga de presión rectangular

$$P_1 = 19.35 \text{ Ton}$$

$$\text{brazo} = 0.26 \text{ m}$$

Carga de presión rectangular

$$P_2 = 0.15 \text{ Ton}$$

$$\text{brazo} = 0.34 \text{ m}$$

Momento X

$$M = 4.99 \text{ Ton-m}$$

$$\mathbf{Mu} = 4.987 \text{ Ton-m}$$

Figura 26

Diseño por flexión



Para determinar el momento, dividimos la presión en dos cargas, una rectangular y otra triangular.

por triángulos semejantes, evaluamos la proporción crítica de cargas.

Carga de presión rectangular

$$P_1 = 37.67 \text{ Ton}$$

$$\text{brazo} = 1.60 \text{ m}$$

Carga de presión rectangular

$$P_2 = 75.34 \text{ Ton}$$

$$\text{brazo} = 2.13 \text{ m}$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Momento Y

$$M = 220.99 \text{ Ton-m}$$

$$\mathbf{Mu = 220.995 \text{ Ton-m}}$$

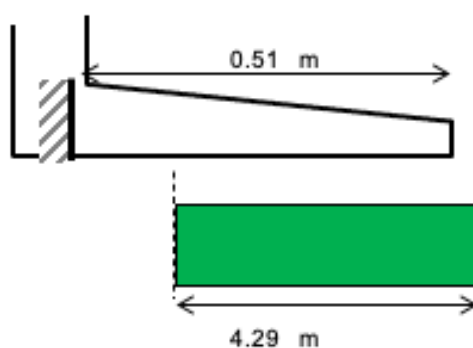
Momento actuante, Metodo de redistribución de presiones

Se considera que la presión del suelo, se redistribuye ante la sollicitación en una superficie crítica, en una carga uniforme, sobre la sección en cantiliver.

Ancho de la sección crítica. $X = Bx - 2 e$

Figura 27

Redistribución de presiones



Asumiremos la revisión con el momento más desfavorable

Momento X

$$e = M / P = 0.05 \text{ m}$$

$$X = 4.29 \text{ m}$$

$$qu = Nu / [(Bx - 2ex)By]$$

$$Nu = 158,300.52 \text{ Kg}$$

$$qu = 9.22 \text{ Ton/m}^2$$

Momento Y

$$e = M / P = 0.32 \text{ m}$$

$$X = 3.35 \text{ m}$$

$$qu = Nu / [(Bx - 2ex)By]$$

$$Nu = 158,300.52 \text{ Kg}$$

$$qu = 10.74 \text{ Ton/m}^2$$

Carga de presión rectangular

$$Pu = 19.92 \text{ Ton}$$

$$Mu = 4.794 \text{ Ton-m}$$

$$Mux = 4,986.55 \text{ kg-m}$$

Carga de presión rectangular

$$Pu = 151.20 \text{ Ton}$$

$$Mu = 241.917 \text{ Ton-m}$$

$$Muy = 241,917.14 \text{ kg-m}$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Diseño por flexión

FORMULA GENERAL

FR = 0.90

Balanceada

$$A_s = \frac{f_c''}{f_y} \frac{6000 \beta_1}{f_y + 6000} b d$$

$A = 0.50$ $q = (-B + \sqrt{B^2 - 4AC}) / (2A)$ $A = 0.50$
 $B = (1.00)$ $C = 0.00$ $B = (1.00)$
 $C = 0.00$ $C = 0.16$

$$q_1 = 1.996$$

$$q_1 = 1.830$$

$$q_2 = 0.004 \quad A_s = 3.07 \text{ cm}^2$$

$$q_2 = 0.170 \quad A_s = 162.66 \text{ cm}^2$$

$$p = 0.0002$$

$$p = 0.0086$$

$$p \text{ mín} = 0.0026 \quad A_s \text{ min} = 45.33 \text{ cm}^2$$

$$p \text{ mín} = 0.0026 \quad A_s \text{ min} = 49.84 \text{ cm}^2$$

$$p \text{ bal} = 0.0298 \quad A_s \text{ bal} = 511.90 \text{ cm}^2$$

$$p \text{ bal} = 0.0298 \quad A_s \text{ bal} = 562.84 \text{ cm}^2$$

$$p \text{ max} = 0.0268 \quad A_s \text{ max} = 460.71 \text{ cm}^2$$

$$p \text{ max} = 0.0268 \quad A_s \text{ max} = 506.56 \text{ cm}^2$$

$$A_s \text{ dis} = 45.33 \text{ cm}^2$$

$$A_s \text{ dis} = 162.66 \text{ cm}^2$$

Diam Cantidad Área

6 1 2.85

Total = 2.85 cm²

Núm. pzas = 16.00

s = 25.00 cm

Mínimo Longitudinal

As real = 45.60 cm²**p real = 0.0027**

Diam Cantidad Área

8 1 5.07

Total = 5.07 cm²

Núm. pzas = 33.00

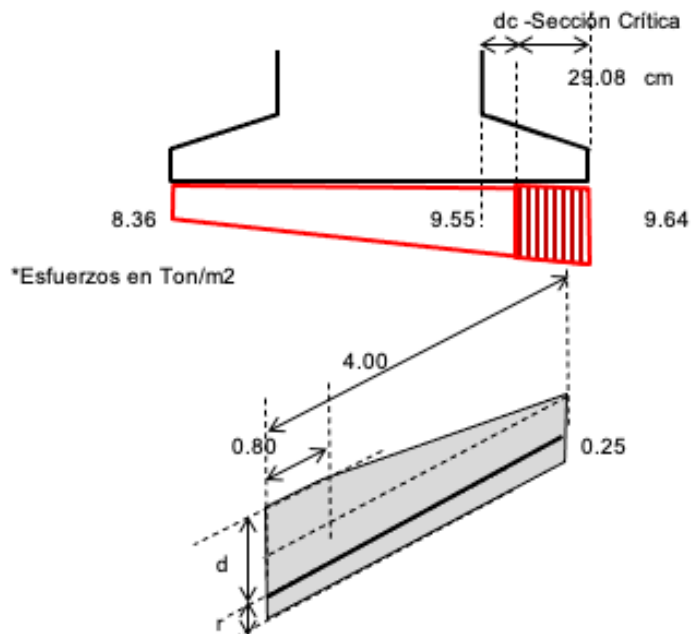
s = 13.00 cm

As real = 167.21 cm²**p real = 0.0088**

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Revisión por cortante Dirección X

Figura 28

Revisión por cortante Dirección X

Determinación del peralte en zona de corte

$$h_c = 28.92 \text{ cm}$$

$$d_c = 21.92 \text{ cm}$$

Determinación del volado crítico de cortante

$$L_c = 29.08 \text{ cm}$$

Cortante actuante último

$$V = 11,157.93 \text{ Kg}$$

$$V_u = 11,157.93 \text{ Kg}$$

Area Crítica

$$A_c = 6,461.18 \text{ cm}^2$$

Cuantía de refuerzo

$$p = 0.0027$$

Revisión del cortante de la sección gruesa

$$FR = 0.70$$

$$V_r = FR ((0.2+20p)\sqrt{f'_c}) A_c$$

$$V_r = FR (0.50\sqrt{f'_c}) A_c$$

$$p < 0.015 \quad V_{r1} = 18,094.53 \text{ Kg}$$

$$p > 0.015 \quad V_{r2} = 35,756.06 \text{ Kg}$$

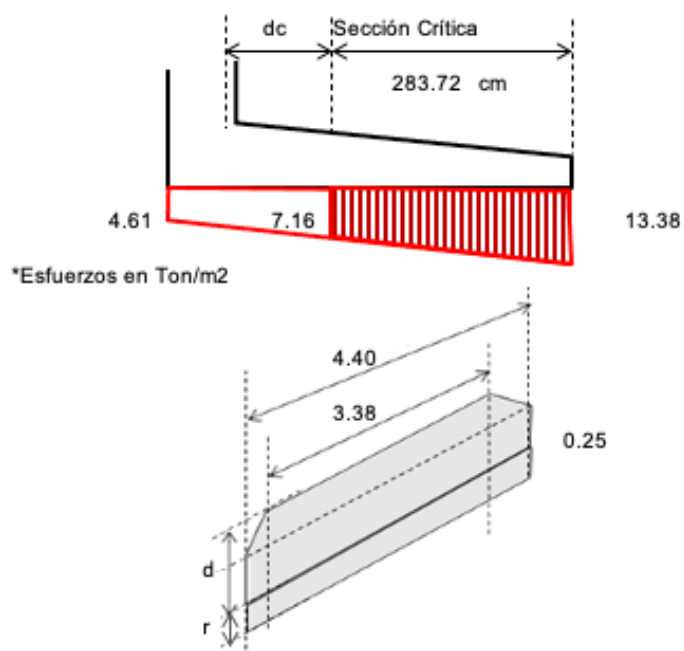
ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

$V_r = 18,094.53 \text{ Kg}$ pasa por cortante de la sección gruesa

Revisión por cortante Dirección Y

Figura 29

Revisión por cortante Dirección Y



Determinación del peralte en zona de corte

$$h_c = 43.28 \text{ cm}$$

$$d_c = 36.28 \text{ cm}$$

Determinación del volado crítico de cortante

$$L_c = 283.72 \text{ cm}$$

Cortante actuante último

$$V = 128,186.71 \text{ Kg}$$

$$V_u = 128,186.71 \text{ Kg}$$

Area Crítica

$$A_c = 12,302.55 \text{ cm}^2$$

Cuantía de refuerzo

$$p = 0.0088$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Revisión del cortante de la sección gruesa

$$FR = 0.70$$

$$V_r = FR ((0.2+20p)\sqrt{f_c}) A_c \quad p < 0.015 \quad V_{r1} = 51,311.98 \text{ Kg}$$

$$V_r = FR (0.50\sqrt{f_c}) A_c \quad p > 0.015 \quad V_{r2} = 68,082.14 \text{ Kg}$$

$$V_r = 51,311.98 \text{ Kg} \quad \text{No cumple}$$

Habrá que considerar las contratraves contrafuertes

$$L = 100.00 \text{ cm}$$

$$d_c = 33.23 \text{ cm}$$

Área Crítica de la sección base Área Crítica a 100.00 cm del paño : 11,115.16 cm²

$$A_c = 7,916.40 \text{ cm}^2$$

Revisión del cortante de la sección gruesa

$$FR = 0.70$$

$$V_r = FR ((0.2+20p)\sqrt{f_c}) A_c \quad p < 0.015 \quad V_{r1} = 33,018.05 \text{ Kg} \quad V_{r1} = 46,359.58 \text{ Kg}$$

$$V_{dT} = 95,168.67 \text{ kg} \quad V_{dT} = 81,827.13 \text{ kg}$$

$$\text{En 3 contratraves} \quad V_d = 31,722.89 \text{ kg} \quad V_d = 27,275.71 \text{ kg}$$

SECCIÓN PROPUESTA

$$V_r = FR ((0.2+20p)\sqrt{f_c}) b d \quad b = 30.00 \text{ cm}$$

$$h = 60.00 \text{ cm}$$

$$r = 7.00 \text{ cm}$$

$$d = 53.00 \text{ cm}$$

Diam	Cantidad	Área	Diam	Cantidad	Área
------	----------	------	------	----------	------

6	2	5.70	4	2	2.53
---	---	------	---	---	------

$$A_s = 5.70 \text{ cm}^2 \quad A_{sv} = 2.53 \text{ cm}^2$$

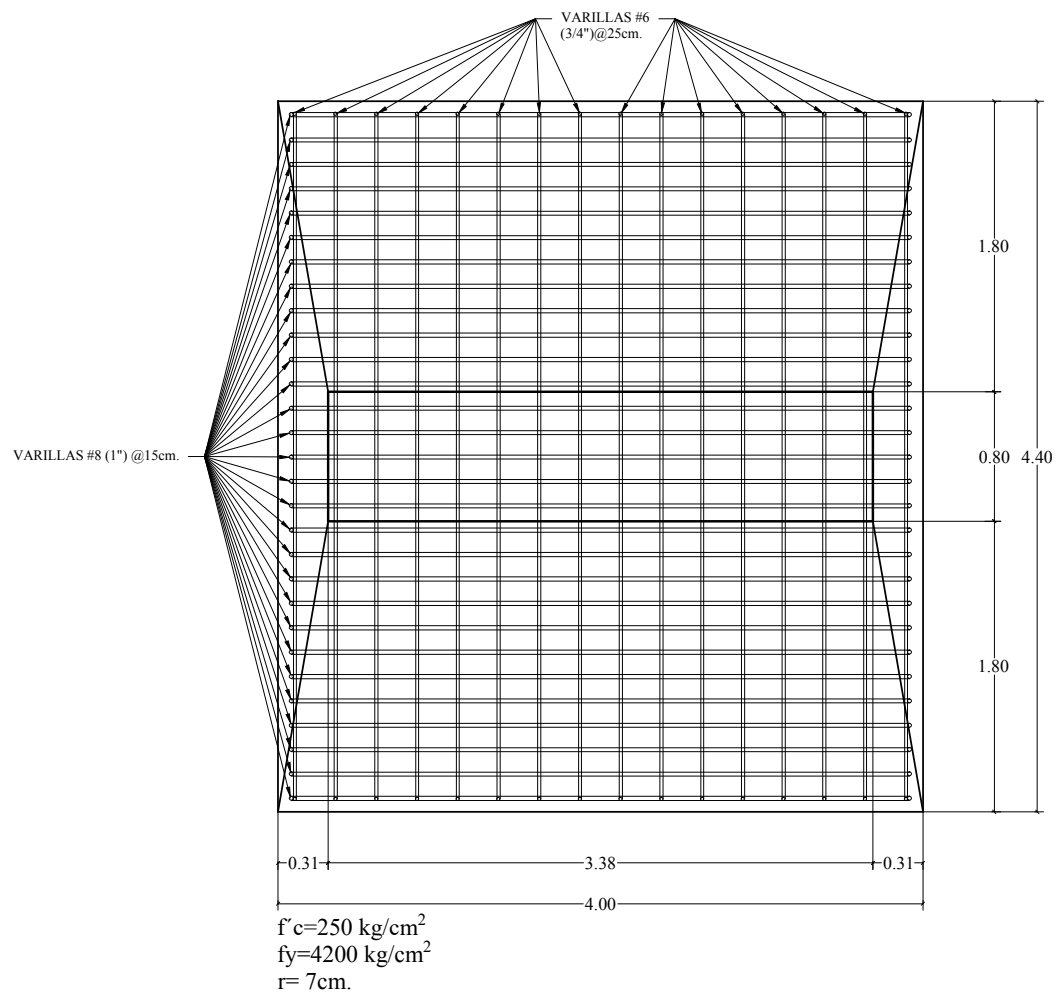
$$p = 0.0036$$

$$S = FR_v A_{sv} f_y d / V_{sd} = 14.65 \text{ cm}$$

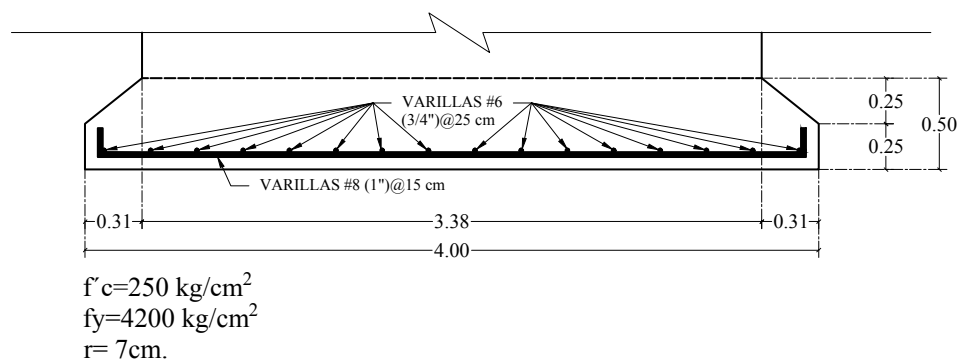
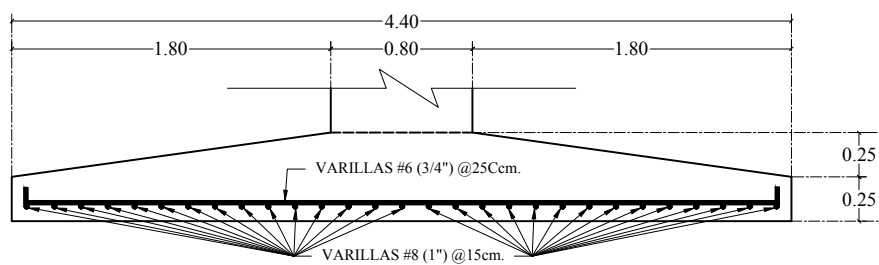
$$V_r = 4,781.47 \text{ kg}$$

$$V_{sd} = 26,941.42 \text{ kg}$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Figura 30*Armado de zapata (Planta)*

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Figura 31*Armado de zapata (Corte transversal)***Figura 32***Armado de zapata (Corte longitudinal)*

5.8.- Análisis y diseño de Bases de soporte del tanque de 93,000 litros al 100% de agua.

5.8.1.- Características Técnicas del Tanque

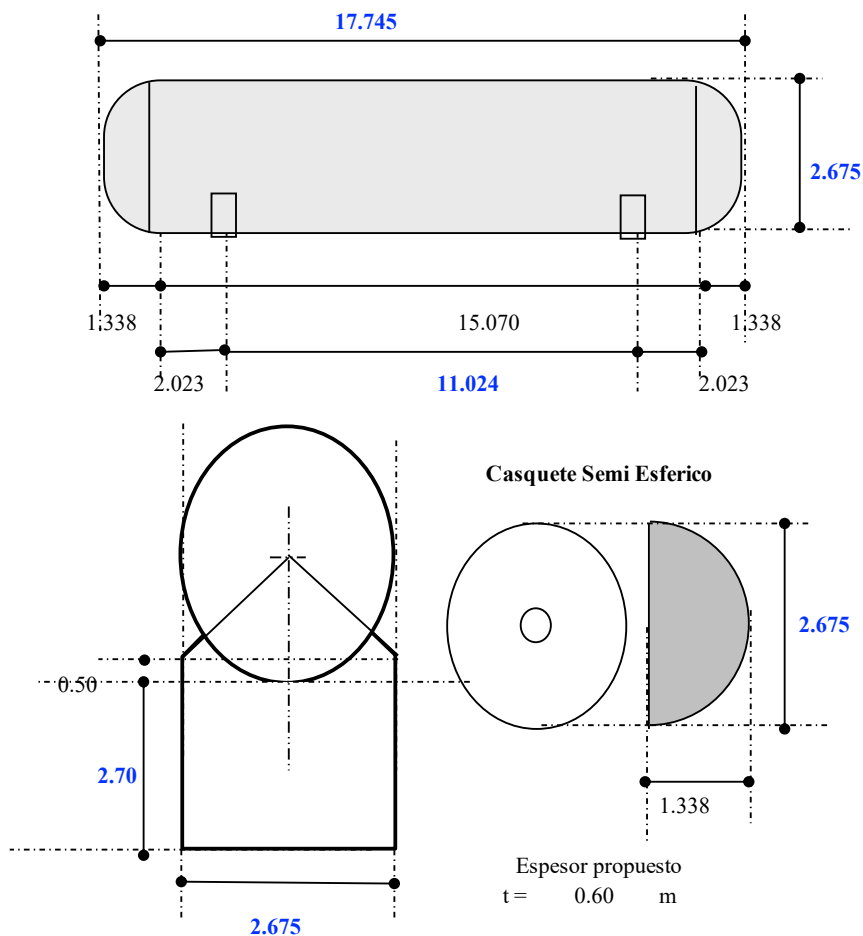
Constantes

Peso de Acero:	8,070.00 Kg/m3
Peso de Gas:	0.60 kg/Lt
Volumen del Depósito:	93,000.00 Lts
Tara del Depósito:	17,760.00 Kg
Peso del Gas L.P.:	55,800.00 Kg

El nivel del domo del tanque con capacidad de 93,000 lts debe coincidir $\pm 2\%$ con el domo del tanque con capacidad de 250,000 lts. (NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación., 2014, pág. 26)

Figura 33

Geometría para tanque



ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Se procede a la obtención de elementos mecanicos realizando los siguientes procesos:

5.8.2.- *Análisis de cargas.*

5.8.3.- *Condición sísmica de sitio.*

5.8.4.- *Ductilidad y sobre resistencia.*

5.8.5.- *Fuerza sísmica básica.*

5.8.6.- *Análisis sísmico de masa líquida.*

5.8.7.- *Análisis por viento.*

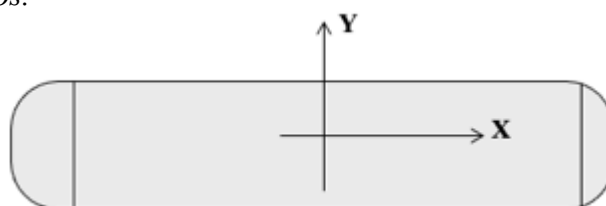
5.8.8.- *Analisis por temperatura.*

5.8.9.- *Efectos de segundo orden.*

5.8.10.- *Concentrado de elementos mecanicos.*

Factores de carga

Gravitacional	1.5 CM + 1.5 CV
Sísmica	1.25 CM + 1.25 CV
Carga viento	1.1 CM + 1.1 CV
Temperatura	CM + CV



Acción	Global				Base		
	CM (kg)	CV (kg)	F (kg)	H (m)	Pu (kg)	Vu (kg)	Mu (kg)
Gravedad	94,408.80	250.00			70,994.10		
Sismo X	94,408.80	250.00	7,430.99	3.07	59,161.75	4,644.37	14,256.60
Sismo Y	94,408.80	250.00	14,915.03	2.98	59,161.75	9,321.89	27,822.00
Viento X	94,408.80	250.00	1,075.00	2.47	52,062.34	591.25	1,459.12
Viento Y	94,408.80	250.00	4,034.47	3.87	52,062.34	2,218.96	8,578.01
Temperatura			12,467.84	2.70		13,714.62	37,029.48
Torsión Sísmica						348.46	3,841.42

Bajo el supuesto indicado en el libro de criterios de las NTC, los eventos sísmicos y de viento, son independientes. Evidentemente la condición sísmica rige sobre las de viento y temperatura.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Acción	Base				
	Pu (kg)	VXu (kg)	VYu (kg)	MXu (kg-m)	MYu (kg-m)
Gravedad	70,994.10				
SX + 0.3 SY	59,161.75	4,644.37	2,796.57	14,256.60	8,346.60
SY + 0.3 SX	59,161.75	1,393.31	9,321.89	4,276.98	27,822.00
Torsión Sísmica		348.46		3,841.42	

5.8.11.- Diseño de bases.

5.8.12.- Revisión por flexión con acero en sismo en X y sismo en Y.

Revisión por flexión con acero – Sismo en X

$$P_{ro} = 2,439,951 \text{ kg}$$

$$P_{Rx} = 1,011,241 \text{ kg}$$

$$P_{Ry} = 2,345,664 \text{ kg}$$

$$P_R = \frac{1}{\frac{1}{P_{Rx}} + \frac{1}{P_{Ry}} - \frac{1}{P_{Ro}}}$$

$$P_R = 994,670 \text{ OK}$$

$$P_R / P_{Ro} = 0.41 \text{ OK}$$

$$M_{Rx} = 235,505 \text{ kg-m}$$

$$M_{Ry} = 329,984 \text{ kg-m}$$

$$\text{Relación de momentos} = 0.09 \text{ OK}$$

$$\frac{M_{Rx}}{M_{Ry}} + \frac{M_{Ry}}{M_{Rx}} = 1.0$$

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

Revisión por flexión con acero – Sismo en Y

$$P_{ro} = 2,439,951 \text{ kg}$$

$$P_{Rx} = 2,091,195 \text{ kg}$$

$$P_{Ry} = 1,841,253 \text{ kg}$$

$$P_R = \frac{1}{\frac{1}{P_{Rx}} + \frac{1}{P_{Ry}} - \frac{1}{P_{Ro}}}$$

$$P_R = 1,635,431 \text{ OK}$$

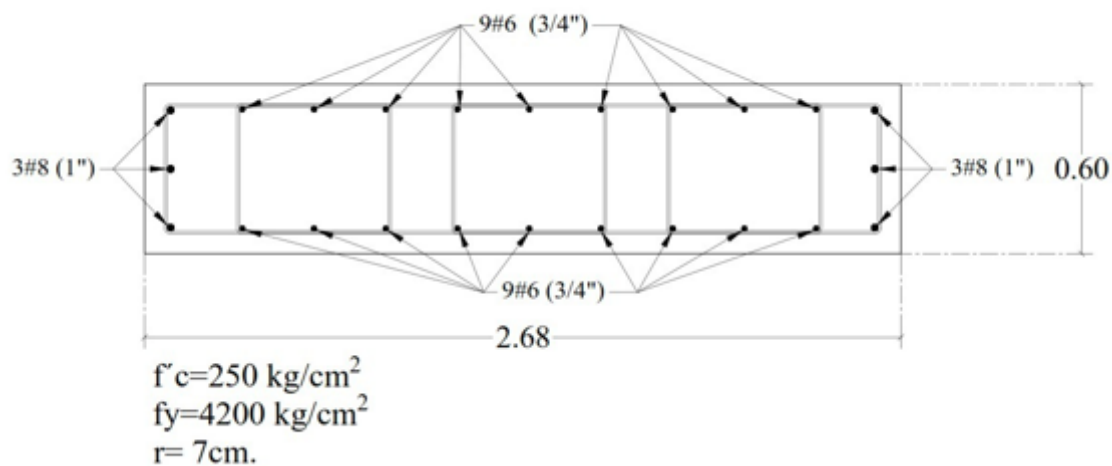
$$P_R / P_{Ro} = 0.67 \text{ OK}$$

$$M_{Rx} = 153,199 \text{ kg-m}$$

$$M_{Ry} = 856,223 \text{ kg-m}$$

$$\text{Relación de momentos} = 0.06 \text{ OK}$$

$$\frac{M_{Lx}}{M_{Rx}} + \frac{M_{Ly}}{M_{Ry}} \leq 1.0$$

Figura 34*Armado por flexión de murete*

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

5.8.13.- Revisión por cortante en columnas.

Revisión por cortantes.

Dirección X

$V_{ux} = 4,644.37 \text{ kg}$

$V_T = 348.46 \text{ kg}$

$V_u = 4,992.83 \text{ kg}$

$V_{cR} = 50,414.94$

$V_{sR} = 36,891.86$

$V_R = 87,306.80 \text{ OK}$

Dirección Y

$V_{uy} = 9,321.89 \text{ kg}$

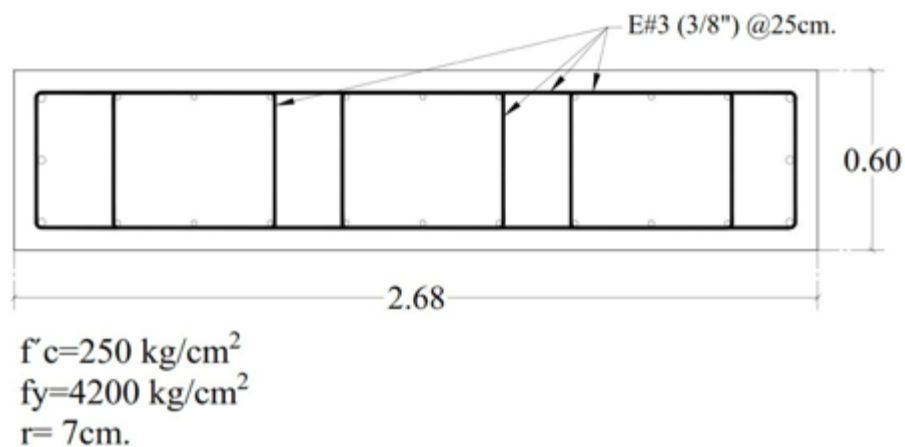
$V_T = 348.46 \text{ kg}$

$V_u = 9,670.35 \text{ kg}$

$V_{cR} = 53,970.11$

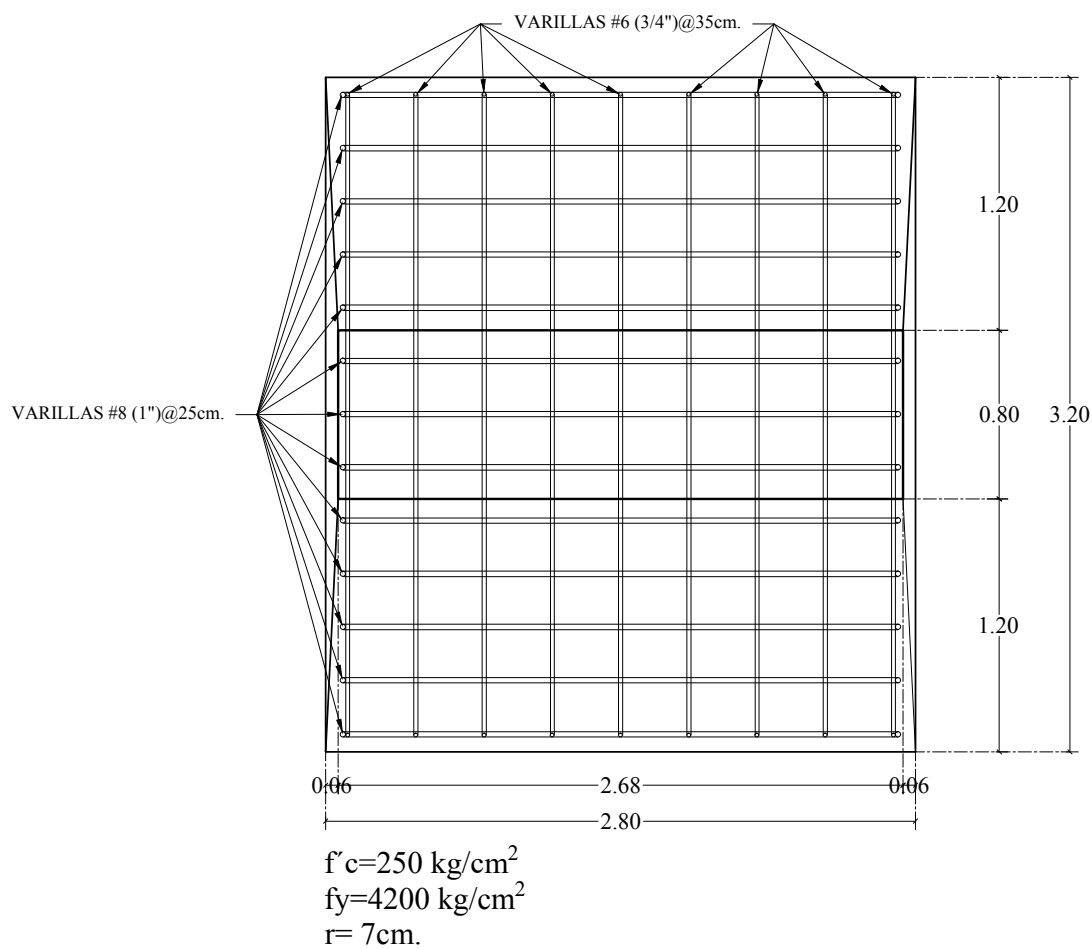
$V_{sR} = 44,018.70$

$V_R = 97,988.81 \text{ OK}$

Figura 35*Armado de estribos por cortante*

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

5.8.14.- Diseño de zapata.

Figura 36*Armado de zapata (Planta)*

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE PLANTA DE GAS EN ENSENADA B.C

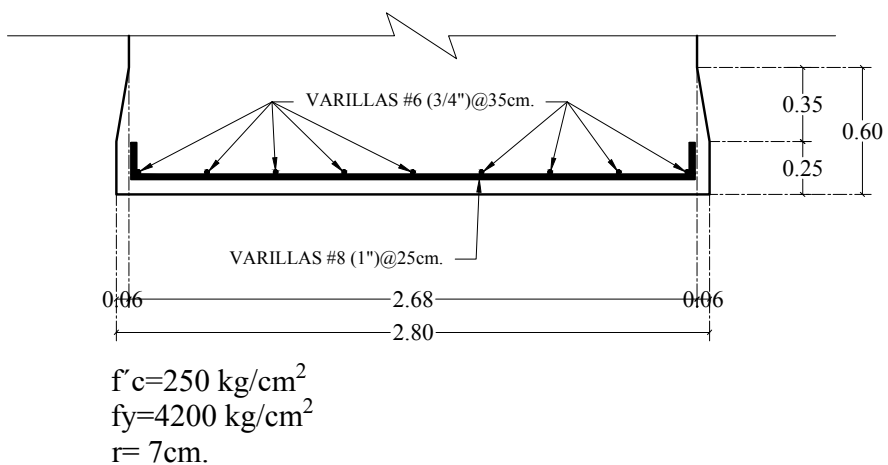
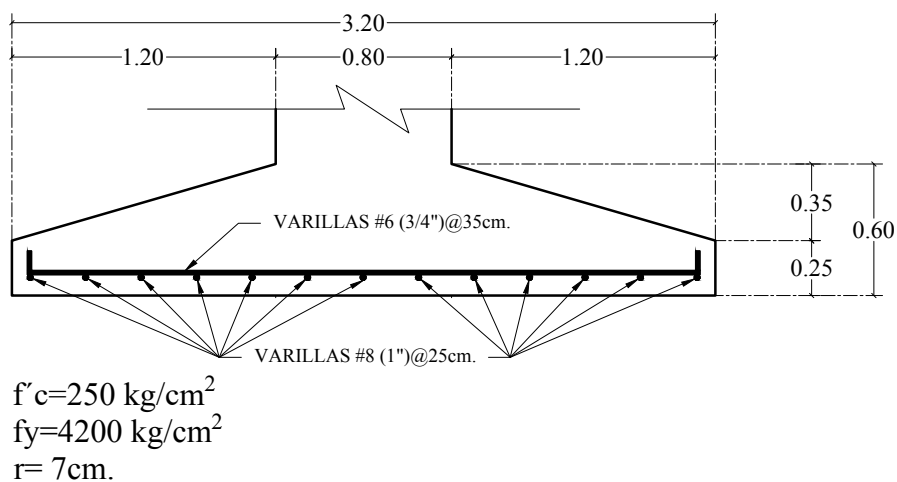
Figura 37*Armado de zapata (Corte transversal)***Figura 38***Armado de zapata (Corte longitudinal)*

Figura 40
Corte longitudinal de diseño de base de tanque de 250,000 litros al 100%

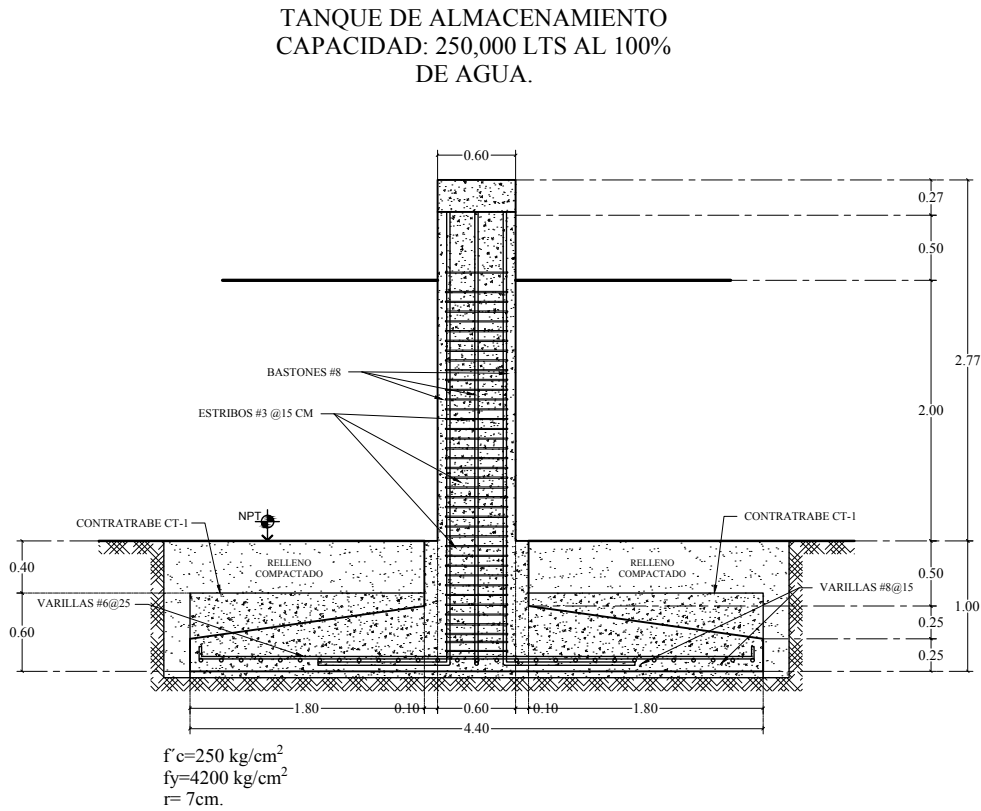


Figura 41
Contratrabe CT-1 de zapata base de tanque de 250,000 litros al 100%

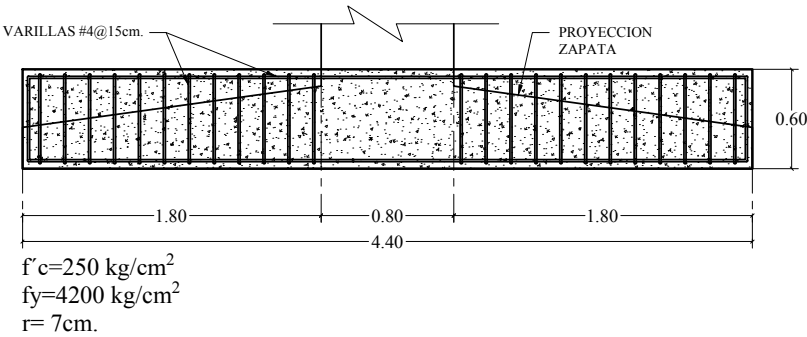


Figura 42

Zapata de base de tanque de 250,000 litros al 100%

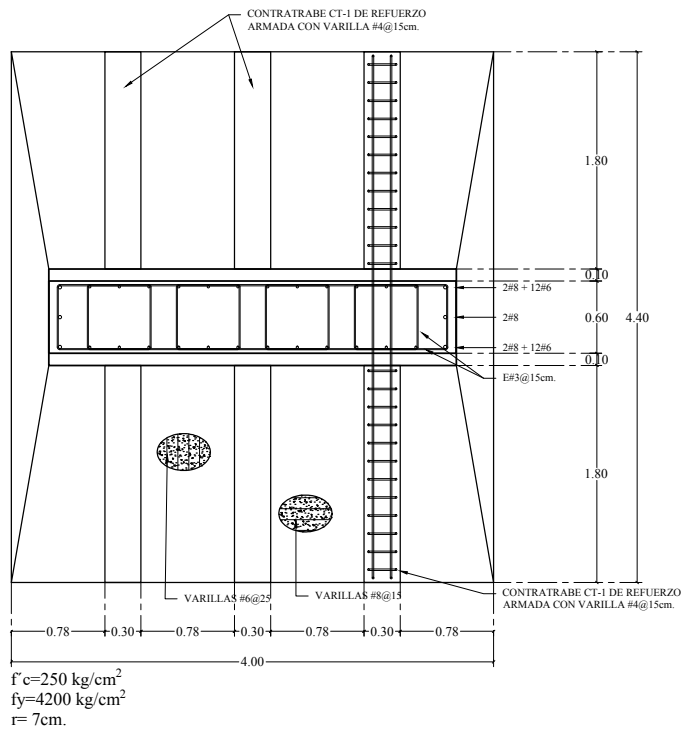
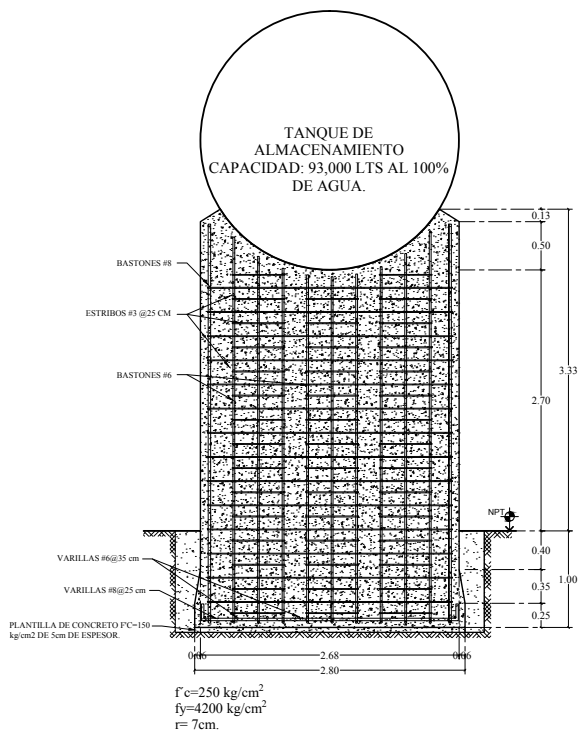


Figura 43

Corte transversal de diseño de base de tanque de 93,000 litros al 100%



Corte transversal de diseño de base de tanque de 93,000 litros al 100%

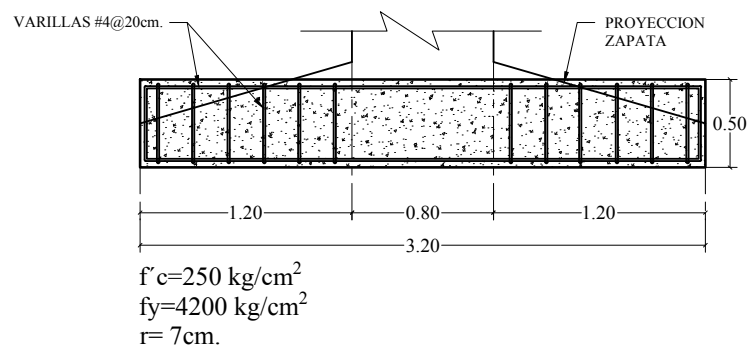
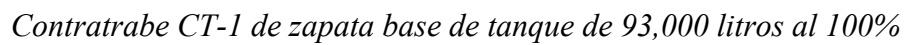
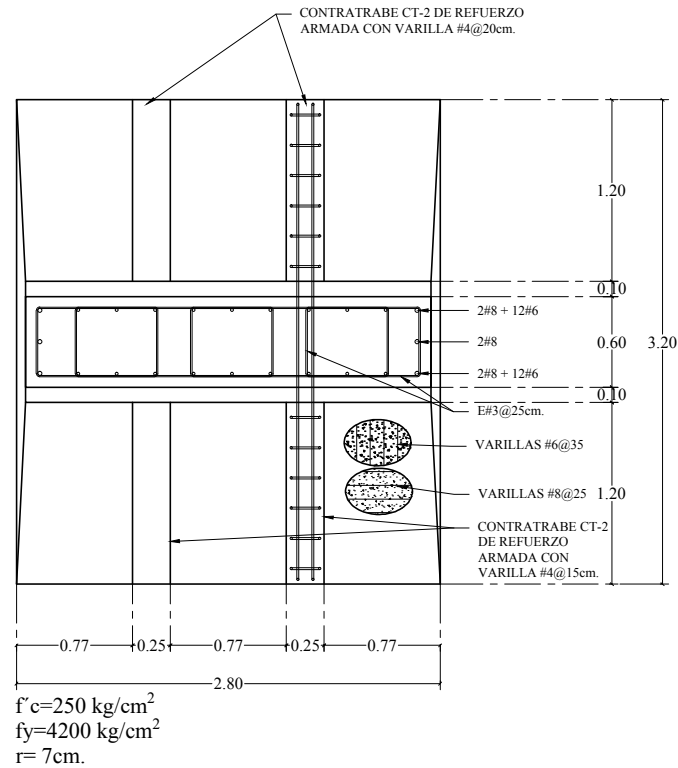


Figura 46

Zapata de base de tanque de 93,000 litros al 100%



Las acciones accidentales más significativas para el diseño de las base de los tanques con capacidad de 250,000 lts al 100% de agua en base a la Tabla 9. *Concentrado de elementos mecanicos* son las de Sismo en Y y para el diseño de las base de los tanques con capacidad de 93,000 lts al 100% de agua en base a la Tabla 9. *Concentrado de elementos mecanicos* son las de Sismo en Y.

7.- Conclusiones.

El trabajo se enfocó en establecer un criterio de análisis y diseño estructural de las bases de sustentación para los tanques de almacenamiento de gas L.P. de la Plantas de almacenamiento y distribución de gas L.P. en México, considerando que la mejor base es el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad en su Capítulo C.1.3 Diseño por Sismo, ya que la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SESH-2014 Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación, deja la libertad de referirse a cualquier código de diseño o reglamento de construcción aplicable a la localidad en la que se desarrolle la obra.

Se observa también que en la contención de los elementos mecánicos las acciones accidentales más significativas en el diseño de las bases son las generados por el sismo en Y, lo que nos confirma que el criterio de análisis y diseño considerado en el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad en su Capítulo C.1.3 Diseño por Sismo basado en el Modelo Mecánico equivalente de Housner el cual formula una idealización para estimar la respuesta del fluido en tanques rígidos rectangulares y cilíndricos bajo una excitación sísmica. El estudio presenta valores para masas equivalentes y sus localizaciones que determinan las fuerzas y momentos producidos por el líquido en el tanque.

8.- Bibliografía

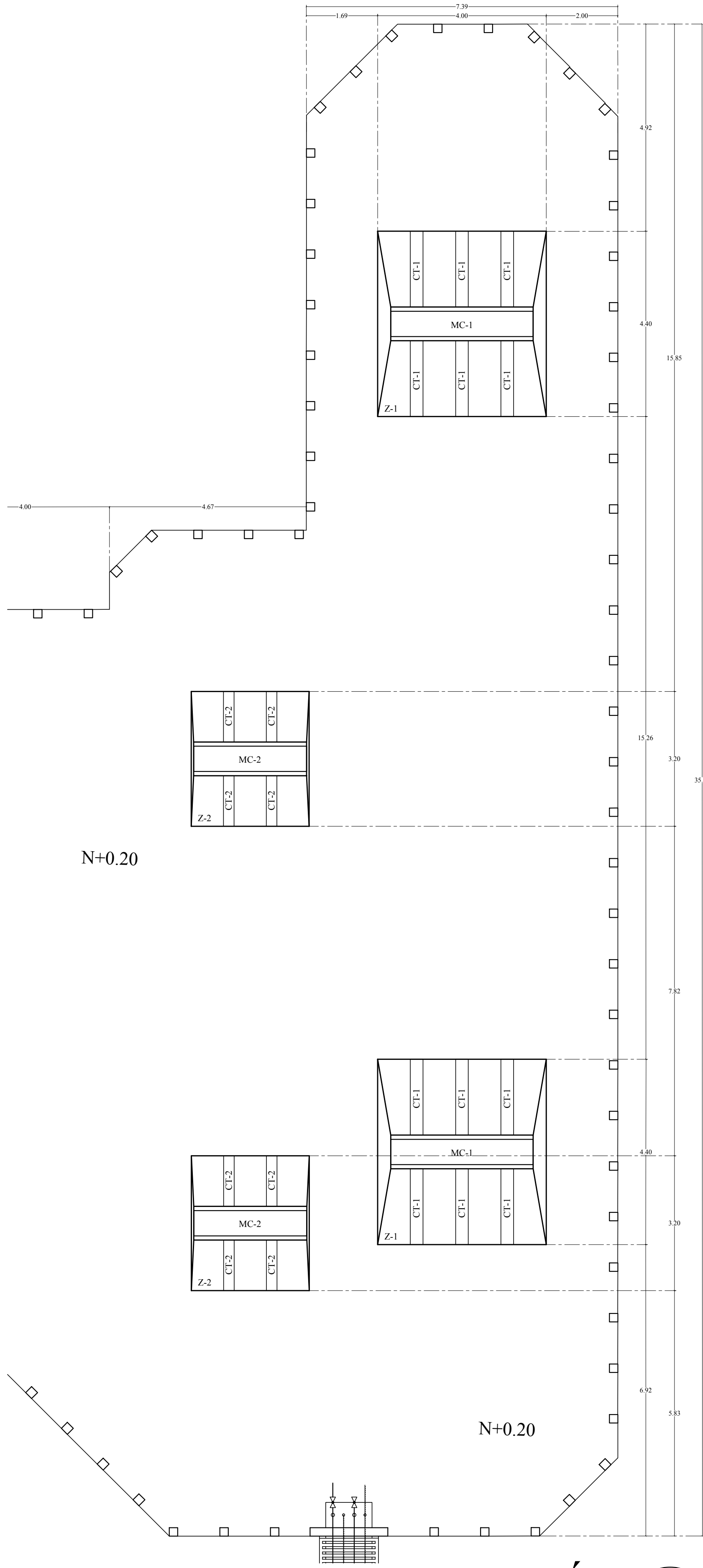
- CFE/IEE. (2008). Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Viento. México: IIE.
- CFE/INEEL. (2015). Manual de Obras Civiles, capítulo C.1.3 Diseño por Sismo. México: INEEL.
- Cobos, V. F. (2009). Comportamiento mecánico de tanques atmosféricos de almacenamiento. Tesis, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Gomez, M. d. (2009). Separación de residuos contaminantes en el Gas L.P. Tesis, Instituto Politécnico Nacional, México.
- HDS-PEMEX-TRI-SAC-11, H. d. (s.f.). www.pemex.com. Recuperado el enero de 2021, de <https://www.pemex.com/comercializacion/productos/HDS/gas/HDS%20SAC%20%20Gas%20licuado%20del%20petróleo%20TRI-11%20v1.1.pdf>
- Hernández, H., Hernández, A., & Gálvez. (29 de mayo de 2015). ,Efecto del oleaje no lineal en tanques de almacenamiento sometidos a sismos intensos. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 31(3), 198-206.
- Mabarak, I. G. (1995). [Curso de capacitación en materia de gas L.P.]. Curso, Colegio de Ingenieros Mecanicos y Electricistas / Sede México, México.
- Manuel Cruz Castillo y Luis A. Delgado Argote. (13 de marzo de 1999). Descripción Geológica y estructural de la zona de deslizamientos Salsipuedes-Cíbola del mar, Ensenada, Baja California. Boletín informativo de la Unión Geofísica Mexicana (UGM), 19(3), 159-174.
- NOM-001-SEDG-1996, Plantas de almacenamiento para Gas L.P. Diseño y construcción. (30 de agosto de 1996). Diario Oficial de la Federación, 515, págs. 32-55.
- NOM-001-SESH-2014, Plantas de distribución de Gas L.P. Diseño, construcción y condiciones seguras en su operación. (22 de octubre de 2014). Diario Oficial de la Federación, 733, págs. 16-61.
- NOM-015-SECRE-2013. (12 de diciembre de 2013). Diario Oficial de la Federación, 222, págs. 1-58.
- NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos. (29 de agosto de 2016). Diario Oficial de la Federación, 755, págs. 64-107.

- NOM-EM-001-SCFI-1993, plantas de almacenamiento para gas L.P., diseño y construcción. (31 de enero de 1994). Diario Oficial de la Federación, 476, págs. 5-28.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SESH-2014. (22 de octubre de 2014). Diario Oficial de la Federación, 733, págs. 16-61.
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo. (15 de diciembre de 2017). Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 220 Bis, págs. 1-712.
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. (15 de diciembre de 2017). Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 220 Bis, págs. 1-712.
- PROY-NOM-015-SECRE-2012. (7 de enero de 2013). 11-84.
- Villa, A. E. (2010). Estudi Físico y Químico del Volcanismo Hiperalcalino en la Región de Cataviña, Baja California. Tesis, Universidad de Sonora, Hermosillo.

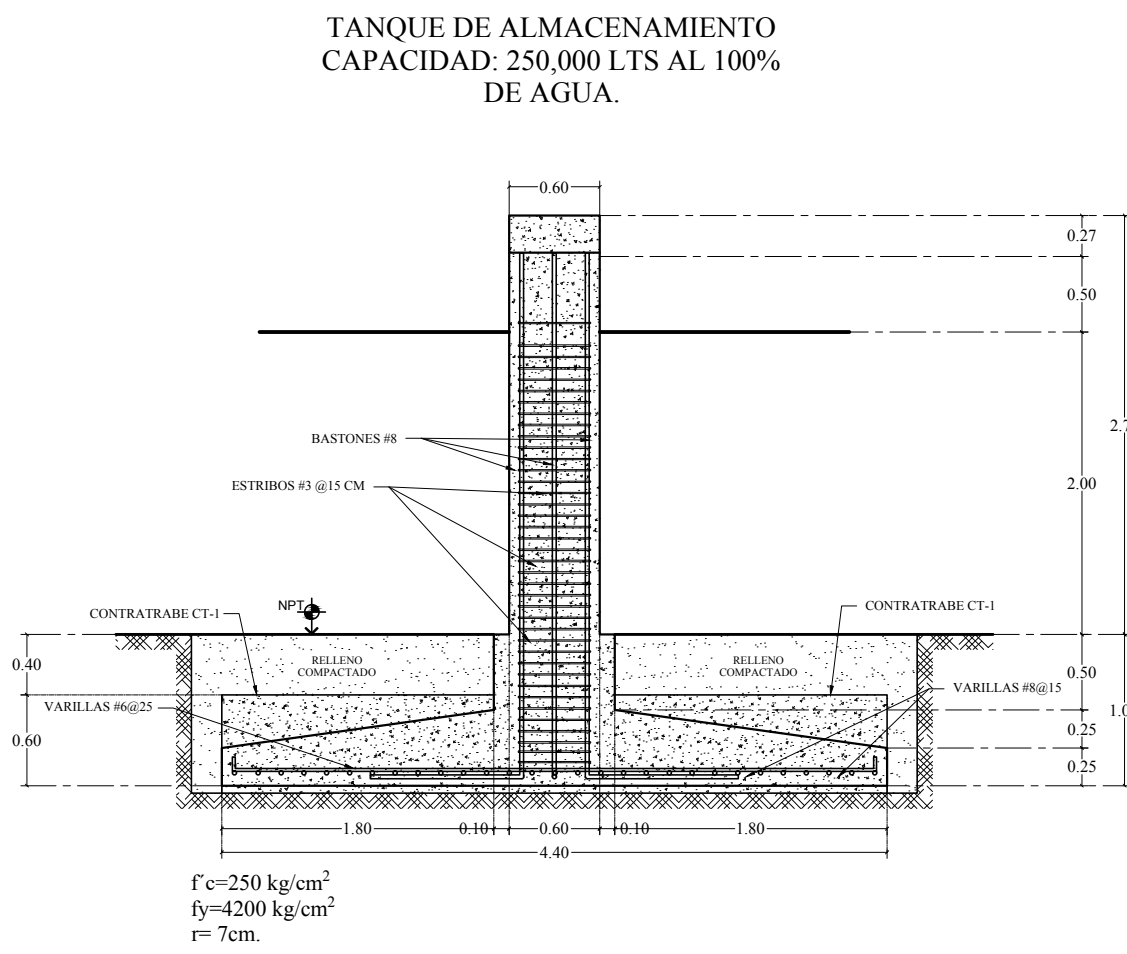
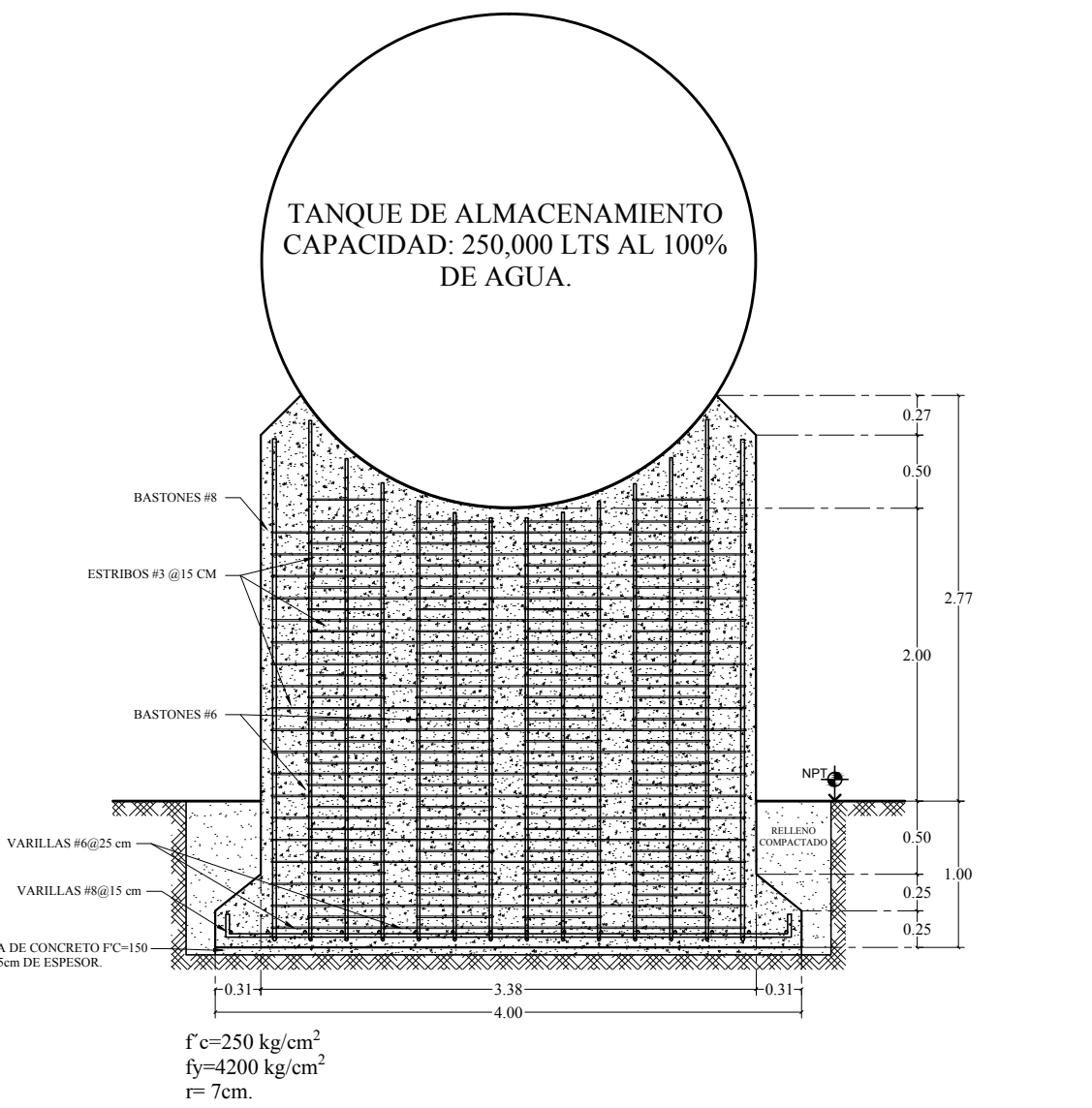
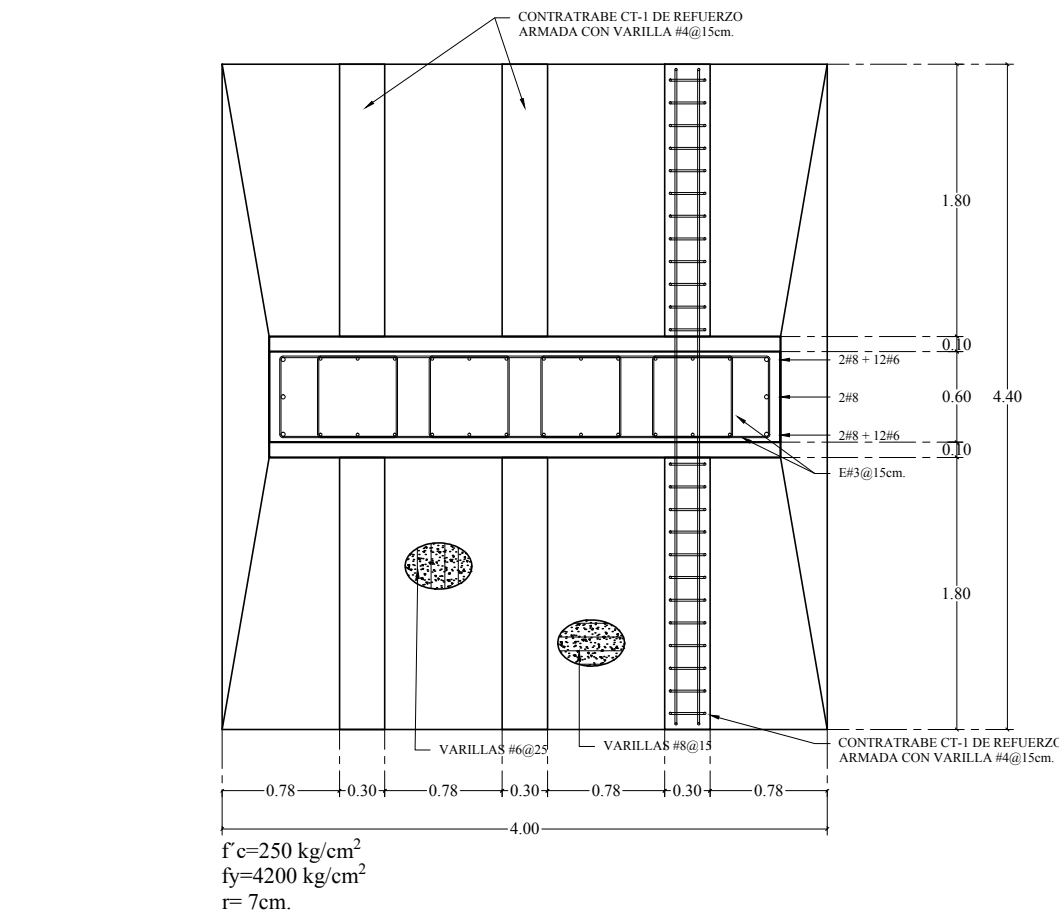
9.- Anexos.

Plano de Planta de distribución de gas L.P.

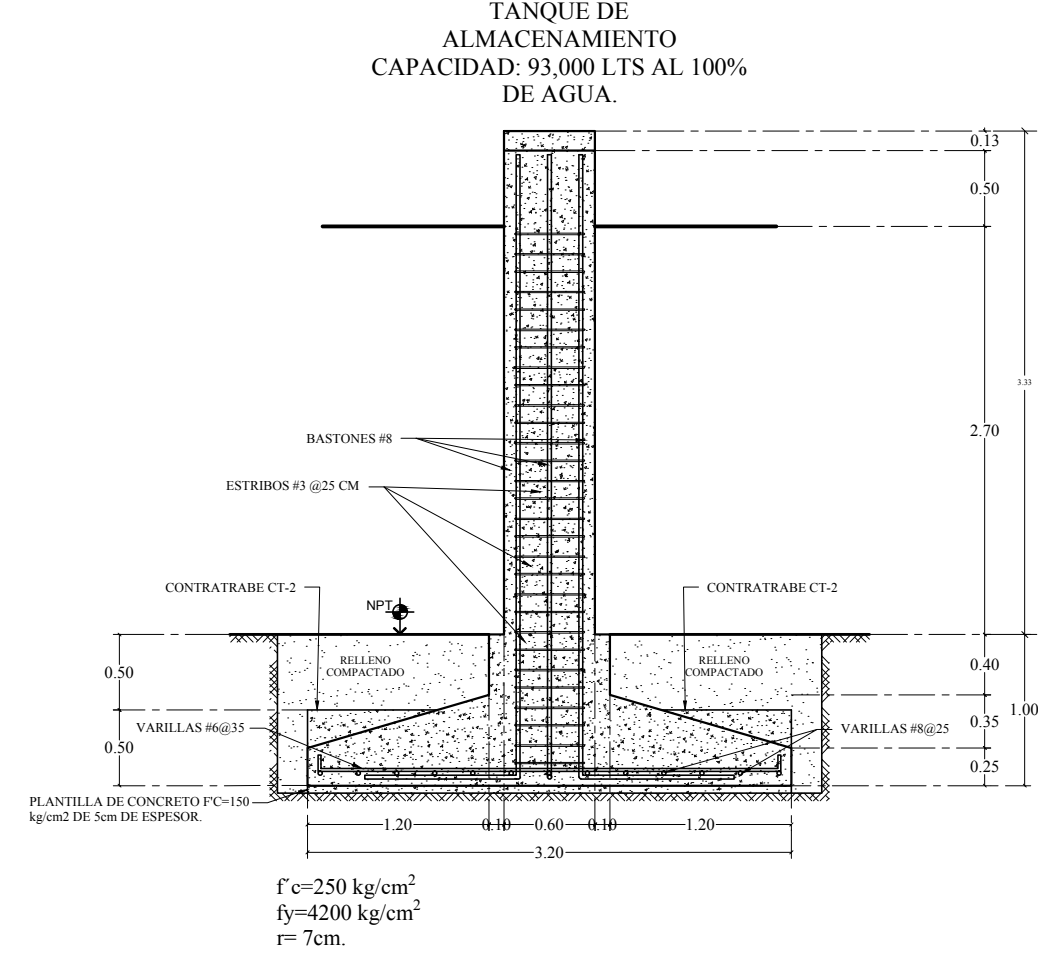
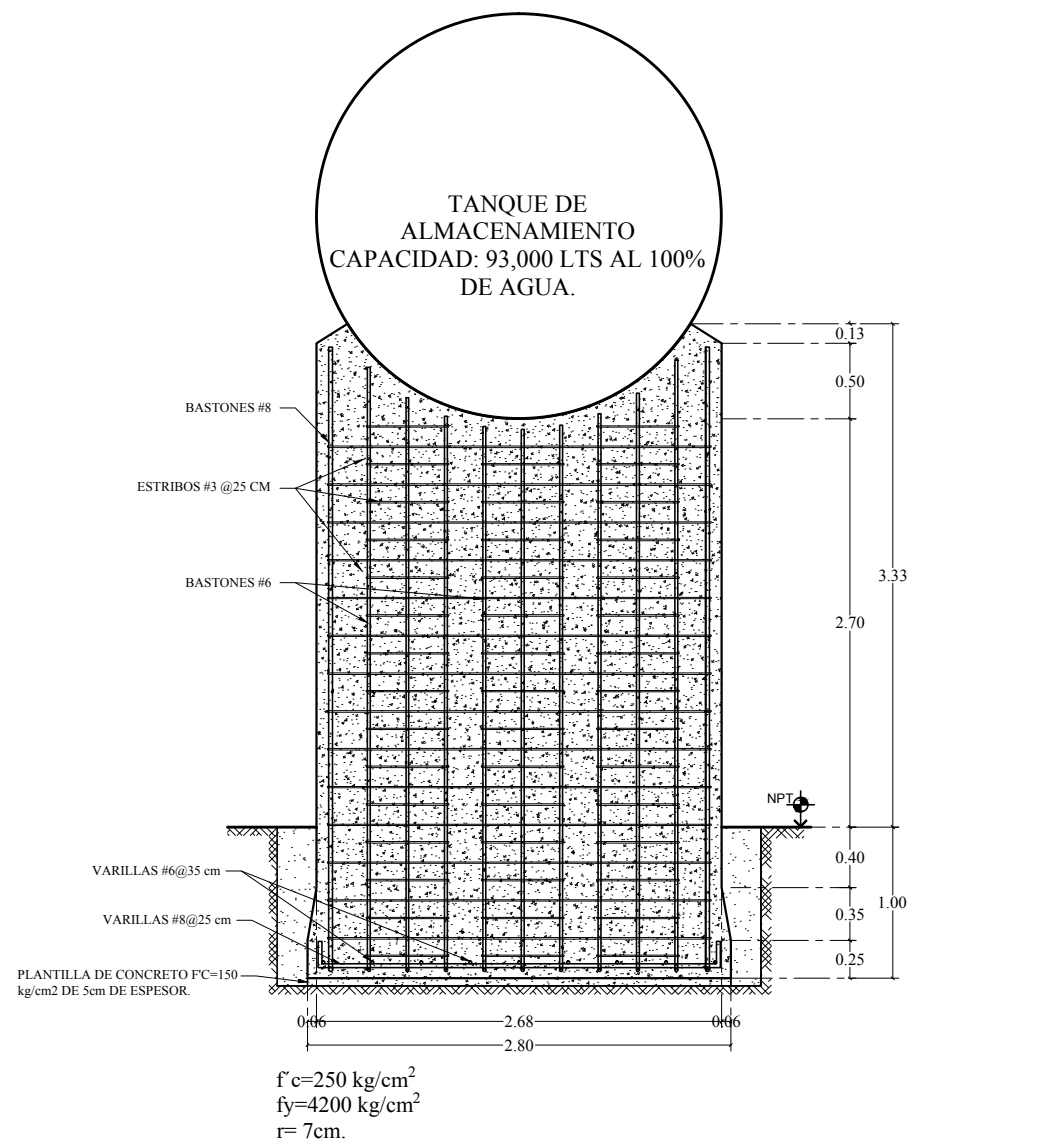
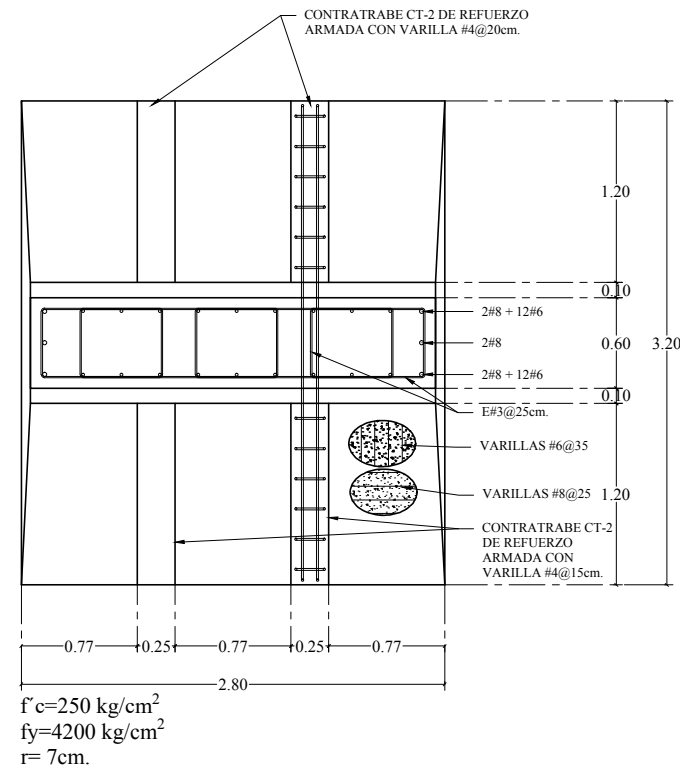
Plano estructural de Planta de distribución de gas L.P.



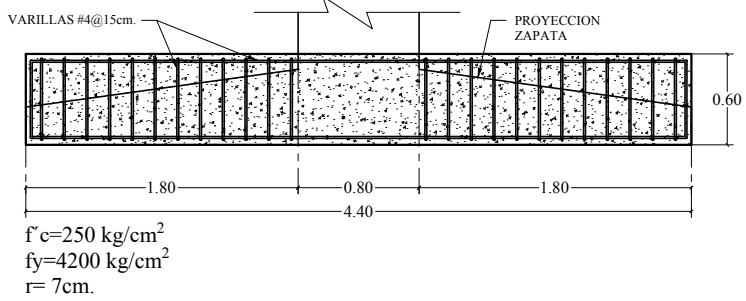
PLANTA DE CIMENTACIÓN 1 P-2 ESCALA 1:75



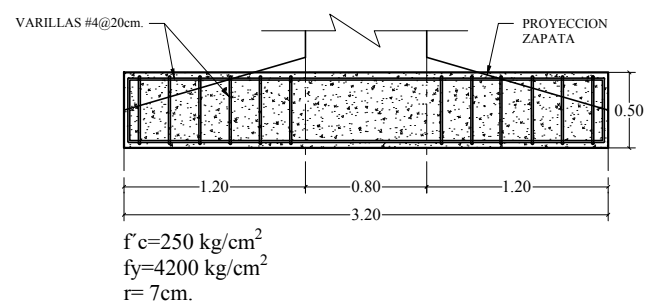
ARMADO ZAPATA Z-1 Y MURO MC-1 2 P-2 ESCALA 1:50



ARMADO ZAPATA Z-2 Y MURO MC-2 5 P-2 ESCALA 1:50



ARMADO CONTRABE CT-1 3 P-2 ESCALA 1:50



ARMADO CONTRABE CT-2 4 P-2 ESCALA 1:50

CIMENTACIÓN
1).- Todas las zapatas deberán desplantarse sobre terreno sano que garantice una presión de contacto mínima de 10.00 T/m2. 2).- La cimentación irá desplantado como se indica en detalles. 3).- En todos los elementos de cimentación se colocará una plantilla de concreto pobre de f'c=100 kg/cm² y 0.05 m de espesor. 4).- El relleno que se haga bajo firmes, serán mediante material granular de calidad base hidráulica construidos de acuerdo al estudio de mecánica de suelos. 5).- La humedad de terreno deberá ser óptima para alcanzar 95% prueba AASHTO estandar.
CONCRETO
1).- El cemento que se utilice en las mezclas será portland normal (tipo I) de marca de reconocido prestigio. 2).- El concreto de todos los elemento estructurales colados en el lugar deberán tener como resistencia mínima a la compresión (f' c) a los 28 días, según se indica: F'c=250 kg/cm² en cimentación, losas y trabes. F'c=200 kg/cm² en cadenas y castillos. F'c=100 kg/cm² en plantillas en cimentación. 3).- El agregado para la fabricación del concreto serán de la calidad y proporción que indique el laboratorio, cuidando de que el agregado fino sea arena de granos duros y no deberá tener arcilla o materia orgánica y la parte mas fina que pase la malla 200, no será del 3%. el agregado grueso será de piedra triturada con tamaño máximo de 3/4" y el agua deberá ser potable. 4).- Deberá procurarse que el revenimiento medido al iniciar su colocación sea un promedio de 10 cm. 5).- Deberá asegurarse el control de calidad para asegurar la calidad de los materiales y el f'c mediante laboratorio bajo las normas técnicas NTC CR 2017 y el ACI 318-93. 6).- Antes de colar cualquier elemento estructural verificar que: A).- Tenga los recubrimientos necesarios. B).- El armado este correctamente C).- Este debidamente limpio (basura y oxidación excesiva) 7).- Debera usar silletras metalicas para asegurar los recubrimientos libres indicados. 8).- Recomendable: A).- Usar revolovedora y vibradora o concreto premezclado. B).- Seguir un adecuado método de vibración C).- Evitar la segregación
ACERO
1).- El acero de refuerzo deberá ser Fy=4200 kg/cm², resistencia a la tensión o fatiga de fluencia en kg/cm², se usará en todo elemento estructural. 2).- Fy=2530 kg/cm², en varilla lisa alambrita (Ø1/4") 3).- Todos los dobles de varillas se harán en frío a 90° salvo los indicados en planos, cuya longitud se indica en tabla. 4).- Traslapes de varillas: A).- En zona de compresión de 25 veces el Ø. B).- En zona de tensión de 40 veces el Ø, ó Ø3/8"=40cm, Ø1/2"=50cm Ø 5/8"=60cm C).- En castillos y cadenas 40 cm de traslape. 5).- No se deberá traslapar mas del 50% de acero en la misma dirección 6).- Se podrán hacer paquetes de varillas, 30 por paquete en una sola cama. 7).- La separación de estribos verticales se empezaran a contar a partir del paño de apoyo colocando el primero (poner 2 estribos juntos) a la mitad de la separación indicada (en extremos). 8).- La separación de estribos verticales para columnas y castillos en sus extremos será según indica en este plano y en memoria de calculo. 9).- Todos los estribos superiores e inferiores de columnas se cerraran a la mitad de la separación en una longitud h/6. 10).- Todas las intersecciones de columnas con elemento horizontal deberán existir estribos horizontales a la mitad de la separación. Excepto cuando explícitamente se indique lo contrario en los planos estructurales, en todo los casos de intersección entre elementos horizontal con columna, el refuerzo longitudinal del elemento horizontal, deberá siempre pasar por el interior del espacio que delimitan los aceros verticales colocados en las esquinas de las columnas. 11).- En todas las juntas de colado de elementos estructurales, se dispondrá acero de refuerzo longitudinal adicionales al refuerzo indicado en los planos, este acero será cuando menos el 0.5% del área total de la sección transversal distribuyéndose este en las dos caras verticales del elemento, la longitud de anclaje esta dada en la tabla de varillas.

REVISIONES						DIBUJOS DE REFERENCIA	
REV.	DESCRIPCIÓN	FECHA	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	NÚMERO	TÍTULO
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

C.P. Amador Cruz Toledo Representante Legal Generadores de Energía del Noroeste S.A. de C.V. Ing. Abraham Cordova Peralta. Ced. Profesional 3512770	 GENERADORES DE ENERGÍA DEL NOROESTE, S.A. DE C.V. ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE GENERADORES DE ENERGÍA DEL NOROESTE, S.A. DE C.V. RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS.	FRACCION II-B1 DE LA SECCION "B" DEL PREDIO CONOCIDO COMO "SAN JOAQUIN" FRACCION OESTE-B UBICADO A LA ALTURA DEL KILOMETRO 9+751 DE LA CARRETERA ENSENADA - OJOS NEGROS EN LA DELEGACION DE MANADERO, MUNICIPIO DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA		
		PLANTA DE DISTRIBUCION DE GAS L.P.		
		ESCALA: Indicada	ACOTACIÓN: Indicado	FECHA: Marzo de 2021
		PLANO ESTRUCTURAL		No. Plano: P-2