



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

23

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGON

"UN CRITERIO PARA LA REESTRUCTURACION DE  
LAS PAREDES LATERALES DE LOS ANILLOS DE  
CIMENTACION, DE LOS TANQUES DE  
ALMACENAMIENTO DE FLUIDOS EN LA TERMINAL  
MARITIMA DE ALMACENAMIENTO DE DOS BOCAS,  
TABASCO."

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
I N G E N I E R O C I V I L  
P R E S E N T A :  
JORGE MARTINEZ GUTIERREZ

294030

SAN JUAN DE ARAGON

2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



# ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

## ARAGÓN

### DIRECCIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

**JORGE MARTÍNEZ GUTIÉRREZ  
PRESENTE.**

En contestación a la solicitud de fecha 8 de septiembre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el M en I. CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado, "UN CRITERIO PARA LA REESTRUCTURACIÓN DE LAS PAREDES LATERALES DE LOS ANILLOS DE CIMENTACIÓN, DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE FLUIDOS EN LA TERMINAL MARÍTIMA DE ALMACENAMIENTO DE DOS BOCAS, TABASCO" con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

**Atentamente**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
San Juan de Aragón, México, 5 de octubre del 2000  
**EL DIRECTOR**

M en R.I. CARLOS EDUARDO LEVY VÁSQUEZ



- C p Secretaría Académica.
- C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil.
- C p Asesor de Tesis.

CELV/AIR/RO/11a.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES ARAGÓN – UNAM

JEFATURA DE CARRERA  
DE INGENIERIA CIVIL

ENAR/JICIC/096/2001.

Asunto: Asignación de jurado

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS  
Secretario Académico  
Presente.

Por medio del presente me permito relacionar los nombres de los profesores que sugiero integren el Sinodo del Examen Profesional del C. JORGE MARTÍNEZ GUTIÉRREZ, con el tema de tesis: "UN CRITERIO PARA LA REESTRUCTURACIÓN DE LAS PAREDES LATERALES DE LOS ANILLOS DE CIMENTACIÓN, DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE FLUIDOS EN LA TERMINAL MARÍTIMA DE ALMACENAMIENTO DE DOS BOCAS, TABASCO".

PRESIDENTE	M. en I. CLAUDIO CARL MERRIFIELD CASTRO
VOCAL	ING. GILBERTO GARCÍA SANTAMARÍA GONZÁLEZ
SECRETARIO	ING. KARLA IVONNE GUTIERREZ VÁZQUEZ
SUPLENTE	ING. MARÍA DE LOS ÁNGELES SÁNCHEZ CAMPOS
SUPLENTE	ING. RICARDO HERAS CRUZ

Quiero subrayar que el director de tesis es el M. en I. Claudio Carl Merrifield Castro, el cual está incluido en base a lo que reza el Reglamento de Exámenes Profesionales de esta Escuela.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

San Juan de Aragón, Estado de México, a 22 de febrero de 2001.

EL JEFE DE LA CARRERA

ING. GILBERTO GARCIA SANTAMARIA GONZALEZ

c.c.p. Lic. Ma. Teresa Luna Sánchez, Jefa del Departamento de Servicios Escolares.  
c.c.p. Ing. Ma. de los Angeles Sánchez Campos, Secretaria Técnica de la carrera de Ingeniería Civil.  
c.c.p. M. en I. Claudio Carl Merrifield Castro, Asesor de Tesis.  
c.c.p. Comité de Tesis.  
c.c.p. Interesado.  
GGSG\*onc.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES ARAGÓN - UNAM  
JEFATURA DE CARRERA DE  
INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE  
MÉXICO

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS  
Secretario Académico  
Presente.

Me dirijo a usted, para informarle que JORGE MARTÍNEZ GUTIÉRREZ pasante de la carrera de Ingeniero Civil, con numero de cuenta: 9561468-4, ha terminado la elaboración de la tesis titulada:

"UN CRITERIO PARA LA REESTRUCTURACIÓN DE LAS PAREDES LATERALES DE LOS ANILLOS DE CIMENTACIÓN, DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE FLUIDOS EN LA TERMINAL MARITIMA DE ALMACENAMIENTO DE DOS BOCAS, TABASCO".

Lo que comunico a usted para los fines que estime procedente.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

San Juan de Aragón, Edo. México, a 10 de Enero de 2001.

*R. M.  
10/11/01*

*Recibido 2 copias*  
*[Firma]*

*12-I-2001*

*[Firma]*

M en I CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO  
Director de Tesis

*[Firma]*  
V.E.S.A.

ING. GILBERTO GARCÍA-SANTAMARÍA GONZÁLEZ

- c.c.p. Lic. Ma. Teresa Luna Sánchez, Jefa del Departamento de Servicios Escolares.
- c.c.p. Ing. Gilberto García Santamaría González, Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil.
- c.c.p. Ing. Ma. De los Angeles Sánchez Campos, Secretaria Técnica de la Carrera de Ingeniería Civil.
- c.c.p. M en I Claudio C. Merrifield Castro, Asesor de Tesis.
- c.c.p. Jorge Martínez Gutiérrez, Presente.

A quienes todo debo:

Mis Padres,

Ángel Martínez Quintas

Rosa Gutiérrez Ruíz

Gracias por su apoyo y comprensión en los momentos de que más los necesite, espero se sientan orgullosos.

*A mis hermanos que me brindaron apoyo incondicional:*

*Angel  
Rosy  
Tere  
Saul  
Juan Arturo*

*A mis sobrinos , no para que sea un ejemplo sino para que sirva de aliciente para buscar y realizar sus metas:*

*A los amigos y amigas que día con día recorrieron el camino junto conmigo:*

*A la universidad para la cual no tengo palabras de agradecimiento por la formación que me dio:*

*A todos mis Maestros en general que me dieron parte de su tiempo, muy especial al M en I Claudio C. Merrifield Castro .*

*Quiero hacer patente mi agradecimiento al :*

*Ing. Joaquín Gustavo Rodríguez Pérez.*

*Por la ayuda que me proporciono en la elaboración de esta Tesis.*

*Agradezco también al*

*Ing. Raúl López Chávez.*

*Jefe de la Competencia Civil Concreto del Instituto Mexicano Del Petroleo, por todas las facilidades que me proporcionó para la elaboración de esta Tesis:*

*Y a todas las personas que me ayudaron en la elaboración de ésta Tesis, con mi sincero agradecimiento:*



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



**ÍNDICE:**

<b>TEMA I:</b>	<b>ANTECEDENTES.</b>	<b>2</b>
	I.1 INTRODUCCIÓN	
	I.2 DESARROLLO HISTÓRICO	
	I.3 SISTEMA DE PREESFUERZO	
<b>TEMA II:</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA SOBRE LA BASE DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PAREDES LATERALES DE LOS ANILLOS DE CIMENTACIÓN DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO.</b>	<b>17</b>
	II.1 ANTECEDENTES	
	II.2 HALLAZGOS Y SUS RESULTADOS NUMÉRICOS	
	II.3 REVISIÓN GEOTÉCNICA DE LA CIMENTACIÓN DEL TANQUE TV-2002.	
<b>TEMA III:</b>	<b>CRITERIOS VARIOS PARA LA REESTRUCTURACIÓN DE LAS PAREDES LATERALES DE LOS ANILLOS DE CIMENTACIÓN DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO.</b>	<b>28</b>
	III.1 INTRODUCCIÓN	
	III.2 CONCEPCIÓN DE LA REESTRUCTURACIÓN DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN.	
	III.3 CAUSAS MÁS COMUNES DE LOS DAÑOS EN ESTOS TANQUES.	
	III.4 MÉTODOS PARA LA REESTRUCTURACIÓN DEL TANQUE TV-2002	
<b>TEMA IV:</b>	<b>ASPECTOS NORMATIVOS EN EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE LAS PAREDES LATERALES DE LOS ANILLOS DE CIMENTACIÓN.</b>	<b>41</b>
	IV.1 INTRODUCCIÓN	
	IV.2 GENERALIDADES DE LA NORMA API-650	
	IV.3 GENERALIDADES DE LA NORMA 2.214.01 DE PEMEX	
<b>TEMA V:</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL DE LA REESTRUCTURACIÓN DE LAS PAREDES LATERALES DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN DEL TANQUE TV-2002 EN LA TERMINAL MARÍTIMA DE DOS BOCAS, TABASCO. CON PAREDES PREFABRICADAS DE CONCRETO PRESFORZADO POSTENSADAS.</b>	<b>67</b>
	V.1 INTRODUCCIÓN	
	V.2 HIPÓTESIS DE CALCULO	
	V.3 MATERIALES EMPLEADOS	
	V.4 DIMENSIONES	
	V.5 CALCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PREESFUERZO	
	V.6 DISEÑO DE LA PARED EXTERNA FORMADA POR ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO PARA LA REESTRUCTURACIÓN DE LA PARED DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002	
	V.7 ELEMENTO DE APOYO	



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



<b>TEMA VI:</b>	<b>MODELOS ESTRUCTURALES (CON AYUDA DEL PROGRAMA DE DISEÑO SAP-2000) Y SUS RESULTADOS, PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN LA REESTRUCTURACIÓN DE LAS PAREDES LATERALES DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN DEL TANQUE TV-2002.</b>	<b>92</b>
	VI.1 INTRODUCCIÓN	
	VI.2 MODELO EMPLEANDO LA ANALOGÍA DEL TUBO DE PARED DELGADA.	
	VI.3 RECIPIENTES A PRESIÓN CILÍNDRICOS	
	VI.4 MODELO DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN EMPLEANDO LA TEORÍA DEL TUBO DE PARED DELGADA.	
	VI.5 MODELO DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN EMPLEANDO EL PROGRAMA DE DISEÑO SAP-2000.	
<b>TEMA VII:</b>	<b>PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.</b>	<b>114</b>
	VII.1 INTRODUCCIÓN	
	VII.2 CONSIDERACIONES GENERALES	
	VII.3 SISTEMA DE PRESFORZADO FREYSSINET	
	VII.4 PROCEDIMIENTO PARA EL NUEVO ANILLO DE CIMENTACIÓN	
	VII.5 RECOMENDACIONES GENERALES	
	VII.6 REMODELACIONES PARTICULARES	
	VII.7 FABRICACIÓN DE LOS CABLES DE PRESFUERZO	
	VII.8 COLOCACIÓN DE LOS CABLES DE PREEFUERZOS	
	VII.9 FIJACIÓN DE LOS CABLES EN LAS CIMBRAS.	
	VII.10 COLOCACIÓN DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO Y SUS ELEMENTOS COLADOS EN SITIO PARA LOS ANILLOS DE CIERRE Y/O AJUSTE	
	VII.11 TENSADO DE LOS CABLES	
	VII.12 PARÁMETROS ADICIONALES	
<b>TEMA VIII:</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>133</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



**TEMA I: ANTECEDENTES**



## I.1 INTRODUCCIÓN.

En el presente trabajo de tesis se emplea el concreto presforzado como una opción para reestructurar las paredes laterales de los anillos de cimentación de tanques de almacenamiento de fluidos (crudo, gasolina, etc).

Se presentan inicialmente los conceptos básicos sobre el concreto presforzado para familiarizarse en el empleo del concreto presforzado.

Para el concreto presforzado la mejor definición es la del Comité de Concreto Presforzado del ACI {American Concrete Institute (Instituto Americano del Concreto)}.

**Concreto presforzado:** Concreto en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes de las cargas externas dadas se equilibran hasta un grado deseado. En miembros de concreto reforzado se introduce, comúnmente, el presfuerzo dando tensión al refuerzo de acero.

Las estructuras de concreto presforzado pueden clasificarse de diversas maneras, atendiendo a sus características de diseño y construcción.

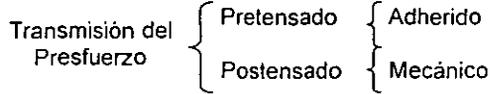
**Presforzado lineal o circular.** El presforzado circular es un término aplicado a estructuras circulares presforzadas, tales como tanques circulares, silos y tubos, en donde los tendones del presfuerzo están enrollados en círculos. El término presfuerzo lineal se emplea a menudo para incluir todas las otras estructuras, como vigas, losas, columnas, muros y marcos estructurales. Los tendones de presfuerzo en las estructuras presforzadas en forma lineal no son necesariamente rectos; pueden estar doblados o ser curvos (forma parabólica o trapezoidal), pero no dan vueltas alrededor en círculos como el presforzado circular.

**Pretensado y postensado.** El término pretensado se emplea para describir cualquier método de presfuerzo en el cual se tensan los tendones antes de vaciar el concreto. Es evidente que los tendones deberán estar anclados temporalmente contra algunos cabezales o plataformas de esfuerzo en donde son tensados y se transfiere el presfuerzo al concreto después de que ha fraguado. Este procedimiento se utiliza en plantas de precolado o en laboratorios en donde existen plataformas permanentes para tal tensado; también se aplica en el campo en donde pueden ser construidos económicamente esos cabezales o contrafuertes. En contraste con el pretensado, el postensado es un método de presfuerzo en el cual se tensa el tendón una vez que el concreto ha endurecido, así el presfuerzo se produce casi siempre contra el concreto endurecido y los tendones se anclan contra él inmediatamente después del presfuerzo. Este método puede aplicarse a miembros precolados o colados en el lugar (in situ).

**Tendones anclados en los extremos o no anclados en los extremos.** Cuando los tendones son postensados se anclan en sus extremos por medio de elementos mecánicos para transmitir mecánicamente el presfuerzo al concreto. Tal clase de miembro se llama anclado en los extremos. Aunque muy rara vez, un miembro postensado puede tener sus tendones sin un anclaje mecánico para sus extremos. En el pretensado los tendones transmiten, por lo general, su presfuerzo al concreto simplemente por su acción de adherencia cerca de los extremos. La efectividad de tal transmisión de esfuerzos está limitada a alambres y cables de diámetro



pequeño. Aunque se han producido anclajes para pretensado y permitir el uso de cables de diámetro menores.



**Tendones adheridos y sin adherir.** Los tendones adheridos son aquellos que se adhieren al concreto circundante en toda su longitud. Los tendones no anclados en sus extremos son, necesariamente, tendones adheridos; los tendones anclados en sus extremos pueden ser adheridos o no adheridos al concreto. En general, la adherencia de los tendones postensados se logra (parcialmente) por la inyección subsecuente de la lechada (aunque para fines prácticos se consideran siempre como no adheridos); si es no adherido, el tendón deberá protegerse de la corrosión galvanizándolo por algún otro medio. Algunas veces los tendones adheridos se dejan a propósito sin adherir en ciertas porciones de su longitud.

**Precolado o colado en el lugar, construcción mixta.** El precolado implica la colocación del concreto lejos de su posición final, siendo colados los miembros en una planta permanente o en un lugar cercano a la estructura, y se levanta finalmente en su localización final. El precolado permite un mejor control de la producción en masa y a menudo es económico. El concreto colado in situ requiere más moldes y cimbras por unidad de producción pero ahorra el costo del transporte y su erección, y es una necesidad para los miembros grandes y pesados. Entre estos dos métodos de construcción hay rampas o muros inclinados y losas de izar que se construyen en lugares cercanos o dentro de la estructura y erigidos después a su posición final; no hay transportes para estos. A menudo, es económico precolar parte de un miembro, erigirlo y colar después in situ la porción restante; este procedimiento se llama construcción mixta. Los elementos precolados en una estructura de construcción mixta pueden unirse más fácilmente que aquellas del todo precoladas. En la construcción mixta es posible ahorrar mucho en los moldes y en las cimbras que se requieren para una construcción de colado in situ total. Sin embargo, debe estudiarse la conveniencia de cada tipo con respecto a las condiciones particulares de una estructura determinada.

El presfuerzo no es privativo del concreto, además, es utilizado en Acero Estructural, mampostería, madera entre otros. El presfuerzo inclusive puede desarrollarse por la configuración geométrica en una estructura. Como; en puentes de acero estructural presforzado por forma. La llanta de una bicicleta los rayos en la rueda están presforzados para generar la redondez e indeformabilidad de la rueda; Fig. 1.1.

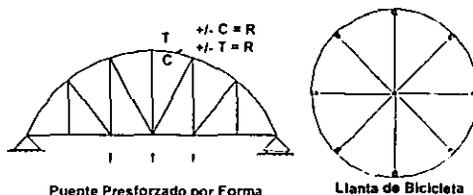
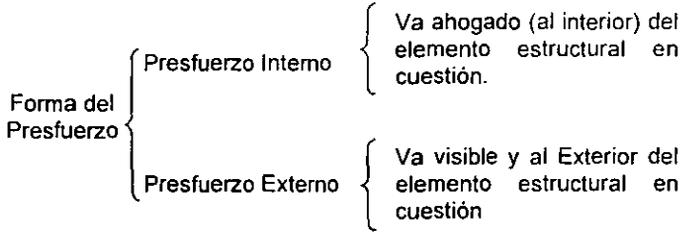


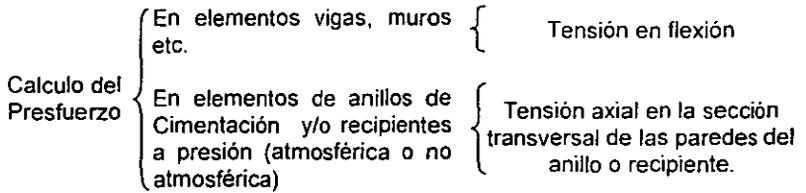
Fig. 1.1



El presfuerzo también puede clasificarse por su forma en:



Clasificación por su aplicación:





## I.2 DESARROLLO HISTÓRICO.

No hay históricamente hablando, mucho que decir sobre los orígenes del concreto presforzado. Su principio es intuitivo y su origen se pierde en la historia de las técnicas y el artesanado.

Algunas aplicaciones, rústicas dan fe del principio intuitivo del presforzado como los barriles de madera que fabricaban y que todavía fabrican los viticultores, al ligar las duelas con arcos metálicos previamente calentados, para que al enfriarse los aros ejerzan, sobre el barril un esfuerzo opuesto al empuje del vino.

Una de las aplicaciones de los principios del presforzado la realizó en 1857 Squire Whipple, fabricante norte-americano de instrumentos, de Troy Nueva York quien desarrolla lo que se conoce con el nombre armadura de Whipple o de doble intersección.

El ingeniero P. A. Jackson, de San Francisco, USA, en 1872 patentó un sistema de concreto presforzado, para la construcción de arcos y bóvedas en edificios y puentes que consiste en hacer pasar tirantes-tensores de hierro a través de bloques de mampostería o de concreto y los cuales, después de pretensarlos, se fijan por medio de tuercas:

El ingeniero noruego J. G. F. Lund inició, en el año de 1907, la fabricación de bóvedas presforzadas formadas por bloques de concreto, unidos mediante mortero. El presforzado se logra mediante tirantes-tensores de hierro y la compresión se transmite, a los bloques, por medio de placas de apoyo en los extremos, consiguiendo eliminar la adherencia por alargamiento. Una modificación a la propuesta anterior, la realizó el ingeniero norteamericano G. R. Steiner, quien sugirió apretar inicialmente los tirantes, en contra del concreto fresco, con objeto de evitar la adherencia y después aumentar la tracción, una vez endurecido el concreto.

W. H. Hawett, de Miniápolis, Minesota, en el año de 1922 aplicó el presforzado en tanques de concreto, con el objetivo principal de obtener un concreto impermeabilizado o sin grietas. Eugene Freyssinet, ingeniero francés, es considerado el creador de la **teoría del presfuerzo**; el cual patentó en el año de 1928 utilizando alambres de acero de alta resistencia con lo que logró una importante economía en el acero y una precompresión tan alta que, aún después de las pérdidas, la fuerza de tracción remanente era suficiente para ejercer esfuerzos de compresión, de gran magnitud en el elemento estructural. En su libro **"Una revolución en las técnicas del concreto"** ("Un révolution dans les techniques du Béton") esta contenida su teoría, que muchos tecnócratas consideraron como una idea novelesca, sin posibilidades de éxito (a 72 años de distancia, aún subsisten los "genios" tecnócratas que dudan de las propuestas, que no emanan de ellos). Además, Freyssinet observó y demostró que cuando el concreto se encuentra sometido, permanentemente, a la carga muerta y al presfuerzo, se presenta el **efecto de la deformación progresiva o escurrimiento en el concreto** (acortamiento instantáneo del concreto, flujo plástico del concreto) y, mediante el uso de acero de alta resistencia, es posible conservar la mayor parte del presfuerzo. **Este es el principio del concreto presforzado, tal como se conoce en la actualidad.** Puede suponerse que prácticamente toda la deformación, progresiva o escurrimiento, sucede en tres años.

En México, los ingenieros **Alberto Dovalí** y **Vicente Guerrero y Gama** iniciaron, alrededor de 1949, el uso del concreto presforzado en puentes.



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



En los Estados Unidos, los tanques de concreto presforzado son construidos casi exclusivamente por el método Preload, empleando máquinas enrolladoras de alambre. Hasta 1951 se habían construido en Norte América cerca de 700 grandes tanques con una capacidad total de más de 1,890 millones de litros (500 millones de galones), y 300 cubiertas esféricas hasta de 61 m de diámetro, de concreto presforzado, utilizando casi exclusivamente el método de presfuerzo Preload. Este procedimiento consiste en el siguiente proceso. Primero, se construyen las paredes para los tanques, ya sea de concreto o mortero neumático, siendo empleado generalmente el mortero si las paredes tienen un espesor menor de 6". Con frecuencia, se cuelan en fojas verticales alternadas que posteriormente se sujetan entre sí. Después que el concreto de las paredes ha adquirido la resistencia suficiente, éstas se presfuerzan circunferencialmente, por medio de una máquina autopropulsada que enrolla los alambres alrededor de las paredes en una operación continua y simultáneamente los esfuerza y les da el espaciamiento necesario. En condiciones favorables, la máquina puede colocar el alambre con una velocidad de hasta 11.2 km/h (7 mi/hr), y completar el presfuerzo horizontal para un tanque de 3,780,000 lt (1,000,000 galones) de capacidad media, en dos días aproximadamente.

Después de terminar el presfuerzo circunferencial para cada capa, se protege con mortero neumático. Los tanques grandes se construyen generalmente con dos o tres capas de presfuerzo horizontal. El presfuerzo vertical se aplica usando cualquier sistema de presfuerzo lineal, el que pueda resultar más económico.

Además del sistema Preload, se han aplicado otros métodos, tanto en Estados Unidos como en otros países, aunque no en forma extensa como el que usa la máquina de enrollar. En 1920, más o menos, Hewett usó en los Estados Unidos, varillas comunes, recubiertas alrededor de las paredes y las esforzó con torniquetes. Pero todo el presfuerzo de esas varillas pudo perderse durante el transcurso del tiempo, como resultado de la contracción y la deformación plástica del concreto, aunque hasta hoy alguno de esos tanques se encuentran en servicio. Mautner, en Inglaterra, empleo alambres de acero de gran resistencia, recubiertos alrededor de piezas de concreto precoladas, insertando gatos entre ellas para alargar los alambres. Las aberturas dejadas ex profeso para colocar los gatos, se llenaron eventualmente con concreto para mantener la compresión en las paredes.

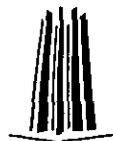
El método que también se ha usado en los tanques, Freyssinet de presfuerzo lineal con los cables de longitudes iguales de partes del círculo. Los tendones se esfuerzan desde ambos extremos y están anclados contra pilones uniformemente espaciados alrededor del tanque. Alternando los anclajes extremos en los tendones adyacentes, la pérdida de presfuerzo por fricción casi se iguala alrededor del círculo.

Se puede decir que, similares al sistema Freyssinet, la mayoría de los sistemas de postensado se pueden utilizar para los tanques circulares con los tendones a lo largo de los segmentos del círculo y anclados contra pilones a espacios iguales. Este tipo de tanque tiene una ventaja sobre el proceso del enrollamiento de alambres, cuyo recubrimiento de concreto, este último no está presforzado y puede no dar una buena protección para los tendones.

La reestructuración de tanques de almacenamiento empleando algún tipo de presfuerzo se ha vuelto muy común en la industria de la construcción, dado que resulta mucho más económico reestructurar; además, con el presforzado se logrará reducir tiempos para poder habilitar una



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



estructura y reincorporarla a la operación normal lo más pronto posible. Además, el concreto presforzado se puede emplear para la construcción de nuevos tanques de almacenamiento tanto para su superestructura como subestructura.

Los principios básicos del diseño y construcción de los tanques cilíndricos de concreto presforzado los veremos aplicados en un capítulo más adelante principalmente a una reestructuración del anillo de cimentación llevada a cabo en un tanque de almacenamiento de la Terminal Marítima de Dos Bocas, Tabasco. Basándose en paredes laterales prefabricadas de concreto presforzado. Por el momento describiremos unos ejemplos de tanques que ya han sido construidos y las características de su construcción.

La mayoría de los tanques de mediano y gran diámetro son construidos con alguna variación en la base del muro, es decir, la base puede ser fija o móvil (articulada, empotrada o simplemente apoyada) según se plantee. El mayor problema de esta forma de construcción es el sellado de las juntas (puede haber juntas constructivas por temperatura o por contracción del concreto) contra la infiltración entre la base del muro y la losa base muchos detalles se han probado sobre este punto.

En muchas estructuras, como en las destinadas para almacenar granos e incluso para el almacenamiento de agua, una junta completamente seca no es primordial y algo de infiltración menor puede tolerarse. En tal caso la elección de una junta fija o móvil se considera satisfactoria. Esto no implica que todas estas juntas se filtraran pero si se hace descuidadamente puede resultar molesto y costoso su reparación. Si tener una junta seca es primordial es mejor evitar una junta móvil para la base del muro y adaptar para esta una junta completamente fija será la mejor opción.

En el recuento de la historia nos encontramos con diversos tipos y métodos de presforzados empleados en la construcción de tanques cilíndricos de concreto presforzado, de los cuales mencionaremos algunos casos históricos:

### PEYESTOCK.

Un ejemplo de tanques colados in situ es el que se construyó en Peyestock, USA; del cual se ven los detalles básicos en la Fig. 1.2. El tanque es open-topped, de 1,000,000 galones de capacidad y diseñado para almacenar agua aceitosa a 80° F, el gradiente de temperatura supuesto a lo ancho de la pared es de 20° F, en cada dirección.

La base del muro es colada dentro de una hendidura en el anillo de cimentación de concreto reforzado en dos capas de relleno premoldeado. La base del muro es ampliada de tal modo que se pueda colocar una tubería de PVC.

El espesor total del relleno es de 3/4 de pulgada y es extendido en dos franjas, uno a cada lado de la tubería. El relleno debe preverse profundo sobre el cual la tubería pueda deformarse sin sufrir daño.

El presfuerzo es proporcionado por cables de tensión alta colocados dentro de una funda de acero corrugado. Y la tensión horizontal exterior es proporcionada por medio de anclajes



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



separados a 180°, desplazados sucesivamente a 45° y tensados en contra posición. Los cables externos son protegidos con mortero lanzado con aire comprimido.

La pared se tensa verticalmente antes de comenzar el tensado horizontal. El relleno no le permite a la pared deslizarse muy libremente y el movimiento interior del muro bajo tensión horizontal es solo la mitad de lo teóricamente esperado.

El remate exterior de la losa de cimentación del tanque presenta una ranura en el anillo de cimentación exterior la cual no fue colada inicialmente, de tal modo que no interfiere con la colocación de los cables horizontales bajos. Cuando esta operación este completa la ranura será colada en el enfrente y atrás de la junta en la base del muro llenándose con "mortero seco" y cubierto con un sello de goma. En servicio, la base de la pared actúa como una junta fija.

El subsuelo era la arena seca firme y el anillo de cimentación y la losa base del tanque se reforzó con barras de acero dulce de 3/4 pulgada de diámetro a 12 pulgadas centro a centro en la parte superior y el fondo de la losa.

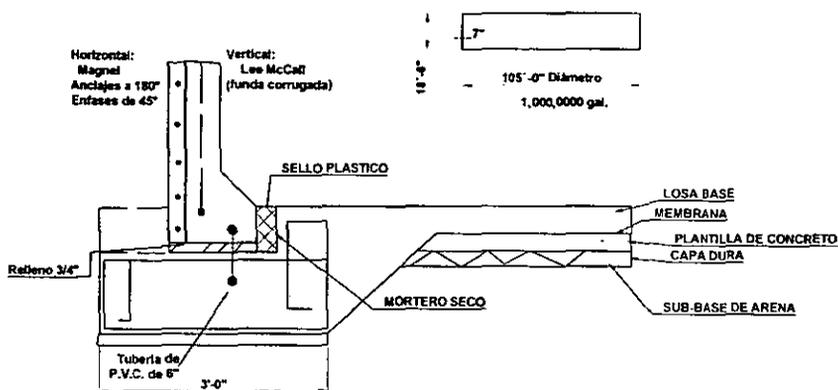


Fig. 1.2

BEDFORD.

Otro ejemplo es el tanque de 500,000 galones en Bedford mostrado en la Fig. 1.3. El presfuerzo era horizontal y verticalmente proporcionado por cables Magnel. La funda de los cables verticales estaba sujeta colocando interiormente un cable al centro 12 horas después de haber colado la pared se remueve la funda.

El muro es colado con una malla en el centro del espesor del tanque de 5 libras por yarda. Se lanzaron las vueltas de los cables de presfuerzo sobre el muro y se desprecia una pequeña área en la base fuera de la zona del presfuerzo vertical. Para el arreglo de esta sección se adicionaron horquillas de acero dulce de 3/4 de pulgada de diámetro a 12 pulgadas centro a centro se pusieron sobre la base en la base del muro cubriendo 2 pies 6 pulgadas.

Tramos cortos barras de acero dulce de 1/2 pulgada de diámetro se pusieron bajo los cables de acero de presfuerzo externo a 2 pies centro a centro para actuar como un puente. Los tendones



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



fueron cubiertos con mortero lanzado con aire comprimido, de 2 1/2 pulgada de espesor y reforzado con una malla de acero pesado de 2.7 libras por yarda.

La losa base y sub-base fueron coladas en tableros de 20 pies y preparados para juntas separadas. La losa base es de 6 pulgadas de espesor uniforme. La sub-base es colada horizontalmente sobre la parte inferior pero es de 3 pulgadas de espesor en el centro y de 7 en el perímetro así se proporciona un descenso natural hacia la cavidad central.

El vaciado del tanque se hace con un servicio de tubería que fueron tendidas por debajo de la subestructura hacia la cavidad central.

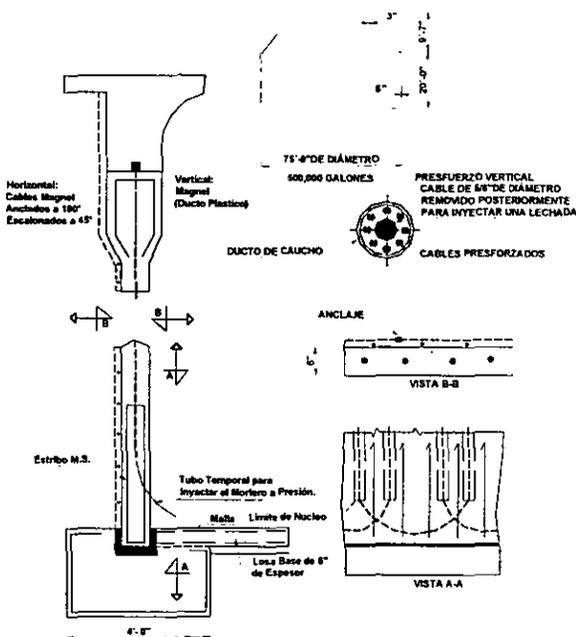


Fig. 1.3

### PENSILVANIA.

Entre los grandes tanques cilíndricos de concreto presforzado que han sido construidos encontramos dos con una capacidad de 13,000,000 de galones en Reading, Pennsylvania ilustrado en la Fig. 1.4.

El presfuerzo horizontal es aplicado por el sistema envolvente de precarga continua, usando cables de 0.192 pulgadas de diámetro colocados en franjas de 25 cables a la base. Cuatro lechos son aplicados en la parte baja del muro y uno en la parte superior con graduación intermedia. Cada lecho está revestido con 1/4 de pulgada de mortero lanzado con aire comprimido mediante una capa final de espesor de 3/8 pulgada.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



La tensión vertical es por medio de barras de tensión alta de 1 1/8 de diámetro a 6 pies centro a centro con una malla nominal en cada cara.

La base del muro descansa sobre un par de cojincillos de hule espaciados a 4 pies alrededor de la periferia del muro. Los cojincillos son cada uno de 5 pulgadas por 12 pulgadas por 2 pulgadas de espesor y cada uno colocado a lado de una tubería central continua de 9 pulgadas de profundidad. La base del muro fue inicialmente colada sobre un lecho de arena colocando en medio los cojincillos de hule que son posteriormente debilitados cuando el muro estuvo fijo.

El muro fue colado en 8 secciones verticales, cada sección en un colado único para la altura total. La losa base es colada en 4 cuadrantes. La tubería fue colocada en todas las juntas entre el muro y la losa base, además, junto con la tubería principal fue empalmada en la base del muro a la vez para formar un sello continuo.

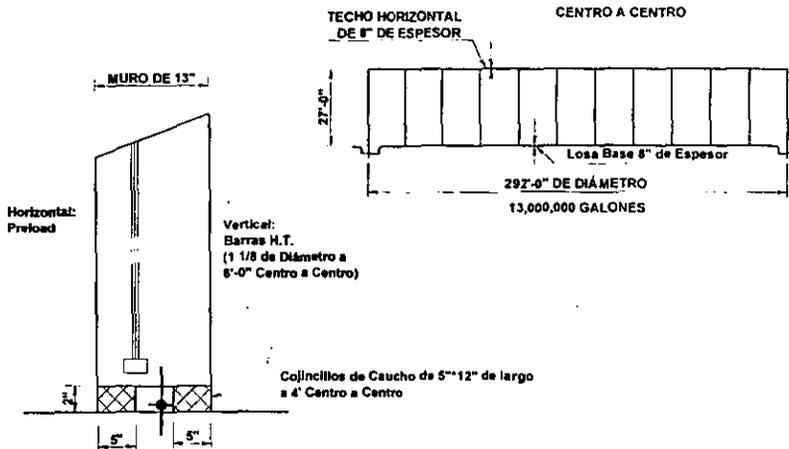


Fig. 1.4

OKLAND, CALIFORNIA.

En el tanque de Okland de 8,000,000 galones de capacidad, mostrado en la Fig. 1.5. Son usados los anclajes Freyssinet tanto vertical como horizontalmente. Los cables horizontales son colocados dentro del espesor del muro en fundas metálicas flexibles y tensados en los paneles de anclaje.

En este tanque el espesor de la parte superior del muro es reducido. La base del muro es preparada para que se deslice sobre la losa base y la junta es sellada por una combinación de goma compuesta y un anillo de caucho. El caucho flexible que sella el anillo es sujetado con pernos trabajando entre dos anillos continuos de acero y estos se ajustan para que el caucho forme un sello firme cuando el tanque está vacío. Un movimiento exterior, en la base del muro, de 3/8 pulgada es registrado cuando el tanque está lleno y esto proporciona la compresión del anillo y asegura la estanqueidad de la junta.



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



Este tanque es uno de un grupo de tanques de gran diámetro en los cuales por primera vez se colaron anillos horizontales continuos y se desarrollaron grietas de contracción durante el proceso de curado. Como resultado de esto, se construyeron después estructuras en secciones verticales de la altura total del tanque sin debilitar este tipo de procedimiento constructivo.

La capacidad de almacenamiento de estos tanques es incrementada artificialmente por un dispositivo simple de extracción y servicio al centro de la losa base. El más reciente está formado con una membrana de concreto reforzado de 4 pulgadas de espesor puesto sobre una base de asfalto.

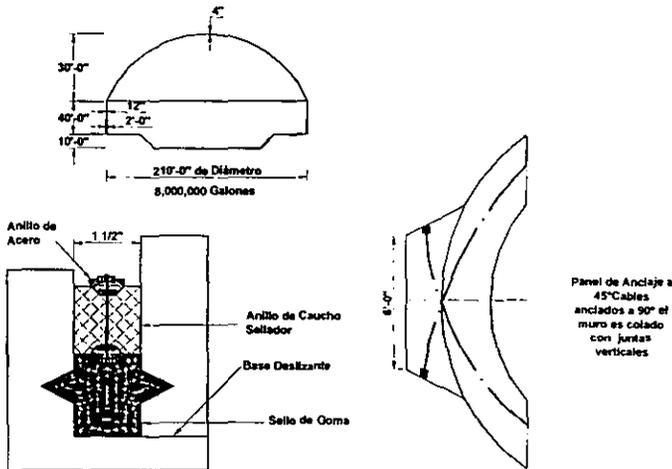


Fig. 1.5

Los ejemplos antes mencionados son estructuras que se utilizan para almacenar agua. La construcción de tanques para almacenar aceite y petróleo es un problema complejo cuya solución depende de la densidad y temperatura del líquido almacenado. No se presenta ninguna acción química entre los minerales del aceite y el concreto de cualquier densidad o tipo; el único aceite que le ocasiona ciertos problemas al concreto es el aceite vegetal. Las dificultades en el almacenamiento de aceite minerales se originan en gran parte por problemas constructivos que afectan el diseño original.

Aceites densos o "negros" de gravedad específica 0.85 o más cuando se enfría son almacenados sin mayor dificultad. En servicio, sin embargo, la mayoría de las veces se emplean temperaturas de 140° F que asegura que los líquidos fluyan. El almacenamiento de aceites de este tipo constituye un problema mayor de diseño. No tanto debido al efecto de tensión en los elementos, sino por la dificultad de crear juntas de movimiento que sean herméticas con estas condiciones.

Los aceites más ligeros conocidos como petróleo y gasolina no son calentados para su transportación pero son sumamente penetrantes y puede haber infiltración a través de los muros de concreto a menos que sean revestidos. Se han construido tanques protegidos contra este problema, mediante un dispositivo hidráulico exterior para resistir la infiltración del aceite,



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



pero por otro lado un revestimiento resistente a la infiltración de los aceites es esencial para el almacenamiento de estos aceites ligeros.

Tales aceites también generan un gas durante el almacenamiento y debe tomarse en cuenta para la presión inducida. Considerar un espesor de agua aproximadamente de 7 pulgadas y 2 pulgadas como una presión y espacio vacío respectivamente para el diseño dadas las variaciones en las presiones de vapor sobre el líquido.

Es sumamente difícil crear una junta móvil la cual sea hermética con la condición de un amplio rango de temperatura. Una estructura de concreto monolítica se convierte en la forma más adecuada dado que el goteo puede ser sellado si es necesario por medio de una lechada a presión. Debido a que se incrementa el costo en este tipo de tanques, particularmente cuando son de gran diámetro, siempre habrá la demanda de un sello flexible que pueda ser usado en una junta de movimiento bajo condiciones variables de servicio.

Los aceites son normalmente almacenados en recipientes de acero pero el deterioro por corrosión es considerable. El concreto es un fuerte competidor en este respecto para promover algunos trabajos es preciso eliminar todas las dificultades. Para el caso de la reestructuración de los anillos de cimentación, la infiltración en las juntas móviles no causa ningún problema dado que el líquido es almacenado en tanques de acero estructural y las paredes externas de concreto presforzado colocadas alrededor del anillo de cimentación trabajaran bajo esfuerzos de tensión circunferencial. Un Ejemplo de tanque construido de concreto para el almacenaje de aceite es el que se describe a continuación.

### FAWLEY.

El tanque de Fawley, mostrado en la Fig. 1.6, se diseñó con un propósito experimental para que almacenara aceite mineral mediano y pesado a temperaturas elevadas hasta un máximo de 120°F.

La estructura es del tipo semideslizante. La base del muro es colada sin tubería y el muro es pulled-in preparada para detenerse y fijarse. Tanto el tensado horizontal y vertical es por medio del sistema Magnel de anclajes de cuña y ambos son aplicados después de que el muro sea colado. Una malla de 3.4 libras por yarda es colada en el centro del muro con estribos de acero suave adicionales en la base del muro.

Solo los cables horizontales son tensados en oposición a 180° separados sucesivamente por 90°. Tramos cortos de barras con diámetro de 5/8 pulgada son colocados bajo los tendones para reducir la fricción. Los cables verticales de diámetro 12/0.276 pulgadas colocados a 3 pies centro a centro son protegidos con una capa de 3 pulgadas de mortero lanzado con aire comprimido colocando encima una malla de acero.

La losa base de 6 pulgadas es colocada sin juntas de movimiento y reforzada a lo largo con una malla de acero. Se incrementa el espesor a una profundidad de 12 pulgadas en la periferia donde es colada encima de la base reforzada del muro.



Se ponen tuberías de calefacción enrolladas sobre bases pequeñas encima de la losa base. Se pasan a través de una apertura en la pared que se forma con un marco de acero en el que los cables se anclan.

El tanque es cubierto con un domo techo colado in situ el cual descansa sin continuidad sobre la parte superior del muro. Varios materiales diferentes han sido usados para el sello de las juntas en la base del muro. Un mortero simple es un sello hermético cuando es probado con agua fría.

La estructura es extremadamente sensible a líquidos calientes. Se ha encontrado que la mayoría de los materiales de unión no permanece elástico y se agrieta bajo la severa combinación de temperatura y el movimiento de la base del muro. Como resultado de pruebas el sello de la junta más satisfactorio se ha hecho con un compuesto caucho polisulfatado o P.C.R.

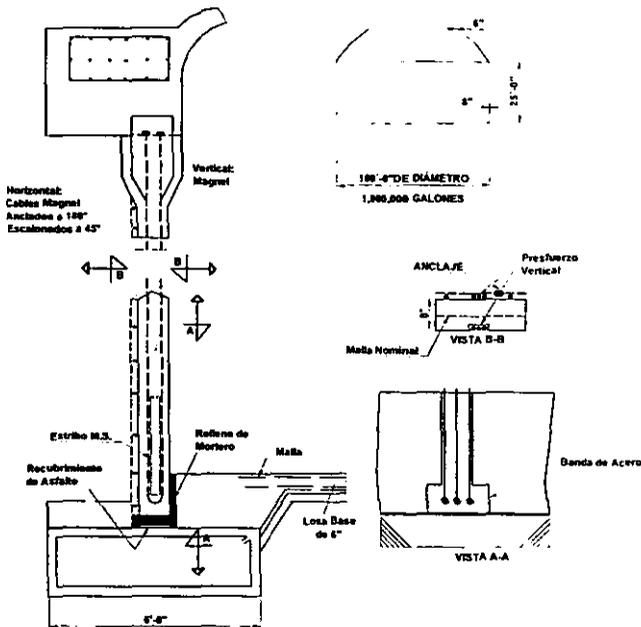


Fig. I.6



### 1.3 SISTEMAS DE PRESFUERZO.

Como hemos visto en la construcción de los tanques de almacenamiento pueden emplearse algunas variantes, ya sea en el Sistema de presforzado o en el tipo de junta y hasta en el método constructivo dependiendo de las características del líquido almacenado, de las condiciones del lugar y del sistema de presfuero que se emplee.

Los Sistemas de Presforzado comprenden esencialmente métodos para esforzar (postensado y/o pretensado) el acero combinado con un método para anclarlo en el concreto, incluyendo quizás algunos otros detalles de operación. De aquí que la mayoría de las patentes de concreto presforzado estén basadas en uno o ambos de los detalles de operación que enunciaremos: (1) el método para aplicar el presfuero; (2) los detalles de anclaje de los extremos. Además de éstos, algunas veces forman parte del proceso patentado el tamaño y número de cables, aunque la mayoría de las patentes contienen una variedad de combinaciones de éstos. Los Sistemas de Presforzado más prominentes y comunes son clasificados y agrupados en la siguiente tabla.

El éxito final de cada sistema dependerá de un número de condiciones, siendo el principal criterio su economía y conveniencia. Es difícil predecir si no se van a desarrollar en el futuro nuevos y mejores sistemas, o se perfeccionaran los existentes, pero parece que se han empleados la mayoría de las ideas prácticas, en una forma u otra, en los sistemas mencionados.

#### SISTEMA DE PRESFUERZO. (INTERNACIONALES)

TIPO	Clasificación	Descripción		Nombre del sistema	País de Origen	
Pretensado	Método de esfuerzo	Contra machones o plataformas de esforzado		Hoyer	Alemania	
		Contra tubo central de acero		Shorer Chalos	EE.UU. Francia	
		Esfuerzo continuo contra moldes		Espira continua de alambre	U.R.S.S.	
		Corriente eléctrica para calentar el acero		Electrotérmico	U.R.S.S.	
	Métodos de anclaje	Durante el presfuero	Alambres			EE.UU. Francia
			Cables			
		Para la transferencia del presfuero	Adherencia, para cables y alambres pequeños			EE.UU. Europa
			Seguros corrugados para alambres grandes		Dorland	EE.UU.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



Postensado	Métodos de esfuerzos	Acero contra concreto	La mayoría de los sistemas Leonhardt	Alemania
		Concreto contra concreto	Billner	EE.UU.
		Cemento expansivo	Lossier	Francia
		Presfuerzo eléctrico	Billner	EE.UU.
		Vigas de acero flexionante	Preflex	Bélgica
	Métodos de anclaje	Alambres por mordazas de fricción	Freyssinet	Francia
			Magnet	Bélgica
			Morandi	Italia
			Holzmann	Alemania
			Preload	EE.UU.
Alambres, por empuje		B.B.R.V	Suiza	
		General prestressing or Prescon	EE.UU.	
		Texas P.I.	EE.UU.	
		Billner	EE.UU.	
		Monierbau	Alemania	
		Hulthenwerk	Alemania	
		Rheinhausen		
		Leoba	Alemania	
		Leonhardt	Alemania	
		Lee-McCall	EE.UU.	
		Streesteel	EE.UU.	
		Stress rods	Alemania	
		Finsterwalder	Alemania	
		Dywidag	Alemania	
		Karig	Alemania	
		Polensky and Zollner	Alemania	
		Wets	Bélgica	
		Bakker	Holanda	
		Roebbling	EE.UU.	
		Wayss and Freytag	Alemania	
		CCL	Inglaterra	
		Freyssinet	EE.UU.	
		Anderson	EE.UU.	
		Atlas	EE.UU.	

\* NOTA: En México se emplean esencialmente los sistemas B.B.R.V, Dywidag, CCL y Freyssinet (este ultimo con mayor presencia en la construcción de tanques de almacenamiento de concreto presforzado).



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



**TEMA II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA SOBRE LA BASE  
DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PAREDES LATERALES DE  
LOS ANILLOS DE CIMENTACIÓN DE LOS TANQUES DE  
ALMACENAMIENTO.**



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



### II.1 ANTECEDENTES.

A solicitud de PEMEX-Exploración y Producción. (PEP), la Competencia de Ingeniería Civil inicialmente, llevó a cabo la revisión estructural del anillo de cimentación de concreto y la inspección geotécnica del comportamiento del suelo donde se apoya, en la cimentación existente del tanque TV-2002.

El objetivo de los trabajo consistió en realizar la revisión estructural y la inspección geotécnica para aumentar la altura de la pared del tanque TV-2002, (aumentando el volumen de almacenamiento) considerando los siguientes aspectos:

1.- Revisión de la Seguridad Estructural del elemento de cimentación denominado anillo de cimentación, bajo las siguientes condiciones:

- 1.1. Condiciones de operación normal, incluidos efectos de contracción en el concreto del anillo.
- 1.2. Condiciones de operación normal más sismo, considerando en este último los valores actuales del coeficiente sísmico para dicha zona.
- 1.3. Condiciones existentes en el anillo de cimentación en particular diversos fisuramientos observados en las paredes laterales del anillo de cimentación.

2.- Verificar las condiciones geotécnicas en que se encuentra trabajando el terreno de apoyo de dicho tanque. Así como las condiciones que guarda el material

### 1.- REVISIÓN ESTRUCTURAL DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN.

Acorde al alcance antes indicado y con base en los hallazgos referidos en un reporte de inspección visual realizado al anillo de cimentación del tanque del día 25 de Mayo de 1999, por personal de la Competencia de Ingeniería Civil (Anexo A) en la cual se indicó la presencia de claros fisuramientos superficiales en algunos sectores de las paredes del anillo de cimentación y con presencia de corrosión en el acero de refuerzo que se quedo al descubierto por el desprendimiento de su recubrimiento inicial, la Competencia de Ingeniería Civil consideró pertinente el optar por una Revisión a los Estados Límites de Servicio, (ELS), de dicho anillo de cimentación considerando inicialmente las condiciones de "Servicio" de este anillo, ya que el proceso de fisuramiento observado en el concreto y algunas fallas locales incipientes ó no. Podían incrementarse, generando la falla de la estructura entera, quizás como resultado de que tan pronto el concreto se fisurará; (Simultáneamente generándose mayor corrosión a los aceros de refuerzo), se transmitiría a partir de este momento la carga de tensión soportada por el concreto aunque esta haya sido mínima, a los aceros de refuerzo ya corroidos, por lo tanto en esta revisión a ELS, es posible estudiar si existe una excesiva elongación del anillo de cimentación, esta se manifestará con la fisuración del concreto y de fallas en algunas partes locales de la estructura, por tensiones no admisibles en el concreto del anillo, aunque de manera inmediata no se haya alcanzado la Resistencia Última de los aceros de refuerzo, (revisión a los Estados Limite de Falla, ELF), Véase Referencias: capítulo criterios de Inspección Técnica.



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



Es importante hacer notar que la Revisión a los ELS, de esta estructura permitió, en base a los antecedentes de las fisuraciones existentes, inferir sus probables orígenes y sus efectos a mediano y largo plazo en la estructura, en términos de su estabilidad y de su funcionalidad estructural, además de los bien conocidos efectos de flujo plástico, contracción, cambios volumétricos, y de temperatura en términos de sus esfuerzos calculados, como indicios y/o manifestaciones del comportamiento estructural del anillo de cimentación, de tal manera que se pudieran establecer medidas que subsanaran las anomalías detectadas durante esta revisión ya sea por medio de rehabilitaciones, reparaciones, o reestructuraciones de este anillo de cimentación.

Dado lo anteriormente expuesto, la revisión se efectuó de la siguiente manera:

1.1- Considerando las condiciones de operación del tanque existente TV-2002, se evaluaron los valores de las tensiones circunferenciales del anillo de cimentación perimetral, en base a los coeficientes de empuje activo del suelo confinados por dicho anillo, (proporcionados estos a través de un estudio teórico realizado por la oficina de geotecnia del IMP), tanto en operación normal como para la combinación de operación normal más sismo, así como de los armados y datos existentes, obtenidos de los planos proporcionados por PEP, interactuando estos valores con las condiciones de fisuramiento en el anillo de dicho tanque.

1.2 La revisión se llevó a cabo considerando las siguientes condiciones de carga \*:

a) Cargas de operación + Contracción del Concreto.

b) Cargas de operación + sismo + Contracción del Concreto.

\*(Sin perder de vista el fisuramiento que se observa en las paredes laterales del anillo de cimentación).

1.3. Cabe comentar que para la revisión se empleó, el valor actual del coeficiente de aceleración del suelo por sismo considerando el área donde se ubica el tanque TV-2002, incluyéndose en ésta la clasificación de Grupo "A" para este tipo de estructura en la República Mexicana, de acuerdo al manual de diseño por sismo de la C.F.E. última versión.

1.4. Simultáneamente a los valores actuales del coeficiente sísmico en dicha área, se consideraron los valores correspondientes a los momentos de volteo, que inciden en las presiones del suelo de la cimentación existente.

1.5. La revisión del anillo de concreto se hizo sobre la base de la teoría elástica, (ELS, véase párrafo inicial), a pesar de la existencia de ciertos agrietamientos en sus paredes, los cuales pensamos han generado fenómenos de corrosión en el acero de refuerzo del concreto, además de que la teoría elástica ya no es del todo admisible, esta revisión supuso dos aspectos importantes, el primero correspondiente a la necesidad de evitar la corrosión de los aceros de refuerzo, y el segundo de cero fisuramiento en las paredes de este anillo.

La revisión se hizo conforme a los criterios dados en las **Recomendaciones de los Manuales de Ingeniería**; tales como: el "**Método de Diseño Alternativo Apéndice "A"**", del A.C.I. **Building Code**" y el "**Circular Concrete Tanks without Prestressing**", entre otras.



1.6. Se supuso que la presión radial en el anillo se generaba por la presencia en toda la altura del tanque de un fluido con un peso específico correspondiente a la de un crudo normalmente almacenado en esta terminal.

## II.2 HALLAZGOS Y SUS RESULTADOS NUMÉRICOS.

I. La revisión de la tensión circunferencia del anillo, incluida la contracción estimada del concreto en este anillo de cimentación, se analizó en base a los siguientes parámetros de diseño:

Parámetros Empleados para la Revisión del Tanque TV-2002. Rango Elástico.		
Concepto	Valor.	Comentarios.
1.- Empuje activo del relleno de suelo al interior del anillo, en condiciones de operación normal.	$K=0.27$	
2.- Valor de la contracción considerada.	$\epsilon_c=0.0003$	Varia según el RC del D.F., de 0.001 a 0.002, se consideró un valor muy bajo en esta revisión.
3.- Acero de refuerzo existente en el anillo de cimentación,	$A_s= 182.52 \text{ cm}^2$	Para tomar las tensiones circunferenciales debido a las presiones radiales mas contracciones del concreto, (plano # E-2812-CI-0135).
4.- Acero por contracciones del concreto.	$A_{sc} = 0.0025 \times \text{espesor del anillo} \times H_a$	$p_{adm} = 0.0025$ , porcentaje mínimo requerido por contracción, según el A.P.I. Standard 650, (julio 1993-diciembre 1996), sección B.4.2.3..
5.- Peso volumétrico del fluido	$\gamma_f=0.925 \text{ ton/m}^3$ .	
6.- Peso volumétrico del relleno del anillo.	$\gamma_r=1.900 \text{ ton/m}^3$ .	
7.- Peso volumétrico del agua	$\gamma_w =1.000 \text{ ton/m}^3$ .	
8.- Altura del fluido	$h_f=13.527\text{m}$ .	
9.- Altura del tanque.	$H= 14.640\text{m}$	
10.- Altura del anillo.	$H_a= 2.55 \text{ m}$	
11.- Radio del tanque.	$R= 27.416\text{m}$	
12.- Esfuerzo radial promedio calculado, en operación normal.	$\sigma_1=300.00 \text{ ton/m}^2$	Empleado en esta revisión.
13.- Esfuerzo radial promedio calculado, en operación normal más sismo.	$\sigma_2=350.00 \text{ ton/m}^2$	Empleado en esta revisión.
14.- Porcentaje mínimo requerido por contracción.	$p_{adm}= 0.0025$	Según el A.P.I. Standard 650, (julio 1993-diciembre 1996), sección B.4.2.3.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



15.- Tensión circunferencial calculada, en operación normal.	$Tc_1=306.00 \text{ ton}$	
16.- Tensión circunferencial calculada, en operación normal más sismo.	$Tc_2=357.00 \text{ ton}$	
18.- Esfuerzo máximo recomendable" del acero de refuerzo en el anillo.	$\bar{f}_s_{adm1} = 1400.00 \text{ kg/cm}^2$	Véase Referencias.
19.- Esfuerzo máximo admisible" del acero de refuerzo en el anillo.	$\bar{f}_s_{adm2} = 2100.00 \text{ kg/cm}^2$	Véase Referencias.
20.- Espesor del anillo	40.00 cm.	
21.- Esfuerzo admisible a compresión del concreto.	$f_{c \text{ adm}} = 0.45 \text{ de } f'c = 90 \text{ kg/cm}^2.$	
22.- Esfuerzo admisible a tensión del concreto", valor por verificar en campo.	$f_{t \text{ adm}} = 0.10 \text{ de } f'c = 20. \text{ kg/cm}^2.$	
23.- Esfuerzo a compresión del concreto.	$f'c=200.00 \text{ kg/cm}^2$	(plano # E-2812-CI-0135).
24.- Modulo de Elasticidad del concreto, valor por verificar en campo.	$E_c = 8000 \text{ de } \sqrt{f'c} \text{ en kg/cm}^2.$ $=113,137.08$	
25.- Tensión Circunferencial Resistente existente en el anillo de cimentación.	$\bar{T}c_1=(A_s-A_{sc}) \times 2100.00 = 329.74 \text{ ton},$	Empleando el valor del "esfuerzo máximo admisible" del acero con valor de 2,100 Kg/cm2.
26.- Tensión Circunferencial Resistente existente en el anillo de cimentación.	$\bar{T}c_2=(A_s-A_{sc}) \times 1400.00 = 219.82 \text{ ton},$	Empleando el valor del "esfuerzo máximo recomendable", cuyo valor es de 1,400 Kg/cm2.
27.- Areas del acero de tensión circunferencial y del acero por contracción del concreto.	$A_s \text{ y } A_{sc}$	American Petroleum Institute, Welded Steel Tanks For Oil Storage, Standard 650, inciso B.4.2.3.
28.- Sección transversal del concreto en el anillo de cimentación	$A_c=10,200 \text{ cm}^2.$	
29.- Esfuerzo de tensión en el concreto", calculado, actuando circunferencialmente en el anillo de cimentación, considerando la presión radial del relleno del anillo, el peso del fluido y los cambios de temperatura y contracciones.	$f_t = 30.98 \text{ kg/cm}^2$	
30.- Empuje activo del relleno de suelo al interior del anillo, en condiciones de operación normal más sismo.	$K_a=0.323$	



II.- Los resultados obtenidos de esta revisión, se presentan por medio de la siguiente tabla comparativa.

Revisión de Tensiones en los Aceros de Refuerzo, Rango Elástico.	
Condición de Carga.	Resultado.
Operación Normal	Unidades en Ton.
Con $f_{sadm1} = 1400.00 \text{ kg/cm}^2$ Esfuerzo Admisible.	$Tc2=219.82 \text{ ton} \ll Tc_1=306.00 \text{ ton}$ No Satisface.
Con $f_{sadm2} = 2100.00 \text{ kg/cm}^2$ Esfuerzo Admisible.	$Tc_1=329.74 \text{ ton} > Tc_1=306.00 \text{ ton}$ Sí Satisface.
Operación Normal más Sismo.	Unidades en Ton.
Con $f_{sadm1} = 1400.00 \text{ kg/cm}^2$ Esfuerzo Admisible.	$Tc2=219.82 \text{ ton} \ll Tc2=357.00 \text{ ton}$ No Satisface.
Con $f_{sadm2} = 2100.00 \text{ kg/cm}^2$ Esfuerzo Admisible.	$Tc_1=329.74 \text{ ton} < Tc2=357.00 \text{ ton}$ No Satisface.

Revisión de Tensiones en el Concreto, Rango Elástico.	
Condición de Carga.	Resultado.
Operación Normal	Unidades en $\text{kg/cm}^2$
$f_{adm}=20.00 \text{ kg/cm}^2$ Esfuerzo Admisible.	$f_t \text{ adm}=20.00 \text{ en } \text{kg/cm}^2 \ll f_t =30.98 \text{ kg/cm}^2$ No Satisface.

Como se observa en los resultados de las tablas anteriores se tienen tres resultados NO satisfactorios del comportamiento estructural del acero de refuerzo de dicho anillo de concreto reforzado, ya que se rebasan, **los valores correspondientes a las tensiones admisibles de los aceros de refuerzo** indicados en los planos estructurales correspondientes, principalmente para la combinación de operación normal más sismo.

Asimismo es posible observar que se rebasa el valor de la tensión admisible del concreto del anillo de cimentación, cuyo **valor máximo de este último estimamos no pasa de 20.00 Kgs./cm<sup>2</sup>.**

III.- Con respecto al concreto es importante notar, que actualmente la calidad de los materiales empleados (en cuanto a su resistencia), en elementos de concreto reforzado para este tipo de obra, corresponde a la clasificación de Grupo "A" en la República Mexicana acorde al Manual de Obras Civiles de la CFE, siendo en particular para el caso del concreto, de un  $f'c$



(Resistencia a los 28 días), de  $250 \text{ Kg/cm}^2$  como mínimo; el  $f'c$  existente en el anillo del tanque es del orden de  $f'c=200 \text{ Kg/cm}^2$  (conforme a planos revisados); independientemente de las diversas fisuras detectadas en el anillo de cimentación.

IV.- En las revisiones efectuadas se emplearon diversos valores de los coeficientes de empuje del suelo (parámetro K) de relleno del anillo de cimentación, se hicieron variar para el caso de operación normal, desde 0.20 hasta 0.27, a pesar de esto, no fueron satisfactorios los resultados obtenidos, principalmente en lo relativo al esfuerzo máximo admisible a tensión del concreto el cual varía del 8% al 12% de su resistencia a compresión.

V.- En las diferentes combinaciones numéricas realizadas, se rebasa el valor de la tensión admisible del concreto del anillo de cimentación cuyo **valor máximo de este último estimamos no pasa de  $20.00 \text{ Kgs./cm}^2$ .**

VI.- Dada la resistencia del concreto empleado es de esperar que su módulo de Elasticidad tenga valores que implican una baja respuesta al fenómeno de la contracción.

## II.2.1 CONCLUSIONES DE ESTA REVISIÓN.

1.- En base a lo anterior, se concluyo, desde el punto de vista de los ELS, que este anillo de cimentación, ya No satisface estos Límites de Seguridad Estructural y/o de Servicio, ya que en base a esta revisión numérica, los esfuerzos inducidos de tensión en el concreto rebasan los valores máximos admisibles teóricos a tensión del concreto existente en el anillo, generándose con esto mecanismos de fisuramientos en las paredes de este tanque y por ende es de esperarse se tengan efectos de la corrosión en los aceros de refuerzo existentes (medio ambiente agresivo, zona marina con brisa de mar), además de otros deterioros observados durante nuestras visitas al sitio del anillo de cimentación, **degradando progresivamente la Resistencia Estructural de dicho anillo.**

2.- Se rebasa el valor de la tensión admisible del concreto en el anillo de cimentación cuyo **valor máximo de este último estimamos no pasa de  $20.00 \text{ Kgs./cm}^2$ .**

3.- Estimamos que el fisuramiento actual en las paredes del anillo de cimentación se deben a una combinación de efectos tales como tensiones circunferenciales en el anillo por presiones radiales sobre éste, y de efectos de contracciones en el concreto de dicho anillo de cimentación, incluidas quizás en épocas de lluvias, etapas de rehidrataciones periódicas en el concreto. Independientemente de la humedad relativa del medio ambiente. (dada la zona de costa donde se localiza).

## II.2.2 RECOMENDACIONES DE ESTA REVISIÓN.

1.- Debido a que no se tuvo información sobre el comportamiento de las paredes Interiores del anillo de cimentación, para detectar la posible presencia de agrietamientos en dichas paredes, así como tampoco se conoce la profundidad de las fisuras exteriores en el espesor del anillo de cimentación, por lo tanto NO se considero conveniente llevar a cabo **solo reparaciones y medidas correctivas en las paredes externas de este anillo de cimentación, ya que se podía subestimar el estado real de este anillo.**



2.- Con el objeto de llevar a cabo acciones correctivas adecuadas que garanticen la Seguridad Estructural del anillo de cimentación se recomendaron las siguientes acciones:

2.1.- Realizar un levantamiento físico de las fisuras existentes en las paredes del anillo de cimentación, en particular la profundidad de estas con sus dimensiones.

2.2.- Realizar un muestreo de corazones de concreto para evaluar:

- El esfuerzo a tensión admisible.
- El esfuerzo a compresión admisible
- El módulo de Elasticidad.

2.3.- Realizar un muestreo del suelo en el interior del anillo con la finalidad de verificar la magnitud real de los factores de empuje

2.4.- Evaluar el grado de corrosión de los aceros, tanto superficiales como los interiores, para generar posibles medidas parciales o temporales de rehabilitación y de reparación de los mismos.

2.5.- En base al resultado del punto anterior evaluar la posibilidad de inyectar las fisuras existentes.

2.6.- Estudiar la posibilidad de un reforzamiento mayor del anillo de cimentación, en base a la evaluación de los puntos anteriores.



### II.3 LA REVISIÓN GEOTÉCNICA DE LA CIMENTACIÓN DEL TANQUE TV-2002.

El trabajo se limitó a dar información del estado de hundimientos y asentamientos diferenciales en que se encuentra el terreno de apoyo y de las posibles tendencias de la estructura, así como del estado del material base de la placa de fondo y, de requerirse, proporcionar recomendaciones para su reparación.

#### II.3.1 INSPECCIÓN DE HUNDIMIENTOS.

El análisis de hundimientos se efectuó a partir de los levantamientos topográficos efectuados por el personal de la misma Unidad. Estos levantamientos fueron efectuados en dos etapas.

El primer levantamiento se efectuó cuando el tanque estaba aun en operación y durante un ciclo de llenado y vaciado, para esto, el perímetro se seccionó en 12 puntos haciendo coincidir el punto inicial con el norte franco del tanque. El levantamiento se efectuó entre los días 17 y 30 de marzo de 1999 y es así que, tomando como base las cotas de inicio o de referencia a partir de las cuales se midieron los asentamientos totales, se hacen las siguientes observaciones:

1. El registro de nivelaciones se inició cuando el tanque ya tenía un cierto tiempo de haber sido cargado y entre los días 17 y 19 únicamente en algunos puntos, se registra un ligero asentamiento de 1 mm.
2. Para el día 20 se obtuvieron dos registros, los cuales difieren entre sí y aparentemente no concuerdan con lo indicado a "Tanque lleno", ya que en uno de ellos, por los valores de la diferencia de cotas, se ve que aparentemente se hizo a Tanque vacío, ya que en él se registró una recuperación de hundimientos del terreno, en cuanto al otro registro no es posible identificar lo ocurrido, ya que el comportamiento de todos los puntos es muy irregular, en algunos ocurren hundimientos y en otros expansiones muy fuertes, lo cual no es lógico, pudiera ser que éste se hubiera levantado cuando se estaba vaciando el tanque y se estuviera produciendo la recuperación del terreno.
3. Respecto a los registros de los días 29 y 30 (a "Tanque vacío"), se observó que la cota final es mayor que la cota inicial, lo cual corrobora que el primer levantamiento se hizo varios días después de haber sido cargado el tanque, pero también se pudo observar que entre la diferencia de cotas del día 30 y la de uno de los registros del día 20 no hay mucha diferencia, lo cual confirma que tal registro del día 20 se hizo a Tanque vacío.
4. Como conclusión de este levantamiento, se puede decir que, si se considerara que el suelo se recupera el 100% al descargar el tanque, se podría considerar también que la deformación que le ocurre al suelo al llenar el tanque es la misma que al descargarlo, y que por lo tanto la diferencia de cotas obtenida en la nivelación efectuada el día 30 sería igual al hundimiento total que ocurre al llenar el tanque, se obtuvo así un hundimiento máximo de 3.6 cm el cual es muy pequeño.

Pero adicionalmente, de la revisión global de los hundimientos ocurridos en los 12 puntos, también se pudo observar que entre los puntos 4 y 9 ocurren los mayores hundimientos, esto es aparentemente, pues la estructura tiene una ligera inclinación hacia el extremo sur.

Respecto al segundo levantamiento, el cual se hizo en el interior del tanque (cuando éste ya estaba vacío) y sobre la placa de fondo, se pudo decir que éste no fue de mucha utilidad, ya que, para poder definir los asentamientos totales y diferenciales reales, se requieren las



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



cotas sobre el material de apoyo de la placa de fondo del tanque, pero puesto que no fue posible obtener tales elevaciones, únicamente se solicitó la cota sobre este material al centro del tanque y ésta fue la que se utilizó para calcular los asentamientos totales y diferenciales ocurridos en el tanque desde su construcción.

Finalmente como resultado del análisis descrito con anterioridad y tomándose como base las cotas proporcionadas por PEP sobre el anillo de cimentación a tanque vacío y la cota al centro del mismo sobre el material de apoyo de la placa base, se considero que realmente el tanque se haya construido de acuerdo a lo indicado en los planos de construcción, se obtuvieron como resultado los asentamientos mostrados en las figuras 1 y 2 anexas y se concluyo lo siguiente:

1. El asentamiento total al centro del tanque fue de apenas 3 mm, o sea la cota varió de +6.274 a +6.271, asentamiento que fue apenas el 1% del máximo permitido de 30 cm, según el API y la norma de PEMEX.
2. El asentamiento total máximo en el perímetro se presentó en los puntos 5 y 6 con un valor de 5.7 cm que es apenas el 19% del máximo permitido de 30 cm.
3. El asentamiento diferencial máximo en el sentido radial, igualmente ocurrió entre los puntos 5 y 6, el cual fue de 1.97 cm en 10 m de radio y que fue el 40% del máximo permitido de 5 cm en 10 m según el API y la norma de PEMEX.
4. El asentamiento diferencial máximo en el sentido perimetral, ocurre entre los puntos 4 y 5, el cual fue de 3 cm en 10 m de perímetro que fue el 60% del máximo permitido de 5 cm en 10 m según el API y la norma de PEMEX.

Por lo tanto se concluyo que, de acuerdo con el API y la norma de PEMEX, el comportamiento del suelo ha sido satisfactorio en todas direcciones y esto tanto en los asentamientos totales como en los diferenciales.

### II.3.2 INSPECCIÓN DEL MATERIAL BASE.

Respecto a la inspección para verificar el estado del material base de la placa de fondo, ésta se efectuó mediante la remoción de tres secciones de dicha placa, donde ésta se encontraba perforada por corrosión y donde posiblemente el fluido almacenado pudiera haberse infiltrado y afectado el terreno de apoyo del tanque.

De dicha inspección, se pudo verificar que el fluido no penetró ni afectó al terreno de apoyo del tanque y que únicamente se afectó el material arenoso sobre el cual se apoya la placa de fondo. De los sitios inspeccionados, se verificó que en dos de ellos únicamente se reblandecieron los primeros 3 o 4 cm de dicho material, esto debido a que el fluido pudo escurrir por la parte inferior de la placa y así salir, como se puede ver en el anexo lo cual no ocurrió en el tercer sitio y esto propició que la afectación fuera más profunda (aproximadamente 15 cm), pero sin llegar a afectar a la capeta asfáltica ni al material de la cimentación, como se puede ver en el anexo A.

Como resultado de dicha inspección, se concluyo que el material se encontró en perfectas condiciones mecánicas, esto es que, el material conserva un buen grado de compactación, lo cual, le da la resistencia mecánica suficiente para soportar las cargas a que estará sometido.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



Finalmente se recomendó reparar estos sitios, únicamente, después de retirar la placa de fondo perforada y por cambiarla, debiendo remover la arena suelta, pero sin afectar a la que estuviera bien compacta, dejar secar y airear por 24 horas y posteriormente rellenar nuevamente con material arenoso limpio bien graduado y con un máximo de 5% de finos, bien compactado y sobre esto finalmente colocar nuevamente la placa de fondo del tanque.

#### II.3.4 CONCLUSIONES.

Como conclusiones se tuvieron las siguientes:

- Del análisis de los levantamientos efectuados con el tanque en operación, se pudo decir que, si se considerara que el suelo se recupera el 100% al descargar el tanque, se podría considerar también que la deformación que le ocurre al suelo al llenar el tanque es la misma que al descargarlo, y que por lo tanto la diferencia de cotas obtenida en la nivelación efectuada el día 30 de marzo, sería igual al hundimiento total que ocurre al llenar el tanque, obteniendo así un hundimiento máximo de 3.6 cm. El cual es muy pequeño.
- De la revisión global de los hundimientos ocurridos en los 12 puntos, entre los puntos 4 y 9 ocurrieron los mayores hundimientos y aparentemente la estructura tiene una ligera inclinación hacia el extremo sur.
- De acuerdo con el API y la norma de PEMEX, el comportamiento del suelo de apoyo del tanque ha sido satisfactorio en todas direcciones y esto tanto en los asentamientos totales como en los diferenciales.
- El material base de la placa de fondo del tanque, se encontró en perfectas condiciones mecánicas, esto es que, el material conserva un buen grado de compactación, lo cual, le da la resistencia mecánica suficiente para soportar las cargas a que estará sometido.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



**TEMA III: CRITERIOS VARIOS PARA LA REESTRUCTURACIÓN DE  
LAS PAREDES LATERALES DE LOS ANILLOS DE CIMENTACIÓN DE  
TANQUES DE ALMACENAMIENTO.**



### III.1 INTRODUCCIÓN.

Debido a que el concreto es marcadamente versátil y se dispone universalmente, este material de construcción se usa para multitud de propósitos y en una amplia variedad de medios ambientes. Entonces, inevitablemente el concreto se usará en situaciones que requerirán algún tipo de procedimiento de reparación, rehabilitación ó reestructuración para incrementar su vida esperada.

Naturalmente, todos los materiales se deterioran en alguna medida por la destrucción del tiempo, exposición a los elementos y efectos de desgaste y desgarramiento. Considerando todos los factores, el comportamiento del concreto se compara favorablemente con otros materiales estructurales. Los agentes causantes del deterioro del concreto son:

- Cambios de temperatura.
- Temblores y terremotos.
- Contracciones por fraguado.
- Asentamientos diferenciales.
- Sobrecargas mecánicas.
- Condiciones ambientales extremas.
- Errores humanos.

Un factor importante para la consideración del proyectista es que el material sea "reparable". En esta área, también el concreto es bueno por si mismo a la rehabilitación.

Se encuentra disponible un arsenal verdadero de materiales y técnicas de reparación para cualquier tipo imaginable de deterioro. Es una distinción única de las estructuras de concreto de estar rara vez "lejos de la reparación".

Algunas veces la causa del deterioro será fácilmente diagnosticado. Sin embargo, con mayor frecuencia, esto no ocurre, y la determinación de la causa de un problema en particular, puede requerir un especialista hábil o un examen de laboratorio. Con frecuencia ambos procedimientos son necesarios.

Si el deterioro es provocado por un fenómeno continuo, deben tomarse precauciones ya sea para tratar el fenómeno o para proteger al concreto. Cuando el deterioro resulta por una causa aislada o una serie de ocurrencias, el trabajo de reparación generalmente se iniciara de inmediato.

Cualquier reparación, rehabilitación, ó reestructuración de una estructura de concreto reforzado debe cumplir con tres requerimientos básicos:



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



Primero: la reparación, rehabilitación, ó reestructuración debe conseguir detener el deterioro de la estructura, particularmente previniendo la posterior corrosión del acero de refuerzo.

Segundo: restablecimiento de la integridad estructural.

Tercero: lograr un acabado uniforme.

Para el caso del anillo de cimentación del tanque TV-2002, se hicieron adicionalmente las siguientes consideraciones con el fin de que se realizara una reparación, rehabilitación ó reestructuración la cual resuelva de manera más idónea los problemas de seguridad estructural que se presentaban en dicho tanque:

- Considerando la finalidad de la obra (Deshidratador de crudo), con la nueva altura de la envolvente (incluido un séptimo anillo) del tanque para mayor capacidad de operación.
- Tomar en consideración su seguridad ante un sismo, el tiempo útil del anillo de cimentación y su fase de construcción.
- Subsanan el deterioro estructural observado en el estado actual del anillo de cimentación existente.
- Mano de obra y productos locales.
- Topografía, geometría actual y clima local.

Un tanque de almacenamiento puede ser atacado por diversos agentes externos e internos que pueden causar su deterioro con el tiempo. Localizar la causa de este deterioro corre a cargo del ingeniero; esto fue la causa de la revisión estructural del capítulo anterior donde se determino que el anillo ya no satisfacía los Límites de Seguridad Estructural y de Servicio, ya que los esfuerzos de tensión inducidos al concreto del anillo de cimentación existente, rebasan los valores máximos admisibles a tensión del concreto.

Esto es importante para elegir de las técnicas que se mencionaran la que satisfaga la necesidad que se tiene de recuperar los Límites de Seguridad Estructural y de Servicio para este tanque de almacenamiento.

En este capítulo se discutirán diferentes técnicas para reparar, rehabilitar o reestructurar el anillo de cimentación de concreto reforzado del tanque de almacenamiento TV-2002. Y se justificará o restringirá el empleo de cada una de ellas en dicha estructura.



### III.2 CONCEPCIÓN DE LA REESTRUCTURACIÓN DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN.

El anillo de cimentación del tanque se compone de una pared vertical de concreto para resistir el empuje activo del relleno y sus sobrecargas al interior de este generándose en esta pared vertical tensiones radiales y tensiones circunferenciales, apoyándose sobre una zapata corrida de concreto reforzado perimetral.

III.2.1 La unión de la nueva pared del anillo y el anillo de cimentación existente puede ser:

III.2.1.a) LIBRE, es decir que la deformación de la nueva pared del anillo bajo las solicitaciones debidas al empuje activo pueda hacerse sin obstáculo. Esta concepción tiene la ventaja para el proyectista de poder evaluar fácilmente las solicitaciones y diseñar así el presfuerzo; pero tiene la desventaja de exigir una ejecución delicada, en esta opción se debe prever que el nuevo anillo de cimentación pueda tomar la combinación de carga de operación, así como la combinación de carga de operación más sismo y los efectos de contracción y temperatura correspondientes.

Es este tipo de unión fue la que se propuso en base a las condiciones actuales del anillo de cimentación del tanque TV-2002.

III.2.1.b) FIJA, empotrando (y con continuidad) la nueva pared del anillo de cimentación, con los elementos estructurales existentes del anillo de cimentación en particular ampliando la zapata de cimentación por medio de una losa de cimentación.

Sin embargo esta última para el caso de la reestructuración del anillo de cimentación de tanque TV-2002, no es posible su aplicación debido a la geometría y al estado actual de este anillo de cimentación.

Se analizaron y estudiaron los tipos principales de procedimientos para reparar, rehabilitar ó reestructurar la pared del anillo de cimentación existente, y que pudieran subsanar los daños que presentaba el anillo de cimentación.

En base a esto, se investigo la causa más comunes de los daños de estos tanques así como las técnicas y materiales que se emplean para su reparación de los mismos.

### III.3 CAUSAS MÁS COMUNES DE LOS DAÑOS EN ESTOS TANQUES.

Las causas del deterioro en las paredes laterales de concreto de los tanques de almacenamiento son las que se mencionan a continuación junto con la técnica de reparación y los materiales que se pueden emplear para la reparación de la estructura dañada, enfocada principalmente a la reparación de fisuras y/o grietas.

I.- Expansión álcali-agregado:

Es provocada por una reacción química entre ciertos constituyentes de algunos agregados y los álcalis del cemento portland. El deterioro puede variar desde un ligero agrietamiento hasta un rompimiento completo de la masa de concreto. La expansión álcali-agregado se puede iniciar al instante después de haber colado el concreto, o se puede retrasar durante varios años.



Las técnicas para reparar este tipo de problema son:

1. Revestimiento
2. Sustitución del concreto
3. Envoltura
4. Sustitución total

Material de reparación:

1. Revestimiento bituminoso
2. Epóxicas
3. Materiales de envoltura
4. Concreto de látex modificado
5. Aceite linaza
6. Concreto de cemento portland

II.- Grietas, activas:

Las grietas ocurren cuando los esfuerzos de tracción a los cuales está sujeto el concreto exceden la capacidad resistente a los esfuerzos de tracción del concreto. Se conocen como grietas activas aquellas que aparecen en el concreto endurecido y que con el tiempo se continúan desarrollando, estas grietas pueden clasificarse de distintas maneras según su aparición, tipo de carga que las origina y extensión a lo largo del elemento.

Técnica de reparación:

1. Calafateado
2. Envoltura
3. Esforzado

Material de reparación:

1. Selladores elásticos
2. Material de envoltura

III.- Grietas, inactivas:

Las grietas ocurren cuando los esfuerzos de tracción a los cuales está sujeto el concreto exceden la capacidad resistente a los esfuerzos de tracción del concreto. Se conocen como grietas inactivas aquellas que aparecen en el concreto endurecido y que con el tiempo no se desarrollan más ni en su extensión como en su apertura, estas grietas pueden clasificarse de distintas maneras según su aparición, tipo de carga que las origina y extensión a lo largo del elemento.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



Técnica de reparación:

1. Agua fuertemente ácida
2. Calafateado
3. Revestimiento
4. Sustitución del concreto
5. Empaque seco
6. Pulido
7. Inyección de lechada
8. Envoltura
9. Mortero lanzado con aire comprimido
10. Recubrimiento delgado adherido o no adherido
11. Chorro de arena
12. Esforzado

Material de reparación:

1. Recubrimiento bituminoso
2. Empaque seco
3. Selladores elásticos
4. Epóxicas
5. Morteros expandidos
6. Material de alta velocidad de fraguado
7. Material de envoltura
8. Concreto de látex modificado
9. Concreto de cemento portland
10. Lechada de cemento portland
11. Mortero de cemento portland

IV.- Formación de polvo:

Las causas comunes de polvo de concreto incluyen a las siguientes: mezclas de concreto que son demasiado húmedas; un trabajo prematuro o excesivo de su superficie; materiales orgánicos en los agregados; y un curado inadecuado. Otra causa es la carbonización de la superficie debido al uso de calentadores sin ventilación durante climas fríos. El polvo ocurre cuando la superficie de concreto se llega a hacer suave y se raspa rápidamente por abrasión o tránsito. Este "raspado" es un material en polvo muy fino y puede ser tan severo que evita la aplicación de pinturas o revestimientos.

Técnicas de reparación:

1. Agua fuertemente ácida.
2. Revestimiento
3. Pulido
4. Envoltura
5. Chorro de arena



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



6. Recubrimiento delgado adherido o no adherido
7. Sustitución total.

Material de reparación:

1. Recubrimiento bituminoso
2. Epóxico
3. Materiales de alta velocidad de fraguado
4. Materiales de envoltura
5. Concreto de látex modificado
6. Aceite de linaza
7. Agregados especiales para piso.
8. Endurecedores de superficie.

V.- Eflorescencia:

La eflorescencia es la apariencia de sales cristalinas sobre una superficie de concreto. Esta forma de perjuicio se provoca por agua o líquido que emigra del interior de la masa de concreto hacia la superficie donde se evapora depositando las sales. Este es un fenómeno común en el concreto y no es perjudicial a menos que los depósitos sean excesivos y perjudiquen la apariencia de su superficie.

Técnica de reparación:

1. Agua fuertemente ácida.
2. Sustitución total

Material de reparación:

1. Concreto de cemento portland
2. Lechada de cemento portland
3. Mortero de cemento portland

VI.- Daños debidos al fuego:

Causados por el fuego. Estos daños son relativamente fáciles de identificar. La superficie comúnmente se carboniza y se desprende. El concreto difiere considerablemente en sus grados individuales de resistencia al fuego. Esta resistencia gira sobre tres factores:

1. La cantidad de agua químicamente combinada que se pierde.
2. Los cambios químicos que destruyen la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado
3. El deterioro gradual de la pasta de cemento endurecida.

Los agregados se expanden progresivamente cuando se calientan. La pasta de cemento endurecida se expande únicamente hasta un cierto punto y después comienza a contraerse. El fuego severo también puede afectar la resistencia y la adherencia del refuerzo del concreto.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



Técnica de reparación:

1. Agua fuertemente ácida
2. Calafateado
3. Revestimiento
4. Sustitución del concreto
5. Empaque seco
6. Pulido
7. Envoltura
8. Sustitución de mortero
9. Mortero lanzado con aire comprimido
10. Concreto preempacado
11. Recubrimiento delgado adherido o no adherido
12. Frotación de sacos
13. Chorro de arena
14. Punteado
15. Esforzado
16. Sustitución total

Material de reparación:

1. Empaque seco
2. Selladores elásticos
3. Epóxicas
4. Morteros expandidos
5. Concreto látex modificado
6. Concreto de cemento portland
7. Lechada de cemento portland
8. Mortero de cemento portland

VII.- Superficie en forma de panal:

La forma de panal es una condición que resulta cuando el agregado grueso se coloca con una cantidad insuficiente de mortero. Se presenta por que la mezcla de concreto tiene poco contenido de arena y/o la técnica de colocación es pobre. Estas zonas se pueden reparar inyectando mortero dentro de los vacíos ó retirando todo el material suelto o inadecuadamente adherido y sustituirlo por concreto. El éxito de la acción correctiva depende de la firmeza con que se haya colocado el agregado grueso.

Técnicas de reparación:

1. Sustitución del concreto
2. Empaque seco
3. Sustitución de mortero
4. Concreto preempacado
5. Sustitución total



Material de reparación:

1. Epóxicas
2. Empaque seco
3. Morteros expandidos
4. Concreto de cemento portland
5. Mortero de cemento portland

El daño que se presentó en el anillo de cimentación lo podemos catalogar como grieta activa y la técnica de reparación que se puede emplear según lo que se dedujo de la revisión del anillo de cimentación es la del esforzado.

Dado a que los daños presentados en el anillo de cimentación existente ya representaban un riesgo estructural, una reparación con alguno de las otras técnicas de reparación no se creyó que garantizaría que la estructura en conjunto soportara las nuevas condiciones de carga e incluso no recuperara el 100 % de su resistencia de diseño, lo que implicaría que su capacidad de trabajo fuera menor que la que se requería por parte de PEMEX.

Con esto la técnica de reparación se convierte en una técnica de reestructuración que es la que resuelve las expectativas estructurales y la de incremento de capacidad del tanque de almacenamiento.

#### III.4 MÉTODOS PARA LA REESTRUCTURACIÓN DEL TANQUE TV-2002:

Se estudiaron diversos métodos para reestructurar el anillo de cimentación, en esta parte del capítulo se describirán varios métodos y se planteará la conveniencia o inconveniencia de su utilización para la reestructuración del anillo de cimentación de concreto reforzado existente en el tanque de almacenamiento TV-2002.

##### 1. MÉTODO CON UN NUEVO ANILLO DE CIMENTACIÓN DE CONCRETO REFORZADO.

Este procedimiento consiste en colar un nuevo anillo de cimentación alrededor del anillo existente, en este nuevo anillo de cimentación trabajara sin recibir cargas verticales por el peso propio de la pared del tanque de acero, pero tendrá cortante, momento flexionante y la tensión circunferencial producto de la carga hidráulica al interior del anillo de cimentación del tanque, del peso propio del tanque, del empuje del relleno confinado por el anillo de cimentación existente.

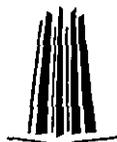
Este procedimiento no se adopto por las siguientes razones:

Se tendría que despreciar toda contribución del anillo de cimentación existente, por lo que el nuevo anillo de cimentación tendrá que tomar las cargas antes mencionadas y esto influye en la sección del nuevo anillo de cimentación, con lo que comparado con otro método resulta caro.

Por las condiciones que se tenía en este anillo de cimentación del tanque de almacenamiento TV-2002, el concreto era sometido a fuertes esfuerzos de trabajo a tensión y dado que el



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



concreto no resiste mucho a tensión se debe tener cuidado en el diseño y construcción del nuevo anillo de cimentación.

Los trabajos deben ser supervisados y realizados por mano de obra calificada y equipo, se debe cuidar la calidad de los materiales en los materiales agregados y acero de refuerzo que se emplearan en la ejecución de la obra.

El tiempo en el que se pondría de nuevo en funcionamiento el tanque se incrementaría teniendo PEMEX que sufragar las pérdidas, lo cual genera problemas en el volumen de Almacenamiento Global de la Terminal.

### 2. MÉTODO CON UNA NUEVA PARED DE CONCRETO PRESFORZADO.

Otro procedimiento de reestructuración y el cual se propuso llevar a cabo, consiste en nuevas paredes prefabricadas de concreto, presforzado, postensado con cables de presfuerzo dentro de ductos ahogados en las nuevas paredes externas formada por una serie de elementos de concreto, resistentes a las tensiones radiales y/o circunferenciales de operación del tanque, e inyectar mortero en los ductos una vez tensados los cables. Procedimiento sencillo que no requiere ningún equipo especial, empleado mundialmente con toda seguridad en cualquier obra de reestructuración postensada.

- Para presforzar estos nuevos elementos prefabricados de concreto y simultáneamente reforzar la pared del anillo de cimentación existente, la técnica del postensado consistirá en:

1.-) Tensar los cables de presfuerzo previamente insertados en ductos de lámina de acero ahogados en los nuevos elementos prefabricados de concreto; presforzando así la sección de esta nueva pared de cimentación en su totalidad.

2.-) Inyectar a presión una lechada a base de cemento, agua y un aditivo expansor para dar la protección contra la corrosión.

En efecto la suma de estas dos ventajas, sección enteramente comprimida y cables protegidos con cemento a presión, permite asegurar en las mejores condiciones una protección contra la corrosión.

El hecho de que el cable quede dentro del concreto comprimido le da una buena protección y la lechada inyectada a presión nos asegura que no hay aire incluido al estar en contacto con los cables.

Esta técnica es muy sencilla y segura, está confirmada por su uso en la casi totalidad de las estructuras presforzadas.

### 3. MÉTODO DE PEGADO DE PLACA DE ACERO ESTRUCTURAL CON RESINA EPÓXICA.

Es un procedimiento sencillo, rápido y con ciertas ventajas económicas, que consiste en colocar placas de acero pegadas en las caras externas de tensión de la pared del anillo de cimentación



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



existente. El pegamento empleado sería, en general, a base de resinas epóxicas, lo que incrementa su ventaja sobre otro método.

Este procedimiento no se adopto por las siguientes razones:

Aun teniendo las ventajas antes mencionadas se tendría los siguientes inconvenientes problemas de adherencia; el esfuerzo de adherencia que puede transmitirse en la unión placa - pegamento - concreto, no es muy alto; esta limitado por la resistencia al corte del concreto, por lo que debe cuidarse la preparación de la superficie que va a estar en contacto con la placa ó placas.

Se requiere de dispositivos especiales para prever el anclaje necesario.

Problemas con el empleo de resinas epóxicas como pegamento de las placas de acero con el concreto dado que cuando la temperatura excede los 70° C, la resina pierde rápidamente su resistencia y adherencia. Por lo que las condiciones que guarda el líquido almacenado y la exposición de la estructura a la acción directa de los rayos del sol por lo que requerirá de una protección térmica a la resina, la que con el tiempo podría deteriorarse y afectar la unión entre el concreto y la placa de acero. (Es importante mencionar que el crudo que se almacena en este tipo de tanques llega a una temperatura del orden de +/- 60°C).

Requiere de una protección contra la corrosión para la placa de acero así como un mantenimiento preventivo por periodos.

Por lo antes mencionado este proceso se descarto para la reestructuración del anillo de cimentación ya que no cumple con las garantías de seguridad y funcionalidad a largo plazo.

#### 4. MÉTODO ENROLLADO DE ALAMBRES PRESFORZADOS AL REDEDOR DE ANILLO DE CIMENTACIÓN EXISTENTE.

Este procedimiento consiste en enrollar alambre de bajo calibre al rededor del anillo de cimentación por medio con ayuda de una maquina especial de enrollado y tensado (después de haber reparado las grietas existentes con resina epóxica o concreto según la dimensión de la grieta); después se protege el alambre con mortero lanzado con aire comprimido.

Este procedimiento no se adopto por las siguientes razones:

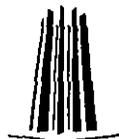
El procedimiento del enrollado y tensado requiere de equipo especial y mano de obra especializada. Aunque el método es muy empleado en Estados Unidos, aquí en México no es empleado en la actualidad por lo que implicaría traer mano de obra especializada además de la maquinaria; lo que impactaría en el costo de la obra.

La protección contra la corrosión. Esta técnica exige una ejecución muy cuidadosa para asegurar una protección contra la corrosión. En efecto las condiciones de protección de los alambres de presfuerzo presentan los inconvenientes que a continuación se mencionan:

Los alambres de presfuerzo son enrollados sobre las paredes de los tanques y tensados. Una vez tensados se coloca una protección sobre los alambres. Resulta que éstos últimos se



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



encuentran protegidos con un material que no está comprimido, susceptible de agrietarse cuando la pared está sometida a tensión bajo las solicitaciones de servicio. Esta condición desfavorable exige como se expresó anteriormente, medidas bien definidas de ejecución y control al aplicar ése recubrimiento. Por eso esta técnica tiene mayor aplicación en productos elaborados en planta en donde es más factible tener una buena elaboración y control de calidad.

Además, en el concreto proyectado con aire comprimido, se incrementan los efectos de contracción; lo que requiere de una ejecución extremadamente cuidadosa.

### 5. MÉTODO DE REFORZAMIENTO MEDIANTE EL EMPLEO DE FIBRAS "CFRP".

Este procedimiento es parecido al de las placas de acero. Es un procedimiento sencillo y mucho más rápido; que quizás no tenga las ventajas económicas de las placas de acero, y que consiste en colocar laminas sintéticas reforzadas con fibras (CFRP) y adheridas a la superficie de concreto, pegadas en las caras de tensión de la pared del anillo de cimentación existente. El pegamento empleado sería, en general, a base de resinas epóxicas, y el procedimiento no requiere gran equipo ni mano de obra especializada. Estas laminas tienen la ventaja que se consiguen de cualquier longitud y tamaño lo que no pasa con las placas de acero.

Este procedimiento no se adopto por las siguientes razones:

Se tendrían los problemas de adherencia igual que en las placas de acero, el esfuerzo de adherencia que puede transmitirse en la unión placa - pegamento - concreto, no es muy alto; esta limitado por la resistencia al corte del concreto, por lo que debe cuidarse la preparación de la superficie que va a estar en contacto con la placa ó placas.

Las laminas sintéticas no tienen la misma resistencia a la tensión que las placas de acero, por lo que se tendrían que emplear varias capas de lamina para reforzar la zona de tensión de anillo de cimentación del tanque TV-2002.

Problemas con el empleo de resinas epóxicas como pegamento de las placas de acero con el concreto dado que cuando la temperatura excede los 70° C, la resina pierde rápidamente su resistencia y adherencia. Por lo que las condiciones que guarda el líquido almacenado y la exposición de la estructura a la acción directa de los rayos del sol por lo que requerirá de una protección térmica a la resina, la que con el tiempo podría deteriorarse y afectar la unión entre el concreto además de esto se debe prever a la lamina de una protección dado que sus características pueden variar con el contacto de un agente químico externo ó el contacto con el líquido almacenado en el tanque.

Por lo antes mencionado este proceso se descarta para la reestructuración del anillo de cimentación ya que no cumple con las garantías de seguridad y funcionalidad a largo plazo.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



**6. MÉTODO DE REFORZAMIENTO MEDIANTE EL EMPLEO DE PERFILES DE ACERO ESTRUCTURAL.**

Este procedimiento consiste en agregar a la estructura existente elementos estructurales de acero, los cuales serán unidos mediante soldadura formando una serie de anillos que serán colocados en la periferia del anillo; este procedimiento se vuelve en ciertos momentos un procedimiento complicado por que se tendrían que armar la sección total de anillo por secciones para facilitar su colocación alrededor del anillo de cimentación y esta colocación debe hacerse con la ayuda de grúas para mantener la sección del anillo en posición, en donde se soldara con la otra parte de la sección del anillo de acero que ya ha sido fijada y apuntalada con anterioridad.

Este procedimiento no se adopto por las siguientes razones:

Requiere de una protección contra la corrosión para el elemento de acero así como un mantenimiento preventivo por periodos; además de que requiere de una supervisión especial durante el proceso de soldar las piezas.

Se requiere mano de obra especializada para realizar los trabajos de soldadura.

El proceso se vuelve costoso y no garantizaría el reforzamiento adecuado de la estructura.

**CONCLUSIÓN:**

Se tomo como criterio más adecuado, para la reestructuración del anillo de cimentación del tanque TV-2002, el método de paredes prefabricadas postensadas para envolver la pared lateral del anillo de cimentación existente de dicho tanque; por que por medio de este procedimiento constructivo se piensa se resolverá todos los problemas de seguridad estructural así como los nuevos requerimientos para dicho tanque de almacenamiento.

Además de que se estima que con este proceso se pondría en servicio el tanque lo más pronto posible; y esto ultimo fue una de los requerimientos de PEMEX.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



**TEMA IV: ASPECTOS NORMATIVOS EN EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE  
LAS PAREDES LATERALES DE LOS ANILLOS DE CIMENTACIÓN.**



#### IV.1 INTRODUCCIÓN:

Hay tres maneras de atacar el diseño del concreto presforzado: una basada en la deflexión; otra basada en los esfuerzos; y una tercera basada en la resistencia. Estos métodos se conocen como el método de la carga balanceada, el método de los esfuerzos admisibles y el método de la resistencia a la ruptura, respectivamente.

De acuerdo con el método de la carga balanceada, una cantidad de carga se balancea por el presfuerzo de tal manera que no existe flexión bajo esta condición. Con frecuencia, se equilibra totalmente la carga muerta; pero, cuando la carga viva es pequeña, se puede dejar sin balancear alguna porción de la carga muerta, y cuando la carga viva es grande, parte de ella debe balancearse junto con la carga muerta. En la estructura así diseñada se proporciona seguridad con el conocimiento de que la variación anticipada de las cargas da la condición de equilibrio no producirá efectos indeseables.

De acuerdo con el método de esfuerzos admisibles, una carga de servicio normalmente máxima, se especifica como una carga de diseño; generalmente se aplica la teoría elástica en el cálculo de los esfuerzos y se aplican como límites máximos un conjunto de valores admisibles. Al seguir tal procedimiento, se proporciona un margen de seguridad casi enteramente en los esfuerzos admisibles, siendo la elección de esos valores la que determina el grado de seguridad de la estructura y su capacidad para soportar sobrecargas.

De acuerdo con el método de resistencia a la ruptura, se ignoran los esfuerzos admisibles. En su lugar, se obtiene la resistencia de ruptura o resistencia última de los miembros y se expresa frecuentemente en formulas semiempíricas. Después, la carga de servicio especificada se multiplica por un factor de carga y se iguala a la resistencia de ruptura del miembro. Aquí, el margen de seguridad se proporciona casi completamente por los factores de carga.

Los tres métodos se pueden aplicar para el diseño del concreto presforzado. Debido a la naturaleza de las condiciones de carga del anillo de cimentación, como se menciona en el capítulo dos; su revisión se basó en el método de esfuerzos admisibles. Para el diseño del nuevo anillo de cimentación se tomaron en cuenta las consideraciones hechas en ese capítulo; las cuales eran las siguientes: La necesidad de evitar la corrosión de los aceros de refuerzo y además considerar cero fisuramiento en las paredes de dicho anillo.

La aplicación de cualquiera de los otros dos métodos para el diseño del nuevo anillo de cimentación de concreto presforzado tendría el inconveniente de no cumplir con alguno de las dos consideraciones hechas anteriormente lo que podría ocasionar problemas nuevamente para la estructura.



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



### IV.2 GENERALIDADES DE LAS NORMAS API 650.

El apéndice B del API 650 proporciona consideraciones importantes para diseño y construcción de cimentaciones para tanques superficiales de almacenamiento de acero con fondo plano. Las recomendaciones que se proporcionan para una buena práctica de diseño y señalar algunas precauciones que deben ser consideradas en el diseño y construcción de la cimentación de un tanque de almacenamiento, se describirá su contenido esencial en esta parte del capítulo; dado la generalidad de las recomendaciones proporcionadas por el mismo, se pondrá esencial atención a la parte correspondiente a la cimentación de tanque con un anillo de concreto reforzado; Se tomo en cuenta por creerlo enriquecedor para el conocimiento de los diferentes elementos que se involucran en el diseño y construcción de la cimentación del tanque de almacenamiento

Dado que hay una amplia variedad de suelos, subsuelos y condiciones climáticas, no es práctico establecer datos de diseño para cubrir todas las situaciones. La capacidad carga admisible del suelo y el tipo exacto de subsuelo de la construcción a ser usado debe ser resuelto después de un estudio cuidadoso para cada caso individual. Se usarán los mismos lineamientos y precauciones para elegir el sitio de la cimentación como se aplica al diseño y construcción de cimentaciones para otras estructuras de magnitud comparable.

#### IV.2.1 AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE STANDARD 650.

Las cimentaciones para tanques de almacenamiento se deberán diseñar de conformidad con las Normas del American Petroleum Institute API 650 (WELDED STEEL TANKS FOR OIL STORAGE) apéndice B titulado RECOMMENDATIONS FOR DESIGN AND CONSTRUCTION OF FOUNDATIONS FOR ABOVEGROUND OIL STORAGE TANKS (Recomendaciones para el diseño y construcción de cimentaciones para tanques de almacenamiento de crudo), 10ª edición, noviembre de 1998. Según las especificaciones de PEMEX, tituladas especificaciones Generales de Construcción así mismo las propias especificaciones del IMP tituladas Especificaciones para Cimentaciones y Elementos Civiles en Plantas Industriales y publicadas en marzo de 1973, y que en la actualidad siguen teniendo vigencia.

#### IV.2.2 REQUERIMIENTOS GENERALES.

Las Normas que serán mencionadas en esta parte del presente trabajo son las mismas que las recomendadas por PEMEX y el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) para el análisis y diseño de las cimentaciones superficiales de tanques de almacenamiento, cabe mencionar, el tipo de cimentación de estos tanques de almacenamiento puede ser de tipo superficial o profunda y para el caso de la reestructuración del anillo de cimentación de tanque TV-2002 el tipo de cimentación de dicho tanque era superficial.

#### IV.2.3 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y CONSTRUCCIÓN.

En cualquier sitio del tanque, las condiciones del subsuelo deben conocerse para estimar la capacidad de carga del suelo y los asentamientos que se experimentarán. Esta información generalmente se obtiene del sondeo del suelo, pruebas de carga, toma de muestras, pruebas de laboratorio; analizados por un ingeniero geotécnico experimentado familiarizado con la



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
**CAMPUS ARAGÓN**



historia de estructuras similares en los alrededores. El suelo de cimentación debe ser capas de soportar el peso del tanque y su contenido. El asentamiento total no debe producir esfuerzos en los conductos o tuberías conectadas al tanque o producir inexactitudes en la calibración y el asentamiento no debe continuar a un punto en el que el fondo del tanque este por debajo de la superficie del suelo circundante. El asentamiento estimado estará dentro de las tolerancias aceptables por la envolvente de acero y el fondo del tanque.

Cuando no se tenga experiencia con tanques similares y cimentaciones en un sitio en particular, los siguientes rangos para los factores de seguridad deben ser considerados para el uso como un criterio de diseño de la cimentación para ayudar a determinar la presión admisible del suelo que soportará. (El dueño o el ingeniero geotécnico responsable del proyecto puede usar factores de seguridad fuera de estos rangos).

- a. De 2.0 a 3.0      Contra carga ultima de falla para condiciones de operación normal.
- b. De 1.5 a 2.25    Contra carga ultima de falla durante la prueba hidrostática.
- c. De 1.5 a 2.25    Contra carga ultima de falla para condiciones operación más el máximo efecto del viento o las cargas sísmicas.

Algunos de las condiciones requieren estudio de ingeniería especializada como por ejemplo los siguientes puntos:

- a. En Sitios de laderas, donde parte del tanque puede estar sobre suelo inalterado o roca y parte puede estar sobre relleno u otra construcción o donde la profundidad del relleno requerido es variable.
- b. En Sitios pantanosos o suelo de relleno, donde las capas de residuos orgánicos húmedo o vegetación compresible estén debajo de la superficie o donde se pueden haber depositado materiales inestables o corrosivos como relleno.
- c. Sitios por debajo del suelo, como capas de arcilla plástica o las arcillas orgánicas, que pueden soportar cargas pesadas temporalmente pero pueden fallar excesivamente en los periodos largos de tiempo.
- d. Sitios adyacente a causas de agua o de excavaciones profundas, donde la estabilidad lateral del suelo es cuestionable.
- e. Sitios inmediatamente adyacente a estructuras pesadas que distribuyen algunas de sus cargas al subsuelo bajo el sitio del tanque, de tal manera que reduce la capacidad del subsuelo para soportar cargas adicionales sin un asentamiento excesivo.
- f. Sitios donde los tanques puedan estar expuestos a inundaciones, provocando posiblemente flotación, desplazamiento o erosiones.
- g. Sitios en regiones de alta sismicidad que puedan ser susceptible de licuación en suelo.
- h. Sitios donde el suelo presenta capas delgadas de arcilla blanda que están directamente debajo del fondo del tanque y que pueden causar problemas de estabilidad lateral.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



Además si el suelo de cimentación es inadecuado para soportar la carga del tanque lleno sin un asentamiento excesivo, la construcción poco profunda o superficial bajo el fondo del tanque no mejora las condiciones de apoyo. Uno o más de los siguientes métodos generales deben ser considerados para mejorar las condiciones de apoyo:

- a. Quitar el material inadecuado y reemplazarlo con material adecuado y compactado.
- b. Compactar el material blando mediante el hincado de pilotes cortos.
- c. Compactando el material blando precargando el área por medio de una sobrecarga en el suelo. Una banda o arena para desalojar el agua pueden usarse junto con este método.
- d. Estabilización del material suave por métodos químicos o inyectando una lechada de cemento.
- e. Transfiriendo la carga a un material más estable por debajo del suelo de cimentación hincando pilotes o construyendo cimentaciones con pilas. Esto implica la construcción de una losa de concreto reforzado sobre los pilotes para distribuir la carga del fondo del tanque.
- f. Construyendo una losa de cimentación que distribuirá la carga encima de una área suficientemente grande del material blando afin de que la intensidad de la carga este dentro de los límites permisibles y el asentamiento excesivo no ocurrirá.
- g. Mejorando las propiedades del suelo por medio de vibrocompactación, vibroreemplazamiento o la consolidación dinámica profunda.
- h. Un llenado lento y controlado del tanque durante la prueba hidrostática. Cuando este método se usa, la integridad del tanque puede ser comprometida por un excesivo asentamiento de la placa o fondo. Por esta razón, los asentamientos de los tanques se supervisarán cuidadosamente. En caso de asentamientos más allá de los rangos establecidos, la prueba puede ser detenida y nivelar el tanque.

El material de relleno usado para reemplazar residuos naturales u otro material inaceptable o para aumentar la altura con una calidad aceptable para el soporte del tanque después de haber sido compactado. El material de relleno estará libre de la vegetación, materia orgánica, cenizas y cualquier material que pueda causar corrosión en el fondo del tanque. La calidad y tipo del material de relleno será capaz de ser compactado con técnicas de compactación normalmente empleadas a una compacidad suficiente para proporcionar una capacidad de carga y asentamientos aceptables. La colocación del material de relleno será de acuerdo con las especificaciones del proyecto previstas por un ingeniero geotécnico calificado.

#### IV.2.4 PLANTILLAS PARA LOS TANQUES.

La plantilla o superficie sobre la cual el fondo del tanque descansará debe ser construida de 0.3 m (1 ft) como mínimo por arriba de la superficie del suelo circundante. Esto proporcionará un drenaje adecuado, que ayuda a mantener el fondo del tanque seco y compensará algunos de los pequeños asentamientos que se puedan presentar. Si un asentamiento grande es esperado,



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



la elevación del fondo del tanque, será elevada, afin de que la elevación final esté por arriba de la plantilla un mínimo de 150 mm (6 in) después del asentamiento.

Hay materiales diferentes que pueden usarse para la plantilla o superficie sobre la cual el fondo del tanque descansará. Para minimizar problemas de corrosión futuros y aumentar al máximo el efecto de los sistemas de prevención de corrosión como la protección catódica, el material en contacto con el fondo del tanque debe ser fino y uniforme. Se evitarán el uso de grava o partículas grandes. Arena limpia y lavada de 75 a 100 mm (3 a 4 in) de profundidad se recomienda como una capa final porque puede ser moldeada fácilmente en el perímetro del fondo del tanque para proporcionar el máximo contacto con este y protegerá el fondo del tanque de entrar en contacto con partículas grandes y escombros. Objetos extraños, grandes o sitios de contacto cerca de la grava o piedras podrían causar celdas de corrosión que ocasionarán perforaciones y la falla prematura de fondo de tanque.

Durante la construcción, el movimiento de equipo y materiales de un lado a otro de la plantilla dañara la superficie. Estas irregularidades deben corregirse antes de que las placas de fondo se coloquen para ser soldadas.

Deben hacerse las provisiones adecuadas, como hacer pendientes en subcapas progresivamente más pequeñas de arriba a abajo, esto debe hacerse para impedir que el material fino se filtre por abajo en el material más grande, de este modo se anula el efecto de la utilización del material fino como una capa final. Esto es particularmente importante para la parte superior de un anillo de cimentación.

**Nota:** Para más información sobre la corrosión del fondo del tanque y prevención de corrosión que se relacionan con la cimentación de un tanque, vea API Práctica Recomendadas 651. Aquí no se mencionara por ser un tema que se sale del objetivo del presente trabajo de tesis, más, sin embargo, se menciona para que la persona lo consulte en caso de que requiera conocer el tema.

A no ser que el dueño lo especifique de otra manera, el acabado de la plantilla del tanque será coronada desde su periferia exterior a su centro a una pendiente de una pulgada en diez pies. La corona compensará en parte el asentamiento ligero, el cual es probable que sea mayor al centro. Así mismo facilitará también la limpieza y la remoción de agua y lodo, se debe ser cuidadoso con los agujeros en la placa o de sumideros situados cerca de la placa. Porque el coronamiento afectará las longitudes de las columnas del techo soportador, es esencial que el tanque fabricado este de antemano lo suficientemente informado de esta característica. Como una alternativa para lo anterior, el fondo del tanque puede estar en declive hacia un sumidero. El fabricante del tanque debe asesorar para lógralo, sin problemas.

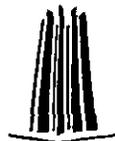
### IV.2.5 TIPO DE CIMENTACIONES.

#### 1.- CIMENTACIONES SUPERFICIALES SIN UN ANILLO DE CIMENTACIÓN.

Cuando una evaluación de ingeniería de las condiciones del subsuelo esta basada en experiencia y/o los trabajos de exploración ha demostrado que el subsuelo tiene capacidad adecuada para soportar las cargas de servicio y que los asentamientos serán aceptables, pueden construirse cimentaciones con terraplenes satisfactoriamente. Los requisitos de la



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



funcionalidad para cimentaciones con terraplenes son idénticos a aquéllas para las cimentaciones más grandes. Específicamente, una cimentación con terraplén debe cumplir lo siguiente:

- Proveer una superficie estable para el soporte del tanque.
- El límite global del asentamiento del nivel del tanque para valores compatibles con las concesiones usadas en el diseño de las tuberías de conexión.
- Proporcionar un drenaje adecuado.
- No haya asentamientos excesivos en el perímetro debido al peso de la envolvente de acero del tanque.

Muchos diseños satisfactorios son posibles, cuando un juicio válido de ingeniería se usa en su desarrollo. Tres diseños son referidos en este apéndice en base a su funcionamiento satisfactorio a largo plazo. Para los tanques más pequeños, las cimentaciones pueden consistirse de piedra triturada compactada, cribadas, grava fina, arena limpia o material similar colocados directamente sobre suelo virgen. Cualquier material inestable debe ser removido, y cualquier material sustituto debe ser compactado completamente.

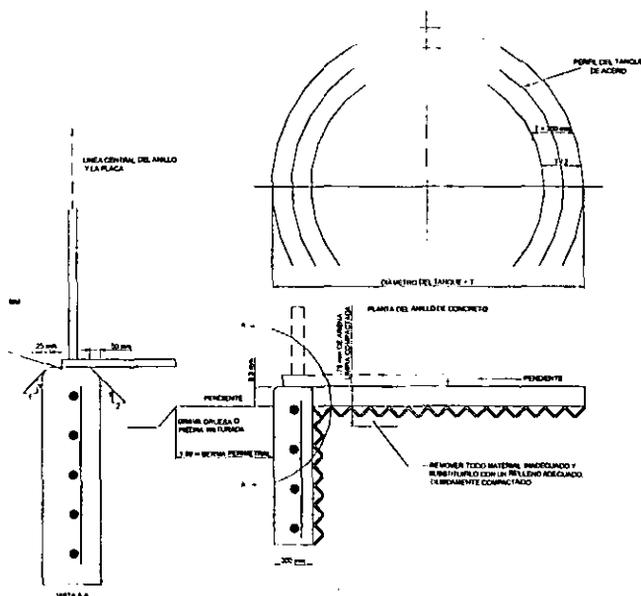
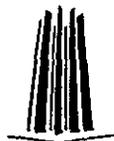


Fig. IV.1 EJEMPLO DE CIMENTACIÓN CON UN ANILLO DE CONCRETO REFORZADO



#### IV.2.6 CIMENTACIONES CON UN ANILLO DE CIMENTACIÓN DE CONCRETO.

Tanques grandes, tanques con envolvente de acero pesadas o altas y/o techos soportados por ellas mismas imponen una carga sustancial sobre la cimentación de la envolvente de acero. Esto es particularmente importante, se debe estimar la deformación de la envolvente de acero en los tanques de techo flotante. Cuando se tiene alguna duda, si la cimentación podrá soportar la carga de la envolvente directamente, un anillo de cimentación de concreto debe ser usado. Como una alternativa al anillo de cimentación de concreto se presentará en esta sección, un anillo de cimentación de piedra triturada (el cual se describirá más adelante) puede ser usado. Una cimentación con un anillo de concreto tiene las siguientes ventajas:

- a. Proporciona una distribución mejor de la carga concentrada de la envolvente para producir un suelo más uniformemente cargado bajo el tanque.
- b. Proporciona un nivel, suelo plano para comenzar la construcción de la envolvente de acero.
- b. Proporciona mejores medios para la nivelación de la plantilla del tanque y es capaz de conservar su forma durante la construcción.
- d. Retiene el relleno bajo el fondo del tanque e impide pérdidas de material como resultado de la erosión.
- e. Minimiza la humedad debajo del tanque.

Una desventaja del anillo de cimentación de concreto es que no pueden adaptarse fácilmente a los asentamientos diferenciales. Esta desventaja puede llevar a esfuerzos de torsión o flexión altos en las placas del fondo adyacentes al anillo de cimentación.

Cuando un anillo de cimentación de concreto es diseñado, se dimensionará para que no rebase los esfuerzos admisibles del suelo. Los anillos de cimentación no serán menores de 300 mm (12 in) de espesor. El diámetro de la línea central del anillo de cimentación debe ser igual al diámetro nominal del tanque; sin embargo, las líneas centrales del anillo de cimentación pueden variar si es necesario para facilitar la colocación de las anclas o para satisfacer los límites admisibles del suelo para cargas sísmicas o las fuerzas excesivas de flotación. La profundidad del muro dependerá de las condiciones locales, pero la profundidad debe ser suficiente para colocar el fondo del anillo de cimentación dentro del estrato resistente especificado. Como mínimo, el fondo del anillo de cimentación, en caso de cimentación superficial, se localizará 0.6 m (2 ft) debajo del acabado de la plantilla adyacente más baja. Deben construirse cimentaciones para tanques dentro de las tolerancias especificadas en el inciso 5.5.5 del API 650 (WELDED STEEL TANKS FOR OIL STORAGE), se mencionaran algunas de estas tolerancias más adelante dentro de este capítulo. Se proporcionaran discontinuidades en el muro para paso de la tubería de alimentación así como para cualquier instalación requerida por el tanque que requieran de dicha discontinuidad.

Un anillo de cimentación debe ser reforzado contra cambios de temperatura y contracción, debe reforzarse para resistirse la presión lateral del relleno confinado con su sobrecarga producto de las cargas de trabajo. El ACI 318 es recomendado para el cálculo de los esfuerzos de diseño,



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
**CAMPUS ARAGÓN**



especificaciones técnicas de los materiales, el desarrollo del acero de refuerzo y el recubrimiento. Lo siguiente también será considerado en el diseño un anillo de cimentación:

- a) Los anillos de cimentación serán reforzados para resistir la tensión circunferencia directa que es el resultado de la presión interior del relleno en la cara lateral del anillo de cimentación. A menos que este justificado por un adecuado análisis del geotécnico, se asumirá que la presión lateral del suelo es por lo menos 50% de la presión vertical debido al fluido y peso del suelo. Si un relleno granular es usado, un coeficiente de empuje lateral de tierra del 30% puede usarse.
- b) Los anillos de cimentación serán reforzados para resistir el momento del flexionante que es el resultado del momento de la carga uniforme. El momento de la carga uniforme considerará para las excentricidades de la placa y el empuje de las cargas aplicadas en el centroide de la presión del suelo resultante. La carga de presión es debida a la presión fluido sobre la proyección horizontal del anillo de cimentación dentro de la envolvente de acero.
- b) Los anillos de cimentación se reforzarán para resistir los momentos flexionantes y torsionantes que resultan de las cargas laterales, viento o de las cargas sísmicas aplicadas excéntricamente a él. Un análisis racional que incluya el efecto de la rigidez de la cimentación se usará para determinar estos momentos y distribuciones de presiones del suelo.
- d) El área total de acero requerida por el anillo para resistir las cargas mencionadas anteriormente no será menos del área requerida por los cambios de temperatura y contracción. El área de acero requerida por el anillo para cambios de temperatura y contracción. Es 0.0025 veces el área de la sección transversal vertical del anillo de cimentación o el refuerzo mínimo requerido para muros en el ACI 318, Capítulo 14.
- e) Para el anillo de cimentación, el área de acero vertical requerido para los cambios de temperatura y contracción es 0.0015 veces el área de la sección transversal horizontal del anillo de cimentación o el refuerzo mínimo requerido para muros en el ACI 318, Capítulo 14. El acero vertical adicional puede requerirse por flotación o resistencia a la torsión. Si el anillo de cimentación es más ancho que su profundidad, el diseño considerará su comportamiento como una losa anular con flexión en la dirección radial. El refuerzo de temperatura y contracción se encontrarán el ACI 318, las provisiones para las losas (Vea ACI 318, Capítulo 7).
- f) Cuando la anchura del anillo de cimentación excede 460 mm (18 in), el uso de una base bajo el muro debe ser considerada. Las bases también pueden ser útiles para resistir las fuerzas de flotación.
- g) El relleno estructural dentro y junto al anillo de cimentación de concreto y al rededor de los objetos tales como válvulas, tuberías por debajo del tanque, además los pozos de drenaje requieren áreas cerradas para mantener las tolerancias del asentamiento. El relleno debe ser material granular compactado a la compacidad y compactándolo conforme a las especificaciones de construcción de cimentaciones. Para otros



materiales del relleno, pruebas suficientes serán realizadas para verificar que el material tiene fuerza, resistencia y sufrirá un asentamiento mínimo.

#### IV.2.7 CIMENTACIONES CON UN ANILLO DE CIMENTACIÓN DE PIEDRA TRITURADA Y GRAVA.

Un anillo de cimentación de piedra triturada y grava proporcionará soporte adecuado para cargas altas impuestas por la envolvente de acero. Una cimentación con un anillo de cimentación de piedra triturada y grava tiene las siguientes ventajas:

- a. Proporciona una distribución mejor de la carga concentrada de la envolvente de acero para producir una carga uniforme en el suelo bajo el tanque.
- b. Proporciona un medio de nivelación para la plantilla del tanque y es capaz de conservar su forma durante la construcción.
- c. Retiene el relleno bajo el fondo del tanque y previene pérdida de material como resultado de la erosión.
- d. Puede adecuarse al asentamiento diferencial más fácilmente debido a su flexibilidad.

Una desventaja del anillo de cimentación de piedra triturada o grava es que es más difícil de construir cerca de las tolerancias y lograr un piso con un nivel plano para la construcción de la envolvente de acero del tanque.

Para el anillo de cimentación de piedra triturada o grava, la selección cuidadosa de los detalles del diseño es necesaria para asegurar su funcionamiento satisfactorio. El tipo de cimentación sugerido se muestra en Figura IV-2. Los detalles significativos incluyen lo siguiente:

- a. Se protegerán las aristas y las bermas 0.9 m (3 ft) de la erosión puede ser construido de piedra triturada o cubierto con un material asfaltado permanente.
- b. Se tendrá cuidado durante la construcción para preparar y mantener una superficie lisa, nivelada para la placa del fondo de tanque.
- c. La plantilla del tanque se construirá para proporcionar un drenaje adecuado fuera de la cimentación del tanque.
- d. La cimentación del tanque debe ser apegado a las especificaciones del plano dentro de las tolerancias especificadas mencionadas anteriormente.



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



### IV.2.8 LOSA DE CIMENTACIÓN.

Cuando las cargas que soporta el suelo deben ser distribuidas encima de un área más grande que el área del tanque o cuando es especificado por el dueño, una losa de concreto reforzado será usada. Pueden requerirse pilotes bajo la losa para el apoyo adecuado del tanque.

El diseño estructural de la losa, tanto sobre una plantilla o sobre pilotes, se considerará apropiadamente todas las cargas impuestas sobre la losa por el tanque. El reforzamiento requerido y los detalles de diseño de construcción serán de acuerdo con ACI 318.

### IV.2.9 LA DETECCIÓN DE FUGAS PARA CIMENTACIONES DE TANQUES.

Apéndice I de las Normas del American Petroleum Institute API 650 (WELDED STEEL TANKS FOR OIL STORAGE) proporciona las recomendaciones sobre la construcción para los sistemas de detección de fugas de tanque y cimentaciones a través del fondo del tanque de almacenamiento.

NOTA: LO ANTES PRESENTADO: EN ESTE CAPÍTULO: SON RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO, EXTRAIDO LAS NORMAS DEL AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE API 650 (WELDED STEEL TANKS FOR OIL STORAGE) APÉNDICE B TITULADO RECOMMENDATIONS FOR DESIGN AND CONSTRUCTION OF FOUNDATIONS FOR ABOVEGROUND OIL STORAGE TANKS (RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO) 10ª EDICIÓN NOVIEMBRE DE 1998.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



**IV.3 GENERALIDADES NORMA 2.214.01 DE PEMEX.**

Como se menciona anteriormente en esta parte del presente trabajo se hablara de las normas que rigen el análisis y diseño de las cimentaciones para tanques de almacenamiento. Se hablo ya del API 650. Ahora hablaremos de la norma 2.214.01 de PEMEX, titulada Cimentaciones de Tanques. El IMP la emplea además del API 650, para el análisis y diseño de las cimentaciones de los tanques de almacenamiento, esta norma es mas especifica que el API 650 que se considera mucho más general.

**IV.3.1 REQUERIMIENTOS GENERALES.**

Las especificaciones que maneja esta norma se mencionarán en esta parte del presente trabajo, cabe mencionar que las especificaciones de dicha norma, solo serán aplicadas a los tanques de acero cilindricos verticales de fondo plano y de techo libre o flotante. La terminología empleada para referirse a los suelos está definida en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

**IV.3.1.1 CAPACIDAD DE CARGA.**

Esta normatividad de PEMEX considera que la cimentación de un tanque de almacenamiento, se considerará sometida a una carga igual a la suma del peso de la estructura, la presión aplicada por el fluido al encontrarse lleno el tanque, afectada por un factor de carga igual a 1.4 y de una presión hidrodinámica atribuible a sismo, aplicada sobre el fondo del mismo, afectada por un factor de carga igual a 1.1. Además la carga total será comparada con la resistencia estimada del suelo afectada por un factor de reducción, que se determina dependiendo del tipo de cimentación.

**IV.3.1.2 ASENTAMIENTOS TOTALES.**

Sobre los asentamientos respecto a puntos de la superficie del terreno circundante no afectados por la construcción, no deberán alcanzar una magnitud tal que ocasionen dificultades en la operación del tanque. El máximo asentamiento total permisible se fijará tomando en cuenta las características del tanque y la flexibilidad del sistema de alimentación del mismo; para tanques construidos con aceros ASTM A-36, ASTM 283-C y 283-D, los máximos asentamientos permisibles serán los indicados en la tabla IV.1. Para aceros de mayor resistencia o para tanques conteniendo fluidos a una temperatura inferior a la temperatura ambiente, se considerará la posibilidad de falla frágil.

**IV.3.1.3 ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES**

Los movimientos relativos entre diferentes puntos del fondo del tanque no deberán rebasar los límites indicados en la tabla IV.1, para el tipo de acero estructural empleado.

Tipo de asentamientos	Máximo asentamiento
Máximo asentamiento total en el perímetro.	30 cm
Máximo asentamiento diferencial en el fondo	5 cm en 10 metros

TABLA IV.1



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



Por otra parte, los movimientos diferenciales a lo largo del perímetro del tanque deberán ser lo suficientemente bajos para eliminar las deformaciones de la pared cilíndrica y garantizar el buen funcionamiento de los techos flotantes. Se verificará por lo tanto, que la compresibilidad del terreno de desplante sea aproximadamente uniforme a lo largo del perímetro y se evitará en lo posible el desplante de tanques en sitios donde una parte de su cimentación quede en suelo firme y otra parte en suelo de relleno o estratos compresibles de espesor variable.

Los asentamientos totales y diferenciales se estimarán recurriendo a los métodos definidos por estas mismas especificaciones. Para el cálculo de asentamientos la cimentación se considerará sometida exclusivamente a la suma del peso de la estructura y de la presión vertical aplicada por el fluido sobre el fondo al encontrarse lleno el tanque, afectada por un factor de carga unitario.

### IV.3.2 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS.

#### IV.3.2.1 RECONOCIMIENTO.

El reconocimiento de los suelos se llevará a cabo siguiendo la secuencia de los estudios mencionados a continuación.

- a.-) Recopilación de antecedentes y reconocimiento superficial.
- b.-) Reconocimiento por métodos geofísicos. Estos métodos se justificarán en caso de que permitan reducir el costo de las exploraciones. No se emplearán estos métodos para zonas de construcción de superficie reducida o si la información geológica existente es suficientemente precisa.
- c.-) Reconocimiento por medio de sondeos
  1. Pruebas de penetración con o sin recuperación de muestras alteradas. Las pruebas de penetración se realizarán siguiendo el procedimiento estándar. Los resultados de este tipo de sondeo se emplearán para planear programas de sondeos inalterados, verificar la homogeneidad del subsuelo de la zona y estimar el estado de compacidad y las propiedades mecánicas.
  2. Sondeos inalterados en trincheras, pozos a cielo abierto o perforaciones de gran diámetro permitirán proporcionar al laboratorio las muestras necesarias para la determinación de las propiedades de los suelos. Los sondeos de este tipo se harán por los métodos definidos en el "Manual de Mecánica de Suelos" publicado en por la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Para cada tanque, se realizarán por lo menos un sondeo inalterado y tres alterados localizados respectivamente en el centro y periferia del mismo. Por otra parte, el número total de sondeos alterados o inalterados deberá ser por lo menos de 4 por cada 1000 m<sup>2</sup> construidos. Este número se incrementará hasta un máximo de 10 si el subsuelo resulta ser heterogéneo. Los sondeos se llevaran hasta la profundidad del estrato resistente o, de no encontrarse tal estrato, hasta una profundidad tal que el incremento de esfuerzos inducidos a este nivel por la construcción, sea inferior a 10 por ciento



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



de la sobrecarga superficial. La teoría de la elasticidad permite establecer que para el centro de una superficie circular uniformemente cargada, esta profundidad es aproximadamente igual a dos veces el diámetro de la misma.

### IV.3.2.2 PRUEBAS DE LABORATORIO.

En el laboratorio se determinarán las propiedades requeridas para los análisis de estabilidad y de asentamiento definidos en estas normas de PEMEX. Se procederá además a la determinación de las propiedades índices de los suelos para fines de clasificación de los materiales a lo largo de los sondeos alterados o inalterados. Se determinará en particular la variación con la profundidad de las propiedades siguientes.

- a.-) Contenido de agua y grado de saturación.
- b.-) Densidad de sólidos.
- c.-) Límites de consistencia de los materiales cohesivos (límite líquido y plástico).
- d.-) Curvas granulométrica de los materiales no cohesivos.

Las pruebas de laboratorio se realizarán siguiendo los procedimientos definidos en las referencias antes mencionadas y el manejo de las muestras se apegará a las recomendaciones presentadas en la misma referencia.

### IV.3.3 CIMENTACIONES SUPERFICIALES.

Se recomendará una cimentación superficial cuando el subsuelo natural o estabilizado por uno de los métodos definidos en esta misma norma, los cuales los mencionare más adelante. La estabilización del suelo debe asegurar el cumplimiento de los requisitos mencionados en el inciso IV.4.1. Lo anterior se comprobará por medio del análisis detallado a continuación.

#### IV.3.3.1 ANÁLISIS DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES.

##### IV.3.3.1.1 CAPACIDAD DE CARGA

Para suelos suficientemente homogéneos, la capacidad de carga podrá estimarse recurriendo a la fórmula de Terzaghi (Terzaghi, K. y Peck R. B. (1967), "Soil Mechanics in Engineering Practice") para desplante en áreas circulares superficiales. Tomando en cuenta que la flexibilidad del fondo de los tanques impide la redistribución de esfuerzos, se considerará que la falla ocurre por corte local.

Se tendrá:

$$q_a = (0.8 c N'_s + 0.6 \gamma_m r N'_\gamma) F_a$$

En donde:

$q_a$  = Presión máxima admisible, en  $t / m^2$

$c$  = Cohesión del material, en  $t / m^2$

$\gamma_m$  = Peso volumétrico medio de los estratos afectados por la cimentación, en  $t / m^3$

$r$  = Radio del área circular de desplante, en m



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



$(N'_\phi)$  y  $(N'_\gamma)$  = Factores de capacidad de carga, para falla por corte local determinados a partir del ángulo  $\phi$  de fricción interna del material (figura IV.1).

Fa = Factor de reducción igual a 0.6

Los parámetros de resistencia del suelo,  $c$  y  $\phi$ , se determinarán por medio de pruebas de laboratorio representativas del estado de consolidación del suelo, considerando la carga que corresponda al tanque lleno y en las condiciones del primer llenado.

Para materiales cohesivos la prueba representativa será una triaxial no consolidada, no drenada o una compresión simple. En el caso de los suelos sometidos a preconsolidación, los parámetros podrán ser definidos mediante una prueba consolidada no drenada representativa de las condiciones de consolidación obtenidas. Para materiales cohesivos la resistencia considerada será la determinada en pruebas drenadas de resistencia al corte o, en su defecto, la estimada a partir del estado de compacidad y la granulometría de la material tabla IV.2.

Compacidad relativa de las arenas en función de los resultados de la prueba de penetración estándar.		Valores representativos de $\phi$ para arenas y limos		
		Material	Estado	
No de golpes	Capacidad relativa		Suelto	Denso
0 a 4	Muy suelta	Arena uniforme grano redondeado	27.5	34
4 a 10	Suelta	arena bien graduada con granos angulosos	33	45
10 a 30	Media	Grava arenosa	35	50
30 a 50	Compacta	Arena limosa	27 - 33	30 - 34
Mas de 50	Muy compacta	Limo orgánico	27 - 30	30 - 35

Tabla IV.2 Angulo de fricción interna par materiales no cohesivos.

En caso de subsuelos estratificados, se verificará la estabilidad de la cimentación suponiendo que la falla pueda ocurrir a lo largo de superficies circulares (Fig. IV.2) y recurriendo a métodos de análisis limite, (Sueco, Bishop o similares). Además de la falla global (círculo A de la Fig. IV.2) se estudiarán las posibles fallas locales (círculo B). Los parámetros de resistencia de los diversos estratos se determinaran en la forma indicada anteriormente. En este análisis, para el calculo del momento motor se considerarán las cargas indicadas en A.0.2. El momento resistente, afectado de un factor de reducción igual a 0.6, deberá ser mayor o igual que el momento motor calculado.

$$\text{Momento resistente} = \sum (S_i \Delta L_i) R$$

$$\text{Momento motor} = \sum |T_i| R$$

En donde:

$T_i$ : Componente Tangencial del peso de la dovela i

$S_i$ : Resistencia al corte en la base de la dovela i

En caso de tanques desplantados sobre un estrato de material blando confinado (Fig. IV.3), se verificará, además, que no puede presentarse flujo plástico radial de dicho material. Para ello, se verificará que la presión  $p$ , aplicada al nivel de desplantes, inciso IV.3.1.2, es menor que el siguiente valor.



$$P = 4c \left( \frac{D}{D} \right)^2 F_R$$

En donde  $c$  es la cohesión del material blando determinada en la forma indicada en el párrafo anterior,  $F_R$  es un factor de reducción igual a 0.6 y las otras literales tienen el significado en la figura IV.3.

#### IV.3.3.1.2 ASENTAMIENTOS ELÁSTICOS.

Se estimarán los asentamientos inducidos inmediatamente al llenar el tanque, recurriendo a la teoría de elasticidad. Si el subsuelo puede considerarse homogéneo e isotrópico se emplearán las fórmulas siguientes:

- a) Asentamientos en el centro del tanque.

$$\delta = (1 - \nu^2) \frac{P}{E} D$$

- b) Asentamientos en la periferia.

$$\delta_P = \frac{2}{\pi} (1 - \nu^2) \frac{P}{E} D$$

En donde:

$P$  = Presión transmitida a la cimentación al encontrarse lleno el tanque.

$D$  = Diámetro del tanque.

$E$  y  $\nu$  = Modulo de elasticidad y relación de Poisson del suelo determinados a partir de la experiencia lo cual, resultado de ensayos geofísicos o pruebas de placa.

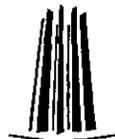
Si el suelo está constituido por capas horizontales de características elásticas diferentes se recurrirá al método de Steinbrenner, es decir, que se podrá despreciar la influencia de las distintas rigideces de los estratos en la distribución de esfuerzos.

#### IV.3.3.1.3 ASENTAMIENTOS POR CONSOLIDACIÓN.

Se estimará la magnitud total y la evolución con el tiempo de los asentamientos por deformación volumétrica del subsuelo siguiendo los procedimientos que a continuación se mencionan:

- a) Magnitud total de los asentamientos.

En suelos cohesivos, los asentamientos finales se calcularán a partir de los resultados de pruebas de consolidación unidimensional realizada en el laboratorio, por medio de la relación.



$$\Delta H = \int_0^H \frac{\Delta E}{1 + e_0} dz$$

Donde:

$\Delta H$  = Asentamientos de un estrato de espesor H.

$\Delta e$  = Variación de la relación de vacíos bajo el incremento de esfuerzos  $\Delta p$  inducidos por la carga superficial, estimada a partir de una prueba de consolidación unidimensional realizada con material representativo existente a esta profundidad.

$e_0$  = Relación de vacíos inicial a la profundidad z.

La representación gráfica de la ecuación anterior se presenta en la Fig. IV.4. Los incrementos de presión  $\Delta p$  inducidos por la carga superficial se calcularán con la ayuda del diagrama de Newmark cuyo modo de empleo se describe en la Fig. IV.5.

En suelos no cohesivos el asentamiento se calculará en forma similar, a partir de la relación.

$$\Delta H = \int_0^H \frac{1}{C} \log_r \frac{P}{P_0} dz$$

En donde:

$P_0$  = Presión efectiva inicial al nivel considerado

$P$  = Presión efectiva final al mismo nivel

$C$  = Índice de comprensibilidad determinado a partir de la relación empírica  $C = \frac{15N}{P}$ , siendo N el número de golpes / 30 cm en la prueba de penetración estándar.

#### IV.3.3.1.4 EVALUACIÓN DE LOS ASENTAMIENTOS.

En suelos cohesivos los asentamientos a diferentes tiempos después de la construcción se estimarán en la primera aproximación recurriendo a la teoría de la consolidación unidimensional de Terzaghi. Se empleará la relación:

$$(\Delta H)_t = (\Delta H)_\infty U(T)$$

Donde:

$(\Delta H)_t$  = Asentamiento al instante t.

$(\Delta H)_\infty$  = Asentamiento final acumulado.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



$U(T)$  = Grado de consolidación obtenido en la forma indicada en la Fig. IV.6 a partir del factor tiempo  $T$ .

$$T = \text{Factor tiempo} = \frac{C_v t}{H^2}$$

$C_v$  = Coeficiente de consolidación determinado en la prueba estándar de consolidación unidimensional.

Para una estimación más precisa del asentamiento, en particular en la periferia del tanque, se tomará en cuenta la influencia de la consolidación secundaria y del drenaje radial.

En suelos cohesivos se considerará que los asentamientos son inmediatos.

#### IV.3.3.1.5 SUSCEPTIBILIDAD DEL SUELO A LA LICUACIÓN.

Se considerará susceptible a la licuación e inadecuado para desplante superficial de un tanque de almacenamiento todo estrato superficial de arena fina uniforme o de limo poco plástico (Índice de plasticidad,  $I_p < 6$ ), en estado saturado, que presente una resistencia menor de 10 golpes/30 cm en la prueba de penetración estándar.

#### IV.3.3.1.6 SUSCEPTIBILIDAD DEL SUELO AL COLAPSO.

Se considerará susceptible al colapso bajo carga e inadecuado para desplante superficial de un tanque de almacenamiento todo estrato de material limoso no saturado susceptible de llegar a saturación durante la vida útil de la estructura y tal que el coeficiente  $K_d$  definido a continuación sea menor de 0.5:

$$K_d = \frac{W_L - W_0}{I_p}$$

Donde:

$W_L$  = Contenido de agua en el límite líquido.

$W_0$  = Contenido de agua natural.

$I_p$  = Índice de plasticidad.



#### IV.3.4.1 TIPOS DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

Al considerarse adecuado un desplante superficial para un tanque de almacenamiento se optará por una de las soluciones definidas a continuación:

##### IV.3.4.1.1 CIMENTACIÓN SOBRE UN MURO ANULAR DE CONCRETO REFORZADO.

Este tipo de cimentación es recomendable para cualquier tipo de tanques pero en particular para tanques de techo flotante y para tanques de más de 30 metros de diámetro o de 12 metros de altura.

Las características de este tipo de cimentación se encuentran resumidas en la (Fig. IV.7). El fondo del tanque descansará sobre un terraplén cuya altura se fijará en función de la magnitud de los asentamientos totales esperados y la posibilidad de inundación de la zona; en ningún caso esta altura será inferior a 30 centímetros sobre el nivel circundante. El terraplén se construirá después de sustituir el material superficial indeseable por un material libre de materia orgánica y productos corrosivos, cuyas condiciones de compactación cumplirán con las especificaciones de la tabla IV.4. Los diez centímetros superiores del terraplén serán constituidos por arena limpia gruesa, grava o piedra molida, con tamaño de partícula de 1 a 2.5 centímetros. Este estrato se estabilizará con un producto asfáltico para poder dar a la superficie de apoyo la forma adecuada. El producto empleado deberá presentar toda garantía contra corrosión galvánica e incendio durante las operaciones de soldadura. Se dará una ligera pendiente a la superficie de apoyo del centro a la periferia con objeto de compensar los asentamientos diferenciales y facilitar el lavado y la remoción de sedimentos del tanque. La pendiente se fijara en función de la magnitud de los asentamientos diferenciales esperados pero no deberá ser inferior a 1 %. Si los asentamientos esperados son grandes las columnas deberán contar con un dispositivo que permita modificar su altura en caso de que resulte necesario.

El muro anular de concreto se construirá con el propósito de repartir la carga concentrada de la pared cilíndrica, facilitar la construcción del tanque, proteger el terraplén durante y después de la construcción y aislar el fondo de la humedad. El muro deberá descansar sobre suelo inalterado o compactado y ser dimensionado de tal forma que la presión de contacto en su parte inferior sea aproximadamente igual a la misma profundidad. Usando este criterio, el ancho se calculará a partir de la siguiente fórmula:

$$b = \frac{100W}{\gamma_s H / 2 + h(\gamma_m - \gamma_c)}$$

Donde:

B = Ancho del muro, en cm.

H = Altura del tanque, en m.

h = Altura del muro, en m.

W = Peso de la pared lateral de acero y de la fracción de techo soportada por metro lineal, en ton / m.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



$\gamma_f$  = Peso volumétrico del fluido, en ton / m<sup>3</sup>.

$\gamma_m$  = Peso volumétrico del relleno confinado, en ton / m<sup>3</sup>.

$\gamma_c$  = Peso volumétrico del concreto reforzado, en ton / m<sup>3</sup>.

En ningún caso el ancho del muro podrá ser inferior a 30 cm. El muro será reforzado en forma continua a lo largo de toda la circunferencia para resistir la presión horizontal atribuible al material confinado y a la sobrecarga del fluido. La tensión en el muro se calculará con la expresión.

$$T = \frac{P_0 D}{2}$$

Donde:

T = Fuerza de tensión en la sección del muro, en ton.

D = Diámetro interior, en m.

$P_0$  = Presión horizontal atribuible al efecto combinado del relleno y de la sobrecarga de fluido, en ton / m<sup>2</sup>, la cual se calculará como se indica en la a continuación:

$$P_0 = K_a (\gamma_m h + \gamma_f H)$$

Donde  $\gamma_m$ , h,  $\gamma_m$ , y H fueron definidos anteriormente y  $K_a$  es igual a  $\tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$ ,

siendo  $\phi$  el ángulo de fricción interna del material de relleno. En ausencia de información confiable sobre el valor de este ángulo,  $K_a$  podrá considerarse igual a 0.7.

El refuerzo no deberá ser menor al indicado en la Fig. IV.7. La parte superior del muro anular deberá ser lisa y a nivel, con una tolerancia de pendiente de más o menos 3 mm por tramo de 10 m a lo largo de la circunferencia. Ningún punto de la circunferencia deberá presentar una diferencia de más de 5 mm respecto a la elevación de proyecto.

Cimentación anular sobre grava o roca triturada. Este tipo de cimentación (Fig. IV.8) se considerará adecuado en caso de que no se justifique el empleo de un muro de concreto, en particular si el suelo presenta una resistencia apreciable aun en los estratos superficiales.

La base del tanque descansará sobre un terraplén cuyas características serán idénticas a las definidas anteriormente. La pared vertical se apoyará sobre la zapata anular de grava o roca triturada, a través de placas metálicas.

Estas placas deberán ser planas, de 1.25 cm mínimo de espesor y extenderse a ambos lados de la pared cilíndrica hasta una distancia mínima de 15 cm. Las tolerancias para la nivelación de estas placas serán las mismas que para los muros anulares de concreto. Para tanques hasta 12 m de altura y diámetro menor de 30 m las placas podrán omitirse.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



TABLA IV.4 CONDICIONES DE COMPACTACIÓN DE SUELOS PARA TERRAPLENES.

CONDICIÓN I Terraplenes hasta de 3 m de altura no sometidos a inundaciones de larga duración		CONDICIÓN II Terraplenes de más de 3 m de altura, o de menor altura sujetos a periodos largos de inundación	
Peso vol. Seco máximo de laboratorio, en $\text{kg} / \text{m}^3$	Exigencias mínimas de compactación en el terraplén (porcentaje de peso vol. Seco de laboratorio)	Peso vol. Seco máximo de laboratorio, en $\text{kg} / \text{m}^3$	Exigencias mínimas de compactación en el terraplén (porcentaje de peso vol. Seco de laboratorio)
1439 o menos	*	1549 o menos	**
1440 – 1649	100	1520 – 1649	102
1650 – 1759	98	1650 – 1759	100
1760 - 1919	95	1760 - 1919	98
1920 y más	90	1920 y más	95

\* Los suelos con peso volumétrico seco máximo menor de  $1440 \text{ kg} / \text{m}^3$  se considerarán inadecuados y no se utilizarán en terraplenes.

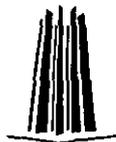
\*\* Los suelos con peso volumétrico seco máximo menor de  $1520 \text{ kg} / \text{m}^3$  se considerarán inadecuados y no se utilizarán en terraplenes bajo condición II.

Además de las condiciones indicadas anteriormente, los suelos tendrán un límite líquido menor de 65. El índice de plasticidad de los suelos con límite líquido comprendido entre 35 y 65 no será menor del valor que resulta de aplicar la fórmula  $I_p = 0.5 W_L - 9$ , siendo  $W_L$ , el contenido de agua en límite líquido.

El máximo peso volumétrico se determinará por el ensayo Proctor estándar.



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



### IV.3.5 ESTABILIZACIÓN DEL SUBSUELO.

Si se desprende de los análisis de lo antes mencionado que el subsuelo no permite asegurar la estabilidad del tanque o puede ocasionar asentamientos mayores que los permisibles, se estudiará la posibilidad de estabilizarlo recurriendo a una de las técnicas enumeradas a continuación.

#### IV.3.5.1 REMOCIÓN DEL MATERIAL OBJETABLE.

Al igual que los materiales superficiales indeseables, los estratos blandos localizados a poca profundidad podrán ser removidos y sustituidos por un material compactado, el cual deberá satisfacer los requisitos de la tabla IV.4.

#### IV.3.5.2 COMPACTACIÓN DE MATERIALES SUELTOS IN SITU.

La compactación de estratos superficiales de materiales arenoso sueltos se llevará a cabo recurriendo a métodos tales como vibroflotación o hincado de pilotes cortos. La compactación obtenida deberá verificarse en todos los casos por medio de pruebas de penetración estándar.

#### IV.3.5.3 PRECONSOLIDACIÓN DEL SUBSUELO.

Se podrá recurrir a la preconsolidación del subsuelo en el caso de tanques desplantados sobre un estrato blando de espesor reducido ( $< 8$  m). Se empleará uno de los métodos definidos a continuación:

- a) Precarga por llenado progresivo del mismo tanque.
- b) Precarga con terraplenes.
- c) Precarga por incremento de los esfuerzos efectivos por abatimiento del nivel de aguas freáticas.
- d) Precarga por vacío superficial bajo membrana.

En todos los casos, los métodos de preconsolidación y el control de los resultados se apegarán a la Norma de Pemex.

#### IV.3.5.4 ESTABILIZACIÓN POR MEDIO DE INYECCIONES.

La eficiencia de la estabilización por medio de inyección de la lechada de cemento o de productos químicos deberá de ser comprobada por medio de pruebas de penetración.

#### IV.3.5.5 CONFINAMIENTO DE ESTRATOS BLANDOS.

Para reproducir el peligro de falla por flujo plástico en el caso de desplante sobre un estrato blando (Fig. IV.3) éste podrá confinarse por medio de un muro anular de Tablaestacas de concreto reforzado, o de grava (Fig. IV.9). Estos muros deberán ser diseñados siguiendo un procedimiento similar al definido en el diseño del muro anular de concreto, tomando en cuenta la resistencia pasiva del suelo en la periferia de los mismos.

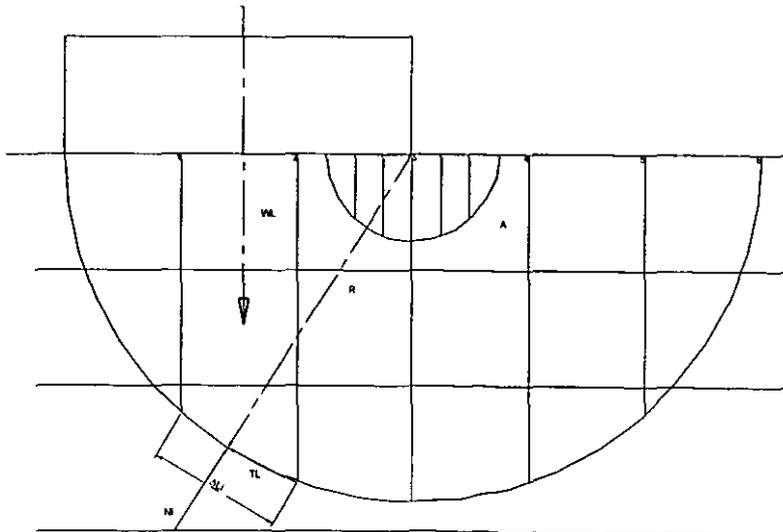
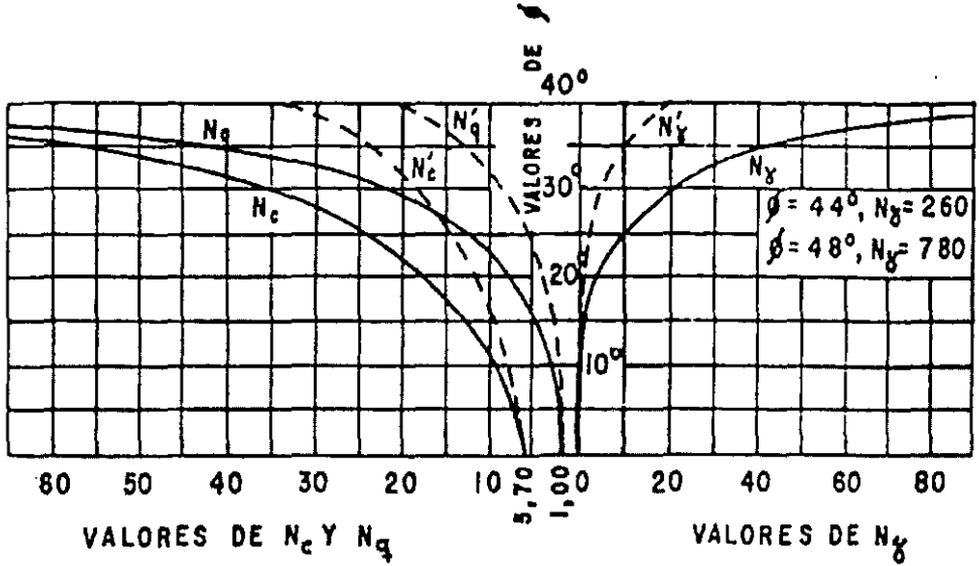


Figura IV.2. Análisis de estabilidad de un tanque por el método sueco.

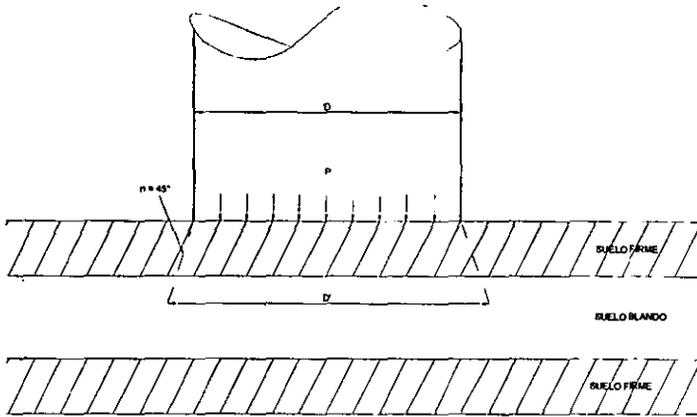


Figura IV.3 Tanque desplantado sobre un estrato de material blando confinado

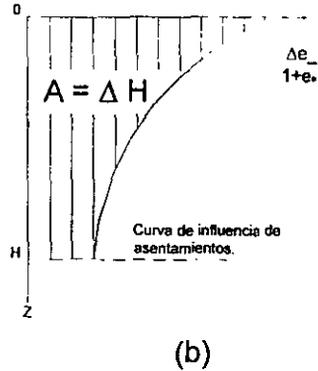
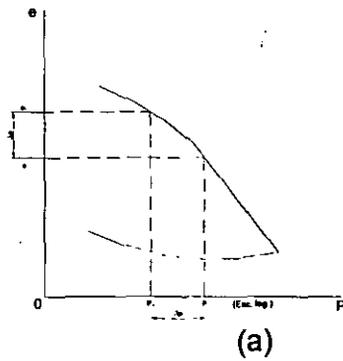
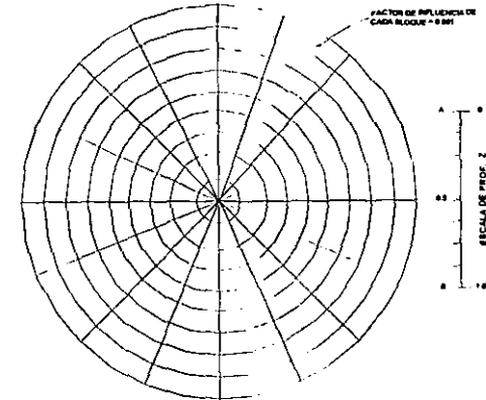


Fig. IV.4 Cálculo de asentamientos por consolidación.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



DIBUJE EL PLANO DE LA CIMENTACIÓN A ESCALA, CONSIDERANDO QUE LA LONGITUD DE ES ES IGUAL A LA PROPORCIÓN DEL PUNTO EN EL CUAL SE QUIEREN CALCULAR LOS ESPESORES.

COLOCAR ESTE PLANO SOBRE EL DIAGRAMA HACIENDO COINCIDIR EN PLANTA EL PUNTO EN EL QUE SE QUIERE CALCULAR EL ESPESOR CON EL ORIGEN DEL DIAGRAMA.

CUENTESE EL NÚMERO DE BLOQUES, N, QUE CAEN POR LA CIMENTACIÓN.

$u = 0.891 \cdot N \cdot P$  SIENDO P LA CARGA POR UNIDAD DE SUPERFICIE UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA SOBRE EL ÁREA DE CIMENTACIÓN

Fig. N.3 DIAGRAMA DE INFLUENCIA PARA ESPESORES VERTICALES SOBRE UN PLANO A UNA PROFUNDIDAD Z

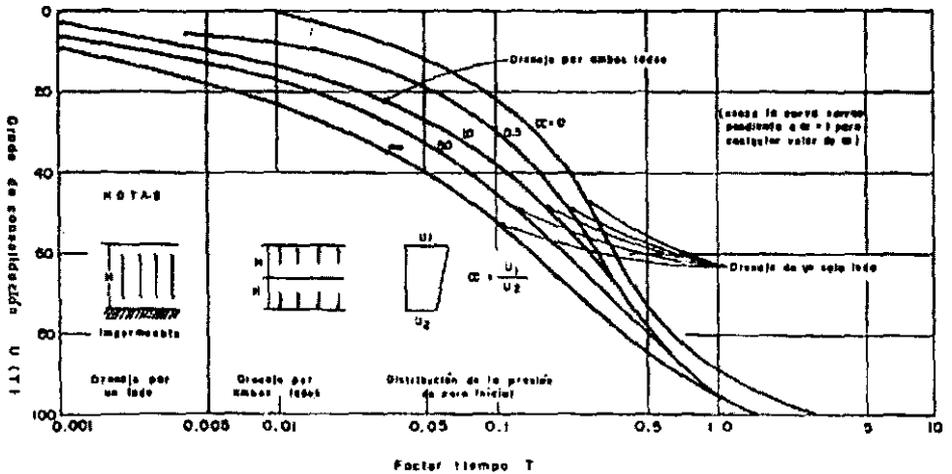


Fig. N.6 Grado de consolidación primaria en función del factor tiempo, para drenaje vertical



# ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN

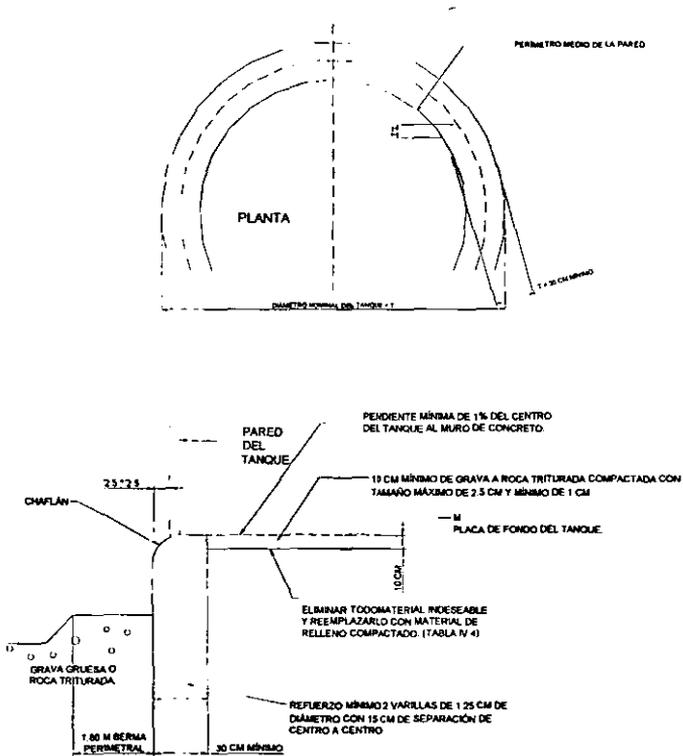


Fig. IV.7 CIMENTACIÓN SOBRE MURO ANULAR DE CONCRETO.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



**TEMA V: MARCO CONCEPTUAL DE LA REESTRUCTURACIÓN DE  
LAS PAREDES LATERALES DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN DEL  
TANQUE TV-2002 EN LA TERMINAL MARITIMA DE DOS BOCAS,  
TABASCO. CON PAREDES PREFABRICADAS DE CONCRETO  
PRESFORZADO POSTENSADAS.**



## V.1 INTRODUCCIÓN:

La nueva pared del anillo de cimentación del tanque de almacenamiento TV-2002 a base de elementos de concreto prefabricados postensados, se pudo considerar como miembro presforzado en tensión dado que combina la resistencia del acero de alta resistencia con la rigidez del concreto y proporcionan una resistencia única a la tensión, consistente en pequeñas deformaciones, que no se pueden obtener por el acero o el concreto actuando independientemente. La rigidez del concreto presforzado sirve bien, especialmente para miembros largos en tensión, tales como cables de unión para arcos o tirantes para muelles y muros de contención además de los anillos de cimentación. Cuando es presforzado, el concreto adquiere resistencia para soportar cualquier flexión local y al mismo tiempo se le da rigidez al acero y se protege.

El presfuerzo circular en los anillos de cimentación se diseña para resistir la tensión del zuncho producida por la presión de líquido y del relleno. Por ello, esencialmente, cada franja horizontal de la pared forma un anillo sujeto a presión interna uniforme. En muchos sentidos, tal anillo se puede considerar como un miembro de concreto presforzado bajo tensión como se menciono anteriormente.

El comportamiento básico de los miembros presforzados en tensión se puede explicar desde tres puntos de vista.

1.- El miembro se puede considerar como fabricado esencialmente de concreto, el se pone bajo compresión uniforme y así puede soportar la tensión producida por las cargas exteriores. Cuando el concreto no se agrieta es capaz de soportar una fuerza de tensión total, igual a la precompresión efectiva total, además de la capacidad para los esfuerzos de tensión del concreto mismo.

2.- Se puede considerar que el miembro está hecho esencialmente de acero de gran resistencia a la tensión, que se prealarga para disminuir su deflexión bajo carga. Desde este punto de vista, la resistencia del miembro a la ruptura depende de la resistencia del acero a la tensión, pero con frecuencia se limita su resistencia por el alargamiento excesivo del acero, que generalmente ocurre al agrietarse el concreto.

3.- El miembro puede ser considerado como una pieza de acero y concreto combinados, cuyas deformaciones y esfuerzos pueden evaluarse antes del agrietamiento, suponiendo que se comporta elásticamente y tomando en cuenta, al mismo tiempo, el efecto de la deformación plástica.

Cada uno de estos puntos de vista proporciona algunos conceptos fundamentales, que permiten al ingeniero prever el cálculo, pero el tercer punto es el más conveniente para el análisis mediante la teoría de la elasticidad, y bajo este punto de vista fue que se baso el diseño de la nueva pared de concreto presforzado postensado que fue empleado para la reestructuración del anillo de cimentación existente del tanque TV-2002 en la Terminal Marítima de Dos Bocas, Tabasco.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



V.2 HIPÓTESIS DE CALCULO.

Las hipótesis para el análisis y diseño de la nueva pared del anillo de cimentación del tanque de almacenamiento TV-2002 de la terminal marítima de Dos Bocas, Tabasco. Se basó en las siguientes consideraciones:

1.-) Consideraciones en los Esfuerzos Permisibles del Terreno.

- La característica del suelo se tomaron de los análisis de mecánica de suelos proporcionados por Pemex Exploración y Producción.

2.-) Consideraciones para la Nueva Pared del Anillo de Cimentación.

- Una compresión residual mínima horizontal bajo la combinación más desfavorable de carga igual a  $7.0 \text{ kg./cm}^2$ .
- Bajo efectos de flexión en el muro, en el caso de carga más desfavorable se permite una tensión de  $20 \text{ kg/cm}^2$ , toda esta tensión será tomada con acero de refuerzo.

A falta de información estadística se tomó como variación de la temperatura entre la temperatura del crudo (con su correspondiente radiación hacia el anillo de cimentación existente y el nuevo anillo), y el exterior (día - noche) un valor de  $15^\circ \text{ C}$ , para un gradiente de temperatura de  $8^\circ \text{ C}$  para el espesor del conjunto del anillo existente y el nuevo anillo de refuerzo.

Se consideró el efecto de sismo en los siguientes casos.

Presión de empuje activo.  
Condición de apoyo de los elementos de  
Concreto prefabricados en la pared existente.

3.-) El Peso de la Envoltura de Acero Estructural del Tanque, por unidad de medida se consideró.

$$\text{Peso / m} = 2.451 \text{ ton / m}$$

4.-) La unión de la nueva pared del anillo y el anillo de cimentación existente fue como se mencionó anteriormente LIBRE, es decir que la deformación de la nueva pared del anillo bajo las sollicitaciones debidas al empuje activo pueda hacerse sin obstáculo. Esta concepción tiene la ventaja para el proyectista de poder evaluar fácilmente las sollicitaciones y diseñar así el prefuerzo; pero tiene la desventaja de exigir una ejecución delicada, en esta opción se debe prever que el nuevo anillo de cimentación pueda tomar la combinación de carga de operación, así como la combinación de carga de operación más sismo, los efectos de contracción y temperatura correspondientes.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



5.-) Conforme a la información para el análisis del anillo de cimentación del tanque TV-2002 de la terminal marítima de Dos Bocas, Tabasco, proporcionada por la división de Ingeniería de Recipientes y Sistemas Flotantes de Producción del Instituto Mexicano del Petróleo. Considerando un volumen real total de 200 mbls.

Tabla de datos para el análisis del anillo de cimentación del tanque TV-2002 de la terminal marítima de Dos Bocas, Tabasco. Considerando un volumen real (total).

**DATOS.**

DIÁMETRO INTERIOR	54,832 mm
ALTURA TOTAL DE LA ENVOLVENTE	14,645 mm
VOLUMEN REAL (TOTAL)	31,941.82 m <sup>3</sup> (206 mbls)
ALTURA MÁXIMA DE LÍQUIDO EN OPERACIÓN (AGUA)	13,527 mm
ALTURA MÍNIMA DEL LÍQUIDO EN OPERACIÓN	1,524 mm
DENSIDAD RELATIVA DEL LÍQUIDO (CRUDO MAYA)	0.9258 Ton/m <sup>3</sup>
PESO VACÍO DEL TANQUE	720 Ton
PESO EN OPERACIÓN	32,661.82 Ton
PRESIÓN HIDROSTÁTICA	13.52 Ton/m <sup>2</sup>
PRESIÓN EN EL FONDO DEL TANQUE EN OPERACIÓN	12.52 Ton/m <sup>2</sup>
CARGA TRANSMITIDA AL ANILLO DE POR PESO DE LA ENVOLVENTE (W <sub>v</sub> )	2.33 Ton/m
FUERZA DE COMPRESIÓN TRANSMITIDA LA ANILLO DE CIMENTACIÓN, POR SISMO	2.334 Ton/m
MOMENTO DE VOLTEO	10.100 Ton.m
CORTANTE BASAL	1,676 Ton
FACTOR DE ZONA SISMICA SEGÚN MANUAL CFE PARA ZONA B Y TIPO DE TERRENO 1	0.14
TIPO DE ESTRUCTURA GRUPO A, FACTOR	1.5



DESARROLLO:

**Parámetros Empleados para la Reestructuración  
del Anillo de Cimentación del Tanque  
TV-2002 con la Pared Prefabricada de  
Concreto y Postensada Posteriormente.  
(Rango Elástico.)**

Concepto	Valor.	Comentarios.
1.- Empuje activo del relleno de suelo al interior del anillo, en condiciones de operación normal.	$K=0.27$	
2.- Valor de la contracción según el Reglamento de Construcciones del D.F.	$\epsilon C=0.0003$	Varia según el RC del D.F., de 0.001 a 0.002, se considero un valor muy bajo en esta reestructuración.
3.- Peso volumétrico del fluido	$\gamma f=0.925 \text{ ton/m}^3.$	
4.- Peso volumétrico del relleno del anillo.	$\gamma r=1.900 \text{ ton/m}^3.$	
5.- Peso volumétrico del agua	$\gamma w =1.000 \text{ ton/m}^3.$	
6.- Altura del fluido	$h_f= 15.790 \text{ m}$	Solo para derrame de la mezcla.
7.- Altura del tanque.	$H= 15.790 \text{ m}$	
8.- Altura del anillo de cimentación.	$h_a = 2.55 \text{ m}$	$h = 2.45 \text{ m}$ Nuevo Anillo
9.- Radio del tanque.	$R= 27.416 \text{ m}$	
10.- Esfuerzo radial promedio calculado, en operación normal.	$\sigma_1= 4.90 \text{ ton/m}^2$	Empleado en esta reestructuración.
11.- Esfuerzo radial promedio calculado, en operación normal más sismo.	$\sigma_2= 5.90 \text{ ton/m}^2$	Empleado en esta reestructuración.
12.- Porcentaje mínimo requerido por contracción.	$\rho_{adm}= 0.0025$	Según el A.P.I. Standard 650, (julio 1993-diciembre 1996), sección B.4.2.3.
13.- Tensión circunferencial calculada, en operación normal.	$T_{c1}= 346.828 \text{ ton}$	Fluido más relleno
14.- Tensión circunferencial calculada, en operación normal más sismo.	$T_{c2}= 411.365 \text{ ton}$	Fluido más relleno
15.- Esfuerzo máximo recomendable" del acero de refuerzo en el anillo, para Concreto Reforzado.	$\bar{f} s_{adm1}= 1400.00 \text{ kg/cm}^2$	Véase Referencias.
16.- Esfuerzo máximo admisible" del acero de refuerzo en el anillo, para concreto Reforzado.	$\bar{f} s_{adm2}= 2100.00 \text{ kg/cm}^2$	Véase Referencias.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



17.- Espesor del anillo Existente	40.00 cm.	
18.- Esfuerzo admisible a compresión del concreto", del anillo existente.	$f'c_{adm} = 0.45 \text{ de } f'c = 105 \text{ kg/cm}^2$ .	En Concreto Reforzado $f'c = 235 \text{ kg/cm}^2$ en promedio en base a pruebas de campo proporcionadas por GRIML.
19.- Esfuerzo admisible a tensión del concreto.	$f't_{adm} = 0.10 \text{ de } f'c = 23.5 \text{ kg/cm}^2$ .	
20.- Esfuerzo a 28 días del concreto, en los elementos prefabricados y colados en sitio.	$f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$	
21.- Modulo de Elasticidad del concreto, en los elementos prefabricados y colados en sitio.	$E_c = 14000 \text{ } f'c \text{ en kg/cm}^2$ . (CLASE 1).	
22.- Tensión Circunferencial Resistente en el nuevo anillo de cimentación en base a cables de presfuerzo después de perdidas de presfuerzo.	$\bar{T} c1 = 480.00 \text{ ton}$	
23.- Áreas del acero de tensión circunferencial y del acero por contracción del concreto.	As y Asc	American Petroleum Institute, Welded Steel Tanks For Oil Storage, Standard 650, inciso B.4.2.3.
24.- Sección transversal del concreto en los elementos prefabricados	$A_c = 20 \times 245 = 4900 \text{ cm}^2$ .	
25.- Esfuerzo en el concreto, calculado, actuando circunferencialmente en los elementos prefabricados y colados en sitio colocados alrededor del anillo de cimentación existente, considerando los nuevos valores de: la presión radial del relleno del anillo, el peso del fluido y los cambios de temperatura y contracciones.	$f_c = + 60.16 \text{ kg/cm}^2 \quad \underline{1}$  $f_c = + 18.52 \text{ kg/cm}^2 \quad \underline{2}$	<u>1</u> .- Tanque vacío y 50 % de presfuerzo horizontal.  <u>2</u> .- Tanque lleno y al 100 % del presfuerzo horizontal.
26.- Empuje activo del relleno de suelo al interior del anillo, en condiciones de operación normal más sismo.	$K_a = 0.323$	
27.- Coeficiente de Dilatación del Acero.	$10^{-5} / ^\circ C$	
28.- Coeficiente de Dilatación Térmica del Concreto	De $0.8$ a $1.2 \times 10^{-5} / ^\circ C$ . (De $5.5 \times 10^{-6} / ^\circ F$ a $6.0 \times 10^{-6} / ^\circ F$ )	
29.- Influencia de la Contracción sobre el Acero de refuerzo ó de presfuerzo.	$2.5 \times 10^{-4}$ a $3.5 \times 10^{-4}$ (Shrinkage reinforced Concrete 0.0002 a 0.0004)	
30.- Contracción del Concreto Simple.	$0.0003$ a $0.0008$ ó $0.00$ a $0.0010$	RCDF: 0.001 Clase # 1 0.002 Clase # 2



V.3 MATERIALES EMPLEADOS:

1.-) CONCRETOS:

Concreto pobre en plantilla

$$f'c = 150 \text{ kg cm}^2$$

Concreto en la pared exterior formada por elementos prefabricados  
y/o colados en sitio.

$$f'c = 350 \text{ kg cm}^2$$

2.-) Acero de refuerzo: Grado estructural

$$fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

3.-) Acero de presfuerzo: Diámetro 7.0 mm

$$fp_{rup} = 16450 \text{ kg cm}^2$$

4.-) Elaboración del concreto para la pared exterior formada por elementos prefabricados y/o colados en sitio:

Cemento: Tipo Portland II.

Agregado Grueso:  $\frac{3}{4}$ "

Agregado fino: No mayor al 3 %



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



V.4 DIMENSIONES (PARA DETALLES COMPLEMENTARIOS, VÉASE EL PLANO CORRESPONDIENTE EN EL ANEXO).

TANQUE	$\Phi$ cm	▶ 1 cm	▶ 1 cm	▶ 2 cm
TANQUE TV-2002	5486.40	245	20	40

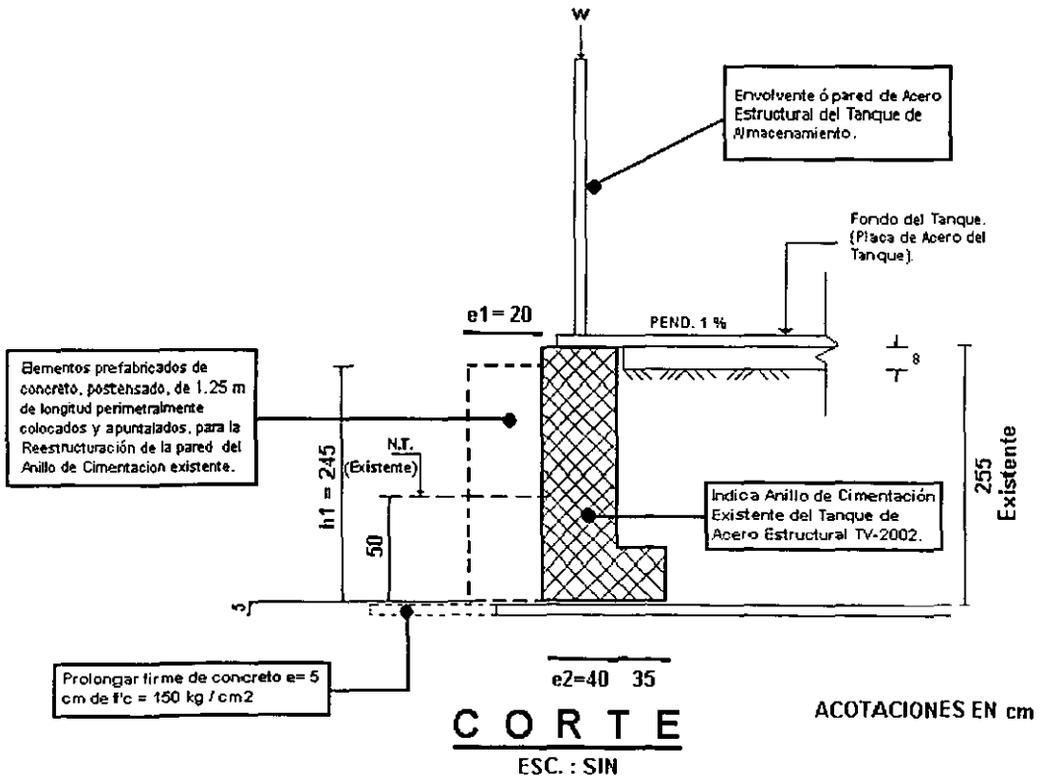


Fig. V.1 Dimensiones del tanque TV-2002.



V.5 CALCULO DE LAS CARACTERISTICAS DEL PRESFUERZO

A. Secuencia de Tensado:

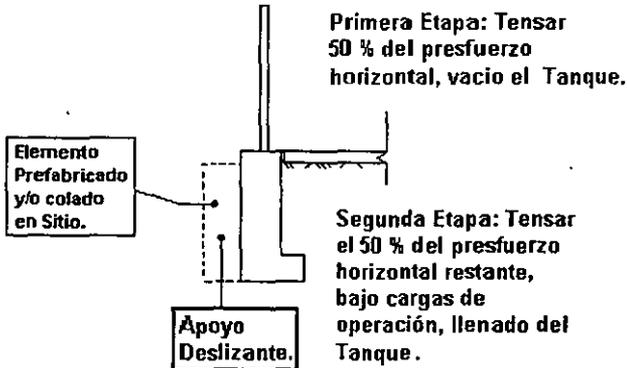


Fig. V.2 Secuencia de tensado.

B. Colocación de los cables. (Para obtención de mayor regularidad en los esfuerzos debidos al presfuerzo).

Tanque de diámetro  $\Phi = 54.864 \text{ m}$

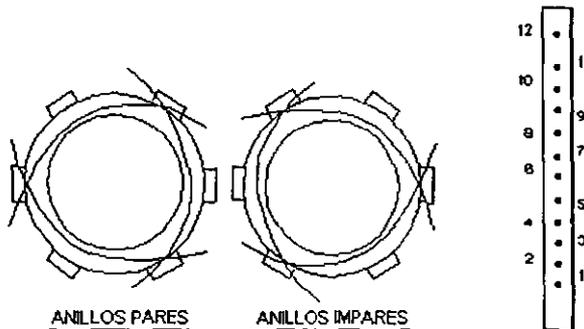


Fig. V.3 Colocación de los cables de presfuerzo



C. Cálculo de la Fuerza efectiva por cable:

- Cable  $12 \Phi 7$ . Formado por alambres de diámetro de 7.0 mm. Area del cable =  $462 \text{ mm}^2$
- Pérdidas de presfuerzo al tensar y a largo plazo.

Pérdidas consideradas: (Instantáneas y Diferidas).

Datos:

$f = 0.20 \text{ rad}^{-1}$	$g = 8 \text{ mm}$
$\varphi = 0.0020 \text{ m}^{-1}$	$l = 4860.00 \text{ cm}$
$\alpha = \frac{2 \cdot 1400}{2430} = 1.152$	$\frac{l}{2} = 2430.00 \text{ cm}$
$\alpha = 49.04^\circ$	

a.-) Frotamiento.

$$F_x = F_{p_n} (1 - f\alpha - \varphi x)$$

$$F_x = F_{p_n} (1 - (0.20)(0.8559) - (0.0020)(24.300))$$

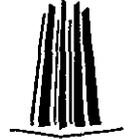
$$F_x = F_{p_n} (1 - 0.17 - 0.048) = 0.782 F_0$$

Datos Presfuerzo.

$$\sigma_{Rruptura} = f_{rup.} = \frac{76000}{4.62} = 16450.00 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ Esfuerzo Límite de Ruptura}$$

$$\sigma_{p_0} = f_{p_0} = \frac{61000}{4.62} = 13203.00 \text{ kg/cm}^2 = 0.80 f_{p_{rup}} \text{ Esfuerzo Límite de}$$

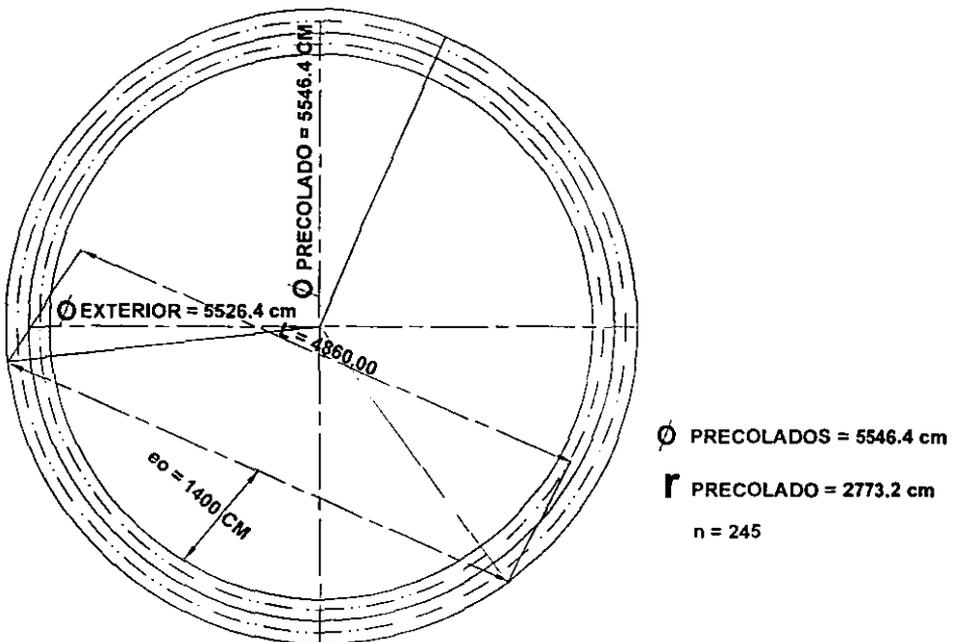
Tensión al Origen



$F_x$  = Fuerza de presfuerzo en la abscisa "X".

$F_{p_0}$  = Fuerza de presfuerzo al origen.

$E_p = 1.9 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$  Modulo de Elasticidad del Acero de Presfuerzo.



PLANTA DEL TRAZO DE UN  
CABLE DE PRESFUERZO.

12 Ø 7

Fig. V.4 Planta del Anillo de Cimentación TV-2002.



b.-) Anclaje

$$\sigma_{p_0} = f_{p_0} = 13203 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \sigma'_{p_0} = f'_{p_0} = 12500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$(\text{pend} \sigma_{p_0})_1 = 13203(0.0020 * 24.30 + 0.20 * 0.855) / 24.30$$

$$(\text{pend} \sigma_{p_0})_1 = 119.31 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 / \text{m}}$$

$$(\text{pend} \sigma'_{p_0}) = 12500(0.0020 * 24.30 + 0.20 * 0.855) / 24.30$$

$$(\text{pend} \sigma'_{p_0}) = 112.95 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2 / \text{m}}$$

$$\lambda = \frac{13203 - 12500 + (112.95 * 48.60)}{119.31 + 112.95}$$

$$\lambda = 26.66 \text{ m}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{1900000 * 0.008}{119.31}} = 11.28 \text{ m}$$

$$\lambda_2 = \sqrt{\frac{1900000 * 0.008}{112.95}} = 11.60 \text{ m}$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 \leq l$$

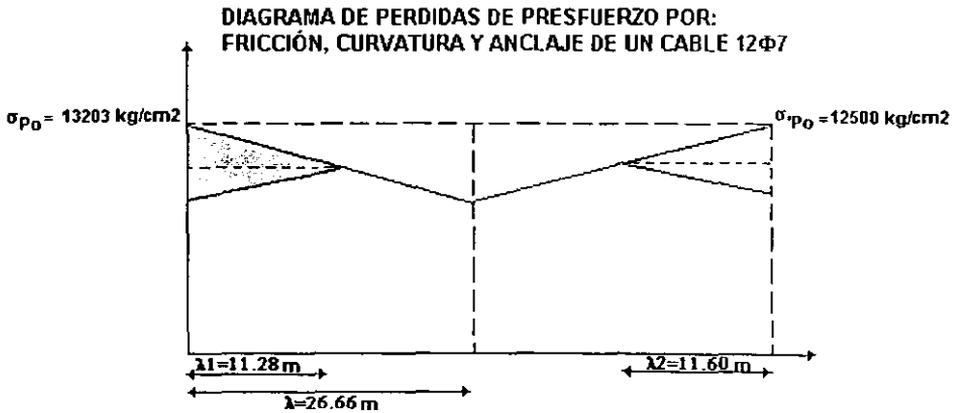


Fig. V.5 Diagrama de pérdidas.



c.-) No simultaneidad en el Tensado.  
(Acortamiento Instantáneo del Concreto)

$$\Delta\sigma_n = \Sigma K * E_p * \frac{\sigma_{bj}}{E_{ij}}$$

$$K = \frac{1}{2}; E_p = 1900000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_{ij} = E_{2b} = 14000 \sqrt{f_c} = 14000 \sqrt{350} = 261916 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{bj} = \sigma_{28} = f_{c28} = + \frac{12 * 4.62 \text{ cm}^2 * 12750 \text{ kg/cm}^2 * 0.5}{20 * 245} \frac{63509}{(20 * 245) + (8 * 11 * 4.62)}$$

(t = 0; envaciò)

$$f_{c28} = +72.15 - 11.96 = +60.16 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_n = \frac{1}{2} * 1.90 * 10^6 * \frac{60.16}{261916} = 21820 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{218}{13203.00} = 1.65 \%$$

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA



d.-) Contracción.

$$\xi = 3 \cdot 10^{-4} = 0.0003$$

$$\Delta\sigma_r = 3 \cdot 10^{-4} \cdot 1.9 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2 = 570 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{570}{13203} = 4.3 \%$$

c.-) Flujo Plástico.

$\sigma_b$  = Esfuerzo final soportado por el concreto en la sección considerada, al nivel del c.g.s de los aceros de presfuerzo, bajo la acción del presfuerzo y de las acciones permanentes que pueden variar con el tiempo.

$\sigma_M$  = Esfuerzo máximo soportado por el concreto en la sección considerada, al nivel del c.g.s de los aceros de presfuerzo, bajo la acción del presfuerzo y de las acciones permanentes que pueden variar con el tiempo.

$$\Delta\sigma_f = (\sigma_b + \sigma_M) \frac{E_p}{E_{ij}}$$

$$\sigma_b = + \frac{12 \cdot 4.62 \text{ cm}^2 \cdot 12750 \text{ kg/cm}^2 \cdot 0.75}{20 \cdot 245} - \frac{475860}{(20 \cdot 245) + (8 \cdot 11 \cdot 4.62)}$$

$$t = \alpha ; \text{ LLeno} + \text{Temperatura} + \text{Sismo}$$

$$\sigma_b = +108.19 - 89.67 = +18.52 \text{ kg/cm}^2 = f_b$$

$$\sigma_M = 60.16 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_f = [18.52 + 60.16] \frac{1.9 \cdot 10^6}{261916} = 570.76 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{570.76}{13203.00} = 4.32 \%$$



d.-) Relajación del acero.

$$\Delta\sigma_p = \frac{6}{100} \left( \frac{\sigma_{pi}}{f_{prk}} - \mu_0 \right) * \sigma_{pi} * \rho_{1000}$$

$$\mu_0 = 0.43; \quad f_{prk} = f_{pmp} = 16450.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_{1000} = 2.50 \%$$

$$\sigma_{pi} = \Delta\sigma_f + \Delta\sigma_k + \Delta\sigma_u$$

$$x = 0; \quad 0\% + 23.1 + 1.65 = 24.75 \%$$

$$x = \frac{l}{2}; \quad 21.81\% + 0 + 1.65 = 23.45 \%$$

$$\Delta\sigma_{pi} = (1 - 0.2345) * 13203 = 10106.90 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_p = \frac{6}{100} \left[ \frac{10106.90}{16450.00} - 0.43 \right] 10106.90 * 2.5 = 279.56 \text{ kg/cm}^2$$

$$2.11 \%$$

f.-) Esfuerzos finales.

$$\Delta\sigma_{,l} = 570.00 + 570.76 + \left( \frac{5}{6} \right) (279.56)$$

$$\Delta\sigma_{,l} = 1373.72 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{1373.72}{13203} = 10.40 \%$$

$$x = 0; \quad 24.75 + 10.40 = 35.15 \%$$

$$x = \frac{l}{2}; \quad 23.45 + 10.40 = 33.85 \%$$

*Tensiones Finales después de pérdidas totales :*

$$61 \text{ ton} (1 - .03515) = 39.55 \text{ ton}$$

$$61 \text{ ton} (1 - 0.3385) = 40.35 \text{ ton}$$

*Aproximadamente de 40.00 ton Después de las Perdidas Totales.*



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



Calculo del Acero en el Elemento Prefabricado.

$$0.20 \text{ m} \cdot 1.25 \text{ m} \cdot 2.45 \text{ m} \cdot 2.4 \text{ ton/m} = 1.47 \text{ ton}$$

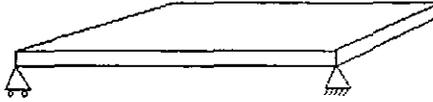


Fig. V.6

$$M = \frac{wl}{8} = \frac{1.47 \cdot 2.45}{8} = 0.450 \text{ ton} - \text{m}$$

$$Mu = 0.450 \cdot 2 = 0.900 \text{ ton} - \text{m}$$

$$Vi = 1.47 / 2$$

$$Vu = \frac{1.47}{2} \cdot 2.0 = 1.47 \text{ ton}$$

$$\text{Factor Dinámico} = 2.0$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{4200} = 0.00333 \quad 2 \text{ Torones } \phi \frac{1}{2}''$$

$$0.5 \cdot 18.3 \text{ ton} \cdot 2 \geq 1.47$$

$$As = 125 \cdot 18 \cdot 0.00333 = 7.50 \text{ cm}^2 / 1.25 \text{ m}$$

$$As = 245 \cdot 18 \cdot 0.00333 = 14.70 \text{ cm}^2 / 2.45 \text{ m}$$

$$As = \frac{M}{f_s \cdot 9 \cdot d} = \frac{150000}{2000 \cdot 0.90 \cdot 17} = 4.90 \text{ cm}^2 / 1.25$$

$$vc = 0.25 \sqrt{f'c} = 0.25 \sqrt{350} = 4.67 \text{ kg} / \text{cm}^2 \geq \frac{1470}{125 \cdot 20}$$



V.6 DISEÑO DE LA PARED EXTERNA FORMADA POR ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO PARA LA REESTRUCTURACIÓN DE LA PARED DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002.

A. Generalidades:

Para la determinación de los elementos mecánicos en la pared formada por los elementos prefabricados de concreto en la reestructuración del anillo de cimentación existente del tanque TV-2002 se usaron las gráficas indicadas en la referencia No 8 de la presente memoria.

B. Definición de los Parámetros:

- $t$  = Espesor de la pared de los elementos prefabricados.
- $h_1$  = Altura de las paredes prefabricadas.

$$EI = \frac{Ec_1^3}{12(1-\gamma)} \text{ Coeficiente de rigidez del muro.}$$

$\gamma$  .- Módulo de Poisson para el concreto 1/6.

$\beta$  .- Coeficiente de amortiguamiento.

$$\beta = \frac{(3(1-\gamma^2))^{1/4}}{Re}$$

C. Cálculo de los elementos mecánicos para el tanque de 200 Mbbls de crudo.

Las gráficas de la referencia No 8 bibliográfica dan mediante el uso de las características, los elementos mecánicos en la pared de los elementos prefabricados



D. Efectos de temperatura.

Las variaciones de temperatura a lo largo del año en la Terminal Marítima de Dos Bocas Tabasco; son importantes, entre el día y la noche.

Por lo tanto el efecto de temperatura debido a un gradiente de temperatura en la pared externa formada por elementos prefabricados puede generar un momento  $M_{\Delta}$  y por lo tanto esfuerzos de tensión (se anexa a la presente tesis, la correspondiente referencia de la teoría y método de cálculo).

Se consideró una variación de temperatura de  $15^{\circ}C$

$$\Delta\theta = 15^{\circ}C; \quad \Delta t = 8^{\circ}C \text{ (Gradiente de temperatura).}$$

Esta situación se presenta cuando la temperatura en una cara de la pared del anillo de cimentación es mayor con respecto a la otra, un Gradiente de Temperatura se desarrollará a través del espesor de la pared del anillo de cimentación. La extensión de las fibras en el lado con temperatura más elevada estará restringida por el lado de temperatura más baja, se puede asumir inicialmente que los esfuerzos y las deformaciones son linealmente proporcionales, lo cual debe incluir una serie de limitaciones. Es también necesario considerar que la redistribución plástica probablemente reduciría los esfuerzos a la mitad con respecto a los calculados sobre la base de un Comportamiento Elástico. Habrá esfuerzos de tensión y de compresión complementarios y opuestos a ambos lados de las caras de la pared del tanque. Los esfuerzos de tensión en la cara con temperatura más baja son los más importantes para el caso de los tanques, ya que este valor debe ser agregado en forma apropiada a los esfuerzos inducidos bajo condiciones de tanque vacío y tanque lleno, al esfuerzo de tensión neto horizontal del anillo, (tensión circunferencial).

Este gradiente de temperatura, se desarrollará cuando haya una diferencia de temperatura a cada lado de la pared del anillo del tanque, esto influye en la transferencia de calor a través del espesor del anillo de cimentación del tanque, lo cual es controlado por la capacidad de la superficie de cada lado del anillo del tanque, ya sea para absorber o desechar el calor en la periferia de ambos extremos de la pared del anillo de cimentación, existiendo un gradiente de temperatura del espesor de este anillo de cimentación. La variación de la transferencia de calor entre cada medio existente a cada lado del anillo de cimentación hacia el interior del espesor del anillo de cimentación del tanque estará afectada por una serie de variables bastante complejas de evaluar, debido a las condiciones que las rodean.



Esfuerzo de tensión en el concreto:

$$\sigma_s = \frac{\alpha \Delta t E}{2(1-\gamma)} = \frac{10^{-5} * 8.08 * 1.21 * 10^5}{2(1 - \frac{1}{6})} = 5.90 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\sigma_s = 5.90 \text{ kg/cm}^2$$

NOTA: Se anexó, (como factor de seguridad), a esta posible tensión por efectos de temperatura una compresión residual de  $7.0 \text{ kg/cm}^2$ . Lo cual nos da que se debe colocar  $12.9 \text{ kg/cm}^2$  de compresión adicional a los efectos de empuje activo que se presenten en la reestructuración del anillo de cimentación existente y sus nuevas condiciones de operación.

#### E. Presfuerzo Horizontal.

Cuadro sinóptico recapitulativo de los esfuerzos y determinación del presfuerzo en el muro exterior formado por elementos prefabricados para reestructurar la pared del anillo de cimentación existente.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



CALCULO DE LAS TENSIONES CIRCUNFERENCIALES  
SIN CARGAS DE OPERACIÓN  
(TANQUE VACIO).

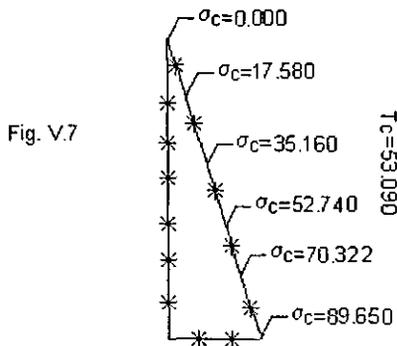
Datos del anillo de cimentación para el año 2000.

$\phi_{int.} = 54.864 \text{ m}$	$R_{int.} = 27.432 \text{ m}$	$\gamma_f = 0.000 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$	W transmitida al anillo de Cimentación por el peso de la envolvente = 2.451 ton/m	
$H_{envol.} = 15.790 \text{ m}$	hanillo = 2.55 m	$\gamma_s = 1.900 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$	e = 40 cm	K = 0.270
Fza. transmitida al anillo de cimentación por sismo. = 6.410 ton/m			Cortante Basal = 1700 ton	Mto volt. = 11557.95 ton.m

H	$\rho = Ka[\gamma_s * h]$ $\rho = 0.323[1.9h]$ (ton/m <sup>2</sup> )	$\sigma_c = \frac{\rho * r}{e}$ (ton/m <sup>2</sup> )	$T_c = \sigma_c * e * h$ (ton)
0.00	0.000	0.000	0.000 ton
0.50	0.257	17.580	3.516 ton
1.00	0.513	35.160	7.032 ton
1.50	0.770	52.740	10.548 ton
2.00	1.026	70.322	14.064 ton
2.55	1.308	89.650	17.930 ton
			$\Sigma T_c = 53.090$

Con  $\gamma_f = 0$ ;  $K_a = 0.270$

DIAGRAMA DE ESFUERZOS CIRCUNFERENCIALES





**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



**CALCULO DE LAS TENSIONES CIRCUNFERENCIALES  
SIN CARGAS DE OPERACIÓN MÁS SISMO  
(TANQUE VACIO).**

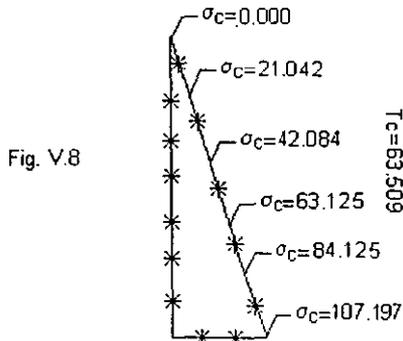
Datos del anillo de cimentación para el año 2000.

$\phi_{int.} = 54.864 \text{ m}$	$r_{int.} = 27.432 \text{ m}$	$\gamma_f = 0.000 \text{ ton/m}^3$	W transmitida al anillo de Cimentación por el peso de la envolvente = 2.451 ton/m	
Henvol. = 15.790 m	hanillo = 2.55 m	$\gamma_s = 1.900 \text{ ton/m}^3$	e = 40 cm	K = 0.323
Fza. transmitida al anillo de cimentación por sismo. = 6.410 ton/m			Cortante Basal = 1700 ton	Mto volt. = 11557.95 ton.m

h	$\rho = Ka[\gamma_s * h]$ $\rho = 0.323[1.9h]$ (ton/m <sup>2</sup> )	$\sigma_c = \frac{\rho * r}{e}$ (ton/m <sup>2</sup> )	$T_c = \sigma_c * e * h$ (ton)
0.00	0.000	0.000	0.000
0.50	0.307	21.042	4.208
1.00	0.614	42.084	8.417
1.50	0.921	63.125	12.625
2.00	1.227	84.125	16.820
2.55	1.564	107.197	21.439
			$\Sigma T_c = 63.509$

Con  $\gamma_f=0$ ; Ka = 0.323

**DIAGRAMA DE ESFUERZOS CIRCUNFERENCIALES**





ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



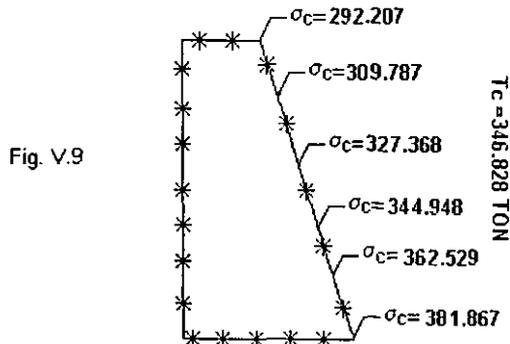
CALCULO DE LAS TENSIONES CIRCUNFERENCIALES  
CON CARGAS DE OPERACIÓN  
(TANQUE LLENO).

Datos del anillo de cimentación para el año 2000.

$\phi_{int.} = 54.864 \text{ m}$	$R_{int.} = 27.432 \text{ m}$	$\gamma_f = 0.9258 \text{ ton/m}^3$	Wtransmitida al anillo de Cimentación por el peso de la envolvente = 2.451 ton/m	
$H_{envol.} = 15.790 \text{ m}$	hanillo = 2.55 m	$\gamma_s = 1.900 \text{ ton/m}^3$	$e = 40 \text{ cm}$	$K = 0.270$
Fza.transmitida al anillo de cimentación por sismo. = 6.410 ton/m		Cortante Basal = 1700 ton		Mto volt. = 11557.95 ton.m

$h$	$\rho = Ka[\gamma_s * h + \gamma_f * H]$ $\rho = 0.270[1.9h + 1.00 * 15.79]$ ( $\text{ton/m}^2$ )	$\sigma_c = \frac{\rho * r}{e}$ ( $\text{ton/m}^2$ )	$T_c = \sigma_c * e * h$ (ton)
0.00	4.263	292.207	0.000
0.50	4.520	309.787	61.957
1.00	4.776	327.368	65.474
1.50	5.033	344.948	68.990
2.00	5.289	362.529	72.506
2.55	5.571	381.867	76.373
			$\Sigma T_c = 346.828$

DIAGRAMA DE ESFUERZOS CIRCUNFERENCIALES





ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



CALCULO DE LAS TENSIONES CIRCUNFERENCIALES  
CON CARGAS DE OPERACIÓN MÁS SISMO  
(TANQUE LLENO).

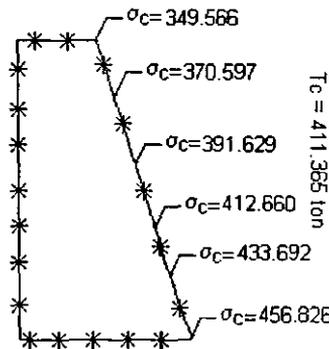
Datos del anillo de cimentación para el año 2000.

$\phi_{int.} = 54.864 \text{ m}$	$R_{int.} = 27.432 \text{ m}$	$\gamma_f = 0.9258 \text{ ton/m}^3$	W transmitida al anillo de Cimentación por el peso de la envolvente = 2.451 ton/m	
$H_{envol.} = 15.790 \text{ m}$	hanillo = 2.55 m	$\gamma_s = 1.900 \text{ ton/m}^3$	e = 40 cm	K = 0.323
Fza. transmitida al anillo de cimentación por sismo. = 6.410 ton/m			Cortante Basal = 1700 ton	Mto. volt. = 11557.95 ton.m

h	$\rho = K a [\gamma_s * h + \gamma_f * H]$ $\rho = 0.323 [1.9h + 1.00 * 15.79]$ (ton/m <sup>2</sup> )	$\sigma_c = \frac{\rho * r}{e}$ (ton/m <sup>2</sup> )	$T_c = \sigma_c * e * h$ (ton)
0.00	5.100	349.566	0.000
0.50	5.407	370.597	74.000
1.00	5.714	391.629	78.000
1.50	6.021	412.660	82.000
2.00	6.328	433.692	86.000
2.55	6.665	456.826	91.365
			$\Sigma T_c = 411.365$

DIAGRAMA DE ESFUERZOS CIRCUNFERENCIALES

Fig. V.10





EFFECTOS DE TEMPERATURA

Altura del Elemento Prefabricado (m)	F (t)	Espesor del Elemento Prefabricado (m)	Esfuerzo por Temperatura y Residual ( $kg/cm^2$ )	Esfuerzo F ( $kg/cm^2$ )	Esfuerzo Total Necesario ( $kg/cm^2$ )	Fuerza Total T (Ton)
0 a 0.50	74.00	0.20	12.90	74.00	86.90	86.90
0.50 a 1.00	78.00	0.20	12.90	78.00	90.90	90.90
1.00 a 1.50	82.00	0.20	12.90	82.00	94.90	94.90
1.50 a 2.00	86.00	0.20	12.90	86.00	98.90	98.90
2.00 a 2.55	91.36	0.20	12.90	91.36	104.26	104.26
						$\Sigma = 475.86 \text{ ton}$

$$\text{No. de cables} = \frac{475.86}{40 \text{ ton}}$$

$$\text{No. de cables} = 12 \text{ Cables } 12 \phi 7.0 \text{ mm}$$

F. Efectos de los elementos mecánicos en la pared externa formada por Elementos Prefabricados.

- 1.-) Al tensar los cables de presfuerzo, estos se reparten en la pared externa de los elementos prefabricados según una distribución que asemeja un empuje hidrostático exterior, se generan elementos mecánicos de signo; que convencionalmente llamaremos positivos.
- 2.-) Al llenar el tanque aparecerán elementos mecánicos negativos de magnitud tal que será equilibrada por los del inciso 1.
- 3.-) Para estos valores de momento y cortante en los elementos prefabricados de la pared del tanque se diseñaron los aceros, considerando una máxima tensión bajo esfuerzos de servicio de:
  - $20 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$  - Para el concreto.
  - $1100 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$  - Para el acero.
- 4.-) Resumen de los Elementos Mecánicos. En la pared exterior formada por Elementos Prefabricados:



II.- Los resultados obtenidos de esta revisión, se presentan por medio de la siguiente tabla comparativa:

Revisión de Esfuerzos en el Concreto, Rango Elástico.	
Condición de Carga.	Resultado.
Operación Normal más temperatura.	Unidades en $\text{kg/cm}^2$ .
Con $\bar{f}_c = 0.40f'_c$ Esfuerzo Admisible.	$\bar{f}_c > f_c = +60.16$
Operación Normal más Sismo Más temperatura.	Unidades en $\text{kg/cm}^2$ .
Con $\bar{f}_c = 0.40f'_c$ Esfuerzo Admisible.	$\bar{f}_c > f_c = +18.52$

#### V.7 ELEMENTO DE APOYO:

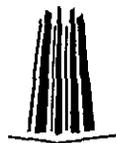
Se considera que no sería necesario el elemento de apoyo conocido como zapata, para los elementos de concreto prefabricados postenzados dado que estos elementos trabajaran solo bajo la acción de las fuerzas de tensión generadas por las presiones radiales y esfuerzos de tensión circunferencial, con esto la única carga que transmitirá al suelo la nueva pared del anillo será el peso propio de cada elemento prefabricado y/o colado in situ con lo cual se consideró no necesario la zapata para la nueva pared de concreto presforzado del tanque TV-2002.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



**TEMA VI: MODELOS ESTRUCTURALES (CON AYUDA DEL  
PROGRAMA DE DISEÑO SAP 2000) Y SUS RESULTADOS, PARA EL  
ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN LA REESTRUCTURACIÓN DE LAS  
PAREDES LATERALES DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN DEL TANQUE  
TV-2002.**



## V.1 INTRODUCCIÓN:

El diseño de sistemas es la aplicación del método científico a la selección e integración de los componentes o subsistemas, a fin de generar el sistema óptimo que permita lograr las metas y objetivos especificados, a la vez está sujeto a ciertos límites y restricciones. Esta representación del sistema es con un modelo que permita analizar y evaluar su funcionalidad. Dicho modelo debe ser sencillo y, por razones prácticas, congruente con la función que se le destina.

Los modelos se dividen en: simbólicos y analógicos. El modelo de tipo icónico puede ser el sistema real, una parte de este, o tan solo guardar semejanza física con él. Este tipo se emplea con frecuencia para hacer pruebas físicas de comportamiento, como pruebas de carga o un túnel de viento, o para ajustes de controles, según lo requiera el tipo de estructura.

En los modelos simbólicos, la entrada y salida de un sistema se representa con símbolos y, por lo general, se prestan para un análisis matemático del sistema. Estos modelos que permiten expresar las relaciones de una forma general, pero concisa, son menos costosos que otros modelos y su manejo es muy fácil. Estos modelos son los que trataremos de representar en este capítulo para obtener los esfuerzos que se generan en el nuevo anillo de cimentación del tanque TV-2002.

Los modelos analógicos son sistemas reales, pero con propiedades físicas distintas de las del sistema real. Algunos ejemplos son los relojes, termómetros, reglas de cálculo y hasta los flujos de corriente eléctrica cuando se emplean para medir otras cosas, como el flujo de calor y una placa metálica, presión, etc.

Las variedades que presentan las entradas y propiedades de un sistema se consideran independientes y son dos tipos:

1. Variedades o limitaciones que los proyectistas pueden controlar:  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ .
2. Variables incontrolables:  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ .

Las variables que representan la respuesta o salida del sistema se consideran dependientes:  $z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$ .

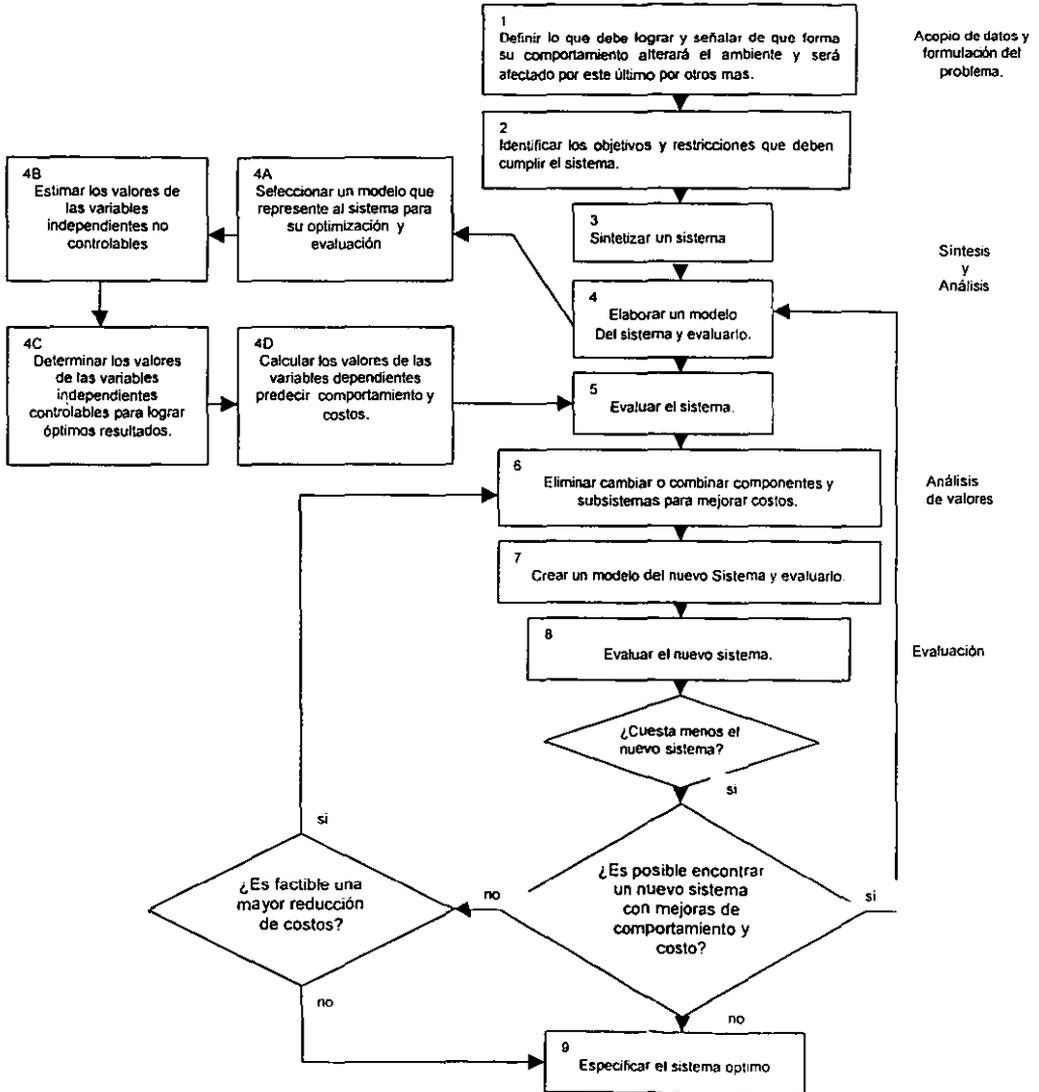
Las variables dependientes son funciones de las independientes, Estas últimas también contienen parámetros, cuyo valor se puede ajustar de modo que se calibra el modelo, según el comportamiento del sistema real.

Como se muestra en la Fig. VI.1, el paso 4 del diseño de los sistemas se puede resolver en cuatro fases:

1. Seleccionar y calibrar un modelo que represente el sistema para su optimización y evaluación.
2. Calcular los valores de las variables independientes o no controlables.
3. Calcular los valores de las variables controlables.



4. Estimar, con el empleo del modelo, la salida o respuesta del sistema a partir de la relación entre las variables dependientes.





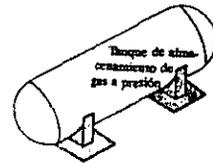
## VI.2 MODELO EMPLEANDO LA ANALOGÍA DEL TUBO DE PARED DELGADA.

En el mundo abundan los ejemplos de recipientes a presión de pared delgada. En la Fig. VI.1.a muestra un tanque de almacenamiento de aceite cilíndrico de gran capacidad en el cual la presión interna se debe al líquido que contiene. La Fig. VI.1.b muestra un recipiente cilíndrico con dos tapas semiemisféricas, que contienen gas a alta presión. En la Fig. VI.1.c aparece un recipiente ordinario de bebida gaseosa que se puede concebir como un recipiente cilíndrico con tapas circulares con un fluido a presión. Otro ejemplo es una pelota ordinaria de fútbol o baloncesto que contiene aire a presión.

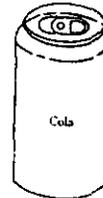
Cada uno de estos ejemplos tiene varias características comunes con los demás. Primero, cada uno debe soportar una carga en forma de presión interna normal a la superficie interna del recipiente. Segundo, todos ellos son geoméricamente similares desde el punto de vista de que el espesor de sus paredes es pequeño comparado con el radio del cilindro, esfera, etcétera. Esta característica de tener pared delgada nos permite desarrollar una sencilla teoría aproximada para determinar las fuerzas y los esfuerzos internos en el recipiente. El estado de esfuerzo es generalmente biaxial, con fuerzas internas por unidad de longitud en las direcciones axial y circunferencial, esto es, fuerzas internas que son tangentes a la superficie del recipiente a presión de pared delgada.



(a)



(b)



(c)

Figura VI.1 Ejemplos de recipientes a presión de pared delgada.

## VI.3 RECIPIENTES A PRESIÓN CILÍNDRICOS.

Consideraremos un recipiente a presión cilíndrico cerrado con dos tapas planas como se indica en la Fig. VI.2.a. Suponemos que el recipiente contiene un gas a presión interna  $p$ . Las ecuaciones que rigen en este caso se desarrollarán considerando los tres integrantes básicos: equilibrio, deformación y comportamiento del material.

Equilibrio: Para exponer las fuerzas internas que actúan en la dirección axial, se dibuja un diagrama de cuerpo libre obtenido tras seccionar el recipiente perpendicularmente al eje del cilindro como se indica en la Fig. VI.2.b. El seccionado se hace en un punto alejado de los extremos del cilindro.

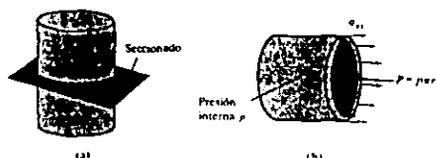


Figura VI.2 Diagrama de cuerpo libre que pone de manifiesto las fuerzas axiales internas.



El diagrama de cuerpo libre muestra la fuerza resultante  $P = p \pi r^2$  producida por la presión interna y las fuerzas inducidas que consisten en esfuerzos normales  $\sigma_{ax}$  distribuidos alrededor de la sección circular mostrada. Los esfuerzos normales  $\sigma_{ax}$  se suponen constantes sobre el espesor del recipiente alrededor de la circunferencia. Con  $R_i$  y  $R_o$ , los radios interno y externo del cilindro, respectivamente, la suma de fuerzas en la dirección del eje del cilindro esta dada por la expresión.

$$\Sigma F_x = -p\pi R_i^2 + \pi(R_o^2 - R_i^2)\sigma_{ax} = 0$$

De donde:

$$\sigma_{ax} = \frac{pR_i^2}{R_o^2 - R_i^2}$$

Se observa que la línea de acción de la fuerza de presión  $P = \pi R_i^2 p$  está dirigida a lo largo del eje del cilindro, por lo que se tiene una carga axial.

Se puede escribir.

$$(R_o^2 - R_i^2) = (R_o - R_i)(R_o + R_i) = t2R_{med}$$

Donde:

$$t = R_o - R_i \quad \text{Es el espesor.}$$

$$R_{med} = (R_o + R_i)/2 \quad \text{Es el radio medio.}$$

Y es esfuerzo axial  $\sigma_{ax}$  se puede expresar como.

$$\sigma_{ax} = pR_i^2 / 2R_{med} t$$

Se observa entonces que  $R_{med} = R_i + t / 2$ , por lo que.

$$\sigma_{ax} = \frac{pR_i^2}{2t(R_i + t/2)} = \frac{pR_i}{2t(1 + t/2R_i)}$$

Por lo general, la geometría de un recipiente de pared delgada a presión es tal que la relación entre el espesor de la pared y el radio interno, esto es,  $t / (2 R_i)$ , es del orden de 0.01 o menor, por lo que  $1 + t / 2 R_i \cong 1$ , con el esfuerzo axial dado entonces por.

$$\sigma_{ax} = \frac{pR_i}{2t}$$

Sería posible tener esfuerzos axiales no uniformes sobre la cara mostrada que fuesen estáticamente equivalentes a la fuerza  $P = \pi R^2 p$  y también tener esfuerzos cortantes con



fuerzas y momentos resultantes nulos actuando sobre la cara mostrada. El hecho de que tales esfuerzos adicionales no están en realidad presentes, sólo se puede demostrar por medio de un análisis más general.

Para mostrar las fuerzas internas que actúan en la dirección circunferencial, dibujamos el diagrama de cuerpo libre de la Fig. VI.3. Se muestran las fuerzas de presión, las fuerzas asociadas con los esfuerzos axiales  $\sigma_{ax}$ , y los llamados esfuerzos anulares o circunferenciales  $\sigma_H$  que actúan en la dirección circunferencial. Los esfuerzos circunferenciales se suponen uniformes sobre la cara mostrada. Esta hipótesis es válida mientras  $t / R_i$  sea pequeño. La suma de las fuerzas en la dirección axial se satisface en forma idéntica. Al sumar las fuerzas en la dirección circunferencial se obtiene.

$$\Sigma F = pR_i \Delta x - 2t\sigma_H \Delta x = 0$$

O

$$\sigma_H = \frac{pR_i}{t}$$

Que muestra los esfuerzos circunferenciales  $\sigma_H$  es dos veces mayor que el esfuerzo axial  $\sigma_{ax}$ .

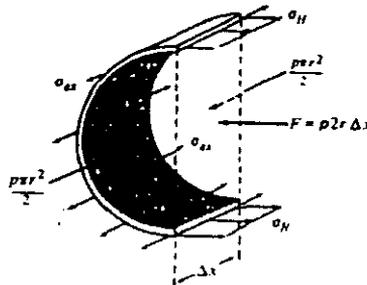


Figura VI.3 Diagrama de cuerpo libre mostrando las fuerzas circunferenciales expuestas

Ahora bien para los esfuerzos cortantes en planos a 45°: Consideraremos un pequeño elemento diferencial del recipiente como se indica en la Fig. VI.2.b.

En un punto sobre la superficie exterior del recipiente, los esfuerzos son como se indican en la Fig. VI.4.b, mientras que en la superficie interior son como se indica en la Fig. VI.4.c. En cada caso, los esfuerzos mostrados son los esfuerzos principales, ya que no hay esfuerzos cortantes actuando sobre ninguna de las caras. En la superficie exterior, el esfuerzo cortante máximo  $\tau = \sigma_H / 2$  actúa sobre el plano a 45° mostrado en la Fig. VI.4.b y también sobre el plano perpendicular. En la superficie interior, un esfuerzo cortante  $\tau = (\sigma_H + p) / 2$  actúa sobre el plano mostrado en la Fig. VI.4.c, así como sobre el plano perpendicular. En la pared delgada estos dos valores,  $\sigma_H / 2$  y  $(\sigma_H + p) / 2$ , son esencialmente iguales ya que  $t / R < 1$ . Un tercer esfuerzo cortante actúa sobre un plano que biseca las direcciones axial y circunferencial, y tiene el valor  $(\sigma_H + p) / 2 = \sigma_H / 4$  como se muestra en la Fig. VI.4.d. Por tanto, el esfuerzo cortante máximo absoluto se presenta en un plano a 45° y sobre la superficie interior.

Lo anterior lo podemos aplicar de una forma muy sencilla en el diseño de la nueva pared de cimentación del tanque TV-2002. Esto a través de la programación de una hoja de cálculo de



Excel para calcular los esfuerzos circunferenciales que afectarían al nuevo anillo de cimentación.

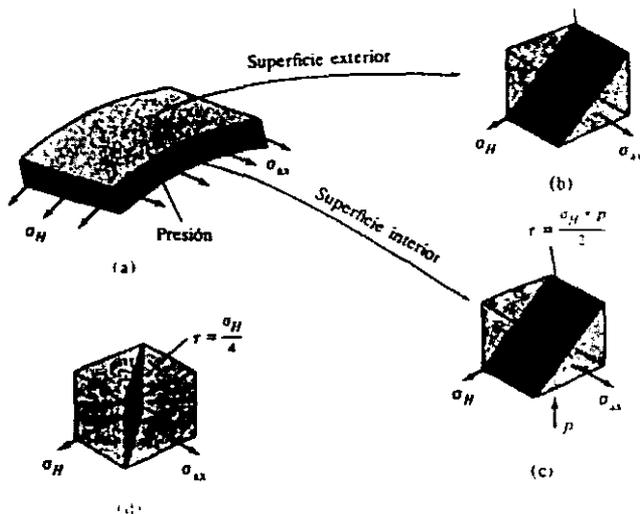


Figura VI.4 Esfuerzos cortantes en el recipiente a presión



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



**VI.4 MODELO DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN EMPLEANDO LA TEORÍA DE TUBOS DE PARED DELGADA.**

Calculo de las tensiones circunferenciales			
Datos:			
$\phi_{int.} =$	54.864 m.	$e =$	0.400 m.
$H_{envol.} =$	15.790 m.	$C_{basal} =$	1700.000 ton.
$r_{int.} =$	27.428 m.	$M_{volteo} =$	11557.950 ton.m
$h_{anillo} =$	2.650 m.	$W_{unitario} =$	2.451 ton / m.
$\gamma_{suelo} =$	1.900 ton/m <sup>3</sup>	$W_{sismica} =$	6.410 ton / m.

$\gamma_{fluido} = 0.000 \text{ ton/m}^3$			
$K_{activo} = 0.270$			
$h$ (m)	$\rho = K_a(\gamma_{fluido} \cdot h)$ ton/m <sup>2</sup>	$\sigma_c = (\rho \cdot r) / e$ ton/m <sup>2</sup>	$T_c = \sigma_c \cdot e \cdot h$ ton
0.00	0.000	0.00	0.00
0.50	0.257	17.58	3.52
1.00	0.513	35.17	7.03
1.50	0.770	52.75	10.55
2.00	1.026	70.34	14.07
2.55	1.308	89.68	19.73
	Suma:		54.90

CONDICIÓN 1. SIN CARGAS DE OPERACIÓN (TANQUE VACÍO)

$\gamma_{fluido} = 0.000 \text{ Ton/m}^3$			
$K_{activo} = 0.323$			
$h$ (m)	$\rho = K_a(\gamma_{fluido} \cdot h)$ ton/m <sup>2</sup>	$\sigma_c = (\rho \cdot r) / e$ ton/m <sup>2</sup>	$T_c = \sigma_c \cdot e \cdot h$ ton
0.00	0.000	0.00	0.00
0.50	0.307	21.04	4.21
1.00	0.614	42.07	8.41
1.50	0.921	63.11	12.62
2.00	1.227	84.15	16.83
2.55	1.565	107.29	23.60
	Suma:		65.68

CONDICIÓN 2. SIN CARGAS DE OPERACIÓN MAS SISMO (TANQUE VACÍO)



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



$\gamma$ fluido =	0.926	ton/m <sup>3</sup>	
$K$ activo =	0.270		
$H$ (m)	$\rho = K \gamma (h) =$ ton/m <sup>2</sup>	$\sigma_c = (\rho \cdot r) / e$ ton/m <sup>2</sup>	$T_c = \sigma_c \cdot e \cdot h$ ton
0.00	4.263	292.28	0.00
0.50	4.520	309.87	61.97
1.00	4.776	327.45	65.49
1.50	5.033	345.04	69.01
2.00	5.289	362.62	72.52
2.55	5.571	381.96	84.03
		Suma:	353.03

CONDICIÓN 3. CON CARGAS DE OPERACIÓN (TANQUE LLENO)

Con la ayuda de la teoría antes mencionadas es se pueden calcular los esfuerzos de tensión circunferencial, con lo que se puede llevar acabo el diseño de los elementos prefabricados. Dado que se puede elegir una sección y proponer una fuerza de presfuerzo que va a actuar en contra posición a los esfuerzos generados, en este caso serán los cables de presfuerzo que irán en el interior de los elementos prefabricados y se tensaran para que el elemento de concreto actúe como un elemento sujeto a compresión anulando prácticamente los esfuerzos de tensión generados por las cargas antes mencionadas. El procedimiento de calculo posterior también se puede realizar mediante la programación de una hoja de calculo de Excel; para calcular las pérdidas del presfuerzo.

**Efectos de la temperatura**

Datos:

$\Delta\theta =$	15.00	°C
$\Delta t =$	8.08	°C (gradiente)
$F_{ruptura\ nominal} =$	70.00	Ton

Compresión residual que se anexara (como factor de seguridad) = 7.00 (kg / cm<sup>2</sup>)

Altura del Elemento Prefabricado (m)		Espesor del elemento prefabricado (m)	Esfuerzo por temperatura residual (kg / cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo F (kg / cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Total Necesario (kg / cm <sup>2</sup> )	Fuerza Total T (kg / cm <sup>2</sup> )
de	a					
0.00	0.50	74.14	12.87	74.138	87.00	87.00
0.50	1.00	78.35	12.87	78.346	91.21	91.21
1.00	1.50	82.55	12.87	82.553	95.42	95.42
1.50	2.00	86.76	12.87	86.760	99.63	99.63
2.00	2.55	100.53	12.87	91.389	104.25	114.68
$\Sigma =$						487.94

No de cables = 12 Cables 12  $\phi$  7.0 mm.



A. Cálculo de la Fuerza efectiva por cable:

- Cable 12  $\Phi$  7. Formado por alambres de diámetro de 7.0 mm. Area del cable = 462 mm<sup>2</sup>
- Perdidas de presfuerzo al tensar y a largo plazo.

Calculo de perdidas instantáneas y diferidas

a) Frotamiento

- $f$  fricción ang. = 0.200 rad<sup>-1</sup>
- $\theta$  fricción lineal = 0.002 m<sup>-1</sup>
- $g$  = 8.00 mm
- $l$  = 45.66 m
- $h$  = 14.00 m
- $F_{po}$  = 61000 kg
- $F_{ruptura}$  = 76000 kg

$\lambda = \theta \cdot l$ (m)	$\mu = \theta \cdot g \cdot l \cdot 1000 \cdot X$ (%)	$F_x = F_{po} \cdot (1 + \mu \cdot X)$ (kg)
24.3	0.8560	47591.881

b) Anclaje

Se utilizarán cables 12  $\phi$  7 formados por alambres de 7 mm.

Area cable = 4.62 cm<sup>2</sup>

- No. Cables = 12
- $E_p$  = 1900000 kg/cm<sup>2</sup>
- $\sigma'_{po}$  = 12500.06 kg/cm<sup>2</sup>
- $\sigma_{po}$  = 13208.75 kg/cm<sup>2</sup>
- $\sigma_{ruptura} = \sigma_{pmp}$  = 16456.80 kg/cm<sup>2</sup>

pend.	pend/ $\sigma_{po}$	$\lambda = \theta \cdot l$	$\lambda_j = \theta \cdot g \cdot l$	$\lambda = \theta \cdot l$	$\lambda_j = \theta \cdot g \cdot l$
119.48	113.07	26.68	11.28	11.59	O.K.

- Cuando X=0,  $\Delta\sigma_g = 20.41\%$   $\Delta\sigma_f = 0.00\%$
- Cuando X=0,  $\Delta\sigma_g = 0.00\%$   $\Delta\sigma_f = 24.13\%$

c) no-simultaneidad en el tensado (Acortamiento instantáneo del concreto)

- $f'c$  = 350 kg/cm<sup>2</sup>
- $K$  = 0.50

Dimensiones del elemento prefabricado

- Altura h = 245 cm
- Base e = 20 cm

$E_{ij}$	$\sigma_{po}$	$\Delta\sigma_n$
kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
261916.02	60.40	219.08

$\Delta\sigma_n / \sigma_{po} = 1.66\%$

$\Delta\sigma_n = \Sigma K \cdot E_p \cdot (\sigma_{bij} / E_{ij})$

$E_{ij} = E_{2b} = 14000 f'c^{1/2}$

$\sigma_{bj} = \sigma_{2b} = f'c_{28}$

$f'c_{28} = F / A_c - T / A_t$

$A_t = A_c + n A_s$

d) contracción

$\zeta = 0.0003$

$\Delta\sigma_f = \zeta E_p$ kg/cm <sup>2</sup>
570

$\Delta\sigma_f / \sigma_{po} = 4.32\%$



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



**e) Flujo plástico**

$E_p$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_p$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_m$ kg/cm <sup>2</sup>	$\Delta\sigma_n$ kg/cm <sup>2</sup>
261916.02	17.73	60.40	566.81

$$\Delta\sigma_n / \sigma_{po} = 4.29\%$$

$$\Delta\sigma_n = (\sigma_b + \sigma_m) E_p / E_{ij}$$

$$E_{ij} = E_{2b} = 14000 f' c^{1/2}$$

$$\sigma_{bj} = \sigma_{2b} = f' c_{2b}$$

$$f' c_{2b} = F / A_c - T / A_t$$

$$A_t = A_c + n A_s$$

**f) Relajación del acero**

$$\mu_0 = \frac{\sigma_p}{\rho_{1000}}$$

$X$	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma_g$	$\Delta\sigma_n$	$\sigma_{pi}$
0	0.00%	20.41%	1.66%	22.06%
L/2	24.13%	0.00%	1.66%	25.79%

$$\Delta\sigma_{pi} = 9802.21 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_p = 6 / 100 ((\sigma_{pi} / f_{prg}) - \mu_0) \sigma_{pi} \rho_{1000}$$

$$\Delta\sigma_p = 243.54 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_p = 1.84\%$$

$$\sigma_{pi} = \Delta\sigma_t + \Delta\sigma_g + \Delta\sigma_n$$

**g) Esfuerzos finales**

$$\Delta\sigma_d = \Delta\sigma_r + \Delta\sigma_n + (5/6)\Delta\sigma_p$$

$$\Delta\sigma_d = 1339.75465 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_d = 10.14\%$$

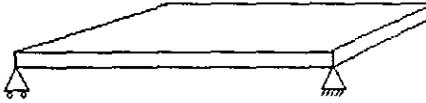
$X$	$\Delta\sigma_{\text{finales}} = \Delta\sigma_{pi} + \Delta\sigma_d$	Tensión final (ton)
0	32.21%	41.35
L/2	35.93%	39.08

Aproximadamente 40.22 Ton. después de las pérdidas totales



CALCULO DEL ACERO EN EL ELEMENTO PREFABRICADO.

$$0.20 \text{ m} * 1.25 \text{ m} * 2.45 \text{ m} * 2.4 \text{ ton/m} = 1.47 \text{ ton}$$



$$M = \frac{wl}{8} = \frac{1.47 * 2.45}{8} = 0.450 \text{ ton} - m$$

$$Mu = 0.450 * 2 = 0.900 \text{ ton} - m$$

$$Vi = 1.47 / 2$$

$$Vu = \frac{1.47}{2} * 2.0 = 1.47 \text{ ton}$$

$$\text{Factor Dinámico} = 2.0$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{4200} = 0.00333 \quad 2 \text{ Torones } \phi \frac{1}{2}''$$

$$0.5 * 18.3 \text{ ton} * 2 \geq 1.47$$

$$As = 125 * 18 * 0.00333 = 7.50 \text{ cm}^2 / 1.25 \text{ m}$$

$$As = 245 * 18 * 0.00333 = 14.70 \text{ cm}^2 / 2.45 \text{ m}$$

$$As = \frac{M}{f_s \rho d} = \frac{150000}{2000 * 0.90 * 17} = 4.90 \text{ cm}^2 / 1.25$$

$$\nu_c = 0.25 \sqrt{f'c} = 0.25 \sqrt{350} = 4.67 \text{ kg} / \text{cm}^2 \geq \frac{1470}{125 * 20}$$

Efectos de temperatura.

Las variaciones de temperatura a lo largo del año en la Terminal Marítima de Dos Bocas Tabasco; son importantes, entre el día y la noche.

Por lo tanto el efecto de temperatura debido a un gradiente de temperatura en la pared externa formada por elementos prefabricados puede generar un momento  $M_{\nu}$  y por lo tanto esfuerzos de tensión (se anexa a la presente tesis, la correspondiente referencia de la teoría y método de cálculo).

Se consideró una variación de temperatura de  $15^{\circ} \text{C}$



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



$$\Delta\theta = 15^{\circ} C; \quad \Delta t = 8^{\circ} C \text{ (Gradiente de temperatura).}$$

Esta situación se presenta cuando la temperatura en una cara de la pared del anillo de cimentación es mayor con respecto a la otra, un Gradiente de Temperatura se desarrollará a través del espesor de la pared del anillo de cimentación. La extensión de las fibras en el lado con temperatura más elevada estará restringida por el lado de temperatura más baja, se puede asumir inicialmente que los esfuerzos y las deformaciones son linealmente proporcionales, lo cual debe incluir una serie de limitaciones. Es también necesario considerar que la redistribución plástica probablemente reduciría los esfuerzos a la mitad con respecto a los calculados sobre la base de un Comportamiento Elástico. Habrá esfuerzos de tensión y de compresión complementarios y opuestos a ambos lados de las caras de la pared del tanque. Los esfuerzos de tensión en la cara con temperatura más baja son los más importantes para el caso de los tanques, ya que este valor debe ser agregado en forma apropiada a los esfuerzos inducidos bajo condiciones de tanque vacío y tanque lleno, al esfuerzo de tensión neto horizontal del anillo, (tensión circunferencial).

Este gradiente de temperatura, se desarrollará cuando haya una diferencia de temperatura a cada lado de la pared del anillo del tanque, esto influye en la transferencia de calor a través del espesor del anillo de cimentación del tanque, lo cual es controlado por la capacidad de la superficie de cada lado del anillo del tanque, ya sea para absorber o desechar el calor en la periferia de ambos extremos de la pared del anillo de cimentación, existiendo un gradiente de temperatura del espesor de este anillo de cimentación. La variación de la transferencia de calor entre cada medio existente a cada lado del anillo de cimentación hacia el interior del espesor del anillo de cimentación del tanque estará afectada por una serie de variables bastante complejas de evaluar, debido a las condiciones que las rodean.

Esfuerzo de tensión en el concreto:

$$\sigma_h = \frac{\alpha \Delta t E}{2(1 - \gamma)} = \frac{10^{-5} * 8.08 * 1.21 * 10^5}{2\left(1 - \frac{1}{6}\right)} = 5.90 \text{ kg } cm^2.$$

$$\sigma_h = 5.90 \text{ kg } cm^2$$

NOTA: Se anexó, (como factor de seguridad), a esta posible tensión por efectos de temperatura una compresión residual de  $7.0 \text{ kg } cm^2$ . Lo cual nos da que se debe colocar  $12.9 \text{ kg } cm^2$  de compresión adicional a los efectos de empuje activo que se presenten en la reestructuración del anillo de cimentación existente y sus nuevas condiciones de operación.



**Efectos de la temperatura**

Datos:

$\Delta\theta = 15.00$  °C  
 $\Delta t = 8.08$  °C (gradiente)  
 $F_{\text{ruptura nominal}} = 70.00$  Ton

Compresión residual que se anexara (como factor de seguridad) =  $7.00$  (kg / cm<sup>2</sup>)

Altura del Elemento Prefabricado (m)	Esfuerzo por Temperatura (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo por Compresión Residual (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Total Necesario (kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza Total (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	74.14	12.87	87.00	87.00
0.50	78.35	12.87	91.21	91.21
1.00	82.55	12.87	95.42	95.42
1.50	86.76	12.87	99.63	99.63
2.00	100.53	12.87	114.68	114.68
			$\Sigma =$	487.94

No de cables = 12 Cables 12  $\phi$  7.0 mm.

**A. Efectos de los elementos mecánicos en la pared externa formada por Elementos Prefabricados.**

- 1.-) Al tensar los cables de presfuerzo, estos se reparten en la pared externa de los elementos prefabricados según una distribución que asemeja un empuje hidrostático exterior, se generan elementos mecánicos de signo que convencionalmente llamaremos positivos.
- 2.-) Al llenar el tanque aparecerán elementos mecánicos negativos de magnitud tal que será equilibrada por los del inciso 1.
- 3.-) Para estos valores de momento y cortante en los elementos prefabricados de la pared del tanque se diseñaron los aceros, considerando una máxima tensión bajo esfuerzos de servicio de:

- 20 kg/cm<sup>2</sup> - Para el concreto.
- 1100 kg/cm<sup>2</sup> - Para el acero.



## VI.5 MODELO DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN EMPLEANDO EL PROGRAMA DE DISEÑO SAP 2000.

En la etapa de análisis se realiza la determinación de la respuesta estructural, o sea los efectos que las acciones de diseño producen en la estructura. Estos efectos se describen en términos de fuerzas internas, esfuerzos, flechas y deformaciones. En el contexto de los métodos de diseño por estado límite, el análisis se refiere a la determinación de las fuerzas internas, esfuerzos, flechas y deformaciones. En el contexto de los métodos de diseño por estado límite, el análisis se refiere a la determinación de las fuerzas internas actuantes en las diferentes secciones de la estructura para su posterior comparación con las fuerzas internas resistentes, a fin de verificar si se cuenta con la seguridad adecuada. Ocasionalmente, se hace necesario obtener como producto del análisis las deformaciones verticales y horizontales de algunos elementos estructurales para su comparación con los valores que definen estados límite de servicio.

El análisis constituye la etapa más científica del proceso de diseño, aquella en que se emplean métodos de la mecánica estructural que implican el uso de herramienta matemáticas frecuentemente muy refinadas. El análisis estructural ha tenido una evolución extraordinaria en las últimas décadas con el desarrollo los métodos numéricos que resuelven los problemas matemáticos mediante procedimientos iterativos con los que se puede llegar al nivel de precisión que se desee mediante la ejecución del numero necesario de ciclos de iteración. Con estos procedimientos se puede analizar prácticamente cualquier tipo de estructura, por más compleja que ésta sea, recurriendo al empleo de programas de cómputo, con los que pueden realizarse en poco tiempo y a un costo razonable los millones de operaciones numéricas que una solución de este tipo implica.

Es por eso que esta parte del capítulo la dedicamos al empleo del programa de cómputo SAP-2000. Donde se creó el mismo modelo geométrico de la estructura y las condiciones de carga bajo la cual está actuando el nuevo anillo de cimentación.

No debe perderse de vista que lo que se está manejando en esta etapa son modelos analíticos de la estructura. Como se ha dicho, la etapa de análisis puede considerarse dividida en la identificación del modelo analítico que representa a la estructura y a las acciones que sobre ésta se ejercen, y en una segunda parte que consiste en la solución del problema analítico así planteado. Por muy precisa que sea la solución analítica, sus resultados sólo serán indicativos de la respuesta de la estructura real en la medida en que el modelo analizado represente fielmente sus propiedades esenciales.

El conocimiento de las teorías del análisis estructural y de los métodos de análisis para las principales formas estructurales es básico e indispensable para el proyectista de estructuras; su tratamiento es tema de textos especializados. No suele encontrarse sin embargo, en estos textos una evaluación crítica de la validez de la aplicación de dichos métodos a diferentes tipos de estructuras reales ni recomendaciones sobre como idealizar éstas; o bien de cómo derivar de una construcción compleja un esquema conceptual que sea representativo de su respuesta ante distintas acciones. Por estas razones se dedicará parte de este capítulo a un examen crítico de los problemas de modelación de la estructura.



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



- A) En el prediseño, cuando debe hacer una determinación inicial burda de las dimensiones de los diferentes elementos estructurales, sea para comparar diferentes soluciones preliminares, como punto de partida para el análisis más formal. Debe recordarse que es necesario conocer desde las primeras etapas del proceso de diseño las características esenciales de la estructura. Se requieren las dimensiones de la estructura para calcular su peso propio y determinar las acciones debidas a carga muerta. En estructuras hiperestáticas, como son la gran mayoría, es necesario conocer las propiedades mecánicas y geométricas de los elementos estructurales para determinar las rigideces que intervienen en la definición del modelo analítico. Aun el ingeniero experimentado necesita con frecuencia recurrir a un análisis aproximado para proponer dimensiones preliminares que sean suficientemente cercanas a las que resultarán finalmente del proceso de diseño, de manera que no se haga necesario realizar nuevamente todo el proceso con valores corregidos.
- B) En la comprobación de los resultados de métodos refinados. La posibilidad de errores en los métodos de análisis refinados no es nada remota y su detección puede ser difícil. Cuando el análisis se hace mediante un programa de cómputo, se requiere la preparación de una gran cantidad de datos de entrada relativos a las propiedades del modelo y la interpretación de un volumen de resultados. Se cometen errores en ambas etapas y es muy conveniente contar con una solución paralela que, aun si poco precisa, permita poner en evidencia rápidamente discrepancias significativas. La misma situación se presenta cuando el análisis se realiza con métodos manuales que implican la manipulación de una gran cantidad de números y operaciones, a lo largo de los cuales es fácil cometer errores, especialmente de signo y de punto decimal. El manejo de los métodos aproximados de análisis es particularmente útil para los supervisores y responsables de proyecto donde las grandes oficinas de diseño deben verificar los resultados de los análisis realizados generalmente por ingenieros menos experimentados.

Por estas razones anteriores, se dará una idea general del empleo de la computadora en la creación de este tipo de modelos específicamente en lo que se refiere al método del elemento finito que emplea el programa de cómputo SAP-2000. No se pretende negar la necesidad de realizar análisis con los métodos empleados tradicionalmente para la mayoría de las estructuras con las que se enfrenta el proyectista, sino recalcar la importancia de que éste sepa manejar con soltura procedimientos de verificación y prediseño.

Lo que está entrando en desuso son un grupo de métodos de nivel de refinamiento intermedio, ideados para minimizar la labor numérica involucrada en las iteraciones necesarias para resolver las ecuaciones que resultan del planteamiento matemático del problema. Estos métodos, que implican muchas horas de trabajo numérico con calculadora de escritorio, han sido desplazados por los más refinados ideales para el uso de computadoras.

Esto quiere decir que el ingeniero nunca dejara de utilizar los métodos manuales para por lo menos verificar que los resultados proporcionados por el programa de cómputo, está proporcionando los resultados adecuados y sino para tomar las medidas correctivas pertinentes, el empleo de las computadoras se ha vuelto muy común en el diseño de estructuras ya sea de concreto o acero, es impresionante como han desarrollado diversos programas de cómputo cada uno empleando diversos métodos de análisis como el Etabs, Sap-



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



2000, Arkitec entre otros programas que se han venido desarrollando en los últimos años y que están empezando a tener auge en México.

### VI.5.1 DETERMINACIÓN DEL MODELO ANALÍTICO DE LA ESTRUCTURA.

#### VI.5.1.2 INTEGRACIÓN DEL MODELO ANALÍTICO.

El modelo estructural con el cual se realiza el análisis está integrado por las siguientes partes:

- a) **Modelo geométrico.** Este es un esquema que representa las principales características geométricas de la estructura. Su determinación implica identificar la parte de la construcción que desarrolla funciones estructurales y eliminar la parte que no influye significativamente en la respuesta de la estructura. Requiere representar la estructura por medio de un arreglo de componentes estructurales básicos, cuyo comportamiento estructural puede conocerse (barras, placas, resortes, arcos, cascarones, etc.) y definir las propiedades geométricas "equivalentes" de estos componentes básicos.
- b) **Modelo de las condiciones de continuidad en las fronteras.** Debe de establecerse cómo está cada elemento conectado a sus adyacentes (si a través de un nudo rígido o permitiendo algún tipo de deformación relativa por ejemplo) y cuáles son las condiciones de apoyo de la estructura (empotramiento, apoyo libre, etc.)
- c) **Modelo de comportamiento de los materiales.** Debe suponerse una relación acción - respuesta (o esfuerzo - deformación) del material que compone la estructura. Generalmente se hace la hipótesis de comportamiento elástico lineal, aunque ésta tiene muchas limitaciones.

#### VI.5.1.3 MODELO GEOMÉTRICO.

En el programa de cómputo Sap-2000; la integración de los modelos geométricos no es muy complicado puesto que se basa en los principios que utiliza el programa de dibujo autocad aunque mucho más sencillo en el Sap-2000. Se comienza definiendo las unidades en las que se trabajará la geometría del modelo; el Sap-2000 puede hacer conversión de unidades en cualquier momento, basta con seleccionar las unidades en las que se quieran trabajar antes de solicitar algún valor. Esto se hace desde la barra de estado que muestra el sap-2000, mostrada en la Fig. VI.6. Después en el menú FILE seleccione **New Model from template...** Fig. VI.7; Esto desplegará una ventana donde se mostrarán diversos modelos o plantillas que pueden ser generados basándose en la geometría de la estructura para nuestro caso se eligió el icono que muestra la figura de un tanque, Fig. VI.8. Esto abrirá una nueva ventana de diálogo donde se darán los datos específicos del anillo de cimentación como el número de segmentos del anillo, la altura del anillo, cuántas secciones se dividirá la altura del muro para obtener resultados mucho más precisos Fig. VI.9, cabe mencionar que el método del elemento finito proporciona resultados más finos cuando dividimos una sección en varias secciones esto para realizar un buen análisis detallado de la estructura y observar los esfuerzos reales en la estructura.

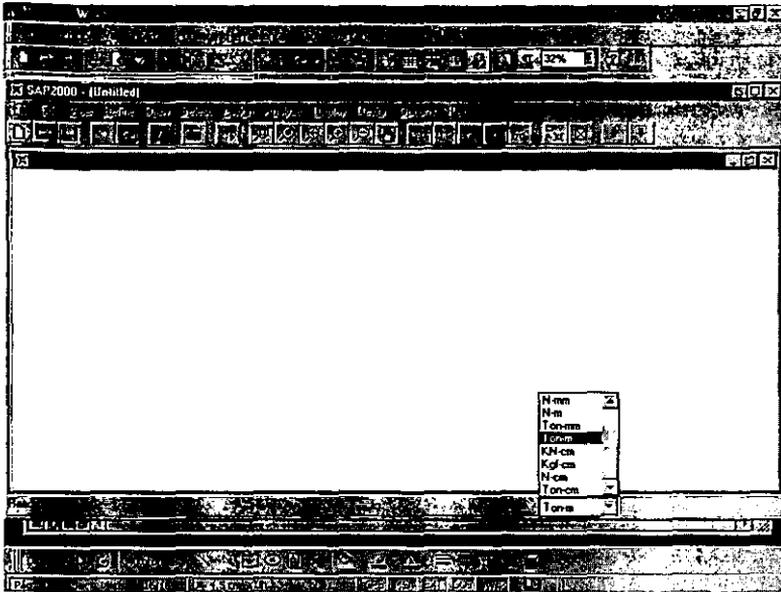
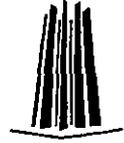


Fig. VI.6 Definición de unidades.

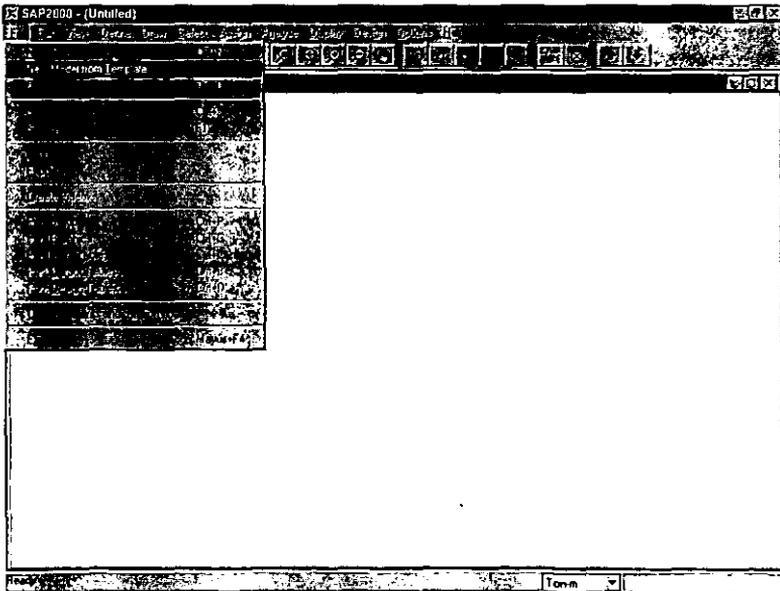


Fig. VI.7 Menú file del sap 2000.

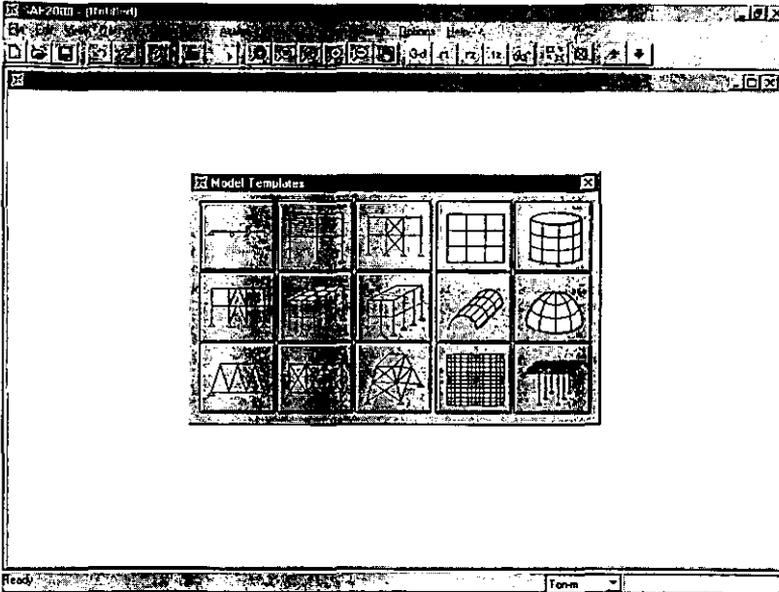


Fig. VI.8 Elección del tipo de plantilla.

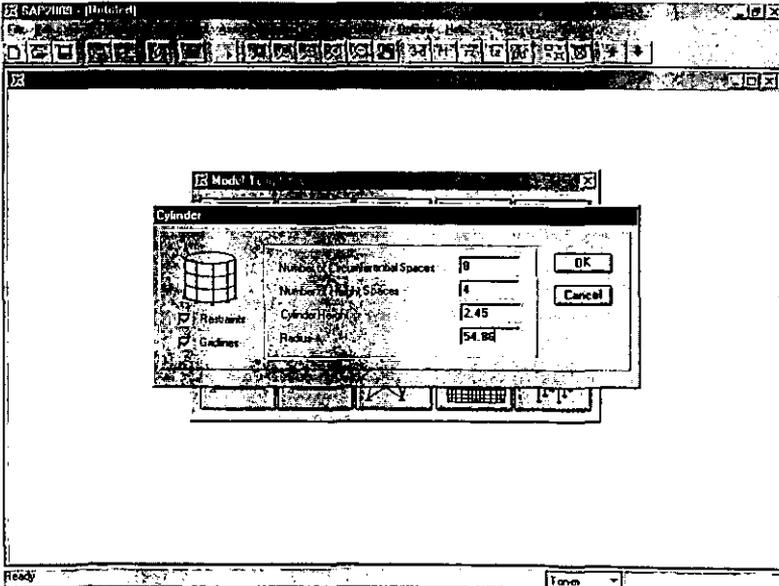


Fig. VI.8 Integración del modelo geométrico.



Ahora mostrara el Sap-2000 el modelo geométrico creado Fig. VI.9. En este modelo geométrico se idealizo la geometría de la estructura en forma real.

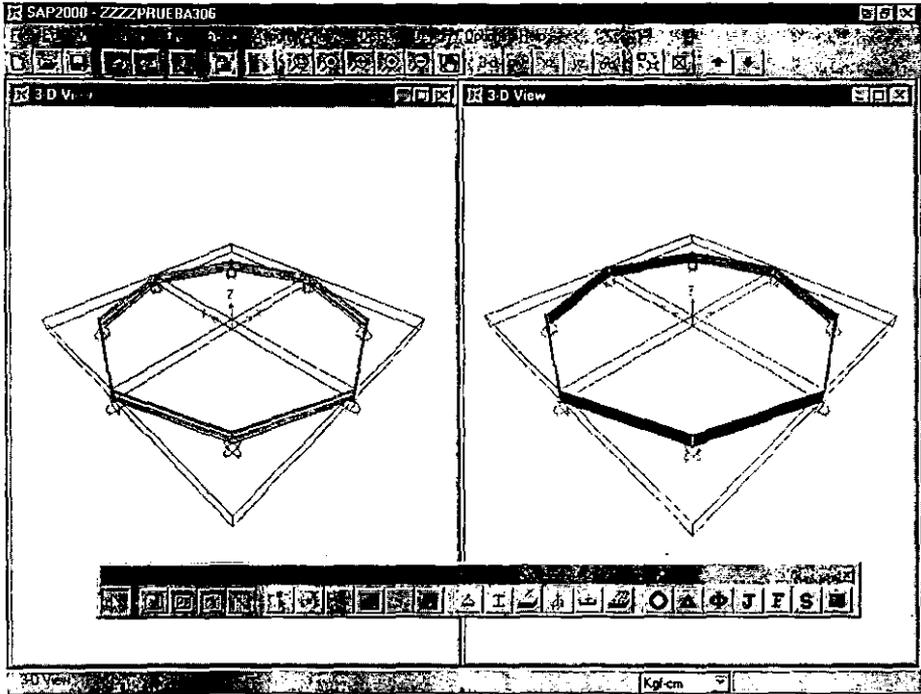


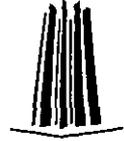
Fig. VI.9 Presentación del modelo en el sap-2000

A partir de este modelo generado por los datos proporcionados al Sap-2000 se asignaran las tensiones circunferenciales, la carga de presfuerzo y se analizara los esfuerzos por temperatura que puedan generarse por los efectos del gradiente de temperatura que se registra en la sección transversal del muro de concreto.

Del análisis del modelo geométrico antes realizado en el Sap-2000 se obtuvieron los resultados mostrados en las siguientes tablas de resultados de los esfuerzos generados por las diversas cargas con las cuales se analizo la estructura.

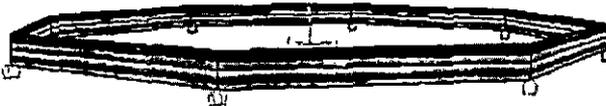


**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



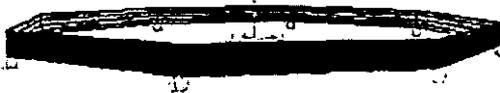
**PEMEX EXPLORACION Y PRODUCCION  
REESTRUCTURACION DEL TANQUE TV-2002.**

**ESFUERZOS DE TENSION CIRCUNFERENCIAL DEBIDOS A LA PRESIÓN EJERCIDA  
POR EL FLUIDO CON SISMO. (TANQUE LLENO),**



**PEMEX EXPLORACION Y PRODUCCION  
REESTRUCTURACION DEL TANQUE TV-2002.**

**ESFUERZOS DE TENSION CIRCUNFERENCIAL DEBIDOS AL GRADIENTE DE  
TEMPERATURA, EN LAS PAREDES DE LOS ANILLOS DE CIMENTACIÓN**





**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



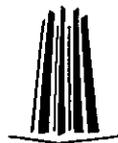
**REESTRUCTURACION DEL TANQUE TV-2002.**

**ESFUERZOS DE COMPRESION CIRCUNFERENCIAL DEBIDOS AL ACERO  
DE PRESFUERZO EN LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS.**

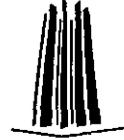




**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



**TEMA VII: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.**



## VII.1 INTRODUCCIÓN:

El Concreto presforzado puede producirse en forma muy parecida a la del concreto armado de alta resistencia, ya sea colado en la obra o precolado. El presforzado ofrece ciertas ventajas para los elementos precolados, pues hay que transportarlos desde la cama de colado hasta su posición final y manejarlos cierto número de veces. Los elementos presforzados son más ligeros que los elementos reforzados de la misma capacidad, por que suele usar concreto de alta resistencia y porque la totalidad de su sección transversal es efectiva. Además, el presforzado suele contrarrestar los esfuerzos durante el manejo. Si un elemento presforzado soporta la totalidad del presfuerzo y del manejo, la posibilidad de que falle con las cargas de servicio es muy pequeña.

Por lo anterior el procedimiento constructivo se vuelve un aspecto que se debe cuidar en obra dado que es durante este proceso es donde las obras pueden no cumplir con las condiciones para las cuales fueron diseñadas, el no tomar en cuenta las indicaciones y recomendaciones del ingeniero que diseño la estructura, puede ser la diferencia entre que la estructura cumpla con el objetivo del diseño o no, dado que el ingeniero realiza el diseño tomando en cuenta estas misma y las recomendaciones se plantean para que el constructor las tome en cuenta al momento de llevar acabo la ejecución de la obra. Todo esto dependiendo de la factibilidad de llevarlas acabo y bajo la responsabilidad del mismo.

El método constructivo para la reestructuración de la pared lateral del anillo de cimentación del tanque TV-2002, fue también propuesto en base al sistema de presfuerzo que se recomienda emplear en la misma. Pero el contratista pudo haber empleado otro sistema y adecuarlo a las condiciones que se plantearon en el mismo. Para el caso de la reestructuración del anillo de cimentación se hizo la consideración de que el sistema de postensado ha emplear sería el Sistema Freyssinet.

Las recomendaciones para este tipo de Método constructivo que se dieron para dicha reestructuración, son las que se mencionan en este capítulo, las cuales algunas se mencionaron en el tema IV y que son inamovibles para cuando se plantea la construcción de un nuevo anillo de cimentación o como en este caso la reestructuración del anillo de cimentación del tanque TV-2002. En la Terminal Marítima de Dos Bocas, Tabasco. Esta parte del trabajo se conoció como las recomendaciones generales de obra.

Otra parte de las recomendaciones hechas en esta parte del trabajo, se refieren prácticamente a la forma de realizar los trabajos en campo, la secuencia de los trabajos, recomendaciones en cuanto a la fijación de la cimbra para los elementos prefabricados, la fabricación de los cables de presfuerzo, así como su colocación, el colado de los elementos prefabricados y de los elementos colados en sitio, tensado de los cables, además de los parámetros que se tienen como referencia para que los trabajos se realicen de la mejor forma posible.



## VII.2 CONSIDERACIONES GENERALES.

El procedimiento par inducir los esfuerzos de recompresión a una estructura ó elemento de concreto después de colar, para obtener la resistencia requerida de un elemento postensado, puede, en principio considerarse general y por lo menos independiente de los sistemas, que varían tanto en la forma de sujetar el cable durante el tensado como en la manera de transferir de forma definitiva los esfuerzos logrados en el concreto, empleando para ello un anclaje de diseño especial. Así mismo varía también en cuanto al tipo de sección del acero de alta resistencia, que puede ser redondo liso de poco diámetro y barras gruesas ó alambres corrugados de sección oval, de esto se desprende que le acero de sección delgada es más eficiente que las barras gruesas. Mientras se tensa se permite alcanzar un 80% del valor de ruptura, que es más elevado cuando el diámetro del acero es menor, es decir inversamente proporcional.

Las operaciones del presforzado se pueden generalizar así:

1°.- Durante el colado se debe estar corriendo los cables constantemente para que no se peguen por la penetración del concreto en el ducto; para evitar esto, se utiliza el sistema de lavado con agua durante el colado, para arrastrar la lechada, por lo cual debe dejarse un drenaje en las partes bajas del ducto, con el fin de drenar el producto de la limpieza.

2°.- Se conocerá la fuerza de tensado mediante el estudio de los diagramas de esfuerzo, con objeto de conocer las fuerzas de gateado para los cables, teniendo mucho cuidado en los valores de fricción y en la caída de tensión necesaria al final del tensado. En los diagramas de esfuerzos de cada cable, se anotan indistintamente fuerzas totales de tensión ó bien de esfuerzos unitarios; estos últimos, multiplicados por el área del cable, representan valores iguales que los primeros.

3°.- Conocer la curva de esfuerzo deformación de acero por emplear y calcular con ella y con los datos de proyecto (longitudes del cable y tensiones a lo largo del mismo), las elongaciones por lograr, etc.

4°.- Conocer el funcionamiento del gato, y el área del pistón que recibirá la presión por aplicar durante el gateado y por medio de la bomba de inyección, regulada con un manómetro. Investigar el porcentaje de pérdidas, la eficiencia del gato, con respecto a la capacidad teórica determinada con los datos empleados, lo que por lo regular lo informa el proveedor del equipo requerido.

Con estos datos se formara un cuadro de equivalencias, en el cual se anotará la correspondencia, en toneladas de cada lectura en el manómetro, es decir la fuerza que desarrolla el gato cuando el manómetro indique esfuerzos, esto es a fin de conocer todos los esfuerzos en el proceso de tensado del cable.

5°.- Purgar el gato para expulsar burbujas de aire, basura, etc.; si existe aire, este es comprimido por el aceite, no lográndose la carrera del pistón ni la fuerza del gateo necesaria, ya que le volumen de aceite inyectado a la cámara de compresión, del gato, esta en razón directa con la longitud de salida del pistón.



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



6°.- Verificar o calibrar los manómetros, operación que se efectúa generalmente en el laboratorio. Para llevar a cabo esta verificación se comparan los manómetros por emplear en la obra con un manómetro patrón, o bien con una prensa ad hoc, y se hace una tabla correspondiente de lecturas, así cuando sea preciso aplicar un esfuerzo, se consultara el cuadro correspondiente de verificación, con el fin de ver la lectura que deba señalar el manómetro verificado, la cual deberá ser si no la misma por lo menos similar (ejemplo si se aplica  $110 \text{ kg/cm}^2$  se podría leer  $112 \text{ kg/cm}^2$ ).

Otra operación llamada calibración de manómetros, consiste en corregir los efectos de los manómetros de campo, a fin de que sus lecturas correspondan exactamente a las indicadas en el cuadrante.

Comprobar que el cable se deslice en el ducto libremente, con el fin de que la tensión se distribuya a todo lo largo, para lo cual se golpea el cable en un extremo, debiendo salir por el otro lado, o viceversa; en caso de que no corra, se conectara el gato a un extremo para romper el taponamiento que pueda existir en el ducto, lo que con este procedimiento llegan a fracturarse y así permiten el deslizamiento del cable anteriormente anclado. Cuando esto no es posible se localiza el lugar del tapón, por el efecto del alargamiento que sufre el cable con relación a la presión aplicada, con esto se deduce la longitud estirada de éste y por consiguiente el sitio del taponamiento con bastante precisión.

Cuando se hacen ranuras al concreto para demoler el tapón, se hace con mayor exactitud, y con cuidado de no dañar el cable, ya que es muy sensible.

Las perforaciones que se hacen en el concreto, se tapan posteriormente al tensado, cubriendo la parte demolida con grava gruesa, sellada en su exterior con yeso; la lechada inyectada a presión penetra llenando las oquedades de la grava, logrando así un sello que no puede desprenderse con esto se tiene continuidad con la mezcla inyectada.

La localización de la magnitud de las ranuras deben hacerse concienzudamente a fin de que no se debilite la capacidad del elemento.

8°.- Tensado del cable: si se tensa un solo lado, se aplica primero una presión manométrica (que debe corresponder a una fuerza de gateo), hecho por el cual se marcan algunos alambres, con la mayor exactitud posible, distancias arbitrarias para medir alargamientos, teniendo como referencia el elemento.

A continuación se eleva la presión del manómetro y se mide la elongación y así sucesivamente hasta llegar a la presión determinada para lograr los esfuerzos calculados (2° punto), lo cual traducida en toneladas; no debe exceder el límite elástico, que se verifica dividiendo la fuerza entre el área del cable.

El alargamiento inicial no se registra, esto es porque el cable tiene un acomodamiento, verificándose un alargamiento aparente mucho mayor que el que corresponde al esfuerzo aplicado.

Si al verificar el alargamiento teórico no se obtuvo a la presión prevista, las fricciones son mayores que las calculadas. En este caso será necesario aumentar el presfuerzo sobrepasando



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



quizás el límite elástico convencional, sin que esta fuerza exceda el 85% del esfuerzo de ruptura, hecho esto se debe soltar el cable logrando aumentar el valor del esfuerzo límite, puesto que el acero quedó con deformación permanente.

Así al tensar el cable nuevamente, el esfuerzo para lograr la fuerza necesaria de presfuerzo deberá quedar abajo del límite elástico, estas fricciones por lo general no se comprueban se han determinado en base a la practica por las distintas firmas de los sistemas de postensado. Para verificar las fricciones reales (no siendo lo usual, pero si lo deseable) se emplean dinamómetros que registran la fuerza aplicada en un extremo (se tiene que tensar de un solo lado), con lo que el dinamómetro del lado opuesto registrara la fuerza del cable en el extremo correspondiente. La diferencia de las fuerzas da el valor real de la fricción entre ambos extremos, si estas difieren de las calculadas deberá hacerse un estudio del caso y se consultara a un técnico con experiencia.

9°.- Cuando por necesidad del proyecto se necesite tensar ambos lados, se procede de la siguiente forma, semejante a la antes indicada, es decir instalando gatos de tensado en ambos extremos y aplicando al mismo tiempo fuerzas de tensado. En este caso (gracia a que la aplicación de la fuerza no es necesariamente uniforme, ya que los gatos se operan independientes no se obtendrá aisladamente en cada extremo, la recta esfuerzo deformación lograda al tensar un solo lado: Esta se lograría con gatos sincronizados, sin embargo sumando a igual fuerza de gateado los alargamientos de uno y otro extremo del cable, si se obtiene dicha recta.

Es usual, seguir este procedimiento para efectuar el tensado con gatos en ambos extremos: Si al aplicar  $100 \text{ kg/cm}^2$  en cada extremo y el alargamiento es sensiblemente diferente, digamos 28 mm y 36 mm, al aumentar la presión en ambos lados a  $150 \text{ kg/cm}^2$  se tendrá que aumentar del lado de 28 mm, sosteniendo el otro extremo hasta que sean mas o menos los mismos alargamientos, no debiendo aplicarse distintas fuerzas de tensado en los extremos. Es muy conveniente llevar un control muy específico en estas tareas que son demasiado delicadas.

10°.- Al final la distribución de las tensiones es variable, siendo menor en el centro y mayor en los extremos, es preciso reducir las tensiones máximas sin afectar las exigidas por el proyecto.

Por lo regular los sistemas de anclaje prevén cierto corrimiento automático hacia dentro del elemento, en una caída de tensión, esta no se propaga por igual por el efecto de la fricción que obra en sentido inverso de como funcionó el cable durante el tensado con lo que los esfuerzos del cable en las zonas donde deben de ser máximos por razones del proyecto (después de las operaciones de tensado) no se abaten. Esto produciría la capacidad de trabajo de la trabe en su estado final de tensado.

El corrimiento del cable en el interior de la trabe varía de 1 a 8 mm según el sistema de presforzado, el cual es el determinante en el diseño.

Son muy recomendables los sistemas que permiten los mayores corrimientos, pues con ellos es posible trabajar provisionalmente el acero a mayores esfuerzos, lo cual deja cierta economía, porque dichos corrimientos garantizan una considerable caída de tensión de los esfuerzos del cable, en la zona próxima a los anclajes donde los esfuerzos de tensión son máximos y que la



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



fricción obliga a trabajar al acero a mayores esfuerzos que los necesarios en el centro de la trabe (refiriéndose a una trabe simplemente apoyada).

En sistemas de anclajes rígidos, que no permiten corrimiento al cable, es usual soltarlo bajando la presión de la bomba de inyectado del gato de tensado. De tal manera que se provoca la caída de tensión prevista con anterioridad, aunque es menester prevenir que los resultados de esta operación son dudosos ya que durante el anclaje no es garantizable la caída de tensión. Para tener mayor seguridad en la distribución de esfuerzos se hace necesario, entonces, trabajar el acero a menores esfuerzos, por lo que se precisará utilizarlo en mayor cantidad. Es conveniente mencionar que es mejor estirar aceros estirados en frío, a los estirados en caliente, ya que estos últimos tienen mayor propensión a la falla por ruptura plana (que difiere de la falla por tensión, donde antes de romperse el cable, su sección se reduce, la ruptura presenta un cuello o estrangulamiento). Además debe tenerse presente que al efectuar alguna soldadura no se debe realizar, en ningún caso, en el acero de alta resistencia.

11°.- Se procede con la mayor brevedad posible (mínimo 8 hrs. para permitir reacomodos en el acero), a inyectar lechada, que sirve para rellenar el espacio entre alambres y ductos, de lo contrario pueden corroerse los cables por oxidación, fenómeno que cristaliza el acero haciéndolo perder resistencia. En los aceros tensados, por estarlo, este efecto es más sensible que en el acero sin tensar.

Para efectuar dicho inyectado con la bomba de inyección, se introduce agua con el fin de limpiar el ducto y el cable. Después se inyecta una mezcla de agua cemento, con un aditivo para hacer fluida la mezcla; este aditivo deberá ser expansor para evitar las contracciones de fraguado y así obtener una mayor adherencia.

Una vez que la lechada sale espesa y cerciorándose de que no arrastra burbujas, se obtura el orificio de salida y se continúa con la inyección hasta llenar completamente el ducto, con lo cual se procede a sellar la entrada.

Esta operación tiene particular interés en el caso de cables de postensado que se anclan por simple adherencia.

Las consideraciones antes descritas son para cualquier sistema de presforzado que se emplee en una construcción, ya que todos los sistemas tienen el mismo principio, lo único que varía es el gato (la acción ejercida por éste) y los sistemas de anclaje.



### VII.3 SISTEMA DE PRESFORZADO FREYSSINET.

Este sistema de presforzado, se propuso emplear para el postensado de los elementos prefabricados del nuevo anillo de cimentación del tanque TV-2002. Por lo que se describirá como es su funcionamiento. Una de las partes más importantes son los cables, para este sistema se utiliza un haz de alambre de acero duro, de alta resistencia dispuestos en grupos de 8, 10, 12, 18 de 5 mm de  $\Phi$ , o 12 de 7 mm de  $\Phi$ , éstos están acomodados paralelamente al rededor de un alma de acero ordinario, llamada resorte central, a la vez el cable, así constituido, se ata exteriormente con amarres de alambre a cada metro. El resorte central es de acero ordinario y se estira para aumentar su paso, tienen como objeto facilitar la fabricación del cable, manteniendo los cables en su lugar, evitando cruzamientos y no interferir en el inyectado posterior de lechada en el ducto.

Para facilitar el suministro de alambres existente un ordenador llamado peine auxiliar. Así una vez que el cable ha sido manufacturado se introduce en un ducto de lámina, el que por lo regular se produce en la obra, esta lámina debe ser acanalada para proporcionarle rigidez y no se aplaste (el acanalado debe ser en sentido transversal a su mayor dimensión), durante su manejo o por el peso del concreto. Al realizar esta operación se prosigue a colocar y acomodar estos ductos dentro de los moldes del elemento (que por lo mismo son metálicos) en donde previamente se armaron los estribos de acero ordinario, para realizar esto se deja sin cimbrar una de las caras laterales del elemento.

Para lograr la transferencia del esfuerzo al concreto, sin que éste rebaje su capacidad de trabajo y se sufra un agrietamiento inadmisibles, se precisa disponer de una cabeza de anclaje, en nuestro caso un cono hembra formado por un bloque de sección cilíndrica, con un agujero tronco cónico en su centro, esta pieza, durante su fabricación, fue zunchada en su interior con acero de alta resistencia a paso y diámetro pequeño, además cuenta con ondulaciones en sus superficies exterior e interior, con el fin de empotrarse en el elemento y ofrecerle la resistencia al cono macho durante su entrada.

El cono hembra está orientado (en su sección menor) hacia el interior del elemento y mediante el pequeño tubo de que se dispone cada uno se recibe el ducto que contiene el cable. Se liga el cono con el ducto del cable a manera que embonen y se sujetan con cinta aislante para impedir su separación y además evita la introducción del concreto en el empate descrito, durante el colado del elemento.

El cable atraviesa el cono hembra por su perforación central tronco cónico y a continuación un cono macho es colocado a manera de que se aprisionen los alambres entre ambos conos. Este cono macho lleva en su interior un número de estrias igual al de los alambres del cable, para permitir la salida de éstos a medida de que se puedan agarrar con el gato de tensado. Además está provisto a su vez, este cono, de un tubo central, el cual permite la inyección de la lechada una vez que el cable ha sido debidamente tensado y anclado.

Cuando el proyecto lo permita el tensado se hará de un solo lado, dejando un extremo fijo; este fijamiento se hará mediante un mango de madera maciza, esto es golpeando el cono macho hacia el interior del cono hembra, hasta que el primero sobresalga unos 15 mm de la superficie del cono hembra.



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



Durante el tensado, el cable se irá corriendo de este extremo hacia el interior del elemento, llegándose a fijar completamente al final del tensado; estos corrimientos se deben registrar durante el tensado y restarse de los alargamientos que se observen en el extremo opuesto, donde opera el gato para así determinar las elongaciones efectivas.

En extremo opuesto que será el anclaje móvil, primero se retira un tramo de resorte central, que deberá cortarse a 1.20 m de los extremos del cable, para permitir las operaciones de tensado.

A continuación se instala el gato, éste está ranurado en el chasis a fin de permitir el paso de los alambres del cable, estos agrupados en partes, entran en unos salientes del cuerpo del pistón de tensado, siendo sujetados con cuñas de sección trapezoidal y bordes acanalados que por lo mismo se ajustan a las salientes del pistón del gato y a la sección de los propios alambres. Estas cuñas son introducidas a golpe de martillo.

Para hacer más explícito, nos guiaremos con la figura del gato de doble acción "Freyssinet", así la base (11) del gato, se sienta sobre una pieza llamada corona de apoyo (14), la cual esta en contacto directo con el cono hembra (7). Los alambres (1) son sujetos al cuerpo del pistón del gato (2) con unas cuñas. Al inyectar agua limpia y aceite soluble en tubo de entrada (4), el pistón (2) es desplazado en el sentido opuesto al elemento, arrastrando consigo los alambres (1) que a él fueron anclados.

Las tuberías de alimentación que provienen de la bomba de inyectado y conectan con la entrada (4), son de alta presión (llegan a ser hasta de  $450 \text{ kg/cm}^2$ ). La bomba de inyectado consiste básicamente en un tanque metálico y dos pistones concéntricos que se operan a mano por medio de una palanca. Dispone esta bomba de un manómetro acoplado para medir presiones y una válvula que sirve para mantener o aliviar la presión del gato. Para presiones de  $50 \text{ kg/cm}^2$ , debe utilizarse el pistón grande y para presiones altas debe ser empleado el pistón chico.

El bombeo se puede hacer con un hombre operando la palanca y a presiones del orden de los  $300 \text{ kg/cm}^2$ , conviene que sea manejada por dos hombres.

El alargamiento total del pistón se logra en etapas, elevando la presión aplicada al gato, en incrementos de  $50 \text{ kg/cm}^2$ , con el fin de llevar un control de los alargamientos respecto a los diferentes esfuerzos de tensión y así poder hacer las comprobaciones correspondientes.

La carrera o corrimiento del cable es tal, que no es necesario recibir el cable, provisionalmente durante su tensado, por lo que se continuo con el tensado hasta obtener la elongación prevista.

Así en la figura, compárense la primera y segunda posición del gato de tensado, se nota que la carrera de tensado es igual a la elongación lograda.

A continuación, se cierra la válvula que regula la entrada (4), inyectando ahora agua en la entrada (9) para operar el pistón (13) y acuar el cono macho, que entrara en el cono hembra oprimiendo firmemente los alambres contra este.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



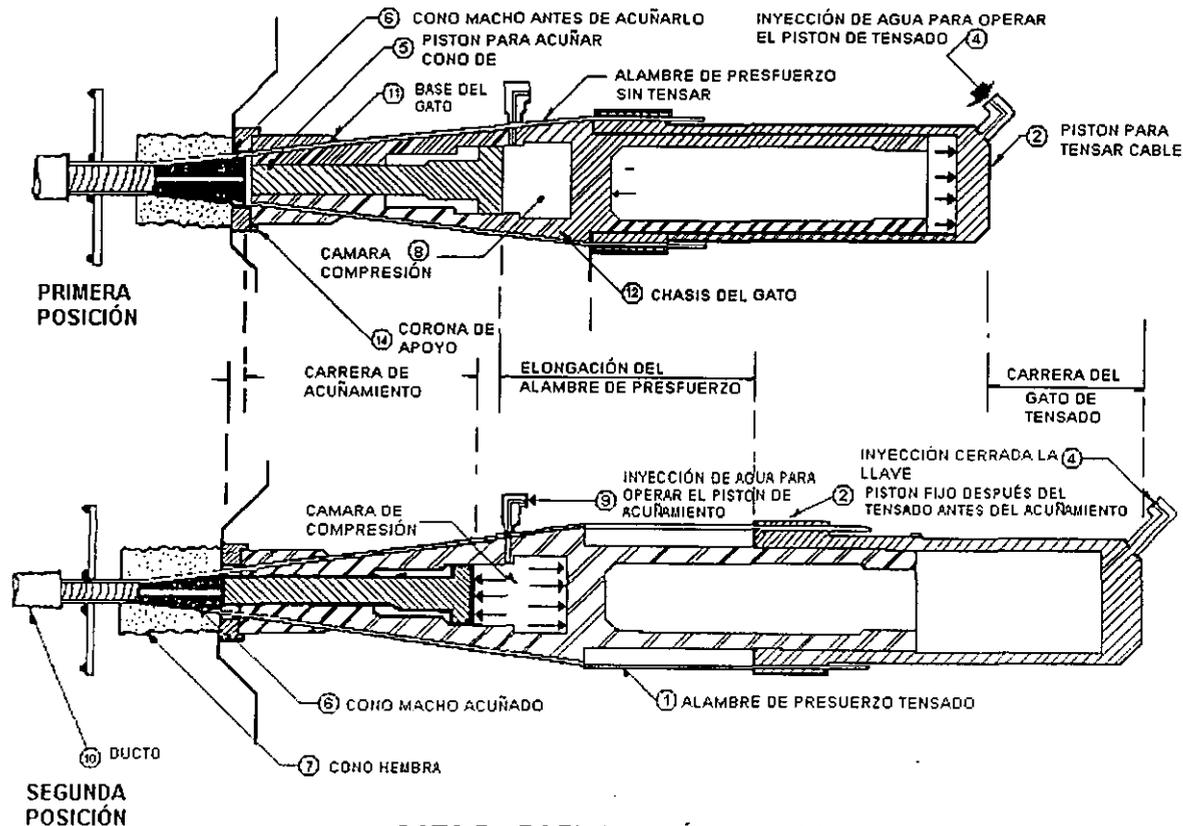
El desplazamiento del gato de bloqueo (13), es el que hunde el cono macho, es regulado por presión manométrica, al aplicar a este segundo gato una presión sensiblemente igual a la última que se aplicó durante el tensado.

Se abren las válvulas para descargar los gatos, hasta llegar la presión cero se continúa bombeando hasta cerrar el gato y botar las cuñas que amordazan los alambres del cable en el pistón (2).

Al soltarlo, se registra un corrimiento del alambre hacia dentro de la trabe, que aparte de corresponder a la recuperación elástica del tramo de cable entre el cono y las cuñas de agarre del gato, indica que el cable ha quedado fijado y la longitud que entra, del orden de 3 mm, corresponde al corrimiento necesario para bajar la tensión del cable en el extremo del elemento, como se menciona en las notas generales.

Por último se cortan las puntas del cable, dejando hacia afuera de la superficie del elemento salientes de 15 cm que se doblan hacia afuera, rellenado a continuación con una pasta de agua cemento los huecos entre los conos macho y hembra. Una vez endurecida aquélla, se procede a continuación a la inyección de la lechada, de acuerdo con las consideraciones generales.

Lo antes mencionado se refiere básicamente al procedimiento constructivo de un elemento prefabricados postensado bajo el sistema de presfuerzo Freyssinet. Vale la pena mencionar que aunque el procedimiento antes descrito es muy general ejemplifica muy bien la esencia del sistema Freyssinet.



GATO DE DOBLE ACCIÓN FREYSSINET





#### VII.4 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA EL NUEVO ANILLO DE CIMENTACIÓN.

A. Procedimiento Constructivo: (Ver plano P.00944-02): Para el desarrollo de la reestructuración del anillo de cimentación existente, se debió haber terminado en su totalidad las reparaciones que se realizaron en la envolvente, fondo y techo del tanque de acero existente.

1.-) Se preparo el terreno según las indicaciones de los estudios de mecánica de suelos proporcionados por Pemex Exploración y Producción.

Se retiro el equipo y/o instalaciones que pudieron impedir los trabajos de reestructuración del anillo de cimentación, de común acuerdo con el supervisor de Pemex Exploración y Producción.

2.-) Se coloco una plantilla de concreto pobre (limpieza) de fraguado rápido de  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$  según lo indicaron los planos.

Plantilla es el elemento constructivo que se coloca sobre el terreno para desplante de las cimentaciones, las plantillas tienen como finalidad principal proporcionar una superficie nivelada, uniforme y limpia para los trabajos de trazo y desplante, así como evitar la contaminación de los materiales con que se construyen los cimientos. Las plantillas debieron ser de concreto simple y de 5 cm de espesor o como lo indicase PEMEX. Los materiales y la elaboración del concreto deben cumplir con las normas aplicables mencionadas en el tema IV de estas especificaciones en su ejecución se atenderá lo siguiente:

La superficie del terreno sobre la cual se va a colocar la plantilla, debió estar exenta de troncos, raíces, hierbas y cuerpos extraños que estorben o perjudiquen el trabajo.

Si el terreno lo requirió a juicio de PEMEX, debió compactarse al 95% proctor o en la medida que se indicaron los planos proporcionados por PEMEX.

Previamente al colado de la plantilla, la superficie del desplante debió humedecerse con el objeto de evitar pérdidas del agua de fraguado.

El colado debió ser por frentes continuos y sus cortes normales al plano del terreno y en línea recta.

3.-) Se preparo el acero de refuerzo de los elementos prefabricados y de los elementos colados en sitio, además de la colocación de los ductos en cada uno de ellos para el paso del acero de presfuerzo.

4.-) Prefabricación de la cimbra, refuerzo y pasos de presfuerzo en cada uno de los elementos prefabricados y de los elementos colados en sitio, de la nueva pared del anillo de cimentación perimetral, incluidos los castillos de concreto reforzado llamados de cierre y/o ajuste que deberán colarse a cada 1.25 m es decir entre cada elemento prefabricado, incluyendo las mismas razones que las especificadas en el inciso 5.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



- 5.-) Se colocaron de cada uno de los elementos prefabricados con anticipación para disminuir el agrietamiento por retracción de fraguado.
- 6.-) Una vez que se terminaron de colar cada uno de los elementos prefabricados, estos se colocaron perimetralmente alrededor del anillo de cimentación existente sobre papel Kraft. Apuntalando lateralmente cada uno de los elementos prefabricados colocados sobre la pared del anillo de cimentación existente.  
  
El izaje de los elementos prefabricados se realizó con estructuras de acero estructural, (como soporte para izaje y montaje).
- 7.-) Posteriormente se colaron los elementos de cierre y/o ajuste; indicados en los planos estructurales correspondientes; incluyéndose en algunos de estos los sistemas de anclaje de postensado requeridos.
- 8.-) Posterior a los puntos # 6 y # 7, se llevo a cabo el tensado (postensado) de los elementos prefabricados, esto se realizo en dos etapas: En la primera etapa y considerando el tanque vacío, se tensa el 50 % del presfuerzo horizontal cuando el concreto alcanzó una resistencia del 80 % de su valor especificado a los 28 días. En la segunda etapa, bajo cargas de operación, tanque lleno, se tenso el 50% del presfuerzo horizontal restante.
- 9.-) Se considero la posibilidad de requerir, durante la construcción de la nueva pared del anillo de cimentación existente y hasta su puesta en operación, de un contraventeo de la estructura y/o pared de la envolvente del Tanque de Acero Estructural existente con los dispositivos correspondientes para evitar una falla en la envolvente. Este contraventeo pudo ser externo o interno y se debió retirar una vez que se lleve a cabo el tensado de la totalidad de los aceros de presfuerzos de cada uno de los elementos prefabricados.

**VII.5 Recomendaciones Generales:**

- 1.-) Se debió seguir especificaciones y recomendaciones proporcionadas por el IMP y Pemex Exploración y Producción; Y las correspondientes al Sistema de Presfuerzo contratante.
- 2.-) Se empleo impermeabilizante integral en los elementos prefabricados de concreto. Llevando a cabo un estricto control de calidad de los materiales, una buena dosificación, vibrado y curado.

**VII.6 Recomendaciones Particulares:**

Las recomendaciones para la buena ejecución de las actividades relacionadas con el presfuerzo, son las que mencionamos a continuación.



#### VII.7 FABRICACIÓN DE LOS CABLES DE PRESFUERZO.

- 1.-) La longitud de corte incluye el largo para anclar el gato.
- 2.-) Los alambres no debieron presentar ataque de corrosión.
- 3.-) No debieron existir dobleces, grietas, marcas de golpes o cortes en el acero.
- 4.-) Siempre que fuera posible, los cables debieron de estar enductados antes de que se realizara el colado de los elementos de cierre o ajuste (castillos u otros) en sitio para el nuevo anillo de cimentación.
- 5.-) Al formar el cable, los alambres o torones debieron quedar paralelos sin cruces.
- 6.-) Cuando se insertaron los cables después del colado, se debió prever de un dispositivo para la tracción de los cables.
- 7.-) Se utilizo, en cada cable, acero del mismo lote.
- 8.-) Cada cable fabricado debió llevar sus etiquetas con el número y el largo del cable.



#### VII.8 COLOCACIÓN DE LOS CABLES:

- 1.-) Los cables en su ducto debieron estar colocados sobre los soportes según el plano P.00944-03, en elevación y en planta, sin ondulaciones.
- 2.-) Los ductos debieron ser transportados con cuidado, y se verificó que no estuvieran rotos o apachurrados.
- 3.-) Las juntas entre ductos debieron estar recubiertas de cintas de aislar.
- 4.-) Los cables no se debieron mover sobre los soportes en ninguna dirección; los soportes debieron estar a la distancia máxima especificada.
- 5.-) Las mangueras para la inyección y purga debieron estar bien fijadas al cable.
- 6.-) Se verificó que haya mangueras de purga en cada punto alto de los cables y en caso de anclaje muerto, atrás de ese mismo.
- 7.-) Los anclajes muertos ahogados debieron ser cuidadosamente revisados.
- 8.-) En los ductos sin cables, se colocaron tubos o varillas para evitar deformaciones y movimientos del ducto.
- 9.-) El cable debió tener una longitud recta mínima de 60 cm atrás del anclaje.



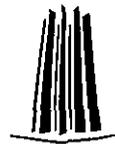
#### VIII.9 FIJACIÓN DE CABLES EN LAS CIMBRAS:

- 1.-) El interior del anclaje hembra debió estar limpio sin corrosión.
- 2.-) Los anclajes hembras debieron estar rígidamente fijos a la cimbra para resistir el empuje del colado.
- 3.-) El eje del anclaje estuvo exactamente en el eje del cable.
- 4.-) Entre la hembra y la cimbra debió existir el empaque de cartón.
- 5.-) Debió existir el refuerzo (resorte o parrilla) para cada anclaje.
- 6.-) Se debió revisar que las dimensiones de la caja del anclaje fueran las correctas y que la caja estuviera bien fija a la cimbra (ver plano P.00944-04).
- 7.-) Se debió tener cuidado de que el espacio libre permitiera la colocación del gato de tensado.
- 8.-) Las hembras debieron estar llenas de papel o estopa para que no penetrara el concreto o el polvo.



VII.10 COLADO DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO Y SUS ELEMENTOS COLADOS EN SITIO DE CIERRE Y/O AJUSTE PARA EL ANILLO.

- 1.-) La cimbra debió ser rígida y estuvo fija sólidamente para resistir al empuje del colado y la vibración.
- 2.-) Los ductos, cables y anclajes no se debieron desplazarse al colar cada elemento prefabricado ó los elementos colados en sitio para los anillos de cierre y/o ajuste, (castillos u otros).
- 3.-) Se debió tener cuidado de que los vibradores internos no tocaran a los ductos o anclajes.
- 4.-) El concreto se debió vaciar, sobre los ductos de los cables, lo más bajo posible.
- 5.-) Nadie debió caminar sobre los ductos.
- 6.-) No se debió colocar concreto dentro de los anclajes hembra.



#### VII.11 TENSADO DE LOS CABLES:

- 1.-) Los datos para el tensado debieron ser conocidos:

Los cables que había que tensar, orden de tensado en base al sistema o patente de presfuerzo empleado por el contratista, extremos a tensar, (dos extremos), alargamiento calculado, presiones de tensado y acuñado.

- 2.-) Las medidas de seguridad debieron garantizar que, en caso de ruptura de cable o falla del gato, nadie fuera herido.
- 3.-) El concreto debió tener la resistencia especificada en el plano.
- 4.-) El cable debe estar limpio (con lija o gasolina) en la zona de las cuñas del gato.
- 5.-) Al colocar el gato no debieron estar torcidos los alambres. La carrera del gato debió ser inferior al alargamiento calculado.
- 6.-) Para facilitar el desacuñamiento del gato se debió poner grasa en las ranuras del gato en donde se acuñan los alambres o parafina en las anclas de torones.
- 7.-) Al desacuñar el gato se debió cubrir con un saco para evitar que vuelen las cuñas.
- 8.-) No debió haber fugas de agua en el gato o bomba. Las mangueras debieron ser purgadas.
- 9.-) No se deberá utilizar el martillo para desacuñar el gato, en ningún caso.



VII.12 PARÁMETROS ADICIONALES.

1.-) Medidas de alargamientos:

- Signo de los desplazamientos:
  - + En el extremo con gato.
  - En el extremo muerto.
- Marcar el cable a 100  $kg/cm^2$  ó 100 bars.

2.-) Presiones:

PRESIONES MAX. DE TENSADO				PRESIONES DE ACUÑAMIENTO			
Tipo de Cable	Tipo de gato	Bars	Presión $kg/cm^2$	Tipo de Cable	Tipo de Gato	Bars	Presión $kg/cm^2$
12 ▶ 7	U-5	409	417	12 ▶ 7	U - 5	290	296

3.-) Anomalías en los resultados de alargamiento:

- 3.1 No se corto, ni inyecto ningún cable cuyo alargamiento medio fue inferior o superior de 7 % al calculado.
  - 3.2 Se trazo el diagrama presión - alargamiento para localizar algún error de medida.
  - 3.3 Si el alargamiento medio con una presión P fue superior al alargamiento calculado  $A_o$ , se continuo el tensado hasta la presión  $P_o$  prevista. Sin embargo, si un alargamiento de 1.07  $A_o$ , se presentase antes de alcanzar la presión  $P_o$ , se debió detener la operación y dar aviso al ingeniero responsable.
- 4.-) Si el alargamiento obtenido con la presión  $P_o$  prevista fue inferior al alargamiento  $A_o$  previsto, se debió continuar el tensado en etapas de 10 bars sin sobrepasar ni la



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



presión  $1.07 P_o$ , ni la presión máxima indicada en el punto No. 2, ni tampoco el alargamiento  $A_o$  calculado.

5.-) Si el alargamiento obtenido con  $1.07 P_o$  fue inferior a  $0.95 A_o$ , las medidas siguientes debieron ser tomadas sucesivamente

- 1.-) Verificar la calibración del manómetro.
- 2.-) Verificación del funcionamiento del gato sin carga, de la bomba y de las mangueras.
- 3.-) Destensado y movimiento del cable dentro del ducto para checar que no estuviera tapado por lechada introducida por accidente, por falta del ducto.
- 4.-) Retensado del cable.

El procedimiento constructivo antes detallado fue el especificado para la realización de las obras de la reestructuración del anillo de cimentación del tanque TV-2002 de la terminal marítima de Dos Bocas, Tabasco.

Este procedimiento definido para este caso es muy general, ya que solo se hacen recomendaciones y procedimientos que se realizarían en cualquier obra de este tipo y para el procedimiento en campo se tienen que hacer mucho más detalladas con el fin de lograr el objetivo. Este último paso le correspondió al contratista el cual realizó los trabajos de la reestructuración.

En el presente trabajo de tesis solo se presenta las recomendaciones del procedimiento constructivo elaborado por el IMP en los trabajos realizados para la reestructuración del Tanque TV-2002, por la Competencia de Ingeniería Civil Concreto.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



## **TEMA VIII: CONCLUSIONES.**



## ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



Con el tiempo los materiales se deterioran en alguna medida por la destrucción a través del tiempo, la exposición a los elementos y efectos de desgaste y desgarramiento, son:

- Cambios de temperatura
- Temblores y terremotos
- Contracciones prefraguado
- Asentamientos diferenciales
- Sobre cargas mecánicas
- Condiciones ambientales extremas
- Errores humanos

A estos daños se les puede dar solución mediante una reestructuración que debe cumplir con los siguientes requisitos:

Primero: La reestructuración debe conseguir detener el deterioro de la estructura, particularmente previniendo la posterior corrosión del acero de refuerzo.

Segundo: Restablecimiento de la integridad estructural.

Tercero: Lograr un acabado uniforme.

La técnica del concreto presforzados ofrece grandes ventajas para la solución de problemas estructurales que se presentan en el concreto reforzado por estas u otras causas. Permite una ejecución rápida, económica y segura de obras de dimensiones y características especiales.

Parar que el ingeniero pueda aplicar esta técnica de manera óptima es necesario que tenga un conocimiento sólido del comportamiento de las estructuras presforzadas, las normas de diseño y los procedimientos constructivos de las mismas.

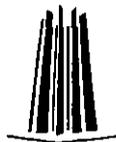
Los principios básicos del concreto presforzado son los mismos que los del concreto reforzado y en general coinciden con los principios de Mecánica de Materiales que se utilizan para el diseño de todo tipo de estructuras. Sin embargo se requiere prestar atención especial a problemas inducidos por la presencia del presfuerzo externo, que no se tienen en estructuras pasivas por lo que se estima necesario que los programas de Ingeniería Civil incluyan una materia para el estudio del concreto presforzado.

El ingeniero debe apegarse a la Ética Profesional en todos sus actos, debe ser responsable y por ello respetar las limitaciones impuestas por las normas, tanto de diseño como de construcción, teniendo siempre en cuenta que las normas son el fruto de las investigaciones y las experiencias de muchos ingenieros que lo precedieron en el trabajo.

Pero por otro lado, el ingeniero también debe estar conciente de que las normas, solo son aplicables a estructuras comunes y que cuando se tienen obras de dimensiones grandes o características especiales se requiere aplicar los resultados de estudios específicos de análisis experimental.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



Frecuente mente algunos ingenieros piensan que para dominar una técnica constructiva basta con el conocimiento de los procedimientos, equipos, costos; en tanto que otros sólo consideran importantes los aspectos teóricos y las normas y procedimientos de diseño. Ambas actitudes son erróneas, el ingeniero debe tener conocimientos tanto de proyecto como de construcción, en todo tipo de obras, pero particularmente en las que incluyen presfuerzo ya que en ellas han ocurrido accidentes graves como consecuencia de un desconocimiento por parte de los Ingenieros responsables de los aspectos de uno u otro tipo.

En la actualidad los ingenieros ya deben salir de la carrera manejando alguna clase de paquetería de computación para el análisis y diseño de estructuras esto le facilitara el trabajo pero no debe de olvidar que siempre una computadora puede darnos resultados erróneos por lo que no se debe de dejar de lado los métodos tradicionales de análisis y diseño para estas estructuras; solo para verificar si el programa esta dando los resultados esperados esto ayuda mas cuando el ingeniero ya tiene experiencia y sabe en que rango deben ser los resultados. Es por eso que se debe procurar que en cada escuela de ingeniería por lo menos se maneje alguna de las paqueterías más usuales; esto le dará a los egresados de la ENEP Aragón herramientas al salir y conseguir un empleo.



## BIBLIOGRAFÍA:

- 1.- CONCRETO PRECOMPRESO  
AUTOR: ALFONSO TOVAR SANTANA.  
EDITORIAL: IPN, 1994
- 2.- PRESTRESSED CONCRETE CYLINDRICAL TANKS  
AUTOR: LEONARD D. CREASY  
EDITORIAL: IMP, 1961.
- 3.- DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO PRESFORZADO  
AUTOR: T. Y. LIN  
EDITORIAL: GECSA, 1974
- 4.- MANUAL PARA REPARACIÓN, REFUERZO Y PROTECCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO  
AUTOR: DR. ING. PAULO R. DE LAGO HELENE  
EDITORIAL: IMCYC, 1997.
- 5.- MANUAL PARA EVALUAR DAÑOS CAUSADOS POR SISMOS EN SISMOS DE CONCRETO REFORZADO  
AUTOR: SANTIAGO LOERA  
EDITORIAL: DEPARTAMENTO DE L DISTRITO FEDERAL, 1982.
- 6.- PROCEDIMIENTOS PARA LA REPARACIÓN DE DAÑOS OCASIONADOS POR SISMOS, CON PRODUCTOS QUÍMICOS  
AUTOR: MIGUEL ÁNGEL JIMÉNEZ LOZANO.  
REVISTA: IMCYC, VOL. 2, NUM. 176/ DICIEMBRE-ENERO/1986.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



- 7.- WELDED STEEL TANKS FOR OIL STORAGE.  
AUTOR: API STANDARD 650  
EDITORIAL: AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, 1998
- 8.- CIRCULAR CONCRETE TANKS WITHOUT PRESTRESSING  
AUTOR: PÓRTLAND CEMENT ASSOCIATION  
EDITORIAL: PCA
- 9.- CIMENTACIONES DE TANQUES NORMA # 2.214.01  
AUTOR: PEMEX  
EDITORIAL: PEMEX
- 10.- RESISTENCIA DE MATERIALES  
AUTOR: ROBERT W. FITZGERALD  
EDITORIAL: FONDO EDUCATIVO INTERAMERICANO, 1970
- 11.- MANUAL DE DISEÑO ESTRUCTURAL TOMO II  
AUTOR: ROBERTO MELI PIRALLA  
EDITORIAL: CIENCIA Y TÉCNICA
- 12.- ENCICLOPEDIA DE LA CONSTRUCCIÓN ARQUITECTURA E INGENIERÍA  
AUTOR: FREDERICK S, MERRITT  
EDITORIAL: OCÉANO / CENTRUM, 1990
- 13.- BASIC ANALYSIS REFERENCE SAP 2000  
AUTOR: COMPUTERS AND STRUCTURES, INC.  
EDITORIAL: COMPUTERS AND STRUCTURES, INC, 1997
- 14.- GRAPHIC USER INTERFACE MANUAL SAP 2000  
AUTOR: COMPUTERS AND STRUCTURES, INC.  
EDITORIAL: COMPUTERS AND STRUCTURES, INC, 1997



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



- 15.- GETTING STARTED  
AUTOR: COMPUTERS AND STRUCTURES, INC.  
EDITORIAL: COMPUTERS AND STRUCTURES, INC, 1997
- 16.- TUTORIAL MANUAL  
AUTOR: COMPUTERS AND STRUCTURES, INC.  
EDITORIAL: COMPUTERS AND STRUCTURES, INC, 1997
- 17.- CONCRETE DESIGN MANUAL  
AUTOR: COMPUTERS AND STRUCTURES, INC.  
EDITORIAL: COMPUTERS AND STRUCTURES, INC, 1997
- 18.- AMBIENT THERMAL STRESS IN CIRCULAR PRESTRESSED CONCRETE TANKS.  
AUTOR: ACI  
EDITORIAL: STRUCTURAL JOURNAL / OCTOBER 1976 TITLE no. 73-45
- 19.- FIBER REINFORCED CONCRETE PROPERTIES AND APPLICATIONS.  
AUTOR: SHAH, S.P. ETAL  
EDITORIAL: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



**ANEXO A:**



ANEXO A.- INSPECCIÓN VISUAL DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN DEL TANQUE TV-2002.

En primer termino se recomendó realizar a la brevedad, una nivelación diferencial de la corona del anillo de cimentación, con el fin de definir la posición del plano horizontal, para que durante la prueba hidrostática y la etapa de llenado se pudiera observar los posibles asentamiento.

A.1.- OBSERVACIONES.

1.- Se presenta en la parte cercana al tope superior de concreto del anillo, una fisura en la junta formada entre concreto endurecido y el nuevo concreto utilizado en la reparación de esta parte, presentándose en algunos sitios desprendimiento del concreto, motivado por el inicio de la corrosión del acero de refuerzo, por lo cual se requirió reparar las fisuras incipientes antes de que aumente su ancho y profundidad inyectando lechada de cemento y un adhesivo epóxico.

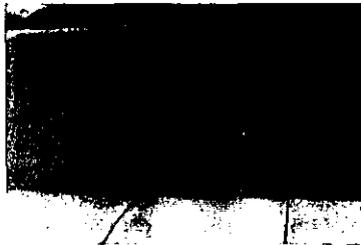


Foto II.1

2.- En toda la superficie lateral del anillo se encontraron fisuras capilares, diagonales y a lo alto, la mayoría de estas aún no causaron deterioro; sin embargo, sería necesario vigilar su desarrollo para evitar se convirtieran en grietas potenciales del deterioro del acero.



Foto II.2



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



3.- Existían zonas en las cuales el deterioro de la superficie del concreto mostraba ya exposición de los agregados, sin dejar descubierto por completo el acero, estas zonas debieron sanearse y posteriormente proceder a restaurar la superficie, aplicando adhesivo epóxico y mortero de cemento.



Foto II.3

4.- Las zonas que representaban ya un riesgo potencialmente alto son las que se encontraban entre la marca 0° y los sectores identificados como 10, 11 y 12 ya que existían áreas de magnitud considerable donde quedaban expuesto el acero de refuerzo el cual mostraba un alto grado de corrosión, para estas zonas antes de plantear un procedimiento de reestructuración, debía primero tratarse de determinar los factores que propiciaron estas anomalías ya que podían ser de orden constructivo, ambiental, de agregados y resistencia del concreto del concreto ó esfuerzos inducidos mayores a los permisibles y otros, para lo cual sería necesario conocer los antecedentes de diseño y construcción.



Foto II.4

5.- De igual manera, existían en otros sectores áreas que mostraban claro fracturamiento superficial del concreto que debido a la corrosión del acero propicia el desprendimiento; todas estas zonas debieron reconstruirse pero antes de haber procedido debería pasivarse la acción de corrosión sobre el acero.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN



Foto II.5

El estudio que se desarrollo a este respecto, fue aplicable para la reconstrucción de las zonas afectadas en los sectores 10, 11 y 12, y en las partes en donde se presentaron casos similares.

No fue posible la observación de daños en el fondo del tanque como pudieron ser asentamientos de borde, del fondo, cerca del casco y depresiones o protuberancias.

Sin embargo, existieron en el exterior al borde de las placas de fondo holgaduras entre el acero y la corona del anillo en algunos sitios, creando zonas por donde se pudieran infiltrar agua de lluvia o de condensación en el exterior del casco que pueden crear problemas en el acero del tanque, y en el relleno confinado por el anillo.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**



**A.2.- RELACIÓN DE ANOMALÍAS Y DAÑOS EN EL PAÑO EXTERIOR DEL ANILLO DE CIMENTACIÓN DEL TANQUE TV-2002.**

A continuación se mencionan las características de las anomalías o daños detectados visualmente en cada sector del anillo, ver croquis adjunto. Cada sector se encuentra físicamente identificado en campo.

Corona del anillo.- Fisura perimetral con ancho y profundidad variable consecuencia de la junta de construcción por colados de diferentes épocas; desprendimiento del material de empaque entre concreto y placa de fondo del tanque por zonas y con diferente holgura.

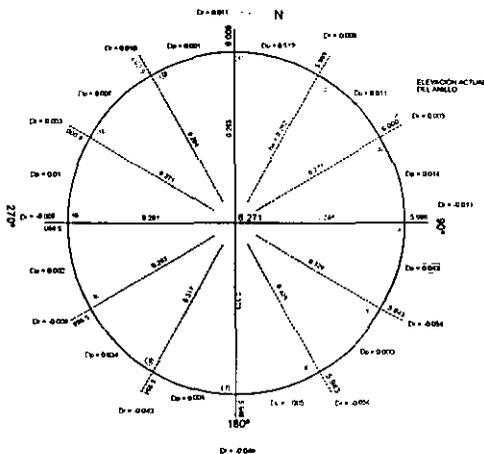
- Sector 12-1.- Fisuras que presentan inicio de desprendimiento de concreto.
- Sector 1-2.- Fisuras diagonales considerables y concreto por desprenderse, aparecen pocas zonas de exposición de acero de refuerzo y de superficie reducida.
- Sector 2-3.- Fisuras presentan desprendimiento de concreto; superficie deteriorada (escarificaciones).
- Sector 3-4.- Fisuras ramificadas, representativa, en zona limitada, no se aprecian desprendimientos de concreto.
- Sector 4-5.- Fisuras diagonales en zona limitada, presenta poco deterioro.
- Sector 5-6.- Oquedades y fisuras, que presentan zonas con mínima exposición de acero de refuerzo.
- Sector 6-7.- Oquedades y fisuras diagonales, concreto desprendido que presenta exposición de acero.
- Sector 7-8.- Fisuras, concreto desprendido que presenta exposición de acero; parte de concreto demolida en apoyo de entrada hombre.
- Sector 8-9.- Concreto desprendido que presenta exposición de acero; fisuras circunferenciales de longitud extensa.
- Sector 9-10.- Fisuras diagonales de longitud extensa, zona que presenta deterioro superficial quedando el agregado expuesto, concreto por desprenderse a parecen zonas de exposición de acero de refuerzo.
- Sector 10-11.- Zonas numerosas de superficie considerable con destrucción de concreto o proceso de desprendimiento y exposición del acero de refuerzo altamente corroído.
- Sector 11-12.- Zonas numerosas de superficie considerable con destrucción de concreto o proceso de desprendimiento y exposición del acero de refuerzo altamente corroído.



# ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGÓN



ELEVACIONES EN TANQUE VACÍO AL 30/03/99  
SOBRE EL ANILLO Y NIVEL NATURAL DEL RELLENO



**ASENTAMIENTO DIFERENCIAL PERIMETRAL**

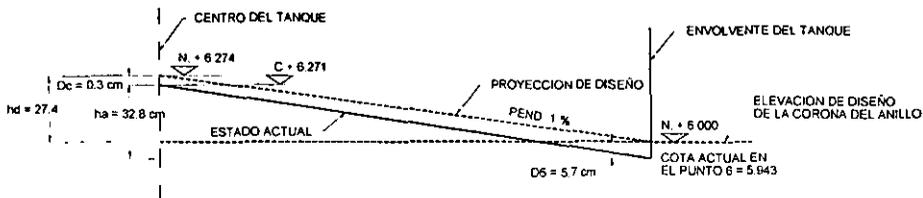
$D_r = h_d - h_a$   
 $D_c = \text{Asentamiento radial} = 0.043$   
 $D_p = \text{Asentamiento perimetral}$

**ASENTAMIENTOS PERMISIBLES**  
 $D_{max} = 7.18$   
 $D_{min} = -7.18$

$D_p = 0.043 < 7.18 \quad \text{O.K.}$

Figura 1

**CORTE RADIAL EN EL PUNTO 6**



**ASENTAMIENTO DIFERENCIAL RADIAL**

Diámetro del tanque = 54832 mm  
 Radio = 27416 mm

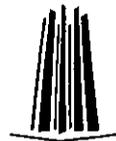
$h_d = h \text{ de diseño al } 1\% \text{ de pendiente} = 27.4 \text{ cm}$   
 $h_a = h \text{ actual} = \text{cota centro} - \text{cota del anillo} = 6.271 - 5.943 = 0.328$   
 $D_{d1} = D_6 - D_c = 5.7 - 0.3 = 5.4 \text{ cm. } \checkmark$   
 $D_{d1} = h_d - h_a = 32.8 - 27.4 = 5.4 \text{ cm}$

$D_r = -0.054 < 13.71 \quad \text{O.K.}$

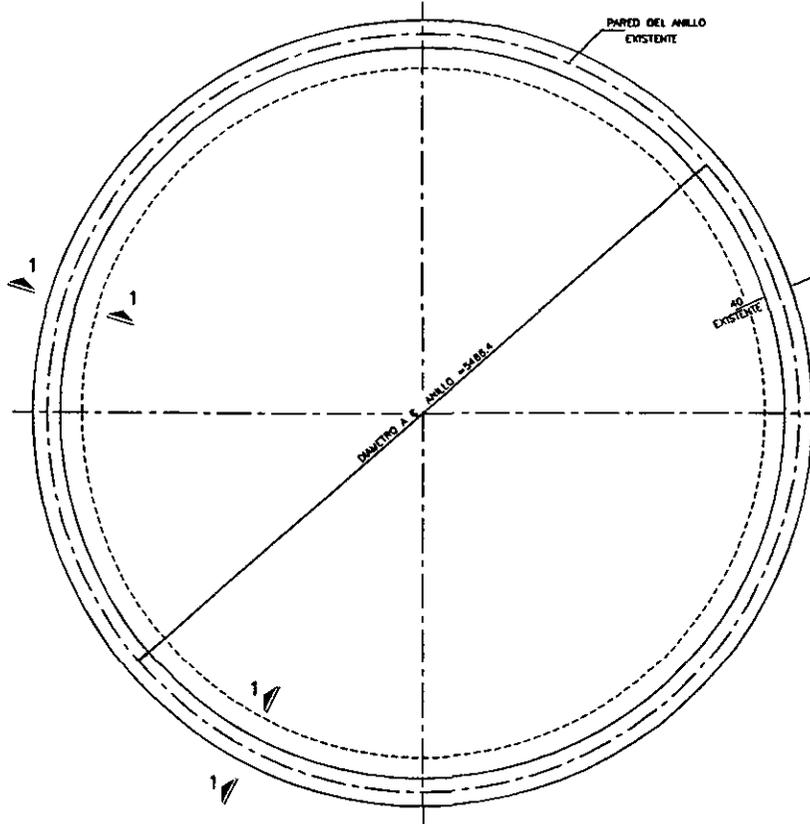
Figura 2



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**

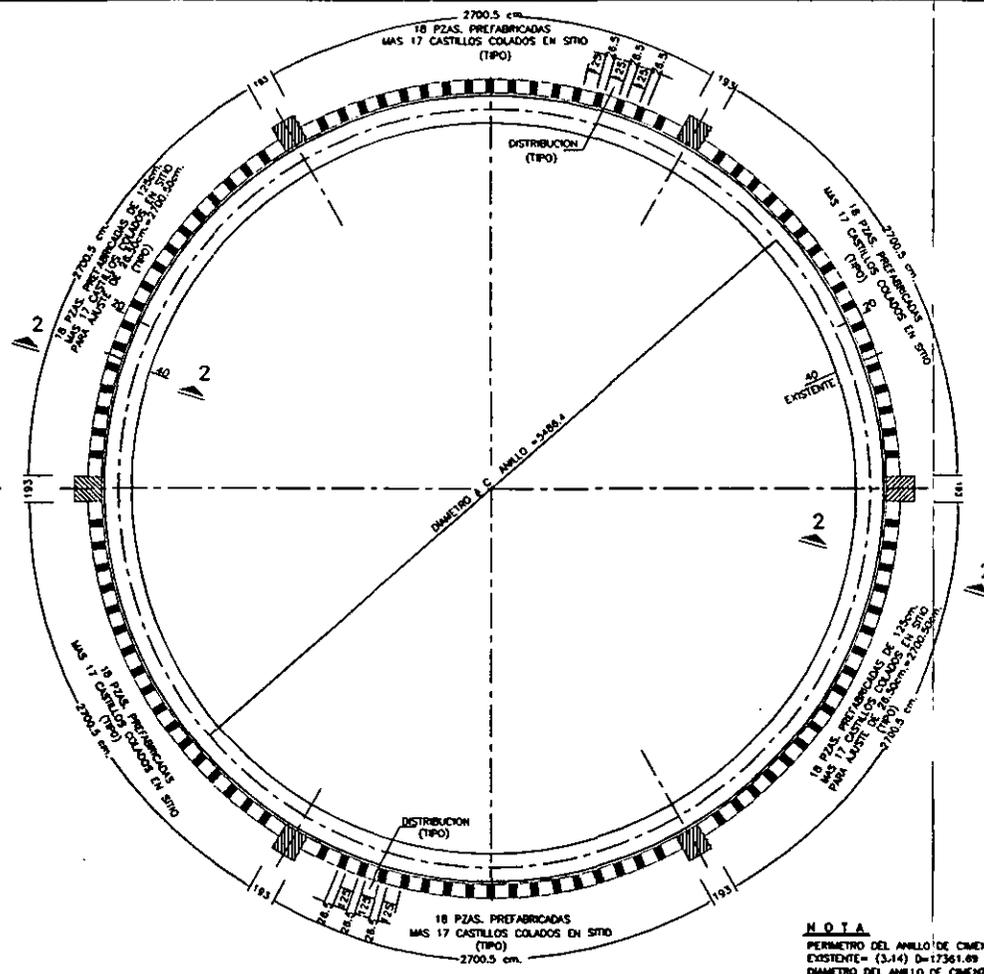


**ANEXO B:**



**PLANTA**

**DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002**



**PLANTA DE LOCALIZACION**

**DE ELEMENTOS PREFABRICADOS Y DE ELEMENTOS COLADOS EN SITIO, PARA REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002**

SIMBOLOGIA:	CONCEPTO
	INDICA SEIS ELEMENTOS COLADOS EN SITIO (1/6 DE ANILLO) DE $f_c=350$ Kg/cm <sup>2</sup> CON DISPOSITIVOS DE LOS SISTEMAS DE ANCLAJE PARA POSTENSAR ELEMENTOS PREFABRICADOS Y/O COLADOS EN SITIO. EN BASE AL SISTEMA DE PRESFUERZO DENOMINADO "TREYSSNETT" ... CON LAS SIGUIENTES DIMENSIONES: 45x192x245 cms.
	INDICA ELEMENTOS PREFABRICADOS POSTENSADOS DE CONCRETO DE $f_c=350$ Kg/cm <sup>2</sup> CON LAS SIGUIENTES DIMENSIONES: 20x125x245 cms.
	INDICA CASTILLOS DE CONCRETO REFORZADO DE CONCRETO $f_c=350$ Kg/cm <sup>2</sup> COLADOS EN SITIO PARA AJUSTE Y CONTINUIDAD DE ELEMENTOS PREFABRICADOS CON LAS SIGUIENTES DIMENSIONES: 20x26.5x245 cms.

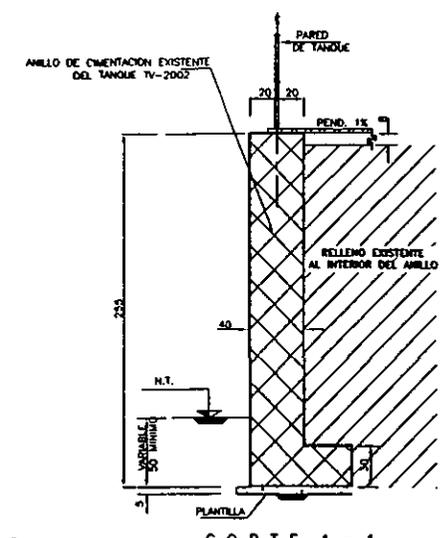
TANQUE	COORDENADAS X	COORDENADAS Y	CAPACIDAD BLS.	DIAMETRO TANQUE	Hª ALTURA DE TANQUE	NTC.
TV-2002	108.450	26.975	200 000	54.864	1579.00	

\* ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE.

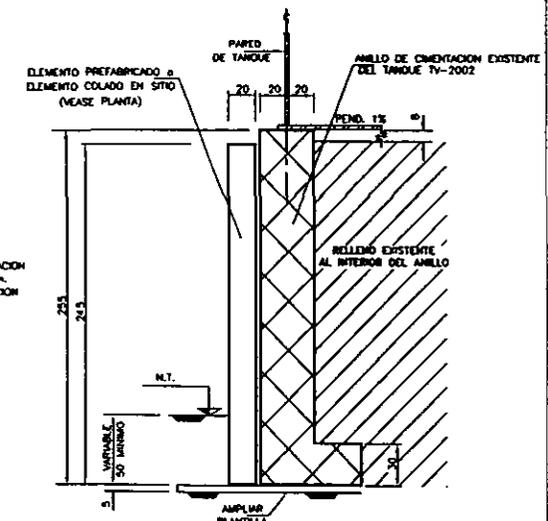
**NOTAS GENERALES:**

- 1.- ACOTACIONES EN cm. EXCEPTO DONDE SE INDIQUE OTRA UNIDAD.
- 2.- REFORZAMIENTOS MINIMOS A PAÑO EXTERIOR DE MALLA DE 2.5 cm.
- 3.- CONCRETO  $f_c=350$  Kg/cm<sup>2</sup> CON  $E_c=14000$ /TE EN ELEMENTOS PREFABRICADOS Y/O COLADOS EN SITIO.
- 4.- ACERO DE REFUERZO DE  $f_y=4200$  Kg/cm<sup>2</sup>.
- 5.- ACERO DE REFUERZO DE  $f_{pu}=16450$  Kg/cm<sup>2</sup>.
- 6.- CEMENTO TIPO PORTLAND R.
- 7.- TENSAR CADA CABLE POR LOS DOS EXTREMOS.
- 8.- ESFUERZOS DE TENSION AL ORIGIN EN CADA EXTREMO DE CADA CABLE SERAN:  $f_{pu}=13203$  Kg/cm<sup>2</sup> Y  $f_{pu}=12500$  Kg/cm<sup>2</sup>.

**NOTA**  
PERIMETRO DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE = (3.14) D = 17361.89 cm.  
DIAMETRO DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE = 5526.40 cm.



**CORTE 1-1**  
**DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002**  
ESC: 1:20



**CORTE 2-2**  
**DE ELEMENTOS PREFABRICADOS Y DE ELEMENTOS COLADOS EN SITIO, PARA REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002**  
ESC: 1:20

00844-2	PLANO DE PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL TANQUE TV-2002									
00844-3	PLANO DE DETALLES DE ELEMENTOS PREFABRICADOS Y/O COLADOS EN SITIO PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL ANILLO DE CIMENTACION DEL TANQUE TV-2002									
00844-4	DETALLES DE LOS CABLES DE PRESFUERZO EN LOS ELEMENTOS PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL ANILLO DE CIMENTACION DEL TANQUE TV-2002									

REV.	DESCRIPCION	ELAB.	SEVAL.	REV.	SEVAL.	REV.	SEVAL.	REV.	SEVAL.	REV.	SEVAL.
1	APROBADO PARA CONSTRUCCION										
0	PARA COPIAZION Y COMENTARIOS										

REV.	DESCRIPCION	ELAB.	SEVAL.	REV.	SEVAL.	REV.	SEVAL.	REV.	SEVAL.	REV.	SEVAL.
1	APROBADO PARA CONSTRUCCION										
0	PARA COPIAZION Y COMENTARIOS										

ESTE DISEÑO INCLUYE EL DISEÑO DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS QUE SE USARAN EN EL SISTEMA DE ANCLAJE PARA POSTENSAR LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS Y/O COLADOS EN SITIO. EN LA PARTE SUPERIOR DE LA PLANTA SE MUESTRAN LAS LINEAS DE ANCLAJE PARA LOS CABLES DE PRESFUERZO EN LOS ELEMENTOS PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL ANILLO DE CIMENTACION DEL TANQUE TV-2002 EN LA TERMINAL SUR DE LOS BOCAS, TANQUE PEMEX EXPLORACION Y PRODUCCION

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CAMPUS ARAUCO
	PLANTA DE LOCALIZACION DE ELEMENTOS PREFABRICADOS Y/O COLADOS EN SITIO, PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002.
	PEMEX EXPLORACION Y PRODUCCION
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
	PEMEX EXPLORACION Y PRODUCCION
	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
	PEMEX EXPLORACION Y PRODUCCION

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**

**Y SUS RECOMENDACIONES**

A. METODO CONSTRUCTIVO (VER PLANOS 0944-01, 0944-03 Y 0944-04) PARA EL DESARROLLO DE LA RECONSTRUCCION DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE, SE DEBERA TENER TERMINADO EN SU TOTALIDAD LAS REPARACIONES CORRESPONDIENTES QUE SE REALIZARAN A LA ENVOLVENTE FONDO Y TECHO DEL TANQUE DE ACERO EXISTENTE.

1.- PREPARAR EL TERRENO SEGUN LAS INDICACIONES DE LOS ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS PROPORCIONADOS POR PEMEX EXPLORACION Y PRODUCCION.  
 1a.- RETIRO DE EQUIPO Y/O INSTALACIONES QUE PUEDAN IMPEDIR LA RECONSTRUCCION DEL ANILLO DE CIMENTACION CON EL SUPERVISOR DE PEMEX EXPLORACION Y PRODUCCION.

2.- COLAR UNA PLANTILLA DE CONCRETO SOBRE (LIMPIEZA) DE FRAQUILADO RAPIDO DE  $f_c=150 \text{ Kg/cm}^2$  SEGUN LO INDICAN LOS PLANOS.

3.- PREPARACION DEL ACERO DE REFUERZO DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS Y DE LOS ELEMENTOS COLADOS EN SITO Y LA COLOCACION DE SUS DUCTOS EN TODOS ESTOS, PARA EL PASO DEL ACERO DE PRESFUERZO.

4.- PREPARACION DE LA CAMARA DE RETORNO PASOS DE PRESFUERZO EN CADA UNO DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS Y DE LOS ELEMENTOS COLADOS EN SITO, DE LA NUEVA PARED DEL ANILLO DE CIMENTACION PERIMETRAL, CON CASTILLOS DE CONCRETO REFORZADO QUE DEBERAN TAMBIEN COLARSE A CADA 1.25 m, INCLUIDAS LAS MISMAS RAZONES QUE LAS ESPECIFICADAS EN EL INCISO 5.

5.- COLADO DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS CON AMORTIGUACION PARA DISMINUIR EL AGRIETAMIENTO POR RETRACCION DEL FRIGLADO.

6.- UNA VEZ TERMINADOS DE COLAR CADA UNO DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS, Y CUANDO TENGA A LO MENOS 100 RESISTENCIA DE 50  $f_c$  DE 300  $\text{kg/cm}^2$  ESTOS SE COLOCARAN PERIMETRALMENTE ALREDEDOR DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE SOBRE PAPEL KRAFT, AMPLIANDO LATERALMENTE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS COLOCADOS SOBRE LA PARED DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE.

7.- POSTERIORMENTE SE COLARAN LOS ELEMENTOS DE CIERRE Y/O AJUSTE, INDICADOS EN LOS PLANOS ESTRUCTURALES CORRESPONDIENTES, INCLUIDOS EN ALGUNOS DE ESTOS LOS SISTEMAS DE ANCLAJE DE POSTENSADO REQUERIDOS.

8.- RELLENAR ESPACIOS LIBRES (SI LOS HAY) ENTRE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS YA COLOCADOS, Y LA PARED DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE CON UN MORTERO CON ABRIVO EXPANSOR DE ALTA RESISTENCIA  $f_c=350 \text{ Kg/cm}^2$ , CON EL OBJETIVO DE QUE ASIENTEN LOS PREFABRICADOS DE MANERA MAS UNIFORME SOBRE LA PARED EXISTENTE.

9.- POSTERIOR A LOS PUNTOS (6) Y (7), SE LLEVARA A CABO EL TENSADO (POSTENSADO) DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS, EN CONJUNTO CON LOS ELEMENTOS COLADOS EN SITO. ESTO SE REALIZARA EN DOS ETAPAS: EN LA PRIMERA ETAPA SE TENSARA EL SOTE DEL PRESFUERZO HORIZONTAL CON TANQUE HICCO CUANDO EL CONCRETO ALCANZA UNA RESISTENCIA DEL 80% DE SU  $f_c$  (300  $\text{Kg/cm}^2$ ) (MAYOR ESPECIFICADO A LOS 28 DIAS), EN LA SEGUNDA ETAPA, BAJO CARGAS DE OPERACION CON TANQUE LLENO TENSARA EL SOTE DEL PRESFUERZO HORIZONTAL RESTANTE.

10.- SI ES NECESARIO DURANTE LA CONSTRUCCION DE LA NUEVA PARED DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE Y SU PUESTA EN OPERACION, DEBERA CONTRIBUIRSE LA PARED DE LA ENVOLVENTE DEL TANQUE DE ACERO ESTRUCTURAL EXISTENTE CON LOS DISPOSITIVOS CORRESPONDIENTES PARA EVITAR UNA FALLA EN ESTA ESTRUCTURA Y/O ENVOLVENTE O PARED DE ACERO ESTRUCTURAL, ESTE CONTRIBUTO PUEDE SER EXTERNO O INTERNO Y SE RETIENRA UNA VEZ QUE SE LLEVE A CABO EL TENSADO DE LA TOTALIDAD DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS Y SUS RESPECTIVOS ACEROS DE PRESFUERZO. ESTE CONTRIBUTO SERA PROPUESTO, REVISADO Y SUPERVISADO POR EL CONTRATISTA CON PLENA RESPONSABILIDAD DEL MISMO HASTA LA ENTREGA TOTAL DE LOS TRABAJOS DE RECONSTRUCCION DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE.

**B.- RECOMENDACIONES GENERALES.**

1.- SEGUIR ESPECIFICACIONES Y RECOMENDACIONES PROPORCIONADAS POR EL IMPI Y PEMEX EXPLORACION Y PRODUCCION Y LAS CORRESPONDIENTES AL SISTEMA DE PRESFUERZO CONSTANTE.  
 2.- SE EMPLEARA IMPERMEABILIZANTE INTEGRAL EN LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO, LLEVANDO A CABO UN ESTRICTO CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES, UNA BUENA DOSIFICACION, VIBRADO Y CURADO.

**C.- RECOMENDACIONES PARTICULARES.**

RECOMENDACIONES PARA LA BUENA EJECUCION DE LAS ACTIVIDADES RELACIONADAS CON EL PRESFUERZO.

**ANEXOS.-**

**A1.- FABRICACION DE LOS CABLES DE PRESFUERZO.**

- 1.- LA LONGITUD DE CORTE INCLUYE EL LARGO PARA ANCLAR EL GATO.
- 2.- LOS ALAMBRES NO ESTAN ATACADOS POR LA CORROSION.
- 3.- NO HAY DOBLES, GRIETAS, MARCAS DE GOLPES O CORTES EN EL ACERO.
- 4.- SIEMPRE QUE SEA POSIBLE, LOS CABLES ESTARAN ENDUCTADOS ANTES DE LOS ELEMENTOS COLADOS EN SITO PARA LOS ANILLOS DE CIERRE Y/O AJUSTE.
- 5.- AL FORMAR EL CABLE, LOS ALAMBRES O TORONES QUEDARAN PARALELOS SIN CRUCES.
- 6.- CUANDO SE REBERTAN LOS CABLES DESPUES DEL COLADO, SE PREVIENE UN DISPOSITIVO PARA LA TRACCION DE LOS CABLES.
- 7.- SE UTILIZARA, EN CADA CABLE, ACERO DEL MISMO LOTE.
- 8.- CADA CABLE FABRICADO LLEVA SUS ETIQUETAS CON EL NUMERO Y EL LARGO DEL CABLE.
- 9.- SE DEBERA EVITAR CUALQUIER FILTRACION DE AGUA AL INTERIOR DE LOS DUCTOS QUE RECIBIRAN A LOS CABLES DE PRESFUERZO, CON LAS UNIONES Y TRASLAPES CORRESPONDIENTES DE ESTOS DUCTOS PARA LA TRACCION DE LOS CABLES.
- 10.- EL SISTEMA DE PRESFUERZO A EMPLEAR SERA EL DE FREYSSINETT

**B1.- COLOCACION DE LOS CABLES.**

- 1.- LOS CABLES EN SU DUCTO ESTAN COLOCADOS SOBRE LOS SOPORTES SEGUN PLANOS: 0944-03 Y 0944-04, EN ELEVACION Y EN PLANTA, SIN ONDULACIONES.
- 2.- LOS DUCTOS SON TRANSPORTADOS CON CUIDADO, NO ESTAN BOTOS O APICHURRADOS.
- 3.- LAS JUNTAS ENTRE DUCTOS ESTAN RECUBIERTAS DE CINTAS DE ASBLAR.
- 4.- LOS CABLES NO SE MUEVEN SOBRE LOS SOPORTES EN NINGUNA DIRECCION: LOS SOPORTES ESTAN A LA DISTANCIA MAXIMA ESPECIFICADA.
- 5.- LAS MANGUERAS PARA LA INYECCION Y PURGA EN CADA PUNTO BIEN FUNDAS AL CABLE.
- 6.- SE CHECARA QUE HAY MANGUERAS DE PURGA EN CADA PUNTO ALTO DE LOS CABLES Y EN CASO DE ANCLAJE MUERTO, ATRAS DE ESE MISMO.
- 7.- LOS ANCLAJES MUERTOS AÑADIDOS FUERON CUIDADOSAMENTE REVISADOS.
- 8.- EN LOS DUCTOS SIN CABLES, SE COLOCARAN TUBOS O VARILLAS PARA EVITAR DEFORMACIONES Y MOVIMIENTOS DEL DUCTO.
- 9.- EL CABLE DEBERA TENER UNA LONGITUD RECTA MINIMA DE 80 cm, ATRAS DEL ANCLAJE.

**B1.1.- FIJACION DE CABLES EN LAS CAMARAS.**

- 1.- EL INTERIOR DEL ANCLAJE MEMBRA ESTA LIMPIO SIN CORROSION.
- 2.- LOS ANCLAJES MEMBRAS ESTAN RIGIDAMENTE FIJOS A LA CAMARA PARA RESISTIR EL EMPUJE DEL COLADO.
- 3.- EL EJE DEL ANCLAJE ESTA EXACTAMENTE EN EL EJE DEL CABLE.
- 4.- ENTRE LA MEMBRA Y LA CAMARA EXISTE EL EMPAQUE DE CARTON.
- 5.- EL ESFUERZO (RESORTE O PARRILLA) EXISTE PARA CADA ANCLAJE.
- 6.- LAS DIMENSIONES DE LA CAMA DEL ANCLAJE ESTAN CORRECTAS Y LA CAMA ESTA BIEN FIJA A LA CAMARA (VER PLANO).
- 7.- EL ESPACIO LIBRE PERMITE LA COLOCACION DEL GATO DE TENSADO.
- 8.- LAS MEMBRAS ESTAN LLENAS DE PAPEL O ESPUMA PARA QUE NO PENETRE EL CONCRETO O EL POLVO.

**B1.2.- COLADO DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO Y SUS ELEMENTOS COLADOS EN SITO PARA LOS ELEMENTOS O ANILLOS DE CIERRE Y/O AJUSTE.**

- 1.- LA CAMARA ES HICCA Y ESTA FUERA SOLAMENTE PARA RESISTIR AL EMPUJE DEL COLADO Y LA VIBRACION.
- 2.- LOS DUCTOS, CABLES Y ANCLAJES NO SE DESPLAZAN AL COLAR CADA ELEMENTO PREFABRICADO O LOS ELEMENTOS COLADOS EN SITO PARA LOS ELEMENTOS O ANILLOS DE CIERRE Y/O AJUSTE.
- 3.- LOS VIBRADORES INTERNOS NO TOCAN A LOS DUCTOS O ANCLAJES.
- 4.- EL CONCRETO SE HICCA SOBRE LOS DUCTOS DE LOS CABLES LO MAS BIEN POSIBLE.
- 5.- MADE CAMARA SOBRE LOS DUCTOS.

**B1.3.- TENSADO DE LOS CABLES.**

- 1.- LOS DATOS PARA EL TENSADO SON CONOCIDOS:
- 2.- LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD DEBEN GARANTIZAR QUE EN CASO DE RUPTURA DE CABLE O FALLA DEL GATO, NADIE SEA HERIDO.
- 3.- EL CONCRETO TIENE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA EN EL PLANO.
- 4.- EL CABLE ESTA LIMPIO (CON LINA O GASOLINA) EN LA ZONA DE LAS CURVAS DEL GATO.
- 5.- AL COLOCAR EL GATO NO ESTAN RETORCIDOS LOS ALAMBRES, LA CAMARA DEL GATO ES INFERIOR AL ALARGAMIENTO CALCULADO.
- 6.- PARA FACILITAR EL DESACARGAMIENTO DEL GATO SE DEBE COLOCAR UN POCO DE GRASA EN LAS RAMAS DEL GATO EN DONDE SE ACURBAN LOS ALAMBRES O PARAFINOS EN LAS ANCLAS DE TORONES.
- 7.- AL DESACURBAN EL GATO SE CUBRE EN UN SACO PARA EVITAR QUE VUELEN LAS CURVAS.
- 8.- NO HAY FUGAS DE AGUA EN EL GATO O BOMBA, LAS MANGUERAS FUERON PURGADAS.
- 9.- NO SE UTILIZA EL MARTILLO PARA DESACURBAN EL GATO, EN NINGUN CASO.

**B1.4.- PARAMETROS ADICIONALES.**

- 1.- MEDIDAS DE ALARGAMIENTOS: SIGNO DE LOS DESPLAZAMIENTOS.
  - EN EL EXTREMO CON GATO.
  - EN EL EXTREMO MUERTO.
 MARCAR EL CABLE A 100  $\text{kg/cm}^2$  o 100 BARS.
- 2.- PRESIONES:

TIPO DE CABLE	PRESIONES MAX. DE TENSADO		PRESIONES ALCURAMIENTO	
	TIPO DE GATO	BARS	TIPO DE GATO	BARS
12 # 7	U - 5	409	12 # 7	290
		417	U - 5	298

NOTACIONES:  
 p= PRESION DEL TIPO DE GATO EMPLEADO.  
 A<sub>0</sub>= ALARGAMIENTO PROMEDIO DEL CABLE DE 12#7 EN BASE AL DIAGRAMA DE PERDIDAS INSTANTANEAS ESTABLECIDO EN LA MEMORIA DE CALCULO.  
 p<sub>0</sub>= ESFUERZOS DE TENSION AL ORIGEN DE LOS CABLES DE PRESFUERZO: p<sub>0</sub> y p<sub>00</sub>.

3.- ANOMALIAS EN LOS RESULTADOS DE ALARGAMIENTO:  
 3.1.- NO CORTAR NI INYECTAR NINGUN CABLE CUYO ALARGAMIENTO MEDIO SEA INFERIOR O SUPERIOR DE 7% AL CALCULADO.  
 3.2.- SE TENDRA EL ORIGEN PRESION-ALARGAMIENTO PARA LOCALIZAR ALGUN ERROR DE MEDIDA.

3.3.- SI EL ALARGAMIENTO MEDIO CON UNA PRESION P ES SUPERIOR AL ALARGAMIENTO A<sub>0</sub>, SE CONTINUARA AL TENSADO HASTA LA PRESION P<sub>0</sub> PREVISTA SIN EMBARGO, SI UN ALARGAMIENTO DE 1.07 A<sub>0</sub> YA ESTA ANTES DE ALCANZAR LA PRESION P<sub>0</sub>, SE DETIENRA LA OPERACION Y SE DEBERA DAR ABISO AL INGENIERO RESPONSABLE.

4.- SI EL ALARGAMIENTO OBTENIDO CON LA PRESION P<sub>0</sub> PREVISTA ES INFERIOR AL ALARGAMIENTO A<sub>0</sub> PREVISTO, SE CONTINUARA A TENSAR POR ETAPAS DE 10 BARS SIN SOBREPASAR NI LA PRESION 1.07 P<sub>0</sub>, NI LA PRESION MAXIMA INDICADA EN EL PUNTO No. 2, NI TAMPOCO EL ALARGAMIENTO A<sub>0</sub> CALCULADO.

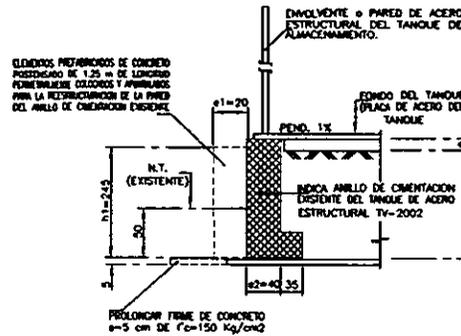
5.- SI EL ALARGAMIENTO OBTENIDO CON 1.07 P<sub>0</sub> ES INFERIOR A 0.95 A<sub>0</sub>, LAS MEDIDAS SUQUIENTES DEBERAN SER TOMADAS SUCESIVAMENTE.

- 1.- VERIFICAR LA CALIBRACION DEL MANOMETRO.
- 2.- VERIFICACION DEL FUNCIONAMIENTO DEL GATO SIN CARGA, DE LA BOMBA Y DE LAS MANGUERAS.
- 3.- DESTENSADO Y MOVIMIENTO DEL CABLE DENTRO DEL DUCTO PARA CHECAR QUE NO ESTE TAPADO POR LEGAMA INTRODUCIDA POR ACCIDENTE, POR FALTA DEL DUCTO.
- 4.- RETENSADO DE CABLE.

**B1.5.- ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE OBRAS CIVILES EN LA RECONSTRUCCION DEL ANILLO DE CIMENTACION DEL TANQUE TV-2002 Y EN LOS LIBROS DE PROYECTO.**

DIMENSIONES.- PARA DETALLES COMPLEMENTARIOS, VEASE EL PLANO CORRESPONDIENTE.

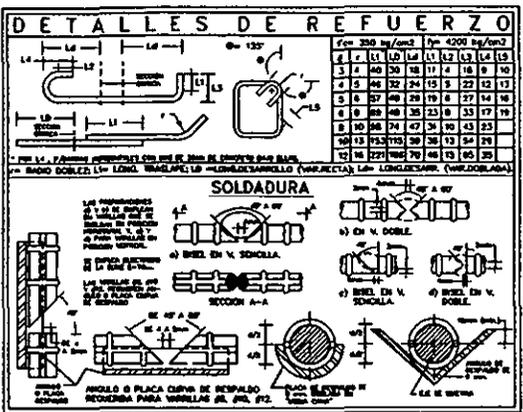
TANQUE	Ø	B1	Ø1	Ø2
TANQUE TV-2002	5486.40	245	20	40



- 1.- ESFUERZOS DE TENSION AL ORIGEN DE LOS CABLES DE PRESFUERZO. LOS ESFUERZOS DE TENSION AL ORIGEN EN CADA EXTREMO DE CADA CABLE SERAN: p<sub>0</sub>=13203  $\text{Kg/cm}^2$  Y p<sub>00</sub>=12500  $\text{Kg/cm}^2$ .
  - R.- CONCRETO  $f_{cm}=350 \text{ Kg/cm}^2$ .
- EN EL CASO DE QUE SE REQUIERA REDUCIR EL TIEMPO DE EJECUCION, SE PUEDE EMPLEAR CONCRETO RAPIDO, TOMANDOSE LAS MEDIDAS CORRESPONDIENTES PARA DISMINUIR LAS CONTRACCIONES EN EL CONCRETO.

**NOTAS GENERALES**

- 1.- TODAS LAS MEDIDAS ESTAN DADAS EN cm, EXCEPTO DONDE SE INDIQUE OTRA UNIDAD
- 2.- NIVELES EN METROS.
- 3.- LAS COTAS SEEN AL DIBUJO, NO TOMAR MEDIDAS A ESCALA.
- 4.- EL CONCRETO TENDRA UNA RESISTENCIA DE  $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$ .
- 5.- EL ACERO DE REFUERZO SERA DE  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .
- 6.- PARA ANCLAJES Y TRASLAPES VER TABLA DE "DETALLES DE REFUERZO".
- 7.- EN NINGUN CASO SE PODRA TRASLAPAR MAS DE 33% DEL ACERO DE REFUERZO EN UNA MISMA SECCION.
- 8.- EL RECRUBIMIENTO MINIMO LIBRE SERA DE 2cm, EXCEPTO DONDE SE INDIQUE OTRA DIMENSION.
- 9.- TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO SERA DE 3/4" (2cm).
- 10.- LA SOLDADURA SERA AL ARCO ELECTRICO, Y SE USARAN ELECTRODOS DE LA SERIE E-80.
- 11.- EL ACERO DE ACCESORIOS METALICOS SERA DE  $f_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$  (A-36)
- 12.- VERIFICAR GEOMETRIA Y NIVELES EN PLANOS DE REFERENCIA



NO.	DESCRIPCION	IMP.	SPR.	INC.	VER.	EST.	EST.	EST.	FECHA	EST.	EST.	EST.
0944-01	PLANO DE LOCALIZACION DE ELEMENTOS PREFABRICADOS Y/O COLADOS EN SITO PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002											
0944-03	PLANO DE DETALLE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS Y/O COLADOS EN SITO PARA REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002											
0944-04	DETALLES DE LOS CABLES DE PRESFUERZO EN LOS ELEMENTOS PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL ANILLO DE CIMENTACION DEL TANQUE TV-2002											

NO.	DESCRIPCION	IMP.	SPR.	INC.	VER.	EST.	EST.	EST.	FECHA	EST.	EST.	EST.
1	APROBADO PARA CONSTRUCCION											
0	PARA COTIZACION Y COMENTARIOS											

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 CAMPUS ARAUCO

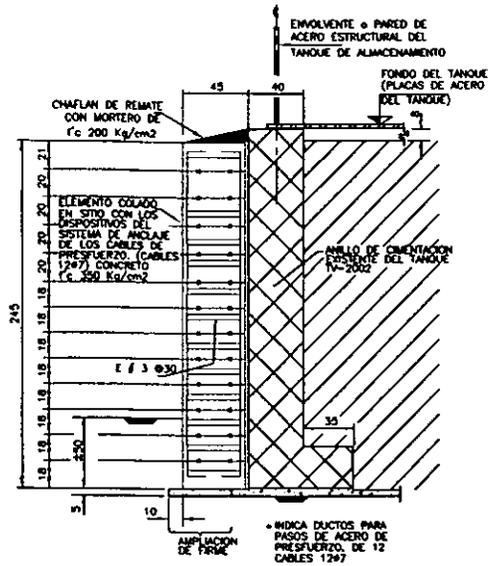
NOTAS PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL ANILLO DE CIMENTACION DEL TANQUE TV-2002

REFORZAMIENTO DE LA PARED DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002 EN LA TERMINAL OPERATIVA DE DOS BOCAS, VIBRADO

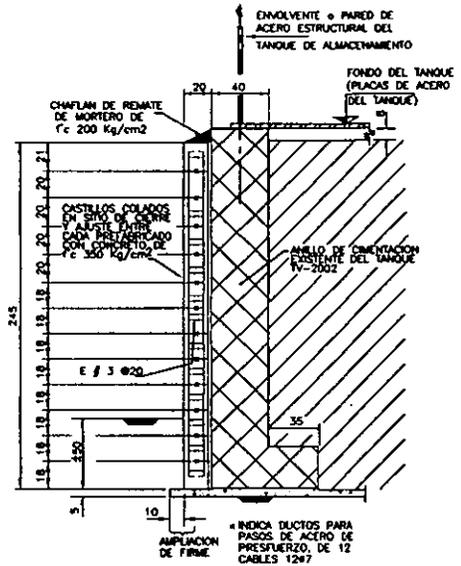
PEMEX EXPLORACION Y PRODUCCION

DOS BOCAS, TAB. MEXICO

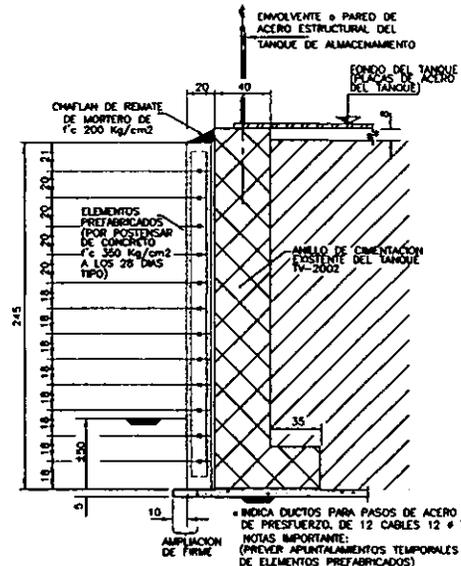
ESCALA 900 ACOF. De cm. Dib. No.N P.00944 - 02 REV. 1



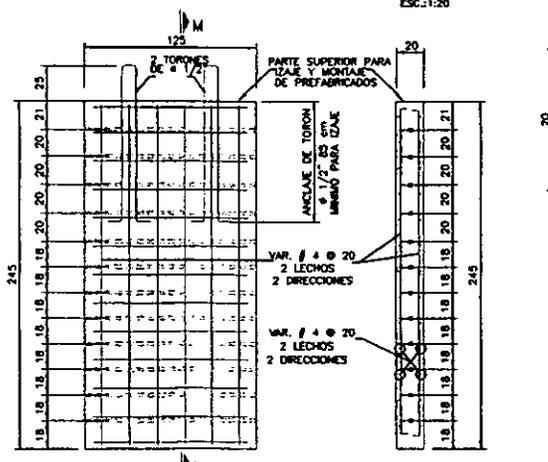
**CORTE N - N**  
**DEL REFORZAMIENTO DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002 CON 12 CABLES 12 # 7**  
 ESC: 1:20



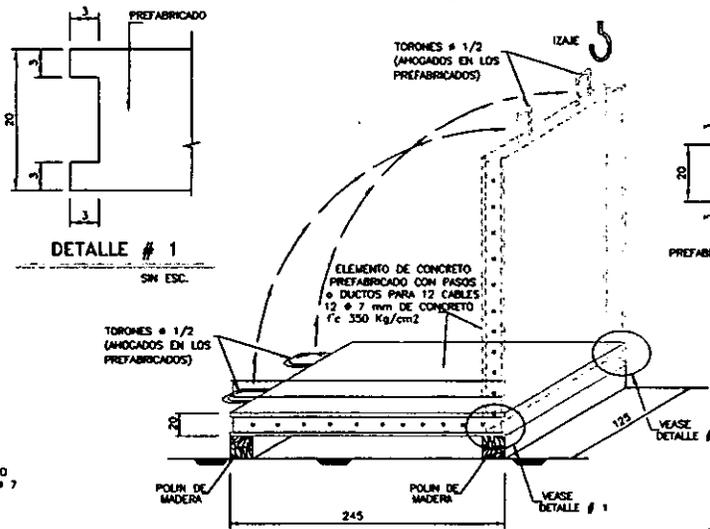
**CORTE P - P**  
**DEL REFORZAMIENTO DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002 CON 12 CABLES 12 # 7**  
 ESC: 1:20



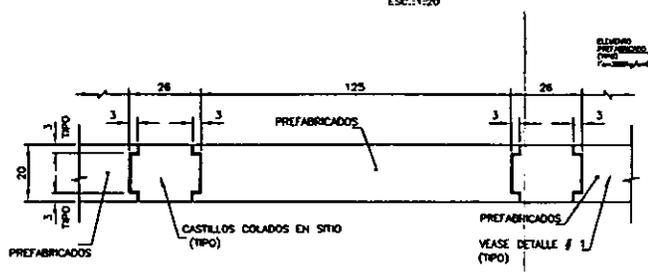
**CORTE Q - Q**  
**DEL REFORZAMIENTO DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002 CON 12 CABLES 12 # 7**  
 ESC: 1:20



**CORTE M - M**  
**DETALLE DE ARMADO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS (POSTENSADOS) DE CONCRETO f'c = 350 Kg/cm<sup>2</sup> DE 20x125x245**  
 ESC: 1:20

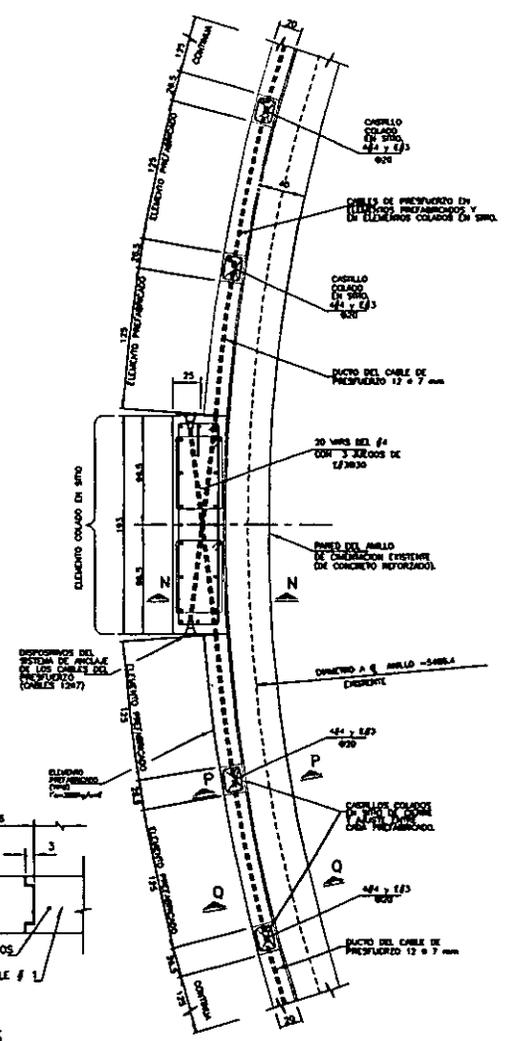


**PROCEDIMIENTO DE IZAJE DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS**  
 INDICA DUCTOS AHOGADOS EN ELEMENTOS PREFABRICADOS PARA PASOS DE 12 CABLES 12 # 7 (CONCRETO f'c = 350 Kg/cm<sup>2</sup>)



**DETALLE DE TRASLAPE DE PREFABRICADOS CON CASTILLOS COLADOS EN SITIO**  
 SIN ESC.

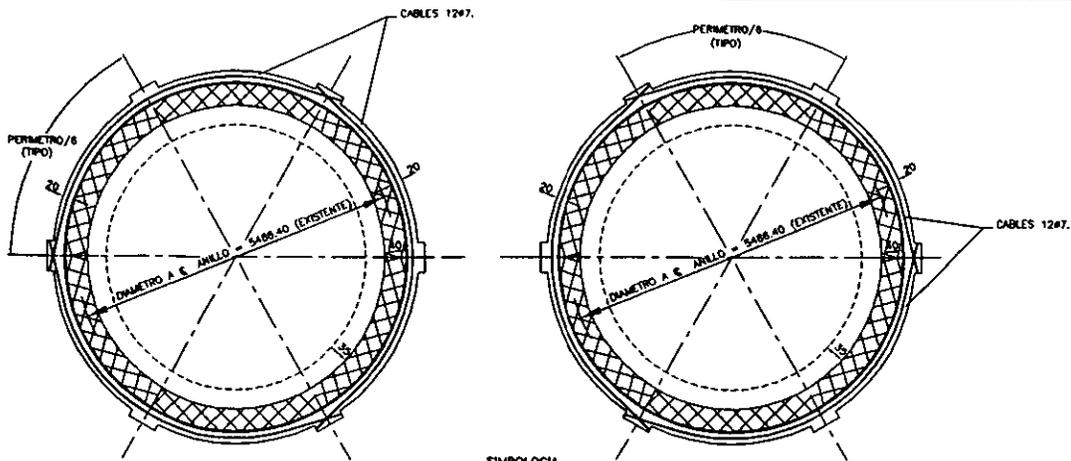
CARACTERISTICAS DEL CABLE					
TIPO	SECCION	FUERZA TENSADO	ESFUERZO EL CABLE	FUERZA RUPTURA	PESO NOMINAL
12 # 7	482 mm <sup>2</sup>	81 Tons.	132 Kg/mm <sup>2</sup>	78 Tons	3.63 Kg/ml.



- PLANTA DE DETALLES DE ARMADOS DE:**
- SEIS ELEMENTOS COLOCADOS EN SITIO CON LOS DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE ANCLAJE DE CONCRETO f'c=350 Kg/cm<sup>2</sup>. (A LOS 28 DIAS)
  - ELEMENTOS DE CASTILLOS COLADOS EN SITIO PARA CERRAR Y AJUSTE ENTRE CADA ELEMENTO PREFABRICADO DE CONCRETO f'c=350 Kg/cm<sup>2</sup> (A LOS 28 DIAS)

- NOTAS GENERALES**
- ACOTACIONES EN cm. EXCEPTO DONDE SE INDIQUE OTRA UNIDAD.
  - RECUBRIMIENTOS MINIMOS A PARED EXTERIOR DE VARILLA DE 2.50 cm.
  - CONCRETO f'c=350 Kg/cm<sup>2</sup> EN ELEMENTOS DE REFORZAMIENTO CON E<sub>w</sub>=14000 f'c (PREFABRICADOS Y COLADOS EN SITIO)
  - ACERO DE REFUERZO DE f<sub>y</sub> = 4200 Kg/cm<sup>2</sup>
  - ACERO DE PRESFUERZO DE f<sub>pu</sub>=16450 Kg/cm<sup>2</sup>
  - CEMENTO PORTLAND TIPO I
  - TENSAR CADA CABLE POR LOS DOS EXTREMOS
  - ESFUERZOS DE TENSION AL ORIGEN EN CADA EXTREMO DE CADA CABLE, CON LOS SIGS. VALORES: f<sub>pm</sub>=13203Kg/cm<sup>2</sup> y f<sub>pp</sub>=12900 Kg/cm<sup>2</sup>
  - EL SISTEMA DE PRESFUERZO A EMPLEAR SERA EL DE TREYSSNETT.

00944-01 PLANTA DE LOCALIZACION DE ELEMENTOS PREFABRICADOS Y/O COLADOS EN SITIO PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DE ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002	00944-04 DETALLES DE LOS CABLES DE PRESFUERZO EN LOS ELEMENTOS PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DE ANILLO DE CIMENTACION DEL TANQUE TV-2002	REFORZAMIENTO DE LA PARED DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002, EN LA TERMINAL BARRERA DE DOS BOCAS, TABLADO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CAMPUS ARAUCO																																														
00944-02 PLANO DE PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL TANQUE TV-2002		PEMEX EXPLORACION Y PRODUCCION	PLANO DE DETALLES PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS Y/O COLADOS EN SITIO PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL TANQUE TV-2002																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>REV.</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ELAB.</th> <th>APR.</th> <th>REV.</th> <th>FECHA</th> <th>FECHA</th> <th>FECHA</th> <th>FECHA</th> <th>FECHA</th> <th>FECHA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>APROBADO PARA CONSTRUCCION</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>PARA COTIZACION Y COMENTARIOS</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		REV.	DESCRIPCION	ELAB.	APR.	REV.	FECHA	1	APROBADO PARA CONSTRUCCION											0	PARA COTIZACION Y COMENTARIOS											<table border="1"> <thead> <tr> <th>APROBADO</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	APROBADO	FECHA			<table border="1"> <thead> <tr> <th>ENCUADRA</th> <th>REVISORA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	ENCUADRA	REVISORA	FECHA									
REV.	DESCRIPCION	ELAB.	APR.	REV.	FECHA																																												
1	APROBADO PARA CONSTRUCCION																																																
0	PARA COTIZACION Y COMENTARIOS																																																
APROBADO	FECHA																																																
ENCUADRA	REVISORA	FECHA																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>REV.</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ELAB.</th> <th>APR.</th> <th>REV.</th> <th>FECHA</th> <th>FECHA</th> <th>FECHA</th> <th>FECHA</th> <th>FECHA</th> <th>FECHA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> </tr> </tbody> </table>		REV.	DESCRIPCION	ELAB.	APR.	REV.	FECHA													<table border="1"> <thead> <tr> <th>APROBADO</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	APROBADO	FECHA			<table border="1"> <thead> <tr> <th>ENCUADRA</th> <th>REVISORA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	ENCUADRA	REVISORA	FECHA																					
REV.	DESCRIPCION	ELAB.	APR.	REV.	FECHA																																												
APROBADO	FECHA																																																
ENCUADRA	REVISORA	FECHA																																															

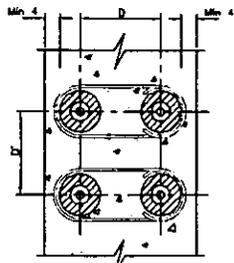


PLANTA ANILLOS PARES

PLANTA ANILLOS IMPARES

COLOCACION DE LOS CABLES, DE PRESFUERZO PARA OBTENCION DE MAYOR

REGULARIDAD EN LOS ESFUERZOS DEBIDOS AL PRESFUERZO.



DISTANCIAS ENTRE EJES DE COMOS RECUBRIMIENTOS. Dimensiones mínimas NORMALES.  $D=16$  cm. Para conos exteriores  $D=17$  cm.  $S=24$  cm.

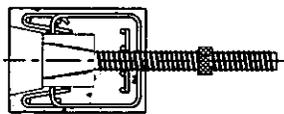
CABLES CURVOS

Raíz mínima 3 cm. INYECCION: Cantidades por m. l. de cable

Ø DUCTO (INTERIOR) DE MORTERO	V. TEORICO 1/ML.	PESO DE CEMENTO
37	0.80	0.90
40	0.80	1.20

SECUENCIA DE TENSADO

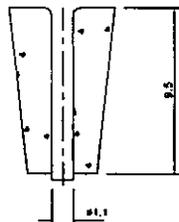
PRIMERA ETAPA - SOE DEL PRESFUERZO HORIZONTAL SIN CARGAS DE OPERACION, TANQUE VACIO.  
SEGUNDA ETAPA - SOE ADICIONAL DEL PRESFUERZO HORIZONTAL CON CARGAS DE OPERACION, TANQUE LLENO.



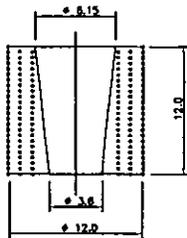
UNION DE DUCTO CON BLOQUE EXTREMO PREFABRICADO

ELEVACION DEL NUEVO ANILLO DE CIMENTACION EN BASE A ELEMENTOS PREFABRICADOS DE CONCRETO POSTENSADO.

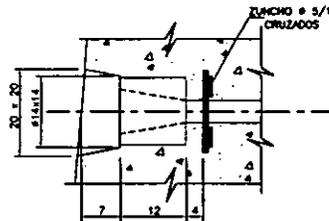
(12 CABLES DE 12#7).



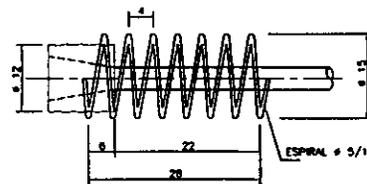
CONO MACHO (12 # 7)



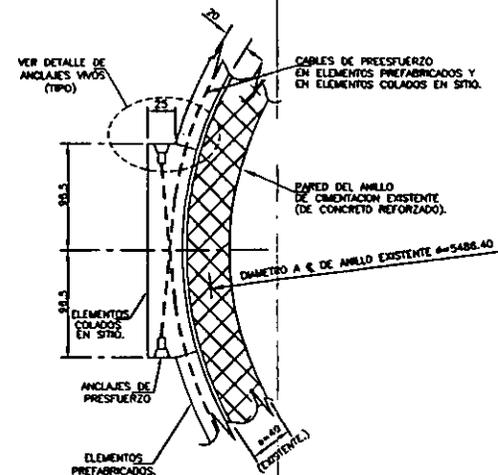
CONO HEMBRA (12 # 7)



CAJA PARA SELLADO



ZUNCHOS EN ANCLAJES (SOLUCION - B)



PLANTA DETALLE DE ELEMENTOS COLADOS EN SITIO, CON DISPOSITIVOS DE ANCLAJE. (PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002).

CABLE 12 # 7			
El cable está compuesto de 12 alambres hasta de 7 mm. de diámetro.			
AREA DEL CABLE	DUCTO INTERIOR MINIMO	DIAMETRO INTERIOR	PESO POR M.L. (Kg.) (sin aceite ni aceite)
482 mm <sup>2</sup>	37mm.	40mm.	3.7 kg.

\* cuando se instale el cable después de curado la plaza.

ESFUERZOS DE TENSION AL ORIGEN EN CADA EXTREMO DE CADA CABLE. (Kg/cm <sup>2</sup> )	
$f_{po} = 13203.00$	(Kg/cm <sup>2</sup> )
$f'_{po} = 12500.00$	(Kg/cm <sup>2</sup> )

GATOS U-3 Y U-5. ALIMENTADO CON AGUA Y ACEITE					
DESCRIPCION	CARRERA UTIL.	PESO Kg.	SECCION DE TENSION	PRESION MAXIMA:	
				EN GATO	DE ACURRAMIENTO
U-3	200 mm.	70 kg.	157.8 cm <sup>2</sup>	490 bars.	300 bars.
U-5	300 mm.	80 kg.	157.8 cm <sup>2</sup>	490 bars.	300 bars.

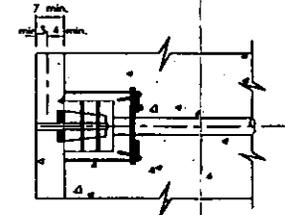
LOS CABLES 12 # 7 PUEDEN IGUALMENTE TENSARSE CON GATOS 5 7 DE 12 # 8 PROVISTOS DE LAS PIEZAS DE ACOPLAMIENTO CONVENIENTES.

NOTAS GENERALES:

- 1.- COTACIONES EN CM., EXCEPTO DONDE SE INDIQUE OTRA UNIDAD.
- 2.- RECUBRIMIENTOS MINIMOS A PARED EXTERIOR DE VARILLA DE 2.5 cm.
- 3.- CONCRETO  $f_c=350$  Kg/cm<sup>2</sup> EN ELEMENTOS DE REFORZAMIENTO  $f_m=14000$  TFE (PREFABRICADOS Y/O COLADOS EN SITIO).
- 4.- ACERO DE REFUERZO DE  $f_y=4200$  Kg/cm<sup>2</sup>.
- 5.- ACERO DE PRESFUERZO DE  $f_{ps}=16450$  Kg/cm<sup>2</sup>.
- 6.- CEMENTO TIPO PORTLAND II.
- 7.- TENSAR CADA CABLE POR LOS 2 EXTREMOS.
- 8.- ESFUERZOS DE TENSION AL ORIGEN EN CADA EXTREMO DE CADA CABLE, CON LOS SIGS. VALORES:  $f_{po}=13203$  Kg/cm<sup>2</sup> Y  $f'_{po}=12500$  Kg/cm<sup>2</sup>.
- 9.- EL SISTEMA DE PRESFUERZO A EMPLEAR SERA EL DE FREYSSINETT.

DETALLES DE ANCLAJES VIVOS. (FREYSSINETT)

ZUNCHOS EN ANCLAJES (SOLUCION - A).



DETALLE TIPICO.

NO.	DESCRIPCION	REV.	FECHA	PROY.	DIR.	COM.	OTRO												
0094-01	PLANTA DE LOCALIZACION DE ELEMENTOS PREFABRICADOS Y/O COLADOS EN SITIO PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002.																		
0094-02	PLANO DE PROYECTAMIENTO CONSTRUCTIVO PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL TANQUE TV-2002.																		
0094-03	PLANO DE DETALLES DE ELEMENTOS PREFABRICADOS Y/O COLADOS EN SITIO PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL ANILLO DE CIMENTACION DEL TANQUE TV-2002.																		

ESTE DISEÑO INCLUYE EL SISTEMA DE PRESFUERZO A EMPLEAR EN EL TANQUE TV-2002 EN LA TERCERA UNIDAD DE LOS BOCAS. TANTO EN EL REFORZAMIENTO DE LA PARED DEL ANILLO DE CIMENTACION EXISTENTE DEL TANQUE TV-2002 EN LA TERCERA UNIDAD DE LOS BOCAS. TANTO EN EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL ANILLO DE CIMENTACION DEL TANQUE TV-2002. PEXEX EXPLORACION Y PRODUCCION



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO CAMPUS ARAGON  
DETALLES DE LOS CABLES DE PRESFUERZO EN LOS ELEMENTOS PARA EL REFORZAMIENTO DE LA PARED LATERAL DEL ANILLO DE CIMENTACION DEL TANQUE TV-2002  
Escala: INDICADA ACOR. EN CM.  
Dib. No. -N P-0094-04 REV 1