

T  
662.624  
S 714

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**TESIS**

Previa a la obtención del Título

- de -

**INGENIERO MECANICO**

**TEMA:**

**“CONSIDERACIONES TECNICAS EN EL DISEÑO DE  
UN CASCARON PARA EL ALMACENAMIENTO  
DE COMBUSTIBLES”**

**Presentada por:**

**Jorge Soria Merchán**

**1975**

"CONSIDERACIONES TECNICAS EN EL DISEÑO DE UN CASCARON  
PARA EL ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES"

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO

DE

INGENIERO MECANICO

PRESENTADO POR:

JORGE SORIA MERCHAN

EGRESADO DE LA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

"CONSIDERACIONES TECNICAS EN EL DISEÑO DE UN CASCARON  
PARA EL ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES"

  
JORGE SORIA MERCHAN  
AUTOR

  
ING. ALFREDO TORRES G.  
DIRECTOR DE TESIS

ING. FREDDY CEVALLOS B.  
DIRECTOR DPTO. DE ING. MECANICA

## DEDICATORIA

*A mis padres, sin cuya ayuda ma  
terial y espiritual no hubiese  
podido culminar mi carrera.*

EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE ESTA  
TESIS CORRESPONDE A LA ESCUELA  
SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DECLARACION EXPRESA:

*"La responsabilidad de los hechos,  
ideas y Doctrinas expuestas en es-  
ta Tesis, corresponde exclusiva-  
mente a su autor".*

*(Art. Sexto del Reglamento de Exá-  
menes y Títulos Profesionales).*

JORGE SORIA MERCHAN

## AGRADECIMIENTO

*Un especial agradecimiento  
al DIRECTOR DE TESIS, bajo  
cuya acertada dirección he  
podido culminar este trabajo  
jo.*

*A mis hermanos:*

DR. RAUL SORIA

DR. JUAN SORIA

*quienes en todo momento  
me brindaron su ayuda y  
colaboración.*

# CONTENIDO

	Pág.
CAPITULO I	
GENERALIDADES	1
1. Introducción	2
2. Factibilidad	3
3. Discusión del problema	3
4. Definiciones generales	6
5. Selección de los tipos de cascarones (depósitos) y materiales a usarse.	16
CAPITULO II	
INGENIERIA DEL PROYECTO	37
1. Criterios técnicos en el diseño de un cascarón.	38
2. Cálculo de los principales parámetros usando teoría de cascarones.	44
3. Cálculo de la soldadura	102
4. Cálculo de las bases o estructuras.	108
CAPITULO III	
CONSIDERACIONES ADICIONALES	111
1. Métodos de fabricación del cascarón de almacenamiento.	112
2. Almacenamiento de combustibles	115
3. Precauciones de operación y seguridad.	120

CAPITULO IV	
ANALISIS DE LOS COSTOS DE FABRICACION	121
CAPITULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	130
CAPITULO VI	
APENDICE	136
1. GRAFICOS	137
2. PLANOS	142a
3. PROGRAMAS DE COMPUTADORA	143
4. BIBLIOGRAFIA	150

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

1. INTRODUCCION
2. FACTIBILIDAD
3. DISCUSION DEL PROBLEMA
4. DEFINICIONES GENERALES
5. SELECCION DE LOS TIPOS DE CASCARONES (depósitos)  
Y MATERIALES A USARSE.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1. INTRODUCCION

Dentro de la rama petrolera, uno de los aspectos de gran importancia, es el almacenamiento del petróleo como materia - prima, productos terminados o productos en etapas intermedias de refinación.

El productor se encuentra con que es necesario disponer de facilidades de almacenamiento sobre la superficie de la tierra, durante el tiempo que se somete a tratamiento para eliminar impurezas, o mientras espera al comprador o la agencia de transporte.

Se verá claro que el problema del almacenamiento es de suma importancia económica que afecta no solo al productor, sino a quienes están dedicados al transporte, refinación y ventas como fases de la industria petrolera.

También vemos que esta necesidad se extiende no solo a la industria petrolera, sino a la industria en general que requiere tener en su propiedad, una disponibilidad de energía para el normal desenvolvimiento de sus actividades diarias,

por tanto debe contar con los apropiados depósitos para almacenar una determinada cantidad de combustible, según sus requerimientos, los cuales debe mantenerlos adecuadamente para evitar riesgos de incendio y explosión y también reducir las pérdidas que resultan de evaporación y posibles escurrimientos en el depósito.

## 2. FACTIBILIDAD

Actualmente el diseño y construcción de los grandes depósitos de almacenamiento de petróleo o derivados, en su mayoría es hecho por compañías extranjeras.

El propósito de esta tesis es el de hacer notar que en nuestro país se debe poner hincapié por parte de nosotros los ecuatorianos en abarcar este campo y captemos su tecnología, para diseñar y construir nuestros propios tanques; existen como A.P.I. Standard (Instituto Americano del Petróleo) que da todas las reglamentaciones para el diseño, construcción, inspección, etc. de todo tipo de depósito para almacenamiento de petróleo o derivados.

## 3. DISCUSION DEL PROBLEMA

Básicamente en esta tesis, nos detendremos mayormente en el cascarón cilíndrico o cuerpo del tanque.

Previamente, hablaremos generalidades sobre la geometría del tanque de acuerdo al fluido que va a almacenar y escoger un fluido como por ejemplo: gasolina, y seleccionar el tanque cilíndrico vertical con techo esférico, sobre el cual haremos el estudio.

También hablaremos sobre otros temas relacionados con este trabajo, daremos los principales conceptos y teorías tanto en lo que respecta a cascarones, como en lo que se refiere también a almacenamiento de hidrocarburos.

Se abarcarán los criterios técnicos que se toman en cuenta en el diseño de un cascarón de almacenamiento: temperatura de operación, presión de operación, cargas aplicadas tales como presión interna, peso del tanque y líquido contenido, cargas de viento, cargas supeimpuestas (accesorios que se acoplan a la superficie del tanque), etc. Todo esto debe tenerse en cuenta, para ajustar o corregir los esfuerzos y demás parámetros que se calculen por teoría de cascarones; obviamente recomendaremos estos reajustes al final de este trabajo en nuestra conclusión y recomendación a fin de que el diseño del tanque sea confiable y seguro. Se harán suposiciones, restricciones como la de cascarón delgado, casca  
rón largo, etc. lo cual facilitará y reducirá lo complejo

de las ecuaciones que entran en juego en el cálculo a efectuarse.

Daremos ciertas nociones sobre los materiales, propiedades de estos materiales de construcción tales como planchas, perfiles, etc. métodos de construcción que conforman la tecnología de construcción de estos tanques se expondrán brevemente.

Siendo que el cascarón, objeto de esta tesis es para almacenamiento de hidrocarburos, es necesario hacer hincapié sobre ciertas precauciones de operación y seguridad encaminadas principalmente a evitar la corrosión, pérdidas por: evaporación, respiración, llenado, etc. riesgos inesperados de incendio, presiones o depresiones excesivas.

En este trabajo se dan también programas de computadoras, tanto para el techo esférico, como para el cuerpo cilíndrico del tanque. Previamente deduciremos las expresiones matemáticas y las evaluaremos en la computadora. Haremos la evaluación en la parte cilíndrica del tanque, de todos sus parámetros cada dos pulgadas, y, luego graficarlos uno por uno a lo largo de la pared del tanque; previamente haremos un cálculo preliminar de los espesores de los segmentos de pared, por medio de la norma A.P.I.

#### 4. DEFINICIONES GENERALES

En cuanto a definiciones generales, tenemos que abarcar las que se refieren tanto a almacenamiento, como a lo que se relaciona a Teoría de Cascarones. Empezaremos definiendo el concepto de un cascarón.

Cascarón.- Es aquel cuerpo que está limitado por dos superficies curvas; así como tal, puede considerarse como la materialización de una superficie curva, así como la viga y la placa plana pueden ser consideradas como la materialización de una línea y una superficie plana.

Un cascarón, tiene cuatro aspectos fundamentales que lo identifican: su superficie de referencia en base a la cual se formulan las ecuaciones, su espesor, sus bordes y su radio o radios de curvatura.

Para el tipo de cascarón que se va a diseñar, puesto que el espesor es tan pequeño comparado con su radio de curvatura se dice que es un cascarón delgado, según Kraus (Ref. 1) lo es cuando  $t/R < 1/10$ .

La mayoría de los cascarones, de aplicación práctica tienen que ver con aquellos cuya superficie de referencia es una superficie de revolución. Podemos ver una superficie de re-

volución en el gráfico # 1.

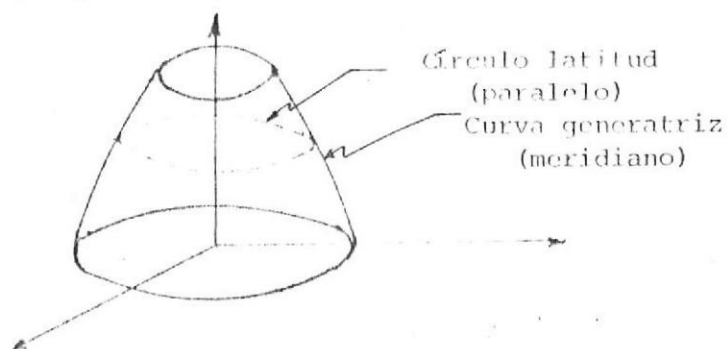


FIG. # 1

A fin de definir las principales variables que gobiernan un cascaron cualquiera tomemos un elemento, cortado de este por medio de dos meridianos adyacentes y dos secciones transversales perpendiculares a los meridianos.

ELEMENTO DE UN CASCARON ESFERICO

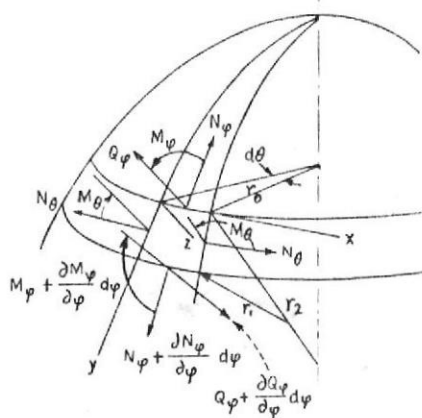


FIG. # 2

Donde:

$N\phi$  = Esfuerzo Meridional por unidad de longitud de arco de superficie de referencia, dado en lb/pulg.

$N\theta$  = Esfuerzo latitudinal por unidad de longitud de arco de superficie de referencia, dado en lb/pulg.

$M\phi$  = Momento flector por unidad de longitud de arco de superficie de referencia, en el sentido de los meridianos dado en lb-pulg/pulg.

$M\theta$  = Momento flector por unidad de longitud de arco de superficie de referencia en sentido latitudinal, dado en lb-pulg/pulg.

$Q\phi$  = Fuerza cortante por unidad de longitud, normal al cascarón dado en lb/pulg.

$q_x, q_y, q_z$  = Cargas aplicadas al cascarón, dadas en lb/pulg<sup>2</sup>.

Cascarón cilíndrico.- Es aquella superficie de revolución cuya curva generadora es una recta paralela a su eje longitudinal, como podemos ver en el gráfico un elemento del cascarón está formado por dos generadores adyacentes y dos secciones transversales perpendiculares al eje  $x$ , su posición está definida por la coordenada  $x$  además del ángulo  $\phi$ .

Las fuerzas que actúan en la cara del elemento son mostradas también en la figura.

## ELEMENTO DE UN CASCARON CILINDRICO

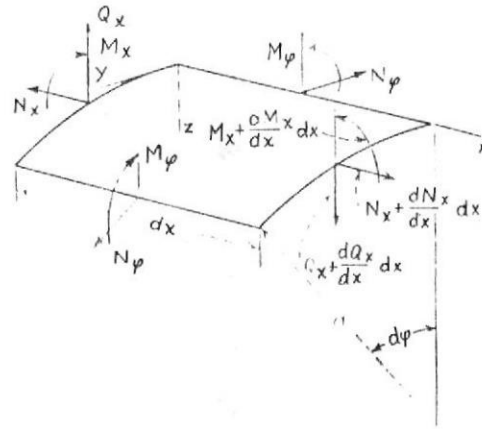


FIG. # 3

para cascarón cilíndrico:

$$N_{\phi} = N_x$$

$N_{\phi}$  = Esfuerzo meridional, o circunferencial (Hoop)

$N_x$  = Esfuerzo longitudinal

$M_{\phi}$  = Momento flector en sentido meridional

$$M_{\phi} = \nu M_x$$

$M_x$  = Momento flector en sentido longitudinal

$Q_x$  = Fuerza cortante normal al cascarón cilíndrico

Cascarón cilíndricos están gobernados por la siguiente ecuación diferencial de cuarto orden que la damos en función de la deflección  $w$  del cascarón cilíndrico, de la altura del

cascarón ( $d$ ), del peso específico del contenido ( $\gamma$ ), de la rigidez a la flexión ( $D$ ) y de  $\beta$  una relación que definiremos más tarde. (Ref. 2)

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 4\beta^4 w = - \frac{\gamma(d-x)}{D} \quad 1-1$$

Cuya solución es:

$$w = e^{-\beta x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + e^{\beta x} (C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x) - \frac{\gamma(d-x)R^2}{Et} \quad 1-2$$

Donde  $C_1, C_2, C_3, C_4$  son constantes de integración

$R$  = Radio del cascarón cilíndrico

$t$  = Espesor del cascarón cilíndrico

$E$  = Módulo de elasticidad del material a la flexión

Las funciones que involucran exponenciales positivos, deben ser suprimidas cuando se considera un cilindro largo, a fin de que las variables del cascarón permanezcan finitas a medida que  $\beta x$  crece, por esta razón se puede ver que  $C_3 = C_4 = 0$  y la solución se convierte en:

$$w = e^{-\beta x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) - \frac{\gamma(d-x)R^2}{Et} \quad 1-3$$

El rápido decaimiento de las funciones que contienen exponenciales negativos, nos permite definir la longitud de decaimiento que introduciremos en el siguiente punto:

Cascarón cilíndrico largo.- Como sabemos en cualquier cascarón, las condiciones aplicadas a sus bordes (fuerzas, momentos, etc. ) solo dejan sentir su efecto hasta una distancia conocida como longitud de influencia o decaimiento  $L_c$ .

Para el caso de cascarón cilíndrico, si fuerzas son aplicadas en ambos extremos, y si la longitud del cascarón es  $2L_c$  o más grande, el efecto de estas condiciones tendrá un efecto despreciable del uno sobre el otro; por tal razón el cascarón debe tener una longitud mínima  $2L_c$  para ser considerado como cascarón cilíndrico largo (Ref. 1)

$L_c$  está dado por la siguiente expresión:

$$L_c = \frac{\Pi}{\beta} \quad 1-4$$

Donde:

$$\beta = \frac{\sqrt[4]{3(1 - \nu^2)}}{R^2 t} \quad 1-5$$

$\nu$  = coeficiente de Poisson

$R$  = Radio del cascarón cilíndrico

$t$  = Espesor del cascarón

Esta expresión está basada en el hecho de que cuando  $\beta L_c = \Pi$  el valor del exponencial  $(-\beta L_c)$  ya ha caído a 0.043. (Ref. 1)

## FUNCIONES EXPONENCIALES DE SOLUCION 1-1

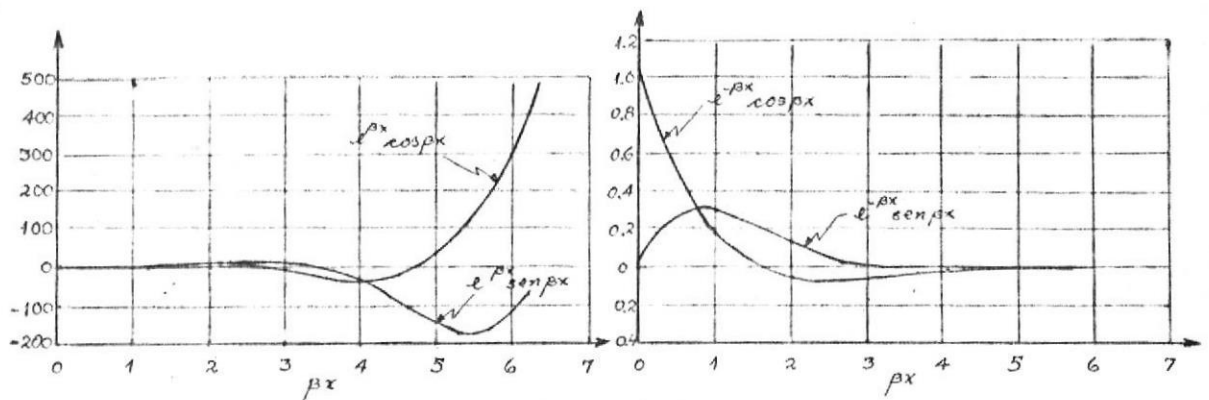


FIG. # 4

El cascarón será largo por tanto cuando

$$L > 2 L_c$$

1-6

Reemplazando  $\beta$  por su valor y para  $\nu = 0.3$  para el acero:

$$L > 4.89 \sqrt{Rt}$$

1-7

Anillos o segmentos de pared.- Para el análisis del cascarón cilíndrico, en el caso de tanques de almacenamiento considere cada anillo o segmento de pared como un cascarón cilíndrico individual.

El conjunto de segmentos de pared que soldados uno encima del otro por sus bordes, es lo que constituye el cascarón - en su altura nominal.

Los parámetros en los cascarones, pueden ser calculados por medio de la teoría de momentos, y la teoría de membrana.

La teoría de membrana se diferencia de la teoría con momentos, en que en teoría de membrana no se consideran los momentos flectores y este es el caso que se puede presentar - cuando un cascarón bajo ciertas condiciones de carga los momentos flectores resultantes son cero, o son tan pequeños - que pueden ser despreciables y no se los considera en el cálculo de los esfuerzos.

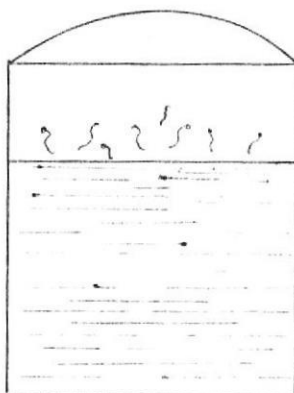
Normalmente, debido a las condiciones localistas de los momentos, la teoría de membrana para diseños prácticos se justifica plenamente siempre y cuando se tome un razonable factor de seguridad.

Esfuerzo de Trabajo o Esfuerzo Permisible.- Este puede ser tomado como un porcentaje del esfuerzo de fluencia o del esfuerzo último; esta selección está controlada por un número de factores tales como: la precisión con la cual las cargas puedan ser estimadas, la confiabilidad de los esfuerzos computados a partir de estas cargas, la uniformidad del material, el riesgo si ocurre fallas y otras consideraciones tales como concentración de esfuerzos locales, cargas de impacto, fatiga y corrosión.

Presión de vapor.- Antes de definir lo que es presión de vapor de un líquido daremos una idea general de lo que se

entiende como fenómeno de la evaporación de los productos - de petróleo o cualquier otro hidrocarburo.

Las moléculas que componen el líquido en evaporación, están en rápido movimiento las cuales dependen enteramente de su temperatura, que abandonan la superficie libre del líquido por unidad de área por segundo, y sus velocidades son determinadas por la temperatura de la superficie libre del líquido.



EVAPORACION EN UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO  
FIG. # 5

Las moléculas de la parte más caliente del líquido se mueven más rápido y salen de él por unidad de tiempo.

Este proceso de separación de moléculas desde el líquido es conocido como EVAPORACION.

Este continuo bombardeo de moléculas contra el techo o paredes del tanque, ocasionan presión, conocida como la pre-

según de vapor, la cual es función de la temperatura únicamente.

te.

La presión real de vapor (presión TVP) del líquido almacenado en un tanque a una temperatura cualquiera, es uno de los factores principales que afectan la proporción de las pérdidas por evaporación.

TEMPERATURA EN GRADOS FARENHEIT

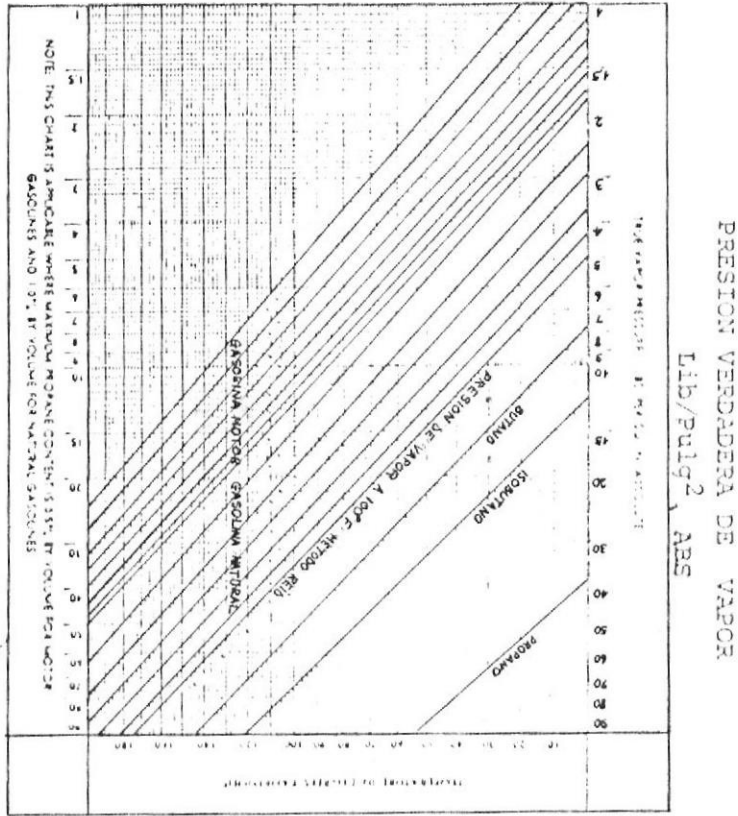


FIG. # 6

Esta presión de vapor puede ser leída directamente de la curva presión-temperatura, conociendo la presión de vapor Reid y la temperatura del líquido.

Al medir la presión de vapor por el método Reid, una porción de la muestra es vaporizada con el resultado de que la presión de vapor Reid, reportada en psia a 100°F es ligeramente más baja que la presión verdadera de vapor a esta temperatura. Consecuentemente, la presión de vapor Reid debe ser corregida para obtener la presión verdadera de vapor. Esta corrección ha sido incluida en la curva del gráfico anterior.

Las curvas muestran que la presión verdadera de vapor a varias temperaturas de líquido, de las gasolinas de motor y gasolinas natural tienen presión de vapor Reid que están en el rango de los 5 a 34 psi.

##### 5. SELECCION DE LOS TIPOS DE CASCARONES (RECIPIENTES) Y MATERIALES A USARSE

La más importante consideración en este aspecto, es a menudo, la de seleccionar el cascarón que rinda el servicio requerido en la forma más adecuada.

Por lo tanto el diseñador deberá seleccionar un almacenamien

to capaz de cumplir los siguientes resultados:

- A. Retener cada producto por el período de tiempo requerido sin deterioración o pérdida de calidad. Algunos líquidos se vuelven contaminados o se apartan de las especificaciones a menos que estén debidamente protegidas contra el aire, agua u otra sustancia extraña.
- B. Retener el producto sin pérdida de volumen. Evaporación y fuga son las dos fuentes primarias de pérdidas en los depósitos de almacenamiento.

Las pérdidas a causa de ambas fuentes pueden ser eliminadas, por medio de seleccionar el tipo de recipiente más apropiado al servicio para el cual este va a ser usado.

- C. Almacenando el producto al costo por galón más bajo posible dentro de los límites de seguridad.

Como regla el tipo de recipiente que mas se aproxime a los requisitos nombrados arriba, proveerá el almacenamiento más económico aunque su costo inicial sea mas alto que el de los otros tipos.

- D. Almacenando el producto con el menos posible peligro de incendio.

Estos requisitos que influyen esta selección, los po-

demos resumir a cuatro factores básicos:

- A. Función y localización del depósito.
- B. Naturaleza del fluido
- C. La temperatura y presión de operación
- D. Volumen necesario de almacenamiento

Todas estas condiciones se verán a medida que sigamos desarrollando este tema.

A fin de poder hacer una clasificación primeramente daremos una breve explicación acerca de tipos de depósitos, clasificación, usos, etc.

Los depósitos se pueden clasificar, de acuerdo a su servicio funcional, temperatura y presión de servicio, materiales de construcción o geometría del depósito.

Según estos tendríamos dos tipos básicos de depósitos, con sus respectivas subclasificaciones que abarcan las clasificaciones antes dichas:

1. Tanques Abiertos
2. Tanques cerrados

#### TANQUES ABIERTOS

Grandes cantidades de líquidos inofensivos tales como salmuera u otras soluciones acuosas, pueden ser almacenados en es-

tanques si son de poco valor, o en tanques abiertos de acero, madera zunchada, concreto reforzado si son de gran valor; incluso grandes cantidades de crudo pueden ser almacenados en este tipo de depósito si es que el problema de evaporación no es de importancia.

#### TANQUES CERRADOS

Fluídos combustibles, fluídos que emiten gases tóxicos o molestos, deben ser almacenados en depósitos cerrados; sustancias químicas peligrosas tales como ácido o soda cáustica son menos riesgosos si son almacenados en depósitos cerrados.

La naturaleza combustible del petróleo y sus derivados, necesita del uso de tanques cerrados. Hay que acotar que debido al extenso uso de tanques o depósitos, tanto en la industria petrolera, petroquímica o de cualquier tipo en general, ha hecho que Institutos como A.P.I. (Instituto Americano del Petróleo) y la A.S.M.E. (Sociedad de Ingenieros Mecánicos) den normas y especificaciones para el diseño y construcción de estos depósitos de manera económica y segura; el tanque que escojamos para nuestro diseño los resolveremos íntegramente usando Teoría de Cascarones y chequearemos resultados con los que se obtengan por medio de aplicar la nor

ma A.P.I.

Los tanques cerrados tienen a su vez una clasificación básica, donde cada uno tiene su justificación tanto económica como de servicio.

A. Tanques atmosféricos

B. Tanques de presión

#### TANQUES ATMOSFERICOS

Normalmente estos son cilíndricos verticales con fondo plano y pueden ser de techo fijo o techo flotante.

Esto como la mayoría de los depósitos cerrados están provistos de equipos auxiliares tales como medidores de nivel, dispositivos aliviadores de presión, dispositivos de venteo para vacío, arrestallamas, drenajes, registros tamaño de hombre, calentadores internos si es necesario, conexión de tierra, escaleras, etc.

Pueden estar externamente aislados si es que se quiere mantener el calor dentro o fuera, dependiendo del servicio.

#### TANQUES DE TECHO FIJO

De este tipo de tanques o depósitos existen algunos diseños y entre los principales tenemos:

Tanque atmosférico de techo cónico. - Estos son los más comunes y los más económicos.

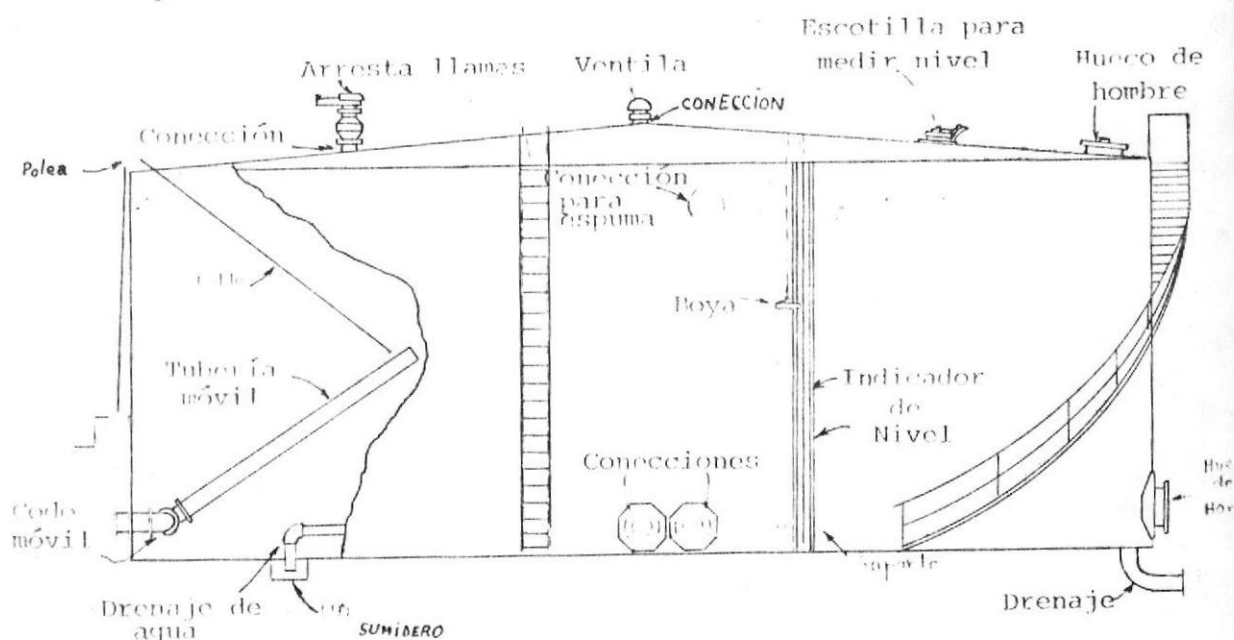


FIG. # 7

Han sido diseñados para operar a tensiones de vapor en su espacio de vapor y gas que no sea mayor que la presión atmosférica. Tales tanques pueden ser construídos de planchas de acero al carbono o acero aleado, u otros metales en caso de servicios especiales. Pueden ser remachados, soldados o a veces empernados.

Estos pueden descansar directamente sobre una base preparada con arena cascajo y piedra chispa, cubierta con una capa de arena-asfalto de 10 cm. En caso de que se quiera descar-

ga por gravedad, el tanque puede ser alzado del suelo y tre  
pado sobre torre.

Son usados para almacenar petróleo crudo, aceites pesados, -  
gas oil, gasolina, diesel y similares que tengan presión de  
vapor relativamente baja. Están equipados con ventilas o res  
piradores que permitan la expansión y contracción del flui-  
do, como resultado de las fluctuaciones de temperatura y vo  
lumen.

Estos se construyen generalmente (Ref. 3) en tamaños de has  
ta 250 pies de diámetro y de hasta 60 pies de altura. Tan-  
ques de hasta 24 pies de altura pueden ser cubiertos con te  
cho auto-soportado; hasta 48 pies usualmente requieren de  
por lo menos una columna central para soporte del techo.

Tanques mas grandes de 48 pies de diámetro son diseñados fre  
cuentemente con columnas múltiples de soporte del techo. En  
resumen podemos repetir que los depósitos de almacenamiento  
de techo conico están limitados esencialmente a presiones -  
atmosféricas.

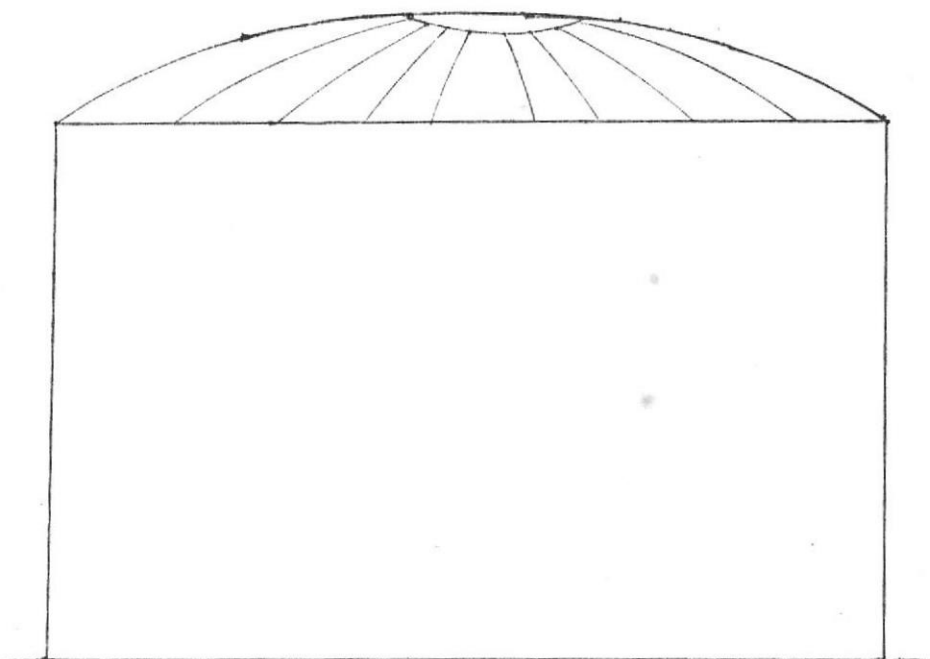
Tanques Atmosféricos de techo paraguas y techo esférico.-

Son modificaciones del tanque techo cónico. Tiene las mis-  
mas aplicaciones del tanque techo conico, con la diferencia

que se los contruyen para que el techo sea auto-soportado. Raramente exceden los 60 pies de diámetro. Para tamaño sobre los 30 pies en diámetro sin embargo es más caro que el tipo cónico soportado sobre vigas.

Tamaños mas grandes requieren una columna central la cual - generalmente es un tubo de acero standard; si se quiere eliminar la columna tendrá que tomarse planchas de mayor espesor para construir el techo.

En el techo tipo paraguas sus planchas son curvadas en un solo sentido. En el techo esférico las planchas están curvadas esféricamente.



TANQUE ATMOSFERICO CON TECHO TIPO PARAGUAS

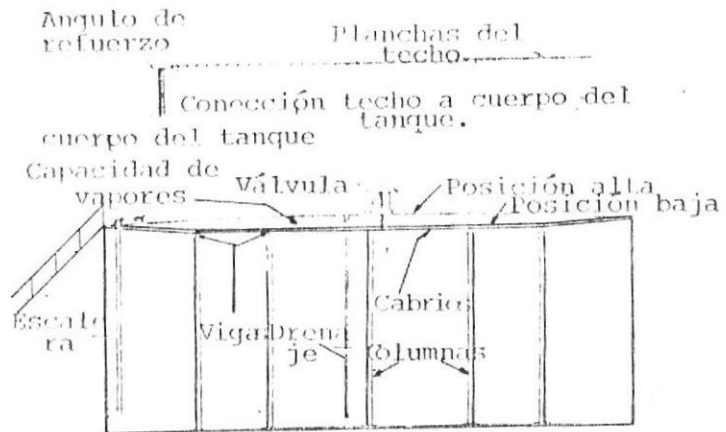
FIG # 8

Tanques atmosféricos de techo flexible.- Esta clase de tanque no es tan común, usarlo como tanque atmosférico. El techo consiste en realidad de una bóveda respiradora de acero que se flexiona hacia arriba o hacia abajo según el cambio de volumen del espacio de vapor. Estos techos fueron desarrollados, para reducir las pérdidas por evaporación. El principio de operación es muy simple; si el vapor el cual en un tanque de techo cónico, sería expulsado, pudiera ser atrapado y almacenado en un sujetador de gas hasta que la temperatura descienda y pueda ser reabsorbido por la superficie líquida, ningún vapor escaparía y ninguna pérdida por respiración ocurriría.

En la figura # 9 podemos ver alguno de estos en esquema. Estos techos de volumen variable sirven como sujetador de gas, el cual permite que la mezcla de aire-vapor en el espacio de vapor se expanda cada día sin ser forzado fuera del tanque y perdido.

### TANQUE TECHO FLEXIBLE

#### TIPO PLANO



### TANQUE TECHO FLEXIBLE

#### TIPO BALÓN

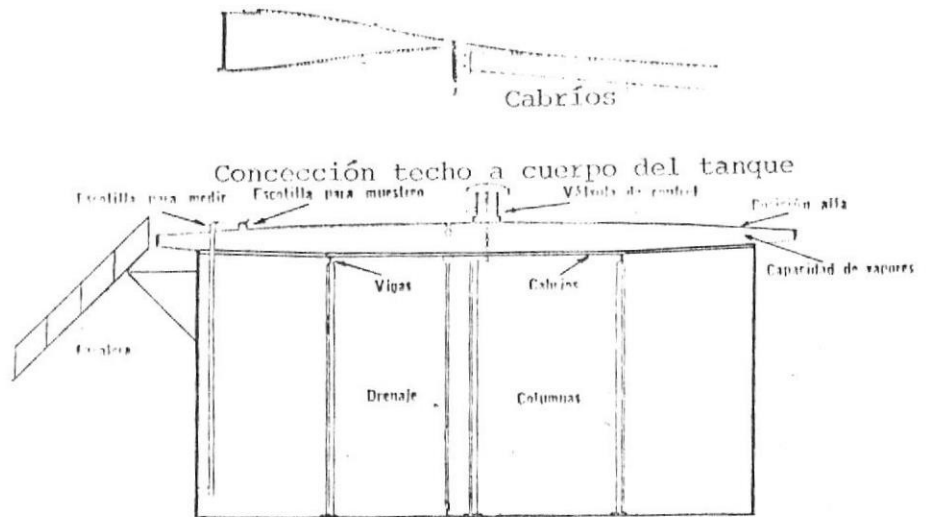


FIG. # 9

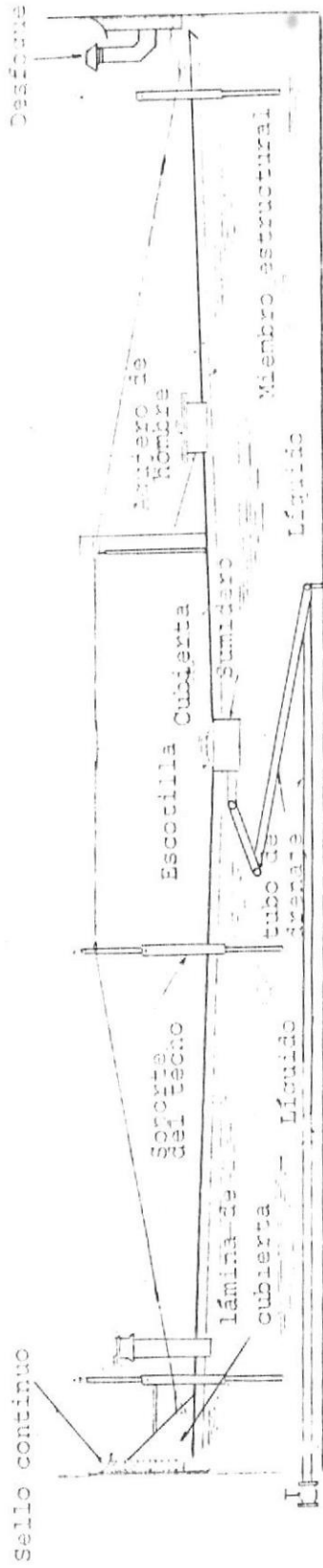
## TANQUES DE TECHO FLOTANTE

En caso de crudos ligeros o gasolinas de presión de vapor relativamente alta, como para representar pérdidas excesivas por evaporación o respiración, deben tomarse en cuenta los tanques de techo flotante, que consisten en un tanque en el cual el techo sube o baja de acuerdo a la variación del volumen de combustible. Son usados para reducir las pérdidas por llenado y respiración a un mínimo, por medio de eliminar o mantener constante el espacio de vapor entre la superficie líquida y el techo.

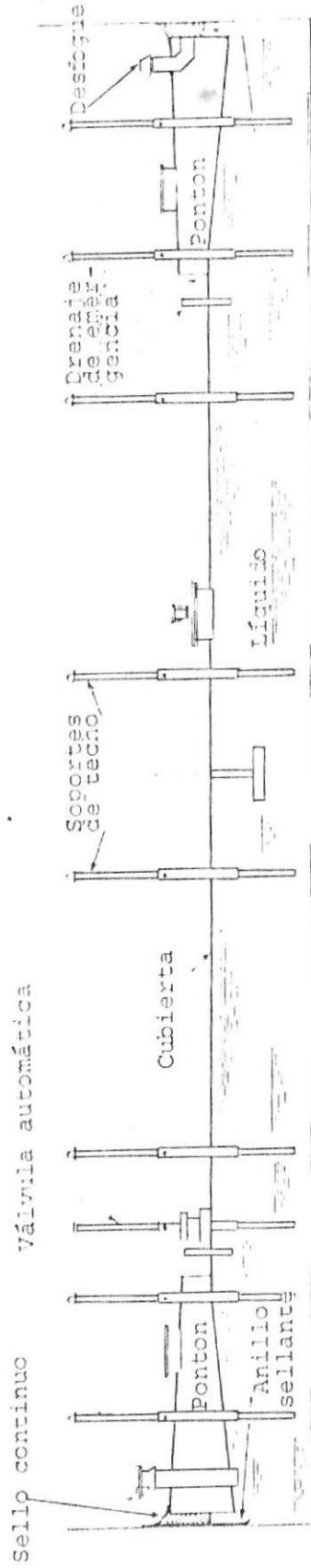
Existe una ventaja adicional que es la de reducir la corrosión del techo y paredes, pues al no existir espacio de vapor que como sabemos contienen compuestos sulfurosos, no existirá respiración de aire el cual conlleva humedad y por tanto no se formarán compuestos corrosivos como en el caso del techo cónico.

Existen varios tipos como puede verse en la figura # 10. Los tanques del techo flotante están provistos de un medio para sellar el espacio entre el techo movable y la pared del tanque. Este sello es hecho normalmente de una serie de zapatas de acero presionando herméticamente contra la pared del tanque por medio de un sistema de resortes o -

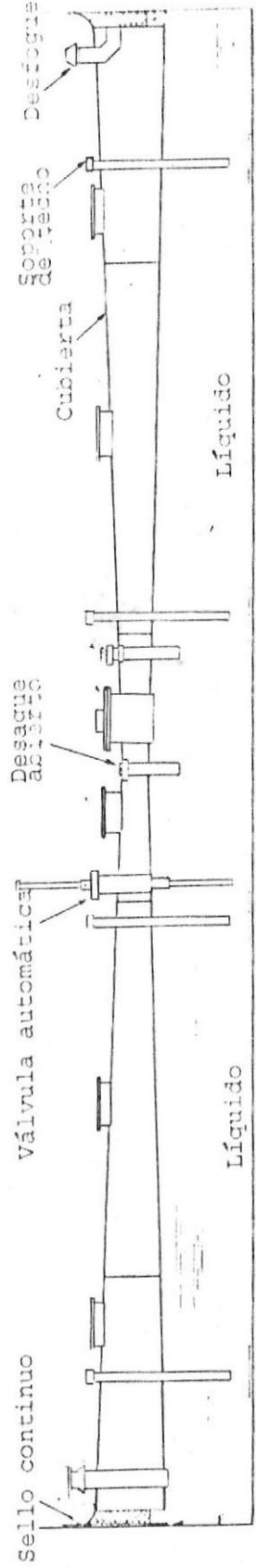
TANQUES DE TECHO FLOTANTE



TIPO TECHO SARTEN FLOTANTE



TIPO DE PONTONES



TIPO DOBLE CUBIERTA

Contrapesos; una tela continua conecta las zapatas con el borde superior de la bóveda flotante. Otro tipo de sello es uno que tiene forma de tubo, los cuales son llenados con espuma sólida, líquido o aire.

En la gráfica podemos ver los diferentes tipos de sello de los tanques de techo flotante.

TIPO DE SELLOS EN TANQUES TIPO FLOTANTE

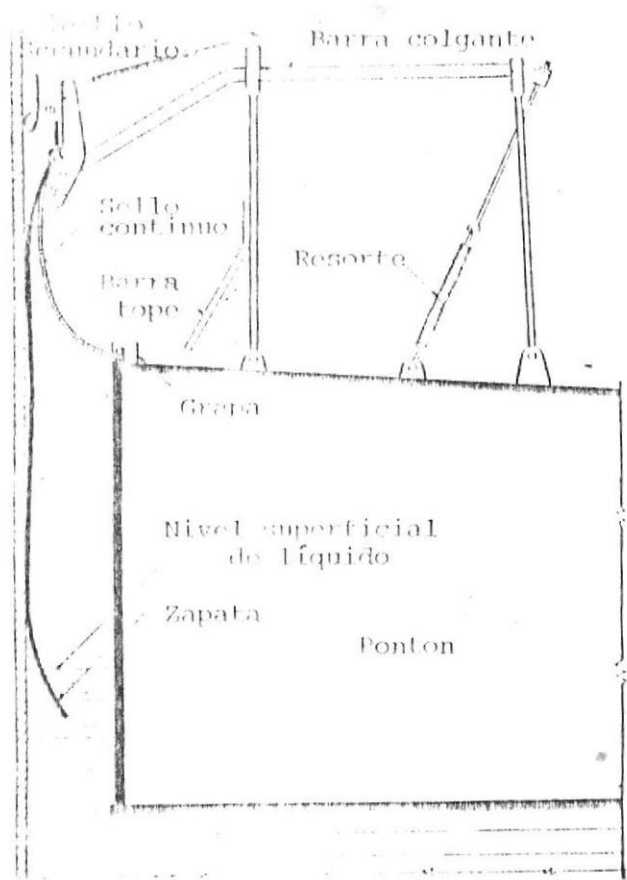


FIG. 11 a.- Uso de resorte espiral para mantener el sellado.

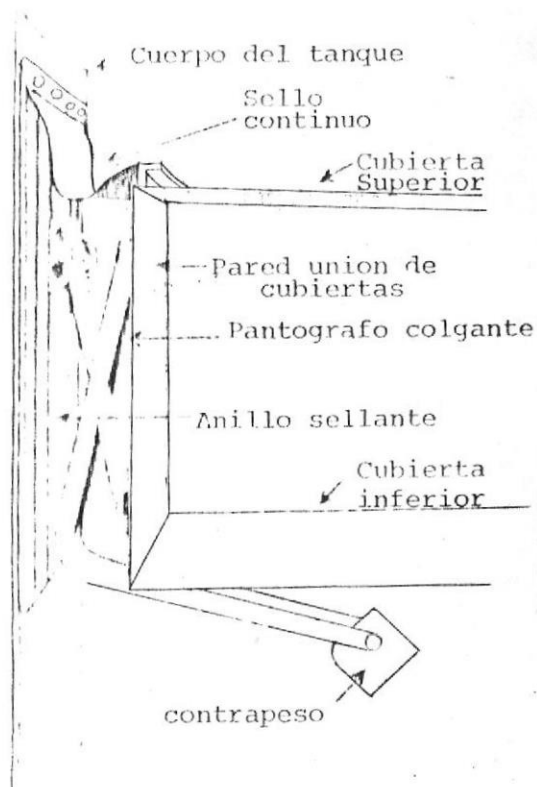


FIG. 11 b.- Uso de contrapeso para mantener el sellado.

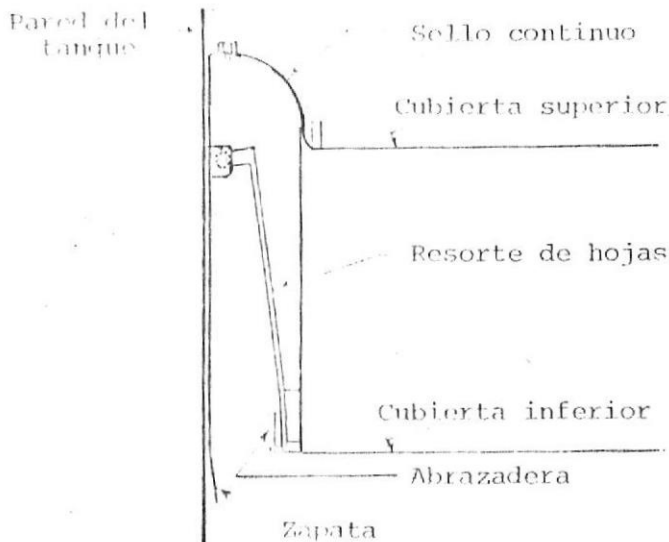


FIG. 11c. Uso de resorte de Hoja para mantener el sellado

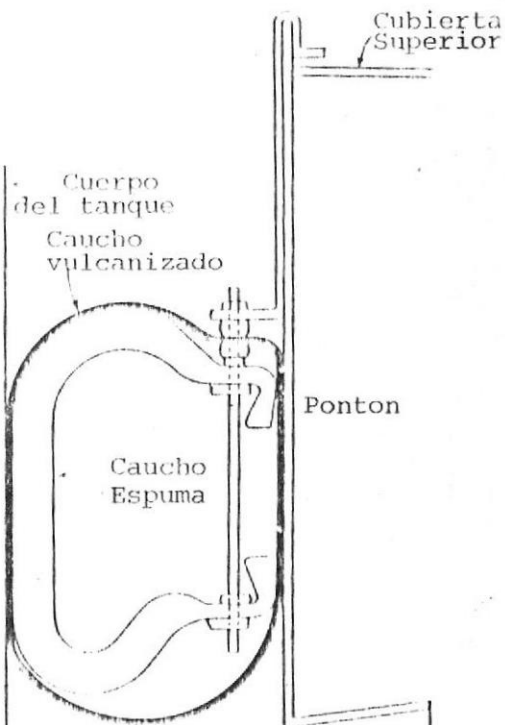


FIG. 11d.- Uso de tubo de goma con espuma de caucho.

## TANQUES DE PRESION

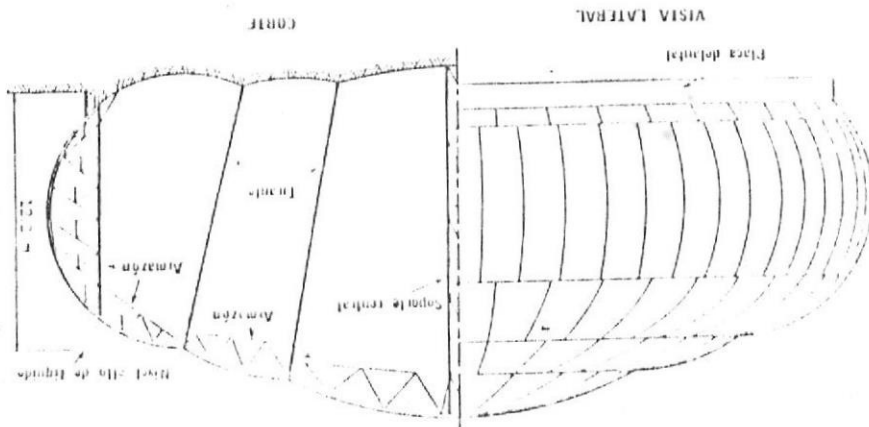
En este grupo de tanques, hay los de baja presión (0.5 psig. a 15 psig.). En caso de que se quiera almacenar productos ligeros tales como gasolina natural, isopentano, propano, butano, etc., los cuales sufrirían enormes pérdidas por respiración si se los almacenara en los tanques de almacenamiento ordinarios, ya que sus presiones de vapor son altas y estos no soportarían estas presiones internas y por tanto se requiere que esta clase de productos volátiles, sean almacenados sin venteo y que los depósitos resistan la máxima presión.

Los primeros tanques para este fin, fueron tanques cilíndricos horizontales con tapas abombadas en distintas formas que incluyen la forma esférica, elíptica, parabólica, torisférica, etc., estos pueden soportar presión de 15 psig. en adelante, dependiendo de las tapas.

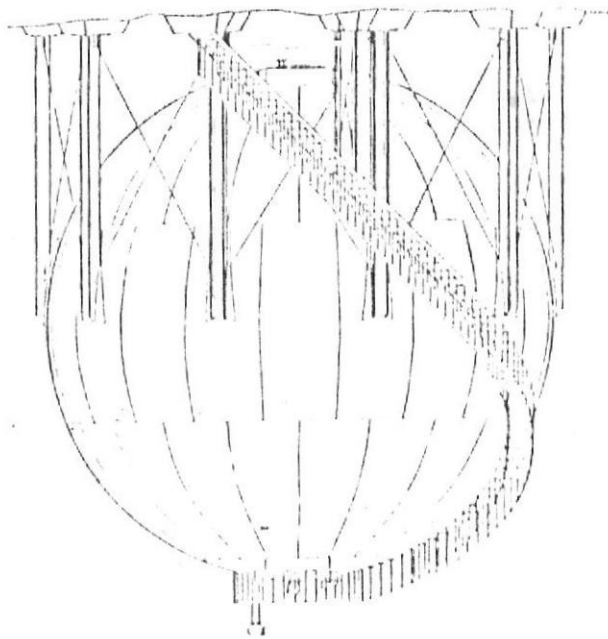
Después estos fueron colocados en posición vertical con capacidad mucho más grandes, pero con presiones menores.

Por ejemplo hay tanques con capacidades de hasta 20.000 ba-

FIG. # 12



TANQUE ESFERÓIDE



TANQUE ESFÉRICO

rriles con una presión de trabajo de 2.5 psig., y otros con presiones de hasta 5 psig., en volumen de hasta 7.500 barriles.

La necesidad de almacenar, volúmenes mayores originó las modernas esferas, esferoides y formas esféricas modificadas. Los rangos de presiones y capacidades varían grandemente. Para estos tipos. Capacidades de 1000 hasta 120.000 barriles y presiones hasta de 2 1/2 psi. para los más grandes y hasta 200 psig. para los más pequeños.

TANQUE ESFEROIDAL (Horton Esferoide)

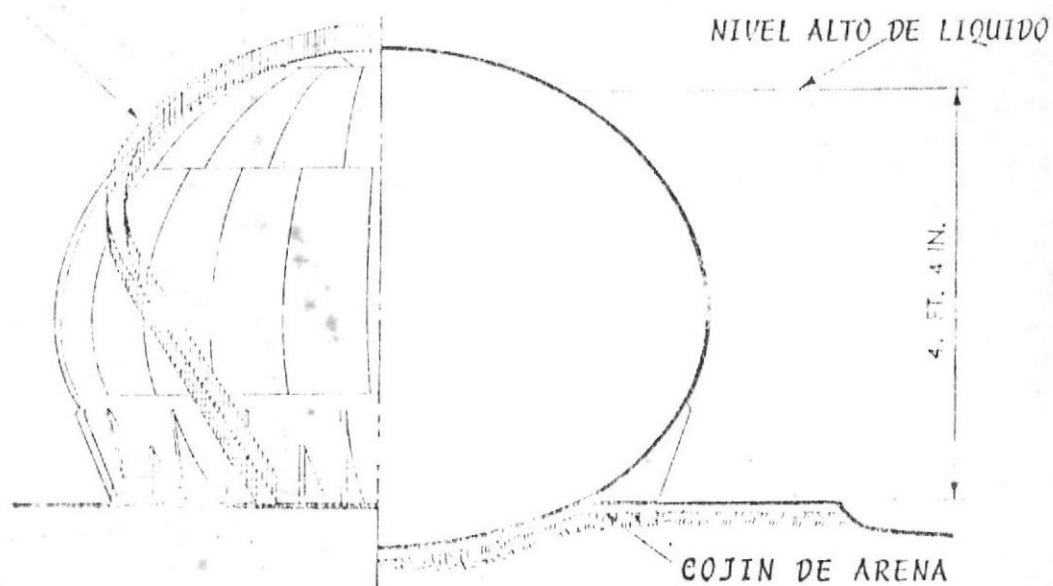


FIG. # 13

## TANQUES SUBTERRANEOS

El almacenamiento subterráneo, es mucho más costoso que el almacenamiento sobre tierra, su costo es aproximadamente el doble.

Hay dos razones para almacenar en forma subterránea:

1. Proveer almacenamiento seguro contra fuerzas aéreas invasoras.
2. Para cumplir con ordenanzas locales que requieren que los tanques sean colocados bajo tierra con propósitos de reducir riesgos de incendio en áreas congestionadas.

Los primeros tanques consistían en una fosa forrada de concreto con techo reforzado del mismo material colocado bajo varios pies de tierra de relleno. Estos tanques no resultaron satisfactorios excepto para los productos más pesados - del petróleo. La tendencia actual es hacia un tanque patrón de acero colocado en una fosa de concreto con el techo reforzado para soportar la sobrecarga de la tierra de relleno.

## MATERIALES A USARSE

Los materiales usados en la construcción de tanques de alma

cenamiento, son generalmente metales, aleaciones y a veces madera o concreto. Algunas de sus partes pueden ser fundidas forjadas o laminadas.

Cuando existen problemas de corrosión no apreciables, el más barato y de más fácil trabajado en la construcción de tanques es el acero al carbón, como por ejemplo planchas laminadas en caliente, de bajo contenido de carbono.

Los tipos particulares de planchas de acero especificadas por el API Standard 650 para el caso de tanques atmosféricos como el de nuestro caso, recomienda el SA-7 para elementos estructurales tales como ángulos, canales y vigas I; para las planchas recomienda el SA-283 grado C para espesores mayores de 1 1/4 in. o el SA-283 grado D para espesores menores de 1 1/4 pulgadas. El ASTM grado 60-30 recocido, es especificado para las partes que son fundidas en acero.

Las propiedades físicas y químicas de estos aceros están dados en la tabla 1.

## PROPIEDADES DE LOS ACEROS DULCES

## RECOMENDADOS POR API

	Especificaciones del acero	% máx. de fósforo	% máx. de azufre	Resist. a la tracción (lb/pulg <sup>2</sup> )	Punto de fluencia (lb/pulg <sup>2</sup> )
PLANCHAS	SA-7 y SA-283 Grado D	Acido 0.06 Basico 0.04	0.05	60.000-72.000	33.000
	SA-283 Grado C	Acido 0.06 Basico 0.04	0.05	55.000-65.000	30.000
PERFILES ESTRUCTURALES DE ACERO	SA-7	Los Requerimientos son los mismos que los dados para las planchas A-7.			
	ASTM-A-27 Grado 60-30	0.05	0.06	60.000 min.	30.000

TABLA # 1

Los aceros de bajo contenido de carbono son bastante blandos y ductiles y, por tanto facilmente cortados; laminados y conformados en varias formas estructurales que entran en la fabricación de tanques.

Estos aceros son fácilmente soldables para dar juntas de resistencia uniforme, relativamente libre de esfuerzos localizados.

La resistencia a la tracción de estos aceros está generalmente entre 55.000 y 65.000 psi. y el contenido de carbón entre 0.15% y 0,20%. Sin embargo la resistencia última y el contenido de carbón no pueden ser especificados a la vez puesto que el uno es función del otro y por esto es que en la tabla 1 la resistencia última está especificada pero

no el contenido de carbón.

Los aceros de alta resistencia, son una clase de aceros que han sido hechos más resistentes por medio de añadir pequeñas cantidades de elementos aleantes. Tales aceros tienen puntos de fluencia y resistencias últimas que son considerablemente superiores al de aceros al carbón comunes del mismo contenido de carbono.

La principal desventaja de los aceros aleados de alta resistencia con respecto a los otros es de que son más difícil de trabajar debido a que tienen poca ductilidad. Algunos tienen tendencia a endurecerse con el aire, lo cual puede resultar en esfuerzos localizados en las juntas soldadas; sin embargo estas desventajas pueden ser evitadas si el contenido de aleación y el contenido de carbón son ambos mantenidos relativamente bajos, de tal manera que sean aceros de alta resistencia en mínima cantidad de elementos aleatorios.

## CAPITULO II

### INGENIERIA DEL PROYECTO

1. CRITERIOS TECNICOS EN EL DISEÑO DE UN CASCARON.
2. CALCULO DE LOS PRINCIPALES PARAMETROS USANDO TEORIA DE CASCARONES.
3. CALCULO DE LA SOLDADURA.
4. CALCULO DE LAS BASES O ESTRUCTURAS.

## CAPITULO II

### INGENIERIA DEL PROYECTO

#### 1. CRITERIOS TECNICOS EN EL DISEÑO DE UN CASCARON DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE

La selección del tipo de recipiente está basado fundamentalmente en el servicio funcional requerido sobre el recipiente. Los requerimientos funcionales imponen ciertas condiciones de operación tales como temperatura, presión, limitaciones en las dimensiones y cargas vivas. Si el recipiente no está diseñado correctamente como para cumplir estos requisitos, el tanque puede fallar en el servicio.

Las fallas pueden ocurrir de una o más maneras tales como deformación plástica, debido a esfuerzos excesivos, ruptura sin deformación plástica, o inestabilidad elástica. Las fallas pueden resultar también por corrosión, desgaste o fatiga. Un diseño del tanque para que soporte estas condiciones, involucra la consideración de estos factores, así como las propiedades físicas del material. Hay que considerar además los tipos de carga en el diseño del tanque de almacenamiento. Empezaremos analizando brevemente este factor, así como los demás expuestos arriba.

#### CARGAS

Las siguientes cargas deben ser consideradas en el diseño de

un tanque de almacenamiento.

1. Presión Interna, las paredes del espacio de vapor, o gas y otros componentes del tanque deberán ser diseñados para soportar una presión o vacío no menor a la válvula de alivio de presión-vacío está regulada (-2.5 a + 5 g/cm<sup>2</sup>). (Ref. 6)

En cuanto a presión también hay que hablar sobre la estabilidad del tanque a la depresión y a la presión.

Un tanque se dice que es estable a la presión, cuando vacío y sometido a la presión máxima admisible, todo el fondo permanece en contacto con la fundación (no hay elevación de la arista de la base).

En la relación siguiente se verifica: (Ref. 6)

$$2-1 \quad P_r + P_t > A_f \times P$$

Donde:

$P_r$  = Peso del cuerpo

$P_t$  = Peso del techo

$A_f$  = Superficie del tanque

$P$  = Presión interna

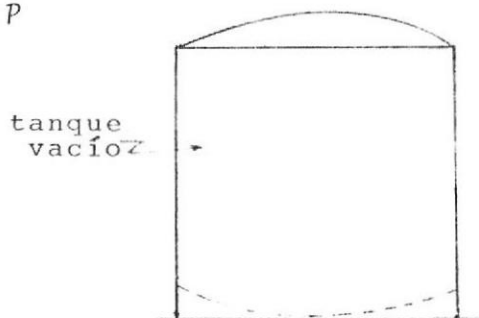


FIG. # 14

Un tanque se dice que es estable a la depresión, si cuando vacío y bajo el efecto de la depresión máxima el fondo

do del tanque no se levanta de la fundación.

Para que esto no suceda, es necesario que el peso por  $\text{cm}^2$  de las planchas del fondo sea superior o igual al valor de la depresión. (Ref. 6)

$$2-2 \quad P_f \geq P_d$$

Donde:

$P_f$  = Peso/ $\text{cm}^2$  de las planchas del fondo.

$P_d$  = Presión de vacío o depresión

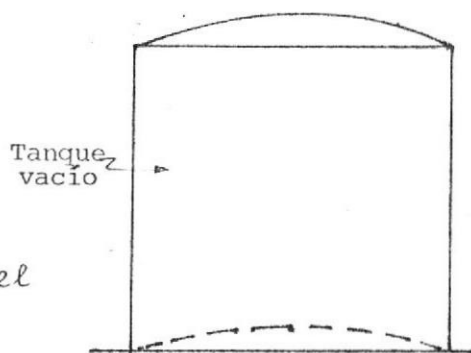


FIG. # 15

2. Peso del tanque y su contenido; los esfuerzos deberán ser calculados en la asunción de que el tanque es llenado con agua a  $60^\circ\text{F}$  ( $16^\circ\text{F}$ ) o con el líquido que va a ser almacenado si es que este es más pesado que el agua.
3. Cargas de Viento; es esencial que para los cálculos de estabilidad del cuerpo del tanque, se tome los valores correctos de mínimo espesor de plancha, máxima velocidad de viento y máximo vacío.

Para el caso de nuestro tanque, ésta carga es únicamente externa y está mostrada en la figura.

CARGA DE VIENTO EN EL LADO EXTERNO DE LA PARED DE TANQUE CILINDRICO VERTICAL.

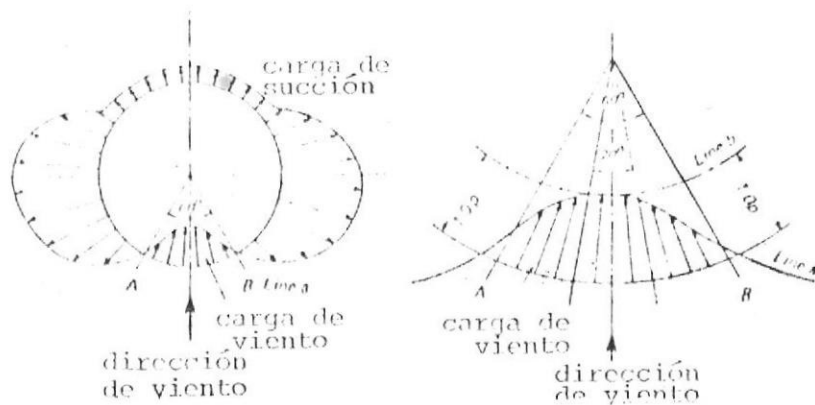


FIG. # 16

Se ve que en el lado de acción del viento, un arco de aproximadamente  $60^\circ$ , el cascarón está sujeta a presión de viento y el resto del cuerpo a carga de succión donde no hay riesgos de pandeo.

Se puede ver también de la figura que el factor de forma de la presión de viento tiene un máximo valor de 1.0 presión, de tal manera que el máximo valor de la presión de viento en el lado externo del cascarón es igual a la undad de presión.

Si una longitud de arco de aproximadamente  $20^\circ$  es observada, en el punto de máxima velocidad de viento, se halla que esta presión es virtualmente constante en toda esta región. Así, para simplificar los cálculos de estabilidad en un punto cualquiera de la superficie del tanque, es razonable asumir que la carga de viento actúa como una

presión externa de viento igual a la unidad de presión interna del cascarón. La relación entre la presión de viento y la velocidad de este, puede ser expresada como sigue. (Ref. 7)

$$p = \frac{V^2}{16} \quad 2-3$$

Donde:

$p$  = Presión en Kg/m<sup>2</sup>

$V$  = Velocidad del viento en m/seg.

4. Cargas sobreimpuestas; tales como plataformas, soportes para las escaleras y tuberías, etc.
5. Esfuerzos localizados debido a sistemas de soporte, agaraderas, anillos o ángulos de refuerzos.
6. Cargas sísmicas
7. Diferencias de temperatura: cuando estas sean apreciables.

Consideraciones acerca del esfuerzo de trabajo.- Como dijimos anteriormente el esfuerzo de trabajo o esfuerzo permisible tiene gran importancia en cuanto se refiere a un diseño confiable del tanque de almacenamiento. Va sea que tomemos

el esfuerzo último, o el esfuerzo de fluencia como base para aplicar el factor de seguridad, como el material que vamos a usar es acero dulce laminado en caliente con un punto de fluencia bien definido de 30.000 psi. a este le aplicaremos el factor de seguridad.

El deseo de abaratar las facilidades de almacenamiento temporal, han conducido a la reducción en el factor de seguridad.

Los tanques en las refinerías se han construido con un factor de seguridad tan bajo como el de 1 1/2. Donde la vida de un campo de petróleo parezca ser limitada, un tanque ligero es garantizado.

En nuestra opinión, sin embargo un factor de seguridad de 2 deberá ser el mínimo. Para tanques de refinería, donde se espera una duración razonable, un factor de seguridad de 2 1/2 es recomendable.

Consideraciones adicionales en el diseño del tanque de almacenamiento.—

Temperatura de operación: Esta no debe ser mayor de 200°F (94°C).

Presión de operación: Esta no debe ser mayor que la atmos-

férica.

Estabilidad elástica: En el diseño de tanques, la relación para la estabilidad elástica de una plancha curvada sujeta a una carga axial compresiva es de interés debido a que esta condición comunmente existe en el cuerpo de los tanques cilíndricos verticales. Para un esfuerzo de compresión seguro, que no cause pandeo en las planchas, se usa la siguiente relación. (Ref. 8).

$$\sigma_{crit.} = \frac{E}{\sqrt{3(1 - \nu^2)}} \left( \frac{t}{r} \right) \quad 2-4$$

$$\sigma_{crit.} = 0.6 E \left( \frac{t}{r} \right) \text{ para } \nu = 0.3 \quad 2-5$$

## 2. CALCULO DEL CASCARON ESCOGIDO COMO RECIPIENTE DE ALMACENAMIENTO.

Norma de cálculo: Teoría de cascarones

Diámetro nominal: 100 pies

Altura nominal: 40 pies

Número de segmentos: 5

Altura de cada segmento: 8 pies (96 pulg.)

Contenido del tanque: Gasolina

Capacidad: 55.000 barriles

1 barril = 42.4 gal.

El objetivo de esta tesis, es hacer el cálculo lo más exacto posible, de los distintos parámetros por medio de la Teoría de Cascarones; previamente se hará un precálculo en lo que se refiere al espesor de planchas a fin de dar una idea general de la estructura del tanque.

Con la Teoría de Cascarones eliminamos o disminuimos la incertidumbre de en cuanto a escoger o tomar el factor de seguridad, pues esta nos dará los verdaderos esfuerzos a que están solicitados las distintas partes del tanque, y que pueden ser tomados con toda confianza como referencia para aplicarle el factor de seguridad. Precalculo de un tanque cilíndrico de almacenamiento con techo esférico (techo paraguas) simplemente soportado en sus bordes.—

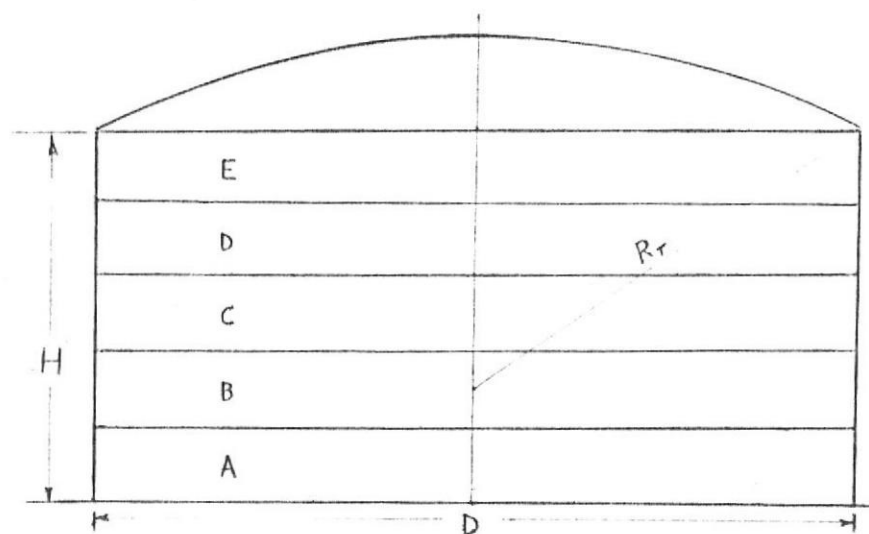


FIG. # 17

Donde:

$R_T$  = Radio de curvatura del techo, en pies

$D$  = Diámetro nominal, en pies

$H$  = Altura nominal, en pies

$R_T$  tiene el siguiente rango:

$$R_T = 0.8 D \text{ --- } 1.2 D \quad (\text{Ref. 5})$$

Tomamos  $R_T = 1.0 D = 100$  pies

#### PRECALCULO DEL TECHO

Según Ref. 5 se tiene que:

$$t_T = \frac{R_T}{200} \quad 2-6$$

$$t_T = \frac{100}{200} = 1/2 \text{ pulg.}$$

#### CALCULO DEL ESPESOR DE CADA SEGMENTO DE PARED DEL TANQUE

Existen 2 esfuerzos principales en los cascarones cilíndricos, que según teoría de membrana son

$$\sigma_1 = \frac{pD}{2t}$$

$$; \sigma_1 > \sigma_2$$

$$\sigma_2 = \frac{pD}{4t}$$

## ESFUERZOS PRINCIPALES, CASCARON CILINDRICO

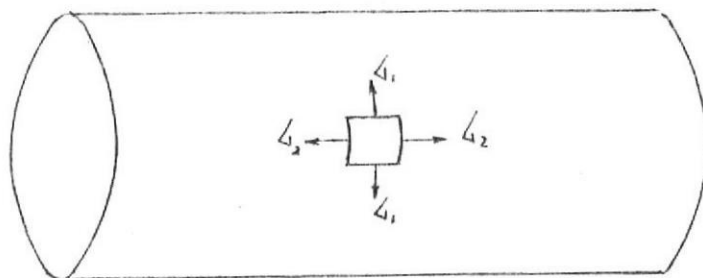


FIG. # 18

El esfuerzo  $\sigma_1$  actúa en la dirección circunferencial, el esfuerzo  $\sigma_2$  actúa en la dirección longitudinal.

Se toma  $\sigma_1$  como esfuerzo de cálculo, al cual se le aplica una serie de factores de corrección como son: factor de seguridad  $N$ , eficiencia de la junta soldada  $\epsilon_f$ .

La ecuación del espesor puede ser derivadas así (Ref. 3):

$$t = \frac{pD}{2\sigma_1\epsilon_f} + c \quad 2-7$$

Donde:

$$\sigma_1 = \sigma_f / N$$

$\sigma_f$  = Esfuerzo de fluencia, en lib/pulg<sup>2</sup>.

$\epsilon_f$  = Eficiencia de la junta soldada, adimensional.

$c$  = Tolencia en el espesor por corrosión, en pulg.

$h$  = Altura desde el borde inferior del segmento en cuestión, hasta el borde superior del tanque, dada en pies.

$p$  = Presión hidrostática del contenido, en Lib/pulg<sup>2</sup>.

$\gamma$  = Peso específico del agua a 60°F, en lib/pie<sup>3</sup>.

El peso específico  $\gamma$  del fluido, se asume que no excederá al del agua ( $\gamma = 62.4$  lb/pie<sup>3</sup>), la cual se usa para la prueba hidrostática del tanque.

En cuanto a la eficiencia  $\epsilon_f$  de la junta soldada, se puede decir que en los tanques de almacenamiento, estas son raras veces aliviadas de los esfuerzos residuales o radiografiadas; la costura soldada puede ser no tan fuerte como el metal adyacente de las planchas del tanque, por tal razón para obviar este defecto se ha hallado que debe aplicarse un factor de corrección, el cual es siempre menor que la unidad y adopta distintos valores para los diferentes tipos de construcciones soldadas.

En la fórmula del espesor, anticipándose cualquier corrosión en las planchas, es añadido un valor adicional  $c$ , de tal manera que al espesor calculado de plancha se lo redondea al espesor comercial más próximo.

Para el caso en que se use juntas soldadas a tope cordones por ambos lados y cuando se use un esfuerzo permisible para las planchas, de 21.000 en un material A-283 grado C (Ref.3)

se puede usar una eficiencia  $\epsilon_f$  de 0.85:

Substituyendo valores en ecuación 2-7:

$$t = \frac{62.4 \left( \frac{h-1}{144} \right) (12 \times D)}{2 \times 21.000 \times 0.85} + c$$

Que queda:

$$t = 0.0001456 (h-1) + c \quad 2-8$$

A partir de esta fórmula estamos en posibilidad de calcular los espesores de los distintos segmentos

Segmento A:

$$\begin{aligned} h &= 40 \text{ pies} \\ t_A &= 0.0001456 (40-1) (100) + c \\ t_A &= 0.568 + c \end{aligned}$$

Adoptamos:

$$t_A = 0.625 = 5/8 \text{ pulg.}$$

Segmento B:

$$\begin{aligned} h &= 32 \text{ pies} \\ t_B &= 0.0001456 (32-1) 100 + c \\ t_B &= 0.452 + c \end{aligned}$$

Adoptamos:

$$t_B = 0.500 = 1/2 \text{ pulg.}$$

Segmento C:

$$h = 24 \text{ pies}$$

$$t_c = 0.0001456 (24-1) 100 + c$$

$$t_c = 0.335 + c$$

Adoptamos:

$$t_c = 0.375 = 3/8 \text{ pulg.}$$

Segmento D:

$$h = 16 \text{ pies}$$

$$t_D = 0.0001456 (16-1) 100 + c$$

$$t_D = 0.218 + c$$

Especificamos:

$$t_D = 0.25 = 1/4 \text{ pulg.}$$

Segmento E:

$$h = 8 \text{ pies}$$

$$t_E = 0.0001456 (8-1) 100 + c$$

$$t_E = 0.102 + c$$

Como  $t_E < 1/4$ , que es el espesor mínimo para tanques de este tamaño (Ref. 3), significa que el esfuerzo debido a la presión hidrostática no es el factor que controla la selección

de este espesor, sino que es la estabilidad estructural del cascarón delgado la que debe tomarse en cuenta, como lo recomienda la Ref. anterior.

Por tanto

$$t_E = 1/4 \text{ pulg.}$$

También podemos determinar el largo de las planchas, a partir del siguiente razonamiento: Usando 10 planchas con una tolerancia de 5/32 pulg. y 1/8 pulg. para las juntas soldadas verticales, (segmentos A, B, C y segmentos C, D respectivamente) y conociendo que la longitud de la circunferencia del tanque es  $\Pi D$  pies tenemos:

$$L = \frac{\Pi D - \Sigma \text{ ancho de los cordones}}{12 \times n} \quad 2-9$$

Donde:

$n$  = Número de planchas (10)

$L$  = Longitud de cada plancha, en pies

$$L_A = \frac{\Pi (1200) - 10 (5/32)}{12 \times 10}$$

$$L_A = 31.41 \text{ pies}$$

$$L_B = 31.41 \text{ pies}$$

$$L_C = 31.41 \text{ pies}$$

$$L_B = \frac{\pi(1200) - 10(1/8)}{12 \times 10}$$

$$L_C = 31 \text{ pies}$$

$$L_D = 31 \text{ pies}$$

$$L_E = 31 \text{ pies}$$

PRE-CALCULO DEL ANGULO DE REFUERZO DEL TECHO

$$A_T = W_h \times t_T$$

$$A_S = W_C \times t_E$$

2-10

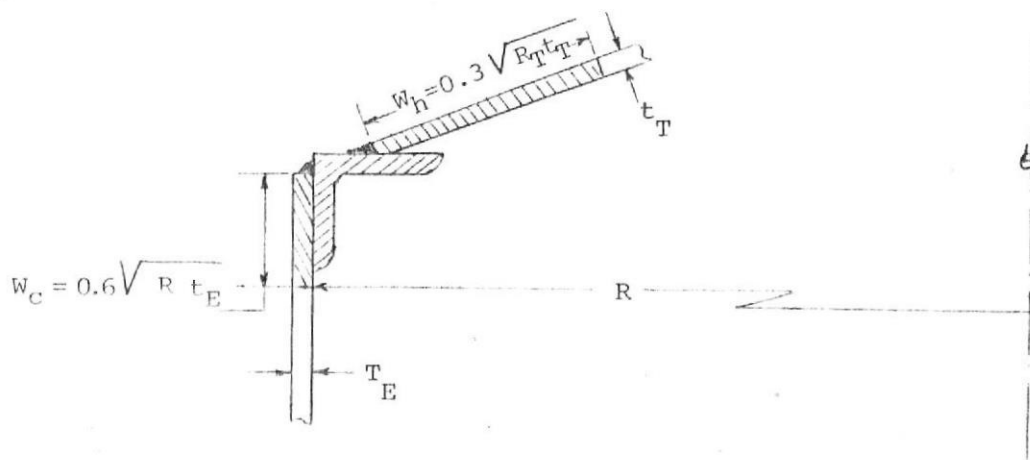


FIG. # 19

DETALLE DE AREA DE REFUERZO EN EL TECHO

El área transversal del ángulo superior de refuerzo en pulgadas cuadradas, mas las áreas transversales (en la zona de refuerzo del techo) del cuerpo cilíndrico y de las planchas del techo dentro de una distancia de 16 veces sus espesores, medidos desde sus puntos mas remotos del acoplamiento del -

ángulo de refuerzo, deberá ser mayor o igual a. (Ref. 5)

$$A_A + A_T + A_S \geq \frac{DR_T}{1500} \quad 2-11$$

Donde:

$A_T$  = Area transversal del sector de techo, en pulgadas cuadradas.

$A_S$  = Area transversal del sector cuerpo cilíndrico, en pulgadas cuadradas.

$A_A$  = Area transversal del ángulo de refuerzo, en pulgadas cuadradas.

$D$  = Diámetro nominal de tanque, en pies

$R_T$  = Radio de curvatura del techo, en pies

De donde queda que  $A_A$  será:

$$A_A \geq \frac{DR_T}{1500} - W_h t_T - W_c t_E$$

$$A_A \geq \frac{DR_T}{1500} - 0.3 t_T \sqrt{12xR_T t_T} - 0.6 t_E \sqrt{12 xRt_E}$$

Reemplazando datos:

$$A_A \geq \frac{100 \times 100}{1500} - 0.3 \times 0.5 \sqrt{12 \times 100 \times 0.5} - 0.6 \times 0.25 \sqrt{12 \times 50 \times 0.25}$$

$$A_A \geq 1.20 \text{ pulgadas cuadradas}$$

Como el valor es muy bajo se escoge el mínimo según API 650 para tanques más grandes que 60 pies de diámetro y que corresponde a un ángulo de 3 x 3 x 3/8 con una área de 2.11 pulg<sup>2</sup>.

Angulo: 3" x 3" x 3/8"

#### PRECALCULO DEL FONDO

API Standard 650 recomienda un fondo construido con planchas de 1/4" de espesor.

#### CALCULO DEL TECHO

Estudio de las variables que gobiernan el techo Esférico.- Para el análisis, el techo esférico se lo considerará sometido únicamente a la acción de su propio peso, ya que no existe presión hidrostática interna, y la presión debido a gases del líquido es despreciable comparada con el propio peso del techo.

El propósito de este análisis es deducir el espesor del techo, las propiedades del ángulo de refuerzo, y los valores de las principales variables del techo; para el efec-

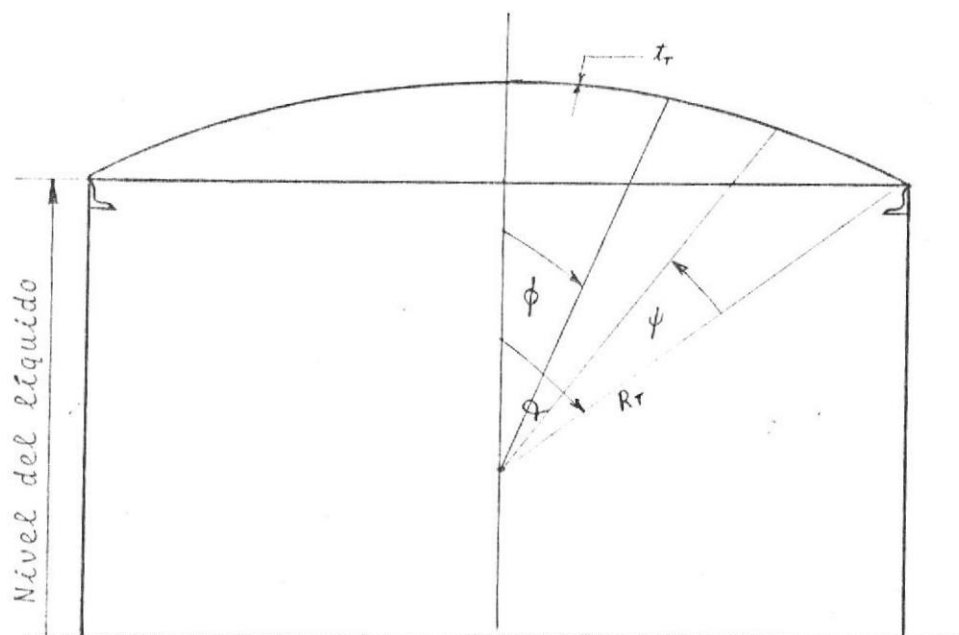


FIG. # 20

to se establecerá una serie de ecuaciones y expresiones, las cuales terminarán en un sistema de ecuaciones que se lo resolverá por el método de Newton-Raphson en la computadora.

Las ecuaciones que gobiernan un cascarón esférico son las siguientes:

$$\frac{d^2 Q \phi}{d \phi^2} + \cot \phi \frac{d Q \phi}{d \phi} - (\cot^2 \phi - \nu) Q \phi = E t_T V$$

$$\frac{d^2 V}{d \phi^2} + \cot \phi \frac{d V}{d \phi} - (\cot^2 \phi + \nu) V = - \frac{R_T^2 Q \phi}{D}$$

2-12

Todas las variables y constantes que entran en estas ecuaciones han sido definidas previamente, excepto la ro-

tación  $V$  cuya definición matemática es la siguiente (Ref. 2)

$$V = \frac{1}{R_T} \left( v + \frac{dw}{d\phi} \right) \quad 2-13$$

En que  $v$  y  $w$  son desplazamientos en dirección de la tangente a meridiano y de la normal a superficie media del cascarón respectivamente. (Ref. 2).

Para el caso de cascarón delgado, si el ángulo  $\phi$  no es pequeño, las cantidades  $Q\phi$  y  $V$  se amortiguan rápidamente a medida que la distancia, desde el borde de este aumenta y aquí basándose en esto es que el método de Geckeler (Ref. 2) hace la siguiente simplificación:

Las soluciones  $Q\phi$  y  $V$  del sistema de ecuación (2-12) son como se verá más adelante del tipo

$$\begin{matrix} e^{\pm \lambda \psi} & \cos \lambda \psi \\ & \sin \lambda \psi \end{matrix} \quad 2-14$$

donde  $\lambda$  es un parámetro geométrico y  $\psi$  es una coordenada de posición, adimensional.

Se puede observar que cada vez que se diferencia las funciones solución ( $V$  y  $Q\phi$ ) con respecto a  $\psi$ , las funciones -

(2-14) se multiplican por  $\lambda$ ; así la segunda derivada será  $\lambda^2$  más grande que la función por sí sola y así sucesivamente; a esto hay que agregar que  $\cot\phi$  es un número pequeño.

Según este método, es una buena aproximación el despreciar los términos que contienen las funciones  $Q\phi, V$  y sus primera y segunda derivadas en ecuaciones (2-12), por lo expuesto arriba, por tanto.

$$\frac{d^2 Q\phi}{d\phi^2} = Et_T V \quad 2-15$$

$$\frac{d^2 V}{d\phi^2} = \frac{R_T}{D} Q\phi$$

Eliminando  $V$  de estas ecuaciones (2-15):

$$\frac{d^4 Q\phi}{d\phi^4} + 4\lambda^4 Q\phi = 0 \quad 2-16$$

Donde:

$$\lambda^4 = 3(1 - \nu^2) \left(\frac{R_T}{t_T}\right)^2 \quad 2-17$$

La solución de (2-13) es:

$$Q\phi = C_1 e^{\lambda\phi} \cos\lambda\phi + C_2 e^{\lambda\phi} \operatorname{sen}\lambda\phi + C_3 e^{-\lambda\phi} \cos\lambda\phi + C_4 e^{-\lambda\phi} \operatorname{sen}\lambda\phi \quad 2-18$$

Considerando que no hay agujero en la parte superior del

cascañón ( $\phi = 0$ ), la solución (2-18) se transforma:

$$Q = C_1 e^{\lambda\phi} \cos\lambda\phi + C_2 e^{\lambda\phi} \operatorname{sen}\lambda\phi \quad 2-19$$

Donde  $C_1$  y  $C_2$  son determinadas de las condiciones en el borde  $\phi = \alpha$ . Al discutir estas condiciones, es ventajoso introducir el ángulo  $\psi = \alpha - \phi$  (Fig. # 20). Substituyendo esto en (2-19), y usando las nuevas constantes  $C$  y  $P$  se puede poner (2-16) así:

$$Q\phi = C e^{\lambda\psi} \operatorname{sen}(\lambda\psi + P) \quad 2-20$$

Empleando las siguientes ecuaciones (Ref. 2):

$$\begin{aligned} N\phi &= -Q\phi \cot\phi \\ N\theta &= -\frac{dQ\phi}{d} \end{aligned} \quad 2-21$$

Reemplazando (2-20) en (2-21):

$$\begin{aligned} N\phi &= \cot(\alpha - \psi) C e^{-\lambda\psi} \operatorname{sen}(\lambda\psi + P) \\ N\theta &= -\lambda\sqrt{2} C e^{-\lambda\psi} \operatorname{sen}\left(\lambda\psi + P - \frac{\pi}{4}\right) \end{aligned} \quad 2-22$$

A partir de (2-15) y (2-20) obtenemos  $V$ :

$$V = \frac{1}{E t_T} \frac{d^2 Q\phi}{d\phi^2} = -\frac{2\lambda^2}{E t_T} C e^{-\lambda\psi} \cos(\lambda\psi + P) \quad 2-23$$

$M\phi$  y  $M\theta$  están dados por (Ref. 2):

$$M\dot{\phi} = - \frac{D}{R_T} \left( \frac{dV}{d\phi} + v \cot\phi V \right)$$

2-24

$$M\theta = - \frac{D}{R_T} \left( v \frac{dV}{d\phi} + \cot\phi V \right)$$

De acuerdo con el método de Geckeler, tenemos que despreciar los términos que contienen  $V$ :

$$M\dot{\phi} = - \frac{D}{R_T} \frac{dV}{d\phi} = \frac{R_T}{\lambda\sqrt{2}} C e^{-\lambda\psi} \text{sen}(\lambda\psi + \rho \Pi/4)$$

2-25

$$M\theta = v M\dot{\phi} = \frac{V R_T}{\lambda\sqrt{2}} C e^{-\lambda\psi} \text{sen}(\lambda\psi + \rho + \Pi/4)$$

Para el desplazamiento horizontal (Ref. 2) tenemos:

$$\sigma = - \frac{\text{sen}\phi}{E t_T} \left( R_T \frac{d Q\phi}{d\phi} - v R_T Q\phi \cot\phi \right)$$

2-26

Según método de Geckeler, queda así:

$$\sigma = - \frac{R_T \text{sen}\phi}{E t_T} \frac{d Q\phi}{d\phi}$$

2-26a

Reemplazando (2-20) en (2-26a):

$$\sigma = - \frac{R_T}{E t_T} \text{sen}(\alpha - \psi) \lambda\sqrt{2} C e^{-\lambda\psi} \text{sen}(\lambda\psi + \Pi/4)$$

2-26b

En este análisis del techo, se aplicará el método de superposición, a fin de deducir los valores de las constantes  $C$  y  $P$ :

Caso real:

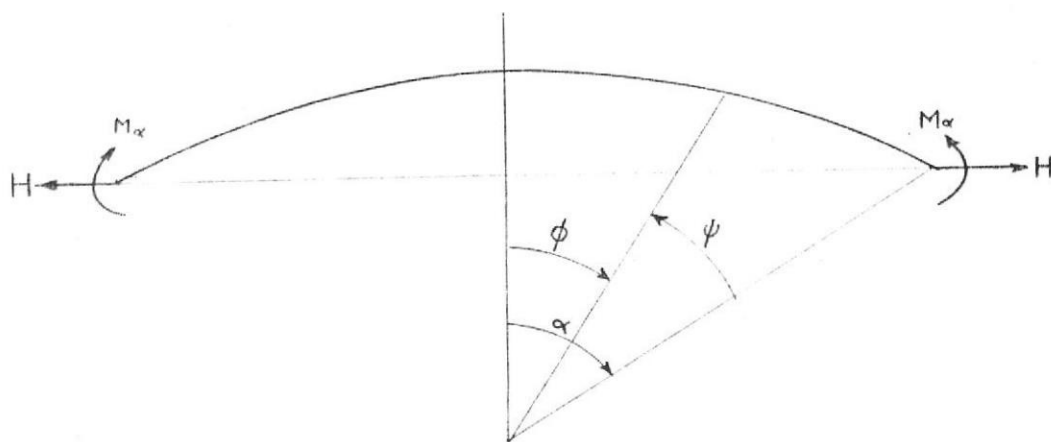


FIG. # 21

Aplicando superposición, el caso real es igual a la suma de los siguientes casos:



FIG. # 22

FIG. # 23

Las condiciones de borde para la Fig. # 22 serán:

$$\begin{aligned} (M\phi) &= M\alpha & (N\phi) &= 0 & 2-27 \\ \phi &= \alpha & \phi &= \alpha \end{aligned}$$

La segunda de las condiciones (2-27) se cumple para  $\psi = 0$  y  $\rho = 0$  en primera ecuación (2-22); lo mismo haciendo  $\rho = 0$  y  $\psi = 0$  para primera condición (2-27) en primera ecuación (2-25):

$$M\alpha = \frac{R_T}{2\lambda} C \quad \text{y} \quad \rho = 0 \quad 2-28$$

Substituyendo estos valores en ecuaciones (2-23) y (2-26b) para  $\psi = 0$  en el borde

$$\begin{aligned} (V)_{\psi=0} &= - \frac{4\lambda^3 M\alpha}{ER_T t_T} & (\sigma)_{\psi=0} &= \frac{2\lambda^2 \text{sen}\alpha}{Et_T} M\alpha & 2-29 \end{aligned}$$

Para el caso representado en la Fig. # 23 las condiciones de borde son:

$$\begin{aligned} (M\phi) &= 0 & (N\phi) &= -H \cos\alpha & 2-30 \\ \phi &= \alpha & \phi &= \rho \end{aligned}$$

Para satisfacer la primera de estas condiciones se debe tomar  $\rho = -\frac{\pi}{4}$ , y  $\psi = 0$  primera en ecuación (2-25). Para satisfacer la segunda condición (2-30), con  $\rho = -\frac{\pi}{4}$  y  $\psi = 0$

tenemos:

$$- H \cos \alpha = C \cot \alpha \operatorname{sen} \frac{\Pi}{4}$$

De donde:

$$C = - \frac{2H \operatorname{sen} \theta}{\sqrt{2}} \quad \rho = - \Pi/4 \quad 2-31$$

Para estos nuevos valores  $V$  y  $\sigma$  serán:

$$\left. \begin{aligned} (V)_{\psi=0} &= \frac{2\lambda^2 \operatorname{sen} \theta}{Et_T} H & (\sigma)_{\psi=0} &= - \frac{2R_T \lambda \operatorname{Sen}^2 \alpha}{Et_T} H \end{aligned} \right. \quad 2-32$$

Por tanto el efecto conjunto será, según Fig. # 21, para  $\phi = \alpha$

$$\sigma = \frac{2\lambda^2 \operatorname{sen} \alpha}{Et_T} M\alpha - \frac{2R_T \lambda \operatorname{sen}^2}{Et_T} H \quad 2-33$$

$$V = \frac{4 \lambda^3}{Et_T R_T} M\alpha + \frac{2\lambda^2 \operatorname{sen} \alpha}{Et_T} H$$

Las ecuaciones (2-33) nos dá la relación entre los momentos y fuerzas cortantes aplicados en el borde del cascarón para eliminar la discontinuidad entre este y el ángulo de refuerzo, con respecto al desplazamiento y rotación producidos por ellos.

Revisemos ahora las fuerzas de membrana que actúan en el techo:

Sea  $q$  la carga distribuida sobre el techo, las fuerzas de membrana para propio peso son:

$$N_{\theta m} = q R_T \left( \frac{1}{H \cos \phi} - \cos \phi \right)$$

2-34

$$N_{\phi m} = - \frac{q R_T}{1 + \cos \phi}$$

La carga  $q$  del techo será

$$q = q_1 + q_2$$

2-35

Donde:

$q_1$  = carga promedio debido a la acción combinada, de carga de viento, personal que pueda caminar a través del techo y según Ref. 5 es de 35 lb./pie<sup>2</sup> (0.174 lb/pulg<sup>2</sup>)

$q_2$  = Carga debido al peso de las planchas que conforman el techo.

Además:

$$q_2 = \frac{\text{peso de plancha}}{\text{Area de planchas}}$$

2-36

Como  $\gamma = 0.284 \text{ lb/pulg}^3$  (peso específico del acero)

$$\text{Por tanto: } q_2 = 0.284 t_T \quad 2-36b$$

$$\text{Según 2-35: } q = 0.174 + 0.284 t_T \quad 2-37$$

Se puede ver que  $\lambda$ ,  $q$ ,  $N_{\theta m}$ ,  $N_{\phi m}$ ,  $\frac{d}{d\phi} N_{\theta m}$ ,  $\frac{d}{d\phi} N_{\phi m}$  son básicamente función de  $t_T$ .

Las fuerzas de membrana producirán en el borde del techo - ( $\phi = \alpha$ ), un incremento del radio  $R$  igual a:

$$\sigma_o = \frac{R}{Et_T} (N_{\theta m} - \nu N_{\phi m})_{\phi=\alpha} \quad 2-38$$

Este desplazamiento está acompañado por la rotación de la tangente en el borde :  $\phi = \alpha$

$$\nu_o = \frac{1}{Et_T} \left[ \cot\phi (1+\nu)(N_{\phi m} - N_{\theta m}) - \frac{d}{d\phi} (N_{\theta m} - \nu N_{\phi m}) \right]_{\phi=\alpha} \quad 2-39$$

Sea  $H_o$ , el empuje que  $N_{\theta m}$  ejerce en este borde:

$$H_o = - \cos\alpha (N_{\theta m})_{\phi=\alpha} \quad 2-40$$

En el ángulo de refuerzo el correspondiente empuje sería  $H_o R$ , y su incremento,  $\sigma_1$  (Ref. 2):

$$\sigma_1 = \frac{H_o R}{EA} \quad 2-41$$

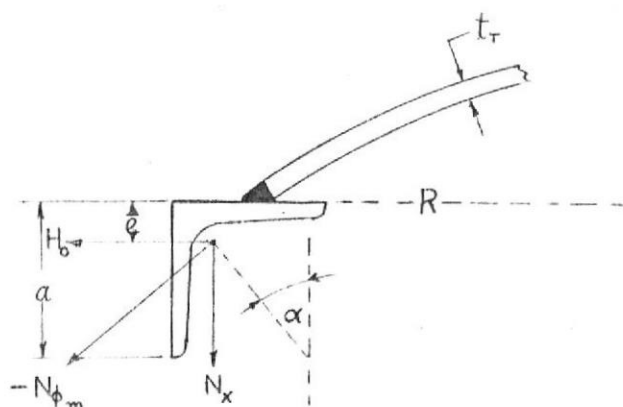


FIG. # 24

Donde  $A$  es el área del ángulo de refuerzo, y  $E$  el módulo de Young del material del ángulo.

A fin de equiparar la deformación (deflección) que se produce en el techo, con la que se produce en el ángulo, aplicaremos a lo largo de la circunferencia del techo y del ángulo, momentos uniformemente distribuidos  $M_\alpha$ , y fuerzas radiales  $H$ .

Usando la ecuación (2-33) que relaciona a  $M_\alpha$  y  $H$  con  $\sigma$  y  $V$  se tiene:

$$\sigma = \frac{2\lambda^2 \operatorname{sen} \alpha}{Et_T} M_\alpha - \frac{2 R\lambda \operatorname{sen}^2 \alpha}{Et_T} H$$

$$V = \frac{4\lambda^3}{Et_T R_T} M_\alpha + \frac{2\lambda^2 \operatorname{sen} \alpha}{Et_T} H$$

La acción de  $M_\alpha$  y  $H$  en el ángulo, es estáticamente equiva-

lente a la acción combinada de las cuplas  $M_\alpha$  y  $H \cdot \bar{e}$  y de las fuerzas  $H$  aplicadas a nivel del centroide:

$$T = M_\alpha + H \bar{e}$$

2-42

$$\bar{e} = a - \bar{x}$$

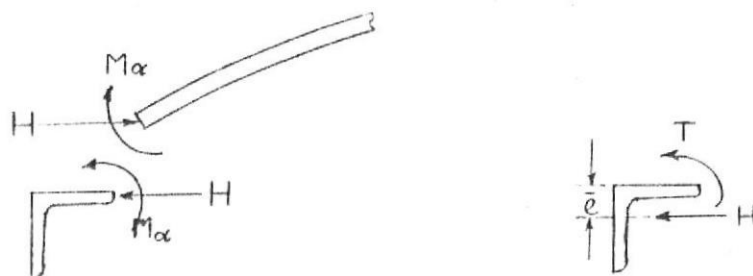


FIG. # 25

La fuerza  $H$  causa un desplazamiento radial del ángulo:

$$\sigma_1 = \frac{HR^2}{EA}$$

2-43

Similar al producido por  $H_0$ , pero sin rotación.

Queda todavía por considerar la deformación del ángulo debido a las cuplas  $T$ . Un elemento del ángulo, de longitud  $ds = R d\theta$  es mantenido en equilibrio por la acción de una cupla  $T ds$  y dos momentos flectores  $M\theta = T ds/d\theta = TR$ , se puede ver esto en el gráfico # 26:

El máximo esfuerzo circunferencial en el ángulo, debido a  $T$  será:

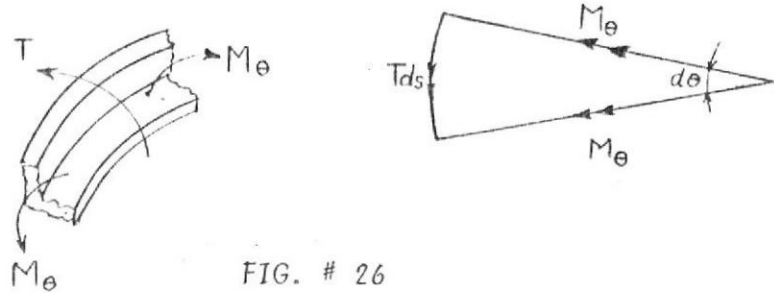


FIG. # 26

$$\Delta = \pm \frac{M\theta}{I/c} = \pm \frac{TR}{I/c} \quad 2-44$$

La correspondiente deformación unitaria de las fibras superiores e inferiores del ángulo será:

$$\epsilon = \pm \frac{\Delta}{E} = \pm \frac{TR}{E I/\bar{e}} \quad 2-45$$

Por tanto la rotación del ángulo se convierte en Ref. 2:

$$v_2 = \frac{2R}{\alpha} |\epsilon| = \frac{TR^2}{EI} = \frac{R^2}{EI} [M\alpha + H. \bar{e}] \quad 2-46$$

Finalmente se tiene que el desplazamiento total y la rotación del borde del cascarón (techo), deben ser iguales al del ángulo de refuerzo:

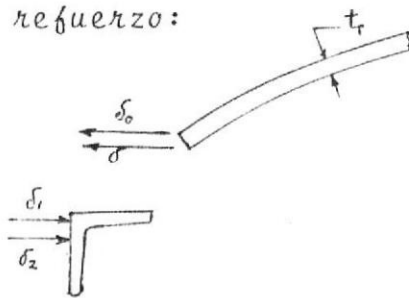


FIG. # 27

$$\sigma_0 + \sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + V_2 \bar{e}$$

2-47

$$V_0 + V = V_2$$

En la cual  $V$  e representa el efecto de la rotación sobre el desplazamiento radial del ángulo, a nivel del borde del techo.

El material en la plancha tiene un esfuerzo de trabajo dado por

$$\Delta w = \frac{6 M\phi_{max}}{t_T^2} + \frac{N\phi}{t_T} \quad 2-48$$

Tomando  $\Delta w = 18.000$  y despreciando el esfuerzo  $\frac{N\phi}{t_T}$  (no apreciable con respecto a  $\frac{6 M\phi_{max}}{t_T^2}$ ),  $\Delta w$  queda

$$\Delta w = \frac{6 M\phi_{max}}{t_T^2} \quad 2-49$$

$M\phi$  y  $N\phi$  como se vió anteriormente tienen las siguientes fórmulas:

$$M\phi = \frac{R_T}{\lambda\sqrt{2}} c e^{-\lambda\psi} \text{sen} \left( \lambda\psi + \rho + \frac{\Pi}{4} \right)$$

$$N\phi = \cot(\alpha - \psi) c e^{-\lambda\psi} \text{sen}(\lambda\psi + \rho)$$

$$M\phi \text{ es max. cuando } \left( \frac{d M\phi}{d\psi} \right) = 0$$

Aplicando esta relación a  $M\phi$ :

$$\frac{R}{\lambda\sqrt{2}} C \left[ -\lambda e^{-\lambda\psi} \operatorname{sen} \left( \lambda\psi + \rho + \frac{\Pi}{4} \right) + \lambda e^{-\lambda\psi} \operatorname{cos} \left( \lambda\psi + \rho + \frac{\Pi}{4} \right) \right] = 0$$

De donde el ángulo  $\alpha$  que  $M\phi$  es máximo será:

$$\psi = \frac{\Pi - \gamma}{\lambda} \quad 2-50$$

Para determinar las constantes  $C$  y  $\rho$  aplicamos dos condiciones de borde (Ref. 2) a ecuaciones (2 - 22) y (2 - 25):

$$(N\phi) = -H \operatorname{cos} \alpha \quad (\phi = \alpha \text{ idem } \psi = 0)$$

$$\phi = \alpha$$

$$(M\phi) = M\alpha$$

$$\phi = \alpha$$

$$-H \operatorname{cos} \alpha = -c \operatorname{ot} \alpha \operatorname{c} \operatorname{sen} \rho$$

$$c = \frac{H \operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{sen} \rho} \quad 2-51$$

$$M\alpha = \frac{R_T}{\lambda\sqrt{2}} \frac{H \operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{sen} \rho} \operatorname{sen} \left( \rho + \frac{\Pi}{4} \right)$$

De donde despejando  $\rho$  se tiene:

$$\rho = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{1}{\frac{2\lambda M\alpha}{R_T H \operatorname{sen} \alpha} - 1} \right) \quad 2-52$$

Reemplazando ecuaciones (2 - 50), (2 - 51) y (2 - 52) en ecuación de  $M\phi$ , se obtiene  $M\phi$  max.

Si se substituye cada uno de los parámetros de ecuación - (2 - 47) y (2 - 48) por sus respectivas igualdades, se tiene que cada uno es función básicamente de:

$$\sigma_0 = f(t_T)$$

$$\sigma = f(M\alpha, H, t_T)$$

$$\sigma_1 = f(t_T, A)$$

$$\sigma_2 = f_2(H, A)$$

2-53

$$V_0 = f(t_T)$$

$$V = f(M\alpha, H, t_T)$$

$$V_2 = f(M\alpha, H, \bar{x}, I)$$

$$\text{y } M\phi_{\max} = f(t_T, M\alpha, A)$$

A partir de esto se puede observar que en las ecuaciones a resolverse, que son las siguientes:

$$\sigma_0 + \sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + V_2 \bar{e}$$

$$V_0 + V = V_2$$

2-54

$$18.000 = \frac{6 M\phi_{\max}}{t_T^2}$$

Existen 3 ecuaciones y 4 incógnitas ( $M\alpha$ ,  $H$ ,  $t_T$  y propiedades del ángulo). El método a seguirse en la computadora, para la evaluación de cada uno de los parámetros, es el de suponer en ecuaciones 2-53 diferentes valores de  $t_T$  y propiedades del ángulo (basta una para definirlo) y dejar la -

tercera expresión de 2-54 como condición de prueba para eliminar los valores que no cumplan esta condición.

Los valores obtenidos a partir del programa adjuntado en el apéndice son:

$$M_{\alpha} = 148.38 \frac{\text{lb-pulg.}}{\text{pulg.}}$$

$$H = -74 \frac{\text{lb}}{\text{Pulg.}}$$

$$t_T = \frac{3}{8} \text{ Pulg.}$$

$$M_{\phi_{\max}} = 302,46 \frac{\text{lb-pulg.}}{\text{pulg.}}$$

El ángulo es:

Tamaño: 3 x 3 pulgadas

Espesor: 3/8 pulgadas

Momento I: 1/8 pulgadas

### CALCULO DEL CUERPO DEL TANQUE

Para el cálculo del espesor de cada segmento y de otros parámetros tales como momentos flectores, fuerzas cortantes, fuerzas circunferenciales, longitudinales, con los cuales se puede calcular los esfuerzos  $\Delta_x$ ,  $\Delta_\phi$ ,  $\tau$ , etc.

En la figura de abajo, para propósitos de ilustración se ha graficado los parámetros.

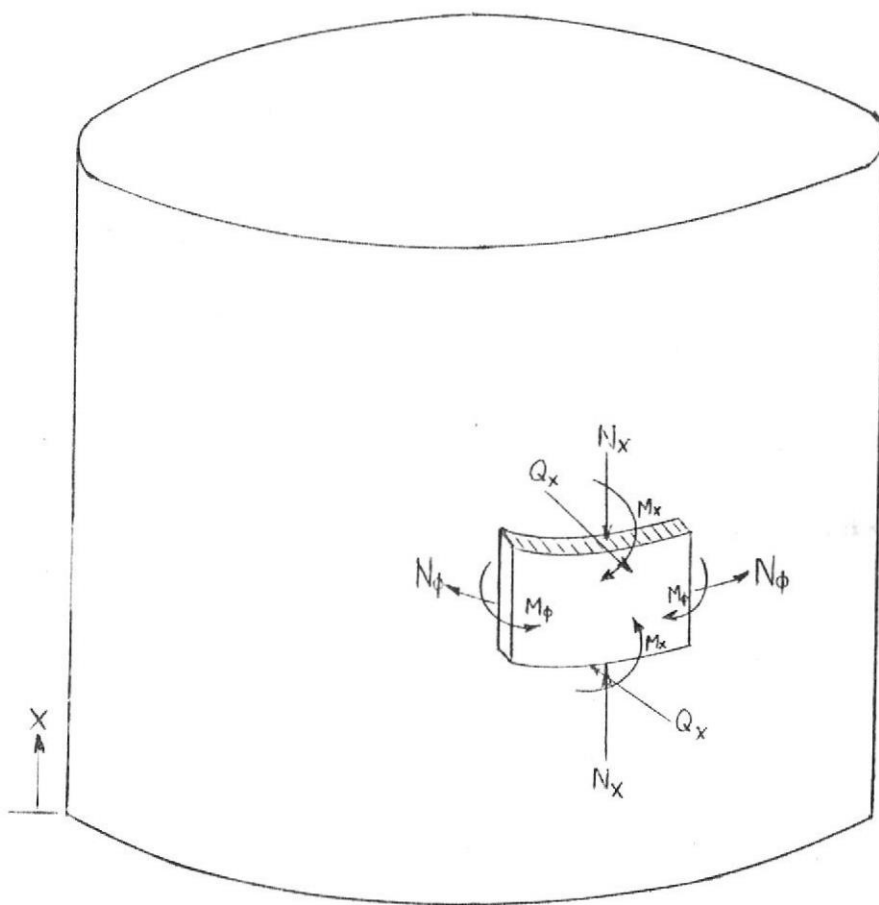


FIG. # 28

$N_\phi$  = Fuerza normal en el sentido circunferencial, en lib/pulg.

$N_x$  = Fuerza normal en el sentido longitudinal, en lib./pulg.

$M_\phi$  = Momento flector en el sentido circunferencial, en lib.-pulg/pulg.

$M_x$  = Momento flector en el sentido longitudinal, en lib.-pulg./pulg.

$Q_x$  = Fuerza cortante en dirección radial, en lib./pulg.

Se usarán las siguientes constantes con  $\nu = 0.3$

$$\beta^4 = \frac{Et}{4R^2 D} = \frac{3(1-\nu^2)}{R^2 t^2} ; \quad \beta = \frac{1.285407}{\sqrt{Rt}}$$

Las relaciones principales a usarse, son las siguientes - (Ref. 2):

$$M_x = -D \frac{d^2 w}{dx^2} ; \quad \Delta_x = \frac{6 M_x}{t^2} + \frac{N_x}{t}$$

$$M_\phi = \nu M_x ; \quad \Delta_t = \frac{6 M_\phi}{t^2} + \frac{N_\phi}{t}$$

2-55

$$Q_x = -D \frac{d^3 w}{dx^3} ; \quad \tau = \frac{3}{2} \frac{Q_x}{L_w}$$

$$N_\phi = -\frac{Ew}{R} t ; \quad \Delta_t > \Delta_x$$

$$N_x = N_\phi_m \text{ sen } \alpha$$

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 4\beta^4 w = - \frac{p}{2(d-x)}$$

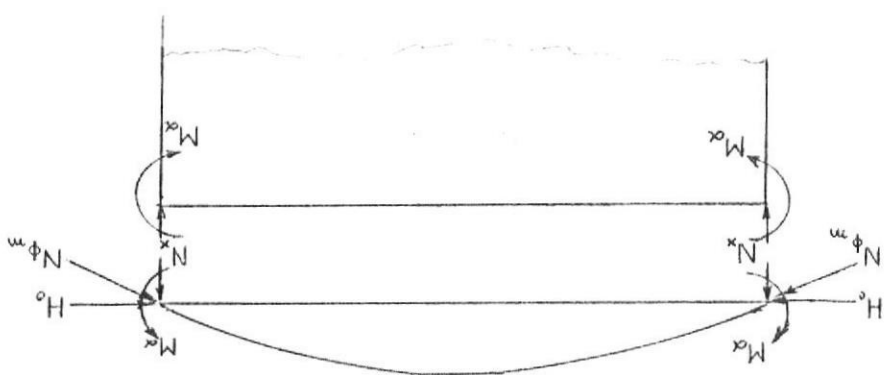
dracos es (1 - 1) :

La ecuación diferencial que gobierna los cascarones cilíndricos

nes radiales  $w$  ( deformación en sentido  $x = 0$  ).

efecto de  $M_\alpha$ , que produce discontinuidades en las deformaciones  
tamente su valor, para la otra hay que tomar en cuenta el

FIG. # 29



Hay que anotar que para el cálculo de los esfuerzos  $\Delta x$ , se  
ha tomado en cuenta el efecto del empuje del techo, (fuerza  
 $N_x$ ) sobre el cuerpo del tanque; la fuerza  $N_x$  es derivada  
de la fuerza de membrana  $N_{\phi m}$ , la cual como puede verse en  
el gráfico tiene 2 componentes:  $H_0$ , y  $N_x$  las 2 se transmiten  
ten al cuerpo del tanque, pero solo  $N_x$  puede tomarse direc-

Cuya solución es (1 - 2):

$$w = e^{-\beta x} (c_1 \cos \beta x + c_2 \sin \beta x) + e^{\beta x} (c_3 \cos \beta x + c_4 \sin \beta x) - \frac{(d-x)R^2}{Et}$$

Esta ecuación contiene cuatro constantes de integración  $c_1$  a  $c_4$ . En nuestro caso tenemos cinco segmentos de distintos espesores, de tal manera que hay un total de 20 constantes desconocidas además de los cinco espesores de los respectivos segmentos; esto da un total de 25 incógnitas que deben ser resueltas a partir de 20 condiciones de borde para las constantes de integración, y 5 relaciones adicionales para determinar los espesores.

El problema se torna complejo ya que cada segmento (o anillo) no puede tratarse independientemente, sino que es necesario relacionarlos entre sí, y con el piso y techo (debido a la continuidad en el estado de cargas).

En el procedimiento pueden hacerse simplificaciones; justificando que cada segmento de pared es largo, de tal manera que se reduce el número de constantes a calcular. Al justificarse la condición de cilindro largo se tiene:

$$c_3 = c_4 = 0$$

$$L_D = 4.9 \sqrt{600 \times \frac{1}{4}} = 60 \text{ pulg.} < 96 \text{ pulg.}$$

$$L_E = L_D = 60 \text{ pulg.} < 96 \text{ pulg.}$$

Hemos tomado los valores del precálculo para el espesor, para definir el cascarón cilíndrico como largo, evidentemente estos serán más altos, que los calculados por medio de teoría de cascarones.

#### CALCULO DE MOMENTOS Y FUERZAS CORTANTES EN LAS JUNTAS SOLDADAS

El método operativo para este caso, será el de colocar el origen del eje X - W en cada Junta soldada.

Y la ecuación de  $w$  queda:

$$w = e^{-\beta x} (c_1 \cos \beta x + c_2 \operatorname{sen} \beta x) - \frac{\gamma(d-x)R^2}{Et}$$

Donde  $\gamma(d-x)$  es la presión en el punto que se está ana-  
lizando, y  $\frac{\gamma(d-x)R^2}{Et}$  es la solución particular de la e-  
cuación diferencial de cuarto orden, y que representa la  
expansión radial del cascarón cilíndrico, con bordes li-  
bres. En esta forma se tiene ahora 10 constantes y 5 es-  
pesores, total 15 incógnitas para resolverse con 10 con-  
diciones de borde y 5 relaciones adicionales.

Empezaremos el cálculo hallando los valores de  $L$ , a fin  
de justificar como cascarón cilíndrico largo ( $L < 96$ ):

$$L = 4.90 \sqrt{Rt}$$

$$L_A = 4.9 \sqrt{600 \times \frac{5}{8}} = 94.5 \text{ pulg.} < 96 \text{ pulg.}$$

$$L_B = 4.90 \sqrt{Rt_B}$$

$$L_B = 4.9 \sqrt{600 \times \frac{1}{2}} = 85 \text{ pulg.} < 96 \text{ pulg.}$$

$$L_C = 4.90 \sqrt{Rt_C}$$

$$L_C = 4.9 \sqrt{600 \times \frac{3}{8}} = 73.5 \text{ pulg.} < 96 \text{ pulg.}$$

$$L_D = 4.90 \sqrt{Rt_D}$$

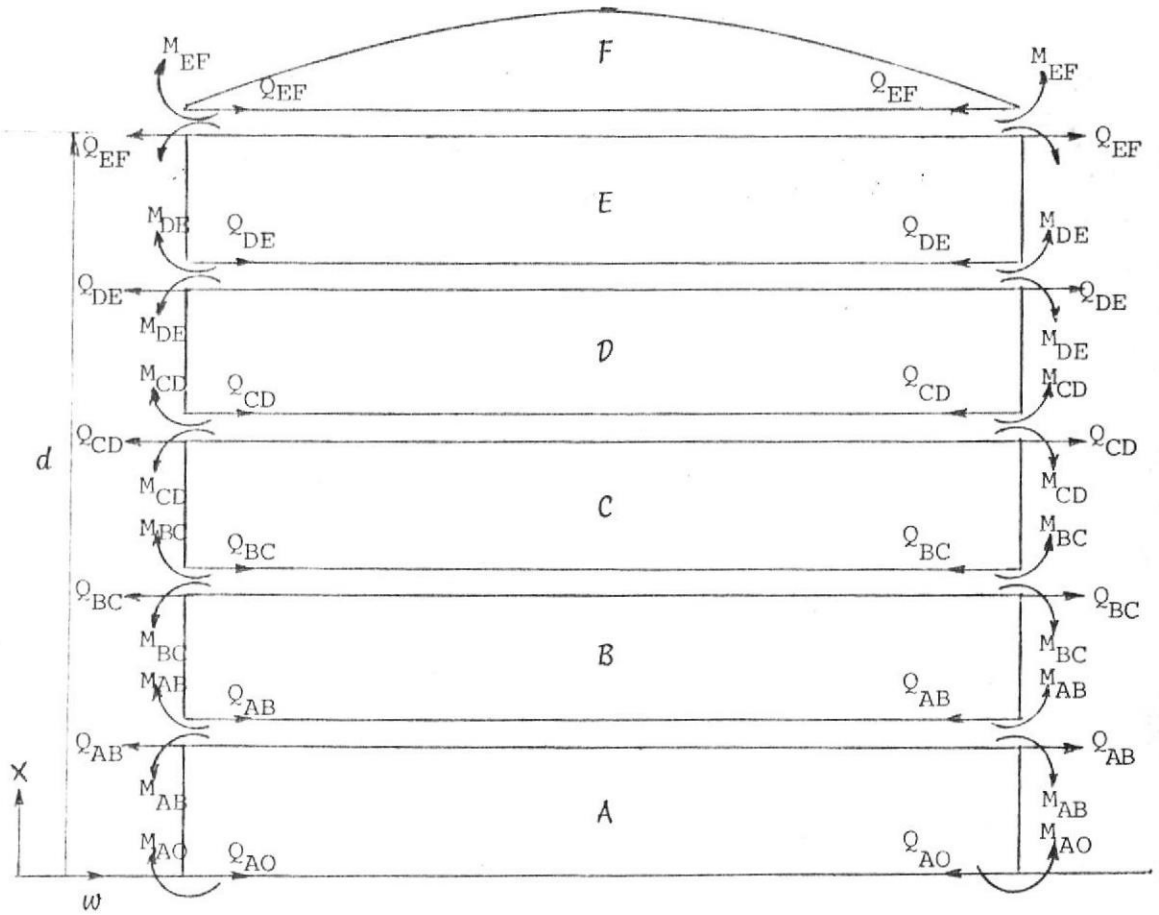


FIG. # 30

En el gráfico cada segmento de pared está sometido a sus bordes a distintos momentos y fuerzas cortantes de discontinuidad debido a la diferencia de espesores que existe entre ellos.

Para el segmento A se tiene:

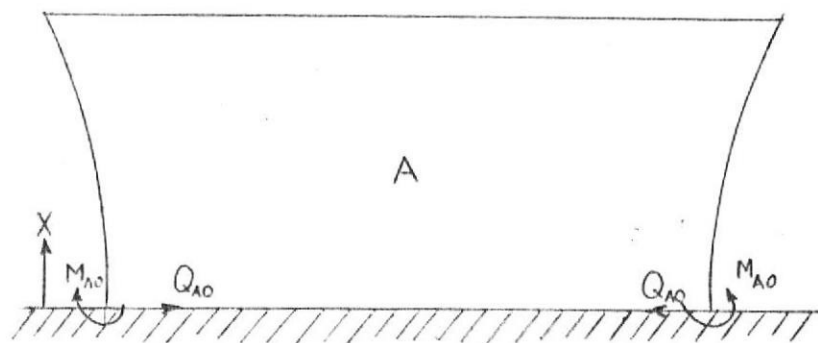


FIG. # 31

JUNTA A CON FONDO:

Para el cálculo de  $Q_{A0}$  y  $M_{A0}$ , partimos de la ecuación general (1-2).

$$w_{Ax} = e^{-\beta_A x} (c_1 \cos \beta_A x + c_2 \operatorname{sen} \beta_A x) - \frac{\gamma (d-x) R^2}{Et_A}$$

Asumiendo que el borde inferior del segmento está empotrado en una fundación absolutamente rígida, las condiciones de borde son:

$$(w_A)_{x=0} = c_1 - \frac{\gamma R^2 d}{Et_A} = 0$$

$$\text{De donde: } c_1 = \frac{\gamma R^2 d}{Et_A}$$

$$\left(\frac{dw_A}{dx}\right)_{x=0} = \beta_A [c_2 - c_1] + \frac{\gamma R^2}{Et_A} = 0$$

$$\text{De lo cual: } c_2 = \frac{R^2}{Et_A} \left( d - \frac{1}{\beta_A} \right)$$

Por tanto  $w_{AX}$  se convierte en:

$$w_{AX} = - \frac{R^2}{Et_A} \left\{ (d-x) - e^{-\beta_A X} \left[ d \cos \beta_A X + \left( d - \frac{1}{\beta_A} \right) \text{Sen} \beta_A X \right] \right\}$$

$w_{AX}$  puede escribirse en esta forma, si usamos la siguiente notación:

$$F_1 = e^{-\beta X} (\cos \beta X + \text{sen} \beta X)$$

$$F_3 = e^{-\beta X} (\cos \beta X - \text{Sen} \beta X)$$

$$F_4 = e^{-\beta X} \cos \beta X$$

$$F_2 = e^{-\beta X} \text{sen} \beta X$$

$$w_{AX} = - \frac{\gamma R^2 d}{Et_A} \left[ 1 - \frac{x}{d} - F_4(\beta_A X) - \left( 1 - \frac{1}{\beta_A d} \right) F_2(\beta_A X) \right]$$

$$N_{\phi AX} = - \frac{Et_A w_{AX}}{R} = \gamma R d \left[ 1 - \frac{x}{d} - F_4(\beta_A X) - \left( 1 - \frac{1}{\beta_A d} \right) F_2(\beta_A X) \right]$$

$$M_{AX} = - D_A \frac{d^2 w_{AX}}{dx^2} = \frac{2 \beta_A^2 \gamma R^2 D_A d}{Et_A} \left[ - F_2(\beta_A X) + \left( 1 - \frac{1}{\beta_A d} \right) F_4(\beta_A X) \right]$$

$$= \frac{\gamma R d t_A}{\sqrt{12(1-\nu^2)}} \left[ - F_2(\beta_A X) + \left( 1 - \frac{1}{\beta_A d} \right) F_4(\beta_A X) \right]$$

$$Q_{AX} = - D_A \frac{d^3 w_{AX}}{dx^3} = - \frac{\gamma R d t_A}{\sqrt{12(1-\nu^2)}} \left[ \left( 2\beta_A - \frac{1}{d} \right) F_4(\beta_A X) - \frac{1}{d} F_2(\beta_A X) \right]$$

$Q_{AX}$  y  $M_{AX}$  tienen su máximo valor en  $X = 0$  para el primer segmento:

$$(M_{AX})_{X=0} = M_{A0} = \left(1 - \frac{1}{\beta_A d}\right) \frac{\gamma R d t_A}{\sqrt{12(1-\nu^2)}}$$

$$(Q_{AX})_{X=0} = Q_{A0} = - \frac{\gamma R d t_A}{\sqrt{12(1-\nu^2)}} \left(2\beta_A - \frac{1}{d}\right)$$

JUNTA SOLDADA AB:

Para hallar  $M_{AB}$  y  $Q_{AB}$  en esta Junta se aplicará el siguiente método, que consiste en asumir que los bordes de los cascarones A y B, están enteramente libres produciendo desplazamientos o deflecciones, que podrán eliminarse aplicando  $M_{AB}$  y  $Q_{AB}$  en los bordes de dichos cascarones.

Además usaremos las condiciones de continuidad. Ref. 2:

$$w_{A1} = w_{B0}$$

$$\frac{dw_{A1}}{dx} = \frac{dw_{B0}}{dx}$$

$w_{A1}$  = deflección del cascarón A en el punto 1

$w_{B0}$  = deflección del cascarón B en el punto 0.

$M_{AB}$  = Momento flector, en Junta AB

$Q_{AB}$  = Fuerza cortante, en Junta AB

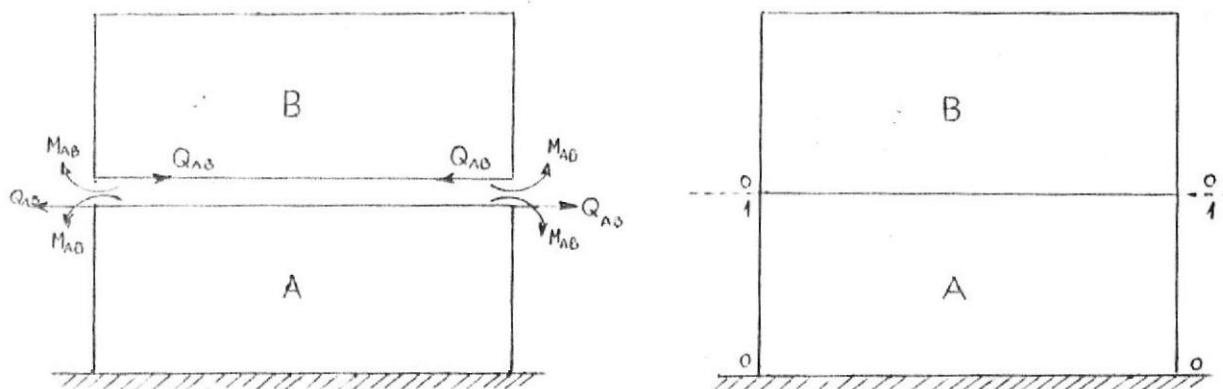


FIG. # 32

Aplicaciones a nuestro problema de ecuación 278. Ref. 2:

$$w_{A1} = - \frac{1}{2 \beta_A^3 D_A} (\beta_A M_{AB} + Q_{AB})$$

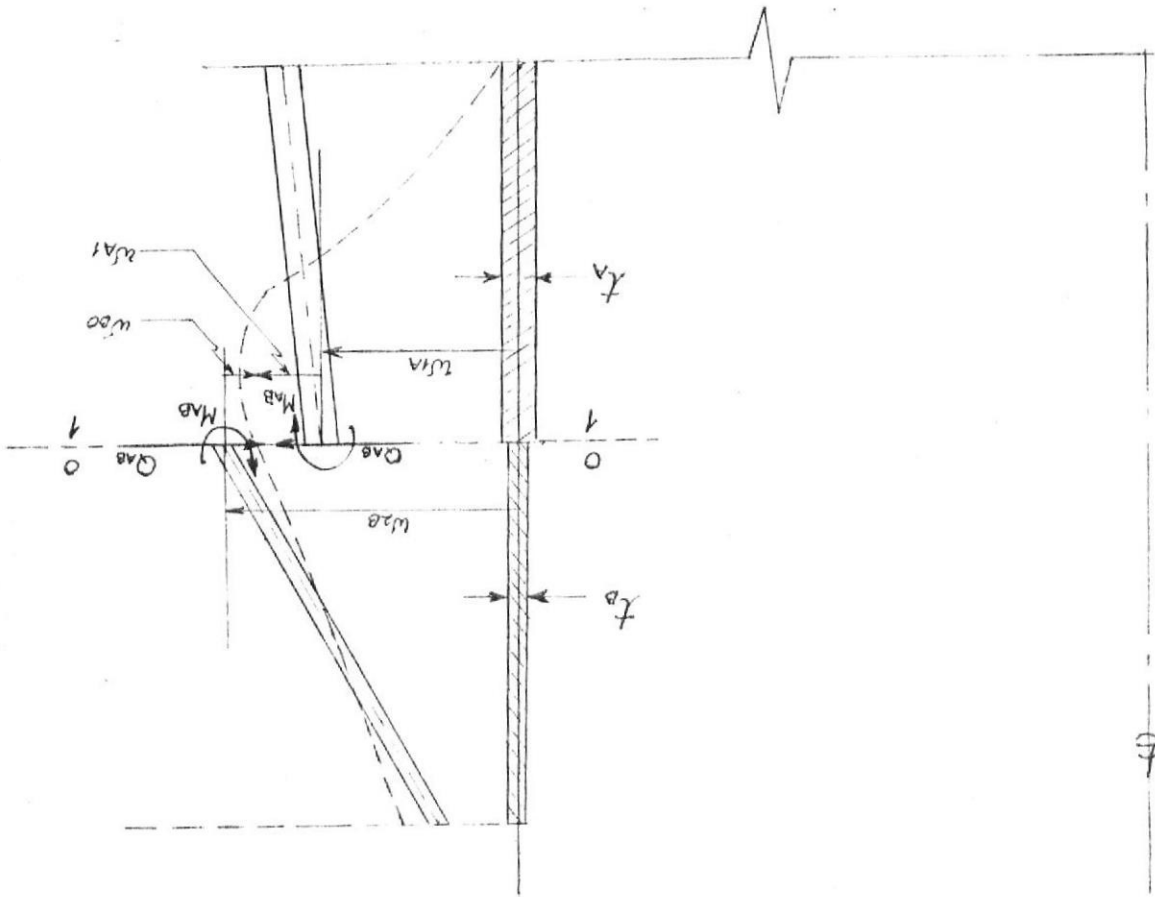
$$\frac{dw_{A1}}{dx} = \frac{1}{2 \beta_A^2 D_A} (2\beta_A M_{AB} + Q_{AB})$$

$$w_{B0} = - \frac{1}{2 \beta_B^3 D_B} (\beta_B M_{AB} + Q_{AB})$$

$$\frac{dw_{B0}}{dx} = \frac{1}{2 \beta_B^2 D_B} (2\beta_B M_{AB} + Q_{AB})$$

El desplazamiento libre de los segmentos A y B está dado por:

FIG. # 33



Podemos graficar el método que expusimos al comienzo de este artículo. (A nivel de referencia 0-1).

Donde:  $p_{AB} = p(d-l)$ , presión en la junta soldada AB.

$$w_{1A} = \frac{pR}{Et_A} \quad \text{y} \quad w_{2B} = \frac{pR}{Et_B}$$

De acuerdo a este gráfico podemos decir lo siguiente (Ref.2)

La suma de los valores numéricos de las deflecciones en los bordes de los dos cascarones cilíndricos que están soldados entre sí, es igual a la diferencia  $w_{2B} - w_{1A}$  de las expansiones o deflecciones radiales libre de ambos cascarones:

$$|w_{A1}| + |w_{B0}| = w_{2B} - w_{1A}$$

Las pendientes de ambos cascarones en el punto de unión en cuestión son iguales:

$$\frac{dw_{A1}}{dx} = \frac{dw_{B0}}{dx}$$

Reemplazando los respectivos valores en

$$\frac{1}{2\beta_A^3 D_A} (\beta_A M_{AB} + Q_{AB}) + \frac{1}{2\beta_B^3 D_B} (\beta_B M_{AB} + Q_{AB}) = \frac{pR^2}{Et_B} - \frac{pR^2}{Et_A}$$

$$\frac{1}{2\beta_A^2 D_A} (2\beta_A M_{AB} + Q_{AB}) = \frac{1}{2\beta_B D_B} (2\beta_B M_{AB} + Q_{AB})$$

Reemplazando  $\beta_A$  y  $\beta_B$  según:

$$\beta_A = \frac{Et_A}{4R^2 D_A} \quad ; \quad \beta_B = \frac{Et_B}{4R^2 D_B}$$

(2-69) y (2-70) después de reemplazar  $\beta_A$  y  $\beta_B$  y reordenar:

$$M_{AB} \left( \frac{\beta_A^2}{t_A} + \frac{\beta_B^2}{t_B} \right) + Q_{AB} \left( \frac{\beta_A}{t_A} + \frac{\beta_B}{t_B} \right) = \frac{P_{AB}}{2} \left( \frac{1}{t_B} - \frac{1}{t_A} \right)$$

$$M_{AB} \left( \frac{2\beta_A^2}{t_A} - \frac{2\beta_B^2}{t_B} \right) + Q_{AB} \left( \frac{\beta_A^2}{t_A} - \frac{\beta_B^2}{t_B} \right) = 0$$

Resolviendo este sistema tendremos:

$$Q_{AB} = \frac{P_{AB} (t_A - t_B) (\beta_B^3 t_A - \beta_A^3 t_B)}{\beta_B^4 t_A^2 - \beta_A^4 t_B^2 - 2\beta_A^3 \beta_B t_A t_B + 2\beta_B^3 \beta_A t_A t_B}$$

$$M_{AB} = - \frac{P_{AB} (t_A - t_B) (\beta_B^2 t_A - \beta_A^2 t_B)}{\beta_B^4 t_A^2 - \beta_A^4 t_B^2 - 2\beta_A^3 \beta_B t_A t_B + 2\beta_B^3 \beta_A t_A t_B}$$

Donde:

$$P_{AB} = \gamma (d - L)$$

Este mismo análisis podrá ser aplicado a Juntas BC, CA.

#### JUNTA SOLDADA BC

Se realiza el mismo análisis que Junta AB.

$$Q_{BC} = \frac{P_{BC} (t_B - t_C) (\beta_C^3 t_B - \beta_B^3 t_C)}{\beta_C^4 t_B^2 - \beta_B^4 t_C^2 - 2\beta_B^3 \beta_C t_B t_C + 2\beta_C^3 \beta_B t_B t_C}$$

$$M_{BC} = - \frac{1}{2} \frac{P_{BC} (t_B - t_C) (\beta_C^3 t_B - \beta_B^2 t_C)}{\beta_C^4 t_B^2 - \beta_B^4 t_C^2 - 2\beta_B^3 \beta_C t_B t_C + 2\beta_C^3 \beta_B t_B t_C}$$



Donde:

$$p_{BC} = (d - 2L)$$

JUNTA SOLDADA CD

$$Q_{CD} = \frac{p_{CD} (t_B - t_D) (B_D^3 t_C - B_C^3 t_D)}{B_D^4 t_C^2 - B_C^4 t_D^2 - 2B_C^3 B_D t_D t_C + 2B_D^3 B_C t_D t_C}$$

$$M_{CD} = - \frac{1}{2} \frac{p_{CD} (t_C - t_D) (B_D^2 t_C - B_C^2 t_D)}{B_D^4 t_C^2 - B_C^4 t_D^2 - 2B_C^3 B_D t_D t_C + 2B_D^3 B_C t_D t_C}$$

Donde:

$$p_{CD} = \gamma (d - 3L)$$

JUNTA SOLDADA DE

$$Q_{DE} = \frac{p (t_D - t_E) (B_E^3 t_D - B_D^3 t_E)}{B_E^4 t_D^2 - B_D^4 t_E^2 - 2B_D^3 B_E t_D t_E + 2B_E^3 B_D t_D t_E}$$

$$M_{DE} = - \frac{1}{2} \frac{p (t_D - t_E) (B_E^2 t_D - B_D^2 t_E)}{B_E^4 t_D^2 - B_D^4 t_E^2 - 2B_D^3 B_E t_D t_E + 2B_E^3 B_D t_D t_E}$$

Donde:

$$p_{DE} = \gamma (d - 4L)$$

Hasta el momento hemos calculado todos los momentos y fuerzas cortante de discontinuidad y estamos en condiciones de definir el resto de variables que gobiernan cada segmento.

Cada segmento está sometido a las siguientes influencias:  
Momentos en sus bordes y carga de presión.

SEGMENTO A:

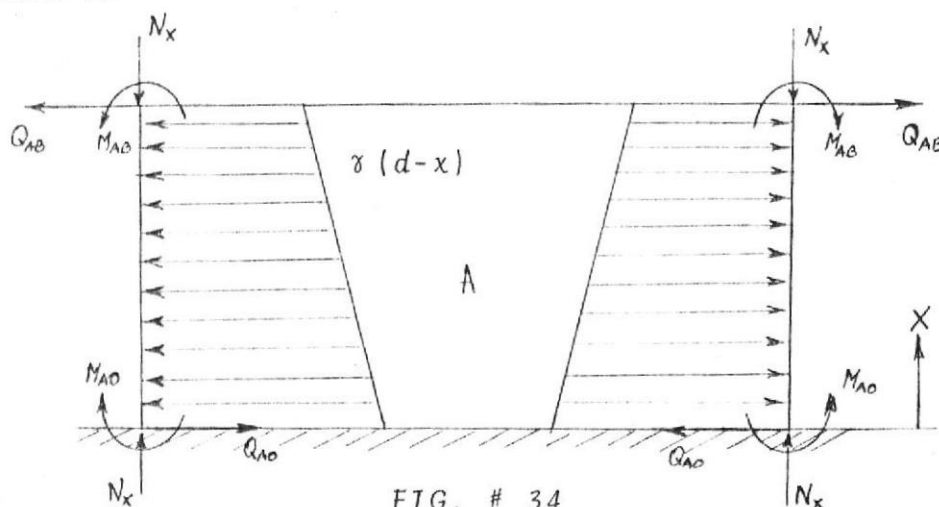


FIG. # 34

La deformación resultante  $w_{AX}$  se puede descomponer así debido al principio de superposición:

$$w_{AX} = w_{AXC_1} + w_{AXC_2} + w_{AXp}$$

Donde:

$w_{AXC_1}$  = Deformación producida por el efecto de momentos y fuerzas cortantes  $M_{A0}$  y  $Q_{A0}$  en el segmento A.

$w_{AX_{C2}}$  = Deformación producida por el efecto de momentos y fuerzas cortantes  $M_{AB}$  y  $Q_{AB}$  en el segmento A.

$w_{AX_p}$  = Deformación libre producida por la presión hidrostática, en el segmento A.

$$w_{AX_{C1}} = - \frac{2R^2 \beta_A}{Et_A} \left[ \beta_A M_{A0} F_3(\beta_A X) + Q_{A0} F_4(\beta_A X) \right]$$

$$w_{AX_{C2}} = - \frac{2R^2 \beta_A}{Et_A} \left[ \beta_A M_{AB} F_3(\beta_A (96-X)) + Q_{AB} F_4(\beta_A (96-X)) \right]$$

$$w_{AX_p} = - \frac{\gamma(d-x)R^2}{Et_A}$$

$$N_{\phi_A} = - \frac{E t_A w_{AX}}{R}$$

Por la misma condición de superposición

$$M_{AX} = M_{AX1} + M_{AX2}$$

Donde:

$M_{AX1}$  = Momento a lo largo del segmento A por momentos y fuerzas cortantes  $M_{A0}$  y  $Q_{A0}$  impuestos en el borde inferior del segmento A.

$M_{AX2}$  = Momento a lo largo del segmento A, producido por momentos y fuerzas cortantes  $M_{AB}$  y  $Q_{AB}$  en

el borde superior del segmento A.

$$M_{AX1} = \frac{1}{\beta_A} \left[ \beta_A M_{A0} F_1(\beta_A X) + Q_{A0} F_2(\beta_A X) \right] \quad 2-85$$

$$M_{AX2} = \frac{1}{\beta_A} \left[ \beta_A M_{AB} F_1(\beta_A (96-X)) + Q_{AB} F_2(\beta_A (96-X)) \right] \quad 2-86$$

También  $M_{\phi A}$ :

$$M_{\phi A} = v M_{AX} \quad 2-87$$

Aplicando también principio de superposición a fuerzas cor  
tantes.

$$Q_{AX} = Q_{AX1} + Q_{AX2} \quad 2-88$$

Donde:

$Q_{AX1}$  = Fuerza cortante a lo largo del segmento A, producido por momentos y fuerzas cortantes  $M_{A0}$ ,  $Q_{A0}$  impuestos en el borde inferior del segmento A.

$Q_{AX2}$  = Fuerza cortante a lo largo del segmento A, producido por momentos y fuerzas cortantes  $M_{AB}$ ,  $Q_{AB}$ , impuestos en el borde superior del segmento A.

$$Q_{AX1} = -2 \beta_A M_{A0} F_2 [\beta_A X] + Q_{A0} F_3 [\beta_A X] \quad 2-89$$

$$Q_{AX2} = -2 \beta_A M_{AB} F_2 [\beta_A (96-X)] + Q_{AB} F_3 [\beta_A (96-x)] \quad 2-90$$

$$\Delta_{AX} = \frac{6 M_{AX}}{2 t_A} + \frac{N_X}{t_A} \quad 2-91$$

$$\Delta_{At} = \frac{6 M \phi_A}{t_A^2} + \frac{N \phi_A}{t_A} \quad 2-92$$

A los demás segmentos se continuará con el mismo análisis hecho para este segmento.

SEGMENTO B.

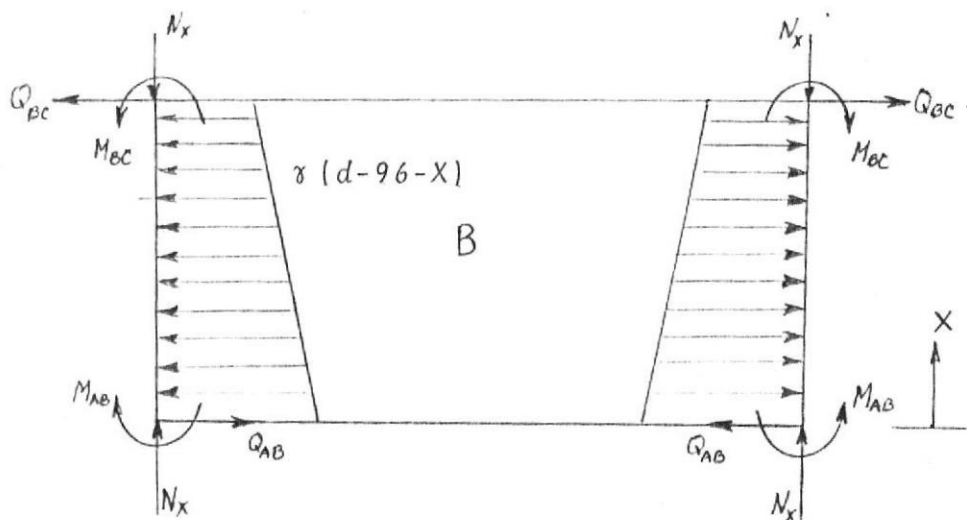


FIG. # 35

$$w_{BX} = w_{BXC1} + w_{BXC2} + w_{BXp} \quad 2-93$$

Donde:

$$\omega_{BXC1} = - \frac{2R^2 \beta_B}{Et_B} \left[ \beta_B M_{AB} F_3(\beta_B X) + Q_{AB} F_4(\beta_B X) \right] \quad 2-94$$

$$\omega_{BXC2} = - \frac{2R^2 \beta_B}{Et_B} \left[ \beta_B M_{BC} F_3(\beta_B (96-X)) + Q_{BC} F_4(\beta_B (96-X)) \right] \quad 2-95$$

$$\omega_{BXp} = - \frac{\gamma (d - 96 - X) R^2}{Et_B} \quad 2-96$$

$$N_{\phi B} = \frac{Et_B \omega_{BX}}{R} \quad 2-97$$

$$M_{BX} = M_{BX1} + M_{BX2} \quad 2-98$$

Donde:

$$M_{BX1} = \frac{1}{\beta_B} \left[ \beta_B M_{AB} F_1(\beta_B X) + Q_{AB} F_2(\beta_B X) \right] \quad 2-99$$

$$M_{BX2} = \frac{1}{\beta_B} \left[ \beta_B M_{BC} F_1(\beta_B (96-X)) + Q_{BC} F_2(\beta_B (96-X)) \right] \quad 2-100$$

$M_{\phi B}$  será

$$M_{\phi B} = \nu M_{BX} \quad 2-101$$

$$Q_{BX} = Q_{BX1} + Q_{BX2} \quad 2-102$$

Donde:

$$Q_{BX1} = - 2\beta_B M_{AB} F_2 [\beta_B X] + Q_{AB} F_3 [\beta_B X] \quad 2-103$$

$$Q_{BX2} = - 2\beta_B M_{BC} F_2 [\beta_B (96-X)] + Q_{BC} F_3 [\beta_B (96-X)] \quad 2-104$$

$$\Delta_{BX} = \frac{6 M_{BX}}{t_B^2} + \frac{N_X}{t_B} \quad 2-105$$

$$\Delta_{Bt} = \frac{6 M_{\phi B}}{t_B^2} + \frac{N_{\phi B}}{t_B} \quad 2-106$$

SEGMENTO C:

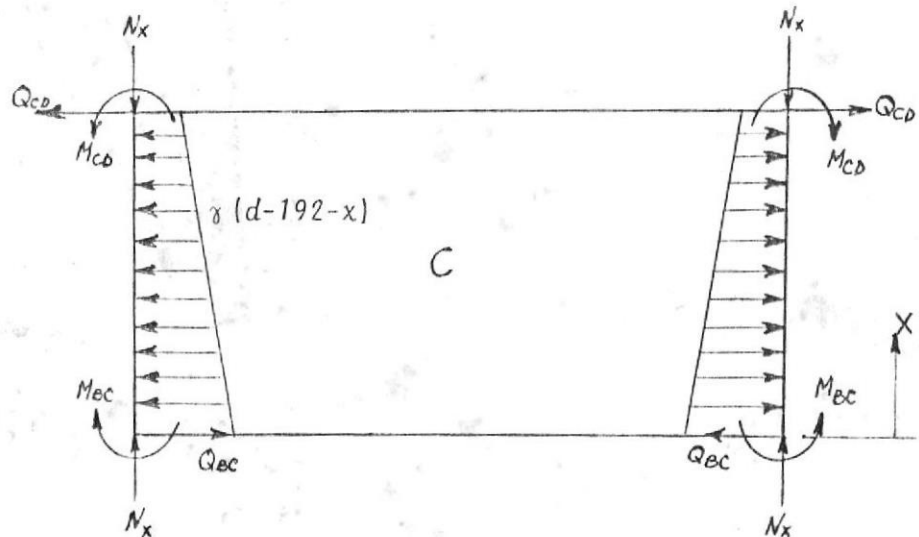


FIG. # 36

$$w_{cX} = w_{cXp_1} + w_{cXc_2} + w_{cXp} \quad 2-107$$

$$w_{CX_{C1}} = - \frac{2 R^2 \beta_C}{E t_C} [\beta_C M_{BC} F_3(\beta_C X) + Q_{BC} F_4(\beta_C X)] \quad 2-108$$

$$w_{CX_{C2}} = - \frac{2 R^2 \beta_C}{E t_C} [\beta_C M_{CD} F_3(\beta_C (96-X)) + Q_{CD} F_4(\beta_C (96-X))] \quad 2-109$$

$$w_{CX_p} = - \frac{\gamma (d - 192 - X) R^2}{E t_C} \quad 2-110$$

$$N_{\phi C} = - \frac{E t_C w_{CX}}{R} \quad 2-111$$

$$M_{CX} = M_{CX1} + M_{CX2}$$

Donde:

$$M_{CX1} = \frac{1}{\beta_C} [\beta_C M_{BC} F_1(\beta_C X) + Q_{BC} F_2(\beta_C X)] \quad 2-112$$

$$M_{CX2} = \frac{1}{\beta_C} [\beta_C M_{CD} F_1(\beta_C (96-X)) + Q_{CD} F_2(\beta_C (96-X))] \quad 2-113$$

y  $M_{\phi C}$ :

$$M_{\phi C} = \nu M_{CX} \quad 2-114$$

$$Q_{CX} = Q_{CX1} + Q_{CX2} \quad 2-115$$

Donde:

$$Q_{CX1} = - 2 \beta_C M_{BC} F_2[\beta_C X] + Q_{BC} F_3[\beta_C X] \quad 2-116$$

$$Q_{CX2} = - 2 \beta_C M_{CD} F_2 [ \beta_C (96-X) ] + Q_{CD} F_3 [ \beta_C (96-X) ] \quad 2-117$$

$$\Delta_{CX} = \frac{6 M_{CX}}{t_C^2} + \frac{N_X}{t_C} \quad 2-118$$

$$\Delta_{Ct} = \frac{6 M_{\phi C}}{t_C^2} + \frac{N_{\phi C}}{t_C} \quad 2-119$$

SEGMENTO D:

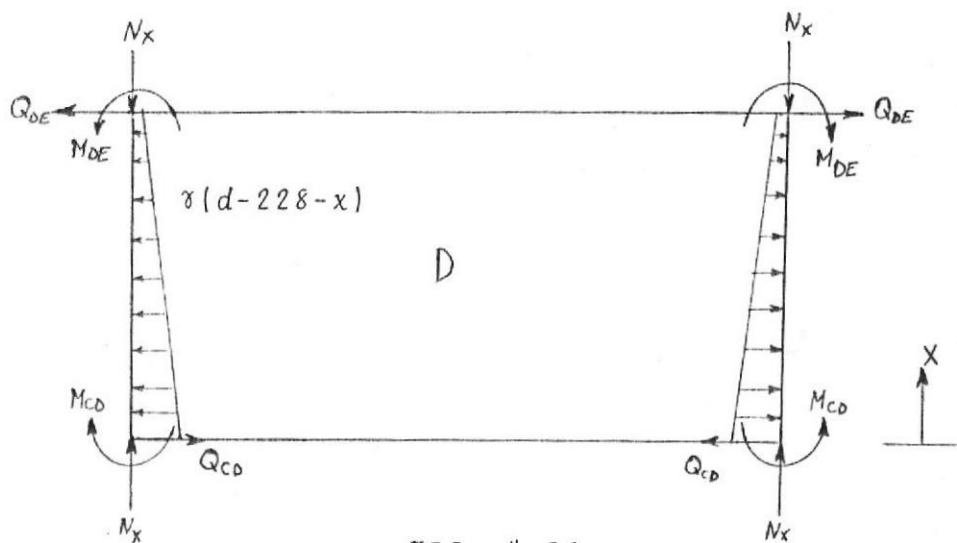


FIG. # 37

$$w_{DX} = w_{DXC1} + w_{DXC2} + w_{DXp} \quad 2-120$$

Donde:

$$w_{DXC1} = -\frac{2R \beta_D}{Et_D} [ \beta_D M_{CD} F_3 (\beta_D X) + Q_{CD} F_4 (\beta_D X) ] \quad 2-121$$

$$w_{DXC2} = -\frac{2R^2 \beta_D}{Et_D} [ \beta_D M_{DE} F_3 (\beta_D (96-X)) + Q_{DE} F_4 (\beta_D (96-X)) ] \quad 2-122$$

$$w_{DX_p} = - \frac{\gamma (d - 288 - X) R^2}{Et_D} \quad 2-123$$

Así mismo:

$$N_{\phi_D} = - \frac{Et_D w_{DX}}{R} \quad 2-124$$

$$M_{DX} = M_{DX1} + M_{DX2} \quad 2-125$$

En el que:

$$M_{DX1} = \frac{1}{B_D} [B_D M_{CD} F_1(B_D X) + Q_{CD} F_2(B_D X)] \quad 2-126$$

$$M_{DX2} = \frac{1}{B_D} [B_D M_{DE} F_1(B_D (96-x)) + Q_{DE} F_2(B_D (96-x))] \quad 2-127$$

$M_{\phi_D}$  será:

$$M_{\phi_D} = \nu M_{DX} \quad 2-128$$

$$Q_{DX} = Q_{DX1} + Q_{DX2} \quad 2-129$$

Donde:

$$Q_{DX1} = - 2 B_D M_{CD} F_2[B_D X] + Q_{CD} F_3[B_D X] \quad 2-130$$

$$Q_{DX2} = - 2 B_D M_{DE} F_2[B_D (96-x)] + Q_{DE} F_3[B_D (96-x)] \quad 2-131$$

$$\Delta_{DX} = \frac{6 M_{DX}}{t_D^2} + \frac{N_X}{t_D} \quad 2-132$$

$$\Delta_{Dt} = \frac{6 M_{\phi D}}{t_D^2} + \frac{N_{\phi D}}{t_D} \quad 2-133$$

SEGMENTO E.

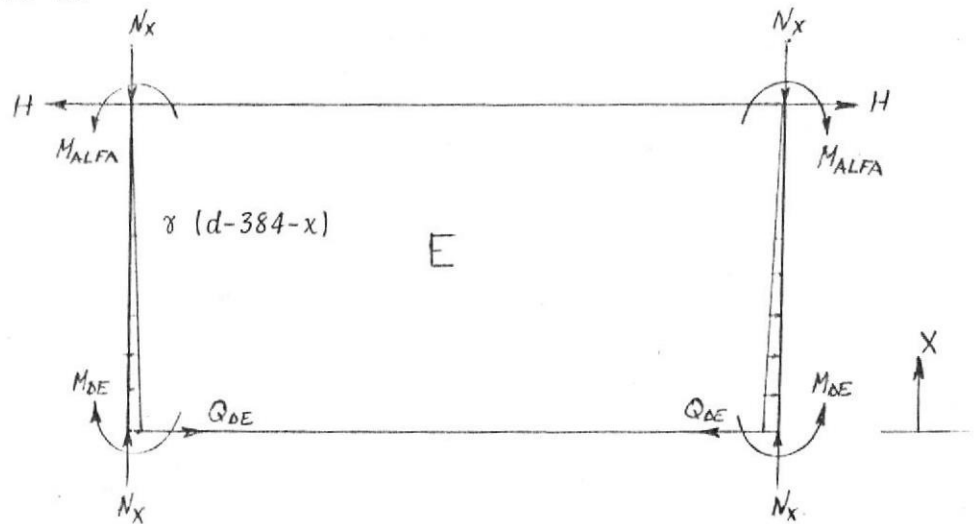


FIG. # 38

$$w_{EX} = w_{EX_{C1}} + w_{EX_{C2}} + w_{EX_p} \quad 2-134$$

$$w_{EX_{C1}} = - \frac{2 R^2 \beta E}{E t_E} \left[ \beta_E M_{DE} F_3(\beta_E X) + Q_{DE} F_4(\beta_E X) \right] \quad 2-135$$

$$w_{EX_{C2}} = - \frac{2 R^2 \beta E}{E t_E} \left[ \beta_E M_{ALFA} F_3(\beta_E (96-x)) + H F_4(\beta_E (96-x)) \right] \quad 2-136$$

$$w_{EX_p} = - \frac{\gamma (d - 384 - X) R^2}{E t_E} \quad 2-137$$

De aquí:

$$N_{\phi E} = - \frac{E t_E w_{EX}}{R} \quad 2-138$$

$$M_{EX} = M_{EX1} + M_{EX2} \quad 2-139$$

Donde:

$$M_{EX1} = \frac{1}{\beta_E} \left[ \beta_E M_{DE} F_1(\beta_E X) + Q_{DE} F_2(\beta_E X) \right] \quad 2-140$$

$$M_{EX2} = \frac{1}{\beta_E} \left[ \beta_E M_{ALFA} F_1(\beta_E (96-x)) + H F_2(\beta_E (96-x)) \right] \quad 2-141$$

$M_{\phi E}$  :

$$M_{\phi E} = v M_{EX} \quad 2-142$$

$$Q_{EX} = Q_{EX1} + Q_{EX2} \quad 2-143$$

Donde:

$$Q_{EX1} = - 2 \beta_E M_{DE} F_2[\beta_E X] + Q_{DE} F_3[\beta_E X] \quad 2-144$$

$$Q_{EX2} = - 2 \beta_E M_{ALFA} F_2[\beta_E (96-x)] + H F_3[\beta_E (96-x)] \quad 2-145$$

$$\Delta_{EX} = \frac{6 M_{EX}}{t_E^2} + \frac{N_X}{t_E} \quad 2-146$$

$$\Delta_{E\phi} = \frac{6 M_{\phi E}}{t_E^2} + \frac{N_{\phi E}}{t_E} \quad 2-147$$

Con estas ecuaciones que se han formulado para el cuerpo - del tanque, se procede a evaluar todos los parámetros por medio de la computadora.

Como existe un precálculo en que se han conseguido a priori los 5 espesores de los segmentos A, B, C, D y E respectivamente, estos servirán como punto de partida para seleccionar los espesores que cumplan las condiciones básicas de continuidad en las deflecciones entre uno y otro segmento, y la condición de esfuerzo máximo.

$$\Delta_1 \text{ (alrededor de } 21.000 \text{ lb/pulg}^2\text{)}$$

$$\Delta_t < 21.000 \text{ lb/pulg}^2$$

$$\Delta_x < 21.000 \text{ lb/pulg}^2$$

$$(w_{AX})_{x=0} = 0$$

2-148

$$(w_{AX})_{x=96} = (w_{BX})_{x=0}$$

$$(w_{BX})_{x=96} = (w_{CX})_{x=0}$$

$$(w_{CX})_{x=96} = (w_{DX})_{x=0}$$

$$(w_{DX})_{x=96} = (w_{EX})_{x=0}$$

Se hicieron varios tanteos para diversos espesores de segmento, pero los que dieron valores más aceptables cumpliendo la condición 2-148, fueron los siguientes espesores:

$$t_A = 0.55$$

$$t_B = 0.42$$

$$t_C = 0.32$$

$$t_D = 0.22$$

$$t_E = 0.18$$

Los resultados obtenidos en los programas de computadora - (programa completo en el apendice), para los diferentes espesores de segmento son los siguientes datos en la Tabla # 2.

SEGMENTO	X	W	N <sub>φ</sub>	M <sub>X</sub>	M <sub>φ</sub>	Q <sub>X</sub>	∠ <sub>X</sub>	∠ <sub>t</sub>
	0	0	0	2614	784,29	-301	20981	6325
	16	-0,206	5685	-275	-82,74	-31,99	-5633	8696
	32	-0,340	9581	-251	-75,47	16,33	-5153	15924
	48	-0,354	9741	-37	-11,36	7,17	-914	17502
A	64	-0,331	9120	36	10,97	-1,33	562	16799
	80	-0,327	8993	46	13,91	0,56	757	16628
	96	-0,341	9390	-106	-31,83	20,11	-2267	16442
	0	-0,342	7183	-106	-32,03	-20,35	-3845	16013
	16	-0,365	7668	30	9,01	0,72	808	18565
	32	-0,365	7666	11	3,54	-1,36	188	18372
B	48	-0,347	7289	-0,92	-0,27	-0,41	-244	17347
	64	-0,328	6901	7,03	2,10	-0,92	25	16503
	80	-0,322	6773	22	6,83	-0,11	561	16359
	96	-0,336	7060	-61	-18,46	-13,43	-2307	16183
	0	-0,336	5379	-61	-18,47	13,43	-3889	15729
	16	-0,358	5733	17,62	5,28	-0,18	752	18226
	32	-0,349	5586	3,69	1,1	-0,66	-64	17521
	48	-0,325	5202	-1,44	-0,43	-0,01	-364	16233
C	64	-0,301	4817	2,44	0,73	-0,51	-136	15099
	80	-0,288	4614	15,44	4,63	-0,45	624	14692
	96	-0,306	4901	-40,27	12,08	-10,39	-2640	14608
	0	-0,306	3369	-40,28	12,08	-10,39	-5402	13817
	16	-0,340	3743	10,04	3,01	-0,60	836	17388
	32	-0,317	3493	0,39	0,11	-0,24	-358	15896
D	48	-0,283	3120	-0,38	-0,11	-0,04	-455	14168
	64	-0,251	2765	0,05	0,01	-0,05	-400	12575
	80	-0,221	2439	2,52	0,75	-0,18	-94	11182
	96	-0,207	2284	-8,29	-2,48	-2,44	-1436	10074
	0	-0,207	1868	-8,29	-2,48	-2,44	-2034	9921
	16	-0,191	1725	-1,91	0,57	-0,18	-144	9690
	32	-0,154	1392	0,11	0,03	-0,04	-476	7741
	48	-0,117	1057	-0,80	-0,24	0,22	-646	5831
E	64	-0,06	547	-4,31	-1,29	-0,44	-1297	2800
	80	-0,02	239	65,20	-19,56	-8,79	-11577	4950
	96	-0,193	5372	-148,39	-44,51	73,98	-3052	8813

TABLA # 2

Se puede graficar tabla # 2, para especialmente valores de  $W$ ,  $M_x$ ,  $N_\phi$  y  $Q_x$ ; se podrá apreciar la continuidad de las deflecciones entre uno y otro segmento.

Hay que anotar que será el segmento superior. E, se ha tomado en cuenta el espesor del ángulo de refuerzo, lo cual incrementa el espesor del segmento en la zona donde tiene acción dicho ángulo y que está dado por  $W_C = 0.6 \sqrt{Rt_E}$  (fórmula 2-10) siendo aproximadamente igual a 8 pulgadas; así mismo en el segmento inferior se ha tomado en cuenta la presencia de una pletina de refuerzo entre el borde inferior de este segmento, se ha tomado una pletina de  $5 \frac{1}{16}'' \times 2''$ .

### 3. CALCULO DE LA SOLDADURA

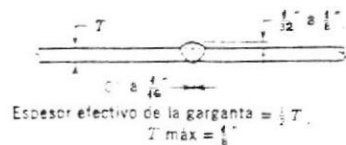
En cuando al cálculo y diseño de la soldadura se usará - las recomendaciones de A.W.S. (Sociedad Americana de la soldadura), se restringirá el cálculo a las juntas horizontales y verticales del cuerpo cilíndrico del tanque.

Las planchas del cuerpo del tanque pueden ser soldadas al tope o soldadas en traslape dependiendo en las consideraciones económicas y de diseño, de acuerdo a Ref. 3  $5/8$  pulg. es el máximo espesor de plancha para soldadura a traslape en juntas horizontales y  $3/8$  pulg. es el máximo espesor de plancha para soldadura a traslape en juntas verticales. Juntas soldadas a tope pueden ser usadas para todos - los espesores de plancha hasta incluyendo  $1\ 1/2$  pulg. para planchas de acero dulce y hasta incluyendo a  $3/16$  pulg. para planchas de acero de alta resistencia.

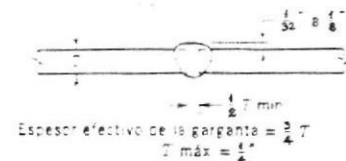
Las planchas para juntas soldadas a tope deben sus bordes ser preparados (chaflanar, etc.), esta operación no es necesaria para las juntas soldadas a traslape. Por esta razón, las planchas para juntas traslapadas son menos caras, sin embargo el montaje para juntas a tope es algo más rápido. A causa de que los actuales costos de mano de obra son altos, la mayoría de los tanques son ahora fabricados con

Juntas soldadas \*

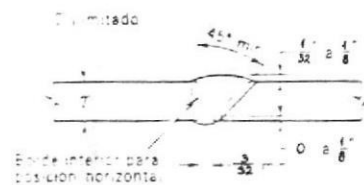
Juntas aceptadas sin calificación bajo el código AWS



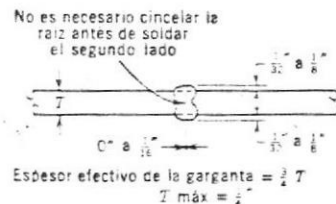
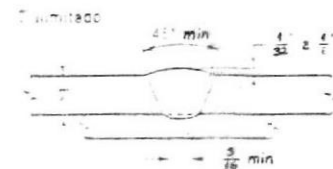
Junta a tope en paralelo  
Soldada por un solo lado



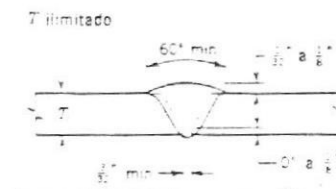
Junta a tope abierta en paralelo  
Soldada por un solo lado



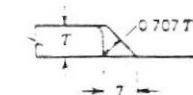
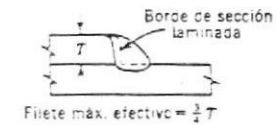
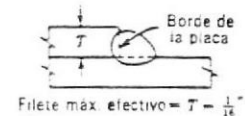
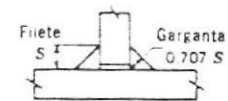
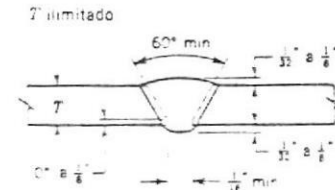
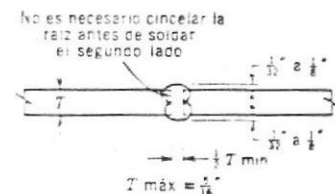
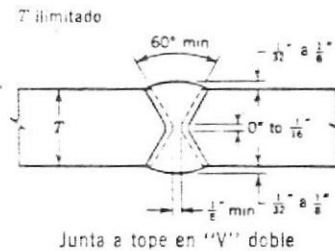
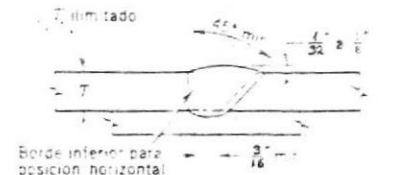
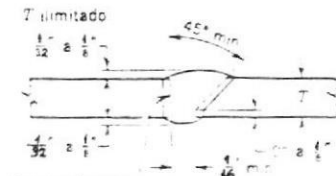
Junta a tope de bisel sencillo  
Soldada por un solo lado



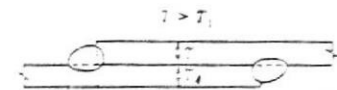
Junta a tope en paralelo  
Soldada por ambos lados



Junta a tope en "V" sencilla  
Soldada por un solo lado



Soldaduras de filete en los bordes  
Veanse especificaciones AISI, sec. 24 (d)



5T<sub>1</sub> min  
no menor de 1"  
S = según se requiera  
Veanse especificaciones AISI, sec. 17.8

soldadura a tope.

En el caso de soldaduras a tope, las juntas deben preferentemente ser soldadas por ambos lados de la costura soldada, y con penetración completa. En la tabla adjunta (Ref. 10), se puede ver restricciones en el diseño de las juntas soldadas.

El cálculo será basado partiendo de los datos que se han obtenido para  $\Delta_x$ ,  $\Delta_t$  y  $\tau$  (Fórmulas 2-55) para los distintos segmentos desde A hasta B. Para  $\Delta_x$  y  $\tau$  solo interesan sus valores en los bordes de cada segmento, para  $\Delta_t$  sería el mayor valor a lo largo de la altura de cada segmento.

A continuación se escriben los distintos valores de  $\Delta_x$ ,  $\Delta_t$  y  $\tau$  que interesan para el cálculo de soldadura.

#### COSTURAS VERTICALES:

$$\text{Junta Segmento A:} \quad \Delta_t = 17.502 \frac{lb}{\text{pulg}^2}$$

$$\text{Segmento B:} \quad \Delta_t = 18.723 \frac{lb}{\text{pulg}^2}$$

$$\text{Segmento C:} \quad \Delta_t = 18.255 \frac{lb}{\text{pulg}^2}$$

Segmento D:  $\Delta_t = 17.388 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}.$

Segmento E:  $\Delta_t = 21.000 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}.$

Para las costuras verticales se ha tomado el mayor esfuerzo  $\Delta_t$  que ocurre en el segmento.

#### COSTURAS HORIZONTALES

Unión segmento A - Fondo  $\Delta_x = 20.981 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}.$

$$\tau = 820 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}.$$

Unión segmento B - Segmento A  $\Delta_x = -3845 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}.$

$$\tau = 71.5 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}.$$

Unión segmento C - Segmento B  $\Delta_x = -3889 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}.$

$$\tau = 63 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}.$$

Unión segmento D - Segmento C  $\Delta_x = -5402 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}.$

Unión segmento E - Segmento D  $\Delta_x = -2034 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}.$

$$\tau = 21 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}.$$

Unión segmento E - Techo

$$\sigma_x = - 3052 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}.$$

$$\tau = 616 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}.$$

En la Tabla 4 se dan las propiedades mínimas del metal de soldadura, así como las tensiones permitidas por la norma A ISC para el metal de soldadura (Ref. 11).

Número de electrodo AWS	Resistencia a la tracción		Límite de fluencia	
	kg/cm <sup>2</sup>	psi.	kg/cm <sup>2</sup>	psi
E60xx	4.350	62.000	3.520	50.000
E70xx	4.920	70.000	4.000	57.000
E80xx	5.620	80.000	4.700	67.000
E90xx	6.330	90.000	5.400	77.000
E100xx	7.030	100.000	6.000	87.000
E120xx	8.440	120.000	7.500	107.000

Tipo de Carga o esfuerzo	Tipo de Soldadura	Tensión permisible
	A tope	0,60 S y
Tracción	A tope	0,90 S y
Contacto	A tope	0,60 S y-0,66 S y
Flexión	A tope	0,60 S y
Compresión simple	A tope	
Cizalladura	o de filete	0,40S y

TABLA # 4

De la tabla 4 se puede notar que los esfuerzos a que están sometidas las costuras soldadas están muy por debajo de las propiedades correspondientes a E60XX, esto lógicamente dará valores para tamaño de cordones inferiores a los aconsejados por A.W.S. (Sociedad Americana de la Soldadura), por tanto se seleccionará las especificaciones de los cordones a partir de la tabla 3. El detalle de la soldadura se puede ver en el gráfico del apéndice.

4.

## CALCULO DE LAS BASES O ESTRUCTURAS

Tanques grandes de almacenamiento imponen cargas substanciales sobre la fundación. Particularmente donde la habilidad de la fundación, para soportar las cargas del casco rón directamente es dudosa, es recomendado (A.P.I.) que se construya antes del montaje del tanque, una fundación o base a manera de un muro de concreto, circular alrededor de la superficie de asentamiento.

Este tipo de construcción tiene las siguientes ventajas - sobre la fundación de tanque que no tiene muro de concreto.

1. Provee mejor distribución de la carga del tanque y su contenido, sobre el suelo que lo soporta.
2. Provee un nivel y un plano sólido de partida para la construcción de levantamiento del cuerpo del tanque, y para la aplicación de aislamiento cuando es requerido.
3. Provee un mejor medio de nivelar la superficie de asentamiento del tanque y preservar su contorno durante la construcción.
4. Retendrá el compactamiento de relleno que existe bajo el fondo del tanque y prevendrá la pérdida de material, por erosión del suelo, etc.

5. Actúa como una barrera contra la humedad.

El muro debe ser diseñado para que resista el empuje lateral de la presión del suelo, a este respecto deberán poner se los correspondientes refuerzos por medio de seleccionar, los correctos diámetros de varillas de acero, para que actúen como cincho en el muro; A.P.I. aconseja que el ancho del muro no sea menor de 12 pulgadas.

Es práctica común, centrar la pared del muro con la pared del tanque y proporcionar la superficie de resistencia del muro de tal manera que se obtenga una presión uniforme del suelo sobre el área total del tanque.

El muro debe erigirse sobre un soporte firme, I.E. Boberg (Ref. 9) da la siguiente fórmula para el cálculo del ancho del muro, en función del alto del mismo.

$$T = \frac{24 W}{qH - 80h}$$

Donde:

T = Espesor del muro en pulgadas

W = Peso del acero del tanque, en lib./pulg., soportado por el muro.

$H$  = Altura del tanque en pies

$h$  = Altura del muro en pies

$q$  = Peso del líquido contenido por el tanque, en lib./pie<sup>3</sup>.

Para nuestro caso los datos que tenemos son:

$$W = \frac{\gamma \times V}{\pi \times D} = 0.284 \times 96 (0.625 + 0.50 + 0.375 + 0.25 + 0.25)$$

$$= 54.5 \text{ lib./pulg. (655 lib./pie)}$$

$H$  = 40 pies

$q$  = 46.81 lib./pie<sup>3</sup>

$T$  = ?

$h$  = 5 pies (Suponemos para deducir  $T$ )

$$T = \frac{24 \times 655}{46.81 \times 40 - 80 \times 5} = 10.7 \text{ pulg.}$$

Como  $T$  no debe ser menor a 12 pulg. escogemos  $T = 12$  pulg.

En el gráfico podemos ver el muro anular. (Apendice)

También se usan pilares para compactar la superficie de asentamiento del tanque, no entraremos en detalle sobre este punto.

C A P I T U L O    I I I  
C O N S I D E R A C I O N E S   G E N E R A L E S

1. METODOS DE FABRICACION DEL CASCARON DE ALMAU  
CENAMIENTO.
2. ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE.
3. PRECAUCIONES DE OPERACION Y SEGURIDAD.

## CAPITULO III

### CONSIDERACIONES GENERALES

#### 1. METODOS DE FABRICACION DEL CASCARON DE ALMACENAMIENTO

Básicamente al entrar en el proceso de fabricación del cas  
carón de almacenamiento, es necesario considerar la forma,  
tamaño, servicio y propiedades del material que se va a  
usar para las diversas partes o elementos del cascarón de  
almacenamiento. En la fabricación de este entran en juego  
distintos métodos de fabricación, tales como: soldadura por  
fusión, el fundido, forjado, maquinado, empernado, rema  
cha  
do, etc. De todos estos y practicamente con el cual se com  
pleta la obra en un 90% es el de la soldadura por fusión.

El hierro fundido ha sido usado ampliamente para la produc  
ción en masa de pequeños accesorios de tubería; este se jus  
tifica por su superior resistencia a la corrosión compara  
da con la del acero.

Tanques de grandes diámetros no pueden ser fácilmente fun  
didos y la resistencia del hierro fundido no es confiable  
para tanques de presión. El acero fundido puede ser usado  
para recipientes pequeños de paredes gruesas debido a su  
superior resistencia comparada con la del hierro fundida.

El método de forja, puede ser usado en el conformado de las

tapas, bridas y accesorios de los de los tanques, el método de forja del rolado, tiene gran aplicación en el conformado de las planchas, lo mismo se puede decir del prensado por medio de matrices como en el caso de construcción de esferas para almacenamiento de LPG (Gas licuado de petróleo).

El remachado, fue ampliamente usado antes de desarrollarse las técnicas de soldadura hoy conocidas, y se lo hacía con tanques de cualquier forma, tamaño o servicio.

El maquinado, se lo puede usar en el caso de que se requiera tolerancias de ajustes.

El acabado de las bridas, los recipientes de paredes múltiples para propósitos de alta presión, que necesitan un perfecto para producir el zunchado de sus paredes, son uno de los varios métodos donde se puede aplicar este método.

El soldado por fusión, es un método de construcción virtualmente ilimitado y es ampliamente usado para la fabricación y montaje de tanques de gran tamaño en el mismo sitio de montaje.

Tanques o depósitos que teniendo un tamaño suficientemente pequeño como para permitir su transporte por camión, tren,

etc. son completamente soldados en taller debido al bajo costo y facilidades de control del proceso de soldadura. De los procesos de soldadura por fusión, el más preferido es el de soldadura al arco debido a la reducción de calor en el material que se suelda; la reducción de la oxidación y el mejor control del metal de aporte.

Uno de los avances de la soldadura al arco es el de la soldadura al arco sumergido y el de la atmósfera protegida con  $CO_2$  que son procesos de soldaduras en los cuales se logra proteger el cordón que se está haciendo con una atmósfera libre de  $H_2$ ; además reduce la cantidad de humo y olores molestosos y no hay destellos, los cuales no se pueden evitar en la soldadura al arco común. Con estos procesos de soldadura, que se pueden hacer en máquinas automáticas hay un ahorro considerable de tiempo que por tanto bajará los costos de fabricación del tanque de almacenamiento.

Como hemos escogido un tanque cilíndrico vertical con techo esférico, podemos decir que su construcción puede dividirse en tres partes principales:

- a) Construcción de una base para el tanque y un dique de retención alrededor del área donde se instala.
- b) Ejecución del tanque metálico con todos sus accesorios.

c) Trabajos misceláneos relacionados con el mismo, como túberías, instrumentos, instalaciones contra incendio, etc.

## 2. ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES

Cuando se habla de almacenamiento de combustibles, hay que considerar tanto el punto económico como el de seguridad. Esto tiene que ver con la selección que se haya hecho en cuanto al depósito que se va a usar para almacenar el combustible.

Como sabemos los derivados del petróleo están compuestos de muchos hidrocarburos paraafínicos. El propano es el hidrocarburo más ligero hallado en cantidades apreciables, es también el hidrocarburo con la tendencia más grande para evaporarse o vaporizarse del líquido almacenado. Cuando el propano y otros hidrocarburos pasan a la fase vapor por medio de vaporizarse, el volumen del líquido almacenado disminuido y debido a que estos hidrocarburos ligeros no están presentes ahora en sus cantidades iniciales la gravedad A.P.I. del crudo es también por ende disminuida.

Hay una relación definida entre la pérdida de gravedad A.P.I. y la pérdida de volumen, dependiendo de las características del crudo, esto es mostrado en la figura # 39.

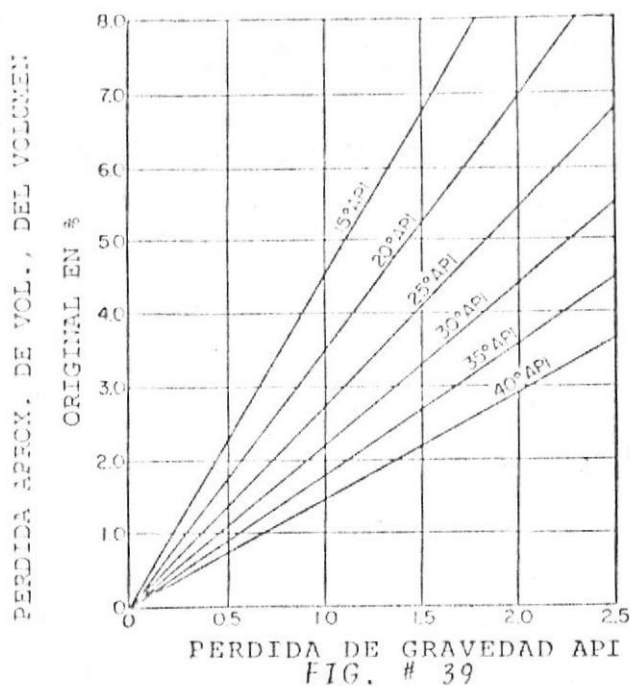


FIG. # 39

Varios factores afectan y contribuyen a las pérdidas de vapor (volumen) y de gravedad específica (calidad) en los tanques de almacenamiento. Ellos son:

1. Presión de vapor del producto almacenado.
2. Temperatura del producto almacenado.
3. Área de la superficie del producto almacenado.
4. Agitación del producto almacenado.
5. Presión en el tanque de almacenamiento.
6. Pérdida por llenado en el tanque de almacenamiento.
7. Pérdida por respiración en el tanque de almacenamiento.
8. Tamaño del tanque de almacenamiento.

Varios de estos factores sino todos, contribuyen al total de pérdidas de cualquier tanque o batería de tanques.

Veamos cada uno de estos factores para tener una idea mejor

de cada uno.

Presión de vapor.- La presión verdadera de vapor (TVP) de un líquido es la presión real que ejerce sobre el espacio de vapor en el depósito a una temperatura dada. El agua por ejemplo tiene una TVP de 1 psi a 100°F y una TVP de 14.7 psi. a 212°F, sin embargo debe ser mantenido en un tanque cerrado para prevenir evaporación. Lo mismo es verdad para el petróleo crudo o derivados si la TVP está debajo de 14.7 psi.

Crudos con una TVP de 10 psi. y más baja son generalmente relativamente estables en tanques cerrados atmosféricos.

Temperatura.- La temperatura del crudo y derivados, como se dijo arriba, está directamente relacionada con su presión de vapor. Por ejemplo un crudo con una TVP de 8 psi. a 58°F tendrá una TVP de 17 psi. a 90°F. Las pérdidas por vaporización es entonces aproximadamente doblada a la temperatura de 90°F.

Area de la superficie de líquido.- Este término está directamente relacionado con la rata de evaporación del crudo. Si tomamos por ejemplo 2 tanques con una capacidad de 500 barriles cada uno, pero de diferente altura; uno es

de mayor altura que el otro.

Si ambos son llenados hasta la mitad, el de mayor altura - tiene  $0.74 \text{ pie}^2$  de área de superficie expuesta por barril almacenado, mientras que el tanque de menor altura tiene  $1.46 \text{ pie}^2$  de área de superficie expuesta por barril almacenado. El tanque de menor altura tiene doble rata de evaporación que el de mayor altura.

Agitación.- La agitación del producto almacenado está directamente relacionada con la presión de vapor. Si dos crudos bajo las mismas condiciones recibe igual agitación, el que tenga más alta presión de vapor tendrá pérdidas por evaporación más grandes.

Presiones en el tanque.- De la mas alta de las presiones - mantenidas en el tanque de almacenamiento, la menor tendrá la tendencia de hacer evaporar el crudo o derivado.

Presiones de almacenamiento, consideradas sobre el 1 psi. se requiere para todo producto almacenado con una TVP sobre los 14.7 psi. para prevenir excesivas pérdidas por evaporación. Crudos de alta gravedad específica y subproductos, generalmente requieren una presión de almacenamiento más alta que la normal de 1 a 4 onzas.

Pérdidas por llenado.- Cuando por ejemplo 475 barriles sacados de un tanque de 500 barriles, los vapores del líquido ocupan el líquido desplazado. Si el tanque es vuelto a llenar, estos vapores son forzados hacia la atmósfera.

Estos vapores expulsados, pueden equivaler a uno o más barriles, dependiendo del tipo de fluido.

Pérdidas por evaporación.- Los cambios de temperatura entre el día y la noche, provoca que los vapores sean expelidos fuera del tanque y que aire sea aspirado. Estas reacciones similares a las pérdidas por llenado y vaciado pero en menor volumen.

Tamaño del tanque de almacenamiento.- Un espacio de vapor más grande y un tiempo de almacenamiento más prolongado aumentará las pérdidas por evaporación. Como ejemplo consideremos 2 tanques llenados con 100 barriles de petróleo crudo cada uno, la capacidad del uno es de 250 barriles y el otro que es un tanque de mayor altura que este es de 500 barriles. El tanque de 250 barriles tiene 973 pie<sup>3</sup> de espacio de vapor; mientras que el tanque más alto tiene 2469 pie<sup>3</sup>, lo que resulta 2 1/2 veces mayor.

Este espacio de vapor añadido aumenta las pérdidas por evaporación del tanque más grande.

### 3. PRECAUCIONES DE OPERACION Y SEGURIDAD

En cuanto a este punto podemos decir que las principales - precauciones de operación y seguridad deben estar encaminadas:

- a) Evitar la corrosión.
- b) Evitar las pérdidas por respiración, llenado, vaciado, etc.
- c) Tomar precauciones por riesgos inesperados de incendio y riesgos de presiones o depresiones excesivas.

En cuanto a los dos primeros puntos diremos:

El tanque deberá ser mantenido limpio y libre de aceite - derramado u otro material. Este deberá ser pintado con una pintura blanca o pintura reflectante tal como pintura de aluminio. Toda el agua o suciedad acumulada deberá ser quitada de los alrededores del fondo del tanque. La escotilla de medir y las válvulas de las líneas de venteo, deberán ser mantenidas cerradas e inspeccionadas periódicamente para chequear su operación correcta, y hermeticidad.

Hay que evitar la existencia de fugas, estas deberán ser reparadas temporalmente con tapones de plomo operno articulado. Estas fugas deberán ser reparadas definitivamente -

tan pronto como sea posible.

Hay que chequear que la válvula de drenaje esté cerrada. - Antes de entregar el combustible fuera del tanque es necesario purgar el agua del tanque si es que es necesario; antes de esto hay que cerrar la válvula de la tubería de descarga de combustible.

Sobre el tercer punto diremos que cuando se llena o se vacía un tanque no se puede evitar poner en comunicación la fase gaseosa con la atmósfera, ya que el tanque no está calculado para resistir variaciones muy grandes de presión. - Las variaciones de temperatura pueden originar también presiones o depresiones excesivas; para el caso de nuestro - tanque hay que prever la instalación de una válvula de alivio de presión-vacío. Esta válvula está acoplada conjuntamente con un equipo apagallamas.

En caso de sobrepresiones excesivas accidentales debido a circunstancias especiales tales como una explosión, debe preverse dispositivos de seguridad a fin de que el tanque no se reviente.

Los reglamentos imponen uno de los siguientes sistemas:

- Membrana de seguridad, constituida por un disco delgado

En caso de incendio, existen diferentes dispositivos que se pueden poner en acción; si el tanque arde, unas bombas permiten enviar espuma sobre la superficie en llama en el interior del tanque, además se procede a mojar la superficie exterior del tanque como la de los tanques próximos a

foco.

Para el caso de incendio, el reglamento prevé el poner a pagarlamas entre la fase gaseosa del tanque y cualquier otro medio donde las llamas pueden producirse. El apagarlas mas esta constituido por un conjunto de hojas de aluminio onduladas que presentan una capacidad calorífica muy grande, capaz de enfriar el gas lo suficiente para parar la combustión; el apagarlas puede verse en el siguiente gráfico.

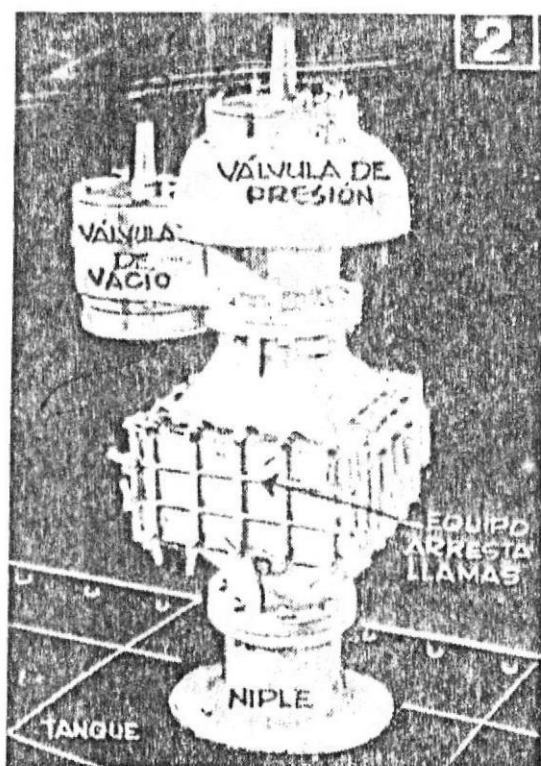
sea esta chapa la que se rompa.

- Chapa de rotura, que es una chapa del techo, que va unida a las chapas vecinas por medio de un cordón de soldadura muy débil, de manera que, en caso de sobrepresión

vuelve a ser normal;

- Válvula de explosión, análoga a una tapadera móvil de registro de hombre que se levanta, para asegurar el escape que se cierra automáticamente en cuanto la presión

que se rompe.



Equipo de protección para tanque de almacenamiento

FIG. 40

fin de evitar una elevación exagerada de temperatura, al mismo tiempo se procede a vaciarlo rápidamente. Otra técnica reciente consiste en soplar aire en el líquido para enfriar la zona situada inmediatamente debajo de la superficie libre en llamas; al disminuir la temperatura se reduce la violencia del incendio que permite una acción más rápida de la espuma. Podemos ver en el gráfico el sistema de protección del tanque.

Los tanques instalados en muros de retención para evitar que el contenido se extienda por cualquier sitio. Por último este tanque como todas las instalaciones de refinería,

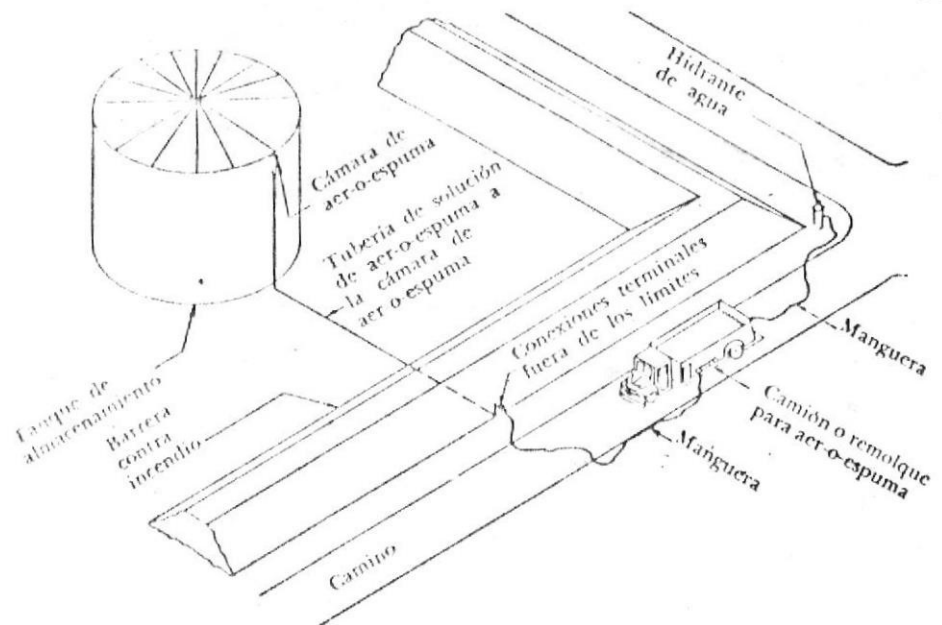


FIG. # 41. — Aplicación de espuma con el equipo montado en camión

estará provistos de pararrayos y de tomas de tierra. Si las válvulas de seguridad descargan al aire libre, se aconseja igualmente prever una purga continua de vapor en el extremo de la tubería de escape, con el fin de barrer las trazas de hidrocarburos, que podrían ser motivo de peligro de incendio en caso de un rayo en el tanque.

CAPITULO IV

ANALISIS DE COSTOS DE FABRICACION

## CAPITULO IV

### ANALISIS DE COSTOS DE FABRICACION

Los tanques de almacenamiento requieren una inversión considerable de capital. Si una cantidad limitada de combustible va a ser almacenado, un solo tanque puede ser suficiente, en cuyo caso la magnitud de las proporciones del tanque es controlada por el volumen de fluido a almacenarse. Cuando se requiere un gran número de tanques, es verdad que generalmente tanques más grandes dan un costo de almacenamiento por unidad más bajo que tanques más pequeños. Los costos de fabricación de un tanque, incluyen los costos de fabricación de un tanque, incluyen los costos de materiales costos de fundación y los de mano de obra; los costos debido a las planchas, representan el mayor gasto, estas necesitan ser preparadas, sus bordes, y roladas, antes de su montaje en el tanque y ser soldadas, todo esto involucra - costos de mano de obra y horas - máquinas que constituyen también un importante gasto en la construcción del tanque.

PROCEDIMIENTOS DE FABRICACION.- Uno de los primeros pasos en la fabricación del tanque es generalmente la preparación de las planchas por medio del rolado. Los bordes de las planchas deben prepararse, es decir rectificarlas para soldadura.

HORAS - HOMBRE Y MATERIALES.- Después de que están preparadas las planchas, estas y los demás componentes deben ser ajustados y preparados para el montaje de la soldadura.

LA Figura # 42 de curvas (de acuerdo a referencia 3) para estimar las horas - hombres involucradas en las varias etapas a través del montaje del tanque. La Figura # 42a da los tiempos de cortado de plancha en hora por pie lineal para corte a la llama como una función del espesor de plancha. Esta curva puede ser usada cuando las planchas son cortadas a partir de planchas standard como vienen de las fábricas. Adicionalmente a las horas - hombres involucrados en el cortado a la llama, hay que incluir el costo de las horas - máquina, y el del gas consumido en el cortado en la misma figura # 42a, puede verse estos costos.

El número de horas - hombre involucrados en la preparación a priori al rolado están dados en la figura # 42d. El número de horas - hombre involucrados en el rolado están da dos como parámetros en la figura # 42b; las horas - hombres son tratados como una función de la longitud de la plancha y de espesor.

Las horas - hombres involucradas en el acoplamiento y mon

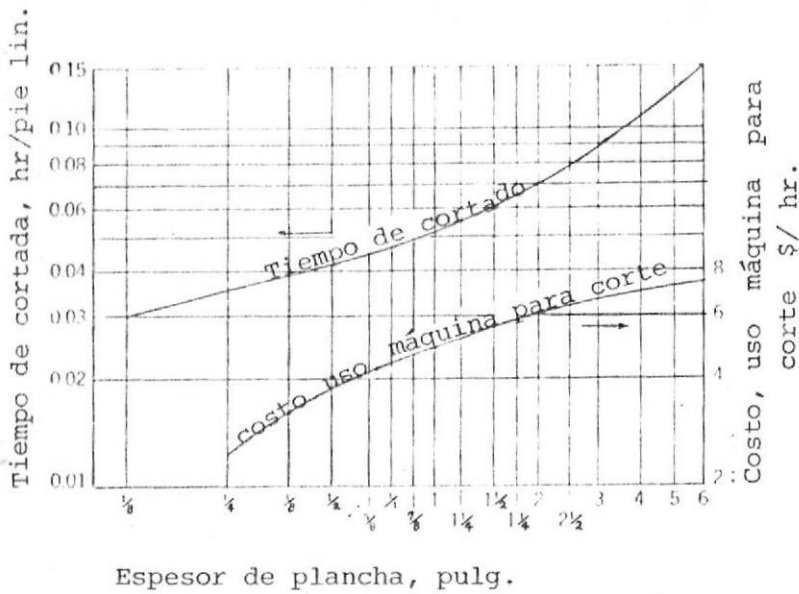


FIG. 42 a

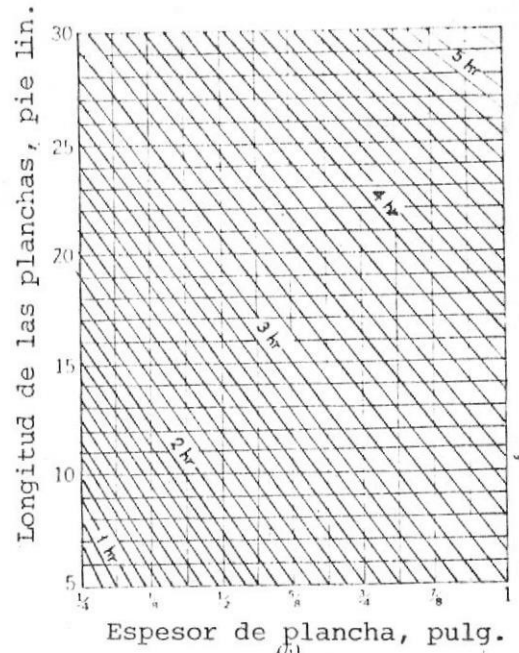


FIG. 42b

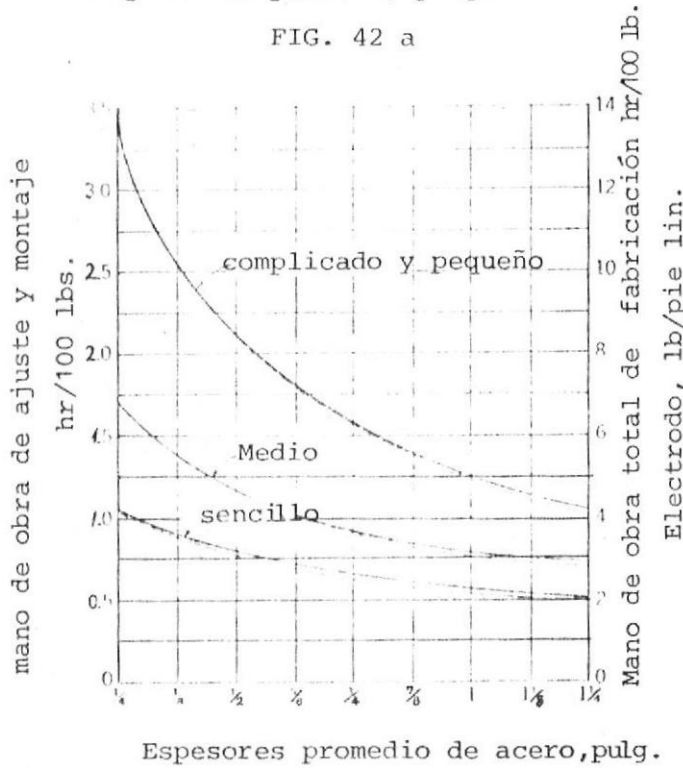


FIG. 42 c.

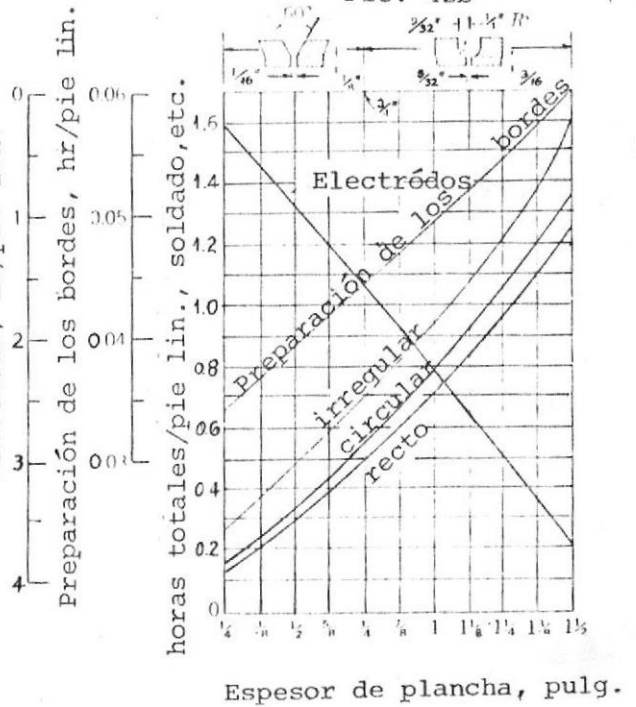


FIG. 42 d.

FIG. # 42

taje del tanque están dados por las líneas solidas en la figura 42c como una función del espesor de plancha y tres parámetros para diferentes grados de complejidad del tanque. La figura 42d también da los tiempos de soldadura y la can

tividad de electrodos por pie lineal que tienen que ver con el montaje del tanque.

Hay que agregar que también los tanques tienen 2 o más conexiones para operaciones de carga y descarga, además tienen escaleras, soportes, etc. y estos requieren horas-hombre y material de soldadura.

Acerca de los costos debido a la fundación del tanque, dependen si esta va a tener pilares enterrados o no, ya que de serlo así, el costo a menudo cuesta tanto como el tanque solo.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Básicamente lo que se ha hecho es una investigación matemática, aplicando la Teoría de Cascarones para conocer los valores de los principales parámetros que definen o representan las condiciones a que están solicitadas las diversas partes del tanque.

Primeramente se escogió para almacenar gasolina, un tanque cilíndrico con techo esférico; hubiera sido más conveniente desde el punto de vista económico, un tanque cilíndrico con techo flotante, pero el hecho es que se quiere hacer un análisis de un tanque de 55.000 barriles por medio de Teoría de Cascarones y por tanto el tanque escogido se prestaba más al análisis.

Se usó el método A.P.I. para hacer el precálculo, el cual usó Teoría de Membrana corregida con una serie de factores.

El método API, lo único que permite es deducir los espesores del tanque. En cambio usando Teoría de Cascarones, se puede además de deducir los respectivos espesores, conocer los valores de los demás parámetros que definen tanto el techo como el cuerpo.

El método de Teoría de Cascarones además tiene sus ventajas, pues da a conocer los verdaderos esfuerzos a que están sometidos las juntas soldadas y que es de vital importancia para seleccionar el tipo de junta soldada y la calidad de electrodos apropiados.

Para la solución del problema presentado se establecieron ciertas condiciones de borde que permitieron hacer los cálculos de la paredes separadamente.

Se ha deducido el espesor del techo y los valores de los momentos flectores máximo y en el borde, así también como la fuerza cortante en el borde y en el respectivo ángulo de refuerzo para resistir el empuje del techo sobre el cuerpo. A este respecto se han tomado los valores en el borde del techo, para introducirlo en el cálculo del cuerpo del tanque.

Se han dado 4 tablas; la tabla # 1 tiene las propiedades para los materiales a usarse, es decir las planchas y perfiles estructurales, la tabla # 2 muestra los resultados obtenidos para las deformaciones  $W$ , los momentos flectores  $M_0$  y  $M_x$ , fuerzas transversales  $Q_x$  y las tensiones  $\Delta_x$  y  $\Delta_t$ , en las paredes del tanque; el cálculo se ha hecho

para los distintos segmentos del cuerpo desde Segmento A hasta Segmento E, el programa completo y la graficación de estos parámetros puede verse en el apéndice, están evaluados de  $X = 0$  hasta  $X = 96$  para cada segmento. Se han graficado los resultados de la tabla # 2 que son los siguientes:

Grafico # 2 - 1. - Muestra la deformación  $W$  a lo largo de todo el cuerpo del tanque. En el borde superior se puede ver la perturbación que provoca el empuje del techo sobre el cuerpo del tanque.

Grafico # 2 - 2. - Muestra la fuerza de tensión circunferencial a lo largo de todo el cuerpo del tanque, en este gráfico no puede haber continuidad por cuanto  $N\theta$  es función del espesor de cada segmento.

Grafico # 2 - 3. - Da los momentos longitudinales  $M_x$  a lo largo de todo el cuerpo del tanque. El segmento A y principalmente en su borde inferior existen el máximo momento debido a la influencia del piso que no le permite deflectarse. En los demás segmentos puede verse que los momentos son mínimos o casi nulos a excepción en la unión techo-cuerpo, debido a la acción del techo.

Gráfico # 2-4. - Muestra la fuerza cortante transversal  $Q_x$  a lo largo de toda la pared circular o cuerpo del tanque, al igual que el gráfico anterior la mayor fuerza  $Q_x$  está en la unión cuerpo - fondo y comienza a disminuir grandemente hasta un valor mínimo o casi nulo en los demás segmentos, se puede ver que tanto en este gráfico como en el anterior lo único significativo en los segmentos B hasta E, son los valores que toman  $M_x$  y  $Q_x$  en las juntas soldadas; así mismo es significativa la fuerza cortante en la unión techo - cuerpo.

En la parte referente a soldadura se ha dado 2 tablas, la tabla # 3 y la tabla # 4 que dan los distintos tipos de juntas soldadas con sus restricciones y tolerancias, así como también los máximos esfuerzos permisibles y sus limitaciones de acuerdo al tipo de junta a emplearse, y que para este tipo de tanque se está empleando la junta a tope. El uso de tablas 3 y 4 ha permitido obtener el gráfico # 2 - 5, que detalla el tipo de junta y tamaño de cordones de soldadura.

Del cálculo de los diversos parámetros, y su graficación se corrobora las siguientes conclusiones, dadas como premisas al principio de este trabajo:

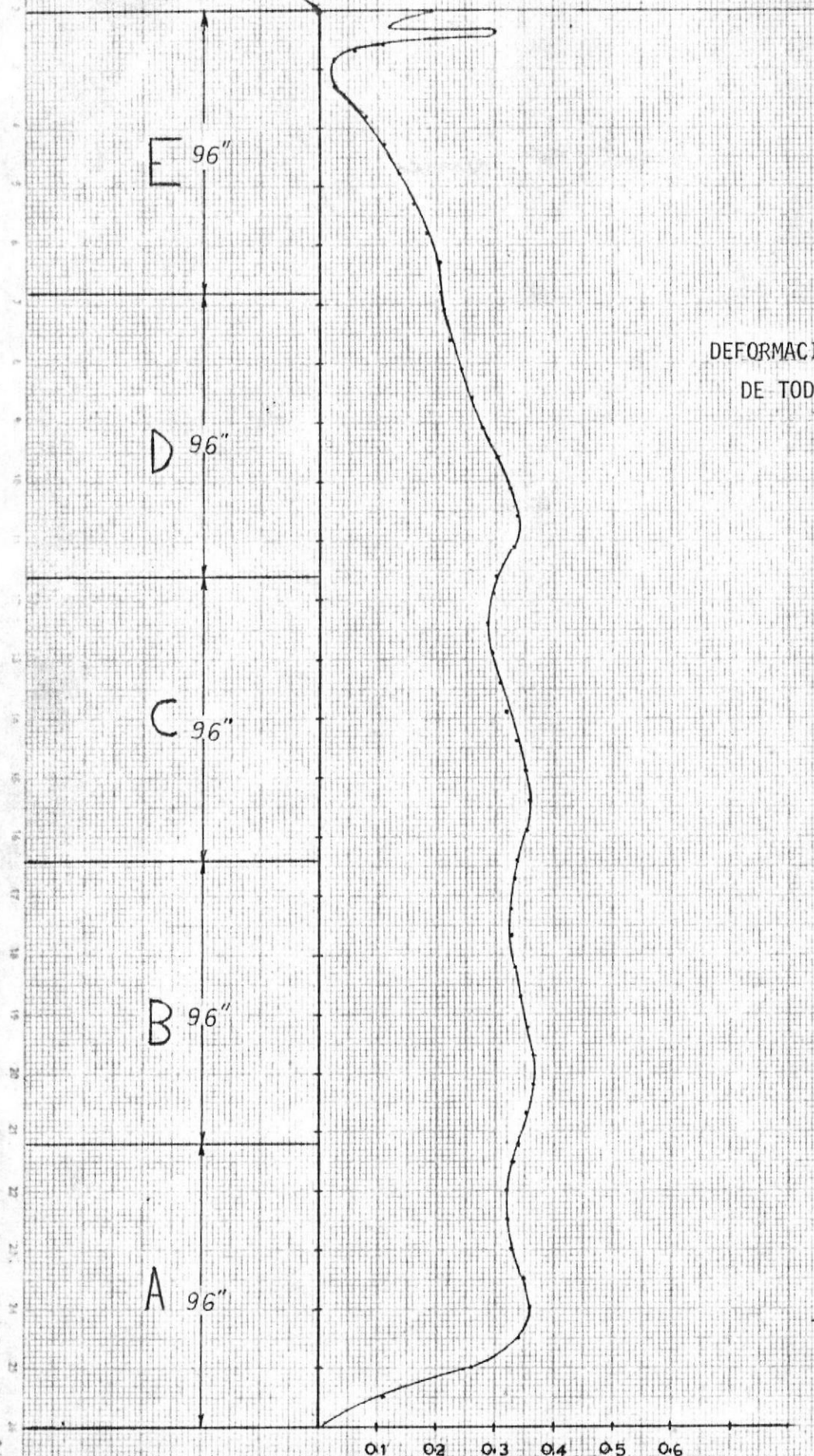
- a) Las condiciones impuestas en el borde de un cascarón (momentos flectores, fuerzas cortantes) son localistas, es decir que a partir de cierta distancia no dejan sentir sensiblemente su efecto, lo cual facilita grandemente el análisis de los esfuerzos.
- b) Una correcta aplicación de teoría de Membrana (que desprecia momentos y fuerzas cortantes), con un buen factor de seguridad (empírico, dado por la práctica) como para compensar la falla de esta teoría al representar los verdaderos esfuerzos en aquellas porciones cercanas al borde del cascarón, es suficiente y confiable para el diseño de un cascarón cualquiera.

En el cálculo de los diversos parámetros del cascarón se han seleccionado los espesores mínimos que cumplan condiciones 2 - 54 y 2 - 148; obviamente estos no son los definitivos, pues no se han tomado en cuenta consideraciones prácticas que por la naturaleza misma de este trabajo de carácter matemático - analítico en lo que respecta a Mecánica de Sólidos, no se pueden alcanzar a abarcar.

CAPITULO VI

APENDICE

- A) GRAFICOS
- B) PLANO
- C) BIBLIOGRAFIA



DEFORMACION W A LO LARGO  
DE TODO EL CUERPO DEL  
TANQUE

Grafico No 2-1

10 Rev. 1-1-66

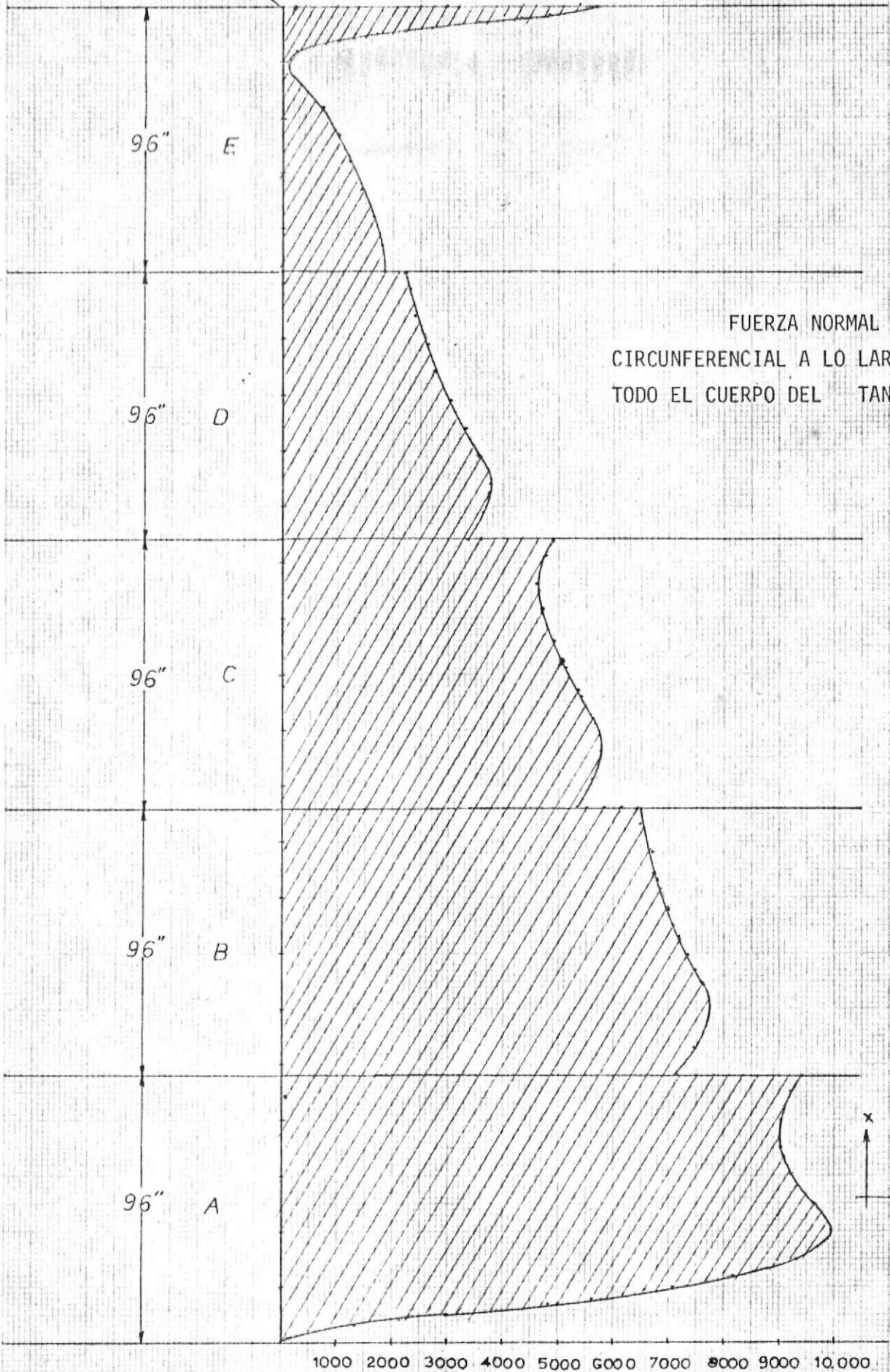


Grafico No 2-2

MOMENTO FLECTOR  
LONGITUDINAL A LO LARGO DE  
TODO EL CUERPO DEL TANQUE.

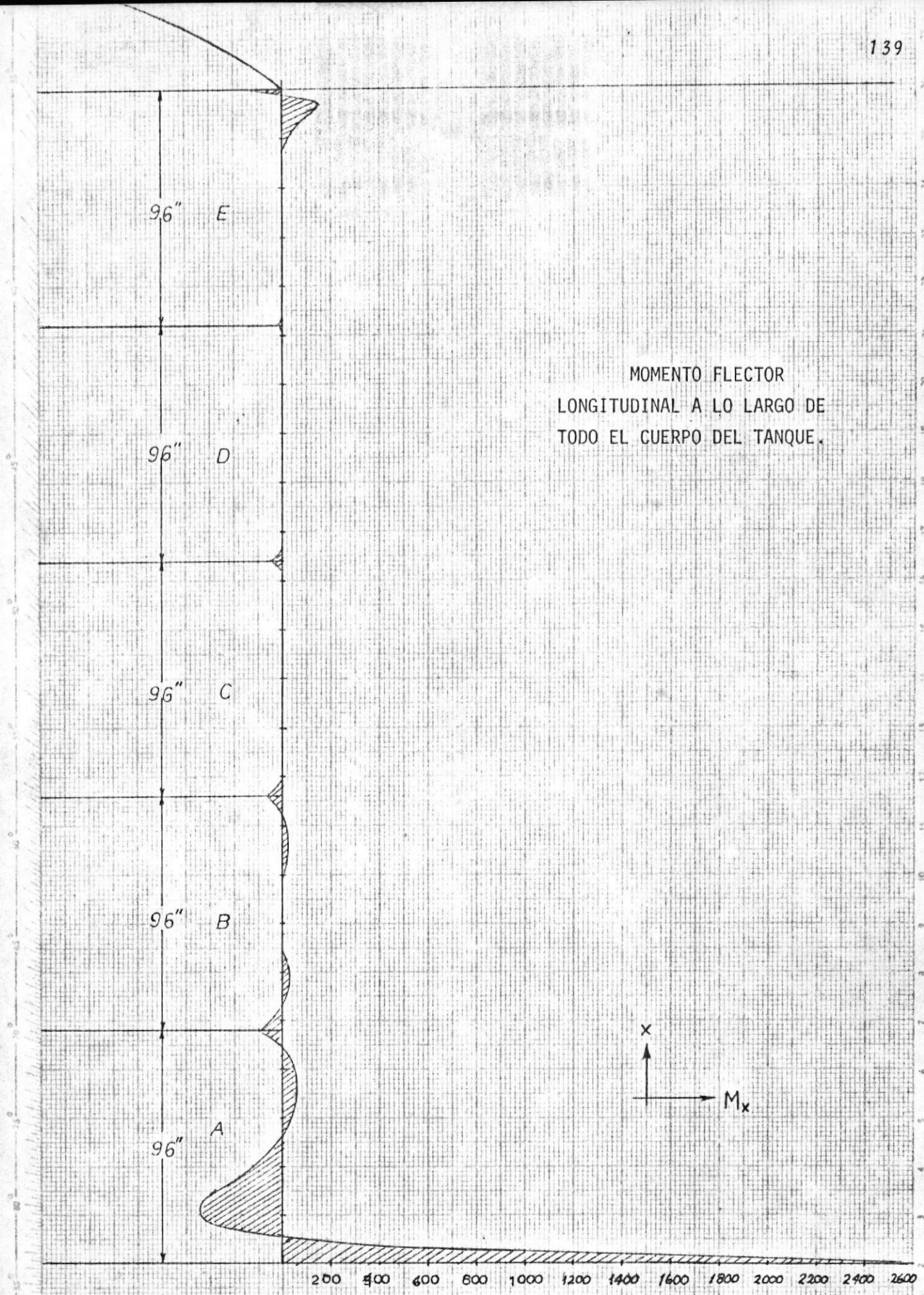
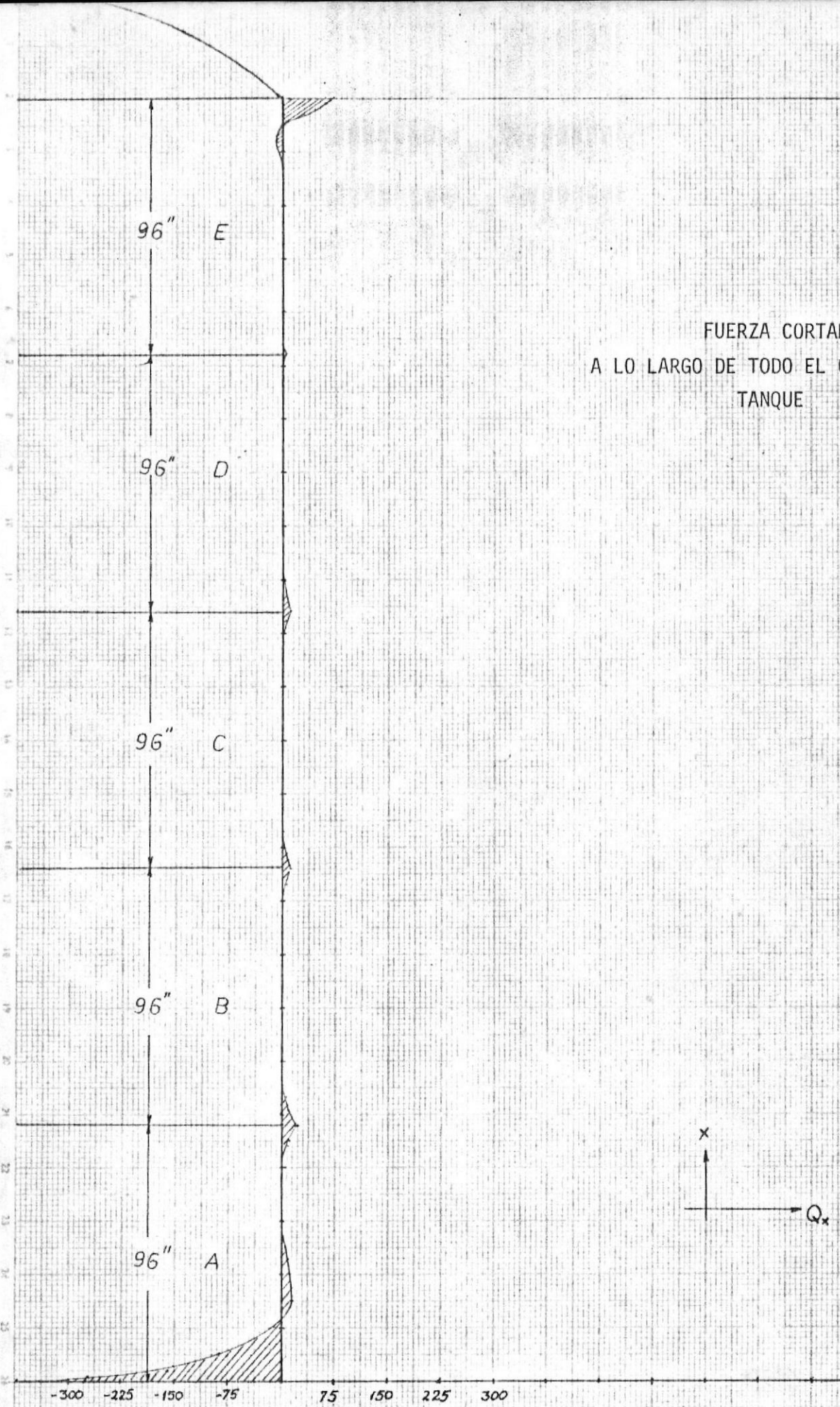


Grafico No 2-3



FUERZA CORTANTE  
A LO LARGO DE TODO EL CUERPO DEL  
TANQUE

Grafico No 2-4

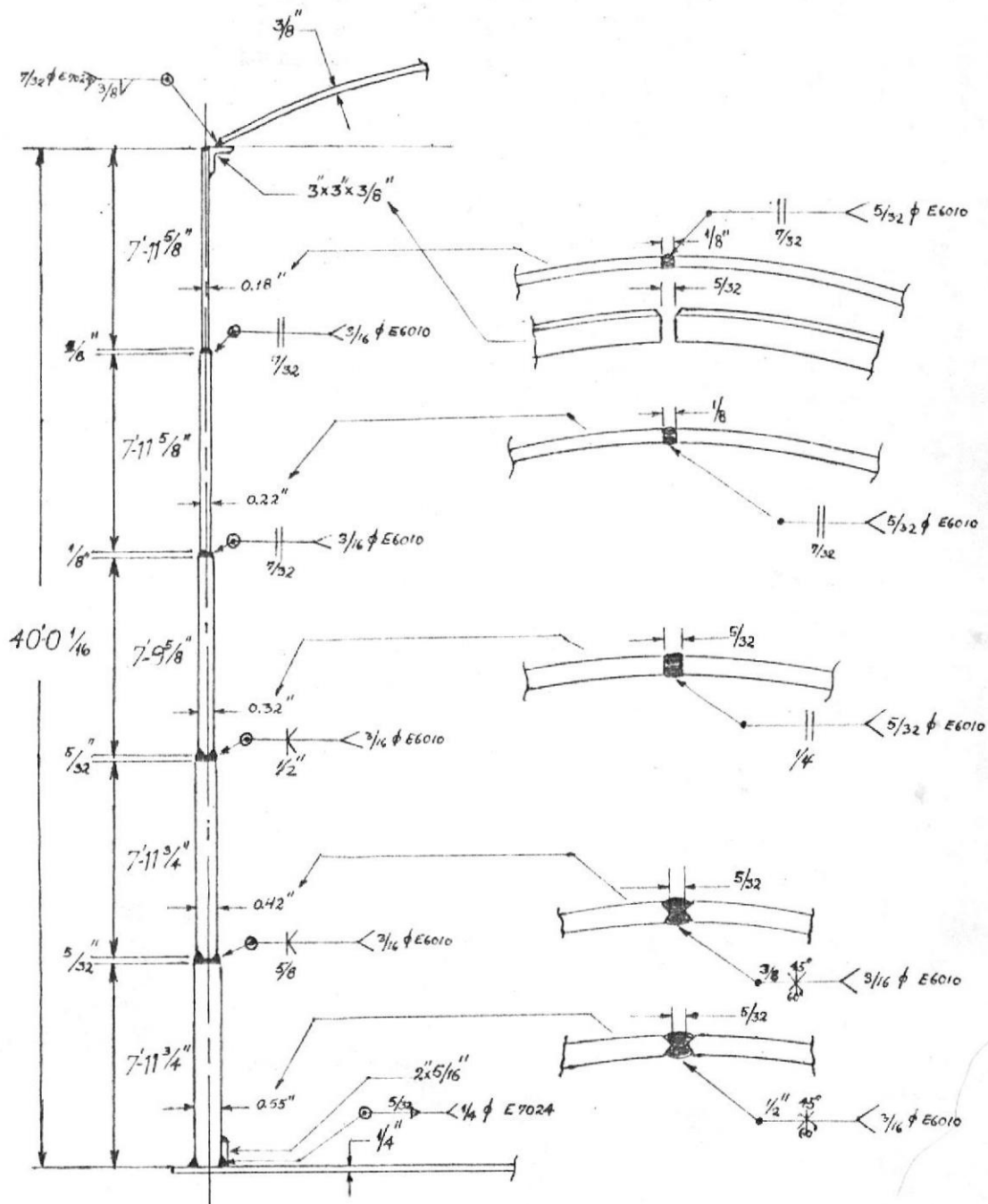


GRAFICO # 2-5

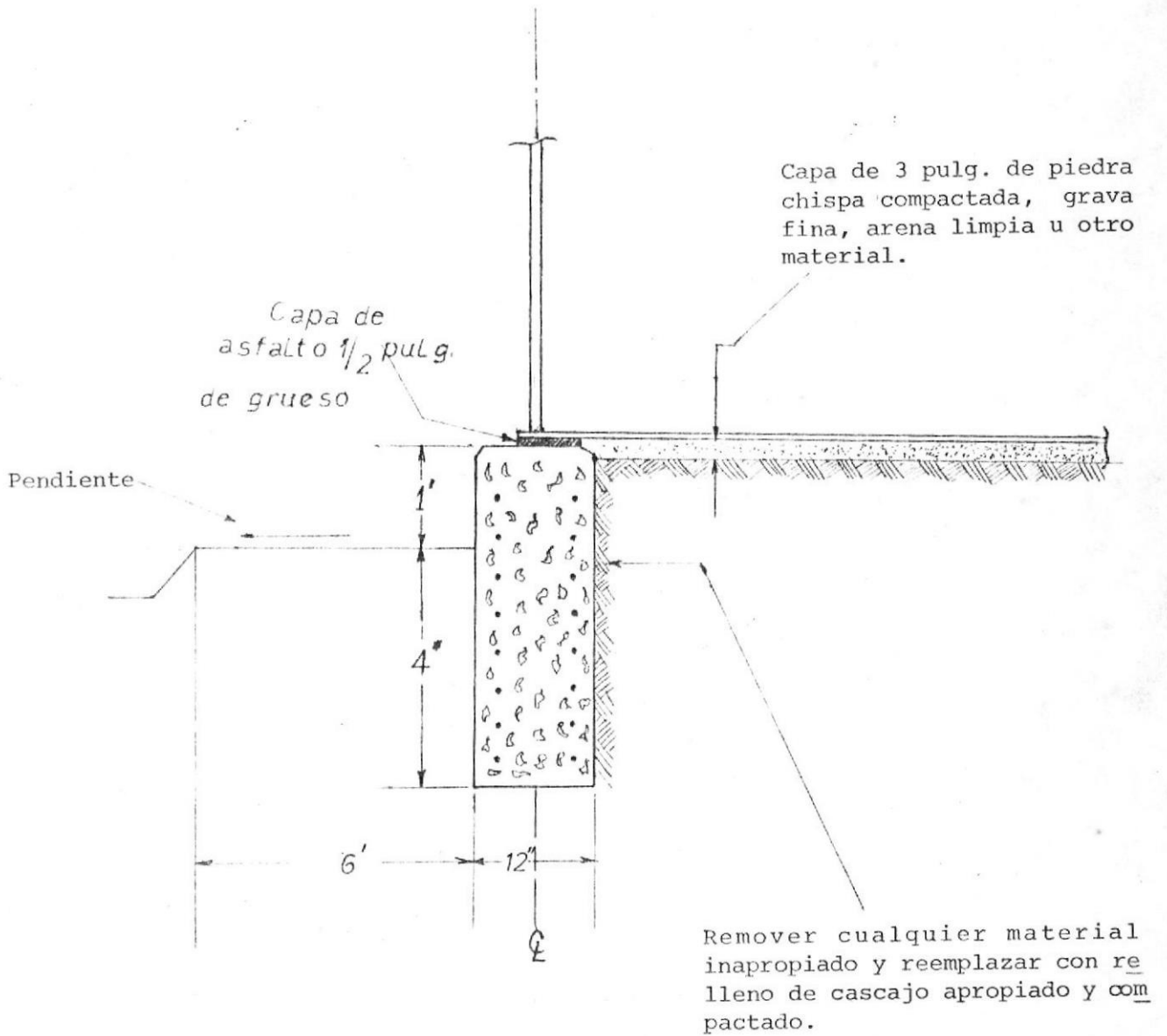
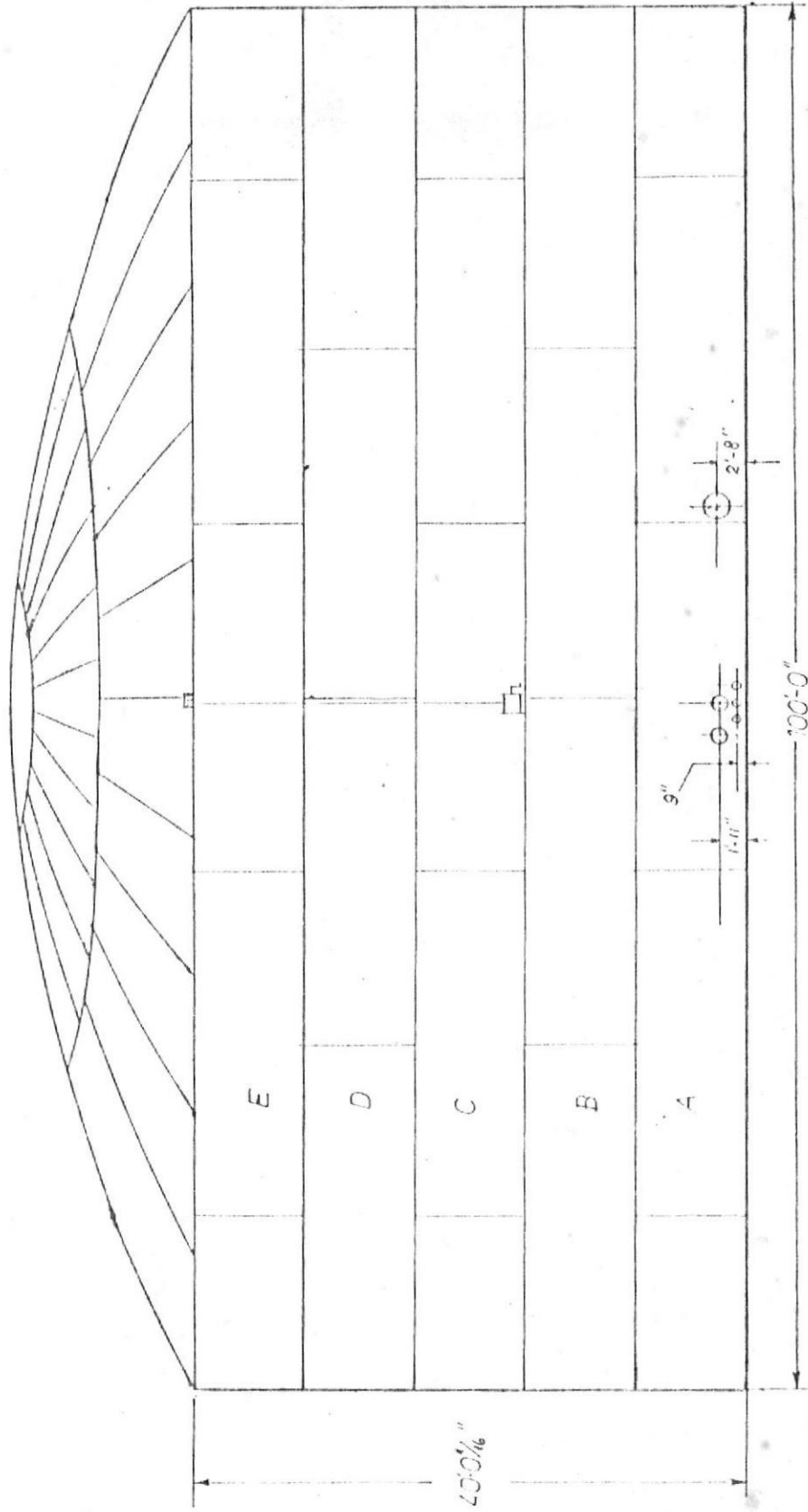


GRAFICO # 2 - 6



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL  
LITORAL  
Tanque de almacenamiento cilindri  
co - vertical - techo esférico.  
Dib. por J. Soria Fecha Mayo 2/75  
Escala: Ninguna Guayaquil-Ecuador

PAGE 1

// JOB T

LOG DRIVE CART SPEC CART AVAIL PHY DRIVE  
0000 0001 0001 0000

V2 M10 ACTUAL 8K CONFIG 8K

// FOR

\* IOCS ( CARD, 1132 PRINTER )

\* ONE WORD INTEGERS

\* EXTENDED PRECISION

\* LIST SOURCE PROGRAM

C SELECCION DEL ESPESOR DEL SEGMENTO A

REAL NU, MAB, MAX2

GAMA=0.036111111111111111

D=480.0

R=600.0

NU=0.3

TA=0.55

TB=0.42

F=0.3E8

BA=1.285407/SQRT(R\*TA)

BB=1.285407/SQRT(R\*TB)

QAB=GAMA\*(D-96.)\*(TA-TB)\*((BB\*\*3)\*TA-(BA\*\*3)\*TB)/((BB\*\*4)\*TA\*\*2-(B

CA\*\*4)\*TB\*\*2-(2.\*BA\*\*3)\*BB\*TB\*TA+(2.\*BB\*\*3)\*BA\*TB\*TA)

MAB=-0.5\*QAB\*((BB\*\*2)\*TA-(BA\*\*2)\*TB)/((BB\*\*3)\*TA-(BA\*\*3)\*TB)

WRITE(3,3)

3 FORMAT('1', ' X WAXC2 QAX2 MAX2', /)

X=0.0

6 WAXC2=-((2.\*R\*\*2\*BA/(E\*TA))\*(BA\*MAB\*(EXP(-BA\*(96.-X))\*(COS(BA\*(96.-

CX))-SIN(BA\*(96.-X))))+QAB\*(EXP(-BA\*(96.-X))\*COS(BA\*(96.-X))))

QAX2=-2.\*BA\*MAB\*(EXP(-BA\*(96.-X))\*SIN(BA\*(96.-X)))+QAB\*(EXP(-BA\*(9

C6.-X))\*(COS(BA\*(96.-X))-SIN(BA\*(96.-X)))

MAX2=(1.0/BA)\*(BA\*MAB\*(EXP(-BA\*(96.-X))\*(COS(BA\*(96.-X))+SIN(BA\*(9

C6.-X))))+QAB\*(EXP(-BA\*(96.-X))\*SIN(BA\*(96.-X)))

X=XPROX(X,3)

WRITE(3,2)X,WAXC2,QAX2,MAX2

2 FORMAT(1X,F4.1,3(F12.4))

X=X+2.0

IF(X-2.0)6,6,5

5 CALL EXIT

END

FEATURES SUPPORTED

ONE WORD INTEGERS

EXTENDED PRECISION

IOCS

CORE REQUIREMENTS FOR

COMMON 0 VARIABLES 88 PROGRAM 648

END OF COMPILATION

// XEQ



X	WAXC2	QAX2	MAX2
0.0	-0.0000	0.0170	-0.0056
2.0	-0.0000	0.0221	-0.0446

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62

0.0  
0.0

0.0  
0.0

12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2

PAGE 1

// JOB T

LOG DRIVE    CART SPEC    CART AVAIL    PHY DRIVE  
0000            0001            0001            0000

V2 M10    ACTUAL    BK    CONFIG    BK

// FOR

\* IOCS ( CARD, 1132 PRINTER )

\*ONE WORD INTEGERS

\*EXTENDED PRECISION

\*LIST SOURCE PROGRAM

C SELECCION DEL ESPESOR DEL SEGMENTO A

REAL MAO,NU,MAX,NX,MAB,MAX1,MAX2,NFIA,MFIA

GAMA=0.036111111111111111

D=480.0

R=600.0

NU=0.3

TA=0.8625

TB=0.42

NX=-89.7

E=0.3E8

WRITE(3,3)

3 FORMAT('1',' X    WAXC1    WAXC2    WAXP    WAX    NFI A    MAO  
C    QAO    MAB    QAB    MAX    QAX    MFI A    SIGMA X    SIGMA T',  
C/)

X=0.0

6 BA=1.285407/SQRT(R\*TA)

BB=1.285407/SQRT(R\*TB)

QAO=-(2.\*BA-1./D)\*(GAMA\*R\*D\*TA/SQRT(12.\*(1.-NU\*\*2)))

MAO=(1.-1./(BA\*D))\*(GAMA\*R\*D\*TA/SQRT(12.0\*(1.-NU\*\*2)))

QAB=GAMA\*(D-96.)\*(TA-TB)\*((BB\*\*3)\*TA-(BA\*\*3)\*TB)/((BB\*\*4)\*TA\*\*2-(B  
CA\*\*4)\*TB\*\*2-(2.\*BA\*\*3)\*BB\*TB\*TA+(2.\*BB\*\*3)\*BA\*TB\*TA)

MAB=-0.5\*QAB\*((BB\*\*2)\*TA-(BA\*\*2)\*TB)/((BB\*\*3)\*TA-(BA\*\*3)\*TB)

WAXC1=-(2.\*R\*\*2\*BA/(E\*TA))\*(BA\*MAO\*(EXP(-BA\*X)\*(COS(BA\*X)-SIN(BA\*X  
C)))+QAO\*(EXP(-BA\*X)\*COS(BA\*X)))

WAXP=-GAMA\*(D-X)\*R\*\*2/(E\*TA)

WAXC2=-(2.\*R\*\*2\*BA/(E\*TA))\*(BA\*MAB\*(EXP(-BA\*(96.-X))\*(COS(BA\*(96.-  
CX))-SIN(BA\*(96.-X))))+QAB\*(EXP(-BA\*(96.-X))\*COS(BA\*(96.-X))))

IF(X-2.0)4,4,10

4 WAXC2=0.0

10 WAX=WAXC1+WAXC2+WAXP

NFIA=-E\*TA\*WAX/R

MAX1=(1./BA)\*(BA\*MAO\*(EXP(-BA\*X)\*(COS(BA\*X)+SIN(BA\*X)))+QAO\*(EXP(-  
CBA\*X)\*SIN(BA\*X)))

MAX2=(1.0/BA)\*(BA\*MAB\*(EXP(-BA\*(96.-X))\*(COS(BA\*(96.-X))+SIN(BA\*(9  
C6.-X))))+QAB\*(EXP(-BA\*(96.-X))\*SIN(BA\*(96.-X))))

IF(X-2.0)7,11,14

7 MAX2=-0.0056

11 MAX2=-0.0446

14 MAX=MAX1+MAX2

MFIA=NU\*MAX

QAX1=-2.\*BA\*MAO\*(EXP(-BA\*X)\*SIN(BA\*X))+QAO\*(EXP(-BA\*X)\*(COS(BA\*X)-  
CSIN(BA\*X)))

QAX2=-2.\*BA\*MAB\*(EXP(-BA\*(96.-X))\*SIN(BA\*(96.-X))+QAB\*(EXP(-BA\*(9  
C6.-X))\*(COS(BA\*(96.-X))-SIN(BA\*(96.-X))))

IF(X-2.0)12,13,15

12 QAX2=0.017

PAGE 2

```
13 QAX2=0.0221
15 QAX=QAX1+QAX2
   SIGMA=6.*MAX/TA**2+NX/TA
   SIGMT=6.*MFIA/TA**2+NFIA/TA
   X=XPROX(X,3)
   WRITE(3,2)X,WAXC1,WAXC2,WAXP,WAX,NFIA,MAO,QAO,MAB,QAB,MAX,QAX,MFIA
   C,SIGMA,SIGMT
2  FORMAT(1X,F4.1,4(F8.4),8(F8.2),2(F9.2))
   X=X+2.0
   IF(X-2.0)6,6,8
8  TA=0.55
   IF(X-96.0)6,6,5
5  CALL EXIT
   END
```

FEATURES SUPPORTED  
ONE WORD INTEGERS  
EXTENDED PRECISION  
IOCS

CORE REQUIREMENTS FOR  
COMMON 0 VARIABLES 130 PROGRAM 1254

END OF COMPILATION

// XEQ

12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5

	X	WAXC1	WAXC2	WAXP	WAX	NFI A	MAO	QAO	MAB	QAB	MAX	QAX	MFI A	SIGMA X	SIGMA T
5	0.0	0.2411	0.0000	-0.2411	-0.0000	0.00	2614.36	-301.10	-320.22	56.73	2614.31	-301.08	784.29	20981.87	6325.76
6	2.0	0.2374	0.0000	-0.2401	-0.0027	118.38	2614.36	-301.10	-320.22	56.73	2046.66	-266.62	613.99	16403.42	5089.48
7	4.0	0.3508	-0.0000	-0.3750	-0.0242	666.56	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	851.15	-173.83	255.34	16719.24	6276.63
8	6.0	0.3242	-0.0000	-0.3734	-0.0492	1354.16	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	534.75	-142.84	160.42	10443.65	5644.13
9	8.0	0.2929	-0.0000	-0.3718	-0.0789	2171.64	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	277.72	-114.51	83.31	5345.58	5601.05
10	10.0	0.2592	-0.0000	-0.3703	-0.1111	3057.04	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	74.36	-89.18	22.30	1311.90	6000.76
11	12.0	0.2247	-0.0000	-0.3687	-0.1440	3961.29	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-81.50	-66.99	-24.45	-1779.66	6717.39
12	14.0	0.1909	-0.0000	-0.3671	-0.1762	4846.76	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-196.16	-47.94	-58.84	-4053.99	7645.02
13	16.0	0.1588	-0.0000	-0.3655	-0.2067	5685.71	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-275.80	-31.92	-82.74	-5633.61	8696.50
14	18.0	0.1291	-0.0000	-0.3639	-0.2348	6458.87	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-326.29	-18.73	-97.88	-6634.95	9801.85
15	20.0	0.1023	-0.0000	-0.3624	-0.2601	7153.99	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-353.05	-8.14	-105.91	-7165.87	10906.41
16	22.0	0.0785	0.0000	-0.3608	-0.2823	7764.51	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-361.02	0.12	-108.30	-7323.93	11969.04
17	24.0	0.0578	0.0000	-0.3592	-0.3013	8288.43	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-354.55	6.34	-106.36	-7195.57	12960.14
18	26.0	0.0402	0.0000	-0.3576	-0.3173	8727.24	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-337.42	10.81	-101.22	-6855.81	13859.90
19	28.0	0.0256	0.0001	-0.3561	-0.3303	9085.00	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-312.85	13.79	-93.85	-6368.46	14656.57
20	30.0	0.0136	0.0002	-0.3545	-0.3406	9367.56	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-283.51	15.55	-85.05	-5786.61	15344.87
21	32.0	0.0042	0.0003	-0.3529	-0.3484	9581.94	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-251.59	16.33	-75.47	-5153.45	15924.60
22	34.0	-0.0030	0.0004	-0.3513	-0.3540	9735.78	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-218.81	16.33	-65.64	-4503.13	16399.41
23	36.0	-0.0084	0.0005	-0.3498	-0.3577	9836.96	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-186.47	15.75	-55.94	-3861.80	16775.77
24	38.0	-0.0122	0.0006	-0.3482	-0.3597	9893.23	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-155.56	14.73	-46.66	-3248.67	17062.02
25	40.0	-0.0146	0.0008	-0.3466	-0.3604	9912.02	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-126.74	13.42	-38.02	-2676.99	17267.68
26	42.0	-0.0159	0.0009	-0.3450	-0.3600	9900.25	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-100.42	11.93	-30.12	-2155.04	17402.88
27	44.0	-0.0163	0.0011	-0.3435	-0.3587	9864.27	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-76.83	10.35	-23.05	-1687.08	17477.84
28	46.0	-0.0160	0.0013	-0.3419	-0.3567	9809.73	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-56.01	8.74	-16.80	-1274.14	17502.57
29	48.0	-0.0153	0.0014	-0.3403	-0.3542	9741.66	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-37.89	7.17	-11.36	-914.78	17486.61
30	50.0	-0.0142	0.0016	-0.3387	-0.3514	9664.42	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-22.31	5.67	-6.69	-605.79	17438.87
31	52.0	-0.0129	0.0017	-0.3372	-0.3484	9581.76	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-9.05	4.27	-2.71	-342.73	17367.50
32	54.0	-0.0114	0.0017	-0.3356	-0.3453	9496.89	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	2.15	2.99	0.64	-120.43	17279.86
33	56.0	-0.0100	0.0017	-0.3340	-0.3422	9412.49	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	11.57	1.84	3.47	66.56	17182.51
34	58.0	-0.0085	0.0017	-0.3324	-0.3393	9330.85	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	19.49	0.82	5.84	223.67	17081.21
35	60.0	-0.0071	0.0015	-0.3309	-0.3365	9253.87	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	26.16	-0.03	7.85	355.94	16980.94
36	62.0	-0.0058	0.0012	-0.3293	-0.3339	9183.18	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	31.80	-0.76	9.54	467.79	16885.95
37	64.0	-0.0046	0.0007	-0.3277	-0.3316	9120.12	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	36.59	-1.33	10.97	562.82	16799.81
38	66.0	-0.0035	0.0001	-0.3261	-0.3296	9065.85	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	40.67	-1.74	12.20	643.64	16725.39
39	68.0	-0.0026	-0.0007	-0.3246	-0.3280	9021.36	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	44.10	-2.00	13.23	711.67	16664.91
40	70.0	-0.0018	-0.0019	-0.3230	-0.3268	8987.47	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	46.89	-2.09	14.06	767.06	16619.91
41	72.0	-0.0012	-0.0033	-0.3214	-0.3259	8964.86	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	48.98	-1.99	14.69	808.56	16591.24
42	74.0	-0.0006	-0.0050	-0.3198	-0.3256	8954.01	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	50.24	-1.70	15.07	833.42	16578.98
43	76.0	-0.0002	-0.0070	-0.3183	-0.3256	8955.24	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	50.43	-1.19	15.13	837.34	16582.38
44	78.0	0.0000	-0.0094	-0.3167	-0.3261	8968.57	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	49.28	-0.44	14.78	814.43	16599.76
45	80.0	0.0003	-0.0122	-0.3151	-0.3270	8993.74	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	46.39	0.56	13.91	757.19	16628.34
46	82.0	0.0004	-0.0152	-0.3135	-0.3283	9030.02	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	41.32	1.86	12.39	656.58	16664.13
47	84.0	0.0006	-0.0186	-0.3119	-0.3300	9076.20	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	33.53	3.47	10.06	502.08	16701.74
48	86.0	0.0006	-0.0222	-0.3104	-0.3320	9130.38	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	22.43	5.40	6.73	281.89	16734.19
49	88.0	0.0007	-0.0260	-0.3088	-0.3341	9189.88	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	7.37	7.68	2.21	-16.87	16752.75
50	90.0	0.0006	-0.0298	-0.3072	-0.3364	9251.06	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-12.33	10.30	-3.70	-407.76	16746.72
51	92.0	0.0006	-0.0334	-0.3056	-0.3385	9309.17	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-37.38	13.27	-11.21	-904.55	16703.33
52	94.0	0.0006	-0.0368	-0.3041	-0.3402	9358.16	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-68.44	16.55	-20.53	-1520.57	16607.59
53	96.0	0.0005	-0.0395	-0.3025	-0.3414	9390.54	1679.98	-241.35	-106.81	20.35	-106.12	20.11	-31.83	-2267.97	16442.26



目次

目次

12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3

PAGE 1

// JOB T

LOG DRIVE CART SPEC CART AVAIL PHY DRIVE  
0000 0001 0001 0000

V2 M10 ACTUAL 8K CONFIG 8K

// FOR

\*IOCS (CARD,1132 PRINTER)

\* ONE WORD INTEGERS

\* EXTENDED PRECISION

\*LIST SOURCE PROGRAM

C SELECCION DEL ESPESOR DEL SEGMENTO B

REAL NU,MFIB,MFIB,MAB,MBC,NX,MBX1,MBX2,MBX

GAMA=0.03611111111111111

D=480.0

R=600.0

NU=0.3

TA=0.55

TB=0.42

TC=0.32

NX=-89.7

E=0.3E8

BA=1.285407/SQRT(R\*TA)

BB=1.285407/SQRT(R\*TB)

BC=1.285407/SQRT(R\*TC)

QAB=GAMA\*(D-96.)\*(TA-TB)\*((BB\*\*3)\*TA-(BA\*\*3)\*TB)/((BB\*\*4)\*TA\*\*2-(B

CA\*\*4)\*TB\*\*2-(2.\*BA\*\*3)\*BB\*TB\*TA+(2.\*BB\*\*3)\*BA\*TB\*TA)

MAB=-0.5\*QAB\*((BB\*\*2)\*TA-(BA\*\*2)\*TB)/((BB\*\*3)\*TA-(BA\*\*3)\*TB)

QBC=GAMA\*(D-192.)\*(TB-TC)\*((BC\*\*3)\*TB-(BB\*\*3)\*TC)/((BC\*\*4)\*TB\*\*2-(

CBB\*\*4)\*TC\*\*2-(2.\*BB\*\*3)\*BC\*TC\*TB+(2.\*BC\*\*3)\*BB\*TC\*TB)

MBC=-0.5\*QBC\*((BC\*\*2)\*TB-(BB\*\*2)\*TC)/((BC\*\*3)\*TB-(BB\*\*3)\*TC)

X=0.0

WRITE(3,3)

3 FORMAT('1', ' X WBXC1 WBXC2 WBXP WBX NFI B MAB  
C QAB MBC QBC MBX QBX MFI B SIGMA X SIGMA T',  
C/)

4 WBXC1=- (2.\*R\*\*2\*BB/(E\*TB))\* (BB\*(-MAB)\*(EXP(-BB\*X)\*(COS(BB\*X)-SIN(B

CB\*X))) - QAB\*(EXP(-BB\*X)\*COS(BB\*X)))

WBXC2=- (2.\*R\*\*2\*BB/(E\*TB))\* (BB\*MBC\*(EXP(-BB\*(96.-X))\*(COS(BB\*(96.-

CX))-SIN(BB\*(96.-X)))) + QBC\*(EXP(-BB\*(96.-X))\*COS(BB\*(96.-X)))

WBXP=-GAMA\*(D-(96.+X))\*R\*\*2/(E\*TB)

WBX=WBXC1+WBXC2+WBXP

NFIB=-E\*TB\*WBX/R

MBX1=(1./BB)\*(BB\*MAB\*(EXP(-BB\*X)\*(COS(BB\*X)+SIN(BB\*X)))+QAB\*(EXP(-

CBB\*X)\*SIN(BB\*X)))

MBX2=(1.0/BB)\*(BB\*MBC\*(EXP(-BB\*(96.-X))\*(COS(BB\*(96.-X))+SIN(BB\*(9

C6.-X)))) + QBC\*(EXP(-BB\*(96.-X))\*SIN(BB\*(96.-X)))

MBX=MBX1+MBX2

MFIB=NU\*MBX

QBX1=-2.\*BB\*MAB\*(EXP(-BB\*X)\*SIN(BB\*X))+QAB\*(EXP(-BB\*X)\*(COS(BB\*X)-

CSIN(BB\*X)))

QBX2=-2.\*BB\*MBC\*(EXP(-BB\*(96.-X))\*SIN(BB\*(96.-X))+QBC\*(EXP(-BB\*(9

C6.-X))\*(COS(BB\*(96.-X))-SIN(BB\*(96.-X))))

QBX=QBX1+QBX2

SIGMA=6.\*MBX/TB\*\*2+NX/TB

SIGMT=6.\*MFIB/TB\*\*2+NFIB/TB

X=XPROX(X,3)

1  
2  
3  
4 PAGE 2

5 WRITE(3,2)X,WBXC1,WBXC2,WBXP,WBX,NFIB,MAR,QAB,MBC,QBC,MBX,QBX,MFIB  
6 C,SIGMA,SIGMT  
7 2 FORMAT(1X,F4.1,4(F8.4),8(F8.2),2(F9.2))  
8 X=X+2.0  
9 IF(X-96.0)4,4,5  
10 5 CALL EXIT  
11 END

12  
13 FEATURES SUPPORTED  
14 ONE WORD INTEGERS  
15 EXTENDED PRECISION  
16 IOCS

17  
18 CORE REQUIREMENTS FOR  
19 COMMON 0 VARIABLES 136 PROGRAM 1268

20  
21 END OF COMPILATION

22  
23 // XEQ  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62

12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2

	X	WBXC1	WBXC2	WBXP	WBX	NFI B	MAB	QAB	MBC	QBC	MBX	QBX	MFI B	SIGMA X	SIGMA T
5	0.0	0.0541	-0.0000	-0.3961	-0.3420	7183.19	-106.81	20.35	-61.60	13.44	-106.77	20.35	-32.03	-3845.43	16013.27
6	2.0	0.0509	-0.0000	-0.3941	-0.3432	7207.36	-106.81	20.35	-61.60	13.44	-69.79	16.66	-20.93	-2587.67	16448.15
7	4.0	0.0463	-0.0000	-0.3920	-0.3457	7260.61	-106.81	20.35	-61.60	13.44	-39.93	13.25	-11.98	-1571.99	16879.65
8	6.0	0.0409	-0.0000	-0.3900	-0.3490	7330.61	-106.81	20.35	-61.60	13.44	-16.55	10.19	-4.96	-776.76	17284.88
9	8.0	0.0352	-0.0000	-0.3879	-0.3527	7407.66	-106.81	20.35	-61.60	13.44	1.08	7.53	0.32	-176.54	17648.41
10	10.0	0.0295	-0.0000	-0.3858	-0.3564	7484.47	-106.81	20.35	-61.60	13.44	13.79	5.27	4.13	255.76	17960.96
11	12.0	0.0240	-0.0000	-0.3838	-0.3597	7555.73	-106.81	20.35	-61.60	13.44	22.36	3.40	6.71	547.23	18218.08
12	14.0	0.0190	-0.0000	-0.3817	-0.3627	7617.87	-106.81	20.35	-61.60	13.44	27.55	1.89	8.26	723.69	18418.98
13	16.0	0.0145	-0.0000	-0.3796	-0.3651	7668.72	-106.81	20.35	-61.60	13.44	30.06	0.72	9.01	808.96	18565.61
14	18.0	0.0106	-0.0000	-0.3776	-0.3670	7707.17	-106.81	20.35	-61.60	13.44	30.51	-0.14	9.15	824.29	18661.77
15	20.0	0.0073	-0.0000	-0.3755	-0.3682	7733.00	-106.81	20.35	-61.60	13.44	29.45	-0.77	8.83	788.17	18712.43
16	22.0	0.0046	-0.0000	-0.3734	-0.3688	7746.57	-106.81	20.35	-61.60	13.44	27.33	-1.18	8.20	716.26	18723.18
17	24.0	0.0025	-0.0000	-0.3714	-0.3689	7748.70	-106.81	20.35	-61.60	13.44	24.54	-1.42	7.36	621.45	18699.81
18	26.0	0.0008	-0.0000	-0.3693	-0.3685	7740.47	-106.81	20.35	-61.60	13.44	21.39	-1.53	6.41	514.12	18648.01
19	28.0	-0.0004	-0.0000	-0.3673	-0.3677	7723.10	-106.81	20.35	-61.60	13.44	18.10	-1.54	5.43	402.35	18573.12
20	30.0	-0.0013	-0.0000	-0.3652	-0.3665	7697.86	-106.81	20.35	-61.60	13.44	14.86	-1.48	4.46	292.19	18479.97
21	32.0	-0.0018	0.0000	-0.3631	-0.3650	7666.00	-106.81	20.35	-61.60	13.44	11.80	-1.36	3.54	188.03	18372.87
22	34.0	-0.0022	0.0000	-0.3611	-0.3632	7628.70	-106.81	20.35	-61.60	13.44	9.00	-1.22	2.70	92.86	18255.50
23	36.0	-0.0023	0.0001	-0.3590	-0.3612	7587.02	-106.81	20.35	-61.60	13.44	6.53	-1.07	1.95	8.54	18130.98
24	38.0	-0.0023	0.0002	-0.3569	-0.3591	7541.92	-106.81	20.35	-61.60	13.44	4.40	-0.91	1.32	-63.89	18001.87
25	40.0	-0.0022	0.0003	-0.3549	-0.3568	7494.22	-106.81	20.35	-61.60	13.44	2.63	-0.77	0.78	-124.04	17870.24
26	42.0	-0.0020	0.0004	-0.3528	-0.3545	7444.61	-106.81	20.35	-61.60	13.44	1.22	-0.64	0.36	-171.91	17737.75
27	44.0	-0.0018	0.0005	-0.3507	-0.3520	7393.67	-106.81	20.35	-61.60	13.44	0.17	-0.54	0.05	-207.76	17605.72
28	46.0	-0.0016	0.0007	-0.3487	-0.3496	7341.89	-106.81	20.35	-61.60	13.44	-0.54	-0.46	-0.16	-231.97	17475.19
29	48.0	-0.0013	0.0009	-0.3466	-0.3471	7289.70	-106.81	20.35	-61.60	13.44	-0.92	-0.41	-0.27	-244.94	17347.03
30	50.0	-0.0011	0.0010	-0.3446	-0.3446	7237.46	-106.81	20.35	-61.60	13.44	-0.98	-0.40	-0.29	-247.03	17222.01
31	52.0	-0.0009	0.0012	-0.3425	-0.3421	7185.50	-106.81	20.35	-61.60	13.44	-0.73	-0.41	-0.22	-238.52	17100.86
32	54.0	-0.0007	0.0014	-0.3404	-0.3397	7134.16	-106.81	20.35	-61.60	13.44	-0.17	-0.45	-0.05	-219.58	16984.31
33	56.0	-0.0005	0.0016	-0.3384	-0.3373	7083.81	-106.81	20.35	-61.60	13.44	0.68	-0.51	0.20	-190.35	16873.18
34	58.0	-0.0003	0.0017	-0.3363	-0.3349	7034.83	-106.81	20.35	-61.60	13.44	1.84	-0.60	0.55	-150.94	16768.38
35	60.0	-0.0002	0.0017	-0.3342	-0.3327	6987.69	-106.81	20.35	-61.60	13.44	3.29	-0.70	0.98	-101.52	16670.98
36	62.0	-0.0001	0.0017	-0.3322	-0.3306	6942.94	-106.81	20.35	-61.60	13.44	5.03	-0.81	1.50	-42.46	16582.14
37	64.0	-0.0000	0.0015	-0.3301	-0.3286	6901.19	-106.81	20.35	-61.60	13.44	7.03	-0.92	2.10	25.56	16503.16
38	66.0	-0.0000	0.0012	-0.3280	-0.3268	6863.18	-106.81	20.35	-61.60	13.44	9.26	-1.02	2.77	101.42	16435.41
39	68.0	0.0000	0.0007	-0.3260	-0.3252	6829.70	-106.81	20.35	-61.60	13.44	11.66	-1.10	3.50	183.31	16380.27
40	70.0	0.0000	0.0000	-0.3239	-0.3238	6801.64	-106.81	20.35	-61.60	13.44	14.17	-1.13	4.25	268.54	16339.03
41	72.0	0.0000	-0.0010	-0.3219	-0.3228	6779.92	-106.81	20.35	-61.60	13.44	16.66	-1.10	5.00	353.35	16312.74
42	74.0	0.0001	-0.0024	-0.3198	-0.3221	6765.45	-106.81	20.35	-61.60	13.44	18.99	-0.99	5.69	432.64	16302.09
43	76.0	0.0001	-0.0041	-0.3177	-0.3218	6759.11	-106.81	20.35	-61.60	13.44	20.97	-0.77	6.29	499.76	16307.13
44	78.0	0.0001	-0.0063	-0.3157	-0.3219	6761.63	-106.81	20.35	-61.60	13.44	22.33	-0.41	6.70	546.28	16327.07
45	80.0	0.0000	-0.0089	-0.3136	-0.3225	6773.48	-106.81	20.35	-61.60	13.44	22.79	0.11	6.83	561.82	16359.97
46	82.0	0.0000	-0.0120	-0.3115	-0.3235	6794.80	-106.81	20.35	-61.60	13.44	21.97	0.84	6.59	533.93	16402.36
47	84.0	0.0000	-0.0155	-0.3095	-0.3250	6825.19	-106.81	20.35	-61.60	13.44	19.45	1.80	5.83	448.05	16448.94
48	86.0	0.0000	-0.0194	-0.3074	-0.3268	6863.54	-106.81	20.35	-61.60	13.44	14.73	3.02	4.42	287.56	16492.12
49	88.0	0.0000	-0.0236	-0.3053	-0.3289	6907.88	-106.81	20.35	-61.60	13.44	7.28	4.52	2.18	34.09	16521.64
50	90.0	0.0000	-0.0279	-0.3033	-0.3311	6955.09	-106.81	20.35	-61.60	13.44	-3.48	6.32	-1.04	-332.07	16524.19
51	92.0	0.0000	-0.0321	-0.3012	-0.3333	7000.68	-106.81	20.35	-61.60	13.44	-18.16	8.42	-5.44	-831.30	16482.98
52	94.0	0.0000	-0.0359	-0.2992	-0.3351	7038.59	-106.81	20.35	-61.60	13.44	-37.33	10.80	-11.20	-1483.55	16377.55
53	96.0	0.0000	-0.0391	-0.2971	-0.3362	7060.86	-106.81	20.35	-61.60	13.44	-61.54	13.43	-18.46	-2307.01	16183.55



12  
11

12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2

PAGE 1

// JOB T

LOG DRIVE    CART SPEC    CART AVAIL    PHY DRIVE  
0000            0001            0001            0000

V2 M10    ACTUAL 8K    CONFIG 8K

// FOR

\*IOCS(CARD,1132 PRINTER)

\*ONE WORD INTEGERS

\* EXTENDED PRECISION

\*LIST SOURCE PROGRAM

C SELECCION DEL ESPESOR DEL SEGMENTO C

REAL NU,MFIC,MFIC,MBC,MCD,NX,MCX1,MCX2,MCX

GAMA=0.03611111111111111

D=480.0

R=600.0

NU=0.3

TB=0.42

TC=0.32

TD=0.22

NX=-89.7

E=0.3E8

BR=1.285407/SQRT(R\*TB)

BC=1.285407/SQRT(R\*TC)

BD=1.285407/SQRT(R\*TD)

QBC=GAMA\*(D-192.)\*(TB-TC)\*((BC\*\*3)\*TB-(BB\*\*3)\*TC)/((BC\*\*4)\*TB\*\*2-(  
CBB\*\*4)\*TC\*\*2-(2.\*BB\*\*3)\*BC\*TC\*TB+(2.\*BC\*\*3)\*BB\*TC\*TB)

MBC=-0.5\*QBC\*((BC\*\*2)\*TB-(BB\*\*2)\*TC)/((BC\*\*3)\*TB-(BB\*\*3)\*TC)

QCD=GAMA\*(D-288.)\*(TC-TD)\*((BD\*\*3)\*TC-(BC\*\*3)\*TD)/((BD\*\*4)\*TC\*\*2-(  
CBC\*\*4)\*TD\*\*2-(2.\*BC\*\*3)\*BD\*TD\*TC+(2.\*BD\*\*3)\*BC\*TD\*TC)

MCD=-0.5\*QCD\*((BD\*\*2)\*TC-(BC\*\*2)\*TD)/((BD\*\*3)\*TC-(BC\*\*3)\*TD)

X=0.0

WRITE(3,3)

3 FORMAT('1', ' X    WCXC1    WCXC2    WCXP    WCX    MFI C    MBC  
C    QBC    MCD    QCD    MCX    QCX    MFI C    SIGMA X    SIGMA T',  
C/)

4 WCXC1=- (2.\*R\*\*2\*BC/(E\*TC))\* (BC\*(-MBC)\*(EXP(-BC\*X)\*(COS(BC\*X))-SIN(B  
CC\*X))) - QBC\*(EXP(-BC\*X)\*COS(BC\*X))

WCXC2=- (2.\*R\*\*2\*BC/(E\*TC))\* (BC\*MCD\*(EXP(-BC\*(96.-X))\*(COS(BC\*(96.-  
CX))-SIN(BC\*(96.-X)))) + QCD\*(EXP(-BC\*(96.-X))\*COS(BC\*(96.-X)))

WCXP=-GAMA\*(D-(192.+X))\*R\*\*2/(E\*TC)

WCX=WCXC1+WCXC2+WCXP

MFIC=-E\*TC\*WCX/R

MCX1=(1./BC)\*(BC\*MBC\*(EXP(-BC\*X)\*(COS(BC\*X)+SIN(BC\*X))) + QBC\*(EXP(-  
CBC\*X)\*SIN(BC\*X)))

MCX2=(1.0/BC)\*(BC\*MCD\*(EXP(-BC\*(96.-X))\*(COS(BC\*(96.-X))+SIN(BC\*(9  
C6.-X)))) + QCD\*(EXP(-BC\*(96.-X))\*SIN(BC\*(96.-X))))

MCX=MCX1+MCX2

MFI C=NU\*MCX

QCX1=-2.\*BC\*MBC\*(EXP(-BC\*X)\*SIN(BC\*X)) + QBC\*(EXP(-BC\*X)\*(COS(BC\*X)-  
CSIN(BC\*X)))

QCX2=-2.\*BC\*MCD\*(EXP(-BC\*(96.-X))\*SIN(BC\*(96.-X))) + QCD\*(EXP(-BC\*(9  
C6.-X))\*(COS(BC\*(96.-X))-SIN(BC\*(96.-X))))

QCX=QCX1+QCX2

SIGMA=6.\*MCX/TC\*\*2+NX/TC

SIGMT=6.\*MFIC/TC\*\*2+NFI C/TC

X=XPROX(X,3)

PAGE 2

```
WRITE(3,2)X,WCXC1,WCXC2,WCXP,WCX,NFIC,MBC,QBC,MCD,QCD,MCX,QCX,MFIC  
C,SIGMA,SIGMT  
2 FORMAT(1X,F4.1,4(F8.4),8(F8.2),2(F9.2))  
X=X+2.0  
IF(X-96.0)4,4,5  
5 CALL EXIT  
END
```

FEATURES SUPPORTED  
ONE WORD INTEGERS  
EXTENDED PRECISION  
IOCS

CORE REQUIREMENTS FOR  
COMMON 0 VARIABLES 136 PROGRAM 1272

END OF COMPILATION

// XEQ

	X	WCXC1	WCXC2	WCXP	WCX	NFI C	MBC	QBC	MCD	QCD	MCX	QCX	MFI C	SIGMA X	SIGMA T
5	0.0	0.0537	0.0000	-0.3899	-0.3362	5379.94	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-61.59	13.43	-18.47	-3889.36	15729.61
6	2.0	0.0499	0.0000	-0.3872	-0.3373	5397.03	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-37.52	10.66	-11.25	-2478.77	16206.18
7	4.0	0.0445	0.0000	-0.3845	-0.3400	5441.12	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-18.76	8.13	-5.62	-1379.62	16673.72
8	6.0	0.0381	-0.0000	-0.3818	-0.3436	5498.86	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-4.74	5.92	-1.42	-558.22	17100.57
9	8.0	0.0316	-0.0000	-0.3791	-0.3475	5560.24	-61.60	13.44	-40.28	10.39	5.20	4.06	1.56	24.56	17467.21
10	10.0	0.0253	-0.0000	-0.3764	-0.3511	5618.15	-61.60	13.44	-40.28	10.39	11.77	2.54	3.53	409.37	17763.62
11	12.0	0.0195	-0.0000	-0.3737	-0.3542	5667.89	-61.60	13.44	-40.28	10.39	15.63	1.35	4.68	635.54	17986.92
12	14.0	0.0143	-0.0000	-0.3710	-0.3566	5706.68	-61.60	13.44	-40.28	10.39	17.40	0.45	5.22	739.30	18139.26
13	16.0	0.0100	-0.0000	-0.3683	-0.3583	5733.23	-61.60	13.44	-40.28	10.39	17.62	-0.18	5.28	752.58	18226.23
14	18.0	0.0064	-0.0000	-0.3656	-0.3592	5747.36	-61.60	13.44	-40.28	10.39	16.77	-0.62	5.03	702.60	18255.38
15	20.0	0.0036	-0.0000	-0.3629	-0.3593	5749.63	-61.60	13.44	-40.28	10.39	15.22	-0.88	4.56	611.71	18235.22
16	22.0	0.0014	-0.0000	-0.3602	-0.3588	5741.13	-61.60	13.44	-40.28	10.39	13.27	-1.01	3.98	497.63	18174.44
17	24.0	-0.0001	-0.0000	-0.3575	-0.3577	5723.21	-61.60	13.44	-40.28	10.39	11.16	-1.04	3.34	373.88	18081.32
18	26.0	-0.0012	-0.0000	-0.3547	-0.3560	5697.34	-61.60	13.44	-40.28	10.39	9.05	-1.00	2.71	250.31	17963.38
19	28.0	-0.0018	-0.0000	-0.3520	-0.3540	5664.96	-61.60	13.44	-40.28	10.39	7.06	-0.91	2.11	133.64	17827.21
20	30.0	-0.0022	-0.0000	-0.3493	-0.3517	5627.45	-61.60	13.44	-40.28	10.39	5.26	-0.79	1.57	28.09	17678.32
21	32.0	-0.0023	-0.0000	-0.3466	-0.3491	5586.03	-61.60	13.44	-40.28	10.39	3.69	-0.66	1.10	-64.07	17521.21
22	34.0	-0.0023	-0.0000	-0.3439	-0.3463	5541.73	-61.60	13.44	-40.28	10.39	2.35	-0.53	0.70	-142.10	17359.37
23	36.0	-0.0021	-0.0000	-0.3412	-0.3434	5495.41	-61.60	13.44	-40.28	10.39	1.26	-0.41	0.37	-206.25	17195.40
24	38.0	-0.0019	-0.0000	-0.3385	-0.3404	5447.77	-61.60	13.44	-40.28	10.39	0.39	-0.30	0.11	-257.44	17031.14
25	40.0	-0.0016	0.0000	-0.3358	-0.3374	5399.30	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-0.28	-0.20	-0.08	-296.97	16867.82
26	42.0	-0.0013	0.0000	-0.3331	-0.3343	5350.37	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-0.78	-0.13	-0.23	-326.24	16706.15
27	44.0	-0.0010	0.0001	-0.3304	-0.3313	5301.23	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-1.13	-0.07	-0.33	-346.59	16546.48
28	46.0	-0.0008	0.0002	-0.3277	-0.3282	5252.03	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-1.34	-0.03	-0.40	-359.14	16388.94
29	48.0	-0.0006	0.0004	-0.3249	-0.3251	5202.83	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-1.44	-0.01	-0.43	-364.72	16233.53
30	50.0	-0.0004	0.0006	-0.3222	-0.3221	5153.68	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-1.42	-0.01	-0.42	-363.76	16080.21
31	52.0	-0.0002	0.0008	-0.3195	-0.3190	5104.59	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-1.29	-0.03	-0.38	-356.33	15929.05
32	54.0	-0.0001	0.0010	-0.3168	-0.3159	5055.61	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-1.05	-0.07	-0.31	-342.09	15780.27
33	56.0	-0.0000	0.0012	-0.3141	-0.3129	5006.82	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-0.68	-0.13	-0.20	-320.35	15634.30
34	58.0	0.0000	0.0015	-0.3114	-0.3098	4958.35	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-0.16	-0.20	-0.05	-290.12	15491.91
35	60.0	0.0000	0.0017	-0.3087	-0.3069	4910.45	-61.60	13.44	-40.28	10.39	0.51	-0.29	0.15	-250.26	15354.19
36	62.0	0.0000	0.0019	-0.3060	-0.3039	4863.48	-61.60	13.44	-40.28	10.39	1.37	-0.40	0.41	-199.55	15222.61
37	64.0	0.0000	0.0021	-0.3033	-0.3011	4817.93	-61.60	13.44	-40.28	10.39	2.44	-0.51	0.73	-136.96	15099.06
38	66.0	0.0001	0.0021	-0.3006	-0.2984	4774.46	-61.60	13.44	-40.28	10.39	3.72	-0.63	1.11	-61.82	14985.75
39	68.0	0.0000	0.0019	-0.2979	-0.2958	4733.89	-61.60	13.44	-40.28	10.39	5.22	-0.75	1.56	25.82	14885.25
40	70.0	0.0000	0.0015	-0.2952	-0.2935	4697.19	-61.60	13.44	-40.28	10.39	6.91	-0.84	2.07	124.91	14800.31
41	72.0	0.0000	0.0008	-0.2925	-0.2915	4665.52	-61.60	13.44	-40.28	10.39	8.75	-0.91	2.62	232.90	14733.72
42	74.0	0.0000	-0.0002	-0.2897	-0.2900	4640.12	-61.60	13.44	-40.28	10.39	10.67	-0.93	3.20	345.32	14688.08
43	76.0	0.0000	-0.0018	-0.2870	-0.2888	4622.32	-61.60	13.44	-40.28	10.39	12.55	-0.88	3.76	455.27	14665.44
44	78.0	0.0000	-0.0040	-0.2843	-0.2883	4613.42	-61.60	13.44	-40.28	10.39	14.21	-0.73	4.26	552.88	14666.91
45	80.0	0.0000	-0.0067	-0.2816	-0.2884	4614.57	-61.60	13.44	-40.28	10.39	15.44	-0.45	4.63	624.82	14692.08
46	82.0	0.0000	-0.0102	-0.2789	-0.2891	4626.62	-61.60	13.44	-40.28	10.39	15.94	-0.00	4.78	653.81	14738.42
47	84.0	0.0000	-0.0143	-0.2762	-0.2906	4649.88	-61.60	13.44	-40.28	10.39	15.33	0.64	4.60	618.32	14800.49
48	86.0	0.0000	-0.0192	-0.2735	-0.2927	4683.92	-61.60	13.44	-40.28	10.39	13.18	1.53	3.95	492.47	14869.09
49	88.0	0.0000	-0.0246	-0.2708	-0.2954	4727.17	-61.60	13.44	-40.28	10.39	8.98	2.70	2.69	246.14	14930.34
50	90.0	0.0000	-0.0304	-0.2681	-0.2985	4776.60	-61.60	13.44	-40.28	10.39	2.15	4.17	0.64	-154.30	14964.70
51	92.0	-0.0000	-0.0362	-0.2654	-0.3017	4827.34	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-7.92	5.95	-2.37	-744.91	14946.08
52	94.0	-0.0000	-0.0418	-0.2627	-0.3045	4872.19	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-21.87	8.03	-6.56	-1562.15	14841.05
53	96.0	-0.0000	-0.0463	-0.2600	-0.3063	4901.19	-61.60	13.44	-40.28	10.39	-40.27	10.39	-12.08	-2640.13	14608.30

PAGE 1

// JOB T

LOG DRIVE CART SPEC CART AVAIL PHY DRIVE  
0030 0001 0001 0000

V2 M10 ACTUAL 8K CONFIG 8K

// FOR

\*IOCS(CARD,1132 PRINTER)

\*ONE WORD INTEGERS

\*EXTENDED PRECISION

\* LIST SOURCE PROGRAM

C SELCCION DEL ESPESOR DEL SEGMENTO D

REAL NU,MFID,NFID,MCD,MDE,NX,MDX1,MDX2,MDX

GAMA=0.0361111111111

D=480.0

R=600.0

NU=0.3

TC=0.32

TD=0.22

TE=0.18

NX=-89.7

E=0.3E8

BC=1.285407/SQRT(R\*TC)

BD=1.285407/SQRT(R\*TD)

BE=1.285407/SQRT(R\*TE)

QCD=GAMA\*(D-288.)\*(TC-TD)\*((BD\*\*3)\*TC-(BC\*\*3)\*TD)/((BD\*\*4)\*TC\*\*2-(  
CBC\*\*4)\*TD\*\*2-(2.\*BC\*\*3)\*BD\*TD\*TC+(2.\*BD\*\*3)\*BC\*TD\*TC)

MCD=-0.5\*QCD\*((BD\*\*2)\*TC-(BC\*\*2)\*TD)/((BD\*\*3)\*TC-(BC\*\*3)\*TD)

QDE=GAMA\*(D-384.)\*(TD-TE)\*((BE\*\*3)\*TD-(BD\*\*3)\*TE)/((BE\*\*4)\*TD\*\*2-(  
CBD\*\*4)\*TE\*\*2-(2.\*BD\*\*3)\*BE\*TE\*TD+(2.\*BE\*\*3)\*BD\*TE\*TD)

MDE=-0.5\*QDE\*((BE\*\*2)\*TD-(BD\*\*2)\*TE)/((BE\*\*3)\*TD-(BD\*\*3)\*TE)

X=0.0

WRITE(3,3)

3 FORMAT('1', ' X WDXC1 WDXC2 WDXP WDX NFI D MCD  
C QCD MDE QDE MDX QDX MFI D SIGMA X SIGMA T',  
C///)

4 WDXC1=-((2.\*R\*\*2\*BD/(E\*TD))\*((BD\*(-MCD)\*(EXP(-BD\*X)\*(COS(BD\*X)-SIN(B  
CD\*X))))-QCD\*(EXP(-BD\*X)\*COS(BD\*X))))

WDXC2=-((2.\*R\*\*2\*BD/(E\*TD))\*((BD\*MDE\*(EXP(-BD\*(96.-X))\*(COS(BD\*(96.-  
CX))-SIN(BD\*(96.-X))))+QDE\*(EXP(-BD\*(96.-X))\*COS(BD\*(96.-X))))

WDXP=-GAMA\*(D-(288.+X))\*R\*\*2/(E\*TD)

WDX=WDXC1+WDXC2+WDXP

NFID=-E\*TD\*WDX/R

MDX1=(1./BD)\*((BD\*MCD\*(EXP(-BD\*X)\*(COS(BD\*X)+SIN(BD\*X)))+QCD\*(EXP(-  
CBD\*X)\*SIN(BD\*X))))

MDX2=(1.0/BD)\*((BD\*MDE\*(EXP(-BD\*(96.-X))\*(COS(BD\*(96.-X))+SIN(BD\*(9  
C6.-X))))+QDE\*(EXP(-BD\*(96.-X))\*SIN(BD\*(96.-X))))

MDX=MDX1+MDX2

MFID=NU\*MDX

QDX1=-2.\*BD\*MCD\*(EXP(-BD\*X)\*SIN(BD\*X))+QCD\*(EXP(-BD\*X)\*(COS(BD\*X)-  
CSIN(BD\*X)))

QDX2=-2.\*BD\*MDE\*(EXP(-BD\*(96.-X))\*SIN(BD\*(96.-X))+QDE\*(EXP(-BD\*(9  
C6.-X))\*(COS(BD\*(96.-X))-SIN(BD\*(96.-X))))

QDX=QDX1+QDX2

SIGMA=6.\*MDX/TD\*\*2+NX/TD

SIGMT=6.\*MFID/TD\*\*2+NFID/TD

X=XPROX(X,3)

1  
2  
3  
4 PAGE 2

5 WRITE(3,2)X,WDXC1,WDXC2,WDXP,WDX,NFID,MCD,QCD,MDE,QDE,MDX,QDX,MFID  
6 C,SIGMA,SIGMT  
7  
8 2 FORMAT(1X,F4.1,4(F8.4),8(F8.2),2(F9.2))  
9 X=X+2.0  
10 IF(X-96.0)4,4,5  
11 5 CALL EXIT  
12 END

13 FEATURES SUPPORTED  
14 ONE WORD INTEGERS  
15 EXTENDED PRECISION  
16 IOCS

17  
18 CORE REQUIREMENTS FOR  
19 COMMON 0 VARIABLES 136 PROGRAM 1274

20  
21 END OF COMPILATION

22  
23 // XEQ  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63

12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3

	X	WDXC1	WDXC2	WDXP	WDX	NFI D	MCD	QCD	MDE	QDE	MDX	QDX	MFI D	SIGMA X	SIGMA T
7	0.0	0.0718	0.0000	-0.3781	-0.3063	3369.53	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-40.28	10.39	-12.08	-5402.03	13817.75
8	2.0	0.0657	0.0000	-0.3742	-0.3084	3393.07	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-22.07	7.85	-6.62	-3143.78	14602.25
9	4.0	0.0566	0.0000	-0.3703	-0.3136	3450.42	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-8.65	5.60	-2.59	-1481.23	15361.69
10	6.0	0.0462	0.0000	-0.3663	-0.3201	3521.31	-40.28	10.39	-8.29	2.44	0.60	3.72	0.18	-332.56	16028.52
11	8.0	0.0359	0.0000	-0.3624	-0.3265	3591.72	-40.28	10.39	-8.29	2.44	6.48	2.21	1.94	395.67	16567.02
12	10.0	0.0264	0.0000	-0.3584	-0.3320	3652.70	-40.28	10.39	-8.29	2.44	9.71	1.07	2.91	796.87	16964.59
13	12.0	0.0182	0.0000	-0.3545	-0.3363	3699.32	-40.28	10.39	-8.29	2.44	11.00	0.26	3.30	956.90	17224.49
14	14.0	0.0115	0.0000	-0.3506	-0.3390	3729.55	-40.28	10.39	-8.29	2.44	10.95	-0.27	3.28	949.98	17359.82
15	16.0	0.0063	0.0000	-0.3466	-0.3403	3743.41	-40.28	10.39	-8.29	2.44	10.04	-0.60	3.01	836.90	17388.92
16	18.0	0.0025	0.0000	-0.3427	-0.3402	3742.24	-40.28	10.39	-8.29	2.44	8.65	-0.76	2.59	665.03	17332.03
17	20.0	-0.0001	0.0000	-0.3387	-0.3389	3728.08	-40.28	10.39	-8.29	2.44	7.07	-0.80	2.12	469.35	17208.98
18	22.0	-0.0018	-0.0000	-0.3348	-0.3366	3703.29	-40.28	10.39	-8.29	2.44	5.50	-0.76	1.65	274.11	17037.72
19	24.0	-0.0027	-0.0000	-0.3309	-0.3336	3670.23	-40.28	10.39	-8.29	2.44	4.05	-0.67	1.21	94.80	16833.62
20	26.0	-0.0031	-0.0000	-0.3269	-0.3300	3631.05	-40.28	10.39	-8.29	2.44	2.80	-0.56	0.84	-59.99	16609.11
21	28.0	-0.0031	-0.0000	-0.3230	-0.3261	3587.64	-40.28	10.39	-8.29	2.44	1.78	-0.45	0.53	-186.74	16373.77
22	30.0	-0.0028	-0.0000	-0.3190	-0.3219	3541.54	-40.28	10.39	-8.29	2.44	0.98	-0.34	0.29	-285.46	16134.61
23	32.0	-0.0024	-0.0000	-0.3151	-0.3176	3493.95	-40.28	10.39	-8.29	2.44	0.39	-0.24	0.11	-358.42	15896.38
24	34.0	-0.0020	-0.0000	-0.3112	-0.3132	3445.74	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-0.01	-0.16	-0.00	-409.16	15662.05
25	36.0	-0.0015	-0.0000	-0.3072	-0.3088	3397.54	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-0.27	-0.09	-0.08	-441.76	15433.17
26	38.0	-0.0011	-0.0000	-0.3033	-0.3045	3349.73	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-0.42	-0.04	-0.12	-460.31	15210.29
27	40.0	-0.0008	-0.0000	-0.2993	-0.3002	3302.53	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-0.49	-0.00	-0.14	-468.58	14993.24
28	42.0	-0.0005	-0.0000	-0.2954	-0.2960	3256.00	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-0.50	0.01	-0.15	-469.84	14781.39
29	44.0	-0.0002	-0.0000	-0.2915	-0.2918	3210.14	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-0.47	0.03	-0.14	-466.74	14573.88
30	46.0	-0.0001	-0.0000	-0.2875	-0.2877	3164.88	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-0.43	0.04	-0.12	-461.33	14369.75
31	48.0	0.0000	-0.0000	-0.2836	-0.2836	3120.10	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-0.38	0.04	-0.11	-455.08	14168.07
32	50.0	0.0000	0.0000	-0.2796	-0.2796	3075.67	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-0.33	0.04	-0.09	-448.91	13967.96
33	52.0	0.0001	0.0000	-0.2757	-0.2755	3031.46	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-0.28	0.03	-0.08	-443.26	13768.71
34	54.0	0.0001	0.0001	-0.2718	-0.2715	2987.36	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-0.24	0.02	-0.07	-438.18	13569.77
35	56.0	0.0001	0.0001	-0.2678	-0.2675	2943.25	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-0.20	0.01	-0.06	-433.34	13370.76
36	58.0	0.0001	0.0002	-0.2639	-0.2635	2899.08	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-0.16	0.00	-0.04	-428.11	13171.55
37	60.0	0.0001	0.0003	-0.2600	-0.2595	2854.80	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-0.11	-0.00	-0.03	-421.60	12972.20
38	62.0	0.0000	0.0004	-0.2560	-0.2554	2810.40	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-0.04	-0.02	-0.01	-412.74	12773.06
39	64.0	0.0000	0.0006	-0.2521	-0.2514	2765.95	-40.28	10.39	-8.29	2.44	0.05	-0.05	0.01	-400.30	12574.74
40	66.0	0.0000	0.0007	-0.2481	-0.2474	2721.56	-40.28	10.39	-8.29	2.44	0.19	-0.07	0.05	-383.01	12378.15
41	68.0	0.0000	0.0008	-0.2442	-0.2434	2677.42	-40.28	10.39	-8.29	2.44	0.38	-0.10	0.11	-359.70	12184.53
42	70.0	0.0000	0.0008	-0.2403	-0.2394	2633.81	-40.28	10.39	-8.29	2.44	0.63	-0.13	0.18	-329.42	11995.39
43	72.0	0.0000	0.0007	-0.2363	-0.2355	2591.10	-40.28	10.39	-8.29	2.44	0.93	-0.16	0.28	-291.76	11812.55
44	74.0	0.0000	0.0006	-0.2324	-0.2317	2549.75	-40.28	10.39	-8.29	2.44	1.29	-0.19	0.38	-247.08	11637.98
45	76.0	0.0000	0.0002	-0.2284	-0.2282	2510.30	-40.28	10.39	-8.29	2.44	1.70	-0.21	0.51	-196.91	11473.72
46	78.0	-0.0000	-0.0003	-0.2245	-0.2248	2473.37	-40.28	10.39	-8.29	2.44	2.12	-0.21	0.63	-144.42	11321.61
47	80.0	-0.0000	-0.0011	-0.2206	-0.2217	2439.60	-40.28	10.39	-8.29	2.44	2.52	-0.18	0.75	-94.88	11182.98
48	82.0	-0.0000	-0.0023	-0.2166	-0.2190	2409.60	-40.28	10.39	-8.29	2.44	2.83	-0.12	0.85	-56.20	11058.19
49	84.0	-0.0000	-0.0039	-0.2127	-0.2167	2383.82	-40.28	10.39	-8.29	2.44	2.97	-0.00	0.89	-39.43	10946.05
50	86.0	-0.0000	-0.0059	-0.2087	-0.2147	2362.46	-40.28	10.39	-8.29	2.44	2.81	0.17	0.84	-59.08	10843.07
51	88.0	-0.0000	-0.0083	-0.2048	-0.2132	2345.27	-40.28	10.39	-8.29	2.44	2.21	0.43	0.66	-133.29	10742.67
52	90.0	-0.0000	-0.0110	-0.2009	-0.2119	2331.33	-40.28	10.39	-8.29	2.44	1.00	0.79	0.30	-283.64	10634.21
53	92.0	-0.0000	-0.0138	-0.1969	-0.2108	2318.80	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-1.02	1.24	-0.30	-534.29	10502.04
54	94.0	-0.0000	-0.0164	-0.1930	-0.2095	2304.60	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-4.05	1.80	-1.21	-910.52	10324.65
55	96.0	-0.0000	-0.0185	-0.1890	-0.2076	2284.16	-40.28	10.39	-8.29	2.44	-8.29	2.44	-2.48	-1436.09	10074.04

12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3

PAGE 1

// JOB T

LOG DRIVE    CART SPEC    CART AVAIL    PHY DRIVE  
0000            0001            0001            0000

V2 M10    ACTUAL    8K    CONFIG    8K

// FOR

\*IOCS(CARD,1132PRINTER)

\*ONE WORD INTEGERS

\*EXTENDED PRECISION

\*LIST SOURCE PROGRAM

C SELCCION DEL ESPESOR DEL SEGMENTO E

REAL NU,MFIE,MDE,MALFA,NX,MEX1,MEX2,MEX,NFIE

GAMA=0.036111111111111111

D=480.0

R=600.0

NU=0.3

NX=-89.7

E=0.3E8

TD=0.22

TE=0.18

MALFA=-148.38

H= 74.00

WRITE(3,3)

3 FORMAT('1',' X    WEXC1    WEXC2    WEXP    WEX    NFI E    MDE  
C QDE    MALFA    QHE    MEX    QEX    MFI E    SIGMA X    SIGMA T',  
C//)

X=0.0

BD=1.285407/SQRT(R\*TD)

6 BE=1.285407/SQRT(R\*TE)

QDE=GAMA\*(D-384.)\*(TD-TE)\*((BE\*\*3)\*TD-(BD\*\*3)\*TE)/((BE\*\*4)\*TD\*\*2-(  
CBD\*\*4)\*TE\*\*2-(2.\*BD\*\*3)\*BE\*TE\*TD+(2.\*BE\*\*3)\*D\*TE\*TD)

MDE=-0.5\*QDE\*((BE\*\*2)\*TD-(BD\*\*2)\*TE)/((BE\*\*3)\*TD-(BD\*\*3)\*TE)

WEXC1=-2.\*R\*\*2\*BE/(E\*TE)\*((BE\*(-MDE))\*(EXP(-E\*X))\*(COS(BE\*X)-SIN(B  
CE\*X)))-QDE\*(EXP(-BE\*X)\*COS(BE\*X)))

WEXC2=-2.\*R\*\*2\*BE/(E\*TE)\*((BE\*MALFA\*(EXP(-B\*(96.-X))\*(COS(BE\*(96  
C.-X))-SIN(BE\*(96.-X))))+H\*(EXP(-BE\*(96.-X))\*OS(BE\*(96.-X))))

WEXP=-GAMA\*(D-(384.+X))\*R\*\*2/(E\*TE)

WEX=WEXC1+WEXC2+WEXP

NFIE=-E\*TE\*WEX/R

MEX1=(1./BE)\*(BE\*MDE\*(EXP(-BE\*X)\*(COS(BE\*X)+IN(BE\*X)))+QDE\*(EXP(-  
CBE\*X)\*SIN(BE\*X)))

MEX2=(1./BE)\*(BE\*MALFA\*(EXP(-BE\*(96.-X))\*(CG(BE\*(96.-X))+SIN(BE\*(  
C96.-X))))+H\*(EXP(-BE\*(96.-X))\*SIN(BE\*(96.-X))))

MEX=MEX1+MEX2

MFIE=NU\*MEX

QEX1=-2.\*BE\*MDE\*(EXP(-BE\*X)\*SIN(BE\*X))+QDE\*(EXP(-BE\*X)\*(COS(BE\*X)-  
CSIN(BE\*X)))

QEX2=-2.\*BE\*MALFA\*(EXP(-BE\*(96.-X))\*SIN(BE\*96.-X))+H\*(EXP(-BE\*(9  
C6.-X))\*(COS(BE\*(96.-X))-SIN(BE\*(96.-X))))

QEX=QEX1+QEX2

SIGMA=6.\*MEX/TE\*\*2+NX/TE

SIGMT=6.\*MFIE/TE\*\*2+NFIE/TE

X=XPROX(X,3)

WRITE(3,2)X,WEXC1,WEXC2,WEXP,WEX,NFIE,MDE,QE,MALFA,H,MEX,QEX,MFIE

C,SIGMA,SIGMT

2 FORMAT(1X,F4.1,4(F8.4),8(F8.2),2(F9.2))

1  
2  
3 PAGE 2  
4

5 X=X+2.0  
6 IF(X-88.0)6,6,8  
7 8 TE=0.555  
8 IF(X-96.0)6,6,5  
9 5 CALL EXIT  
10 END  
11

12 FEATURES SUPPORTED  
13 ONE WORD INTEGERS  
14 EXTENDED PRECISION  
15 IOCS  
16

17 CORE REQUIREMENTS FOR  
18 COMMON 0 VARIABLES 130 PROGRAM 1134  
19

20 END OF COMPILATION  
21

22 // XEQ  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63

12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63

↑  
12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3

X	WEXC1	WEXC2	WEXP	WEX	NFI E	MDE	QDE	MALFA	QHE	MEX	QEX	MFI E	SIGMA X	SIGMA T
0.0	0.0234	-0.0000	-0.2311	-0.2076	1868.87	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-8.29	2.44	-2.48	-2034.89	9921.68
2.0	0.0209	-0.0000	-0.2262	-0.2053	1847.71	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-4.08	1.77	-1.22	-1254.73	10038.16
4.0	0.0174	-0.0000	-0.2214	-0.2039	1835.94	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-1.12	1.19	-0.33	-706.95	10137.12
6.0	0.0136	0.0000	-0.2166	-0.2029	1826.88	-8.29	2.44	-148.38	74.00	0.78	0.73	0.23	-353.23	10192.88
8.0	0.0100	0.0000	-0.2118	-0.2017	1816.18	-8.29	2.44	-148.38	74.00	1.87	0.37	0.56	-151.61	10193.91
10.0	0.0068	0.0000	-0.2070	-0.2001	1801.35	-8.29	2.44	-148.38	74.00	2.35	0.12	0.70	-61.96	10138.41
12.0	0.0042	0.0000	-0.2022	-0.1979	1781.26	-8.29	2.44	-148.38	74.00	2.42	-0.04	0.72	-49.06	10030.68
14.0	0.0022	0.0000	-0.1974	-0.1950	1755.73	-8.29	2.44	-148.38	74.00	2.23	-0.13	0.67	-84.01	9878.36
16.0	0.0008	0.0000	-0.1925	-0.1916	1725.16	-8.29	2.44	-148.38	74.00	1.91	-0.18	0.57	-144.54	9690.40
18.0	-0.0000	0.0000	-0.1877	-0.1878	1690.30	-8.29	2.44	-148.38	74.00	1.53	-0.19	0.45	-214.53	9475.73
20.0	-0.0006	0.0000	-0.1829	-0.1835	1652.01	-8.29	2.44	-148.38	74.00	1.16	-0.18	0.34	-283.11	9242.41
22.0	-0.0009	0.0000	-0.1781	-0.1790	1611.16	-8.29	2.44	-148.38	74.00	0.83	-0.16	0.25	-343.68	8997.29
24.0	-0.0010	0.0000	-0.1733	-0.1742	1568.55	-8.29	2.44	-148.38	74.00	0.56	-0.13	0.17	-392.90	8745.79
26.0	-0.0009	0.0000	-0.1685	-0.1694	1524.86	-8.29	2.44	-148.38	74.00	0.37	-0.11	0.11	-429.74	8492.03
28.0	-0.0008	0.0000	-0.1637	-0.1645	1480.66	-8.29	2.44	-148.38	74.00	0.23	-0.08	0.07	-454.81	8238.94
30.0	-0.0007	-0.0000	-0.1588	-0.1595	1436.38	-8.29	2.44	-148.38	74.00	0.15	-0.06	0.04	-469.76	7988.46
32.0	-0.0005	-0.0000	-0.1540	-0.1547	1392.35	-8.29	2.44	-148.38	74.00	0.11	-0.04	0.03	-476.92	7741.71
34.0	-0.0003	-0.0002	-0.1492	-0.1498	1348.80	-8.29	2.44	-148.38	74.00	0.10	-0.02	0.03	-479.08	7499.16
36.0	-0.0002	-0.0003	-0.1444	-0.1450	1305.89	-8.29	2.44	-148.38	74.00	0.10	-0.00	0.03	-479.35	7260.68
38.0	-0.0001	-0.0006	-0.1396	-0.1404	1263.67	-8.29	2.44	-148.38	74.00	0.09	0.01	0.02	-481.12	7025.59
40.0	-0.0000	-0.0008	-0.1348	-0.1357	1222.12	-8.29	2.44	-148.38	74.00	0.05	0.04	0.01	-488.10	6792.64
42.0	-0.0000	-0.0012	-0.1300	-0.1312	1181.10	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-0.03	0.07	-0.00	-504.22	6559.91
44.0	0.0000	-0.0015	-0.1251	-0.1267	1140.34	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-0.19	0.11	-0.05	-533.52	6324.69
46.0	0.0000	-0.0018	-0.1203	-0.1221	1099.41	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-0.44	0.16	-0.13	-579.96	6083.38
48.0	0.0000	-0.0020	-0.1155	-0.1175	1057.68	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-0.80	0.22	-0.24	-646.90	5831.44
50.0	0.0000	-0.0019	-0.1107	-0.1126	1014.26	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-1.28	0.28	-0.38	-736.45	5563.34
52.0	0.0000	-0.0016	-0.1059	-0.1075	968.01	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-1.89	0.33	-0.56	-848.41	5272.84
54.0	0.0000	-0.0008	-0.1011	-0.1019	917.55	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-2.59	0.37	-0.77	-978.98	4953.31
56.0	0.0000	0.0005	-0.0962	-0.0956	861.26	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-3.35	0.38	-1.00	-1119.07	4598.58
58.0	0.0000	0.0028	-0.0914	-0.0886	797.45	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-4.07	0.33	-1.22	-1252.34	4204.08
60.0	0.0000	0.0061	-0.0866	-0.0805	724.51	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-4.61	0.19	-1.38	-1353.19	3768.59
62.0	0.0000	0.0105	-0.0818	-0.0712	641.24	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-4.78	-0.04	-1.43	-1384.80	3296.54
64.0	0.0000	0.0162	-0.0770	-0.0608	547.32	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-4.31	-0.44	-1.29	-1297.73	2800.88
66.0	0.0000	0.0229	-0.0722	-0.0493	443.87	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-2.86	-1.03	-0.86	-1029.55	2306.58
68.0	0.0000	0.0302	-0.0674	-0.0371	334.20	-8.29	2.44	-148.38	74.00	-0.04	-1.83	-0.01	-506.28	1854.33
70.0	-0.0000	0.0376	-0.0625	-0.0249	224.77	-8.29	2.44	-148.38	74.00	4.59	-2.84	1.37	353.32	1504.26
72.0	-0.0000	0.0437	-0.0577	-0.0140	126.09	-8.29	2.44	-148.38	74.00	11.49	-4.07	3.44	1629.85	1338.96
74.0	-0.0000	0.0469	-0.0529	-0.0059	53.70	-8.29	2.44	-148.38	74.00	20.99	-5.44	6.29	3390.04	1464.89
76.0	-0.0000	0.0449	-0.0481	-0.0032	29.02	-8.29	2.44	-148.38	74.00	33.29	-6.84	9.98	5667.57	2011.02
78.0	-0.0000	0.0344	-0.0433	-0.0088	79.65	-8.29	2.44	-148.38	74.00	48.24	-8.05	14.47	8436.57	3122.99
80.0	-0.0000	0.0119	-0.0385	-0.0265	239.07	-8.29	2.44	-148.38	74.00	65.20	-8.79	19.56	11577.59	4950.96
82.0	-0.0000	-0.0268	-0.0337	-0.0605	545.14	-8.29	2.44	-148.38	74.00	82.80	-8.61	24.84	14836.38	7628.99
84.0	-0.0000	-0.0863	-0.0288	-0.1152	1036.96	-8.29	2.44	-148.38	74.00	98.68	-6.97	29.60	17777.54	11243.67
86.0	-0.0000	-0.1703	-0.0240	-0.1943	1749.55	-8.29	2.44	-148.38	74.00	109.26	-3.18	32.78	19736.73	15790.26
88.0	-0.0000	-0.2813	-0.0192	-0.3006	2705.74	-8.29	2.44	-148.38	74.00	109.49	3.51	32.84	19778.29	21114.88
90.0	-0.0000	-0.1242	-0.0046	-0.1289	3579.23	55.18	-13.20	-148.38	74.00	153.89	29.93	46.16	2836.11	7348.39
92.0	-0.0000	-0.1469	-0.0031	-0.1501	4166.09	55.18	-13.20	-148.38	74.00	81.76	42.47	24.52	1430.99	7984.26
94.0	-0.0000	-0.1703	-0.0015	-0.1719	4771.72	55.18	-13.20	-148.38	74.00	-17.56	57.14	-5.26	-503.74	8495.05
96.0	-0.0000	-0.1935	0.0000	-0.1936	5372.56	55.18	-13.20	-148.38	74.00	-148.39	73.98	-44.51	-3052.17	8813.13

## BIBLIOGRAFIA

1. Harry Kraus. *Thin Elastic Shells* (John Wiley & Sons, Inc.)
2. Timoshenko Woinowski - Krieger. *Theory of Plates and Shells* (Mc Graw-Hill)
3. Brownell - Young. *Process Equipment Design* (John Wiley & Sons, Inc.)
4. API Chapter XIII (American Petroleum Institute).
5. API Standard 650 (American Petroleum Institute).
6. P. Wuithier. *El Petróleo refinado y tratamiento químico* (Publicaciones del Instituto francés del petróleo. Ediciones CEPESA S.A.).
7. *Oil & Gas International* (August 1971 - Vol. 11 N° 8, pág. 74).
8. Timoshenko, S. *Elastic Stability*.
9. Bell. *Petroleum Refining*.
10. Bresler Lin y Scalzi. *Diseño de estructuras de Acero* (Wiley - Limusa).
11. J. Shigley. *El Proyecto en Ingeniería Mecánica* (Mc Graw-Hill).