



\*D-9810\*

T  
672.83  
c117



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería Mecánica**



“DISEÑO DE UN TANQUE DE PRESION CON ACERO  
ORDINARIO PARA ALMACENAR UNA MEZCLA  
DE GAS PROPANO-BUTANO”

**PROYECTO DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECANICO**

Presentado por:

**Diego Antonio Cabrera Torres**

Guayaquil - Ecuador

1990

## A G R A D E C I M I E N T O

A los INGS. ALBERTO TORRES  
y OMAR SERRANO., por su a-  
yuda y colaboración para  
la realización de este  
trabajo.

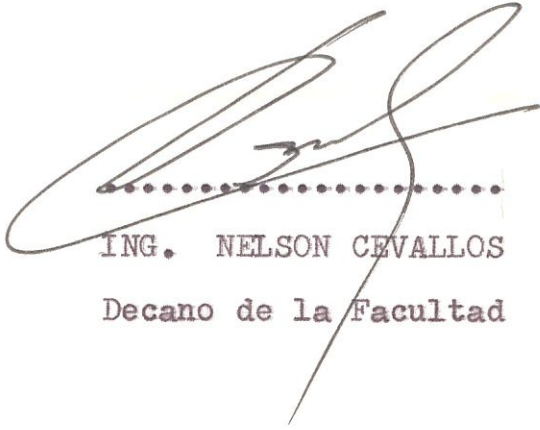
## DEDICATORIA

A DIOS que me ha permitido  
culminar mi carrera.

A MIS PADRES por su invaluable  
apoyo en mi vida  
estudiantil.

A MIS HERMANOS complemento  
de mi desarrollo intelectual.


A MIS AMIGOS.




.....  
ING. NELSON CEVALLOS  
Decano de la Facultad



.....  
ING. OMAR SERRANO  
Director de Tópico



.....  
ING. MANUEL HELGUERO  
Miembro del Tribunal



.....  
ING. JAIME BARRERA  
Miembro del Tribunal

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este Proyecto de Grado, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual del mismo, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)



DIEGO CABRERA TORRES



## R E S U M E N

El presente trabajo discute el procedimiento de diseño y proceso de fabricación de un recipiente a presión - soldado para almacenar una mezcla de gas-propano-butano, utilizando un acero ordinario.

Estos procedimientos serán realizados bajo especificaciones normalizadas, de manera que la construcción - del mencionado recipiente sea confiable.

El diseño y proceso de fabricación de este recipiente a presión se ajustan a las especificaciones del código ASME y los procesos de soldadura a las normas A.W.S.

El recipiente estará asentado sobre dos soportes, trabajará a una presión de siete kilogramos por metro cuadrado y tendrá una capacidad de cuarenta metros cúbicos.

## INDICE GENERAL

No	PAG.
RESUMEN . . . . .	VI
INDICE GENERAL . . . . .	VII
INDICE DE FIGURAS . . . . .	IX
INDICE DE TABLAS . . . . .	X
INDICE DE ABREVIATURAS . . . . .	XI
INTRODUCCION . . . . .	12
CAPITULO I . . . . .	
FUNDAMENTO TEORICO . . . . .	13
1.1 Necesidad de fabricacion del tanque de presión.	13
1.2 Materiales recomendables para la construcción de un tanque de presión . . . . .	14
1.3 Soldabilidad en cilindros de paredes delgadas .	18
1.4 Esfuerzos en cilindros de paredes delgadas . .	23
1.5 Códigos y regulaciones . . . . .	34
CAPITULO II	
DISEÑO . . . . .	37
2.1 Definición del problema . . . . .	37
2.2 Modelo . . . . .	37
2.3 Selección de materiales . . . . .	38

2.4 Selección del proceso de soldadura. . . . .	39
2.5 Selección de electrodos . . . . .	39
2.6 Calculo de esfuerzos, factor de corrosión . . . .	42
2.7 Planos y especificaciones . . . . .	53
CAPITULO III	
PROCESO DE FABRICACION. . . . .	67
3.1 Recepción de materiales . . . . .	67
3.2 Personal. . . . .	67
3.3 Equipos y herramientas. . . . .	70
3.4 Conformado de partes. . . . .	73
3.5 Ensamblaje. . . . .	77
3.6 Pruebas . . . . .	78
3.7 Entrega . . . . .	78
CAPITULO IV	
ANALISIS ECONOMICO. . . . .	80
CAPITULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. . . . .	88
BIBLIOGRAFIA. . . . .	90



## INDICE DE FIGURAS

No	PAG.
1.1 Corte longitudinal del cilindro . . . . .	24
1.2 Corte circunferencial del cilindro . . . . .	25
1.3 Tapa hemisférica . . . . .	29
2.2 Plano general del cilindro a presión . . . . .	62
2.3 Desarrollo del cilindro . . . . .	63
2.4 Trazado de las tapas . . . . .	64
2.5 Desarrollo de un sector de la tapa . . . . .	65
2.6 Desarrollo del casquete de la semiesfera . . . . .	66
3.1 Cronograma de fabricación . . . . .	69
3.2 Dimensiones del soporte . . . . .	76

## INDICE DE TABLAS

Nº		PAG.
I	Materiales Recomendados . . . . .	16
II	Propiedades de los materiales . . . . .	17
III	Propiedades mecánicas del metal base y del metal soldado . . . . .	22
IV	Velocidad de corrosión . . . . .	33
V	Propiedades mecánicas de los electrodos revestidos	50
VI	Especificación del electrodo recomendado GMAW. .	41
VII	Resultados de los espesores . . . . .	47
VIII	Relación entre corriente, voltaje y consumo de gas	61



## INDICE DE ABREVIATURAS

ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
AWS	Sociedad Americana de Soldadura
D	Diámetro interior del cilindro
E	Eficiencia de las uniones soldadas
F	Fuerza que tiende a separar las mitades del cilindro
FC	Factor de corrosión
L	Longitud del cilindro
MAG	Proceso de soldadura con gas protector
P	Fuerza de tensión originadas en el material
p	Presión interna
pi	Presión de diseño
S	Esfuerzo del material
SAW	Proceso de soldadura de arco metalico
Sip	Esfuerzo permisible
SMAW	Proceso manual de soldadura de electrodo revestido
t	Espesor de la chapa del recipiente
VC	Velocidad de corrosión
VU	Vida útil
W	Masa del recipiente vacío
Wt	Masa del recipiente en llenado total
$\sigma_t$	Esfuerzo a la tracción
$\sigma_y$	Esfuerzo a la flexión ( $S_y$ )

## INTRODUCCION

Los tanques de presión soldados constituyen un producto importante dentro de la industria de la soldadura, ya que estos cubren un amplio espectro de la utilización dentro de las necesidades de las industrias.

Si bien es cierto que en nuestro país se utilizan recipientes de diferentes dimensiones según la capacidad del mismo, este trabajo muestra el diseño de un recipiente a presión en especial, cuya capacidad es de cuarenta metros cúbicos, el cual es ampliamente usado en las industrias petroleras para almacenar mezclas de gas propano-butano.

Para el diseño y proceso de fabricación de un recipiente a presión se debe tener conocimientos previos tales como: materiales recomendados, soldabilidad del material, procesos de soldaduras aplicables, esfuerzos en cilindros de paredes delgadas y el efecto de la corrosión en el material. Además si el recipiente de presión es diseñado para operar a presiones mayores de 15 psig., deberá ser construido de acuerdo con el código ASME sección VIII, - el mismo que se lo utilizará para el desarrollo de este trabajo ajustándolo a nuestras necesidades y procedimientos tecnológicos.

## CAPITULO I

### FUNDAMENTO TEORICO

#### 1.1 NECESIDAD DE FABRICACION DEL TANQUE DE PRESION

Los recipientes a presión cumplen un papel importante en casi todas las áreas de las industrias, tales como petroleras, químicas, alimenticias, petroquímicas entre otros.

En nuestro país, debido al desarrollo de las industrias las empresas tanto estatales como privadas invierten grandes sumas de dinero en la construcción de los mencionados recipientes por esta razón se hace un rubro importante dentro de la economía nacional.

Empresas privadas y especialmente estatales para la construcción de este tipo de obras las adjudican a empresas extranjeras o seudonacionales perjudicando así a las empresas nacionales y por ende a la economía del país.

En el diseño de estos recipientes hay que considerar todas las normas de seguridad para que de esta manera

su construcción no genere riesgos.

Por estas razones, este trabajo será realizado con el propósito de suministrar procedimientos tecnológicos apropiados para la construcción de recipientes a presión, y que pueda servir como guía para ingenieros y técnicos que trabajen en el área de la construcción - metálica pesada.

## 1.2 MATERIALES RECOMENDABLES PARA LA CONSTRUCCION DE UN TANQUE A PRESION

Para la selección de los materiales utilizados en el diseño y construcción de recipientes a presión (en nuestro caso de aceros ordinarios), se requiere de un cuidadoso análisis en lo que se refiere a las condiciones propias de funcionamiento del recipiente, aspectos técnicos y aspectos económicos.

Por otro lado se debe tener conocimiento de los materiales existentes, propiedades físicas, mecánicas y químicas del material.

Además se debe tener presente que para la selección - de materiales los factores que más inciden son: la presión, la temperatura de operación del recipiente y su resistencia a la corrosión.



En cuanto al aspecto económico las variables que se deben considerar para la selección son:

- Maquinabilidad del material
- Capacidad de conformado
- Disponibilidad del material

En la tabla 1; se muestran algunos aceros recomendados para la construcción de recipientes a presión, y en la tabla 2; se encuentran las propiedades de los materiales recomendados en la tabla 1.-(datos tomados del código ASME sección VIII, división 1, tabla UCS 23).

## TABLA I

## MATERIALES RECOMENDADOS (Ref. 1)

SA 283 Planchas, perfiles y barras de acero al carbono con baja e intermedia resistencia, existen grados A,B, C y D pero la recomendada es la de grado "C" = máximo espesor (25mm).

SA 285 Planchas con baja e intermedia resistencia, para - calderas fijas y otros recipientes a presión solo grado "C" = máximo espesor (25mm).

SA 515 Planchas principalmente para servicios de intermedia y alta temperaturas, los grados utilizables - son:

grado 55

grado 60

grado 65

grado 70

SA 516 Planchas para moderadas y bajas temperaturas de servicios. Los grados utilizables son:

grado 55

grado 60

grado 65

grado 70



## PROPIEDADES DE LOS MATERIALES (Ref 1)

ESPECIFICACION		RESIST. A LA TRACCION (Kg/cm <sup>2</sup> )	PUNTO DE FLUENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZOS TEMP. °F		PERMISIBLES (Kg/cm <sup>2</sup> )	
NUMERO	GRADO			-20 650	750	800	850
SA-283	C	3875	2110	895	-	-	-
SA-285	C	3875	2140	972	852	719	592
SA-515	55	3875	2110	937	852	719	592
SA-515	60	4225	2250	1057	916	761	613
SA-515	65	4580	2465	1148	979	803	634
SA-515	70	4930	2675	1233	1042	845	655
SA-516	55	3875	2110	972	852	719	592
SA-516	60	4225	2250	1057	916	761	613
SA-516	65	4580	2465	1148	979	803	634
SA-516	70	4930	2675	1233	1042	845	655

### 1.3 SOLDABILIDAD EN CILINDROS DE PAREDES DELGADAS

#### Soldabilidad de aceros de bajo carbón y aceros dulces

El mayor tonelaje de acero producido para aplicaciones de soldadura, consiste de aceros de bajo carbono (hasta 0.14%), y aceros dulces (0.15% a 0.29% C).

Estos aceros generalmente pueden ser soldados fácilmente por la mayoría de los procedimientos de arco y gas. La selección depende del espesor de la sección y los requerimientos de calidad.

Soldaduras satisfactorias pueden ser hechas en aceros con contenidos de carbono de hasta 0.29% y contenido de manganeso hasta 1.6% sin técnicas especiales de precalentamiento y postcalentamiento, debido a que el calentamiento de soldadura no tiene efectos apreciables sobre las características del metal base.

Sin embargo, se deben usar procedimientos de bajo hidrógeno en planchas cuando el contenido de carbono supera el 0.20% y el contenido de manganeso está sobre el 1%.

Cuando el espesor de las piezas se incrementa alrededor de una pulgada, se deben tomar precauciones especiales tales como precalentado, aportación controlada de calor y alivios de tensiones elevadas, ya que las elevada velocidad de enfriamiento pueden producir fisuras en los depósitos soldados o en las zonas afectadas por el calor del metal base, de esta manera las propiedades del metal base tales como: tenacidad, resistencia, y ductilidad pueden ser reducidas.

Cuando el espesor de las secciones y el contenido de carbono y manganeso son altos, se deben tomar precauciones extras para prevenir problemas anotados anteriormente. Estas precauciones incluyen el uso de electrodos de bajo hidrógeno, precalentamiento y / o postcalentamiento y procedimientos de soldaduras con alto suministro de calor por paso.

La preparación del material algunas veces depende del proceso y la aplicación, pero es buena práctica de soldadura remover la grasa, pinturas escamas y óxidos de áreas de soldar, mediante el maquinado, esmerilado, diversos métodos de limpieza. Un alto grado de limpieza es necesario tomar en cuenta.



El diseño de las uniones es muy importante en - secciones transversales gruesas puesto que pueden afectar la calidad, distorsión y costo del soldeo.

Entre todos los procesos de soldadura aplicables para soldar los materiales utilizados en este - trabajo (aceros de bajo % C) hay que seleccionar los más adecuados que faciliten la construcción de un recipiente a presión.

Los siguientes procesos de soldadura al arco - eléctrico han sido considerados más aplicables.

- 1.- Proceso manual de electrodo revestido (SMAW)
- 2.- Proceso de arco sumergido (SAW).
- 3.- Proceso semi-automático MAG.
- 4.- Proceso semi-automático Flux-Cored Arc, Welding (electrodo tubular).

La principal consideración para seleccionar los materiales de aporte, se base en seleccionar el material de aporte y el procedimiento que proveerá una resistencia y tenacidad compatible con la del metal base.

La tabla III presenta especificaciones de aceros

estructurales con las propiedades mecánicas del metal base y metal soldado con la recomendación del electrodo según la norma A.W.S.

T A B L A I I I

PROPIEDADES MECANICAS DEL METAL BASE Y DEL METAL SOLDADO (Ref.3)

ESPECIFICACIONES DEL METAL BASE		ESPECIFICACIONES DEL METAL SOLDADO			
ACERO	PUNTO DE FLUENCIA KG/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA TRACCION KG/cm <sup>2</sup>	ELECTRODO	PUNTO DE FLUENCIA KG/cm <sup>2</sup>	RESISTENCIA A LA TRACCION KG/cm <sup>2</sup>
ASTM-A-283 grado C	2110	3875	S.M.A.W A.W.S.A.5.1	3515	4710
ASTM-A-285 grado C	2110	3875	A.5.5 E-60XX E-70XX	4710	5413
ASTM-A-515 grado 60	2250	4227	S.A.W A.W.S.A.5.	3515	4359 - 5624
ASTM-A-515 grado 65	2465	4579	A.5.23 E-6xEXXX E-7xEXXX	4218	4921 - 6679
ASTM-A-515 grado 70	2677	4931	G.M.A.W A.W.S.A.51B	4218	5062
ASTM-A-516 grado 60	2250	4227	E-70S-X E-70v-1	4218	5062
ASTM-A-516 grado 65	2465	4579	F.C.A.W A.W.S.A.S20	3515	4359
ASTM-A-516 grado 70	2677	4931	E-60T-X E-70T-X	4218	5062

#### 1.4 ESFUERZOS EN CILINDROS DE PAREDES DELGADAS

Para realizar los cálculos de esfuerzos en las paredes del cilindro, se considera al cilindro de pared delgada, como un trozo de tubería, el cual está sometido a presión interna.

Para este análisis se hacen las siguientes suposiciones:

- El material del cilindro es elástico y no plástico.
- No hay tensiones térmicas.
- No hay esfuerzo de flexión, solo hay esfuerzos debido a la presión interna.
- Se considera cilindros de pared delgada a los que el espesor de pared es menor o igual que  $1/10$  de su radio interior, es decir el espesor de la pared, dividido por su diámetro es menor de 0.1.

Sabemos que un depósito cilíndrico que contiene un fluido a una presión está sometido a fuerzas de tracción según sus secciones longitudinales y transversales y las paredes han de resistir estas fuerzas para evitar que revienten.

Para determinar el esfuerzo en una unión soldada, a tope longitudinal, el cilindro se considera dispuesto

como se muestra en la figura 1.1

La fuerza que tiende a separar las dos mitades del cilindro es:  $F = pDL$ ; donde  $D$  es el diámetro interno del cilindro,  $L$  la longitud del cilindro y  $p$  su presión interna.

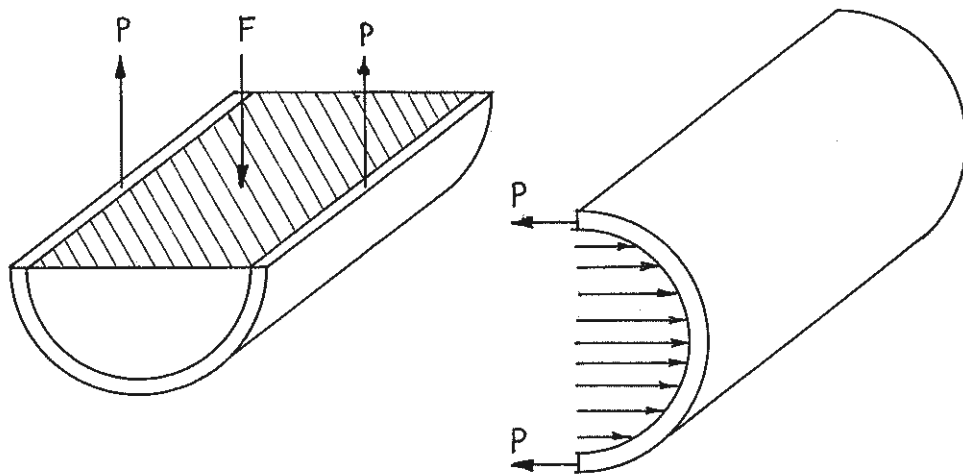


Fig. 1.1 Corte longitudinal del cilindro

A esta fuerza producto de la presión interna, se oponen las tensiones originadas en el material que forma el cilindro.

Estas fuerzas de tensión son:

$$P = \sigma \cdot t \cdot L \cdot 2 \quad (1)$$

entonces:



$$F = 2P \quad ( 2 )$$

$$pDL = 2 \cdot t \cdot L \cdot \sigma$$

$$PD = 2\sigma t$$

Por lo tanto el esfuerzo que soporta la sección longitudinal se lo obtiene despejando de la última ecuación:

$$\sigma = \frac{pD}{2t} \quad ( 3 ) \quad \text{esfuerzo longitudinal}$$

Para una soldadura circunferencial con penetración completa, consideramos el diagrama sólido aislado de una parte del depósito cilíndrico separada del resto por una sección transversal cualquiera, como se muestra en la siguiente figura 1.2.

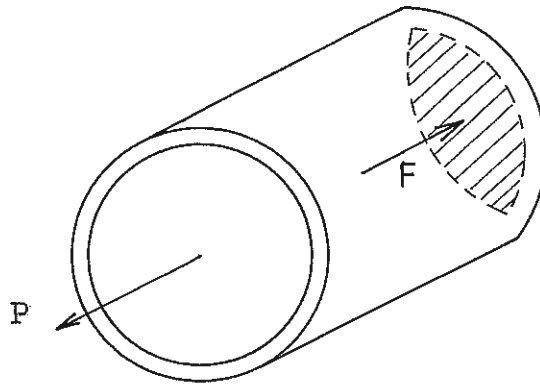


Fig. 1.2 Corte circunferencial del cilindro

La fuerza que tiende a abrir el cilindro es:

$$F = p \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \quad (4)$$

donde  $\frac{\pi D^2}{4}$  es el área del cilindro.

La fuerza  $p \left( \frac{\pi D^2}{4} \right)$  es soportada por el esfuerzo en la soldadura a tope circunferencial.

La fuerza resistente de la soldadura a tope es:

$$P = \pi D t \sigma \quad (5)$$

entonces:  $P = F$

$$\pi D t \sigma = p \pi D^2 / 4$$

$$\sigma = \frac{pD}{4t} \quad (6)$$

Ahora comparando (6) con (3) se observa que el esfuerzo circunferencial es la mitad del esfuerzo longitudinal, de este modo se puede afirmar que la soldadura longitudinal fallaría primero si la presión se elevara hasta alcanzar un valor de rotura.

Por lo tanto la presión interna admisible dependerá de la resistencia de las juntas longitudinales.

Para el diseño de recipientes a presión cilíndricos, no expuestos al fuego, el código de calderas no perm*ite*

te el uso de la fórmula:

$$S = \frac{pD}{2t}$$
 para el cálculo de los esfuerzos longitudinales.

Para utilizar esta fórmula se supone que las soldaduras longitudinales a tope realizadas en el recipiente son tan fuertes como la chapa misma.

Si en el proceso de soldeo las chapas se soldaran de ambos lados y se hiciera una inspección radiográfica en su totalidad, se podría considerar que la unión es tan fuerte como la chapa base, en otras palabras la eficiencia de la soldadura es del 100%.

Entonces para el cálculo del espesor debe considerarse este factor de resistencia de unión en la fórmula (3) así para uniones doblemente soldadas a tope y solo radiografiada una zona cada 15 metros, se debe tomar un valor del 85% de la eficiencia E de la unión, es decir que se considera la resistencia de esta unión solamente el 85% de la resistencia de la chapa base. Si carece de radiografía la eficiencia E tiene que ser 75% para soldadura a tope doble.

Las fórmulas que se utilizan para el diseño de recipientes a presión no sometidas al fuego recomendadas por el



código ASME son:

$$t = \frac{pR}{SE-0.6p} \quad \text{o} \quad p = \frac{SEt}{R + 0.6t} \quad (7)$$

$p$  = presión interna en lb/pul<sup>2</sup>.

$t$  = espesor de la chapa de la coraza.

$R$  = radio interno en pulgadas.

$S$  = esfuerzo permisible.

$E$  = eficiencia de las uniones soldadas.

$E = 1,0$  para radiografía completa.

$E = 0,85$  para radiografía por zona.

$E = 0,75$  en ausencia de radiografía.

Los recipientes cilíndricos a presión están provistos de dos tapas conformados. En el código ASME se encuentran algunos extremos o tapas normalizados con sus respectivas fórmulas para su diseño.

Para el uso de este diseño se utilizará un extremo hemisférico (ver figura 1.3), cuya fórmula es:

$$t = \frac{pR}{2SE - 0.2P} \quad (8)$$

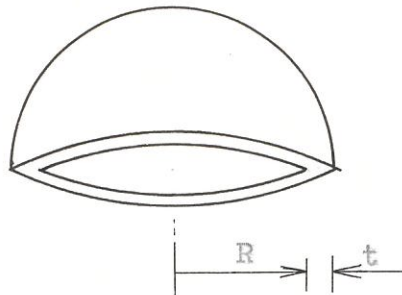


Fig. 1.3 Tapa hemisférica

### Factor de corrosión

Los aceros ordinarios son muy susceptibles a la corrosión es por esto, que para el diseño de un tanque a presión de acero ordinario, la corrosión es un factor muy importante que hay que - considerar.

Para asegurarse que el recipiente diseñado pueda trabajar eficientemente el tiempo estimado en el diseño (vida útil), se debe incrementar adecuadamente el espesor del material utilizando para esto el factor de corrosión:

$F.C = VC.VU$  donde

F.C = Factor de corrosión

V.C = Velocidad de corrosión

V.U = Vida útil

La velocidad de corrosión puede ser expresada de diferentes formas:

peso perdido .....	g o mg.
m.d.d .....	mg/dm. día
g.d.d .....	g/dm. día
g.c.h .....	g/cm. hora
g.i.h .....	g/p <sup>2</sup> g. hora
I.p.y .....	p <sup>2</sup> g/año
I.p.m .....	p <sup>2</sup> g/mes
m.p.y .....	mills. p <sup>2</sup> g/año

Las expresiones I.p.y, I.p.m y m.p.y; suministran la resistencia a la corrosión directamente en términos de penetración. Para mayor simplicidad se trata de normalizar el uso de m.p.y como velocidad de corrosión.

El valor de m.p.y, se lo puede obtener utilizando pruebas de laboratorio en las que se den condiciones ambientales similares que el sitio donde trabajará el material, con este

propósito se utilizará la siguiente ecuación:

$$m.p.y = \frac{534 W}{D.A.T} \quad ( 9 )$$

W = peso perdido, mg.

D = Densidad de la pieza, g/cm<sup>3</sup>

A = área de la pieza, plg.<sup>2</sup>

T = tiempo de exposición, horas

Para determinar la velocidad de corrosión para un tipo de material existen tablas en las que se encuentran estos valores de velocidad para diferentes tipos de atmósferas en las que puede estar, ya que la velocidad de corrosión para un determinado material varia de acuerdo a las atmósfera o medio donde se encuentra funcionando.

En la tabla IV, se encuentran valores de velocidad de corrosión (m.p.y) para el acero, zinc y cobre en diferentes tipos de atmósferas.

Una vez calculado el factor de corrosión, este se suma al espesor t calculado mediante las fórmulas correspondientes, esto es:

$$t = t + F.C \quad ( 10 )$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6p} + F.C \quad (\text{cilindro}) \quad (11)$$

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2p} + F.C \quad (\text{tapas}) \quad (12)$$

Obteniendo así un espesor final el cual asegura que el recipiente trabaje eficientemente durante el tiempo estimado en el diseño.





BIBLIOTECA

## T A B L A I V

## VELOCIDAD DE CORROSION (Ref. 2)

MEDIO	VELOCIDAD DE CORROSION (m.p.y)		
	ACERO	ZINC	COBRE
Atmósfera rural	-	0.0356	0.0226
Atmósfera marítima	0.530	0.0649	0.0517
Atmósfera indust.	0.274	0.2095	0.0468
Agua de mar	4.57	2.094	1.2917
Suelo	0.914	0.628	0.1130

## 1.5 CODIGOS Y REGULACIONES

En el diseño y la construcción de muchas estructuras - tales como: puentes, vehículos de transportación masiva, líneas de tuberías, edificios, tanques reservorios recipientes de presión, etc; está involucrada la seguridad de las personas y de la misma estructura.

Para reducir a un mínimo el peligro de que se produzca fallas que podrían ser catastróficas, se han establecido especificaciones normalizadas sobre la construcción de dichas estructuras.

Estas especificaciones, son llamadas códigos, normas, reglas y son escritos generalmente por organizaciones profesionales, grupos industriales o institutos gubernamentales o militares.

Existen algunos grupos u organizaciones que han escrito códigos, cada código trata específicamente sobre - el tema de interés.

Existen algunos códigos relacionados a la construcción soldada y entre las organizaciones que escriben dichos códigos se encuentran:

( A.W.S. ) = Sociedad Americana de soldadura

( A.S.M.E ) = Sociedad Americana de Ingenieros mecánicos.

Para el diseño y la construcción de tanques a presión se utiliza el código ASME, sección VIII.

El código ASME para calderas y recipientes a presión

Hace aproximadamente unos 90 años, no existían normas ni regulaciones para la construcción de calderas y recipientes de presión, por lo que eran muy comunes las explosiones de calderas y como consecuencias de ellas muchas vidas humanas se perdían, como en el caso que sucedió en 1905, en una fábrica de calzado de Brockton, Massachusetts, en la cual explotó una caldera matando a 58 personas y dejando muchos heridos; a raíz de esta catástrofe se acentuó más la necesidad de establecer una reglamentación sobre calderas de vapor.

Posteriormente algunos estados y ciudades realizaron códigos referentes a la construcción de calderas (por ese entonces remachadas).

Se presentó entonces una situación caótica, las

normas variaban de un estado a otro, de tal manera que era muy difícil construir recipientes de presión que puedan ser utilizados en un estado y aceptados por otro.

Finalmente se solicitó a la "Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos", que realizara las especificaciones normalizadoras para la construcción y mantenimiento de calderas y recipientes a presión.

Quedando de esta manera normalizadas dichas especificaciones, teniendo las mismas que ser revisadas cada tres años debido al acelerado progreso técnico y así estar siempre actualizado con los materiales y procesos de fabricación nuevos o - mejorados que se hayan realizado.

## CAPITULO II

### DISEÑO

#### 2.1 DEFINICION DEL PROBLEMA

Diseñar un recipiente de presión con acero ordinario (de  $40 \text{ m}^3$ ) para almacenar una mezcla de gas propano-butano.

#### 2.2 MODELO

El recipiente a diseñarse es de forma cilíndrica horizontal, cuyas tapas en sus extremos son de formas semiesféricas, teniendo el recipiente una capacidad de  $40 \text{ m}^3$ . Los datos son dados a continuación:

Capacidad =  $40 \text{ m}^3$

Dimensiones:

Longitud del cilindro = 7.32 mt.

Diámetro del cilindro = 2.33 mt.

Radio de la tapa = 1.165 mt.

Presión de operación: 100 psi.

## 2.3 SELECCION DE MATERIALES

De los materiales recomendados anteriormente (Tabla II) se seleccionará el acero ASTM-A283 grado C, que además de ser acero de fácil consecución en nuestro país, tiene excelentes propiedades mecánicas y además muy buena soldabilidad, la cual es una propiedad muy importante que hay que considerar cuando se realiza la selección de materiales para la construcción soldada de recipientes a presión.

A continuación se mostrarán las propiedades del acero seleccionado.

### Composición Química (Ref. 3)

ACERO ASTM	% C	% S	% P	% Cu*
A-283 gr "C"	0.2	0.05	0.05	0.2

\* Solo cuando se especifica el cobre.

### Propiedades Mecánicas

Esfuerzo a la tracción (Smax): 3867-4570 Kg/cm<sup>2</sup>

Punto de fluencia (Sy) :	2110 Kg/cm <sup>2</sup>
Elongación en 8 pulg. :	23%
Elongación en 2 pulg. :	27%

#### 2.4 SELECCION DEL PROCESO DE SOLDADURA

De los procesos clasificados anteriormente, hay que seleccionar el más adecuado tomando como parámetro, la versatilidad, facilidad de operación, transportabilidad para trabajos en campo, disponibilidad de material de aporte, gases protectores, etc. Se seleccionará por lo tanto para el presente trabajo los procesos de electrodo revestido y proceso semi-automático MAG, usando como gas protector CO<sub>2</sub>.

#### 2.5 SELECCION DE ELECTRODOS

Según la tabla III, para el caso de electrodo revestido, recomienda electrodos de la serie E-60xx o E-70xx.

A partir de la norma A.W.S.A-5-1-69 se especifica los materiales de aporte E-6010 (para soldadura de raíz) y E-7018 para acabado.

La tabla V resume propiedades mecánicas para electrodos revestidos seleccionados.

T A B L A V

PROPIEDADES MECANICAS DE LOS ELECTRODOS REVESTIDOS (Ref. 3)



BIBLIOTECA

CLASIFICACION A.W.S.	ESFUERZO A LA TRACCION (Kg/cm <sup>2</sup> )	PUNTO DE FLUENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	ELONGACION EN 50 mm. (%)
SERIE E - 60 XX			
E - 6010	4359	3515	22
E - 6011	4359	3515	22
E - 6012	4710	3867	17
E - 6020	4359	3515	25
E - 6027	4359	3515	25
E - 6013	4710	3867	17
SERIE E - 70 XX			
E - 7014	5062	4218	17
E - 7015	"	"	22
E - 7016	5062	4218	22
E - 7018	"	"	22
E - 7024	"	"	17
E - 7028	"	"	22



T A B L A VI

ESPECIFICACION DEL ELECTRODO RECOMENDADO GMAW (Ref.3)

CLASIFICACION AWS	GAS DE PROTECCION	CORRIENTE Y POLARIDAD	ESFUERZO A LA TRACCION (kg/cm <sup>2</sup> )	ELONGACION EN 2 PULGADAS (%)
ELECTRODO DE ACERO DULCE GRUPO A				
E 70S-1	AO*	DE		
E 70S-2				
E 70S-3	AO* y CO <sub>2</sub>	POLARIDAD		
E 70S-4				
E 70S-5	CO <sub>2</sub>	INVERTIDA	5062	22
E 70S-6				
E 70S-G	No especificado	No especificado		

\* AO = MEZCLA DE ARGON Y OXIGENO



En el caso del proceso MIG/MAG las recomendaciones de los electrodos a utilizar de acuerdo al A-W-S-18-69 - se encuentra en la tabla VI, donde se combina alambre de material de aporte con un gas protector para obtener propiedades mecánicas del orden de  $\sigma_t = 5000 \text{ kg/cm}^2$ .

De estos electrodos se seleccionará una combinación - de alambre tipo E-70S-6 que posee características - como desoxidante, para protegerse con gas  $\text{CO}_2$ .

## 2.6 CALCULO DE ESFUERZOS, FACTOR DE CORROSION

### Cálculo de espesor

Para realizar los cálculos de los espesores de las planchas utilizadas para la construcción del recipiente a presión, se deben tomar en cuenta los siguientes conceptos:

Presión de operación.- Es aquella que es requerida para un proceso determinado a la cual el recipiente trabaja.

Presión de diseño.- Es aquella que se usará - para calcular el espesor del cilindro, sus - tapas y sus partes, esta presión deberá ser - mayor con 30psi o con 10% adicional de la pre-

sión de operación, y se selecciona el valor mayor.

Esfuerzo permisible.- Estos están dados en las tablas del código ASME sección VIII, en función del material y temperatura de operación. En general el esfuerzo permisible para cualquier chapa de acero es aproximadamente la cuarta parte del esfuerzo de tracción.

### Cálculos

Datos:

Presión de operación = 100 psi = 7Kg/cm<sup>2</sup>

Presión de diseño (1) pi= 100 + 30 = 130 psi

Presión de diseño (2) pi= 100 + 0.1 (100)=110psi

Esfuerzo permisible =Sip=12700psi=895 kg/cm<sup>2</sup>

- Espesor del cilindro:

Usando la fórmula señalada anteriormente esto es:

$$t = \frac{Pi R}{SipE - 0.6pi}$$

donde:

$P_i$  = presión de diseño (interna)  
 $S_{ip}$  = esfuerzo permisible  
 $E$  = eficiencia de la unión soldada  
 $t$  = espesor de la plancha  
 $R$  = radio interno

Se obtiene:

Con  $p_i = 130\text{psi}$   $E = 0.75$   $R = 1.165\text{m} = 45.86\text{pg}$

$$t = \frac{130 \times 45.86}{12700 \times 0.75 - 0.6 \times 130} = 0.631 \text{ pulg} = 16\text{mm}$$

Con  $p_i = 110\text{psi}$

$$t = \frac{110 \times 45.86}{12700 \times 0.75 - 0.6 \times 110} = 0.533 \text{ pulg} = 13.5\text{mm}$$

Se escoge el mayor  $t = 16 \text{ mm}$

- Espesor de las tapas:

De la fórmula señalada anteriormente para las -  
tapas:

$$t = \frac{P_i R}{2 S_{ip} E - 0.2 P_i} \quad R = 1.154\text{m} = 45,86 \text{ pulg}$$

$$E = 0.75$$

Con  $p_i = 130 \text{ psi}$

$$t = 0.31 \text{ pulg} = 8\text{mm}$$

Con  $p_i = 110 \text{ psi}$

$$t = 0.265 \text{ pulg} = 6.7\text{mm}$$

Se escoge el mayor  $t = 8\text{mm}$

- Espesor de las planchas del cilindro (calculada) = 16mm

- Espesor de las planchas calculadas de las tapas = 8mm

A estos espesores hay que hacer un incremento extra para compensar el efecto de adelgazamiento de la chapa por la corrosión. Este incremento es el "Factor de corrosión".

$$F.C = V \cdot C \times VU \quad ( 13 )$$

La vida útil para este recipiente es de 20 años (VU de diseño). La velocidad de corrosión se la toma de la tabla IV para un medio de atmósfera marítima (para mayor seguridad) la cual tiene una velocidad de corrosión de 0.53 m,p,y así:



$$F C = 0.53 \cdot 10^{-3} \text{ pulg/año} \times 20 \text{ años}$$

$$F C = 0.0106 \text{ pulg} = 0.269\text{mm}$$

Para las planchas del cilindro:

$$t = t_0 + F C$$

$$t = 16\text{mm} + 0.269\text{mm} = 16,269\text{mm}$$

Para las planchas de las tapas:

$$t = 8\text{mm} + 0.269\text{mm} = 8,269\text{mm}$$

TABLA VII

## RESULTADO DE LOS ESPESORES

	Plancha del cilindro	Planchas de las tapas
t	16,00mm	8,00mm
F.C	0,269mm	0,269mm
t (total)	16,269mm	8,269mm

Para este diseño se utilizará el máximo espesor tanto para el cilindro como para las tapas.

Como en el comercio las láminas de acero ASTM-A283 no hay en espesor de 17mm, se usará un espesor de 18mm, aumentando así la seguridad del recipiente.

Esfuerzo en el recipiente montado sobre -  
dos soportes

- Masa del recipiente vacío:

Tomando en cuenta ya sea el número de planu

chas utilizadas o en base a las dimensiones del recipiente (ver modelo del recipiente) se obtiene una masa de:

Masa del recipiente vacío=25875lbs.(11761Kg)

- Masa de los gases:

Escogiendo la densidad relativa del butano que es la mayor (para mayor seguridad) se obtiene una masa de:

Masa de gases = 176155lbs (80070.4Kg)

- Masa total de recipiente (en llenado total):

$$Wt = 25875 + 176155 = 202030 \text{ lbs} \\ (91831.8 \text{ Kg})$$

- Cálculo de los esfuerzos:

Los recipientes montados sobre soportes es tán sujetos a:

- 1.- Esfuerzos de flexión longitudinal
- 2.- Esfuerzos de corte tangencial



### 3.- Esfuerzo circunferencial

Para proceder a realizar el cálculo de cada esfuerzo, se utilizarán ecuaciones ya establecidas basadas en las siguientes publicaciones: "Código ASME" y "Pressure Vessel - Handbook". Obtenidos los valores de esfuerzos mencionados anteriormente se verificarán si ellos cumplen con los requisitos necesarios para su buen funcionamiento los mismos que se los mencionarán en su respectivo momento.

Para obtener estos esfuerzos se asumiran las dimensiones y posiciones de los soportes de la manera mas óptima, las cuales se dan a continuación.

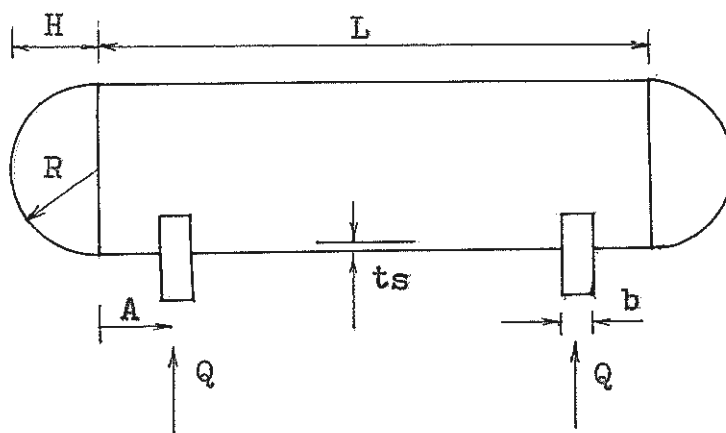


Fig. 2.1



BIBLIOTECA

$$A = 1 \text{ mt (39.3")}$$

$$b = 0.4 \text{ mt (15.7")}$$

$$L = 7.32 \text{ mt (288.1")}$$

$$P = 130 \text{ psi (P de diseño)}$$

$$R = H = 1.16 \text{ mt (45.8")}$$

$$t_s = 18 \text{ mm (0.7")}$$

$$\theta = 120^\circ$$

Material SA - 283 gr "C"

$$S_{ip} = 895 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (12700 psi)}$$

$$S_y = 2110 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (30000 psi)}$$

$$E = 0.75$$

$$Q = Wt/2 = 45916 \text{ Kg (101015 lb)}$$

Esfuerzo de flexión longitudinal

Esfuerzo en el soporte:

$$S_1 = \frac{Q \cdot A \left( 1 - \frac{A}{L} + \frac{R^2 - H^2}{2AL} \right)}{K_1 \cdot R^2 \cdot t_s} \quad (14)$$

$$= 2319.8 \text{ psi (163.4 Kg/Cm)}$$

$$K_1 = 0.335$$

Esfuerzo en el punto medio entre los soportes:

$$S_1^* = \frac{Q \cdot L/4 \left( \frac{1 + 2(R^2 - H^2)/L}{1 + 4H/3L} - \frac{4A}{L} \right)}{\pi \cdot R^2 \cdot t_s} \quad (15)$$

$$= 440.9 \text{ psi (31 Kg/Cm )}$$

La suma de  $S_1$  más el esfuerzo debido a la presión interna  $PR/2ts$  no debe exceder el valor del esfuerzo permisible del material multiplicado por la eficiencia de la junta.  
 $(\sigma_y \cdot E = 12700 \times 0.75 = 9525)$

$$P.R/2.ts = (130 \times 45.8)/(2 \times 0.7) = 4252 \text{ psi}$$

$$(230 \text{ Kg/Cm )}$$

Sumando:

$$440.9 + 4252 = 4693 \text{ psi (330.6 Kg/Cm )}$$

Si cumple la condición  $4693 \not> 9525$

Como el esfuerzo  $S_1$  no excede el valor del esfuerzo permisible del material, no es necesario anillos rigidizantes.

El esfuerzo de compresión no es un factor en recipientes de acero cuando  $t/R \geq 0.005$   
 $(0.7/45.8" = 0.0153)$  por lo tanto  $K = K_1$ .

#### Esfuerzo de corte tangencial

Como  $A > R/2$  ( $1mt > 0.58mt$ ) y no se usan ani-

llos, se aplica entonces la fórmula siguiente:

$$S_2 = \frac{K_2 \cdot Q}{R \cdot t_s} \times \left( \frac{L - 2A}{L + 4/3H} \right) \quad K_2 = 1.171 \quad (16)$$

$$S_2 = 2213.76 \text{ psi (156 Kg/Cm}^2\text{)}$$

S<sub>2</sub> no debe exceder 0.8 veces el valor del esfuerzo permisible del material del recipiente.

$$(0.8 \times S_{ip} = 0.8 \times 12700 = 10160)$$

Si cumple la condición  $2213.76 > 101160$

### Esfuerzo circunferencial

Esfuerzo en el asta del soporte (S<sub>4</sub>):

Como L (7.32mt)    8R    (9.32mt)

la fórmula aplicable es:

$$S_4 = \frac{Q}{4x t_s (b + 1.56x \sqrt{R x t_s})} = \frac{12x K_6 x Q x R}{L x t_s^2} \quad (17)$$

donde  $K_6 = 0.04$

$$S_4 = - 14260.3 \text{ psi (1004.7 Kg/Cm}^2\text{)}$$

S4 no debe exceder 1.5 veces el valor del esfuerzo de tensión permisible del material  
( $1.5 \times S_{ip} = 1.5 \times 12700 = 19050$  psi)

Si cumple la condición  $14260.3 \not> 19050$

Esfuerzo en la base del cilindro (S5)

$$S5 = - \frac{K7 \times Q}{ts(b + 1.56\sqrt{Rxts})} \quad K7 = 0.76 \quad (18)$$

$$S5 = 4470 \text{ psi (314.9 Kg/Cm}^2\text{)}$$

S5 no debe exceder 0.5 veces el punto de fluencia a la compresión del material.  
( $0.5 \times 30000 = 15000$ )

Si cumple la condición  $4470 \not> 15000$

Como todos los requisitos se cumplen, la posición y dimensiones dadas originalmente funcionarán adecuadamente.

## 2.7 PLANOS Y ESPECIFICACIONES

Especificaciones generales para el procedimiento de soldadura



El procedimiento de soldadura a realizar será aquel que producirá soldaduras de calidad aceptable. El procedimiento que se indicará será el recomendado pero puede ser necesario hacer ajustes durante su calificación para hacer soldaduras satisfactorias. El procedimiento de soldadura que se indicará será para el proceso de soldadura semi-automática M.A.G, ya que con el proceso de electrodo revestido se realizarán solamente soldaduras de accesorios.

Las especificaciones generales para el procedimiento de soldadura M.A.G son:

- 1.- Generalidades.- La especificación es para ser usadas para las reglas de soldadura vigentes.
- 2.- Referencia.- Código ASME, sección IX norma de calificación de los procedimientos de soldadura y de los soldadores.
- 3.- Material Base.- El material que se utilizará para la construcción del tanque a presión será de láminas de acero al carbono, calidad ASTM - A - 283 gr. "C".

- 4.- Preparación de juntas del metal base.- La preparación de los bordes y biseles pueden ser realizados en el taller por corte, esmerilado, oxicorte, arco-aire o cinzelado, - limpias de grasas, óxido o rebabas.
- 5.- Distancia entre láminas.- Será especificada en los formatos de procedimiento (Holguera "g")
- 6.- Apariencia de los cordones.- Tanto el flujo de la soldadura como la manera de depositar el metal será de tal forma que prácticamente no existen cortes en los empalmes terminados.
- 7.- Características de la corriente.- La intensidad de la corriente será especificada en el formato de procedimiento.
- 8.- Diseño de junta.- En el formato se especificará un dibujo para cada tipo de junta, - señalándose todas las medidas y detalles.

A continuación se presentan los formatos que corresponden al diseño de procedimiento de soldadura para el recipiente de presión de 40 m<sup>3</sup>.

PROCEDIMIENTO RECOMENDADO

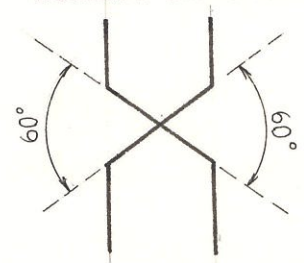
Zona a ser soldada: Cilindro del recipiente a presión

Especif. Metal base: Acero -A-283 gr C

GAS: CO<sub>2</sub>; pureza 99,7%; Humedad 0%

Proceso de soldadura: Soldadura de arco metálico con gas protector (MAG)



POSICION: 2G (Horizontal) SOLDADO DESDE: 2 LADOS		DISEÑO DE JUNTA
		
	DATOS	VALORES
1	Espesor de plancha (mm)	18
2	Número de pases	4
3	Clase de electrodo	E-70S-6
4	Diámetro del electrodo; (mm)	1.6
5	Corriente (Amp);C.C.(+)	300
6	Voltage (Volts)	28-33
7	Velocidad de alimenta- ción del alambre(M/min)	5.27
8	Flujo de gas (M <sup>3</sup> /h)	0.9
9	Velocidad de arco(s); $\frac{\text{mm}}{\text{seg}}$	25
10	Longitud de la junta;mt	22
11	Holgura (g); (mm)	-0-
12	Kg.de metal soldado/mt	0.828
13	Kg.electrodo requerido	18.2
14	Tiempo de soldeo;hr/mt	0.1656
15	Tiempo total; horas	3.64
16	Consumo de GAS: M <sup>3</sup>	3.27



PROCEDIMIENTO RECOMENDADO

57

Zona a ser soldada: Cilindro del recipiente a presión

Especif. Metal Base: Acero -A-283 gr C

GAS: CO<sub>2</sub>; pureza 99.7%; Humedad 0%

Proceso de soldadura: Soldadura de arco metálico con gas protector. (MAG)



POSICION: 3G (VERTICAL) SOLDADO DESDE: 2 LADOS		DISEÑO DE JUNTA
	DATOS	VALORES
1	Espesor de plancha (mm)	18
2	Número de pases	4
3	Clase de electrodo	E-70S-6
4	Diámetro del electrodo (mm)	1.6
5	Corriente (Amp); C.C(+)	300
6	Voltage (Volts)	30-33
7	Velocidad de alimentación del alambre (M/min)	5.27
8	Flujo de gas (M <sup>3</sup> /h)	0.9
9	Velocidad del Arco(s) $\frac{mm}{seg}$	25
10	Longitud de la junta;(M)	36.6
11	Holgura (g); (mm)	-0-
12	Kg.de metal soldado/mt	0.828
13	Kg.electrodo requerido	30.3
14	Tiempo de soldeo;hr/mt	0.1656
15	Tiempo total; horas	6.04
16	Consumo de GAS: M <sup>3</sup>	5.45

PROCEDIMIENTO RECOMENDADO



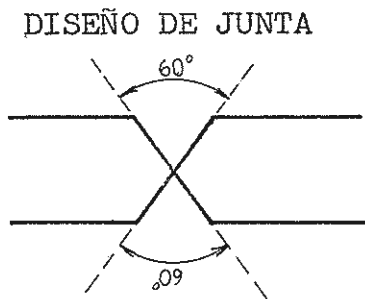
Zona a ser soldada: Tapas del recipiente a presión

Especif. Metal base: Acero -A-283 gr C

GAS: CO<sub>2</sub>; pureza 99,7%; Humedad 0%

Proceso de soldadura: de arco metálico con gas protector (MAG)

SOLDADO DESDE: 2 LADOS (sectores y casquetes)		DISEÑO DE JUNTA
	DATOS	VALORES
1	Espesor de plancha (mm)	18
2	Número de pases	4
3	Clase de electrodo	E-70S-6
4	Diámetro del electrodo; (mm)	1.6
5	Corriente; (Amp)C.C.(+)	300
6	Voltage; (Volts)	27-33
7	Velocidad de alimenta- ción del alambre (M/min)	5.27
8	Flujo de gas; (M <sup>3</sup> /h)	0.9
9	Velocidad de arco(s); $\frac{mm}{seg}$	7
10	Longitud de la junta; mt	23.64*
11	Holgura (g); (mm)	-0-
12	Kg.de metal soldado/mt	0.828
13	Kg.electrodo requerido	19.53
14	Tiempo de soldado; hr/mt	0.1656
15	Tiempo total; (horas)	3.91
16	Consumo de GAS: M <sup>3</sup>	3.52



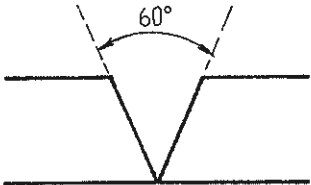
Zona a ser soldada: Unión de la tapa al cilindro

Especif. Metal base: Acero -A-283 gr C

GAS: CO<sub>2</sub>; pureza 99,7%; Humedad 0%

Proceso de soldadura: de arco metálico con gas protector. (MAG)



POSICION: 3G (VERTICAL) SOLDADA DESDE: 2 LADOS		DISEÑO DE JUNTA 
	DATOS	VALORES
1	Espesor de plancha (mm)	18
2	Número de pases	4
3	Clase de electrodo	E-70S-6
4	Diámetro del electrodo (mm)	1.6
5	Corriente(Amp);C.C.(+)	305
6	Voltage, (Volts)	27 - 33
7	Velocidad de alimentación del alambre(M/min)	5.27
8	Flujo de gas, (M <sup>3</sup> /h)	0.9
9	Velocidad del Arco (s), mm/seg	7
10	Longitud de la junta;(M) (2πD)	14.6
11	Holgura (g); mm	0
12	Kg.de metal soldado/mt	1.77
13	Kg.electrodo requerido	25
14	Tiempo de soldeo;hora/mt	0.354
15	Tiempo total; horas	5.16
16	Consumo de GAS; M <sup>3</sup>	4.64

## HOJA DE NOTAS



- Nº 1.- Obtenido mediante el cálculo de espesor.
- Nº 2.- Número de pases obtenidos a partir del valor del área de la sección transversal de la soldadura.
- Nº 4.- Obtenido de la tabla VIII.
- Nº 5.- Igual que Nº 4.
- Nº 6.- Igual que Nº 4.
- Nº 7.- Obtenida a partir de la guía de soldadura IK - Autrod 12.51.
- Nº 8.- Igual que Nº 4.-
- Nº 9.- Obtenido a partir de las tablas del libro "Técnicas y práctica de la soldadura y experimental".
- Nº 10.- Medida en los planos a escala (Fig.2.3, 2.5 y 2.6)
- Nº 11.- Diseño de la junta.
- Nº 12.- Obtenida geoméricamente, de acuerdo a la sección transversal del cordón de soldadura.
- Nº 13.- Consumo total utilizando para el análisis económico.
- Nº 14.- Tiempo de soldeo obtenido a partir del área del - electrodo, razón de deposición y densidad del - acero.
- Nº 15.- Tiempo total del carco, válido para realizar el - análisis de mano de obra calificada.
- Nº 16.- Consumo total del gas, necesario para el análisis económico.

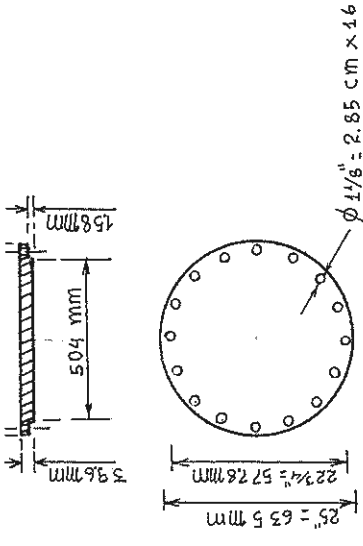
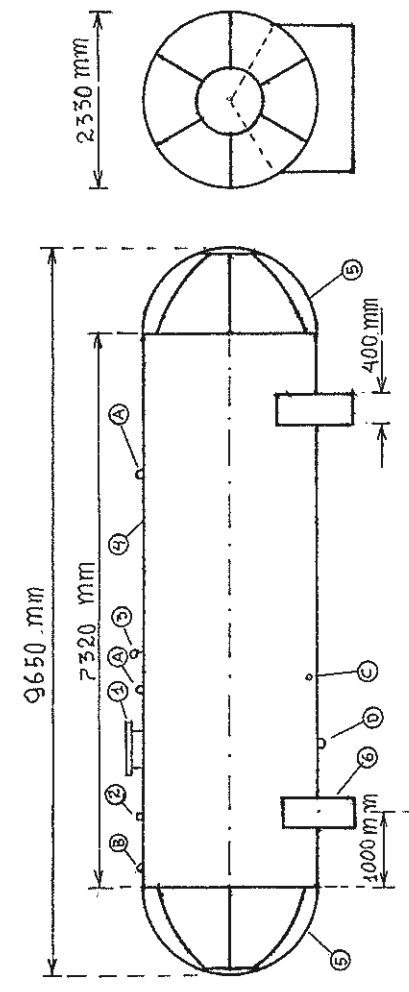


BIBLIOTECA

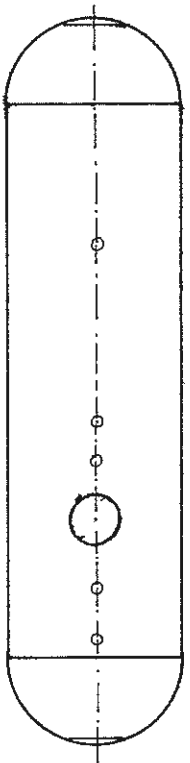
T A B L A No. V I I I

RELACION ENTRE CORRIENTE, VOLTAJE Y CONSUMO DE GAS (Ref.3)

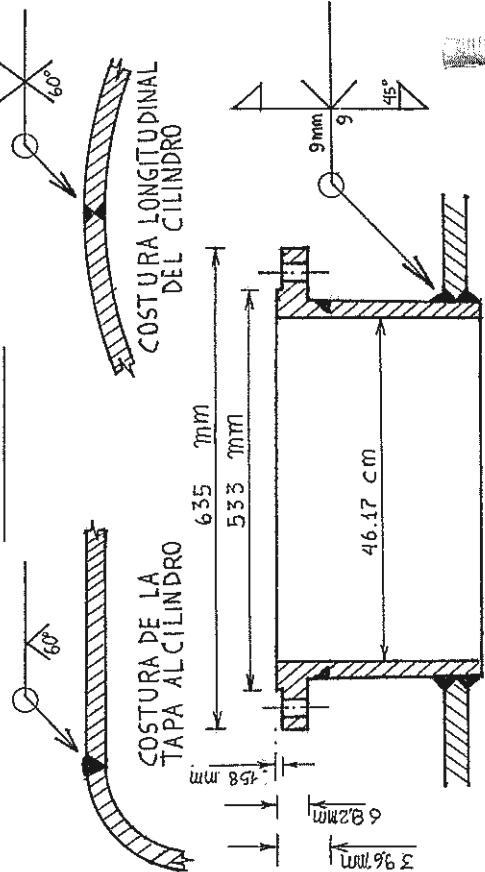
ESPEJOR DEL METAL BASE EN mm	DIAMETRO DEL HILO EN mm	INTENSIDAD DE CORRIENTE (Amp)	TENSION DE VOLTAJE (Volts)	CONSUMO DE CO <sub>2</sub> M <sup>3</sup> /hora
2-5	0.8-1	105-185	21-27	0,8 - 0,9
6-12	1,2	155-205	25-31	
12-20	1,2 - 1,6	175-305	27-33	
20	1,6 - 2,4	305-452	31-34	



TAPA DE LA ENTRADA HOMBRE  
ESCALA 1:25

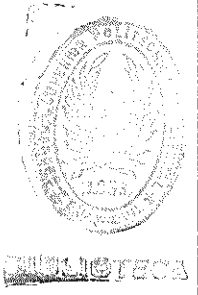


ESCALA 1:100

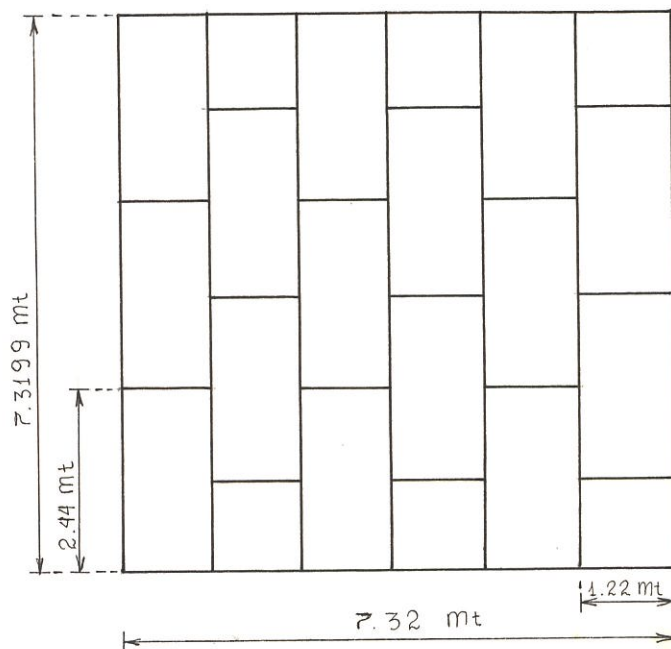


ENTRADA HOMBRE (1)  
ESCALA 1:10

A	VALVULAS DE SEGURIDAD (DE ALIVIO)
	$\phi = 1\frac{1}{4}'' = 31.75\text{mm}$ ; $L = 280.9\text{mm}$ ; SERIE 8685CG
B	VALVULA DE LLENADO $\phi = 2'' = 50.8\text{mm}$
	$L = 4\frac{1}{2}'' = 111.16\text{mm}$ ; $191\text{m}^3/\text{hr}$ ; SERIE 3187
C	VALVULA DE PURGA $\phi = 1\frac{1}{4}'' = 31.75\text{mm}$
	$L = 1\frac{1}{2}'' = 38.1\text{mm}$ ; SERIE 7580 C
D	VALVULA DE DESCARGA $\phi = 2'' = 50.8\text{mm}$
1	ENTRADA-HOMBRE $\phi = 461.7\text{cm}$
	$\phi$ NOMINAL = $18'' = 457\text{cm}$
2	MANOMETRO
	0 - 200 psi; 0-141 kg/cm <sup>2</sup>
3	TERMOMETRO
	ESCALA 0-150 °C
4	CILINDRO
	PLANCHAS DE 18x122x244cm SA-283grC
5	TAPAS
	$\phi = 233\text{cm}$ -SEMIESFERICAS SA-283gr C
6	SOPORTES

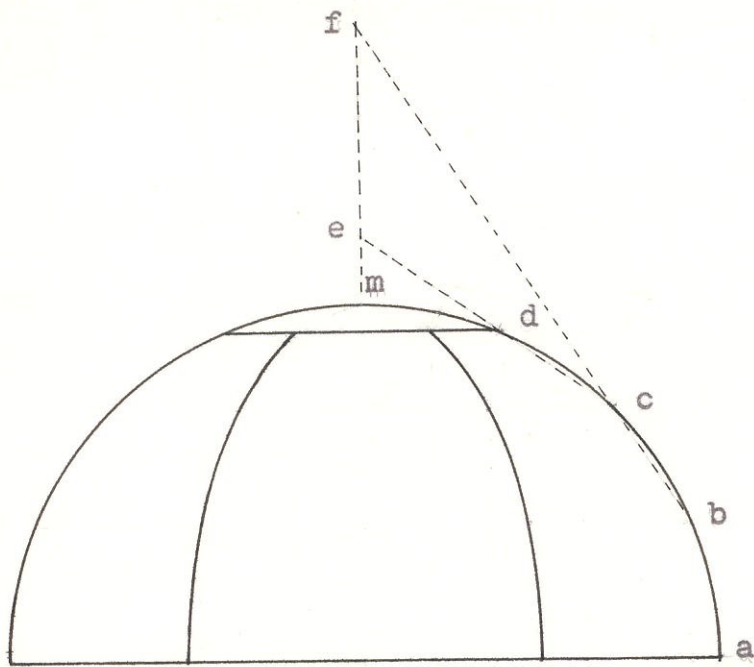


## DESARROLLO DEL CILINDRO

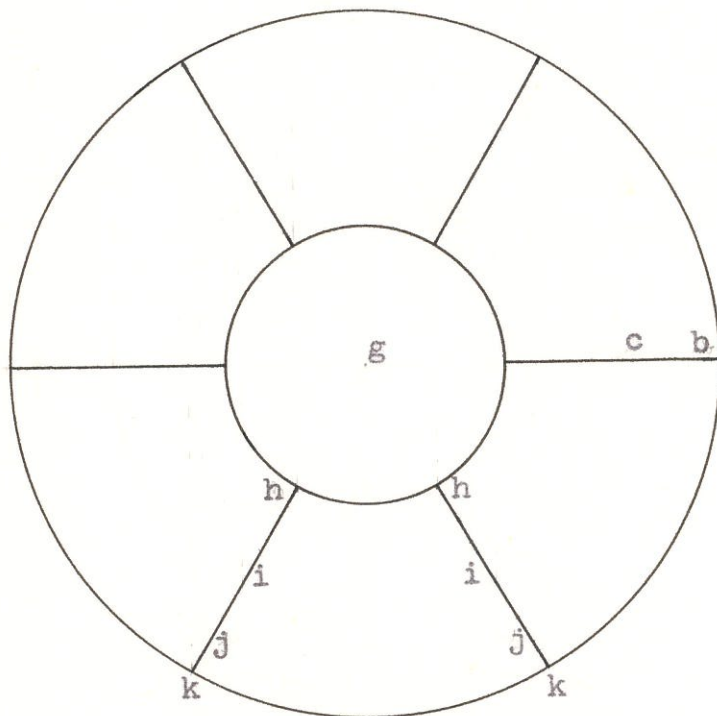
CILINDRO:  $L = 7.32$  mtDiámetro  $D = 2.33$  mtPLANCHA :  $L = 2.44$  mtAncho  $W = 1.22$  mtDESARROLLO:  $PI \times D = 7.3199$ 

LISTA DE MATERIALES
18 Planchas de 1.22 x 2.44 mt x 18mm

Fig. 2.3 Desarrollo del cilindro



VISTA DE ALZADO



VISTA DE PLANTA

Fig. 2.4 Trazado de las tapas



## DESARROLLO DE UN SECTOR DE LA TAPA

Se requieren 6 sectores por tapa

Cuerda H-K = 1,5 mt

Cuerda K-K = 1,25 mt

Cuerda H-H = 0,47 mt

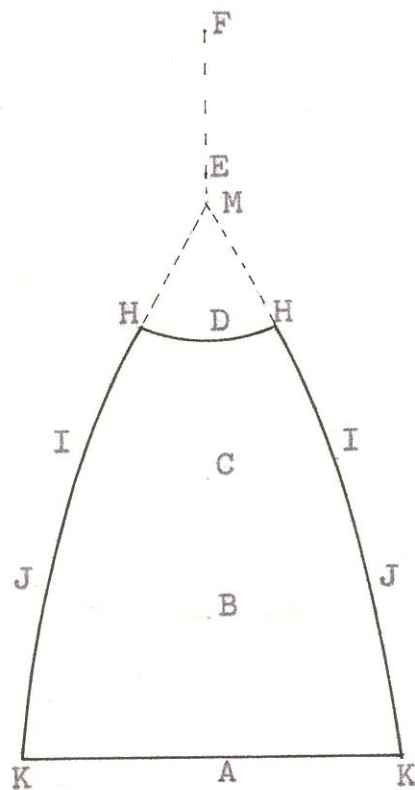
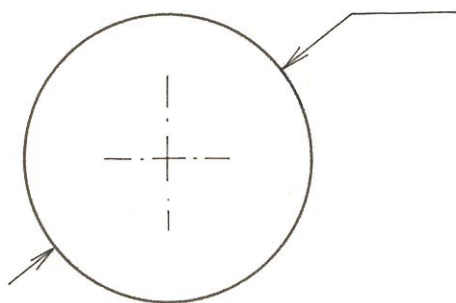


Fig. 2.5 Desarrollo de un sector de la tapa



CASQUETE



DESARROLLO

 $D=1,0 \text{ mt}$ 

## LISTA DE MATERIALES

3 planchas de 1.83x6.1mtx18mm

De las cuáles se obtienen 12 sectores y 2 casquetes.

Fig. 2.6 Desarrollo del casquete de la semiesfera

## CAPITULO III

### PROCESO DE FABRICACION

#### 3.1 RECEPCION DE MATERIALES

Se efectuará la compra completa de los materiales necesarios para la construcción del recipiente a presión realizando esta operación en el menor tiempo posible.

La recepción del material comprende, la revisión del estado superficial del material, observar que esté exento de laminaciones y realizar las mediciones de espesores y longitudes.

Para estar seguro de que el material seleccionado cumpla con las características técnicas esperadas, se deberá pedir la certificación de fabricación del material que se ha comprado.

#### 3.2 PERSONAL

Para que la ejecución del trabajo sea normal y evitar pérdidas de tiempo las cuales son muy costosas, se debe realizar una adecuada planificación de todo el

trabajo a efectuarse.

La planificación se inicia realizando un cronograma de actividades en el cual se especifica todos los trabajos que se van a realizar, y los valores de tiempos de fabricación de cada actividad como se muestra en la figura 3.1.

La selección de la mano de obra es un factor muy importante en la construcción del recipiente a presión debido a que tiene una influencia directa en el costo total de la fabricación.

El personal se lo ha clasificado de acuerdo a sus habilidades y experiencia, así tenemos: maestro armador, soldador de primera, soldador de segunda, ayudante de soldador, cortador y auxiliares.

Para el presente trabajo y de acuerdo al cronograma de actividades se han seleccionado 4 grupos de trabajo los cuales realizarán las siguientes actividades:

Grupo # 1:

Está formado por cuatro hombres, efectuarán el transporte de los materiales.

## CRONOGRAMA DE FABRICACION

Nº	ACTIVIDAD	TIEMPO EN SEMANAS							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	COMPRA	⊗							
2	PREFABRICACION DEL CILINDRO		•••••	•••••					
3	PREFABRICACION DE LAS TAPAS		•••••	•••••					
4	ACCESORIOS								
	COMPUERTA DE ENTRADA - HOMBRE								
	VALVULA DE CARGA								
	VALVULA DE DESCARGA								
	VALVULA DE ALIVIO MANOMETRO Y TERMOMETRO								
5	MONTAJE DEL CILINDRO								
6	MONTAJE DE LAS TAPAS								
7	MONTAJE DE ACCESORIOS								
8	SOLDEO								
9	PREPARACION DE LOS SOPORTES								
10	PRUEBAS						⊗	⊗	⊗



BIBLIOTECA

Fig. 3.1 Cronograma de fabricación



GRUPO N° 1



GRUPO N° 3



GRUPO N° 2



GRUPO N° 4

#### Grupo # 2:

Formado por cuatro hombres (un maestro armador, un cortador y tres auxiliares), efectuarán la preparación o prefabricación del cilindro y tapas del recipiente a - presión.

#### Grupo # 3:

Está formado de un maestro armador, un soldador, dos - auxiliares y un oficial, efectuarán el montaje del recipiente y preparación de sus accesorios.

#### Grupo # 4:

Formado por un soldador de primera, un ayudante de soldador y dos oficiales, efectuarán la preparación y soldeo del recipiente.

Además de los grupos mencionados, se debe contar con - los servicios de un ingeniero residente el cual controlará que los trabajos se efectuen de acuerdo a los planos de diseño y cronograma de actividades.

### 3.3 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Se debe realizar una adecuada selección de los equipos

a utilizar para la fabricación del recipiente a presión.

Para la preparación de este recipiente a presión se ha seleccionado la siguiente lista de equipos y herramientas.

- Roladora de plancha:

Se utilizará una curvadora de planchas que sea capaz de rolar planchas de 5 pies de ancho en 18 mm.

La roladora que se utilizará tendrá rodillos tipo pirámide ajustable para que además de curvar las planchas pueda dar la forma adecuada a los extremos de la misma.

- Máquina de soldar:

Para la prefabricación del recipiente no se necesitará grandes regímenes de deposición de soldadura, por lo tanto se recomienda la utilización de dos máquinas para soldadura de electrodo revestido (transformador-rectificador), cuyas características técnicas sean las siguientes: Voltaje 220/440; amperaje: 300 Amp. fase  $\phi 3$ .

En el caso del montaje en donde si se necesitan grandes regímenes de deposición se utilizarán tres moto-

soldadoras para el proceso MAG. de 400 Amp.

- Equipo de arenamiento:

En la preparación de la superficie del recipiente para que puedan ser pintadas se utilizará un equipo de arenamiento por alimentación de arena a presión.

- Equipo de oxicorte:

Para efectuar los cortes de las planchas de las tapas y accesorios se utilizarán equipos de oxipropano, los cuales están formados de: cilindros de oxígeno, gas propano, juego de mangueras, dúplex, cortador y boquilla de cortes, seleccionada apropiadamente.

- Biselador:

Se utilizará un cortador semi automático que tiene un mecanismo para efectuar cortes angulares y así poder realizar la preparación de las juntas de soldadura.

- Equipo de pintura:

Se utilizará el equipo de pintura a soplete para obtener un mayor rendimiento de la pintura y un mejor acabado, se utilizará un compresor de aire de 3 HP.





- Herramientaje de taller:

BIBLIOTECA

En el taller se debe tener: un puente grúa de unas 10 toneladas de capacidad, herramientas eléctricas: como amoladoras cepillos circulares, esmeriles, taladros y finalmente todo el herramentaje y utensilios de calderería en general como son: martillos de diferentes formas, escuadras, niveles, juegos de llaves, etc.

### 3.4 CONFORMADO DE PARTES

#### Preparación del cilindro

La preparación o la prefabricación del cilindro comprende el curvado de todas las planchas que forman el cilindro del recipiente, para esto se debe efectuar lo siguiente:

Se debe comprobar que las planchas tengan una forma rectangular, con el respectivo paralelismo entre los lados opuestos, en caso de que el material no esté cuadrado, se deben efectuar los cortes correspondientes para corregir el defecto.

Realizar la preparación del bisel correspondiente a cada plancha dependiendo del diseño de jun

ta.

Se preparará una plantilla de radio a la curvatura del cilindro la cual servirá para comprobar si la curvatura que se dará a las planchas en la roladora es la adecuada.

Finalmente el curvado de las planchas es efectuado por una roladora en donde se efectuarán, el número de pases del material hasta que se obtenga la curvatura deseada, para obtener el curvado de las planchas se gradúa el desplazamiento de los rodillos de la roladora hasta obtener que toda la longitud de la plancha tenga la misma curvatura.

El número de planchas que se rolarán para el cilindro de este recipiente será: de 18 planchas de 1.22 x 2.44 mts.x 18mm.

#### Preparación de las tapas

Cada tapa del recipiente (Semiesférica) está formada de 6 sectores y un casquete. La prefabricación de las tapas comprende el curvado de dichos sectores y casquetes, para esto se debe realizar lo siguiente:

Se debe realizar el desarrollo de los sectores y casquetes en plano como se muestra en la figura 2.5 y 2.6.

Realizado el desarrollo se hace una plantilla del sector y del casquete para efectuar los cortes - de dichas partes en las planchas de la manera más óptima logrando de este modo el menor desperdicio del material.

Se prepara una plantilla de radio de curvatura - de la semiesfera la cual servirá para comprobar si la curvatura que se da a los sectores en la roladora es la adecuada.

El curvado de los sectores es efectuado por una roladora, en donde se efectuará el número de - pases del material hasta que se obtenga la curvatura deseada.

Los dos casquetes se van obteniendo mediante - prensado, para lo cual se fabrica un punzón de la forma del casquete con un diámetro de curvatura un poco menor que la del diámetro real del casquete.

Para obtener las dos tapas semiesféricas se util

lizarán 3 planchas de 1.83 x 6.1 mts. x 18mm.

### Preparación de los soportes

Los soportes serán construídos de hormigón armado utilizando para esto un hormigón de resistencia, a la compresión  $f'_c = 210 \text{ Kg/Cm}^2$ , las dimen

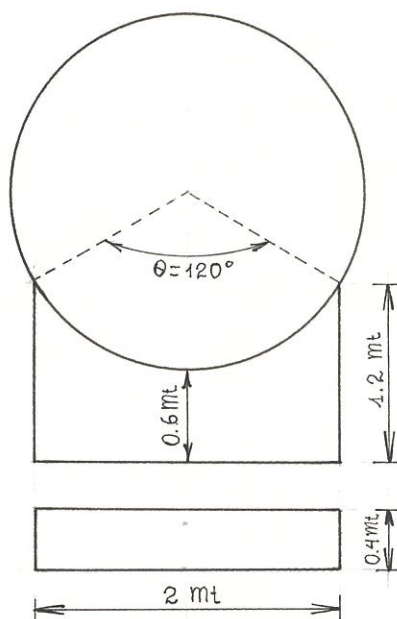


Fig. 3.2 Dimensiones del soporte

siones del soporte están dadas en la figura 3.2 las mismas que fueron dadas anteriormente en el diseño pero sin considerar su altura, las cuales son: la altura en los extremos del soporte es 1.2 metros y desde el fondo del recipiente - al piso, 0.6 metros.

La presión que ejerce cada soporte al piso se -

la obtiene de la siguiente manera:

$$Q = 45916 \text{ Kg.}$$

$$P = \frac{Q}{A} \quad \text{donde } A = 200 \text{ Cm} \times 40 \text{ Cm} \quad (\text{área transversal del soporte})$$

$$P = \frac{45916 \text{ Kg}}{200 \times 40} = 5.74 \text{ Kg/Cm}^2$$

Por lo tanto la presión mínima a la comprensión que debe tener el piso donde se asienta el soporte es de 5.74 Kg/Cm<sup>2</sup>.

### 3.5 ENSAMBLAJE

Una vez realizada la preparación de todas las partes que conforman el recipiente, se procede al montaje de cada una de ellas, en el montaje se ensambla cada parte dándoles la forma final del recipiente uniéndolos mediante puntos de soldadura.

Concluido el proceso de montaje se procede a efectuar el soldeo total del recipiente mediante el procedimiento de soldadura recomendado en el diseño.

Si fuese necesario para evitar que el material se deforme a lo largo de las juntas circunferenciales en -

el soldeo del cilindro se usarán platinas de respaldo en el interior del cilindro, las cuales serán presionadas a lo largo de las mencionadas juntas ayudadas - mediante el uso de templadores.

### 3.6 PRUEBAS

Una vez terminado el montaje del recipiente se realiza la prueba con el propósito de controlar la calidad del mencionado recipiente construido con sus accesorios, - se recomienda hacer una prueba hidrostática a una presión de 1.5 veces de la presión de diseño, ensayo que deberá efectuarse después del alivio de tensiones en - las uniones soldadas y antes de proceder a la aplicación de la pintura final. El ingeniero residente de - la obra y el fiscalizador efectuarán una minuciosa inspección de los cordones de soldadura utilizando el método de inspección visual.

El tiempo de duración de este ensayo deberá ser mayor de una hora o el tiempo que sea necesario para hacer una inspección exhaustiva de posibles fugas de líquido.

### 3.7 ENTREGA

Finalmente la entrega del recipiente a presión será - efectuada mediante la firma de un documento llamado -

acta de entrega-recepción. En la cual se especificarán todas las anotaciones realizadas en las pruebas hidrostáticas y radiografía.

En el caso de que se hayan encontrado defectos, deben detallarse estos con sus respectivas reparaciones.

Con la firma de este documento queda concluido la construcción del recipiente a presión.

## CAPITULO IV

### ANALISIS ECONOMICO

El presente capítulo comprende la revisión detallada de - cada actividad relacionada con la construcción y el montaje del recipiente a presión de 40 m<sup>3</sup>.

Del análisis del cronograma de actividades presentado en el capítulo anterior (Proceso de Fabricación) se obtienen diferentes rubros los cuales tienen una relación directa con el costo total del tanque siendo estas:

#### - Materiales directos:

Pertenecen todos los materiales que forman el recipiente por ejemplo las planchas de acero, pinturas, etc.

#### - Materiales indirectos:

Pertenecen todos los materiales necesarios para la ejecución de la obra, por ejemplo: oxígeno, gases, electrodo de soldadura, etc.

#### - Mano de obra:





BIBLIOTECA

Son todos los costos del personal necesario para la ejecución de la obra.

- Uso de equipo y herramientas:

Son los costos de utilización de equipos y herramientas.

- Transporte:

En este grupo pertenecen todos los costos del traslado de los materiales.

- Dirección Técnica:

Corresponden todos los costos destinados a pagar los servicios profesionales, por ejemplo: Ingeniero residente de la obra, Ingeniero Calculista, etc.

- Gastos Administrativos:

Corresponde los costos destinados a financiar los gastos de operación de las empresas constructoras.

- Imprevistos:

Es recomendable tomar en cuenta un valor adicional para poder proteger a la empresa constructora en el caso que

se presente algún imprevisto, por ejemplo: subida del costo de los materiales, reposición de material por pérdidas o robos, etc.

- Utilidades:

Comprende el beneficio económico de la empresa constructo-  
ra.

A continuación se mostrarán los detalles de precios de los rubros ya mencionados.



BIBLIOTECA

## A.- MATERIALES DIRECTOS

CANTIDAD	DENOMINACION	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
18	Planchas de 1.22m x 2.44m x 18mm Acero A-283	206.104,00	3'709.872,00
3	Planchas de 1.82m x 6.10m x 18mm Acero A-283	772.892,00	2'318.677,00
SUB TOTAL A =			6'028.549,00



BIBLIOTECA

## B.- MATERIALES INDIRECTOS

CANTIDAD	UNIDAD	DENOMINACION	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
100	Kg	Soldadura E-70S-6	1.800,00	180.000,00
10	Kg	Soldadura E6010	1.200,00	12.000,00
10	Kg	Soldadura E7018	1.800,00	18.000,00
5	Cargas	Oxígeno	3.500,00	17.500,00
3	Cargas	C O <sub>2</sub> (8 m <sup>3</sup> )	8.800,00	26.400,00
1	Carga	Propano (15Kg)	800,00	800,00
10	Discos	Abrasión Ø 175mm x 6mm	2.500,00	25.000,00
10	Discos	Corte Ø 175mm x 3mm	2.000,00	20.000,00
6	Pares	Guantes para soldar	2.000,00	12.000,00
10	Pares	Guantes para maniobra	1.800,00	18.000,00
5		Mascarillas para soldar	5.000,00	25.000,00
SUB TOTAL B =				354.700,00



C.- MANO DE OBRA

CANTIDAD	ESPECIALIDAD	TIEMPO ESTIMADO DE TRABAJO (DIAS)	SALARIO DIARIO	TOTAL
1	Maestro armador	30	6.000,00	180.000,00
1	Soldador de pri mera.	6	5.000,00	30.000,00
1	Cortador	12	3.000,00	36.000,00
1	Soldador de se- gunda	18	3.500,00	63.000,00
1	Ayudante de sol dador	6	2.500,00	15.000,00
3	Auxiliares	12	2.200,00	26.400,00
2	Auxiliares	24	2.200,00	52.800,00
1	Oficial	18	2.000,00	36.000,00
2	Oficial	6	2.000,00	12.000,00
SUB TOTAL C =				451.200,00

## D.- USO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

CANTIDAD	DENOMINACION	DIAS DE TRABAJO	COSTO DIARIO	COSTO TOTAL
1	Roladora	(12)	50.000,00	600.000,00
2	Equipo de soldar (G.M.A.W.)	( 7)	16.000,00	112.000,00
2	Soldador (S.M.A.W)	(18)	12.000,00	216.000,00
1	Equipo de Corte	( 9)	12.000,00	108.000,00
1	Equipo de Arena- miento	( 6)	24.000,00	144.000,00
1	Compresor de aire para pintar	(12)	8.000,00	96.000,00
1	Amoladora	( 6)	4.000,00	24.000,00
1	Biselador	( 6)	8.000,00	48.000,00
1	Taladro de pedes- tal	( 3)	12.000,00	36.000,00
1	Montecarga de 10 toneladas	( 2)	20.000,00	40.000,00
1	Sistema elevador Tecte de 3 tonel.	(10)	7.200,00	72.000,00
1	Herramientaje manual	(24)	8.000,00	192.000,00
1	Prensa	( 6)	16.000,00	96.000,00
SUB TOTAL D =			1'784.000,00	

## E.- TRANSPORTE

---

- Compra de materiales	\$/ 160.000,00
- Traslado del recipiente al sitio de instalación, camión de 12 toneladas	" 96.000,00
	<hr/>
SUB TOTAL E =	\$/ 256.000,00

---

## RESUMEN ECONOMICO

A.- Materiales directos		\$/ 6'028.549,00
B.- Materiales indirectos		" 354.700,00
C.- Mano de obra		" 451.200,00
D.- Uso de equipos y herramientas		" 1'784.000,00
E.- Transporte		" 256.000,00
		<hr/>
	COSTO NETO	\$/ 8'874.449,00
Dirección Técnica	(10%)	887.444,90
Imprevistos	( 5%)	443.722,45
Gastos Administrativos	( 5%)	443.722,45
Utilidad	(12%)	1'064.933,88
		<hr/>
		\$/11'714.272,68
	COSTO TOTAL	\$/11'714.273,00

de estos materiales, además que hay que tener un mayor cuidado en el proceso de soldadura; por lo tanto, para esta obra el acero ordinario como material resulta ser el más adecuado y justificable.

- 4.- Se recomienda que el presente trabajo sirva de referencia para ingenieros que estén involucrados en este - tipo de actividad, ya que en esta época nuestro país - requiere de la participación activa de la ingeniería - nacional para minimizar la importación de bienes de capital y consecuentemente de la dependencia tecnológica.



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- A.S.M.E., "Codigo ASME sección VIII", New York, 1977.
- 2.- FONTANA MARS G y GREENE NORBERT, "Corrosión Engineering", McGraw - Hill Book Company , United States, 1967.
- 3.- PANCHANO I., " Montaje de Tanques de Almacenamiento Utilizando el Metodo de Elevación Uniforme", Guayaquil, ESPOL, 1988.
- 4.- MEGYESY EUGENE F., "Pressure Vessel Handbook", Publishing, INC, 1976.
- 5.- LINCOLN ELECTRIC COMPANY., "The procedure Handbook of Arc Welding", the 11th edition, 1973.
- 6.- PATTON, W.J., "Ciencia y Técnica de la soldadura" , ED. Urmo, España, 1979.
- 7.- OLAVE V. ANTONIO., "Trazado Práctico de Desarrollos en Calderería", ediciones Ceac, Barcelona, 1972.

- 8.- ROSALER ROBERT C. y RICE JAMES O., "Manual de Mantenimiento Industrial", Tomo V, Mcgraw-Hill, México, 1987 .
- 9.- GIECK KURT., "Manual de formulas técnicas", representaciones y servicios de Ingenieria, S.A., México, 1981.