



\*D-10347\*



T  
673.722  
/ 687

# ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

## Facultad de Ingeniería Mecánica

"DISEÑO Y PROCESO DE FABRICACION DE UN  
TANQUERO DE ALUMINIO DE 10.000 GALONES"

PROYECTO DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:  
INGENIERO MECANICO

Presentada por:

Maricielo Solís Decker



Guayaquil - Ecuador

1990



## AGRADECIMIENTO

Al Ing. ALBERTO TORRES VALENCIA  
y al Ing. OMAR SERRANO;  
Directores del Proyecto de Tópico  
de Graduación, por la valiosa  
ayuda y el aliento a seguir en la  
culminación de este trabajo de  
investigación.

A la compañía INEM C. A., al Ing.  
Cabezas, personal técnico y  
personas que indirectamente han  
colaborado significativamente en  
la realización de este Proyecto.

Al personal académico de la  
Escuela Superior Politécnica del  
Litoral, por contribuir en la  
superación de los estudiantes a  
ser profesionales.


## DEDICATORIA



A ENRIQUETA, mi madre, quien lo merece todo.

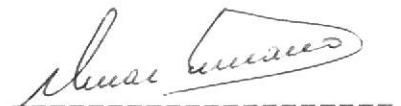
A mi familia, y

A mis amigos de siempre.




---

ING. NELSON CEVALLOS B.  
DECANO DE LA FACULTAD  
DE INGENIERIA MECANICA




---

ING. OMAR SERRANO V.  
DIRECTOR DE PROYECTO  
DE GRADO



---

ING. JOSE PACHECO  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



---

ING. JAIME BARRERA  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



**BIBLIOTECA**

## DECLARACION EXPRESA

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

(Reglamentos de Tópicos de Graduación de la ESPOL).

*Maricielo Solis Decker*  
-----

MARICIELO SOLIS DECKER

## RESUMEN

El presente trabajo trata del diseño y proceso de fabricación de un tanquero de aluminio para transporte de agua potable. La construcción de tanqueros es muy importante en nuestro medio y sirve no solo para transportar agua y combustibles sino muchas otras sustancias químicas, alimenticias, etc. La mayoría de estas construcciones metálicas son hechas en forma artesanal, es por esto que se presenta este estudio, en el cual se incluyen materiales, cálculos, procedimientos, costos, etc. en forma técnica, de manera que sea factible su fabricación en nuestro medio.

El material seleccionado para el tanquero es el aluminio por sus excelentes propiedades físicas y mecánicas. Este metal es de peso liviano, una tercera parte del acero, presenta una elevada resistencia a la corrosión por su propiedad de formar delgadas películas protectoras de óxido. El aluminio y sus aleaciones se sueldan perfectamente con soplete oxiacetilénico, al arco eléctrico, con el proceso TIG o con el proceso MIG. Por

esta razón en el presente proyecto se especifica el uso de algunos procesos para soldadura del tanquero.

En el país no se construyen tanqueros de aluminio, pero hoy en día es una excelente alternativa pues aparte de contar con los medios, existe una planta laminadora de aluminio en esta ciudad, que puede proveer el material.

Este proyecto tiene la finalidad de servir como una guía técnica para la fabricación de este tipo de estructuras y se pretende también que no sirva únicamente para propósitos educacionales, sino también como contribución tecnológica al medio.

## INDICE GENERAL

|                        |      |
|------------------------|------|
| RESUMEN.....           | V    |
| INDICE GENERAL.....    | VII  |
| INDICE DE FIGURAS..... | X    |
| INDICE DE TABLAS.....  | XI   |
| NOMENCLATURA.....      | XIII |
| INTRODUCCION.....      | XVI  |

### CAPITULO I

#### FUNDAMENTO TEORICO

|   |    |
|---|----|
| 1.1 UTILIZACION DE TANQUEROS PARA TRANSPORTE<br>DE SUSTANCIAS ALIMENTICIAS.....   | 1  |
| 1.2 ALEACIONES DE ALUMINIO RECOMENDADOS PARA<br>LA CONSTRUCCION DE TANQUEROS..... | 2  |
| 1.3 SOLDABILIDAD DEL ALUMINIO.....  | 6  |
| 1.3.1 PROCESOS DE SOLDADURA.....  | 8  |
| 1.3.2 MATERIALES DE APORTE<br>RECOMENDADOS.....                                   | 13 |
| 1.4 ESFUERZOS EN UNIONES SOLDADAS.....  | 18 |
| 1.5 REGULACIONES TECNICAS Y DE TRANSPORTE<br>TERRESTRE.....                       | 22 |



INTECMA

CAPITULO II

DISEÑO DE UN TANQUE DE ALUMINIO PARA  
TRANSPORTE DE AGUA POTABLE

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.1.  | DEFINICION DEL PROBLEMA.....  | 25 |
| 2.2   | SELECCION DE LA FORMA DEL TANQUE.....   | 25 |
| 2.3   | PARAMETROS A CONSIDERARSE EN EL<br>DISEÑO.....  | 28 |
| 2.3.1 | CAPACIDAD DEL TANQUE.....   | 28 |
| 2.3.2 | PRESION DEL DISEÑO.....   | 29 |
| 2.3.3 | CALCULO DE ESPESOR DE LA PARED<br>DEL TANQUE.....                                     | 29 |
| 2.3.4 | CALCULO DE ESPESOR DE LA PARED DE<br>LAS TAPAS DEL TANQUE.....                        | 30 |
| 2.3.5 | CALCULO DEL NUMERO DE LUMBRERAS.  | 30 |
| 2.3.6 | CALCULO DEL DIAMETRO TEORICO DEL<br>DISCO PARA CONSTRUIR LAS TAPAS<br>DEL TANQUE..... |    |

CAPITULO III

PROCESOS DE FABRICACION

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 3.1 | CRONOGRAMA DE TRABAJO.....              | 36 |
| 3.2 | SELECCION DE MANO DE OBRA.....          | 36 |
| 3.3 | EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....             | 39 |
| 3.4 | ACCESORIOS UTILIZADOS PARA EL TANQUE... | 40 |
| 3.5 | CONFORMADO DE PARTES DEL TANQUE.....    | 41 |
| 3.6 | PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.....         | 43 |



BIBLIOTECA

|  |    |
|--|----|
| 3.7 CONTROL DE CALIDAD EN LAS UNIONES<br>SOLDADAS..... | 45 |
| CAPITULO IV  |    |
| COSTOS DE FABRICACION                                  | 56 |
| CONCLUSIONES.....                                      | 65 |
| RECOMENDACIONES.....                                   | 67 |
| BIBLIOGRAFIA.....                                      | 68 |
| ANEXO.....   | 70 |



BIBLIOTECA

## INDICE DE FIGURAS

| No |   | Pag. |
|----|---|------|
| 1. | ESFUERZOS EN UN CILINDRO DE PARED<br>DELGADA..... | 20   |
| 2. | RESTRICCIONES DEL TRANSPORTE TERRESTRE.           | 24   |
| 3. | FORMA DEL TANQUE.....                             | 26   |
| 4. | FORMA DE LAS LUMBRERAS.....                       | 31   |
| 5. | TAPA PLANA REBORDEADA.....                        | 34   |
| 6. | ENSAYO DE DOBLADO.....                            | 54   |

## INDICE DE TABLAS

| No |  | Pag. |
|----|--|------|
| 1. | EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES.....  | 3    |
| 2. | MATERIALES DE APORTE RECOMENDADOS PARA<br>DIFERENTES ALEACIONES DE ALUMINIO.....                     | 14   |
| 3. | GUIA PARA ELEGIR EL MATERIAL DE APORTE<br>PARA PROPOSITOS GENERALES DE SOLDADURA<br>DE ALUMINIO..... | 15   |
| 4. | CRONOGRAMA DE FABRICACION DE UN TANQUE<br>PARA TRANSPORTE DE AGUA POTABLE DE<br>10.000 GALONES.....  | 37   |
| 5. | PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA RECOMENDADO<br>(Cilindro del tanque de 10.000<br>galones).....           | 46   |
| 6. | PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA RECOMENDADO<br>(Cilindro del tanque de 10.000                            |      |

|  |    |
|--|----|
| galones).....  | 47 |
| 7. PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA RECOMENDADO<br>(Tapa elipsoidal del tanque de 10.000<br>galones).....             | 48 |
| 8. PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA RECOMENDADO<br>(Tapa con cilindro del tanque de 10.000<br>galones).....           | 49 |
| 9. PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA RECOMENDADO<br>(Filete cilindro - lumbreras del tanque<br>de 10.000 galones)..... | 50 |

## NOMENCLATURA

|                  |   |  |
|------------------|---|--|
| A                | = | Amstrong   |
| A                | = | Area   |
| A <sub>o</sub>   | = | Area de la sección elíptica                        |
| A $\square$      | = | Area del cuerpo del tanque                         |
| a                | = | Aceleración  |
| ASME             | = | American Society                                   |
| ASTM             | = | American Society for Testing and Materials         |
| API              | = | American Petroleum Institute                       |
| AWS              | = | American Welding Society                           |
| D                | = | Diámetro   |
| D <sub>int</sub> | = | Diámetro interior de la tapa rebordeada            |
| D <sub>t</sub>   | = | Diámetro teórico del disco para la tapa rebordeada |
| d <sub>1</sub>   | = | Diámetro mayor de la elipse                        |
| d <sub>2</sub>   | = | Diámetro menor de la elipse                        |
| E                | = | Eficiencia de la unión soldada                     |
| EC               | = | Aluminio con 99% de pureza                         |
| F                | = | Fuerza   |
| g                | = | Holgura  |
| GMAW             | = | Gas Metal Arc Welding                              |
| GTAW             | = | Gas Tungsten Arc Welding                           |



BIBLIOTECA

h = Parte recta de la tapa rebordeada  
Kg = Kilogramo  
Km = Kilómetro  
Km/h = Kilómetro por hora  
Kpsi = 1000 psi ó 1000 libras/pulgadas<sup>2</sup>  
L = Longitud  
l = Largo del tanque  
m = Metro  
M = Masa  
MHz = Megahertz  
MIG = Metal Inert Gas  
mm = Milímetros  
MOP = Ministerio de Obras Públicas  
MPa = Mega Pascal  
N = Newton  
n = Factor de seguridad  
p = Presión  
psi = Pounds per square inch ó libra/pulgada<sup>2</sup>  
R = Radio  
r int = Radio interior del reborde  
S = Esfuerzo permisible  
seg = Segundos  
Sy = Esfuerzos de fluencia  
t = Espesor  
TIG = Tungsten Inert Gas  
U = Perímetro de la elipse  
V = Volumen

v = Velocidad  
vf = Velocidad final  
vo = Velocidad inicial  
X = # de planchas por anillo  
x = Espacio recorrido  
Z = Total de planchas utilizadas para el cuerpo del  
tanque  
z = Número de lumbreras ó rompeolas  
" = Pulgada  
∅ = Diámetro  
π = Constante Pi, 3.1416



## INTRODUCCION

BIBLIOTECA

El objetivo de este trabajo es presentar como una alternativa para el transporte de agua potable, la construcción de tanqueros de aluminio, y que además sirva como guía para técnicos involucrados en este tipo de trabajo.

Las justificaciones que se exponen para la elaboración de este proyecto son: la necesidad social de utilizar tanqueros para el transporte de agua potable, la utilización del aluminio por ser un material que brinda excelentes ventajas por sus propiedades, que resultan muy aptas para este fin, y finalmente para que exista un estudio técnico que se ajuste al campo práctico y condiciones del medio.

Este proyecto presenta en su contenido un fundamento teórico, el cual trata la necesidad de utilizar tanqueros, del aluminio y sus aleaciones, así como de la soldabilidad y procedimientos de soldadura recomendados; y códigos y regulaciones técnicas para transporte

terrestre para un buen diseño. El diseño incluye la selección de la forma del tanque y parametros tales como capacidad, presión, cálculos de espesor de paredes. Además de la elaboración del proceso de construcción, se determinan los costos de los tanqueros construídos en nuestro medio.

En los talleres de la ciudad que fabrican tanqueros de sección elíptica, el procedimiento de conformado del tanque es muy distinto a lo que indican códigos y normas, así como el cálculo de espesor de pared, que es dado por la experiencia. La construcción actual de tanqueros se realiza de un extremo a otro, comenzando por una tapa, uniendo las planchas que forman el cuerpo con los rompeolas hasta la otra tapa. Los rompeolas se perforan luego de ser posicionados. Una vez unido por puntos el tanque, se suelda primero por dentro del tanque y luego por fuera. Las planchas no van soldadas en forma alternada, sino que se posicionan 2 de las 3 planchas, que se sueldan a tope en la parte inferior del tanque, la parte superior se soldará al final con una unión a solape. Llevan una entrada de hombre, un tapón de llenado, una escalera lateral, una o dos salidas, la parrilla a lo largo del tanque y dos defogaderos de parrilla.

En este proyecto se desarrolla un procedimiento técnico

basado en códigos y normas, para mejorar la construcción de estos tanqueros de aluminio, con respecto a los procedimientos utilizados actualmente.



## CAPITULO I

BIBLIOTECA

### FUNDAMENTO TEORICO

#### 1.1 UTILIZACION DE TANQUEROS PARA TRANSPORTE DE SUSTANCIAS ALIMENTICIAS

La necesidad y justificación de fabricar tanqueros para sustancias alimenticias para la industria es amplia, pues encontramos más práctico y económico el uso de este tipo de transportación para sustancias como son: agua potable, agua mineral, alcohol, agua destilada, agua esterilizada, leche, aceites, jugos de frutas, etc., y líquidos en general. Esto se debe a que no siempre las plantas de procesamiento están en los sitios donde se obtienen estos fluidos por las diferentes condiciones geográficas.

En nuestro país donde el sistema que opera en la distribución de agua potable es tan deficiente, la necesidad de construir tanqueros es justificable para mejorar las condiciones de vida en lugares donde no

llega agua por tuberías.

## 1.2 ALEACIONES DE ALUMINIO RECOMENDADOS PARA LA CONSTRUCCION DE TANQUEROS

Para la selección del material hay que considerar muchos aspectos como: condiciones de funcionamiento del tanque, aspectos técnicos y económicos, vida útil, propiedades mecánicas, físicas y químicas, y factores como presión, temperatura y resistencia a la corrosión y disponibilidad de material en el mercado nacional.

Los materiales para la construcción de tanqueros pueden ser, dependiendo de lo que se quiera transportar: acero ordinario, acero inoxidable, aluminio, fibra de vidrio, o cualquier aleación que sirva para dichos propósitos.

Específicamente para el caso de tanqueros de aluminio para transporte de agua, las aleaciones ASTM de aluminio recomendables son: 1100, 3003, 5050, 5052, 6061, 6063, 43, 214 y 356 con excelentes resultados. Estas numeraciones corresponden a la designación por la ASTM (American Society for Testing and Materials). A continuación en la Tabla 1 se presentan los

TABLA 1 EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES (REF. 1)



| NO DE SERIE | PRINCIPALES ELEMENTOS ALEANTES              | PROPIEDADES  | USOS  |
|-------------|---|--|---|
| 1XXX        | Aluminio comercialmente puro, mínimo 99,00% | Resistente a la corrosión, alta conductividad eléctrica y térmica, antimagnético, dúctil y maleable, alta reflectividad                                | Alambres, cables, barras conductoras, equipos para industria química, pigmento de pinturas, para desoxidar aceros, etc.   |
| 2XXX        | Cobre                                       | Aumenta la resistencia a la tracción y la dureza. Hace a las aleaciones tratables térmicamente   | Pistones de automoviles y en la industria de la aviación  |
| 3XXX        | Manganeso                                   | Incrementa la resistencia a la tensión y a la corrosión  | Utensilios de cocina, depósitos de gasolina y aceite, recipientes a presión y tuberías, equipos para la industria química |
| 4XXX        | Silicio                                     | Reduce el punto de fusión de fundidez a la fundición con el Mg. vuelve las aleaciones tratables térmicamente   | Piezas coladas de tipo arquitectónico y ornamental, piezas para motores fuera de borda, accesorios marinos                |
| 5XXX        | Magnesio                                    | Aumenta la resistencia a la tracción, a la corrosión y a la soldabilidad   | Tuberías de gas y aceite, carnalizaciones para gasolina y aceite de aviones   |
| 6XXX        | Magnesio-Silicio                            | Hace a las aleaciones tratables térmicamente, dúctiles y resistentes a la corrosión  | Canoas, pasamanos de puentes, pista de maya metálica para aterrizaje de aviones   |
| 7XXX        | Zinc  | Incrementa la dureza y la resistencia, con Mg. hace a las aleaciones templeables   | Muy utilizada en la industria de la aviación  |
| 8XXX        | Otros Elementos                             | Bismuto: Aumenta la maquinabilidad<br>Berilio: Mejora la soldabilidad y la fundición<br>Titanio: Refina el grano del metal, aumentando la ductibilidad |   |

números de series y el tipo de aleación. (Ref.1)

Metalúrgicamente el aluminio puro es dúctil y maleable, sin embargo, las aplicaciones industriales requieren un aumento de resistencia que puede conseguirse por la adición de elementos aleantes. Además estas aleaciones pueden mejorar su resistencia sometiendo a diversos tipos de tratamientos. Según el tratamiento, las aleaciones se clasifican en bonificadas y no bonificadas.

El aluminio y aleaciones de aluminio son materiales seleccionados para la construcción en muchos campos debido a su alta resistencia a la corrosión.

El aluminio es un metal activo, tiene un comportamiento estable por la protección de una capa adherente, que es una película de óxido invisible en su superficie. Cuando es interrumpido, este film comienza a reformarse inmediatamente en la mayoría de los casos. El espesor de este film en un medio como aire fresco es de aproximadamente 50 a 100 Å. (Ref.2)

Las causas de la corrosión en la mayoría de las aplicaciones de aluminio, al igual que cualquier otro metal estructural, está asociado con el flujo de

corriente eléctrica entre varias regiones catódicas y anódicas. La corrosión electroquímica producida depende de los potenciales de estas regiones (Potencial de aluminio  $-0,83$  v). Una característica de la corrosión electroquímica es que el resultado de su ataque no es uniforme, pero confinada a un área específica de la superficie del metal. Muchos factores son básicos en determinar la cantidad y distribución de la corrosión, algunos son: la composición y microconstituyentes, y su localización: cantidad, continuidad y un relativo potencial de soluciones sólidas de aluminio.

Los tratamientos metalúrgicos de aleaciones de aluminio para mejorar las propiedades mecánicas pueden influir en la resistencia a la corrosión. Tratamientos térmicos y trabajado en frío producen generalmente esfuerzos residuales en el metal.

(Ref.1)



El calor de la soldadura puede producir cierta inhomogeneidad, por ello es recomendable para soldar Aluminio hacer un post-calentamiento de las juntas.

BIBLIOTECA

El control de la corrosión para tanqueros o tanques de almacenamiento se ejecuta con una prueba de inmersión que es una buena guía para establecer

conformidad de servicio. En esta prueba la relación área volumen se duplica a las condiciones de almacenamiento en operación del tanque.

Para condiciones severas de corrosión el uso de pasivadores e inhibidores, y protección catódica son las más convenientes en aleaciones de aluminio.

El material seleccionado para el tranquero es aluminio 1070 y presenta las siguientes propiedades sin ningún tipo de tratamiento térmico. (Ref. # 3)

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Aluminio                | 99,7%  |
| Densidad                | 0,002718 kg/cm <sup>3</sup>                              |
| Punto de fusión         | 631 - 643 °C   |
| Esfuerzo a la tracción  | 4,545454 kg/cm <sup>2</sup>                              |
| Esfuerzo de la fluencia | 1,818181 kg/cm <sup>2</sup>                              |
| Esfuerzo de corte       | 3,181818 kg/cm <sup>2</sup>                              |
| Esfuerzo de fatiga      | 1,363636 kg/cm <sup>2</sup>                              |
| Elongación              | 43% en 50,8mm para una<br>plancha de 1,5mm de<br>espesor |
| Dureza Brinell          | 19   |

### 1.3 SOLDABILIDAD DEL ALUMINIO

La mayoría de las aleaciones de aluminio pueden ser unidas ó soldadas por los procesos MIG (GMAW) ó TIG (GTAW), pues la soldabilidad de estas aleaciones es esencialmente la misma para ambos procesos.

Las aleaciones de forja, fácilmente soldables por los procesos MIG o TIG son las no tratadas térmicamente de las series 1XXX, 3XXX y 5XXX; las aleaciones tratadas de la serie 6XXX también son soldables con facilidad. Aleaciones de la serie 4XXX y de la serie 2XXX de alta resistencia y honificada son soldables con un procedimiento adecuado de soldadura, obteniéndose una baja ductibilidad. Para las aleaciones de la serie 7XXX honificadas de alta resistencia, aleaciones como 7075, 7079 y 7178 son soldables pero tienen zonas frágiles, afectadas por el calor, por esto la soldadura no es recomendable. Las aleaciones del tipo 7005 y 7039 son perfectamente soldables, las cuales son de especial interés para grandes estructuras, donde la soldadura debe ser de alta resistencia. (Ref.3)

El calor de la soldadura remueve parte o todo el efecto causado por el tratamiento térmico, en consecuencia el esfuerzo de cedencia de la zona afectada por el calor es un cordón de soldadura de

Las aleaciones no beneficiadas pueden no existir, a diferencia de una aleación recocida.

La mayoría de las aleaciones de moldeo pueden soldarse por el proceso de gas protector si poseen la adecuada preparación de junta.

Cuando se abordan las aleaciones pertenecientes al grupo de las beneficiadas, deben tomarse las precauciones adecuadas para evitar la pérdida de las características alcanzadas en el tratamiento térmico.

1.3.1 PROCESOS DE SOLDADURA



BIBLIOTECA

La mayoría de los diferentes tipos de aluminio utilizados en la fabricación de productos comerciales, admiten fácilmente la soldadura, ya sea por la llama oxiacetilénica o por medio de soldadura al arco con electrodos revestidos o con gas protector. El procedimiento a utilizar depende de factores tales como la experiencia del soldador y el tipo de trabajo a realizar. (9.4.6)

Proceso de Oxiacetilénico:



ENCUADERNADO

Se utiliza llama carburante y un fundente para la protección de la oxidación. Teniendo en cuenta que casi todos los fundentes contienen fluoruros y cloruros los cuales quedan en las juntas y al contacto con la humedad atacan al metal, es importante limpiar bien la pieza utilizando cepillo de alambre y agua caliente. Si dado sea imposible limpiar mecánicamente es necesario que la pieza se sumerja primero en agua caliente, después en ácido nítrico comercial y finalmente en agua fría.

#### Proceso por Arco con Electrodo Revestido:

La soldadura manual por arco es un proceso en el cual el calor para soldar es generado por un arco establecido entre un electrodo consumible, el electrodo y la pieza. El electrodo, arco, metal fundido y área adyacentes de la pieza son protegidos de la contaminación atmosférica por los gases obtenidos de la combustión y la deposición del recubrimiento del electrodo fundido. Una protección adicional del metal fundido es proporcionada por una capa de escoria fluida.

El metal de aporte es suministrado por el

núcleo del electrodo consumible y en ciertos electrodos, proviene del metal pulverizado mezclado con el recubrimiento del electrodo.

De los métodos de soldar, el proceso al arco eléctrico es el más usado debido principalmente a su versatilidad. También el equipo que se usa es menos complejo y más barato que otros procesos de soldadura por arco.

Este proceso es generalmente más usado que otros procesos de soldadura para unión de componentes de ensamblaje de estructuras complejas, debido a que se adapta mejor a posiciones diferentes de soldadura y acceso difícil.

La calidad y resistencia de las juntas soldadas por arco manual con electrodo revestido, puede ser controlada tan fácilmente como la calidad y resistencia de otras soldadura obtenidas por métodos manuales que emplean electrodos consumibles.

Los materiales con que se fabrican los electrodos son compatibles con las propiedades de la mayoría de los metales base; por lo tanto

Las propiedades de una junta pueden ser similares a los del metal soldado.

### Soldadura T.I.G.:

Este es un proceso de soldadura por arco en el cual el calor es producido entre un electrodo no consumible (de tungsteno) y la pieza. El electrodo, la zona fundida, el arco y las áreas adyacentes de la pieza son protegidas de la contaminación atmosférica por un gas inerte. Este tipo de soldadura se hace normalmente de forma manual aunque también se emplean métodos semiautomáticos.

Casi todos los metales y aleaciones pueden ser unidos por este método, incluyendo el aluminio y sus aleaciones. Este método es apropiado para soldar en cualquier posición y está especialmente adaptado a la soldadura de espesores delgados, del orden 0.005".

### Soldadura MIG:

Es un proceso de soldadura por arco en el cual

el calor para soldar es generado por un arco entre un electrodo consumible y el metal a soldar. El electrodo, un alambre sólido que es continuamente alimentado al área soldada, constituye el metal de aporte. El electrodo, el metal fundido, el arco y las áreas adyacentes del metal base son protegidos de la contaminación atmosférica por un gas inerte o mezcla de gases.

Los gases de protección empleados son dióxido de carbono, mezclas de argón-oxígeno al 1 ó 2% ó bien argón puro. El dióxido de carbono se usa solamente con aceros dulces o de baja aleación.

De los métodos comunes de soldadura es el que mantiene más concentrado el material que se está transfiriendo a través del arco. El gas debe proporcionar completa protección, debido a que pequeñas cantidades de aire pueden contaminar el depósito soldado. La desventaja de este método es que no es adecuado para soldar en cualquier posición.

La principal ventaja sobre el método de arco manual con electrodo revestido es su mayor

velocidad debido a:

- Alimentación continua del metal de aporte.
- Ausencia de escoria.
- Uso de electrodos de diámetro pequeño.

### 1.3.2 MATERIALES DE APORTE RECOMENDADOS

El metal de aporte de una unión soldada se basa en una combinación de metales que poseen tenacidad, ductilidad, ausencia de impurezas y la resistencia a la corrosión, requeridas para cada aplicación. La correcta selección de la aleación minimiza la presencia de compuestos intermetálicos y fragilidad en soldaduras de aluminio.

Los metales de aporte comúnmente usados para procesos de soldadura con gas protector se ordenan de la siguiente manera para soldaduras de tenacidad: 5039, 5556, 5183, 5356, 5654, 5554, 4043 y 1100. Este orden es válido para soldar cualquier tipo de aleación de las series 5000, 3000 ó 1000. Esta secuencia no se aplica a combinaciones de diferente aleación o acoplamientos tratados térmicamente.

TABLA 2

MATERIALES DE APORTE RECOMENDADOS PARA DIFERENTES  
ALEACIONES DE ALUMINIO (REF. 5)

| METAL BASE | MATERIAL DE APORTE RECOMENDADO |                   |
|------------|--------------------------------|-------------------|
|            | MAXIMA RESISTENCIA             | MAXIMA ELONGACION |
| EC         | 1100                           | EC, 1260          |
| 1100       | 1100, 4043                     | 1100, 4043        |
| 2219       | 2319                           |                   |
| 3003       | 5183, 5356                     | 1100, 4043        |
| 3004       | 5554, 5356                     | 5183, 4043        |
| 5005       | 5183, 4043, 5356               | 5183, 4043        |
| 5050       | 5356                           | 5183, 4043        |
| 5052       | 5356, 5183                     | 5183, 4043, 5356  |
| 5083       | 5183, 5356                     | 5183, 5356        |
| 5086       | 5183, 5356                     | 5183, 5356        |
| 5154       | 5356, 5183                     | 5183, 5356, 5654  |
| 5357       | 5554, 5356                     | 5356              |
| 5454       | 5356, 5554                     | 5554, 5356        |
| 5456       | 5556                           | 5183, 5356        |
| 6061       | 4043, 5183                     | 5356              |
| 6063       | 4043, 5183                     | 5356              |
| 7005       | 5039                           | 5183, 5356        |
| 7039       | 5039                           | 5183, 5356        |



Para soldaduras ductiles, el orden de los materiales de aporte es inverso para tenacidad: 1100, 4043, 5554, 5654, 5183, 5556, 5039. Con un electrodo 1100 se espera una elongación mayor de 50%, mientras que con un 5183 o 5356 se obtendrán elongaciones de 15% a 20%. (Ref.1). La ductilidad en soldadura se ve afectada por dilución del metal de aporte en el metal base.

La Tabla 2 muestra los electrodos recomendados para varias aleaciones de aluminio para obtener máxima tenacidad o máxima elongación. Para propósitos generales la Tabla 3 muestra dichos electrodos.

La siguiente información proporcionada por AGA indica las especificaciones técnicas del material de aporte utilizado en este estudio. (Ref.12)

#### ALAMBRE DE ALUMINIO PARA PROCESO MIG ER 4043

|       |        |
|-------|--------|
| NORMA | AWS    |
|       | ER4043 |

| ANALISIS QUIMICO | Al   | Si      | Fe  | Cu  | Mn   |
|------------------|------|---------|-----|-----|------|
|                  | 94.0 | 4.5-6.0 | 0.8 | 0.3 | 0.05 |

DESCRIPCION: Alambre continuo de aluminio. Posee 5% de silicio y fluye suavemente. Para soldar aluminio laminado y sus aleaciones.

PROCESO: MIG (GMAW)

GAS DE PROTECCION

ARGON 99.995%, proceso manual ó 75% Helio +25% Ar., proceso automático.

| PROPIEDADES MECANICAS | RESISTENCIA A LA TRACCION        | ELONGACION EN 2" | LIMITE DE FLUENCIA               |
|-----------------------|----------------------------------|------------------|----------------------------------|
|                       | ! 25.500 lbs/pulg <sup>2</sup> ! | ! 9% !           | ! 12.000 lbs/pulg <sup>2</sup> ! |

APLICACIONES: El alambre 4043 generalmente es recomendado para soldar aluminio de los tipos 2014, 4043, 6061, 6062 y 6063, entre sí y sus combinaciones.

Aplicaciones típicas están en:

\* Carrocerías de vehículos \* estructuras \* tanques \* equipos para distribución de petróleo.

DATOS PARA  
SOLDAR:

| ! PROCESO MIG ! | ! ALAMBRE ! |           | VOLTAJE ! | AMPERAJE ! | FLUJO GAS ! |
|-----------------|-------------|-----------|-----------|------------|-------------|
| ! (GRAW) !      | ! mm !      | ! pulg !  | !         | !          | ! Lt/min !  |
| ! CORTO !       | ! 0.9 !     | ! 0.035 ! | ! 16-19 ! | ! 90-120 ! | ! 12-15 !   |
| ! CIRCUITO !    | ! 1.2 !     | ! 0.045 ! | ! 16-20 ! | ! 95-125 ! | !           |
| ! SPRAY !       | ! 0.9 !     | ! 0.035 ! | ! 22-28 ! | ! 150-17 ! | ! 12-17 !   |
| !               | ! 1.2 !     | ! 0.045 ! | ! 22-28 ! | ! 150-19 ! | !           |

Estos datos son para equipos convencionales.

Para equipos POWCON consultar a Escuelas de Soldadura de AGA.

Corto circuito se utiliza normalmente para materiales de espesor delgado.

NOTA: Las mejores condiciones para cada aplicación deben determinarse mediante pruebas, la momento de soldar.

#### 1.4 ESFUERZO EN UNIONES SOLDADAS

Para el caso de este estudio se consideran tensiones de soldadura debido a presión interna, como si se tratara de la pared de una tubería, es decir se considerará al tanquero como un cilindro de pared delgada.

Para todo esto es necesario asumir que:

- No hay tensiones térmicas.
- El material base es elástico y no plástico.

- Solo hay esfuerzos debido a la presión interna.
- El espesor de la pared del tanque es diez veces menos que el diámetro del mismo.  $t/D = 0,1$ .

Se determina el esfuerzo longitudinal para una unión a tope tomando la mitad del cilindro para efectos de cálculos. Ver Fig. 1 (Ref. 6)

Donde:  $p$  = presión interna                       $t$  = espesor de pared  
 $D$  = diámetro                                       $S$  = esfuerzo de tensión

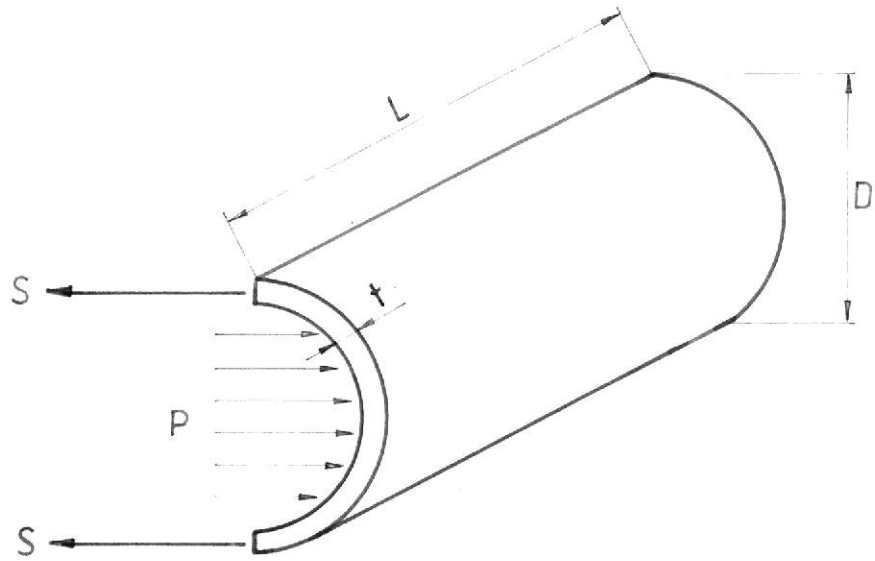
Tenemos que la fuerza que tiende a separar el cilindro en dos es  $pDL$ . A esta fuerza se oponen las tensiones originadas por el material del cilindro que son  $StL2$ . Si las igualamos tenemos que, (Ref. 7)

$$pDL = 2StL$$

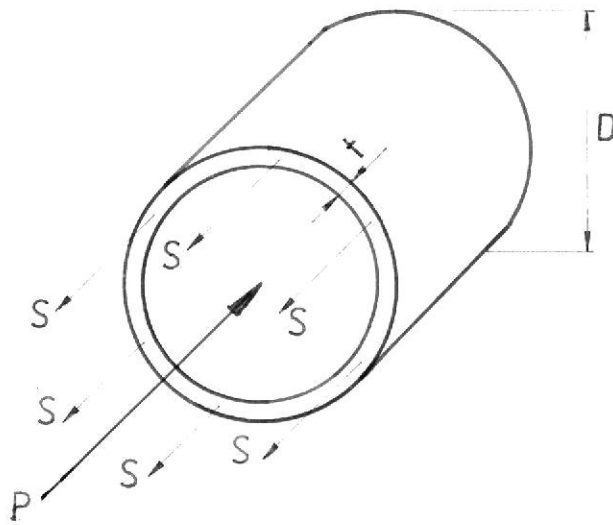
Entonces:

$$S = \frac{pD}{2t} \quad (1)$$

Para el caso de esfuerzos circunferenciales, la fuerza que tiene a abrir el cilindro es la presión por el área, entonces tenemos que,



Esfuerzos longitudinales



Esfuerzos circunferenciales

Fig. 1 ESFUERZOS EN UN CILINDRO DE PARED DELGADA

$$pA = \frac{p\pi D^2}{4} \quad (2)$$

La fuerza que resiste la soldadura a tope es:

$$F = (\pi Dt) S \quad (3)$$

Igualando encontramos que:

$$\pi DtS = \frac{\pi D^2 p}{4} \quad (4)$$

Entonces:

$$S = \frac{pD}{4t} \quad (5)$$

Con esto concluimos que los esfuerzos circunferenciales son la mitad de los longitudinales.

Ahora, para el diseño de recipientes a presión que no van a estar expuestos al fuego, según el código ASME, para el cálculo de esfuerzos longitudinales en soldaduras a tope, se asume que la unión es tan

fuerte como el metal base.

Una de las pruebas posteriores a la fabricación de un recipiente a presión es someterlo a tomas radiográficas por lo tanto se incluye un valor  $E_u$  eficiencia de la unión, que depende de si es radiografiado total, parcial o no ensayado por radiografía industrial.

La fórmula utilizada es:

$$t = \frac{pR}{SE - 0,6P} \quad \text{ó} \quad p = \frac{SEt}{R + 0,6t} \quad (6)$$

Además hay que tener presente que la presión de diseño es 1,3 veces la presión de trabajo y que el esfuerzo premisible,  $S$ , esta dado por el limite de fluencia del material dividido para un factor de seguridad  $n$  que está entre 3 y 4. (Ref. 7)

## 1.5 REGULACIONES TECNICAS Y DE TRANSPORTE TERRESTRE

La construcción de tanques para transporte esta regulada por normas y codigos internacionales. Para los cálculos está el ASME, Boiler and Pressure Vessel

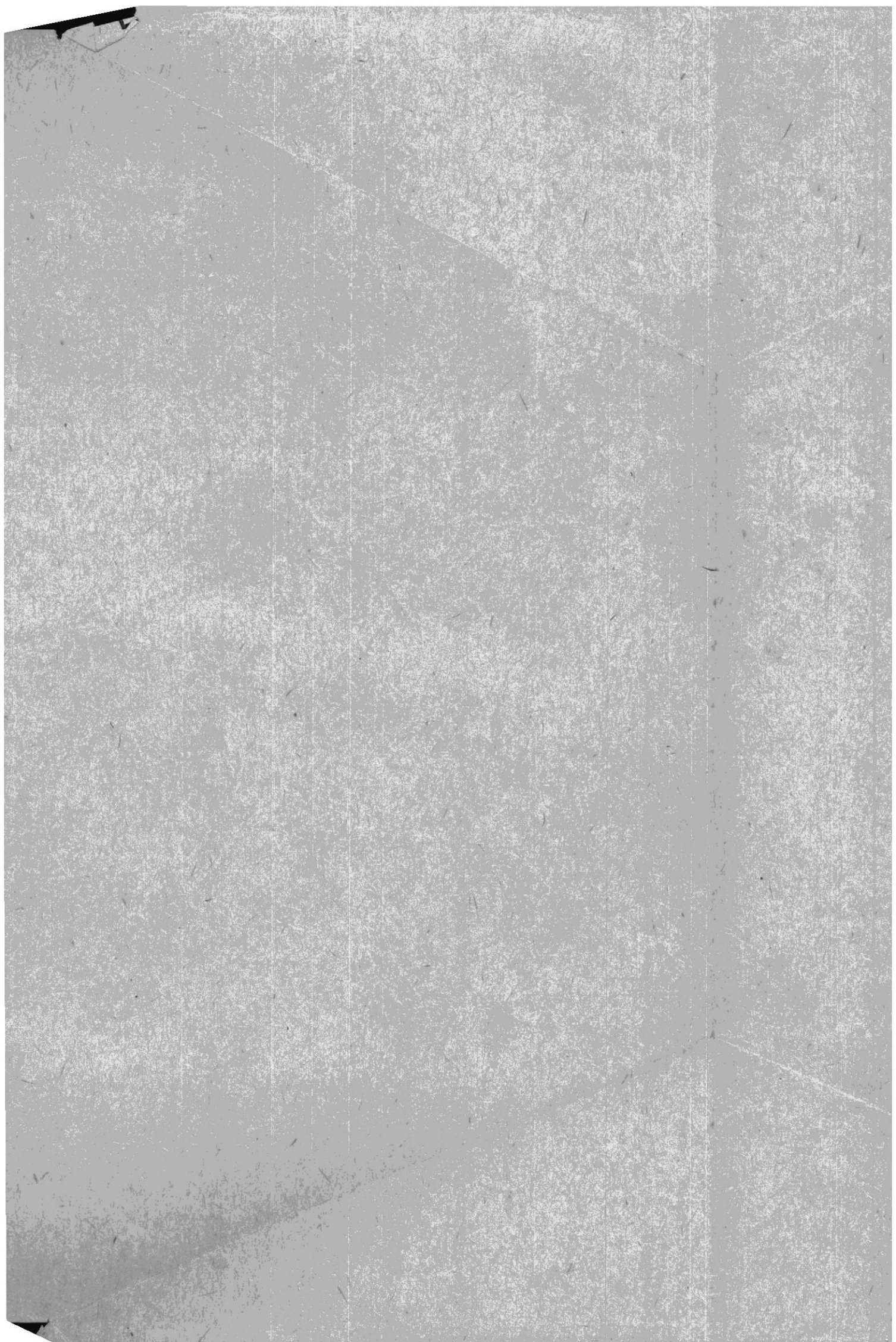
Code Section 8: Rules for construction of Pressure Vessel, Division 1 an American Standard 1983 Edition; resumidos en el Pressure Vessel Handbook. Además existe el código API 12 F que contiene normas y pruebas para el diseño y construcción de tanqueros. La American Welding Society da las regulaciones para los procedimientos de soldadura en el Welding Handbook, Volumen IV.

En cuanto a regulaciones de transporte terrestre, el manual de diseño de carreteras de MOP 001-E especifica medidas de ancho, largo y altura que deben tener los transportes de tanques, que esta a cargo de la Comisión de Transito del Guayas. (Ver Fig. 2)



**BIBLIOTECA**





## CAPITULO II

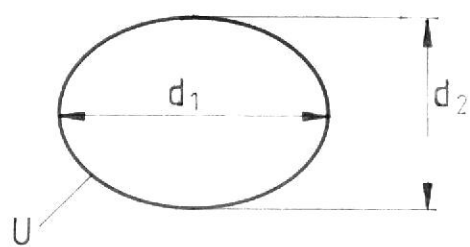
# DISEÑO DE UN TANQUE DE ALUMINIO PARA TRANSPORTE DE AGUA POTABLE

### 2.1 DEFINICION DEL PROBLEMA

Diseñar un tanque de aluminio con una capacidad referencial de 10.000 galones para transporte terrestre de agua potable.

### 2.2 SELECCION DE LA FORMA DEL TANQUE

Se seleccionará el modelo de un tanque cilíndrico horizontal ya que dado el volumen y condiciones de servicio es la forma más óptima; de tapa elíptica, la sección transversal será elíptica, ya que es semejante a una gota de agua sobre una superficie plana; tipo trailer, se utilizará un trailer para que el tanque se desplace de un lugar a otro por varias



Sección transversal

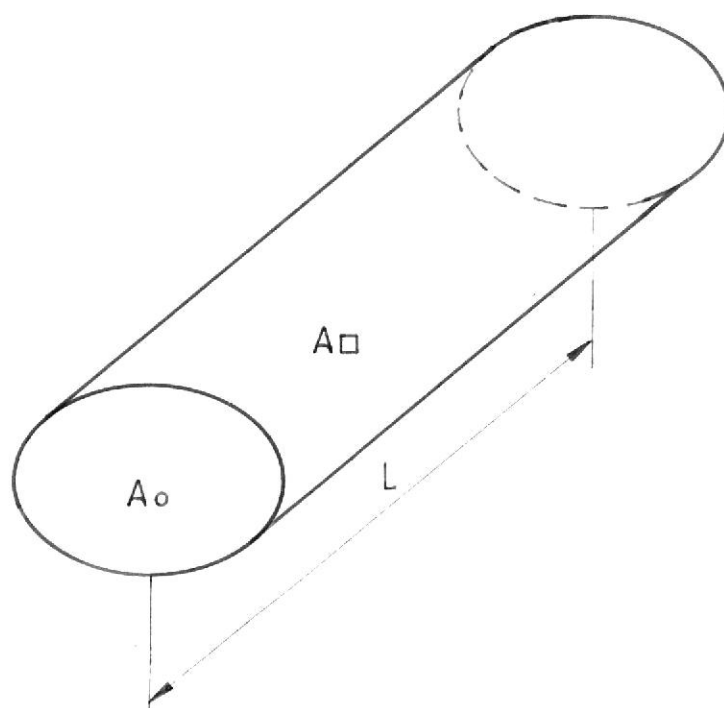


Fig. 3 FORMA DEL TANQUE

razones, primero no hay camiones del tipo cabezal y por que es más práctico para que el usuario pueda dejar el tanque en cualquier lugar como tanque estacionario, es decir tiene doble uso. Tanques de mayor capacidad se trasladan en trailer por seguridad. Ver Fig. 3.

La tapa elíptica es rebordeada con el objeto de evitar esfuerzos combinados en las uniones soldadas. Se considerarán solo uniones a tope. Para el siguiente análisis, ver Fig. 3.

$$d_1 = 2,60 \text{ m}$$

$$d_2 = 1,80 \text{ m}$$

$$A_0 = \frac{d_1 \cdot d_2}{4} \pi \quad (7)$$

$$A_0 = 3,68 \text{ m}^2$$

$$V = A_0 \cdot l \quad (8)$$

$$l = \frac{V}{A_0}$$

$$l = 11,2 \text{ m}$$

$$n = \frac{11,2}{0,8} = 14 \text{ anillos} \quad (9)$$

$$U = \frac{d_1 + d_2}{2} \pi \quad (10)$$

$$U = 6,91 \text{ m}$$

$$X = \frac{6,91}{2,30} = 3 \text{ planchas x anillo} \quad (11)$$

$$A_{\square} = 75,18 \text{ m}^2$$

$$Z = 14 \cdot 3 = 42 \text{ planchas} \quad (12)$$

## 2.3 PARAMETROS A CONSIDERARSE EN EL DISEÑO

### 2.3.1 CAPACIDAD: 10.000 GALONES = 37,8 m<sup>3</sup>

Dimensionamiento: Las dimensiones son de

acuerdo al volumen referencial, a la disponibilidad del material, a las regulaciones técnicas y de transporte terrestre y al factor económico.

La dimensión definitiva del tanque se determina optimizando el material a fin de tener el mínimo desperdicio, así como la menor cantidad de cordones de soldadura.

### 2.3.2 PRESION DE DISEÑO: 16 psi

La presión de diseño esta dada por la presión atmosférica (14,7 psi) más 1 psi, que es el valor recomendado por el codigo API-12F.

### 2.3.3 CALCULO DE ESPESOR DE LA PARED DEL TANQUE

$$t = \frac{PR_0}{SE + 0,4P} \quad (13)$$

factor de seguridad  $n = 3$   
 Eficiencia de soldadura  $E = 0,75$

$t = 8 \text{ mm}$  para  $R = 1,3$

#### 2.3.4 CALCULO DE ESPESOR DE LA PARED DE LAS TAPAS

$$t = \frac{PDo}{SE + 1,8P} \quad \text{usando } n = 3 \quad (14)$$

$$E = 0,75$$

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

#### 2.3.5 CALCULO DEL NUMERO DE LUMBRERAS

Lumbreras, rompeolas o espejos son divisiones que el tanque tiene interiormente para amortiguar el peso del fluido que esta en movimiento cuando el tanquero recorre una distancia. Ver Fig 4

Asumiendo que el tanquero viaja a una velocidad de 70 Km/h, con una masa de fluido de 37.800 kg, aplica los frenos y recorre 58m hasta que el tanquero se detiene con un esfuerzo tensil del material de 13 Kpsi, calculamos la aceleración decreciente, la fuerza y la presión sobre las tapas. La presión que el fluido ejerce sobre la tapa dividida para el esfuerzo tensil del material

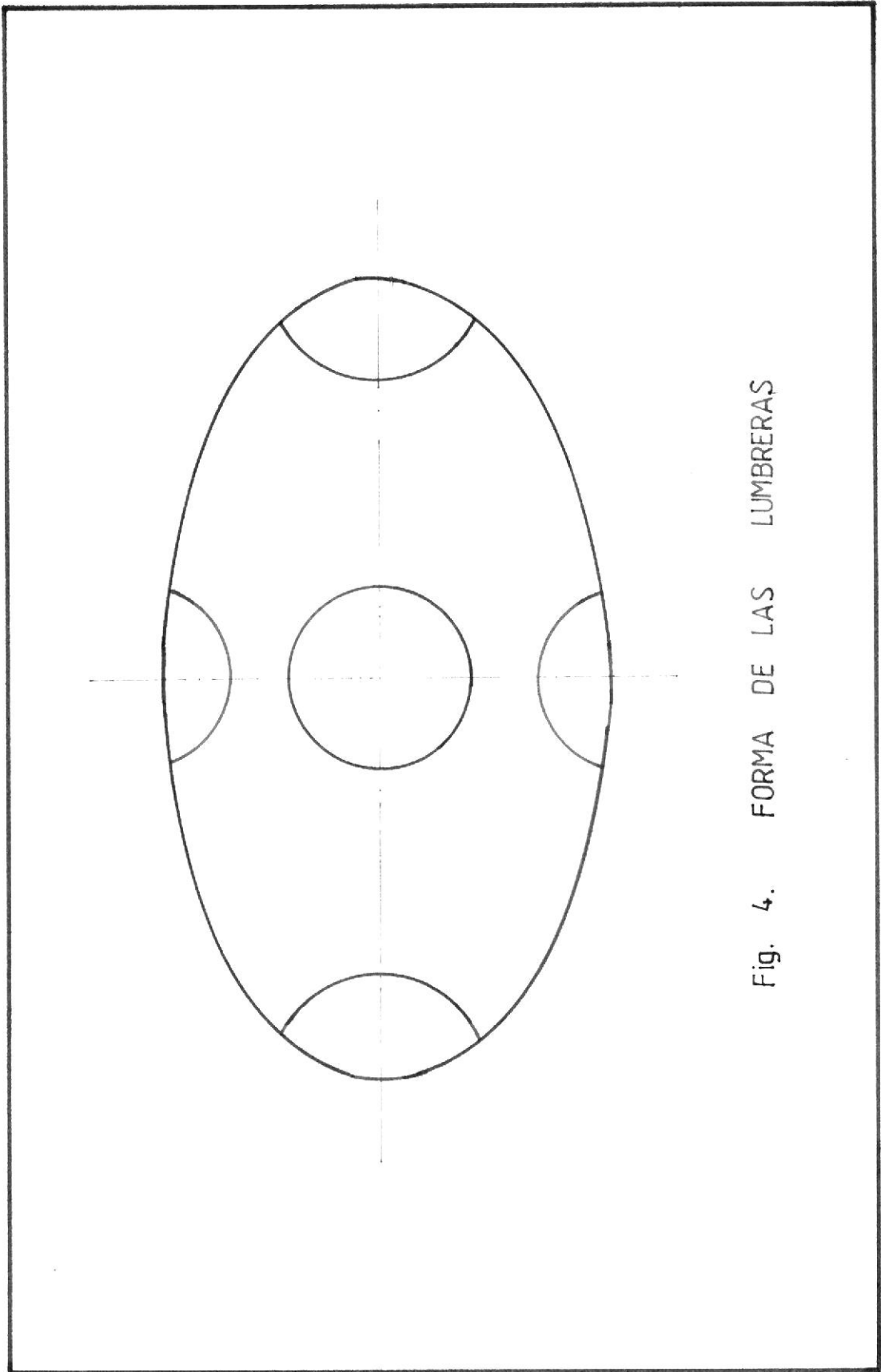


Fig. 4. FORMA DE LAS LUMBRERAS

nos da el número de lumbreras necesarias que requiere el tanquero.

$$V = 70 \text{ Km/h}$$

$$x = 58 \text{ m}$$

$$M = 37.800 \text{ Kg}$$

$$S_y = 13 \text{ Kpsi}$$

$$V_f^2 = 0 = V_0^2 + 2ax \quad (\text{Ref. 9}) \quad (15)$$

$$- V_0$$

$$a = \frac{-V_0^2}{2x} = 3,25 \text{ m/seg}$$

$$F = m \cdot a = 130374,63 \text{ N} \quad (16)$$

$$F \quad F$$

$$P = \frac{F}{A_0} = \frac{F}{(d_1^2 - d_2^2) \frac{\pi}{4}} = 3,99 \text{ MPa} \quad (17)$$

$$A_0 \quad (d_1^2 - d_2^2) \frac{\pi}{4}$$

$$P = 27,55 \text{ Kpsi}$$

$$P$$

$$\# \text{ lumbreras} = \frac{P}{S_y} = 2 \quad (18)$$

$$S_y$$

$$Z = 2$$

$$\text{distancia de separación} = \frac{L}{Z + 1} = 3,73\text{m} \quad (19)$$

### 2.3.6 CALCULO DEL DIAMETRO TEORICO DEL DISCO PARA CONSTRUIR LA TAPA (Ref.10)

Ver Fig. 5

Se refiere al diámetro teórico del disco, y al diámetro de la plancha necesaria para ser rebordeada que posteriormente se denomina tapa.

$D_t$  = es el diámetro teórico del disco

$D_{int}$  = diámetro interior de la tapa

$r_{int}$  = radio

$t$  = espesor de la plancha

$h$  = parte recta del reborde

$$D_t = D_{int} + 1,14 r_{int} + 1,575 t + 2h \quad (20)$$

$$D_{int} = 2600 - 16 = 1584 \text{ mm}$$

$$r_{int} = 50 \text{ mm}$$

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

$$h = 15 \text{ mm}$$

$$D_t = 2703,56 \text{ mm}$$

$$D_t = 2,7 \text{ m}$$

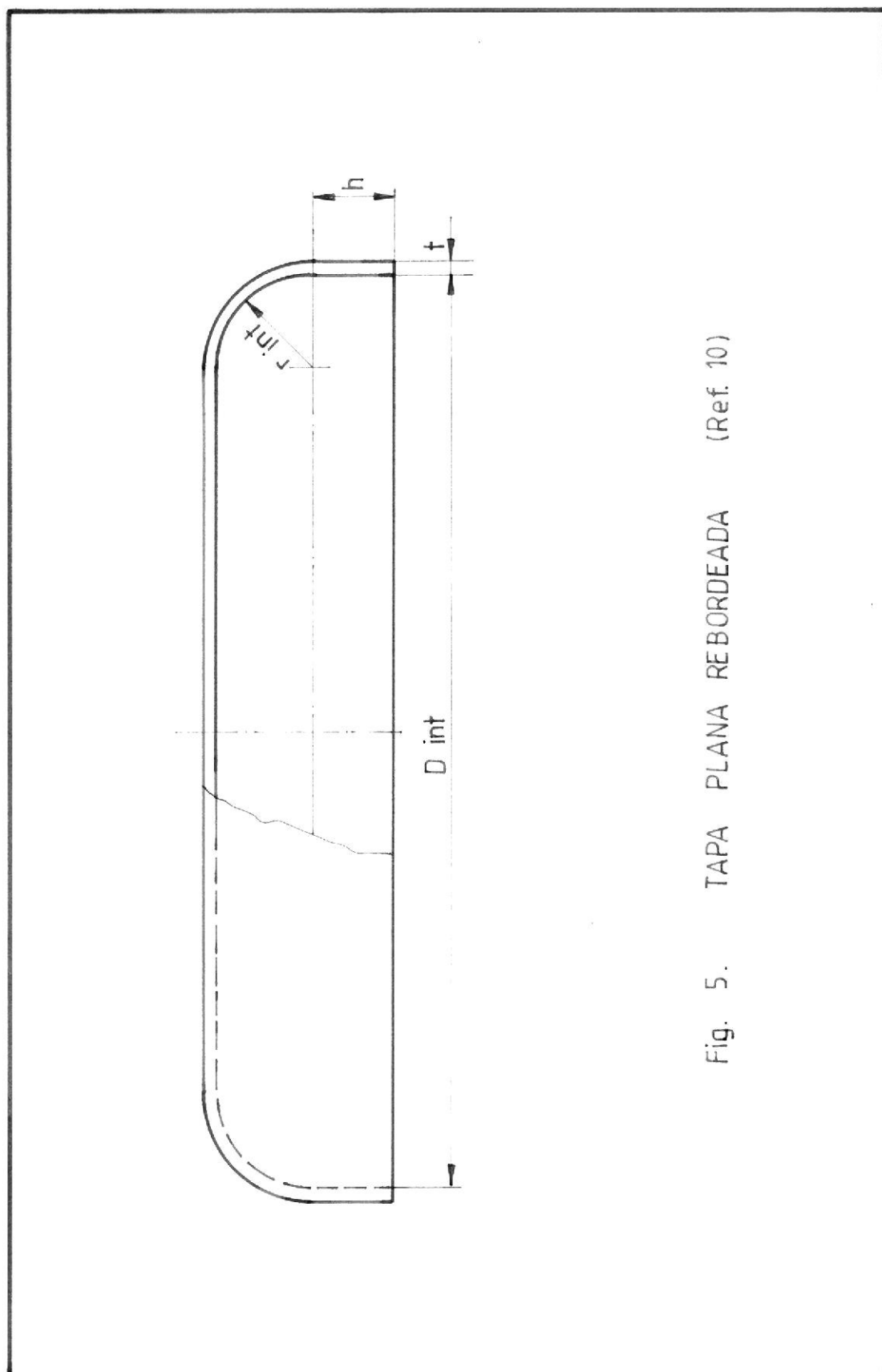


Fig. 5. TAPA PLANA REBORDEADA (Ref. 10)

$$D_{\text{int}} = 1800 - 16 = 1784 \text{ mm}$$

$$D_t = 1903,56 \text{ mm}$$

$$D_t = 1,9 \text{ m}$$

## CAPITULO III

### PROCESO DE FABRICACION

#### 3.1 CRONOGRAMA DE TRABAJO

Este cronograma se muestra en la Tabla 4

#### 3.2 SELECCION DE MANO DE OBRA

Un parámetro muy importante en la fabricación de tanques para transporte de fluidos, es la correcta selección de la mano de obra, puesto que incide en el costo total de la obra.

El ingeniero fabricante tendrá la responsabilidad de contratar el personal adecuado, así como el tiempo de ejecución y los costos de mano de obra para la construcción del tanque.

De acuerdo a la experiencia, el personal se clasifica

TABLA 4

CRONOGRAMA DE FABRICACION DE UN TANQUE PARA  
TRANSPORTE DE AGUA POTABLE DE 10.000 GALONES

| No. | ACTIVIDAD                                 | TIEMPO EN SEMANAS |     |     |     |     |     |     |
|-----|---|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|     |   | I                 | II  | III | IV  | V   | VI  | VII |
| 1.  | Adquisición y recepción de los materiales | ///               |     |     |     |     |     |     |
| 2.  | Conformado del cilindro                   |                   | /// |     |     |     |     |     |
| 3.  | Conformado de las tapas                   |                   |     | /// |     |     |     |     |
| 4.  | Conformado de las lumbreras               |                   | /// |     |     |     |     |     |
| 5.  | Conformado del tanque                     |                   |     |     | /// |     |     |     |
|     | Accesorios                                |                   |     |     |     |     |     |     |
| 6.  | Entrada de hombre                         |                   |     |     |     | /// |     |     |
| 7.  | Descarga                                  |                   |     |     |     | /// |     |     |
| 8.  | Medidor de nivel                          |                   |     |     |     | /// |     |     |
| 9.  | Respiradero                               |                   |     |     |     | /// |     |     |
| 10. | Escalera                                  |                   |     |     |     | /// |     |     |
| 11. | Montaje                                   |                   |     |     | /// |     |     |     |
| 12. | Pruebas                                   |                   |     |     |     |     | /// |     |
| 13. | Acabado                                   |                   |     |     |     |     | /// | /// |

ens: maestro armador, soldador de primera, soldador de segunda, ayudante de soldador, cortador y auxiliares; a los cuales se los divide en grupos de trabajo a fin de optimizar tiempos y costos.

Tomando como referencia el cronograma de trabajo, se ha formado 4 grupos de la siguiente manera:

Grupo # 1: Compuesto por cuatro hombres, en calidad de auxiliares que efectuarán las labores para el transporte.

Grupo # 2: Formado por un maestro armador más cuatro ayudantes para el conformado del tanque.

Grupo # 3: Consta de un soldador de primera categoría más un ayudante de soldador para el soldeo del cilindro del tanque.

Grupo # 4: Compuesto por un soldador de primera más un ayudante de soldador para la construcción de las tapas, lumbreras y accesorios.

Además existirá la presencia de un ingeniero que supervigile los trabajos que se realizan conforme a

los planos de diseño y al cronograma de actividades.

### 3.3 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Una apropiada selección de los equipos a utilizarse tomando en cuenta las características técnicas de los mismos y su eficiencia son de mucha importancia para la fabricación adecuada del tanque.

Los equipos y herramientas seleccionados se los detalla como sigue:

\* Roladora de Flachas.- Se requiere una máquina curvadora de láminas de espesor de 8 mm y de 0.80 metros de ancho, a fin de formar anillos elípticos. La roladora deberá de ser de rodillos tipo pirámide ajustables para curvar las láminas de la forma apropiada a los extremos de estas.

\* Máquinas de soldar.- Se utilizarán tres equipos de soldadura para el proceso MIG-MAG de 400 amperios. Además se contará con dos máquinas de soldar con electrodo revestido de 300 amperios, trifásica, 220/440 voltios.

\* Biselador.- Equipo especial para efectuar la

preparación de juntas de soldadura, que consta de un cortador semiautomático que tiene un mecanismo para lograr cortes angulares, ajustables en una escala de graduación.

\* Rebordeadora.- Equipo destinado al conformado de las tapas. Se trata de una prensa hidráulica, herramientas y una matriz para formar el borde de las tapas.

\* Herramientas del Taller.- Es todo lo que se refiere a herramientas en general que necesita un taller para construcciones metalmecánicas pesadas así como espacio físico amplio para la manipulación de los materiales.

\* Entre las herramientas necesarias tenemos amoladoras, cepillos circulares, esmeriles y taladros a parte de los utensilios de calderería en general como son: martillos, escuadras, niveles, flexómetros, juegos de llaves, cinceles, prensas, playos de presión, etc.

### 3.4 ACCESORIOS UTILIZADOS PARA EL TANQUE

Los accesorios son de gran importancia para que un

tanque pueda operar, además que cumplen varias funciones como es la entrada de hombre, que sirve tanto para el ingreso al interior del tanque como para efectuar el llenado del fluido a transportarse, así como también para la limpieza o reparación del tanque. Otros accesorios como son el respiradero, la descarga y el medidor de nivel, cumplen tareas específicas.

### 3.5 CONFORMADO DE PARTES DEL TANQUE

#### Conformado del Cilindro



INSTITUTO

Para el conformado del cilindro del tanque, tenemos como primer punto la preparación de juntas de las láminas de aluminio con un biselador; las láminas de dimensiones 0,8 x 2,3 metros se sueldan de tres en tres, formando tiras de 6,9 metros de largo con las cuales se rolarán los anillos en la roladora de rodillo tipo pirámide, ajustables para formar los anillos elípticos; 14 anillos, que luego soldados formarán el cuerpo del tanque.

Conjuntamente en las construcción del cilindro hay que formar las lumbreras; cantidad: 2, con 6 planchas de manera que vayan soldadas en ángulo dentro del

CONFORMADO

cuerpo del tanque. Una vez soldadas las lumbreras se procederá a cortar los lados en forma de semicircunferencias, tanto a la derecha como a la izquierda, así como arriba y hacia abajo, y al centro una circunferencia total para paso de hombre.

#### Conformado de las Tapas

Como en el caso anterior, las 2 tapas se fabricarán con 6 láminas de aluminio. Los diámetros de las lumbreras serán mayores debido a que las tapas serán rebordeadas, con el fin de tener solo soldaduras a tope para evitar esfuerzos combinados en las uniones soldadas.

Las tapas serán unidas por el procedimiento de soldadura MIG al igual que todo el tanque al cuerpo mismo a fin de tener el reservorio completamente terminado.

#### Conformado Final, Colocación de los Accesorios

Una vez listo el tanque se procederá a la aplicación de los accesorios, desbastando material en los sitios indicados para luego unirlos con soldadura al arco con gas protector, (MIG). Los accesorios a ser ubicados son: 1 entrada de hombre, 1 medidor de

nivel, 2 respiraderos, 1 descarga, 1 escalera y ocasionalmente si el fabricante lo desea puede instalar 1 visor, medidor de temperatura, etc.

### Acabado

La presentación es un factor de mucha importancia, por lo que habrá que tomar en cuenta de que los cordones sean uniformes y no haya ningún tipo de distorsión en la fabricación.

Una de las alternativas para la selección de este material, el aluminio, es que no necesita ningún tipo de recubrimiento en su superficie, ya que además de autoprotégese por el óxido que se forma en la superficie, sin ser tóxico tienen un color fijo, plateado de muy buen aspecto.

## 3.6 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

A fin de obtener soldaduras de calidad aceptable al menor costo posible, se recomienda el procedimiento de soldadura semiautomática al arco eléctrico con gas protector (inerte), MIG.

El posicionamiento de las partes durante el montaje y

soldaduras de accesorios se realizarán con el proceso de soldadura al arco eléctrico con electrodo revestido por ser el más indicado.

El procedimiento indicado para el conformado de las partes es el recomendado, pero puede ser necesario hacer ciertos ajustes durante la calificación, de manera que las uniones soldadas resulten satisfactorias.

Especificaciones generales para el procedimiento de soldadura MIG:



- Referencias: Código ASME, sección ~~TECA~~ para calificación de los procedimientos de soldadura y de los soldadores.
- Metal Base: La construcción del tanque se realizará con láminas de aluminio puro, calidad 1070.
- Preparación de Juntas del Metal Base: Los bordes y biseles pueden ser por corte, esmerilado, cincelado o por plasma libre de suciedad y lubricantes.
- Distancia entre Láminas: También llamada Holgura

(g) y esta especificada en los formatos de procedimientos.

- Características de la Corriente: Se soldará con corriente continua, polaridad invertida.

- Diseño de Junta: Se especifica con un gráfico para cada tipo de junta e indicando dimensiones y detalles.

- Apariencia de los Cordones: La velocidad de soldeo y la deposición del metal será de tal forma que no se presenten cortes en los empalmes terminados.

(Ref. 11, 12, 13)

En las tablas 5 a 9 se presentan las especificaciones de los procedimientos de soldadura para la construcción de tanqueros.

### 3.7 CONTROL DE CALIDAD EN LAS UNIONES SOLDADAS

Las inspecciones o pruebas de las uniones soldadas son para obtener y mantener una alta calidad de producción.

TABLA 5

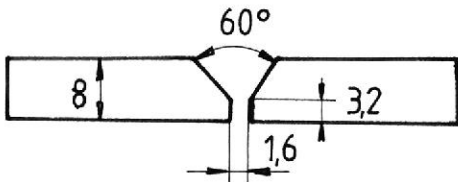
| PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA RECOMENDADO  |   |   |
|---|---|---|
| Zona a ser soldada:   | Cilindro del tanque de 10.000 galones   |   |
| Especificaciones del Metal Base:  | Aluminio 1070   |   |
| Gas:  | 99% Argón   |   |
| Proceso de soldadura:   | Proceso automático<br>Soldadura de arco metálico con gas inerte MIG                                     |   |
| POSICION: 2G (plana)<br>Soldado desde: 2 lados<br>Construcción de anillos elípticos | DISEÑO DE JUNTA<br> |   |
| No.   | DATOS   | VALORES   |
| 1   | Espesor de plancha (mm)   | 8   |
| 2   | Número de pases   | 3   |
| 3   | Clase de Electrodo  | ER 4043   |
| 4   | Diámetro del Electrodo (mm)   | 1,2   |
| 5   | Corriente (amperios)  | 150 - 190   |
| 6   | Voltaje (voltios)   | 22 - 28   |
| 7   | Flujo de gas (m3/h)   | 0,72 - 1,02                                       |
| 8   | Longitud de la junta (metros)   | $(0,8 \times 3 \times 3 = 7,2) \times 14 = 100,8$ |
| 9   | Holgura (mm)  | 1,6   |
| 10  | Kg. del Metal soldado/metro   | 0,22  |
| 11  | Kg. de Electrodo requerido  | 22,55   |

TABLA 6

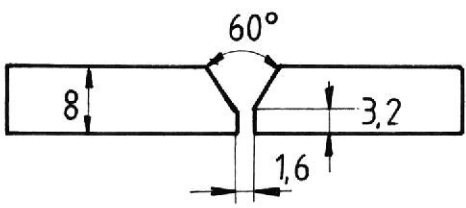
| PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA RECOMENDADO   |   |                      |
|--|---|----------------------|
| Zona a ser soldada:  | Cilindro del tanque de 10.000 galones   |                      |
| Especificaciones del Metal Base:   | Aluminio 1070   |                      |
| Gas:   | 99% Argón,<br>Proceso automático  |                      |
| Proceso de soldadura:  | Soldadura de arco metálico con gas inerte MIG   |                      |
| POSICION: 2G (plana)<br>Soldado desde: 2 lados<br>Unión de los anillos elípticos | DISEÑO DE JUNTA<br> |                      |
| No.  | DATOS   | VALORES              |
| 1  | Espesor de plancha (mm)   | 8                    |
| 2  | Número de pases   | 3                    |
| 3  | Clase de Electrodo  | ER 4043              |
| 4  | Diámetro del Electrodo (mm)   | 1,2                  |
| 5  | Corriente (amperios)  | 150 - 190            |
| 6  | Voltaje (voltios)   | 22 - 28              |
| 7  | Flujo de gas (m3/h)   | 0,72 - 1,02          |
| 8  | Longitud de la junta (metros)   | 3,9 x 3 x 15 = 175,5 |
| 9  | Holgura (mm)  | 1,66                 |
| 10   | Kg. del Metal soldado/metro   | 0,22                 |
| 11   | Kg. de Electrodo requerido  | 22,55                |

TABLA 7

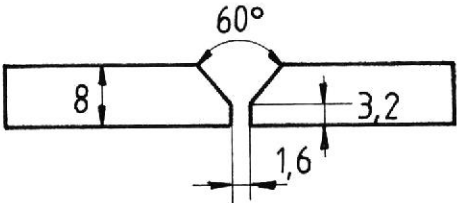
| PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA RECOMENDADO                                       |   |                    |
|--|---|--------------------|
| Zona a ser soldada:  | Tapa elipsoidal del tanque de 10.000 galones  |                    |
| Especificaciones del Metal Base:   | Aluminio 1070   |                    |
| Gas:   | 99% Argón,<br>Proceso automático  |                    |
| Proceso de soldadura:  | Soldadura de arco metálico con gas inerte MIG   |                    |
| POSICION: 2G (plana)<br>Soldado desde: 2 lados<br>Construcción del planchaje | DISEÑO DE JUNTA<br> |                    |
| No.  | DATOS   | VALORES            |
| 1  | Espesor de plancha (mm)   | 8                  |
| 2  | Número de pases   | 3                  |
| 3  | Clase de Electrodo  | ER 4043            |
| 4  | Diámetro del Electrodo (mm)   | 1,2                |
| 5  | Corriente (amperios)  | 150 - 190          |
| 6  | Voltaje (voltios)   | 22 - 28            |
| 7  | Flujo de gas (m3/h)   | 0,72 - 1,02        |
| 8  | Longitud de la junta (metros)   | 5,4 x 3 x 2 = 32,4 |
| 9  | Holgura (mm)  | 1,66               |
| 10   | Kg. del Metal soldado/metro   | 0,22               |
| 11   | Kg. de Electrodo requerido  | 7,13               |

TABLA 8

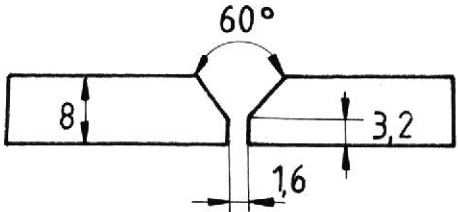
| PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA RECOMENDADO  |   |                    |
|---|---|--------------------|
| Zona a ser soldada:   | Tapa elicoidal del tanque de 10.000 galones   |                    |
| Especificaciones del Metal Base:  | Aluminio 1070   |                    |
| Gas:  | 99% Argón   |                    |
| Proceso de soldadura:   | Proceso automático<br>Soldadura de arco metálico con gas inerte MIG                                     |                    |
| POSICION: 2G (plana)<br>Soldado desde: 2 lados<br>Unión de la tapa con el cilindro del tanque | DISEÑO DE JUNTA<br> |                    |
| No.   | DATOS   | VALORES            |
| 1   | Espesor de plancha (mm)   | 8                  |
| 2   | Número de pases   | 3                  |
| 3   | Clase de Electrodo  | ER 4043            |
| 4   | Diámetro del Electrodo (mm)   | 1,2                |
| 5   | Corriente (amperios)  | 150 - 190          |
| 6   | Voltaje (voltios)   | 22 - 28            |
| 7   | Flujo de gas (m <sup>3</sup> /h)  | 0,72 - 1,02        |
| 8   | Longitud de la junta (metros)   | 3,9 x 3 x 2 = 23,4 |
| 9   | Holgura (mm)  | 1,66               |
| 10  | Kg. del Metal soldado/metro   | 0,22               |
| 11  | Kg. de Electrodo requerido  | 5,146              |

TABLA 9

| PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA RECOMENDADO         |  |                    |
|--|--|--------------------|
| Zona a ser soldada:                            | Filete cilindro - lumbreras del tanque de 10.000 galone  |                    |
| Especificaciones del Metal Base:               | Aluminio 1070  |                    |
| Gas:   | 99% Argón  |                    |
| Proceso de soldadura:                          | Proceso automático<br>Soldadura de arco metálico con gas inerte MIG                                    |                    |
| POSICION: 1G (plana)<br>Soldado desde: 2 lados | DISEÑO DE JUNTA<br> |                    |
| No.  | DATOS  | VALORES            |
| 1  | Espesor de plancha (mm)  | 8                  |
| 2  | Número de pases  | 4                  |
| 3  | Clase de Electrodo   | ER 4043            |
| 4  | Diámetro del Electrodo (mm)  | 1,2                |
| 5  | Corriente (amperios)   | 150 - 190          |
| 6  | Voltaje (voltios)  | 22 - 28            |
| 7  | Flujo de gas (m3/h)  | 0,72 - 1,02        |
| 8  | Longitud de la junta (metros)  | 3,9 x 4 x 2 = 31,2 |
| 9  | Holgura (mm)   | --                 |
| 10   | Kg. del Metal soldado/metro  | 0,22               |
| 11   | Kg. de Electrodo requerido   | 6,86               |

Los métodos de inspección para soldaduras de aluminio se dividen en dos grupos, ensayos no destructivos y pruebas destructivas.

### ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

#### Inspección Visual.

Se limita solo a defectos superficiales, es la primera inspección que se realiza a la unión, con o sin lentes de aumentos, además se usan implementos como reglas, galgas de sección soldada, estandares de construcción para este método. Sus ventajas son: que se puede aplicar durante el proceso de trabajo permitiendo corregir las fallas enseguida, y que es una inspección económica

#### Radiografía Industrial.

La inspección radiográfica es un método no destructivo para determinar la presencia de defectos subsuperficiales e internos de un cordón de soldadura. Para esto es necesario un equipo convencional de rayos X, película, equipo de revelado y negatoscopio. Las ventajas son: la constancia de que la falla existe o no, y que es un método

relativamente confiable para determinar fallas internas en uniones soldadas. Sin embargo, como la radiografía depende de la diferencia de densidades entre el defecto y el material base, algunas veces, defectos que poseen densidades similares al material no son reveladas; además si el haz de rayos X es perpendicular a una hendidura muy ajustada no aparecerá en la película. (Ref. 14)

#### Prueba de Ultrasonido.

Es el más sensitivo de los métodos no destructivos para determinar discontinuidades en cordones de soldadura. Para el aluminio se utiliza frecuencias de 2.5 MHz. En el caso de grandes reservorios o tanques donde se sueldan grandes longitudes se realiza este tipo de ensayo y se verifica haciendo una toma radiográfica en el sitio donde se determinó la falla. Una limitación de este ensayo es que la interpretación de los resultados debe estar a cargo de personal calificado. (Ref. 15)

#### Tintas Penetrantes.

Este método se usa ampliamente para detectar fallas en la superficie que no se determinan visualmente. Es fácil de usar y tiene un bajo costo de inversión.

Cuando se usan materiales fluorescentes es preciso usar una lámpara de luz ultravioleta y observar la pieza en un sitio oscuro. (Ref. 15)

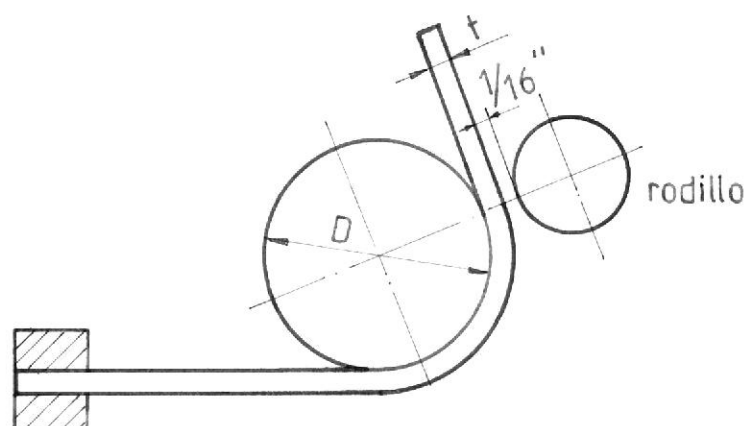
## PRUEBAS DESTRUCTIVAS

### Ensayo de Doblado.

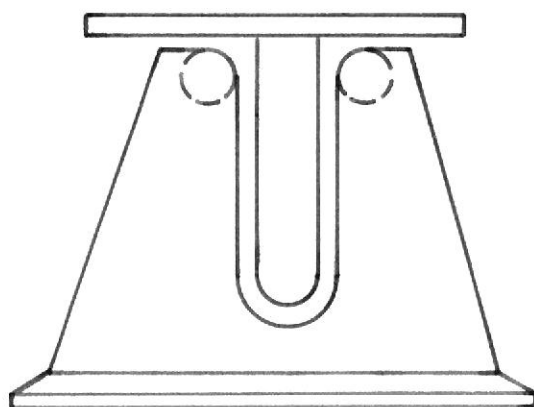
De las pruebas destructivas para verificar una unión soldada la más práctica y sencilla es el ensayo de doblado, y se lo realiza de dos formas diferentes: el rolado y embutido. La probeta a utilizarse debe de medir 1 1/2" x 8" de largo. Para una mayor visualización del método ver la Fig. 6 a continuación.

Una unión soldada satisfactoria es la que no presenta defectos mayores a las especificaciones técnicas, luego que la probeta ha sido ensayada.

Antes de ser puesto en servicio un tanque de almacenamiento debe ser sujeto a pruebas para confirmar la confiabilidad del equipo, las pruebas que se realizan son para comprobar que la unión soldada es aceptable y que no existe ningún tipo de fuga; puesto que el recipiente no estará sometido a grandes presiones ni contendrá gases comprimidos, no



a. Rolado



b. Embutido

Fig. 6 ENSAYO DE DOBLADO

se realizarán pruebas de resistencia a altas presiones.

Las pruebas pueden ser diversas, como tomas radiográficas, ensayos con ultrasonido, etc., pero específicamente es la prueba hidráulica, que consiste en llenar el tanque con agua y dejarlo un tiempo considerable, 1 día, de manera que si en el caso de que existan fugas por una mala unión, esta sea reparada para proceder a la entrega del equipo.  
(Ref. 3)



## CAPITULO IV

BIBLIOTECA

### COSTOS DE FABRICACION

Este capítulo estará destinado a la elaboración de un listado de materiales y equipos así como el personal necesario para la fabricación de un tanque de aluminio de 10.000 galones para transporte de agua potable, a fin de tener un valor real de lo que costaría la construcción. Tanto los materiales directos e indirectos como los equipos y el personal, se los considera de acuerdo al conograma de actividades efectuado.

#### Materiales Directos.

Se tomarán en cuenta todos los materiales que formarán el tanque, por ejemplo: planchas, estructuras, bridas, etc.

#### Materiales Indirectos.

Son los también llamados materiales fungibles necesarios para efectuar la obra como son: electrodos, gas, disco de

corte, equipo de seguridad, agua, etc.

#### Uso de Equipos y Herramientas.

Se consideran los costos por utilización de equipos y herramientas con los cuales se realiza la obra tales como: roladora, rebordeadora, máquinas de soldar, herramientas en general.

#### Mano de Obra.

Se considera los pagos al personal necesario para la fabricación del tanque.

#### Transporte.

Se toman en cuenta los valores por concepto de traslado de materiales, equipos, personal, etc.

#### Dirección Técnica.

Son los valores correspondiente a la remuneración a los profesionales que intervienen en la obra, por ejemplo: ingeniero calculista, ingeniero supervisor de obra, etc.

#### Gastos Generales.

O también llamados gastos administrativos y son los que sirven para los gastos de operación de la empresa constructora, estos son: remuneraciones al personal administrativo, energía eléctrica, teléfono, etc.

#### Utilidades.

Representa el beneficio económico para la empresa fabricante.

#### Imprevistos.

Este rubro se lo considera para defender a la empresa constructora de cualquier imprevisto, es decir un respaldo, una seguridad, como por ejemplo: robos, pérdidas de material, alza de costo o salarios, etc.

## MATERIALES DIRECTOS

| CANT. | DENOMINACION  | P. UNIT.       | P. TOTAL                       |
|-------|---|----------------|--------------------------------|
| 66    | Planchas de aluminio<br>1070 de 800 x 2300 x<br>8 mm. | S/. 113,270.40 | 7,475,846.40                   |
| 4 m   | Varilla de aluminio<br>de ø 12 mm.                    | 2,800.00       | 11,200.00                      |
| 1     | Codo 90° de aluminio<br>de ø 76,2 mm.                 | 12,000.00      | 12,000.00                      |
| 2     | Respiradero (tubería<br>de ø 20 mm)                   | 1,500.00       | 3,000.00                       |
| 1     | Medidor de nivel                                      | 25,000.00      | 25,000.00                      |
|       | Sub-Total   | S/.            | -----<br>7,527,046.40<br>===== |

## MATERIALES INDIRECTOS

| CANT. UNID. | DENOMINACION                  | P. UNIT.     | P. TOTAL     |
|-------------|-------------------------------|--------------|--------------|
| 80 kg       | Soldadura ER 4043             | S/ 10,048.50 | 803,880.00   |
| 10 carga    | Argón (7m)                    | 61,754.00    | 617,540.00   |
| 1 kg        | Soldadura Eutec<br>Trode 2101 | 56,783.10    | 56,783.10    |
| 20 discos   | Esmerilar                     | 1,000.00     | 20,000.00    |
| 12 pares    | Guantes para<br>maniobra      | 500.00       | 6,000.00     |
| 8 pares     | Guantes para<br>soldar        | 700.00       | 5,600.00     |
| 8 vidrios   | Rectangulares<br>oscuros      | 800.00       | 6,400.00     |
| 8 pares     | Gafas claras                  | 3,000.00     | 24,000.00    |
| 10.000 gal. | Agua                          |              | 8,000.00     |
|             | Sub-Total                     |              | 1,548,203.10 |



BIBLIOTECA

## MANO DE OBRA

| CANT. | ESPECIALIDAD               | TIEMPO EST.<br>DE TRABAJO<br>(DIAS) | SALARIO<br>DIARIO | TOTAL<br>S/. |
|-------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------|
| 1     | Maestro armador            | 40                                  | 5,000.00          | 200,000.00   |
| 2     | Soldadores                 | 20                                  | 3,500.00          | 140,000.00   |
| 2     | Ayudante de<br>Soldador    | 20                                  | 2,000.00          | 80,000.00    |
| 1     | Cortador                   | 10                                  | 3,000.00          | 30,000.00    |
| 1     | Conformador de<br>planchas | 10                                  | 3,000.00          | 30,000.00    |
| 4     | Auxiliares                 | 30                                  | 1,500.00          | 180,000.00   |
|       | Sub-Total                  | S/.                                 |                   | 660,000.00   |
|       |                            |                                     |                   | =====        |

## USO DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

| CANT. | DENOMINACION                              | DIAS DE TRABAJO | COSTO DIARIO | COSTO TOTAL                    |
|-------|---|-----------------|--------------|--------------------------------|
| 1     | Roladora de laminas                       | 7               | 50,000.00    | 350,000.00                     |
| 2     | Motosoldadoras                            | 20              | 10,000.00    | 400,000.00                     |
| 2     | Equipos de corte                          | 10              | 3,500.00     | 70,000.00                      |
| 2     | Biseladores                               | 10              | 2,000.00     | 40,000.00                      |
| 2     | Amoldadoras                               | 10              | 1,000.00     | 20,000.00                      |
| 1     | Rebordeadora                              | 1               | 15,000.00    | 15,000.00                      |
| 1     | Matriz de rolar los filos de las planchas | 7               | 4,000.00     | 28,000.00                      |
| 1     | Herramientaje de taller                   | 20              | 8,000.00     | 160,000.00                     |
|       | Sub-Total                                 | S/.             |              | -----<br>1,083,000.00<br>===== |

TRANSPORTE

Compra de materiales S/. 50,000.00

Utilización de vehículo para eventos varios (transporte de personal, etc.) 100,000.00

Sub-Total S/. 150,000.00



BIBLIOTECA

## RESUMEN ECONOMICO

|                               |               |               |
|-------------------------------|---------------|---------------|
| Materiales directos           | S/.           | 7,527,046.40  |
| Materiales indirectos         |               | 1,548,203.10  |
| Mano de obra                  |               | 660,000.00    |
| Uso de equipos y herramientas |               | 1,083,000.00  |
| Transporte                    |               | 150,000.00    |
|                               | Costo Parcial | S/.           |
|                               |               | 10,968,249.50 |
| Dirección técnica (20%)       |               | 2,193,649.90  |
| Gastos generales (10%)        |               | 1,096,824.95  |
| Utilidades (25%)              |               | 2,742,062.37  |
|                               | Costo Total   | 17,000,786.72 |
|                               |               | =====         |

## CONCLUSIONES



1. El material utilizado para esta aplicación, el aluminio, presenta óptimas propiedades tanto físicas como mecánicas para la construcción de un tanquero de 10.000 galones para transporte de agua potable, pues es altamente resistente a la corrosión, no es tóxico, su peso es tres veces más liviano que el acero, es de color fijo, no necesita de un recubrimiento, posee una gran maquinabilidad y es soldable.
2. En el diseño, el análisis matemático de esfuerzos se realizó de acuerdo a códigos y regulaciones, de manera que tanto el diseño como el proceso de construcción cumple con normas a nivel internacional.
3. En cuanto al costo, el aluminio es más caro que el acero ordinario, pero más económico que el acero inoxidable. La inversión es razonable para la duración y servicios que presta al medio. Un tanquero de aluminio con el mantenimiento adecuado, tiene una vida de servicio bastante prolongada, alrededor de

veinte años.

4. La construcción de tanqueros de aluminio es factible en nuestro medio, ya que contamos con la capacidad, los equipos, el personal y material a disposición, pues existe una planta laminadora de aluminio en esta ciudad.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que los procedimientos de soldadura y soldadores utilizados en la construcción de este tipo de estructuras, sean calificados de acuerdo a las normas aplicables.
2. Se recomienda el uso de normas, códigos y procedimientos técnicos para la construcción de este tipo de tanqueros, para un mejor aprovechamiento del material y mayor seguridad de servicio que prestan los tanqueros, así como para la capacitación del personal que labora en la industria metalmeccánica.
3. Se aconseja que este tipo de tanqueros sea realizado localmente, a fin de mejorar la condición económica del medio, la capacidad del personal técnico y la transferencia de tecnología.

## BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN SOCIETY FOR METALS, Aluminium Vol. I Propieties, Physical Metallurgy and phase Diagrams, Vol II Desing and Aplication, Vol III Fabrication and Finishing, Ohio - Usa, 1967
2. M. FONTANA - N. GREENE, CORROSION ENGINEERING, Ohio - USA.
3. AMERICAN WELDING SOCIETY, Welding Handbood, Vol IV, Seventh Edition, USA, 1976
4. Ing. L. DE VEDIA, VII Curso Panamericano de Metalurgia, 1986
5. LINKOLN ELECTRICAL CO., The Procedure Handbook AW, Ohio - USA, 1976
6. PATTON, Ciencia y Técnica de la Soldadura, URMO.
7. PAUL BUTOD, Pressure Vessels Handbook

8. COMISION DE TRANSITO DEL GUAYAS, Ley de Tránsito y Transporte Terrestre, Guayaquil - Ecuador
9. KURT CIECK, Manual de Fórmulas Técnicas, Representaciones y Servicios, México, 1981
10. NIKEN, TAMPOS PLANOS OU RETOS - SOMETE REBORDEADOS Brasil
11. Ing. ALBERTO TORRES, Apuntes de Soldadura, Guayaquil - Ecuador, 1984
12. AGA, Soldadura MAG/MIG, Cádiz, 1987
13. SOLTEC, Aluminio y sus Aleaciones, Chile
14. JUAN N. BAEZ, Radiografía Industrial, Instituto de Ensayos No Destructivos y Control de Calidad, Folleto ESPOL, 1984
15. Curso Interregional de capacitación en la garantía de calidad, Ensayos no Destructivos, Folleto ESPOL, 1985

## ANEXO

FOTOGRAFIAS DE TANQUEROS DE SECCION  
ELIPTICA, COMO EL DISEÑADO EN ESTE  
PROYECTO, QUE EXISTEN EN EL MEDIO.





TANQUES PARA TRANSPORTE DE SODA CAUSTICA CON TAPAS REBORDEADAS, CONSTRUIDAS EN EL PAIS.



TANQUES PARA TRANSPORTE DE LECHE DE ACERO INOXIDABLE, Y  
DE ACERO ORDINARIO DE SECCION ELIPTICA.



BIBLIOTECA