

Universidad Nacional de Ingeniería
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“ Estudio Metalurgico
de Recipientes de Gas
Licuado de Petróleo
GLP de 11 Kg ”**

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

ISAIAS JESUS QUEVEDO DE LA CRUZ

Promoción 1978 - 2

LIMA - PERU - 1988

TABLA DE CONTENIDO

PAGINA

	PROLOGO	6
1.	INTRODUCCION	9
2.	CARACTERISTICAS DE LOS RECIPIENTES DE GLP DE 11 kg	12
3.	MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACION DE RECI PIENTES DE GLP DE 11 kg	16
	3.1 Planchas de acero	16
	3.2 Electrodo	29
4.	CAMBIOS MICROESTRUCTURALES QUE SE DAN EN EL PROCESO DE FABRICACION DE UN RECIPIEN TE DE GLP DE 11 kg	31
	4.1 Procesos empleados para la fabrica - ción del recipiente	31
	4.2 Cambios microestructurales en el pro ceso de embutido	36
	4.3 Cambios microestructurales en el pro ceso de soldadura	40
	4.4 Cambios microestructurales en el pro ceso de tratamiento térmico de ali - vio de tensiones	52
5.	ESTUDIO METALURGICO DE RECIPIENTES DE GLP DE 11 kg CON VARIOS AÑOS DE SERVI CIO.	57
	5.1 Selección de muestras	57

5.2 Estudio del material utilizado en la fabricación del recipiente.	59
5.3 Estudio de la evolución del material como consecuencia del proceso de conformado de los casquetes y del tratamiento de recocido	62
5.4 Estudio de las uniones soldadas	67
5.5 Estudio de la corrosión experimental por los recipientes en servicio	70
6. EVALUACION DE RESULTADOS	74
CONCLUSIONES	84
BIBLIOGRAFIA	90
APENDICE	93

P R O L O G O

P R O L O G O

El objetivo fundamental del presente trabajo de Tesis, es analizar los cambios metalúrgicos, y en especial los microestructurales que ocurren durante la fabricación del recipiente de Gas Licuado de Petróleo (GLP) de 11 kg, y los que se dan después en servicio, y la influencia que puedan tener estos cambios en el comportamiento del mismo.

Para esto en el primer capítulo se resalta la importancia de dichos cambios, y su influencia en el comportamiento en servicio del recipiente.

En el segundo capítulo se detallan las características de diseño y del contenido de recipientes de GLP de 11 kg.

Se analizan las características, con énfasis en aspectos microestructurales, que deben tener las materias primas principales para la fabricación, como son plancha de acero para la confección de los casquetes, los electrodos de soldadura, en el tercer capítulo.

En el cuarto capítulo se estudian los procesos empleados para la fabricación del recipiente. Se evalúan los cambios microestructurales que se dan en las etapas principales como son: el embutido, soldadura de casquetes y el tratamiento térmico de alivio de tensiones; asimismo, se analizan los defectos que

pueden dar en el proceso de fabricación.

En el quinto capítulo se efectúa un estudio metalúrgico de recipientes con varios años de servicio, que comprende la evaluación de: el material utilizado, la evolución de éste como consecuencia del proceso de conformado y del tratamiento térmico, las uniones soldadas y la corrosión experimentada por recipientes en servicio.

En el sexto capítulo se analizan los cambios microestructurales sufridos por el material del recipiente con el tiempo y la defectología encontrada, y la incidencia que puede haber tenido la fabricación u operación del mismo.

Por último se presentan las conclusiones derivadas de la evaluación de resultados con el propósito de efectuar recomendaciones al usuario del recipiente, a los fabricantes del mismo, al envasador, a los productores de materia prima y a los entes normativos y fiscalizadores del país.

I N T R O D U C C I O N

1.- INTRODUCCION

El gas licuado de Petroleo (GLP) utilizado en nuestro medio es un combustible compuesto principalmente de una mezcla de propano, isobutano y butano.

Para poder emplear el GLP a nivel doméstico e industrial se requiere que sea envasado en estado líquido a una presión relativamente alta, ya que a la presión atmosférica su estado natural es en forma gaseosa.

Por lo tanto, la comercialización de estos gases hace necesario otorgar el máximo de seguridad al envase o recipiente que los contiene; es decir que sea fabricado con los materiales apropiados y bajo procesos de manufactura adecuados, que puedan garantizar su operatividad en el tiempo. En este sentido, el trabajo se centra en, el estudio del recipiente de GLP de 11 Kg. de capacidad por ser el de mayor aplicación en nuestro medio, aunque los resultados del mismo pueden ser aplicados a recipientes similares.

El propósito de este trabajo es en esencia analizar los cambios metalúrgicos, y en especial los microestructurales, que ocurren durante la fabricación y operación del recipiente de GLP de 11 Kg., y la influencia que pueden tener en el comportamiento del mismo.

Se pretende demostrar que después de los procesos de fabricación del recipiente y durante su operación se generan, o pueden generarse, una serie de defectos macroscópicos y microscópicos, que pueden comprometer el comportamiento en servicio,

y en consecuencia, la seguridad del usuario e instalaciones. Para tal fin se estudian las características de las materias primas de partida, los procesos de manufactura empleados en la fabricación del recipiente y los defectos que se pueden introducir en el material como consecuencia de estos, y las características microestructurales y mecánicas de recipientes con varios años de servicio.

Para los análisis y evaluaciones realizadas durante la ejecución del presente trabajo se emplean técnicas y métodos de ensayos normalizados; en el País por el Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (ITINTEC) y en el Extranjero, principalmente, por la American Society Testing for Metals (ASTM).

CARACTERISTICAS DE LOS RECIPIENTES DE

G L P DE 11 kg

2.-CARACTERISTICAS DE LOS RECIPIENTES DE GLP DE 11 KG

De acuerdo a la Norma Técnica Nacional ITINTEC (NTN)350.011 "Recipientes portátiles, hasta 12 kg, para Gases Licuados de Petróleo", el recipiente ensamblado por medio de soldadura tendrá los siguientes elementos, los cuales también se indican en la fig.1 :

a.- Un cuerpo de dos piezas embutidas. Las piezas embutidas (cabezas) podrán ser de forma esférica o elipsoidal con una relación de 2:1 entre los semiejes.

El espesor del cuerpo del recipiente está en función de la plancha utilizada, y de acuerdo a la NTN 350.011 está dado por la fórmula:

$$e = \frac{P R}{E \sigma - 0.6P}$$

donde:

σ = 1/2 esfuerzo de fluencia mínima, MPa

P Presión de diseño, MPa

R Radio interior de la pared cilíndrica, en mm

e Espesor de la pared en mm

E Eficiencia de la soldadura

E = 1 para recipientes de dos piezas embutidas que no posean una costura longitudinal , como es el presente caso.

La altura (h) aproximada del cuerpo es 40 cm .

El diámetro (D) aproximado es 31 cm .

Ambos valores para casquetes semielipsoidales 2:1

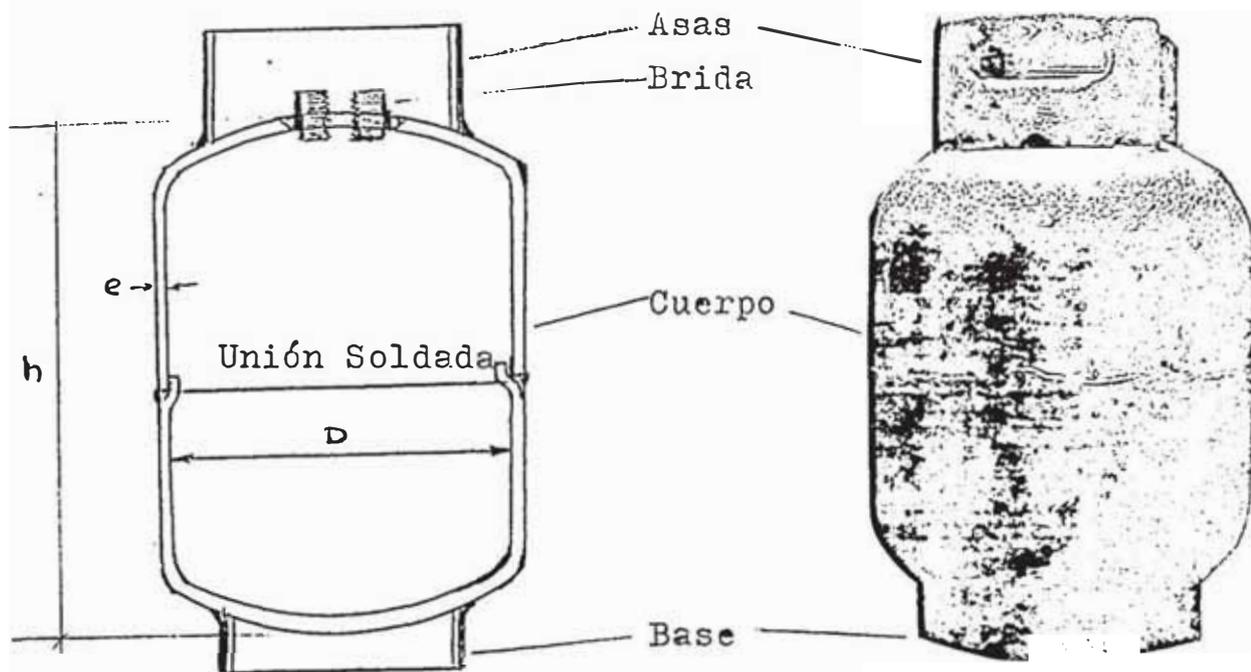


Fig.1.- Recipiente de GLP de 11 kg

- b.- Una brida redonda, perforada y fileteada interiormente para el enrosque de la válvula. El espesor de la brida para los recipientes con cuellos fijos será tal que permita un roscado de por lo menos 6 filetes de rosca cónica 3/4 NPT para la conexión de la válvula.
- c.- Un cuello fijo constituido de modo que permita una adecuada protección a la válvula, además debe estar provista en su parte inferior de orificios que permitan el drenaje de agua, o de cualquier otro líquido.
- d.- Una base cilíndrica de 2,5 mm de espesor, soldada al fondo del cuerpo, provista por lo menos de dos orificios de ventilación del diámetro mínimo de 1,27 cm o

su base equivalente en áreas perforadas en la parte superior de la base.

El diámetro exterior de la base será inferior al 80 % del diámetro exterior del cilindro para los recipientes.

La altura de la base de una dimensión tal que deje una ranura mínima de 6 mm entre el piso plano y el fondo del recipiente.

El recipiente de GLP de 11 kg, se comporta como un recipiente que está sometido a una presión interna máxima de 14 kg/cm^2 , y esto porque en la NTN 321.007 "Requisitos para los Gases Licuados de Petróleo", se especifica que la presión de vapor máxima de la mezcla que constituye el GLP no debe exceder de dicha presión, a 37.8°C .

Esto último implicaría que el GLP podría contener hasta un 100 % de propano, el cual es uno de los componentes de mayor presión de vapor. Sin embargo, en la práctica no se da esto ya que el contenido de propano es menor, lo que resulta en que el recipiente está sometido realmente a presiones menores de 14 kg/cm^2 .

MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACION DE

RECIPIENTES DE GLP DE 11 kg

3. MATERIA PRIMA PARA LA FABRICACION DE RECIPIENTES DE GLP DE 11 kg

Para el presente estudio se consideran como materias pri-
mas principales las planchas de acero utilizadas para la
fabricación de los casquetes y el material del electrodo
usado en los procesos de soldadura del recipiente.

3.1 Plancha de acero

a.-- Características de la plancha de acero según la Nor-
ma Técnica Nacional 341.088

En la NTN 341.088 "Planchas Delgadas de Acero al Car-
bono para la Fabricación de Recipientes Portátiles
para Gases Licuados de Petróleo", se establecen las
siguientes características:

- Las planchas serán fabricadas por laminación en ca-
liente o en frío.
- Los límites máximos de composición del acero de
las planchas en el análisis de cuchara y las pro-
piedades mecánicas, son las siguientes:

Composición Química

Aleante %/Grado	A34-GL	A42-GL	A45-GL	A50-GL
C	0,22	0,22	0,22	0,22
$\sigma + \frac{Mn}{6}$	0,32	0,38	0,42	0,45
P	0,035	0,035	0,035	0,035
S	0,040	0,040	0,040	0,040

b.1 Características de plasticidad

En el proceso de embutido debe lograrse que la deformación se realice preferentemente en el ala de la copa de la pieza en proceso y que para ello la copa deberá resistir la tracción sin adelgazarse y romperse.

Esta resistencia al adelgazamiento en el espesor se logra si el material es más resistente a la deformación a través del espesor que a lo largo o a lo ancho de la chapa, es decir si el material es anisotrópico en la dirección normal al plano de la misma.

Si bien la anisotropía normal al plano de la plancha resulta beneficiosa, no sucede en general lo mismo con la anisotropía en el plano de la plancha que se traduce en la aparición de "orejas", generalmente cuatro, en copas embutidas, tal como se muestra en la fig. 2.



Fig.2 .- Vista fotográfica de formación de orejas en plancha sometida a embutido.

La anisotropía, tanto normal como plana, resulta de la orientación preferencial en determinados sentidos de las direcciones cristalográficas de la estructura cristalina del metal. En efecto la resistencia a la deformación del hierro α , que es la estructura característica en aceros al carbono para embutido, es mínima a lo largo de la dirección (100) indicada en la fig.3, arista de la celda cúbica unitaria, es mayor a lo largo de la (110), diagonal de la cara y es máxima en la dirección (111) diagonal del cubo. La anisotropía será mayor cuanto menor sea el número de granos alineados con su dirección (100) en el sentido de la deformación.

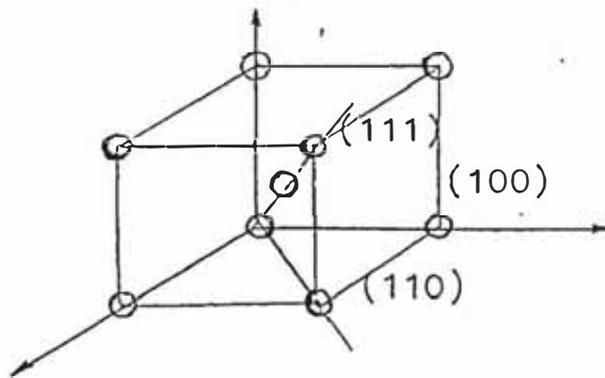


Fig. 3.- Direcciones cristalográficas en el hierro α .

En términos generales puede decirse que las operaciones de embutido se verán favorecidas por una plancha de acero que tenga:

- a) Baja tensión de fluencia para evitar inestabilidad elástica por pandeo.
- b) Alta anisotropía normal para evitar adelgazamiento en embutido.
- c) Baja anisotropía plana para evitar orejeado.
- d) Alta deformación uniforme para retardar inestabilidad plástica en estirado.
- e) Alto endurecimiento por trabajado para favorecer deformación no localizada en estirado y doblado.
- f) Ausencia de grietas e impurezas para evitar la generación de fisuras en condiciones de tracción.

En la vista siguiente se muestra las microestructuras de una plancha típica para embutido en su estado de suministro, en sección transversal (relacionada al espesor) y longitudinal.

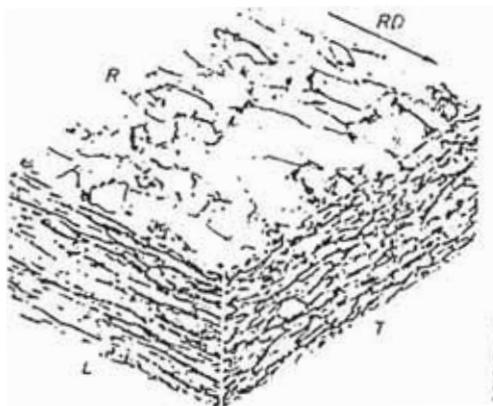


Fig. 4.-Micrografía de plancha de acero para embutido.

La especificación de plancha para embutido se hace según la capacidad de tolerar las operaciones convencionales de embutizaje. Las calidades van desde calidad comercial hasta calidad para Embutido Extra Profundo, utilizándose aceros efervescentes para las primeras y calmadas al aluminio para las más exigentes.

La calidad de las planchas para embutido desde el punto de vista de plasticidad, se comprueba con la ayuda de ensayos habituales como Tracción y dureza, empleándose también ensayos simulativos de acopado o embutido como por ejemplo: el ERICHSEN. Sin embargo, la instancia decisiva para la verificación de la adaptabilidad de determinado material a determinado proceso es la fabricación de la pieza en sí.

b.2 Características de soldabilidad

La soldabilidad de un acero implica la aptitud para producir una soldadura eficiente y libre de agrietamientos, y es función principalmente de su composición química y su calidad metalúrgica.

Composición química

Respecto a la composición química, los aceros de bajo contenido de carbono, como es el caso de planchas de acero para fabricación de recipientes -

tes, presentan pocos problemas de soldabilidad, pues normalmente no son capaces de dar estructuras de temple por enfriamiento al aire. Como es sabido los aceros capaces de dar este tipo de estructuras, como es el caso de los aceros de alto porcentaje de carbono, son muy tendientes al agrietamiento en la zona afectada por el calor.

En razón de lo anterior cobra importancia al contenido de manganeso, el cual es otro elemento que favorece, aunque en menor proporción que el carbono, la capacidad del acero de dar estructuras de temple o templabilidad; y, en consecuencia la posibilidad de agrietamiento, siendo por esto necesario controlar estrictamente ambos elementos en la plancha de partida.

El silicio que es otro de los aleantes importante del acero, no ejerce mayor influencia sobre la tendencia al agrietamiento.

Con la finalidad de minimizar la posibilidad de agrietamiento, es recomendable calmar el acero con aluminio como método particularmente favorable para disminuir la dureza de la zona afectada por el calor y, por consiguiente, para reducir la tendencia al agrietamiento. La acción fa

vorable del aluminio sobre la tendencia al agrietamiento puede atribuirse a la coalescencia acelerada del carburo durante el recocido.

Cualidades metalúrgicas

Es importante que la plancha de acero fabricada sea de buena calidad, es decir, que no contenga zonas segregadas, y que tenga pocas inclusiones, de preferencia de pequeño tamaño, ya que estas ubicadas en zonas con tendencia a agrietamiento, como es la zona afectada por el calor, pueden actuar como concentradores de tensión de consecuencias catastróficas. En la fig. 5 se muestra una vista de una inclusión tipo sulfuro de gran tamaño ubicada en la zona afectada por el calor del metal o plancha base que provocó una rotura catastrófica.



Fig. 5.- Inclusión tipo sulfuro en zona afectada por el calor.

b.3 Características deseables para evitar defectos superficiales

Es importante que la plancha esté preparada para evitar dos defectos de acabado que se presentan en procesos de embutido: los frentes de deformación o bandas de Lüders y el denominado "piel de naranja".

Formación de frentes de deformación

Si se deforma por tracción una plancha de acero común, se observa el aumento lineal de tensión que caracteriza el rango elástico. Llegado un cierto valor comienza la deformación plástica en uno o más puntos del material (punto de fluencia superior) y se produce una caída de la tensión hasta que se estabiliza en un valor constante (punto de fluencia inferior). Esta deformación a tensión constante continúa hasta que la tensión aumenta con la deformación en la forma habitual hasta la inestabilidad plástica y rotura.

Este comportamiento es característico de los materiales llamados envejecibles, con contenido de solutos intersticiales, esencialmente Nitrógeno, capaces de difundir hasta las dislocaciones y anclarlas impidiendo su movimiento y por consiguiente la deformación; siendo necesario para deformar el material alcanzar la tensión suficiente para desanclarlas o

para generar nuevas dislocaciones, lo que se produce en forma súbita alrededor de los concentradores de tensión, originándose la característica caída de tensión y formándose un frente de deformación (las bandas de Lüders que se indican en la fig.6) que avanza sobre el material sin deformar.



Fig.6. _Aparición de bandas de Lüders

Desde un punto de vista práctico, este fenómeno no afecta sensiblemente la estampabilidad, pero produce una deformación localizada que puede actuar como un concentrador de tensión.

Este defecto puede eliminarse de dos maneras: introduciendo nuevas dislocaciones o eliminando los solutos ancladores de estas, o inmovilizándolos.

La introducción de dislocaciones frescas se logra sometiendo a la plancha a una deformación leve y homogénea, como por ejemplo un flexionado alternativo, lo

que provoca que al embutirse, la deformación sea homogénea y no se formen bandas localizadas; esto además tiene la ventaja de disminuir la tensión de fluencia que, como se dijo anteriormente, favorece el embutizaje. Este método tiene el inconveniente de que no elimina el envejecimiento en forma permanente da
do que los solutos pueden difundir hacia las nuevas
dislocaciones y anclarlas nuevamente, provocando la re
aparición del problema en el término de algunas horas o días según sean las condiciones del proceso.

Si bien, la eliminación de los solutos responsables no es económicamente factible, es posible inmovilizarlos mediante el agregado de elementos que tengan afinidad por los mismos y formen compuestos estables. En el caso del nitrógeno se utiliza aluminio que da lugar a la formación de nitruros de aluminio, que en condiciones adecuadas de proceso, eliminan totalmente el envejecimiento.

Formación de "piel de naranja"

Además de las bandas de Lüders ya mencionadas, existe otro defecto que afecta la calidad de la superficie de las piezas embutidas y que debe eliminarse. Es el denominado "piel de naranja", el cual consiste en una rugosidad excesiva producida por un tamaño de grano demasiado grande; este defecto se muestra en la fig. 7. Su control es muy sencillo, pero una disminución del tamaño de grano provocará un aumento de la tensión

de fluencia, por lo que la solución será un compromi
so entre la disminución del defecto o de la estampa
bilidad.

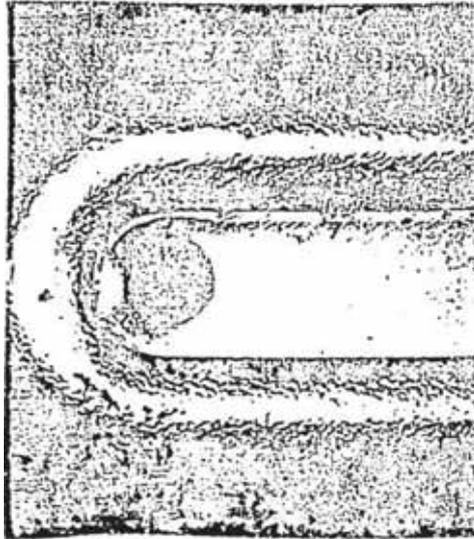


Fig. 7.- "Piel de naranja" en una plancha de
acero.

Por otro lado, es conveniente destacar que la presen
cia de impurezas y segundas fases en las superficies
de las planchas, no es tolerable, sobre todo cuando de
be aplicarse posteriormente algún tipo de recubrimie
nto.

c.-Análisis de las características generales de planchas para

embutido en relación con las establecidas en la NTN 341.088

Como se puede apreciar a través del análisis desarrollado
en el punto 3.1.b, el aluminio como elemento aleante del acer
cero es deseado porque mejora las características de plas
ticidad, soldabilidad y minimiza la posibilidad de formación
de zonas de deformación localizada en el acero.

Por esta razón, en Normas Técnicas de otros países se especifican aceros calmados al aluminio para fabricación de productos mediante técnicas de embutido.

Como nuestra Norma no considera este tipo de aceros, sería conveniente especificar en la NTN 341.088, como material para la fabricación de recipientes a gas, planchas de acero calmadas al aluminio.

De acuerdo a lo establecido en otras Normas Técnicas Internacionales, sería recomendable especificar como % mínimo de aluminio en el acero 0.018%, considerando dentro de esta composición 0.015% de aluminio metálico.

En resumen, desde el punto de vista microestructural, es mucho más conveniente para la fabricación de recipientes de GLP, utilizar planchas de acero con una estructura como la que se mostró en la fig. 4, que corresponde a un acero calmado al aluminio, en reemplazo de las planchas que se vienen utilizando actualmente, que básicamente presentan la microestructura, tanto en sección longitudinal como transversal, que se muestra en la vista siguiente:



3. Electrodo

Al margen de las características eléctricas y metalúrgicas que debe poseer un electrodo para soldadura por arco eléctrico sumergido, es deseable que tenga las siguientes características que en esencia evitan la aparición de posibles defectos durante el proceso de fabricación y en servicio:

- Composición química y estructura metalográfica similar a la del metal base, para evitar corrosión galvánica entre el metal de aporte y el de base. Si presentaran estructuras diferentes, se daría una pila de corrosión por la diferencia de potencial de corrosión existente entre ambos metales.
- Comportamiento catódico, porque si se dá la pila de corrosión es preferible que la disolución se dé en el metal base (comportamiento anódico) ya que este tiene mayor volumen respecto al metal de aporte. De darse el comportamiento anódico en el metal de aporte se presentaría corrosión localizada por el poco espacio existente.
- Electrodos con manganeso, para propiciar la formación de oxisulfuros de manganeso de preferencia a los sulfuros de hierro frágiles y de forma pelicular.
- Electrodos secos, para evitar la presencia del hidrógeno, el cual como se explicará más adelante causa sante de agrietamiento.

CAMBIOS MICROESTRUCTURALES QUE SE DAN EN EL PROCESO DE
FABRICACION DE UN RECIPIENTE DE GLP DE 11 kg

4. CAMBIOS MICROESTRUCTURALES QUE SE DAN EN EL PROCESO DE FABRICACION DE UN RECIPIENTE DE GLP DE 11 KG

En este capítulo se analiza los cambios microestructurales que va sufriendo la plancha de acero de partida en las diferentes etapas de fabricación, poniéndose énfasis en las diferentes defectologías que se pueden presentar en dichas etapas.

4.1 Procesos empleados para la fabricación del recipiente

Etapas Corte del disco

A partir de la plancha de partida se obtiene un disco de material cortado con un troquel adecuado. El disco que se obtiene presenta las dimensiones que se indican en la fig. 8.

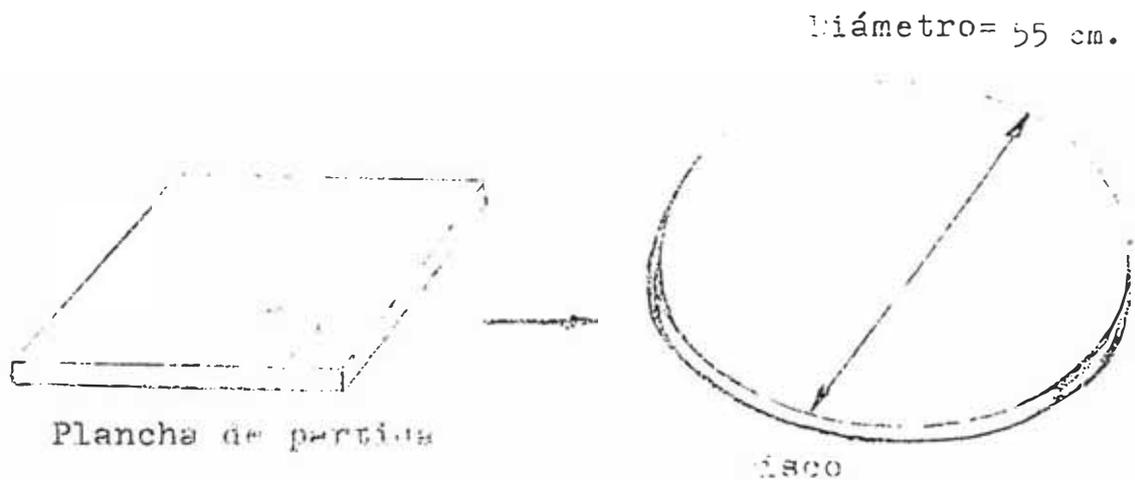


Fig. 8.- Dimensiones del disco de partida

Etapa 2: Embutido

El disco es sometido a una operación de embutido, después de la cual se transforma esta en una pieza denominada casquete, utilizando un punzón y una matriz en una prensa, tal como se muestra en la fig. 9. También se emplea un sujetador o prensachapa con la finalidad de impedir la formación de pliegues como resultado de la compresión que se genera en el sentido "transversal" al realizarse el embutido.

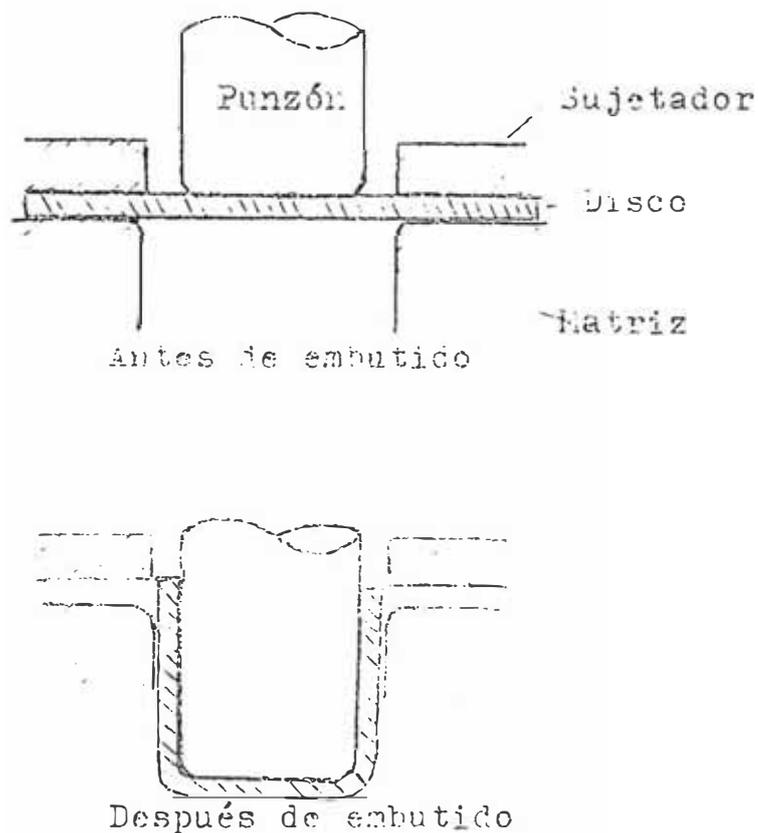


Fig. 9.- Pasos de embutido

Etapa 3: Rebordeado

En esta etapa se efectúa el rebordeado de la zona e cuatorial, con un troquel adecuado, con el fin de tener el traslape necesario para la operación de soldadura. Las dimensiones de dicho reborde se muestran en la figura siguiente:

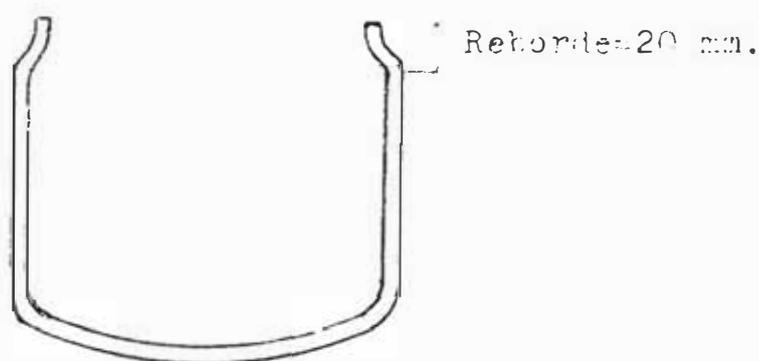


Fig. 10.- Cote de rebordeado

Etapa 4: Soldadura

A. Soldadura de partes bajo presión

- Circunferencial.

Se efectúa la unión de los dos casquetes mediante un proceso de soldadura por arco eléctrico sumergido; la unión soldada generalmente es traslapada, tal como se muestra en la fig. 11 .

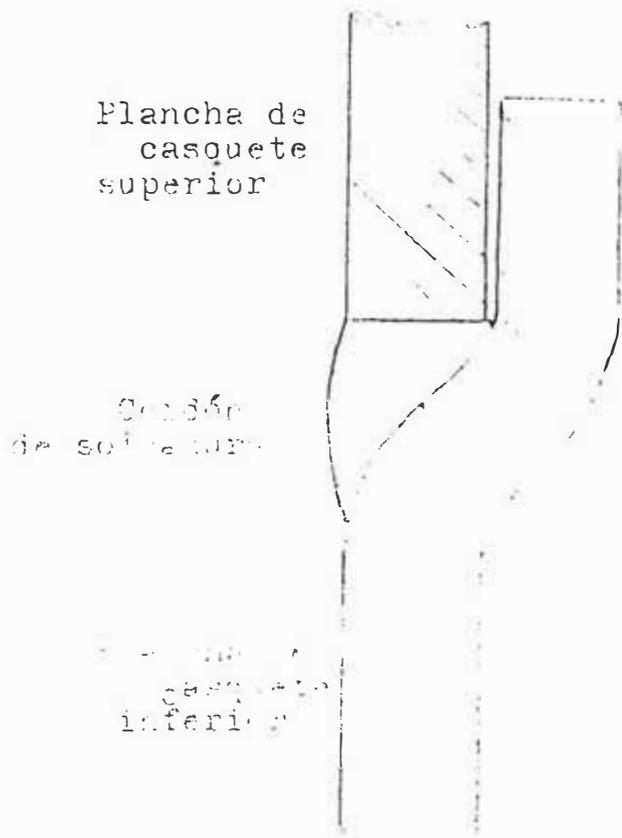


Fig. 11.- Unión traslapada de casquetes.

- Collarín o brida

La soldadura de esta parte también se realiza empleando la técnica de arco eléctrico sumergido, la unión soldada es en filete, tal como se muestra en la fig. 12.

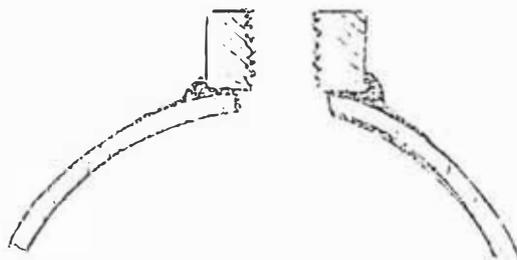


Fig. 12.- Unión filete de casquete-brida

B. Soldadura de partes en las juntas a presión

En esta etapa se sueldan las asas y las bases de apoyo de los recipientes, también mediante la técnica de arco sumergido. Las uniones soldadas son en ángulo o filete.

Etapa 5: Tratamiento térmico

En todos los procesos anteriores se han generado esfuerzos residuales y pérdida de ductilidad del material, la cual es necesaria recuperar, para esto, el recipiente es sometido a un recocido de relevado o eliminación de tensiones que consiste en un calentamiento a una temperatura mínima de 650°C , de acuerdo a lo indicado en la NTN 350.011, a fin de no alterar la microestructura, seguida de un enfriamiento lento en el horno para evitar la generación de nuevos esfuerzos residuales.

En algunos casos se realiza un tratamiento térmico de normalizado, el cual consiste en calentar el recipiente a una temperatura por encima de la A_{C_1} del acero para austenizarlo, y seguir con un enfriamiento al aire libre. Con esto se logra una mayor recuperación del material, es decir se recupera en mayor proporción la ductilidad respecto al tratamiento anterior.

Etapa 6: Pintado

Esta es la etapa final, y consiste en la colocación de un recubrimiento protector para protección del metal del recipiente contra los agentes exteriores .

Como se puede ver, sólo en las etapas de embutido, soldadura y tratamientos térmicos, es factible que se presenten cambios microestructurales; en consecuencia estas son las que se analizarán en los siguientes puntos del Estudio.

4.2 Cambios microestructurales en el proceso de embutido

Las tensiones que se generan en un proceso de embutido son de naturaleza variada, en tanto que en el fondo se tienen moderadas tensiones biaxiales, la pared está sometida a tracción a lo largo de ella, la que a su vez genera compresión radial y tracción circunferencial en virtud de la restricción impuesta por el punzón tal como se muestra en la fig. 13.

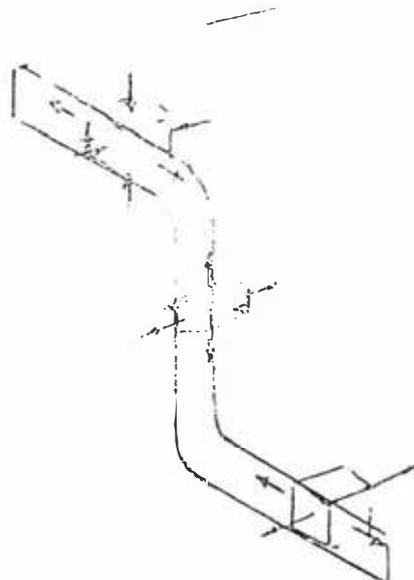


Fig. 13.- Estado de esfuerzos en una copa embutida

En consecuencia, en un casquete después del proceso de embutido se presentan tres zonas con características marcadas, tal como se muestra en la figura 14:

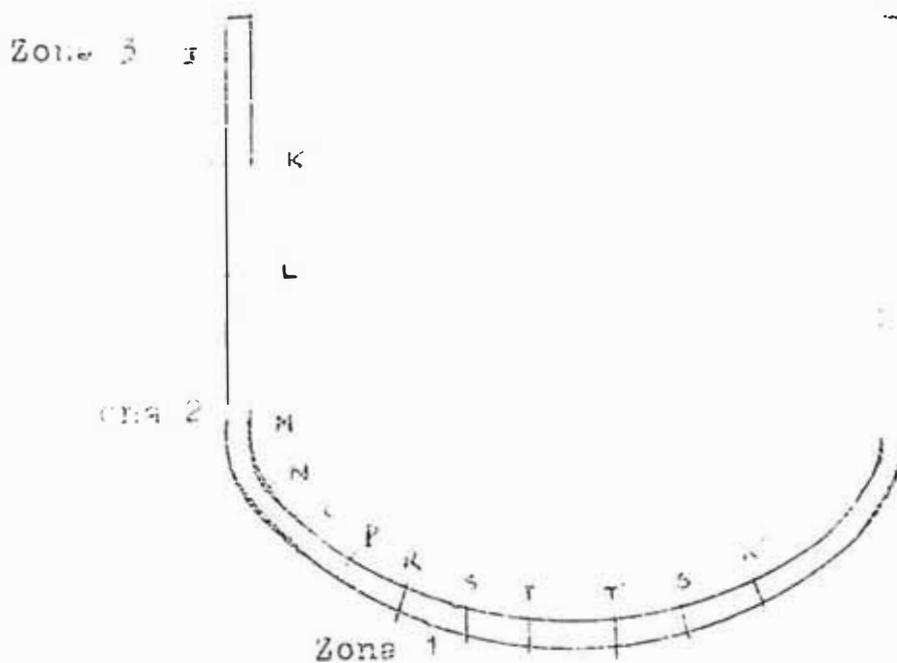


Fig. 14.- Zonas que se presentan en casquete embutido.

En la zona (1) o de fondo, en la que el material apenas experimenta deformación plástica en frío, se mantiene sin alteraciones la microestructura la cual es similar a la correspondiente a la plancha en estado de recepción (ferrita-perlita).

El espesor del material en esta zona es prácticamente igual a la de la plancha de partida, tal como se puede corroborar en la Tabla 1, para un espesor de la plancha de 2,1 mm.

Tabla I

<u>punto en zona</u> <u>de fondo</u>	<u>Espesor</u>
R	2.48
S	2.48
T	2.47
R'	2.48
S'	2.49
T'	2.47

En la zona (2) se da una reducción de espesor ó adelgazamiento del material, tal como se comprueba en la Tabla II, lo cual se produce como consecuencia del estirado del material que se desarrolla en esas zonas en cualquier proceso de embutición profunda. La microestructura del material consiste en granos de ferrite alargados producto de la deformación en frío, tal como se muestra en la fig. 15 siguiente:

Tabla II

<u>Punto</u>	<u>Espesor (mm)</u>
Q	2.11
R	2.11
S	2.10



Fig. 15.- Micrografía mostrando granos alargados
en zona de adelgazamiento.

En la zona (3) o próxima a la zona ecuatorial, se da un aumento de espesor, tal como se comprueba en la Tabla III, producidas por las tensiones de compresión desarrolladas por la reducción del diámetro que se produce en esta zona de la plancha en el proceso de embutición. La microestructura del material en esta zona del casquete se muestra en la fig. 16 .

Tabla III

<u>Punto</u>	<u>Espesor (mm)</u>
J	2.85
K	2.75

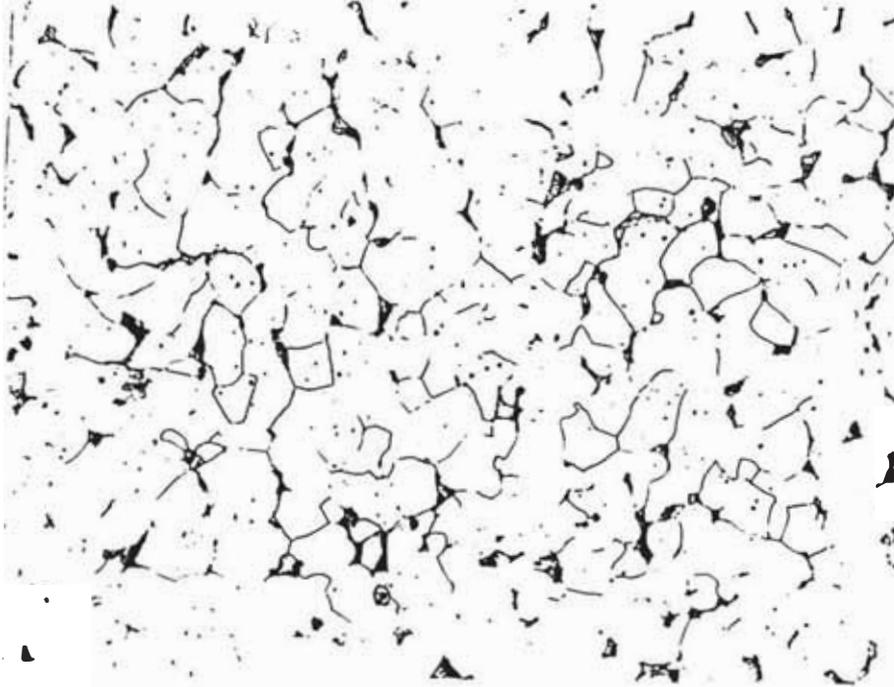


Fig. 16.- Micrografía mostrando estructura en zona de aumento de espesor.

4.3 Cambios microestructurales en la etapa de soldadura.

4.3.1 Soldadura de partes bajo presión

a. Soldadura circunferencial

En la fig. 17 se muestra en corte una macrografía de una soldadura circunferencial típica empleada para unir los dos casquetes de un recipiente de GLP.



Fig. 17 Macrografía de soldadura circunferencial.

En esta macrografía se puede apreciar claramente las 3 zonas que se presentan siempre en una unión soldada: la del metal de aporte, la zona afectada por el calor (ZAC), y la del metal base.

Sin embargo, un análisis a mayores aumentos de dichas zonas revela la presencia de muchos más y diversos cambios microestructurales, los cuales pueden ser relacionados con el diagrama Fe-C.

Comenzando con el metal de aporte se pueden distinguir cinco regiones:

I. La estructura fundida del metal de aporte (figura 18) mostrando granos columnares, bien definidos, los cuales consisten principalmente de ferrita, porque el metal de aporte tiene un bajo contenido de carbono (aprox. 0.15%). El metal se enfrió desde una temperatura superior al punto de fusión, como T, en el diagrama Fe - C de la fig. 19.

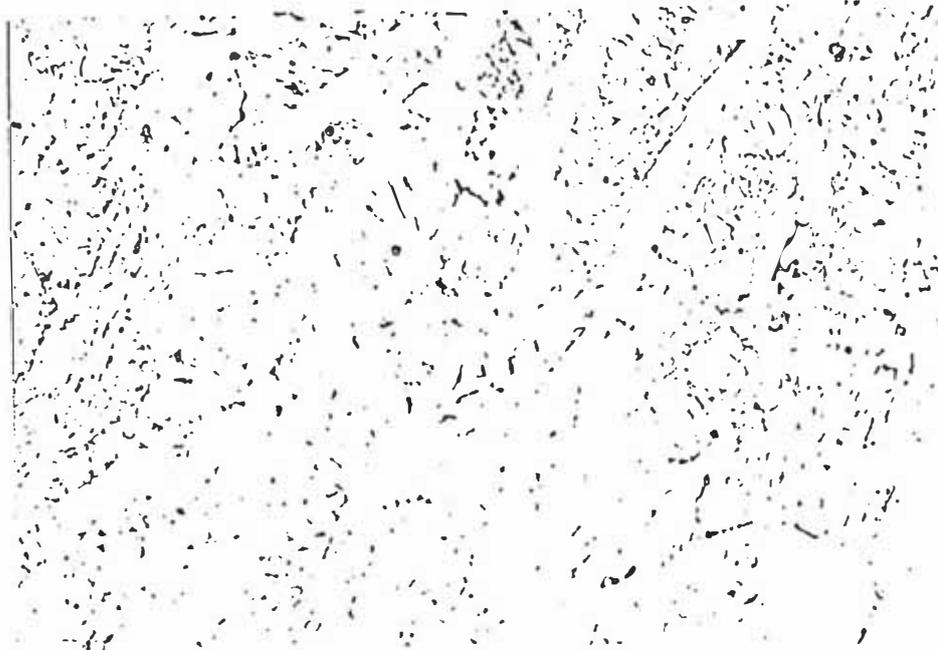


Fig. 18.- Micrografía en zona de metal de aporte

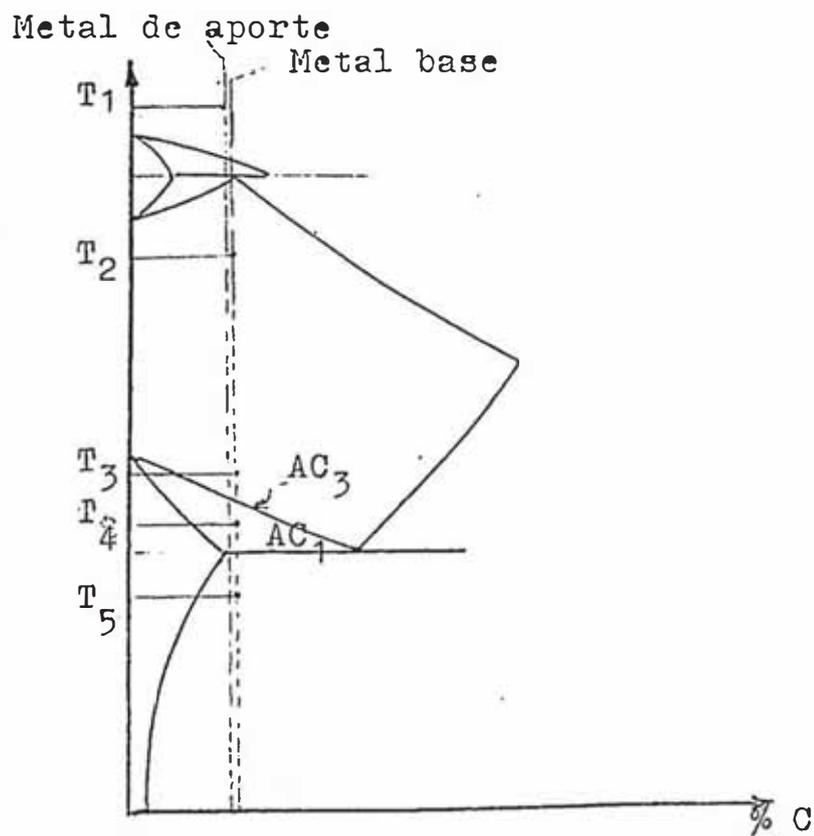


Fig. 19.- Diagrama Fe-C

II. La estructura sobrecalentada mostrada en la micrografía de la fig. 20. Los granos de hierro del metal base cerca a la separación base/aporte, enfriaron desde una T_2 para dar una precipitación Widmannstätten de ferrita en una matriz perlítica. La proporción de perlita-ferrita es mucho más alta que la que existía en el metal base. Este efecto es usualmente observado cuando la austenita se ha enfriado rápidamente desde una alta temperatura.

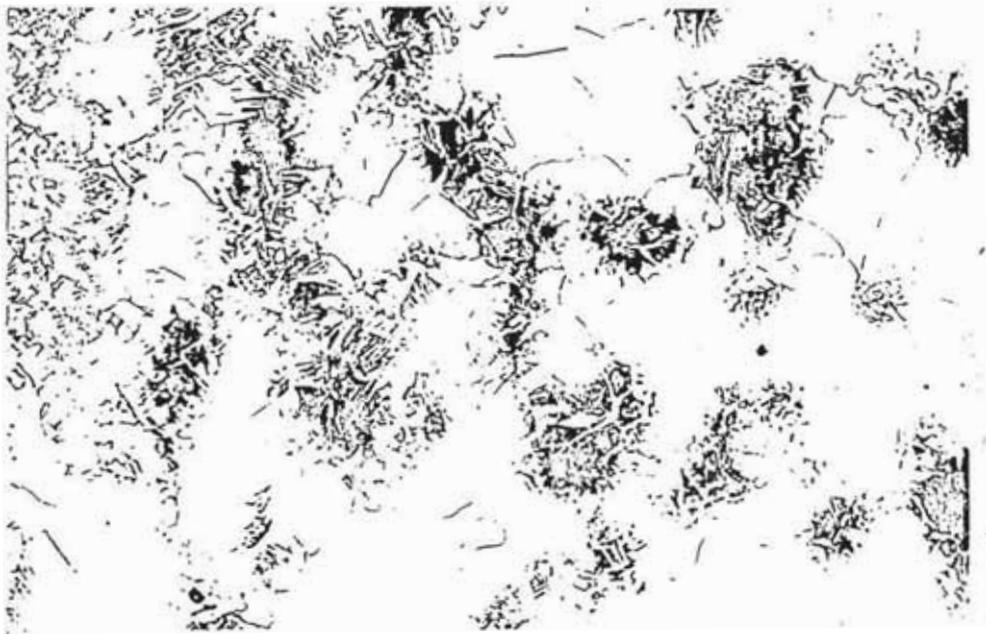


fig. 20.- Estructura sobrecalentada en la ZAC

III. La estructura Refinada mostrada en la micrografía de la fig. 21 .

La austenita original procedente enfrío desde una temperatura T_3 justo cerca a AC_3 .

Esta es la temperatura correcta para un recocido y resulta en una estructura ferrítica-perlítica fina.

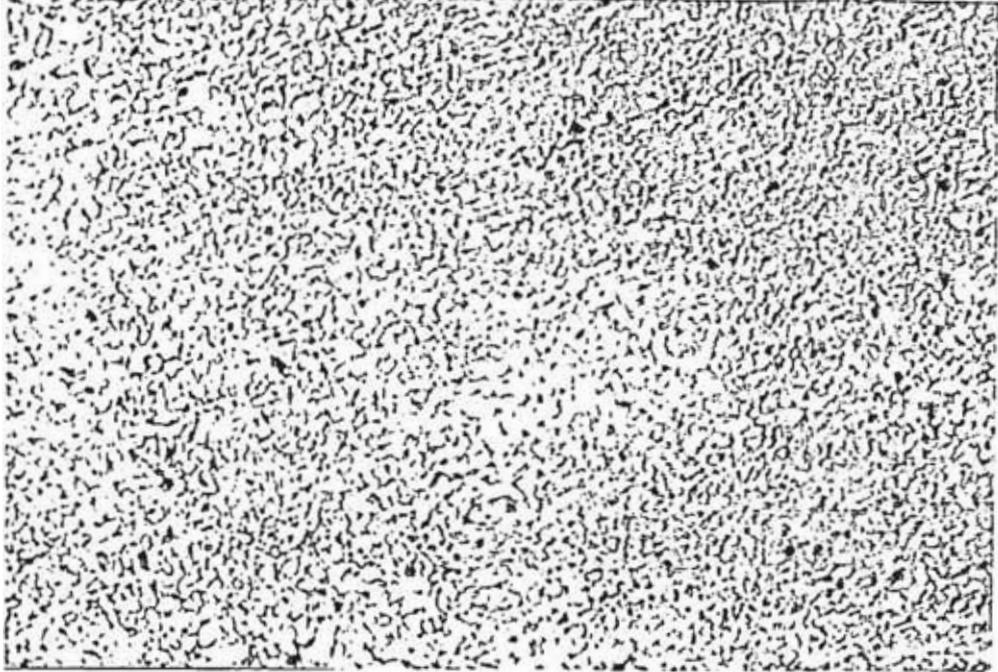


Fig. 21.-, Estructura refinada en la ZAC

- IV. La estructura mezclada mostrada en la micrografía de la fig. 22. El metal base el cual enfrió desde una temperatura entre AC_1 y AC_3 ; como T_4 , consiste inicialmente de una austenita más ferrita basta. En el enfriamiento la austenita da una perlita + ferrita fina. Entonces la estructura consiste de ferrita gruesa, ferrita fina más perlita fina

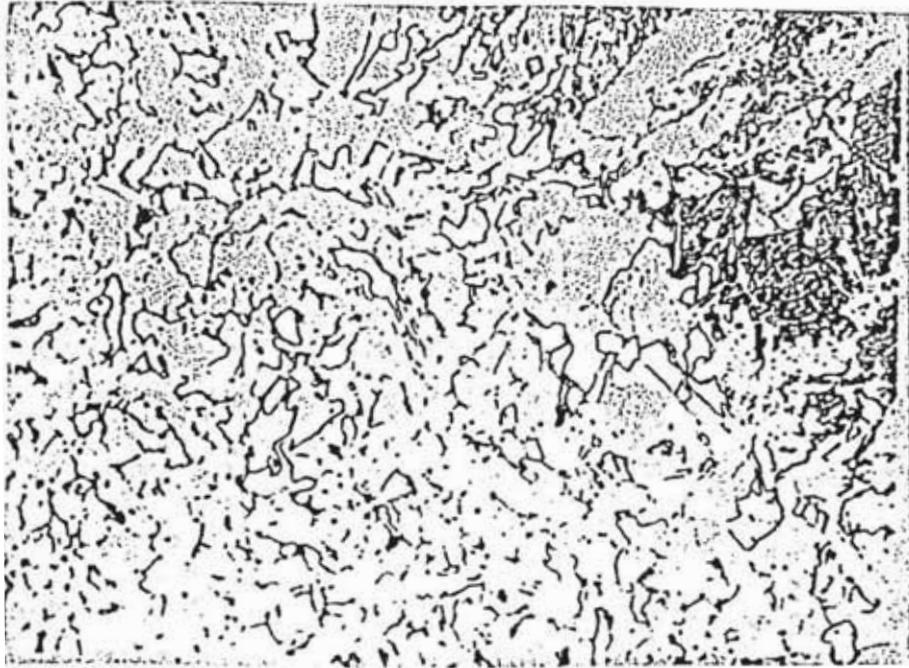


Fig. 22.- Estructura mezclada en la ZAC

V. El metal base mostrado en la micrografía de la fig. 23. Este ha sido calentado a una temperatura T_5 bajo AC_1 , no produciendo este calentamiento ningún cambio observable

en la estructura.

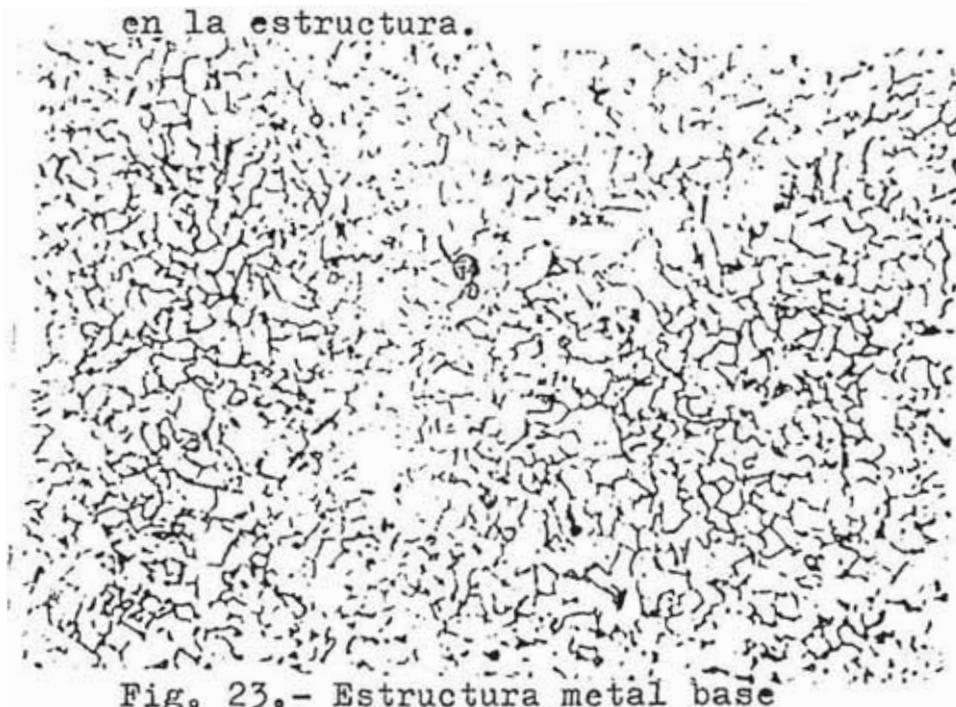


Fig. 23.- Estructura metal base

En algunos casos es posible la formación de martensita, de más % de carbono que la del metal base, en la ZAC, debido al posible rápido enfriamiento de esta zona desde una temperatura sobre AC_1 , lo cual es favorecido por el enriquecimiento en carbono de la austenita en la porción del diagrama Fe-C, ferrita + austenita, tal como se muestra en la fig. 24.

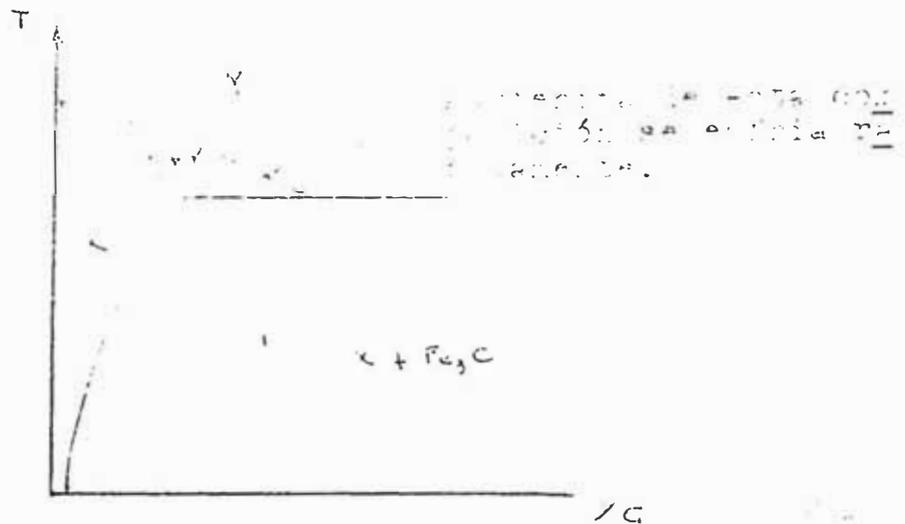


Fig. 24.- Explicación formación de martensita

Como en el proceso de unión soldada de los dos casquetes se realiza generalmente con más de una pasada de cordón de aporte, la influencia térmica de las pasadas superiores normaliza la estructura de las capas de material de aporte ya solidificadas, lo cual conduce a un afino de estructura con formación de granos poliédricos finos, siendo tal el aspecto estructural que se tiene en las partes centrales de las zonas fundidas.

de difundir en su forma atómica hacia zonas preferentes, como por ejemplo cavidades, y encontrarse con otro que migró de la misma manera, para formar hidrógeno molecular, ejerciendo de esta manera altísimas presiones en las cavidades y provocando agrietamiento. Esto se explica con más detalle en el Apéndice 2.

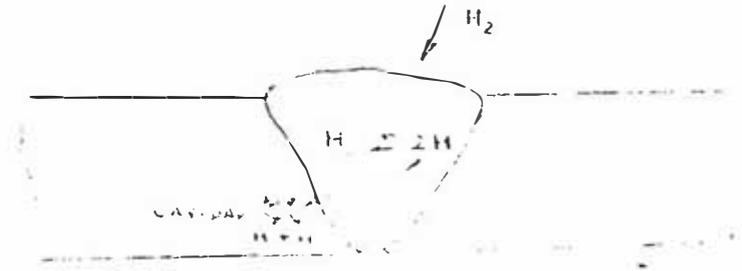


Figura 2. Agrietamiento por hidrógeno

-Defectos por esfuerzos térmicos de soldado

Es natural que en el proceso de soldado se creen esfuerzos o tensiones residuales de tracción y compresión, según el mecanismo explicado en el Apéndice 2, los cuales pueden producir agrietamiento e incluso rotura.

Para esto es importante, la forma correcta, posteriormente al proceso de soldado, del tratamiento térmico de alivio de tensiones.

-Procesos de corrosión asociados a la soldadura

Aunque su efecto se presenta posteriormente es importante notar que una mala elección del electrodo o algunos defectos producidos en el proceso de soldado pueden ocasionar diversos tipos de corrosión,

como por ejemplo:

+Corrosión galvánica o bimetálica, la cuál se presenta porque la composición del metal de aporte es diferente a la del metal base, formándose de esta manera, por la diferencia de potencial existente, un par bimetálico (ánodo-cátodo), por lo que es importante que la composición de ambas sean similares, procurándose que el metal de aporte tenga comportamiento catódico, como se indicó en el punto 3.2

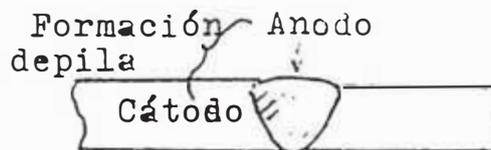
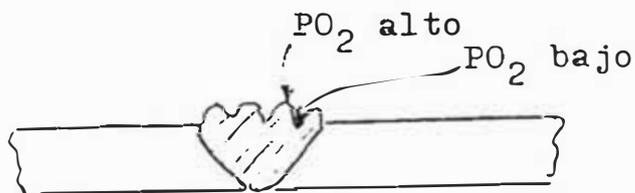


Fig. 27 Corrosión bimetálica

+Corrosión por aireación diferencial; todas aquellas zonas de la soldadura mal aireadas, es decir donde se tenga poca presión de oxígeno, son propicias para la aparición de ataque de corrosión por aireación diferencial, como por ejemplo:

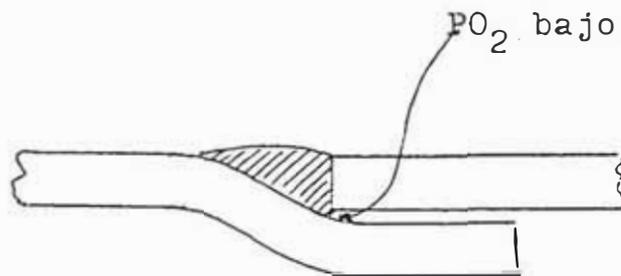
Porosidades superficiales



Zonas con poco relleno de material de aporte



Zonas donde el material de aporte no llega a la cavidad.



Zonas con costras.

Zonas sucias.

b. Soldadura del collarin

En la fig. 28 se muestra en corte la zona de soldadura del collarin al casquete.

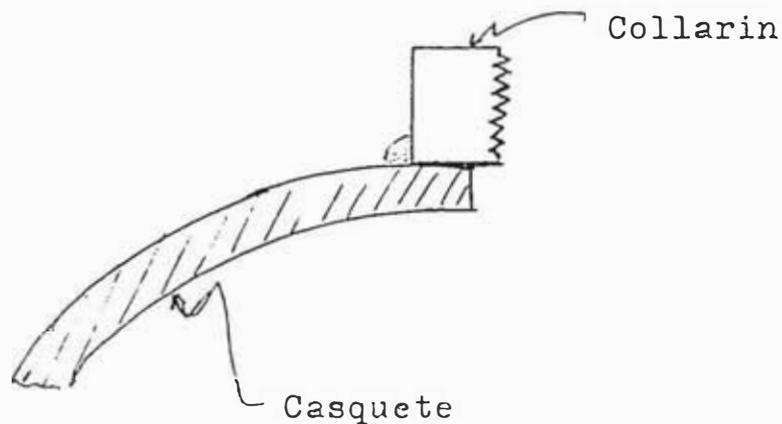


Fig.28 Soldadura del collarin-casquete

Considerando que usualmente el material del collarin es de similar calidad metalúrgica que el de las planchas del casquete, las microestructuras que se presentan en las diferentes zonas de la unión soldada, son similares a las que se mostraron para la unión soldada circunferencial.

Asimismo, la deficiencia que puede presentarse es similar.

4.3.2 Soldadura de partes no sometidas a presión

Estas soldaduras son las de unión asa-casquete y las unión base-casquete.

En la fig.29 se muestra en corte la zona de soldadura casquete superior-asa, la cual es de las mismas características que la empleada en la soldadura casquete inferior-base.

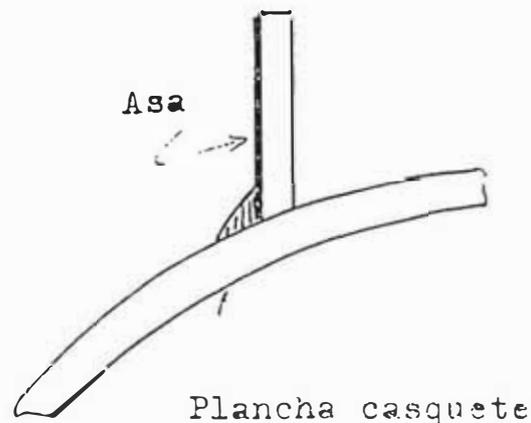


Fig. 29 Soldadura casquete superior-asa

Considerando que usualmente el material de las bases y asas es de similar calidad que el de las planchas del casquete, las microestructuras que se presentan en las diferentes zonas de la unión soldada son similares a las que se presentan en la soldadura entre casquetes.

Es importante notar que en el caso de soldaduras de partes no sometidas a presión, se tiene un rate de enfriamiento mayor que en las soldaduras circunferencial y la collarin-casquete, pues en la primera se tiene que la disipación del calor se efectúa por tres frentes.

tes, mientras que en las segundas se efectúa por dos frentes, tal como se indica en la fig.30.

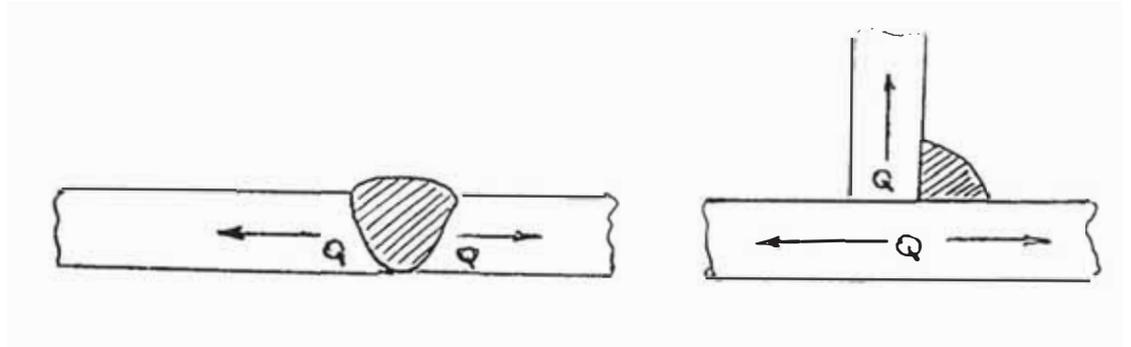


Fig.30 Disipación de calor en uniones soldadas. En consecuencia, en la soldadura de partes no sometidas a presión se tiene más posibilidad de formación de productos de temple, lo que conlleva a la probabilidad de agrietamiento.

4.4 Cambios microestructurales en el proceso de tratamiento térmico de alivio de tensiones.

a. Efecto del tratamiento en la zona de soldadura

El propósito en la zona de soldadura es principalmente eliminar los esfuerzos residuales que se dan por el ciclo térmico en el proceso de soldeo, que al superponerse a los esfuerzos que se dan durante el servicio del recipiente, podrían ocasionar la rotura frágil del recipiente.

En este sentido el tratamiento térmico o recocido de alivio de tensiones reduce dichos esfuerzos, pero no provoca ningún cambio microestructural.

Esto desde el punto de vista de la ductilidad que debe

tener el material del recipiente para resistir golpes y choques en servicio no es conveniente, considerando mas aún que en nuestro medio el recipiente es maltratado de sobremanera durante la comercialización.

Como se puede apreciar en la fig.31 ,la microestructura del material después de este recocido permanece sin alteraciones en la zona de soldadura, presentando la original estructura de Widmansttaten relativamente frágil.

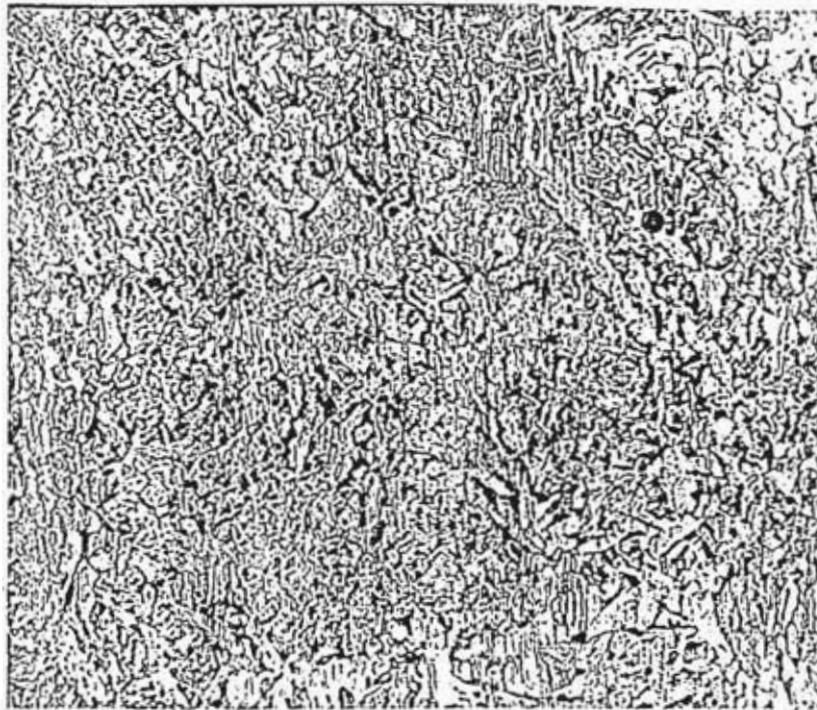


Fig.31 Estructura después de alivio de tensiones

Por razones de recuperación de ductilidad sería más conveniente efectuar tratamientos de recocido donde se dé la recristalización de la estructura.

Estos tratamientos podrían ser los siguientes:

Un recocido de regeneración, que consiste en austenizar completamente el acero, aproximadamente 30°C sobre la temperatura AC_3 , y seguir con un enfriamiento en horno. Con este tratamiento se consigue en el acero la micro_

estructura que se muestra en la fig.32,y que evidentemente es más dúctil que la obtenida en el,alivio de tensiones.La estructura consiste en granos de ferrita con lagunas de perlita,de forma no homogénea.

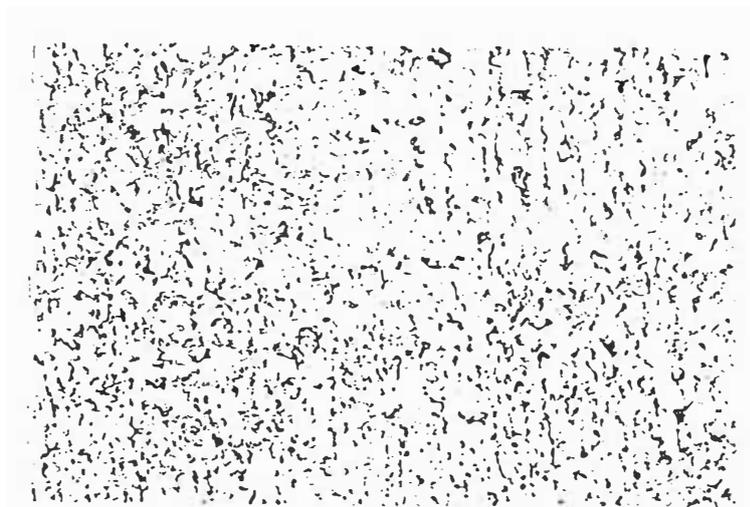


Fig.32 Estructura después de recocido de regeneración
-Un normalizado,que consiste en un austenizado seguido de un enfriamiento generalmente en aire,para refinar la estructura,tal como se muestra en la fig.33, en la cual se muestra una microestructura ferrítica de grano fino.Esta es más dúctil que las dos anteriores.



Fig.33 Estructura después de normalizado.

b. Efecto del tratamiento en las paredes del casquete

Durante el embutido el material queda fuertemente deformado especialmente en la zona donde se da adelgazamiento de la pared.

En el recocido de alivio de tensiones se produce una recuperación del material motivada por la alta temperatura, lo cual quiere decir que las dislocaciones producidas durante el proceso de deformación en frío se mueven hacia los bordes de grano o se neutralizan entre sí.

Aquí también sería importante tener una recristalización del grano, por ejemplo vía un normalizado, principalmente en las zonas donde el grano ha sufrido alargamiento, con el fin de tener también una mayor ductilidad en estas zonas.

ESTUDIO METALURGICO DE RECIPIENTES DE GLP DE 11 kg CON VARIOS

AÑOS DE SERVICIO

5. ESTUDIO METALURGICO DE RECIPIENTES DE GLP DE 11 KG CON VARIOS AÑOS DE SERVICIO.

El objeto de esta parte del trabajo es efectuar un estudio metalúrgico de recipientes de GLP de 11 kg. con varios años de servicio, con el propósito de determinar esencialmente los cambios en la microestructura, y en consecuencia en las características mecánicas, sufridos en el material del recipiente con el tiempo, y la defectología presente.

5.1 Selección de muestras.

Para el presente trabajo se han considerado 4 recipientes de GLP de 11 kg. con varios años de servicio, los cuales se codifican de la siguiente manera:

Recipiente 1
Fecha de fabricación: 10-67

Recipiente 2
Fecha de fabricación: 12-73

Recipiente 3
Fecha de fabricación: 02-69

Recipiente 4
Fecha de fabricación: 07-66

Para la toma de muestras para analizar el material del recipiente, se procedió a cortar longitudinalmente con sierra mecánica, cada recipiente.

En una de las dos mitades obtenidas se determinó el espesor de la pared del recipiente en diferentes zonas. Dichas zonas están ubicadas en la fig.34, habiéndose también efectuado en estos puntos toma de dureza y estudios metalográficos.

5.2 Estudio del material utilizado en la fabricación del recipiente.

Como se indicó en el punto 4.1, la zona del fondo del casquete prácticamente no sufre variación; por lo que para efectuar el estudio de la plancha original que se utilizó para fabricar el recipiente, se han tomado muestras de los fondos.

Para tal fin se efectuaron los siguientes ensayos:

Análisis químico
 Determinación del espesor
 Ensayo de dureza
 Ensayo de tracción
 Estudio metalográfico.

a. Análisis químico

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Recipiente	C %	Mn %	Si %	P %	S %
1	0.10	0.41	0.08	0.035	0.040
2	0.08	0.31	0.10	0.035	0.040
3	0.14	0.35	0.12	0.035	0.040
4	0.12	0.30	0.07	0.035	0.040

b. Determinación del espesor.

El espesor de la plancha en los fondos, se determinó en las zonas referenciadas A, B y C en el casquete superior, y en las zonas R, S y T en el casquete inferior.

RECIPIENTE	E S P E S O R (mm)					
	CASQUETE SUPERIOR			CASQUETE INFERIOR		
	A	B	C	T	S	R
1	2,46	2,47	2,46	2,38	2,38	2,36
2	2,35	2,37	2,37	2,18	2,19	2,19
3	2,20	2,22	2,22	1,96	1,96	1,94
4	2,40	2,41	2,39	2,05	1,98	1,91

c. Ensayo de dureza.

Se realizó tomas de dureza en la escala Rockwell B, en las zonas referenciadas A, B y C en el fondo del casquete superior y T, S y R en el fondo del casquete inferior.

RECIPIENTE	D U R E Z A HRB					
	CASQUETE SUPERIOR			CASQUETE INFERIOR		
	A	B	C	T	S	R
1	66	66	67	73	74	71
2	67	62	62	67	59	60
3	73	68	69	70	70	72
4	75	76	77	72	71	74

Estos valores corresponden a los valores medios de los obtenidos en tres determinaciones en cada una de las zonas.

d. Ensayo de tracción.

Este ensayo se realizó sobre probetas de 12,5 mm de ancho, el espesor el de la plancha y distancia entre marcas de 50 mm, obtenidas del material del fondo del cas-

quetes inferior. La orientación de las probetas coinciden con la indicada en la fig. 35 .

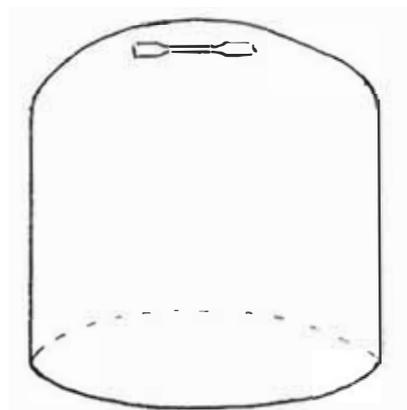


Fig. 35 .- Probeta para ensayo de tracción

Los resultados obtenidos fueron:

Recipiente	Límite de fluencia 0,2 % kg/mm ²	Resist. a la tracción kg/mm ²	Alargamiento %
1	29,8	39,0	31
2	26,3	38,4	38
3	31,1	43,1	19
4	29,0	38,9	30

e. Estudio metalográfico.

Los análisis se efectuaron sobre las mismas probetas consideradas en el ensayo de dureza

En la observación microscópica se puso de manifiesto lo siguiente:

Recipiente 1.- La microestructura del material en las diferentes zonas de los dos fondos, es la misma. Se trata

de una matriz ferrítica de grano equiáxico con lagunas de perlita en borde de grano; el tamaño de grano es el 8/9 (ASTM E112), de acuerdo a la micrografía 1 del Apéndice.

En el casquete superior, en la parte externa, se manifiesta una abolladura. En esta zona se comprueba que se ha producido un embastecimiento del grano ferrítico, de acuerdo a lo mostrado en la micrografía 2 del Apéndice, siendo el tamaño medio estimado de 2.

Recipiente 2.- La microestructura en los dos fondos es ferrita-perlita de grano equiáxico, siendo el tamaño de grano medio de 8, muy similar a la de la micrografía 1 del Apéndice.

Recipiente 3.- La microestructura en ambos fondos es ferrita-perlita de grano equiáxico, de tamaño 9, similar a las anteriores.

Recipiente 4.- La microestructura en ambos fondos es ferrita-perlita de grano equiáxico, de tamaño 9, también, similar a las anteriores.

5.3 Estudio de la evolución del material de los recipientes como consecuencia del proceso de conformado y del tratamiento térmico

Para el desarrollo de esta parte del estudio se han rea-

lizado nuevos ensayos con probetas obtenidas del cuerpo cilíndrico de los recipientes. Adicionalmente se consideraron los resultados obtenidos en los ensayos realizados en los fondos de los recipientes.

Para tal fin se efectuaron los siguientes ensayos:

Determinación del espesor

Ensayo de dureza

Ensayo de tracción

Estudio metalográfico

a. Determinación del espesor.

La determinación del espesor se realizó en las zonas de referencia D, E, F, G, H, e I en el casquete superior, y en P, O, N, M, L, K y J en el inferior.

CASQUETE SUPERIOR

RECIPIENTE/ZONA	D	E	F	G	H	I
1	2,23	2,20	2,13	2,15	2,24	2,26
2	2,01	1,94	1,82	1,97	2,10	2,13
3	2,14	2,13	2,03	2,08	2,19	2,40
4	2,11	2,11	1,97	2,03	2,14	2,38

CASQUETE INFERIOR

RECIPIENTE/ZONA	P	O	N	M	L	K	J
1	2,25	2,25	2,14	2,0	2,12	2,20	2,39
2	2,17	2,13	2,09	1,89	2,01	2,10	2,15
3	2,01	1,97	1,92	1,81	1,97	2,03	2,10
4	2,14	2,14	2,10	2,02	2,07	2,19	2,38

b. Ensayo de dureza.

En ambos casquetes se efectuó ensayo de dureza Rockwell B, con los siguientes resultados:

CASQUETE SUPERIOR

RECIPIENTE/ZONA	D	E	F	G	H	I
1	67	69	64	67	67	57
2	65	65	58	52	57	56
3	70	75	70	70	75	64
4	76	79	68	62	76	64

CASQUETE INFERIOR

RECIPIENTE/ZONA	P	O	N	M	L	K	J
1	70	71	75	71	69	69	64
2	59	64	57	62	56	63	56
3	69	67	65	67	64	64	63
4	72	67	68	69	69	71	63

c. Ensayo de tracción.

Este ensayo se realizó en probetas longitudinales tomadas de las paredes cilíndricas del recipiente (casquete inferior) de acuerdo a lo mostrado en la fig. 36 .

Las probetas fueron de 12,5 mm de ancho, espesor el de la plancha y 50 mm de distancia entre marcas.

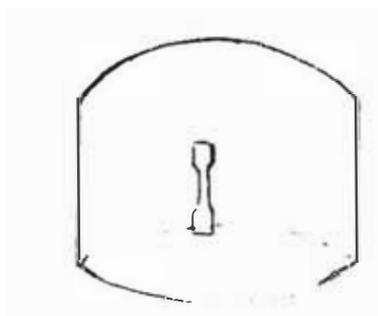


Fig. 36 .- Probetas para ensayo de tracción.

Los resultados obtenidos fueron:

Recipiente	Límite de fluencia 0,2 % kg/mm ²	Resist.a la tracción kg/mm ²	Alargamiento %
1	29	36	26,3
2	28,8	36,7	26,4
3	26,9	41,1	21,5
4	25,1	38,1	25,9

d. Estudio metalográfico

Para realizar el estudio metalográfico se han obtenido probetas de la parte de curvatura de los fondos, en las zonas D y E en el casquete superior, y P y O en el inferior, y del cuerpo cilíndrico en las zonas F, G, H e I en el casquete superior, y N, M, L, K y J en el inferior.

Las observaciones metalográficas realizadas son similares en los dos casquetes. Por esto, para los resultados, sólo se hará referencia a uno de los casquetes, en este caso el superior.

Recipiente 1.--En la zona D y E la microestructura es ferrita-perlita de tamaño de grano ASTM E112 #9, muy parecida a la observada en el material de fondo (micrografía 1). En una pequeña zona de E, la más próxima a F, se produce embastecimiento de grano con desarrollo de maculaciones de deformación (micrografía 3), observándose granos hasta de tamaño 4.

En las zonas de la pared cilíndrica (F, G, H e I), la microestructura es la misma, ferrita-perlita de grano equiaxial.

co, diferenciándose en el tamaño de grano que varía entre el 5 en la zona F, de acuerdo a lo mostrado en la micrografía 4, y el 7 en las zonas G, H e I, según lo mostrado en la micrografía 5.

Recipiente 2.-Las microestructuras encontradas son muy similares a las observadas en el recipiente 1.

Recipiente 3.-La microestructura observada en la zona D y E es ferrita-perlita de tamaño 8/9. en uno de los extremos de E, el más próximo a F, se nota que se ha dado un embastecimiento de grano (se tiene aproximadamente un tamaño 3), tal como se muestra en la micrografía 6.

En estas dos zonas en la parte externa de la plancha se nota una franja de material en la que se produce embastecimiento de grano con presencia de maclas de deformación, tal como se aprecia en la micrografía 7.

En las diferentes zonas consideradas en la pared lateral del cuerpo cilíndrico, la estructura es la misma, ferrita-perlita homogénea, presentándose variaciones en el tamaño de grano, desde un 6 en F hasta un 8 en las zonas G, H e I, tal como se muestra en la micrografía 8.

Recipiente 4.-En la zona D, y en parte de la E, la estructura del material es ferrita-perlita de tamaño 9, similar al material del fondo. En uno de los extremos de E, el más próximo a F, se produce engrandecimiento del grano ferrítico a un tamaño 4; en toda la extensión de E se observa que el

material ha experimentado embastecimiento de grano ferrítico en una franja estrecha de las superficies interior y exterior.

En las zonas F,G,H en la estructura es ferrita-perlita de grano equiáxico, manifestándose pequeñas diferencias en el tamaño de grano, el cual es 7 en F,G,H y 8 en I, de acuerdo a la micrografía 9.

5.4 Estudio metalúrgico de las uniones soldadas en los recipientes

Esta parte comprende el estudio de la unión soldada circunferencial de los dos casquetes de las recipientes y de la unión soldada collarin-casquete.

Para tal fin se efectuaron los siguientes ensayos:

- Ensayo de tracción
- Estudio metalográfico

a. Ensayo de tracción

Este ensayo se realizó sobre probetas obtenidas longitudinalmente, perpendiculares a la soldadura circunferencial, de 12.5 mm. de ancho, espesor el de la plancha y longitud entre marcas la correspondiente a la anchura del cordón mas 6 mm. a cada uno de los lados del cordón, tal como se indica en la fig. 37 ;siendo este mecanizado a ras respecto a la superficie de la plancha.

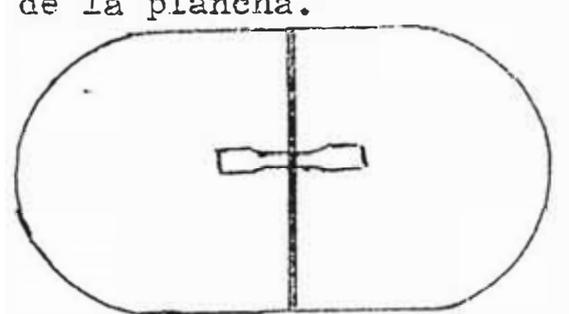


Fig.37 Probeta para tracción en zona de cordón

Los resultados fueron los siguientes:

RECIPIENTE	Limite de fluencia aparente(kg/mm ²)	Resistencia tracción(kg/mm ²)
1	29.0	39.4
2	31.0	40.1
3	31.9	38.4
4	29.9	41.9

b. Estudio metalográfico.

-Unión soldada circunferencial

Se obtuvieron probetas, de la misma forma que se indica en la fig. 38 .

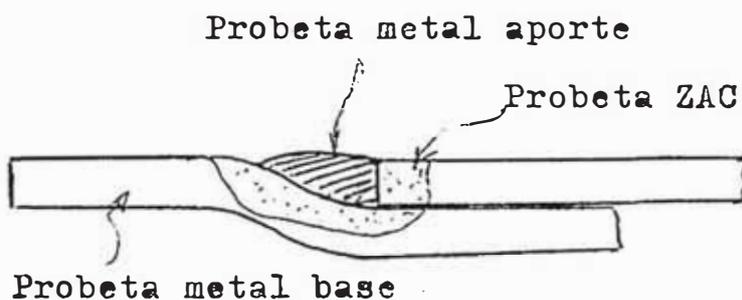


Fig. 38 Probetas para metalografía.

En la observación de estas probetas se puso de manifiesto lo siguiente:

Recipiente 1.-En la macrografía 1 se observa que la unión se ha realizado mediante el aporte de dos cordones de soldadura.

En el análisis microscópico se manifiesta lo siguiente:

-El metal base presenta una estructura ferrita-perlita, de tamaño 8.

-En la ZAC se presentan dos zonas: una próxima al metal base que consiste en ferrita-perlita de grano

equiáxico fino, tamaño 9 (micrografía 10) y otra cercana metal de aporte que presenta un grano mas basto y parcialmente acicular (micrografía 11)

-En la zona del metal de aporte se dan dos estructuras diferentes que se ubican en las zonas de cara y la de raíz. En la zona de raíz la microestructura es ferrita-perlita de tamaño 9 (micrografía 12), mientras que en la zona de cara la estructura es característica del bruto de solidificación, es decir columnar (micrografía 13)

Recipiente 2.-En una vista macroscópica se nota que la unión es similar a la anterior, es decir con dos cordones de soldadura.

Las microestructuras observadas también son similares a la del recipiente anterior.

Recipiente 3.-En la vista macrográfica 2, se observa falta de penetración en la raíz y que la soldadura se ha realizado con el aporte de dos cordones.

Las microestructuras observadas son similares a las micrografías anteriores.

Recipiente 4.-En una vista macroscópica se observa que hay falta de penetración en gran parte del espesor de la plancha.

Las microestructuras son similares a las anteriores.

-Unión soldada collarin-casquete

En todos los recipientes se manifiestan características

similares en las uniones a tope (macrografía 2) y microestructuras del mismo tipo que las encontradas en el cordón circunferencial, tanto en el metal base, la ZAC y el metal de aporte.

5,5 Estudio de la corrosión experimentada por los recipientes en servicio

En esta parte se realiza la observación visual y al esteroscopio de las superficies interior y exterior de los recipientes, y el estudio metalográfico de las probetas obtenidas de las zonas de los recipientes con evidencias de corrosión.

Recipiente 1.-En la superficie externa del recipiente se manifiesta un ataque por corrosión generalizada, la cuál está disimulada por la pintura, tal como se puede observar en la fotografía 1 del Apéndice. Asimismo en la zona del fondo del recipiente, parte externa, se produce un ataque preferente, tal como se aprecia en la fotografía 6; también parece manifestarse un ataque localizado en la zona del recipiente donde se presenta una abolladura (fotografía 5)

En la superficie interior se manifiesta un ataque por corrosión generalizada en todo el material, como se puede ver en la fotografía 7. Un acercamiento, muestra también signos de corrosión localizada, lo cual se puede apreciar en la fotografía 8.

Para realizar la observación microscópica de este recipi

ente se consideraron las probetas metalográficas que se indican en la fotografía 1 (probetas A,B yC) ,y también se obtuvieron probetas de la zona abollada en la que parece producirse ataque por corrosión generalizada (probetas D y E en la fotografía 5.

En la observación microscópica de las probetas A,B y C (sección longitudinal del recipiente) se observa ataque generalizado al material de la superficie interior y de la exterior, con formación de picaduras de corrosión de diferente consideración (micrografía 14).

En la observación microscópica de la zona en que se desarrolla la abolladura (probetas D y E), el comportamiento del material del recipiente es similar al indicado en las probetas anteriormente consideradas. Es decir, la corrosión es prácticamente generalizada en toda la zona, no observándose puntos donde se produzca un ataque localizado preferente.

Recipiente 2.-En la superficie exterior no se observa ataque por corrosión generalizada al recipiente, a excepción de la zona de curvatura exterior en el casquete inferior donde se manifiesta un ataque preferente, tal como se puede apreciar en la fotografía

En la superficie interior del recipiente se aprecia ataque por corrosión generalizada similar a la mostrada en el recipiente anterior.

En la observación al microscopio óptico de las probetas

obtenidas de la zona de curvatura indicada, se observa ataque por corrosión localizada (micrografía 15), que no llega a profundizar excesivamente en el metal base. En la observación de probetas obtenidas de otras zonas se aprecia en la superficie exterior el desarrollo de una capa de óxido continua que debe haberse formado en el tratamiento térmico (micrografía 16)

Recipientes 3 y 4.- Estos recipientes presentan similares comportamientos.

En la superficie exterior presentan ataque generalizado, tal como se puede apreciar en las fotografías 3 y 4, dándose también en el fondo del recipiente, parte externa, un ataque preferente.

En la superficie interior de los recipientes se da también un ataque generalizado, similar a los anteriores.

En la observación al microscopio de las probetas obtenidas de estos recipientes, se manifiesta ataque por corrosión en ambas superficies, produciéndose penetraciones de óxido de diferente consideración, más profundas en la superficie exterior (micrografía 17), que en la interior (micrografía 18).

EVALUACION DE RESULTADOS

6. EVALUACION DE RESULTADOS

El propósito en esta parte es analizar y explicar los cambios microestructurales sufridos por el material del recipiente con el tiempo de servicio y la defectología encontrada, y la incidencia que puede haber tenido en estos la fabricación u operación del mismo.

6.1 Características del material utilizado en la fabricación del recipiente

La microestructura del material de los fondos de los recipientes en todos los casos es ferrita-perlita de grano fino y equiaxial, y puede corresponder a la de normalizado, o un tratamiento similar. Esta microestructura puede considerarse representativa del estado de suministro.

El espesor de pared en los fondos de los recipientes, puede considerarse que se mantiene aproximadamente constante en diferentes zonas de un mismo fondo, siendo de menor orden el espesor del fondo inferior, evidentemente porque es la zona que más tiempo está en contacto con agentes corrosivos. A pesar de que la determinación de espesores sobre el corte longitudinal del recipiente se obtienen valores mínimos de 1,96 mm, se ha comprobado en determinaciones locales en zonas de picadura, con la ayuda de un medidor de espesores KRAUTKRAMER, que el espesor de la pared puede alcanzar localmente valores del orden de 1,70 mm

Los resultados de dureza obtenidos en el material de los fondos indican que para un mismo recipiente existen muy pequeñas diferencias en las distintas zonas consideradas de un mismo fondo , y que la diferencia de dureza entre el material de los dos fondos es también muy pequeña.

En lo referente al ensayo de tracción, el comportamiento del material de los diferentes recipientes es similar al del ensayo de dureza, es decir, los materiales de los recipientes presentan valores de resistencia a la tracción de aproximadamente el mismo orden.

Los valores del límite elástico del material son aproximadamente del mismo orden.

Los valores de alargamiento de rotura oscilan entre 19 y 38 %.

Si se compara los resultados del ensayo de tracción con los valores de las características mecánicas de tracción exigidas en la NTN 341.088 "Planchas delgadas de acero al carbono para la fabricación de recipientes portátiles para gases licuados de petróleo", se comprueba:

- El límite elástico satisface en el caso del recipiente 2 y en el 3. el valor mínimo exigido para el caso de aceros A34-G1 y A42-G1 respectivamente. No satisface para los recipientes 1 y 4 para un acero A34-G1.

- La resistencia a la tracción satisface en los recipientes 1; 2 y 4 el valor mínimo exigido para un acero A42-GL y en el recipiente 3 para un acero A42-GL.
- Los valores de alargamiento satisfacen en los recipientes 1; 2 y 4 el valor mínimo exigido para un acero A34-GL y en el recipiente 3 no satisface para un acero A42-GL.

6.2 Evolución del material de los recipientes en el proceso de conformado en frío de los casquetes, y el tratamiento térmico de recocido posterior

- En las observaciones metalográficas se pone de manifiesto que debido al tratamiento térmico de recocido, que en casi todos los casos de acuerdo a los resultados obtenidos posiblemente ha superado la línea AC_1 , se ha producido la recristalización del material de la pared cilíndrica, deformada plásticamente en frío en el proceso de conformado de los casquetes. Debido al proceso de recristalización se han desarrollado, por lo general, distintos tamaños de grano en las diferentes zonas consideradas.

Esta diferencia en el tamaño de grano es, fundamentalmente, una consecuencia del diferente tipo y grado de deformación experimentado por las diferentes zonas de la pared del cuerpo cilíndrico en el proceso de conformado de los casquetes. En las zonas de fondo, en las que el material apenas experimenta deformación plástica en frío, se mantiene inalterada la microestructura correspondiente a la plancha en el estado de recepción.

En la evolución del tamaño de grano de los recipientes, lo más significativo y, también, lo más perjudicial es el fuerte recrecimiento del grano desarrollado entre los puntos de referencia E y F del casquete superior, y los puntos O y N del casquete inferior, ya que las estructuras de grano basto presentan, para un mismo tipo de material, peores características de resistencia mecánica, de ductilidad y tenacidad.

- En lo referente a la evolución del espesor de los recipientes por el proceso de conformado en frío, lo más significativo es la reducción del espesor que se produce en el contorno de la zona F del casquete superior y de la zona M del casquete inferior, y el aumento de espesor que se produce en la zona ecuatorial próxima a la soldadura circunferencial. El adelgazamiento del material en la parte inferior del casquete se produce como consecuencia del estirado del material que se desarrolla en esas zonas en cualquier proceso de embutición profunda; y el aumento de espesor en la zona ecuatorial se produce por las tensiones de compresión desarrolladas por la reducción de diámetro que se produce en esta zona de la plancha en el proceso de embutición.

Se ha de tener especial cuidado con las zonas adelgazadas, pues ésta sumada a la reducción de espesor que se pudiera tener por problemas de corrosión (picaduras), resultaría en pérdidas de sección resistente con posibles consecuencias catastróficas.

- Los resultados obtenidos en el ensayo de dureza, indican que no existen, por lo general, fuertes variaciones de dureza respecto de la determinada en la zona de fondos. La máxima variación se produce en la parte recta del cuerpo cilíndrico, y en especial en el contorno de la soldadura circunferencial. En estas zonas se produce una disminución de la dureza con relación a la dureza del fondo.
- El comportamiento del material de la pared cilíndrica frente al ensayo de dureza es una consecuencia lógica del proceso de fabricación de las botellas (conformado en frío y recocido posterior). En el conformado en frío de los casquetes se origina una deformación plástica del material de la pared, lo que provoca un endurecimiento del acero. En el tratamiento térmico de recocido posterior se elimina la deformación en frío del acero en un proceso de recristalización, regenerándose las características estructurales y mecánicas del acero. Es decir, mediante la recristalización del acero se regenera la red cristalina por la formación de nuevos granos blandos, libres de deformación, eliminándose así el endurecimiento desarrollado por la deformación en frío.

El grado en que se regeneran las características del acero dependerá fundamentalmente de la microestructura obtenida después del tratamiento y del tamaño de grano recristalizado.

- En lo referente al ensayo de tracción, el comportamiento del material en los diferentes recipientes es similar a la del ensayo de dureza.

6.3 Características del material de los recipientes en la zona de soldadura circunferencial

La microestructura desarrollada en la zona de soldadura son las características del proceso de soldado en el que la unión soldada se ha realizado mediante aporte de dos cordones de soldadura.

En la observación metalográfica de las probetas obtenidas de la zona de soldadura se manifiestan los siguientes macrodefectos:

- Inclusiones de escoria por debajo del cordón, lo cual se puede apreciar en la macrografía 2, que podrían provocar corrosión por aireación diferencial, lo que sumado a la tensión sobre el material provocado por la presión interna del recipiente, podrían dar lugar a fenómenos de corrosión bajo tensión.
- Falta de penetración que tiene el mismo efecto respecto a la corrosión que el macrodefecto anterior.

Los resultados obtenidos en los ensayos de tracción de la unión soldada indican:

- Los valores del límite elástico de la unión soldada son supe

riores a los obtenidos en el material del cuerpo cilíndrico.

- Los valores de la resistencia a la tracción en la zona de la unión soldada son superiores a los obtenidos en el material del cuerpo cilíndrico.

6.4 Características del material de los recipientes en la zona de soldadura del casquete-collarín

Las microestructuras desarrolladas en esta zona son características del proceso de soldadura originalmente utilizado.

Las características son similares a las observadas en el punto anterior.

6.5 Comportamiento frente a la corrosión

En los diferentes recipientes estudiados se han puesto de manifiesto cuatro formas de producirse el ataque por corrosión en el cuerpo del recipiente:

Corrosión generalizada en la superficie exterior del recipiente con ataque preferente del material del fondo del casquete inferior, y con formación de picaduras de corrosión de diferente consideración. Llama la atención el diferente comportamiento en servicio de los recipientes, ya que algunos recipientes presentan mucho más ataque que los otros tal como se muestra en las fotografías del Apéndice.

Corrosión localizada en el material de la superficie exterior del fondo, casquete inferior. A pesar de que la corrosión del material del recipiente debe concluir en un ataque generalizado a todo el material del fondo inferior, parece deducirse de estas observaciones que dichas zonas constituyen fuentes preferentes de ataque debido a que se encuentran cerca a las zonas de alta humedad, como son los pisos. Consecuentemente, en estas zonas del fondo la pérdida de material por corrosión en servicio debe ser más acentuada.

- Corrosión localizada en la superficie interior en zonas en que se han desarrollado abolladuras por golpe. Sin embargo, en las observaciones microscópicas realizadas en probetas obtenidas de esas zonas no manifiesta una profundidad de ataque por corrosión mucho más acusado en las zonas golpeadas que en el resto de la superficie interior también afectada por corrosión.

Es posible que el ataque por corrosión en las zonas golpeadas se produzca como consecuencia de que por efecto de los golpes en servicio se desprende la cascarilla de óxido interior formada en el tratamiento térmico de recocido. De esta forma, el material de las zonas golpeadas quede en contacto directo con el medio de ataque y consecuentemente produce la corrosión localizada.

Para mayores tiempos de servicio la corrosión se generaliza a toda la superficie interior y la velocidad de corrosión puede ser uniforme en toda la superficie interior.

Otra posibilidad es que debido a los golpes se crean alteraciones locales del material que promuevan el desarrollo de poros galvánicos que facilitan el ataque preferentes en determinadas zonas de las abolladuras, esto es particularmente pleigroso en el caso de estos recipientes, pues están sometidos a presiones relativamente altas, las cuales pueden generar procesos de corrosión bajo tensión, debido a que se pueden conjugar los dos factores necesarios para la dación de este proceso; la aparición de la tensión por la presión del GLP, y la presencia de un medio agresivo específico como es el mismo GLP.

En cualquier caso, parece que el comportamiento del material de la superficie interior de los recipientes, constituye un aspecto importante a considerar en el futuro, y al que debe prestarse la mayor atención, más aún cuando al constituir zonas ocultas en el recipiente no es fácil seguir su evolución con el tiempo de servicio.

CONCLUSIONS

7.-CONCLUSIONES

Del análisis que se realiza sobre los aspectos de diseño, del proceso de fabricación, y de la información obtenida en recipientes de 11 Kg. con varios años de servicio, se sacan las siguientes conclusiones:

7.1 Los materiales utilizados en la fabricación del recipiente son aceros de bajo contenido de carbono, no aleados, del tipo A34-GL en algunos casos y A42-GL en otros, estipulados en la NTN 341.008.

Respecto al material de partida es conveniente mencionar que en un gran número de Normas Internacionales se establece que se deben usar para la fabricación de recipientes de GLP aceros calmados al aluminio.

La microestructura de la plancha en los fondos del recipiente permite suponer que esta se suministró en estado normalizado o tratamiento similar. En este sentido sería conveniente precisar en la NTN 341.008 que la plancha debe suministrarse en estado normalizado.

7.2 El proceso de conformado en frío (embutición) de los casquetes y el tratamiento de recocido se han realizado de forma similar en los recipientes estudiados.

7.3 El proceso de embutición genera zonas de deformación que provocan endurecimiento del material, y en consecuencia pérdida de ductilidad en las paredes del recipiente, lo cual podría provocar rotura frágil. Por esto es absolutamente necesario aplicar un tratamiento térmico

de recocido.

De la misma manera el proceso de soldadura introduce esfuerzos residuales y microestructuras frágiles, además en algunos casos el mecanismo de fragilización por hidrógeno, los cuales necesariamente tienen que eliminarse.

- 7.4 De acuerdo al punto anterior, el tratamiento térmico es una etapa imprescindible en el proceso de fabricación del recipiente, ya que permite restituir sus propiedades mecánicas y de ductilidad.

También de acuerdo a lo visto, el tratamiento térmico provoca recristalización de diferentes tamaños en diversas zonas de la pared cilíndrica del recipiente, debido a que estas han sufrido procesos de deformación de distinto alcance. Esta recristalización cuando produce granos de gran tamaño, puede comprometer la resistencia mecánica y la ductilidad del material, por lo cual se hace necesario emplear materiales aptos para su utilización como son los aceros calmados o el aluminio.

Se comprueba que el normalizado es el tratamiento térmico que mejor restituye la ductilidad y la resistencia mecánica.

En este sentido sería conveniente en nuestro medio emplear este tratamiento, pues como se mencionó anteriormente se vienen utilizando planchas de acero de bajo

contenido de carbono para la fabricación del recipiente.

7.5 Los defectos de soldadura encontrados en la unión circunferencial y de collarín-casquete, pueden afectar el buen comportamiento del recipiente en servicio, más aún considerando que se encuentran en el interior del recipiente, pudiendo representar zonas de inicio de corrosión localizada del tipo de corrosión bajo tensión.

7.6 En los recipientes con varios años de servicio lo más saltante es la reducción del espesor motivada por la corrosión en servicio, la que ocasiona en la mayoría de los casos corrosión localizada del tipo picaduras. Estas picaduras se pueden comportar como concentradores de tensión y provocar rotura catastrófica en un proceso de corrosión bajo tensión.

También las picaduras pueden comprometer de tal manera el espesor del recipiente, que pueden provocar pérdida de sección resistente hasta el fallo mecánico del recipiente.

7.7 En resumen puede concluirse que durante la fabricación y operación del recipiente se generan una serie de defectos, que si no se toman las medidas correctivas, tanto a nivel de fabricante del recipiente, del envasador y de los organismos de control del Estado, se pueden dar fallas en los recipientes de consecuencias catastróficas.

7.8 Una propuesta concreta como resultado de este trabajo es recomendar la inclusión en la NTN 341.008 de que se deberan aplicar para la fabricación de recipientes de GLP aceros calmados al aluminio, y en la NTN 350.011 que los recipientes de GLP después del proceso de soldadura deberan someterse a un tratamiento térmico de normalizado.

B I B L I O G R A F I A

BIBLIOGRAFIA

1. Metals Handbook, Volume 8, Eight Edition
Metallography, Estructure and Phase Diagrams
American Society for Metals
Metals park, Ohio 44073.
2. Metals Handbook, Volume 4, Ninth Edition
Heat Treating
American Society for Metals.
3. Metals Handbook, Volume 1, Ninth Edition
Properties and Selection: Irons and Steels
American Society for Metals.
4. Corrosiones Metálicas, Edición 1987
Ulick R. Evans
Versión española de José Company Bueno
Editorial Reverte S.A.
Encarnación 86
08024 Barcelona.-
5. Metalurgia de la Soldadura
Daniel Sé Férian
Versión española de Víctor Sánchez de Zavala
Editorial Tecnos S.A., 1962
Calle O'Donnell, 27, 1º, Izquierda, Madrid (9)
6. Manual de Normas Une sobre Siderurgia
Instituto Nacional de Racionalización y Normalización (IRANOR)
Editado por IRANOR
Zurbano, 46-Madrid-10
Enero, 1981
7. Metalurgia Física
Prince Chalmers
Versión española de Dr. Francisco Muñoz del Corral
Aguilar S.A. de Ediciones
Juan Bravo, 38, Madrid (España), 1968
8. Metalurgia
Aleaciones Metálicas, Tomo I
C. Chaussin, G. Hilly, P. Chevenard
Traducido por Angel Fernández Aguilar
Ediciones URMO
Esparte, 10 Bilbao

9. Fundamento de Ciencia de Materiales
A. G. Guy
Traducido por Francisco Paniagua Bocanegra
Libros Mc Graw-Hill de México, S.A. de C.V.
Atlacomulco 499 - 501, Naucalpan de Juarez, Edo. de México
10. "Análisis Teórico - Experimental del comportamiento Mecánico de los Recipientes de Gas Licuado de Petróleo (GLP)"
Juan Mori y Carlos Arguedas
ITINTEC, Noviembre de 1983
11. Norma Técnica Nacional ITINTEC 350.011.
Recipientes portátiles, hasta 12 kg, para gases licuados de petróleo.
ITINTEC, 1979
12. Norma Técnica Nacional ITINTEC 341.008
Planchas delgadas de acero al carbono para la fabricación de recipientes portátiles para gases licuados.
ITINTEC, 1984