



FACULTAD DE INGENIERIA

**“DETERMINACION Y PROPUESTA DE SOLUCION A LOS DEFECTOS MAS
COMUNES ENCONTRADOS EN LA SOLDADURA DE ENVASES PARA GAS
LICUADO DE PETROLEO DE USO DOMESTICO MEDIANTE EL METODO DE
INSPECCION RADIOGRAFICA”**



ASESOR

ING. ROBERTO FALCONIO

PRESENTA

CARLOS EDUARDO VILLALOBOS SALMERON

PARA OPTAR AL GRADO DE INGENIERO MECANICO

CIUDADELA DON BOSCO, OCTUBRE DE 2004

Contenidos

| | |
|--|----|
| Introducción | 1 |
| Objetivos | 2 |
| Objetivo General | 2 |
| Objetivos Específicos | 2 |
| Alcances del Tema | 3 |
| Delimitaciones del Tema | 3 |
| Capítulo I - El envase | 4 |
| 1.0 Introducción | 5 |
| 1.1 Especificaciones generales del cilindro | 5 |
| 1.1.1 Clasificación general de los cilindros | 5 |
| 1.1.1.1 Envase Clase 3 | 6 |
| 1.1.1.2 Envase clase 4 | 7 |
| 1.1.2 Dimensiones | 8 |
| 1.1.3 Capacidades | 8 |
| 1.1.4 Materiales | 9 |
| 1.1.5 Espesor de las paredes | 9 |
| 1.1.6 Proceso de fabricación | 10 |
| 1.1.6.1 Conformado del cuerpo | 11 |
| 1.1.6.2 Soldadura del cuerpo | 12 |
| 1.1.6.3 Soldadura de los accesorios | 14 |
| 1.1.7 Control de calidad | 14 |
| 1.1.8 Vida Útil | 15 |
| 1.1.9 Válvula | 15 |
| 1.2 Procesos de soldadura | 16 |
| 1.2.1 Tipos de soldadura | 17 |
| 1.2.2 Soldadura con arco eléctrico | 19 |
| 1.2.3 Arco Sumergido | 21 |
| 1.2.3.1 Equipo necesario | 23 |
| 1.2.3.2 Electrodo y Fundentes | 24 |

| | |
|---|----|
| 1.2.3.3 Realización de la soldadura en los envases para GLP | 26 |
| Capítulo II – Técnica de Inspección | 28 |
| 2.0 Introducción | 29 |
| 2.1 Fundamentos de la inspección por la técnica de radiografía industrial | 29 |
| 2.1.1 Fuentes de radiación | 31 |
| 2.1.1.1 Radioisótopos..... | 31 |
| 2.1.1.2 Generadores de Rayos X..... | 32 |
| 2.1.2 Película | 34 |
| 2.1.3 Seguridad y protección | 37 |
| 2.2 Radiografía de envases cilíndricos para GLP | 39 |
| 2.2.1 Técnica doble pared una imagen..... | 39 |
| 2.2.2 Aplicación del ensayo | 42 |
| 2.2.3 Interpretación..... | 43 |
| 2.2.4 Criterios de aceptación | 43 |
| 2.2.5 Reporte de resultados..... | 44 |
| Capítulo III -Resultados..... | 45 |
| 3.0 Introducción..... | 46 |
| 3.1 Metodología General del Estudio | 46 |
| 3.2 Análisis de los Resultados de la Investigación | 48 |
| 3.2.1 Análisis ABC | 48 |
| 3.2.2 Otros Datos Relevantes..... | 49 |
| Capítulo IV- Causas de las indicaciones..... | 51 |
| 4.0 Introducción..... | 52 |
| 4.1 Defectos clase A..... | 52 |
| 4.1.1 Porosidades | 52 |
| 4.1.2 Falta de penetración | 55 |
| 4.1.3 Inclusiones de escoria | 56 |
| 4.2 Defectos clase B..... | 58 |
| 4.2.1 Falta de fusión | 58 |
| 4.2.2 Falta de relleno en superficie..... | 59 |
| 4.3 Causas generales..... | 59 |

| | |
|--|----|
| Capítulo V – Propuesta de solución | 61 |
| 5.0 Introducción..... | 62 |
| 5.1 Soluciones a defectos identificados..... | 62 |
| 5.1.1 Control de la humedad y la contaminación | 62 |
| 5.1.2 Longitud del Arco | 63 |
| 5.1.3 Regular la corriente de trabajo..... | 64 |
| 5.1.4 Reducción de la velocidad de avance..... | 64 |
| 5.1.5 Utilizar el proceso adecuado de soldadura | 65 |
| 5.2 Recomendaciones generales | 65 |
| 5.2.1 Calificación del procedimiento de soldadura..... | 65 |
| 5.2.2 Calificación del soldador | 66 |
| 5.2.3 Implementación de programas de auditoria interna | 67 |
| 5.2.4 Calificación de los inspectores..... | 68 |
| 5.3 Conclusión..... | 69 |
| Tablas | 70 |
| Bibliografía | 73 |
| Glosario..... | 76 |
| Anexos | 79 |
| Anexo 1- Propiedades químicas del Acero para envases de GLP | 80 |
| Anexo 2- Clasificación de combinaciones fundente-electrodo según AWS A5.17 .. | 81 |
| Anexo 3- Propiedades del bronce utilizado en la elaboración de válvulas para cilindros de GLP | 82 |
| Anexo 4- Sistema típico de clasificación de película radiográfica según ASTM (tomado de la norma ASTM E1815)..... | 83 |
| Anexo 5 - Reporte de inspección | 84 |
| Anexo 6 – Placas radiográficas con placa de refuerzo..... | 89 |
| Anexo 8 – Calificación del procedimiento de soldadura. | 91 |
| Anexo 9 – Calificación del soldador. | 93 |
| Anexo 10 – Soldadura de un envase para GLP de uso Doméstico..... | 95 |
| Anexo 11– Conglomerado de resultados de pruebas radiográficas | 96 |

Introducción

En el presente documento se expone una propuesta de solución a una serie de defectos encontrados en cilindros para envasar gas licuado de petróleo. Para eso se toma como punto de partida la norma que actualmente rige este producto, explicándose la forma en que se construyen los envases y la manera en la que se realizaron los ensayos que permitieron efectuar este trabajo. Esto se muestra en los primeros dos capítulos.

A continuación de esta base teórica se procede a exhibir los resultados de las pruebas realizadas a las cuales se les hizo un análisis estadístico que permite distinguir que problemas se deben de atacar. Se llevo a cabo una investigación para determinar que causa estos defectos, proporcionándose los resultados en el capítulo 4. Al final del documento se presenta la propuesta de solución y entre las recomendaciones se provee una manera eficaz para evitar que se vuelvan a cometer los mismos errores a los que se les acaba de dar respuesta.

Objetivos

Objetivo General

- Determinar los defectos de fabricación que se presentan en la soldadura perimetral de los envases para gases licuados de petróleo para uso doméstico, sus causas y la propuesta de solución en el proceso productivo.

Objetivos Específicos

- Determinar cuales son los defectos que aparecen con una mayor incidencia en las soldadura perimetral de los cilindros para gases licuados del petróleo(GLP).
- Investigar las causas de los defectos que ocurren con mayor frecuencia, a la luz del proceso de fabricación de los envases.
- Presentar las modificaciones necesarias al proceso de soldadura, para evitar la aparición de defectos.

Alcances del Tema

- Se hará uso de los requerimientos estipulados por las normas NSO 23.04.01:00 y la CGA C3 para la inspección de los cilindros.
- Se realizarán los ensayos en base a la norma CGA C3 versión 2000 en vez de la versión 1994 que la norma salvadoreña toma de referencia de esta manera se utilizan los métodos y parámetros actualizados tal como lo describe la norma.
- Se verificará únicamente la integridad de la soldadura.
- El análisis se basa en la prueba de radiografía industrial.
- Los cilindros que se inspeccionarán son los clase 3 y clase 4
- Se tomarán en el análisis los cilindros de todas las marcas y constructores.

Delimitaciones del Tema

- Para el análisis, sólo se tomará la soldadura circunferencial del cilindro en los tipo C-3 y las soldaduras circunferenciales y longitudinal en los C-4.
- Solo se tomarán para el estudio los cilindros con capacidad de 11.3 y 15.9kg (25 y 35 lb).
- No se utilizarán pruebas destructivas para el análisis que se le realizará a la soldadura.
- Solo se utilizan pruebas con rayos X, al ser ésta la herramienta con la que cuenta la Universidad Don Bosco para la toma de radiografías.
- No se usarán otras normas que conciernen a soldaduras tal como la normas AWS o similares.
- No se verificará la resistencia de la soldadura, ni del envase; puesto que son parámetros de diseño especificados en la norma, que no se pueden medir por medio de la prueba de radiografía.
- No se hará mención de ninguna marca ni fabricante específico, para evitar comprometer la validez del documento.

Capítulo I - El envase

1.0 Introducción

En este capítulo se describirán las características de los envases a ser incluidos en este estudio. Se hablará sobre los materiales que se deben de utilizar para su construcción, las dimensiones que deben de tener, su método de fabricación. Se hace énfasis en el método de soldadura que se emplea, tomando en cuenta la aplicación específica y la técnica utilizada para realizar la unión. Todo esto bajo los criterios establecidos por la norma que respalda este tipo de envase, la NSO 23.04.01:00.

1.1 Especificaciones generales del cilindro

1.1.1 Clasificación general de los cilindros

Los envases son elementos fabricados que sirven para el almacenamiento de gases licuados de petróleo de una manera segura. Todos aquellos que son portátiles están regulados por la norma NSO 23.04.01:00, donde se listan las características y requerimientos técnicos que deben de satisfacer para poder ser utilizados en el país. Se clasifican a partir del material utilizado y de su construcción física. Se especifican cinco clases distintas:

- Clase 1. Envase de acero, de forma cilíndrica sin cordones de soldadura.
- Clase 2. Envase de acero, de forma cilíndrica con cordones de soldadura.
- Clase 3. Envase de aleación de acero, de forma cilíndrica de dos piezas, con cordones de soldadura.
- Clase 4. Envase de aleación de acero, de forma cilíndrica de tres piezas, con cordones de soldadura.
- Clase 5. Envase de aluminio, de forma cilíndrica de dos piezas, con cordones de soldadura.

En este trabajo se abordarán los contenedores clase 3 y 4, puesto que son los de mayor uso en el mercado y los que actualmente se están importando al país, por lo tanto, están sujetos a inspecciones.

1.1.1.1 Envase Clase 3

Los envases clase 3 constan de un cuerpo compuesto por dos partes que luego se unen para conformar un cilindro con tapaderas semi-elípticas (ver ilustración 1). Además del cuerpo, los cilindros cuentan con accesorios tal como válvula de servicio, cuello protector de válvula y base de sustentación, partes esenciales para el uso del contenedor pero fuera de los alcances de este documento.

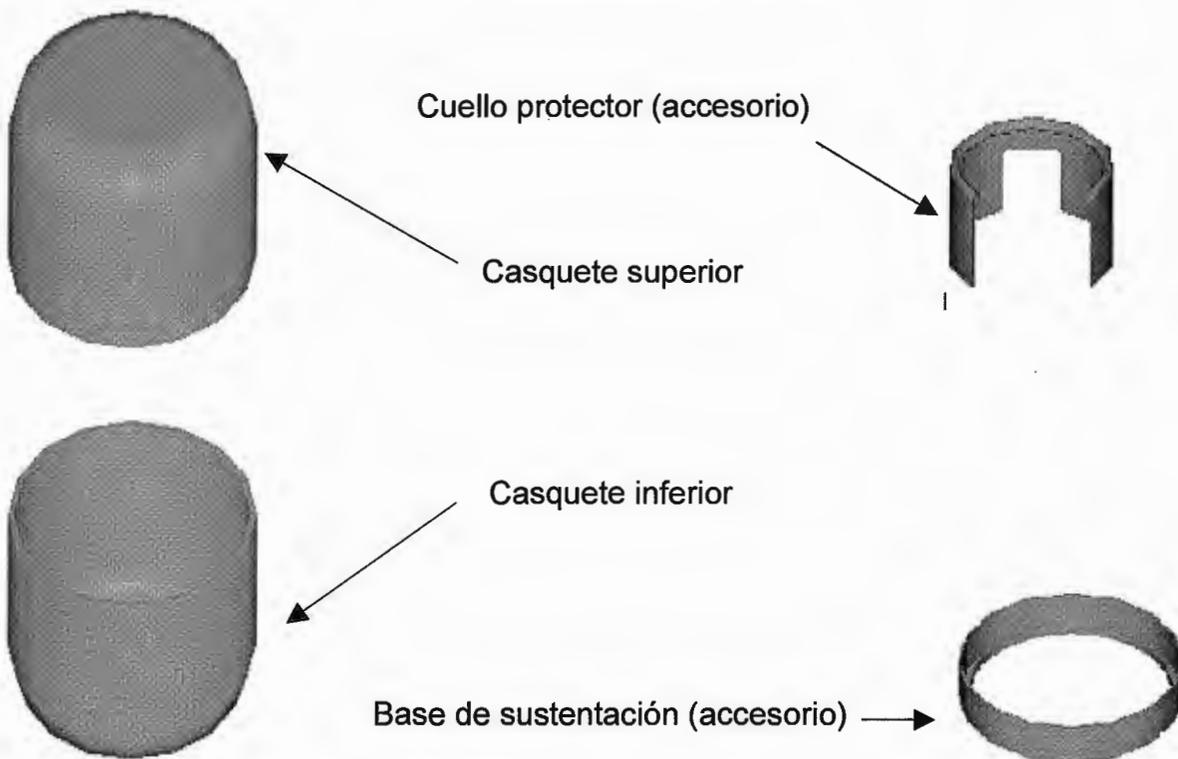


Ilustración 1. Contenedor Clase 3

1.1.1.2 Envase clase 4

Este tipo de cilindro consta de 3 piezas que al ser unidos conforman un cilindro con tapaderas semi-elípticas tal como lo muestra la ilustración 2. Es similar al clase 3 y consta de los mismos accesorios. Comparte además el mismo tipo de material y restricciones con respecto a su tamaño. Su configuración geométrica es la preferida a la hora de construir contenedores de gran tamaño, debido al proceso de fabricación que se sigue.

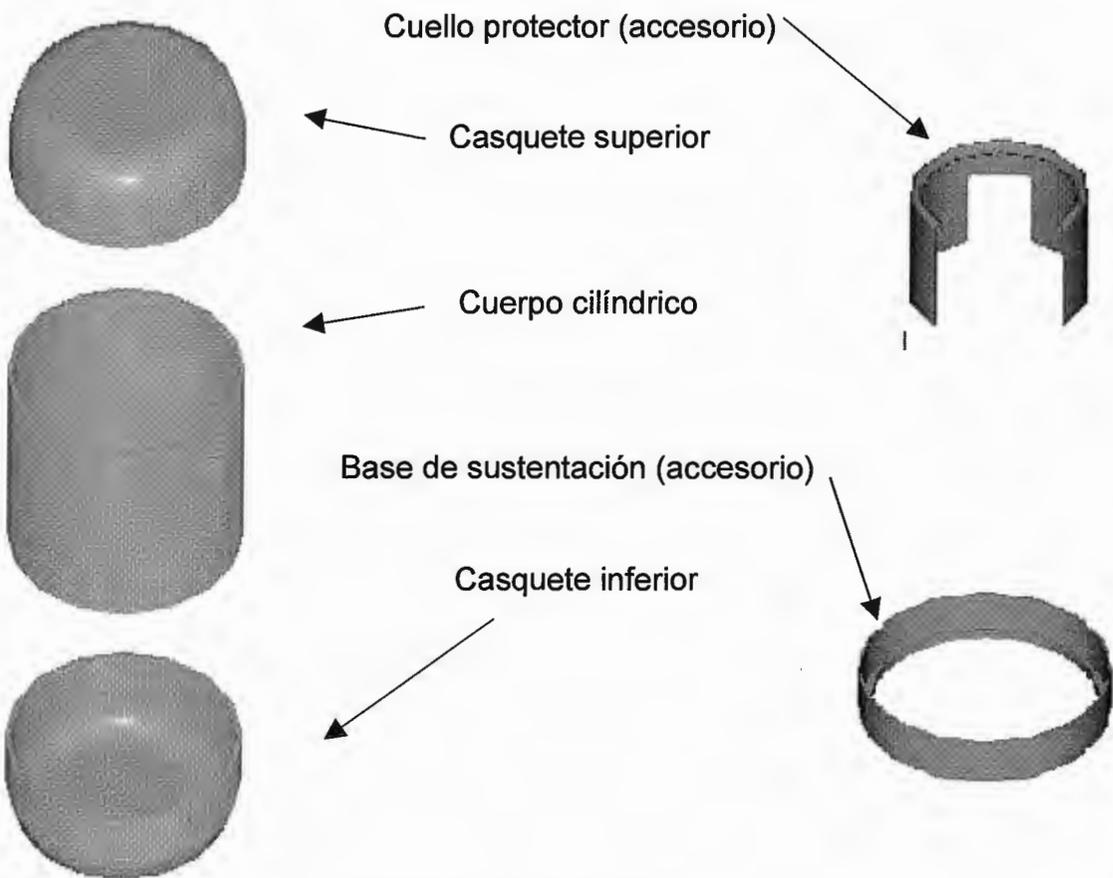


Ilustración 2. Contenedor Clase 4

A continuación se presentan las características técnicas que deben de cumplir estas dos clases de envase, a partir de los requerimientos establecidos en la norma NSO 23.04.01:00.

1.1.2 Dimensiones

Las dimensiones finales de los envases, ya sean de clase 3 ó 4, son dejadas al criterio de los fabricantes, siendo diferentes entre cada uno de ellos. Las únicas restricciones con las que se cuentan son las siguientes:

Envases de hasta 11.5 kg (25.0 lb)

| | |
|-------------------------|----------------------------------|
| Diámetro Externo Máximo | 31.0 cm, tolerancia ± 1.0 cm |
| Altura Máxima | 50.0 cm, tolerancia ± 1.0 cm |

Envases de 11.5 kg (25.0 lb) hasta 45 kg (100.0 lb)

| | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Diámetro Externo Máximo | 38.0 cm, tolerancia ± 1.0 cm |
| Altura Máxima | 120.0 cm, tolerancia ± 1.0 cm |

Las dimensiones no incluyen el cuello protector, base de sustentación o válvula.

1.1.3 Capacidades

Los envases clase 3 se pueden utilizar para almacenar desde los 2.3 kg (5.0 lb) hasta los 15.9 kg (35.0 lb). No se restringe la fabricación de cilindros de 45.0 kg (100.0 lb), pero no se practica con regularidad al ser técnicamente difícil. La realización del embutido para lograr un espesor de pared consistente y de las dimensiones requeridas encarecen la construcción del recipiente, resultando económicamente más caro, al compararse con la técnica de fabricación utilizada en los contenedores clase 4.

En el caso de los cilindros clase 4, se prefiere esta clase de envase para fabricar contenedores que manejarán desde los 9.1 kg (20.0 lb) hasta los 45.0 kg (100.0 lb), siendo su uso exclusivo en contenedores de 45.0 kg. Aunque se permite su uso para fabricar aquellos con menores capacidades esta no es una práctica común, puesto

que se encarece la manufactura del envase al requerir un mayor número de piezas y operaciones en su manufactura.

1.1.4 Materiales

El material empleado para la construcción de los cilindros Clase 3 es acero calmado¹. Este se obtiene a través de los procesos de hogar abierto, horno eléctrico u horno de oxígeno básico. La norma NSO 23.04.01:00 establece tres grados distintos de aceros que pueden emplearse, sus características químicas se detallan en el anexo 1. Además, se permite el uso de otros tipos de acero, siempre y cuando, sus características mecánicas y físicas sean superiores a la de los aceros indicados en la norma.

Se requiere que el metal a usar esté libre de cordones de soldadura, defectos de laminación, fisuras u otros defectos que comprometan la resistencia del envase terminado. Además, se debe de proveer un certificado que garantice la composición química de éste de acuerdo a lo establecido dentro de la norma NSO 23.04.01:00.

1.1.5 Espesor de las paredes

El espesor mínimo que deben de tener las paredes de un contenedor son función tanto de su diseño como de la norma que lo regula. Se requiere que la resistencia calculada del material a partir de su espesor sea mayor a:

- 241310 kPa (35 ksi) o
- La mitad del valor mínimo de la resistencia a la tracción del material determinada con el uso de la norma ASTM E-8

¹ Acero calmado: acero al carbono que no contiene oxígeno dentro de su composición química, utilizado para el envasado de sustancias que reaccionan de forma violenta con el oxígeno.

La NSO 23.04.01:00 da las siguientes especificaciones con respecto al espesor mínimo de las paredes de los envases terminados:

| Tipo de cilindro | Espesor mínimo ² | Resistencia a la tracción ³ |
|------------------|-----------------------------|--|
| Clase 3 | 1.98 mm (0.078 pulg) | $Me = [P(1.3D^2+0.4d^2)]/(D^2-d^2)$ |
| Clase 4 | 1.98 mm (0.078 pulg) | $Me = [2 P(1.3D^2+0.4d^2)]/[E(D^2-d^2)]$ |

1.1.6 Proceso de fabricación

La elaboración de los contenedores para GLP, se inicia con el diseño del envase, de este proceso se obtienen los siguientes parámetros: espesor del material, características que debe de cumplir la unión soldada y tamaño final del envase. Los datos con los que se trabajará deben de ser bien seleccionados de acuerdo a las características deseadas en el producto final. Se debe prestar especial atención al cumplimiento de los parámetros de seguridad que impone el fabricante así como de aquellos especificados en las normas que regulan el producto, tal como la NSO 23.04.01:00.

Una vez se tienen todas las características técnicas necesarias, se puede iniciar el proceso de fabricación del envase. Se presenta a continuación el proceso de fabricación del envase haciendo mención a la forma en que los accesorios van acoplados al cuerpo del envase.

En el caso de los cilindros clase 3, estos se componen por dos cuerpos o casquetes, mientras que los cilindros clase 4 están compuestos por dos cuerpos o casquetes y una sección cilíndrica. Aunque el número de partes que los componen son diferentes, el proceso de fabricación de ambos es muy similar. La secuencia de

² en cilindros de diámetro externo mayor a 152.4 mm (6 pulg)

³ Me = máximo esfuerzo a la tensión (KPa)

P = Presión mínima de ensayo (KPa)

D = Diámetro externo del cilindro (cm)

d = Diámetro interno del cilindro (cm)

E = eficiencia de la soldadura (%)

pasos que se debe seguir para obtener el producto con el que el usuario está familiarizado se divide en 3 operaciones principales:

- Conformado del cuerpo
- Soldadura del cuerpo
- Soldadura de los accesorios

Estas se detallan a continuación.

1.1.6.1 Conformado del cuerpo

De planchas o de rollos de acero se cortan discos metálicos. A estos discos se les realiza un embutido en frío con el que se obtienen los casquetes que formarán el cuerpo del envase (fotografía 1). Los casquetes tienen el mismo diámetro y espesor de pared, pero uno de ellos es un poco más largo. Aquel con mayor altura se le realiza una hendidura o pestaña en toda su circunferencia a manera que se convierta en una guía para la otra mitad del cilindro y al mismo tiempo funja como placa de respaldo en la soldadura (ver ilustración 3). Esta pestaña se puede realizar como parte del embutido o como una operación adicional. A uno de estos se le realiza una abertura para poder acoplar una válvula que permite el paso del fluido hacia y desde el interior del contenedor.



Fotografía 1. Casquete saliendo de la máquina embutidora

En el caso de los contenedores de clase 4, esta operación se subdivide en dos partes, la primera es conformación de los casquetes (tapas) y la segunda la construcción de la sección cilindro del envase. La conformación de las tapas es igual a la de los contenedores clase 3 con la variante que la profundidad del embutido es menor. La construcción del cuerpo cilindro se obtiene de una plancha. A ésta se le da forma en frío usando algún tipo de máquina dobladora (roladora) y luego se unen sus extremos para formar un cilindro (fotografía 2). La hendidura que sirve como guía y placa de apoyo se puede realizar tanto a la sección cilíndrica o como a las tapas del contenedor, a conveniencia del fabricante. La dimensión longitudinal de la pestaña o placa de respaldo no debe de ser menor a cuatro veces el espesor del material en cualquiera de las secciones en las que se aplique.

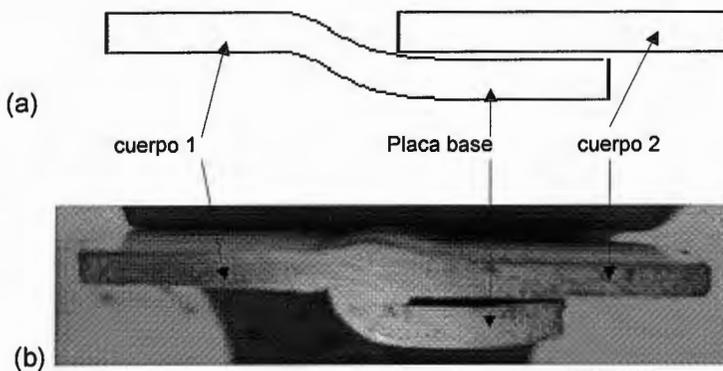


Ilustración 3. (a) Pestaña o hendidura que sirve como placa de respaldo a las soldaduras de los cuerpos del envase (b) Fotografía de la unión soldada. Se puede apreciar como la placa de respaldo se convierte en parte de la unión

1.1.6.2 Soldadura del cuerpo

Existe dos uniones principales: 1) las uniones circunferenciales y 2) las uniones longitudinales. Los cilindros clase 3 llevan una sola unión circunferencial, mientras que los clase 4 llevan un total de tres soldaduras, una longitudinal y dos circunferenciales. La manera en que se ejecutan estas soldaduras es la siguiente.

- Soldadura longitudinal

De esta manera se le llama a la unión de los bordes de plancha que forman el cuerpo cilíndrico. Se realiza con el cuerpo fijo, y puede ser a tope con o sin placa de respaldo. La unión con respaldo (con hendidura en el borde del cilindro) no es obligatoria pero facilita la construcción y soldadura del cilindro.

De no utilizarse respaldo se deben de cumplir los siguientes requerimientos para realizar la soldadura a través de una unión a tope:

Se debe de asegurar que los bordes no estén desalineados con una tolerancia de un sexto del espesor de la lamina o 0.8 mm (1/32 pulg)

Si el material a unir tiene un espesor nominal de 3.18 mm (1/8 pulg.) o menos la soldadura se realiza completamente por medio de una unión a tope, de lo contrario si el espesor nominal es mayor se utiliza un espacio para dilatación máximo de 0.8 mm (1/32 pulg).



Fotografía 2. Cuerpos cilindros para envases clase 4 junto a la máquina que los solda. Se puede ver zona afectado por el calor donde se realizo la unión.

- Soldadura circunferencial.

Luego de una exhaustiva limpieza del material eliminando óxido, grasa y rebabas se puede proceder a realizar la soldadura que unirá los casquetes, a través de una unión con placa de respaldo (obligatoria según la NSO 23.04.01:00) usando el borde previamente doblado como placa base para la unión. Para realizarla se utiliza un soporte giratorio que permite que la zona donde se realiza la soldadura este siempre en movimiento, permitiendo así realizarla tal como una unión en posición plana. En los envases clase 3 solo se necesita realizar una soldadura circunferencial.

El método de soldadura debe de ser eléctrico automatizado (arco sumergido), pero la Norma NSO23.04.01:00 permite el uso tanto de sistemas automatizados, así como técnicas normalizadas que utilicen gas inerte como protección.

1.1.6.3 Soldadura de los accesorios

Una vez terminada la soldadura del cilindro, se procede a la adición de los elementos accesorios. Estos se colocan por medio del uso de soldadura con arco eléctrico o con soldadura de latón, para el caso del cuello y la base de sustentación del envase. Además, se realiza un taladrado en la parte superior del envase y se solda la tuerca donde ira acoplada la válvula de servicio del cilindro con cualquiera de los dos métodos antes mencionados.

De esta manera se fabrica un envase portátil para GLP. Es importante mantener controladas las variables de los dos primeros pasos del proceso. Fallas en el embutido, pueden ocasionar el debilitamiento del acero y un espesor de pared irregular. El cortar el material de un largo inadecuado dará como resultado un cilindro que no encaja con los casquetes. Problemas y descuidos en las soldaduras del cuerpo pueden reducir la resistencia del producto terminado; presentándose problemas que no son visibles a simple vista pero que mediante inspecciones no destructivas son revelados y en ensayos destructivos se presentan como una reducción en las propiedades mecánicas del envase.

1.1.7 Control de calidad

La única manera de asegurar que el producto fabricado cumple con las expectativas del cliente y con los parámetros establecidos, no solo por el diseñador, sino que también por la legislación del país, es con el uso de controles para verificar la resistencia, integridad y seguridad del envase final. Estos controles son muy diversos, el caso de los cilindros para GLP se utilizan tanto para asegurar la calidad y la seguridad del producto. Como no es posible realizar pruebas en todos los envases

se realizan muestreos que permitirán inspeccionar lotes enteros de producción. Estos controles se enlistan en la tabla 1 al final del documento. Es aquí donde surge la inspección radiográfica como herramienta.

1.1.8 Vida Útil

La vida útil de este tipo de contenedores es variable. Según la norma NSO 23.04.01:00 los cilindros en uso deben de inspeccionarse por lo menos cada 5 años, proporcionando la norma los requerimientos y los criterios que deben de aplicarse en esta inspecciones y aceptar o rechazar un cilindro. Esto debe realizarse para evitar que envases que han sufrido daños durante su periodo de servicio se sigan utilizando y pongan en peligro a los usuarios.

1.1.9 Válvula

Un accesorio muy importante de este tipo de contenedores es la válvula principal. Aunque no es parte del estudio que se realiza en este trabajo se mencionan aquí sus características principales. Este dispositivo permite el flujo del GLP ya sea hacia el interior, en la etapa de llenado, así como hacia el exterior, cuando se encuentra en uso. El material utilizado para la construcción de este dispositivo es bronce con 60% cobre y 40% zinc (ver anexo 3). La principal razón de su uso es la resistencia a la corrosión del material, tanto a elementos presentes en el medio ambiente, así como al fluido que maneja. Su construcción es robusta y sencilla, consta de las siguientes partes:

- Válvula de carga y descarga: Es un dispositivo operado manualmente y sirve para cargar o descargar el producto, este se acciona al conectar el elemento regulador de presión.
- Válvula de seguridad. Es un sistema automático diseñado para permitir el escape de gas del interior del cilindro cuando existe una presión arriba de la calibrada en la válvula, según sea su diseño.

- Roscado externo cónico. Con el que se acopla la válvula al cilindro
- Conexión de salida. Punto donde se conectan los accesorios para la carga del gas o reguladores en el caso de la descarga controlada de este.

Su funcionamiento se basa en la apertura de la válvula de carga y descarga. En los modelos usados en el país, la apertura se logra con un vástago que viene incluido en el regulador de presión, que presiona contra un pin plástico (el husillo de la válvula) y mueve la válvula de su asiento y permite el paso del fluido. La diferencia de presión entre el interior del cilindro (de 1700 kPa o 240 psi) y el exterior de este que se encuentra a menor presión (de 101 kPa o 14.7 psi), es la causante del flujo hacia el exterior.

1.2 Procesos de soldadura

Los procesos de soldadura que se utilizan en la fabricación de envases sometidos a presión pueden ser muchos. La normalización exige que para un mismo producto se ocupe siempre la misma técnica. En el caso de los contenedores de GLP, los estándares nacionales requieren el uso de soldadura eléctrica, especificado el tipo idóneo pero también presentando alternativas, dándole al fabricante libertad en la selección del proceso a utilizar.

En general se utiliza el proceso de arco sumergido como método automatizado. Esto se debe a las ventajas que ofrece con respecto a otros procesos como el MIG⁴ con el que también se logra la automatización. Esto obliga a conocer el procedimiento de soldadura eléctrica con arco sumergido en la elaboración de cilindros para GLP. A continuación se hace una breve introducción a las distintas técnicas de soldadura comercialmente existentes para la elaboración de recipientes a presión; luego se pasa a una descripción del proceso de arco sumergido utilizado en la fabricación de envases para GLP.

⁴ Metal Inert Gas

1.2.1 Tipos de soldadura

Soldadura es la unión de dos materiales por medio de fusión localizada. Es un proceso muy común, especialmente en metales. Los métodos para lograr soldar metales son muy diversos y dependen de las condiciones específicas de presión, temperatura necesarias asociadas a la metalurgia del material. Existen formas donde el factor determinante es la temperatura a la que se realiza, mientras que en otras la presión que se ejerce en la junta es la responsable de la unión.

Para lograr la fusión ideal⁵ de dos metales se necesitarían, superficies lisas y bien preparadas, libres de imperfecciones y de agentes contaminantes, que los metales carezcan de impurezas y que sus cristales estén alineados. Esto es imposible y por esta razón se han ideado tantas maneras para lograr la fusión de los materiales, cada una aportando soluciones distintas para cada uno de los requerimientos antes descritos.

Los procedimientos para soldar con los que se cuenta actualmente se pueden clasificar de esta manera:

- Soldadura por presión

Estos son procedimientos donde la presión que se ejerce a los materiales es la responsable por la unión de estos. Los métodos más comunes son, por forja, en frío, por fricción, por explosión y por laminación (ver ilustración 4).

- Soldadura eléctrica

Es la técnica más usada hoy en día, se utiliza la electricidad para generar calor, pero también se puede aplicar presión. Se divide en dos grandes áreas, la soldadura por resistencia eléctrica y la soldadura por arco eléctrico. Es dentro de este último que se encuentra clasificado el método utilizado en la fabricación de los cilindros de gas (ver ilustración 4).

⁵ Es aquella unión perfecta entre los materiales que se desean soldar, donde no se reconoce ninguna diferencia entre ellos a nivel atómico.

- Soldadura por gas

Se utiliza gas como fuente de calor, en el método de oxigas o autógena, la llama generada por la quema de un gas con oxígeno lleva al metal a su temperatura de función. Otro proceso existente calienta el metal por debajo de la temperatura de fusión y se ejerce presión para realizar la unión (ver ilustración 4).

- Otros métodos

Se clasifican de esta forma maneras no convencionales de soldar, algunas conocidas desde hace mucho y otras que utilizan tecnología de última generación. Entre estos otros métodos se puede mencionar la aluminotermia, soldadura por rayo láser, por electrochispa, por chispa, por inducción, por ultrasonidos y soldadura por bombardeo electrónico.

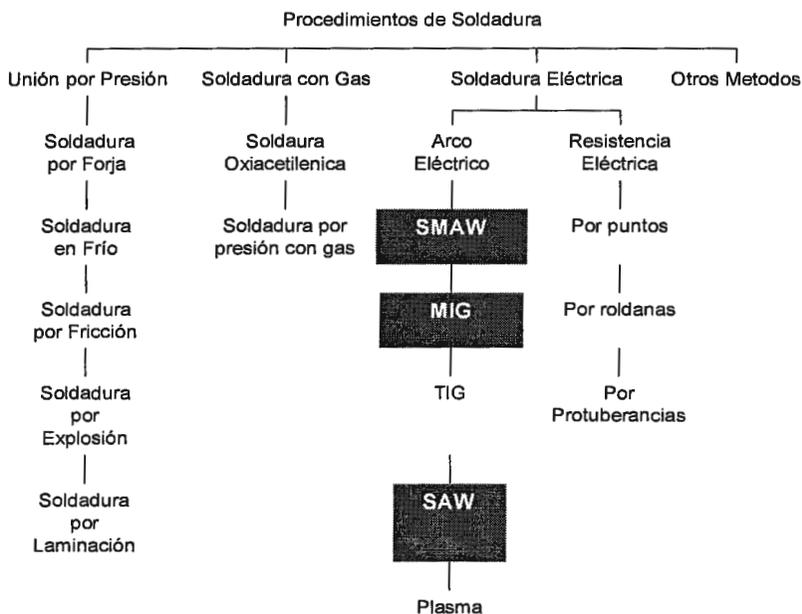


Ilustración 4. Clasificación de los procesos de soldadura mas comunes, resaltados aquellos utilizados para la elaboración de cilindros para GLP

1.2.2 Soldadura con arco eléctrico

En la soldadura con arco eléctrico, se elabora un circuito eléctrico en el cual ocurre un arco eléctrico que genera suficiente calor como para llevar el metal a su punto de fusión. El equipo necesario es un transformador o fuente que reduce el nivel de voltaje de trabajo y al mismo tiempo aumenta el amperaje de la corriente de trabajo, manteniéndola estable según se requiera para realizar la soldadura. Además se necesitan dos electrodos o polos, uno de ellos se conecta al material a soldar (conocido como polo o tierra) y el otro (llamado comúnmente electrodo) se usa para producir el arco eléctrico en el lugar donde se realizará la unión.

La aportación de material adicional se vuelve necesario para obtener buenas uniones; además de agregar elementos de aleación que aumentan las propiedades mecánicas del metal base y proporcionar material adicional para obtener las dimensiones necesarias en la junta. Es importante proteger la zona donde ocurre el arco eléctrico, la razón es la alta temperatura del metal que permite que elementos ajenos contaminen la unión y afecten su solidificación, además de ser muy susceptible a la corrosión. Es en base a estos dos factores que se clasifican los distintos métodos existentes para soldar con arco eléctrico. Los más utilizados en la industria son:

- Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding - SMAW). Es un método manual donde un electrodo revestido de material fungible aporta los elementos de aleación necesarios a la soldadura. Al solidificarse sube a la superficie y limpia las impurezas del materia recién depositado. El montaje básico de este equipo se puede ver en la ilustración 5. Es la técnica de mayor uso, su aplicación es general para la soldadura de metales, la desventaja es la necesidad de cambiar el electrodo a medida se consume.

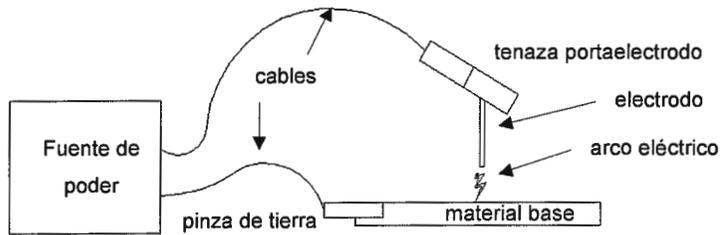


Ilustración 5. Soldadura SMAW

- Soldadura por arco eléctrico con protección de gas y alambre fusible (Gas Metal Arc Welding – GMAW, también conocida como Metal Inert Gas - MIG). Es un proceso semiautomático, el electrodo es continuo y se agrega automáticamente. Se utiliza un gas inerte (argón, dióxido de carbono) que protege el metal recién depositado y el arco eléctrico (ver ilustración 6). Se usa para soldar metales en general, en especial en acero, su mayor ventaja es la deposición de gran cantidad de material sin la necesidad de detenerse. Existe una variante donde el gas protector es activo (nitrógeno), se le conoce como Metal Active Gas (MAG).

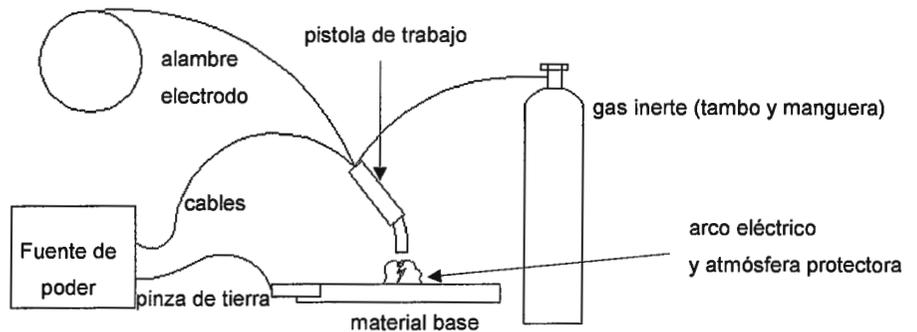


Ilustración 6. Soldadura GMAW

- Soldadura por arco eléctrico en atmósfera inerte con electrodo de tungsteno (Gas Tungsten Arc Welding – GTAW, también conocida como Tungsten Inert Gas - TIG). Técnica manual de soldadura, en este caso el electrodo es de tungsteno y no se consume por lo que se necesita material de aporte por separado (ver ilustración 7). De igual manera se utiliza un gas inerte como protección. Se usa para soldar materiales de alto punto de fusión. Como todos los procesos que usan gas, es muy susceptible a corrientes de aire.

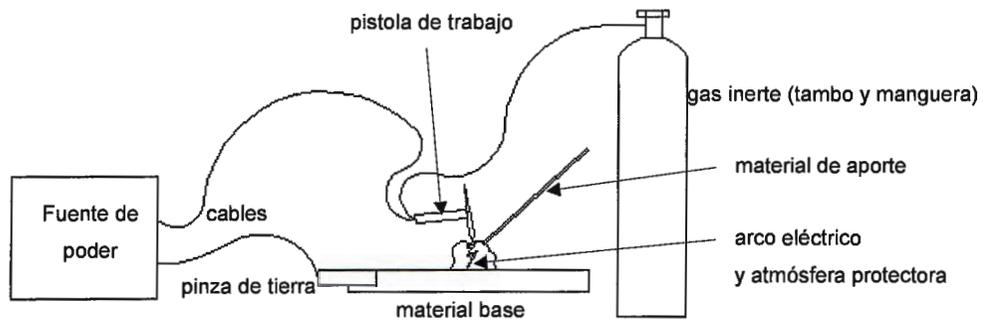


Ilustración 7. Soldadura GTAW

- Soldadura por arco sumergido. (Submerged Arc Welding- SAW) Es una combinación de MIG y SMAW. El electrodo se proporciona de manera continua, pero se utiliza un material fungible sólido para la protección del arco el arreglo básico se muestra en la ilustración 8.

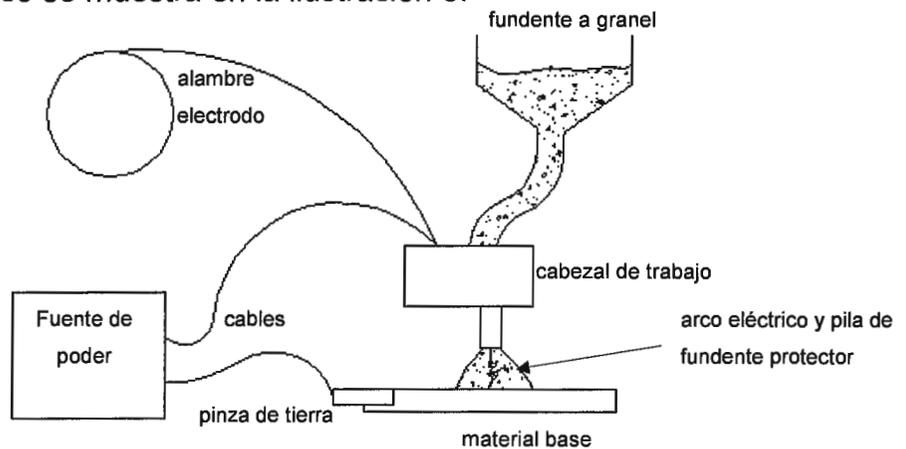


Ilustración 8. Soldadura SAW

1.2.3 Arco Sumergido

En la soldadura con arco sumergido se logra la unión de los metales al calentarlos con un arco entre un electrodo de metal desnudo y las partes a unir. El arco y el metal fundido se encuentran sumergidos en un manto de material granular fungible. No se necesita aplicar presión y el metal de aporte se obtiene del electrodo.

En la fabricación de envases de GLP este método de soldadura presenta grandes ventajas con respecto a otros métodos, entre las cuales se pueden mencionar:

- Protección total del arco al encontrarse sumergido en el fundente. No existe la posibilidad de alteración de la atmósfera protectora por ráfagas de viento como ocurre con otros procesos.
- Altas velocidades de deposición, al poder trabajar con grandes amperajes.
- Facilidad para la automatización, logrando reducir la interacción del operador al mínimo (montado de piezas, encendido y apagado del equipo)
- Gran volumen de operación al contar con equipos con ciclo de trabajo del 100% combinado con su alta velocidad de soldadura.

Es importante realizar una diferenciación entre un proceso manual, uno automático y uno mecanizado. El primero indica que el operario debe de ajustar los controles que gobiernan a la fuente de alimentación y además realizar los cordones de soldadura, utilizando una pistola que alimente el fundente y el alambre. Es por lo tanto el operario quien a partir de su experiencia y habilidad quien realiza la unión, este sistema se le conoce como soldadura semiautomática.

La soldadura automática es aquella donde el operador está limitado a encender y apagar el equipo y en ocasiones a montar la pieza a soldar, su participación se reduce al mínimo al no tener que ajustar ningún control. La soldadura mecanizada es aquella donde el equipo ejecuta la soldadura pero necesita de un operador que ponga el trabajo en su posición, inicie la soldadura, vigile constantemente los controles eléctricos y de velocidad y de fin al proceso.

Es necesario hacer esta diferenciación puesto que se ha establecido en secciones anteriores que la soldadura debe de realizarse de forma automática, pero no dice si debe de ser completamente autónoma o si se puede realizar como una soldadura mecanizada. En este documento se tratan estos dos últimos tipos, puesto que el procedimiento a seguir es el mismo y los parámetros que se deben de ajustar son iguales, con la diferencia de la participación activa del operario.

Para lograr realizar las uniones que los cilindros para GLP requieren de una manera adecuada es necesario conocer el método a utilizar, en las secciones siguientes se presenta la descripción de este proceso de soldadura aplicado a la fabricación de recipientes a presión de uso doméstico.

1.2.3.1 Equipo necesario

El equipo necesario a utilizar es función del método que se aplica, como ya se dijo este debe de ser automatizado, esto implica que se requiere no sólo de una fuente sino que además de accesorios que reducen el trabajo que debe de realizar el operador de forma manual.

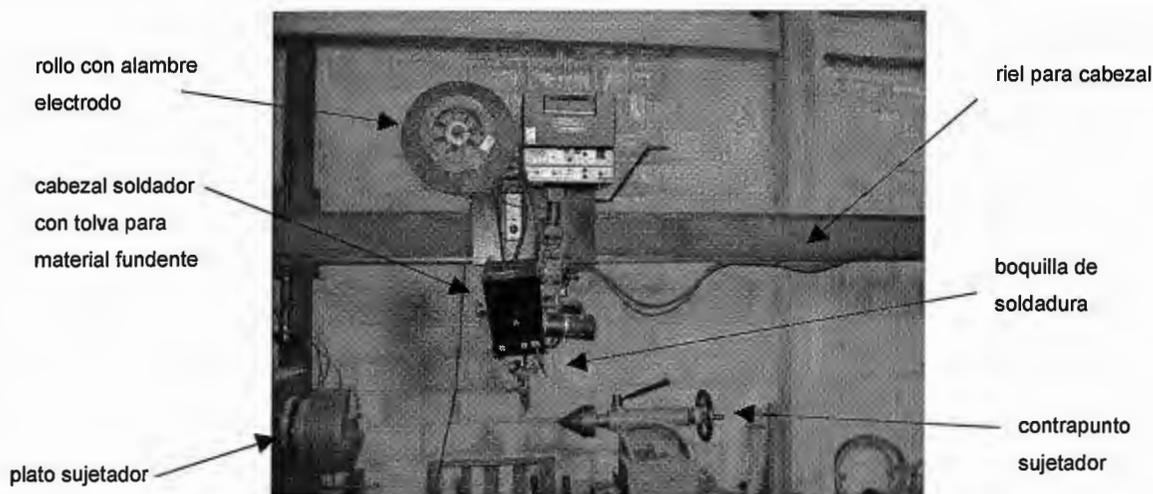
La fuente de poder debe de ser capaz de mantenerse en operación constante durante toda una jornada de trabajo, es decir se necesitan equipos que proporcionen ciclos de trabajo del 100%. Se usan sistemas tipo transformador – rectificador, por no ser muy elevado el amperaje necesario para realizar la unión. En muchas ocasiones estos equipos proporcionan salidas para poder realizar otros tipos de soldadura con arco eléctrico.

Una parte esencial son los controles de alimentación de alambre y fundente. Estos pueden ser digitales o analógicos, y sus funciones pueden variar según la complejidad de estos. Los mas sencillos controlan la alimentación del alambre, el inicio y la parada de la soldadura y el cambio entre desplazamiento automático y manual. Los mas sofisticados incluyen funciones como retardo en el alambre, llenado de cráteres, control y dosificación del fundente y manejo del cabezal de soldadura con retroalimentación.

Los cabezales son aquellos donde van montando los sopletes de soldadura con los carretes de alambre y sus alimentadores y la tolva con el fundente. En la soldadura de envases para GLP, se utiliza un solo soplete y un solo rollo de alambre por lo que el cabezal es bastante sencillo, no se necesita que tenga movimiento por lo que

puede ser estático en caso de las uniones circunferenciales. Para la realización de las uniones longitudinales se necesita de un movimiento rectilíneo. En este caso se dotan a los cabezales carros motorizados que proporciona el movimiento necesario para realizar la soldadura.

Como ya se menciona se dotan de carros transportadores para poder realizar movimientos rectilíneos, estos van montados en rieles que están alineados al banco de soldadura. En el caso de las uniones circunferenciales, el movimiento lo tienen los elementos a soldar, para esto se montan en un aparato similar a un torno, con el cabezal montado sobre el área de trabajo. Este aparato se vuelve el banco de trabajo puesto que se puede utilizar la misma máquina para realizar ambos tipos de unión, tal como se ve en la fotografía 3.



Fotografía 3. Sistema de SAW para realizar uniones circunferenciales y longitudinales. No se muestra la fuente de poder.

1.2.3.2 Electrodo y Fundentes

La selección adecuada del tipo de electrodo y del fundente que servirán para realizar la unión es muy importante puesto que evita la aparición de defectos en la soldadura, al mismo tiempo que maximiza la producción lográndose menores desperdicios.

En este tipo de proceso se debe cuidar que los fundentes sean los adecuados tomando como referencia el tipo de material base, además de que sea el adecuado para el volumen de producción requerido con el fin de obtener las propiedades deseadas en la zona de la unión.

En el caso de los envases para GLP el material base es acero al carbono (con un contenido máximo de 0.24% de carbono) el electrodo debe de ser de material igual o similar, usandose un electrodo de material desnudo o en ocasiones recubierto de cobre para mejorar su conductividad eléctrica. Para realizar las uniones circunferenciales y longitudinales se utiliza el electrodo EML12K de mediano contenido de manganeso y mediano contenido de silicio.

El fundente tiene la función de proteger la atmósfera donde se produce el arco eléctrico, así como de limpiar el charco de soldadura y de producir escoria que recubra el material recién depositado. Su fabricación se realiza al mezclar diferentes componentes en seco y luego se procesan. Su presentación es en granos que varían de tamaño según el fabricante y el tipo de material. Existen tres tipos principales, los fundentes fusionados, los aglomerados y los mezclados mecánicamente, que proveen distintas características químicas y resistencias mecánicas. En el caso que se estudia el fundente se puede usar uno que provea hasta 410 MPa (60 ksi) de resistencia a la tracción como mínimo (ver anexo 2 para descripción de la clasificación AWS de fundentes y electrodos para SAW).

Se debe de prestar atención a las condiciones en las que se encuentran los materiales previos a su utilización teniendo cuidado en como se almacenan, puesto que al deteriorarse pierden sus características y afectan negativamente la unión. Es importante mantener el electrodo y el fundente lejos de humedad, para evitar la corrosión y la saturación del fundente con agua, problema que ocurre con frecuencia en El Salvador debido al alto porcentaje de humedad presente durante todo el año que varia entre el 60 y el 99% durante el transcurso del año.

1.2.3.3 Realización de la soldadura en los envases para GLP

En esta sección se presentan los datos relevantes a la realización de las uniones soldadas en los envases de GLP. Iniciando con las variables que afectan este proceso, para luego pasar a la descripción de la manera en la que se efectúa la unión.

Las variables que se deben de cuidar para obtener buenas uniones soldadas son las siguientes:

- Amperaje de soldadura
- Tipo de fundente y distribución de partículas
- Voltaje de soldadura
- Velocidad de soldadura
- Tipo de electrodo
- Tamaño del electrodo
- Extensión del electrodo
-

Cada uno de estos factores deben de ser cuidadosamente controladas puesto que la calidad de la soldadura y el aspecto físico de esta depende de ellas. Son dependientes del producto que se manufactura y del método que se sigue para su elaboración.

Dentro de las distintas posiciones para soldar que existen, la utilizada en la fabricación de los cilindros para GLP es la plana. Esto es evidente al realizar la soldadura longitudinal, en el caso de las soldaduras circunferenciales se ocupa un banco de trabajo giratorio que permite que la zona donde se realiza la soldadura se mueva a velocidad constante. Al realizarse esta unión se debe poner el alambre y el fundente en una posición tal que el metal de soldadura y el fundente se solidifiquen al pasar por el punto de las 12 en las manecillas del reloj (ver ilustración 9 y fotografía 4). Esto se debe a la tendencia del metal y fundente a derramarse. El desplazamiento angular del cilindro y la alimentación del alambre deben de estar

correctamente sincronizadas, de lo contrario se tienen soldaduras abultadas o cóncavas que no se aceptan en la fabricación de los envases.

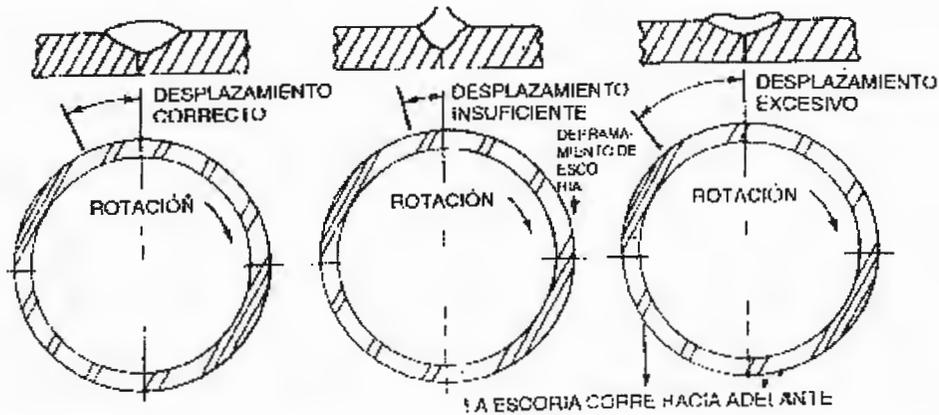
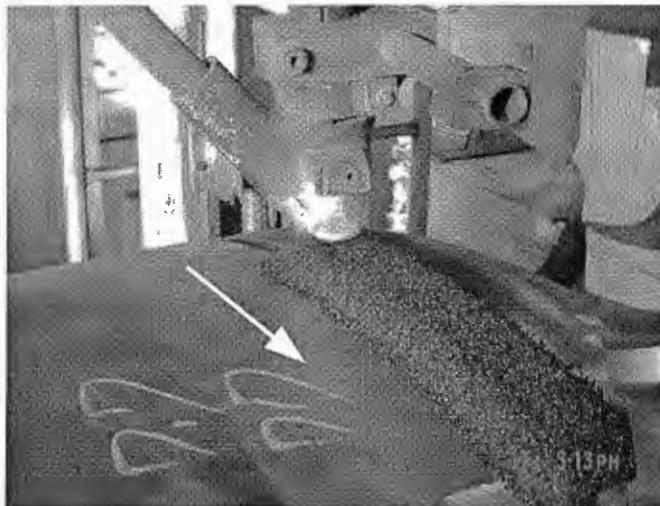


Ilustración 9. Relación entre desplazamiento y la calidad de la soldadura obtenida⁶

El entrenamiento del operario, así como la adecuada selección y manipulación del equipo de soldadura son los factores mas importantes para obtener buenas uniones, independientemente del tipo de soldadura que se realice. Es por lo tanto, importante mantener bajo control estos factores y asegurar que tanto el equipo de soldadura y los consumibles sean los adecuados, además de contar con un operario calificado (bajo alguna norma) para realizar el trabajo.



Fotografía 4. Realización de la soldadura circunferencial en un envase clase 4, por medio del uso del metodo de arco sumergido, la posición es casi vertical sobre la zona de la unión. El cilindro rota en el sentido de la flecha a media se realiza la soldadura.

⁶ Submerged Arc Welding, Miller Electric Co. , p.21

Capítulo II – Técnica de Inspección

2.0 Introducción

Dentro de los ensayos que permiten la inspección de materiales y piezas terminadas se encuentra la radiografía. Aplicación que esta muy difundida en la industria a pesar de las restricciones que la hacen menos versátil que otros métodos. Su popularidad se basa en que proporciona registros visuales del ensayo que permiten su fácil interpretación cuando se cuenta con el entrenamiento necesario. A continuación se darán los conocimientos básicos del ensayo que posteriormente facilitarán el estudio de la aplicación de este método a la inspección de envases para GLP.

2.1 Fundamentos de la inspección por la técnica de radiografía industrial

La radiación encuentra su papel en la industria de muchas y diversas formas. Las propiedades que caracterizan a esta emisión de energía son de gran utilidad y sirven en diversos campos tal como en la medición de espesores, esterilización de productos, medición de flujos y otros. Uno de los casos específicos del uso de la radiación es la inspección de productos manufacturados, sin la necesidad de destruirlos, de esta manera se verifica la integridad del producto sin dañarlo, lo que permite su posterior uso.

La técnica radiográfica usada por la industria es muy similar a su contraparte medica. A través de ella se logra obtener una imagen del interior de un objeto sólido, con el benéfico adicional de no dañarlo y obteniendo un registro permanente de la inspección. Para realizar este tipo de ensayo se necesita una fuente de radiación y un elemento que la registre, tal como se ve en la ilustración 10. La fuente puede ser un radioisótopos o un generador de rayos X. El registro de la radiación con la que posteriormente se analiza el elemento inspeccionado, se conoce como película radiográfica, es similar a la usada en la toma de fotografías.

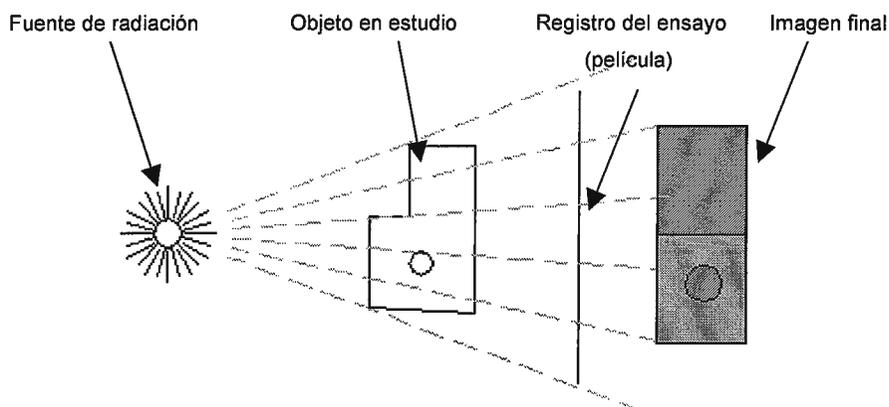


Ilustración 10. Configuración básica de un ensayo radiográfico

En el caso específico de productos que han sido soldados durante su manufactura, normalmente, se utiliza la radiografía para inspeccionar la soldadura de estos. La aplicación de este examen permite detectar discontinuidades que afectan de manera negativa la integridad de la unión y que son producto de una mala realización de la junta. Entre estas discontinuidades se pueden mencionar las siguientes:

- Porosidades, tanto aisladas como agrupadas.
- Inclusiones, de escoria o de materiales extraños, tal como tungsteno.
- Grietas.
- Falta de penetración.
- Socavaduras.

Al realizar la toma radiográfica, la imagen que se obtiene queda plasmada en la película la que se convierte en un registro de las discontinuidades detectadas y permiten luego realizar las modificaciones necesarias al proceso de fabricación, en este caso el de soldadura. Es por esto que es una herramienta tan útil al no tener que sacrificar el producto terminado y al mismo tiempo se produce una imagen real del elemento en estudio. En las secciones siguientes se explicará el funcionamiento de los elementos que se utilizan para lograr realizar una toma radiográfica.

2.1.1 Fuentes de radiación

Como ya se menciona, en este tipo de ensayo se necesita de una fuente de radiación. El tipo de radiación que la fuente provee debe cumplir la siguiente característica: un alto poder de penetración, para así poder inspeccionar elementos de gran espesor. Por esta razón se necesitan fuentes de energía que emitan radiación electromagnética de alta frecuencia; es decir, longitud de onda muy pequeña, para obtener ese alto poder de penetración. Esto limita al uso de radioisótopos que al desintegrarse generen rayos gamma o el uso de generadores de rayos x. En este caso el tamaño si importa, de manera que la fuente debe ser manejable limitando de esta forma los posibles isótopos, así como el tamaño de los generadores.

2.1.1.1 Radioisótopos

El primer tipo de fuente a tratar son los radioisótopos. Los de uso en radiología industrial son:

- Cobalto 60
- Iridio 192
- Cesio 137

Estos se encapsulan y se guardan en contenedores de plomo. Son operados de manera remota con la ayuda de cables y no requieren de ningún tipo de energía adicional para operar, son portátiles. Una desventaja es la necesidad de reactivarlos en intervalos programados, para que su actividad (cantidad de energía que emiten) sea la suficiente para poder realizar una toma radiográfica conocida como gammagrafía. Su alto poder de penetración las hace excelente para trabajar con grandes espesor de material, pero presentan muchas dificultades con respecto a la seguridad del operador, y la interpretación de los resultado por el bajo contraste en las imágenes que se obtienen.

2.1.1.2 Generadores de Rayos X

La otra fuente de radiación que reúne las características necesarias para el uso industrial son los rayos X. Descubiertos por Wilhelm Röntgen en 1895, son ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda que los rayos gamma, pero de igual forma tienen la capacidad de atravesar muchos de los materiales usados por el hombre, sin ser absorbidos en su totalidad.

El principio de generación de los rayos X es el siguiente: se aceleran electrones y se les hace chocar contra una placa de material metálico (conocida como anticátodo o blanco); al desacelerarse los electrones de forma violenta transforman la energía cinética a calor y en fotones de rayos X. La aceleración se logra al aplicar una diferencia de potencial, de entre los 20000 y los 40000 voltios, entre un cátodo y la placa de material metálico que sirve como ánodo, todo esto encerrado en un tubo al vacío (ver ilustración 11). Es un proceso muy ineficiente, con solo entre el 1% y 5% de energía cinética convertida en radiación, el resto se convierte en calor. Todos los equipos que producen rayos X trabajan de esta manera.

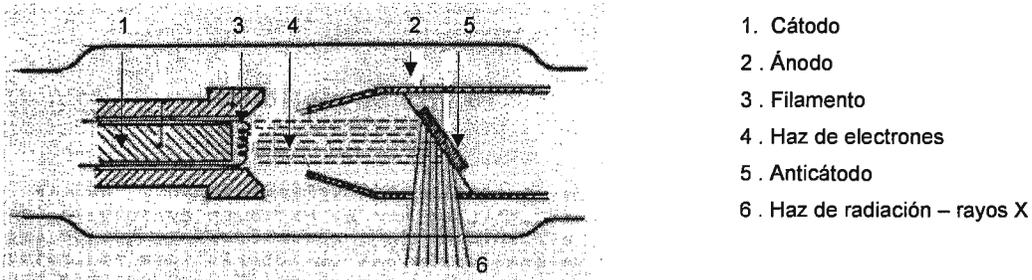


Ilustración 11. Esquema básico de un tubo de rayos X

Al utilizar rayos X se pueden modificar variables eléctricas que afectan la calidad de la radiación generada. Los dos parámetros de mayor relevancia son:

- la diferencia de potencial con el que se aceleran los electrones
- el flujo de electrones que se logra.

Estas dos variables se expresan en kilovoltios (kV) y miliamperios (mA) respectivamente y cada una de ellas afecta de manera diferente la toma de una radiografía.

El miliamperaje, representa el número de electrones que son acelerados e impactan en la placa del ánodo, por lo tanto, el número de fotones emitidos. Al variarse este parámetro, se modifica la intensidad de la radiación, sin afectar la longitud de la onda emitida. Es decir, se logra producir una gran cantidad de radiación sin alterar las características electromagnéticas de ella, tal como se aprecia en la curva de la ilustración 12.

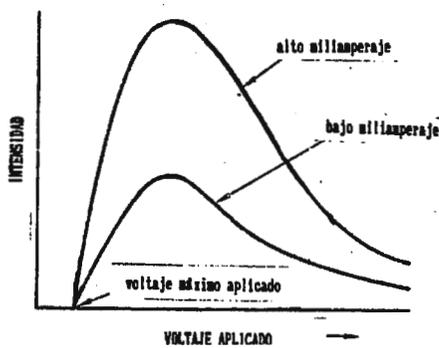


Ilustración 12. Efecto de la variación del miliamperaje⁷

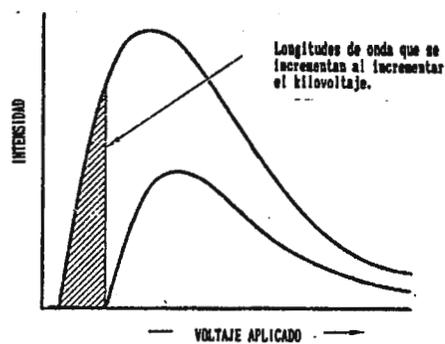


Ilustración 13. Efecto de la variación del kilovoltaje⁸

Por el contrario el kilovoltaje, regula la velocidad de los electrones. Al modificarse este parámetro, se modifica el espectro de la radiación, al cambiar la longitud de la onda (ilustración 13). Si se incrementa, se obtiene radiación dura o de penetración, pero se ve reflejada como un bajo contraste a la hora de hacer una toma radiográfica.

Es por medio de la adecuada selección de estos dos parámetros que se logra obtener una buena toma, basándose en la capacidad del equipo y de tablas o graficas características que relacionan el kilovoltaje, el miliamperaje y la capacidad

⁷ Ensayos no destructivos por la técnica de radiografía industrial, Alfonso García, p.85

⁸ ídem. p.85

de penetración de la radiación en un material usado como referencia, en la mayoría de casos el acero.

A diferencia de los isótopos los generadores de rayos X necesitan de electricidad, constan de muchas partes y requieren de especial cuidado, puesto que generan mucho calor y por lo tanto necesitan refrigeración constante. La gran ventaja es que al desconectarse el equipo de la fuente de electricidad se detiene la radiación, algo que no se puede hacer con los radioisótopos.

2.1.2 Película

El dispositivo sobre el cual se registra la inspección, es la película radiográfica. Se conforma de lámina de acetato o poliéster cubierta con una emulsión de bromuros de plata (ver ilustración 14). Al exponerse a la radiación la emulsión se ioniza produciendo cristales que forma una imagen latente sobre la película. Luego se pasa a un proceso de revelado, donde con el uso de ácidos y álcalis, se revela y se fija la imagen sobre la base de acetato.

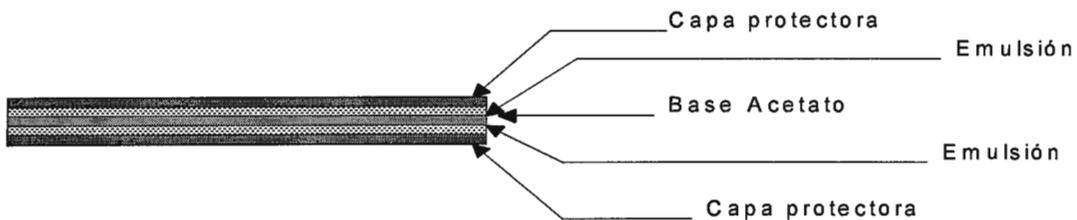


Ilustración 14. Capas que componen una película radiográfica

La selección de la película está ligada a la selección de la fuente de radiación así como de la técnica que se este utilizando para poder radiografiar. Sus características más relevantes son:

- **Velocidad.** Es la rapidez con que se forma la imagen latente ante la presencia de radiación. Es un parámetro equivalente a la velocidad ISO en las películas fotográficas.

- Tamaño de grano. Indica el tamaño que alcanzaran los cristales de bromuro de plata al formarse la imagen. Indica la definición que se logra en la imagen final.

Además es de interés para el operario o radiólogo, la curva sensitométrica de la película a usar, que permite conocer la respuesta de ésta a la radiación. En su defecto se pueden usar tablas de clasificación de película radiográfica tal como las que aparecen en las normas de la ASTM donde se incluyen los datos relevantes para realizar una toma (ver anexo 4).

Una vez realizada la toma radiográfica se necesita pasar de una imagen latente a una imagen real. Para esto se procesa la película en un cuarto oscuro, siguiendo los siguientes pasos:

- Revelado. Se remueve la película de su estuche protector y se sumerge en un tanque con un compuesto alcalino, se produce sobre el acetato una reacción química similar a la oxidación que ennegrece los cristales de plata, que han sido ionizados por la radiación.
- Baño de parada. Se lava el revelador aplicado con una mezcla de agua y ácido (en la mayoría de casos ácido acético), se hace con el fin de frenar el proceso de revelado y poder proseguir con el siguiente paso.
- Fijado. Se fijan los cristales de plata ennegrecidos y se eliminan los haluros de plata que no fueron afectados por la radiación. Con esto se logra estampar la imagen final sobre la película, dejando sólo los cristales de plata ennegrecidos. Para este proceso se utiliza una solución de hiposulfito de amonio o de sodio que son de carácter ácido, con agregados para evitar su descomposición. Además, tiene agentes endurecedores como la sal de aluminio que mejoran las propiedades mecánicas de la base de acetato.
- Neutralizador de fijado. Se detiene el efecto del fijador.
- Lavado final. Se remueven todos los rastros de químicos de la película. En ocasiones se da un segundo lavado con un agente humectante que evita la aparición de machas durante el proceso de secado.

- Secado. Antes de ser manipulada la película debe estar completamente seca, para esto se pueden usar hornos secadores o simplemente se pueden dejar secar al aire libre.

Todos estos procesos requieren un control muy estricto de la temperatura para lograr un buen procesado y una correcta imagen final, siendo la óptima de 20°C. Además, se debe evitar la contaminación de los agentes químicos y se deben seguir las instrucciones de los fabricantes para evitar problemas en la secuencia de obtención de la imagen real. Una vez se ha secado la película se procede a la interpretación de la imagen para generar los resultados de la prueba. Es en este punto donde se deben revisar otras medidas que indican la calidad de la imagen que se ha producido.

Una pieza fundamental en la evaluación de radiografías es el negatoscopio. Este es la fuente de luz que permite ver la imagen real y permiten su estudio. La iluminación que provee este aparato debe cumplir las siguientes características: alto nivel de iluminación con la capacidad de diferenciar variaciones de densidad en la película, sin calentarla de forma excesiva así como también distintos niveles de intensidad (variable a través de algún control) para lograr mejorar la interpretación de las imágenes.

Existen dos parámetros importantes que se deben controlar en la imagen previa a su interpretación, la densidad y el contraste. La densidad es el grado de ennegrecimiento de la película, se mide usando un densitómetro y las normas que regulan este tipo de ensayos especifican valores mínimos y máximos para hacer válida una imagen, normalmente entre 1.8 y 4.0. El contraste es la diferencia de densidad entre dos zonas de la película, dividiéndose en contraste de película y de objeto. Estos parámetros se controlan con la intensidad y la dureza de la radiación, así como con los tiempos que se utilizaron al procesar la película en el revelado.

Además existe otro control adicional en la toma de la radiografía, este es el indicador de la calidad de la imagen o IQI por sus siglas en ingles, también conocido como penetrámetro. Este consiste de un control que permite conocer cual es el tamaño del menor elemento visible en la imagen a estudiar. Existen dos tipos, el de hilos y el de agujeros y la aplicación de este control esta sujeto a la norma que rige el ensayo, especificando el tipo de indicador y el tamaño, así como también la forma en que debe de ser colocado y posteriormente como deben de ser interpretados los datos que da al inspector.

En ocasiones la radiación que emite la fuente no logra activar o ionizar suficiente la película radiográfica. En estos casos se utilizan hojas de plomo conocidas como pantallas intensificadoras. Se colocan en intimo contacto con la película y funcionan como amplificadoras de la radiación presente cerca de la película. En otras ocasiones se utilizan hojas de materiales de fluorecen con la radiación. El objetivo es reducir el tiempo de exposición y mejorar la calidad de la imagen final.

Existen películas que se venden dentro de empaques desechable que contienen tanto la película como las pantallas intensificadoras. Hay otras que se utilizan con un estuche (case) reusable, al que se le aplican las pantallas de forma manual. La selección de un tipo u otro se base en el elemento a inspeccionar, las condiciones de la inspección y la regularidad con la que se realizan.

2.1.3 Seguridad y protección

Así como la radiación penetra un material como el acero, de igual forma lo hace con la materia viva. Pero a diferencia de los efectos que tiene en un cuerpo inerte, en un ser vivo sus efectos son diferentes a tal grado que si no se toman las medidas adecuadas de seguridad se pueden provocar daños en aquellos seres que trabajan con radiación.

Al irradiar un ser vivo la radiación o los rayos X ionizan los distintos componentes que conformados las células que forman a ese ser. Al encontrarse ionizados, se facilitan reacciones químicas que usualmente no sucederían en condiciones normales. De estas reacciones es que surgen muchas de las enfermedades asociadas con la exposición a la radiación. Además si la cantidad de energía a la que se expone una persona es muy alta se producen efectos inmediatos que pueden provocar desde ligeros cambios sanguíneos hasta la muerte.

Por esa razón aquellas personas que están ocupacionalmente expuestas (operarios, radiólogos) a este tipo de energía deben de conocer los efectos que tiene la radiación sobre sus cuerpos y como protegerse de ella. Se tienen tres variables básicas para la protección estas son:

- Tiempo
- Distancia
- Barreras

Es necesario reducir el tiempo de exposición, de esta manera se disminuye la cantidad de energía que se recibe. Se debe mantener una distancia prudente desde la fuente, al aumentar la distancia desde la fuente disminuye la intensidad de la energía. Finalmente se ocupan barreras que protejan al operario y a público en general de la radiación, pueden ser estructuras existentes o fabricadas para este propósito.

Es necesario tener control sobre la radiación recibida y llevar un registro de esta para minimizar los efectos que pueda tener sobre el radiólogo. Para lograrlo las personas se auxilian de equipos de monitoreo y así como de registros de la dosis absorbida. El equipo básico para un inspector es:

- El conocimiento de los efectos de la radiación. El conocer y comprender como se produce la radiación y sus efectos en el cuerpo humano son la primera defensa con la que una persona cuenta.
- Dosímetro. Es un aparato que registra la dosis de radiación sobre un período de tiempo

- Detector de radiación. Es un instrumento que mide el nivel de radiación en el lugar de trabajo, sirve para establecer las distancias a las que es seguro estar, para evitar la exposición a la radiación.

Además se pueden utilizar equipos auxiliares como alarmas que alertan al usuario de la presencia de radiación.

Esta es la parte oscura del uso de la radiación, más sin embargo, los accidentes son inusuales y con un adecuado entrenamiento se puede trabajar de forma segura.

2.2 Radiografía de envases cilíndricos para GLP

La técnica utilizada para la inspección radiográfica de envases de GLP se conoce como técnica de “doble pared una imagen”. Se encuentra normalizada y existen un sin fin de normas que explican la manera en que se debe de realizar para que sus resultados sean verídicos y aceptables. La explicación de la realización de la toma se puede encontrar en los manuales de la ASM o en las normas ASTM o ASME. En el caso de El Salvador la Norma NSO 23.04.01:00 hace referencia a la norma CGA C-3, esta norma contiene información respecto a la realización de la prueba que se detallará más adelante, pero al mismo tiempo hace referencia a especificaciones de los estándares publicados por ASME y ASTM. Por esta razón se explicará como se han realizado los ensayos dentro de la Universidad Don Bosco haciendo uso de la información proveída por todas las fuentes antes mencionadas.

2.2.1 Técnica doble pared una imagen

Como su nombre lo indica en este tipo de ensayo se obtiene una imagen radiográfica al pasar la radiación a través de dos paredes de material. Esto se debe a que no existe acceso al interior del elemento a inspeccionar.

Se puede ver en la ilustración 15 cual es el arreglo de los elementos para realizar una toma radiográfica. Para realizar la inspección completa de toda la longitud de la soldadura son necesarias varias tomas variando la posición del cilindro (ver ilustraciones en el anexo 5).

Es importante que la película entre en contacto íntimo con la zona que se está inspeccionando para poder lograr buenos resultados, fijándola con cinta adhesiva. En el caso de la Universidad Don Bosco el tipo de película es de estuche desechable, lo que simplifica su montaje y manejo. Como se puede apreciar en las figuras del anexo 5, el indicador de calidad de imagen se coloca en el lado de la película al igual que todas las identificaciones necesarias, tal como número de cilindro y número de toma o sección que se inspecciona, si la inspección se lleva a cabo cerca de una pared o algún elemento que absorba la radiación es necesario recubrirlo con plomo, para evitar que la radiación dispersa, es decir, aquella que rebota de estas superficies, afecte la calidad de la imagen.

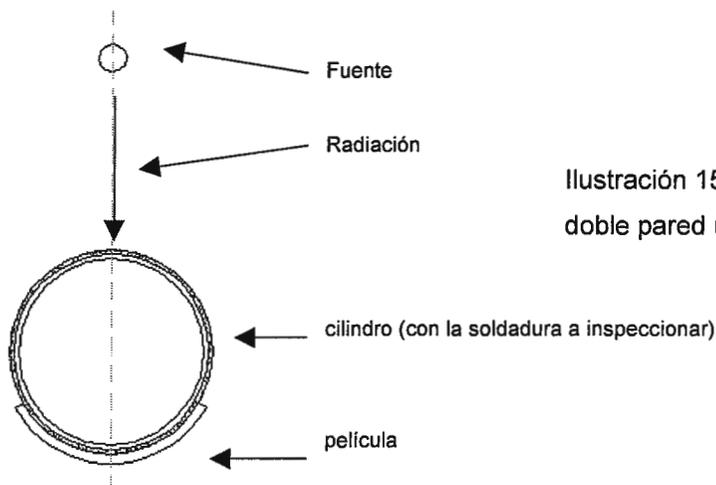


Ilustración 15. Técnica de doble pared una imagen

Como todo ensayo, se requiere una preparación previa, esta es la siguiente:

- Cálculo de la exposición necesaria para obtener una buena radiografía.
- Acordonamiento del área de trabajo para evitar la exposición accidental de personal ajeno a la prueba.
- Montaje de la fuente
- Montaje del espécimen y de la película.

Al calcular la intensidad y el tiempo de exposición, para lograr una toma adecuada, es necesario tomar la distancia total que recorre la radiación desde la fuente hasta la película. Esta se compone por el diámetro interno del cilindro, el espesor de pared (que debe incluir espesor total del material en la zona de la unión tanto de la pared como de la placa de refuerzo y el valor total se multiplica por dos para incluir el efecto de las dos paredes de material), la distancia que exista entre la fuente y el elemento inspeccionado. Esta distancia es la que debe de viajar la radiación antes de poder imprimir la imagen latente en la película. Si no se incluyen todos estos parámetros la exposición calculada es errónea por que no se obtienen resultados aceptables para poder ser interpretados

El indicador de calidad de imagen que la norma CGA C-3 sugiere es de agujeros, aunque permite el uso de penetrómetros de hilos usando las tablas de conversión que aparecen en el código ASME para Calderas y recipientes a presión sección V, Examinación No Destructiva. Su selección se basa en el espesor del material a radiografiar y es de vital importancia, puesto que permite conocer cual es el menor tamaño de discontinuidad que se puede identificar en la interpretación de la imagen final. Se requiere el uso de IQI por película montada, montado sobre la soldadura en caso de ser de hilos y en caso de ser de agujeros se debe de montar en paralelo y en forma adyacente a la soldara inspeccionada.

La película que se requiere según la norma CGA C-3 es de grano fino o súper fino, clase I o II, según la especificación de la norma ASTM E94 y E1815 (ver anexo 4). Es importante que la película se encuentre libre de imperfecciones superficiales o manchas que puedan enmascarar discontinuidades o puedan ser confundidas con un defecto. Es necesario identificar cada toma realizada, para lo cual se exige la siguiente información:

- Sección que se radiografía
- Número de envase

Para hacerlo se utilizan letras de plomo que se fijan al envase y quedan estampadas durante la realización del ensayo, se debe de cuidar colocarlas de forma que no afecten la interpretación de la imagen final, para evitar dar resultados erróneos. Además se debe de incluir el nombre del inspector, fecha de realización del ensayo así como la empresa dueña del cilindro por medio de alguna etiqueta a manera de registro.

2.2.2 Aplicación del ensayo

El ensayo se ocupa tanto para cilindros clase 3 y 4, con la única variante de la colocación de las películas. Dada la forma en que se emite la radiación desde la fuente se necesitan realizar 3 tomas como mínimo para poder inspeccionar una soldadura circunferencial, mientras que el número necesario para inspeccionar las soldaduras longitudinales dependerá del tamaño del envase y de la longitud de la película (mayor longitud de soldadura o menor tamaño de película implica un mayor número de tomas). En porcentaje la longitud de la unión que se debe de inspeccionar en los cilindros clase 3 es del 100%. En los clase 4 se requiere como mínimo el 100% de la longitud de la soldadura longitudinal y la zona donde se juntan las soldaduras circunferenciales y longitudinal (ver ilustración 16).

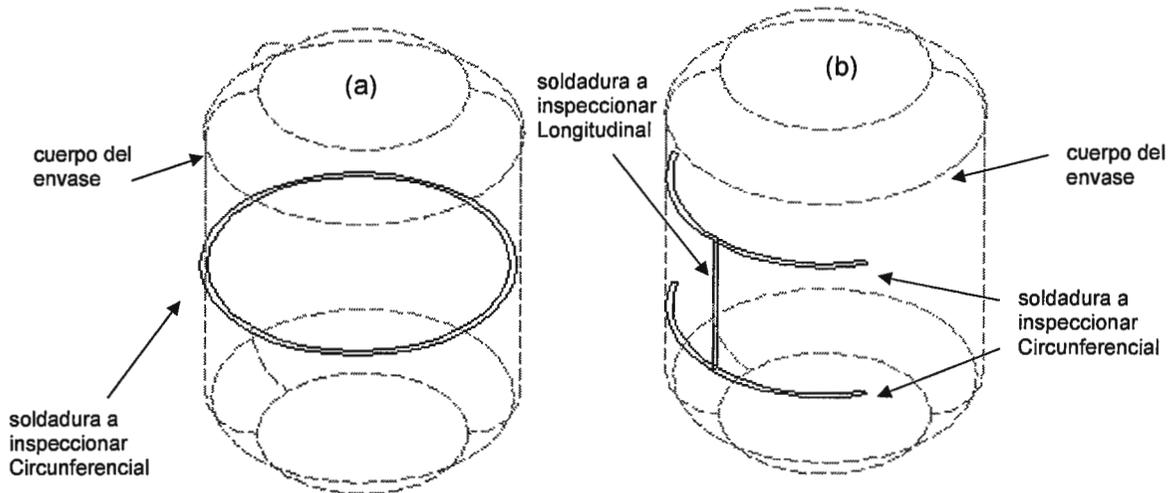


Ilustración 16. Secciones de la soldadura que se deben de inspeccionar, como mínimo, en los envases clase 3(a) clase 4(b).

2.2.3 Interpretación

La interpretación de los datos que arroja un ensayo, requiere de habilidad y experiencia así como preparación teórica y técnica para poder analizar correctamente la información obtenida al realizarse la prueba y dar los resultados de ésta.

En este paso, el inspector debe de revisar si la realización del ensayo y la película que ha producido es aceptable, basándose en el código que regula la técnica empleada. Si se rechaza, se indican los parámetros que se deben de corregir al realizar la toma o en el proceso de manejo y revelado de la película. Si se acepta se puede pasar a identificar todas aquellas discontinuidades que se presentan en la soldadura. Una vez se ha realizado esta identificación se pasa a evaluar cada una de las discontinuidades basándose en la norma que regula el producto (NSO 23.04.01:00 y CGA C-3) y se detalla en un reporte cuales se clasifican como defectos o como discontinuidades aceptables (por debajo del límite impuesto por el estándar de referencia).

Es aquí donde termina el trabajo del inspector, pero es necesario que el ente regulador del producto determine, a partir de los resultados del ensayo, si se debe rechazar el producto o lote que éste representa usando como base los datos de la inspección.

2.2.4 Criterios de aceptación

En el caso de los envases de GLP la norma CGA C-3 indica cuales discontinuidades no son aceptables dentro de la soldadura de un cilindro y que son razón para el rechazo de la unión soldada del envase. Estos límites se pueden apreciar en la tabla 2 (ver sección de tablas).

2.2.5 Reporte de resultados

La presentación de los resultados de una prueba se hace por medio del uso de reportes que condensan la información referente a la realización del ensayo radiográfico y a la interpretación de los datos obtenidos. Esta información se le entrega al cliente junto con la película para que tenga la información referente al servicio que ha solicitado. En el país ese cliente es el Ministerio de Economía a través de la Dirección de Minas e Hidrocarburos. Esta oficina gubernamental es la encargada de regular este tipo de productos y es quien se encarga de decidir si los envases que han sido examinados son aptos para ser utilizados. Se puede apreciar el formato de un reporte en los anexos (anexo 5) de este documento, en ellos se incluye el esquema de la realización del ensayo, como se colocan las películas y los identificadores para la toma de la radiografía.

Capítulo III -Resultados

3.0 Introducción

En este capítulo se dan los resultados de las inspecciones radiográficas empleadas para la elaboración de este documento. Se presentan las generalidades de la muestra utilizada para realizar el estudio, para luego pasar a una breve explicación de la manera en la que se analizaron los datos recolectados. Con la ayuda del análisis de Pareto se logran identificar los defectos que se trabajarán en el siguiente capítulo. Además se incluyen algunos datos adicionales que validan este trabajo.

3.1 Metodología General del Estudio

Se presenta aquí el análisis de los resultados de las inspecciones a los envases para gas propano para uso doméstico clase 3 y clase 4 realizados por la Universidad Don Bosco entre Junio de 2002 y Julio de 2003, equivalentes a 97 cilindros inspeccionados e incluidos en este estudio que corresponden a 19400 envases en el mercado ⁹. Este estudio se basa en los reportes que la Universidad Don Bosco a través del Laboratorio de Metrología y Ensayo de Materiales entregó al ente regulador.

Estos incluyen cilindros pertenecientes a todas las empresas envasadoras operando en El Salvador, que a su vez representan a los distintos proveedores (fabricantes) de envases que los abastecen. De esta manera se asegura la heterogeneidad de la muestra al no ser específicos en una marca o fabricante. La ventaja que presenta este tipo de muestra es que se incluyen toda la gama posible de alternativas que el consumidor tiene, es decir los distintos envases con los que puede encontrarse, de

⁹ Se toma como criterio de selección el descrito en la norma NSO 23.04.01:00 donde se escoge un cilindro entre cada lote de 200 para realizársele los ensayos pertinentes para la aprobación de lote entero.

esta manera el investigador se coloca en la misma situación que el usuario final del producto (consumidor).

Las inspecciones y los reportes de resultados de estas se realizaron en base a la norma NSO 23.04.01:00 y CGA C-3 versión 2000 con los parámetros de aceptación y rechazo discutidos en el capítulo anterior. Es importante aclarar que no necesariamente se rechazan todas las discontinuidades, si estas se encuentran dentro de los criterios de aceptación de la norma, son aceptables y el envase es seguro para su uso. Sin embargo esto no significa que se deben de tener estándares de calidad muy bajos y la elaboración de productos con discontinuidades debe ser la practica común.

Es importante hacer una aclaración entre que es una discontinuidad y un defecto para lograr una verdadera interpretación de los datos presentados mas adelante.

- Discontinuidad: Es cualquier interrupción intencional o no intencional de la estructura física de un material o componente, en este caso de las uniones soldadas, que podría o no afectar el desempeño del objeto en estudio.
- Defectos: Son aquellas indicaciones (discontinuidades) que no cumplen los criterios de aceptación (tabla 2) establecidos en la norma o normas que regulan el objeto en estudio y que afectan negativamente su desempeño.

La primera parte del análisis, consistió en recolectar los reportes de las inspecciones y extraer de ellos la información pertinente a la evaluación que se realizó. Para esto se crearon tabuladores donde se anotaron los resultados de la prueba radiográfica según aparecen en los reportes. Una vez se tuvo toda esta información se procedió a contabilizar en números de discontinuidades encontradas para luego poder analizarlos. En este estudio se tratarán las discontinuidades independientemente de si son consideradas o no como defectos, puesto que se busca darle solución a los problemas que las generan. El análisis de la información recolectada se presenta a continuación.

3.2 Análisis de los Resultados de la Investigación

Se trabajó con una muestra de 97 cilindros de distintas marcas y fabricantes, inspeccionados entre Junio de 2002 y Julio de 2003

3.2.1 Análisis ABC

Con los resultados ya contabilizados se realizó un análisis ABC (o análisis de Pareto) con el que se busca encontrar aquellos defectos que aparecen con mayor frecuencia y en los que se enfocará el resto de este documento. Los resultados de este análisis se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Resumen de indicaciones encontradas en los envases para GLP

| Discontinuidad | Total de discontinuidades detectadas | Porcentaje | Porcentaje acumulativo | Clase de indicación |
|----------------------|--------------------------------------|------------|------------------------|---------------------|
| Porosidad | 63 | 49% | 49% | A |
| Falta de penetración | 18 | 14% | 63% | |
| Inclusión de escoria | 18 | 14% | 77% | |
| Falta de fusión | 15 | 12% | 88% | B |
| Falta de relleno | 11 | 9% | 97% | |
| Socavado interno | 2 | 2% | 98% | C |
| Socavado externo | 1 | 1% | 99% | |
| Quemada a través | 1 | 1% | 100% | |

Los parámetros con los que se trabajó son A 70%, B 15% y C el 5% restante para formar el 100% de la muestra. Como se puede ver se tienen tres tipos de discontinuidades clase A. La primera es la porosidad, esta incluye porosidades aisladas, agrupadas, alineadas y vesiculares, puesto que todas tienen el mismo origen. La falta de penetración y las inclusiones de escoria ocupan el segundo lugar y sus causas deben ser identificadas para presentar una propuesta de solución que

disminuya su aparición. Las indicaciones clase B son considerados como defectos dentro de la norma CGA C-3, aunque no se presentan con mucha frecuencia se darán propuestas para su solución, dado que comprometen la integridad de los cilindros y corresponden a un 21% de los defectos. Las discontinuidades clase C no se tratan dentro del trabajo puesto que surgen de manera aislada y se pueden considerar como casos excepcionales.

3.2.2 Otros Datos Relevantes

Como parte del análisis anterior, se pueden obtener los suficientes datos que revelan cuantas de las discontinuidades no cumplen con los requerimientos mencionados en el capítulo 2 (ver tabla 2 en sección de tablas) y pasan a ser defectos (ver anexo 6).

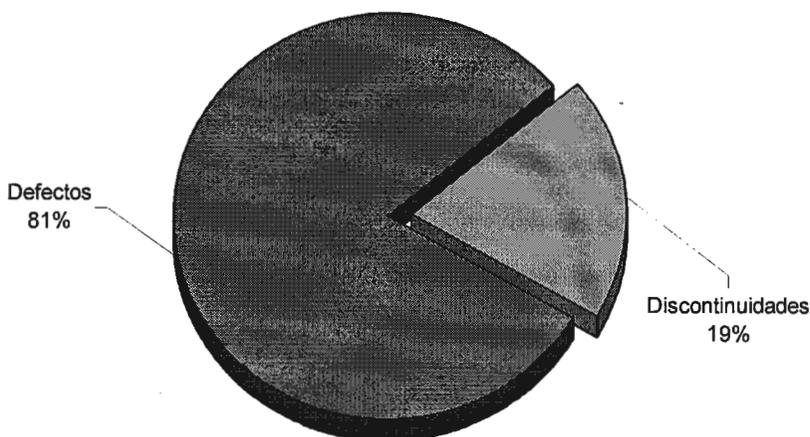


Gráfico 1. Discontinuidades versus defectos

Como se puede apreciar en la gráfica 1, la gran mayoría de las indicaciones encontradas en las radiografías pasan a ser clasificadas como defectos, razón suficiente para que la soldadura sea rechazada lo que significa rechazo del envase, al encontrarse comprometida la integridad de la soldadura y la seguridad del usuario.

Esto lleva a la realización de otra pregunta ¿cuántos de los cilindros están defectuosos? Esto se responderá usando los datos recolectados. En la gráfica 2 se pueden apreciar la distribución de los cilindros que ameritan rechazo comparados con aquellos que cumplen los criterios de aceptación establecidas por las normas que regulan el producto (ver tabla 2 en la sección de tablas).

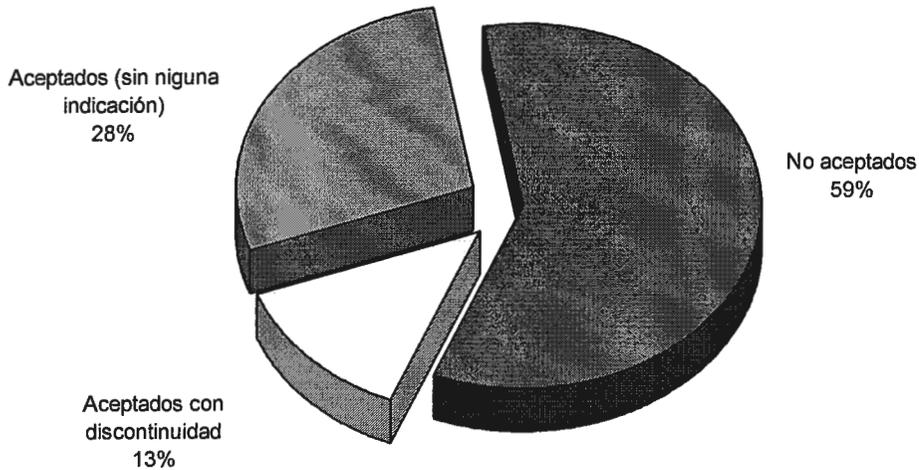


Gráfico 2. Distribución de las discontinuidades en los cilindros

Es importante notar que no todos aquellos que contienen discontinuidades son rechazados, algunos son aceptados, siempre y cuando las indicaciones reveladas por el ensayo radiográfico no entren en la categoría de defectos.

En el anexo 11 de este documento se pueden encontrar la distribución completa de las indicaciones según fueron obtenidos de los informes de los ensayos.

Capítulo IV- Causas de las indicaciones

4.0 Introducción

Aunque por si solas algunas de las discontinuidades encontradas no afectan la integridad de un contenedor a presión, cuando estas se convierten en defectos, u ocurren con demasiada frecuencia en una línea de producción, se vuelven indicadores de posibles fallas o errores en los procedimientos de producción que siguen, por lo tanto es necesario corregirlos.

Las discontinuidades se analizarán con respecto al método de soldadura presentado en el capítulo 1, el sugerido por la norma salvadoreña que regula este tipo de contenedores. Esto no limita el estudio, puesto que en ocasiones se pueden encontrar defectos que indican que no se están siguiendo las recomendaciones dadas por las entidades encargadas de regular este producto.

4.1 Defectos clase A

4.1.1 Porosidades

Existen varias formas en las que las porosidades se identifican en un ensayo radiográfico, todas teniendo un elemento en común, se presentan como elementos redondos que pueden ser de tipo circular, elíptico o cónico¹⁰; en la película radiográfica. Las indicaciones identificadas en los envases portátiles para GLP son:

- Porosidades aisladas

Son aquellas que aparecen dentro de la imagen muy separadas de otras indicaciones (ver ilustración 17). No suelen representar ningún problema a menos que su tamaño sea excesivo, es decir, que esté por arriba del límite de aceptación que aparece en la tabla 2. Estas abarcan el 71% de todas las

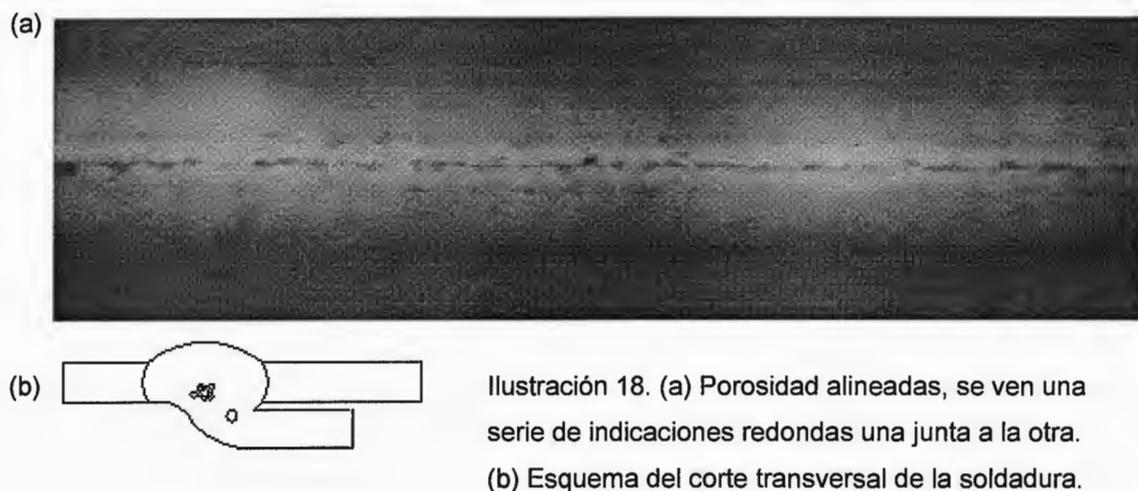
¹⁰ Las indicaciones redondas son aquellas donde el largo es menos de tres veces su ancho y sus bordes son suaves

porosidades encontradas en los envases para GLP, representando el 35% del total de los defectos encontrados en toda la muestra.



- Porosidades alineadas

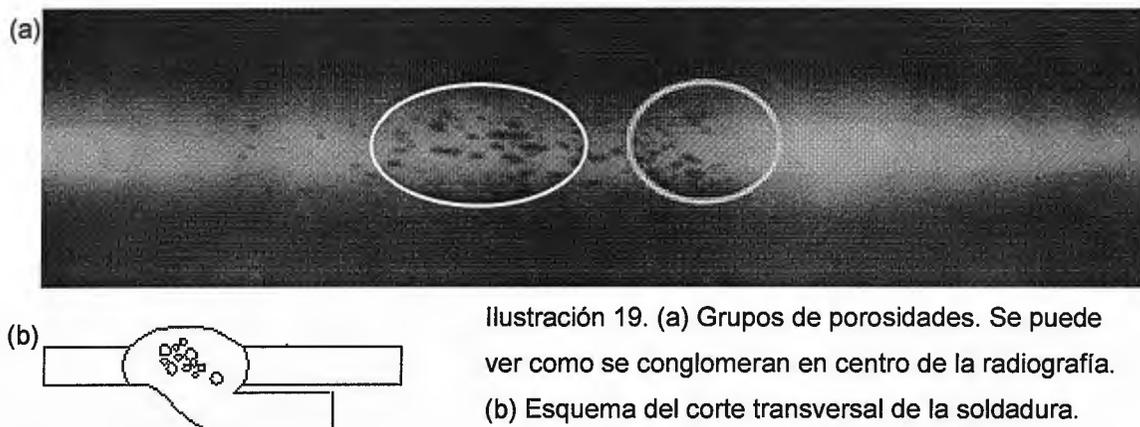
Son aquellas donde las indicaciones redondas se encuentran alineadas una tras otra siguiendo el eje de la unión (ilustración 18). Representan el 24% de todas las porosidades.



- Porosidades agrupadas

Cuando se identifican en una imagen radiográfica un grupo de indicaciones redondas en una misma zona se les denomina como agrupadas. Esta puede estar compuesta por indicaciones relevantes así como de no relevantes o una

combinación de ambas, como en la ilustración 19. Estas indicaciones no son muy comunes y representan solo 5% del total de las porosidades.



Aunque poseen configuraciones geométricas diferentes todas las porosidades tienen los mismos orígenes, por lo que se trataran como una misma indicación.

Las causas principales de las porosidades son:

- Humedad excesiva

La presencia de humedad afecta de manera negativa a la soldadura puesto que contamina el fundente y produce óxido en el electrodo y en el material base. Al usarse fundente húmedo, cuándo se realiza el arco se genera vapor, que aumenta la cantidad de gases presentes en el charco de metal fundido de la unión y que deben de evacuarse del metal recién depositado. Si la humedad es excesiva los gases no podrán salir a la superficie del metal junto a la escoria y quedan atrapados dentro de la unión.

Si se realiza soldadura con protección por gas es necesario que el gas protector se encuentre seco de lo contrario se puede generar vapor en la zona de soldadura y producirse porosidades así como oxidación excesiva.

El óxido en el material base y en el electrodo se tratan mas adelante.

- Contaminantes en el material base

Los contaminantes tal como materia orgánica, óxido, aceites y agentes químicos propician la aparición de porosidad en las soldaduras. Los elementos contaminantes se vaporizan con las altas temperaturas asociadas a la

soldadura y en muchas ocasiones no logran salir hacia la superficie del metal fundido y quedan atrapados como bolsas de gas.

- Contaminantes en electrodo

Electrodos oxidados y en otras ocasiones con exceso de aceite protector y lubricante causan porosidad.

- Cantidad incorrecta de fundente

En el sistema de arco sumergido el exceso así como la falta de fundente son causas de porosidad. Cuando el fundente es excesivo este puede quedar atrapado en la junta y se vaporiza con el calor de la soldadura y aumenta la cantidad de gas presente. En el caso de una falta de fundente se producen arcos erráticos a través del fundente y se produce porosidad superficial.

- Velocidad excesiva

Una alta velocidad de avance propicia la formación de poros puesto que no permite suficiente tiempo para que los gases salgan a la superficie.

- Arco demasiado largo.

Cuando el arco eléctrico es demasiado largo se producen porosidades debido a la baja penetración de este, por lo tanto, se genera el poco calor en la zona de la soldadura. De esta manera el material depositado en la unión se enfría rápidamente y no permite que los gases producidos en la soldadura escapen.

Las soluciones que se pueden aplicar para reducir la aparición de la porosidad en las uniones soldadas de los envases de GLP se presentarán en el siguiente capítulo.

4.1.2 Falta de penetración

Se conoce como falta de penetración cuando no se completa la soldadura en el total de su espesor especialmente en su parte inferior (ver ilustración 20). Se puede apreciar en la ilustración como aparece una línea recta oscura en el centro de la unión. Este tipo de indicación no es aceptable bajo ninguna circunstancia puesto que afecta la geometría de la soldadura, por lo tanto, a su resistencia mecánica.

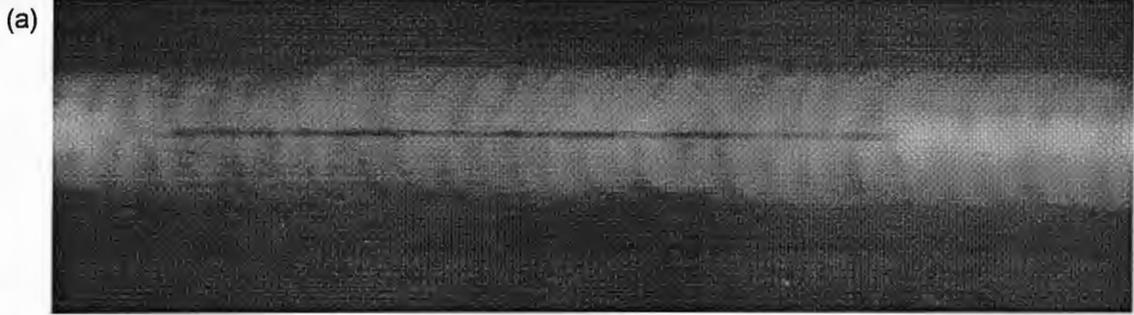


Ilustración 20. (a) La línea en le centro de la radiografía indica la zona donde no se logró la completa penetración de la soldadura y existe material sin unir. (b) Esquema del corte transversal de la soldadura.

Las causas de la falta de penetración son:

- Velocidad de avance alta

Si la velocidad de avance es muy alta, no se cuenta con suficiente tiempo para realizar la unión en su totalidad por lo que se produce un falta de penetración en la soldadura.

- Corriente muy baja

Cuando el amperaje utilizado en el proceso de soldadura es muy bajo no se produce un arco con suficiente energía para fundir el metal por completo y por lo tanto no se logra abarcar el espesor completo del material.

- Electrodo de diámetro incorrecto

Si el electrodo es demasiado grueso para el amperaje utilizado no se logrará la penetración adecuada.

- Mala preparación de la junta

Si la junta no se realiza respetando las dimensiones dadas por el diseñador o no se realiza de manera correcta la geometría de ésta puede dificultar la buena penetración de la soldadura al aumentar la cantidad de material que se debe de fundir para realizar la unión.

4.1.3 Inclusiones de escoria

En los procesos de soldadura por arco sumergido de una sola pasada o con soldadura con arco protegido por gas (TIG o MIG), no existen las inclusiones de escoria. Por el contrario suele ocurrir con frecuencia en soldadura con electrodo revestido. Se presenta en las imágenes radiográficas como indicaciones de forma irregular, usualmente con bordes agudos (ver ilustración 21). Es común que se presenten agrupadas o alineadas con el eje de la unión. No suelen representar problemas con respecto a la unión excepto en los casos que sus dimensiones sobrepasen las dadas en los criterios de rechazo (ver tabla 2).

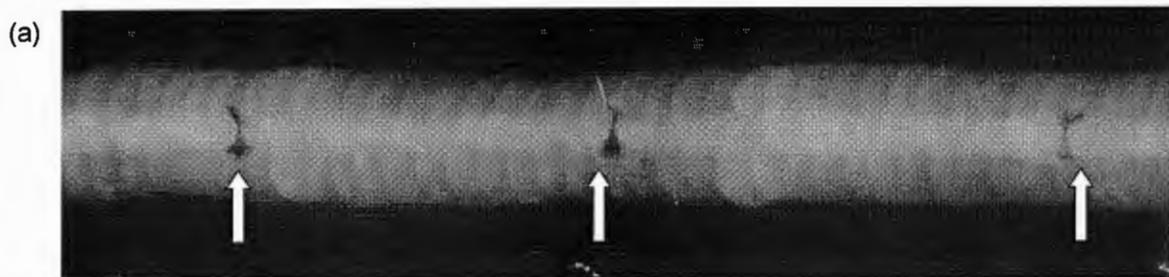


Ilustración 21. (a) Las inclusiones de escoria aparecen como sombras sin forma definida, en muchas ocasiones tienen bordes agudos y contornos no definidos debido a cambios en su sección transversal. (b) Esquema del corte transversal de la soldadura.

Las razones principales de su aparición son el exceso de velocidad en la soldadura y un arco largo o de dimensión variable. No son asociadas con soldadura por arco sumergido por las altas temperaturas que se alcanzan en este proceso debido a la alta corriente que se utiliza y la posibilidad de poder regular con mucha exactitud la longitud del arco y la velocidad de avance.

4.2 Defectos clase B

Los defectos clase B son aquellos que tienen una tasa de aparición de media a baja y se deben corregir una vez se han logrado eliminar los defectos clase A. Se identificaron dos tipos de indicaciones las cuales se tratan a continuación.

4.2.1 Falta de fusión

Se le llama falta de fusión a aquellas indicaciones que representan la no unión del material de aporte con el material base, siendo el caso que no existe fusión en esa zona y por lo tanto no existe una verdadera soldadura. Se ve en las imágenes radiográficas como sombras negras en las zonas aledañas al material base tal como se aprecia en la ilustración 22. Las causas son las mismas de la falta de penetración.



Ilustración 22. (a) Las sombras que se pueden ver en las orillas de la soldadura son ocasionadas por falta de fusión entre el metal base y el material de aporte. En ocasiones aparecen como líneas similares a un falta de penetración (b) Esquema del corte transversal de la soldadura.

4.2.2 Falta de relleno en superficie

Es así como se llama cuando en la superficie de la unión presentan zonas donde el material depositado se encuentra a distinto nivel que el resto de la soldadura. Se ve en las imágenes radiográficas como sombras negras a lo ancho de la soldadura (ver ilustración 23). Afecta la geometría de la soldadura y por lo tanto su resistencia mecánica. Es un defecto que se puede detectar por medio de inspección visual pero aun así el 9% de todos los envases inspeccionados presenta este defecto.

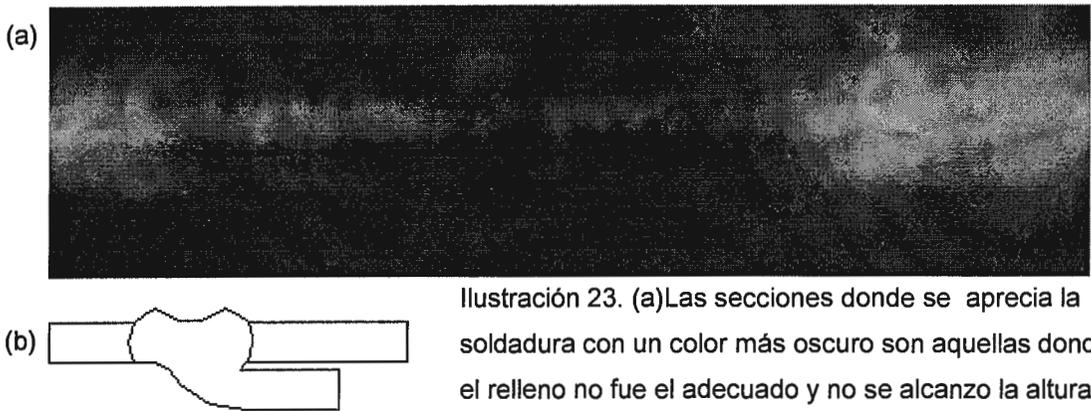


Ilustración 23. (a) Las secciones donde se aprecia la soldadura con un color más oscuro son aquellas donde el relleno no fue el adecuado y no se alcanzó la altura deseada, por lo que es una zona de menor espesor que el resto de la junta. (b) Esquema del corte transversal de la soldadura.

4.3 Causas generales

A partir de las indicaciones encontradas y analizadas aquí se pueden identificar que existe una mala ejecución de la soldadura. A esto se le pueden agregar mal manejo del material utilizado para la elaboración de los envases y de las uniones soldadas. Esto se puede deber a una mala preparación técnica del personal que participa en la elaboración de los contenedores y a bajos controles de calidad en las líneas de producción. Es importante mencionar que existe la posibilidad de que no se estén cumpliendo las indicaciones de las normas nacionales, al encontrarse defectos que están asociados a procedimientos no autorizados para la elaboración de los envases portátiles para GLP.

Nota:

Las imágenes radiográficas mostradas en este capítulo corresponden a fotografías de referencia utilizadas para comparación a la hora de clasificar una indicación. Siendo estas placas radiográficas de una unión a tope sin placa de refuerzo, que pueden utilizarse como referencia para uniones a tope en general.

Todas las imágenes fueron tomadas de la Radiographer's Weld Interpretation Reference de AFGA NDT. Para ver una placa radiográfica de una unión soldada a tope con placa de respaldo ver en anexo 6.

Capítulo V – Propuesta de solución

5.0 Introducción

Se presentan en este capítulo la propuesta de solución que incluye las soluciones a los defectos clases A y clase B identificados en el capítulo anterior. Además, se dan recomendaciones que servirán tanto a fabricantes como al ente regulador para lograr que el índice de defectos se reduzca.

5.1 Soluciones a defectos identificados

A partir de las causas que se identificaron en el capítulo anterior se pueden dar las siguientes recomendaciones para poder corregir los defectos encontrados. Se determinó que las causas de los defectos son comunes a todos. Además, se deben de enfocar las soluciones a la pronta eliminación de la indicación más relevante: la porosidad. Es por esta razón que se presentan a continuación soluciones generalizadas para reducir al mínimo la aparición de las indicaciones identificadas.

5.1.1 Control de la humedad y la contaminación

Se debe manejar los materiales con un mayor control y cuidado. Los productos que son susceptibles a la humedad deben mantenerse protegidos de ésta. En el caso del fundente se debe almacenarse en su empaque sellado hasta su uso. El fundente que sea reciclado debe separarse de las partículas de polvo y contaminantes utilizando algún método, tal como el de separación magnética o través de rejillas separadores (zarandas) con un abertura de no mas de 3.2mm (0.25pulg). Así mismo debe guardarse bajo una atmósfera controlada para evitar que la humedad lo afecte o secarlo en hornos a una temperatura de 260°C previo a su uso. De esta manera se elimina la aparición de porosidades por humedad.

Para el material base es necesario que el tiempo de espera del producto antes de la elaboración de los cuerpos y antes de realizar las soldaduras sea el mínimo, para

reducir la oxidación que se pueda formar tanto en la zona a soldar así como en el envase entero. La limpieza previa a la soldadura es necesaria para eliminar óxido y contaminantes orgánicos. Se debe asegurar que el aceite protector utilizado para reducir la aparición de óxido en el material sea limpiado previa a la realización de la soldadura. La adecuada limpieza y cuidado de material base asegura no sólo una buena soldadura, fácil de ejecutar y libre de porosidades, sino que también un fácil pintado del envase una vez terminado al encontrarse el metal limpio de óxido, grasa y materias contaminantes.

De igual manera se debe tener cuidado con el manejo del electrodo. Mantenerlo lejos de fuentes de humedad, almacenado en su empaque hasta ser utilizado. No utilizar demasiado aceite lubricante y protector para evitar la aparición de porosidades.

Se puede agregar el uso de sistemas deshumidificadores en los lugares donde se guardan los productos sensibles a la humedad como el fundente y el electrodo para controlar la cantidad de agua presente en el aire. Se deben de seguir las indicaciones y recomendaciones de los fabricantes de los productos consumibles utilizados en el proceso de soldadura para manejarlos de forma correcta y evitar que se contaminen.

5.1.2 Longitud del Arco

La correcta longitud del arco asegura que se esté realizado la soldadura con la penetración necesaria. Así mismo, se mantienen las condiciones correctas para obtener una buena formación del cordón y una apropiada fusión de las partes que componen el envase. Este es función del electrodo que se utilice aunque usualmente para este tipo de proceso anda por los 3mm de largo. Se debe de verificar junto con el voltaje que se necesita en el arco (ver anexo 10).

5.1.3 Regular la corriente de trabajo

La adecuada selección de la corriente a utilizar para realizar la unión soldada es función del tipo de material, el espesor de éste, tipo de electrodo, diámetro del electrodo y la velocidad de avance seleccionada para realizar el proceso de soldadura. Todos estos parámetros deben ser combinados para obtener el amperaje y el tipo de corriente a utilizar (ya sea alterna o continua).

Al realizarse buenos cálculos se reducen las posibilidades de aparición de porosidades, falta de fusión, inclusiones de escoria y falta de penetración (ver anexo 10 para ejemplo). Se logra reducir la aparición de estas indicaciones al alcanzarse las temperaturas adecuadas para fundir el material base, el electrodo y fundente. Al mismo tiempo se alcanza la temperatura necesaria para vaporizar todos los contaminantes presentes en la zona de fusión y darles un buen charco de metal fundido para que estos vapores salgan a la superficie.

5.1.4 Reducción de la velocidad de avance

La reducción de la velocidad de avance se toma como último recurso luego de haber intentado con otras soluciones, puesto que implica una menor producción por hora. El beneficio de una buena velocidad de deposición, controlada y adecuada para el tipo de unión que se está realizando es muy importante. Esto es especialmente cierto en las uniones circunferenciales donde una incorrecta velocidad de rotación del envase influye negativamente en la apariencia de las uniones y en la penetración del arco (ver anexo 10 para ejemplo).

5.1.5 Utilizar el proceso adecuado de soldadura

Como se mencionó en el capítulo anterior se han identificado envases con inclusiones de escoria, defecto que esta asociado con soldadura manual con electrodo revestido. Este tipo de proceso no está autorizado por la normativa nacional para la realización de las soldaduras circunferenciales y longitudinales de los envases para GLP. La solución para eliminar la aparición de este tipo de indicación es el uso de procesos de soldadura automatizados por arco eléctrico protegido por fundente (arco sumergido) o por gas (MIG automatizado). Se puede encontrar en el anexo 10 un ejemplo donde se presentan todas las variables que deben ser controladas al realizar la soldadura en los cilindros para GLP.

5.2 Recomendaciones generales

Como complemento a la simple corrección de la realización del proceso de soldadura, se presentan aquí una serie de sugerencias para evitar la reincidencia en las malas prácticas de manufactura que dan como resultado la aparición de defectos en la soldadura de los envases para GLP.

5.2.1 Calificación del procedimiento de soldadura

La calificación de un procedimiento de soldadura consiste en la realización de las uniones soldadas que lleva un producto bajo las condiciones utilizadas para la elaboración en serie del mismo. Se realiza la soldadura según las especificaciones dadas por el diseñador y siguiendo los pasos que el fabricante considera apropiados según el equipo con el que éste cuenta, para luego realizar una serie de ensayos a la junta.

La razón de esta calificación o examen es demostrar que se puede lograr la integridad, resistencia y ductilidad adecuadas en las juntas obtenidas bajo las condiciones normales de trabajo del fabricante y que están acordes a las especificaciones del producto y las normas que lo regulan.

Esta evaluación se deriva de los procedimientos y las especificaciones de procedimientos que deben de poseer aquellas empresas dedicadas a la manufactura de envases. Siendo el primer paso para la calificación el contar con la documentación del proceso seguido en la elaboración de los envases. Además se debe certificar que se están utilizando los materiales y los métodos adecuados para soldarlos. Luego se siguen los lineamientos establecidos en la o las normas que regulan el producto.

En el caso de los envases para GLP la norma NSO 23.04.01:00 determina el uso de la norma CGA C-3 para la realización de la calificación del procedimiento de soldadura que cada uno de los fabricantes sigue para la elaboración de los cilindros que serán utilizados en el mercado salvadoreño (ver anexo 8). Es por lo tanto, necesario que el ente regulador haga cumplir la normativa y compruebe que los procedimientos están calificados como parte de los controles que este ejerce sobre las compañías fabricantes de cilindros. Esto se puede ver como parte integral de un sistema de calidad, donde se tienen todas las rutinas de trabajo documentadas.

5.2.2 Calificación del soldador

Como complemento a la calificación de los procedimientos de soldadura, se encuentra la calificación del soldador. El propósito de este tipo de control, es asegurar que los operarios tienen las habilidades necesarias y son capaces de realizar las juntas soldadas según los procedimientos dados por el diseñador y la empresa. Es necesario que cada operador sea examinado. Si en algún momento el procedimiento de soldadura es modificado, cada soldador debe de ser recalificado.

Los pasos que se deben de seguir están establecidos en la norma CGA C-3 (ver anexo 9) y es tanto responsabilidad del fabricante como del ente inspector la implementación de este control, para asegurar que la calidad del producto sea la adecuada y sea consistente con las exigencias de seguridad establecidas en las normas nacionales.

5.2.3 Implementación de programas de auditoria interna

Los programas de auditoria interna benefician a la empresa, puesto que garantizan la calidad del producto y sirven como ejercicios para las auditorias realizadas por el ente inspector gubernamental. Son estos programas y sus ejecutores quienes se encargan de que los procedimientos y los operarios estén calificados, que los controles de calidad del producto estén funcionando y que se retroalimente con información a todas las partes involucradas.

Los auditores se deben entrenar en las normativas que regulan el producto, el proceso de fabricación que se sigue y los controles de calidad que se utilizan, para que su trabajo sea veraz. Se forma así un sistema que asegura la calidad del bien producido, puesto que la misma empresa es capaz de monitorear y modificar las variables que afectan de manera negativa la elaboración de éste.

De no existir estos controles muchas veces se confía en exceso en las habilidades propias de los operarios, quienes en muchas ocasiones no están concientes de los errores que cometen y que se ven reflejados en las inspecciones realizadas por auditores externos, es decir el ente regulador.

5.2.4 Calificación de los inspectores

Los inspectores del ente regulador, en este caso los agentes del Departamento de Minas e Hidrocarburos del Ministerio de Economía, son parte esencial de esta propuesta de solución. Son ellos quienes deben de exigir a las empresas seguir las indicaciones dadas por la legislación nacional y además son los responsables de verificar que se estén cumpliendo.

Como parte de su perfil de profesional, los inspectores deben poseer ciertos conocimientos mínimos referentes al producto que esta regulando. Estas aptitudes deben ser especializadas según el tipo de control que estén imponiendo. Para el caso de los envases para GLP, los inspectores deben por conocer por lo menos:

- La normativa y legislación nacional que concierne a los envases para GLP.
- Las referencias a los estándares internacionales a las que la NSO 23.04.01:00 hace.
- Las empresas que se dedican a la elaboración de este producto para uso en El Salvador.
- Las especificaciones de los envases.
- El proceso que se sigue para la elaboración de los envases.
- Los distintos controles que como ente regulador deben de imponer sobre las empresas y como se aplican.
- El manejo de las herramientas necesarias para el tipo de control que imponen a la empresa.
- Como interpretar los resultados de las inspecciones para dar un dictamen correcto.

Es a través de estas habilidades que los inspectores podrán realizar un trabajo que trae como consecuencia una mejora en el servicio y en el producto que se le entrega al consumidor, cuya seguridad debe ser un eje principal cuando se refiere al manejo de una sustancia altamente combustible como lo son los gases licuados del petróleo.

5.3 Conclusión

De acuerdo con el estudio realizado se puede concluir lo siguiente:

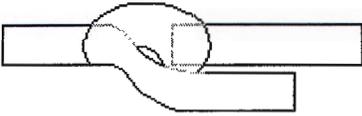
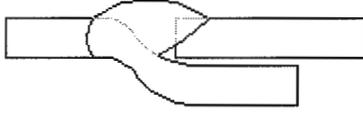
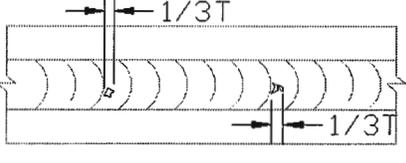
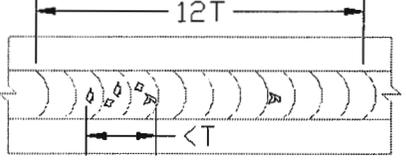
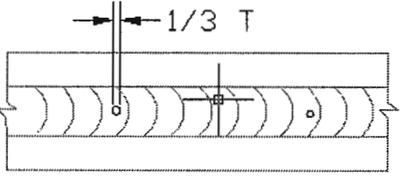
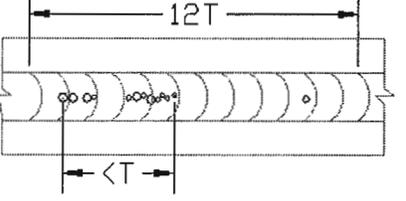
- Para evitar la aparición de defectos en la soldadura de los envases de uso doméstico para GLP es necesario la combinación de soluciones tanto técnicas como administrativas, es decir, la implementación de soluciones a corto y largo plazo.
- Aquellas técnicas que permitan, a través de la variación de algún parámetro en el proceso de soldadura, la eliminación de defectos, son respuestas que funcionan en un corto periodo de tiempo.
- Las medidas donde la implementación de un sistema de aseguramiento de la calidad por parte de los empresarios, auditado por la agencia gubernamental encargada de regular este producto, son las mejores soluciones y son aquellas que tendrán una mayor validez a largo plazo y le permitirán a los empresarios la corrección de los problemas actuales y evitar la aparición de nuevas complicaciones.
- Es necesario fortalecer el gobierno de El Salvador y sus instituciones para que funjan como ente regulador y además, dotarlo de herramientas eficientes y eficaces para garantizar la seguridad del público en general.

Tablas

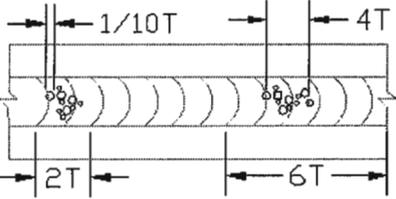
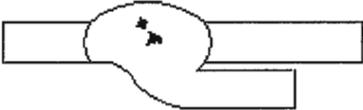
Tabla 1. Controles de Calidad para Envases de GLP

| Tipo de control | | Parámetro a verificar |
|---------------------------------------|-----------------------|--|
| Inspección visual | | El buen aspecto visual del envase, así como cualquier defecto visible en el exterior del contenedor |
| Ensayos de presión (Hidrostáticos) | Volumétrico | La deformación del envase entero al aplicarse presión |
| | Hermeticidad | Verificar la hermeticidad del envase |
| | Ruptura | Verificar que la resistencia última del envase se encuentre dentro del límite establecido |
| Ensayos de materiales | Ensayo de tracción | La resistencia a la fluencia y la resistencia última a la tracción |
| | Ensayo de doblez | Resistencia del material |
| | Ensayo de impacto | Capacidad de absorber energía del material hasta su ruptura en un impacto |
| | Análisis químico | Verificar que la composición química del material es la correcta |
| Ensayos de la zona de soldadura | Ensayos de doblez | Verificar la resistencia de la soldadura y la resistencia de las zonas aledañas afectadas por el calor |
| | Ensayo de tracción | |
| Ensayos no destructivos | Ensayo Radiográfico | Verificar la integridad de la unión soldada |
| | Medición de espesores | Verificar el espesor del material del envase así como de capas de pintura |

Tabla 2. Límites de aceptación y rechazo de las indicaciones encontradas en la soldaduras de los envases de GLP a través de inspección radiográfica

| Discontinuidad | Límite de aceptación | Esquema |
|----------------------------------|--|--|
| Falta de fusión | no aceptable |  |
| Falta de penetración | no aceptable |  |
| Grietas | no aceptable |  |
| Inclusiones de escoria | no mayor de $1/3T$ (se excluye la soldadura de placas de refuerzo) |  |
| Inclusiones de escoria agrupadas | no mayores a T (suma total de longitudes) en un espacio menor a 12T |  |
| Porosidad aislada | no mayor a $1/3T$ |  |
| Porosidades alineadas | no mayores a T (suma total de longitudes) en un espacio menor a 12T. Aquellas discontinuidades relevantes deben de estar por lo menos a T de distancia entre ellas |  |

Continuación Tabla 2. Límites de aceptación y rechazo de las indicaciones encontradas en la soldadura de los envases de GLP a través de inspección radiográfica.

| Discontinuidad | Límite de aceptación | Esquema |
|--|---|--|
| Porosidades agrupadas | no mayor a 4T de largo en un espacio de 6T o menos de 10 discontinuidades en un espacio de 2T (tamaño máximo 1/10T) |  |
| Inclusiones de Tungsteno | Dependerá del tamaño. Se puede tratar como una inclusión de escoria o una porosidad |  |
| todas aquellas discontinuidades aisladas menores a 1/10T | aceptables | |

T = Espesor del material base

Datos tomados de la norma CGA C-3 2000.

Bibliografía

- Norma Salvadoreña NSO 23.04.01:00. RECIPIENTES A PRESIÓN. ENVASES CILÍNDRICOS PORTÁTILES PARA GASES LICUADOS DE PETRÓLEO (GLP). ESPECIFICACIONES. ASPECTOS GENERALES DE MANEJO, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE.
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Gobierno de El Salvador
- Norma CGA C-3
versión 2000
Compressed Gas Association
- Norma Oficial Mexicana NOM-018/2-SCFI-1993 “RECIPIENTES PORTÁTILES PARA CONTENER GAS L.P.-VALVULAS”
Dirección General de Normas
Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
Estados Unidos Mexicanos
- Ensayos no destructivos por la técnica de radiografía industrial
Alfonso R. García Cueto
iCAENDs.c., México, 1990
- Diseño de Elementos de Máquina
Joseph Edward Shigley, Charles R. Mischke
McGraw Hill, quinta edición en inglés, cuarta en español, 1999
- Materiales y Procesos de Fabricación
E. Paul DeGarmo, J. Temple Black, Ronald A Kohser
Editorial Reverté S.A. , segunda edición, 1994

- Manual de Recipientes a Presión, Diseño y Cálculo
Eugene F. Megyesy
Noruega Editores, primera edición en español, séptima edición en inglés, 1989
- Reportes de las inspecciones por radiográfica industrial
Laboratorio de materiales
Universidad Don Bosco
- Submerged Arc Welding
Miller electric Mfg co.
1982
- www.dot.gov
Departamento de transporte de los Estados Unidos de América
- Miller Welding
<http://www.millerwelds.com/>
- Lincoln electric company
<http://www.lincolnelectric.com/>
- Entrevista con Ingeniero Víctor Serrano
Jefe de Taller y operario de equipo de soldadura SAW
Taller MATRISA
Nueva San Salvador
- Entrevista con Ingeniero Miguel Arrazola
Ingeniero de producción
Industrias Magaña
Santa Ana

- ASM Handbook Volume 17 Nondestructive Evaluation and Quality Control
ASM International
5th printing December 1997, formerly Metals Handbook 9th edition
- Annual Book of ASTM Standards 2000
Section 3, Metal Test Methods and Analytical Procedures Volume 03.03
American Society for Testing and Materials
- Welding Guide
Hobart Institute of Welding Technology
1995
- Materials and Processes for NDT Technology
The American Society for Nondestructive Testing
1981
- The Procedure Handbook of Arc Welding
The James F. Lincoln Arc Welding Foundation
14th edition, May 2000
- Radiographer's Weld Interpretation Reference
AFGA NDT
1998
- Fotografías 1,2 y 4 son cortesía de Ingeniero Roberto Falconio.
- Copia de Reportes de inspecciones radiográficas a cilindros para GLP clase 3 y clase 4
Laboratorio de Ensayo de Materiales, CITT Universidad Don Bosco
Junio 2002 a Julio 2003

Glosario

Accesorios: todas aquellas partes de un envase portátil para GLP que no forma parte del su cuerpo, tal como cuello protector, base de sustentación y válvula.

Base de sustentación: Pieza de metal conformado como aro, soldada a la parte inferior de los envases portátiles de GLP que permite colocarlo en posición vertical.

CGA: Compressed Gas Association. Es una asociación privada de industriales en la rama de gases comprimidos que publica normas y documentos relacionados a los distintos gases que se utilizan en la industria.

CONACYT: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Ente gubernamental encargado de la normalización y las ramas afines en nuestro país.

Contraste: Es la diferencia de densidad entre dos secciones de una misma película.

Cuello protector: Pieza de lámina de metal conformada de tal manera que proteja la válvula de un cilindro contra impactos laterales directos.

Densidad: Es el grado de ennegrecimiento de una película luego ser expuesta a la radiación y pasar por el proceso de revelado. Se mide con un densitometro.

Discontinuidad: defecto o imperfección en un material o soldadura.

Envase cilíndrico o tambo portátil: recipiente metálico, con o sin cordones de soldadura, hermético, rellenable, utilizado para contener GLP, que por su masa y dimensiones puede manejarse manualmente. Esta formado por los siguientes

componentes: cuello protector, válvula, brida, cuerpo cilíndrico y base de sustentación.¹¹

Electrodo: Pieza de metal por la que la electricidad circula y sirve para forma un arco eléctrico, pueden ser consumibles o no dependiendo del tipo de soldadura que se ejecute.

Fundente: Material compuesto que sirve para aislar y proteger el arco eléctrico en la ejecución de soldadura por arco sumergido.

Gas inerte: Se refiere a cualquier gas que no reaccione o se degrade al encontrarse en su estado normal, incluyen los gases nobles (tabla periódica de los elementos) e industrialmente sirve para crear atmósferas controladas. Los más comunes son el dióxido de carbono, el helio y el argón.

GLP: Gases licuados de petróleo. Es una mezcla formada por hidrocarburos de 3 y 4 átomos de carbono, predominantemente propano o butano o ambos, que siendo gaseosa a condiciones normales de presión y temperatura, puede ser licuada aplicando presión o enfriamiento, o ambos, para facilitar el almacenamiento, transporte y manejo.¹²

Gradiente: Es la pendiente en cualquier punto de la curva sensitométrica y esta relacionada con la calidad de contraste que puede una película proporcionar a una densidad y distancia de fuente determinada.

Isótopo: Son variaciones de los átomos de un elemento que tienen el mismo número de protones su núcleo pero distinto número de neutrones. Teniendo todos las mismas propiedades químicas. No todos son radioactivos.

¹¹ Norma Salvadoreña Obligatoria 23.04.01:00, pagina 6

¹² Norma Salvadoreña Obligatoria 23.04.01:00, pagina 6

Kilovoltio: 1000 voltios. Medida con la que se cuantifica la diferencia de potencial existente entre el cátodo y el ánodo de un tubo de rayos X, por lo tanto la capacidad de penetración en un material.

Miliamperio: 0.001 amperio. Medida con la que se cuantifica el flujo de electrones entre cátodo y ánodo en un tubo de rayos X.

NSO: Norma Salvadoreña Obligatoria. Son todas aquellas normas publicadas por el CONACYT que deben de ser cumplidas por aquellos interesados en el tema. Se encuentran respaldadas por alguna ley o reglamento.

Radioisótopo: Son aquellos isótopos que son inestables debido a su desequilibrio de neutrones en su núcleo y al buscar la estabilidad liberan energía, es decir radiación ya sea alfa, beta o gamma. Son también conocidos como isótopos radioactivos.

Toma radiográfica: Proceso en el cual se produce la radiografía de un objeto, usando una fuente de radiación, ya sea rayos gamma (gammagrafía) o rayos X (radiografía)

Vida útil: Se refiere al tiempo que un elemento mantiene las propiedades de diseño y es segura su operación. Se puede medir en unidades de tiempo o en número de ciclos de trabajo.

Anexos

Anexo 1- Propiedades químicas del Acero para envases de GLP

| Característica | Acero Grado 1 (1) | Acero Grado 2 (1)(2) | Acero Grado 3 (2)(3)(4) |
|--|---|-------------------------|----------------------------|
| Carbono (C), % peso | 0.10-0.20 | 0.24 máximo | 0.22 máximo |
| Manganeso (Mn), % peso | 1.10-1.60 | 0.50-1.00 | 1.25 máximo |
| Fósforo (P), % peso, máximo | 0.04 | 0.04 | 0.045 (5) |
| Azufre(S), % peso, máximo | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Cobre (Cu), % peso, máximo | 0.40 | - | - |
| Niobio(Nb), % peso | - | 0.01-0.04 | - |
| Silicio (Si), % peso | 0.15-0.30 | 0.30 máximo | - |
| Tratamiento térmico autorizado | Se permite cualquier tratamiento térmico apropiado que exceda 590°C (1100°F), excepto el templado líquido | | |
| Resistencia mínima a la fluencia (a tensión) en kPa (psi) | 241000 (35000) | | |
| <p>(1) No se autoriza la adición de otros elementos para obtener un efecto de aleación</p> <p>(2) El grano ferrítico tamaño 6 o más fino, debe estar de acuerdo a la norma ASTM E-112</p> <p>(3) Pueden ser adicionados otros elementos como Níquel (Ni), Cromo (Cr), Molibdeno(Mo), Zirconio (Zr) y Aluminio (Al), los cuales deberán ser reportados</p> <p>(4) Cuando el análisis indique un contenido máximo de carbono de 0.15%, el límite máximo para el manganeso será de 1.40%</p> <p>(5) Aceros grado 3 refosforizados con un contenido no mayor de 0.15% de fósforo, serán permitidos si el contenido de carbono no excede de 0.15% y el contenido de manganeso no excede el 1%</p> | | | |

Tomada de Norma Salvadoreña Obligatoria 23.04.01:00, pagina 11

Anexo 2- Clasificación de combinaciones fundente-electrodo según AWS A5.17

Indica fundente

Indica la resistencia mínima a la tensión (en aumentos de 10000 psi (69 Mpa)) del metal de soldadura depositados en condiciones dadas empleando la combinación de fundente y electrodo adecuado.

Designa las condiciones de tratamiento térmico a que se efectuaron las pruebas: A recién soldado, P tratado térmicamente después de la soldadura. El tiempo y temperatura del tratamiento térmico postsoldadura son los que se especifican

Indica la temperatura mínima (°F) a la que la resistencia al impacto en ensayo Charpy de muesca en V, del metal de soldadura es de 27J (20 pies-lb) o mas.

E indica electrodo sólido, EC electrodo compuesto.

FXXX-EXXX

Clasificación del electrodo a emplearse para producir la soldadura descrita por el fundente.

Ejemplos :

F7A6-EM12K es una designación completa que refiere el uso de un fundente que produce metal de soldadura con 480 MPa (70 ksi) y resistencia al impacto de por lo menos 27J a -51°C (-60°F) , en condiciones recién soldadas, al usarse un electrodo EM12K.

F6A4-EC1, indica un fundente que combinado con este electrodo produce un metal de soldadura con 410 MPa (60 ksi) y una resistencia al impacto de 27J o más a -40°C (-40F), en condiciones recién soldadas, al usarse esta combinación.

**LABORATORIO DE MATERIALES Y CERTIFICACION
UNIVERSIDAD DON BOSCO**

INFORME DE ENSAYO

Pág. 1/1

Nombre del cliente: INDUSTRIAS MAGAÑA
Customer name:

Dirección: Santa Ana, Carretera a Metapan km 63
Address:

No. De Informe: EE-100-180303
Report number:

Descripción de la muestra: Muestras de material base Cobre de válvula para gas a presión
sample description: "ST-16"; conexión cuadrada, Cuerpo cuadrada (Iden. Lab 1.3)

Resultado del ensayo de identificación química

ST N° : Copper-Zinc

AG- N° : Copper-Zinc

| | Cu | Zn | Sn | Pb | Fe | Ni | Al |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Promedio | 58.33 | 34.60 | 1.30 | 3.24 | 0.27 | 0.51 | 0.40 |

Otros elementos como Si, Mn, P y S: se encuentran en una suma total del 0.15%

Resultado del ensayo de dureza HRB Rockwell "B"

| | Promedio | | | | | |
|-----------------|-----------------|------|------|------|------|-------------|
| Lecturas | 62,0 | 60,3 | 57,2 | 60,2 | 59,3 | 59,8 |

Fecha de ensayo: 18/Marzo/2003
Test date

Procedimiento utilizado: Determinación de la composición química de metales por
Procedure: análisis espectrométrico siguiendo el método ASTM y ensayo de dureza ASTM E18

Notas:
Remarks:

Ensayo realizado por:
Test made by

Aprobó:
Approved by

Fecha de emisión
Issued

Ing. Jorge Gilberto Duque
Laboratorio de Espectrometría

Ing. Francisco Javier Mejía
Jefe de Laboratorios de Metrología
Materiales y Certificación.

20/Marzo/2003

Anexo 4- Sistema típico de clasificación de película radiográfica según ASTM (tomado de la norma ASTM E1815)

| Tipo de película | Sistema de clase ASTM | Gradiente mínimo | | Razón mínima Gradiente/ Granularidad (G/σ_D) a $D= 2.0$ arriba de D_0 | Granularidad máxima (σ_D) a $D= 2.0$ arriba de D_0 | Velocidad ISO (S) | Dosis equivalente (K_S) mGy a $D=2.0$ |
|------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--|---|-------------------|---|
| | | D= 2.0 arriba de D_0 | D= 4.0 arriba de D_0 | | | | |
| A | Especial | 5.4 | 9.1 | 360 | 0.015 | 32 | 29.0 |
| B | I | 4.5 | 8.4 | 281 | 0.016 | 64 | 14.0 |
| C | I | 4.4 | 7.6 | 232 | 0.019 | 100 | 8.7 |
| D | I | 4.4 | 7.6 | 169 | 0.026 | 200 | 4.6 |
| E | II | 4.4 | 7.6 | 142 | 0.031 | 320 | 3.2 |
| F | III | 4.0 | 5.2 | 114 | 0.035 | 400 | 2.5 |
| G | W-A | 4.2 | 6.5 | 225 | 0.019 | 100 | 8.6 |
| H | W-B | 4.1 | 5.3 | 170 | 0.025 | 300 | 5.0 |

Anexo 5 - Reporte de inspección

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|----|
|  <p>Laboratorio de Ensayos Calle Bonita, San Salvador, El Salvador C.A. Tel: 503-2220000 / Fax: 503-2220001</p> | <p>ANEXO 5</p> <p>INSPECCION RADIOGRAFICA</p> | | <p>Ciente</p> <p style="text-align: center;">GAS CALIENTE</p> | | |
| | | | Página | 1 | de |
| <p>Lugar de trabajo Laboratorio de Ensayos</p> | | <p>Informe</p> | | | |
| <p>ANEXO 5</p> <p>INSPECCION RADIOGRAFICA</p> <p>DE LAS SOLDADURAS DE 2</p> <p>CONTENEDORES DE GAS LPG</p> <p>CON NÚMEROS DE SERIE 12345,</p> <p>67890 PERTENECIENTES A LA</p> <p>EMPRESA GAS CALIENTE</p> | | | | | |
| <p>Inspeccionado por</p> <p>Fecha 2004-04-01</p> <p>Nombre</p> <p>Firma</p> | | <p>Interpretado por</p> <p>Fecha 2004-04-02</p> <p>Nombre</p> <p>Firma</p> | | <p>Recibido por</p> <p>Fecha 2004-04-02</p> <p>Nombre</p> <p>Firma</p> | |

| | | | | | | |
|---|----------------------------|--|--|------------------------------------|-------------------------------|--|
|  Laboratorio de Ensayos Calle Bonita, San Salvador, El Salvador C.A. Tel: 503-2220000 / Fax: 503-2220001 | | ANEXO 5 INSPECCION RADIOGRAFICA | | Cliente GAS CALIENTE | | |
| Laboratorio de Ensayos | | Informe | | Página | 2 de 3 | |
| INSPECCION DE CONTEEDORES DE GAS DE USO DOMESTICO | | | | | | |
| Fabricante | Tambitos de El Salvador | Clase | 3 | N° Serie | 12345 Año de Fabricación 2004 | |
| DATOS DE LA INSPECCION | | | | | | |
| Tipo de fuente | Tubo de rayos X | Marca/Modelo | | | Punto focal | |
| Especificaciones | kV | mA | Marca de película | Clase | Designación | |
| Luzano | Pantallas intensificadoras | | Frontal | Posterior | | |
| Indicador de calidad de imagen | | | Selección | Localización | | |
| Estándar de aceptación | CGA-C3-2000 | Técnica de exposición | Doble Pared | Ajuste del Equipo | kV mA | |
| Distancia fuente película | Tiempo de exposición | | Técnica de película | | | |
| Resultados | | | | | | |
| Identificación de la placa | Espesor promedio | IQI* | Densidad | A | NA | Discontinuidades encontradas |
| CALIENTE 12345 (AB) | | 0.10 mm | | X | | No se detectaron indicaciones relevantes |
| CALIENTE 12345 (BC) | | 0.10 mm | | X | | |
| CALIENTE 12345 (CA) | | 0.10 mm | | X | | |
| CLASIFICACION DE DISCONTINUIDADES | | | | | | |
| CR: Concavidad en la raíz DP: Desalineamiento LE: líneas de escoria FF: Falta de fusión QAI: Quemada a través FD: defecto de película FP: Falta de penetración IE: Inclusión de escoria P: Porosidad aislada PG: Porosidad agrupada SE: Socavado interno PC: porosidad vesicular | | | DE: Doble línea de escoria GMB: Grieta en el metal base GL: Grieta longitudinal GT: Grieta transversal SE: Socavado externo A: Aceptado NA: No aceptado IC/IQI: Indicador de calidad de imagen TI: Inclusión de tungsteno Pal: Porosidad alineada | | | |
| IQI denota el diámetro del alambre mas fino observado en la radiografía para un penetrante ASIME-747 o bien el diámetro del agujero mas pequeño observable para un penetrante ASIME-1025 | | | | | | |
| Inspeccionado por | Interpretado por | | Recibido por | | | |
| Fecha | 2004-04-01 | Fecha | 2004-04-01 | Fecha | | |
| Nombre | | Nombre | | Nombre | | |
| Firma | | Firma | | Firma | | |

| | | | | | | | |
|---|--|-----------------------|---|--|---------------------|--------------------|--|
|  Laboratorio de Ensayos Calle Bonita, San Salvador, El Salvador C.A. Tel: 503-2220000 / Fax: 503-2220001 | ANEXO 5 INSPECCION RADIOGRAFICA | | Cliente Customer: GAS CALIENTE | | | | |
| | Lugar de trabajo: Laboratorio de Ensayos | | Informe: | | | | |
| INSPECCION DE CONTEEDORES DE GAS DE USO DOMESTICO | | | | | | | |
| Fabricante | Tambitos de El Salvador | Clase | 4 | Nº Serie | 67890 | Año de fabricación | 2004 |
| DATOS DE LA INSPECCION | | | | | | | |
| Tipo de fuente | Tubo de rayos X | Marca/Modelo | | | Punto focal | | |
| Especificaciones | kV | mA | Marca de película | | Clase | Designación | |
| Tamaño | Pantallas intensificadoras | | | Frontal | Posterior | | |
| Indicador de calidad de imagen | | | | Selección | | Localización | |
| Estándar de aceptación | CGA-C3-2000 | Técnica de exposición | | Doble Pared | Ajuste del Equipo | | kV mA |
| Distancia fuente película | | Tiempo de exposición | | | Técnica de película | | |
| Resultados | | | | | | | |
| Identificación de la placa | | Esesor promedio | IQI* | Densidad | A | NA | Discontinuidades encontradas |
| CALIENTE | 67890 (AB) | | 0.10 mm | | X | | No se detectaron indicaciones relevantes |
| CALIENTE | 67890 (DC) | | 0.10 mm | | X | | |
| CALIENTE | 67890 (EF) | | 0.10 mm | | X | | |
| CLASIFICACION DE DISCONTINUIDADES | | | | | | | |
| CR: Concavidad en la raiz DR: Desalineamiento LI: líneas de escoria FF: Falta de fusión QAT: Quemada a través FD: defecto de película FP: Falta de penetración IE: Inclusión de escoria P: Porosidad aislada PG: Porosidad agrupada SI: Socavado interno PC: porosidad vesicular | | | | DE: Doble línea de escoria GM: Grieta en el metal base GL: Grieta longitudinal GT: Grieta transversal SE: Socavado externo A: Aceptado NA: No aceptado IC/IQ: Indicador de calidad de imagen TI: Inclusión de tungsteno Pal: Porosidad alineada | | | |
| IQI denota el diámetro del alambre mas fino observado en la radiografía para un penetrmetro ASIMB-747 o bien el diámetro del agujero mas pequeño observable para un penetrmetro ASIMB-1025 | | | | | | | |
| Inspeccionado por | | Interpretado por | | | Recibido por | | |
| Fecha | 2004-04-01 | Fecha | 2004-04-01 | | Fecha | | |
| Nombre | | Nombre | | | Nombre | | |
| Firma | | Firma | | | Firma | | |



Laboratorio de Ensayos

Calle Bonita, San Salvador, El Salvador
C.A. Tel: 503-2220000 / Fax: 503-2220001

ANEXO 5

INSPECCION RADIOGRAFICA

Cliente

GAS CALIENTE

Página

3

de

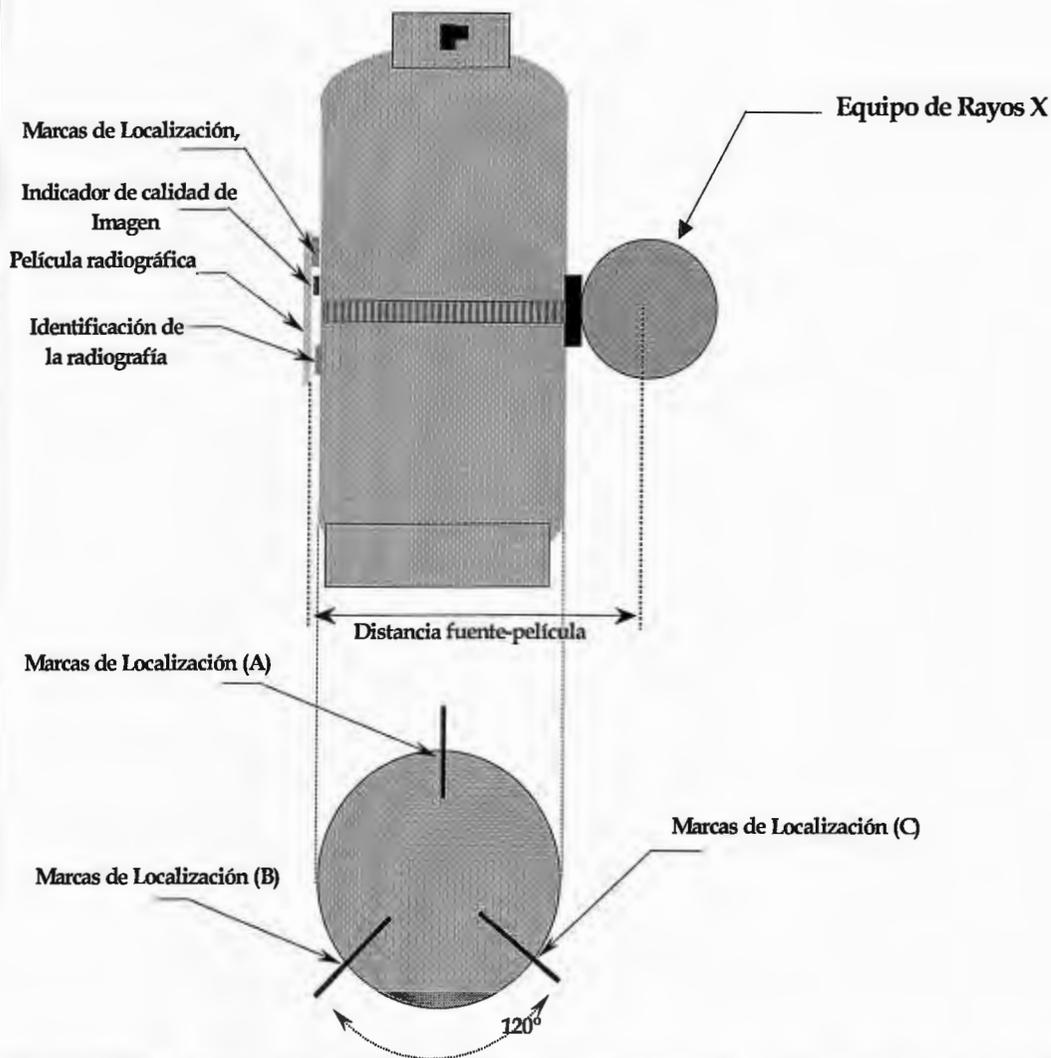
4

Lugar de trabajo

Laboratorio de Ensayos

Informe

**ESQUEMA MOSTRANDO LA REALIZACION DE LA EXPOSICION, 3
PELICULAS A 120° CADA UNA**



Inspeccionado por

Fecha 2004-04-01

Nombre

Firma

Interpretado por

Fecha 2004-04-01

Nombre

Firma

Recibido por

Fecha

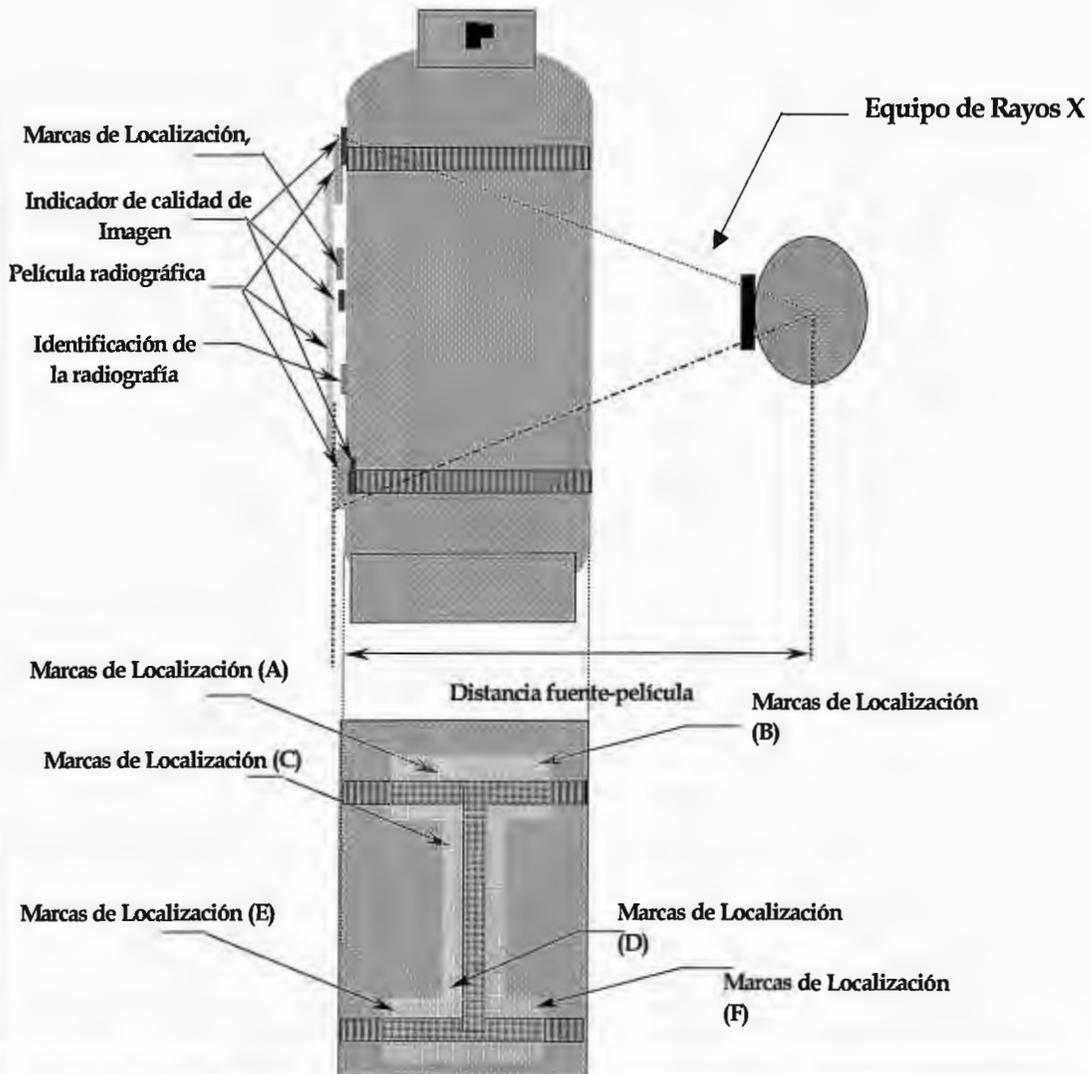
Nombre

Firma



Lugar de trabajo Laboratorio de Ensayos

**ESQUEMA MOSTRANDO LA REALIZACION DE LA EXPOSICION, 3
PELICULAS EN "I" EN UNA EXPOSICION UNICA**



Inspeccionado por

Fecha 2004-04-01

Nombre

Firma

Interpretado por

Fecha

Nombre

Firma

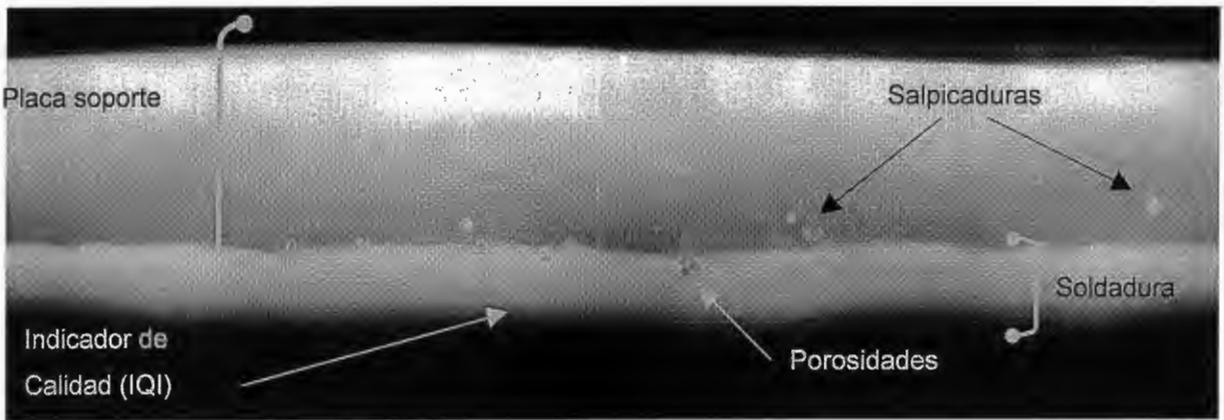
Recibido por

Fecha 2004-04-01

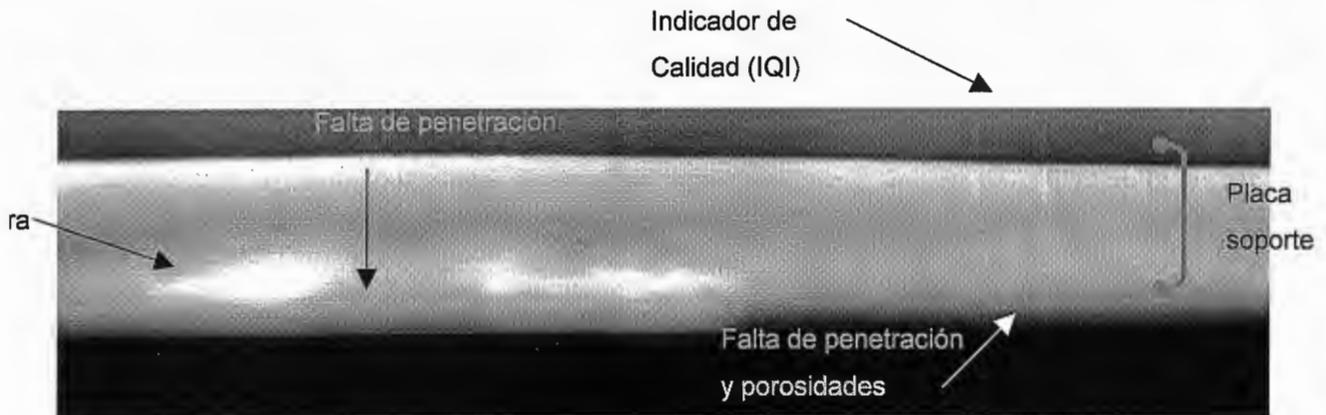
Nombre

Firma

Anexo 6 – Placas radiográficas con placa de refuerzo



Placa de un cilindro gas. Se puede ver la zona donde se encuentra la placa soporte y salpicadura y porosidades. Es una placa rechazada cortesía de Laboratorio de Materiales Universidad Don Bosco.



Placa de un cilindro gas. Se puede ver la zona donde se tiene una mayor sección de soldadura, así como una línea al centro de esta donde existe un falta de penetración. Es una placa rechazada cortesía de Laboratorio de Materiales Universidad Don Bosco.

Anexo 7 – Recomendaciones en el uso y manejo de cilindros para GLP de uso doméstico

- Rotar los cilindros con frecuencia. Si se posee mas de un cilindro en casa, recordar cambiarlos todos de vez en cuando, de esta manera se asegura que los envases que se tienen sean inspeccionados por los envasadores.
- Evitar mantener los envases a la intemperie, esto evita que se deterioren.
- Al manejar los envases evitar golpearlos o dejarlos caer
- No golpear los envases, en especial su cuerpo para evitar daños a este
- No realizar ningún tipo de modificación, ni soldadura o marcado en el cuerpo de este.
- Mantener los envases almacenados en un lugar fresco y bien ventilado, alejado de cualquier fuente de calor, llama abierta o chispas.
- No manipular la válvula del cilindro, puesto que puede fugar gas y causar incendios.
- Si se detecta algún tipo de daño en el envase, tal como abolladuras, modificaciones u otras no aceptarlo, devuélvase al envasador.

Anexo 8 – Calificación del procedimiento de soldadura.¹³

La calificación de un proceso de soldadura consiste en la realización de las uniones de un producto, utilizando el método seleccionado bajo condiciones normales de trabajo en especímenes que luego serán ensayados bajo la norma que regula el producto.

Esto implica que se usara el equipo, herramientas, materiales y consumible que se utilizan para el proceso de producción en masa de los envases y se seguirá el proceso descrito por el fabricante en sus procedimientos de trabajo.

La normas que regulan los envases para GLP dan las siguientes indicaciones con respecto a la calificación del proceso de soldadura:

- **Material.** Debe de ser el mismo a utilizarse en producción, realizándose una probeta por cada material que utilice en fabricante. Este debe estar de acorde con los tipos de material especificados en el anexo 1 y debe de incluir los tratamientos térmicos que pudiese tener un envase terminado.
- **Dimensiones del envase.** Para la calificación se requiere realizar la prueba con el cilindro de menor diámetro a soldar bajo ese procedimiento, incluyendo así a los de mayor dimensión.
- **Posiciones de soldadura.** Estas se limitan al proceso que se siga para soldar. La norma CGA C-3 restringe al uso de posiciones planas y horizontales, tanto para calificación como para producción
- Una vez realizadas las uniones, se prepararan las probetas de acuerdo a la norma que regula el producto y se le realizaran ensayos destructivo y no destructivos con los que se confirman si se logran los parámetros deseados de resistencia mecánica y calidad de soldadura.

¹³ Tomado de la norma CGA C-3 versión 2000

Todos los resultados de los ensayos se deben registrar junto con el certificado de calificación y debe poseerlo el fabricante para presentarlo en caso de que un cliente o el ente regulador lo solicite.

La certificación de un procedimiento de soldadura es válida mientras no se cambien ninguna de las variables críticas del proceso de soldadura. Estas son:

- Cambio en el tipo de material base entre uno y otro de los especificados en el anexo 1.
- Cambios en el material de aporte.
- En el caso del uso de arco sumergido, cuando se realizan cambios en la composición química nominal del fundente. No se aplica a cambios en el tamaño de las partículas del fundente.
- Cambios en la posición de soldadura.
- Disminución de 28°C (50°F) o más en la temperatura de precalentamiento
- Cambios en los tratamientos térmicos al material.
- Omisión o inclusión de placa soporte en juntas longitudinales
- Cambios en el número de pasadas.
- Cambios en el uso de un solo electrodo a múltiples electrodos o vice-versa
- Cambio en el tipo de gas de protección o un cambio de la composición de este de más de un 15%.

La calificación la debe realizar un inspector autorizado y certificado independiente o el fabricante, siempre y cuando este cuente con un sistema de calidad ISO 9000 u otro con reconocimiento nacional e internacional que produzca auditorías internas cada 3 meses.

Anexo 9 – Calificación del soldador.¹⁴

Similar a la calificación de un procedimiento, los operarios de los equipos, es decir cualquiera que haga cambios eléctricos o mecánicos en el equipo de soldadura que afecte la calidad de la unión deben de ser calificados. Esto no aplica a personal de mantenimiento sino a aquellos que se encargan de manejar el equipo. La forma proceder es la siguiente.

- Se debe de poseer procedimientos de soldadura. El operario debe de ser calificado para cada uno de los procesos que seguirá y no es válida su certificación para otros procesos.
- Los materiales, electrodos y otros consumibles y sus características técnicas y químicas deben ser iguales a las utilizadas en la soldadura del envase.
- La dimensión del envase será la menor a ser soldada por el operario, esto lo califica para envases de mayor tamaño.
- La posición o posiciones de soldadura en las que se calificara el soldador son aquellas que se utilizan en el proceso de manufactura del cilindro tal como lo especifica el procedimiento de soldadura.
- Los tipos de junta para soldadura en las que se calificara el soldador son aquellas que se utilizan en la soldaduras de los envases.
- Se realizará la soldadura tal como si fuese una de producción, tomándose los envases ya soldados y extrayendo de estos las muestras necesarias para realizar ensayos destructivos o no destructivos según la tabla 1.

Una vez realizadas las pruebas, al operario se le entrega una certificación que lo acredita como operario calificado. Esta tiene validez siempre y cuando no haya dejado de soldar por más de tres meses, o se presente una razón válida para cuestionar las habilidades del operario para realizar las uniones.

¹⁴ Tomado de la norma CGA C-3 versión 2000

Tabla 1. Pruebas requeridas para calificación del soldador

| Tipo de junta | Prueba requerida | Propósito de la prueba | Numero de muestras | Prueba alternativa |
|-----------------|---------------------|-------------------------------------|--------------------|--|
| Longitudinal | Dobleces en la raíz | Verificar la integridad de la junta | 2 | Inspección radiográfica de toda la junta |
| | Dobleces en la cara | Verificar la integridad de la junta | 2 | |
| Circunferencial | Dobleces en la raíz | Verificar la integridad de la junta | 2 | Inspección radiográfica de toda la junta |
| | Dobleces en la cara | Verificar la integridad de la junta | 2 | |

Si se modifica alguna de las siguientes variables, es necesario volver a calificar al soldador:

- Cambios en el material de aporte utilizado.
- Cambios en la posición de soldadura.
- Omisión o inclusión de placa soporte en juntas a tope
- Cambios de un proceso de soldadura a otro.

El fabricante debe mantener en registro todos los resultados de las pruebas y de las certificaciones de cada uno de los operarios.

La calificación la debe de realizar un inspector autorizado y certificado independiente o el fabricante, siempre y cuando este cuente con un sistema de calidad ISO 9000 u otro con reconocimiento nacional e internacional que produzca auditorías internas cada 3 meses.

No aplica cuando se utilizan sistemas completamente automatizados que no requieren de operario.

Anexo 10 – Soldadura de un envase para GLP de uso Doméstico

A continuación se dan los parámetros para soldar un envases de GLP para utilizarse como ejemplo y referencia. Se han tomado dimensiones promedios, para la chapa y el diámetro del envase. Se asume que el proceso a utilizar es arco sumergido automatizado y que la soldadura a realizar es circunferencial.

Diámetro externo del envase: 310mm (12.2in)

Espesor del material a soldar: 3.43mm (0.135")

Espesor de la placa de refuerzo: 3.43mm (0.135")

Posición de soldadura : Plana

Calidad de la soldadura: Comercial

Soldado a solo un lado

Numero de pasadas necesarias: 1

Diámetro de electrodo (recomendado) : 3mm (0.125")

Corriente en DC (electrodo positivo) : 650A

Voltaje de arco: 28V

Velocidad de avance lineal: 23.28 mm/s (1.397m/min o 55 in/min)

Velocidad de rotación: 81.4 rpm para mantener la soldadura en posición plana

Consumo de electrodo: 0.085kg/m (0.057 lb/ft)

Consumo de fundente: 0.0728 a 0.0967kg/m (0.049 a 0.065lb/ft)

Los datos de se pueden utilizar también para realizar la junta longitudinal.

Anexo 11– Conglomerado de resultados de pruebas radiográficas

| Tambo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
|-------------------------|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| Discontinuidad | A | NA | A | NA | A | NA | A | NA | A | NA | A |
| Concavidad en la raíz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desalineamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Líneas de escoria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falta de fusión | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 |
| Quemadura térmica | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falta de relleno | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| Falta de penetración | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inclusión de escoria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| Porosidad aislada | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| Porosidad agrupada | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| Sobresado interno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Porosidad vesicular | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Entre líneas de escoria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grieta en el metal base | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grieta longitudinal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grieta transversal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sobresado externo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inclusión de tungsteno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Porosidad alineada | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aceptado | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | | | |
| No aceptado | | | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| Tambo | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | | |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|
| Discontinuidad | A | NA | | |
| Concavidad en la raíz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desalineamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Líneas de escoria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falta de fusión | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| Quemadura a través | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falta de relleno | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | 1 | | |
| Falta de penetración | | | | 1 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| Inclusión de escoria | | 1 | | | | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | | | | |
| Porosidad aislada | | | | | | 1 | 1 | | | 1 | | | | | | | | 1 | | |
| Porosidad agrupada | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sozavado interno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Porosidad vesicular | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Doble línea de escoria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grieta en el metal base | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grieta longitudinal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grieta transversal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sozavado externo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inclusión de tungsteno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Repasado altopada | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aceptado | | | 0 | | | | 0 | | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | | 1 |
| No aceptado | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | | 1 | | | | 1 | |

| Tambo | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | | |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|
| Discontinuidad | A | NA | A | NA |
| Concavidad en la raíz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desalineamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unidad de escoria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falta de fusión | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Quemada de raíces | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falta de relleno | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| Falta de penetración | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inclusión de escoria | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Porosidad aislada | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Porosidad agrupada | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Socavado interno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Porosidad vesicular | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Doble línea de escoria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grieta en el metal base | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grieta longitudinal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grieta transversal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Socavado externo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inclusión de tungsteno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Porosidad alineada | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aceptado | 1 | 1 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| No aceptado | | | | 1 | | 1 | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| Tambo | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | | |
|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|
| Discontinuidad | A | NA | A | NA |
| Concavidad en la ran | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desalineamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Líneas de escoria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falla de fusión | | | | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| Quemada a través | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falla de relleno | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| Falla de penetración | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | |
| Inclusión de escoria | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | |
| Porosidad aislada | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| Porosidad agrupada | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Socavado interno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Porosidad vesicular | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Doble línea de escoria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grietas en el metal base | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grietas longitudinales | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grietas transversal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Socavado externo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inclusión de tungsteno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Porosidad alineada | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | 1 | 1 |
| Aceptado | | | 1 | | | | | | 0 | | | | | | | | | | 0 | |
| No aceptado | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| Tambo | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | | |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|
| Discontinuidad | A | NA | A | NA |
| Contaminación en la ranura | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Desplazamiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Líneas de escoria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falta de fusión | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | |
| Doble línea de escoria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falta de relleno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falta de penetración | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inclusión de escoria | | | | | 1 | | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | |
| Porosidad aislada | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Porosidad agrupada | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Socavado interno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Porosidad vesicular | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Doble línea de escoria | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grieta en el metal base | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grieta longitudinal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Grieta transversal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Socavado externo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inclusión de tungsteno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Porosidad aislada | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aceptado | 0 | | | | | 0 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | | | 1 |
| No aceptado | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | |

| Tambo | 91 | | 92 | | 93 | | 94 | | 95 | | 96 | | 97 | | total de las discontinuidades | Porcentaje |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------------------------|------------|
| | A | NA | | |
| Concavidad en la raíz | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.0% |
| Desalineamiento | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.0% |
| Líneas de escoria | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.0% |
| Falta de fusión | | | | | | | | | | | | 1 | | | 15 | 11.6% |
| Quemada a través | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.8% |
| Falta de relleno | | | | | | | | | | | | | | | 11 | 8.5% |
| Falta de penetración | | | | | | | 1 | | 1 | | | | | | 18 | 14.0% |
| Inclusión de escoria | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | 16 | 14.0% |
| Porosidad aislada | | | | | | | 1 | | 1 | | | 1 | | 1 | 15 | 14.3% |
| Porosidad agrupada | | | | | | | | | | | | | | | 3 | 2.3% |
| Socavado interno | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 1.6% |
| Porosidad vesicular | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.0% |
| Delta línea de escoria | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.0% |
| Grieta en el metal base | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.0% |
| Grieta longitudinal | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.0% |
| Grieta transversal | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.0% |
| Socavado externo | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.8% |
| Inclusión de tungsteno | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 0.0% |
| Porosidad alineada | | | | | | | | | | | | | | | 15 | 14.6% |
| Aceptado | 1 | | 1 | | 1 | | | | | | | | | 0 | 40 | 41.2% |
| No aceptado | | | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | | 57 | 58.8% |