

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**METODOLOGÍA PARA REPARAR POROS Y SOCAVADOS EN
RECIPIENTES A PRESIÓN POR EL PROCESO SMAW**

POR

JOSÉ ANTONIO SAUZ HERNÁNDEZ

REPORTE DE PROYECTO

**EN OPCIÓN COMO ESPECIALISTA
EN TECNOLOGÍA DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

CUNDUACAN, TABASCO DICIEMBRE 2014

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**METODOLOGÍA PARA REPARAR POROS Y SOCAVADOS EN
RECIPIENTES A PRESIÓN POR EL PROCESO SMAW**

POR

JOSÉ ANTONIO SAUZ HERNÁNDEZ

REPORTE DE PROYECTO

**EN OPCIÓN COMO ESPECIALISTA
EN TECNOLOGÍA DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

VILLAHERMOSA, TABASCO DICIEMBRE 2014

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales
Gerencia de Desarrollo Humano
División de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité Tutorial recomendamos que el reporte de proyecto **METODOLOGÍA PARA REPARAR POROS Y SOCAVADOS EN RECIPIENTES A PRESIÓN POR EL PROCESO SMAW**, realizado por el alumno **JOSÉ ANTONIO SAUZ HERNÁNDEZ**, con número de matrícula **No. 13ES-167** sea aceptada para su defensa como Especialista en Tecnología de la Soldadura Industrial.

El Comité Tutorial

Dra. Argelia Fabiola Miranda Pérez
Tutor Académico

Ing. Javier A. Serna Torres
Tutor en Planta

Dr. Eduardo Hurtado Delgado
Asesor

Vo. Bo.
Dr. Felipe Arturo Reyes Valdés
Coordinador de Posgrado

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales
Gerencia de Desarrollo Humano
División de Estudios de Posgrado

Los abajo firmantes, miembros del Jurado del Examen de especialización del alumno **JOSÉ ANTONIO SAUZ HERNÁNDEZ**, una vez leída y revisada el reporte de proyecto titulado **METODOLOGÍA PARA REPARAR POROS Y SOCAVADOS EN RECIPIENTES A PRESIÓN POR EL PROCESO SMAW**, aceptamos que el reporte de proyecto revisado y corregido, sea presentada por el alumno para aspirar al grado de Especialista en Tecnología de la Soldadura Industrial durante la presentación del reporte de proyecto correspondiente.

Y para que así conste firmamos la presente a los 13 días del mes de diciembre de 2014.

Dra. Yaneth Aguilar Díaz
Presidente

Dra. Gladys Yerania Pérez
Medina
Secretario

Dra. Argelia Fabiola Miranda
Pérez
Vocal

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES

**POR SU SACRIFICIO Y HACER DE
MI UNA PERSONA PROFESIONAL
DE EXCELENCIA.**

A MIS HIJOS

**POR SU ENORME PACIENCIA Y
ESPERA, POR EL TIEMPO QUE NO
PUDE DISFRUTAR CON ELLOS,
POR ALCANZAR EL ÉXITO**

A MI ESPOSA

**POR SU ENORME E
INCONDICIONAL APOYO**

A MIS PROFESORES

**POR SU GRAN APOYO Y
PACIENCIA
EN EL DESARROLLO
PROFESIONAL**

A COMIMSA

**POR DARME LA OPORTUNIDAD DE
DESARROLLARME
PROFESIONALMENTE**

ÍNDICE GENERAL

Síntesis		
Capítulo 1:	Introducción.	5
	1.1 Antecedentes.	5
	1.2 Objetivos.	7
	1.2.1 Objetivo general.	7
	1.2.2 Objetivos específicos.	7
	1.3 Justificación del proyecto.	7
	1.4 Planteamiento del problema.	7
	1.5 Aportación.	8
	1.6 Alcance y delimitaciones.	8
Capítulo 2:	Marco Teórico	
	2.1 Proceso de soldadura “SMAW” por arco de metal protegido.	9
	2.1.1 Fuentes de potencia.	11
	2.1.2 Ventajas y limitaciones del proceso.	13
	2.1.2.1 Ventajas.	13
	2.1.2.2 Limitaciones.	14
	2.1.3 Equipos y protección del proceso.	15
	2.1.3.1 Seguridad.	15
	2.1.3.2 Equipo de protección personal.	16
	2.1.4 Uniones de Metales.	17
	2.1.5 Tipos de juntas.	18
	2.1.6 Defectos presentados en el proceso.	21
	2.1.7 Recipientes a presión.	24
	2.1.7.1 Por su uso.	26
	2.1.7.2 Por su forma.	26
	2.1.7.3 Propiedades que deben tener los materiales para satisfacer las condiciones del	27

	servicio.	
	2.1.7.3.1 Propiedades Mecánicas.	27
	2.1.7.3.2 Propiedades Químicas.	28
	2.1.7.3.3 Soldabilidad.	28
	2.1.7.4 Boquillas en recipientes a presión.	29
	2.1.7.5 Requerimientos de soldaduras para boquillas.	29
	2.1.8 Electroodos.	30
	2.1.9 Complejos de producción del proceso en los recipientes a presión.	33
	2.1.10 Gas combustible.	35
	2.1.11 Gas de baja presión.	36
	2.1.12 Gas natural.	36
2.2	Clasificación de los materiales SA-516 GR.70	37
	2.2.1 Características del material SA-516.GR.70.	38
2.3	Normas que regulan la inspección y reparación de soldaduras en recipientes a presión.	39
	2.3.1 Datos del defecto a reparar.	41
	2.3.2 Puntos a considerar para la metodología.	42
	2.3.2.1 Inspección del servicio.	44
	2.3.2.2 Contracción y distorsión.	44
	2.3.2.3 Establecer y calificar el procedimiento de reparación.	45
	2.3.2.4 Requerimientos térmicos.	45
	2.3.2.5 Calificación y preparación del soldador.	48
	2.3.4 Procedimiento de reparación.	48
	2.3.5 Técnicas a emplear para la reparación.	56
Capítulo 3	Desarrollo del proyecto.	
3.1	Metodología.	73
	3.1.2 Descripción del Material.	73
	3.1.3 Aplicación de la soldadura por el proceso SMAW.	75

3.1.4	Inspección por PND en soldadura.	77
3.1.5	Reparación de las indicaciones en probeta.	79
3.2	Pruebas Metalográficas y Durezas.	84
3.2.1	Caracterización del material.	84
3.2.2	Ensayo de Durezas.	85
3.2.3	Caracterización de la soldadura.	86
Capítulo 4:	Conclusiones.	88
	Bibliografía.	89
	Listado de Tablas.	91
	Listado de Figuras.	92
	Resumen Autobiográfico.	95

SÍNTESIS

En el presente trabajo, se consideran las reparaciones de socavados y poros presentes en recipientes a presión aplicando el proceso SMAW. Asimismo la validación mediante una evaluación con pruebas no destructivas para verificar la sanidad de las reparaciones, las cuales son evaluadas bajo los códigos de acuerdo a los criterios de aceptación, cumpliendo con la calidad y aseguramiento en la reparación de defectos existentes en las soldaduras de las boquillas y del cuerpo de los recipientes a presión.

Los recipientes que se encuentran en plataformas tienen la finalidad de almacenar sustancias que se dirigen o convergen con algún otro proceso, entre estaciones y/o plantas de bombeo, compresión, almacenamiento y distribución. Debido a lo anterior, el interés de realizar la metodología para garantizar su integridad para que gracias a este proceso sea posible alargar la vida útil de los equipos.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Se considera que los recipientes a presión son capaces de almacenar fluidos a presión manométrica ya sea interna o de vacío y pueden ser cilíndricos o esféricos.

Los recipientes en ocasiones son mal fabricados, proyectados, operados, y presentan períodos sin ser inspeccionados o son inadecuadamente reparados por un proceso de soldadura.

Dentro de las instalaciones de plataformas de Región Marina en Campeche, a través de las inspecciones realizadas a los recipientes a presión localizados en los diversos centros de proceso o activos, se han encontrado una serie de defectos, entre los más comunes son los socavados y porosidades visibles en las soldaduras de las boquillas, cruces de las soldaduras y las solapas de refuerzo ubicadas en las boquillas de los recipientes a presión.

Se le llaman defectos cuando se encuentran fuera de los límites de los criterios de normatividades y deben ser considerados para una acción correctiva con el objetivo de seguir garantizando la confiabilidad operativa del recipiente.

En las inspecciones realizadas por COMIMSA en la sonda de Cd. Del Carmen, Campeche, se mencionan algunas de las plataformas donde los recipientes a presión presentan este tipo de defectos : EK-A, Balam-EK-A, Balam-EK-TD, Balam EK-TA, Balam TA, Balam TE, Akal-C, Akal-B, Akal-J, Nohoch-A, xtal,

Ixtoc y los campos del Activo Integral Cantarell, Pol-chuc y Abkatún, por mencionar algunas.

Los recipientes a presión pueden resultar equipos altamente peligrosos, debido a que en las últimas décadas han ocurrido explosiones en instalaciones que han ocasionado grandes pérdidas de materiales y vidas humanas. Es por ello que se deben tomar medidas más rigurosas durante la fabricación y el servicio de estas. Estados Unidos y Europa en los últimos años se han caracterizado por un intenso desarrollo de los códigos, normas de diseño y fabricación de recipientes a presión buscando elevar su seguridad, manteniendo bajos los costos de fabricación. Actualmente se desarrollan nuevas normas para uso “post construcción”, como el código de inspección del comité nacional (NBIC, por sus siglas en inglés), que cubren el mantenimiento, inspección, reparación y alteraciones de recipientes en servicio, por lo que constituyen regulaciones importantes para los propietarios de estos equipos.

La importancia de la metodología es dar el servicio en la industria privada y las plataformas costa fuera en donde Pemex exploración y producción (PEP), no cuenta en ocasiones con procedimientos calificados para reparar este tipo de indicaciones, cuando se realizan libranzas consideradas para el mantenimiento de los equipos.

La soldadura por arco de metal protegido es uno de los procesos más ampliamente utilizados, sobre todo para soldaduras cortas en trabajos de producción, mantenimiento, reparación y para construcción en el campo, ésta metodología pretende brindar información técnica de parámetros y condiciones principales que sirvan como soporte durante la aplicación del proceso de soldadura por arco de metal protegido (SMAW, por sus siglas en inglés), para la reparación de los defectos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Elaborar una metodología para reparaciones de defectos localizados en las soldaduras de los recipientes a presión con el fin de garantizar la seguridad de las instalaciones, del personal y del medio ambiente.

1.2.2 Objetivos específicos

Aquellos defectos encontrados, por reparaciones realizadas a las soldaduras de los recipientes serán analizados para garantizar la integridad del equipo.

Establecer una metodología que sirva como guía y permita llevar a cabo una reparación de la indicación presentada y evaluada en las soldaduras de los recipientes a presión.

Determinar la profundidad de los defectos en los recipientes a presión de acuerdo a ensayos no destructivos.

1.3- Justificación del proyecto

La metodología de este proyecto de especialidad se propone que considere los pasos y necesidades sobre las reparaciones de defectos visibles en soldaduras de recipientes y con ello garantizar resultados satisfactorios sin la modificación significativa de sus procesos de manufactura ya establecidos en las compañías.

1.4.- Planteamiento del problema

Durante la inspección por pruebas no destructivas (PND) a los recipientes a presión evaluados en la Sonda de Campeche, para los defectos encontrados se recomienda repararlos para garantizar que el recipiente siga operando continuamente, este problema se dificulta para el responsable de los equipos ya que muchas veces no se pueden realizar dichas reparaciones por falta de una

metodología y personal calificado que dirija estas actividades en base a un diseño sustentado normativamente.

1.5.- Aportación

Con la información obtenida en el presente trabajo se tendrán los conocimientos necesarios para la aplicación de la metodología del control de calidad en la aplicación del proceso de soldadura seleccionado para la reparación de los recipientes y garantizar que puedan continuar operando para ser dados de alta ante la Secretaria del Trabajo y Previsión Social, y así obtener la autorización permanente de funcionamiento del equipo.

1.6 Alcance y delimitaciones

Los alcances de esta metodología están basados en materiales de aceros al carbono con especificaciones SA 516 GRADO 70.

Los espesores de los equipos serán de un mínimo de 0.200" hasta 0.500" pulgadas.

Asimismo se consideran los cálculos para conocer el espesor mínimo soldable de acuerdo a lo indicado a la especificación ASME SEC.VII DIV.1 2011.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Proceso de soldadura por arco de metal protegido

La soldadura por arco de metal protegido (SMAW, por sus siglas en inglés), es un proceso en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando.

El arco eléctrico se mantiene entre el final del electrodo revestido y la pieza a soldar. Cuando el metal se funde, las gotas del electrodo se transfieren a través del arco al baño del metal fundido, protegiéndose de la atmósfera por los gases producidos en la descomposición del revestimiento. La escoria fundida flota en la parte superior del baño de soldadura, desde donde protege al metal depositado de la atmósfera durante el proceso de solidificación. La escoria debe eliminarse después de cada pasada de soldadura, se fabrican cientos de tipos diferentes de electrodos, a menudo conteniendo aleaciones que proporcionan resistencia, dureza y ductilidad a la soldadura (1).

El proceso SMAW, se utiliza principalmente para aleaciones ferrosas para unir estructuras de acero, en construcción naval, tuberías, recipientes y en general en trabajos de fabricación metálica. A pesar de ser un proceso relativamente lento, debido a los cambios del electrodo y a tener que eliminar la escoria, aún sigue siendo una de las técnicas más flexibles y se utiliza con ventaja en zonas de difícil acceso como se presenta en la Fig. 2.1.

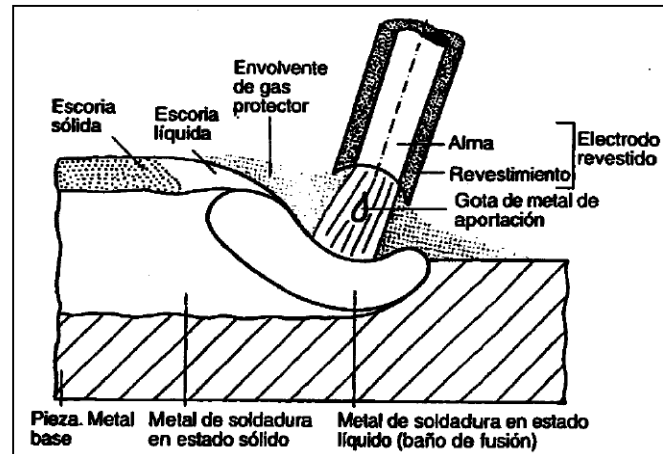


Fig. 2.1 Esquema del Proceso de soldadura SMAW (1)

El factor principal que hace de este proceso de soldadura un método tan útil es su simplicidad y, por tanto, su bajo precio. A pesar de la gran variedad de procesos de soldadura disponibles, la soldadura con electrodo revestido no ha sido desplazada del mercado.

La sencillez hace de ella un procedimiento práctico todo lo que necesita un soldador para trabajar es una fuente de alimentación, cables, porta electrodo y electrodos, el soldador no tiene que estar junto a la fuente y no hay necesidad de utilizar gases comprimidos como protección.

El procedimiento es excelente para trabajos de reparación, fabricación y construcción. Además, la soldadura SMAW, es muy versátil, y su campo de aplicación es enorme: casi todos los trabajos de pequeña y mediana soldadura se efectúan con electrodo revestido, se puede soldar metal de casi cualquier espesor y hacer uniones de cualquier tipo.

La elección de una u otra dependerá del tipo de fuente de corriente disponible, del electrodo a utilizar, y del material base.

A continuación se muestra en la Tabla 2.1 la corriente más adecuada en función de una serie de parámetros.

Tabla 2.1 Comparación entre soldaduras con Corriente continua y alterna (1).

PARAMETROS	CORRIENTE CONTINUA	CORRIENTE ALTERNA
Soldeo a gran distancia de la fuente de corriente		Preferible
Soldeo con electrodos de pequeño diámetro que requieren bajas intensidades de soldeo.	La operación resulta más facil	Precaución. El material se puede deteriorar debido a la dificultad de encendido del arco.
Cebado del arco	Resulta más facil	Más difícil, en especial si se emplean electrodos de pequeño diámetro.
Mantenimiento del arco	Más fácil por la mayor estabilidad.	Más difícil, excepto cuando se emplean electrodos de gran rendimiento.
Soplo magnético	Puede ser un problema en el soldeo de materiales ferromagnéticos.	No presentan problemas.
Posiciones de soldeo	Se prefiere en el soldeo en posiciones vertical y bajo techo, por que deben utilizarse intensidades bajas.	Si se utilizan los electrodos adecuados se pueden utilizar soldaduras en cualquier posición.
Tipo de electrodo	Se puede emplear con cualquier tipo de electrodo	El revestimiento del electrodo debe contener sustancias que restablezcan el arco.
Espesor de la pieza	se prefiere para espesores delgados	Se prefiere con espesores gruesos. Se obtiene mayor rendimiento.
Salpicaduras	Poco frecuentes	Más frecuentes
Soldeo utilizando longitudes de arco pequeñas (importante en algún tipo de electrodos, sobre todo los de tipo básico)	El soldeo resulta más facil	
Polaridad	Posibilidad de elección de la polaridad en función del metal a soldar y del electrodo a emplear.	No hay polaridades

2.1.1 Fuentes de potencia.

Se puede utilizar corriente alterna o continua para la soldadura SMAW, por sus siglas en ingles), dependiendo de la corriente suministrada por la fuente de potencia y del electrodo escogido. Ambos tipos de corriente tienen ventajas y limitaciones (Fig. 2.2).



Fig. 2.2. Equipo de Soldadura (5).

Los factores que deben tenerse en cuenta son los siguientes:

- a) Caída de voltaje
- b) Baja corriente
- c) Inicio del arco
- d) Longitud del arco
- e) Golpe del arco
- f) Posición de soldadura
- g) Espesor del metal

Importancia de la curva volt-ampere. Las fuentes de voltaje constante no son apropiadas para SMAW, porque con su curva volt-ampere plana, un cambio aunque sea pequeño, en la longitud del arco produce un cambio relativamente grande en el amperaje (Fig. 2.3).

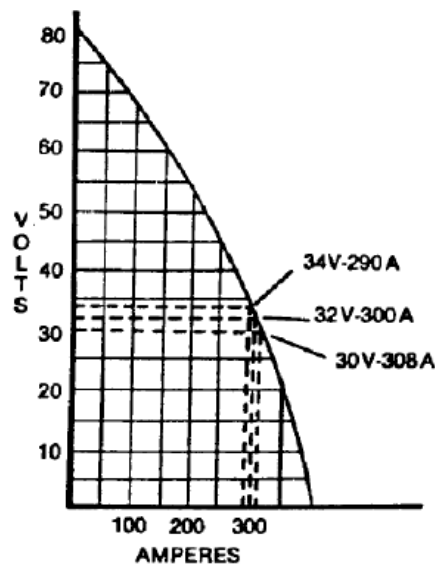


Fig. 2.3 Curva Volt/Amp en máquina de corriente constante (6).

Voltaje de circuito abierto. Es el que genera la máquina de soldadura cuando no se está soldando. Los voltajes de circuito abierto están entre 50 y 100 V (Fig.2. 4).

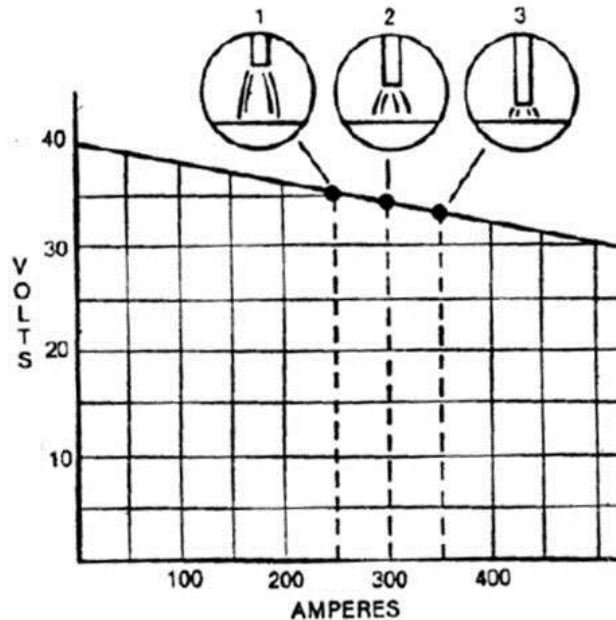


Fig 2.4 Curva Volt/Amp en máquina de voltaje constante (6).

El voltaje de circuito abierto cae hasta el voltaje de arco, cuando se enciende el arco y la máquina se somete a la carga de soldadura. La longitud del arco y el tipo de electrodo empleado determinan el valor de este voltaje: si el arco se alarga, el voltaje de arco aumenta y la corriente de soldadura disminuye (1).

2.1.2 Ventajas y limitaciones del proceso

2.1.2.1 Ventajas

- El equipo de soldadura es relativamente sencillo, no muy caro y portátil.
- El metal de aporte y los medios para su protección durante la soldadura proceden del propio electrodo revestido.
- No se necesita protección adicional mediante gases auxiliares o fundentes granulares.

- Es menos sensible al viento y a las corrientes de aire que los procesos por arco con protección de gas. No obstante, el proceso debe emplearse siempre protegido del viento, lluvia y nieve.
- Se puede emplear en cualquier posición, en lugares abiertos y cerrados, incluso con restricciones de espacio. No requiere conducciones de agua de refrigeración ni tuberías o botellas de gases de protección, por lo que puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de corriente.
- Es aplicable para una gran variedad de espesores, en general mayores de 2 mm.
- Es aplicable a la mayoría de los metales y aleaciones de uso normal

2.1.2.2 Limitaciones

- Es un proceso lento, por la baja tasa de deposición, y por la necesidad de retirar la escoria, por lo que en determinadas aplicaciones ha sido desplazado por otros procesos.
- Requiere gran habilidad por parte del soldador.
- No es aplicable a metales con bajo punto de fusión, como plomo, estaño, zinc y sus aleaciones, debido a que el intenso calor del arco es excesivo para ellos. Tampoco es aplicable a metales de alta sensibilidad a la oxidación como el Ti, Zr, Ta y Nb, ya que la protección que proporciona es insuficiente para evitar la contaminación por oxígeno de la soldadura.
- No es aplicable a espesores inferiores a 1.5 a-2 mm.
- La tasa de deposición es inferior a la obtenida con procesos con hilo continuo.
- El proceso no resulta productivo para espesores mayores de 38 mm. Serán más adecuados los procesos de soldadura por arco sumergido (SAW, por sus siglas en inglés) y soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW, por sus siglas en inglés).

2.1.3 Equipos y protección del proceso

2.1.3.1 Seguridad (2).

Según la base de datos de los líderes de seguridad nacional (NASD, por sus siglas en inglés), las medidas de seguridad necesarias para trabajar con soldadura con arco son las siguientes.

Recomendaciones generales sobre soldadura con arco.

- Antes de empezar cualquier operación de soldadura de arco, se debe hacer una inspección completa del soldador y de la zona donde se va a usar. Todos los objetos susceptibles de arder deben ser retirados del área de trabajo, y debe haber un extintor apropiado de PQS o de CO₂, a la mano, no sin antes recordar que en ocasiones puede tener manguera de espuma mecánica.
- Los interruptores de las máquinas necesarias para la soldadura deben poderse desconectar rápida y fácilmente. La alimentación estará desconectada siempre que no se esté soldando, y contará con una toma de tierra, como se muestra en la Fig. 2.5

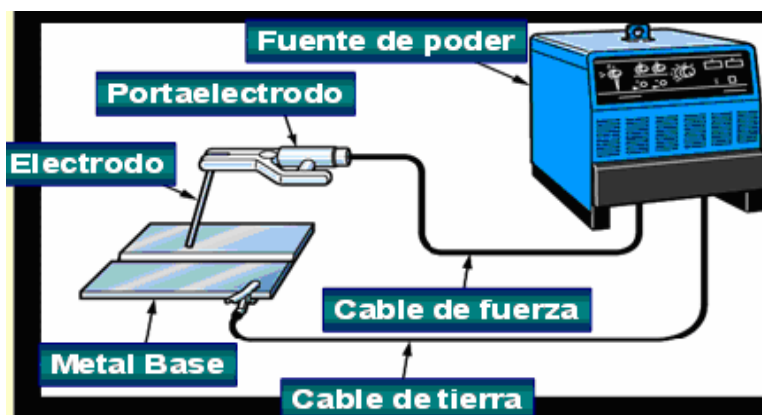


Fig. 2.5 Diagrama de Equipo Básico de Soldadura (5).

- Los porta electrodos no deben usarse si tienen los cables sueltos y las tenazas o los aislantes dañados.

- La operación de soldadura deberá llevarse a cabo en un lugar bien ventilado pero sin corrientes de aire que perjudiquen la estabilidad del arco. El área donde se esté soldando tendrá que ser protegido por lona alrededor para minimizar las corrientes de vientos.

2.1.3.2 Equipos de protección personal.

- La radiación de un arco eléctrico es enormemente perjudicial para la retina y puede producir cataratas, pérdida parcial de visión, o incluso ceguera. Los ojos y la cara del soldador deben estar protegidos con un casco de soldar homologado equipado con un visor filtrante de grado apropiado (2).
- La ropa apropiada para trabajar con soldadura por arco debe ser overoles cómodos, resistente a la temperatura y al fuego. Debe estar en buenas condiciones, sin agujeros ni remiendos y limpia de grasas y aceites. También se consideran las camisas estas deberán tener mangas largas, y los pantalones deben ser largos, acompañados con zapatos o botas aislantes que cubran, como se muestra en la Fig.2.6.



Fig.2.6 Equipo de seguridad del soldador de acuerdo a ANZI Z49.1 (1)

- Deben evitarse por encima de todo las descargas eléctricas, que pueden ser mortales, para ello, el equipo deberá estar convenientemente aislado (cables, tenazas y porta electrodos e ir recubiertos de aislante), así como seco, libre de grasas y aceite. Los cables de soldadura deben permanecer alejados de los cables eléctricos, y el soldador separado del suelo; mediante un tapete de caucho, madera seca o cualquier otro aislante eléctrico. Los electrodos nunca deben ser cambiados con las manos descubiertas o mojadas, ni con guantes mojados.

2.1.4 Uniones de metales

Todas las soldaduras serán aplicadas mediante el proceso de arco eléctrico de metal protegido, en modo manual, En cualquiera de los dos casos, deberá tener penetración completa y se deberá eliminar la escoria dejada por el cordón de soldadura, antes de aplicar el siguiente (3).

Con el fin de verificar si una soldadura ha sido bien aplicada se utilizan varias formas de inspección, entre ellas el ensayo de radiografía, líquidos penetrantes y algunas veces se utiliza el ultrasonido.

La prueba más comúnmente utilizada es la radiografía, ésta puede ser total o por puntos. Cuando se practica la radiografía por puntos en recipientes a presión, se toman por lo menos, una radiografía por cada 15 metros de soldadura y la longitud de cada radiografía será de 15 centímetros como mínimo.

Antes de aplicar cualquier soldadura, en recipientes a presión, se debe preparar un procedimiento de soldadura para cada caso en particular, el cual nos indica la preparación, diámetro del electrodo, etc., para cada tipo y espesor de material. Se realizan pruebas a los soldadores para asegurar que la soldadura será aplicada por personal debidamente calificado. Estas pruebas y procedimientos deberán apegarse estrictamente a las recomendaciones hechas por el Código A.S.M.E., Sección IX, Código de calderas y recipientes a presión.

El metal de aporte deberá ser compatible con el material base a soldar. Los electrodos más comúnmente empleados para soldar recipientes a presión de acero al carbono, son el 6010 y el 7018.

Se deben de evitar los cruces de dos o más cordones de soldadura. La distancia mínima entre dos cordones paralelos será de 5 veces el espesor de la placa, sin embargo, cuando sea inevitable el cruce de dos cordones, el Código A.S.M.E., Sección VIII División 1, Calderas y recipientes a presión, recomienda radiografiar una distancia mínima de 102 milímetros a cada lado de la intersección.

Se recomienda no aplicar soldadura a un recipiente a presión después de haber sido relevado de esfuerzos (15).

2.1.5. Tipos de juntas

Los esfuerzos de la costura circunferencial rigen solamente cuando la eficiencia de la junta circunferencial es menor que la mitad de la eficiencia de la junta longitudinal, cuando además de la presión interna, hay cargas adicionales (carga de viento, reacción de las silletas), que producen flexión o tensión longitudinales. La razón de esto es que el esfuerzo que se origina en la costura circunferencial es igual a la mitad del que se origina en la costura longitudinal (3).

De acuerdo con lo anterior, las fórmulas para la costura circunferencial son (15).

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} \quad P = \frac{2SEt}{R - 0.4t}$$

P= Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida, Lb/pulg²

S=Valor del esfuerzo del material, Lb/pulg².

E=Eficiencia de la junta

R= Radio interior, pulg.

t=Espesor de pared, pulg.

En los elementos que unen las aberturas al recipiente, puede ocurrir falla por las soldaduras o por el cuello de la boquilla en las combinaciones que se ilustran en las Fig. 2.7 A y B.

La resistencia de las soldaduras y del cuello de la boquilla en dichas combinaciones debe ser por lo menos igual al menor valor entre los siguientes criterios;

- 1.- La resistencia a la tensión del área de la sección transversal del elemento de refuerzo que se esté considerando.
- 2.- La resistencia a la tensión del área A ($A= d \times t_r$) menos la resistencia a la tensión del exceso de pared del recipiente A_1 .

El valor del esfuerzo permitido de las juntas es el valor de esfuerzo del material más débil unido por las soldaduras, multiplicado por los factores siguientes:

Soldadura de ranura a tensión	0.74
Soldadura de ranura de corte	0.60
Soldadura de filete a corte	0.49

El valor de esfuerzo cortante permitido para el cuello de las boquillas, es 0.70 por el valor de esfuerzo permitido del material de la boquilla. La resistencia de las juntas deberá considerarse para toda su longitud a cada lado del plano del área de refuerzo.

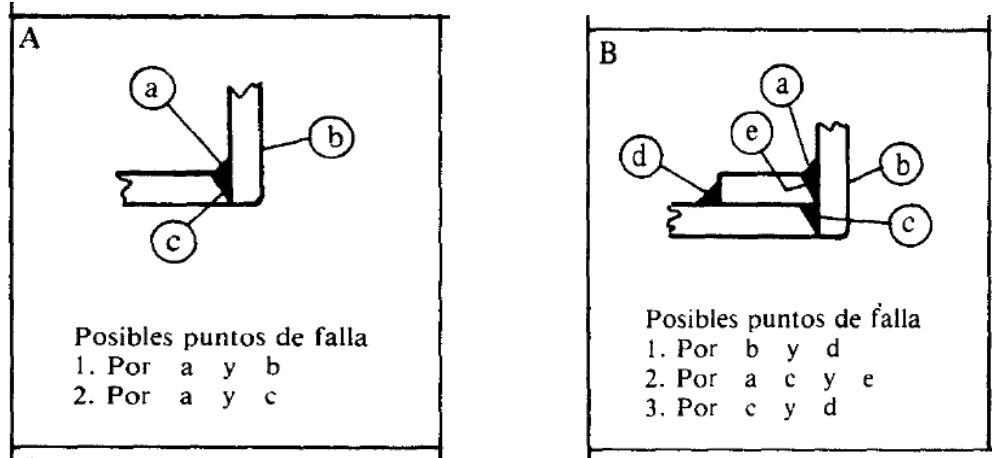


Fig.2.7 A y B Áreas de fallas de boquillas. (25).

Para “cerrar” recipientes cilíndricos, existen varios tipos de tapas, como las siguientes: Tapas planas, planas con ceja, únicamente abombadas, abombadas con ceja invertida, toriesféricas, semielípticas, semiesféricas, tapas 80-10, tapas cónicas, toricónicas, etc. como se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Eficiencias de las juntas de las soldaduras (3)

EFICIENCIA DE SOLDADURAS VALORES DE "E"				
DIBUJO	TIPO DE UNIONES NORMA UW-12	EFICIENCIA DE LA UNIÓN CUANDO LA JUNTA ESTA RADIOGRAFIADA		
		AL 100%	POR PUNTOS	SIN
	SOLDADURA A TOPE UNIDA CON SOLDADURA POR AMBOS LADOS, O BIEN POR OTRO MÉTODO CON LO CUAL SE OBTENGA LA MISMA CALIDAD DEL METAL DE APORTE EN AMBOS LADOS DE LA SUPERFICIE SOLDADA.SI SE USA LA SOLERA DE RESPALDO, DEBERA QUITARSE DESPUÉS DE APLICAR LA SOLDADURA Y ANTES DE RADIOGRAFIAR.	1	0.85	0.7
	SOLDADURA SIMPLE A TOPE CON SOLERA DE RESPALDO LA CUAL PERMANECERÁ EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE	0.90	0.80	0.65
	UNIÓN SIMPLE POR UN SOLO LADO SIN SOLERA DE RESPALDO	-	-	0.60
	UNIÓN TRANSLAPADA CON DOBLE FILETE	-	-	0.55
	UNIÓN TRANSLAPADA CON FILETE SENCILLO Y TAPÓN DE SOLDADURA	-	-	0.50
	UNIÓN TRANSLAPADA CON FILETE SENCILLO SIN TAPÓN DE SOLDADURA	-	-	0.45

2.1.6 Defectos presentados en el proceso

En medio de la soldadura, pueden ocurrir discontinuidades graves que reducirán la apariencia e integridad de la soldadura. Un ejemplo de estas son las discontinuidades en una soldadura como grietas longitudinal, grietas circunferencial, falta de penetración, falta de fusión, inclusiones de escoria, concavidad en la raíz, poros y socavados. Estos pueden ser de corte sesgado, en el que se produce una ranura a lo largo de los dos lados de la soldadura. Las soldaduras socavadas pueden dar lugar a la inclusión de óxidos, dando lugar a la oxidación, o pueden directamente perjudicar la resistencia de la soldadura.

La inspección en servicio se realiza por una serie de técnicas de ensayos no destructivos (PND), luego de una adecuada preparación y limpieza de la superficie a inspeccionar. Los métodos PND incluyen: inspección visual (VT), que puede ser acompañada con videos remotos o por visión óptica. Se tienen la técnica de medición de espesores por ultrasonido, líquidos penetrantes (PT), partículas magnéticas (MT), ensayo radiográfico, los métodos de VT, PT Y MT son sencillos y comúnmente son los más usados para los exámenes de defectos superficiales y sub-superficiales en inspecciones de servicio, como en inspecciones luego de realizados trabajos de reparación por soldadura.

Considerando las reparaciones de los defectos mencionados anteriormente se describe en qué consisten sus características y formación.

Socavamiento

Este término se usa para describir una de dos situaciones. La primera es cuando se derrite la pared lateral de un surco de soldadura en el borde de la unión con el metal base, con la formación de un nicho agudo en la pared lateral en el área donde se va a depositar la siguiente soldadura. La otra es cuando se reduce el espesor del metal base en la línea donde las uniones de la capa final de metal de soldadura se ligan a la superficie del metal base.

Ambos tipos de socavamiento suelen deberse a la técnica de soldadura específica empleada por el operador. Si el amperaje es elevado y el arco largo, aumenta la tendencia al socavamiento. Otras causas son una posición inadecuada del electrodo o una velocidad de recorrido incorrecta, así como tardarse demasiado en los cambios de dirección de una soldadura zigzagueante.

Generalmente el grado de socavamiento que se permite en una soldadura terminada está determinado por el código de fabricación empleado, y es necesario seguir los requisitos especificados como se ve en la Fig. 2.8, debido a que un socavamiento excesivo puede reducir apreciablemente la resistencia mecánica de la unión.

Este tipo de socavamiento puede detectarse mediante un examen visual de la soldadura terminada, y puede corregirse mediante abrasión de fusión o depositando una fusión de material de aporte adicional.

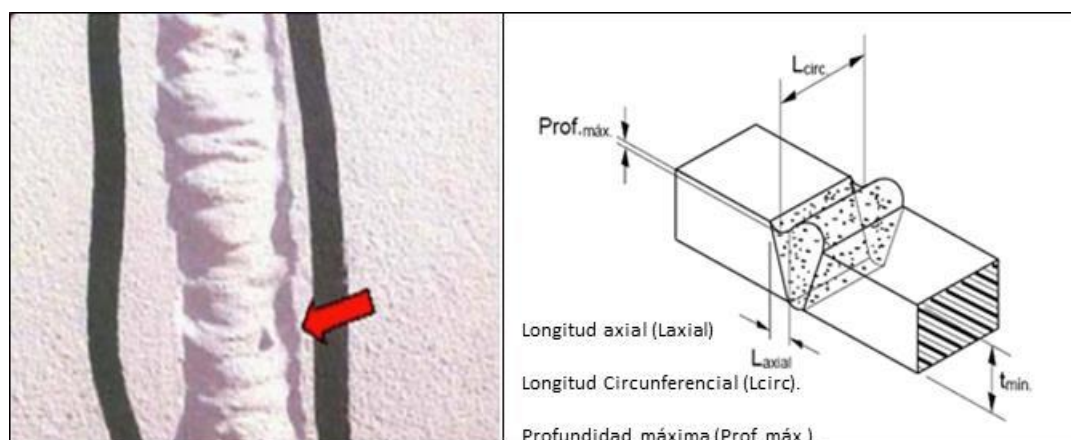


Fig. 2.8 Comportamiento de un socavado en soldadura (7)

Porosidad

Son bolsas de gas o huecos en el metal de la soldadura, y son el resultado de la formación de gases por ciertas reacciones químicas que ocurren durante la soldadura. La porosidad puede prevenirse empleando el amperaje apropiado y manteniendo un arco con la longitud correcta como se muestran en la Fig. 2.9.

A continuación se enlistan los distintos tipos de poros generados durante la aplicación de la soldadura.

a) Poros en los primeros centímetros de la costura

Son frecuentemente producidos por electrodos húmedos debido al calentamiento del electrodo durante la soldadura, la humedad en el revestimiento se vaporiza, produciéndose la formación de poros. Los electrodos básicos tienen tendencia a la formación de poros iniciales, en caso de soldar con arco demasiado largo. También pueden presentarse poros al tener contacto con un electrodo de revestimiento básico en una base completamente fría. Es bastante fácil evitarlo.

El soldador debe encender el electrodo aproximadamente 1 cm. detrás del cráter final del cordón anterior, esperando hasta que adquiera buena fluidez para avanzar sobre el cráter final y continuar el cordón. Otra alternativa consiste en demorar un poco sobre el punto de partida, antes de iniciar el avance del electrodo.

b) Poros al final del cordón

Se presentan, cuando se suelda el electrodo con sobrecarga de corriente, calentándose por esta razón hasta la temperatura de ebullición del alambre puede evitarse reduciendo el amperaje.

c) Poros que se presentan en forma regular sobre toda la longitud del cordón

La causa reside generalmente en el material base. Por ejemplo, aceros con alto contenido de azufre o fósforo no pueden soldarse libres de poros cuando se usan electrodos con revestimiento ácido. En muchos casos el remedio es usar electrodos básicos.

d) Nidos de poros no visibles en la superficie Se deben, por lo general, a un manejo incorrecto del electrodo. Por una oscilación demasiado pronunciada o una separación excesiva entre los bordes de las planchas a soldar, el metal de

aporte se solidifica por acceso del aire e insuficiente protección de la escoria, volviéndose poroso.

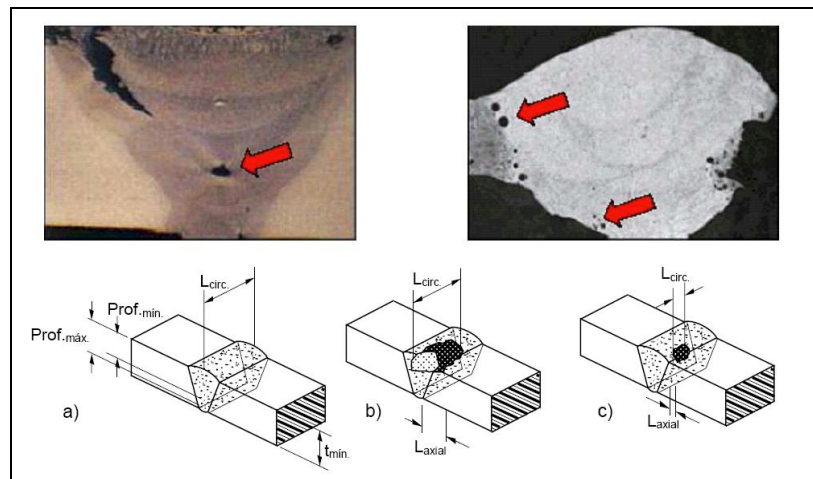


Fig.2.9 Muestra de a) Poros túnel b) Poros agrupados c) Poros (7)

La aplicación del material de aporte en las uniones de metales ferrosos puede presentar indicaciones como las mencionadas anteriormente originadas por las siguientes causas;

- Exceso de calor.
- Electrodo inadecuado.
- Manipulación incorrecta
- Arco muy intenso velocidad inadecuada, saliéndose de los límites del cordón con técnica pobre.

2.1.7 Recipientes a presión

El diseño mecánico de recipientes a presión normalmente se basa en la resistencia del material a cargas consideradas estáticas: presión interna o presión externa, peso propio, peso del fluido, viento y sismo. Sin embargo, análisis realizados a este tipo de equipos han evidenciado que algunas de estas cargas pudieran tener un comportamiento cíclico, tales como: cambios en los valores de presión aplicados, cambios de temperatura en el tiempo, restricciones a la expansión o a la contracción para variaciones normales de temperatura, vibraciones, variaciones en cargas de viento, etc. (3).

Los diferentes tipos de recipientes a presión que existen, se clasifican de acuerdo a la Fig. 2.10 donde se considera un diagrama de los diferentes tipos de recipientes que se presentan en el área industrial para servicios:

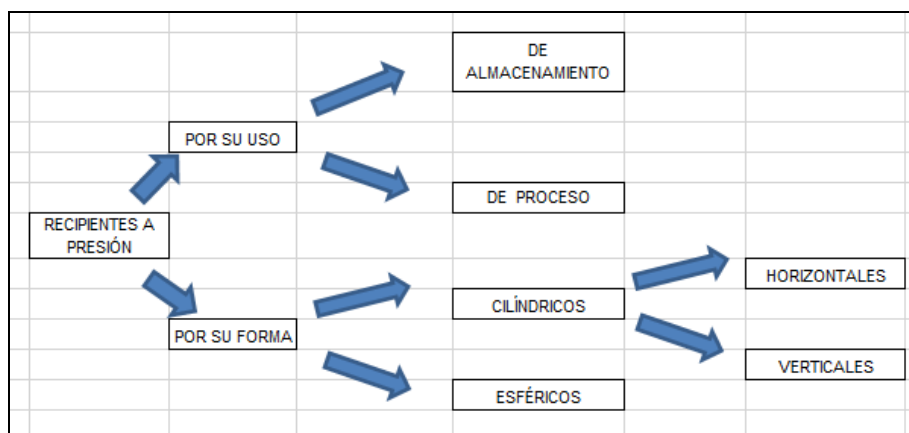


Fig. 2.10 Clasificación de los recipientes

Los recipientes a presión son usualmente esféricos o cilíndricos, con cabezales de diferentes configuraciones geométricas y boquillas resistentes a las presiones. La presión de estos recipientes puede ser tan baja como 0.04psi o tan altas como 300psi. La Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME, por sus siglas en inglés), código de calderas y recipientes a presión, Sección VIII, Division1, especifica un rango de presiones internas de 1,4psi a 4000psi. Asimismo, equipos a presión como los tanques de almacenamiento el Instituto Americano del Petróleo (API, por sus siglas en inglés), son diseñados para presiones internas restringidas a no más de la presión generada por el cabezal estático del fluido contenido en el tanque.

De acuerdo a los códigos de diseño para recipientes a presión que se utilizan para la construcción en diferentes partes del mundo se muestra la Tabla 2.3 donde se especifica la normatividad aplicada en algunos países.

Tabla 2.3 Códigos para el diseño, fabricación y certificación de recipientes a presión (8).

PAISES	CÓDIGOS
Alemania Occidental	A.D.Merk blatt Code
Estados Unidos de Norteamérica	A.S.M.E Code sección VIII Div.1 y 2
Inglaterra	British Code BS 5 500
Italia	Italian Pressure Vessel Code
Japón	Japanesse Presure Vessel Code
Japón	Japanesse Std. Pressure Vessel Construction

2.1.7.1 Por su uso

Los podemos dividir en recipientes de almacenamiento y en recipientes de proceso.

Los primeros sirven únicamente para almacenar fluidos a presión, y de acuerdo con su servicio son conocidos como tanques de almacenamiento, tanques de día, tanques acumuladores, etc.

Los recipientes a presión de proceso, tienen múltiples y muy variados usos, entre ellos podemos citar los cambiadores de calor, reactores, torres fraccionadoras, torres de destilación, etc.

2.1.7.2. Por su forma

Por su forma, los recipientes a presión, pueden ser cilíndricos o esféricos.

Los primeros pueden ser horizontales o verticales, y pueden tener, en algunos casos, chaquetas para incrementar o decrecer la temperatura de los fluidos según el caso de acuerdo a la Fig. 2.11.

Los recipientes esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamiento, y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes a altas presiones. Puesto que la forma esférica es la forma “natural” que toman los cuerpos al ser sometidos a presión interna, ésta sería la forma más económica para almacenar fluidos a presión, sin embargo, la fabricación de este tipo de recipientes es mucho más cara en comparación con los recipientes cilíndricos

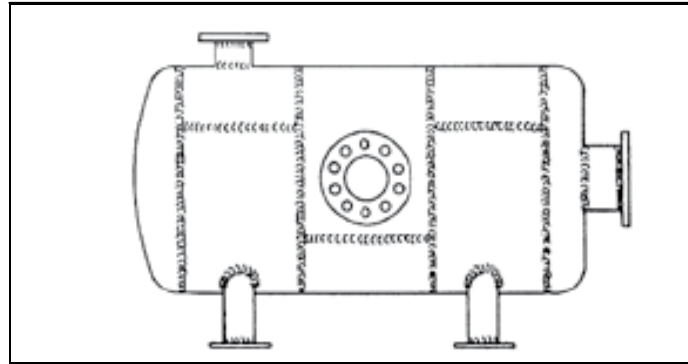


Fig. 2.11 Representación de un recipiente a presión (9)

El comportamiento del material bajo condiciones de fatiga varía significativamente del comportamiento reflejado por las relaciones normales esfuerzo – deformación. El daño acumulado durante cada ciclo de carga y la generación repetitiva de esfuerzos en regiones localizadas del recipiente, tales como en discontinuidades o en concentradores de esfuerzo, pueden causar el crecimiento de grietas existentes hasta la falla. Es común observar que la resistencia del material de un recipiente se ve disminuida como consecuencia de un inadecuado diseño en esas zonas localizadas

2.1.7.3 Propiedades que deben tener los materiales para satisfacer las condiciones de servicio.

2.1.7.3.1.- Propiedades mecánicas

Al considerar las propiedades mecánicas del material es deseable que tenga buena resistencia a la tensión, esta propiedad es considerada en los materiales con que se construyen los recipientes a presión y se establecen los esfuerzos de diseño en la Tabla 2.4 se muestra las propiedades mecánicas del material SA 516 GR.70 (8).

Tabla 2.4 Propiedades mecánicas del SA 516 gr.70

Las propiedades Mecánicas del material SA 516 GR.70	
PROPIEDADES	GRADO
La dureza de tensión de (Ksi)	70-79
La dureza de tensión de (Mpa)	485-620
La dureza de sumisión (Ksi)	260
continuación en 200 mm(min %)	17
continuación en 50 mm(min %)	21
Espesor max/min	205

2.1.7.3.2.- Propiedades químicas

La principal propiedad química que se debe considerar en el material para la fabricación de recipientes a presión es su resistencia a la corrosión. Este factor es de gran importancia. En el material SA 516 GR.70 como se muestra en la Tabla 2.5, se consideran los componentes químicos, un material mal seleccionado causará problemas, como pueden ser: Reposición del equipo corroído. Un material que no sea resistente al ataque corrosivo puede dañarse en poco tiempo de servicio.

Tabla 2.5 Propiedades químicas del SA 516 gr.70

Componente químico del ASTM A 516 GR.70					
Carbono (C)	%	Manganeso (Mn)	%	Fósforo (p)	%
12.55 mm y menor	0.27	12.55 mm o bajo		(Máx)	0.35
12.50-50 mm	0.28	Tratamiento térmico	0.85-1.20		
50-100 mm	0.3	Análisis de producto, más 12.5 mm	0.79-1.30 0.85-1.20		
100-200 mm	0.31	Análisis caliente	0.79-1.30		
> 200 mm	0.31	Análisis de producto			
Azufre (s)	%	Sílice (Si)	%		
	0.035	Tratamiento térmico de producto	0.15-0.40		
		Análisis	0.13-0.45		

La contaminación o pérdida del producto, cuando los componentes de los recipientes a presión presentan perforaciones en las paredes metálicas, los productos de la corrosión contaminan el producto, el cual en algunos casos es corrosivo.

2.1.7.3.3.- Soldabilidad

Los materiales usados para fabricar recipientes a presión deben tener buenas propiedades de soldabilidad, dado que la mayoría de los componentes son de construcción soldada. En el caso que se deban soldar materiales distintos, estos deberán ser compatibles en lo que a soldabilidad se refiere. Un material, cuanto más elementos contenga, mayores precauciones deberán tomarse durante los procedimientos de soldadura, de tal manera que se conserven las características que proporcionan los elementos de aleación.

2.1.7.4 Boquillas en recipientes a presión

Todos los recipientes a presión deberán estar provistos de boquillas y conexiones de entrada y salida del producto, válvula de seguridad, entrada de hombre, venteo, etc.; A continuación se enlistan algunas de las boquillas que se deben instalar en los recipientes a presión (4):

- A.- Entrada (s) de producto.
- B.- Salida (s) de producto.
- C.- Drenado.
- D.- Venteo.
- E.- Entrada (s) de hombre.
- F.- Conexión para válvula de seguridad.
- G.- Conexión para manómetro.
- H.- Conexión para termómetro (termopozo).
- I.- Conexiones para indicadores de nivel.
- J.- Conexiones para control de nivel, etc.

De acuerdo con el tipo de recipiente a presión que se vaya a diseñar, éste puede tener una o varias boquillas de las antes mencionadas. Los diagramas de tubería e instrumentación nos indican cuantas boquillas, de que diámetro y para qué servicio se deben instalar en dichos recipientes.

En concordancia con el Código A.S.M.E., Sección VIII División 1, todas las boquillas mayores de 3 pulgadas de diámetro, instaladas en recipientes a presión, deberán tener una placa de refuerzo en la unión del cuello de la boquilla con el recipiente. En México, habitualmente se refuerzan también las boquillas de 3 pulgadas, lo cual es aconsejable.

2.1.7.5. Requerimientos de soldadura para boquillas

Se considera que la soldadura que une la boquilla al cuerpo del recipiente es de penetración completa, por lo que el refuerzo que aporta dicha soldadura se

considera parte integral del cuerpo del equipo, tal y como se muestra en la Fig. 2.12.

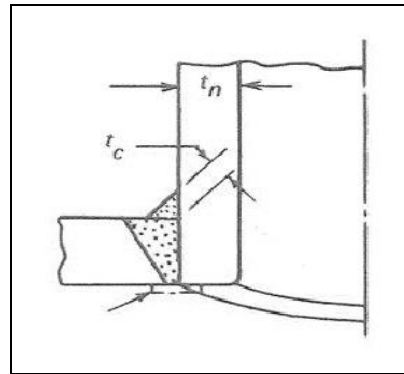


Fig 2.12. UW-16.1 ASME (15)

El procedimiento para dimensionar las soldaduras de las boquillas consiste en lo siguiente:

- 1) Se calcula inicialmente t_{\min} =menor ($3/42''$, espesor corroído de la sección más delgada de la junta).
- 2) Como siguiente paso se calcula t_c =menor ($1/4''$, $0,7 t_{\min}$) como el mínimo espesor requerido por la soldadura.
- 3) Se selecciona por exceso un cordón de soldadura estándar para facilitar la fabricación del componente.

A través de este procedimiento se obtiene una soldadura fuerte y confiable para evitar posibles fugas por la boquilla. Posteriormente se inspeccionan las uniones soldadas, ya que al ser a filete no pueden ser examinadas radiográficamente, sino únicamente por inspección VT, PT para garantizar su integridad.

2.1.8 Electrodo.

Clasificación AWS-ASTM

Debido a que hay muchos tipos diferentes de electrodos en el mercado, puede resultar muy confuso escoger los correctos para el trabajo que se va a ejecutar. Como resultado de la Sociedad Americana de la Soldadura (AWS, por sus siglas en inglés) estableció un sistema numérico aceptado y utilizado por la industria de la soldadura las cuales se muestran en la Tabla 2.6.

Nomenclatura de los electrodos para acero dulce.

Se especifican cuatro o cinco dígitos con la letra E al comienzo, detallados a continuación:

a) Prefijo E de electrodo para acero dulce

b) Resistencia a la tracción mínima del depósito en miles de libras por pulgada cuadrada (Lbs/pulg²)

c) Posición de soldar.

1- Toda posición.

2- Plana horizontal.

d) Tipo de revestimiento, corriente eléctrica y polaridad a usar.

CC: Corriente continúa.

CA: Corriente alterna.

PD: Polaridad directa (Electrodo negativo).

PI: Polaridad invertida (Electrodo positivo).

La clasificación del electrodo E7018-1 H8 R involucra la información siguiente:

E: Electrodos

70: Indica 70,000 Libras/pulg². (PSI) de resistencia mínima a la tensión del metal de soldadura.

1.- Significa que el electrodo puede usarse en posiciones plana, vertical, horizontal y sobre cabeza.

8.- Revestimiento de bajo hidrógeno con potasio y polvo de hierro; electrodo para ser empleado con corriente alterna o corriente directa electrodo positivo.

1.- Indica que cumple con los requisitos de tenacidad (resistencia al impacto) mejorada (20 libras-pie a -50° F o 27 Joules a -47°C).

H8: Significa que el metal depositado con este electrodo contiene como máximo 8 ml de H₂/100 gramos de metal depositado (cuando es sometido a uno de los métodos de prueba establecidos en la norma ANSI/AWS A4.3)

R: Denota que el electrodo cumple con los requisitos de humedad absorbida.

Tabla 2.6 Sistema de clasificación de los electrodos (9)

		E X X X	
		ELECTRODO	
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN MILES DE PSI		|	
POSICIONES DE SOLDEO		|	
1: PLANA, HORIZONTAL, VERTICAL, SOBRECABEZA		|	
2: PLANA Y HORIZONTAL		|	
4: PLANA, HORIZONTAL, VERTICAL DESCENDENTE		|	
TIPO DE REVESTIMIENTO		|	
CORRIENTE Y POLARIDAD		|	
DIGITO	TIPO DE REVESTIMIENTO	CORRIENTE - POLARIDAD	
0	CELULOSA CON SODIO	CD	(+)
1	CELULOSA CON POTASIO	CA o CD	(+ o -)
2	RUTILO CON SODIO	CA o CD	(-)
3	RUTILO CON POTASIO	CA o CD	(-)
4	RUTILO CON POLVO DE HIERRO	CA o CD	(+ o -)
5	DE BAJO HIDRÓGENO CON SODIO	CD	(+)
6	DE BAJO HIDRÓGENO CON POTASIO	CA o CD	(+)
7	HIERRO EN POLVO Y ÓXIDOS DE HIERRO	CA o CD	(+ o -)
8	BAJO HIDRÓGENO CON POLVO DE HIERRO	CA o CD	(+)

Ejemplos: E 6013; E 7018; E 11018.

Los electrodos están compuestos de dos piezas:

El alma: Es un alambre (de diámetro original 5-5 mm) que se comercializa en rollos continuos. Tras obtener el material, el fabricante lo decapa mecánicamente (a fin de eliminar el óxido y aumentar la pureza) y posteriormente lo trefila para reducir su diámetro.

El revestimiento: Se produce mediante la combinación de una gran variedad de elementos (minerales varios, celulosa, mármol, aleaciones, etc.) convenientemente seleccionados y probados por los fabricantes, que mantienen el proceso, cantidades y dosificaciones en riguroso secreto.

La complejidad de los revestimientos de electrodos para proceso SMAW, es tal que pequeñas modificaciones de componentes pueden imprimir apreciables variaciones en el comportamiento la soldadura y en la calidad de la unión o el depósito, por lo que, a pesar de la larga historia de este proceso, aún siguen teniendo vigencia las investigaciones sobre el desarrollo, perfeccionamiento y desempeño de estos tipos de consumibles

2.1.9 Complejos de producción del proceso en los recipientes a presión

Las plataformas fijas son las más utilizadas para los campos en desarrollo. Actualmente se tiene el 90% del aceite producido en campos marinos que proviene de pozos perforados en este tipo de plataformas (10).

Los complejos de producción son por lo general, un grupo de plataformas fijas comunicadas entre sí por medio de estructuras (puentes), que permiten el tendido aéreo de tuberías que transportan diversos tipos de fluidos, y son almacenados en recipientes, para luego ser direccionados a otros centros de proceso hasta llegar a tierra. Un complejo está integrado por las siguientes plataformas (24):

- 1) Plataforma habitacional
- 2) Plataforma de compresión
- 3) Plataforma de enlace
- 4) Plataforma de perforación.
- 5) Plataforma de producción (pueden ser varias)

Plataforma de enlace: En esta plataforma se concentran las llegadas de los oleogasoductos provenientes de las plataformas satélites, los cuales se conectan al cabezal colector general, que tiene la función de distribuir el aceite hacia las plataformas de producción. También de esta plataforma, salen las tuberías por las que se envía el aceite ya procesado (oleoductos). Adicionalmente, en esta plataforma se encuentran instaladas las trampas para recuperar o enviar los dispositivos mecánicos (diablos), utilizados en la limpieza de los ductos.

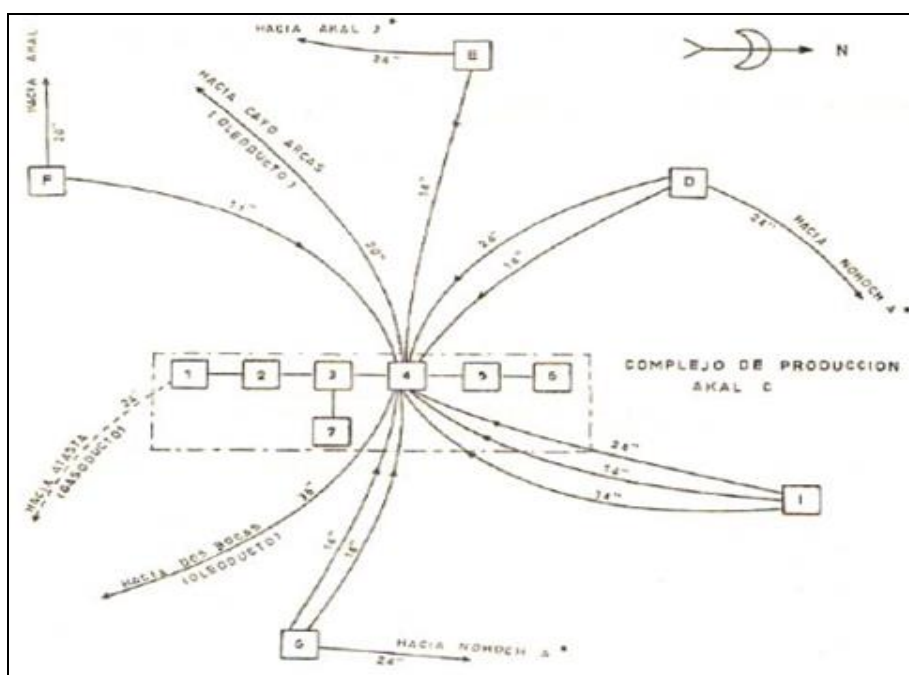
Plataforma de compresión: Esta plataforma contiene el equipo necesario para manejar y enviar el gas natural obtenido en el proceso de separación del aceite.

Plataforma de Perforación: Es idéntica a las plataformas satélites, con la

diferencia que en ésta, la línea de descarga de los pozos se conecta directamente al cabezal colector general, sin que exista ningún tendido submarino como en las otras.

Plataforma de producción: Por lo general en el campo, los complejos de producción contienen de dos a tres plataformas de producción, dependiendo del volumen de aceite que sea necesario manejar. En estas plataformas se efectúa la separación y medición del gas y el aceite; asimismo, mediante equipo de bombeo se envía el crudo, a los centros de distribución, almacenamiento o refinación.

El diagrama de flujo de los hidrocarburos en la batería Akal C, está representado en la Fig. 2.13, como puede observarse la mezcla entra a cada una de las plataformas y son distribuidos a tuberías y recipientes a presión como los separadores de la primera etapa, que operan normalmente a una presión de 100 lb/pulg.², y es en estos dónde se libera la mayor parte del gas disuelto en el aceite (aproximadamente el 85%); el gas separado se hace pasar a través de un rectificador a fin de quitarle los condensados, y se envía directamente a compresión. Mientras tanto el aceite recuperado se traslada al separador de la segunda etapa (tanque de balance) el cual opera a una presión de 14.22 lb/pulg.², y es dónde se libera el resto del gas disuelto; éste último también se mide, se rectifica y se envía a compresión. El aceite recuperado en esta etapa, se manda a un sistema de bombeo donde se le suministra energía necesaria para su transporte; pero antes de enviarlo a cualquier lado, se conduce a través del paquete de medición, en donde se determina el volumen de aceite crudo que sale del sistema (24).



PLATAFORMA SATÉLITE	No. DE POZOS	COMPLEJO DE PRODUCCIÓN
AKAL-D	10	1.- PLATAF. DE COMPRESIÓN
AKAL-E	9	2.- PLATAF. DE PRODUCCIÓN AKAL-C3
AKAL-F	11	3.- PLATAF. DE PRODUCCIÓN AKAL-C2
AKAL-G	10	4.- PLATAF. DE ENLACE
AKAL-I	6	5.- PLATAF. DE PERFORACIÓN
PLATAFORMA DE PERFORACIÓN		6.- PLATAF. DE PRODUCCIÓN AKAL-C-1
AKAL-C	1	7.- PLATAF.HABITACIONALES

Fig. 2.13 Distribución del complejo Akal-C.

2.1.10 Gas combustible

Las plataformas de compresión localizadas en la sonda de Campeche tienen la función de comprimir y acondicionar el gas amargo el cual proviene de las plataformas de producción de cada complejo. Esto con fin de enviarlo a tierra previo paso por las plataformas de enlace, cada módulo instalado en las plataformas mencionadas tienen la capacidad de comprimir de 90 a 110 mmpcsd.

El gas licuado del petróleo (**Glp**): Es la mezcla de gases condensables

presentes en el gas natural o disuelto en el petróleo. Los componentes del GLP, aunque a temperatura y presión ambientales son gases, son fáciles de condensar, de ahí su nombre. En la práctica, se puede decir que los GLP son una mezcla de propano y butano. El propano y butano están presentes en el petróleo crudo y el gas natural, aunque una parte se obtiene durante el refinado de petróleo, sobre todo como subproducto de la destilación fraccionada catalítica (FCC, por sus siglas en inglés Fluid Catalytic Cracking).

2.1.11 Gas de baja presión

El gas de alta y baja presión que sale de la batería, bajo condiciones normales de operación, se envía a la plataforma de compresión donde se deshidrata, se endulza una parte para utilizarlo como combustible, y el resto se recomprime para enviarlo a las instalaciones de procesamiento en tierra. Cuando el gas no puede ser manejado en dicha plataforma por cualquier anomalía en el equipo, éste se manda hacia el quemador.

Los separadores de la batería Akal C-I, son de tipo horizontal debido a que el aceite producido en el campo Cantarell, tiene tendencia a formar espuma estable; a la gran capacidad que tienen para manejar gas y a la facilidad con que puede instalarse. La formación de espuma en los separadores, ocasiona arrastre de hidrocarburos líquidos en la corriente de gas, lo cual debe evitarse para no quemarlos, ni enviarlos a compresión. Esto se logra inyectando en forma continua un reactivo antiespumante a la mezcla de hidrocarburos, antes de que entre al proceso de separación. Cabe también indicar que con los separadores horizontales, al tener mayor área de interfase gas-líquido se logra una mejor separación del gas disuelto en el aceite.

2.1.12 Gas Natural: Es una mezcla de hidrocarburos que se encuentran en fase gaseosa, cuya composición es principalmente metano y en menores cantidades de propano y butano, el término “gas natural” se aplica hoy en el sentido estricto a las mezclas de gases combustibles, hidrocarburos o no, que se encuentran en el subsuelo donde, en ocasiones se hallen asociados con petróleo líquido.

La eliminación de compuestos ácidos (H_2S y CO_2), son mediante el uso de las tecnologías adecuadas, el gas alimentado se denomina “gas amargo” el producto “gas dulce” y el proceso se conoce generalmente como “endulzamiento”.

Los rectificadores se colocan en la descarga del gas de primera y segunda etapa, a fin de retener los líquidos que pudiera llevar la corriente de gas que se envía a las compresoras o al quemador. Estos dispositivos también son horizontales; y a diferencia de los separadores convencionales, carecen de accesorios.

2.2 Clasificación de los materiales SA-516 GR.70

El código ASME SEC VIII DIV.1 indica la forma de suministro de los materiales más utilizado. A continuación se dan algunos ejemplos del material, su especificación y forma de suministro. Ver Tabla 2.7 USC-23 (15).

Tabla 2.7 USC-23 esfuerzos máximos del SA 516

SECCIÓN VIII DIV. I							
TABLA USC -23 (CONTINUACIÓN)							
VALORES DE ESFUERZOS MAXIMOS PERMISIBLES EN TENSIÓN PARA ACERO AL CARBONO Y DE BAJA ALEACIÓN							
ADVERTENCIA: VEA UW-12 PARA RECIPIENTES CONSTRUIDOS SEGÚN LA PARTE UW							
No. ESPECIFICACIÓN	GRADO	COMPOSICIÓN NOMINAL	No. P	No. GRUPO	NOTAS	CEDENCIA MIN. ESPECIFICADA K(Lb/Plg2)	TENSIÓN MIN. ESPECIFICADA K(Lb/Plg2)
SA 516	55	C-Si	1	1	En caso de exposición prolongada a temperaturas arriba de 427°C, la fase de carburo del acero al carbono se puede convertir en	30	55
	60	C-Mn-Si	1	1	En caso de exposición prolongada a temperaturas arriba de 427°C, la fase de carburo del acero al carbono se puede convertir en grafito.	32	60
	65	C-Mn-Si	1	1	En caso de exposición prolongada a temperaturas arriba de 427°C, la fase de carburo del acero al carbono se puede convertir en grafito.	35	65
	70	C-Mn-Si	1	2	En caso de exposición prolongada a temperaturas arriba de 427°C, la fase de carburo del acero al carbono se puede convertir en grafito.	38	70

El ASME Sec IX en QW-403.4 considera que se harán calificaciones de procedimiento de soldar usando un metal base del mismo grado, u otro metal base de la lista ubicado en el mismo grupo de acuerdo a la sección QW-422. En

donde el metal base que se va a usar en soldadura de producción, son juntas de metales base de dos grupos diferentes, se debe hacer una calificación de procedimiento para la combinación posible de metales base, aun cuando se hayan hecho pruebas de calificación de procedimiento para cada uno de los dos metales base soldado a sí mismo, en la Tabla 2. 8 QW/QB-422 se muestran los valores y números P de grupos de los materiales.

Tabla 2.8 QW/QB-422 Números P

QW/QB NÚMEROS-P Y NÚMEROS S-FERROSOS (CONTINUA)											
AGRUPAMIENTO DE METALES BASE PARA CALIFICACIÓN											
No. ESPECIFICACIÓN	TIPO O GRADO	No. UNS	TENSIÓN MIN. ESPECIFICADA K(Lb/Plg ²)	SOLDADURA				SOLDADURA FUERTE		COMPOSICIÓN NOMINAL	FORMA DE PRODUCTO
				No. P	No. GRUPO	No. S	No. GRUPO	No. P	No. S		
SA-516	55	K01800	55	1	1	.....	.....	101	.....	C-Si	Placa
	60	K02100	60	1	1	.....	.....	101	.....	C-Mn-Si	Placa
	65	K02403	65	1	1	.....	.....	101	.....	C-Mn-Si	Placa
	70	K02700	70	1	2	.....	.....	101	.....	C-Mn-Si	Placa

2.2.1 Características del material SA-516 Gr.70-

La especificación de las placas de acero al carbono destinado principalmente para el servicio en recipientes a presión soldados está considerada bajo la composición química nominal que se presenta en la Tabla 2.9. El material está de acuerdo a los parámetros de la Tabla 1 del ASME Sec. VIII DIV.I, Parte A (15).

Tabla 2.9. Composición química del Acero SA-516-Gr.70

Composición (%) Analisis de productos				
C	Mn	P _{máx.}	S _{máx.}	Si
0.27	0.79-1.30	0.035	0.035	0.13-0.45
Rangos de espesores menores a 12.5 mm				

2.3 Normas que regulan la inspección y reparación de soldaduras en recipientes a presión.

Las normas incluyen códigos, especificaciones, prácticas recomendadas, guías, etc. Ellas describen los requerimientos técnicos para un material, proceso, producto, sistema o servicio, además de que indican los procedimientos, métodos, equipos o ensayos para determinar que dichos requerimientos se han mantenido.

Las normas publicadas se convierten en mandatorias cuando son especificadas por una jurisdicción gubernamental, o son referenciadas por documentos contractuales. Muchas normas contienen también secciones o apéndices no mandatorios que pueden emplearse como guía de referencia o práctica recomendada cuando el usuario lo entienda.

Existen códigos y normas que regulan la inspección en servicio y la reparación por soldadura de recipientes a presión, dentro de los códigos que podemos considerar para el sustento de las reparaciones de las indicaciones podemos mencionar a los siguientes:

Como se conoce el código de calderas y recipientes a presión ASME Sec. VIII Div.1, es el que regula el diseño, fabricación e inspección en los Estados Unidos y que se utiliza ampliamente a nivel mundial (15).

ASME, que en su sección VIII, División 2, indica los métodos de cálculo, así como los requisitos mínimos exigidos a los materiales, detalles constructivos y pruebas que deben satisfacer los equipos a presión. Aun solapándose los campos de aplicación de ambas divisiones, en la práctica la división 1 se utiliza para el diseño y construcción de equipos sometidos a vacío, baja, media y alta presión; por otro lado la división 2 se reserva a los equipos de alta y muy alta presión.

Otras normas internacionales, de uso menos extendido son: la inglesa B.S., la francesa AFNOR o la italiana ANCC-VSR. En España todos los recipientes sometidos a presión están regulados por el “Reglamento de aparatos a presión” (RAP), complementado con las “Instrucciones Técnicas Complementarias” (ITC) que les son aplicables (21).

El ANSI/NB 23 código de inspección del comité nacional NBIC, y el ANSI/API-510 — Código de inspección de recipientes a presión del API, constituyen códigos que por su parte regulan la inspección, mantenimiento, reparaciones y alteraciones de calderas y recipientes a presión una vez que son puestos en servicio en Estados Unidos USA.

El NBIC establece en la sección R201; una reparación es cualquier trabajo necesario para restaurar una caldera o recipiente a presión hasta llevarlo a condiciones de operación segura y satisfactoria, garantizándose la no desviación del diseño original (16).

El propósito, por tanto, del NBIC es mantener la integridad de tales calderas y recipientes después que han sido puestos en servicio suministrando las reglas y guías para la inspección después de la instalación, las reparaciones, alteraciones, de forma que se asegure que estos equipos puedan continuar empleándose de forma segura. Según estos códigos se requiere de procedimientos escritos para ejecutar una reparación o alteración, y todos los trabajos se deben ejecutar de manera que mantengan la integridad original del Código ASME.

El NBIC hace referencia en muchas ocasiones para los trabajos de inspección y reparación por soldadura a los requerimientos de la sección aplicable del Código ASME. Se requiere además que todos los procedimientos de soldadura y soldadores que se empleen en los trabajos de reparación sean calificados según la sección IX del Código ASME.

2.3.1 Datos del defecto a reparar

Para una reparación acertada, el primer paso es reunir toda la información específica y exacta, que se tenga del defecto a reparar, los datos técnicos que se tienen que conocer son enunciativos pero no limitativos;

- Plataforma del equipo
- Número de Tag del equipo
- Tipo del defecto.
- Localización del defecto
- Profundidad del defecto
- Longitud axial.
- Longitud circunferencial.
- Temperatura que maneja el equipo
- Presión de operación del equipo.
- Fluido que maneja el equipo.
- Espesor remanente del material
- Proceso a utilizar

El lugar donde va a ser realizada la reparación, y la disponibilidad de equipos de soldadura, son también importantes en la formulación de un buen procedimiento de reparación. Es primordial que el área del daño sea cuidadosamente estudiada para determinar cómo será mejor la reparación (15).

Los defectos se ubican en las juntas soldadas sometidas a presión, ya que están presentes en el servicio, el material y el espesor. Las juntas incluidas en cada categoría son designadas como juntas de categoría A, B, C y D. La Fig. 2.14 UW-3 ilustra las ubicaciones típicas de juntas incluidas de cada categoría.

Categoría A: Juntas soldadas longitudinalmente dentro de la envoltura principal, transiciones en diámetro de boquillas o juntas soldadas circunferencialmente (15).

Categoría B: Juntas soldadas circunferenciales dentro de la envoltura principal, que conectan tapas formadas diferentes de las semiesféricas a envolturas principales, con boquillas.

Categoría C: Juntas soldadas que conectan bridas, traslapos de Van Stone, espejos de tubos o tapas planas con envoltura principal, formadas con transiciones en diámetro con boquillas.

Categoría D: Juntas soldadas que conectan boquillas con envolturas principales, con esferas, en diámetro de lados.

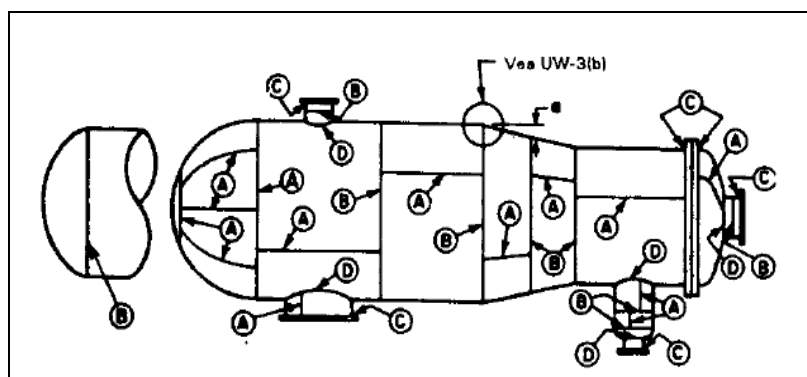


Fig. 2.14 UW-3 Uniones de juntas A, B, C y D (15)

2.3.2 Puntos a considerar para la metodología

Los puntos importantes para el mantenimiento o reparación por soldadura de recipientes a presión se consideran dentro de un diagrama de flujo como se muestra en la Fig.2.15, considerando las afectaciones de un proceso por otro, esta serie de pasos le proporcionará al personal técnico una información de utilidad (12).

Las normas que regulan la inspección en servicio y la reparación de soldadura en recipientes a presión se mencionan en el punto 2.3, donde los parámetros establecidos contribuirán a inspecciones y reparaciones seguras al personal técnico que ejecutará los trabajos adecuadamente.

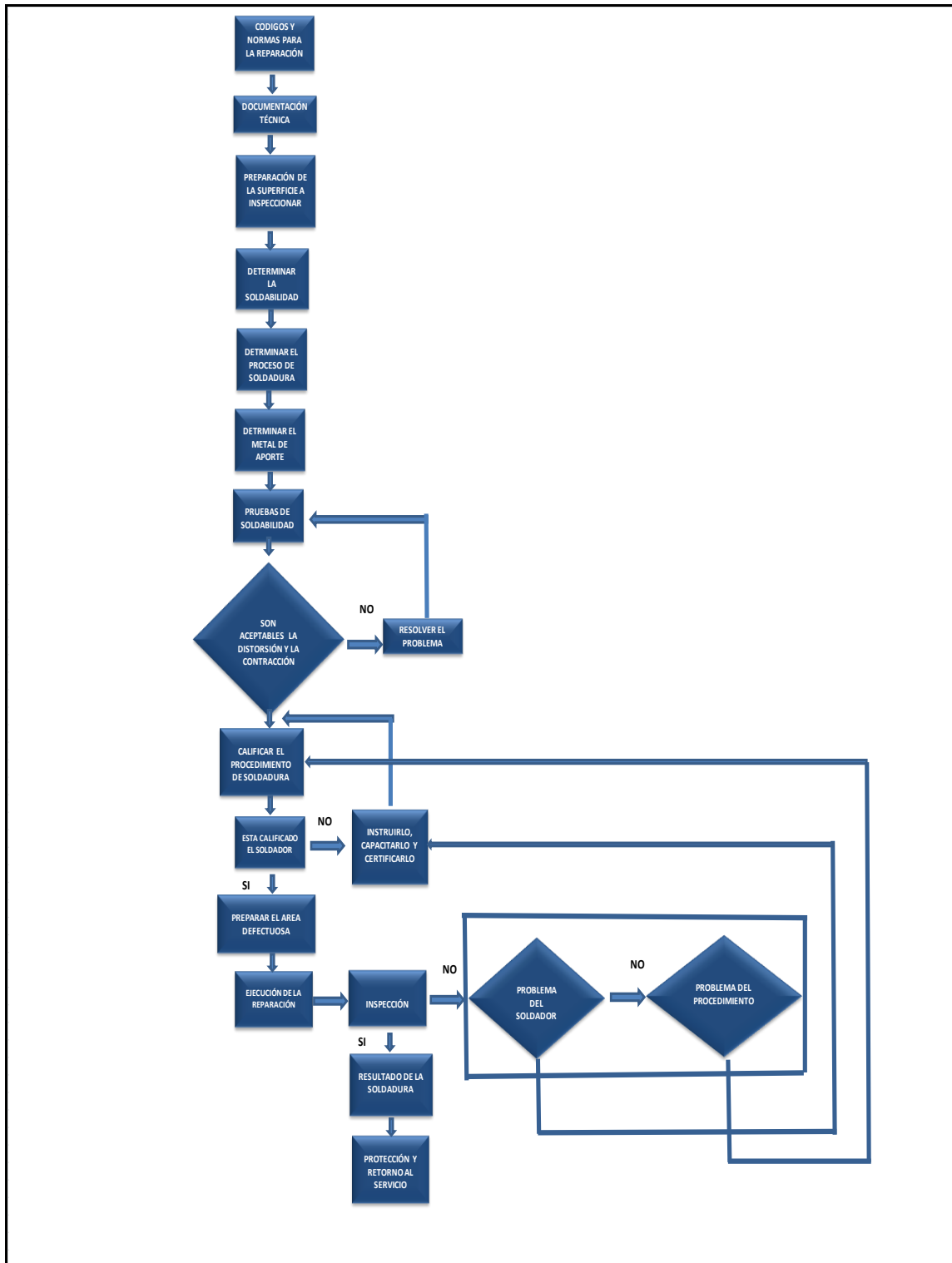


Fig.2.15 Diagrama de flujo de puntos de la metodología

2.3.2.1.- Inspección del servicio

Muchas características de una unión soldada pueden ser evaluadas en el proceso de inspección, algunas relacionadas con las dimensiones, y otras relativas a la presencia de discontinuidades. El tamaño de una soldadura es muy importante, ya que se relaciona directamente con la resistencia mecánica de la unión y sus relativas consecuencias. Tamaños de soldaduras inferiores a los requeridos no podrán resistir las cargas aplicadas durante su servicio.

Las discontinuidades en los cordones también pueden ser importantes. Estas son las imperfecciones dentro o adyacentes a la soldadura, que pueden o no, dependiendo de su tamaño, disminuir la resistencia para la cual fue diseñada. Normalmente estas discontinuidades, de inaceptables dimensiones y localización, se denominan defectos de soldadura, y pueden ser causas prematuras de falla, reduciendo la resistencia de la unión a través de concentraciones de esfuerzos dentro de los componentes soldados.

La importancia de realizar las inspecciones en los equipos a presión es considerar que representan la seguridad de operación. Se deben considerar su documentación técnica que debe incluir; fabricante, modelo, año de fabricación, tiempo de vida útil del recipiente, materiales base, máxima presión de trabajo, temperatura de trabajo, espesor mínimo de cálculo.

Toda esta información recopilada nos ayudara a tomar las medidas precisas de reparación del equipo sobre todo en las soldaduras de su proceso de fabricación.

2.3.2.2.- Contracción y distorsión

Es importante analizar la aceptabilidad de cualquier contracción o distorsión, en caso de exceder los criterios se resuelva para avanzar en el proceso de la toma

de decisiones en las reparaciones, incorporando las medidas preventivas necesarias para efectuar el procedimiento de soldadura (14).

La soldadura en posición plana u horizontal a velocidades de soldadura elevadas y el empleo de precalentamiento tiende a reducir la contracción neta.

Las siguientes medidas se toman para evitar la distorsión angular:

- Usar la menor cantidad de metal de aporte posible.
- Dar el menor número de pasadas posible.
- Evitar que la soldadura de ranura sea de raíz estrecha y de cara ancha.
- Balancear la cantidad de metal de aporte hacia ambos lados de la junta.
- Predeformar los miembros en un ángulo opuesto al esperado, por la soldadura.

2.3.2.3.- Establecer y calificar el procedimiento de reparación

El propósito del procedimiento de reparación por soldadura es identificar todas las variables necesarias técnicas de acuerdo a las especificaciones del procedimiento de soldadura (EPS).

Los datos considerados dentro del EPS serán la guía para que el soldador ejecute los trabajos de reparación que aseguran el cumplimiento de los requerimientos del código o norma en cuestión.

El código NBIC (R-302.1), considera que las reparaciones o alteraciones deberán de estar consideradas bajo sus reglas y consideraciones de la soldadura en el documento del EPS. Y en caso de ser por la organización ASME estará de acuerdo con los requerimientos de la sección IX de calificación de soldadores (14).

2.3.2.4.- Requerimientos térmicos

En el código NBIC del capítulo III en el suplemento 2, se muestran algunas temperaturas mínimas del precalentamiento de los diversos materiales. Se debe tener precaución de las temperaturas de pre-calentamiento para la satisfacción

de la unión. Los materiales con el No. P pueden tener requerimientos de precalentamientos más o menos restrictivos. También se puede utilizar la sección aplicable del código ASME para determinar la necesidad de precalentamiento, así como el nivel de temperatura.

El calentamiento de post-soldadura es usado para controlar el enfriamiento y facilitar el escape del hidrógeno. Según el código NBIC (R-302.2), los requerimientos de tratamientos térmicos post-soldadura serán de acuerdo con la sección aplicable del código ASME, excepto que, según R-303.2.2 en ciertas condiciones el tratamiento térmico puede no ser aconsejable, o puede no ser práctico, por lo que se pueden emplear otros métodos de tratamientos térmicos post-soldadura que hagan innecesario dicho tratamiento.

Los siguientes tratamientos térmicos post-soldadura, entre otros, han sido desarrollados para obtener las propiedades deseadas en el material.

1. Tratamiento de alivio de tensiones: Consiste en calentar la pieza hasta una temperatura apropiada por debajo de la temperatura crítica inferior del material, mantenerla a esa temperatura el tiempo necesario para reducir las tensiones residuales y luego enfriarla lentamente. Este tratamiento es el más comúnmente empleado para equipos de acero al carbono y de baja aleación en la Tabla 2.10, se muestran las temperaturas de los grupos de materiales.

2. Recocido: Consiste en el calentamiento del metal hasta una determinada temperatura, permanencia en ella y posterior enfriamiento lento. Tiene como fin la disminución de dureza en los materiales metálicos y producir los cambios deseados en las propiedades mecánicas y la microestructura.

3. Normalizado: Es el calentamiento de una aleación ferrosa por encima del rango de transformación, permanencia a esta temperatura y enfriamiento posterior al aire hasta una temperatura sustancialmente por debajo de dicho

rango. Los materiales pueden ponerse en servicio en estado normalizado o normalizado y revenido.

4. Temple y revenido: Es el rápido enfriamiento desde la temperatura de austenización, seguido de un recalentamiento del acero endurecido por debajo de la temperatura eutectoide con el objetivo de disminuir la dureza y aumentar la tenacidad.

5. Normalizado y revenido: Recalentar un metal normalizado con el mismo objetivo de disminuir la dureza y aumentar la tenacidad.

Tabla 2.10 Temperaturas de precalentamiento (14)

Temperaturas mínimas de precalentamiento	
1.- P- No. 1 Grupos 1,2 y 3.	a) 79°C para materiales que poseen un contenido de carbono máximo especificado de más de 0,30% y un espesor de más de 25 mm. b) 10°C para el resto de los materiales de este grupo.
2.- P-No. 3 Grupos 1,2 y 3	a) 79°C para materiales que poseen una resistencia a la tracción mínima especificada de más de 480 MPa o un espesor de más de 16 mm. b) 10°C para el resto de los materiales de este grupo.
3.- P- No. 4 Grupos 1 y 2	a) 121°C para materiales que poseen una resistencia a la tracción mínima especificada de más de 410 MPa o un espesor de más de 13 mm. b) 10°C para el resto de los materiales de este grupo.
4.- P- No. 5 Grupos 1 y 2	a) 204°C para materiales que poseen una resistencia a la tracción mínima especificada de más de 410 MPa o poseen tanto contenido de cromo mínimo especificado por encima del 6% y un espesor de más de 13 mm. b) 149°C para el resto de los materiales de este grupo.
5.- P- No. 6 Grupos 1, 2 y 3	204°C
6.- P- No. 7 Grupos 1 y 2	Ninguno
7.- P- No. 8 Grupos 1 y 2	Ninguno
8.- P- No. 9	121°C para materiales P-9A Grupo 1 149°C para materiales P-9B Grupo 1
9.- P-No. 10	79°C para materiales P-10A Grupo 1 121°C para materiales P-10B Grupo 2 79°C para materiales P-10C Grupo 3 Para materiales P-10C Grupo 3 el precalentamiento no es requerido ni prohibitivo, y se tomarán consideraciones para limitar la temperatura interpasadas para varios espesores para evitar efectos que afecten las propiedades mecánicas del material tratado térmicamente. 121°C para materiales P-10F Grupo 6 149°C con temperatura interpasadas mantenida entre 177°C y 232°C para materiales P-10D Grupo 4 y P-10E Grupo 5.

2.3.2.5.- Calificación y preparación del soldador

Un aspecto de suma importancia para garantizar la calidad de cualquier trabajo de reparación por soldadura es la capacitación y entrenamiento teórico-práctico de los soldadores que intervendrán.

Según el Código NBIC (R-302.2) los soldadores u operarios serán calificados para cada proceso de soldadura que se emplee en la reparación o alteración de una caldera o recipiente a presión. Tal calificación estará de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del código ASME y una especificación de procedimiento de soldadura calificada de la organización que realiza la reparación o alteración (17).

En el caso del soldador no es vitalicio, el Código establece que si el soldador permanece más de seis meses sin soldar mediante el proceso para el que está calificado, o si en los controles de la calidad periódicos realizados a las uniones soldadas de producción elaboradas por él, se detecta un número de defectos que indiquen una evidente pérdida de habilidad, se retirará el certificado.

2.3.4 Procedimiento de reparación

Las consideraciones que se están tomando para el procedimiento de reparación serán sustentadas en el desarrollo de las probetas a desarrollar, así como el sustento de las consideraciones mencionadas en la sección 2.3.

Las consideraciones tomadas son de acuerdo a los códigos y Normas del ASME SEC. VIII DIV 1, NATIONAL BOARD (16), PCC-2 Reparación de equipos a presión y tuberías” Apéndice Art. 3.4.párrafo 2.2.1 (15) (17).

Primer paso

Se barrenarán los extremos del defecto con una broca de tungsteno o similar de 1/8", 3/16", o 1/4" de diámetro, la profundidad será en base a los datos obtenidos por las PND o en caso de no tener la profundidad será de un inicio de 3/64".

Para la correcta remoción de defectos el ejecutor deberá emplear las herramientas y materiales adecuados, así como emplear personal calificado en soldadura y con entrenamiento de las herramientas.

Para la remoción de los defectos superficiales, se deberán emplear las herramientas y material descrito en la siguiente Tabla 2.11.

Tabla 2.11. Descripción de herramientas y material

<i>Herramienta</i>	<i>Descripción</i>
Taladro	Taladro de 1/2", doble rango de velocidad 0-500 / 0-1,700 RPM, capacidad: 1/2", voltaje: 18 V.
Rectificador de matriz	Rectificador de matriz de 1/4", potencia: de 750 W, 6.6 A, velocidad: 7,000 a 28,000 RPM, diámetro de puntas: 1/4".
Micrómetro digital de profundidad	Micrómetro digital de profundidad, Resolución: 0.0005" / 0.01 mm.
Calibrador digital	Calibrador digital, resolución: 0.0005" / 0.01 mm, Precisión: ± 0.001" / ±0.02 mm.
<i>Materiales</i>	<i>Descripción</i>
Broca	Broca de alta velocidad recubierta con titanio o tungsteno de 1/8"
Limas	Lima rotativa tipo fresa de 3/8" de diámetro de cabeza, largo de corte 3/4" de carburo de tungsteno sólido de forma P árbol, con radio en la punta.
	Lima rotativa tipo fresa de 1/2" de diámetro de cabeza, largo de corte 1" de carburo de tungsteno sólido en forma A sin corte en la punta.
	Lima rotativa tipo fresa de 3/4" de diámetro de cabeza, largo de corte 3/4" de carburo de tungsteno sólido en forma D Bola.
Lubricante	Lubricante de corte para todo tipo de metales, no tóxico, biodegradable, libre de sulfuros, cloro, aceites y solventes.

Las brocas con diámetros menores a los mencionados no son recomendadas, ya que debido a las posiciones u obstrucciones pueden romperse, generando complicaciones y retrasos por el retiro probable de la punta atrapada.

Los pequeños orificios en los extremos del defecto, se pretende que los esfuerzos se distribuyan a lo largo de la circunferencia de los orificios en vez de que sean concentrados en la arista del defecto.

El operario realizará el ajuste de la profundidad a la cual llegará la broca de 3/64" empleando un micrómetro de profundidad, mismo que se debe de colocar y ajustar la distancia de la broca hasta toparse con las mordazas de sujeción del taladro inalámbrico, tal como se muestra en la Fig. 2.16.



Fig. 2.16 Sujeción de broca para Profundidad adecuada.

La profundidad será en base a los datos obtenidos por las PND o en caso de no tener la profundidad será de un inicio de 3/64" y se avanzará a medida que se profundice en el desbastado.

En la Fig. 2.17, se muestra indicación de un poro perteneciente a la boquilla del recipiente FA-1103 localizado en la plataforma de Akal-B y en la Fig. 2.18 se muestra la indicación de un socavado perteneciente al recipiente FA-1201-B de la plataforma de AKAL- JP.



Fig. 2.17 Poro equipo FA-1103, AKAL-B



Fig. 2.18 Socavado equipo FA-1201-B, AKAL-JP

En la Fig. 2.19 muestran los extremos y ubicación de los barrenos presentados para ranurar en los bordes de la indicación.

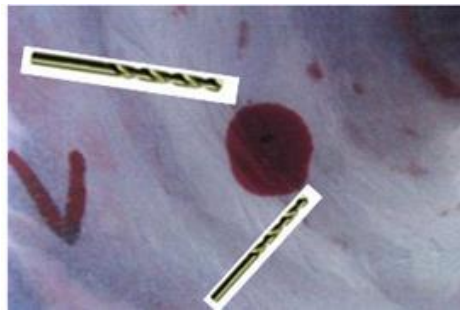


Fig. 2.19 Perforación de indicación

Segundo paso

La etapa de desbaste gradual consta por el empleo de limas de carburo sólido, durante estos pasos el operario deberá emplear lubricante de manera continua y local en la zona de desbaste. Asimismo, el operario durante el desbaste debe revisar la lima rotativa con objeto de retirar rebabas atascadas que reduzcan la capacidad de corte y suscite en fricción y por ende sobrecalentamiento del material. Por su parte, el inspector con un calibrador digital debe monitorear la profundidad alcanzada durante cada paso de desbaste.

El desbaste se realizará sobre los defectos tratando de retirar la menor cantidad posible de material sano a ambos lados de la indicación hasta que los defectos sean eliminados.

1. Lima rotativa de carburo sólido en forma F Árbol:

La lima de 3/8" de diámetro de cabeza en forma F debe de montarse sobre un rectificador de matriz, el operario deberá manipular el rectificador en un ángulo de inclinación aproximado de 30° entre la zona de desbaste de acuerdo a la Fig.2.20.



Fig.2.20 Lima en forma de F 3/8"Ø

2. Lima de rotativa carburo sólido en forma A tipo fresa.

El operario deberá repetir los pasos de desbaste mencionados anteriormente con una lima de 1/2" de diámetro de cabeza, este desbaste debe limitarse a las dimensiones trazadas ver Fig.2.21.

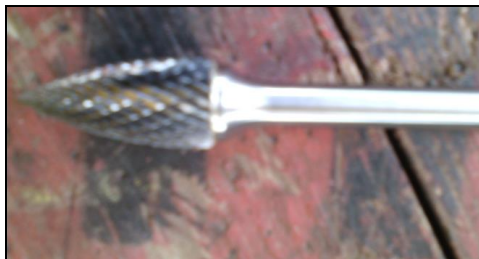


Fig.2.21 Lima en forma de A tipo fresa

3. Lima rotativa de carburo sólido en forma D Bola.

En este último paso se emplea una lima de 3/4"Ø de diámetro de cabeza, en esta etapa el operario deberá realizar el contorneado y suavizado de la zona desbastada, el objetivo es la eliminación de aristas o terminaciones agudas que actúen como concentradores de esfuerzos, asimismo existen diferentes tipos de limas para la realización de los trabajos ver Fig. 2.22 a) y b).



Fig.2.22 a) Lima en forma tipo D bola

Fig.2.22 b) Diferentes tipos de limas

La referencia normativa en base a lo establecido en el Apartado Sec 8.5 del ASME SEC.VIII DIV.1 y UW 11 (15), el código PCC-2 Art 3.4.

El desbastado serán conforme al área a remover utilizando en cada etapa la lima adecuada para la remoción de los defectos deberán tener una profundidad de acuerdo a los datos proporcionados por los reportes de inspección por PND, se anexa fotos del tipo de uso del desbastado de las limas mencionadas anteriormente en el proceso. (Ver figuras 2.23 a), 2.24 b) y 2.25 c)).

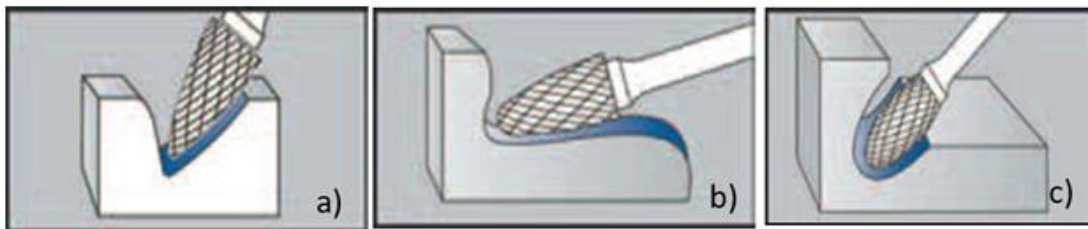


Fig.2.23 a) Tipo A fresa,

Fig. 2.24 b) Tipo F árbol

Fig. 2.25 c) Tipo D bola

De acuerdo al espesor reducido por la remoción de los defectos, los cálculos resultantes por B31.3:2010 Tubería de proceso, para determinar el espesor mínimo requerido por presión interna actual y máxima de operación se muestran en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12 Cálculos de espesor mínimo

ASME SECC.VIII (UG-27)			
DIÁMETRO EXTERIOR:	55.000 pulg	PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN Ó DE DISEÑO:	99.00 psi
RADIO INTERIOR:	26.500 pulg	ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL:	SA-516-Gr.70 Aproximada
ESPEOR MÍNIMO MEDIDO:	0.200 pulg	ESFUERZO MAX. PERMISIBLE DEL MATERIAL:	23,300 psi
TEMP. MÁX. DE OPER. (DISEÑO):	97 °F	FACTOR DE EFICIENCIA DE LA JUNTA:	0.85
$t_b = \text{Espesor mínimo requerido}$		$t_b = 0.133 \text{ pulgadas}$	

$$t_b = \frac{P_{op} R}{SE - 0.6 P_{op}}$$

ASME SECC.VIII (UG-27)			
DIÁMETRO EXTERIOR:	55.000 pulg	PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN Ó DE DISEÑO:	99.00 psi
RADIO INTERIOR:	26.500 pulg	ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL:	SA-516-Gr.70 Aproximada
ESPEOR MÍNIMO MEDIDO:	0.500 pulg	ESFUERZO MAX. PERMISIBLE DEL MATERIAL:	23,300 psi
TEMP. MÁX. DE OPER. (DISEÑO):	97 °F	FACTOR DE EFICIENCIA DE LA JUNTA:	0.85
$t_b = \text{Espesor mínimo requerido}$		$t_b = 0.133 \text{ pulgadas}$	

Tercer paso

Inspeccionar con líquidos penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonido arreglo de fases para verificar la sanidad interna del material y corroborar que los defectos han sido removidos completamente. La reparación con soldadura no deberá de realizarse hasta confirmar que no existen indicios de las indicaciones. Estas inspecciones deben de realizarse por personal Nivel II el cual estará calificado y certificado de acuerdo por la ASNT-TC-1A para cada una de las técnicas de inspección Ver el código PCC-2 Art 3.4, ASME SEC.V(15) (17).

Cuarto paso

Verificar que la preparación de la cavidad por la lima tipo D haya eliminado en forma de U para suavizar la superficie con el propósito de evitar aristas o terminaciones agudas que actúen como concentradores de esfuerzos para depositar la soldadura de relleno en la zona desbastada.

De acuerdo a los requerimientos de la Normatividad PCC-2 Art 3.4.

Quinto paso

Una vez que ha sido preparada la cavidad para depositar la soldadura se procederá a realizar un precalentamiento a una temperatura mínima de 95°C.

El precalentamiento puede realizarse con equipo convencional de acetileno o con el equipo de relevado de esfuerzos, comprobando que la temperatura requerida (95°C) se ha alcanzado a 2 pulgadas desde el área a soldar.

b) Para el grupo P No.1, 2 y 3 de materiales, el área a reparar deberá precalentarse manteniendo a una temperatura mínima de 93.33°C durante la soldadura.

Referencia normativa en base a lo establecido en el apartado 8.1.6.3 del API 510 y este a su vez remite a ASME Secc. VIII División 1.

Sexto paso

Posteriormente se procederá a la aplicación de material de aporte empleando el diámetro adecuado del electrodo en base al tamaño del área a rellenar, empleando electrodos de bajo hidrógeno (E 7018 de '1/8" Ø).

Notas

- Se tomarán las provisiones necesarias para evitar enfriamientos bruscos debido a las corrientes de viento.
- Realizar la limpieza necesaria en cada paso de la soldadura.
- Mantener la temperatura entre pasos de la soldadura de acuerdo a lo especificado en el procedimiento de soldadura.
- La dureza en la soldadura y zona afectada por el calor en el área reparada no debe exceder los 200 Brinell.

Una vez concluida la soldadura es necesario inspeccionar con líquidos penetrantes o partículas magnéticas para garantizar que no existan indicaciones superficiales así como ultrasonido haz angular para garantizar la sanidad del volumen reparado.

Estas actividades son requeridas para verificar que la reparación se efectuó correctamente y las áreas reparadas se encuentran libres de defectos.

Con referencia a los espesores que se están considerando en la metodología no se requiere el relevado de esfuerzos, pero de acuerdo a UW-2 sec. (2) todos aquellos espesores que exceden de 5/8" se realizará el tratamiento térmico de relevado de esfuerzos, el cual será a una temperatura mínima de 594° C, durante una hora.

Notas:

Relevado de esfuerzos

Para los recipientes que se les aplicó relevados de esfuerzos se requerirá inspeccionar nuevamente con líquidos penetrantes o partículas magnéticas para garantizar que no se han generado indicaciones superficiales, así como ultrasonido haz angular para garantizar la sanidad del material. Estas actividades son requeridas para verificar que el proceso de relevado se efectuó correctamente y las áreas reparadas se encuentran libres de defectos (15).

Prueba hidrostática

Para el caso de esta reparación no se requiere prueba hidrostática, debido a que el código API-510 solo requiere la prueba de presión cuando el recipiente es sometido a un cambio en su diseño o cambio en sus condiciones operativas. En el apartado 6.6 de ASME SEC VIII DIV.1 menciona que si en los ensayos realizados no se detectan defectos, el recipiente puede regresar a las condiciones normales de operación (18).

2.3.5 Técnicas a emplear para la reparación

Por otra parte cuando una interrogante es la soldabilidad del material, se pueden soldar porciones de la parte que requiere reparación, si esto es

posible, para luego ser examinada destructivamente mediante los métodos de ensayos de soldabilidad.

Si bien los ensayos no destructivos son relativamente fáciles de aplicar, se requiere que el personal que los realice, haya sido debidamente capacitado y calificado y que cuente con la experiencia necesaria a fin de que se interpreten y evalúen correctamente los resultados y se evite el desperdicio de material o las pérdidas de tiempo por sobre inspección (13).

Con referente a los lineamientos que deben de tener los inspectores se determinan los siguientes parámetros.

2.3.5.1 Entrenamiento

Es el programa debidamente estructurado para proporcionar los conocimientos teóricos y desarrollar las habilidades prácticas de un individuo; a fin de que realice una actividad definida de inspección.

2.3.5.2 Calificación

Es la demostración por medio de exámenes debidamente preparados, que un individuo posee los conocimientos teóricos y las habilidades necesarias para desarrollar correctamente una inspección no destructivas, aplicar correctamente los criterios de aceptación y en su caso elaborar los reportes de inspección.

2.3.5.3 Certificación

Es un testimonio escrito extendido por una agencia central certificadora o por una empresa contratante (SNT-TC-1A) que demuestre que un individuo ha sido capacitado que está debidamente calificado y tiene la experiencia suficiente para emplear correctamente un método de inspección no destructiva.

Las pruebas no destructivas, no alteran de forma permanente las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales de un material. De acuerdo con su aplicación, los ensayos se pueden dividir en:

- Técnicas de inspección superficial
- Técnicas de inspección volumétrica.

2.3.5.4 Técnicas de Inspección superficial

Mediante estas técnicas solo se comprueba la integridad superficial de un material, por tal razón su aplicación es conveniente cuando es necesario detectar discontinuidades que están en la superficie, abiertas o están a profundidades menores de 3 mm. Este tipo de inspección se realiza por medio de cualquiera de los siguientes ensayos.

- Inspección visual (VT)
- Líquidos penetrantes (PT).
- Partículas magnéticas (MT).

2.3.5.5 Técnicas de Inspección volumétricas

Su aplicación permite conocer la integridad de un material en su espesor y detectar discontinuidades internas que no son visibles en la superficie de la pieza este tipo de inspección se realiza por medio de cualquiera de los siguientes ensayos.

- Radiografía Industrial (RT).
- Ultrasonido Industrial (UT).

2.3.5.6 Inspección Visual (VT).

En la técnica de inspección visual, es un requisito para el personal que realiza las inspecciones, es un examen de la agudeza visual cercana y lejana cada 6 ó 12 meses y de ser necesario, por prescripción médica el uso de lentes por parte

del inspector, éste deberá emplearlos para toda la labor de inspección e interpretación de las indicaciones. Cabe considerar que el examen únicamente verifica que la persona posee una vista con cierto nivel de sensibilidad.

Herramientas para la inspección visual

La técnica de inspección visual en ocasiones es necesario emplear diferentes instrumentos, para realizar la toma de datos de los defectos encontrados entre los que podemos mencionar:

Equipos de iluminación: Linterna halógena, lámparas portátiles, etc.

Equipos de visión: Espejos articulados, lentes de aumento.

Equipos de medida: Reglas, equipos de calibradores, micrómetros, galgas, etc.

a).- **Lentes de aumentos o lupas:** Normalmente tienen aumentos de 5X y de 10X, como máximo para los estudios llamados macroscópicos, sus ventajas son tener una amplia área de inspección.

b).- **Linterna eléctrica:** Es un aparato portátil de iluminación que funciona mediante pilas o baterías eléctricas.

c).- **Bridge Cam:** El calibrador de soldadura es una herramienta básica y versátil para el apoyo en la inspección visual ya que puede realizar 6 distintas mediciones y presenta dos escalas en mm y in, en placas de soldadura en general los calibradores o escantillones de Soldadura, ofrecen un medio rápido para medir la mayoría de soldaduras de filete, con tamaños desde 1/8" (3.2 mm) a 1" (25.4 mm).de acuerdo a la Fig. 2.26



Fig.2.26 Bridge Cam

d).- **Cepillo de alambre:** Existen modelos simples de mano y otros para montarse en equipos eléctricos para eliminar rebabas, pintura, óxido hasta dejar la superficie limpia.

e).- **Pie de rey:** Es un instrumento para medir dimensiones de objetos relativamente pequeños, desde centímetros hasta fracciones de milímetros, así como indicaciones superficiales como se muestra en la Fig.2.27.

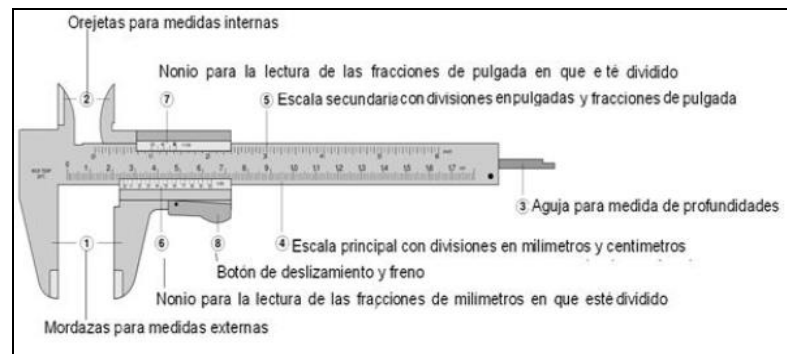


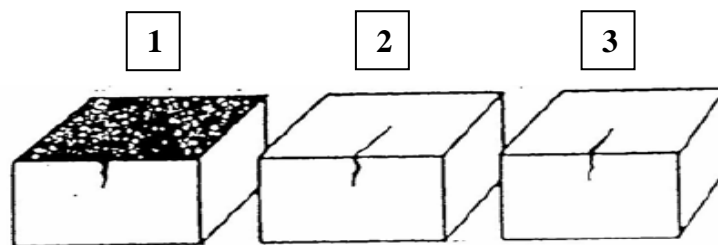
Fig.2.27 pie de rey

2.3.5.7 Líquidos penetrantes (PT)

El ensayo con líquidos penetrantes requiere primeramente que la superficie a examinar esté limpia de toda herrumbre, pintura, grasa u otros contaminantes, ya que es empleado para detectar e indicar discontinuidades que afloran a la superficie de los materiales examinados.

Esta prueba consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie a examinar, el cual penetra en las discontinuidades del material debido al fenómeno de capilaridad, después de cierto tiempo, se remueve el exceso de penetrante y se aplica un revelador, el cual generalmente es un polvo blanco, que absorbe el líquido que ha penetrado en la discontinuidad y sobre la capa del revelador se delinea el contorno de ésta como se presenta en la Fig. 2.28.

En el sentido de detectar discontinuidades con un tamaño de aproximadamente medio milímetro (0.012") aproximado, debe emplearse un penetrante fluorescente, removible por pos-emulsificación y un revelador seco. Por otra parte si se requiere detectar discontinuidades mayores a 2.5 mm (0.100" aprox).es conveniente emplear un penetrante contraste, lavable con agua y un revelador en suspensión acuosa.



- 1.- Aplicación del penetrante
- 2.- Remoción del exceso
- 3.- Aplicar revelador y examen

Fig. 2.28 Principio de líquidos penetrantes (13).

Requisitos de la Inspección por líquidos penetrantes

Es muy importante considerar las características de la discontinuidad y el nivel de sensibilidad con que se quiere detectar, ya que son relativamente grandes o se requiere una sensibilidad entre baja y normal, se recomienda emplear penetrantes visibles, pero si la discontinuidad es muy fina y delgada o se

requiere de una alta o muy alta sensibilidad, es preferible emplear los penetrantes fluorescentes.

Otro factor de la selección de la superficie a inspeccionar es que si se presenta rugosa, como son los casos de las uniones soldadas de una pieza fundida, se debe emplear un penetrante líquido removible con agua. Pero si la superficie, es tersa y pulida, es preferible emplear penetrante removible con solvente. Finalmente cuando se requiere una inspección de alta calidad o con problemas de sensibilidad, se puede emplear un penetrante pos-emulsificable.

Una vez seleccionado el tipo de penetrantes, nunca se deberán mezclar sus productos: como por ejemplo, emplear el revelador del proveedor A con un penetrante del proveedor B o un penetrante de una sensibilidad con un revelador de otra sensibilidad, aunque ambos sean fabricados por el mismo proveedor.

A continuación se describen los tipos de penetrantes que se pueden emplear en las inspecciones de las soldaduras.

Penetrantes removibles con agua:

Se limpian de la superficie con agua, lo cual no debe exceder de una temperatura de 45°C. El lavado puede realizarse por rociado de gota gruesa o con una mezcla de agua y aire a presión; en este último caso, la presión del rociado no debe ser superior a los 35 psi.

Penetrantes pos-emulsificables:

Requieren de la aplicación de una sustancia para provocar que el penetrante se solubilice en el agua. Se pueden emplear emulsificantes hidrosolubles, dependiendo de la sensibilidad y de la rapidez con la que se requiera realizar la inspección. Una vez que ha transcurrido el tiempo de emulsificación, el exceso de penetrante se lava de forma similar a como se hace con los penetrantes removibles con agua.

Penetrantes removibles con solvente:

Se retiran de la superficie empleando un material absorbente que puede ser tela o papel, con la condición que no dejan pelusa y en caso necesario, se puede humedecer el material absorbente con el removedor que se emplea para la limpieza previa, una recomendación muy importante es la de evitar lavar la superficie con el removedor.

Interpretación y Evaluación de las indicaciones

Después de haber transcurrido el tiempo de revelado, en la pieza, se emplea iluminación de acuerdo al proceso empleado. Iluminación normal para penetrante visible, e iluminación ultravioleta para el método de penetrante fluorescente.

Limpieza final

Después, de concluir la inspección, generalmente debe limpiarse la superficie de la pieza. Este paso puede realizarse mediante un en guaje con agua a presión, por inmersión o mediante un removedor.

En la página siguiente se muestra la Fig. 2.29 del diagrama de las etapas descritas anteriormente para las inspecciones que se tengan que realizar antes, durante y después del proceso de reparación de indicaciones.

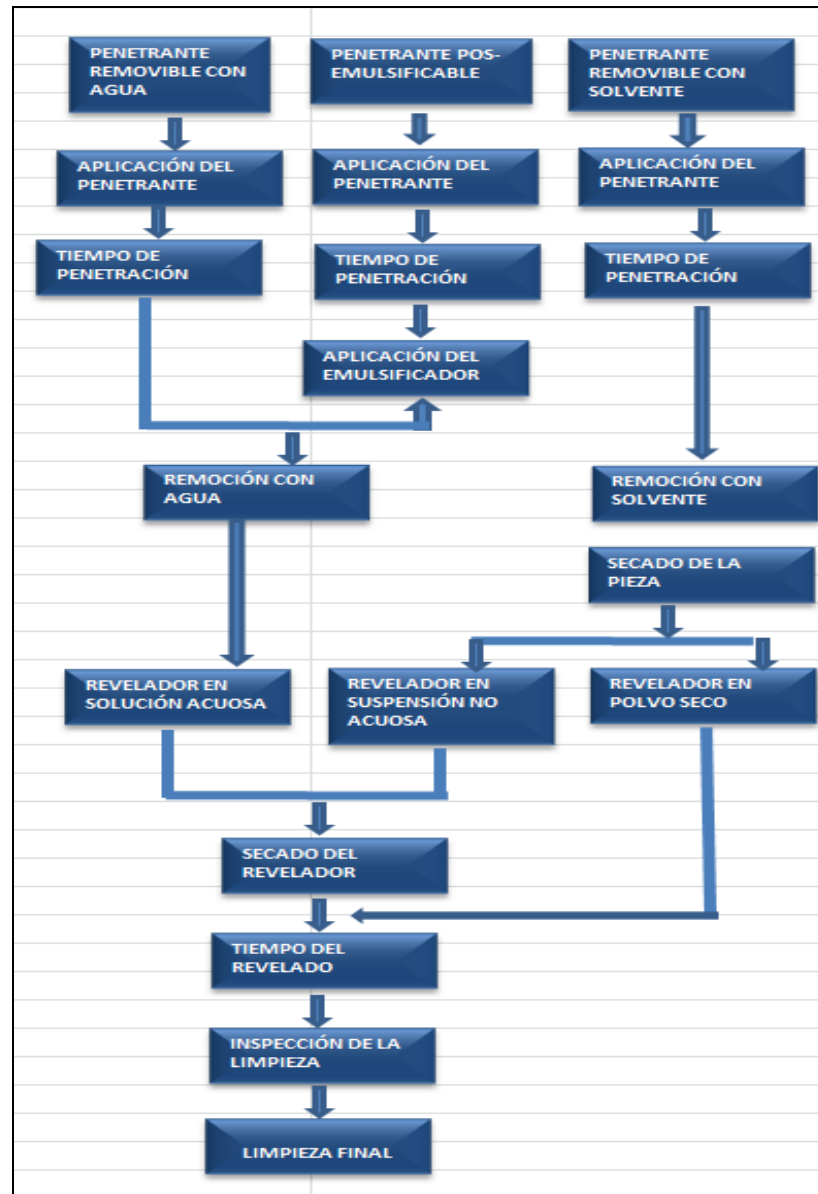


Fig. 2.29 Diagrama de inspección por líquidos penetrantes

2.3.5.8 Partículas Magnéticas (MT)

La inspección por partículas Magnéticas permite detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales ferromagnéticos. Se selecciona usualmente cuando se requiere una inspección más rápida que con los líquidos penetrantes.

El principio del método es la formación de distorsiones del campo magnético o de los polos cuando se genera este en un material ferromagnético. Las distorsiones o polos se atraen a las partículas magnéticas, que fueron aplicadas en forma de polvo o suspensión en la superficie sujeta a inspección y que por acumulación producen las indicaciones que se observan visualmente de manera directa o bajo luz ultravioleta la Fig. 2.30 muestra el principio del método por partículas magnéticas.

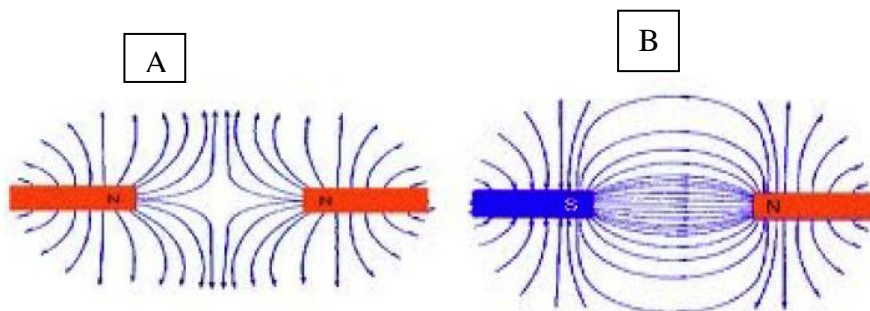


Fig.2.30 A) Mismos polos se repelen, B) polos diferentes se atraen.

Esta técnica al igual que líquidos penetrantes requiere que todas sus superficies a inspeccionar deben estar limpias y secas.

La aplicación de las partículas magnéticas puede aplicarse por vía seca (en forma de polvo) o por vía húmeda (con medios acuosos o por disolventes sintéticos).

Corriente de magnetización: se selecciona en función de la localización probable de las discontinuidades, si se desea detectar solo discontinuidades superficiales, debe de emplearse la corriente alterna, ya que esta proporciona una mayor densidad de flujo en la superficie y por lo tanto mayor sensibilidad para la detección de discontinuidades superficiales; pero es ineficiente para la detección de discontinuidades sub-superficiales.

Con este método se puede también emplear corriente directa para detectar defectos hasta 6 mm por debajo de la superficie.

2.3.5.9 Técnicas de Inspección volumétricas

2.3.5.10 Ultrasonido Industrial (UT):

La técnica de ultrasonido industrial es de tipo mecánico, que se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido entre la densidad de un material.

Los equipos de ultrasonido actualmente permiten detectar discontinuidades superficiales, sub-superficiales e internas, dependiendo del tipo de palpador utilizado y de las frecuencias que se seleccionan dentro de un ámbito de 0.25 hasta 2.5 MHz. Como se muestra en la Fig. 2.31



Fig. 2.31 equipo de ultrasonido y sus componentes

Requisitos de inspección ultrasónica industrial

Antes de iniciar una inspección por UT, es necesario definir los siguientes parámetros, a fin de hacer una correcta selección del equipo de trabajo.

¿Cuál es el tipo de discontinuidad que se va a inspeccionar?

¿Qué extensión y orientación puede tener en la pieza?

¿Qué tolerancias se pueden aplicar para aceptar o rechazar la indicación?

Grietas, laminaciones, poros, socavados y otras discontinuidades que producen interfaces reflectivas pueden ser detectadas fácilmente. Inclusiones y otras partículas extrañas pueden ser también detectadas causando baja reflexión.

Equipo básico

La mayoría de los equipos de inspección por ultrasonido incluyen el siguiente equipo básico:

- Un generador electrónico de señal que produce ráfagas de voltaje alternadas.
- Un transductor que emite un haz de ondas ultrasónicas cuando las ráfagas de voltaje alternado son aplicadas.
- Un acoplador para transferir la energía de las ondas de ultrasonido a la pieza de trabajo.
- Un acoplador que transfiere la salida de las ondas de sonido (energía acústica) de la pieza al transductor.
- Un transductor (puede ser el mismo que el transductor que inicia las ondas ultrasónicas o puede ser otro diferente) para aceptar y convertir la ondas de ultrasonido de salida de la pieza de trabajo en ráfagas de voltaje. En la mayoría de los sistemas un transductor simple actúa como emisor y receptor.
- Un dispositivo electrónico para amplificar y modificar las señales del transductor.
- Un dispositivo de salida que muestre la información resultante y la proyecte ya sea impresa o en pantalla.

- Un reloj electrónico o un cronómetro para controlar la operación de varios componentes del sistema.

Considerando el equipo ultrasonido se describen algunos de los conceptos técnicos utilizados en el método y se muestra en la Fig. 2.32.

Velocidad

La velocidad de propagación es la distancia recorrida por la onda dividido por el tiempo empleado para recorrer esa distancia. La velocidad de los ultrasonidos en un material determinado depende de la densidad y elasticidad del medio que a su vez varían con la temperatura. La relación es directa, es decir, a mayor densidad del medio, mayor será la velocidad de transmisión de los ultrasonidos.

Frecuencia

Es el número de oscilaciones (vibración o ciclo) de una partícula por unidad de tiempo (segundo). La frecuencia se mide en Hertz (Hz). Un Hertz es una oscilación (ciclo) por segundo. Como los ultrasonidos son ondas de alta frecuencia, se utiliza como medida básica el Mega Hertz (MHz) que es igual a un millón de Hz.

Longitud de onda

Es la distancia que existe entre dos puntos que se encuentran en el mismo estado de vibración.

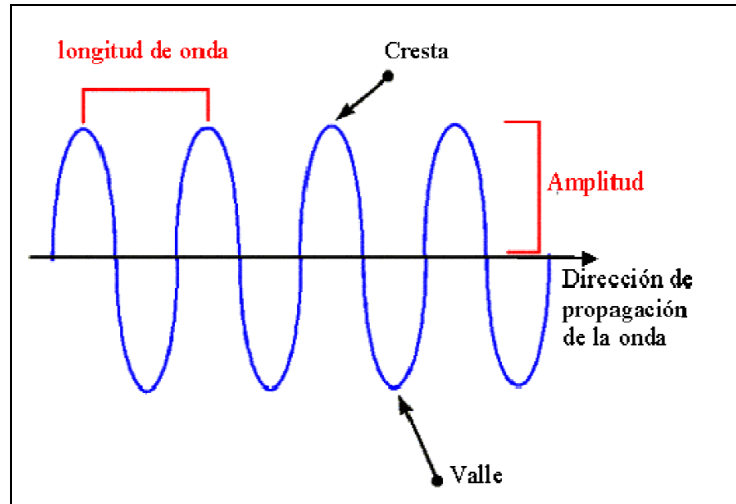


Fig. 2.32 Esquema de longitud de onda

Amplitud

Es el máximo cambio producido en la onda, es decir la distancia máxima que alcanza la partícula vibratoria desde su posición inicial de reposo hasta la altura de la curva senoidal.

La amplitud se relaciona con la intensidad, de este modo si aumentamos la intensidad de una onda determinada aumentaremos su amplitud durante la transmisión de las ondas, por efecto de su interacción con el medio, disminuye la intensidad de la onda en función de la distancia recorrida y como consecuencia se produce una disminución de su amplitud.

2.3.5.11 Radiografía Industrial.

Es un método que utiliza la radiación ionizante de alta energía que al pasar a través de un material sólido, parte de su energía es atenuada debido a diferencias de espesores, densidad o presencia de discontinuidades.

Este método aprovecha la facilidad con que los rayos X o gama pueden penetrar materiales opacos. Si existe una falla, esta aparece más clara en una película sensible a la radiación, debido a que los rayos penetran menos materiales en estas discontinuidades. Es común en la radiografía el uso de un penetrómetro,

éste es hecho del mismo material a analizar y contiene algunas características de dimensiones conocidas.

Así se comparan las imágenes radiográficas. También se puede usar un software analizador de imágenes que pueden revelar diferencias muy sutiles de intensidad fotográfica que significan diferencias de espesor.

La calidad de las imágenes radiográficas es un factor importante en el proceso de detección de los defectos. Generalmente esta se evalúa mediante el uso de los indicadores de calidad (IQI). Factores tales como el tipo de película, densidad de la película, distancia focal, nivel de energía de la fuente y tiempo de exposición, afectan de manera decisiva en la viabilidad de una posterior correcta detección y clasificación de defectos.

Defectos detectables en radiografías de uniones soldadas

Una vez realizada una radiografía de calidad de la unión soldada, los inspectores han de interpretar lo que muestra la imagen. La interpretación se realiza en tres etapas: (1) detección, (2) interpretación, y (3) evaluación. Todas estas etapas necesitan de la agudeza visual de los inspectores, si bien la capacidad de un individuo para detectar discontinuidades en radiografías está también condicionada por las condiciones de luz del lugar donde se realiza la sesión, y el nivel de experiencia para reconocer diferentes características en la imagen.

La Fig. 2.33 se muestra un ejemplo de imagen digitalizada de una unión soldada, con la intención de describir la apariencia de una radiografía industrial utilizada habitualmente en un proceso de control de calidad mediante PND. Como se puede apreciar, existen distintos objetos que componen la imagen de una unión soldada. Por un lado aparece lo que se conoce como metal base, es decir, las dos piezas que se unen mediante el aporte de un material, y por otro lado aparece el cordón de soldadura, es decir, la costura de unión formada mediante elevación de la temperatura del metal de aporte que se funde junto con los bordes del metal base. Sobre estos elementos se disponen otros objetos cuya

finalidad consiste en identificar: el espesor de las piezas a unir, la localización de la soldadura radiografiada dentro del conjunto y de la obra y la entidad de control de calidad que realiza la inspección.

Asimismo, sobre el cordón de soldadura se disponen los indicadores de calidad de la imagen. Por último, y lo más importante, dentro del cordón de soldadura aparecen las indicaciones de posibles defectos.

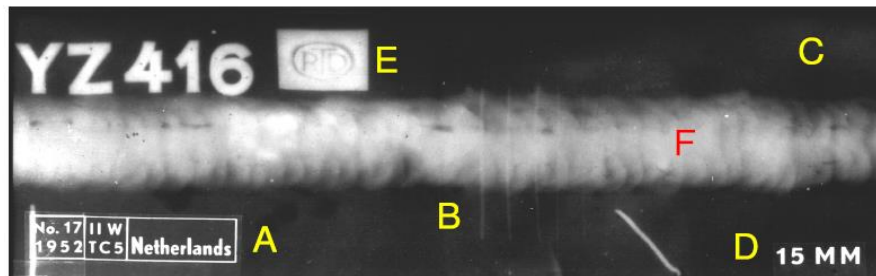


Fig. 2.33: Imagen radiográfica de unión soldada. A: Identificación entidad de control; B: Indicadores de calidad (ICI); C: Metal base; D: Espesor; E: Identificación de la zona radiografiada; F: Cordón de soldadura.

Las radiaciones electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz ($300.000 \text{ km s}^{-1}$), se muestra en la Fig. 2.34, aunque tienen menor longitud de onda, tienen mayor energía y más penetración. Estos rayos no sufren desviación alguna por efecto de campos magnéticos o eléctricos, se propagan por tanto en línea recta, excitan la fosforescencia e impresionan placas fotográficas.

Atraviesan los cuerpos opacos sin reflejarse ni refractarse, siendo absorbidos en mayor o menor grado según el espesor, la densidad del material y la longitud de onda de la radiación.

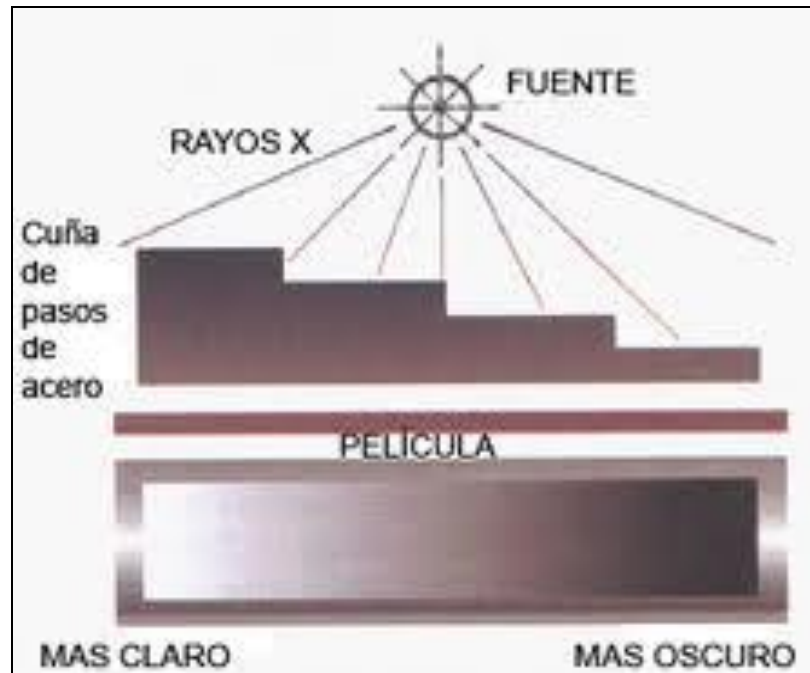


Fig. 2.34 Muestra de densidades

Los defectos de los materiales como grietas, bolsas, inclusiones, etc. De distintas densidades, absorben las radiaciones en distinta proporción en el material base, de forma que estas diferencias generan detalles de contraste claro-oscuro en la placa fotográfica colocada detrás de la pieza. Esto es lo que permite identificar defectos en la inspección de una soldadura por radiografía.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Metodología.

Elaborar una metodología para reparaciones de defectos localizados en las soldaduras de los recipientes a presión con el fin de garantizar la seguridad de las instalaciones del personal y del medio ambiente.

La metodología llevada a cabo en el presente trabajo consistió en la aplicación de soldadura en probeta utilizada, caracterización del material y la soldadura, se determinó sus pruebas de durezas tanto en el material base como en la soldadura para comparar las características encontradas, estas son similares a las propiedades mecánicas por literatura.

3.1.2 Descripción del Material

La dimensión de la pieza considerando lo indicado por la norma ASME Secc. IX de las placas sin respaldo serán de acuerdo a QW-310.3 ver Fig.3.35 y la Fig. 3.36 muestra los valores de rango de la probeta de acuerdo a QW-310.3 y QW 469.2.

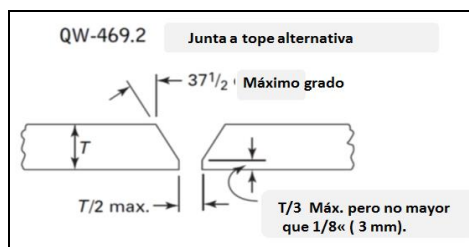


Fig.: 3.35 Unión a tope alternativa

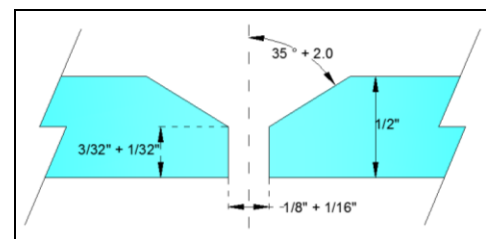


Fig.3.36 Datos de la probeta

En el diseño de la unión, se selecciona una junta a tope con ranura en V sencilla. El espesor de la placa es de (1/2") y la abertura de raíz es de 1/8" + 1/16" sin respaldo, cumpliendo con la distancia máxima de abertura de raíz que es T/2 (Ver Fig. 3.36). La cara de la raíz es de 3/32" + 1/32", cumpliendo con la altura máxima que es T/3 pero no mayor que 1/8"Ø (Ver Fig. 3.36), y el ángulo de ranura es de 35° + 2°.

La siguiente Tabla 3.13 hace referencia a los datos del metal base en QW 403 (Fig.3.36) el cual especifica que al metal base se le asigna un número-P, y se describe en la tabla (QW/QB-422).

Tabla 3-13. Números P para materiales ferrosos QW/QB-422 (16).

QW/QB-422 NUMEROS P- Y NUMEROS S-FERROSOS (CONTN) Agrupamiento de Metales Base para Calificación											
No. Espec.	Tipo o Grado	No. UNS	Tensión Mínima Especificada, klb/pulg^2	Soldadura				Soldadura Fuerte		Composición Nominal	Forma de Producto
				No. P-	No. de Grupo	No. S-	No. de Grupo	No. P-	No. S-		
A 514	E	K21604	100	...	...	11B	2	...	...	1.75Cr-0.5Mo-Cu	Placa > 2 1/2 pulg.-6 pulg., incl.
A 514	E	K21604	110	...	...	11B	2	...	...	1.75Cr-0.5Mo-Cu	Placa, 2 1/2 pulg. máx.
A 514	P	K21650	100	...	...	11B	8	...	...	1.25Ni-1Cr-0.5Mo	Placa > 2 1/2 pulg.-6 pulg., incl.
A 514	P	K21650	110	...	...	11B	8	...	...	1.25Ni-1Cr-0.5Mo	Placa, 2 1/2 pulg. máx.
A 514	Q	...	100	...	...	11B	9	...	...	1.3Ni-1.3Cr-0.5Mo-V	Placa > 2 1/2 pulg.-6 pulg., incl.
A 514	Q	...	110	...	...	11B	9	...	...	1.3Ni-1.3Cr-0.5Mo-V	Placa, 2 1/2 pulg. máx.
SA-515	60	K02401	60	1	1	...	...	101	...	C-Si	Placa
SA-515	65	K02800	65	1	1	...	...	101	...	C-Si	Placa
SA-515	70	K03101	70	1	2	...	...	101	...	C-Si	Placa
SA-516	55	K01800	55	1	1	...	...	101	...	C-Si	Placa
SA-516	60	K02100	60	1	1	...	...	101	...	C-Mn-Si	Placa
SA-516	65	K02403	65	1	1	...	...	101	...	C-Mn-Si	Placa
SA-516	70	K02700	70	1	2	...	...	101	...	C-Mn-Si	Placa

Se presentan las brocas de tungsteno de 1/8"Ø de diámetro como se muestra en la Fig. 3.37, asimismo las limas de carburo de tungsteno de acuerdo a la Fig.3.38.



Fig.3.37 Brocas de tungsteno de 1/8"Ø



Fig.3.38 Lima Tipo A forma de árbol

3.1.3. Aplicación de la soldadura por el proceso SMAW

Posteriormente se realiza la alineación de las placas con una abertura de raíz de 1/8" a 1/4" de acuerdo a lo que considera el código y se puntea las placas para fijar su alineación, como se muestra en la Fig. 3.39.



Fig. 3.39 Probeta de placa

Se revisan los parámetros y características del proceso de soldadura durante el ajuste previo a la realización de la soldadura de prueba, como amperaje, voltaje, polaridad, tipo de corriente, metal de aporte y velocidad de avance como se especifica en la Fig. 3.40 del WPS.

Metales base (QW 403)							
No.P	1	No. Grupo:	2	a No.P	1	No. Grupo:	2
Especificación, Tipo y Grado:	Ko 2700						
Especificación, Tipo y Grado:	Ko 2700						
Analisis Quimico y Prop. Mecanicas:	Composición Nominal C-Mn-Si			Tensión Min. Especificada: 70 000 Psi			
o Analisis quimico y propiedades Mecanicas:	Composición Nominal C-Mn-Si			Tensión Max. Especificada: 70 000 Psi			
orden de espesores:	250" a 500"						
Metal Base:	0.5"	Ranura	Sencilla V	Filete:	N/A		
Maximo de paso de espesores:	1/2"			si:		NO:	
Otros	N/A						

Fig. 3.40 QW 403 Datos del WPS del metal base.

De acuerdo a la Tabla 3.13 para el acero SA 516 GR 70 su número-P es uno y pertenece al grupo número dos, especificando el tipo y grado o número UNS el cual para este acero es K02700. Como la composición química nominal es C-Mn-Si y las propiedades mecánicas de tensión mínima especificada es de 70,000 Psi.

La siguiente sección del WPS es el llenado de la posición como se muestra en la Fig. 3.41, de acuerdo a QW 461.3 la posición es 1G en plano, los datos de precalentamiento como mínimo debe de estar a temperatura ambiente entre 70°C y 95°C y el tratamiento térmico después de llevar a cabo la soldadura no aplica para este caso.

QW-482 (RESPALDO)				TRATAMIENTO POSTERIOR A LA SOLDADURA (QW-407)			
POSICIÓN (QW-405)	1G PLANA			RANGO DE TEMPERATURA: N/A			
PROGRESIÓN DE SOLDADURA:	ARRIBA	N/A	ABAJO:	N/A	TIEMPO DE RANGO: N/A		
POSICIONES DE FILETE				OTROS: N/A			
OTROS	N/A						
PRECALENTAMIENTO (QW-406)				GAS (QW-408)			
TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO, MAXIMO	70° A 95°C			COMPOSICIÓN DE PORCENTAJE			
TEMPERATURA ENTRE PASOS, MAXIMO:	N/A			GAS(ES)	MEZCLA	GASTO	
MANTENIMIENTO DE PRECALENTAMIENTO	N/A			PROTECCIÓN	N/A	N/A	N/A
OTROS	N/A			ARRASTRE	N/A	N/A	N/A
				RESPALDO	N/A	N/A	N/A

Fig. 3.41 Datos de las posición, precalentamiento, tratamiento térmico después de realizar la soldadura del WPS.

Conforme a los rangos considerados la unión mediante el proceso SMAW, se verificaron que los parámetros estuvieran dentro del rango de la especificación, en la probeta se anexa la terminación de vista de la unión soldada ver Fig. 3.42.



Fig.3.42 Placa soldada de probeta.

3.1.4. Inspección con PND de la soldadura

De acuerdo a ASME Secc. IX en el párrafo QW-144 se describe que la inspección visual en QW-194 es utilizada para determinar que la superficie soldada final cumpla con la norma de calificación especificada.

Se realizó la inspección visual en la placa soldada detectándose dos indicaciones de tipo poro y la otra un socavado en la superficie de la soldadura y metal base las cuales se muestran en las Fig. 3.43



Fig. 3.43 Medición de distancia de defectos: a) Socavado, b) Poro y c) Poro.

En la Tabla siguiente se anexan los datos de las mediciones de las indicaciones por la técnica de inspección visual ver Tabla 3.14

Tabla 3.14. Datos de los defectos por inspección visual

No. INDICACIÓN	TIPO	LONGITUD PLG	ANCHO PLG	PROFUNDIDAD	DISTANCIA EN X	ASME SEC VIII DIV 1 APENDICE 4 CRITERIOS	ASME SEC. V ART.9, ART.1, NRF-227-PEMEX-2009
1	PORO	0.103"	0.012"	-	Borde de probeta a el primer poro 1.72"	1/32" para t de 1/4" a 2"	
2	PORO	0.097"	0.08"	-	Borde de probeta a el segundo poro 2.04"		
3	SOCAVADO	0.102"	0.09"	0.089"	Borde de probeta a el socavado 1.21"		Profundidad 1/32" (0.8 mm)

Se realizó la prueba por líquidos penetrantes de las indicaciones “ver Fig. 3.44 y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.15.

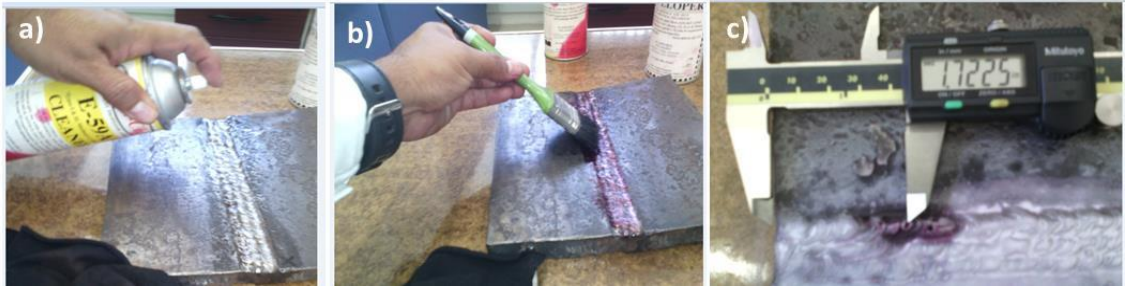


Fig. 3.44 Aplicación de líquidos penetrantes: a) limpieza, b) aplicación de penetrante y c) revisión y evaluación.

Tabla 3.15 Datos de los defectos detectados por Líquidos penetrantes

No. INDICACIÓN	TIPO	LONGITUD PLG	ANCHO PLG	PROFUNDIDAD	DISTANCIA EN X	ASME SEC VIII DIV 1 APENDICE 8 CRITERIOS
1	PORO	1/4	1/8	–	Borde de probeta a el primer poro 1.72".	Mayores 3/16"
2	PORO	1/3	1/5	–	Borde de probeta a el segundo poro 2.04".	
3	SOCAVADO	1/4	1/5	0.089"	Borde de probeta a el socavado 1.21"	

Se realiza la prueba por partículas magnéticas de las indicaciones presentadas ver Fig. 3.45 y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.16.

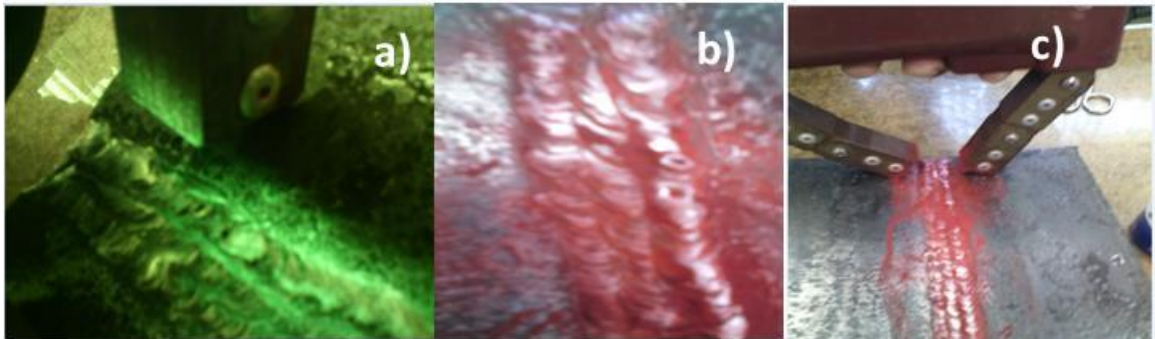


Fig. 3.45 Aplicación de Partículas Magnéticas: a) Fluorescentes, b) Defectos c) Visibles secas

Tabla 3.16. Datos de los defectos detectados por partículas magnéticas

No. INDICACIÓN	TIPO	LONGITUD PLG	ANCHO PLG	PROFUNDIDAD	DISTANCIA EN X	ASME SEC VIII DIV 1 APENDICE 6 CRITERIOS
1	PORO	1/4	1/8	–	Borde de probeta a el primer poro 1.72".	Mayores 3/16"
2	PORO	1/3	1/5	–	Borde de probeta a el segundo poro 2.04".	
3	SOCAVADO	1/4	1/5	0.089"	Borde de probeta a el socavado 1.21"	

La prueba por ultrasonido (arreglo de fases) de las indicaciones presentadas ver Fig. 3.46, al realizar esta prueba los poros no fueron localizados debido a que son muy superficiales en el área de la soldadura, el socavado presenta parte de sus medidas tomadas en inspección visual y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.17.

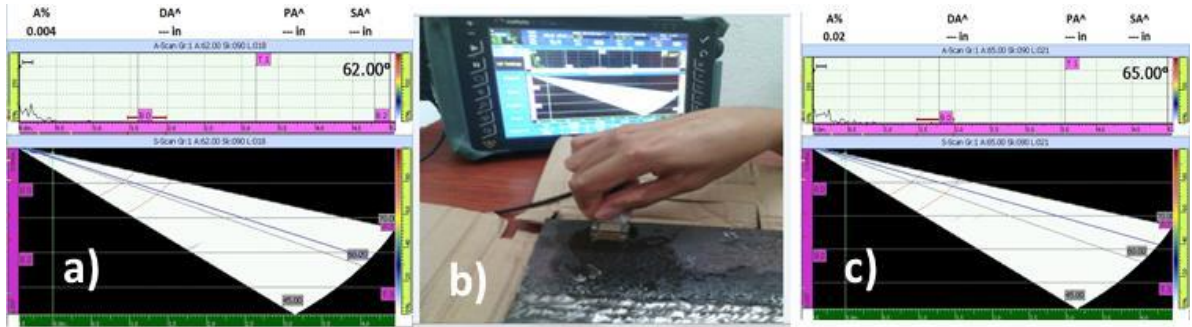


Fig. 3.46 Aplicación de Ultrasonido arreglo de fases: a) Verificación de poro, b) Equipo utilizado c) Verificación de socavado.

Tabla 3.17. Datos de los defectos por Ultrasonido

No. INDICACIÓN	TIPO	LONGITUD PLG	ANCHO PLG	PROFUNDIDAD	DISTANCIA EN X	ASME SEC VIII DIV 1 APENDICE 12 CRITERIOS
1	PORO	NO SE ENCONTRARON	-	-	Borde de probeta a el primer poro 1.72".	1/4" t, para t hasta 3/4"
2	PORO	NO SE ENCONTRARON	-	-	Borde de probeta a el segundo poro 2.04".	
3	SOCAVADO	0.102"	0.09"	0.089" (2.26 mm)	Borde de probeta a el socavado 1.21"	

3.1.5. Reparación de las indicaciones en probeta

Se ranura los extremos de la indicación con una broca de 1/8" a una profundidad de 3/64" (1.031 mm) Ver Fig. 3.47-a, b, c y d.



Fig. 3.47 Realización de: a) Ajuste de broca, b) Perforación de extremo c) Distancia perforada, d) Vista del barrenado.

Se realiza el desbaste con las limas de tungsteno para la remoción de la indicación y para eliminar las aristas ver las Fig. 3.48, 3.49 y 3.50.



Fig. 3.48. Desbaste superficial de la indicación



Fig. 3.49. Desbaste interno de la indicación

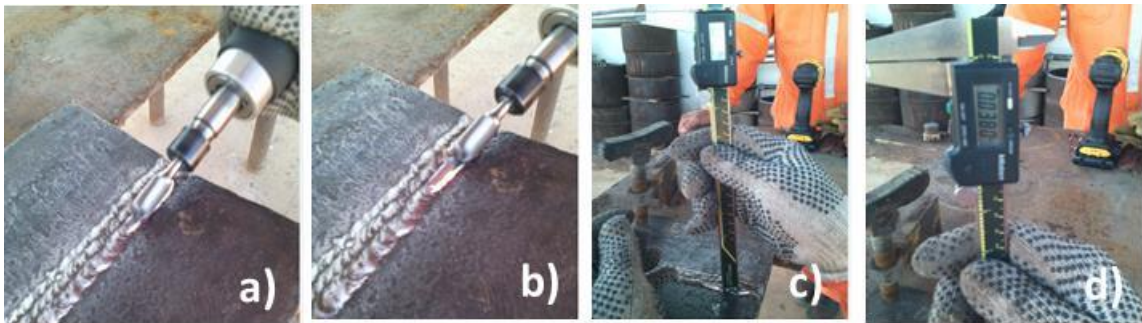


Fig. 3.50. Desbaste de aristas de la indicación

Inspección con las PND, líquidos penetrantes para verificar que se ha eliminado la indicación ver Fig. 3.51.

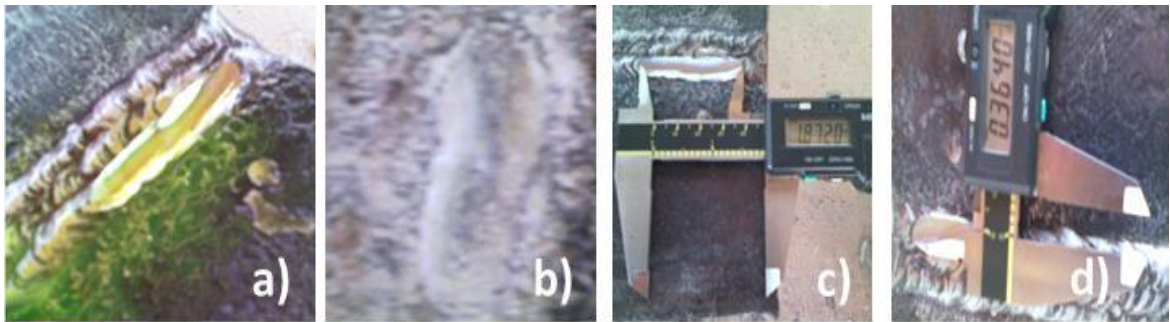


Fig. 3.51 Realización de líquidos penetrantes: a) Fluorescentes, b) Removibles con solvente, c) Largo de la remoción, d) Ancho de la remoción.

Se realiza el precalentamiento de la probeta a una temperatura de 90°C ver Fig. 3.52 para posteriormente aplicar el material de aporte.



Fig. 3.52 Precalentamiento

Aplicación del material de aporte de acuerdo a los parámetros que se mencionan en el WPS posgrado No.1 ver Fig. 3.53 a, b, c, d y e.

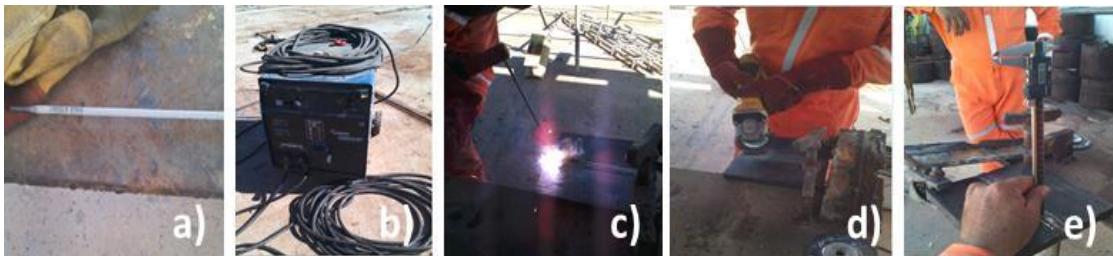


Fig. 3.53 Realización de actividades: a) Material de aporte, b) Máquina de soldar, c) Aplicación del material de aporte, d) Limpieza de la soldadura, e) Medición de corona del cordón nuevo

Para corroborar que el defecto ha sido realizado satisfactoriamente se verifican nuevamente por las técnicas de líquidos penetrantes, partículas magnéticas, así mismo la verificación interna de la soldadura por el método de ultrasonido arreglo de fases ver Fig. 3.54 Líquidos penetrantes Fig. 3.55 Partículas magnéticas, Fig. 3.56 Ultrasonido arreglo de fases.



Fig. 3.54 a) Longitud de la soldadura reparada, b) Penetrante en soldadura, c) Aplicación del revelador no encontrando indicaciones relevantes.

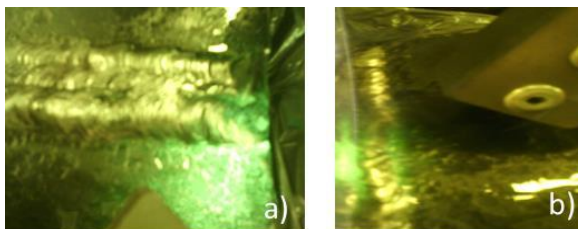


Fig.3.55 a) Partículas Magnéticas fluorescentes. b) sin indicaciones en cordón.



Fig. 3.56 a) verificación de la reparación por arreglo de fases, b) No presento indicaciones.

Los parámetros de soldadura empleado por el WPS en el proceso se muestran en la Fig. 3.57.

**QW-482 FORMATO SUGERIDO PARA ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDAR (WPS)
(Vea QW-200.1, Sección IX, Código de Calderas Y Recipientes de Presión de la ASME)**

Nombre de la compañía COMIMSA S.A DE C.V Por: JOSE A. SAUZ HDEZ

Especificación de Procedimiento de Soldar No. POSGRADO Fecha: 8/SEPT/2014 No. (s) de QPR que Apoya (n) N/A
No. 1

Revisión No. 01 Fecha 09/SEPT/2014

Proceso (s) de Soldar SMAW Tipo(s) MANUAL
(automático, Manual, Con Maquina, o Semi-Auto)

JUNTAS (QW-402)
Diseño de Junta RANURA A TOPE
Respaldo (Si) (No) X
Material de Respaldo N/A
(Tipo) _____

Metal Metal Que No Se Funde
 No Metálico Otro

Los Croquis, Dibujos de Producción Símbolos de Soldadura o Descripción Escrita deberán mostrar el arreglo general de las partes que se van a soldar. En donde sea aplicable, se puede especificar el espaciamento arreglo de raíz y los detalles de la ranura de soldar.

A la opción del fabricante, se puede anexar croquis para ilustrar diseño de junta, capas de soldadura y serie de cordones, p. ej. Para procedimientos de tenacidad de muesca, para procedimientos de procesos múltiples. Etc

***METALES BASE (QW-403)**
No. P. 1 No. Grupo 2 a No. P. 1 No. Grupo 2
Especificación tipo y grado a especificación tipo y grado KO2700
KO2700
Análisis Quím. Y Prop. Mec. COMPOSICIÓN NOMINAL C-Mn-Si, TENSIÓN MÍNIMA ESPECIFICADA: 70,000 Psi
a Análisis Quím. Y Prop. Mec. COMPOSICIÓN NOMINAL C-Mn-Si, TENSIÓN MÍNIMA ESPECIFICADA: 70,000 Psi
Orden de Espesores: Metal Base: 3/16" a 1" Ranura SENCILLA V Filete N/A

***METALES DE APORTE (QW-404)**
No. Espec. (SFA) SFA-5.1 Y 5.5
No. AWS (Clase) E-7018
No. F 4
No. A 1
Nombre Comercial de Fundente LINCOLN

*Otra combinación de metal base y metal de aporte se deberá registrar individualmente.

QW-482 (Respaldo) WPS No. POSGRADO Rev 01
No. 1

POSICIONES (QW-405)	TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR A SOLDADURA (QW-407)
Posición(es) de Ranura: <u>IG PLACA</u>	Orden De temperaturas <u>N/A</u>
Progresión de Soldadura: P. Arriba <u>N/A</u> P. Abajo <u>N/A</u>	Orden De Tiempos <u>N/A</u>
Posición(es) de Filete: <u>PH</u>	

PRECALENTAMIENTO	GAS (QW-408)
Temp. Prealent. Min <u>TEMP. AMBIENTE O</u>	Gas(es) <u></u> (Mezcla) <u></u> Gasto <u></u>
Temp. Entre Pasos. Max. <u>20°C</u>	Protección <u>N/A</u>
Mantenencia de Prealemtamiento <u>70°C A 95°C</u>	Anastre <u>N/A</u>
<input type="checkbox"/> <u>N/A</u>	respaldo <u>N/A</u>
<small>(Calentamiento continuo o especial donde sea aplicable se deberá registrar)</small>	

CARACTERISTICAS-ELECTRICAS (QW-409)

Corriente CA CD Polaridad INVERTIDA

CD

Amps (Orden) 120-160 Volts (Orden) 28-32

(El orden de Amps y volts se deberá registrar para cada tamaño de electrodo, posición, y espesor, etc. esta información se puede poner en lista en forma tabular similar a la que se muestra abajo)

TECNICA (QW-410)

Cordón long. O Cordón vaivén CORDON SENCILLO

Limpieza inicial y entre pasos (Cepillado, Esmerilado, etc.) CEPILLO, ESMERILADO

PASO POR LADO MULTIPLE

Capa(s) de soldadura	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Orden de velocidad Recorrido	Otros (p. ej., Notas, Comentarios, Adición de alambre caliente, Técnica, Angulo de Soplete, Etc.)
		Clase	PLACA	Tipo polar	Orden Amp		
1-N	SMAW	E-7018	0.200"-A-0.500"	CDEP	120-160	28-32	4-A-6

Fig.3.57. Parámetros de soldadura empleados en la elaboración del cupón de soldadura por el proceso SMAW.

3.2. Pruebas metalográficas y dureza

Se realizó el ensayo de dureza tanto para el material base como para cordón de soldadura, utilizado en la construcción de recipientes a presión.

A continuación se detallan los datos del análisis realizados a la probeta.

3.2.1. Caracterización del material

Para la caracterización del material base y de la junta soldada se desbastó un área de la probeta en la sección de interés, posteriormente fueron sometidos a un proceso de desbaste con una pulidora marca: Dewalt, Serie: 784911, disco, detallado y pulido con papel de lija de granulometría desde 100 hasta 1200 μm , realizando una evaluación visual de la superficie. En esta etapa se utilizó un paño tipo lona con una solución de alúmina con un tamaño de partícula de 0.3 μm , siguiéndole a este tamaño, una de 0.1 μm .

La microestructura del material base ver Fig.3.58, revela granos equiaxiales de ferrita (componente claro) y perlita (componente oscuro), con un tamaño de grano aproximado de 8 $\frac{1}{2}$ -9 de acuerdo a la especificación ASTM E-112 (23).

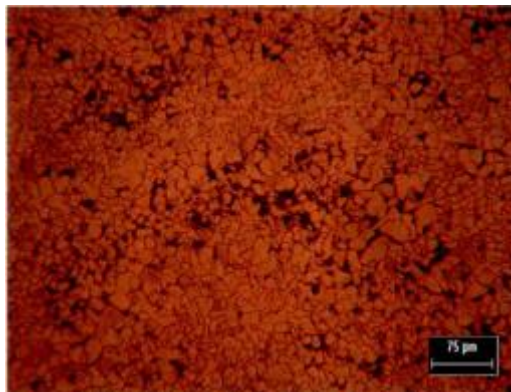


Fig. 3.58 Microestructura del SA 516 GR.70 (100X).

Las pruebas de durezas en el material base se muestran en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18 Durezas del material en Brinell (BHN)

RESULTADOS				
ENSAYO DE DUREZA				
TIPO	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	PROMEDIO
BHN	172	180	172	174

3.2.2. Ensayos de durezas

Para realizar los ensayos de microindentación se realizó el desbaste del cordón de soldadura, realizándolo en el área del cordón y la zona afectada por el calor.

La probeta fue sometida al proceso de desbaste y pulido con el objeto de disponer de superficies aptas para ensayos de indentación estática. La prueba de indentación fue realizada en el plano como se anexa en la Fig.3.59 del cual se obtuvieron las durezas de la zona afectada por el calor y por último, la dureza del cordón de soldadura.

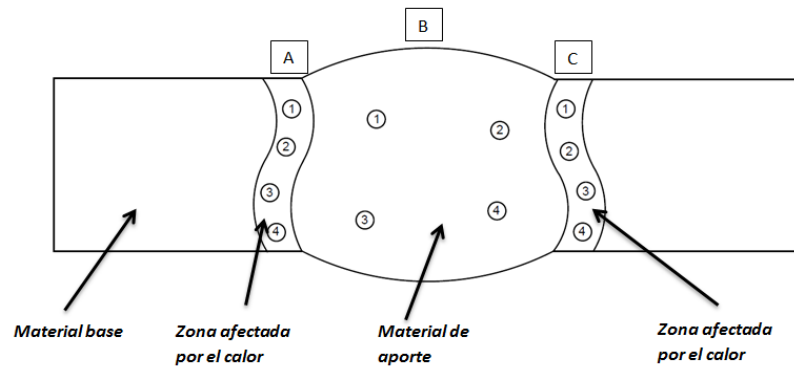
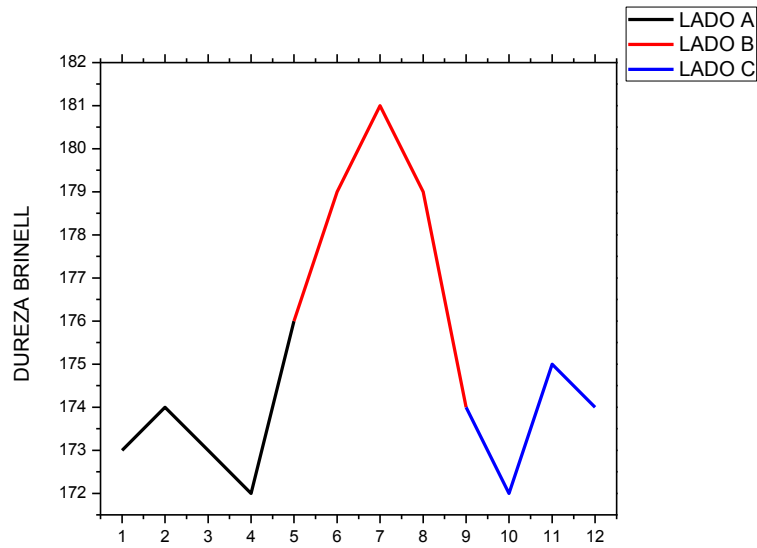


Fig. 3.59 Indentaciones de Durezas

En la Tabla 3.19 los valores de dureza se observa un aumento de las propiedades mecánicas, tanto para el material presente en el cordón de soldadura como en la zona afectada por el calor, al ser comparadas con las propiedades del material base.

Figura 3.60 Durezas del cordón y zona ZAC.



Para ello se utilizó un Durómetro; Marca: Proceq, Modelo: Equotip 3 serie: A36793, con un penetrador con número de serie: 23145. Las diferentes indentaciones fueron realizadas de manera alterna y a lo largo de la probeta, dejando una distancia de entre cada huella.

3.2.3.-Caracterización de la soldadura

Se realizó la caracterización del material base, de la zona afectada y del cordón de soldadura; con la finalidad de tener el tamaño de granos, algunos aspectos de forma y distribución de los microconstituyentes, que permitan determinar de manera más explícita las condiciones del material en estudio. La evaluación fue efectuada en un plano transversal o perpendicular a la dirección de laminación del material.

En la Figura 3.60 se identificaron las zonas evaluadas de la probeta: sección A, zona afectada y cordón de soldadura.

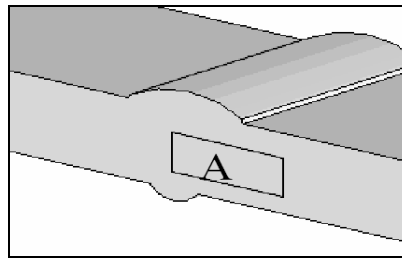


Fig. 3.61 Probeta con zonas identificadas para caracterización.

En la Figura 3.62 se muestran las micrografías realizadas sobre la zona A, que representa el material base y la zona afectada por el calor. En la sección transversal que está representada en la Fig. 3.61a se aprecia una microestructura ferrítica-perlítica y grano fino en la zona de transición. En cambio para la ZAC Fig. 3.62 b se observa un poco de bainita superior (Bs) siendo característica en este tipo de aceros; también se encontró ferrita acicular la confiere buenas propiedades mecánicas.

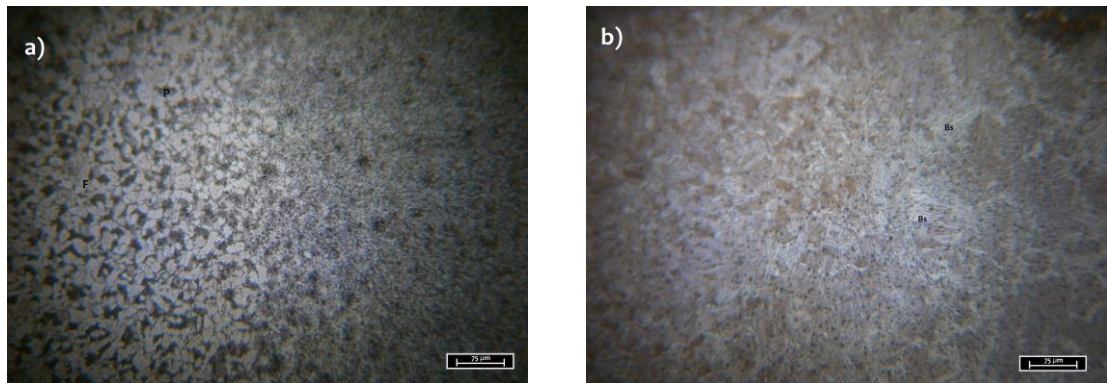


Fig. 3.62 Micrografías de material soldado, a) Metal base y zona de transición y b) HAZ (100x)

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

Los defectos de soldadura descubiertos visualmente o por prueba hidrostática pueden ser removidos por los medios mecánicos garantizando la remoción de los defectos basados en las técnicas destructivas y con esto demostrar que la soldadura es integra para el buen funcionamiento de los equipos.

Esta metodología comprende aquellas áreas de defectos encontrados en las soldaduras de las boquillas, donde difícilmente existe un espacio para ser reparadas por esmerilado.

Llevando acabo todos los pasos de la metodología y los diámetros de las herramientas mecánicas adecuados para la remoción de los defectos podrán garantizarse la remoción mínima de las áreas a reparar en los cordones de soldaduras de las boquillas y soldaduras del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.-Soldadura manual con electrodos revestidos (SMAW) Lincoln electric; departamento de formación Lincoln, año 2000, México –KD, S.A
- 2.-Kalpakjian, Serope, and Steven Schmid. Manufacturing Engineering and Technology. '5th ed'. Upper Saddle river, NJ: Pearson Prentice Hall, 2006.
- 3.- Diseño y calculo de recipientes sujetos a presión, Ing. Juan Manuel León estrada, edición 2001
- 4.- Pontificia Universidad Católica del Perú, Autor; Pedro Augusto Coloma Vera, Lima-Perú, Julio-2007.
5. - The procedure Handbook of Arc Welding,12 th Edition, Lincoln Electric Company.
6. - Standard for AWS certification of welding inspector ANSI/AWS QCI-96.
- 7.- NRF-227-PEMEX -2009 Evaluación de la integridad mecánica de tuberías de proceso y recipientes a presión en instalaciones marinas
- 8.- Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Departamento de Ingeniería Química, cursos especiales de grado áreas de gas. Evaluación de los criterios de diseño y configuración estructural de recipientes a presión, belkis enidian romero pino, Barcelona, agosto de 2010.
- 9.-Catalogo de electrodos revestidos Lincoln electric (www.lincolnelectric.com.ve) edic.2001
- 10.- Aplicación del análisis de riesgo a la terminación de obras de proyectos petroleros, Lic. Mina D.Méx.2007.

- 11.- Mejía D. Israel, Supervisión de soldadura en la construcción de estructuras metálicas, Méx. D.F. Mayo 2007.
- 12.- Juan A. pozo Reparación de soldadura en recipientes 30(2):91-100, ABRIL JUN-2002
- 13.-Revista PND Temas para la Educ.No.13 marzo 2011, dep. leg. Gr 2786-2008.
- 14 Centro de investigaciones de soldadura universidad central marta Abreu de las villas, Autor; Dr. Juan A. Pozo Morejón, Dr. Eduardo Díaz Cedre.
- 15.- ASME SEC. VIII DIV. I, Parte A, Código ASME para calderas y recipientes a presión.Edic:2010.
- 16.- ASME SEC. IX: Calificación de soldadura fuerte y soldadores.Edic:1998.
- 17.- Código de inspección de Junta Nacional (NBIC), ANSI/NB-23.Edic:2005.
- 18.- API 510: Código de inspección de recipientes a presión: Inspección en Servicio, Evaluación, reparación y alteración. Edic.2010.
- 19.-NRF-228-PEMEX-2008 Diseño y construcción de recipientes a presión.
- 20.- Catalogo de herramientas Travers tool año 2014.
- 21.- Autor: Hakima Miotti, Impacto económico de la normalización, junio 2009.
- 22.- Norma ASTM-A370. Métodos de prueba y estándar definición para ensayos mecánicos de productos de acero.
- 23 - Norma ASTM E-112, Método de ensayo estándar para determinar el promedio de tamaño de grano.
- 24.- Tesis profesional Nov. 1984, Mendoza May L. Andrés; Facultad de Ingeniería. UNAM.
- 25.- Manual de recipientes a presión grupo Noriega, primera edic.1989

LISTA DE TABLAS

Número	Tablas	Página
1	Tabla 2.1 Comparación entre soldaduras con corriente continua y con corriente alterna.	11
2	Tabla 2.2 Eficiencia de juntas soldadas.	20
3	Tabla 2.3 Códigos para el diseño, fabricación y certificación de recipientes a presión.	26
4	Tabla 2.4 Propiedades mecánicas de SA 516 GR.70.	27
5	Tabla 2.5 Propiedades químicas del SA 516 GR.70.	28
6	Tabla 2.6 Sistema de clasificación de electrodos.	32
7	Tabla 2.7 USC-23 esfuerzos máximos del SA 516.	37
8	Tabla 2.8 QW/QB-422 Números P.	38
9	Tabla 2.9 Composición del material SA 516 GR.70.	38
10	Tabla 2.10 Temperaturas de precalentamiento.	47
11	Tabla 2.11 Descripción de herramientas y material.	49
12	Tabla 2.12 Espesor mínimo requerido por presión.	54
13	Tabla 3.13 Números P para materiales ferrosos QW/QB-422.	74
14	Tabla 3.14 Datos de defectos por inspección visual.	77
15	Tabla 3.15 Datos de los defectos detectados por Líquidos Penetrantes.	78
16	Tabla 3.16 Datos de los defectos por Partículas Magnéticas.	78
17	Tabla 3.17 Datos de los defectos por Ultrasonido.	79
18	Tabla 3.18 Durezas del Material.	85

LISTA DE FIGURAS

Número	Figuras	Página
1	Fig. 2.1 Esquema del Proceso de soldadura SMAW.	10
2	Fig. 2.2 Equipo de Soldadura.	12
3	Fig.2.3 Curva Volt/Amp en máquina de corriente constante.	12
4	Fig. 2.4 Curva Volt/Amp en máquina de voltaje constante.	13
5	Fig.2.5 Diagrama de Equipo Básico de Soldadura.	15
6	Fig. 2.6 Equipo de seguridad del soldador de acuerdo a ANZI Z49.1.	16
7	Fig. 2.7 Las fig. a y b muestran las areas donde puede ocurrir fallas de las soldaduras de las boquillas.	20
8	Fig. 2.8 Comportamiento de un socavado en soldadura	22
9	Fig. 2.9 Muestra de a) Poros túnel b) Poros agrupados.	24
10	Fig; 2.10 Clasificación de los recipientes.	25
11	Fig.; 2.11. Representación de un recipiente a presión.	27
11	Fig.; 2.12. Junta soldada de boquillas UW-16.1 ASME.	30
12	Figura 2.13 Distribución del complejo Akal-C.	35
13	Fig. 2.14 UW-3 Uniones de juntas A,B,C y D.	42
14	Figura 2.15 Diagrama de flujo de puntos de la metodología.	43
15	Fig. 2.16 Sujeción de broca para profundidad adecuada.	50
16	Fig. 2.17 Poro equipo FA-1103, AKAL-B.	51

17	Fig.2.18 socavado equipo FA-1201-B, AKAL-JP.	51
18	Fig. 2.19 Perforación de indicación.	51
19	Fig. 2.20 Lima en forma tipo F de árbol 3/8"Ø.	52
20	Fig.2.21 Lima en forma tipo A sin corte en la punta.	52
21	Fig.2.22 Lima en forma tipo D bola.	53
22	Fig. 2.23 Tipo A fresa.	53
23	Fig. 2.24 Tipo F árbol.	53
24	Fig. 2.25 Tipo D bola.	53
25	Figura 2.26 Bridge-Cam.	60
26	Figura 2.27 Pie de rey.	60
27	Figura 2.28 Principio de líquidos penetrantes.	61
28	Figura 2.29 Diagrama de inspección por líquidos penetrantes.	64
29	Figura 2.30 Magnetismo de los polos.	65
30	Figura 2.31 Equipo de ultrasonido y sus componentes.	66
31	Figura 2.32 Esquema de longitud de onda.	69
32	Figura 2.33 Imagen radiográfica.	71
33	Figura 2.34 Densidades de radiografía.	72
34	Figura 3.35 Unión a tope alternativo.	73
35	Figura 3.36 Datos de la probeta.	73
36	Figura 3.37 Brocas de tungsteno de 1/8"Ø.	74
37	Figura 3.38 Lima de tungsteno.	74
38	Figura 3.39 Probeta de placa.	75
39	Figura 3.40 Datos del WPS del metal base.	75

40	Figura 3.41 Posición y datos del WPS.	76
41	Figura 3.42 Placa soldada de probeta.	76
42	Figura 3.43 Probeta de indicaciones de poro y socavado.	77
43	Figura 3.44 Aplicación de Líquidos penetrantes.	78
44	Figura 3.45 Aplicación por partículas magnéticas.	78
45	Figura 3.46 Ultrasonido (Arreglo de fases).	79
46	Figura 3.47 Perforación de extremos.	79
47	Figura 3.48 Desbaste superficial de la indicación.	80
48	Figura 3.49 Desbaste interno de la indicación.	80
49	Figura 3.50 Desbaste de las aristas de la indicación.	80
50	Figura 3.51 Inspección por PT, después de la remoción del defecto.	80
51	Figura 3.52 Pre calentamiento.	81
52	Figura 3.53 WPS variables.	81
53	Figura 3.54 Verificación final por Líquidos penetrantes.	82
54	Figura 3.55 verificación final por partículas magnéticas	82
55	Figura 3.56 Verificación final por arreglo de fases.	82
56	Figura 3.57 Parámetros del WPS Posgrado No. 1.	83
57	Figura 3.58 Microestructura del SA 516 Gr.70 (100x).	84
58	Figura 3.59 Indentaciones de Durezas.	85
59	Figura 3.60 Durezas del cordón y zona ZAC.	86
60	Figura 3.61 Probeta con zonas identificadas para caracterización.	87
61	Figura 3.62 Micrografías de material soldado, a) Metal base y zona de transición y b) HAZ (100x)	87