

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**ELABORACION DE PROCEDIMIENTOS DE
SOLDADURA PARA LA FABRICACION DE
TUBERIA FORZADA**

INFORME DE SUFICIENCIA

PRESENTADO POR

ALDO RAMON GOMEZ PAULET

PROMOCION 2003 - II

**LIMA – PERU
2009**

INDICE

PROLOGO	1
CAPITULO 1. INTRODUCCION	3
1.1 Generalidades	3
1.2 Alcances	4
1.3 Objetivos	4
1.4 Limitaciones	4
CAPITULO 2. CONCEPTOS GENERALES	6
2.1 Conceptos básicos.	6
2.1.1 Ensayo de Doblez Guiado	6
2.1.2 Ensayo de Tracción	8
2.1.3 Ensayo Impacto Charpy V	13
2.1.4 Ensayo de Dureza	14
2.1.5 Ensayo Metalográfico	17
2.1.6 Ensayo Radiográfico	19
2.1.7 Ensayo de Ultrasonido	25
2.1.8 Ensayo de Partículas Magnéticas	32
2.1.9 Precalentamiento	39
2.1.10 Temperatura de Interpase	44
2.1.11 Temperatura de Postcalentamiento	48

2.2	Procesos de soldadura utilizados	52
2.2.1	Proceso SMAW	52
2.2.2	Proceso SAW	59
2.2.3	Proceso GMAW	63
CAPITULO 3. ELABORACION DE PROCEDIMIENTOS		71
3.1	Descripción del Material Base	71
3.2	Materiales de Aporte	74
3.2.1	Para Procedimiento con SMAW	75
3.2.2	Para Procedimiento con SAW	76
3.2.3	Para Procedimiento con GMAW	78
3.3	Establecimiento de variables.	80
3.3.1	Variables para el Procedimiento con SMAW	82
3.3.2	Variables para el Procedimiento con SAW	100
3.3.3	Variables para el Procedimiento con GMAW	110
3.4	Condiciones de Soldeo	123
3.4.1	Selección de la Temperatura de Pre calentamiento	123
3.4.2	Selección de la Temperatura de Interpase	128
3.4.3	Selección de la Temperatura de Post calentamiento	129
3.5	Ensayos destructivos y no destructivos	130
3.5.1	Condiciones para el Ensayo de Doble z Guiado	130
3.5.2	Condiciones para el Ensayo de Tracción	133
3.5.3	Condiciones para el Ensayo de Impacto Charpy V	136
3.5.4	Condiciones para el Ensayo de Dureza	139
3.5.5	Condiciones para el Ensayo Metalográfico	140

3.5.6	Condiciones para el Ensayo Radiográfico	141
3.5.7	Condiciones para el Ensayo de Ultrasonido	146
3.5.8	Condiciones para el Ensayo de Partículas Magnéticas	147
CAPITULO 4. RESULTADO DE ENSAYOS		149
4.1	Resultado de Ensayos para Procedimiento con SAW	149
4.2	Resultado de Ensayos para Procedimiento con SMAW	157
4.3	Resultado de Ensayos para Procedimiento con GMAW	165
4.4	Aceptación de Procedimientos	173
4.4.1	Procedimiento con SMAW	173
4.4.2	Procedimiento con SAW	180
4.4.3	Procedimiento con GMAW	187
CAPITULO 5. COSTOS DE ELABORACION		195
5.1	Costo del Procedimiento con SAW	196
5.2	Costo del Proceso con SMAW	197
5.3	Costo del Proceso con GMAW	198
CONCLUSIONES		
BIBLIOGRAFIA		
ANEXOS		
A. HOJAS TECNICAS DE MATERIALES DE APORTE		
B. POSICIONES PARA EXTRAER ESPECIMENES PARA ENSAYOS MECANICOS		

- C. LIMITES DE ESPESOR DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS Y ESPECIMENES DE ENSAYO (ASME, SECCION IX)**
- D. LISTA PARCIAL DE CLASIFICACION DE MATERIALES SEGÚN SUS NUMEROS “P” Y “S” (ASME, SECCION IX)**
- E. TABLA DE NUMEROS “A” PARA CLASIFICACION, SEGÚN COMPOSICION QUIMICA, DE MATERIALES DE APORTE FERROSOS (ASME, SECCION IX)**
- F. LISTA PARCIAL DE NUMEROS “ F “ PARA CLASIFICACION DE MATERIALES DE APORTE (ASME, SECCION IX)**
- G. LISTADO DE CALIFICACION DE METALES BASE (ASME SECCION IX)**
- H. TABLA – S 780**
- I. CERTIFICADO DEL ACERO G 3128 SHY 685 (SUMITEN 780 S)**
- J. HOJA TECNICA ACERO SUMITEN 780S**

PROLOGO

En una fabricación de tubería forzada, dado que las presiones y condiciones a las cuales esta va a estar sometida esta son importantes, se hace necesario, según las normas y buenas prácticas de ingeniería, no solo usar los materiales, procesos adecuados y tratamientos térmicos para obtener las propiedades adecuadas sino también establecer procedimientos de soldadura para lograr esta finalidad

Por ello, presentamos la elaboración de estos procedimientos de soldadura para un tipo de acero templado y revenido (Q&T), que es un primer paso para asegurar buenas propiedades mecánicas a los componentes soldados.

Este informe está dividido en cinco capítulos:

El capítulo 1 nos da un panorama general, los alcances, objetivos y las limitaciones.

El capítulo 2 nos da conceptos a cerca de los ensayos aplicados, las temperatura de precalentamiento, interpase y postcalentamiento, y por su puesto los proceso empleados.

En el capítulo 3 se habla de todos los elementos necesarios para elaboración del procedimiento: el metal base, los materiales de aporte, las variables de

soldadura a considerar en cada procedimiento de acuerdo al proceso seleccionado, las condiciones de temperatura a las que se realizará el soldeo y las condiciones del código aplicado así como, las prácticas de fabricación con las que realizamos los ensayos.

El capítulo 4 nos muestra los resultados de los ensayos para verificar las propiedades mecánicas obtenidas que darán conformidad a los procedimientos o indicarán observaciones para su aplicación.

En el capítulo 5 mostramos esquemas de costo de la elaboración de los procedimientos propuestos.

Finalmente presentamos las conclusiones.

En los anexos añadimos información complementaria para un mejor entendimiento del tema.

Agradezco a la empresa IMECON S. A. por las facilidades otorgadas para la realización de este informe, así como por todo lo aprendido tanto en taller como en obra, que me será de mucha utilidad en el desarrollo de mi carrera profesional.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES

El proyecto de fabricación de tubería forzada era un trabajo novedoso para nuestra empresa, primeramente por el material base a usar, el cual no estaba cubierto por los códigos aplicados comúnmente en nuestro medio además de ser un acero templado y revenido; segundo, porque en ese momento trabajamos con el Código ASME, que no cubre este tipo de fabricación, sin embargo por estar estos elementos sometidos a alta presión, se aplicó la Sección VIII que cubre lo referente a recipientes a presión.

Se tenía en claro que la parte principal del proyecto sería la etapa del soldeo en la fabricación, es así que el primer paso fue elaborar los procedimientos de soldadura. Se realizaron muchas pruebas con diversos materiales de aporte y procesos, así como condiciones de soldeo. Las fallas que se producían en algunas pruebas, generalmente, se debían a que los valores de impacto obtenidos eran más bajos que el requerido.

Se obtuvieron varios procedimientos, los primeros utilizados para iniciar la fabricación, algunos de ellos mejorados posteriormente (como el WPS 61 al que hacemos referencia en este informe), y otros para reparación.

Debido a todas las dificultades que se presentaron durante la calificación y elaboración de los procedimientos y la falta de conocimiento para trabajar con aceros de este tipo, se intenta resaltar y rescatar, a nuestro criterio, los puntos más críticos que puedan servir como criterios válidos para trabajos similares.

1.2 ALCANCES

Se analizarán en este informe tres procedimientos de soldadura elaborados para esta fabricación, de acuerdo a los procesos seleccionados y sus variables esenciales y esenciales suplementarias (bajo el código ASME), ensayos destructivos y no destructivos, condiciones de soldeo para conseguir las propiedades mecánicas adecuadas para el funcionamiento de una tubería forzada y costos de la elaboración de cada uno de ellos.

1.3 OBJETIVO

Dar las pautas para elaborar procedimientos de soldadura para la fabricación de tubería forzada hecha con un acero de templado y revenido.

1.4 LIMITACIONES

El presente informe no muestra una forma única y general para hacer procedimientos de soldadura, este es un caso particular del soldeo de un acero templado y revenido, y de aplicación del código ASME; por lo que para otro tipo de materiales listados bajo este código, se deben seguir lo establecido dentro del mismo.

No se pretende hacer un estudio de soldabilidad del acero utilizado, ni se ahondará demasiado en el aspecto metalúrgico. Se da más bien un enfoque aplicativo al momento de elaborar un procedimiento de soldadura.

CAPITULO 2

CONCEPTOS GENERALES

2.1 CONCEPTOS BASICOS

Elaborar procedimientos de soldadura no solo implica escoger un proceso de soldadura, tomar un código y escoger las variables aplicadas al proceso. Primeramente, hay que evaluarlos viendo sus ventajas y desventajas, seleccionando el más apropiado y después de soldar un cupón evaluar las propiedades mecánicas obtenidas por medio de los ensayos correspondientes, a fin de verificar si se cumple con los requerimientos de fabricación. Por ello es importante conocer estos ensayos, así como los procesos seleccionados

2.1.1 Ensayos de Doble

Este ensayo es un método para evaluar la ductilidad y la presencia de posibles defectos pero no puede ser considerado como un medio cuantitativo de predicción de desempeño en servicio.

El ensayo se realiza colocando la probeta a flexionar sobre dos apoyos cilíndricos y aplicando un esfuerzo por la cara superior mediante un punzón.

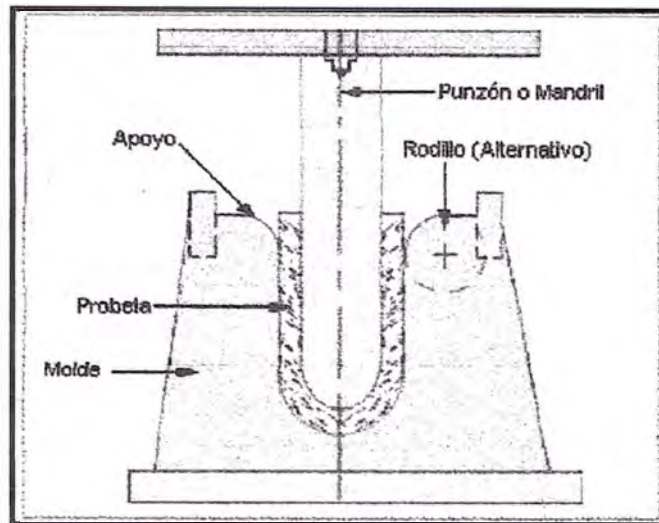


Fig. 2.1 - Esquema de la prueba de doblado

El diámetro del punzón constituye una característica fundamental del ensayo, pues determina en función del espesor de la probeta la curvatura final sobre la cara exterior. Este diámetro viene fijado en las normas, en función del tipo de material. La velocidad de doblado, ordinariamente, no es un factor importante.

Para la selección de las probetas primeramente realizamos el corte de los cupones aproximadamente de sección rectangular. El corte de las superficies debe ser señalando los lados del espécimen. Se denominará cara al lado que tenga el mayor ancho del cordón de soldadura y raíz al menor. Los especímenes de doblado son de varios tipos, dependiendo si el espécimen es tomado transversal al cordón de soldadura del cupón o paralelo (longitudinal) y de la superficie del lado exterior del doblado (lado, cara o raíz).

El doblado de cara se realiza cuando el punzón se coloca en el lado de raíz del espécimen de tal manera que la cara, sea el lado convexo. El doblado de raíz se realiza colocando el punzón del lado de la cara, haciendo que la raíz sea el lado convexo.

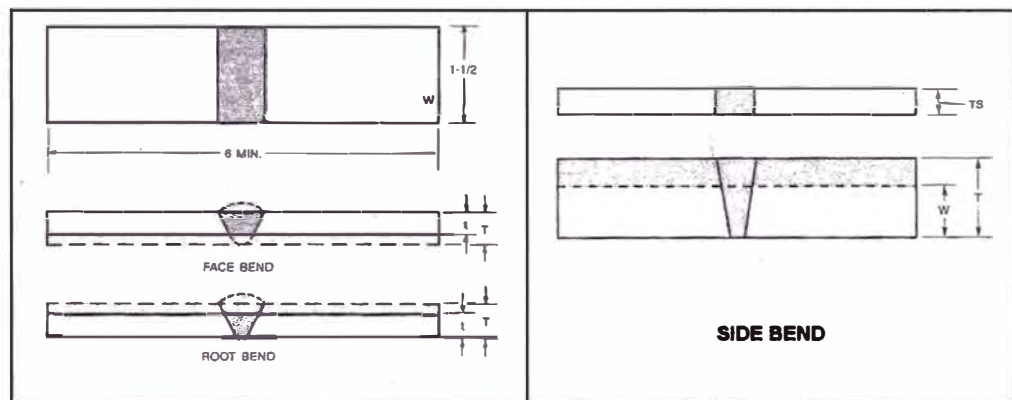


Figura 2.2 - Esquema de la probetas para prueba de doblado

En el doblado de lado el punzón es colocado en uno de los lados de la sección transversal de la soldadura, de tal manera que uno de los lados sea el lado convexo del espécimen. El doblado de lado revela una mayor ductilidad en la soldadura que en el doblado de raíz o de cara.

2.1.2 Ensayo de Tracción

El ensayo de tracción consiste en someter a una probeta determinada a una fuerza de tracción axial que va creciendo gradual y lentamente hasta provocar su ruptura. Se utiliza para determinar las propiedades resistentes de un material, así como para evaluar el comportamiento dúctil en servicio y la capacidad de deformación.

Las probetas a ensayar deben ser normalizadas en forma (cilíndrica o plana) y dimensiones con el objeto de poder comparar los resultados obtenidos en diferentes ensayos.

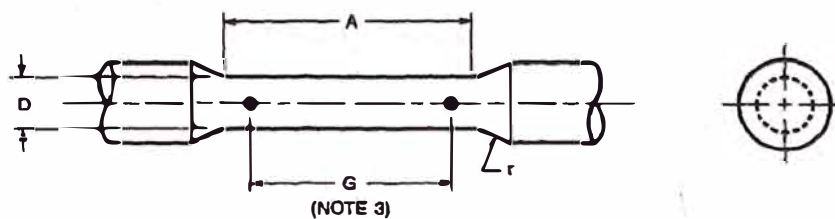


Figura 2.3 - Ejemplo de probeta normalizada

La fuerza de tracción se aplica con dispositivos mecánicos o hidráulicos en el eje de la probeta. En su realización es muy importante la alineación correcta de la probeta con la dirección del esfuerzo. Durante el ensayo la probeta aumenta su longitud (de L_0 a L) y disminuye su sección (de S_0 a S).

Durante el ensayo se mide en cada momento:

- **Tensión:**

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

Donde: F = Fuerza aplicada y S_0 = Sección inicial

- **Alargamiento unitario:**

$$e = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Donde: L = Longitud final y L_0 = Longitud inicial

Los valores medidos de σ y e son medidos en cada instante y se representan en una gráfica denominada curva de tracción.

En la zona elástica σ y e son proporcionales. Se recuperan las dimensiones iniciales si se retira la carga, el tipo de deformación es elástica.

En la zona plástica σ y e pierden su proporcionalidad. No se recuperan las dimensiones iniciales quedando deformaciones permanentes, el tipo de deformación es plástica.

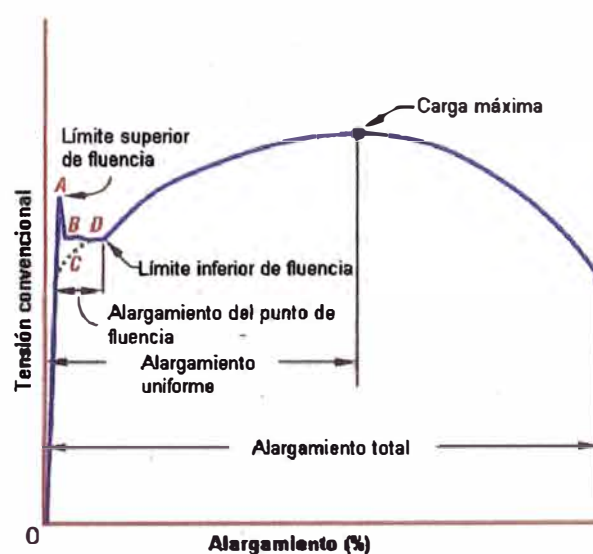


Figura .2.4 - Curva típica de tensión para un acero dulce.

De este ensayo obtenemos valores como:

- **El límite elástico.** Se define como el valor máximo de la tensión que no provoca deformaciones permanentes. El valor de las deformaciones elásticas no permanentes se calcula con la ley de Hooke:

$$e = \frac{\sigma}{E}$$

Donde E es el módulo elástico o de Young

Las deformaciones plásticas permanentes se calculan trazando una paralela a la porción de línea recta del diagrama a una distancia a la derecha correspondiente al valor del contorno especificado. En ocasiones el valor del límite elástico no es fácil de determinar. En este caso se toma como tal, el valor de la tensión que produce una deformación permanente del 0.2%

- **Tensión de Fluencia.** Algunos materiales como los aceros al carbono presentan un comportamiento singular al comenzar la zona plástica. Este comportamiento (observado en la figura 2.4) se denomina cedencia o fluencia. La tensión que origina un comportamiento caracterizado por aumentos y descensos rápidos de alargamiento entorno a un valor medio se denomina límite de fluencia. Este valor suele estar próximo al límite elástico definido anteriormente y a veces se toma como tal.

- **Esfuerzo de Tracción.** Se define como la tensión máxima aplicada antes de producirse la rotura.

$$\sigma = \frac{F \max}{S_o}$$

Si la rotura va precedida de deformación plástica, el material se denomina dúctil, en caso contrario se denomina frágil

- **Estricción y Alargamiento.** En los materiales dúctiles, las probetas se alargan y se estrechan antes de romperse. Se denomina estricción "z" al valor de:

$$Z = \frac{S_o - S_r}{S_o} \times 100$$

Donde S_r es la sección de la probeta en la rotura.

El alargamiento lo obtenemos reemplazando L_f de la fórmula del alargamiento unitario por el valor la longitud de la probeta al romper. Tanto el alargamiento como la estricción representan la máxima deformación plástica (en %) que el material es capaz de soportar antes de romper.

- **Tenacidad.** Se define como la energía que es capaz de absorber y almacenar un material mientras se deforma. Esta propiedad indica la

resistencia a la rotura frágil, su valor es proporcional al área encerrada en la curva de tracción

2.1.3 Ensayos de Impacto Charpy V

La absorción de energía que se presenta en un material sujeto a cargas de impacto está relacionada con el tamaño y la configuración geométrica del espécimen de prueba, con la aplicación de la carga de impacto y con la temperatura a la que se realiza la prueba. Este ensayo representa bastante bien la tenacidad y la resistencia a la rotura frágil.

La probeta a ensayar es sometida a un fuerte impacto que provoca su rotura, luego se mide la energía absorbida por el material antes del impacto. Las probetas a ensayar deben tener la forma y dimensiones normalizadas, realizándose una entalla en ellas para dirigir el inicio de la rotura.

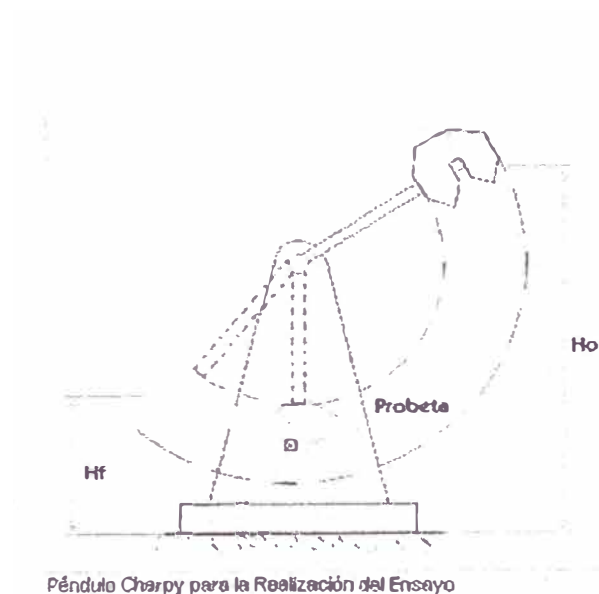


Figura 2.5 - Esquema del ensayo Charpy

El impacto se consigue dejando caer un péndulo calibrado de gran peso desde una altura conocida. La energía se mide por la diferencia entre la altura de caída (H_0) y la alcanzada después del impacto (H_f), y el peso del péndulo.

Dada la gran disminución de esta propiedad con la temperatura, es muy importante indicarla, siendo muy habitual realizar ensayos a la temperatura ambiente de 20 °C y a -20 °C.

Así también, podemos obtener otros datos en este ensayo, como son la expansión lateral que es una medida de la deformación lateral producida durante la fractura de la probeta (expresada en milímetros) y el corte porcentual que es una expresión para el valor de la fractura superficial que ha fallado en una forma dúctil o de corte.

2.1.4 Ensayo de Dureza

En sentido metalúrgico, la dureza de un material puede definirse como la resistencia que opone a ser penetrado superficialmente por otros cuerpos. Para determinarla existen diversos métodos que se basan en la medición de la huella que deja un penetrador de forma normalizada, al comprimir la superficie a ensayar con una fuerza determinada:

Los tipos de ensayo son diversos, mencionamos los siguientes:

- **Ensayo Brinell.** Utiliza como penetrador una bola de acero. Para materiales ferrosos es habitual utilizar una bola de acero de 2.5 mm de diámetro como penetrador y una fuerza de 187.5 kg. Para correlacionar resultados, en caso de utilizar otras fuerzas (como por ejemplo 3000 kg con bola de 10 mm de diámetro) la relación F y D^2 debe ser constante. La dureza se designa como HB.

- **Ensayo Rockwell.** En este ensayo un valor de dureza es obtenido determinando la profundidad de la penetración de un cono de diamante o una bola de acero hacia un espécimen bajo ciertas condiciones de preparación. Una mínima carga de 10 kg es aplicada primero para lograr una penetración inicial, colocar el penetrador en el material y ponerlo en posición. Una mayor carga depende de la escala que esté siendo aplicada. Existen varios tipos de dureza Rockwell:
 - a. **Rockwell B**, realizado con un penetrador esférico y una fuerza de 1000 kg

 - b. **Rockwell C**, realizado con un penetrador cónico de diamante con un ángulo de 120° y una fuerza de 150 kg.

Los resultados se expresan como dureza HRB o HRC. Existen otros tipos de dureza Rockwell más pequeña, como ejemplos pueden citarse los métodos de dureza superficial con cargas de 15 y 30 kg.

- **Ensayo Vickers.** Este es un ensayo generalmente usado como una herramienta de laboratorio para determinar, a temperatura ambiente, la dureza de constituyentes metalúrgicos y regiones de las juntas soldadas

Utiliza como penetrador una pirámide de diamante de base cuadrada y ángulo de $136^\circ \pm 1$ (de la superficie a penetrar a las caras del diamante). El penetrador es forzado hacia el espécimen y las diagonales de la impresión del cuadrado son medidas y promediadas. El cálculo de la dureza es determinado por la fórmula:

$$DPH = \frac{2P \operatorname{sen}(\alpha / 2)}{D^2} = 1.854x \frac{P}{D^2}$$

Donde:

DPH: Dureza calculada

P: Carga aplicada en kilogramos

D: Promedio de la medida de las diagonales de indentación expresada en mm.

La aplicación y remoción de la carga después de un intervalo es controlado automáticamente. Ya que el indentador Vickers es un diamante, puede ser usado en aceros de alta dureza manteniéndose prácticamente indeformable.

La carga es ligera, variando de 1 a 120 kg, de acuerdo a los requerimientos. Una carga normal de 30 kg es usada para materiales homogéneos y 10 kg es usada para materiales suaves. La preparación de la superficie del espécimen es muy importante, esta debe aproximarse al pulido metalográfico.

2.1.5 Ensayos Metalográficos

Estos ensayos consisten generalmente en remover una sección del metal o soldadura y pulirla hasta un grado. Una vez preparada, la probeta puede ser evaluada con la ayuda de la vista humana o con algún medio de aumento.

Los ensayos metalográficos están clasificados como microscópicos o macroscópicos. La diferencia entre ellos es el aumento usado. Los ensayos macroscópicos son generalmente realizados con aumentos de hasta 10X o menos. Los microscópicos, usan aumentos de más de 10X.

De una sección transversal de soldadura extraemos una probeta macroscópica en la cual se puede revelar un gran número de aspectos como la profundidad de fusión, la profundidad de penetración, la garganta efectiva, la sanidad de la soldadura, el grado de fusión, la presencia de discontinuidades en la soldadura, el número de pasadas, etc. Una foto de una probeta es conocida como fotomacrografía.

Muestras micrográficas pueden ser usadas para determinar varios aspectos. Están incluidos los microconstituyentes, la presencia de inclusiones, la presencia de defectos microscópicos, la naturaleza de las fisuras, etc. De la misma forma, fotos de las micrografías son conocidas como fotomicrografías. Ambas muestras pueden ser de mucha ayuda en análisis de fallas, procedimientos de soldadura, calificación de soldadores y control del proceso.

Los dos tipos de probetas también difieren en la preparación requerida. Algunas probetas para solamente necesitan un acabado circular con una lija de grano 80, mientras que otras probetas necesitan un desbaste muy fino con lija hasta grano 600 y un pulido posterior para llevarlo a acabado tipo espejo. Ambas, usualmente requieren un ataque para revelar la estructura. El ataque se realiza agregando un reactivo que remueve las capas superficiales (ya se humedeciendo con un algodón o por inmersión), dejando expuesta la estructura de los granos que están debajo. Puede obtenerse una información considerable acerca de las propiedades de los metales haciendo una simple evaluación de una macro o micrografía. Los análisis metalográficos son una herramienta importante para el inspector de soldadura y para el ingeniero.

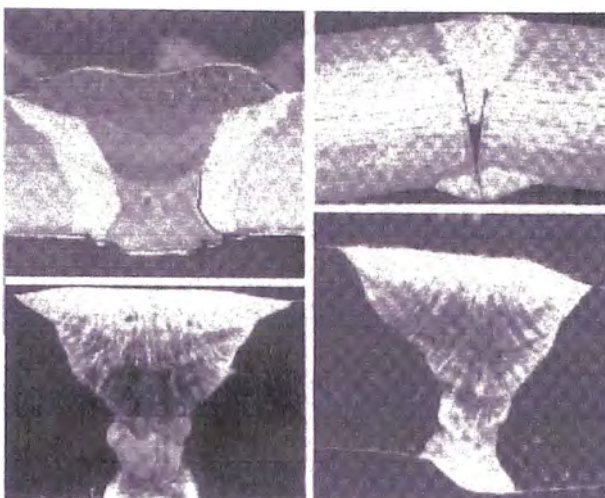


Figura 2.6 - Fotomicrograffias de soldadura

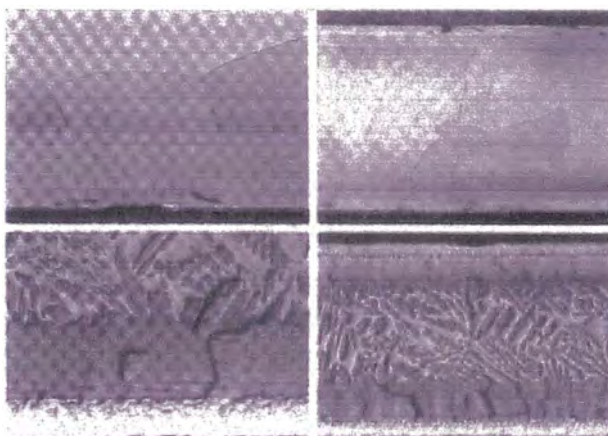


Figura 2.7 - Fotomicrograffias típicas

2.1.6 Ensayos Radiográfico (RT)

La radiografía es un método de ensayos no destructivos basado en el principio de transmisión o absorción de radiación preferencial. Las áreas de espesor reducido o menor densidad transmiten más, y en consecuencia absorben menos radiación. La radiación que pasa a través del objeto de ensayo, formará una imagen contrastante en una película que recibe la radiación.

Las áreas de alta transmisión de radiación, o baja absorción, en la película revelada aparecen como áreas negras. Las áreas de baja transmisión de radiación, o alta absorción, en las películas reveladas aparecen como áreas claras. La Figura 2.8 muestra el efecto del espesor en la oscuridad de la película. El área de menor espesor del objeto de ensayo produce un área más oscura en la película debido a que se transmite más radiación a la película. El área de mayor espesor del objeto de ensayo produce el área más clara porque el objeto absorbe más radiación y se transmite menos. La Figura 2.9 muestra el efecto de la densidad del material en la oscuridad de la película.

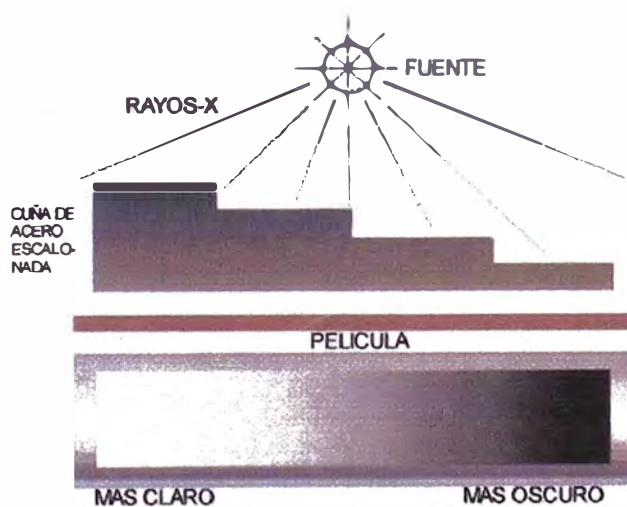


Figura 2.8 – Efecto del Espesor de la Pieza en la Transmisión de Radiación (Absorción)

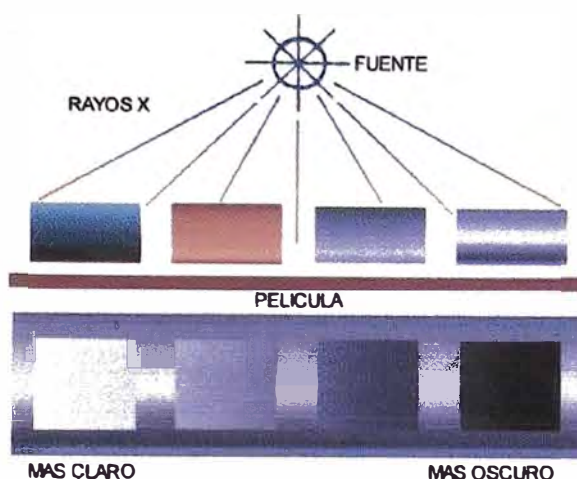


Figura 2.9 – Efecto de la Densidad del Material en la Transmisión de Radiación (Absorción)

La radiación de baja energía, que no sea de partículas, se da en la forma de radiación gamma o rayos X. Los rayos gamma son el resultado de la desintegración de los materiales radioactivos; las fuentes radioactivas incluyen al Iridio 192, Cesio 137 y Cobalto 60. Estas fuentes emiten radiación en forma constante y deben mantenerse en un contenedor de almacenamiento protegido (de plomo y acero), conocido como “cámara gamma”, cuando no está en uso.

Los rayos X fabricados artificialmente; se producen cuando los electrones, viajando a altas velocidades, chocan con la materia. La conversión de energía eléctrica en radiación X se alcanza en un tubo de vacío, aplicando un alto potencial.

Usando tanto fuentes de rayos X o gamma, la pieza no continúa siendo radioactiva seguido al ensayo.

Las discontinuidades por debajo de la superficie que son detectadas fácilmente por este método son las que tienen una densidad distinta al material que se está radiando. Estas incluyen huecos, inclusiones metálicas y no metálicas, fisuras y faltas de fusión alineadas en forma favorable. Por ejemplo, las inclusiones de tungsteno en las soldaduras de aluminio, producidas por una técnica inapropiada de soldadura aparecen en la película como áreas muy claras, la densidad del tungsteno es de 19.3 g/cc. Las inclusiones no metálicas, tales como la escoria, producen frecuentemente áreas oscuras en la película; sin embargo, algunos electrodos contienen revestimientos que producen escoria de una densidad similar a la del metal de soldadura depositado y la escoria producida por ellos es muy difícil de encontrar e interpretar. Las fisuras y fusiones incompletas deben estar alineadas de forma tal que la profundidad de las discontinuidades sea casi paralela al haz de radiación para que sean detectadas.



Figura 2.10 – Indicadores de Calidad de Imagen (penetrámetros) Tipo cuña y Alambre.

El equipo requerido para realizar los ensayos radiográficos comienza con una fuente de radiación; esta fuente puede ser tanto una máquina de rayos X, que requiere una alimentación eléctrica, o un isótopo radioactivo que produce radiación gamma. Cualquiera de los tipos de radiación requieren películas, porta películas hermético a la luz, y se usan letras de plomo para identificar el objeto de ensayo. Debido a la alta densidad del plomo, y el espesor incrementado en forma local, estas letras forman áreas claras en la película revelada. Los Indicadores de Calidad de Imagen (ICI (IQI)), o penetrámetros ('pennys') se usan para verificar la resolución de sensibilidad del ensayo. Estos ICI (IQI) normalmente son de dos tipos; 'cuñas' o 'alambre'. Ambos tipos están especificados por tipo de material; además, los de tipo cuña tendrán espesor especificado e incluyen agujeros de distinto tamaño, mientras que los alambres tendrán diámetros especificados. La sensibilidad se verifica por la habilidad de detectar una diferencia dada en densidad debido al espesor del ICI (IQI) o el diámetro del agujero, o el diámetro del alambre.

Se requiere un equipo de procesamiento para revelar la película expuesta y es mejor un negatoscopio con iluminación de alta intensidad para una mejor interpretación de la película. Debido a los peligros potenciales de la exposición a la radiación para las personas, normalmente se requiere un equipo de monitoreo de la radiación.

La mayor ventaja de este método de ensayo es que puede detectar discontinuidades por debajo de la superficie en todos los metales comunes de la ingeniería. Una ventaja posterior es que las películas reveladas

sirven como un registro permanente excelente del ensayo, si se almacena apropiadamente.

Una desventaja a considerar es el riesgo impuesto a las personas por una exposición excesiva a la radiación. Por esta razón, el ensayo se debe realizar sólo después que se evacuó el área de ensayo y con un personal bien calificado.

La interpretación de películas debe realizarse por personal certificado actualmente como mínimo con Nivel II por SNT TC-1A de ASNT. Otra limitación de este método de ensayo es la necesidad de tener acceso a ambos lados del objeto de ensayo (un lado para la fuente y el opuesto para la película).

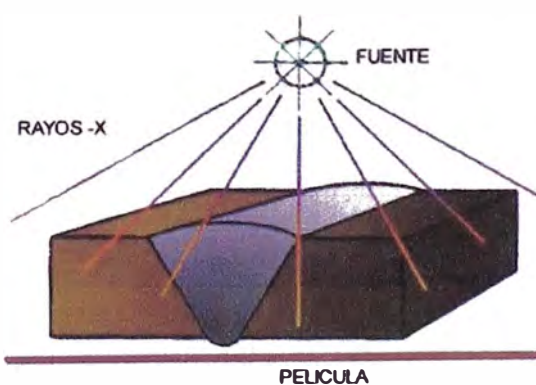


Figura 2.11 – Orientación de la Fuente de Radiación, Chapa de Ensayo y Película Radiográfica

Otra desventaja del ensayo radiográfico es que puede no detectar las fallas que están consideradas como más críticas (e.g. fisuras y falta de

fusión) salvo que la fuente de radiación esté orientada preferentemente con respecto a la dirección de la discontinuidad. Además, las configuraciones de algunos objetos de ensayo (e.g. soldadura de componentes secundarios o de filete) pueden hacer tanto la realización como la interpretación del ensayo más difícil. Sin embargo, el personal de ensayo con experiencia puede obtener radiografías de estas geometrías más complicadas e interpretarlas con alto grado de precisión.

2.1.7 Ensayos de Ultrasonido (UT)

El ensayo por ultrasonido (UT) es un método de inspección que usa ondas sonoras de alta frecuencia, por encima del rango audible por el ser humano, para medir propiedades geométricas y físicas en los materiales. Las ondas sonoras viajan a distintas velocidades en los distintos materiales. Sin embargo, la velocidad de propagación del sonido en un material dado, es un valor constante para ese material. Un tipo de onda sonora, llamada longitudinal, viaja a 340 m/s en el aire, alrededor de 5790 metros por segundo en acero y alrededor de 6100 metros por segundo en aluminio. Los ensayo por ultrasonido usan energía eléctrica en la forma de voltaje aplicado, y este voltaje se convierte por un transductor en energía mecánica y en la forma de ondas sonoras. El transductor realiza esta conversión de energía debido al fenómeno conocido como efecto "piezoeléctrico". Esto ocurre con distintos materiales, tanto los que ocurren naturalmente como los realizados artificialmente; cuarzo, titanio y bario son ejemplos de materiales piezoeléctricos de cada tipo. Un material piezoeléctrico producirá un cambio mecánico en la dimensión cuando se

excita con un pulso eléctrico. De igual forma, este mismo material producirá un pulso eléctrico cuando se actúa sobre él en forma mecánica.

Para realizar el ensayo por ultrasonido, se fija el transductor a una unidad base electrónica. Siguiendo una secuencia de arranque y procedimiento de calibración, la unidad base actúa como un dispositivo de medición electrónico. Esta máquina generará pulsos electrónicos precisos que son transmitidos por un cable coaxial hasta el transductor que fue colocado en contacto acústico con el objeto de ensayo. Los pulsos son de muy breve duración y alta frecuencia (típicamente 1 a 10 millones de Hz, o ciclos por segundo). Este sonido de alta frecuencia tiene la capacidad de ser dirigido con precisión, similarmente a la luz de un flash.

Cuando se excita por pulsos electrónicos, el transductor responde con una vibración mecánica, y crea una onda sonora que se transmite a través del objeto de ensayo a la velocidad que sea típica del material.

La onda sonora generada continuará viajando a través del metal a una velocidad dada y retornará al transductor cuando encuentre algún reflector, tal como un cambio de densidad, y sea reflejado. Si este reflector está orientado apropiadamente, rebotará el sonido de retorno hacia el transductor a la misma velocidad y contactará al transductor. Cuando es impactado por dicha onda sonora que retorna, el cristal piezoeléctrico convertirá esta energía sonora nuevamente en pulsos electrónicos que son amplificados y pueden ser mostrados por el tubo de rayos catódicos [TCR (CRT)] como una indicación visual a ser interpretada por el operador.

Usando los bloques de calibración que tienen una densidad, dimensiones y perfiles especificados, la unidad de ultrasonido puede ser calibrada para medir el tiempo que toma al sonido la trayectoria del viaje, y convertir dicho tiempo en dimensión de la pieza. Por esto el equipo de ultra sonido permite al operador medir cuanto lleva al sonido viajar a través de un material hasta un reflector, y retornar hacia el transductor, del que puede generarse la información sobre la dimensión como la distancia del reflector debajo de la superficie, y su tamaño.

La figura 2.12 ilustra la secuencia típica de calibración, en una cuña de acero escalonada para un transductor de haz longitudinal usado para determinar espesores. El transductor se ubica en los distintos espesores conocidos del bloque de calibración y se ajusta el instrumento para dar la representación correspondiente en la pantalla. Una vez que se termina la operación, el operador puede leer la dimensión de la pieza de ensayo directamente de la pantalla notando cuando la indicación crece en forma vertical a lo largo del eje horizontal. Con transductores únicos pueden hacerse mediciones muy precisas usando el método "eco a eco" más que el crecimiento desde la línea horizontal. Esta técnica toma la dimensión entre distintos ecos, y promedia la información para una medición de espesor.

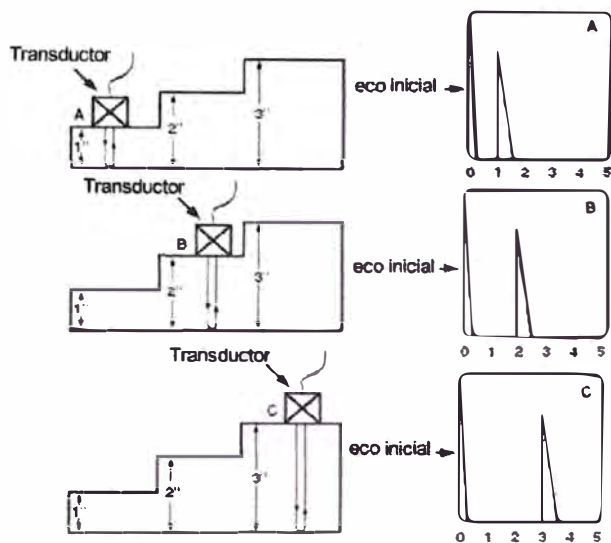


Figura 2.12 – Secuencia de Calibración para Transductor de Haz Longitudinal.

En general, la representación en la pantalla provee al operador con dos tipos de información. Primero, las indicaciones aparecerán en varias ubicaciones a lo largo del eje horizontal de la pantalla. (Siempre habrá una indicación, llamada 'indicación del eco de la interfase eco inicial, que se ubicará cerca del lado izquierdo de la pantalla.) Cuando el sonido entra a una pieza y rebota desde un reflector volviendo al transductor, su retorno es indicado por una señal que crece verticalmente de la línea horizontal. En segundo lugar la altura de la señal puede medirse y da una medida relativa de la cantidad de sonido reflejado. Una vez que se calibró el instrumento, la ubicación de la indicación del reflector en el eje horizontal puede ser relacionada con la distancia física que ha viajado el sonido en la pieza para llegar al reflector. La altura de esa señal en la pantalla es una indicación relativa del tamaño del reflector. Usando dicha información, el operador experimentado puede determinar frecuentemente la naturaleza y

tamaño del reflector y relacionarlo con un código o especificación para aceptabilidad o rechazo.

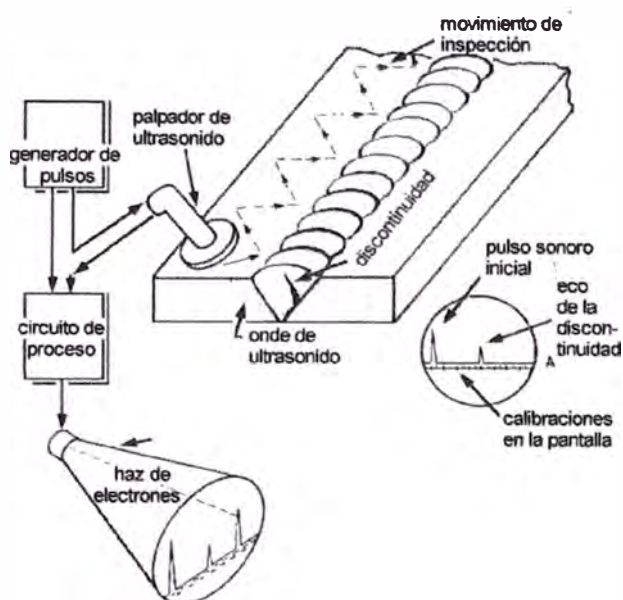


Figura 2.13 – Reflexión del Sonido desde una Discontinuidad

Hay dos tipos de ensayos ultrasónicos, de contacto e inmersión. En el ensayo por contacto, el transductor es ubicado contra la superficie de la pieza. Debido a que el sonido de alta frecuencia no se transmite fácilmente a través del aire, se coloca un líquido entre la pieza a ensayar y el transductor para mejorar el contacto. El líquido se conoce como 'medio acoplante'. En el ensayo por inmersión, la pieza a ser evaluada se ubica bajo el agua y se transmite el sonido desde el transductor y hacia la pieza a través del agua.

Las aplicaciones del ensayo por ultrasonido incluyen tanto la detección de discontinuidades superficiales o subsuperficiales. Este método es más sensible para discontinuidades planares, especialmente aquellas que están orientadas en forma perpendicular al haz sonoro. Por este método se pueden detectar laminaciones, fisuras, falta de fusión, inclusiones y agujeros. A la vez que determina si un metal es sano, pueden realizarse también mediciones de espesor.

El equipo requerido para ensayo por ultrasonido incluye un instrumento electrónico tanto con un TRC o una display. Usando un instrumento con TCR, un operador de ultrasonido puede determinar ubicación, tamaño y tipo de muchas discontinuidades.

Para el ensayo por ultrasonido también es necesario que el transductor esté bien acoplado. Se dispone de una amplia gama de tamaños y estilos de transductores. Muchos transductores están montados en cuñas de plexiglás que permiten a la cuña entrar en el objeto de ensayo con distintos ángulos para el ensayo con ondas transversales. Como medios acoplantes se usan diversos materiales tales como aceite, grasa, glicerina, agua, y polvo de celulosa o soluciones salinas en agua.

El último requerimiento del equipamiento son los patrones. Para medición de espesor de material, los patrones de calibración deben ser del mismo material que el objeto de ensayo y debe tener dimensiones conocidas y precisas. Para la detección de discontinuidades, los bloques de calibración deben alcanzar los requerimientos anteriores además de

contener ciertas discontinuidades mecanizadas, tales como agujeros mecanizados, desde un lateral, un agujero con fondo plano, o una ranura. La ubicación y tamaño de esa discontinuidad debe ser conocida y precisa. Las señales de las discontinuidades en la pieza de ensayo son comparadas con las señales de la discontinuidad del bloque de calibración para determinar su aceptabilidad. Para un haz en ángulo usado en el ensayo de soldadura el bloque de calibración es el Bloque IIW que provee una verificación del punto de salida del haz y el ángulo de la onda transversal. Como es de suponer el bloque de calibración debe ser del mismo material; cuando esto no sea posible, puede sustituirse con otro material y se desarrolla una curva de corrección, basada en la diferencia de la velocidad del sonido de los dos materiales para corregir la información real.

Uno de los principales beneficios del ensayo por ultrasonido es que se considera como un ensayo verdaderamente volumétrico. Esto es, que es capaz de determinar no sólo la ubicación en longitud y lateral, sino que también provee al operador con una determinación de la profundidad de la discontinuidad debajo de la superficie. Otra mayor ventaja de ensayo por ultrasonido es que sólo requiere acceso de un solo lado del material a ser ensayado. Esta es una gran ventaja en la inspección de recipientes, tanques y sistemas de tuberías.

Otra ventaja importante es que el ensayo por ultrasonido detecta de mejor manera aquellas discontinuidades planares críticas tales como fisuras y falta de fusión. El ensayo por ultrasonido es más sensible a

discontinuidades que están perpendiculares al haz de sonido. Debido a que se pueden alcanzar distintos ángulos de haz con cuñas de plexiglas, el ensayo por ultrasonido puede detectar laminaciones, falta de fusión y fisuras que están orientadas de manera tal que no podría hacerse con ensayo radiográfico. El ensayo por ultrasonido tiene capacidad de penetración profunda, hasta 200 pulgadas (5080 mm) en acero, y puede ser muy preciso.

La mayor limitación de este método de ensayo es que requiere operadores altamente capacitados y experimentados debido a que la interpretación puede ser dificultosa. También, la superficie del objeto de ensayo debe estar totalmente suave, y se requiere medio acoplante para el ensayo de contacto. Se requieren normas de referencia, y este método de inspección de soldadura generalmente se limita a soldaduras a tope en materiales que tienen un espesor mayor a $\frac{1}{4}$ in (6.35 mm).

2.1.8 Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)

Este particular método de ensayo no destructivo es principalmente usado para descubrir discontinuidades superficiales en materiales ferromagnéticos. Si bien pueden observarse discontinuidades sub superficiales muy cercanas a la superficie, son muy difíciles de interpretar, y generalmente son ignoradas. Las discontinuidades superficiales presentes en una pieza magnetizada van a causar que el campo magnético aplicado cree polos en cada extremo de la discontinuidad, creando una fuerza de atracción para las partículas de hierro. Si las

partículas de hierro, que son partículas magnetizables debido a que pueden magnetizarse, son arrojadas sobre la superficie, pueden ser sostenidas o acomodadas en el lugar por este campo atractivo para producir una acumulación de partículas de hierro y de esta manera una indicación visual.

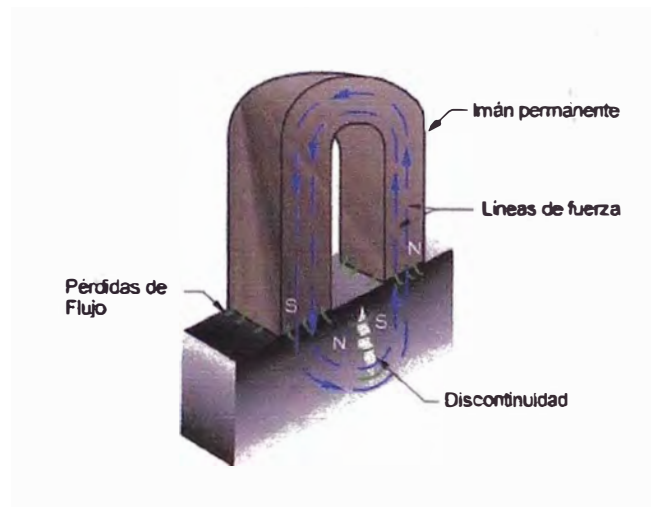


Figura 2.14 – Imán con Forma de U en Contacto con un Material Ferromagnético que Contiene una Discontinuidad

La figura 2.14 muestra una configuración en la cual una barra magnética doblada en U está en contacto con un material magnético que contiene una discontinuidad. Todavía hay líneas de fuerza magnéticas viajando en lazos continuos desde un polo hacia el otro. La pieza de acero ha sido colocada cruzada respecto de los extremos de un imán para proveer un camino magnético continuo para las líneas de fuerza. Si bien hay algunas pérdidas de flujo en las pequeñas separaciones o espacios rellenos con aire entre los extremos del imán y la pieza de acero, el campo magnético permanece relativamente fuerte debido a la continuidad del camino magnético.

El uso de imanes permanentes para ensayos de partículas magnetizables es poco frecuente; la mayoría de los ensayos de partículas magnetizables usan un equipo electromagnético. Un electroimán se basa en el principio de que hay un campo magnético asociado con cualquier conductor eléctrico.



Figura 2.15 – Campo Magnético Alrededor de un Conductor Eléctrico

Hay dos tipos básicos de campos magnéticos que son creados en los objetos a ensayar usando un electroimán. Los tipos son denominados por la dirección del campo magnético que es generado en la pieza. Cuando el campo magnético se orienta a lo largo del eje de la pieza, es conocido como magnetismo longitudinal. De la misma manera, cuando el campo magnético es perpendicular al eje de la pieza, es llamado magnetismo circular.

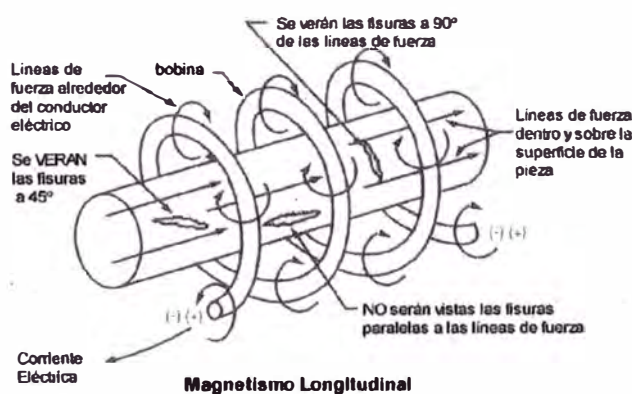


Figura 2.16 – Magnetismo Longitudinal

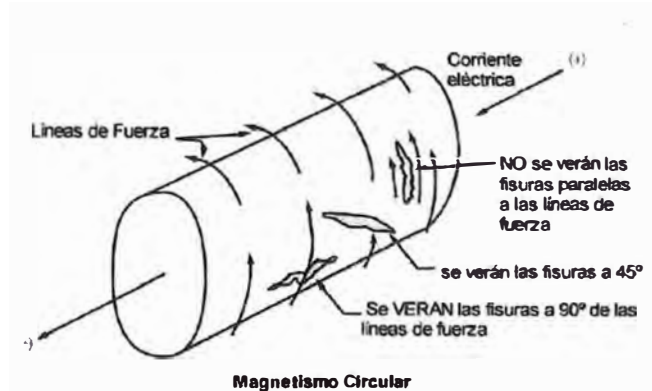


Figura 2.17 – Magnetismo Circular

En el campo magnético longitudinal, aquellas discontinuidades que se encuentren perpendiculares a las líneas de fuerza van a ser fácilmente revelados. Aquellas que se encuentren a 45° con respecto al campo también van a ser revelados, pero si la discontinuidad se encuentra paralelo al campo magnético inducido, no va a ser revelada.

El otro tipo de campo magnético es conocido como magnetismo circular. Para crear este tipo de campo magnético, la pieza a ser ensayada se vuelve el conductor eléctrico de manera que el campo magnético inducido tiende a encerrar la parte perpendicular a su eje longitudinal.

Con magnetismo circular, las discontinuidades longitudinales van a ser reveladas mientras que aquellas discontinuidades transversales no van a ser reveladas. Aquellas que estén aproximadamente a 45° también van a ser reveladas. Un aspecto importante del campo magnético circular es que el magnetismo es totalmente contenido adentro del material

ferromagnético mientras que el campo magnético longitudinal es inducido en la pieza por el conductor eléctrico que lo envuelve. Por esta razón, el campo magnético circular es generalmente considerado más potente, haciendo que el magnetismo circular sea más sensible para un nivel dado de corriente eléctrica.

Ambos tipos de campos magnéticos pueden ser generados en una pieza o parte empleando equipamiento portátil. Un campo longitudinal resulta cuando se usa el método de "yugo", como se muestra en la figura 2.18.

Una unidad de yugo es un electroimán, y está hecho de arrollamiento de alambre conductor alrededor de un núcleo de un material magnético blando. La corriente que fluye a través del alambre induce un campo magnético que fluye a través del objeto a ensayar entre los extremos del yugo.

Para producir un campo magnético circular con una unidad portátil, se usa la técnica de "prod". Puede ser usado para crear un campo magnético con corriente alterna (AC) o con corriente continua (DC). El campo creado con corriente alterna es más fuerte en la superficie del objeto a ensayar. La corriente alterna va a proveer también una mayor movilidad de las partículas en la superficie de la pieza permitiendo a las partículas moverse más libremente, lo que ayuda en la detección de

discontinuidades, aún cuando la superficie de la pieza sea rugosa e irregular.



Figura 2.18 – Método del Yugo

Las aplicaciones de la inspección por partículas magnetizables incluye la evaluación de materiales que son considerados magnéticos a la temperatura de ensayo. Estos materiales incluyen acero, acero fundido, algunos de los aceros inoxidables (exceptuando los austeníticos) y níquel. No puede ser ensayado el aluminio, el cobre u otro material que no pueda ser magnetizado. Adecuadamente aplicado, este método puede detectar discontinuidades superficiales muy finas y va a dar indicaciones borrosas de discontinuidades sub superficiales grandes.

El equipo usado con este método varía en tamaño, portabilidad y costo. Las unidades yugo de corriente alterna son muy portátiles y útiles para inspeccionar objetos muy grandes para ensayar de otra forma. Estos objetos pueden incluir edificios, puentes, tanques, recipientes o grandes soldaduras. Equipos no tan portátiles incluyen bobinas y prods. Ambos requieren fuentes especiales y tienen una movilidad limitada.

Las partículas de acero usadas son muy pequeñas y generalmente proveen un color vívido que contrasta con el del objeto a ensayar. Los colores comúnmente disponibles incluyen al gris, blanco, amarillo, azul y negro. Son conocidos como partículas visibles y son usados bajo una luz fuerte. Las partículas de acero también pueden obtenerse bajo luz ultravioleta y su sensibilidad es mayor.

Estas partículas magnetizables son aplicadas como un polvo seco con un chorro de aire de baja velocidad, o son aplicadas sobre la pieza como una suspensión en un líquido como aceite liviano o agua. El método seco es conocido como ensayo de partículas magnetizables en seco y el otro es llamado ensayos de partículas magnetizables por vía húmeda. Ambos métodos son usados frecuentemente, pero el húmedo tiene una sensibilidad mayor y es el preferido para muchas aplicaciones de campo y de taller. Las ventajas del método de partículas magnetizables es que es rápido y de bajo costo. Este método puede hacerse muy portátil y puede ser muy bueno para la detección de discontinuidades superficiales. El ensayo puede hacerse a través de capas muy finas de recubrimiento.

La mayor limitación es que solamente puede ser usado en materiales que sean magnetizables. Otras limitaciones son que la mayoría de las partes requieren una desmagnetización después del ensayo y que los recubrimientos gruesos pueden enmascarar discontinuidades. La desmagnetización requiere el empleo de corriente alterna, y se realiza ya sea moviendo lentamente la pieza del campo magnético o reduciendo la corriente de inducción aplicada a la pieza a cero. Es requerida para ambas aplicaciones electricidad, esto limita su portabilidad. Las superficies rugosas como aquellas que quedan como resultado de la soldadura o en fundiciones pueden hacer que la evaluación sea aún más difícil.

Los resultados del ensayo de partículas magnetizables pueden ser registrados mediante esquemas, fotografías o colocando una cinta transparente sobre la indicación y luego transfiriéndola a una hoja limpia de papel.

2.1.9 Temperatura de Pre calentamiento

El pre calentamiento involucra un calentamiento total o parcial (a los alrededores de la junta) del metal base, a una específica temperatura llamada temperatura de pre calentamiento. El calentamiento puede continuar durante el proceso de soldadura, pero frecuentemente el calor de la soldadura es suficiente para mantener una temperatura deseable sin continuar calentando con una fuente externa (siempre que no se requiera mantener una temperatura entre pasadas de soldadura).

Hay cuatro razones primarias para utilizar precalentamiento:

1. Una lenta tasa de enfriamiento en la soldadura que produce una estructura metalúrgicamente dúctil con gran resistencia a la fisuración.
2. El enfriamiento lento promueve la difusión del hidrógeno que pudiese estar presente, reduciendo la posibilidad de fisuración.
3. Alivia los esfuerzos residuales en la soldadura y el metal base adyacente.
4. En algunos aceros eleva la temperatura a la cual ocurriría una fractura frágil en fabricación.

Además, el precalentamiento puede ser usado para ayudar a asegurar específicas propiedades mecánicas tales como la tenacidad de muesca.

¿Cuándo usar el Precalentamiento?

En principio, se deberían considerar puntos tales como los requerimientos del código, espesor del metal base, composición química, restricciones, temperatura ambiente, contenido de hidrógeno en el metal de aporte y problemas de fisuración previos. Si se sigue un código de

construcción, este generalmente especificará la mínima temperatura de precalentamiento para un metal base en un proceso dado y un rango de espesores determinado. El mínimo valor puede ser obtenido sin importar la restricción o variación en la composición química del metal base, sin embargo este mínimo valor puede ser incrementado si fuese necesario.

Cuando no hay códigos gobiernen los aspectos de la soldadura, uno podría determinar si el precalentamiento es requerido y si es así, qué temperatura debería ser la apropiada. En general no se requiere precalentamiento en aceros de bajo carbono cuando poseen un espesor menor a 25 mm. Sin embargo, como el nivel de hidrógeno difusible, la composición química, las restricciones o el espesor incrementa, la necesidad de un precalentamiento también incrementa.

Temperatura de Precalentamiento a Aplicar

Los códigos de soldadura generalmente especifican valores mínimos para la temperatura de precalentamiento, la cual puede o no ser la adecuada para evitar la fisuración en cada aplicación. Por ejemplo en una conexión de viga y columna hecha con un acero ASTM A572 – Gr50 secciones de 100 a 125 mm, fabricadas con electrodos de bajo hidrógeno, el mínimo precalentamiento requerido según AWS D1.1 -2006 es de 110 °C. Sin embargo, para realizar el empalme a tope de estas planchas lo aconsejable sería incrementar la temperatura más allá del mínimo nivel precalificado (175 °C). Las recomendaciones conservativas para este caso no podrían ser adecuadas para estas conexiones con alta restricción.

Cuando ningún código de soldadura es especificado y la necesidad de precalentamiento ha sido establecida ¿cómo se podría determinar una apropiada temperatura de precalentamiento? Se puede considerar la “Guía Alternativa de Métodos para la Determinación de la Temperatura de Precalentamiento” que se encuentra en el código AWS D 1.1 -2006, Anexo I, la cual presenta dos formas de establecer una temperatura de precalentamiento desarrollada primariamente de pruebas de fisuración en laboratorio.

Estas técnicas son beneficiosas cuando el riesgo de fisuración es incrementado por causa de la composición química o mayores grados de restricción, altos niveles de hidrógeno o bajos niveles de calor de aporte.

Los métodos aplicados para hallar la temperatura de precalentamiento son:

1. Control de dureza de la zona afectada por el calor (ZAC)
2. Método del control del hidrógeno

El primer método está restringido para soldaduras de filete y está basado en asumir que la fisuración no ocurrirá si la dureza de la ZAC es mantenida debajo de las condiciones críticas. Esto se obtiene por el control de la tasa de enfriamiento. La tasa crítica de enfriamiento para una dureza dada puede ser relacionada al carbono equivalente (CE) del acero, el que se define como:

$$CE = C + \frac{Mn + Si}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cr)}{15}$$

Para una tasa de enfriamiento crítica, una mínima temperatura de precalentamiento puede ser calculada. AWS D1.1 menciona: “aunque el método puede ser usado para determinar un mínimo valor de temperatura de precalentamiento, su uso principal está en determinar el mínimo calor de aporte, el cual previene de un excesivo endurecimiento”.

El método del control del hidrógeno se basa en asumir que la fisuración no ocurrirá si la cantidad de hidrógeno acumulado en la junta después de un enfriamiento cercano a 50 °C no excede un valor crítico que depende de la composición del acero y de la restricción de la junta. Este procedimiento es extremadamente útil para aceros de alta resistencia y baja aleación que poseen gran templabilidad. Sin embargo, el precalentamiento calculado puede ser algo conservador para aceros al carbono.

Aplicación del Precalentamiento

El espesor del material, tamaño de la soldadura y equipos de soldeo disponible deben ser considerados cuando se selecciona un método de aplicación del precalentamiento.

El precalentamiento de aceros al carbono generalmente no es requerido, aunque se recomienda que la pieza de trabajo sea calentada a una temperatura mínima (por encima de 40 °C). Sin embargo, este no es el caso de aceros templados y revenidos (Q&T) tales como A514 o A517, ya que un sobrecalentamiento durante la soldadura puede ir en detrimento de la ZAC. Además, los aceros templados y revenidos requieren de una máxima y mínima temperatura de precalentamiento a ser establecida y rígidamente seguida.

Para un calentamiento adecuado de la junta se establece como buena práctica que se establezca una distancia que sea al menos igual al espesor del miembro soldado pero no menor a 75 mm en todas las direcciones del punto de soldadura; con ello se asegura que todo el volumen de material alrededor de la junta sea calentado.

2.1.10 Temperatura de Interpase

La temperatura de Interpase se refiere a la temperatura de interpase en el área soldada inmediata (más cercana) antes del segundo y en cada pase que continua en una soldadura de múltiples pasadas. En la práctica, la mínima temperatura de interpase especificada es a menudo igual a la mínima temperatura especificada de precalentamiento, pero esta no requiere estar de acuerdo con la definición.

Importancia de la Temperatura de Interpase

La temperatura de interpase es tan importante, si no más importante, que la temperatura de precalentamiento, considerando las propiedades mecánicas y microestructurales de las soldaduras. Por ejemplo, los esfuerzos de fluencia y rotura del metal de soldadura son ambos una función de la temperatura de interpase. Altos valores de temperatura de interpase tienden a reducir el esfuerzo del metal de soldadura. Además, las altas temperaturas de interpase proporcionan generalmente una estructura de grano fino y mejoran las temperaturas de transición de tenacidad en la muesca V de Charpy.

Sin embargo, cuando las temperaturas de interpase exceden aproximadamente los 260 °C (500°F) la tendencia es inversa. Por ejemplo, AWS recomienda que la temperatura de interpase no debe exceder de 550°F (290 °C) cuando el ensayo de tenacidad es requerido.

Balance Adecuado

Particularmente, en metales base sensibles la mínima temperatura de interpase puede ser suficiente para prevenir fisuras, mientras la máxima temperatura de interpase puede ser controlada para proporcionar adecuadas propiedades mecánicas. Para mantener este balance, las siguientes variables deben ser consideradas: tiempo entre pasadas, espesor del metal, temperatura de precalentamiento, condiciones

ambientales, características de transferencia de calor y calor aportado (heat input) de soldadura.

Por ejemplo, soldaduras con pequeñas secciones transversales naturalmente tienden a acumular temperatura de interfase: como la operación de soldadura continua, la temperatura de las partes se incrementa. Como regla general, si la sección transversal tiene un área menor que 130 cm^2 (20 in^2) entonces la temperatura de interfase tenderá a incrementarse con cada pase secuencial si la tasa de producción normal es mantenida. Sin embargo, si la sección transversal tiene un área mayor que 260 cm^2 (40 in^2), entonces la temperatura de interfase generalmente decrece durante la secuencia de soldeo a menos que se le aplique una fuente de calor externa.

¿Cómo Medir la Temperatura de Interfase?

Un aceptable método para controlar la temperatura de interfase es usando 2 tizas térmicas. Una superficie aplicada a la temperatura indicada de la tiza, se derretirá cuando el material al cual es aplicada alcanza la temperatura de derretimiento de la tiza. Las tizas están disponibles en una variedad de temperaturas y cada una de ellas esta etiquetada con su punto de derretimiento aproximado.

Una temperatura indicada por el crayón es típicamente usada para medir ambos, la mínima temperatura de precalentamiento y la mínima temperatura de interfase especificada mientras la segunda es la tiza de

alta temperatura usada para medir la máxima temperatura de interpase, si se requiere.

Primeramente se calienta la junta a ser soldada y chequea la temperatura del metal base en la posición (localización) indicada por el código de diseño para marcar el metal base con la primera temperatura indicada por la tiza. Cuando la mínima temperatura de precalentamiento especificada es alcanzada (cuando la primera tiza se deshace), la primera pasada puede dar comienzo. Inmediatamente antes del segundo y siguientes pases, la mínima y máxima (si es requerida) temperaturas de interpase serían chequeadas en el lugar apropiado. La tiza de baja temperatura se debe derretir indicando que la temperatura del metal base es mayor que la temperatura de derretimiento de la tiza, mientras que la de alta temperatura no se debe derretir, indicando que la temperatura del metal base no está sobre la máxima temperatura de interpase.

Si la tiza de baja temperatura no se derrite, se adiciona calor de aporte hasta que la tiza se derrita. Y si la tiza de alta temperatura se derrite se debe dejar a la junta enfriar lentamente a la temperatura ambiente hasta que la tiza no se derrita, luego el siguiente pase de soldadura puede realizarse.

¿Dónde se debe medir la temperatura de interpase?

La forma de medir la temperatura de interpase mínima puede ser similar a la planteada para el precalentamiento. Sin embargo, si la máxima

temperatura de interfase es también controlada, luego la actual temperatura de interfase en el metal base adyacente podría significativamente exceder la máxima temperatura de interfase. Si esta es la situación, es más apropiado medir la temperatura a 25 mm alejado del pie de la soldadura.

Aunque hay discusión ha cerca de en dónde se debería medir la temperatura de interfase, la mayoría de expertos está de acuerdo que podría ser mantenida e alguna razonable distancia alejada de la junta soldada. Pero esta decisión puede ser grandemente influenciada por el costo de fabricación, una razonable y practica localización debe ser determinada. Un pie de distancia de la junta es probablemente excesivo mientras que un décimo de pulgada o en la soldadura misma no es lo correcto. Sin embargo, una pulgada desde el pie de la soldadura parece apropiado.

2.1.11 Postcalentamiento

El post calentamiento es la aplicación de calor a una junta después del soldeo y se realiza para conseguir una o varias de las condiciones siguientes:

- Reducir o aliviar tensiones residuales en la unión soldada producidas por los calentamientos y enfriamientos rápidos y localizados que ocurren en la soldadura.

- Disminuir la fragilidad de la unión soldada originada por la formación de estructuras martensíticas en la ZAC. En estas condiciones, el tratamiento post soldadura actúa más o menos como un tratamiento de revenido reduciendo la dureza del acero.
- Mejorar la tenacidad de la unión, elevando la temperatura de transición dúctil-frágil para aceros al carbono o aceros Cr-Mo.
- Eliminar o reducir el contenido de hidrógeno difundido en la unión soldada durante el proceso de soldadura para reducir el riesgo de fragilización por hidrógeno. Cuando éste es su objetivo principal, se le denomina tratamiento de deshidrogenado

El post calentamiento no es necesario en la mayoría de las aplicaciones. La necesidad de postcalentamiento asume un problema existente de fisuración por hidrógeno a causa de una sensible microestructura del metal base, altos niveles de de hidrógeno y altos esfuerzos residuales. Sin embargo, el post calentamiento puede ser un requerimiento del código usado en fabricación. Por ejemplo, ASME Sección III y National Board Inspection Code (NBIC) tienen sus requerimientos. La sección III en sus requerimientos para materiales P N°1 señalan que la temperatura de post calentamiento es de 230 a 290 °C con un mantenimiento mínimo de 2 horas, mientras que para NBIC es de 260 a 290 °C, para un mantenimiento mínimo de 2 horas. Además, el post calentamiento es requerido en reparaciones críticas, tales como aquellas definidas bajo el plan de control de fracturas para miembros no

redundantes de la AASHTO / AWS D1.5 (230 a 315 °C para no menos de una hora por cada 25 mm).

Aunque varios códigos y requerimientos de servicio pueden dictar una variedad de temperaturas y tiempos de mantenimiento, 230 °C es una temperatura común de post calentamiento a ser mantenida durante una hora por 25 mm de espesor.

En ciertos aceros como los bonificados, donde el cordón de soldadura debe tener la misma elevada resistencia que el material base, es necesario someter a la unión soldada a tratamientos térmicos de temple y revenido.

Los tratamientos térmicos post soldadura son una secuencia de calentamientos y enfriamientos muy controlados y como tal, cada uno de sus parámetros debe de ser cuidadosamente establecido. Los parámetros que definen cualquier tratamiento térmico son:

- a. Etapa de calentamiento (velocidad de calentamiento, calentamientos escalonados).
- b. Temperatura de tratamiento.
- c. Tiempo de permanencia a la temperatura de tratamiento.
- d. Etapa de enfriamiento (velocidad de enfriamiento, enfriamientos escalonados).

Al determinar cuando aplicar un tratamiento post calentamiento, el sistema de aleación y previos tratamientos térmicos del metal base deben ser considerados. Las propiedades de los aceros aleados templados y revenidos, a veces pueden ser adversamente afectadas por un PWHT si se excede la temperatura de revenido del metal base. En contraste, existen materiales que siempre requerirán de un PWHT, como por ejemplo, los aceros al cromo – molibdeno que usualmente requieren un alivio de tensiones de entre 675 a 700 °C.

La composición del material base debe ser también tomada en cuenta debido a que después del tratamiento térmico, las propiedades en el depósito de soldadura pueden ser muy diferentes a las obtenidas “as welded” (como se soldó). Por ejemplo, un junta hecha con electrodo E8018-B2, presenta 550 MPa de esfuerzo de tracción mínimo después de un alivio de tensiones a 690 °C por una hora, sin embargo, en las condiciones “como se soldó” el esfuerzo de tracción puede llegar a ser tan alto como 825 MPa.

Por ello debemos tomar en cuenta antes de escoger un tratamiento térmico post soldadura no solo las buenas prácticas de soldadura o lo que nos indica el código a utilizar, sino también las recomendaciones del fabricante del metal base y del material de aporte.

2.2 PROCESOS DE SOLDADURA

2.2.1 Soldadura Por Arco de Metal Protegido (SMAW)

Definición y Descripción General

La soldadura por arco de metal protegido (Shielded metal arc welding - SMAW) es un proceso de soldadura por arco 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 núcleo del electrodo cubierto consiste en una varilla de metal sólida de material estirado o colado, o bien una varilla fabricada encerrando metal en polvo en una funda metálica. La varilla del núcleo conduce la corriente eléctrica al arco y suministra metal de aporte a la unión. Las funciones principales de la cobertura del electrodo son estabilizar el arco y proteger el metal derretido de la atmósfera por medio de los gases que se crean cuando el recubrimiento se descompone por el calor del arco.

La protección empleada, junto con otros ingredientes de la cobertura y del alambre del núcleo, controlan en gran medida las propiedades mecánicas, la composición química y la estructura metalúrgica del metal de soldadura, así como las características de arco del electrodo. La composición de la cobertura del electrodo varía dependiendo del tipo de electrodo.

Principios de Funcionamiento

La soldadura por arco de metal protegido es por mucho el más ampliamente utilizado de los procesos de soldadura por arco. Aprovecha el calor del arco para derretir el metal base y la punta de un electrodo consumible cubierto. El electrodo y la pieza forman parte de un circuito eléctrico (ver figura 2.19). Este circuito comienza con la fuente de potencia eléctrica e incluye los cables de soldadura, un porta electrodos, una conexión con la pieza de trabajo, la pieza a soldar y un electrodo de soldadura por arco. Uno de los dos cables de la fuente de potencia se conecta a la pieza; el otro se conecta al porta electrodos.

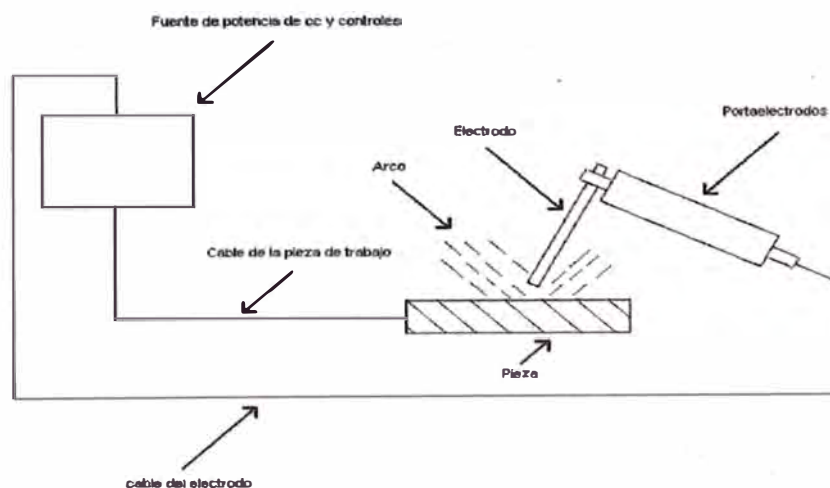


Figura 2.19 - Elementos de un circuito de soldadura típico para soldadura de metal protegido

La soldadura se inicia cuando se enciende un arco eléctrico entre la punta del electrodo y la pieza. El intenso calor del arco derrite la punta del electrodo y la superficie de la pieza. En la punta del electrodo se forman con rapidez pequeños glóbulos de metal fundido, los cuales se transfieren a través del chorro del arco hasta el charco de soldadura fundida. De esta forma se deposita metal de aporte conforme el electrodo se va consumiendo. El arco se mueve sobre la pieza con una longitud de arco y velocidad de desplazamiento apropiadas, derritiendo y fusionando una porción de metal base y añadiendo continuamente metal de aporte.

Puesto que el arco es una de las fuentes de calor que alcanzan las más altas temperaturas (se han medido temperaturas por encima de 5000 °C en su centro), la fusión del metal base se efectúa en forma casi instantánea. Si las soldaduras se hacen en posición plana u horizontal, la transferencia de metal es inducida por la fuerza de la gravedad, la expansión del gas, fuerzas eléctricas y electromagnéticas y la tensión superficial. Si se suelda en otras posiciones, la gravedad actuará oponiéndose a las demás fuerzas.

El proceso requiere suficiente corriente eléctrica para derretir tanto el electrodo como una cantidad adecuada del metal base. También requiere un espacio apropiado entre la punta del electrodo y el metal base o el charco de soldadura. Estos requisitos son necesarios para establecer las condiciones en que se llevará a cabo la coalescencia. Los tamaños y tipos de electrodos para soldadura por arco de metal protegido definen los requerimientos de voltaje (dentro del intervalo global de 16 a 40 V) y de

amperaje (dentro de intervalo global de 20 a 550 A) del arco.

La corriente puede ser alterna o continua, dependiendo del electrodo empleado, pero la fuente de potencia debe ser capaz de controlar el nivel de corriente dentro de un intervalo razonable para responder a las complejas variables del proceso de soldadura en sí.

Protección del Arco

La acción de protección del arco, ilustrada en la figura 2.20, es en esencia la misma para todos los electrodos, pero el método específico de protección y el volumen de escoria producido varían de un tipo a otro. El grueso de los materiales de cobertura de algunos electrodos se convierte en gas por el calor del arco, y sólo se produce una pequeña cantidad de escoria. Los electrodos de este tipo dependen en buena medida de un escudo gaseoso para evitar la contaminación por parte de la atmósfera. El metal de soldadura de tales electrodos puede identificarse por la capa incompleta o clara de escoria que cubre a la franja.

En los electrodos situados al otro extremo, el grueso de la cobertura se convierte en escoria por el calor del arco, y sólo se produce un volumen pequeño de gas protector. Los diminutos glóbulos de metal que se transfieren por el arco están cubiertos totalmente por una película delgada de escoria fundida, la cual flota en la superficie del charco de soldadura porque es más ligera que el metal. La escoria se solidifica después de hacerlo el metal de soldadura. Las soldaduras hechas con estos electrodos

se identifican por los gruesos depósitos de escoria que cubren por completo las franjas de soldadura. Entre estos extremos hay una amplia variedad de tipos de electrodos, cada uno con una combinación diferente de protección por escoria y por gas.

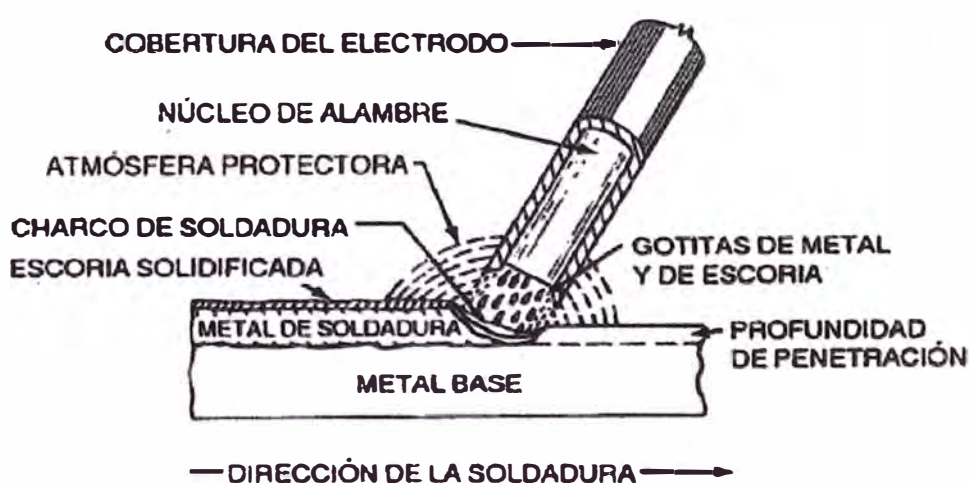


Figura 2.20 - Acción protectora del arco en la soldadura por arco de metal protegido

Las variaciones en la proporción de protección por escoria y por gas también influyen en las características de soldadura de los electrodos cubiertos.

Los electrodos que producen mucha escoria pueden transportar un amperaje elevado y ofrecen altas tasas de deposición, lo que los hace ideales para soldar piezas gruesas en la posición plana. Los electrodos que producen poca escoria se usan con amperajes menores y ofrecen tasas de

deposición más bajas. Estos electrodos producen un charco de soldadura más chico y son apropiados para soldar en cualquier posición. Por las diferencias en las características de soldadura, un tipo de electrodo cubierto será por lo regular el más adecuado para una aplicación dada.

Capacidades y Limitaciones del Proceso

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 y reparación, y para construcción en el campo.

Las siguientes son ventajas del proceso:

- El equipo es relativamente sencillo, económico y portátil.
- El electrodo cubierto proporciona el metal de aporte y el mecanismo para proteger dicho material y el metal de soldadura contra una oxidación perjudicial durante la soldadura.
- No se requiere protección con gas auxiliar ni un fundente granular.
- El proceso es menos sensible al viento y las corrientes de aire que los procesos de soldadura por arco protegidos con gas.
- Se puede utilizar en áreas de acceso limitado.

- El proceso es adecuado para la mayor parte de los metales y aleaciones de uso común.

Existen electrodos de SMAW para soldar aceros al carbono y de baja aleación, aceros inoxidable, hierro colado, cobre y níquel y sus aleaciones, y para algunas aplicaciones de aluminio. Los metales de bajo punto de fusión, como el plomo, el estaño y el cinc, y sus aleaciones, no se sueldan con SMAW porque el intenso calor del arco es demasiado para ellos. El proceso no es apropiado para metales reactivos como el titanio, zirconio, tántalo y colombio porque la protección es insuficiente para evitar que la soldadura se contamine con oxígeno.

Los electrodos cubiertos se producen en longitudes de 230 a 460 mm (9 a 18 pulg). Al encenderse inicialmente el arco, la corriente fluye a lo largo de todo el electrodo; por tanto, la cantidad de corriente que puede aprovecharse está limitada por la resistencia eléctrica del ambiente del núcleo. Un amperaje excesivo sobrecalienta el electrodo y descompone su cobertura. Esto, a su vez, altera las características del arco y de la protección que se obtiene. Por esta limitación, las tasas de deposición suelen ser más bajas que con un proceso como GMAW.

El ciclo de trabajo del operador y las tasas de deposición globales para los electrodos cubiertos suelen ser menores que los alcanzables con un proceso de electrodo continuo con FCAW. Esto se debe a que los electrodos sólo pueden consumirse hasta una longitud mínima. Una vez alcanzada esa longitud, el soldador deberá desechar la cola de electrodo

no consumida e insertar un electrodo nuevo en el porta electrodos.

Además, casi siempre debe eliminarse escoria en los puntos donde se inicia y se detiene, y antes de depositar una franja de soldadura junto a otra previamente depositada, o sobre ella.

2.2.2 Soldadura Por Arco Sumergido (SAW)

Descripción

La soldadura por arco sumergido (Submerged arc welding, SAW) produce la coalescencia de metales calentándolos con un arco entre un electrodo de metal desnudo y la pieza. El arco y el metal derretido están “sumergidos” en un manto de fundente granular fusible sobre la pieza. No se aplica presión, y el metal de aporte se obtiene del electrodo y en ocasiones de un suministro complementario como una varilla para soldar gránulos metálicos.

En soldadura por arco sumergido, el arco está cubierto por fundente, el cual desempeña un papel preponderante porque (1) la estabilidad del arco depende del fundente, (2) las propiedades mecánicas y químicas del depósito de soldadura final se pueden controlar con el fundente y (3) la calidad de la soldadura puede ser afectada por la forma como se maneje el fundente.

La soldadura por arco sumergido es un proceso de soldadura de

producción versátil capaz de soldar con corrientes de hasta 2000 amperios de C.A o C.C, empleando uno o varios alambres o tiras de metal de aporte. Es posible usar fuentes de potencia tanto de C.A como de C.C en la misma soldadura simultáneamente.

Principios de Funcionamiento

En la soldadura por arco sumergido, el extremo de un electrodo continuo de alambre desnudo se inserta en un montículo de fundente que cubre el área o la unión que se va a soldar. Se enciende un arco y a continuación, un mecanismo alimentador de alambre comienza a introducir el electrodo en la unión a una velocidad controlada, y el alimentador se desplaza manual o automáticamente a lo largo de la soldadura. En la soldadura mecanizada o automática, el trabajo puede desplazarse debajo de un alimentador de alambre estacionario.

En todo momento, se alimenta fundente adicional adelante del electrodo y a su alrededor, y se distribuye continuamente sobre la unión.

El calor producido por el arco eléctrico derrite progresivamente parte del fundente, el extremo del alambre y los bordes adyacentes del metal base, creando un charco de metal fundido debajo de una capa de escoria líquida. El baño fundido cerca del arco presenta mucha turbulencia, y burbujas de gas ascienden rápidamente a la superficie del charco. El fundente flota sobre el metal derretido y protege por completo de la atmósfera la zona de soldadura.

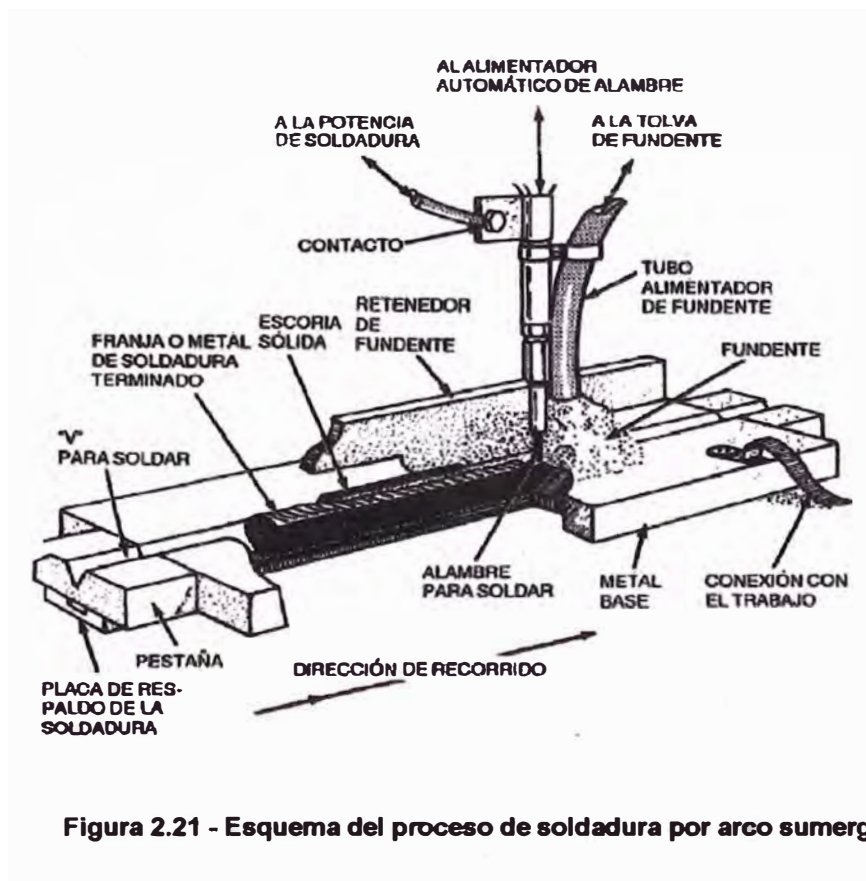
El fundente líquido puede conducir algo de corriente eléctrica entre el alambre y el metal base, pero el arco eléctrico es la fuente de calor predominante. El manto de fundente que flota sobre el charco de soldadura evita que los gases atmosféricos contaminen el metal de soldadura y disuelve las impurezas del metal base y del electrodo, que entonces flotan sobre el charco. Además, el fundente puede agregar ciertos elementos de aleación al metal de soldadura, o extraerlos de él.

Al avanzar la zona de soldadura a lo largo de la unión, el metal de soldadura primero y luego el fundente líquido se enfrían y solidifican, formando una franja de soldadura con una capa protectora de escoria encima. Es importante eliminar por completo la escoria antes de efectuar otra pasada de soldadura. El proceso de arco sumergido se ilustra en la figura 2.21

Entre los factores que determinan si conviene o no usar soldadura por arco sumergido están:

- La composición química y las propiedades mecánicas que debe tener el depósito final.
- El espesor del metal base que se va a soldar.
- La accesibilidad de la unión.

- La posición en que se va a soldar.
- La frecuencia o la cantidad de soldaduras que se van a efectuar.



Métodos Generales

La soldadura por arco sumergido se puede aplicar en tres modos distintos: automático, semiautomático y mecanizado. En todos ellos es preciso colocar la pieza de modo que el fundente y el charco de soldadura permanezcan en su sitio hasta solidificarse. Ya existen o pueden construirse muchos tipos de fijaciones y equipos de posicionamiento para satisfacer este requisito.

La soldadura semiautomática se realiza con una pistola soldadora de mano que suministra tanto el fundente como el electrodo. El electrodo es impulsado por un alimentador de alambre; el fundente puede suministrarse mediante una tolva de gravedad montada en la pistola o alimentarse a presión a través de una manguera. Este método requiere conducción manual empleando electrodos de diámetro relativamente pequeño y velocidades de recorrido moderadas. El desplazamiento puede ser manual o impulsado por un motor pequeño montado en la pistola.

La soldadura automática se efectúa con equipo que realiza la operación de soldadura sin que un operador tenga que vigilar y ajustar continuamente los controles. El costoso equipo de autorregulación se puede justificar si se desea alcanzar tasas de producción elevadas.

En la soldadura mecanizada se emplea equipo que realiza toda la operación de soldadura, pero bajo la vigilancia de un operador que coloca el trabajo en su posición, inicia y detiene la soldadura, ajusta los controles y fija la velocidad de cada soldadura.

2.2.3 Soldadura por Arco de Metal y Gas (GMAW)

Definición y Antecedentes Generales

La soldadura por arco de metal y gas (Gas metal arc welding - GMAW) es un proceso de soldadura por arco que emplea un arco entre un electrodo de metal de aporte y el charco de soldadura. El proceso se

realiza bajo un escudo de gas suministrado externamente y sin aplicación de presión.

El concepto básico de GMAW surgió en la década de 1920, pero apenas en 1948 estuvo disponible comercialmente. En un principio se le consideraba básicamente un proceso de electrodo de metal desnudo de diámetro pequeño con alta densidad de corriente que empleaba un gas inerte para proteger el arco. La aplicación primaria de este proceso fue en la soldadura de aluminio. Por lo anterior, se acuñó el término MIG (metal gas inerte) y todavía algunos lo usan para referirse a este proceso. Entre los avances posteriores del proceso están la operación con bajas densidades de corriente y con corriente continua a pulsos, la aplicación a una gama más amplia de materiales y el empleo de gases y mezclas de gases reactivos (sobre todo CO_2). Este último avance condujo a la aceptación formal del término soldadura por arco de metal y gas (GMAW) para el proceso, ya que se usan gases tanto inertes como reactivos.

Una variación del proceso GMAW emplea un electrodo tubular dentro del cual hay un núcleo constituido principalmente por polvos metálicos (electrodo con núcleo de metal). Estos electrodos requieren un escudo de gas para proteger el charco de soldadura de contaminación por parte de la atmósfera.

La American Welding Society (AWS) considera los electrodos con núcleo de metal como un segmento de GMAW. Algunas asociaciones del ramo en otros países agrupan los electrodos con núcleo de metal junto con

los electrodos con núcleo de fundente. GMAW puede operar en modalidades mecanizada, semiautomática o automática. Todos los metales de importancia comercial, como el acero al carbono, el acero de baja aleación de alta resistencia mecánica, el acero inoxidable, el aluminio, el cobre, el titanio y las aleaciones de níquel se pueden soldar en cualquier posición con este proceso escogiendo el gas protector, electrodo y variables de soldadura apropiados.

Usos y Ventajas

Los usos del proceso, desde luego, están regidos por sus ventajas; las más importantes de éstas son:

- Es el único proceso de electrodo consumible que puede servir para soldar todos los metales y aleaciones comerciales.
- GMAW no tiene la restricción de tamaño de electrodo limitado que se presenta con la soldadura por arco de metal protegido.
- Puede soldarse en todas las posiciones, algo que no es posible con la soldadura por arco sumergido.
- Se logran tasas de deposición bastante más altas que con la soldadura por arco de metal protegido.
- Las velocidades de soldadura son más altas que con soldadura por

arco de metal protegido gracias a la alimentación continua del electrodo y a las mayores tasas de deposición del metal de aporte.

- Como la alimentación de alambre es continua, es posible depositar soldaduras largas sin parar y volver a comenzar.
- Cuando se usa transferencia por aspersion, es posible lograr mayor penetración, lo que puede permitir el uso de soldaduras de filete más pequeñas para obtener una resistencia mecánica equivalente.
- Casi no se requiere limpieza después de la soldadura porque no se produce mucha escoria. Estas ventajas hacen al proceso ideal para aplicaciones de soldadura en alto volumen de producción y automatizadas. Esto se ha hecho cada vez más obvio con la llegada de la robótica, donde GMAW ha sido el proceso predominante.

Limitaciones

Como en cualquier proceso de soldadura, hay ciertas limitaciones que restringen el uso de la soldadura por arco de metal y gas. Entre ellas están las siguientes:

- El equipo de soldadura es más complejo, más costoso y menos transportable que el de SMAW.
- GMAW es más difícil de usar en lugares de difícil acceso porque la

pistola soldadora es más grande que un porta electrodos de arco de metal protegido, y la pistola debe estar cerca de la unión [entre 10 y 19 mm (3/8 y 3/4 pulg)] para asegurar que el metal de soldadura esté bien protegido.

- El arco de soldadura debe protegerse contra corrientes de aire que puedan dispersar el gas protector. Esto limita las aplicaciones en exteriores a menos que se coloquen barreras protectoras alrededor del área de soldadura.
- Los niveles relativamente altos de calor radiado y la intensidad del arco pueden hacer que los operadores se resistan a utilizar el proceso.

Principios de Operación

El proceso GMAW se basa en la alimentación automática de un electrodo continuo consumible que se protege mediante un gas de procedencia externa. El proceso se ilustra en la figura 2.22. Una vez que el operador ha hecho los ajustes iniciales, el equipo puede regular automáticamente las características eléctricas del arco. Por todo esto, en efecto, los únicos controles manuales que el soldador requiere para la operación semiautomática son los de velocidad y dirección del desplazamiento, así como también el posicionamiento de la pistola.

Cuando se cuenta con equipo y ajustes apropiados, la longitud del

arco y la corriente (es decir, la velocidad de alimentación del alambre) se mantienen automáticamente.

El equipo necesario para GMAW se muestra en la figura 2.23. Los componentes básicos del equipo son la unidad de pistola soldadora y cables, la unidad de alimentación del electrodo, la fuente de potencia y la fuente de gas protector.

La pistola guía el electrodo consumible, conduce la corriente eléctrica y el gas protector a la pieza, de modo que proporciona la energía para establecer y mantener el arco y fundir el electrodo, además de la protección necesaria contra la atmósfera del entorno. Se emplean dos combinaciones de unidad de alimentación de electrodo y fuente de potencia para lograr la autorregulación de la unidad del arco que se desea. Generalmente, esta regulación se efectúa con una fuente de potencia de voltaje constante (que por lo general tiene una curva volt - ampere prácticamente plana) en conjunción con una unidad de alimentación de electrodo de velocidad constante. Como alternativa, una fuente de potencia de corriente constante proporciona una curva volt- ampere de caída, y la unidad de alimentación del electrodo se controla por medio del voltaje del arco.

Con la combinación de potencial constante/alimentación del alambre constante, los cambios en la posición del soplete originan un cambio en la corriente de soldadura que coincide exactamente con el cambio en la extensión del electrodo, de modo que la longitud del arco no se modifica.

Por ejemplo, si se aumenta la extensión del electrodo al retirar el soplete, la salida de corriente de la fuente de potencia se reduce, con lo que se mantiene el mismo calentamiento por resistencia del electrodo.

En el sistema alternativo, la autorregulación se efectúa cuando las fluctuaciones del voltaje de arco reajustan los circuitos de control del alimentador, los cuales modifican de manera apropiada la velocidad de alimentación del alambre. En algunos casos (como cuando se suelda aluminio), puede ser preferible apartarse de estas combinaciones estándar y acoplar una fuente de potencia de corriente constante con una unidad de alimentación del electrodo de velocidad constante. Esta combinación no tiene mucha capacidad de autorregulación, y por tanto requiere operadores más hábiles en operaciones de soldadura automática. Pese a ello, algunos usuarios opinan que esta combinación ofrece un grado de control sobre la energía del arco (corriente) que puede ser importante para resolver el problema que implica la elevada conductividad térmica de los metales base de aluminio.

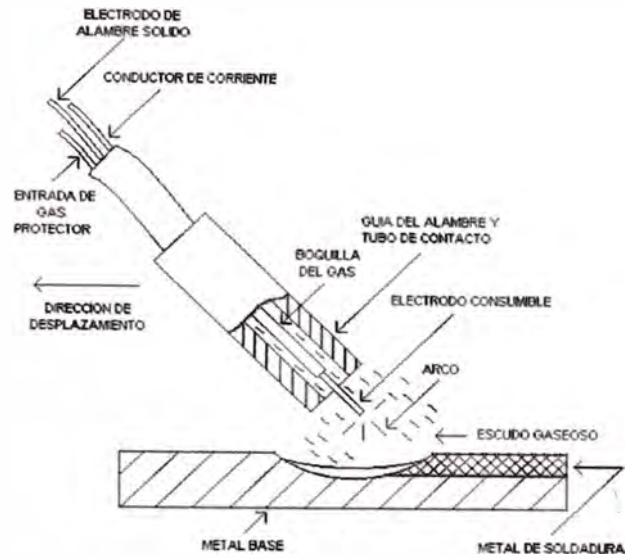
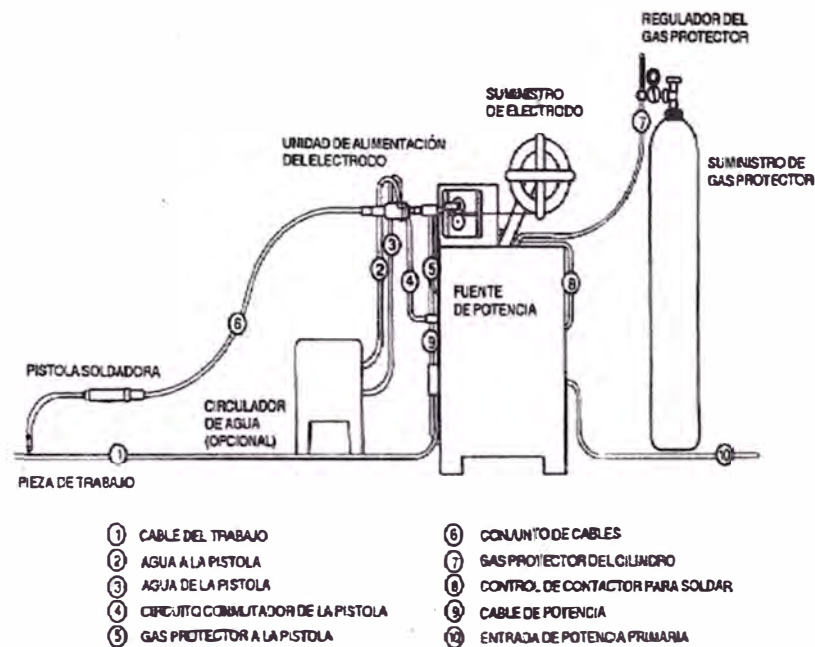


Figura 2.22 - Proceso de soldadura por arco de metal y gas



- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| ① CABLE DEL TRABAJO | ⑥ CONJUNTO DE CABLES |
| ② AGUA A LA PISTOLA | ⑦ GAS PROTECTOR DEL CILINDRO |
| ③ AGUA DE LA PISTOLA | ⑧ CONTROL DE CONTACTOR PARA SOLDAR |
| ④ CIRCUITO COMUTADOR DE LA PISTOLA | ⑨ CABLE DE POTENCIA |
| ⑤ GAS PROTECTOR A LA PISTOLA | ⑩ ENTRAJA DE POTENCIA PRIMARIA |

Figura 2.23 - Diagrama del equipo para soldadura por arco de metal y gas

CAPITULO 3

ELABORACION DE PROCEDIMIENTOS

3.1 DESCRIPCION DEL MATERIAL BASE

El material utilizado para la fabricación es un acero que pertenece a la familia de los aceros templados y revenidos , el cual esta regido bajo la especificación JIS G3128, cuyo tipo y grado es SHY 685, denominado comercialmente Sumiten 780S, empleado en la construcción de tuberías forzadas en Japón desde el año 1975. Su composición química y sus propiedades más importantes (ver también Anexo J) se dan a continuación:

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cu	%Ni	%Cr	%Mo	%Otros
≤ 0.18	≤0.66	≤ 1.2	≤0.026	≤ 0.016	0.16 - 0.60	—	0.16 - 1.20	0.10 - 0.60	V<0.10 B<0.005

Tabla 3.1 Composición Química del Acero JIS G3128 (SHY 685)

Propiedades Mecánicas	
Esfuerzo de Fluencia mín.	685 MPa
Resistencia a la Tracción	780 – 930 MPa
Elongación	16 %
Propiedades de Doblez (180°) – Radio de doblez (r)	Si t ≤ 32 mm ; r =1.5t Si t ≥ 32 mm ; r = 2t
Tenacidad de Muesca (t>12 mm)	A -20°C , una energía de absorción de 47 J
Tratamiento Térmico	Templado y Revenido (Q&T)

Tabla 3.2 - Propiedades mecánicas de acuerdo a hoja técnica del metal base

En la tabla 3.3, se observa la equivalencia de este acero con respecto a las normas ASTM y BS EN.

Grade	SUMITOMO standard	JIS	ASTM	BS EN
HT490	SUMITEN 540 (-TMC)	G3106 SM490 G3106 SM520 G3115 SPV355	A537 Cl.1 A841 Cl.1	10025 P355M 10025 P420M
HT590	SUMITEN 590 (-TMC) SUMITEN 610 (-TMC)	G3106 SM570 G3115 SPV450 G3115 SPV490	A537 Cl.2 A841 Cl.2	10025 P460M 10137-2 S460Q 10137-2 S500Q 10137-2 S550Q
HT690	SUMITEN 690 (-TMC)	-	-	10137-2 S620Q
HT780	SUMITEN 780 (-TMC) SUMITEN 780S	G3128 SHY685 G3128 SHY685N G3128 SHY685NS	A517 Gr.B A517 Gr.F	10137-2 S690Q
HT950	SUMITEN 950 (-TMC)	-	-	10137-2 S890Q

Tabla 3.3

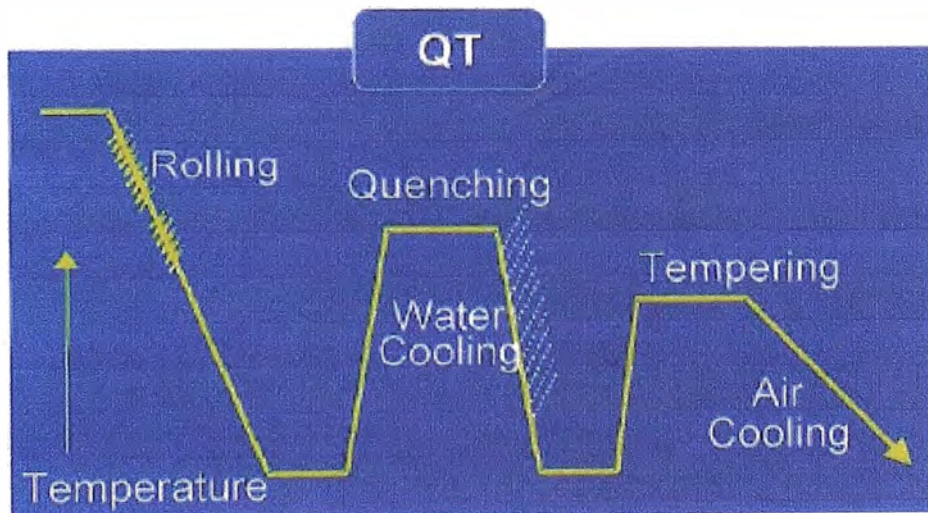


Figura 3.1 - Tratamiento térmico al que ha sido sometido el acero Sumiten 780S en fabricación

Este acero nos ofrece propiedades adecuadas para construcciones ligeras, sobre todo en maquinaria de transporte, recipientes a presión y puentes. Sus buenas características de resistencia máxima y resiliencia (tenacidad) a bajas temperaturas permiten construir recipientes y depósitos más ligeros.

A fin de obtener una martensita de grano fino después de los tratamientos térmicos a los que se somete este acero, es necesario que antes exista una austenita de grano fino. Por esta razón, se emplean elementos formadores de nitruros, tales como el vanadio, de esta manera, a pesar de las elevadas temperaturas que se presentan en el ciclo térmico de una soldadura, la microestructura en la ZAC puede mantener una estructura fina.

Debido a su buena templabilidad durante la soldadura, se pueden formar estructuras martensíticas en la ZAC, en la región próxima a la zona de fusión las cuales pueden hacer susceptible a la fragilización por hidrógeno. Por ello, deberá controlarse el aporte de calor durante la soldadura; si la zona de transformación queda demasiado tiempo a temperatura elevada (aporte de calor excesivo), la temperatura de la mayor parte de esta zona puede superar la temperatura de revenido, de manera que sus características mecánicas se vuelven incluso inferiores a las del metal base.

Así también, se debe realizar un precalentamiento, mantener la temperatura de interpase y un postcalentamiento (si fuese necesario) por un tiempo determinado para eliminar la posibilidad de fisuración por hidrógeno.

3.2 MATERIALES DE APORTE

Los materiales de aporte fueron seleccionados de acuerdo a los valores mecánicos indicados en sus hojas técnicas, buscando asegurar las propiedades mecánicas de la junta a soldar. Comparamos los valores de resistencia a la tracción y esfuerzo de fluencia mínima; luego los de elongación e impacto, de tal manera que los valores del metal de aporte sean similares (sin ser demasiado altos) respecto a los del metal base.

La clasificación y tamaño de los electrodos deben ser apropiados con el espesor del material, posición de soldeo y otras circunstancias atendiendo el trabajo a realizar. En el caso de usar gas de protección (proceso GMAW) se debe tener en cuenta que la mezcla gaseosa influye en el aporte de calor al momento del soldeo. Para el proceso SAW no solo se considera el metal de aporte (alambre) sino también al fundente que le aporta o sustrae aleantes a la unión soldada.

Los elementos aleantes del metal de aporte y material base deben presentar similares porcentajes en peso a fin de no alterar las propiedades mecánicas en el metal base y en la ZAC. Las adiciones de Ni (como en el caso del alambre seleccionado para el proceso SAW) mejoran la tenacidad y la resistencia a la tracción, en cambio para el Mn y el Cr considerables aumentos no son beneficiosos debido al incremento de la templabilidad. También es importante observar que el contenido de carbono del material de aporte sea más bajo que el del metal base pues el aumento disminuye la soldabilidad.

Cabe recalcar que los valores únicos en las tablas de análisis químico presentadas para los elementos de aporte significan valores máximos.

Los resultados de los ensayos mecánicos realizados a los cupones soldados y los criterios de aceptación establecidos por las normas aplicadas y las buenas prácticas de soldadura serán los que determinen la aceptación de los procedimientos.

Los materiales de aporte utilizados para los procedimientos presentados en este informe se presentan a continuación:

3.2.1 Para Procedimiento con SMAW

- **Electrodo:** E11018 –G (Según SFA /AWS 5.5)

Análisis Químico del Metal Depositado (% en peso)

C	Mn	Si	Mo	Ni
0.06	1.50	0.25 – 0.50	0.20	1.00

Tabla 3.4

- **Propiedades Mecánicas**

Resistencia a al Tracción	Esfuerzo de Fluencia (min)	Charpy V (20 °C)	Elongación (2")
820-882 N/mm ²	765 – 805 N/mm ²	> 110 J	15 -18%

Tabla 3.5

- **Características:**

Es un electrodo con contenido de hierro en polvo en su revestimiento que da un depósito de bajo hidrógeno con alta resistencia a la tracción aún con temperaturas bajo cero, se puede emplear en varias posiciones. Cumple con la norma AWS A 5.5

Para preservar sus propiedades se deben almacenar en lugar seco, no tenerlos expuestos al medio ambiente más de 30 minutos después de haber abierto el envase, de preferencia mantenerlos en un horno de manutención a 120 °C . En caso de que se necesite un resecado debido a una exposición prolongada del electrodo a la humedad, este se hará a una temperatura de entre 350 a 400 °C por un tiempo de 2 horas.

3.2.2 Para Procedimiento con SAW

- **Alambre:** OE SD3 2.5 Ni Cr Mo TM

Análisis Químico del Metal Depositado (% en peso)

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.13	0.19	1.52	0.011	0.007	0.66
Mo	Ni	Al	V	Cu	
0.54	2.43	0.009	0.001	0.07	

Tabla 3.6

- **Fundente:** OP 121 TT W TM

Clasificación según EN 760: S A FB 1 55 AC

Análisis Químico (*) (% en peso)

MnO	TiO ₂	CaO	CaF ₂	Fe ₂ O ₃
0.29	0.13	7.09	24,63	0.58

SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	
13.21	19.4	30.82	0.013	

Tabla 3.7

(*) Valores referenciales

- **Propiedades Mecánicas (**)**

	Resistencia a la tracción (N/mm ²)	Esfuerzo de fluencia (N/mm ²)	Charpy V a -40 °C (J)	Elongación (%)
Como se soldó	≥ 720	830 - 870	50 (min.)	≥ 18
PWHT 600 °C por 2 horas	≥ 690	780 - 820	50 (min.)	≥ 19

Tabla 3.8

(**) Valores referenciales obtenidos de la combinación de alambre y fundente.

- **Características**

El fundente utilizado es del tipo aglomerado básico, apropiado para soldaduras en aceros de alta resistencia y grano fino, así como en aceros tenaces a temperaturas por debajo de 0 °C. El soldeo con el alambre apropiado (en este caso OE SD3 2.5

Ni Cr Mo TM) satisface los requerimientos de alta tenacidad. Este puede ser utilizado con corrientes AC y DC hasta 800 A.

Tanto el alambre como el fundente de deben estar apilados en un lugar seco, libre de humedad. Una vez abierto el empaque de fundente se debe mantener este en un horno de manutención entre 120 a 140 °C. En caso de que se necesite un resecado se recomienda hacerlo a una temperatura entre 300 a 350 °C por dos horas y solo se debe hacer esta operación una sola vez.

3.2.3 Para Procedimiento con GMAW

- **Alambre Sólido:** ER100S – G (Según SFA / AWS 5.28)

Análisis Químico (% en peso)

C	Mn	Si	Ni	Mo	Cr
0.08	1.25 – 1.80	0.20 -0.55	1.40 – 2.10	0.25 – 0.55	0.30

S	P	V	Al	Ti	Zr	Cu
0.008	0.012	0.05	0.10	0.10	0.10	0.30

Tabla 3.9

- **Propiedades Mecánicas**

	Resistencia a la tracción (N/mm²)	Esfuerzo de fluencia mínimo (N/mm²)	Charpy V A - 18 °C (J)	Elongación (%)
Soldado con 1.77 kJ/mm	786	690	169	≥ 24
Se utilizó la mezcla 90% Ar – 10% CO ₂				

Tabla 3.10

- **Características**

Es un alambre diseñado para soldar materiales base con valores de resistencia a la tracción iguales o mayores a 690 MPa. Posee buenas propiedades de impacto bajo condiciones de altos aportes de calor. Las mejores propiedades mecánicas son obtenidas con mezclas de 95 a 98 % de Argón con 2-5% de O₂. Cumple con la especificación A5.28.

Es importante almacenar el alambre en lugar seco y una vez abierto cubrir el alambre para evitar la absorción de humedad o la oxidación del mismo.

- **Mezcla Gaseosa: 90% Ar – 10% CO₂**

Las adiciones de CO₂ al Argón, pueden producir un alto rango de características de soldadura desde transferencias spray de alta corriente hasta transferencias en corto circuito de baja corriente.

La disociación del CO₂ en el arco provee de oxígeno para mejorar la humectación y estabilizar el arco. La alta conductividad térmica del CO₂ tiende a incrementar el ancho de fusión comparado con mezclas argón – oxígeno. Cuando se usa GMAW con alambres sólidos de acero al carbono las mezclas Ar- CO₂ conteniendo más de 20% este último, no soportarían una transferencia en spray.

Las mezclas de entre 1-10% de CO₂ pueden producir todos los modos de transferencia en una variedad de espesores de acero. La profundidad de fusión es mejorada y la porosidad puede ser reducida cuando se usan mezclas Ar – CO₂ en vez de Ar - O₂.

3.3 ESTABLECIMIENTO DE VARIABLES

La selección de los parámetros del proceso (amperaje, voltaje, velocidad de desplazamiento, tasa de flujo, extensión de electrodo, etc.) requieren una estrategia de prueba y error para determinar un conjunto de condiciones aceptable. Esto se dificulta aún más por la interdependencia de muchas variables.

Los parámetros a tomar para elaborar los procedimientos de soldadura se establecerán de acuerdo al “resumen de variables” para especificación de procedimiento que se encuentran en la Sección IX del código ASME.

Este resumen está establecido para cada tipo de proceso de soldadura y presenta un juego de variables esenciales, no esenciales y esenciales suplementarias.

Las variables esenciales son aquellas que, al tener un cambio como se describe en las tablas, afectan las propiedades mecánicas de la soldadura y requerirán la recalificación del WPS.

Las variables esenciales suplementarias son requeridas para metales para los cuales otras secciones especifican pruebas de tenacidad de muesca (tales como Charpy V) y son adicionadas a las variables esenciales para cada proceso.

Las variables no esenciales son aquellas que pueden ser cambiadas sin que la soldadura sufra un cambio importante en sus propiedades mecánicas.

Para los procesos presentados las variables de las mismas son ubicadas en las tablas de variables (listadas para cada proceso desde QW - 252 hasta QW -256) y en el Welding Data se describen sus alcances y limitaciones. Todo esto lo podemos encontrar en la Sección XI del Código ASME. Se han escogido las correspondientes a los procesos SAW, SMAW y GMAW, de las que se detallarán aquellas que tienen una influencia importante sobre el soldeo como son las variables esenciales y suplementarias. Estas están mencionadas con el número del acápite correspondiente en la Sección IX.

3.3.1 Variables para Procedimiento con SMAW

a. Metal Base

QW – 403.5 Cambio en el Número de Grupo

La especificación de procedimiento de soldadura debe ser calificada usando uno de las siguientes condiciones:

- (a) El mismo metal base (incluyendo tipo y grado) a ser usado en producción.*
- (b) Para materiales ferrosos, un metal base listado en el mismo grupo de número P en la tabla QW/QB – 422 como el metal base usado en soldadura de producción.*
- (c) Para materiales no ferrosos, un metal base listado en el mismo UNS número P de la tabla QW/QB – 422 como el metal base usado en soldadura de producción.*

Para materiales ferrosos en la tabla QW/QB – 422, una calificación de procedimiento debe ser hecha para cada combinación de metales base del mismo Grupo de número P, aún cuando las pruebas de calificación de procedimiento hayan sido hechas para cada uno de los dos metales base a si mismos.

Comentario. En el caso del material base utilizado JIS G3128 - SHY 685 es un acero que no está clasificado dentro de la tabla QW/QB – 422 (ver Anexo D) por lo que en este caso se aplica la condición (a) para poder validar nuestra calificación. Dentro de este mismo acápite se menciona la posibilidad de calificar otros materiales base del mismo grupo de número P con el mismo procedimiento (respetando las mismas variables esenciales y suplementarias), pero en nuestro caso esto no se aplica.

QW – 403.6 Límite por Espesor de Impacto

El mínimo espesor de metal base calificado es el espesor del cupón T ó 16 mm, el que sea menor. Sin embargo, donde T sea menor a 6 mm, el mínimo espesor calificado es $\frac{1}{2} T$ Este limite no aplica cuando un WPS es calificado con un PWHT por encima de la temperatura superior de transformación o cuando un material austenítico es solución recocida después de la soldadura.

Comentario. La primera condición es la aplicada en nuestro procedimiento SMAW ya que el postcalentamiento aplicado no será mayor a 200 °C y el material base no es austenítico. El cupón calificado posee un espesor de 35 mm, por lo que el mínimo valor del rango de espesores es 16 mm.

QW – 403.8 Cambio en el Espesor Calificado

Un cambio en el espesor calificado del metal base mas allá del rango calificado en QW-451, excepto que otra cosa sea permitida por QW 202.4 (b).

Comentario. De acuerdo a la tabla QW – 451 (ver anexo C) el rango de espesor de cupón calificado es de 5 mm como mínimo y 2T como máximo, pero como en el acápite QW – 403.6 se indicó que el mínimo espesor de cupón calificado es 16 mm, entonces el rango calificado de espesor de cupón de soldadura será de 16 a 70 mm.

QW – 403.9 Espesor de Metal Depositado Mayor a 13 mm

Para soldaduras de pases simples o multipase en las que cualquier pase sea mayor a 13 mm de espesor, un incremento en el espesor del metal base mas allá de 1.1 veces el espesor del espesor del cupón calificado.

Comentario. Este acápite no aplica en nuestro caso dado que los pases de soldadura tienen valores que varían entre los 2.3 a 3 mm de espesor (comparar con la cantidad de pases mostrada en el esquema del procedimiento con el proceso SMAW presentado en 4.4).

QW – 403.11 Cambio en el Número P Calificado

El metal base especificado en el WPS debe ser calificado por una prueba de calificación de procedimiento que fue hecha usando metales base de acuerdo a QW – 424.

Comentario. Se hace referencia al acápite QW – 424, el que señala que los metales no asignados (los no pertenecientes a la tabla QW/QB – 422) deben ser identificados en el WPS y en el PQR por la especificación, tipo y grado o por el análisis químico y propiedades mecánicas. Además, este acápite nos da un listado (ver Anexo G) en el cual señala que el metal no asignado (unassigned metal) utilizado en el cupón para calificación de soldadura calificará solo al mismo metal no asignado por lo que esta será otro rango limitante en nuestro procedimiento.

QW – 403.13 Cambio en el Número P 5 / 9 / 10

Este acápite no aplica en nuestro caso debido a que nuestro material base no se encuentra dentro de estos número de grupo P.

b. Metal de Aporte**QW – 404.4 Cambio en el Número F**

Un cambio de un número F en la tabla QW-432 a cualquier otro número F o a cualquier otro metal de aporte no listado en la tabla citada.

Comentario. La agrupación de electrodos y metales de aporte en la tabla QW – 432 (ver Anexo F) está basada esencialmente en sus características, las cuales fundamentalmente determinan la habilidad de los soldadores de hacer soldaduras satisfactorias con un metal de aporte dado. La agrupación está hecha para reducir al número de procedimientos y calificaciones de soldadura, donde estas lógicamente pueden ser hechas. La agrupación no implica que el metal base dentro de un grupo pueda ser indiscriminadamente sustituido por un metal que fue usado en las pruebas de calificación sin consideración de la compatibilidad del metal base y el metal de aporte, las propiedades metalúrgicas, tratamientos térmicos post soldeo, diseño, requerimientos de servicio y propiedades mecánicas.

Para nuestro caso seleccionamos un electrodo E 11018–G (señalado en 3.2.1), bajo la especificación SFA /AWS 5.5 al que se le asigna un número F 4.

QW – 404.5 Cambio en el Número A

Un cambio en la composición química del depósito de soldadura de un número A cualquiera a otro de la tabla QW – 442. La calificación con A N° 1 debe calificar para el A N° 2 y viceversa.

La composición química del metal de aporte puede ser determinada como sigue:

- (a) Para todos los procesos de soldadura – del cupón de prueba de calificación de procedimiento realizar el análisis químico de una muestra del metal depositado.*
- (b) Para SMAW, GTAW y PAW – del análisis químico del metal depositado preparado de acuerdo a la especificación del metal de aporte o de la composición química del metal de aporte reportada en su especificación o con el certificado de conformidad del fabricante o suministrador.*
- (c) Para GMAW y EGW - del análisis químico del metal depositado preparado de acuerdo a la especificación del metal de aporte o del certificado de conformidad del fabricante o suministrador cuando el gas de protección usado fue el mismo que el usado para soldar el cupón de prueba de calificación del procedimiento.*

(d) Para SAW – del análisis químico del metal depositado preparado de acuerdo a la especificación del metal de aporte o del certificado de conformidad del fabricante o suministrador cuando el fundente usado fue el mismo que el usado para soldar el cupón de prueba de calificación del procedimiento

En lugar de la designación de un número A la composición química nominal del depósito de soldadura debe ser indicado en el WPS y el PQR. La designación de la composición química nominal puede ser también por una referencia a la clasificación de AWS (si tal existe), designación de la marca del fabricante u otra establecida en documentos obtenidos.

Comentario. Vamos primeramente al apartado (b) y comparamos la tabla QW – 442 (Anexo E) con la composición química de nuestro electrodo (de acuerdo a la hoja técnica y/o certificado del fabricante), vemos que este pertenece al grupo del número A 10.

QW – 404.7 Cambio en el Diámetro del Electrodo.

Un cambio en el diámetro nominal del electrodo por encima de 6 mm. Este límite no aplica cuando un WPS es calificado con un PWHT por encima de la temperatura superior de transformación o cuando un material austenítico es solución recocida después de la soldadura.

Comentario. En nuestro caso no aplicaría este acápite por ser nuestro electrodo de diámetro 4 mm.

QW – 404.12 Cambio en la Clasificación

Un cambio en la clasificación del metal de aporte dentro de la especificación SFA o a un metal de aporte no cubierto por esta; o de un metal de aporte a otro, ambos, no cubiertos por la especificación SFA.

Cuando un metal de aporte está dentro de las especificaciones SFA, la recalificación no es requerida si un cambio es realizado en cualquiera de los siguientes casos:

- (a) De un metal de aporte que es diseñado como resistente a la humedad a uno no diseñado como resistente a la humedad y viceversa (ej: de un E7018R a E7018)*
- (b) De un nivel de hidrógeno difusible a otro (ej: E7018-H8 a E7018 - H16).*
- (c) Para metales de aporte para acero al carbono, baja aleación e inoxidable, que tengan el mismo esfuerzo de tracción mínimo y la misma composición química nominal, un cambio de un tipo de cubierta de bajo hidrógeno a otro (ej: un cambio entre EXX15, 16 ó 18).*

- (d) *De una designación de posición a otra en electrodos para el proceso FCAW (ej. Un cambio de E70T-1 a E71T-1 o viceversa).*

- (e) *De una clasificación que requiera pruebas de impacto a la misma clasificación la cual tenga un sufijo que indique que la prueba de impacto fue desarrollada a una temperatura más baja o exhibe una mayor tenacidad a la temperatura requerida o ambos, comparando la clasificación la cual fue usada durante el proceso de calificación.*

- (f) *De una clasificación calificada a otra de un metal de aporte dentro de la misma especificación SFA cuando el metal de aporte está exceptuado de pruebas de impacto por otras secciones.*

Comentario. Este acápite nos da una limitante para la selección o cambio de electrodo, de acuerdo a la especificación a la que pertenece (lo que implicaría, un cambio en los valores de resistencia a la tracción y la composición química), ello conlleva a una calificación o recalificación de procedimiento de soldadura, a menos que estos cambios estén de acuerdo a las consideraciones de las propiedades de tenacidad, recubrimiento básico (señalado en el acápite (c)) o contenido de humedad y otras características descritas en los apartados mencionados anteriormente.

QW – 404. 30 Cambio en el Espesor de Metal Depositado

Un cambio en el espesor de metal depositado (t) más allá del rango calificado en QW-451 para calificación de procedimiento.

Comentario. Observando en la tabla QW – 451.1 (ver Anexo C), el rango de espesor de metal depositado máximo sería 2t, pero dado que este espesor coincide con el espesor del cupón de soldadura (T) entonces el espesor máximo calificado sería para nuestro caso de 70 mm.

c. Posiciones de Soldeo**QW – 405. 2 Cambio de Posición**

Un cambio de cualquier posición a una posición de progresión ascendente. La progresión vertical ascendente (ejemplo: posiciones 3G, 5G o 6G) califican para toda posición. En progresión descendente un cambio de cordón de recto a oscilante. Esta limitación no aplica cuando el WPS es calificado con un PWHT por encima de la temperatura superior de transformación o cuando un material austenítico es solución recocida después de la soldadura.

Comentario. En el caso de nuestro procedimiento este fue hecho en posición de prueba 3G con un cordón recto, por lo tanto este califica para toda posición pero sin cambiar la forma del cordón.

d. Pre calentamiento

QW – 406. 1 Disminución del Pre calentamiento

Una disminución de más de 55 °C en la temperatura de pre calentamiento calificado. La mínima temperatura para el soldeo debe ser especificada en el WPS.

Comentario. La temperatura determinada en nuestro caso es de 120 °C como mínimo (ver el respectivo PQR en 4.4) y la calificada en prueba vendría a ser la misma. Al ser las mismas estamos dentro de lo que nos marca el acápite.

QW – 406. 3 Incremento en la Temperatura de Interpase

Un incremento de más de 55 °C en la máxima temperatura de interpase registrada en el PQR. Esta limitación no aplica cuando el WPS es calificado con un PWHT por encima de la temperatura superior de transformación o cuando un material austenítico es solución recocida después de la soldadura.

Comentario. En nuestro caso la temperatura interpase máxima registrada en el PQR es de 150 °C. En el WPS podríamos colocar como máxima temperatura de interpase hasta de 200 °C, sin embargo se mantuvo el primer valor de temperatura.

e. Tratamiento Térmico Post Soldeo (PWHT)

QW – 407. 1 Cambio en el Tratamiento Térmico Post soldeo.

Una calificación de procedimiento por separado será requerida para cada una de las siguientes condiciones:

(a) Para materiales con número P 1 , 3, 5, 6, 9, 10 y 11, las siguientes condiciones de tratamiento térmico post soldeo (PWHT) aplican:

- (1) Sin PWHT.*
- (2) PWHT por debajo de la temperatura de transformación inferior.*
- (3) PWHT por encima de la temperatura de transformación superior.*
- (4) PWHT por encima de la temperatura de transformación superior seguido de un tratamiento*

térmico por debajo de la temperatura de transformación inferior. (ejemplo: un normalizado o templado seguido de un revenido)

(5) PWHT entre las temperaturas de transformación superior e inferior.

(b) Para otros materiales, las siguientes condiciones de PWTH aplican:

(1) Sin PWHT.

(2) PWHT dentro de un rango de temperatura especificado.

Comentario. Este acápite señala que ante cualquier cambio para el tratamiento térmico post soldeo, siempre requeriría una recalificación, en nuestro caso estaríamos dentro del apartado (b)(1) para el cual debemos indicar que es un post calentamiento (no un PWHT) y el rango aplicado (150 a 200 °C)

QW – 407. 2 Cambio en el Rango de Tiempo y Temperatura.

Un cambio en el PWHT en temperatura y rango. La prueba de calificación de procedimiento debe estar sujeta a PWHT esencialmente equivalente al encontrado en la fabricación de soldaduras de producción, incluyendo al menos 80% del tiempo

agregado de temperatura. El tiempo total de PWHT en temperatura puede ser aplicado en un ciclo de calentamiento.

Comentario. Este acápite nos indica que para un cupón elaborado para un procedimiento de soldadura, el tiempo mínimo calificado de aplicación de un PWHT para el procedimiento sería el 80% del tiempo total del proceso de soldadura (tiempo de PWHT + tiempo de soldeo). Como el postcalentamiento aplicado no es un PWHT en nuestro caso este acápite no aplica.

Sin embargo, vale aclarar que para un caso de aplicación de PWHT, si el tiempo empleado fuese de 2 horas, el tiempo máximo de todo el proceso de soldadura de producción sería de 2 horas y 30 minutos.

QW – 407. 4 T Límite

Para metales base ferrosos diferentes de los de número P 7, 8 y 45, cuando un cupón de prueba para procedimiento de calificación recibe un PWHT que exceda la temperatura de transformación, el máximo espesor de metal base calificado T, no debe exceder de 1.1 veces el espesor del cupón.

Comentario. Esta consideración, en nuestro caso, no es aplicable por no encontrarse nuestro material de aporte dentro de los grupos de números P señalados.

f. Características Eléctricas

QW – 409. 1 Incremento del Calor de Aporte

Un incremento en el calor de aporte o en el volumen de metal de soldadura depositado por unidad de longitud, el incremento puede ser determinado de las siguientes maneras:

(a) *Aporte de Calor (J/mm)*

$$= \frac{\text{Voltaje} \times \text{Amperaje} \times 60}{\text{Velocidad de Avance (mm/min)}}$$

(b) *Volumen de metal de soldadura medido por:*

- (1) *Un incremento en el tamaño del cordón (ancho x espesor).*
- (2) *Una disminución en la longitud del cordón de soldadura por unidad de longitud de electrodo.*

Los requerimientos medidos del calor de aporte o volumen depositado de metal de soldadura no aplican cuando el WPS es calificado con un PWHT por encima de la temperatura de transformación superior o cuando un material austenítico es solución recocida después del soldeo.

Comentario. Para calcular al aporte de calor en la soldadura hay que considerar también un factor llamado "eficiencia térmica", el cual

se toma de acuerdo al proceso aplicado, para el caso del proceso SMAW consideraremos una eficiencia térmica $f = 0.8$. El procedimiento presenta un calor de aporte máximo de 1.68 kJ/mm en el PQR, pero se buscó colocar un valor de 1.52 kJ/mm en el WPS para así asegurar que el calor aportado no supere el valor máximo de la prueba. Si bien es cierto que el calor de aporte depende del amperaje y voltaje, los cambios de estos parámetros durante el soldeo no son significativos en este proceso, solo hay que tomar en cuenta la habilidad del soldador para regular su velocidad de avance.

QW – 409. 4 Cambio de Corriente y Polaridad

Un cambio de corriente de AC a DC o viceversa, y en soldadura con corriente directa, un cambio de polaridad directa (electrodo en negativo) a polaridad inversa (electrodo en positivo) o viceversa).

Comentario. Nuestro procedimiento es de corriente directa electrodo en positivo (DCEP), el cambio implica recalificación.

g. Técnica

QW – 410. 9 Cambio de Multipase a Simple Pase por Lado.

Un cambio de multipase por lado a simple pase por lado. Esta limitación no aplica cuando un WPS es calificado con un PWHT por

encima de la temperatura de transformación superior o cuando un material austenítico es solución recocida después del soldeo.

Comentario. En nuestro caso es una soldadura de múltiples pases por ambos lados. Ver también QW. 403.9 donde se relaciona esta variable.

QW – 410. 64 Uso de Procesos Térmicos

Para recipientes o sus partes construidas con materiales cuyos números P son 11 A y 11 B, los biseles (ranuras) de soldadura de planchas de espesor menores a 16mm deben ser preparados por procesos térmicos cuando tales procesos serán empleados durante la fabricación. Esta preparación de bisel debe también incluir el back gouging (remoción de metal de soldadura del pase de raíz) o la remoción de metal por procesos térmicos de soldadura que no presente sanidad.

Comentario. Para nuestro caso no aplicaría este acápite ya que el material base utilizado no se encuentra dentro de los grupos de número P mencionados y su espesor no está dentro del rango mencionado.

QW- 253
Variables de soldadura para especificación de procedimiento (WPS)
(SMAW)

Párrafo	Resumen de variables	Esenciales	Suplementarias Esenciales	No Esenciales
QW- 402 Junta	.1	Ø Diseño de Junta		X
	.4	- Resacado		X
	.10	Ø Abertura de Raiz		X
	.11	± Retenedores		X
QW-403 Metal Base	.5	Ø Número de Grupo		X
	.6	T Límite de impacto		X
	.8	Ø T Calificado	X	
	.9	t pass > ½ in (13 mm.)	X	
	.11	Ø P- No Calificado	X	
QW-404 Metal de Aporte	.13	Ø P- No 5/9/10	X	
	.4	Ø Número F	X	
	.5	Ø Número A	X	
	.6	Ø Diámetro		X
	.7	Ø Diámetro > ¼ in. (6mm)		X
	.12	Ø Clasificación		X
QW-405 Posiciones	.30	Ø T	X	
	.33	Ø Clasificación		X
	.1	+ Posición		X
QW-406 Precalentamiento	.2	Ø Posición	X	
	.3	Ø \uparrow Soldadura vertical		X
	.1	Disminución > 100°F (55°C)	X	
QW-407 PWHT	.2	Ø Mantenimiento del Precalentamiento		X
	.3	Incremento > 100°F (55°) Temperatura de interpase		X
	.1	Ø PWHT	X	
QW-409 Características Eléctricas	.2	Ø PWHT (rango T y T)		X
	.4	T límites	X	
	.1	> Aporte de Calor		X
QW-410 Técnica	.4	Ø Corriente y Polandad		X
	.8	Ø rangos de I & E		X
	.1	Ø Arrastre / Oscilante		X
	.5	Ø Metodo de Limpieza		X
	.6	Ø Metodo de backgouge		X
	.9	Ø Múltiple a simple pase / lado		X
	.25	Ø Manual o automático		X
.26	± Martillado		X	
.64	Uso de procesos Térmicos	X		

Leyenda:

+ Adición > incremento mayor que \uparrow Ascendente Ø Cambio
- Retiro < incremento menor que \downarrow Descendente

Según ASME Sección IX – 2007

Tabla 3.11

3.3.2 Variables para Procedimiento con SAW

a. Metal Base

QW – 403.5 Cambio en el Número de Grupo

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW – 403.6 Límite por Espesor de Impacto

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW – 403.8 Cambio en el Espesor Calificado

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW – 403.9 Espesor de Metal Depositado Mayor a 13 mm

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW – 403.11 Cambio en el Número P Calificado

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW – 403.13 Cambio en el Número P 5 / 9 / 10

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

b. Metal de Aporte

QW – 404.4 Cambio en el Número F

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

Comentario. El material de aporte seleccionado se encuentra bajo la especificación SFA 5.23. El número F asignado para este material de aporte de aceros de baja aleación es 6.

QW – 404.5 Cambio en el Número A

(ver acápite y apartado (d) en 3.3.1)

Comentario. Si comparamos la tabla QW – 422 (Anexo D) con la composición química de nuestro alambre (de acuerdo a la hoja técnica del fabricante), vemos que este pertenece al grupo del número A 12. Con este número designamos a la composición química del metal de aporte, indicando que dicho número A está basado en SFA 5.23, clasificación EG.

QW – 404.9 Cambio en Clasificación de Alambre y Fundente.

- (a) *Un cambio en el indicador para esfuerzo de tensión mínimo (ejm: El 7 en F7A2-EM12K) cuando la combinación flujo, alambre es clasificada dentro de la Sección II, Parte C.*
- (b) *Un cambio en la marca del fundente o del alambre cuando ni el flujo, ni el alambre están clasificados dentro de la Sección II, Parte C.*
- (c) *Un cambio en la marca del fundente cuando el alambre está clasificado en la Sección II, Parte C pero el fundente no. Un cambio en la clasificación del alambre dentro de los requerimientos de QW-404.5 no requiere recalificación.*
- (d) *Un cambio en la marca del flujo para depósitos de soldadura A-Nº 8.*

Comentario. El apartado (c) es el que corresponde a nuestro caso, es decir, podemos trabajar con el alambre ya especificado y el fundente que es el OP 121 TT / W (designación del fabricante), el cual no presenta especificación de SFA con la combinación de alambre y estaríamos sujetos a una recalificación si cambiamos este último.

QW – 404.10 Cambio en la Aleación del Fundente

Donde el contenido de aleación del metal de soldadura depende largamente de la composición del fundente usado, cualquier cambio en cualquier parte del procedimiento, el cual resulte en una importante adición de elementos en el metal de soldadura fuera del rango químico especificado dado en el WPS. Si hay evidencia que la soldadura no está siendo hecha de acuerdo con el procedimiento, el inspector autorizado puede requerir una revisión realizada sobre la composición química del metal de soldadura, la cual debe preferiblemente ser hecha en una soldadura de producción.

Comentario. Aquí se recalca la necesidad de tener cuidado con el seguimiento del procedimiento planteado (mezcla de fundente o cambio por otro).

QW – 404. 24 Cambio en el Metal de Aporte Suplementario.

La adición, disminución o cambio de más del 10% en volumen del metal de aporte suplementario.

Comentario. Las adiciones de metal de aporte suplementario se realizan con la finalidad de elevar las tasas de deposición del proceso, ya sea en forma de alambre o de polvos metálicos. Estas adiciones (sobre todo la de los polvos metálicos) pueden modificar la composición química del depósito final de soldadura. Debido a ello

es que se le considera a esta variable como esencial. Para nuestro procedimiento con el proceso SAW no usamos ninguna forma de metal de aporte suplementario.

QW – 404. 27 Cambio en los Elementos Aleantes

Donde el contenido de aleantes del metal de soldadura depende largamente de la composición del metal de aporte suplementario, cualquier cambio en cualquier parte del procedimiento de soldadura que pueda resultar en un cambio de los elementos aleados fuera del rango químico especificado en el WPS.

Comentario. El metal de aporte suplementario es usado con la finalidad de incrementar el rendimiento en soldadura. Este acápite no aplica en nuestro caso ya que no usamos metal de aporte suplementario.

QW – 404. 30 Cambio en el Espesor de Metal Depositado

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW – 404. 34 Cambio en el Tipo de Fundente

Un cambio en el tipo de fundente, para depósitos de varias capas en materiales con número P 1.

Comentario. Este acápite no aplica en nuestro caso pues nuestro material base no se encuentra dentro de este número de grupo.

QW – 404. 35 Cambio en la Clasificación de Alambre / Fundente

Un cambio en la clasificación del alambre / fundente o un cambio en la marca del alambre o fundente cuando no están incluido en la especificación SFA. No será requerida una recalificación cuando la combinación de alambre y flujo esté conforme a una especificación SFA y el cambio sea de un nivel de hidrógeno difusible a otro. Esta variable no aplica cuando el metal de soldadura está exceptuado de pruebas de impacto por otras secciones del código.

Comentario. Este acápite es coincidente con QW-404.9 (c), donde el cambio de fundente no especificado en alguna clasificación SFA implicaría una recalificación del procedimiento. Se debe especificar la marca del fundente y del alambre en el WPS y PQR.

QW – 404. 36 Uso de Escoria Reprocesada (Recrushed Slag)

Cuando se usa un fundente de escoria reprocesada cada lote o mezcla como se define en SFA 5.01 debe ser probada de acuerdo con la Sección II, Parte C por el fabricante o el usuario o calificada como un fundente no clasificado de acuerdo con QW-404.9.

Comentario. El fundente de escoria reprocessada es la mezcla de fundentes en forma de escoria los cuales al ser mezclados con otros fundentes reprocessados o con fundente virgen pueden ser utilizados para el soldeo con arco sumergido. Este fundente presenta una composición química diferente a la de los fundentes de que se compone, por ello se toma cuidado con este al momento de su utilización por la influencia que tienen en las propiedades químicas de la junta soldada.

El fundente usado en nuestro procedimiento es un fundente virgen, por ello este acápite no aplicaría.

c. Pre calentamiento

QW – 406. 1 Disminución del Pre calentamiento

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW – 406. 3 Incremento en la Temperatura de Interpase

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

d. Tratamiento Térmico Post Soldadura (PWHT)

QW – 407. 1 Cambio en el Tratamiento Térmico Post soldeo.

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW – 407. 2 Cambio en el Rango de Tiempo y Temperatura.

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW – 407. 4 T Límite

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

e. Características Eléctricas

QW – 409. 1 Incremento del Calor de Aporte

(ver acápite en 3.3.1)

Comentario. El procedimiento SAW presenta un calor aporte máximo de 2.73 kJ/mm en el PQR (considerando una eficiencia térmica $f = 0.95$), el rango de valores para soldaduras de producción establecido en el WPS está entre 2.31 a 2.69 kJ/mm (ver WPS 60 en 4.4), de tal manera que el calor aportado no supere el valor máximo.

QW – 409. 4 Cambio de Corriente y Polaridad

(ver acápite en 3.3.1)

Comentario. Nuestro procedimiento es de corriente directa electrodo en positivo, el cambio implica recalificación.

f. Técnica

QW – 410. 9 Cambio de Multipase a Simple Pase por Lado.

(ver acápite en 3.3.1)

Comentario. En nuestro caso es una soldadura de múltiples pases por ambos lados. Ver también QW. 403.9 donde se relaciona esta variable.

QW – 410. 10 Cambio de Simple a Múltiples Electrodo.

Un cambio de electrodo simple a múltiples electrodos, o viceversa, para soldadura mecanizada o automática solamente. Esta limitación no aplica cuando un WPS es calificado con un PWHT por encima de la temperatura de transformación o cuando un material austenítico es solución recocida después de la soldadura.

Comentario. La soldadura aplicada a nuestro procedimiento es mecanizada de simple electrodo.

QW – 410. 64 Uso de Procesos Térmicos

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW- 254
Variables de soldadura para especificación de procedimiento (WPS)
(SAW)

Párrafo	Resumen de variables	Esenciales	Suplementarias Esenciales	No Esenciales	
QW- 402 Junta	.1	Ø Diseño de Junta		X	
	.4	- ResDado		X	
	.10	Ø Abertura de Raíz		X	
	.11	± Retenedores		X	
QW -403 Metal Base	.5	Ø Número de Grupo		X	
	.6	T Límite de Impacto		X	
	.8	Ø T Calificado	X		
	.9	t pass > ½ in (13 mm.)	X		
	.11	Ø P- No Calificado	X		
	.13	Ø P- No 5/9/10	X		
QW -404 Metal de Aporte	.4	Ø Número F	X		
	.5	Ø Número A	X		
	.6	Ø Diámetro		X	
	.9	Ø Clase de alambre/ fundente	X		
	.10	Ø Aleación del fundente	X		
	.24	± Ø Suplementario	X		
	.27	Ø Elementos aleantes	X		
	.29	Ø Designación de fundente		X	
	.30	Ø t	X		
	.33	Ø Clasificación		X	
QW-405 Posiciones	.1	+ Posición		X	
	QW-406 Precalentamiento	.1	Disminución > 100°F (55°C)	X	
		.2	Ø Mantenimiento del Precalentamiento		X
		.3	Incremento > 100°F (55°) Temperatura de Interpase		X
QW-407 PWHT	.1	Ø PWHT	X		
	.2	Ø PWHT (rango T y T)		X	
	.4	T límites	X		
QW-409 Características Eléctricas	.1	> Aporte de Calor		X	
	.4	Ø Corriente y Polaridad		X	
	.8	Ø rangos de I & E		X	
QW-410 Técnica	.1	Ø Arastre / Oscilante		X	
	.5	Ø Metodo de Limpieza		X	
	.6	Ø Metodo de backgouge		X	
	.7	Ø Oscilación		X	
	.8	Ø Distancia de boquilla a pza. de trabajo		X	
	.9	Ø Multiple a simple pase / lado		X	
	.10	Ø Simple a múltiples electrodos		X	
	.15	Ø Espaciado electrodos		X	
	.25	Ø Manual o automático		X	
	.26	± Martillado		X	
.64	Uso de procesos Térmicos	X			

Leyenda:

+ Adición > Incremento mayor que † Ascendente Ø Cambio
- Retro < incremento menor que ‡ Descendente

Según ASME Sección IX – 2007

Tabla 3.12

3.3.3 Variables para Procedimiento con GMAW

a. Metal Base

QW – 403.5 Cambio en el Número de Grupo

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW – 403.6 Límite por Espesor de Impacto

(ver acápite en 3.3.1)

Comentario. Con un post calentamiento no mayor a 200 °C para el procedimiento GMAW y el material base no es austenítico. El cupón calificado posee un espesor de 34 mm, por lo que el mínimo valor del rango de espesores es 16 mm.

QW – 403.8 Cambio en el Espesor Calificado

(ver acápite en 3.3.1)

Comentario. De acuerdo a la tabla QW – 451 (ver anexo C) el rango de espesor de cupón calificado es de 5 mm como mínimo y 2T como máximo, pero como en el acápite QW – 403.6 se indicó que el

mínimo espesor de cupón calificado es 16 mm, entonces el rango calificado de espesor de cupón de soldadura es de 16 a 68 mm.

QW – 403.9 Espesor de Metal depositado mayor a 13 mm

(ver acápite en 3.3.1)

Comentario. Este acápite no aplica en nuestro caso dado que los pases de soldadura tienen valores que varían entre los 2.3 a 3 mm de espesor. Comparar con la cantidad de pases mostrada en el WPS 64 del proceso presentado en 4.4.

QW – 403.10 Límite de Espesor T (Transferencia en Corto Circuito)

Para el modo de transferencia en corto circuito en el proceso GMAW, cuando el espesor del cupón de prueba es menor a 13 mm, un incremento en el espesor más allá de 1.1 veces el espesor del cupón calificado. Para espesores mayores o iguales a 13 mm use la tabla QW-451.1 o QW 451.2 como le sea aplicable.

Comentario. El modo de transferencia usada en nuestro procedimiento es spray o aspersion por lo que este acápite no aplica.

QW – 403.11 Cambio en el Número P Calificado

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW – 403.13 Cambio en el Número P 5 / 9 / 10

(no aplica en nuestro caso)

b. Metal de Aporte**QW – 404.4 Cambio en el Número F**

(ver acápite en 3.3.1)

Comentario. Para nuestro caso seleccionamos el alambre sólido ER 100S - G (señalado en 3.2.3), bajo la especificación SFA 5.28 al que se le asigna un número F 6.

QW – 404.5 Cambio en el Número A

(ver acápite en 3.3.1)

Comentario. Vamos primeramente al apartado (c) y comparamos la tabla QW – 442 (Anexo E) con la composición química de nuestro alambre (de acuerdo a la hoja técnica y/o certificado del fabricante), vemos que este pertenece al grupo del número A 12.

QW – 404.12 Cambio en la Clasificación

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW – 404.23 Cambio en la Forma del Metal de Aporte.

El cambio de la forma de metal de aporte a una de las siguientes:

- (a) alambre de núcleo fundente (flux cored).*
- (b) alambre desnudo (sólido) o de núcleo de metal (metal cored).*
- (c) polvos.*

Comentario. El cambio del alambre sólido elegido para nuestro procedimiento implicaría recalificación del mismo.

QW – 404. 30 Cambio en el Espesor de Metal depositado

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

Comentario. Observando en la tabla QW – 451 (Anexo C), el rango de espesor de metal depositado máximo sería $2t$, pero dado que este espesor coincide con el espesor del cupón de soldadura (T)

entonces el espesor máximo calificado sería para nuestro caso de 68 mm.

**QW – 404. 32 Cambio en el Espesor de Metal depositado
(utilizando Modo de Transferencia en Corto
Circuito)**

Para procesos de bajo voltaje tipo corto circuito en el proceso GMAW cuando el espesor de metal depositado (t) es menor que 13 mm un incremento mayor 1.1 veces el espesor de metal depositado de la calificación del procedimiento. Para espesores de 13 mm y mayores, use la tabla QW-451.1, QW 451.2 o QW 452.1 la que le sea aplicable.

Comentario. El acápite no aplica en nuestro caso, por el tipo de transferencia usado (ver QW-404.10 y QW - 404. 32).

c. Posición

QW – 405. 2 Cambio de Posición

(ver acápite en 3.3.1)

Comentario. En el caso de nuestro procedimiento este fue hecho en posición de prueba 1G y con cordones rectos, por ello calificaría para una posición plana.

Sin embargo, para añadir una nueva posición, como la horizontal o sobrecabeza que no están limitadas por este acápite, hay que tomar en cuenta que una transferencia por aspersion se puede lograr en una posición plana u horizontal pero no en la posición vertical o sobrecabeza. Es por ello que se podría añadir la posición horizontal a nuestro WPS, si fuese necesario.

d. Pre calentamiento

QW – 406. 1 Disminución del Pre calentamiento

(ver acápite en 3.3.1)

Comentario. La temperatura determinada en nuestro caso es de 80 °C como mínimo (en el WPS) y la calificada en prueba vendría a ser 110 °C, Estas temperaturas tienen una diferencia de 30 °C, la que quiere decir que estamos dentro de la tolerancia dada por la norma.

QW – 406. 3 Incremento en la Temperatura de Interpase

(ver acápite en 3.3.1)

Comentario. En nuestro caso la temperatura interpase máxima registrada en el PQR es de 110 °C, sin embargo en el WPS se colocó como máxima temperatura de interpase 120 °C.

e. Tratamiento Térmico Post Soldadura (PWHT)

QW – 407. 1 Cambio en el Tratamiento Térmico Post soldeo.

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW – 407. 2 Cambio en el Rango de Tiempo y Temperatura.

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW – 407. 4 T Límite

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

f. Gas

**QW - 408. 2 Cambio en la Composición del Gas de
Protección**

*Una calificación de procedimiento por separado será
requerida para cada una de las siguientes condiciones:*

- (a) Un cambio de un simple gas de protección a cualquier otro
(ejemplo: cambiar de Argón a Helio).*
- (b) Un cambio de un simple gas de protección a una mezcla
de gases o viceversa.*

- (c) *Un cambio en el porcentaje de composición especificado de una mezcla de gases.*
- (d) *La adición u omisión de gas de protección.*

La clasificación AWS de SFA 5.32 puede ser usada para especificar la composición del gas de protección.

Comentario. La mezcla utilizada en nuestro procedimiento es de 90% Ar – 10% CO₂. El cambio de gases (ya sea a un solo gas o a mezclas) supone un cambio en el tipo de aporte de calor, penetración, acción protectora y propiedades mecánicas de soldadura

QW - 408. 3 Cambio en la Tasa de Flujo del Gas de Protección (*)

Un cambio en el rango de la tasa de flujo especificado del gas de protección o de la mezcla gaseosa usada.

Comentario. El flujo de gas usado se encuentra en un rango de 35 a 40 cfh (16.5 a 18.8 l/min). El cambio de esta tasa influye de la misma forma que el tipo de gas o mezcla utilizada.

(*) Nota: Si bien es cierto que es una variable no esencial se hace referencia a esta por un tema de consumo y protección. Flujos mayores no aseguran una protección por la turbulencia

producida, flujos muy bajos disminuyen la protección, la penetración y se podrían presentar porosidades.

QW - 408. 9 Cambio en el Gas de Respaldo.

Para soldaduras a tope en materiales con un número P desde el 41 al 49 y todas las soldaduras de los materiales con número P 10 I, 103, 10K, del 51 al 53 y del 61 al 62, el retiro del gas de respaldo o un cambio en la composición del mismo, de un gas inerte a una mezcla que incluya un gas no inerte.

Comentario. El gas de respaldo se utiliza en algunas aplicaciones (aceros inoxidables por ejemplo) para proteger la raíz de la soldadura durante el soldeo. En nuestro caso este acápite no aplica pues nuestro material no se encuentra dentro de la relación de materiales indicada.

QW - 408. 10 Cambio en el Gas de Arrastre

Para materiales con número P 10 I, 10J, 10K, del 51 al 53 y del 61 al 62, el retiro del gas de arrastre o un cambio en la composición del mismo, de un gas inerte a una mezcla que incluya uno o más gases no inertes, o una disminución mayor al 10% en la tasa de flujo.

Comentario. El gas de arrastre es usado en materiales en los cuales la oxidación a elevadas temperaturas causa problemas debido a un enfriamiento lento del material base (como por ejemplo el titanio), por ello hay dispositivos que protegen mayores longitudes soldadas, a las que se les añade gas de protección. En nuestro caso este acápite no aplica pues en nuestro procedimiento no usamos el gas de arrastre y nuestro material no se encuentra dentro de la relación indicada.

g. Características Eléctricas

QW – 409. 1 Incremento del Calor de Aporte

(ver acápite en 3.3.1)

Comentario. El procedimiento GMAW presenta un calor de aporte máximo de 1.7 kJ/mm en el PQR (considerando una eficiencia térmica $f = 0.85$), el cual es similar al WPS utilizado.

QW – 409. 2 Modo de Transferencia

Un cambio de modo de transferencia, por aspersion, globular o pulsada a corto circuito o viceversa

Comentario. El modo de transferencia utilizado es por aspersion (spray). El cambio incide en los valores de corriente, voltaje y por

ende en al aporte de calor que es crítico en el soldeo de materiales de templados y revenidos, así como en los de alta resistencia y baja aleación.

QW – 409. 4 Cambio de Corriente y Polaridad

(ver acápite en 3.3.1)

Comentario. Nuestro procedimiento es de corriente directa electrodo en positivo, el cambio implica recalificación.

h. Técnica

QW – 410. 9 Cambio de Multipase a Simple Pase por Lado.

(ver acápite en 3.3.1)

Comentario. En nuestro caso es una soldadura de múltiples pases por ambos lados.

QW – 410. 10 Cambio de Simple a Múltiples Electrodo

(ver acápite en 3.3.2)

Comentario. El proceso aplicado es semiautomático por ello este acápite no aplica en nuestro caso. .

QW – 410. 64 Uso de Procesos Térmicos

(ver acápite y comentario en 3.3.1)

QW- 255
VARIABLES DE SOLDADURA PARA ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (WPS)
(GMAW y FCAW)

Párrafo	Resumen de variables	Esenciales	Suplementarias Esenciales	No Esenciales
QW- 402 Junta	.1	Ø Diseño de Junta		X
	.4	- Respaldo		X
	.10	Ø Abertura de Raíz		X
	.11	± Referenciales		X
QW -403 Metal Base	.5	Ø Número de Grupo	X	
	.6	T Límite de impacto	X	
	.8	Ø T Calificado	X	
	.9	t pas > 1/2 in (13 mm.)	X	
	.10	T límites (Arco corto circuito)	X	
	.11	Ø P- No Calificado	X	
	.13	Ø P- No 5/3/10	X	
QW -404 Metal de Aporte	.4	Ø Número F	X	
	.5	Ø Número A	X	
	.6	Ø Diámetro		X
	.12	Ø Clasificación		X
	.23	Ø Forma del metal de aporte	X	
	.24	± Ø Suplementario	X	
	.27	Ø Elementos aleantes	X	
	.30	Ø t	X	
	.32	t (Arco en corto circuito)	X	
	.33	Ø Clasificación		X
QW-405 Posiciones	.1	+ Posición		X
	.2	Ø Posición	X	
	.3	Ø T | Soldadura vertical		X
QW-406 Precaentamiento	.1	Disminución > 100°F (55°C)	X	
	.2	Ø Mantenimiento del Precaentamiento		X
	.3	Incremento > 100°F (55°) Temperatura de interese		X
QW-407 PWHT	.1	Ø PWHT	X	
	.2	Ø PWHT (rango T y T)	X	
	.4	T límites	X	
	.1	± Trail or Ø como.		X
QW 408 Gas	.2	Ø simple, mezcla o %	X	
	.3	Ø Tasa de Flujo		X
	.5	± o Ø Flujo del Respaldo		X
	.9	- Respaldo o Ø comp.	X	
	.10	Ø Shielding or Trailing	X	
QW-409 Características Eléctricas	.1	> Aporte de Calor	X	
	.2	Modo de Transferencia	X	
	.4	Ø Corriente y Potencia	X	
	.8	Ø rangos de I & E		X
QW-410 Técnica	.1	Ø Arrastre / Oscilante		X
	.3	Ø Orificio, copa o tamaño de boquilla		X
	.5	Ø Metodo de limpieza		X
	.6	Ø Metodo de backgouge		X
	.7	Ø Oscilación		X
	.8	Ø Distancia de boquilla a pza. de trabajo		X
	.9	Ø Multiple a simple pase / lado		X
	.10	Ø Simple a múltiples electrodos	X	
	.15	Ø Espaciado electrodos		X
	.25	Ø Manual o automática		X
	.26	± Martillado		X
.64	Uso de procesos Térmicos	X		

Leyenda:

+ Adición > incremento mayor que ↑ Ascendente Ø Cambio
- Retro < incremento menor que ↓ Descendente

Según ASME Sección IX – 2007

Tabla 3.14

3.4 CONDICIONES DE SOLDEO

3.4.1 Selección de la Temperatura de Pre calentamiento

En lo que respecta a la temperatura de pre calentamiento usada en el proyecto se debía corroborar las temperaturas de pre calentamiento e interfase propuestas en la documentación del cliente. Ante ello, se realizó un cálculo de la misma para poder definir con una mayor certeza esta temperatura o solicitar la revisión de esta si fuese necesario.

Para hallar la temperatura de pre calentamiento utilizamos el método de control de hidrógeno ya señalado posteriormente:

Tomamos los valores de porcentaje en peso de elementos de aleación obtenidos de un certificado del material base utilizado (ver Anexo I), los que presentamos en la siguiente tabla:

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cu	%Ni	%Cr	%Mo	%Otros
0.13	0.04	1.04	0.010	0.002	0.03	0.02	0.78	0.30	V = 0.04 B = 0.0014

Tabla 3.14

Aplicando la formula del IIW para hallar el carbono equivalente:

$$CE = C + \frac{Mn + Si}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cr)}{15}$$

Obtenemos un carbono equivalente de 0.53 y comparando con el gráfico 3.1 observamos que nuestro acero se encuentra en la zona III, lo que quiere decir que existe un alto riesgo de formación de estructuras frágiles.

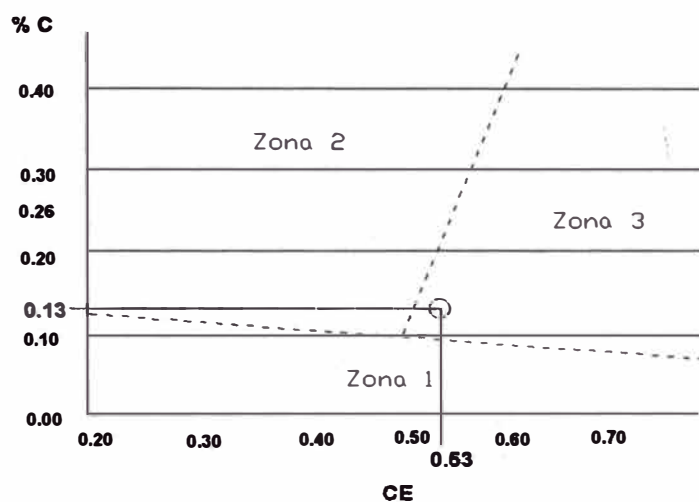


Gráfico 3.1

Ahora hallamos el parámetro de composición propuesto por Ito y Bessyo con la siguiente fórmula:

$$PCM = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

El valor obtenido es de 0.2, con el podemos evaluar la susceptibilidad a la fisuración de aceros de bajo %C, empleando la ecuación:

$$IDS = 12xPCM + LogH$$

El valor H se obtiene de la siguiente tabla:

Nivel de Hidrógeno	H
H1	5 ml/100g
H2	10 ml/100g
H3	30 ml/100g

Tabla 3.15

El valor H1 hace referencia al nivel de extra bajo hidrógeno para consumibles que aportan un nivel de hidrógeno no mayor de 5 ml/100gr de metal depositado, esto se obtiene en electrodos de bajo hidrógeno tomados de recipientes sellados, secados entre 370 °C – 430 °C por una hora y empleados dentro de las dos horas de haber sido removidos del envase o usando el proceso MIG / MAG (GMAW) con alambre sólido limpio.

El valor H2 hace referencia al nivel de bajo hidrógeno para consumibles que aportan un nivel de hidrógeno no mayor de 10 ml/100gr de metal depositado, esto se obtiene en electrodos de bajo hidrógeno tomados de recipientes sellados, (acondicionados de acuerdo a el código AWS) y empleados dentro de las 4 horas de haber sido removidos de su envase y usando fundente seco.

El valor H3 hace referencia al nivel de hidrógeno no controlado para consumibles fuera de las condiciones establecidas en H1 y H2.

Para el procedimiento con el proceso GMAW tomamos el valor H1 y para los otros procedimientos tomamos el valor H2, entonces obtendremos 2 valores de índice de susceptibilidad:

$$IDS_1 = 3.82 \quad IDS_2 = 4.12$$

De la tabla 3.16 de índice de susceptibilidad ubicamos un grupo:

Nivel de Hidrógeno	GRUPO DE INDICE DE SUCEPTIBILIDAD				
	PCM				
	< 0.18	< 0.23	< 0.28	< 0.33	< 0.38
H1	A	B	C	D	E
H2	B	C	D	E	F
H3	C	D	E	F	G

Donde A, B, C, D, E, F, G representan rangos de grupos de índices de susceptibilidad						
A	B	C	D	E	F	G
3.0	3.1 - 3.5	3.6 - 4.0	4.1 - 4.5	4.6 - 5.0	5.1 - 5.5	5.6 - 7.0

Tabla 3.16

En la columna de valores de PCM menores que 0.28, para IDS_1 y para el ISD_2 nos ubicamos en los grupos C y D respectivamente.

Vamos a la tabla 3.17 en donde ubicamos estos valores en la zona de restricción media, considerando que son piezas de gran tamaño y en el rango de espesores de 20 a 38 mm.

Temperaturas de precalentamiento (°C) y de interpase mínima para diferentes condiciones
(ref: AWS structural code D1.1. 2006)

		Índice de susceptibilidad al agrietamiento						
Nivel de restricción	Espesor* (mm)	A 3,0	B 3,1-3,5	C 3,6-4,0	D 4,1-4,5	E 4,6-5,0	F 5,1-5,5	G 5,6-7,0
Bajo	<10	<20°	<20°	<20°	<20°	60	140°	150°
	10-20	<20°	<20°	20°	60	100°	140°	150°
	20-38	<20°	<20°	20°	80	110	140°	150°
	38-75	20°	20°	40°	95°	120°	140°	150°
	> 75	20	20	40°	95°	120°	140°	150°
Medio	<10	<20°	<20°	<20°	<20°C	70°C	140°	160°
	10-20	<20°	<20°	20°	80°	115°	145°	160°
	20-38	20°	20°	75°	110°	140°	150°	160°
	38-75	20°	80°	110°	130°	150°	150°	160°
	> 75	95°	120°	140°	150°	160°	160°	160°
Alto	<10	<20°	<20°	<20°	40°	110°	150°	160°
	10-20	<20°	20°	65°	105°	140°	160°	160°
	20-38	20°	85°	115°	140°	150°	160°	160°
	38-75	115°	130°	150°	150°	160°	160°	160°
	> 75	115°	130°	150°	150°	160°	160°	160°

* El espesor es el de la parte soldada más gruesa

Nivel de embridamiento: es el grado de fijación que tiene una junta soldada y que impide su movimiento durante la soldadura.

Nivel de embridamiento bajo: uniones soldadas con razonable libertad de movimiento.

Nivel de embridamiento medio: uniones soldadas con reducida libertad de movimiento (uniones fijas a otras estructuras)

Nivel de embridamiento alto: uniones soldadas sin libertad de movimiento (ej: uniones de gran espesor o reparación de soldaduras).

Tabla 3.17

Obtenemos dos temperaturas mínimas de precalentamiento:

$T_{pm1} = 75 \text{ °C}$ para el procedimiento con GMAW y $T_{pm2} = 110 \text{ °C}$ para los procedimientos con SAW y SMAW.

El valor de temperatura de precalentamiento mínimo definitivo fue de 120 °C para los procedimientos con los procesos SMAW y SAW, que fue el definido por la ingeniería del cliente y es muy cercano al calculado. Para el procedimiento con el proceso GMAW fue de 80 °C , que se definió tomando en cuenta los resultados de varias pruebas realizadas en las que

se obtenían buenos valores de impacto y esfuerzo de tensión, pero se presentaban fisuras y valores de dureza altos en la ZAC con los valores de precalentamiento e interpase para los otros procedimientos. Por ello se disminuyeron las temperaturas de precalentamiento e interpase a fin de evitar estas fallas, sacrificando los valores de impacto y esfuerzo de tensión.

3.4.2 Selección de la Temperatura de Interpase

La temperatura mínima de interpase hallada en el acápite anterior será la misma que la mínima de precalentamiento.

Es importante imponer control sobre la máxima temperatura de interpase cuando se tiene la certeza de que las propiedades mecánicas de la soldadura son requeridas. Si se espera un mínimo nivel de esfuerzo para un componente en particular, este puede experimentar temperaturas de interpase extremadamente altas (por causa de su tamaño o procedimiento de soldadura). De otra forma, el esfuerzo del metal soldado puede ser inaceptablemente bajo.

Una máxima temperatura de interpase es también necesaria para los aceros templados y revenidos (Q&T), tales como JIS G 3128 SHY 685. A causa de las características de tratamiento térmico del metal base, es crítico el control de la temperatura de interpase dentro de los límites a los cuales se ayudaran a proporcionar adecuadas propiedades mecánicas en el metal de soldadura y la ZAC.

Una idea de qué temperatura puede ser la adecuada para nosotros la podemos encontrar en la Sección VIII del Código ASME, donde se recomienda para el acero ASTM A517 (acero similar al usado en nuestro caso) temperaturas máximas de interpase no mayores a 205°C

La temperatura máxima de interpase establecida por la ingeniería del cliente para el proyecto estableció que fuese de 150°C para los procedimientos con los procesos SMAW y SAW. En la información técnica se encuentra que en el acero JIS G 3128 SHY 685 (SUMITEN 780 S) para otra fabricación se estableció una temperatura similar, la que en la practica fue aceptable. Para el caso del procedimiento con el proceso GMAW el valor seleccionado fue en 120 °C por las razones ya explicadas en 3.4.1.

3.4.3 Selección de la Temperatura de Post Calentamiento

Para el caso de nuestro material base los documentos, como la información técnica, no menciona la realización de un tratamiento térmico post soldadura. Esto es corroborado con la información encontrada de un procedimiento realizado para otro proyecto donde no se indica la aplicación de un PWHT o post calentamiento alguno (ver Anexo H)

Finalmente se determinó realizar un calentamiento post soldadura entre 150 y 200 °C por 2 horas, debido a que existía un riesgo de

QW-466.1 TEST JIG DIMENSIONS (CONT'D)					
SI Units					
Material	Thickness of Specimen, mm	A, mm	B, mm	C, mm	D, mm
P-No. 23 to P-No. 21 through P-No. 25; P-No. 21 through P-No. 25 with F-No. 23; P-No. 35; any P-No. metal with F-No. 33, 36, or 37	3 $t = 3$ or less	52.4 $16\frac{1}{2}t$	26.2 $8\frac{1}{2}t$	60.4 $16\frac{1}{2}t + 1.6$	30.2 $9\frac{1}{2}t + 0.8$
P-No. 11; P-No. 25 to P-No. 21 or P-No. 22 or P-No. 25	10 $t = 10$ or less	63.5 $6\frac{1}{2}t$	31.8 $3\frac{1}{2}t$	85.8 $8\frac{1}{2}t + 3.2$	42.9 $4\frac{1}{2}t + 1.6$
P-No. 51; P-No. 49	10 $t = 10$ or less	76.2 $8t$	38.1 $4t$	98.4 $10t + 3.2$	49.2 $5t + 1.6$
P-No. 52; P-No. 53; P-No. 61; P-No. 62	10 $t = 10$ or less	95.2 $10t$	47.6 $5t$	117.5 $12t + 3.2$	58.7 $6t + 1.6$
All others with greater than or equal to 20% elongation	10 $t = 10$ or less	38.1 $4t$	19.0 $2t$	60.4 $6t + 3.2$	30.2 $3t + 1.6$
All others with less than 20% elongation	$t =$ (see Note b)	$32\frac{1}{8}t$ max.	$16\frac{1}{16}t$ max.	$54\frac{1}{16}t + 1.6$ max.	$17\frac{1}{16}t + 0.8$ max.

GENERAL NOTES:

(a) For P-Numbers, see QW/QB-422; for F-Numbers, see QW-452.

(b) The dimensions of the test jig shall be such as to give the bend test specimen a calculated percent outer fiber elongation equal to at least that of the base material with the lower minimum elongation as specified in the base material specification.

$$\text{percent outer fiber elongation} = \frac{100t}{A-t}$$

The following formula is provided for convenience in calculating the bend specimen thickness:

$$\text{thickness of specimen } (t) = \frac{A \times \text{percent elongation}}{100 - (\text{percent elongation})}$$

(c) For guided-bend jig configuration, see QW-466.2, QW-466.3, and QW-466.4.

(d) The weld and heat-affected zone, in the case of a transverse weld bend specimen, shall be completely within the bend portion of the specimen after testing.

Tabla 3.18 – Selección del diámetro del punzón y otras dimensiones del dispositivo de doblez guiado de acuerdo a las características del metal base.

Se debe tomar en consideración el tipo de material y el espesor del cupón de soldadura. El porcentaje de elongación de nuestro material base es de 16 %, de tal modo que el valor del espesor de espécimen t será obtenido con cualquiera de las fórmulas adjuntas a la tabla. El valor del diámetro del punzón A, que figura en la tabla 3.18 como $32 \frac{7}{8} t$ es el valor máximo que puede alcanzar el punzón para el doblez.

El valor del diámetro del punzón A se seleccionó tomando uno establecido en el estándar AWS D1.1. Para materiales con esfuerzo de

fluencia de 620 MPa (o mayores); ya que nuestro material posee un esfuerzo de fluencia de 685 MPa entonces es posible utilizarlo.

El valor de A establecido es 63.5 mm, aplicando la fórmula:

$$t = \frac{Ax\%elongación}{(100 - \%elongación)} = \frac{63.5 \times 16}{100 - 16} = 12.09mm$$

El espesor del espécimen de doblez es de 12 mm. El valor C de la figura 3.2 del dispositivo de doblez es de 90 mm. Se utilizan rodillos endurecidos en vez de la cavidad por la cual pasará el espécimen a ser doblado.

El número de especímenes para la prueba de doblez se seleccionan de la tabla QW – 451.1 (ver anexo C), esta nos indica que para cupones de entre 19 a 38 mm, cuando el espesor de metal depositado es mayor a 19 mm el doblez a aplicar será de lado con 4 especímenes extraídos del cupón de prueba

Criterio de Aceptación. De acuerdo a QW-163 (Sección IX, ASME) la soldadura y la ZAC del espécimen transversal deben encontrarse dentro de la porción doblada después de la prueba. Las discontinuidades abiertas que se pudiesen presentar no deben exceder de 3 mm medido en cualquier dirección en la superficie convexa del espécimen después

del dobléz. Las discontinuidades abiertas que aparezcan en esquinas durante la prueba no serán consideradas a menos que haya una evidencia definitiva de que estas resulten de una falta de fusión, inclusión de escoria o discontinuidades internas.

3.5.2 Condiciones para el Ensayo de Tracción.

La selección y número de los especímenes estará de acuerdo con la tabla QW – 451.1 (Anexo C) la que nos indica que para cupones de entre 19 a 38 mm, cuando el espesor de metal depositado es mayor a 19 mm se extraerán 2 especímenes en primera instancia, pero revisando la nota (4) de la tabla se hace referencia a QW -151.1, que indica que los especímenes extraídos de planchas por encima de 25 mm de espesor, pueden ser de espesor completo o múltiples (ver figura 3.3), es decir el espesor completo debe ser dividido en un mínimo número de especímenes iguales en tamaño. Si usamos los especímenes múltiples, cada juego extraído del sector correspondiente representa una simple prueba de tracción del espesor total.

Por ello, serían 4 y no 2 los especímenes a preparar. Las dimensiones de los especímenes se muestran en la figura 3.4

El valor W según la Sección IX es de 19 mm

x: espesor del material base incluyendo reforzamiento

y: espesor del espécimen

El valor de "y" usualmente es el espesor del metal base, sin embargo en nuestro caso se toma un valor adecuado para el corte y maquinado de probetas (el espesor final obtenido en nuestro caso fue de 16 mm)

La posición sugerida para extraer los especímenes del cupón se encuentra en el Anexo B.

Criterio de Aceptación. De acuerdo al acápite QW-153.1 de la Sección IX del Código ASME, el espécimen sometido a la prueba de tracción debe tener un esfuerzo de tracción que no sea menor que:

- (a) el esfuerzo de tracción mínimo especificado del metal base; o
- (b) el esfuerzo de tracción especificado del más débil de los dos metales base, si se usan metales base de diferente esfuerzo de tracción; o
- (c) el esfuerzo de tracción mínimo del metal de soldadura, cuando la sección aplicable provee el uso de un metal de soldadura con un esfuerzo de tracción a temperatura ambiente más bajo que el del metal base;

- (d) Si el espécimen rompe en el metal base fuera del metal de soldadura o la interfase de soldadura, las pruebas deben ser aceptadas como se encuentra en los requerimientos, teniendo en cuenta que el esfuerzo no esté por debajo del 5% del esfuerzo de tracción mínimo especificado del metal base.

Tomando en consideración esto y sabiendo que nuestro material presenta un esfuerzo de tracción mínimo de 780 MPa, los especímenes de los ensayos no deben romper por debajo de este valor, en el metal de soldadura. Si el espécimen rompiera en el metal base los resultados deben superar el valor de 741 MPa (Por debajo del 5% del valor de esfuerzo de tracción mínimo).

3.5.3 Condiciones para el Ensayo de Charpy V.

Para la realización de ellos la sección IX del código ASME nos deriva a la sección Sección VIII para realizar estos ensayos, donde existen requerimientos para la extracción de los especímenes.

Para las pruebas de impacto se indica que para la construcción de soldaduras la tenacidad de impacto del metal de aporte y la zona afectada por el calor deben ser determinadas de acuerdo a lo que se indica a continuación:

- Cada set de impacto debe ser tomado transversalmente a la soldadura con la muesca en el metal de soldadura. Cada

espécimen debe estar orientado de tal forma que la muesca sea normal a la superficie del material base y una cara del espécimen debe estar a una distancia menor a 1.5 mm de la superficie del material.

- Cada set de la zona afectada por el calor debe ser tomada transversal al metal de soldadura y de suficiente longitud para localizar, después de la macrografía, la muesca en la zona afectada por el calor, la muesca debe estar aproximadamente normal a la superficie del material base de tal manera que incluya tanto como sea posible a la zona afectada por el calor en la fractura resultante.
- La temperatura de prueba de las soldadura y la zona afectada por el calor no debe ser mayor que la requerida para el material base.

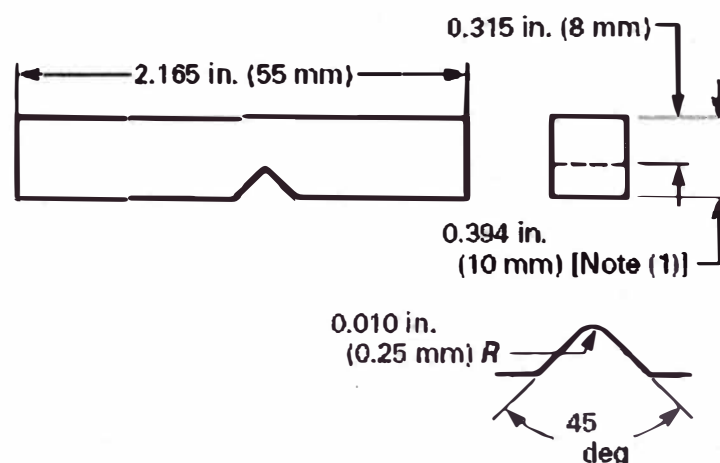


Figura 3.5 Dimensiones de espécimen para ensayo Charpy V (según ASME VIII)

- Las pruebas de impacto deben ser realizadas conforme a los párrafos aplicables de SA-370 o ISO 148 (partes 1, 2 y 3).
- Cada set de impacto consiste en tres especímenes lo cuales deben tener la forma de la figura 3.5. El espécimen estándar (10 mm x 10 mm) será usado para espesores nominales de 11mm o mayores. El mecanizado de la muesca es extremadamente crítico, dado que pequeñas diferencias influyen mucho en los resultados del ensayo.

Criterio de Aceptación. Los valores de impacto deben ser al menos tan altos como aquellos requeridos para el material base (47J en promedio y 27J por espécimen de energía absorbida a -20 °C). Sin embargo, por requerimientos del cliente, se estableció que los valores de aceptación mínimos fueran de 61J en promedio y 43 J por espécimen a -20 °C.

Así también, al ser un material sometido a un tratamiento térmico para mejorar sus propiedades mecánicas y que supera los 655 MPa, se deben incluir los valores de expansión lateral.

Se escoge el máximo valor de espesor nominal, es decir el máximo valor calificado de espesor de metal base en nuestro procedimiento, luego con ayuda del gráfico 3.2 hallamos el valor de expansión lateral correspondiente. Este valor será el mínimo para la aceptación de las pruebas. Si los resultados dan un valor en una de las probetas menor al mínimo pero mayor o igual que los 2/3 de este, se podría extraer otro juego de especímenes para prueba de impacto, siempre que el valor del

promedio del juego anterior sea igual o mayor al valor promedio mínimo requerido. Dado que los cupones de prueba fueron de 34 y 35 mm de espesor, el valor mínimo de expansión lateral será de 0.6 mm.

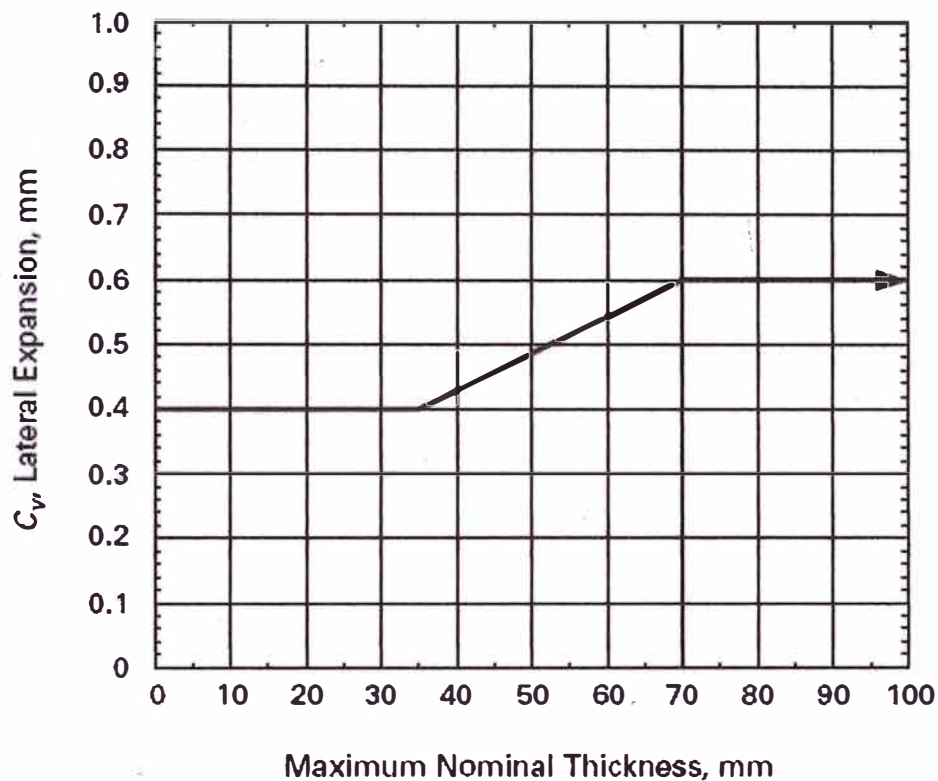


Gráfico 3.2 Expansión lateral requerida para materiales con esfuerzo de tracción igual o mayor que 655 MPa (Código ASME, Sección VIII)

3.5.4 Condiciones para el Ensayo Dureza

La dureza de una aleación está directamente relacionada con la resistencia máxima y tenacidad. Si el acero posee elevadas dureza, tendrá también una elevada resistencia mecánica pero una reducida tenacidad (alta fragilidad). Esto suele ser especialmente grave cuando el

acero presenta martensita en su microestructura, que produce un aumento notable de la dureza pero una reducción drástica de su tenacidad, convirtiendo el acero en un material muy frágil y susceptible a la fisuración en frío.

Criterio de Aceptación. Pruebas de laboratorio con soldaduras de filete muestran que la fisuración en la ZAC no ocurrirá si la dureza de esta no supera los 350 HV, aún con electrodos de alto hidrógeno. Con los electrodos de bajo hidrógeno, durezas de 400 HV pueden ser toleradas sin fisuración. Tal dureza, sin embargo, no puede ser tolerada en servicio donde se incrementa el riesgo de iniciación de fractura frágil, fisuración por esfuerzo de corrosión y otros relacionados con la seguridad y el servicio de la estructura). Por ello para estos ensayos se estableció que la dureza permitida fuese mayor a 200 pero menor a 400 HV.

3.5.5 Condiciones para el Ensayo Metalográfico

El ensayo metalográfico se realiza con una preparación mecánica de probetas extrayendo 2 muestras de la sección transversal de la soldadura, las que deben alcanzar un grado de pulido similar al del espejo. Inmediatamente después se aplica una solución de nital al 10% de tal manera que se observe la sección transversal de la soldadura. El aumento de la macrofotografía es de 10 aumentos.

Criterio de Aceptación. El ensayo metalográfico será satisfactorio si la inspección visual de la sección transversal del metal soldado y de la zona afectada por el calor muestran una fusión completa y están libres de fisuras.

3.5.6 Condiciones para el Ensayo Radiográfico (RT)

Para realizar este ensayo se requiere que la distancia a la película a revelar es de 500 mm, con una densidad de película de 2 a 4 como máximo, utilizando un indicador de calidad de imagen ASTM 1B. Toda radiografía debe estar libre de marcas mecánicas, químicas u otras de forma tal que no enmascaren y confundan la imagen de cualquier discontinuidad.

Este ensayo fue solicitado por el cliente para la calificación de procedimientos. Cabe señalar que es requisito para la aceptación de las juntas soldadas a tope durante la fabricación.

Criterio de Aceptación. De acuerdo a la Sección VIII del código ASME se establecen los siguientes criterios de aceptación.

(a) Indicaciones Relevantes

Solo aquellas indicaciones redondas las cuales exceden las siguientes dimensiones deben ser consideradas relevantes:

- (1) $1/10 t$ para t menor que 3mm.

- (2) 0.397 mm para t desde 3 mm a 6 mm inclusive.
- (3) 0.793 mm para t mayor que 6 mm hasta 50 mm inclusive.
- (4) 1.6 mm para t mayor a 50 mm.

(b) Máximo Tamaño de Indicación Redondeada

El máximo tamaño permisible de cualquier indicación debe ser de $0.25 t$ o 4 mm , la que sea mas pequeña, excepto que una indicación aislada separada de una indicación adyacente por 25 mm o más, puede ser de $1/3 t$ ó 6 mm , la que sea menor. Para t mayor a 50 mm el máximo tamaño permisible de una indicación aislada debe ser incrementado a 10 mm.

(c) Indicaciones Redondeadas Alineadas

Las indicaciones redondeadas alineadas son aceptables cuando la sumatoria de los diámetros de las indicaciones es menor que t en una longitud de $12 t$. La longitud de grupos de indicaciones redondeadas alineadas y el espacio entre agrupaciones debe encontrarse en los requerimientos de la figura 3.6

(d) Espaciado

La distancia entre las indicaciones redondeadas adyacentes no es un factor en la determinación de aceptación o rechazo, excepto cuando es requerido para indicaciones o grupos de indicaciones alineadas.

(e) Cartas de Indicaciones Redondeadas

Las indicaciones redondeadas caracterizadas como imperfecciones no deben exceder lo mostrado en las cartas. Estas ilustran varios tipos de indicaciones redondeadas variadas, dispersas aleatoriamente y agrupadas para diferentes espesores soldados mayores que 3 mm. Estas cartas representan el máximo límite de concentración aceptable para indicaciones redondeadas. Las cartas para cada rango de espesor representan una escala completa de 150 mm de radiografías, y no deben ser alargadas o reducidas. Las distribuciones mostradas no son necesariamente el modelo de todo lo que podría aparecer en la radiografía, pero son la concentración y tamaño típicos de las indicaciones permitidas. Como muestra, una de las cartas referidas en la figura 3.6.

(f) Indicaciones Agrupadas.

La longitud de una agrupación aceptable no debe exceder de 25 mm o $2t$ la que sea menor. Donde más de una agrupación esté presente, la suma de las longitudes en las agrupaciones no debe exceder de 25 mm en 150 mm de longitud soldada.

Se presentan también algunos términos importantes para un mejor entendimiento:

- **Indicaciones Redondas:** Son indicaciones con una máxima longitud de 3 veces el ancho o menos que aparecen en una placa radiográfica. Estas indicaciones pueden ser circulares, cónicas,

elípticas o irregulares en su forma y pueden tener colas. Cuando se evalúa el tamaño de una indicación, la cola debe ser incluida. La indicación puede provenir de cualquier imperfección de soldadura, tales como porosidad, escoria o inclusión de tungsteno.

- **Indicaciones Alineadas:** Son una secuencia de cuatro o más indicaciones redondeadas cuando estas tocan una línea paralela a la longitud de la soldadura, dibujada a través del centro de las indicaciones redondeadas más extremas.
- **Espesor "t":** Es el espesor de la soldadura excluyendo cualquier sobremonta permitida. Para juntas soldadas a tope de dos miembros que tengan diferentes espesores, t será el más delgado de ellos. Si la soldadura de penetración completa incluye una soldadura de filete, el espesor de la garganta del filete debe estar incluida en t.

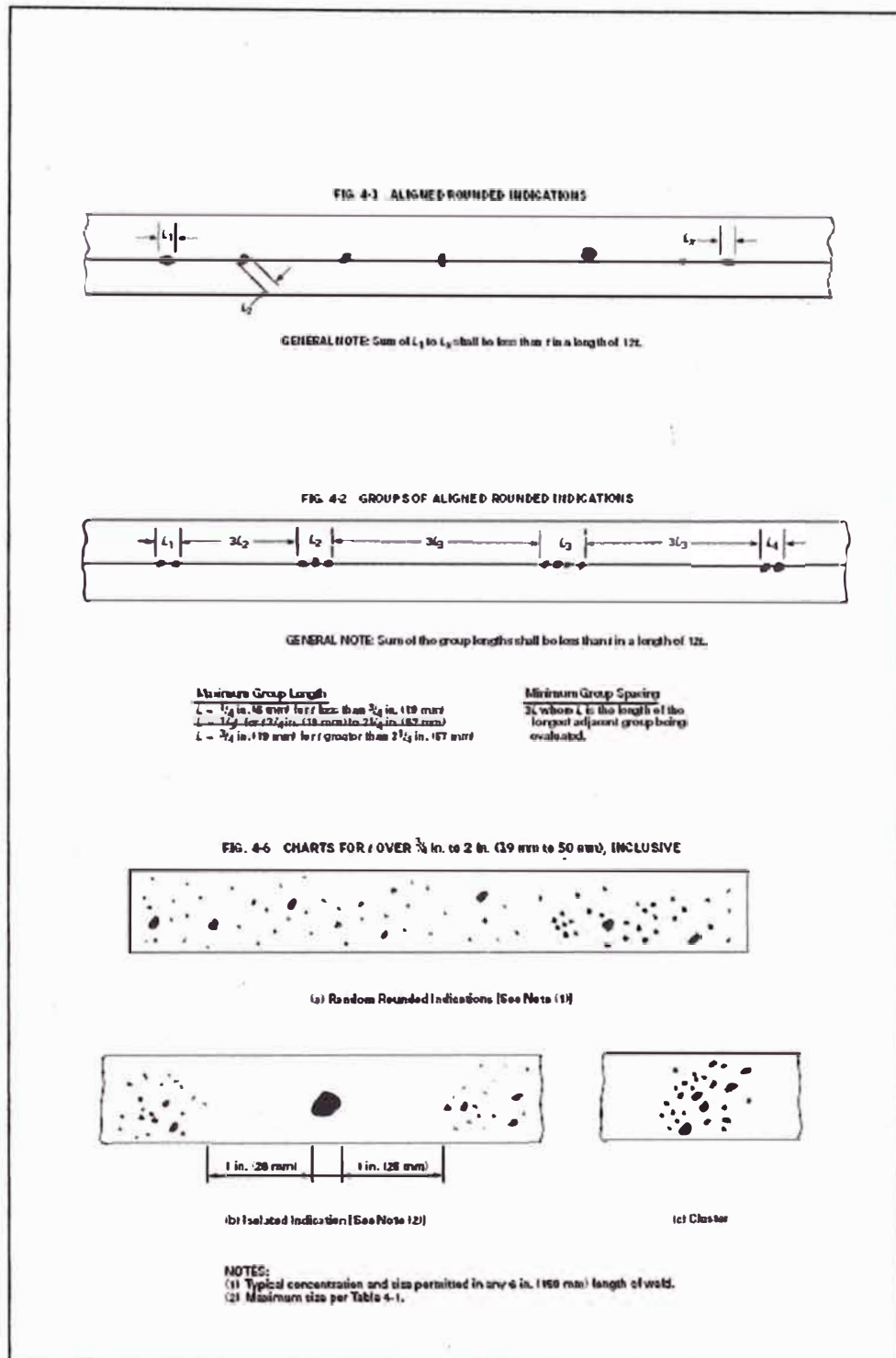


Figura 3.6 – Esquemas de ubicación de indicaciones alineadas

3.5.7 Condiciones para el Ensayo de Ultrasonido (UT)

Para realizar este ensayo se requiere que las superficies estén libres de óxido, polvo y otros contaminantes. El equipo a usar debe estar previamente calibrado. El palpador utilizado es de plexiglass (angular de 45°).

Este ensayo fue solicitado por el cliente para la calificación de procedimientos. Cabe señalar que es requisito para la aceptación de las juntas soldadas a tope en fabricación.

Criterio de Aceptación. De acuerdo a código ASME, sección VIII, las imperfecciones las cuales producen una respuesta mayor que el 20% del nivel de referencia deben ser investigadas en una extensión en la que el operador pueda determinar la forma, identidad y localización de tales imperfecciones y evaluarlas en términos de los estándares de aceptación dados en los acápites siguientes:

- (a) Indicaciones características como fisuras, falta de fusión o penetración incompleta son inaceptables sin importar la longitud.
- (b) Otras imperfecciones son inaceptables si las indicaciones exceden el nivel amplitud de referencia y tienen longitudes las cuales exceden:

- (1) 6 mm para t hasta 19 mm.
- (2) $1/3 t$ para t desde 19 mm hasta 57 mm.
- (3) 19 mm para t por encima de 57 mm.

La definición de t es la misma que la dada para el criterio de aceptación para el ensayo radiográfico.

3.5.8 Condiciones para el Ensayo de Partículas Magnéticas (MT)

Antes de realizar el ensayo de partículas magnéticas se debe tener las superficies libres de polvo, óxido, restos de pintura y otras sustancias contaminantes. La prueba se desarrolla con partículas secas contrastantes y la técnica de magnetización utilizada es por el método del yugo.

Criterio de Aceptación. Las indicaciones deben ser reveladas por retención de partículas magnéticas; tales indicaciones no son necesariamente imperfecciones, sin embargo, la excesiva rugosidad de superficie y/o variaciones de permeabilidad magnética pueden producir indicaciones similares.

La indicación de una imperfección puede ser más grande que la imperfección que la provoca, sin embargo, el tamaño de la indicación es la base para la evaluación de la aceptación. Solo indicaciones que tengan cualquier dimensión mayor que 1.5 mm debe ser considerada relevante.

- a. Una indicación lineal es una que tenga una longitud mayor que tres veces el ancho.
- b. La indicación redondeada es una forma circular o elíptica con una longitud igual o menor que tres veces el ancho.
- c. Cualquier indicación cuestionable o dudosa debe ser reexaminada para determinar si son o no relevantes.

Todas las superficies a ser examinadas deben estar libres de:

- a. Indicaciones lineales relevantes.
- b. Indicaciones redondeadas relevantes mayores que 5 mm.
- c. Cuatro o más indicaciones redondeadas relevantes en línea separadas por 1.5 mm o menos, de borde a borde.

b. Ensayos de Tracción

RESULTADOS:

MUESTRA		TR1	TR2
SECCIÓN TRANSVERSAL (a x b)	a (mm)	19.04	19.01
	b (mm)	14.5	14.5
	ÁREA (mm ²)	275.7	276.0
CARGAS (kN)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	235.1	233.3
TENSIONES (MPa)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	853	845
LONGITUD ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO (%)		---	---

Fecha de Ejecución: 2007.10.23.

OBSERVACIONES:

- . Condición de las muestras: Visualmente en buen estado.
- . Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- . Norma de referencia: ASME IX - 2004.
- . Las muestras TR1 y TR2 rompieron en la Línea de Fusión.
- . Temperatura ambiente durante el ensayo: 21,3 °C.
- . Material Base: SUMITEN 780S; Posición: 3G; Proceso: SMAW.
- . IMECON PQR - 46 / IMECON WPS - 61.

Tabla 4.2

RESULTADOS:

MUESTRA		TR3	TR4
SECCIÓN TRANSVERSAL (a x b)	a (mm)	19.08	19.07
	b (mm)	14.2	14.4
	ÁREA (mm ²)	271.7	275.0
CARGAS (kN)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	235.8	235.9
TENSIONES (MPa)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	868	858
LONGITUD ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO (%)		---	---

Fecha de Ejecución: 2007.10.23.

OBSERVACIONES:

- . Condición de las muestras: Visualmente en buen estado.
- . Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- . Norma de referencia: ASME IX - 2004.
- . Las muestras TR3 y TR4 rompieron en la Línea de Fusión.
- . Temperatura ambiente durante el ensayo: 21,3 °C.
- . Material Base: SUMITEN 780S; Posición: 3G; Proceso: SMAW.
- . IMECON PQR - 46 / IMECON WPS - 61.

Tabla 4.3

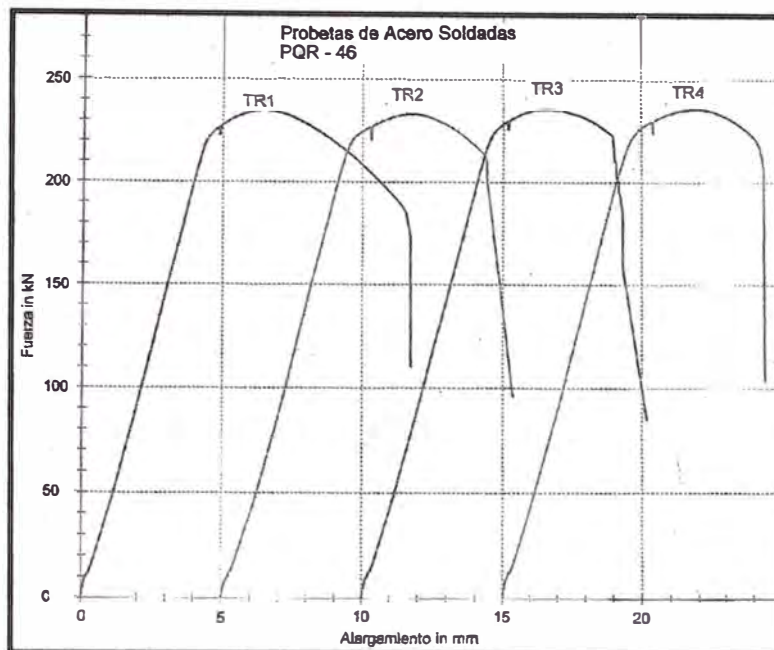


Gráfico 4.1 - Fuerza vs. Alargamiento WPS 61/PQR 46

c. Ensayos de Impacto Charpy V

RESULTADOS:

MUESTRA	TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)	ENERGÍA ABSORBIDA (JOULE)	EXPANSIÓN LATERAL (mm)
MA 1	-20	36	0,72
MA 2	-20	29	0,58
MA 3	-20	34	0,52
ZAC 1	-20	101	1,48
ZAC 2	-20	97	1,51
ZAC 3	-20	83	1,33

Fecha de Ejecución: 2007.10.22.

OBSERVACIONES:

- Condición de las muestras: Visualmente en buen estado.
- Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- Norma de Ensayo: ASTM E23 - 07.
- Código de referencia: ASME VIII: 2004.
- IMECON/WPS-61.
- IMECON/PQR-46.
- Material: SUMITEN 780S.
- Posición de prueba: 3G.

Tabla 4.4

d. Ensayo Macrográfico

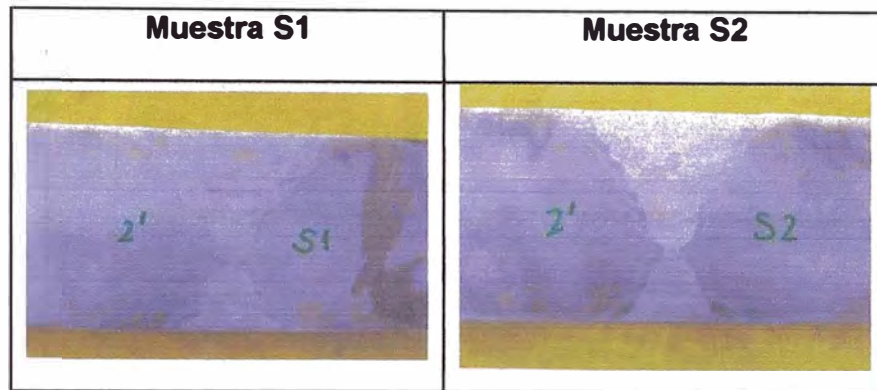


Figura 4.1

e. Barrido de Dureza

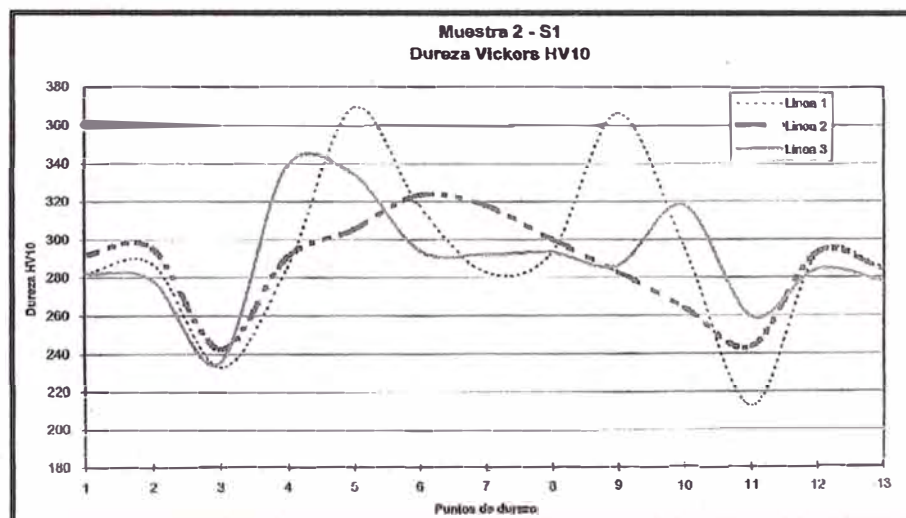


Grafico 4.2 – Barrido de la Muestra S1

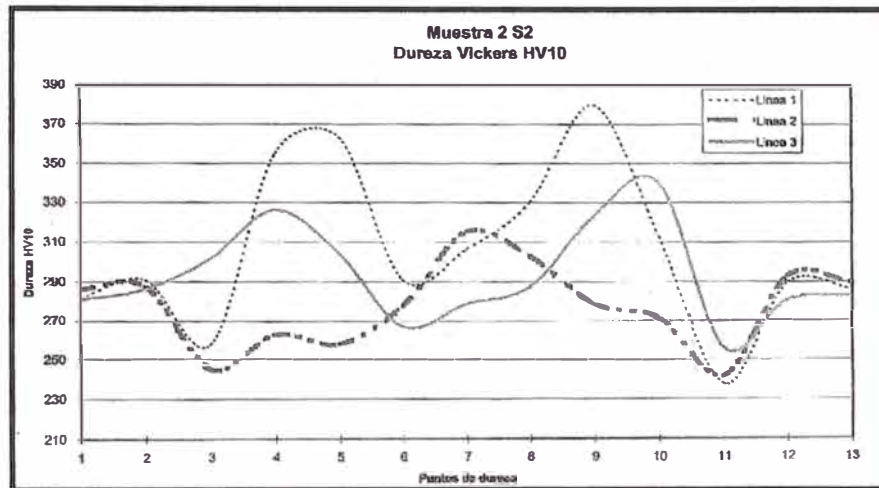
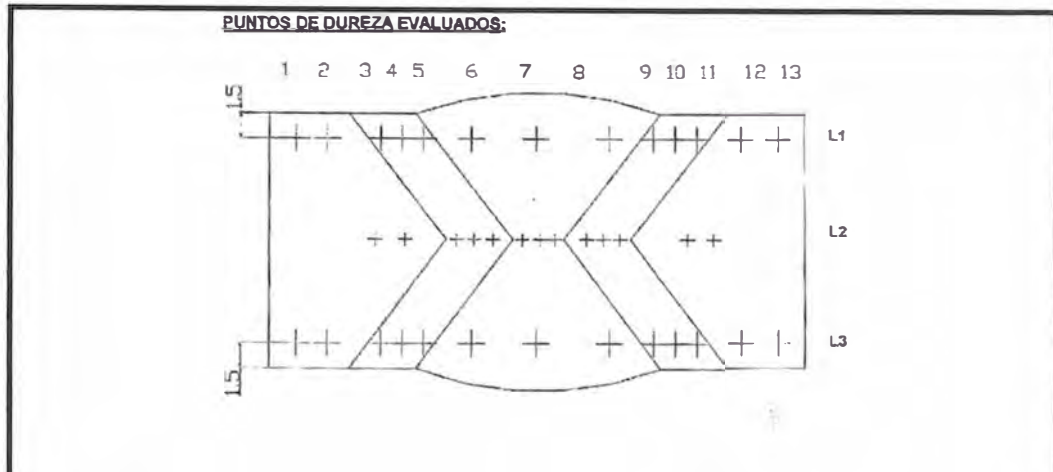


Grafico 4.3 – Barrido de la Muestra S2



Muestra S1

LINEA 1	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	255	258	256.5	282	---
2	255	263	254.0	287	---
3	283	281	282.0	233	---
4	265	255	256.0	285	---
5	225	223	224.0	370	---
6	242	241	241.5	318	---
7	260	262	258.0	283	---
8	252	251	251.5	293	---
9	223	227	225.0	366	---
10	246	255	250.5	296	---
11	295	290	295.5	212	---
12	253	251	252.0	292	---
13	267	263	256.0	285	---

LINEA 3	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	258	256	257.0	281	---
2	254	255	254.5	288	---
3	250	246	248.0	302	---
4	239	238	238.5	326	---
5	246	248	247.0	304	---
6	266	281	263.5	267	---
7	260	256	258.0	279	---
8	266	252	254.0	287	---
9	236	243	239.5	323	---
10	232	235	233.5	340	---
11	270	268	269.0	256	---
12	258	256	257.0	281	---
13	257	255	256.0	283	---

LINEA 2	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	255	254	254.5	286	---
2	254	254	254.0	287	---
3	270	280	275.0	245	---
4	267	264	265.5	263	---
5	267	269	268.0	258	---
6	258	259	258.5	278	---
7	243	242	242.5	315	---
8	248	249	247.5	303	---
9	257	259	258.0	279	---
10	260	263	261.5	271	---
11	277	277	277.0	242	---
12	250	253	251.5	293	---
13	252	254	253.0	290	---

Muestra S2

LINEA 1	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	257	256	256.5	282	---
2	261	264	252.5	291	---
3	285	271	268.0	258	---
4	229	228	228.5	365	---
5	226	228	226.0	363	---
6	249	268	252.5	291	---
7	248	244	248.0	308	---
8	239	235	237.0	330	---
9	218	224	221.0	380	---
10	245	242	243.5	313	---
11	280	279	279.5	237	---
12	251	255	253.0	290	---
13	252	257	254.5	286	---

LINEA 2	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	253	254	254.5	285	---
2	254	254	254.0	287	---
3	270	280	275.0	245	---
4	267	264	265.5	263	---
5	267	269	268.0	258	---
6	258	259	258.5	278	---
7	243	242	242.5	315	---
8	246	249	247.5	303	---
9	257	259	258.0	279	---
10	260	263	261.5	271	---
11	277	277	277.0	242	---
12	250	253	251.5	293	---
13	252	254	253.0	290	---

LINEA 3	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	258	256	257.0	281	---
2	254	255	254.5	286	---
3	250	246	248.0	302	---
4	239	238	238.5	326	---
5	246	248	247.0	304	---
6	266	281	263.5	267	---
7	260	256	258.0	279	---
8	266	252	254.0	287	---
9	236	243	239.5	323	---
10	232	235	233.5	340	---
11	270	268	269.0	256	---
12	258	256	257.0	281	---
13	257	255	256.0	283	---

Tabla 4.5 - Valores de barridos de dureza

h. Ensayo de Partículas Magnéticas

2.- CONDICIONES DEL EXAMEN.							
Procedimiento Nº:	QUAMT - 03		Revisión:	01	Código:	ASME secc. V Artic. 7 / SE 709	
Técnica de Magnetización:	Yugo						
Tipo de Magnetización:	Longitudinal:	<input checked="" type="checkbox"/>	Circunferencial:	<input type="checkbox"/>	Multidireccional:	<input type="checkbox"/>	
Equipo Empleado:	Marca:	TCP PROLLSTR.1		Modelo:	WM 1105	Serie:	25002
	AC				Amperaje:	9 A	
Tipo de Partículas:	Fluorescentes	<input type="checkbox"/>	Contrastante	<input checked="" type="checkbox"/>	Color:	Amarillo	
Formas de Aplicación:	Secas	<input checked="" type="checkbox"/>	En Suspensión	<input type="checkbox"/>	Vehículo:	---	
Secuencia de Operación:	Continuo	<input checked="" type="checkbox"/>	Residual	<input type="checkbox"/>			
Tipo de Iluminación:	Natural	<input checked="" type="checkbox"/>	Blanca Artificial	<input type="checkbox"/>	Ultravioleta	<input type="checkbox"/>	
Observaciones:	Soldador : Guillermo Rosales Arbiza / S-005 / DNI N° 25713263. WPS-61 / PQR-46 / Proceso de Soldadura : SMAW / Posición : 3G						
3.- GRAFICO							
VISTA GENERAL			VISTAS DE DETALLE (APLICACIÓN MT)				
							
N°	Identificación de Junta	Código del Soldador	Localización de la Indicación	Forma de la Indicación		Dimensiones de la Indicación	Resultado
				Lineal	Redonda		
Probeta Tipo Plancha PQR-46 SMAW : 380 x 260 x 35 mm							
1	Lado A (0-380mm)	S-005	---	---	---		Acceptado
2	Lado B (0-380mm)	S-005	---	---	---		Acceptado
CRITERIO DE ACEPTACION:				ASME Sección VIII Apéndice 6			

Tabla 4.8

b. Ensayo de Tracción

MUESTRA		1A	1B
SECCIÓN TRANSVERSAL (a x b)	a (mm)	19.90	19.33
	b (mm)	15.9	15.9
	ÁREA (mm ²)	316.2	307.2
CARGAS (kN)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	258.9	258.9
TENSIONES (MPa)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	819	843
LONGITUD ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO (%)		---	---

Fecha de Ejecución: 2007.10.23.

OBSERVACIONES:

- . Condición de las muestras: Visualmente en buen estado.
- . Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- . Norma de referencia: ASME IX - 2004.
- . Las muestras 1A y 1B rompieron en la Línea de Fusión.
- . Temperatura ambiente durante el ensayo: 21,3 °C.
- . Material Base: SUMITEN 780S; Espesor: 35 mm; Posición: 1G; Proceso: SAW.
- . IMECON PQR - 45 / IMECON WPS - 60.

Tabla 4.10

MUESTRA		2A	2B
SECCIÓN TRANSVERSAL (a x b)	a (mm)	19.50	19.41
	b (mm)	15.2	15.6
	ÁREA (mm ²)	297.2	303.0
CARGAS (kN)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	244.9	251.6
TENSIONES (MPa)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	824	830
LONGITUD ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO (%)		---	---

Fecha de Ejecución: 2007.10.23.

OBSERVACIONES:

- . Condición de las muestras: Visualmente en buen estado.
- . Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- . Norma de referencia: ASME IX - 2004.
- . Las muestras 2A rompió en el Metal de Aporte y 2B en la Zona Afectada.
- . Temperatura ambiente durante el ensayo: 21,3 °C.
- . Material Base: SUMITEN 780S; Espesor: 35 mm; Posición: 1G; Proceso: SAW.
- . IMECON PQR - 45 / IMECON WPS - 60.

Tabla 4.11

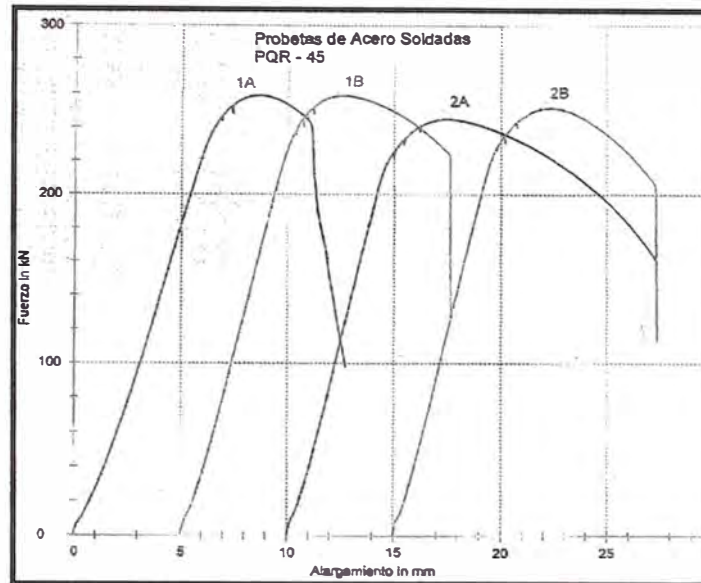


Gráfico 4.4 - Fuerza vs. Alargamiento WPS 60 / PQR 45

c. Ensayo de Impacto Charpy V

RESULTADOS:			
MUESTRA	TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)	ENERGÍA ABSORBIDA (JOULE)	EXPANSIÓN LATERAL (mm)
MA 1	-20	120	1,49
MA 2	-20	90	1,16
MA 3	-20	98	1,17
ZAC 1	-20	193	1,97
ZAC 2	-20	159	1,54
ZAC 3	-20	193	1,80

Fecha de Ejecución: 2007.10.19.

OBSERVACIONES:

- Condición de las muestras: Visualmente en buen estado.
- Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- Norma de Ensayo: ASTM E23 - 07.
- Código de referencia: ASME VIII: 2004.
- IMECON/WPS-60.
- IMECON/PQR-45.
- Material: SUMITEN 780S.
- Posición de prueba: 1G.

Tabla 4.12

d. Ensayo Macrográfico

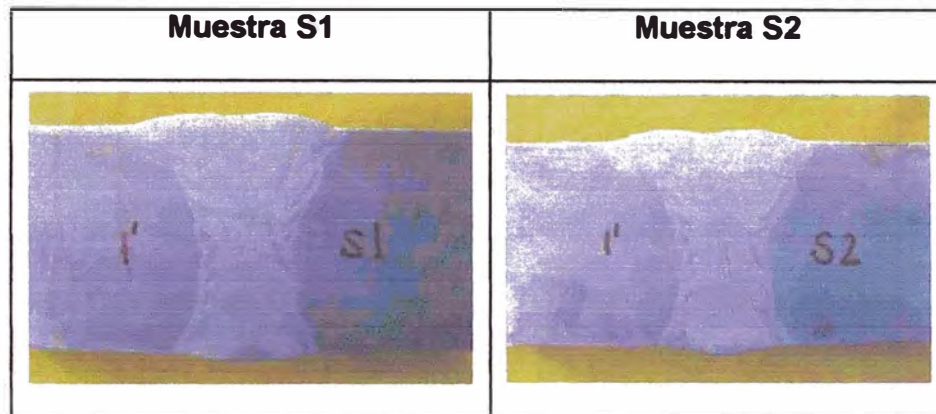


Figura 4.2

e. Barridos de Dureza

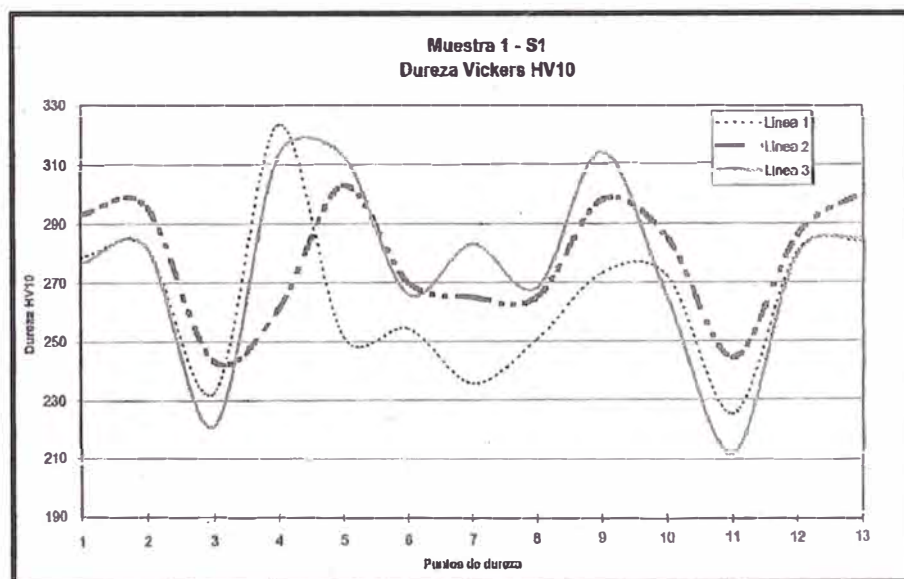


Gráfico 4.5 - Barrido de la Muestra S1

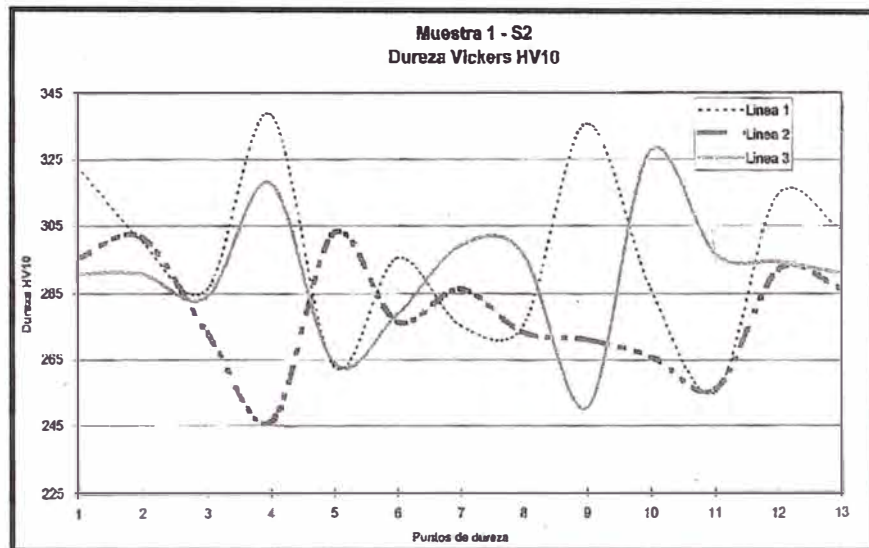


Gráfico 4.6 - Barrido de la Muestra S2

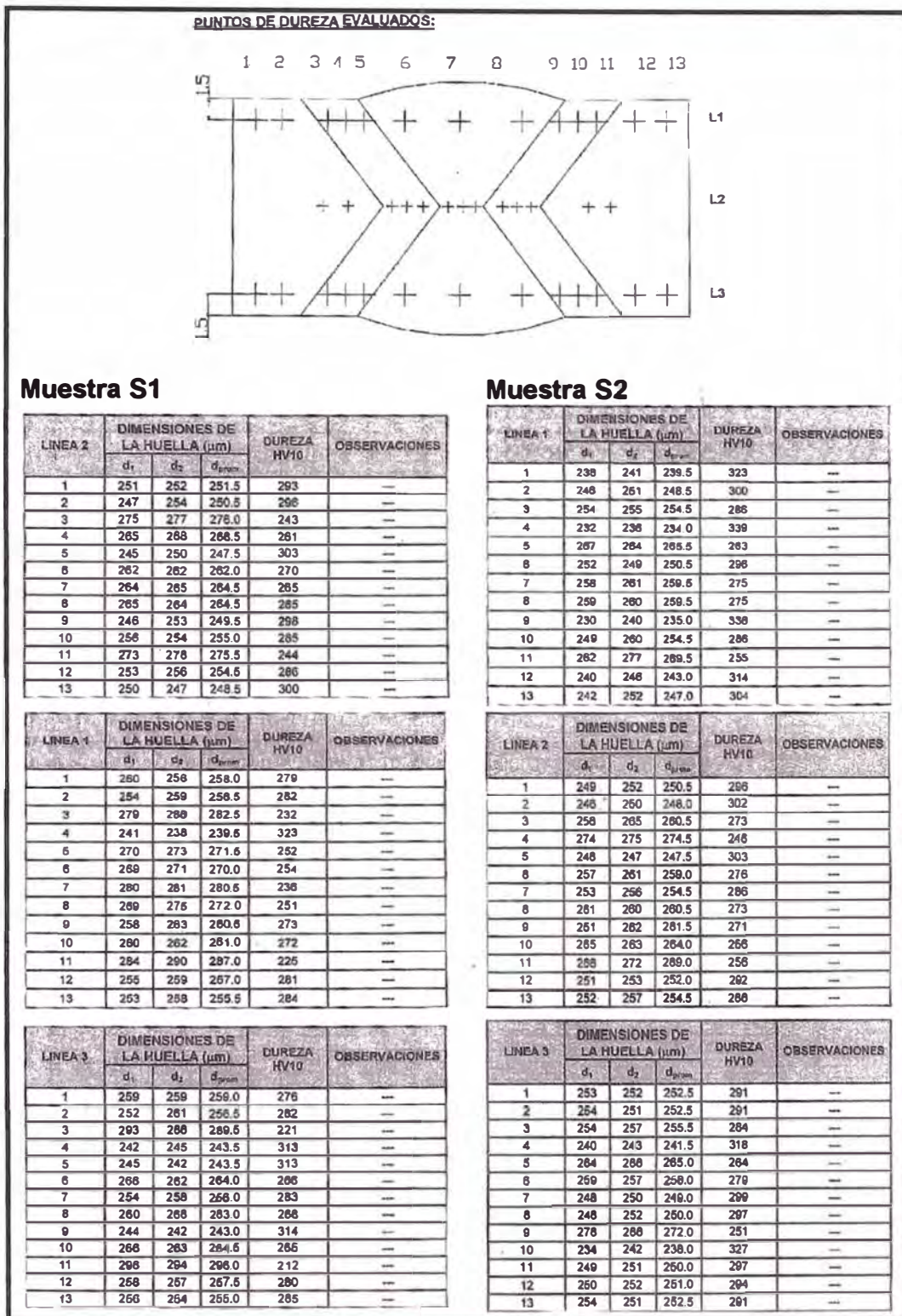


Tabla 4.13 Valores de Barridos de Dureza

f. Ensayos Radiográficos









Técnica								X
Identificación	Número Película	Resultado	Tipo y Ubicación de Discontinuidades y Defectos	Nombre y Estampa				
Probeta 10	P1	A		José Francisco Cobecñas Castro / S-259 DNI N° 42242583				
								
Observación:								
Norma de Calificación:		ASME Sección IX	WPS N°:		WPS-60			
Proceso de Soldadura:		SAW	QRN N°:		PQR-15			

Tabla 4.14

g. Ensayos de Ultrasonido




Soldadura N°	Longitud Discont. (mm)	Profundidad Discont. (mm)	Discontinuidad y/o Defecto	Localización Discont. (mm)	Resultado	Soldador	
Probeta Tipo Plancha PQR-45 SAW : 465 x 260 x 86 mm							
Soldadura Longitudinal (0-455 mm)					A	S-259	
							
Observación:							
La examinación por UT fue ejecutada al 100% de la soldadura longitudinal en la probeta. Soldador : José Francisco Cobecñas Castro / S-259 / DNI N° 42242583. WPS-60 / PQR-15 / Proceso de Soldadura : SAW / Posición : 1G							
Unidades inspeccionadas :			01 de 01	Longitud inspeccionada :			0,46 m de 0,46 m
							

Tabla 4.15

h. Ensayo por Partículas Magnéticas

2.- CONDICIONES DEL EXAMEN.							
Procedimiento N°:	QUAMT.- 03		Revisión:	01	Código:	ASME sec. V Art. 7/ SE 709	
Técnica de Magnetización:	Yugo						
Tipo de Magnetización:	Longitudinal:	<input checked="" type="checkbox"/>	Circunferencial:	<input type="checkbox"/>	Multidireccional:	<input type="checkbox"/>	
Equipo Empleado:	Marca:	TCP PROLLSTR.1	Modelo:	WM 1105	Serie:	25002	
Tipo de Corriente:	AC		Amperaje:	9 A			
Tipo de Partículas:	Fluorescentes	<input type="checkbox"/>	Contrastante	<input checked="" type="checkbox"/>	Color:	Amarillo	
Formas de Aplicación:	Secas	<input checked="" type="checkbox"/>	En Suspensión	<input type="checkbox"/>	Vehículo:	---	
Secuencia de Operación:	Continua	<input checked="" type="checkbox"/>	Residual	<input type="checkbox"/>			
Tipo de Iluminación:	Natural	<input checked="" type="checkbox"/>	Blanca Artificial	<input type="checkbox"/>	Ultravioleta	<input type="checkbox"/>	
Observaciones:	Soldador : José Francisco Cobeñas Castro / S-259 / DNI N° 42242583. WPS-60 / PQR-45 / Proceso de Soldadura : SAW / Posición : 1G						
3.- GRAFICO							
VISTA GENERAL			VISTAS DE DETALLE (APLICACIÓN MT)				
							
N°	Identificación de Junta	Código del Soldador	Localización de la Indicación	Forma de la Indicación		Dimensiones de la Indicación	Resultado
				Líneal	Redonda		
Probeta Tipo Plancha PQR-45 SAW : 455 x 260 x 35 mm							
1	Lado A (0-455mm)	S-259	---	---	---		Acceptado
2	Lado B (0-455mm)	S-259	---	---	---		Acceptado
							
CRITERIO DE ACEPTACION:		ASME Sección VIII Apéndice 6					

Tabla 4.16

b. Ensayo de Tracción.

RESULTADOS:

MUESTRA		T1	T2
SECCIÓN TRANSVERSAL (a x b)	ANCHO (mm)	19.08	19.03
	ESPELOR (mm)	13.24	13.22
	ÁREA (mm ²)	252.6	251.6
CARGAS (kN)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	205.0	208.6
TENSIONES (MPa)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	812	829
LONGITUD INICIAL ENTRE MARCAS (mm)		---	---
LONGITUD FINAL ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO (%)		---	---

Fecha de Ejecución: 2007.12.17.

OBSERVACIONES:

- . Condición de las muestras: Zona de ensayo normalizada.
- . Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- . Norma de ensayo: ASME IX - 2004.
- . Temperatura ambiente durante el ensayo: 20.9 °C.
- . La muestra T1 rompió en el metal soldado.
- . La muestra T2 rompió en la línea de fusión.

Tabla 4.18

RESULTADOS:

MUESTRA		T3	T4
SECCIÓN TRANSVERSAL (a x b)	ANCHO (mm)	19.11	19.14
	ESPELOR (mm)	13.17	13.20
	ÁREA (mm ²)	251.7	252.6
CARGAS (kN)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	206.0	204.5
TENSIONES (MPa)	FLUENCIA	---	---
	MÁXIMA	818	809
LONGITUD INICIAL ENTRE MARCAS (mm)		---	---
LONGITUD FINAL ENTRE MARCAS (mm)		---	---
ALARGAMIENTO (%)		---	---

Fecha de Ejecución: 2007.12.17.

OBSERVACIONES:

- . Condición de las muestras: Zona de ensayo normalizada.
- . Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- . Norma de ensayo: ASME IX - 2004.
- . Temperatura ambiente durante el ensayo: 20.9 °C.
- . La muestra T3 rompió en el metal soldado.
- . La muestra T4 rompió en la línea de fusión.

Tabla 4.19

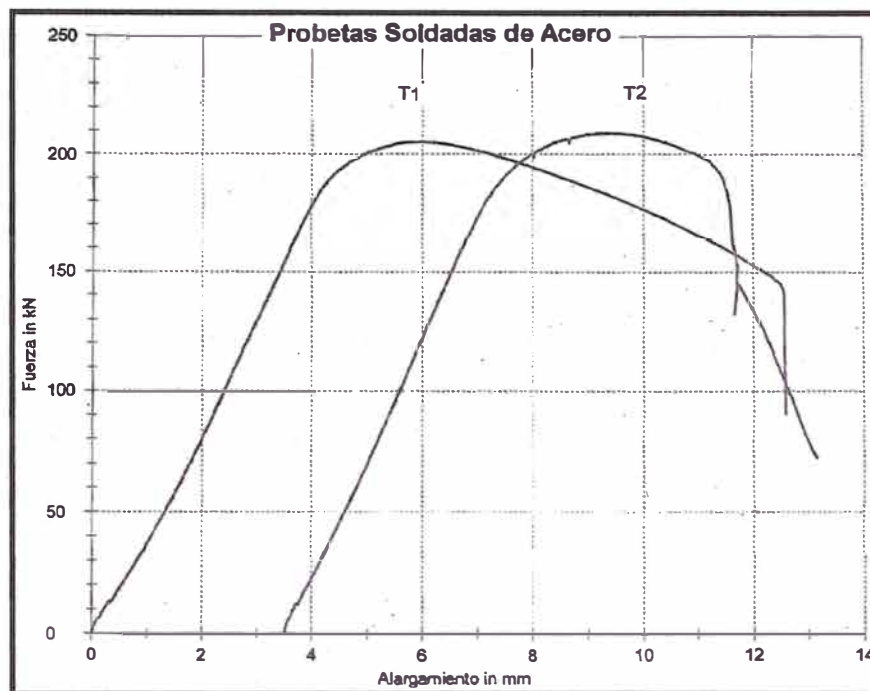


Gráfico 4.7 - Fuerza vs. Alargamiento de especímenes T1 y T2 (WPS 84 / PQR 50)

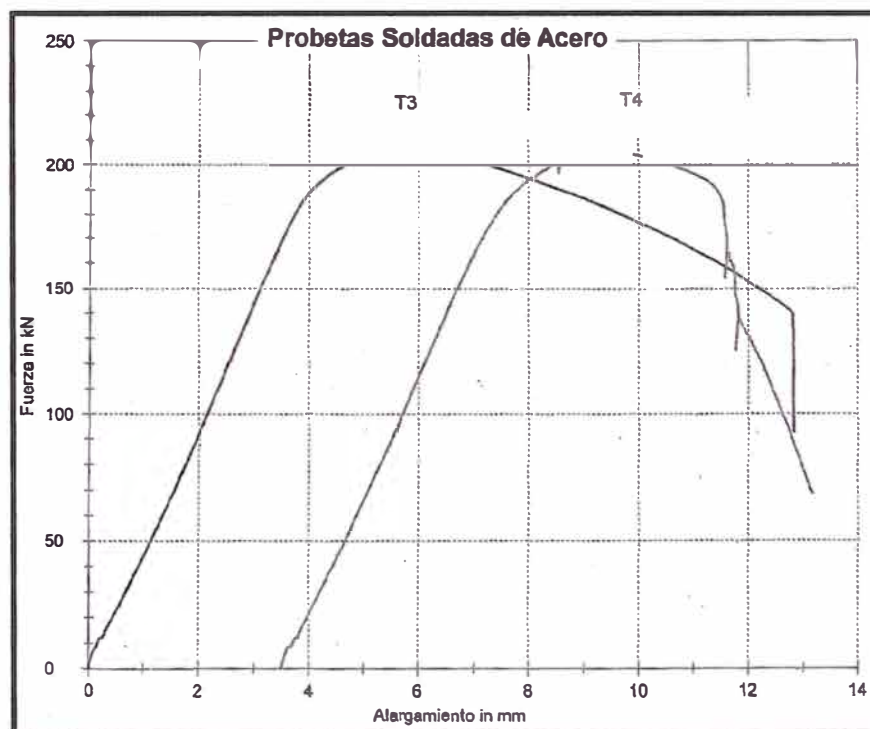


Gráfico 4.8 - Fuerza vs. Alargamiento de especímenes T3 y T4 (WPS 64 / PQR 50)

c. Ensayo de Impacto Charpy V

RESULTADOS:			
MUESTRA	TEMPERATURA DE ENSAYO (°C)	ENERGÍA ABSORBIDA (JOULE)	EXPANSIÓN LATERAL (mm)
MA 1	-20	111	1.41
MA 2	-20	120	1.70
MA 3	-20	120	1.40
ZAC 1	-20	148	1.61
ZAC 2	-20	160	1.73
ZAC 3	-20	131	1.61

Fecha de Ejecución: 2007.12.18.

OBSERVACIONES:

- Condición de las muestras: Visualmente en buen estado.
- Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por el solicitante.
- Norma de Ensayo: ASTM E23 – 07.
- Código de referencia: ASME VIII: 2004.
- PROCESO: GMAW. MARCA: LINCOLN.
- PQR: IMECON/PQR-50. WPS: IMECON/WPS-64.
- POSICION DE PRUEBA: 1G
- MATERIAL BASE: SUMITEN 780S.
- MATERIAL DE APORTE: ER100S-G (AWS A5.28).

Tabla 4.20

d. Ensayo Macrográfico

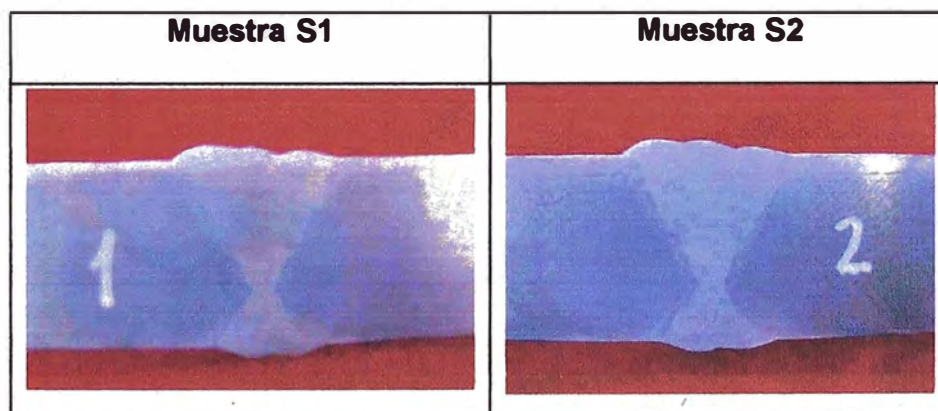


Figura 4.3

e. Barridos de Dureza

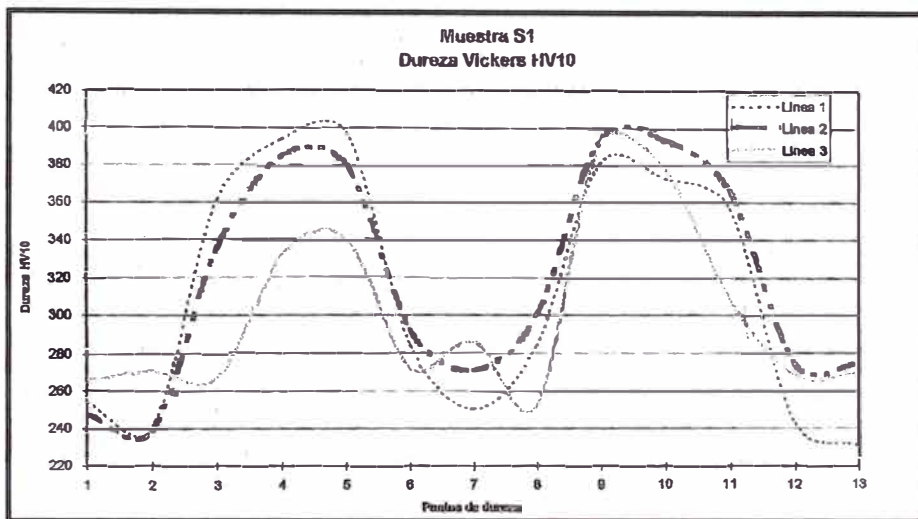


Gráfico 4.9 - Barrido de la Muestra S1 (WPS 64 / PQR 50)

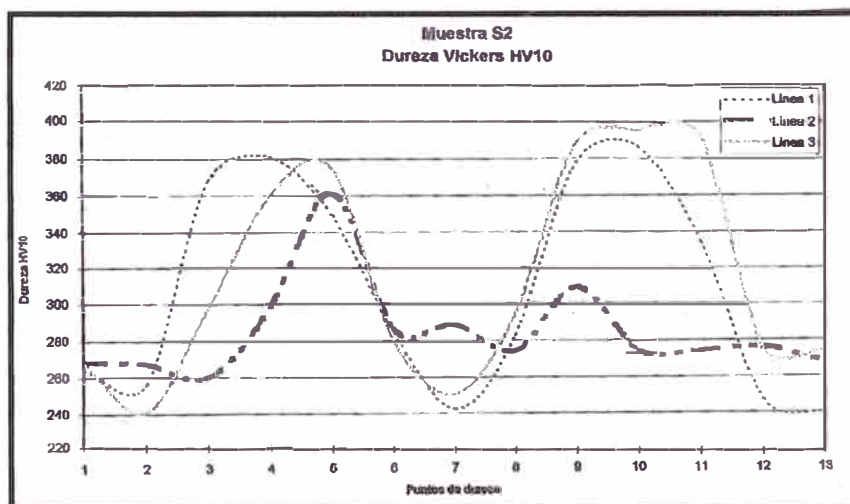


Gráfico 4.10 - Barrido de la Muestra S2 (WPS 64 / PQR 50)

PUNTOS DE DUREZA EVALUADOS:

Muestra S1

LINEA 1	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	266	274	270.0	264	---
2	275	280	277.5	241	---
3	224	229	226.5	361	---
4	215	218	217.0	394	---
5	213	218	216.0	397	---
6	254	257	255.5	284	---
7	273	271	272.0	251	---
8	254	257	255.5	264	---
9	218	225	220.5	381	---
10	215	231	223.0	373	---
11	228	230	228.0	367	---
12	271	282	276.5	243	---
13	282	285	283.5	231	---

LINEA 2	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	274	273	273.5	248	---
2	279	278	278.5	239	---
3	237	233	235.0	338	---
4	216	221	218.5	385	---
5	222	220	221.0	380	---
6	253	251	252.0	292	---
7	262	261	261.5	271	---
8	250	247	248.5	300	---
9	216	216	217.0	394	---
10	216	216	217.0	394	---
11	223	227	225.0	386	---
12	258	262	260.0	274	---
13	261	259	260.0	274	---

LINEA 3	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	262	268	264.0	288	---
2	283	261	262.0	270	---
3	262	265	263.5	267	---
4	235	238	236.5	332	---
5	232	235	233.5	340	---
6	263	259	261.0	272	---
7	254	255	254.5	286	---
8	269	273	271.0	253	---
9	217	218	217.5	392	---
10	220	223	221.5	378	---
11	243	247	245.0	309	---
12	261	265	263.0	266	---
13	262	263	262.5	269	---

Muestra S2

LINEA 1	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	258	272	265.0	264	---
2	264	274	269.0	256	---
3	219	230	224.5	368	---
4	216	225	220.5	381	---
5	224	237	230.5	349	---
6	254	257	255.5	284	---
7	276	277	276.5	243	---
8	252	260	256.0	283	---
9	214	229	221.5	378	---
10	214	224	219.0	387	---
11	228	243	235.5	334	---
12	267	281	274.0	247	---
13	269	287	278.0	240	---

LINEA 2	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	262	264	263.0	268	---
2	263	264	263.5	287	---
3	265	269	267.0	280	---
4	245	253	249.0	299	---
5	227	228	226.5	361	---
6	254	255	254.5	286	---
7	253	254	253.5	289	---
8	260	260	260.0	274	---
9	244	246	245.0	309	---
10	258	262	260.0	274	---
11	256	264	260.0	274	---
12	257	261	259.0	276	---
13	281	285	283.0	288	---

LINEA 3	DIMENSIONES DE LA HUELLA (µm)			DUREZA HV10	OBSERVACIONES
	d ₁	d ₂	d _{prom}		
1	260	267	263.5	287	---
2	275	280	277.5	241	---
3	249	250	249.5	288	---
4	226	226	227.0	360	---
5	222	223	222.5	375	---
6	257	258	257.5	280	---
7	274	270	272.0	251	---
8	252	250	251.0	294	---
9	217	220	218.5	368	---
10	216	217	216.5	396	---
11	216	219	217.5	392	---
12	258	261	259.5	275	---
13	258	264	260.0	274	---

Tabla 4.21 - Valores de Barridos de Dureza

g. Ensayo de Ultrasonido

Obra : CENTRAL HIDROELECTRICA EL PLATANAL				Sistema de Evaluación: DAC								
CUPON DE PROCEDIMIENTO				PQR Imecon / PQR-50 WPS Imecon / WPS-54		Procedimiento de Referencia: FQSA 045						
Angulo del transductor: 45°				Ganancia de barrido (dB): 42.6		Criterio de Aceptación: ASME B&PV Sec.VIII,Div1,Appendix 12						
PROBETA N°	C.S (mm)	distancia proyectada (mm)	Profundidad (mm)	Amplitud DAC (%)	Distancia Desde			Tipo de defecto	Longitud (mm)	Evaluación		Observaciones
					X (mm)	+Y(mm)	-Y(mm)			Acep.	Rech.	
CP 002	--	--	--	--	--	--	--	--	--	X		

Tabla 4.23

h. Ensayo de Partículas Magnéticas




2.- CONDICIONES DEL EXAMEN.							
Procedimiento N°:	QUAMT - 03	Revisión:	01	Código:	ASME secc. V Artic. 7 / SE 709		
Técnica de Magnetización:	Y <input checked="" type="checkbox"/>						
Tipo de Magnetización:	Longitudinal: <input checked="" type="checkbox"/>	Circunferencial: <input type="checkbox"/>	Multidireccional: <input type="checkbox"/>				
Equipo Empleado:	Marcas: TCP PROLSTR.1	Modelo:	WM 1105	Serie:	25002		
Tipo de Corriente:	AC	Amperaje:	9 A				
Tipo de Partículas:	Fluorescentes <input type="checkbox"/>	Contrastante <input checked="" type="checkbox"/>	Color:	Amarillo			
Formas de Aplicación:	Secas <input checked="" type="checkbox"/>	En Suspensión <input type="checkbox"/>	Vehículo:	---			
Secuencia de Operación:	Continua <input checked="" type="checkbox"/>	Residual <input type="checkbox"/>					
Tipo de Iluminación:	Natural <input checked="" type="checkbox"/>	Blanca Artificial <input type="checkbox"/>	Ultravioleta <input type="checkbox"/>				
Observaciones:	Soldador :Gonzalo Espinoza / S-245 / DNI N° 42210237. WPS-64 / PQR-50 / Proceso de Soldadura : GMAW (Lincoln) / Posición : 1G						
3.- GRAFICO							
VISTA GENERAL				VISTA DE DETALLE (APLICACIÓN MT)			
							
							
N°	Identificación de Junta	Código del Soldador	Localización de la Indicación	Forma de la Indicación		Dimensiones de la Indicación	Resultado
				Lineal	Redonda		
Probeta Tipo Plancha PQR-50 GMAW : 455 x 200 x 34 mm							
1	Lado A (0-455mm)	S-245	---	---	---	---	Aceptado
2	Lado B (0-455mm)	S-245	---	---	---	---	Aceptado
CRITERIO DE ACEPTACION: ASME Sección VIII Apéndice 6							

Tabla 4.24

4.4 ACEPTACION DE PROCEDIMIENTOS

4.4.1 Procedimiento con SMAW (WPS 61/ PQR 46)

Los resultados indican valores adecuados en los ensayos realizados. En el doblado guiado no se encontraron indicaciones en la cara exterior, los valores de dureza están dentro del rango especificado; en las macrografías no se presentan fisuras u otras señales de defectos en el metal soldado o en la ZAC y el esfuerzo de tracción máximo (845 MPa mín, 868 MPa máx) supera por mucho el valor del metal base. En los ensayos de RT, UT y MT no se encontraron defectos en la soldadura.

Los valores del ensayo de impacto en la ZAC superan los valores mínimos requeridos (101, 97 y 83 J), pero los valores de que corresponden al metal de aporte (36, 29 y 34 J) son más bajos que el mínimo aceptable, así como los valores de expansión lateral.

Sin embargo, con aprobación de la supervisión este procedimiento fue usado en un principio para apuntalamiento eliminando **completamente** todo el cordón soldado antes de ejecutar el soldeo con el proceso SAW. Este procedimiento fue mejorado usando un electrodo con contenido de hidrógeno menor a 4 ml /100gr (E 11018 – G H4) lo cual mejoró los valores de tenacidad.

Figura 4.4 - PQR- 46 Para Procedimiento SMAW

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) (De acuerdo a ASME –Boiler and Pressure Vessel Code Sección IX-2007) PQR N° :46		HOJA:	1 de 4
		EMISION:	
		REVISION:	
QW-402 – REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)			
Nombre de la compañía:	XXXX	Por:	Aldo Gómez Paulet
PQR N°:	PQR-46	Fecha:	26-10-2007
WPS N°:	WPS-61	Rev.:	0
Proceso(s) de soldadura:	SMAW	Tipo:	MANUAL
JUNTA (QW-402) Butt Joint - Double V Groove Weld			
METAL BASE (QW-403)		TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407)	
Especificación material	JIS G 3128	Temperatura	150° C – 200° C
Tipo o grado	SHY 685	Tiempo	2 horas
P – No. — a P – No. —		Otro	Con el propósito de difundir el hidrógeno en la soldadura.
Espesor del cupón de ensayo	35 mm	GAS (QW-408)	
Diámetro del cupón de ensayo	—	Composición Porcentual	
Otro	Acero no listado por ASME Sección II Parte A - 2007	Gas(es)	(Mezcla)
		Protección	Rateo de Flujo
		Arrastre	---
		Respaldo	---
METAL DE APORTE (QW-404)		CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)	
Especificación:	SFA / AWS 5.6	Corriente	VER TABLA
Clasificación AWS	E11018-G	Polaridad	VER TABLA
Metal de aporte F – No.	F4	Amperaje	VER TABLA Voltaje VER TABLA
Análisis de metal depositado A – No.	A 10	Tamaño de electrodo de tungsteno:	—
Tamaño de metal de aporte:	4.0mm	Velocidad de Avance:	VERTABLA
Nombre Comercial	TENACITO 110		
Espesor de metal de soldadura	35.0 mm.		
POSICION (QW-405)		TECNICA (QW-410)	
Posición de ranura	VERTICAL	Velocidad de avance	VER TABLA
Progresión de soldadura (asc, desc)	ASCENDENTE	Pasada recto u oscilante	RECTO
Otro	USO SOLO PARA APUNTAMIENTO, RETIRANDO	Limpieza entre pasadas	Esmerilado y escobillado
EL MATERIAL ANTES DE LA SOLDADURA FINAL.		Backgouge	Esmerilado de la raíz antea de iniciar los pases en el lado interno
PRECALENTAMIENTO (QW-406)		Pases (simple o múltiples)	MULTIPLES
Temperatura de precalentamiento	120 °C	Electrodo simple o múltiple	SIMPLE
Temperatura entre pases	150 °C	Otro:	Pases rectos (técnica de cordoneado) para reducir el calor aportado.

PQR- 46 Para Procedimiento SMAW (Continuación)

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) <i>(De acuerdo a ASME -Boiler and Pressure Vessel Code Sección IX-2007)</i> PQR N° :46	HOJA:	3 de 4
	EMISION:	
	REVISION:	

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y DESTRUCTIVOS

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

TECNICA	RESULTADO		REPORTE / REALIZADO
	Conforme	No Conforme	
Inspección Visual VT	x	—	CWI-N° 99989041 Carlos Trinidad
Radiografía RT	x	—	QUALITEST N° 14-07 por Manuel Vilca Chávez Nivel II SNT-TC-1A
Ultrasonido UT	x	—	QUALITEST N°03-07 por Manuel Vilca Chávez Nivel II SNT-TC-1A
Partículas Magnéticas	x	—	QUALITEST N° 06/07 POR Manuel Vilca Chávez Nivel II SNT- TC-1A

ENSAYOS DESTRUCTIVOS

PRUEBA DE TRACCION realizado por: Laboratorio de Materiales de XXXX Fecha: 2007.10.23

Especimen de Sección Reducida					Valor Requerido	Resistencia Mínima (MPa)
MARCA DEL ESPÉCIMEN	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA ROTURA TOTAL (Kn)	RESISTENCIA MÁX.(MPa)	TIPO DE FALLA Y UBICACIÓN
TR1	19.04	14.5	257.7	235.1	853	Rompió en Línea de Fusión
TR2	19.01	14.5	276.0	233.3	845	Rompió en Línea de Fusión
TR3	19.08	14.2	271.7	235.8	868	Rompió en Línea de Fusión
TR4	19.07	14.4	275.0	235.9	858	Rompió en Línea de Fusión

ENSAYOS DE DOBLEZ GUIADO: Realizado por: Laboratorio de Ensayos Mecánicos XXXX FECHA: 2007.10.24

Especimen de 35mm. x 12.5 mm. x 250 mm. Diámetro de Giga: 63.5 mm

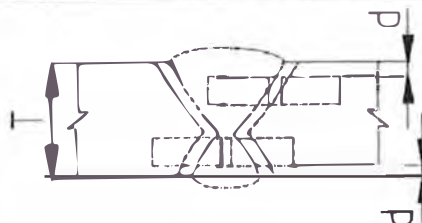
MARCA DEL ESPECIMEN	ESPECIMEN		DIRECCION DE DOBLEZ	RESULTADO
	TRASVERSAL	LONGITUDINAL		
DL-1	x	—	LADO	ACEPTABLE
DL-2	x	—	LADO	ACEPTABLE
DL-3	x	—	LADO	ACEPTABLE
DL-4	x	—	LADO	ACEPTABLE

ENSAYO DE IMPACTO realizado por: Laboratorio de Materiales de XXXX FECHA: 2007.10.23

Especimen de 10mm. x 10mm. x 55 mm.

Ensayo no Aprobado para Soldadura, solamente se empleara en Apuntalamiento y posterior remoción			VALOR REQUERIDO JOULES	INDIVIDUAL	PROMEDIO
ESPECIMEN	T (°C)	ENERGIA ABSORBIDA JOULES		EXPANSION LATERAL	RESULTADO
		Individual	Promedio		
MA-1	-20°C	36	33	0.72	No Aceptable
MA-2	-20°C	29		0.58	No Aceptable
MA-3	-20°C	34		0.52	No Aceptable
ZAC-1	-20°C	101	93.6	1.48	Aceptable
ZAC-2	-20°C	97		1.51	Aceptable
ZAC-3	-20°C	83		1.33	Aceptable

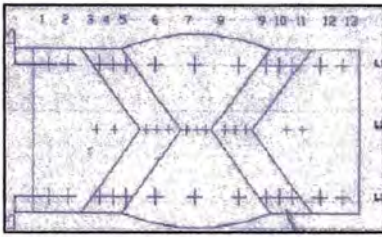
ESQUEMA DE UBICACIÓN DE PROBETAS PARA IMPACTO


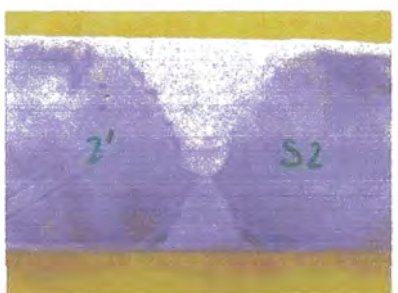


Donde d = 1.5 mm (máx)

PQR- 46 Para Procedimiento SMAW (Continuación)

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) (De acuerdo a ASME –Boiler and Pressure Vessel Code Sección IX-2007) PQR N° :46	HOJA:	4 de 4
	EMISION:	
	REVISION:	

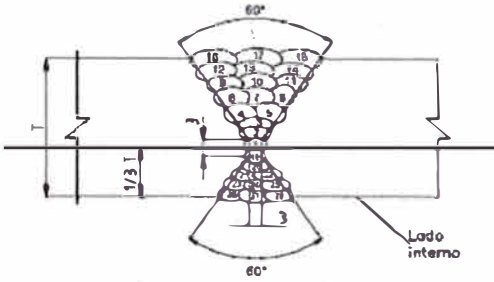
ENSAYO DE DUREZA realizado por: Laboratorio de Materiales de XXXX		FECHA: 2007.10.23
Tipo : Vickers HV10		Máximo Valor Aceptable : 400 HV
PUNTOS DE DUREZA EVALUADOS	UBICACIÓN	VALORES OBTENIDOS
	Muestra S1 – L1 Línea Superior	282, 287, 233, 285, 370, 318, 283, 293, 366, 296, 212, 292, 285.
	Muestra S1 – L2 Línea Central	292, 296, 243, 291, 305, 323, 318, 300, 283, 264, 243, 293, 284.
	Muestra S1 – L3 Línea Inferior	282, 279, 236, 339, 334, 294, 282, 293, 286, 318, 259, 284, 278.
	Muestra S2 – L1 Línea Superior	282, 291, 258, 355, 383, 291, 306, 330, 380, 313, 237, 290, 286.
	Muestra S2 – L2 Línea Central	286, 287, 2445, 283, 258, 278, 315, 303, 279, 271, 242, 293, 290.
	Muestra S2 – L3 Línea Inferior	281, 286, 302, 326, 304, 267, 279, 287, 323, 340, 256, 281, 283.

ENSAYO MACROGRAFICO realizado por: Laboratorio de Materiales de XXXX		FECHA: 2007.10.23
Agente de ataque : Nital 10%		Magnificación: 10x
ESPECIMEN N°1: TRASVERSAL A LA SOLDADURA	ESPECIMEN N°2: TRASVERSAL A LA SOLDADURA	
		
RESULTADO: ACEPTABLE	RESULTADO: ACEPTABLE	
SOLDADOR: Guillermo Rosales Arbiza		ESTAMPA No. S-005

Nosotros certificamos que los datos en este registro son correctos y que las probetas fueron preparados, soldados y ensayados de acuerdo con los requerimiento de la Sección IX del Código ASME-2006

V°B° SUP QC	V°B° ING. QC	V°B° SUPERVISION

Figura 4.5 -WPS 61 Para Procedimiento SMAW

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) (De acuerdo a ASME Sección IX-2007) WPS N°61		HOJA:	1 de 2
QW-482 - ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)			
Proyecto:	EL PLATANAL	Por:	
Especificación de Procedimiento No.	WPS- 61	Fecha:	23 / 09 / 07
Revisión No.	0	PQR de soporte:	PQR-46
Proceso(s) de soldadura:	SMAW	Tipo:	MANUAL
JUNTA (QW-402) Diseño de junta: VER DETALLE Respaldo: (Si) <input checked="" type="checkbox"/> (No) <input type="checkbox"/> Material de respaldo: (Tipo): SOLDADURA <input checked="" type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Refractario <input type="checkbox"/> No metálico <input type="checkbox"/> Otro Esquema, dibujo de fabricación, símbolos de soldadura o descripción escrita debe mostrar el arreglo general de las partes ha ser soldadas. Donde sea aplicable, la apertura de raíz y los detalles de la soldadura debe ser especificada		Detalles 	
METAL BASE (QW-403)			
N° P:	Grupo N°:	al N° P:	Grupo N°:
Otro: Acero no listado por ASME Sección II Parte A -2007 (Solo califica al mismo acero no listado)			
Especificación de tipo y grado:		JIS G 3128 SHY 685	
Análisis químico y propiedades mecánicas:		0.18% C; 0.55% Si ; 1.2% Mn ; 0.025% P; 0.015% S; 0.15-0.50% Cu; 0.15 -1.2% Cr; 0.10 - 0.60% Mo; V <0.10; B < 0.005	
Rango de espesores:			
Metal base:	Ranura:	16mm a 70mm	Filete:
Otro			
METAL DE APORTE (QW-404)			
Especificación:	SFA / AWS 5.5		
AWS No (Clase)	E11018 -G		
N° F	<i>Califica solo al mismo</i>	F4	
N° A	<i>Califica solo al mismo</i>	A10	
Tamaño del electrodo		4.0 mm	
Nombre Comercial:		Tenacito 110	
Metal depositado			
Rango de espesores			
Ranura		Hasta 70 mm	
Filete			
Fundente (clase)			
Fundente nombre comercial			
Inserto consumible		NINGUNO	

WPS- 61 Para Procedimiento SMAW (continuación)

	ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) (De acuerdo a ASME Sección IX-2007) WPS N°61	HOJA	2 de 2

POSICIONES (QW-405)				TRATAMIENTO DE POSTCALENTAMIENTO				
Posición(es) de ranura		Toda Posición (Solo para Apunalar)		Rango de temperatura		150° C – 200° C		
Progresión:		Ascendente		Tiempo:		2 horas		
Posición de filete				GAS (QW-408)				
PRECALENTAMIENTO (QW-406)				Composición Porcentual %				
Temp. Pre calentamiento	Min:	120 °C		Gas(es)	Mezcla	Flujo		
Temp. Interpase	Máx:	150 °C		Protección	—	—		
Mantenimiento pre calentamiento		—		Arresto	—	—		
Método de pre calentamiento: Quemador de Gas				Respaldo	—	—		
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)								
Corriente AC o DC		VER TABLA		Polaridad		VER TABLA		
Rango de amperaje		VER TABLA		Rango de voltaje		VER TABLA		
Tamaño y tipo de electrodo de tungsteno				—				
				(Tungsteno puro, 2% toriado, etc)				
Modo de transferencia en GMAW				—				
				(Arco spray, arco circuito, etc)				
Velocidad de alimentación de alambre				VER TABLA				
TÉCNICA (QW-410)								
Cordón Recto u Oculante				RECTO				
Orificio o tamaño de protección gaseosa				—				
Limpieza inicial y entre pasadas				ESMERILADO Y/O ESCOBILLADO				
Método de resane de raíz				ESMERILADO HASTA EL METAL SANO ANTES DE SOLDAR EL LADO INTERNO				
Oscilación				—				
Distancia de alambre a pieza de trabajo				—				
Pase múltiple o simple				MULTIPLE				
Electrodo simple o múltiple				SIMPLE				
Velocidad de avance (rango)				VER TABLA				
Martileo				—				
Otc				FUNDENTE DEBE DE MANTENERSE A 120°C DESPUES DE ABIERTO EL ENVASE				
Pase N°	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/mín)	Calor Aportado (kJ/mm) Máx.
		Clase	Diam (mm)	Polaridad	Amperaje (A)			
1 - N	SMAW	E11018 - G	4.0	DCEP	160 - 176	23 - 29	127 - 305	1.52
Longitud mínima de los puntos: 50 mm. Pre calentamiento del material base antes de realizar los puntos, estos serán removidos totalmente antes del soldo final.								
V°B° SUP. QC			V°B° ING. QC			V°B° SUPERVISIÓN QA		

4.4.2 Procedimiento con SAW (WPS 60/ PQR 45)

Los resultados muestran valores adecuados en los ensayos realizados; los especímenes de doblado guiado no muestran indicaciones en la cara exterior, los valores de dureza están dentro del rango especificado; en las macrografías no se presentan fisuras u otras señales de defectos en el metal soldado o en la ZAC y el esfuerzo de tracción máximo (819 MPa mín, 843 MPa máx) es mayor que el del metal base. Los valores del ensayo de impacto en la ZAC superan a los mínimos requeridos, así como los de expansión lateral que superan el valor mínimo 0.6 (indicado en 3.5.3). En los ensayos de RT, UT y MT no se encontraron defectos en la soldadura.

Este fue el principal procedimiento de fabricación en taller. Durante la fabricación se debe seguir lo indicado en el mismo y siempre mantener el fundente seco y limpio, realizar el precalentamiento, mantener la temperatura de interfase y mantener la temperatura de post- calentamiento a fin de asegurar las propiedades mecánicas,

Cabe señalar que la luz de la raíz en este caso es cero, debido a que si se tuviera una luz abierta el metal de aporte, por el peso del fundente, pasaría a través de esta no produciendo fusión con el metal base.

Figura 4.6 - PQR 45 Para Procedimiento SAW

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)		HOJA:	1 de 4
(De acuerdo a ASME -Boiler and Pressure Vessel Code Sección IX-2007)			
PQR N° :45			
QW-482 - REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)			
Nombre de la compañía:	XXXX	Por:	XXXXX
PQR N°:	PQR-45	Fecha:	26-10-2007
p/WPS N°:	WPS-60	Rev.:	0
Proceso(s) de soldadura:	SAW	Tipo:	MECANIZADO
JUNTA (QW-402) Butt Joint - Double V Groove Weld			
METAL BASE (QW-403)		TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407)	
Especificación material	JIS G 3128	Temperatura	180° C - 200° C
Tipo o grado	SHY 686	Tiempo	2 horas
P - No. ---	a P - No. ---	Otro	Con el propósito de difundir el hidrogeno en la soldadura.
Espesor del cupón de ensayo	35 mm		
Diámetro del cupón de ensayo	---		
Otro	Acero no listado por ASME Sección II Parte A -2007		
METAL DE APORTE (QW-404)		GAS (QW-408)	
Especificación:	SFA / AWS 5.23	Composición Porcentual	
Clasificación alambre AWS	EG	Gas(es)	(Mezcla)
Metal de aporte F - No.	F6	Protección	Tasa de Flujo
Análisis de metal depositado A - No.	A12	Arrastre	---
Tamaño metal de aporte	3.25 mm	Respaldo	---
Nombre Comercial de alambre	OE-SD3 2.5 Ni Mo Cr (Oerlikon)		
Clasificación de fundente AWS:	No especificada		
Nombre Comercial Fundente:	OP121 TT/ W (Oerlikon)		
Espesor de metal depositado:	35 mm		
POSICION (QW-405)		CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)	
Posición de ranura	PLANA	Corriente	VER TABLA
Progresión de soldadura (asc. desc)	---	Polaridad	VER TABLA
Otro	---	Amperaje	VER TABLA
		Tamaño de electrodo de tungsteno:	VER TABLA
		Otro	---
PRECALENTAMIENTO (QW-406)		TECNICA (QW-410)	
Temperatura de precalentamiento	120°C	Velocidad de avance	VER TABLA
Temperatura entre pases	150°C	Pasada recto u oscilante	RECTO
		Limpieza entre Pasadas	Esmerilado y Escobillado
		Backgouge	Esmerilado de raiz antes de iniciar soldo en lado opuesto
		Pase simple o múltiple	MULTIPLE
		Electrodo simple o múltiple	SIMPLE
		Otro:	Pases delgados (Técnica de cordoneado) para reducir el calor aportado.

PQR 45 Para Procedimiento SAW (continuación)

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) (De acuerdo a ASME -Boiler and Pressure Vessel Code Sección IX-2007) PQR N° :45	HOJA:	2 de 4

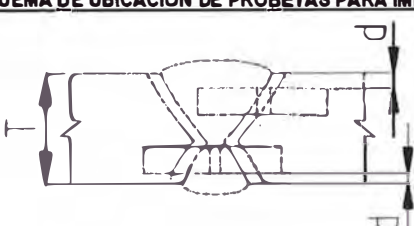
PARAMETROS DE SOLDADURA

Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente			Voltaje	Velocidad de Avance (mm / min)	Calor Aportado *	
		Fundente y Electrodo (*)	Diam. (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje				(kJ/mm)	
1	SAW	EG	3.25	DCEP	460	500	30	312.9	2.52	2.74
2	SAW	EG	3.25	DCEP	460	500	30	335.2	2.35	2.55
3	SAW	EG	3.25	DCEP	460	480	30	336.8	2.33	2.43
4	SAW	EG	3.25	DCEP	460	480	30	359.5	2.19	2.28
5	SAW	EG	3.25	DCEP	460	480	30	367.8	2.14	2.22
6	SAW	EG	3.25	DCEP	460	480	30	347.8	2.26	2.36
7	SAW	EG	3.25	DCEP	460	480	30	333.3	2.29	2.38
8	SAW	EG	3.25	DCEP	460	480	30	326.5	2.34	2.44
9	SAW	EG	3.25	DCEP	460	480	30	323.4	2.43	2.54
10	SAW	EG	3.25	DCEP	460	480	30	316.3	2.48	2.59
11	SAW	EG	3.25	DCEP	460	480	30	310.4	2.53	2.64
12	SAW	EG	3.25	DCEP	460	480	30	349.8	2.25	2.35

* El cálculo del calor aportado se hizo considerando una eficiencia térmica de 0.95
 (*) El fundente utilizado es OP121 TT/W, sin especificación dentro de SFA / AWS.

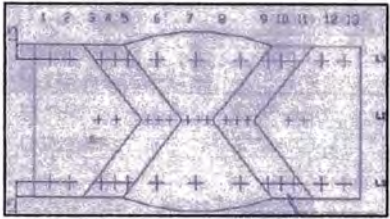
PQR 45 Para Procedimiento SAW (continuación)

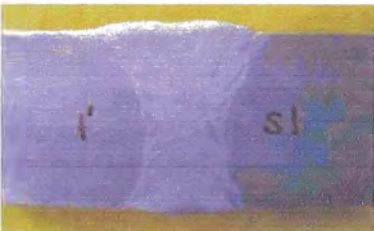

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) (De acuerdo a ASME –Boiler and Pressure Vessel Code Sección IX-2007) PQR N° :45	HOJA:	3 de 4
--	-------	--------

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y DESTRUCTIVOS						
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS						
TECNICA	RESULTADO		REPORTE / REALIZADO			
	Conforme	No Conforme				
Inspección Visual VT	X	—	CWI- N° 9989041 Jose Garcia Salazar			
Radiografía RT	X	—	XXXX N° 10-07 por Carlos Lopez Carbajal Nivel II SNT-TC-1A			
Ultrasonido UT	X	—	XXXX N° 01-07 por Carlos Lopez Carbajal Nivel II SNT-TC-1A			
Partículas Magnéticas	X	—	XXXX N° 01-07 por Carlos Lopez Carbajal Nivel II SNT-TC-1A			
ENSAYOS DESTRUCTIVOS						
PRUEBA DE TRACCION realizado por: Laboratorio XXXX					Fecha: 2007.10.23	
Especimen de Sección Reducida					Valor Requerido	Resistencia Mínima (MPa)
MARCA DEL ESPECIMEN	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA ROTURA TOTAL (Kn)	RESISTENCIA MAX (MPa)	TIPO DE FALLA Y UBICACIÓN
1A	19.90	15.9	316.2	258.9	819	Rompió en Línea de Fusión
1B	19.33	15.9	307.2	258.9	843	Rompió en Línea de Fusión
2A	19.50	15.2	297.2	244.9	824	Rompió en Metal de Aporte
2B	19.41	15.6	303.0	251.6	830	Rompió en la ZAC
ENSAYOS DE DOBLEZ GUIADO realizado por: Laboratorio de Ensayos Mecánicos XXXX					FECHA: 2007.10.07	
Especimen de 35mm. x 12.5 mm. x 250 mm.			Diámetro de la Ciga 63.5 mm			
MARCA DEL ESPECIMEN	ESPECIMEN		DIRECCION DE DOBLEZ	RESULTADO		
	TRANSVERSAL	LONGITUDINAL				
DL-1	X	—	LADO	ACEPTABLE		
DL-2	X	—	LADO	ACEPTABLE		
DL-3	X	—	LADO	ACEPTABLE		
DL-4	X	—	LADO	ACEPTABLE		
ENSAYO DE IMPACTO realizado por: Laboratorio XXXX					FECHA: 2007.10.23	
Especimen de 10mm. x 10mm. x 55 mm.				VALOR REQUERIDO JOULES	INDIVIDUAL	PROMEDIO
ESPECIMEN	T (°C)	ENERGIA ABSORBIDA (JOULES)		PROMEDIO	EXPANSION LATERAL	RESULTADO
		Individual	Promedio			
MA-1	-20°C	120	102.6	1.49	ACEPTABLE	
MA-2	-20°C	90		1.16	ACEPTABLE	
MA-3	-20°C	98		1.17	ACEPTABLE	
ZAC-1	-20°C	193	181.6	1.97	ACEPTABLE	
ZAC-2	-20°C	159		1.54	ACEPTABLE	
ZAC-3	-20°C	193		1.80	ACEPTABLE	
ESQUEMA DE UBICACIÓN DE PROBETAS PARA IMPACTO						
						
Donde d = 1.5 mm (máx)						

PQR 45 Para Procedimiento SAW (continuación)

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) (De acuerdo a ASME -Boiler and Pressure Vessel Code Sección IX-2007) PQR N° :45	HOJA: 4 de 4
--	--------------

ENSAYO DE DUREZA realizado por: Laboratorio XXXX		FECHA: 2007.10.23
Tipo: Vínckers HV10		Máximo Valor Aceptable : 400 HV
PUNTOS DE DUREZA EVALUADOS	UBICACIÓN	VALORES OBTENIDOS
	Muestra S1 – L1 Línea Superior	279, 282, 232, 323, 252, 254, 236, 251, 273, 272, 225, 281, 284.
	Muestra S1 – L2 Línea Central	293, 296, 243, 261, 303, 270, 285, 285, 298, 285, 244, 286, 300.
	Muestra S1 – L3 Línea Inferior	278, 282, 221, 313, 313, 266, 283, 268, 314, 265, 212, 280, 285.
	Muestra S2 – L1 Línea Superior	323, 300, 286, 339, 263, 296, 275, 275, 336, 286, 255, 314, 304.
	Muestra S2 – L2 Línea Central	296, 302, 273, 246, 303, 276, 285, 273, 271, 266, 256, 292, 286.
	Muestra S2 – L3 Línea inferior	291, 291, 284, 318, 284, 279, 299, 297, 251, 327, 297, 294, 291.

ENSAYO MACROGRAFICO realizado por: Laboratorio XXXX		FECHA: 2007.10.23
Agente de ataque : Nital 10%		Magnificación: 10x
ESPECIMEN N°1: TRASVERSAL A LA SOLDADURA	ESPECIMEN N°2: TRASVERSAL A LA SOLDADURA	
		
RESULTADO: ACEPTABLE	RESULTADO: ACEPTABLE	

OTROS ENSAYOS: _____

NOMBRE DE SOLDADOR: José Francisco Coveñas Castro

ESTAMPA No. 5-259

LISTA DE DOCUMENTOS REFERENCIALES:

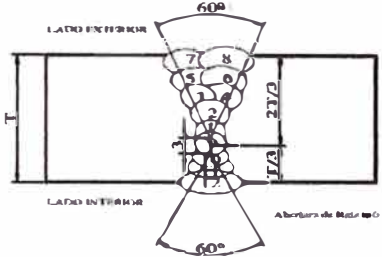
- Reporte de Partículas Magnéticas: N° 04-07, por Empresa XXXX
- Reporte Radiográfico: N° 15-07, por Empresa XXXX
- Reporte de Ultrasonido: N° 01-07, por Empresa XXXX
- Reporte de Ensayo de Tracción: N° MAT-OCT-0676/2007, por Laboratorio XXXX
- Reporte de Ensayo de Dobleces: N° CT9OL-DD140-2007, por Laboratorio XXXX.
- Reporte de Ensayo de Impacto: MAT-OCT-0649/2007, por Laboratorio XXXX
- Reporte de Ensayo de Dureza: MAT-OCT-0649/2007, por Laboratorio XXXX.
- Reporte de Ensayo de Macrográfico: MAT-OCT-0649/2007, por Laboratorio XXXX

Nosotros certificamos que los datos en este registro son correctos y que las probetas fueron preparados, soldados y ensayados de acuerdo con los requerimiento de la Sección IX del Código ASME-2006

V°B° SUP QC	V°B° ING. QC	V°B° SUPERVISION

Figura 4.7 – WPS 60 Para Procedimiento SAW

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)		HOJA:	1 de 2
(De acuerdo a ASME Sección IX-2007)		EMISION:	
WPS N°:60		REVISION:	

QW-482 - ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)			
Proyecto:	EL PLATANAL	Por:	Aldo Gómez Paulet
Especificación de Procedimiento No.	WPS-60	Fecha:	26 / 10 / 07
Revisión No.	0	PQR de soporte:	PQR -46
Proceso(s) de soldadura:	SAW	Tipo:	MECANIZADO
JUNTA (QW-402) Diseño de junta: VER DETALLE Respaldo: (Si) <input checked="" type="checkbox"/> (No) <input type="checkbox"/> Material de respaldo: (Tipo): SOLDADURA <input checked="" type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Refractario <input type="checkbox"/> No metálico <input type="checkbox"/> Otro Esquema, dibujo de fabricación, símbolos de soldadura o descripción escrita debe mostrar el arreglo general de las partes ha ser soldadas. Donde sea aplicable, la apertura de raíz y los detalles de la soldadura debe ser especificada.		Detalles 	
METAL BASE (QW-403) N° P: _____ Grupo N°: _____ al N° P: _____ Grupo N°: _____ Otro: Acero no listado por ASME Sección II Parte A -2007 (Solo califica al mismo acero no listado) Especificación de tipo y grado: JIS G 3120 SHY 685 Análisis químico y propiedades mecánicas: 0.18% C; 0.55% Si; 1.2% Mn; 0.025% P; 0.015% S; 0.15-0.60% Cu; 0.15 -1.2% Cr; 0.10 - 0.60% Mo; V <0.10; B < 0.005			
Rango de espesores: Metal base: Ranura: 16mm a 70mm Filete: -- Diam. Tubo: Ranura: -- Filete: -- Otro:			
METAL DE APORTE (QW-404)			
Especificación:	SFA / AWS 5.23		
AWS No (Clase)	EG		
N° F	F6		
N° A	A12		
Tamaño del electrodo	3.2 mm		
Marca del alambre	OE-SD3 2.6 Ni Cr Mo (Oerlikon)		
Metal depositado			
Rango de espesores			
Ranura	Hasta 70 mm		
Filete	--		
Fundente (clase)	No especificado		
Fundente nombre comercial	OP 121 TTW (Oerlikon)		
Tipo de fundente:	AGLOMERADO BASICO		
Inserto consumible:	--		

WPS 60 Para Procedimiento SAW (continuación)

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) (De acuerdo a ASME Sección IX-2007) WPS N°:60	HOJA: 2 de 2	
	EMISION:	
	REVISION:	

POSICIONES (QW-405)				TRATAMIENTO POSTCALENTAMIENTO				
Posición(es) de ranura		FLANA		Rango de temperatura:		150 - 220 °C		
Progresión:		--		Tiempo:		2 horas		
Posición de Rete		--		GAS (QW-406)				
PRECALENTAMIENTO (QW-406)				Composición Porcentual %				
Temp. Precalentamiento	Mín.	120 °C		Gas(es)		Mezcla		
Temp. Interfase	Máx.	150 °C		Protección		--		
Mantenimiento precalentamiento:				Atmósfera		--		
Método de precalentamiento:		Quemador de Gas		Respaldo		--		
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)								
Corriente AC o DC		VER TABLA		Polaridad		VER TABLA		
Rango de empuje		VER TABLA		Rango de voltaje		VER TABLA		
Tamaño y tipo de electrodo de tungsteno				-- (Tungsteno puro, 2% toriado, etc)				
Modo de transferencia en GMAW				-- (Arco spray, corte circuito, etc)				
Velocidad de alimentación de alambre				VER TABLA				
TÉCNICA (QW-410)								
Cordon Recto u Cociente		RECTO						
Orificio o tamaño de protección gaseosa		--						
Limpieza inicial y entre pasadas		ESMERILADO Y/O ESCOBILLADO						
Método de resaca		ESMERILADO HASTA EL METAL SANO ANTES DE SOLDAR LOS PASES DE LA REPARACION						
Oscilación		Sin Oscilación						
Distancia de boquilla a pieza de trabajo		50 mm (máximo)						
Pase múltiple o simple		MÚLTIPLE						
Electrodo simple o múltiple		SIMPLE						
Velocidad de avance (range)		VER TABLA						
Marsitec		--						
Otro		FUNDENTE DEBE DE MANTENERSE A 120°C DESPUES DE ASIERTO EL ENVASE						
Pase Nº	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/min)	Calor Aportado (Kj/mm) Máx.
		Clase (*)	Diam (mm)	Polaridad	Amperaje (A)			
1 - 2	SAW	OP 121 TTW / OE-SD3 2.5 Ni Cr Mo	3.25	DCEP	460 - 300	29 - 30	312 - 336	2.70
3 - N	SAW	OP 121 TTW / OE-SD3 2.5 Ni Cr Mo	3.25	DCEP	466 - 480	29 - 30	316 - 347	2.70
No Exceder los valores de Calor Aportado Máximo. Aplicar en forma adecuada los fundentes, no tenerlo expuesto a la atmósfera. Mantener el fundente a 120°C una vez abierto el envase original. (*) Fundente no especificado en SFA/ AWS, nombre especificado como EG según SFA/ AWS. El cambio de ellos supone una recalificación (QW - 404.33)								
VºBº SUP QC			VºBº ING. QC			VºBº SUPERVISIÓN		

4.4.3 Procedimiento con GMAW (WPS 64 / PQR 50)

Los resultados muestran valores adecuados en los ensayos realizados; los especímenes de doblez guiado no muestran indicaciones en la cara exterior, los valores de esfuerzo de tracción máximo (809 MPa mín, 829 MPa máx) son mayores a los del metal base. Los valores del ensayo de impacto en la ZAC superan los mínimos requeridos, así como los valores de expansión lateral. En los ensayos de RT, UT y MT no se encontraron defectos en la soldadura.

Los ensayos de dureza muestran durezas en la ZAC próximas a 400 HV en las líneas de barrido cercanas a la superficie del metal, lo que implica tener cuidados extremos al momento de su aplicación. Para atenuar este efecto se puede aplicar la técnica del "temper bead weld" en la cual, los pases de soldadura situados en los pies (a los bordes) de la soldadura no deben ser los pases finales sino un pase o pases por encima de estos de tal manera que la ZAC de los primeros sea revenida, además de mejorar la tenacidad en esta zona. La posición a la que debe situarse el temper bead weld será la que se muestra en la figura 4.8. Si la distancia es muy lejana a los pies de la soldadura este no tendrá ningún efecto, si es menor a 2 mm no se reducirá la dureza pero si la tenacidad. Es importante también controlar el calor de aporte del temper bead weld para no generar efectos contrarios.

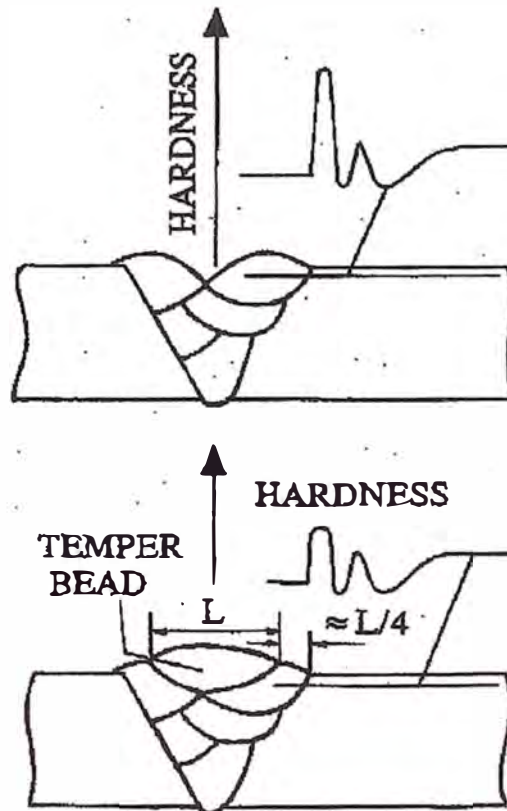


Figura 4.8 – Reducción de un pico de dureza en la ZAC aplicando temper bead weld

Es importante controlar la distancia del alambre (6-13 mm), debido a que una distancia mayor disminuiría el amperaje con la consiguiente disminución del calor de aporte lo que tampoco es conveniente ya que puede producir una falta de fusión. Una mala posición de la pistola de soldar también puede contribuir a acrecentar este defecto. Este procedimiento se utilizó en la unión de anillos de refuerzo y para apuntalamiento.

Figura 4.9 – PQR 50 Para Procedimiento GMAW

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) <i>(De acuerdo a ASME –Boiler and Pressure Vessel Code Sección IX-2007)</i> PQR N° :50	HOJA:	1 de 4

QW-482 – REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)			
Nombre de la compañía:		Por:	
PQR N°:	PQR-50	Fecha:	10-11-2007
pWPS N°:	WPS-64	Rev.:	0
Proceso(s) de soldadura:	GMAW	Tipo:	SEMI AUTOMATICO
JUNTA (QW-402) Butt Joint - Double V Groove Weld			
METAL BASE (QW-403)		TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407)	
Especificación material	JIS G 3128	Temperatura	150° C – 200° C
Tipo o grado	SHY 685	Tiempo	2 horas
P – No.	—	Otro	Con el propósito de difundir el hidrogeno en la soldadura.
Espesor del cupón de ensayo	34 mm.		
Diámetro del cupón de ensayo	—		
Otro	Acero no listado por ASME Sección II Parte A -2007		
		GAS (QW-408)	
		Composición Porcentual	
		Gas(es)	(Mezcla) Tasa de Flujo
		Protección	Ar - CO₂ 90% - 10% 16.5 -18.8 (l/min)
		Arrastre (training)	---
		Respaldo (backing)	---
METAL DE APORTE (QW-404)		CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)	
Especificación:	SFA / AWS 5.28	Corriente	VER TABLA
Clasificación AWS	ER100S-G	Polaridad	VER TABLA
Metal de aporte F – No.	F6	Amperaje	VER TABLA Voltaje VER TABLA
Análisis de metal depositado A – No.	A12	Tamaño de electrodo de tungsteno:	—
Tamaño de metal de aporte:	1.1 mm	Otro	
Nombre Comercial	SUPER LAC LA100 - LINCOLN		
Espesor de metal de soldadura	34 mm.		
POSICION (QW-405)		TECNICA (QW-410)	
Posición de ranura	PLANA	Velocidad de avance	VER TABLA
Progresión de soldadura (asc. desc)	—	Pasada recto u oscilante	RECTO
Otro		Backgouge	Esmerillado de raiz antes de iniciar soldeo en lado opuesto.
		Pase simple o múltiple	MULTIPLE
		Electrodo simple o múltiple	SIMPLE
		Otro	Pases delgados (Técnica de Cordoneado) para reducir el calor aportado.
PRECALENTAMIENTO (QW-406)			
Temperatura de precalentamiento	80 °C		
Temperatura entre pases	110 °C		

PQR 50 Para Procedimiento GMAW (continuación)

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) (De acuerdo a ASME –Boiler and Pressure Vessel Code Sección IX-2007) PQR N° :50	HOJA:	2 de 4
--	-------	--------

PARAMETROS DE SOLDADURA

Pase	Proceso	Metal de Aporte		Tipo y Polaridad	Corriente		Voltage	Velocidad de Avance (mm / min)	Calor Aportado* (kJ / mm)
		Electrodo	Diam (mm)		Amperaje				
1	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	160	200	19.0	212.7	0.91
2	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	265	280	27.5	351.7	1.11
3	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	263	268	28.0	285.8	1.34
4	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	270	290	28.0	334.5	1.25
5	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	270	288	28.0	442.5	0.93
6	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	250	285	28.0	326.6	1.25
7	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	250	275	28.0	274.3	1.43
8	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	250	275	28.0	228.6	1.72
9	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	270	280	28.1	428.6	0.94
10	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	252	280	28.0	391.9	1.02
11	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	270	280	27.9	397.6	1.00
12	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	260	285	27.9	391.9	1.04
13	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	275	285	27.9	403.4	1.00
14	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	290	300	27.9	442.5	0.97
15	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	275	295	27.9	409.4	1.03
16	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	280	300	27.9	435.4	0.98
17	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	285	295	27.9	457.2	0.92
18	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	260	285	27.9	315.3	1.28
19	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	275	295	27.9	397.6	1.05
20	GMAW	ER100S-G	1.1	DCEP	270	285	28.0	375.8	1.08

* El cálculo del calor aportado se hizo considerando una eficiencia térmica de 0.85

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y DESTRUCTIVOS

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS			
TECNICA	RESULTADO		REPORTE / REALIZADO
	Conforme	No Conforme	
Inspección Visual VT	x	---	CWI- N° 8969041 Francisco Yañez Córdoba
Radiografía RT	x	---	FULL QUALITY S.A. RTC-002-12-07 por Angel Rojas a Nivel II SNT-TC-1A
Ultrasonido UT	x	---	FULL QUALITY S.A. USC N° 02.12.07 por Angel Rojas a Nivel II SNT-TC-1A
Partículas Magnéticas	X	---	QUALITEST N° 07:07 POR Manuel Vilca Chávez Nivel II SNT-TC-1A

ENSAYOS DESTRUCTIVOS						
PRUEBA DE TRACCION Realizado por: Laboratorio de Materiales de XXXX						Fecha: 17-12-2007
Especimen de Sección Reducida					Valor Requerido	Resistencia Mínima (MPa)
						780 MPa
MARCA DEL ESPÉCIMEN	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA ROTURA TOTAL (kN)	RESISTENCIA MAX (MPa)	TIPO DE FALLA Y UBICACIÓN
T1	19.08	13.24	252.6	205	812	Rompió en metal de aporte
T2	19.03	13.22	251.6	208.6	829	Rompió en la línea de fusión
T3	19.11	13.17	251.7	206	818	Rompió en metal de aporte
T4	19.14	13.20	252.6	204.5	809	Rompió en la línea de fusión

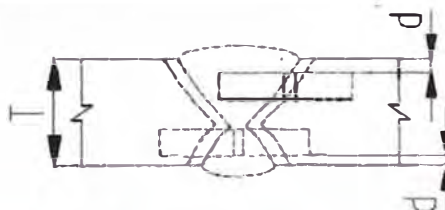
PQR 50 Para Procedimiento GMAW (continuación)

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) <i>(De acuerdo a ASME - Boiler and Pressure Vessel Code Sección IX-2007)</i> PQR N° :50	HOJA: 3 de 4
--	--------------

ENSAYOS DE DOBLEZ GUIADO realizado por: Laboratorio de Ensayos Mecánicos XXXX				FECHA: 21-12-2007
Especimen de 34 mm. x 12.5 mm. x 250 mm.		Diámetro de la Giga 63.5 mm		
MARCA DEL ESPECIMEN	ESPECIMEN		DIRECCION DE DOBLEZ	RESULTADO
	TRASVERSAL	LONGITUDINAL		
DL-1	X	—	LADO	ACEPTABLE
DL-2	X	—	LADO	ACEPTABLE
DL-3	X	—	LADO	ACEPTABLE
DL-4	X	—	LADO	ACEPTABLE

ENSAYO DE IMPACTO realizado por: Laboratorio de Materiales de XXXX				FECHA: 18-12-2007	
Especimen de 10mm. x 10mm. x 55 mm.		VALOR REQUERIDO JOULES 43	PROMEDIO 81		
ESPECIMEN	T (°C)	ENERGIA ABSORBIDA JOULES		EXPANSION LATERAL	RESULTADO
		Individual	Promedio		
MA-1	-20°C	111	117.0	1.41	ACEPTABLE
MA-2	-20°C	120		1.70	ACEPTABLE
MA-3	-20°C	120		1.40	ACEPTABLE
ZAC-1	-20°C	148	146.3	1.61	ACEPTABLE
ZAC-2	-20°C	160		1.73	ACEPTABLE
ZAC-3	-20°C	131		1.61	ACEPTABLE

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE PROBETAS PARA IMPACTO



Donde d = 1.5 mm (máx)

ENSAYO DE DUREZA realizado por: Laboratorio de Materiales de XXXX		FECHA: 08-11-2007
Tipo: Vickers HV10		Máximo Valor Aceptable: 400 HV
PUNTOS DE DUREZA EVALUADOS	UBICACIÓN	VALORES OBTENIDOS
	Muestra S1 - L1 Línea Superior	254, 241, 361, 394, 397, 284, 251, 284, 381, 373, 357, 243, 231.
	Muestra S1 - L2 Línea Central	248, 239, 336, 385, 380, 292, 271, 300, 394, 394, 366, 274, 274.
	Muestra S1 - L3 Línea Inferior	266, 270, 267, 332, 340, 272, 286, 298, 392, 378, 309, 268, 269.
	Muestra S2 - L1 Línea Superior	264, 256, 368, 381, 349, 284, 243, 283, 378, 387, 334, 247, 240.
	Muestra S2 - L2 Línea Central	268, 267, 260, 299, 361, 286, 289, 274, 309, 274, 274, 276, 268.
	Muestra S2 - L3 Línea Inferior	267, 241, 298, 360, 375, 280, 251, 294, 368, 396, 392, 276, 274.

PQR 50 Para Procedimiento GMAW (continuación)

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR) <i>(De acuerdo a ASME -Boiler and Pressure Vessel Code Sección IX-2007)</i> PQR N° :50	HOJA:	4 de 4


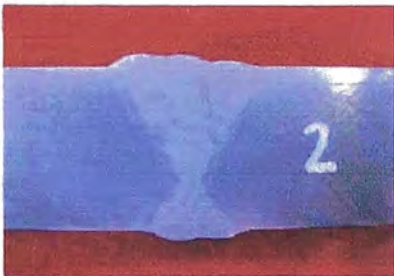
ENSAYO MACROGRAFICO realizado por: Laboratorio de Materiales de PUCP		FECHA: 08-11-2007
Agente de ataque : Nital 10%		Magnificación: 10x
ESPECIMEN N°1: TRASVERSAL A LA SOLDADURA	ESPECIMEN N°2: TRASVERSAL A LA SOLDADURA	
		
RESULTADO: ACEPTABLE	RESULTADO: ACEPTABLE	
OTROS ENSAYOS: _____		
NOMBRE DE SOLDADOR: Gonzalo Espinoza		ESTAMPA No. S-245
LISTA DE DOCUMENTOS REFERENCIALES: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Reporte Radiográfico: RTC 002-12-07 ➤ Reporte de Ultrasonido: USC N° 02.12.07 ➤ Reporte de Partículas Magnéticas QUALITEST N° 07/07 ➤ Reporte de Ensayo de Tracción: N° DIC-0837/2007 por Laboratorio de Materiales XXXX ➤ Reporte de Ensayo de Dobleces : CSTSOL - D0247 - 2007 por Laboratorio de materiales XXXX ➤ Reporte de Ensayo de Impacto : MAT-OCT-0837/2007, por Laboratorio de Materiales XXXX ➤ Reporte de Ensayo de Dureza : MAT-DIC-0837/2007, por Laboratorio de Materiales XXXX ➤ Reporte de Ensayo de Macrografico : MAT-DIC-0837/2007, por Laboratorio de Materiales XXXX 		
Nosotros certificamos que los datos en este registro son correctos y que las probetas fueron preparados, soldados y ensayados de acuerdo con los requerimiento de la Sección IX del Código ASME		
V°B° SUPERVISOR .	V°B° ING. QC	V°B° SUPERVISION

Figura 4.10 - WPS 64 Para Procedimiento GMAW

		FR-QAQC-M04-01	
ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) (De acuerdo a ASME Sección IX-2007) WPS N° 64		HOJA:	1 de 2
		EMISION:	
		REVISION:	

QW-492 - ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)																																										
Proyecto:	EL PLATANAL		Por:																																							
Especificación de Procedimiento No.	WPS N° 64	Fecha:	05/01/2008 PQR de soporte: PQR N° 50																																							
Revisión No.	0	Fecha:																																								
Proceso(s) de soldadura:	GMAW	Tipo:	SEMIAUTOMATICO																																							
JUNTA (QW-402) Diseño de junta: VER DETALLE Respaldo: (Si) <input checked="" type="checkbox"/> X (No) <input type="checkbox"/> Material de respaldo: (Tipo): SOLDADURA <input checked="" type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Refractario <input type="checkbox"/> No metálico <input type="checkbox"/> Otro <small>Esquema, dibujo de fabricación, símbolos de soldadura o descripción escrita debe mostrar el arreglo general de las partes ha ser soldadas. Donde sea aplicable, la apertura de raíz y los detalles de la soldadura debe ser especificada.</small>		Detalles 																																								
METAL BASE (QW-403) N° P: _____ Grupo N°: _____ al N° P: _____ Grupo N°: _____ Otro: Acero no listado por ASME Sección II Parte A -2007 (Solo califica al mismo acero no listado) Especificación de tipo y grado: JIS G 3128 SHY 685 Análisis químico y propiedades mecánicas: 0.18% C; 0.66% Si; 1.2% Mn; 0.025% P; 0.016% S; 0.15-0.60% Cu; 0.16 -1.2% Cr; 0.10 - 0.60% Mo; V <0.10; B < 0.005 Rango de espesores: Metal base: Ranura: 16mm a 68mm Filete: — Diam. Tubo Ranura: — Filete: — Otro																																										
METAL DE APORTE (QW-404) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Especificación N° (SFA)</td> <td>5.28</td> <td></td> </tr> <tr> <td>AWS No (Clase)</td> <td>ER100S-G</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N° F</td> <td>F6</td> <td></td> </tr> <tr> <td>N° A</td> <td>A12</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tamaño del electrodo</td> <td>1.1 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nombre comercial</td> <td>SuperArc LA-100</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Metal depositado</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rango de espesores</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ranura</td> <td>Hasta 68 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Filete</td> <td>—</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fundente (clase)</td> <td>—</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fundente nombre comercial</td> <td>—</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Inserto consumible</td> <td>—</td> <td></td> </tr> </table>				Especificación N° (SFA)	5.28		AWS No (Clase)	ER100S-G		N° F	F6		N° A	A12		Tamaño del electrodo	1.1 mm		Nombre comercial	SuperArc LA-100		Metal depositado			Rango de espesores			Ranura	Hasta 68 mm		Filete	—		Fundente (clase)	—		Fundente nombre comercial	—		Inserto consumible	—	
Especificación N° (SFA)	5.28																																									
AWS No (Clase)	ER100S-G																																									
N° F	F6																																									
N° A	A12																																									
Tamaño del electrodo	1.1 mm																																									
Nombre comercial	SuperArc LA-100																																									
Metal depositado																																										
Rango de espesores																																										
Ranura	Hasta 68 mm																																									
Filete	—																																									
Fundente (clase)	—																																									
Fundente nombre comercial	—																																									
Inserto consumible	—																																									

WPS 64 Para Procedimiento GMAW (continuación)

	ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) (De acuerdo a ASME Sección IX-2007) WPS N° 64	FR-QAQC-M04-01	
		HOJA:	2 de 2
		EMISION:	
		REVISION:	

POSICIONES (QW-405)				TRATAMIENTO DE POST-CALENTAMIENTO				
Posición(es) de ranura		<i>Plana</i>		Rango de temperatura:		150° C - 200° C		
Progresión:		---		Tiempo:		2 horas		
Posición de filete		---		GAS (QW-408)				
PRECALENTAMIENTO (QW-406)				Composición Porcentual %				
Temp. Pre calentamiento	Mín:	80°C		Gas(es)	Mezcla	Flujo		
Temp. Interpase	Máx:	120°C		Protección	Ar - CO ₂	90% - 10%	16.5 - 18.8 (l/min)	
Mantenimiento pre calentamiento:		NINGUNA		Arrastre	NA	NA	NA	
Método de mantenimiento: Quemador de Gas				Respaído	NA	NA	NA	
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)								
Corriente AC o DC		VER TABLA		Polaridad		VER TABLA		
Rango de amperaje		VER TABLA		Rango de voltaje		VER TABLA		
Tamaño y tipo de electrodo de tungsteno			NA					
(Tungsteno puro, 2% toriado, etc)								
Modo de transferencia en GMAW			SPRAY					
(Arco spray, corto circuito, etc)								
Velocidad de alimentación de alambre			VER TABLA					
TÉCNICA (QW-410)								
Pase cordón o tejido			RECTO					
Orificio o tamaño de protección gaseosa			---					
Limpieza inicial y entre pasadas			ESMERILADO Y/O ESCOBILLADO					
Método de resane de raíz			ESMERILADO HASTA EL METAL SANO ANTES DE SOLDAR EL SEGUNDO LADO.					
Oscilación			Sin oscilación					
Distancia de boquilla a pieza de trabajo			6-13 mm					
Pase múltiple o simple			MULTIPLE					
Electrodo simple o múltiple			SIMPLE					
Velocidad de avance (rango)			VER TABLA					
Martilleo			---					
Ctro			---					
Pase N°	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/min)	Calor de Aporte Máximo (kJ/mm)
		Clase	Diam (mm)	Polaridad	Amperaje (A)			
1	GMAW	Super Arc LA-100	1.1	DCEP	160 - 200	19	210 - 215	0.94
2 - N	GMAW	Super Arc LA-100	1.1	DCEP	250 - 300	27 - 28	228 - 442	1.7
V°B° SUPERVISOR QC			V°B° ING. QC.			V°B SUPERVISIÓN QA		

CAPITULO 5

COSTOS DE ELABORACION

Elaborar un procedimiento no solo implica calificar el procedimiento, obtener resultados y si estos no fueron satisfactorios intentar con otros métodos, procesos o materiales de aporte, sino también el costo que ello involucra.

Es importante tener conocimiento de este punto debido a que muchas veces se deja de lado al momento de elaborar un presupuesto económico. La obtención de estos procedimientos no se hizo con una sola prueba sino es el resultado de otras anteriores, con lo cual nos percatamos del alto costo que puede tener una fabricación solo en la elaboración de procedimientos.

Algunos datos tomados para obtener estos costos son referenciales, los que pueden variar de acuerdo a la oferta y demanda del mercado.

5.1 COSTO DEL PROCEDIMIENTO CON EL PROCESO SMAW

Tabla 5.1 - Costo de Preparación de Cupón para WPS 61 (SMAW)		
Material de Aporte		
		37.77
Electrodo E 11018 - G 7.8 \$/kg		
Utilizando 3.39 kg (70% de rendimiento)	37.77	
Material Base		
		118.68
Acero (Q & T) 3 \$ / kg		
Utilizando 39.56 kg (cupón de dimensiones 480 x 300 x 35 mm)	118.68	
Personal a Cargo de la Prueba		
		64
Inspector a Cargo de la Prueba x día	36	
Precio Horas Hombre Soldador (3.5\$/h) x 8 h	28	
Alquiler de equipos x día (inc. accesorios y herramientas electricas)		
		43
Post Calentamiento x 3.49 kg de Gas (Incl. precalentamiento e Inerpases)		
		6.53
Preparacion de Cupón		
		24.50
Operario 6.67 \$/h	6.67	
Gas Propano 1.87\$/kg (x 2 kg)	3.74	
Oxigeno 1.85\$ /m3	1.85	
Disco de Desbaste	2.98	
Disco Lan 7"	9.26	
Ensayos Destructivos (Inc IGV)		
		1531.76
Doblez Guiado	207.61	
Tracción	249.13	
Macrografía	103.81	
Ensayo de Dureza	415.22	
Ensayos charpy V	311.42	
Ensayos no destructivos (inc IGV)		
		41.65
Radiografía (placa de 70 mm x 300 mm)	11.9	
Ultrasonido (por metro lineal)	17.85	
Particulas Magneticas (por metro lineal)	11.9	
Otros		
		22
Disco de corte	1.32	
Escobilla circular	6.68	
Tizas termicas	14.00	
Total (US \$)		1889.90

5.2 COSTO DEL PROCEDIMIENTO CON EL PROCESO SAW

Tabla 5.2 - Costo de Preparación de Cupón para WPS 60 (SAW)		
Material de Aporte		57.36
Alambre OE-SD3 2NiMoCr (3.2mm) : 368.75\$ x rollo de 25 kg.		
Utilizando 2.93 kg (100% de rendimiento)	43.22	
Fundente OP 121 TT/W: 101 \$ x bolsa de 25 kg		
Utilizando 3.5 kg de fundente	14.14	
Material Base		118.68
Acero (Q & T) 3 \$ / kg		
Utilizando 39.56 kg (cupón de dimensiones 480 x 300 x 35 mm)	118.68	
Personal a Cargo de la Prueba		64
Inspector a Cargo de la Prueba x día	36	
Precio Horas Hombre Soldador (3.5\$/h) x 8 h	28	
Alquiler de equipos x día (inc. accesorios y herramientas electricas)		43
Post Calentamiento x 3.49 kg de Gas (incl. precalentamiento e inerpases)		6.53
Preparacion de Cupón		24.50
Operano 6.67 \$/h	6.67	
Gas Propano 1.87\$/kg (x 2 kg)	3.74	
Oxigeno 1.85\$/m3	1.85	
Disco de Desbaste	2.98	
Disco Lan 7"	9.26	
Ensayos Destructivos (inc IGV)		1531.76
Doblez Guiado	207.61	
Tracción	249.13	
Macrografia	103.81	
Ensayo de Dureza	415.22	
Ensayos charpy V	311.42	
Ensayos no destructivos (Inc IGV)		41.65
Radiog (placa de 70 mm x 300 mm)	11.9	
Ultras (por metro lineal)	17.85	
Particulas Magneticas (por metro lineal)	11.9	
Otros		22
Disco de corte	1.32	
Escobilla circular	6.68	
Tizas termicas	14.00	
Total (US \$)		1909.48

5.3 COSTO DEL PROCEDIMIENTO CON EL PROCESO GMAW

Tabla 5.3 - Costo de Preparación de Cupón para WPS 64 (GMAW)		
Material de Aporte		48.13
Alambre Sólido E100S-G Superarc LA1 00 12 \$/ kg.		
Utilizando 2.92 kg (95% de rendimiento)	36.88	
Gas 90% - 10% botella de 10 m3 = 4.50 (\$/m3) usado 1/4 de botella	11.25	
Material Base		108.51
Acero (Q &T) 3 \$ / kg		
Utilizando 36.17 kg (cupón de dimensiones 480 x 300 x 32 mm)	108.51	
Personal a Cargo de la Prueba		64
Inspector a Cargo de la Prueba x día	36	
Precio Horas Hombre Soldador (3.5\$/h) x 8 h	28	
Alquiler de equipos x día (inc. accesorios y herramientas electricas)		43
Post Calentamiento x 3.49 kg de Gas (incl. precalentamiento e inerpases)		6.53
Preparacion de Cupón		24.50
Operario 6.67 \$/h	6.67	
Gas Propano 1.87\$/kg	3.74	
Oxigeno 1.85\$ /m3	1.85	
Disco de Desbaste	2.98	
Disco Lan 7"	9.26	
Ensayos Destructivos (inc IGV)		1531.76
Doblez Guiado	207.61	
Tracción	249.13	
Macrografía	103.81	
Ensayo de Dureza	415.22	
Ensayos charpy V	311.42	
Ensayos no destructivos (inc IGV)		41.65
Radiografía (placa de 70 mm x 300 mm)	11.9	
Ultrasonido (por metro lineal)	17.85	
Particulas Magneticas (por metro lineal)	11.9	
Otros		22
Disco de corte	1.32	
Escobilla circular	6.68	
Tizas termicas	14.00	
Total US \$		1890.09

CONCLUSIONES

- 1. El WPS 60 (proceso SAW) es el procedimiento principal para soldar en fabricación tanto por las buenas propiedades mecánicas obtenidas como por la alta tasa de deposición ofrecida.**
- 2. El WPS 61 (proceso SMAW) para eliminar poder eliminar posibles problemas de fisuración en el metal de aporte, se sugiere el uso de un electrodo con un bajo contenido de hidrógeno, menor a 4 ml / 100gr de metal de aporte.**
- 3. Tanto para el WPS 60 como para el WPS 61 es importante mantener los materiales de aporte y fundentes en hornos y no dejar estos a la intemperie para evitar posibles fallas por fisuración por hidrógeno.**
- 4. El WPS 64 (proceso GMAW) requiere tener presente por parte del soldador y el ingeniero, antes de aplicarlo, la regulación de los valores de corriente, extensión de alambre, flujo de gas protector, condiciones ambientales (viento que puede producir porosidades); así como una**

buena aplicación del temper bead weld para evitar posibles discontinuidades.

5. El control del precalentamiento, temperatura interfase y post calentamiento (con tizas térmicas probando en las posiciones adyacentes al cordón de soldadura) es importante para lograr con estos procedimientos juntas soldadas sanas.
6. El acero JIS G 3128 SHY 685, es un acero templado y revenido al cual se le aplicó la Sección VIII del Código ASME, no siendo esta la norma correspondiente para la fabricación de tubería forzada, sin embargo esta fabricación se ajusta a los requerimientos de los recipientes a alta presión.
7. El código de soldadura es el que nos da los mínimos requerimientos en la fabricación y en la elaboración de procedimientos. De acuerdo al criterio y las buenas practicas de soldadura otros requerimientos pueden ser necesarios para asegurar la sanidad de la soldadura (como el caso de los ensayos de dureza que el código no indica, pero son aplicados por lo crítico que es el material base al ser sometido a calentamientos).
8. El precio de los ensayos destructivos y no destructivos en la elaboración de procedimientos es aproximadamente el 80% del costo total. Es importante tomar cuidado de las condiciones a las cuales desarrollamos los ensayos y tener las herramientas necesarias disponibles, así como

en la limpieza durante la fabricación, pues el costo de una falla por un mal trabajo es considerable.

9. Los costos para una calificación de soldadura siempre deben ser tomados en cuenta al momento de realizar un presupuesto y más aún cuando se suelda con aceros templados y revenidos u otros que requieran tratamientos térmicos después de su soldadura.


BIBLIOGRAFIA

- ASME, "ASME Boiler & Pressure Vesel Code, Section VIII – Division 1, Rules for constrution of Pressure Vessels ", Edition -2007
- ASME, "ASME Boiler & Pressure Vesel Code, Section IX – Welding and Brazing Qualifications", Edition - 2007.
- AWS, "Certification Manual for Melding Inspectors", Fourth Edition – 2000.
- AWS, "Structural Welding Code- Steel – AWS D1.1", Edition 2006.
- AWS, "Welding Inspector Handbook", 3°Edition - 2000
- Björn Larsson and Tomas Berglund, "Handbook on Welding of Oxelösund steels", October – 1992.
- Carlos Fosca, "Introducción a la Metalurgia de la Soldadura", 7° Edición – Julio 2007.
- German Hernández Riesco, " Manual del Soldador", CESOL 16ª Edición - 2006
- Lincoln Electric, "The Procedure Handbook of Arc Welding" Lincoln Electric Company , 1995 - Vol.1
- Michael J. Houle, "CASTI Guidebook to ASME Section IX", Casti Publishig Inc. 2° Edition- 1999.

- R Scott Funderburk, "Fundamentals of Preheat", Welding Innovation Vol. XIV, N°2 1997.
- R Scott Funderburk, "The Importance of Interpass Temperature", Welding Innovation Vol. XV, N°1 1998.
- R Scott Funderburk, " Postweld Heat Treatment", Welding Innovation Vol. XV, N°1 1998.
- Sumitomo Metals, "Steel Plates for Penstock" , Octubre - 2006.
- Sumitomo Metals, "Steel Plates", Noviembre – 2004.
- ESAB, "Soldar CONARCO", Año XXVII N° 125 , Setiembre – 2006.
- JIS G 3128, "High Yield Strength Steel Plates for Welded Structure", 1999

ANEXOS

A. HOJAS TECNICAS DE MATERIALES DE APORTE

OERLIKON		TENACITO 110			
Básicos de Baja Aleación Revestimiento Simple					
Color de Revestimiento: Gris Oscuro	Depósitos de altísima resistencia a la tracción	Extremo : --	Punta : --	Grupo : --	
Normas:					
AWS/AASME A5.5 - 96			DIN 8529		
E 11018 - G			Y 69 75 Mn 2 NiCrMo B H5		
Análisis Químico del Metal Depositado (%):					
C	Mn	Si	Mo	Ni	
0.06	1.50	0.25 - 0.50	0.20	1.00	
Características:					
<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo con contenido de hierro en polvo en su revestimiento. • Depósito de Bajo Hidrógeno, con alta resistencia a la tracción aún a temperaturas bajo cero. • Empleo mejorado en distintas posiciones. • Los cordones depositados responden a las Normas para inspección por Rayos X. 					
Resecado:					
Cuando el electrodo ha estado expuesto excesivamente a la intemperie, resecar a 300 - 350°C durante 2 horas.					
Propiedades Mecánicas:					
Resistencia a la Tracción	Limite Elástico	Ch V +20°C	Elongación en 2"		
820 - 882 N/mm ²	765 - 805 N/mm ²	> 110 J	15 - 18 %		
119 000 a	111 000 a				
128 000 lb/pulg ²	117 000 lb/pulg ²				
Posiciones de Soldar:					
P.H. Sc. Vd.					
Corriente y Polaridad:					
Para corriente alterna o continua - Electrodo al polo positivo					
Ø	3/32"	1/8"	5/32"	3/16"	1/4"
	2.5 mm	3.25 mm	4.0 mm	5.0 mm	6.30 mm
Amp. mín.	75	90	110	160	230
Amp. máx.	90	160	230	310	410
Aplicaciones:					
<ul style="list-style-type: none"> • Para soldar aceros de alta resistencia a la tracción. • Para soldar aceros Tipo TI A, TI B. • Para aceros Siderpenú Grado 60. • Tijerales. • Como base de revestimiento protector. 					

Super Arc[®] LA-100

Low Alloy MIG Wire (AWS: ER100S-G, ER110S-G Military: MIL-100S-1)

Super Arc[®] LA-100, our premium copper coated, low alloy MIG wire is designed for use on 100,000 psi (690 MPa) tensile base material and those materials that require a minimum yield strength of 82,000 psi (565 MPa). Excellent for welding on ASTM A514, A543, A724 and A782 quenched and tempered plate or HY-80 base material. LA-100 provides excellent impact properties under higher heat input conditions. Best mechanical properties are achieved with an 98-95% argon, 2-5% oxygen shielding gas blend or 95% argon/5% carbon dioxide. Also meets MIL-E-23765/2C, /2D, /2E specifications as a MIL-100S-1 classification.

Advantage Lincoln

- MicroGuard[®] surface treatment for superior feeding and arc enhancement agents for excellent arc stability.
- Copper coating provides superior arc-starting characteristics, for long contact tip life and is manufactured not to flake, which can clog liners and contact tips.
- Will support all of the traditional modes of GMAW metal transfer: short-circuiting, globular, axial spray, and pulsed spray transfer.
- Well suited for applications where accurate and consistent wire feeding is necessary.
- Excellent yield strengths and impact properties.
- Manufactured to standards for ISO 14001 environmental and ISO 9001 quality management systems.

Typical Applications

- Designed for optimum performance when welding on HY-80 and ASTM A514 steels.
- For use on 100,000 psi (690 MPa) tensile strength base material such as military ships and submarines.
- May be used in single arc or Tandem GMAW applications.

Welding Positions



Shielding Gas

95-98% Ar/Balance O₂
75-95% Ar/Balance CO₂
Flow Rate: 30-50 CFH

Conformance

AWS A5.28: ER100S-G, (ER110S-G)
ASME SFA-5.28: ER100S-G, (ER110S-G)
MIL-E-23765/2C, /2D, and /2E: MIL-100S-1
CWB A5.28: ER100S-G

MECHANICAL PROPERTIES - As required per AWS A5.28

Test Conditions	Tensile Strength psi (MPa)	Yield Strength psi (MPa)	Elongation (%)	Charpy V-Notch, (Ft/Lb) (J)	
				@ 0°F (-18°C)	@ -50°F (-31°C)
Requirements					
ER 100S-G per AWS A5.28 AW - gas not specified	100,000 min. (689)	Not Specified	Not Specified	Not Specified	Not Specified
ER 110S-G per AWS A5.28 AW - gas not specified	110,000 min. (758)	Not Specified	Not Specified	Not Specified	Not Specified
MIL-100S-1 per MIL-E-23765/2C, 2D AW with 98%Ar/2%O ₂	Not Specified	82,000-110,000 (365-758)	16 min.	60 min. (81)	35 min. (47)
Actual Test Results					
AW @ 30 KJ/in. with 98%Ar / 2%O ₂	122,000 (841)	117,000 (807)	21	130 (176)	110 (149)
AW @ 45 KJ/in. with 98%Ar / 2%O ₂	113,000 (779)	100,000 (689)	18	—	54 (73)
AW @ 110 KJ/in. with 98%Ar / 2%O ₂	110,000 (758)	92,200 (638)	22	113 (153)	58 (79)
AW @ 45 KJ/in. with 90%Ar / 10%CO ₂	114,000 (786)	100,000 (689)	24	125 (169)	90 (122)

AW - As welded.

Super Arc[®] LA-100

Low Alloy MIG Wire (AWS: ER100S-G, ER110S-G Military: MIL-100S-1)

WIRE COMPOSITION - As required per AWS A5.29

	%C	%Mn	%Si	%Ni	%Mo	%Cr	%S	%P	%V	%Al	%Ti	%Zr	%Cu
AWS Requirements	0.08 max.	1.25-1.80	0.20-0.55	1.40-2.10	0.26-0.55	0.30 max.	0.008 max.	0.012 max.	0.05 max.	0.10 max.	0.19 max.	.10 max.	0.30 max.
Typical Results	0.06-0.06	1.55-1.70	0.40-0.50	1.80-2.00	0.40-0.50	0.02-0.05	0.003-0.005	0.005-0.007	0.002-0.010	≤0.01	0.02-0.04	0.02-0.05	.10-20

DIAMETERS / PACKAGING

Diameter Inches (mm)	33 Lb. (15 kg) Steel Spool	44 Lb. (20 kg) Steel Spool	60 Lb. (27 kg) Coil	500 Lb. (228 kg) Acco-Trak Drum
.035 (0.9)		EDS30778		
.045 (1.1)	ED051417	EDS30779	ED010085	EDS01162
.052 (1.3)		EDS30780		
1/16 (1.6)			ED010090	

TYPICAL OPERATING PROCEDURES

Diameter, Polarity CTWD ¹⁾ Transfer Mode Shielding Gas	Wire Feed Speed in/min (cm/min)	Arc Voltage (volts)	Approx. Current (amps)	Melt-Off Rate lb./hr (kg/hr)
.035" (0.9mm), DC+ 3/8-1/2" (9-12mm) Short Circuit Transfer 75% Ar/25% CO ₂ ²⁾ Spray Transfer 90% Ar/10% CO ₂	100 (2.5)	18	80	1.6 (0.7)
	150 (3.8)	19	120	2.4 (1.1)
	250 (6.4)	22	175	4.0 (1.8)
	375 (9.5)	23	195	6.0 (2.7)
	500 (12.7)	29	250	8.0 (3.6)
600 (15.2)	30	275	9.6 (4.4)	
.045" (1.1mm), DC+ 1/2-3/4" (12-19mm) Pulsed Spray Transfer ³⁾ Spray Transfer 98% Ar/2% O ₂ 95% Ar/5% CO ₂	200 (5.1)	19-21	130	5.4 (2.4)
	250 (6.4)	20-23	140	6.7 (3.0)
	350 (8.9)	27	285	9.2 (4.2)
	475 (12.1)	30	335	12.5 (5.7)
	500 (12.7)	30	340	13.2 (6.0)
.052" (1.3mm), DC+ 1/2-1" (12-25mm) Spray Transfer 98% Ar/2% CO ₂ 95% Ar/5% CO ₂	210 (5.3)	25	325	10.7 (4.8)
	235 (6.0)	27	350	12.0 (5.4)
	290 (7.4)	28	430	14.8 (6.7)

¹⁾ CTWD (Contact Tip to Work Distance). Subtract 1/4" to calculate Electrical Stickout.

²⁾ Procedures in the shaded area are procedures for short circuiting mode using 75% argon, 25% CO₂.

³⁾ Procedures in the shaded area are for pulse MIG mode for welding in the vertical up and overhead welding positions. Actual results are dependent on joint, material thickness, as well as waveform and pulse frequency.

OP 121 TT W

Tavivo pre zváranie pod tavivom
Welding flux for submerge-arc process
Topniks pawałniczy do spawania łukiem krytym



Fluorid-bazické, Fluoride-basle type, Typ fluoridovo-zasadový

Standards: EN 760 SA FB 1 55 AC
DIN 32522 B FB 1 55 AC 10 MHP 7

BK Typ a vlastnosti:
OP 121 TT je aglomerované tavivo fluoro-bazického typu pre zváranie vysokopevnostných jemnozrnných oceľí, oceľí pre kryogénne podmienky a oceľí odolných voči starnutiu. Pre svoj neustály pomer vzťahom ku zvyšáru obsahu a prepalu kremíka a mangánu je vhodné použiť zväradobú s vyšším obsahom Si a Mn (OE-Ni 36 R, OE-SD 3). Tavivo je vhodné pre zváranie tandemové a vracanými drôti. Na základe privedených CVD testov v kombinácii so zväradím drôtom OE-D 3 je tavivo OP 121 TT použiteľné pre zváranie prvkov offshore konštrukcií. Zvarový kov vyrobený v kombinácii s odpovedajúcim drôtom spĺňa vysoké požiadavky na užívateľca za nízkych teplot. OP 121 Troska je krása, zn. je možné zvárať veľké diely s malým priemerom, bez nebezpečenstva odpadutia trosky. Tvori rovnomenne bravené zvary bez zúženia bez vrstiev a prechodov materiálu, je možné zvárať s jednosmerným (pól) i striedavým prúdom do 1000 A. Viské tavivo dosahuje pri 300-350 °C. Zmrázka podľa DIN EN 760: 2-20.

GB Type and characteristics:
OP 121 TT W is an agglomerated fluoride-basic type flux most suited for welding of high-strength fine grain structural steels, as well as cryogenic steels and steels resistant to ageing. Owing to its neutral behaviour as to the pick-up and burn-out of the elements silicon and manganese, it is advisable to use wire electrodes having a higher silicon and manganese content. The flux is particularly well-suited to welding with tandem and multi-wire processes. As a result of the COD test carried out with wire electrodes OE-SD3, OE-S2 Mo, it is widely used for welding offshore components. The resulting slag is short allowing circumferential welding on small-diameter parts without the risk of uncontrolled slag. Regularly shaped welds are deposited without reduction of area or undercut. The flux can be welded on DC (+pole) and AC at up to approximately 1000A. Damp flux must be re-dried at 300-350 °C. Grain size according to EN 760: 2-20.

POL Zastosowanie i własności:
OP 121 TT to aglomerowany topnik fluoridowo-zasadowy najbardziej przydatny do spawania wysoce wytrzymałych drobnozrnnych stali konstrukcyjnych, jak również stali kropeń, cynych i odpornych na starzenie. Dzięki swemu neutralnemu zachowaniu w kwestii przetrzywania do metalu manganu i wypożyczenia pierwiastków krzemu i manganu, Topnik jest szczególnie przydatny do spawania w procesie typu tandem i wielo-drutowym. W wyniku testu COD przeprowadzonego dla drutów OE-SD3, OE-S2 Mo, jest on powszechnie używany do spawania konstrukcji przybrzeżnych. Powstający żużel jest krótki, co pozwala na spawanie osiadowe części o małych średnicach bez ryzyka żużla niekontrolowanego. Regularnego kształtu spoiny uzyskuje się bez redukcji przekroju i podcięć. Topnik jest przydatny do użytku przy dodatniej biegunowości prądu stałego lub prądzie przemiennym do około 1000A. Topnik w temp. 300-350°C. Zmrażalność według DIN EN 760: 2-20.

Main constituents:

SiO ₂ + TiO ₂	CaO + MgO	Al ₂ O ₃ + MnO	CaF ₂
13 %	40 %	20 %	25 %

Grain size according to Bonalderstad: approx. 3.1

Approval: DB, Controls, ABS, BV, DNV, GL, LRS, RS, TÜV, TÜV Austria

Packing: PE-values bags of 40kg

OP 121 TT W

Basic and semi-basic flux for a alloy and non-alloy steels



Fluoride-basic type

All-weld metal analysis (typical values in %):

With wire electrode	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
OE-S2	0.07	0.97	0.26	0.03	0.04	0.01
OE-SD3	0.08	1.35	0.29	0.04	0.03	0.01
OE-S2Mo	0.07	0.99	0.24	0.05	-	0.44
OE-S2 CrMo1	0.06	0.90	0.25	1.0	-	0.5
OE-S1 CrMo2	0.07	0.65	0.25	2.2	-	1.0
OE-SD3 1N Mo	0.07	1.32	0.29	0.02	0.79	0.17
OE-S2 Ni2	0.06	0.90	0.25	-	2.0	-
OE-S3 NiMo-1	0.11	1.75	0.21	0.03	1.01	0.52

Mechanical properties of all-weld metal (single values are typical values):

With wire electrode	Heat treat. (norm)	Tensile strength (N/mm ²)	Yield strength (N/mm ²)	Elongation A ₅ (%)	Impact energy (ISO-V) (Joule)			
					0 °C	-20 °C	-40 °C	-60 °C
OE-S2	AW	450-550	>380	>22	>160	>100		
OE-SD3	AW	540-640	>450	>24	>180	>140	>100	>70
OE-S2Mo	AW	580-680	>500	>20	>120	>100	>60	
OE-S2 CrMo1	PWHI	530-630	>380	>24	>150			
OE-S1 CrMo2	PWHI	550-650	>450	>22	>100			
OE-S1 CrMo2	PWHI	550-650	>450	>20	>90			
OE-SD3 1N Mo	AW	600-700	>500	>20	>160	>140	>120	>100
OE-S2 Ni2	PWHI	500-600	>430	>26	>180	>150	>120	>90

AW = as welded

Materials for instance:

EN-Designation	DIN-Designation	For materials joints welds, typical values for as-welded condition
S1 PM60	S1 E 460	OE-SD 3
16Mo3	16 Mo 3	OE-S2 Mo

Type of current/polarity/welding positions:

OERLIKON

OERLIKON-WELDING LTD
NEUBRUNNENSTRASSE 50
8000 ZÜRICH/SWITZERLAND

Certificate of Quality
DIN 50 049-2.2 / EN 10 204-2.2

EXSA S.A.
R.U.C. 20100094135
ANTIGUA PANAMERICANA SUR KM 35,5
LURIN, LIMA 16
Peru

Job Bestell Nr / Job order no / commande no:
4500005680

Delivery: 18.05.2007

Für die von uns gelieferten Schweißzusatzwerkstoffe bestätigen wir folgende Eigenschaften:
We confirm the following properties for this delivery of welding consumables
Nous confirmons comme suit les propriétés des produits de soudage livrés:

Elektrode/Electrode/Electrode	Durchmesser/Diameter/Diamètre (mm)	3.2
Draht/Wire/Fil	Länge/Length/Longueur (mm)	
Flux/Flux/Flux	Chargen-Nr./Batch no./Charge no.	4879

Chemische Analyse des Drahtes (%)
Chemical analysis of the wire (%)
Analyse chimique du fil (%)

KGS	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
50	0.13	0.19	1.52	0.011	0.007	0.66	0.54	2.43	0.009
V	Ti	Sn	Nb	Zr	Pb	As	Ta	Cu steel	
0.001	0.000							0.07	

Bemerkungen/Comments/Remarques

SPCOLS B/25 KG

CLASSIFICATION: AWS / ASME SFA 5.23 EG

Job: 2007 / DBR A Fritsch
Job 2120

OERLIKON-WELDING LTD
E1

AIR LIQUIDE



Making our planet more productive™

PRAXAIR'S STARGOLD™ C-5 AND C-10 – ARGON/CARBON DIOXIDE BLENDS FOR CONVENTIONAL AND PULSED SPRAY GMAW (MIG/MAG WELDING)

Argon mixtures containing from 5-10% CO₂ by volume, are used for conventional and pulsed spray transfer welding of carbon and low alloy steels. Welds are less oxidized than those made with argon/oxygen blends and the penetration profile is broader. Bead shape is good. Weld metal mechanical properties are excellent. Welding fume levels are low with both solid and metal-cored wires. These mixtures can also be used for short-circuiting metal transfer on thin gauge material. At lower CO₂ levels, care should be taken in selection of welding parameters in the short-circuiting mode to ensure adequate heat is available for acceptable penetration.

* Always refer to the wire manufacturer's recommendation for shielding gas selection.

These gas blends can also be used with specially designed low fuming, flux-cored wires. * Depending upon the wire selected, excellent all-position performance can be obtained with a minimum level of welding fume. In some applications, when either metal-cored or these special all-position flux-cored wires are used with Ar/low CO₂ blends, it is possible to complete multiple pass weld procedures without chipping or deslagging between passes. ** Argon/carbon dioxide shielding gases can be readily mixed from liquid (bulk) storage tanks for reduced gas supply costs or supplied premixed in standard high pressure cylinders.

** Up to three passes.

Product Features

Praxair's StarGold™ C-5 gas blend is primarily used for pulsed spray transfer welding of plain carbon and low alloy steels:

- Lower CO₂ content.
- High argon content.

Praxair's StarGold C-10 gas blend is primarily used for spray transfer with solid and metal-cored wires:

- Slightly increased CO₂ content for improved puddle fluidity and broader penetration.
- Improved short arc performance.

Benefits

- Faster freezing weld puddle for all position welding.
- Good arc starting and stability in pulsed spray.
- Excellent weld metal mechanical properties.
- Low spatter and fume levels.

- Improved bead wetting and shape with fewer weld defects.
- Good arc stability.
- Lower fume levels compared with other argon/carbon dioxide blends and CO₂.
- Controlled penetration for good gap bridging.
- Offer improved penetration when compared to Ar/O₂ blends.

Typical Applications

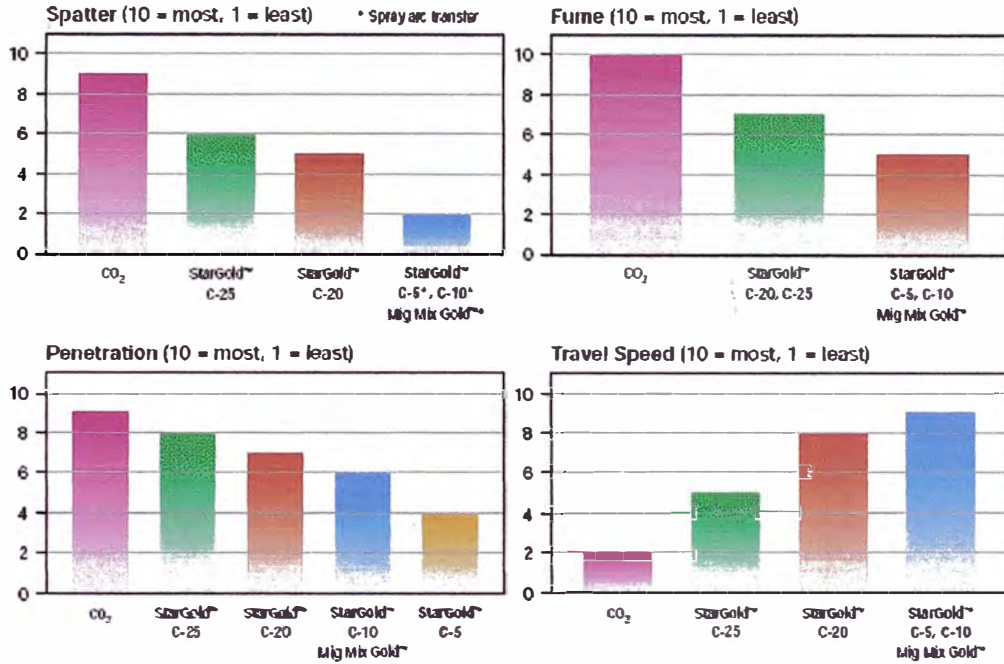
- Praxair's StarGold C-5 gas blend – for all-position pulsed spray welding of thin and heavy carbon and low alloy steels such as HY-80.
- Praxair's StarGold C-10 gas blend – for conventional spray arc welding using either solid, metal-cored, or specially developed flux-cored wires, of farm implements, machinery and structural members where broader penetration is desired.

- Praxair's StarGold C-10 gas blend – for use with metal-cored wires in all applications. Arc stability is excellent and penetration is improved over argon blends with less CO₂ or with oxygen additions.
- Praxair's StarGold C-10 gas blend – for bridging gaps on light gauge material using short arc transfer.

Performance Characteristics

Illustrated below are comparisons between shielding gas blends used with ER70S-3 and ER70S-6 solid wire electrodes over a range of current levels.

They are intended to provide suggestions for gas blend selection based on the criteria indicated.



Note: The selection of the appropriate shielding gas can become quite complex due to the large variety of operating conditions (base metal chemistry and thickness, metal transfer, wire

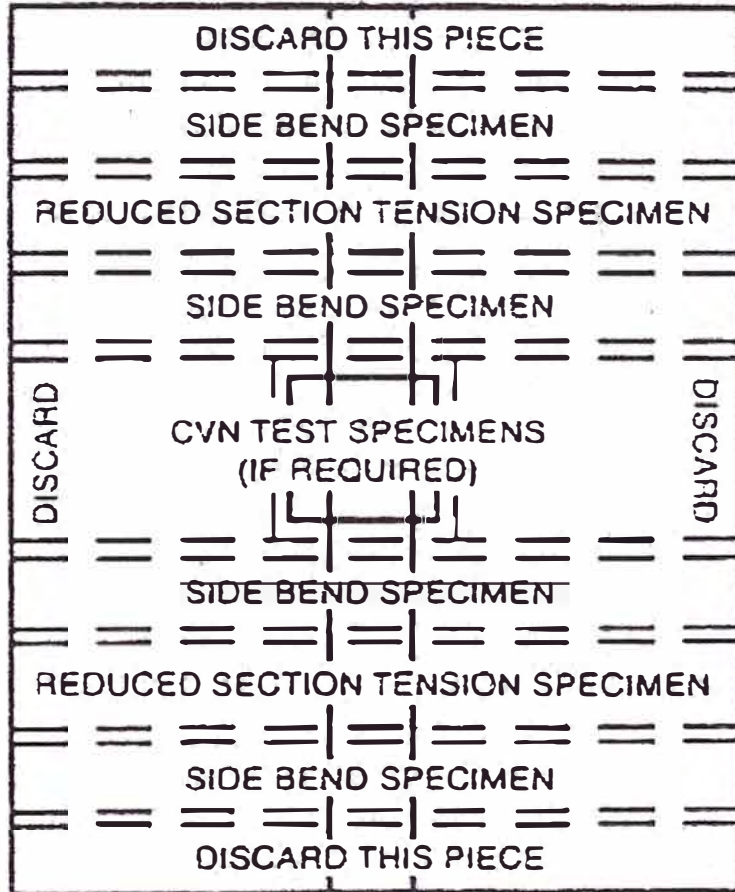
selection, welding position, etc). Please consult with your Praxair representative for the best option available for your application.

Welding Conditions Selection Table

Wire diameter (inches)	Wire feed speed (ipm)	Current level (amps)	Voltage (volts)*
0.035 (0.9 mm)	275-400	100-150 (pulsed)	18-22 (average)
0.035 (0.9 mm)	275-400	100-175 (short arc)	16-20
0.035 (0.9 mm)	350-550	175-220 (spray)	26-28
0.045 (1.2 mm)	150-280	100-175 (short arc)	17-20
0.045 (1.2 mm)	200-250	175-200 (pulsed)	20-24 (average)
0.045 (1.2 mm)	300-500	260-320 (spray)	27-30
0.063 (1.6 mm)	150-300	250-400 (spray)	29-32

* Voltage level for 60 Hz power supply. With 50 Hz, add 3 volts.

B. POSICIONES PARA EXTRAER ESPECIMENES PARA ENSAYOS MECANICOS (SUGERIDO)



C. LIMITES DE ESPESOR DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS Y ESPECIMENES DE ENSAYO (ASME, SECCION IX)

QW-450 SPECIMENS

QW-451 Procedure Qualification Thickness Limits and Test Specimens

QW-451.1 GROOVE-WELD TENSION TESTS AND TRANSVERSE-BEND TESTS

Thickness T of Test Coupon, Welded, In. (mm)	Range of Thickness T of Base Metal, Qualified, in. (mm) [Notes (1) and (2)]		Maximum Thickness t of Deposited Weld Metal, Qualified, in. (mm) [Notes (1) and (2)]	Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) [Note (2)]			
	Min.	Max.		Tension, QW-150	Side Bend, QW-160	Face Bend, QW-160	Root Bend, QW-160
Less than $\frac{3}{16}$ (1.5)	T	$2T$	$2t$	2	...	2	2
$\frac{1}{16}$ to $\frac{3}{8}$ (1.5 to 10), incl.	$\frac{3}{16}$ (1.5)	$2T$	$2t$	2	Note (5)	2	2
Over $\frac{3}{8}$ (10), but less than $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2t$	2	Note (5)	2	2
$\frac{3}{4}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
$\frac{3}{4}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	$2T$	$2T$ when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	8 (200) [Note (3)] when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
Over 6 (150)	$\frac{3}{16}$ (5)	$1.33T$ [Note (3)]	$2t$ when $t < \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
Over 6 (150)	$\frac{3}{16}$ (5)	$1.33T$ [Note (3)]	$1.33T$ [Note (3)] when $t \geq \frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	...	...

NOTES:

- (1) The following variables further restrict the limits shown in this table when they are referenced in QW-250 for the process under consideration: QW-403.9, QW-403.10, QW-404.32, and QW-407.4. Also, QW-202.2, QW-202.3, and QW-202.4 provide exemptions that supersede the limits of this table.
- (2) For combination of welding procedures, see QW-200.4.
- (3) For the SMAW, SAW, GMAW, and GTAW welding processes only; otherwise per Note (1) or $2T$, or $2t$, whichever is applicable.
- (4) See QW-151.1, QW-151.2, and QW-151.3 for details on multiple specimens when coupon thicknesses are over 1 in. (25 mm).
- (5) Four side-bend tests may be substituted for the required face- and root-bend tests, when thickness T is $\frac{3}{8}$ in. (10 mm) and over.

D. LISTA PARCIAL DE CLASIFICACION DE MATERIALES SEGÚN SUS NUMEROS "P" Y "S" (ASME, SECCION IX)

QW/QB-422 FERROUS/NONFERROUS P-NUMBERS AND S-NUMBERS
Grouping of Base Metals for Qualification

Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi (MPa)	Ferrous						Nominal Composition	Product Form
				Welding				Brazing			
				P- No.	Group No.	S- No.	Group No.	P- No.	S- No.		
SA-36		K02600	58 (400)	1	1			101		C-Mn-Si	Plate, bar & shapes
SA-53	Type F		48 (330)	1	1			101		C	Furnace welded pipe
SA-53	Type S, Gr. A	K02504	48 (330)	1	1			101		C	Smls. pipe
SA-53	Type E, Gr. A	K02504	48 (330)	1	1			101		C	Resistance welded pipe
SA-53	Type E, Gr. B	K02005	60 (415)	1	1			101		C-Mn	Resistance welded pipe
SA-53	Type S, Gr. B	K02005	60 (415)	1	1			101		C-Mn	Smls. pipe
SA-105		K03504	70 (485)	1	2			101		C	Flanges & fittings
SA-106	A	K02501	48 (330)	1	1			101		C-Si	Smls. pipe
SA-106	B	K02006	60 (415)	1	1			101		C-Mn-Si	Smls. pipe
SA-106	C	K02501	70 (485)	1	2			101		C-Mn-Si	Smls. pipe
A 108	1015 CW	G10150	60 (415)			1	1	101		C	Bar
A 108	1018 CW	G10180	60 (415)			1	1	101		C	Bar
A 108	1020 CW	G10200	60 (415)			1	1	101		C	Bar
A 108	0620 CW	G06200	90 (620)			3	3	102		0.5Ni-0.5Cr-Mn	Bar
SA-134	SA283 Gr. A		45 (310)	1	1			101		C	Welded pipe
SA-134	SA283 Gr. B		50 (345)	1	1			101		C	Welded pipe
SA-134	SA283 Gr. C	K02401	55 (380)	1	1			101		C	Welded pipe
SA-134	SA283 Gr. D	K02702	60 (415)	1	1			101		C	Welded pipe
SA-134	SA285 Gr. A	K01700	45 (310)	1	1			101		C	Welded pipe
SA-134	SA285 Gr. B	K02200	50 (345)	1	1			101		C	Welded pipe
SA-134	SA285 Gr. C	K02901	55 (380)	1	1			101		C	Welded pipe
SA-135	A		48 (330)	1	1			101		C	E.R.W. pipe
SA-135	B		60 (415)	1	1			101		C	E.R.W. pipe
A 139	A		48 (330)			1	1	101		C	Welded pipe
A 139	B	K02003	60 (415)			1	1	101		C	Welded pipe
A 139	C	K02004	60 (415)			1	1	101		C	Welded pipe
A 139	D	K02010	60 (415)			1	1	101		C	Welded pipe
A 139	E	K02012	66 (455)			1	1	101		C	Welded pipe
A 148	90-60		90 (620)			4	3	103			Castings
A 167	Type 302B	S30215	75 (515)			8	1	102		18Cr-8Ni-2Si	Plate, sheet & strip
A 167	Type 308	S30800	75 (515)			8	2	102		20Cr-10Ni	Plate, sheet & strip
A 167	Type 309	S30900	75 (515)			8	2	102		23Cr-12Ni	Plate, sheet & strip
A 167	Type 310	S31000	75 (515)			8	2	102		25Cr-20Ni	Plate, sheet & strip
SA-178	A	K01200	47 (325)	1	1			101		C	E.R.W. tube

QW/QB-422 FERROUS/NONFERROUS P-NUMBERS AND S-NUMBERS (CONT'D)
Grouping of Base Metals for Qualification

Ferrous (CONT'D)											
Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi (MPa)	Welding				Brazing		Nominal Composition	Product Form
				P- No.	Group No.	S- No.	Group No.	P- No.	S- No.		
SA-178	C	K03503	60 (415)	1	1	...	...	101	...	C	E.R.W. tube
SA-178	D	...	70 (485)	1	2	...	...	101	...	C-Mn-Si	E.R.W. tube
SA-179	...	K01200	47 (325)	1	1	...	...	101	...	C	Smls. tube
SA-181	Cl. 60	K03502	60 (415)	1	1	...	...	101	...	C-Si	Pipe flange & fittings
SA-181	Cl. 70	K03502	70 (485)	1	2	...	...	101	...	C-Si	Pipe flange & fittings
SA-182	F12, Cl. 1	K11562	60 (415)	4	1	...	...	102	...	1Cr-0.5Mo	Forgings
SA-182	F12, Cl. 2	K11564	70 (485)	4	1	...	...	102	...	1Cr-0.5Mo	Forgings
SA-182	F11, Cl. 2	K11572	70 (485)	4	1	...	...	102	...	1.25Cr-0.5Mo-Si	Forgings
SA-182	F11, Cl. 3	K11572	75 (515)	4	1	...	...	102	...	1.25Cr-0.5Mo-Si	Forgings
SA-182	F11, Cl. 1	K11597	60 (415)	4	1	...	...	102	...	1.25Cr-0.5Mo-Si	Forgings
SA-182	F2	K12122	70 (485)	3	2	...	...	101	...	0.5Cr-0.5Mo	Forgings
SA-182	F1	K12822	70 (485)	3	2	...	...	101	...	C-0.5Mo	Forgings
SA-182	F22, Cl. 1	K21590	60 (415)	5A	1	...	...	102	...	2.25Cr-1Mo	Forgings
SA-182	F22, Cl. 3	K21590	75 (515)	5A	1	...	...	102	...	2.25Cr-1Mo	Forgings
SA-182	FR	K22035	63 (435)	9A	1	...	...	101	...	2Ni-1Cu	Forgings
SA-182	F21	K31545	75 (515)	5A	1	...	...	102	...	3Cr-1Mo	Forgings
SA-182	F3V	K31830	85 (585)	5C	1	...	...	102	...	3Cr-1Mo-V-Ti-B	Forgings
SA-182	F3VCb	...	85 (585)	5C	1	...	...	102	...	3Cr-1Mo-0.25V-Cb-Ca	Forgings
SA-182	F22V	K31835	85 (585)	5C	1	...	...	102	...	2.25Cr-1Mo-V	Forgings
SA-182	F5	K41545	70 (485)	5B	1	...	...	102	...	5Cr-0.5Mo	Forgings
SA-182	F5a	K42544	90 (620)	5B	1	...	...	102	...	5Cr-0.5Mo	Forgings
SA-182	F9	K90941	85 (585)	5B	1	...	...	102	...	9Cr-1Mo	Forgings
SA-182	F91	K90901	85 (585)	5B	2	...	...	102	...	9Cr-1Mo-V	Forgings
SA-182	F6a, Cl. 1	S41000	70 (485)	6	1	...	...	102	...	13Cr	Forgings
SA-182	F6a, Cl. 2	S41000	85 (585)	6	3	...	...	102	...	13Cr	Forgings
SA-182	FXM-19	S20910	100 (690)	8	3	...	...	102	...	22Cr-13Ni-5Mn	Forgings
SA-182	FXM-11	S21904	90 (620)	8	3	...	...	102	...	21Cr-6Ni-9Mn	Forgings
SA-182	F304	S30400	70 (485)	8	1	...	...	102	...	18Cr-8Ni	Forgings > 5 in. (127 mm)
SA-182	F304	S30400	75 (515)	8	1	...	...	102	...	18Cr-8Ni	Forgings
SA-182	F304L	S30403	65 (450)	8	1	...	...	102	...	18Cr-8Ni	Forgings > 5 in. (127 mm)
SA-182	F304L	S30403	70 (485)	8	1	...	...	102	...	18Cr-8Ni	Forgings
SA-182	F304H	S30409	70 (485)	8	1	...	...	102	...	18Cr-8Ni	Forgings > 5 in. (127 mm)
SA-182	F304H	S30409	75 (515)	8	1	...	...	102	...	18Cr-8Ni	Forgings
SA-182	F304N	S30451	80 (550)	8	1	...	...	102	...	18Cr-8Ni-N	Forgings
SA-182	F304LN	S30453	70 (485)	8	1	...	...	102	...	18Cr-8Ni-N	Forgings > 5 in. (127 mm)
SA-182	F304LN	S30453	75 (515)	8	1	...	...	102	...	18Cr-8Ni-N	Forgings

QW/QB-422 FERROUS/NONFERROUS P-NUMBERS AND S-NUMBERS (CONT'D)
Grouping of Base Metals for Qualification

Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi (MPa)	Ferrous (CONT'D)								Nominal Composition	Product Form
				Welding				Brazing		P- No.	S- No.		
				P- No.	Group No.	S- No.	Group No.	P- No.	S- No.				
A 514	P	K21650	110 (760)	...	...	11B	8	...	102	1.25Ni-1Cr-0.5Mo	Plate, 2½ in. (64 mm) max.
A 514	Q	...	100 (690)	...	...	11B	9	...	102	1.3Ni-1.3Cr-0.5Mo-V	Plate > 2½ in.-6 in. (64 mm-152 mm), incl.
A 514	Q	...	110 (760)	...	...	11B	9	...	102	1.3Ni-1.3Cr-0.5Mo-V	Plate, 2½ in. (64 mm) max.
SA-515	60	K02401	60 (415)	1	1	...	...	101	...	C	Plate
SA-515	65	K02800	65 (450)	1	1	...	...	101	...	C-Si	Plate
SA-515	70	K03101	70 (485)	1	2	...	...	101	...	C-Si	Plate
SA-516	55	K01800	55 (380)	1	1	...	...	101	...	C-Si	Plate
SA-516	60	K02100	60 (415)	1	1	...	...	101	...	C-Mn-Si	Plate
SA-516	65	K02403	65 (450)	1	1	...	...	101	...	C-Mn-Si	Plate
SA-516	70	K02700	70 (485)	1	2	...	...	101	...	C-Mn-Si	Plate
SA-517	F	K11576	115 (795)	11B	3	...	...	101	...	0.75Ni-0.5Cr-0.5Mo-V	Plate ≤ 2½ in. (64 mm)
SA-517	J	K11625	115 (795)	11B	6	...	...	101	...	C-0.5Mo	Plate ≤ 1¼ in. (32 mm)
SA-517	B	K11630	115 (795)	11B	4	...	...	101	...	0.5Cr-0.2Mo-V	Plate ≤ 1¼ in. (32 mm)
SA-517	A	K11856	115 (795)	11B	1	...	...	101	...	0.5Cr-0.25Mo-Si	Plate ≤ 1¼ in. (32 mm)
SA-517	E	K21604	105 (725)	11B	2	...	...	102	...	1.75Cr-0.5Mo-Cu	Plate > 2½ in.-6 in. (64 mm-152 mm)
SA-517	E	K21604	115 (795)	11B	2	...	...	102	...	1.75Cr-0.5Mo-Cu	Plate ≤ 2½ in. (64 mm)
SA-517	P	K21650	105 (725)	11B	8	...	...	102	...	1.25Ni-1Cr-0.5Mo	Plate > 2½-4 in. (64-102 mm)
SA-517	P	K21650	115 (795)	11B	8	...	...	102	...	1.25Ni-1Cr-0.5Mo	Plate ≤ 2½ in. (64 mm)
A 519	1018 HR	G10180	50 (345)	...	...	1	1	...	101	C	Tube
A 519	1018 CW	G10180	70 (485)	...	...	1	2	...	101	C	Tube
A 519	1020 HR	G10200	50 (345)	...	...	1	1	...	101	C	Tube
A 519	1020 CW	G10200	70 (485)	...	...	1	2	...	101	C	Tube
A 519	1022 HR	G10220	50 (345)	...	...	1	1	...	101	C	Tube
A 519	1022 CW	G10220	70 (485)	...	...	1	2	...	101	C	Tube
A 519	1025 HR	G10250	55 (380)	...	...	1	1	...	101	C	Tube
A 519	1025 CW	G10250	75 (515)	...	...	1	2	...	101	C	Tube
A 519	1026 HR	G10260	55 (380)	...	...	1	1	...	101	C	Tube
A 519	1026 CW	G10260	75 (515)	...	...	1	2	...	101	C	Tube
A 521	Cl. CC	...	60 (415)	...	...	1	1	...	101	C	Forgings
A 521	Cl. CE	...	75 (515)	...	...	1	2	...	101	C	Forgings
SA-522	Type II	K71340	100 (690)	11A	1	...	...	101	...	8Ni	Forgings
SA-522	Type I	K81340	100 (690)	11A	1	...	...	101	...	9Ni	Forgings
SA-524	II	K02104	55 (380)	1	1	...	...	101	...	C-Mn-Si	Smts. pipe
SA-524	I	K02104	60 (415)	1	1	...	...	101	...	C-Mn-Si	Smts. pipe

**E. TABLA DE NUMEROS "A" PARA CLASIFICACION, SEGÚN
COMPOSICION QUIMICA, DE MATERIALES DE APORTE
FERROSOS (ASME, SECCION IX)**

**QW-442
A-NUMBERS
Classification of Ferrous Weld Metal Analysis for Procedure Qualification**

A-No.	Types of Weld Deposit	Analysis, % [Note (1)]					
		C	Cr	Mo	Ni	Mn	Si
1	Mild Steel	0.20	...	...	...	1.60	1.00
2	Carbon-Molybdenum	0.15	0.50	0.40-0.65	...	1.60	1.00
3	Chrome (0.4% to 2%)-Molybdenum	0.15	0.40-2.00	0.40-0.65	...	1.60	1.00
4	Chrome (2% to 6%)-Molybdenum	0.15	2.00-6.00	0.40-1.50	...	1.60	2.00
5	Chrome (6% to 10.5%)-Molybdenum	0.15	6.00-10.50	0.40-1.50	...	1.20	2.00
6	Chrome-Martensitic	0.15	11.00-15.00	0.70	...	2.00	1.00
7	Chrome-Ferritic	0.15	11.00-30.00	1.00	...	1.00	3.00
8	Chromium-Nickel	0.15	14.50-30.00	4.00	7.50-15.00	2.50	1.00
9	Chromium-Nickel	0.30	19.00-30.00	6.00	15.00-37.00	2.50	1.00
10	Nickel to 4%	0.15	...	0.55	0.80-4.00	1.70	1.00
11	Manganese-Molybdenum	0.17	...	0.25-0.75	0.85	1.25-2.25	1.00
12	Nickel-Chrome - Molybdenum	0.15	1.50	0.25-0.80	1.25-2.80	0.75-2.25	1.00

NOTE:

(1) Single values shown above are maximum.

F. LISTA PARCIAL DE NUMEROS " F " PARA CLASIFICACION DE MATERIALES DE APORTE (ASME, SECCION IX)

QW-432 F-NUMBERS

Grouping of Electrodes and Welding Rods for Qualification

F-No.	ASME Specification	AWS Classification	UNS No.
Steel and Steel Alloys			
1	SFA-5.1	EXX20	...
1	SFA-5.1	EXX22	...
1	SFA-5.1	EXX24	...
1	SFA-5.1	EXX27	...
1	SFA-5.1	EXX28	...
1	SFA-5.4	EXXX(X)-26	...
1	SFA-5.5	EXX20-X	...
1	SFA-5.5	EXX27-X	...
2	SFA-5.1	EXX12	...
2	SFA-5.1	EXX13	...
2	SFA-5.1	EXX14	...
2	SFA-5.1	EXX19	...
2	SFA-5.5	E(X)XX13-X	...
3	SFA-5.1	EXX10	...
3	SFA-5.1	EXX11	...
3	SFA-5.5	E(X)XX10-X	...
3	SFA-5.5	E(X)XX11-X	...
4	SFA-5.1	EXX15	...
4	SFA-5.1	EXX16	...
4	SFA-5.1	EXX18	...
4	SFA-5.1	EXX18M	...
4	SFA-5.1	EXX48	...
4	SFA-5.4 other than austenitic and duplex	EXXX(X)-15	...
4	SFA-5.4 other than austenitic and duplex	EXXX(X)-16	...
4	SFA-5.4 other than austenitic and duplex	EXXX(X)-17	...
4	SFA-5.5	E(X)XX15-X	...
4	SFA-5.5	E(X)XX16-X	...
4	SFA-5.5	E(X)XX18-X	...
4	SFA-5.5	E(X)XX18M	...
4	SFA-5.5	E(X)XX18M1	...
4	SFA-5.5	E(X)XX45	...
5	SFA-5.4 austenitic and duplex	EXXX(X)-15	...
5	SFA-5.4 austenitic and duplex	EXXX(X)-16	...
5	SFA-5.4 austenitic and duplex	EXXX(X)-17	...
6	SFA-5.2	All classifications	...
6	SFA-5.9	All classifications	...
6	SFA-5.17	All classifications	...
6	SFA-5.18	All classifications	...
6	SFA-5.20	All classifications	...
6	SFA-5.22	All classifications	...
6	SFA-5.23	All classifications	...
6	SFA-5.25	All classifications	...
6	SFA-5.26	All classifications	...
6	SFA-5.28	All classifications	...
6	SFA-5.29	All classifications	...
6	SFA-5.30	INMs-X	...
6	SFA-5.30	IN5XX	...
6	SFA-5.30	IN9XX(X)	...

QW-432
F-NUMBERS (CONT'D)
Grouping of Electrodes and Welding Rods for Qualification

F-No.	ASME Specification	AWS Classification	UNS No.
Aluminum and Aluminum Alloys			
21	SFA-5.3	E1100	A91100
21	SFA-5.3	E3003	A93003
21	SFA-5.10	ER1100	A91100
21	SFA-5.10	ER1188	A91188
21	SFA-5.10	R1100	A91100
21	SFA-5.10	R1188	A91188
22	SFA-5.10	ER5183	A95183
22	SFA-5.10	ER5356	A95356
22	SFA-5.10	ER5554	A95554
22	SFA-5.10	ER5556	A95556
22	SFA-5.10	ER5654	A95654
22	SFA-5.10	R5183	A95183
22	SFA-5.10	R5356	A95356
22	SFA-5.10	R5554	A95554
22	SFA-5.10	R5556	A95556
22	SFA-5.10	R5654	A95654
23	SFA-5.3	E4043	A94043
23	SFA-5.10	ER4009	A94009
23	SFA-5.10	ER4010	A94010
23	SFA-5.10	ER4043	A94043
23	SFA-5.10	ER4047	A94047
23	SFA-5.10	ER4145	A94145
23	SFA-5.10	ER4643	A94643
23	SFA-5.10	R4009	A94009
23	SFA-5.10	R4010	A94010
23	SFA-5.10	R4011	A94011
23	SFA-5.10	R4043	A94043
23	SFA-5.10	R4047	A94047
23	SFA-5.10	R4145	A94145
23	SFA-5.10	R4643	A94643
24	SFA-5.10	R-A356.0	A13560
24	SFA-5.10	R-A357.0	A13570
24	SFA-5.10	R-C355.0	A33550
24	SFA-5.10	R206.0	A02060
24	SFA-5.10	R357.0	A03570
25	SFA-5.10	ER2319	A92319
25	SFA-5.10	R2319	A92319

**G. LISTADO DE CALIFICACION DE METALES BASE (ADJUNTA EN
EL APARTADO QW 424, ASME, SECCION IX)**

<u>Base Metal(s) Used for Procedure Qualification Coupon</u>	<u>Base Metals Qualified</u>
One metal from a P-Number to any metal from the same P-Number	Any metals assigned that P- or S-Number
One metal from a P-Number to any metal from any other P- Number	Any metal assigned the first P- or S-Number to any metal assigned the second P- or S-Number
One metal from P-No. 3 to any metal from P-No. 3	Any P- or S-No. 3 metal to any metal assigned P- or S-No. 3 or 1
One metal from P-No. 4 to any metal from P-No. 4	Any P- or S-No. 4 metal to any metal assigned P- or S-No. 4, 3, or 1
One metal from P-No. 5A to any metal from P-No. 5A	Any P- or S-No. 5A metal to any metal assigned P- or S-No. 5A, 4, 3, or 1
One metal from P-No. 5A to a metal from P-No. 4, or P-No. 3, or P-No. 1	Any P- or S-No. 5A metal to any metal assigned to P- or S-No. 4, 3, or 1
One metal from P-No. 4 to a metal from P-No. 3 or P-No. 1	Any P- or S-No. 4 metal to any metal assigned to P- or S-No. 3 or 1
Any unassigned metal to the same unassigned metal	The unassigned metal to itself
Any unassigned metal to any P- Number metal	The unassigned metal to any metal assigned to the same P- or S-Number as the qualified metal
Any unassigned metal to any other unassigned metal	The first unassigned metal to the second unassigned metal

H. TABLA – S 780

Esta tabla señala parámetros de aporte de calor y temperatura de precalentamiento usados en un procedimiento empleando el acero Sumiten 780S en una fabricación anterior, datos que pueden ser tomados como referencia.

SUMITOMO METAL INDUSTRIES, LTD.	SUMITEN780S (Non-Ni) Steel Plate for Penstock Pipes			
4.3 Test Results of welded Joint				
4.3.1 Welding Parameters				
Table 4. Welding Parameters				
Plate Thick. (mm)	32			44.5
Welding Method	SMAW (Flat)	SAW (Flat)	SAW (Flat)	
Welding Material	L-80EL (4 φ)	Wire:NB250H, Flux:Y80M		
Groove Shape	60° , X	60° , X	45° , K	45° , L
Heat Input (KJ/mm)	1.7, 3.0	4.5, 6.0	4.5	3.0, 5.0
Pre-heating, Interpass Temp. (°C)	100 - 150			

J. HOJA TECNICA ACERO SUMITEN 780S



Australian Special Metals Pty Ltd

BRSBANE
Ph: (07) 3893 1444
Fax: (07) 3893 1790

TOWNSVILLE
Ph: (07) 4774 8969
Fax: (07) 4774 5939

MACKAY
Ph: (07) 4952 5888
Fax: (07) 4952 5899

PERTH
Ph: (08) 9463 2565
Fax: (08) 9453 2880

Sumiten 780S (ASM 80)

Sumiten 780S is a high strength, low alloy carbon steel with a 780 MPa tensile strength. It is highly economical and suitable for use in industrial machinery because it is highly resistant to weld cracking.

The high strength of **Sumiten 780S** gives the advantage of:

- * Reducing the weight of the finished product without affecting its structural integrity.
- * Increasing the working load of the finished product without increasing its size or weight.

Chemical Composition %	C MAX	Si	Mn Max	P	S	Cu	Cr	Mo	V	B
	0.18	0.6	1.20	0.25	0.015	0.050	1.20	0.10-0.60	0.10	0.005

Heat Treatment		Quenched & Tempered		
Mechanical Properties	Yield Point, min Mpa		≤ 50mm	685 MPa
			> 50mm	665 MPa
	Tensile Strength, Mpa		≤ 50mm	780-930 MPa
			> 50mm	760-910 MPa
	Elongation	Thickness mm	% min	Test Specimen
		< 16mm	16	JIS No.5
		> 16mm	24	JIS No.5
	> 20mm	16	JIS No.4	
Bending Properties (180° bend radius)	Thickness mm	Angle of Bend	Internal Radius	
	< 32mm	180°	1.5l	
	> 32mm	180°	2.0l	
Charpy 2mm V-Notch Impact Value min				
Notch Toughness		Thickness mm	Test Temp (C°)	Charpy Absorption (J)
		> 12mm	-20	47min

Typical Applications:

Transportation - Long Span Bridges - Offshore Structures - Construction Machinery - Crane Booms - Forklift Tynes - Truck Chassis - Fabricated Beams - Container Handling Equipment - Garbage Compactor Units - Dragline Buckets