

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS SMAW y GTAW/SMAW EN
SOLDADURA DE TUBERÍAS CON MATERIAL API 5L X52 PARA
UNA PRESIÓN DE DISEÑO DE 19 BARES**

**Trabajo de suficiencia profesional para obtener el título profesional
de Ingeniero mecánico**

AUTOR

Giacomo Brando Raza Avalos

ASESOR:

Aníbal Rozas Gallegos

Lima, Julio del 2021

RESUMEN

El siguiente trabajo toma como premisa la necesidad de contar con juntas soldadas de calidad para la unión de tuberías que transportan gas natural. La importancia de este trabajo va relacionado a la necesidad de masificar el uso de este hidrocarburo como fuente principal de energía para la población.

Se realiza la comparación entre los procedimientos SMAW y mixto GTAW/SMAW para una tubería API 5L X52M de 152 mm. de diámetro y 7.11 mm. de espesor. Estas son dimensiones requeridas para obtener la presión de diseño de 19 bares.

El estudio realizado consta de cuatro capítulos. El primer capítulo abarca las teorías fundamentales para la elaboración de este, entre ellos resalta la Norma API 1104, la cual ha sido fundamental para establecer los criterios de aceptación a los dos procedimientos comparados.

El segundo capítulo abarca la metodología realizada para poder obtener el WPS preliminar de ambos procedimientos. Se justifica la selección de los electrodos de aportes, corriente, temperatura de precalentamiento, entre otras variables esenciales más. Todo lo anterior considerando las mejores prácticas, recomendaciones de fabricantes y la Norma API 1104.

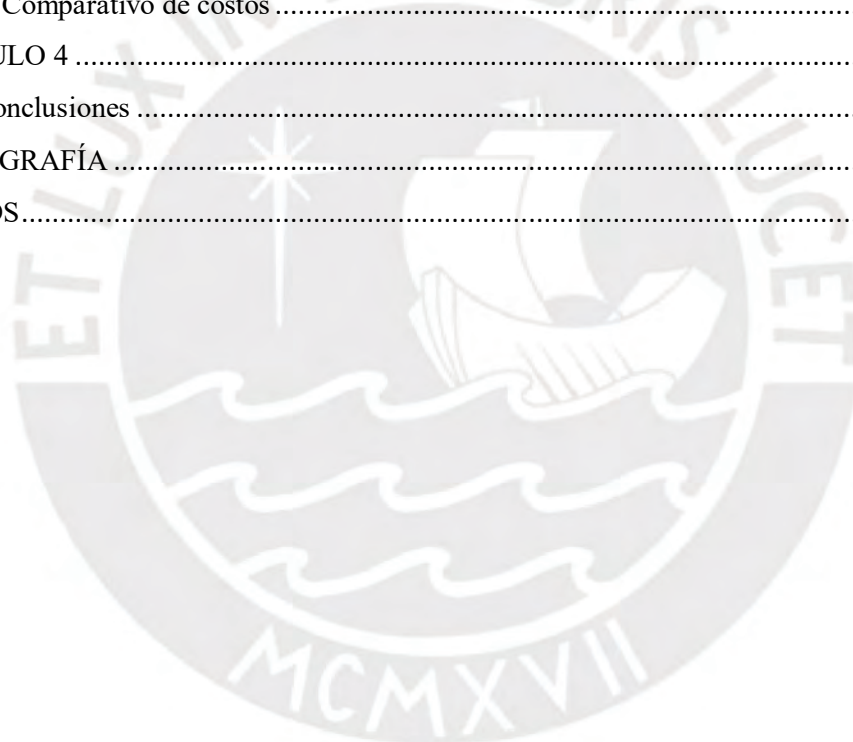
El tercer capítulo toca en mayor profundidad los requisitos establecidos para calificar los procedimientos de soldadura. Se identifica el número de probetas y ensayos a realizar a cada uno de estos. Asimismo, se procede con la soldadura de los cupones el corte de probetas para someterlos a los ensayos requeridos.

Finalmente, en el cuarto capítulo se analiza los resultados obtenidos del ensayo y se concluye si las discontinuidades son aceptables o no. Asimismo, se realiza el cálculo y comparación de costos asociados para obtener una junta soldada.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos	7
CAPÍTULO 1	8
1. Marco teórico	8
1.1 Material base	8
1.1.1 Características mecánicas del material base	9
1.2 Procesos de soldadura	10
1.2.1 Proceso SMAW	10
1.2.2 Proceso GTAW	13
1.3 Norma API 1104.....	15
1.4 Especificación de procedimiento de soldadura - WPS.....	15
1.5 Registro de calificación del procedimiento de soldadura - PQR	16
1.6 Registro de calificación de soldador - WPQ	16
CAPÍTULO 2	18
2. Desarrollo metodológico.....	18
2.1 pWPS 001 preliminar del proceso SMAW	19
2.2 pWPS 002 preliminar del proceso GTAW/SMAW	21
2.3 Elección de material base.....	23
2.4 Elección de materiales de aporte	25
2.4.1 Materiales de aporte para proceso SMAW	25
2.4.2 Material de aporte para proceso GTAW.....	27
2.5 Análisis de soldabilidad del material base.....	29
2.6 Determinación de la temperatura de precalentamiento	29
2.6.1 Cálculo de carbono equivalente	29
2.6.2 Cálculo por método de Seferian.....	30
2.6.3 Cálculo por método del Instituto Internacional de Soldadura.....	31
2.7 Determinación de cupones	33
2.7.1 Cantidad y tipo de probetas proceso SMAW y GTAW / SMAW.....	33
2.7.2 Probetas para ensayo a tracción	35
2.7.3 Ensayos de rotura por entalla (Nick Break Test)	38
2.7.4 Ensayo de doblado de cara y raíz.....	40
2.7.5 Probetas para calificación de soldadores	44
CAPÍTULO 3	45

3.	Resultado y análisis	45
3.1	Preparación de probetas	45
3.2	Resultados de ensayos de tracción.....	46
3.3	Resultados de ensayos de macrografía.....	47
3.4	Resultados de ensayos doblado y Nick Break	51
3.5	Elaboración del registro de calificación de procedimiento	54
3.5.1	PQR 001 del Proceso SMAW.....	55
3.5.2	WPQ 001 del Proceso SMAW.....	56
3.5.3	WPS 001 definitivo del Proceso SMAW.....	57
3.5.4	PQR 002 del Proceso Mixto: GTAW/SMAW	58
3.5.5	WPQ 002 del Proceso Mixto: GTAW/SMAW.....	59
3.5.6	WPS 002 definitivo del Proceso Mixto: GTAW/SMAW.....	60
3.6	Comparativo de costos	61
CAPÍTULO 4	62
4.	Conclusiones	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	65



Índice de Tablas

Tabla 1-1: Condiciones de entrega para el caso de estudio.....	8
Tabla 1-2: Composición química del acero API 5L X52M.....	9
Tabla 1-3: Especificación de requerimientos de tracción para el acero API 5L X52M.....	10
Tabla 2-1: Composición química de electrodo AWS/ASME SFA A5.1 E 6010.....	25
Tabla 2-2: Propiedades mecánicas de electrodo AWS/ASME SFA A5.1 E 6010.....	26
Tabla 2-3: Parámetros de soldeo recomendados para el electrodo AWS/ASME SFA A5.1 E 6010.....	26
Tabla 2-4: Composición química de electrodo AWS/ASME SFA A5.1 E 8010-G.....	26
Tabla 2-5: Propiedades mecánicas de electrodo AWS/ASME SFA A5.1 E 8010-G.....	27
Tabla 2-6: Parámetros de soldeo recomendados para electrodo AWS/ASME SFA A5.1 E 8010-G.....	27
Tabla 2-7: Composición química del electrodo AWS /ASME SFA A5.18 ER70S-6.....	28
Tabla 2-8: Propiedades mecánicas de electrodo AWS /ASME SFA A5.18 ER70S-6.....	28
Tabla 2-9: Parámetros de soldeo recomendados para electrodo AWS /ASME SFA A5.18 ER70S-6.....	28
Tabla 2-10: Índice de brusquedad térmica para distintas uniones	31
Tabla 2-11: Tipo y número de probetas para ensayo de calificación de procedimiento	34
Tabla 2-12: Número y tipo de probeta para la calificación de soldadores.	44
Tabla 3-1: Resultados de ensayos a tracción de probetas.....	46
Tabla 3-2: Resultados de ensayos de dureza a probetas.....	48
Tabla 3-3: Comparativo de costos entre proceso SMAW y Mixto	61

Índice de Figuras

Figura 1-1: Esquema simple de proceso de soldadura SMAW	11
Figura 1-2: Electrodo revestido.	13
Figura 1-3: Esquema simple de proceso de soldadura GTAW.....	13
Figura 2-1: (a) Inspección de hi-low. (b) Inspección de material base. (c) Cupón de 45° para calificación. (d) Proceso de soldadura.	20
Figura 2-2: (a) Proceso de soldadura. (b) Galgas de inspección visual. (c) Inspección visual de bisel. (d) Inspección visual de hi – low. (e) Cupón de 6” de diámetro.	22
Figura 2-3: Certificado de material base utilizado para el presente estudio.....	24
Figura 2-4: Diagrama de temperatura de precalentamiento por método de Seferian.....	30
Figura 2-5: Diagrama de temperatura de precalentamiento propuesto por IIW	32
Figura 2-6: Ubicación de las probetas de ensayo de soldaduras a tope para ensayos de calificación de procedimiento	33
Figura 2-7: Probeta para ensayo a tracción	35
Figura 2-8: (a) Máquina para ensayo a tracción. (b) Ensayo de tracción de probeta WPS 001 – 1. (c) Ensayo de tracción de probeta WPS 001 – 2. (d) Probetas ensayadas aceptadas por rotura fuera de la zona de soldadura.	36
Figura 2-9: (a) Máquina para ensayo a tracción. (b) Ensayo de tracción de probeta WPS 002 – 1. (c) Ensayo de tracción de probeta WPS 002 – 2. (d) Probetas ensayadas aceptadas por rotura fuera de la zona de soldadura.	37
Figura 2-10: Probeta para rotura por entalla (Nick Break)	38
Figura 2-11: (a) Probetas para ensayo Nick Break de WPS 001. (b) Probetas aceptadas por no mostrar discontinuidades en cordón de soldadura.	39
Figura 2-12: Probeta para ensayo de doblado de raíz y de cara. Espesor de pared menor o igual a 0.500 pulgadas.	40
Figura 2-13: Dispositivo para ensayo de doblado.	41
Figura 2-14: (a) Probetas para el doblado de cara – raíz de WPS 001. (b) Probetas con doblado cara raíz aceptadas por no mostrar discontinuidades.	42
Figura 2-15: (a) Probetas para el doblado de cara - raíz de WPS 002. (b) Probetas con doblado cara raíz aceptadas por no mostrar discontinuidades.	43
Figura 3-1: Puntos de análisis de medición de dureza	47

INTRODUCCIÓN

El hecho que la matriz energética del Perú se haya visto modificada tan profundamente es algo que no se podría haber previsto con facilidad sobre todo teniendo en cuenta que aún está latente el recuerdo de las cocinas a kerosene. En los últimos años, se pasó del consumo discreto de balones de gas en los domicilios a mejorar y obtener, a través de una conexión a una red de tuberías, gas natural de manera continua.

El desarrollo de dicha red lleva detrás muchos proyectos. Uno de ellos, Camisea, que fue descubierto en Cusco en los años 1983-1987 y cuya operación comercial inició desde el 2004.

Hoy en día, Cálidda GNLC tiene a concesión la distribución de redes externas de gas natural en Lima y Callao, por otro lado, el ente regulador y fiscalizador de dichas actividades es Osinergmin, el cual supervisa a los diferentes contratistas. Para ambos entes, es importante la correcta distribución del gas natural, por lo que es necesario contar con tuberías y uniones de estos, de gran calidad. Estas uniones, en gran porcentaje se dan por soldadura, por lo que es necesario encontrar un punto óptimo entre los ámbitos técnicos y económicos.

Es así como el presente trabajo apunta a describir y comparar dos procesos, comunes en el mercado para la unión de tuberías, el proceso de soldadura SMAW y GTAW / SMAW, para un material base API 5L X52M PLS2 de 6" diámetro y espesor de 7.11 mm, con una presión de diseño de 19 bar.

La ponderación entre ambos procesos se plantea a través de los puntos de vista técnico y económico los cuales se describen a lo largo del presente trabajo en función a la normativa pertinente, manuales disponibles y demás información de carácter relevante a partir de fuentes internacionalmente reconocidas.

El análisis técnico consiste en comparar la soldabilidad entre el material base y material de aporte de ambos procedimientos de soldadura, para luego realizar los ensayos destructivos y verificar las propiedades mecánicas necesarias. Por otro lado, el análisis económico consiste en evaluar los costos asociados al soldeo para cada proceso propuesto y con los resultados obtenidos indicar el que potencialmente representa la decisión más idónea. Por lo descrito líneas arriba, el presente trabajo tiene como objetivos:

Objetivo general:

Comparar los procedimientos SMAW y GTAW/SMAW en la soldadura de tuberías de distribución de redes externas de gas natural con material API 5L X52M para una presión de diseño de 19 bares.

Objetivos específicos:

- Elaborar la Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS), el Registro de Calificación de Soldadura (PQR) y el Registro de Calificación del Soldador (WPQ).
- Estudiar y comparar la resistencia mecánica y la variación de dureza de las uniones soldadas para los procedimientos estudiados.
- Determinar y comparar los costos asociados para los procedimientos de soldadura SMAW y GTAW/SMAW.
- Evaluar la sanidad de la junta soldada para ambos procedimientos.



CAPÍTULO 1

1. Marco teórico

1.1 Material base

Los aceros API 5L se clasifican en dos tipos, los PSL1 y PSL2, estas designaciones definen los niveles diferentes de requisitos técnicos obligatorios usuales. Cuando no se indique el tipo de PSL, se refiere a que cumple los requisitos mínimos de ambas clasificaciones.

Existen diferentes grados estándar de aceros A25, A, X42, X46, X52, X56, X60, X70 y X80; y cualquier grado intermedio. Las tuberías PSL 1 pueden ser suministradas en los grados de A25 hasta X70 con un rango de diámetros de 0.405” (10mm) a 80” (2000mm). Por otro lado, las PSL 2 son suministrados en los grados B hasta X80 y trabajan en un diámetro de 4.5” (110mm) a 80” (2000mm).

Para la tubería a estudiar X52M PLS2, el valor numérico corresponde al límite elástico mínimo especificado expresado en 1000 psi (52 000 psi en el caso de estudio). Por otro lado, los sufijos R, N, Q o M identifican la condición de suministro de la tubería (laminado o conformado termo mecánico para el caso de estudio). Por ejemplo, para el caso de estudio, se tiene las siguientes condiciones de entrega:

Tabla 1-1: Condiciones de entrega para el caso de estudio.

Tipo de tubo	Material inicial	Conformación de tubo	Tratamiento térmico del tubo	Condición de entrega
HFW	Rollo laminado normalizado	Moldeado en frío	Tratamiento térmico de la zona de soldadura	N
	Laminado termo mecánicamente	Moldeado en frío	Tratamiento térmico de la zona de soldadura	M
			Tratamiento térmico de la zona de soldadura y alivio de esfuerzos del tubo completo	M
	En estado tosco de laminación o rollo	Conformado en frío seguido por reducción caliente bajo temperatura controlada	-	N
		Conformado en frío seguido por conformado termomecánico de tubo	-	M

Fuente: Norma API 5L, 46 Ed, Dic 2013

En el proceso de manufactura, el tubo será sin costura o soldado y será limitado a los niveles de especificación del producto, los grados, tipos de tubo, y limitaciones de tamaño. La tubería en estudio es HFW, realizado en un proceso de soldadura eléctrica de alta frecuencia en producción.

Para la tubería PSL 2 con espesores menores a 25mm (7.11mm de la tubería de estudio), la composición química es la dada en la **Tabla 1-2**. Se considera dicho espesor para tener una operación de suministro de gas natural a 10bar (145 psi), con una presión de diseño a 19bar (275 psi).

Tabla 1-2: Composición química del acero API 5L X52M

Grado	C	Si	Mn	P	S	V	Nb	Ti	Otros
X52M (máximo)	0.22 (b)	0.45	1.40 (b)	0.025	0.015	d	d	d	e
X52M (caso de estudio)	0.081	0.181	1.296	0.014	0.001	0.001	0.019	0.013	

Donde:

b: Por cada reducción de 0,01% por debajo del máximo especificado para C, es permisible un aumento del 0,05% por encima del máximo especificado para el Mn, hasta un máximo de 1,65%, para los grados \geq L245, pero \leq L360 ó X52; hasta un máximo de 1,75% para los grados \geq L360 ó X52, pero \leq L485 ó X70; hasta un máximo de 2,00 % para los grados \geq L485 ó X70, pero \leq L555 ó X80; y hasta un máximo de 2,20 % para grados \geq L555 ó X80.

d: $Nb + V + Ti \leq 0,15 \%$.

e: A menos que se acuerde otra cosa, $Cu \leq 0,50 \%$; $Ni \leq 0,30 \%$; $Cr \leq 0,30\%$ y $Mo \leq 0,15 \%$.

Fuente: Norma API 5L, 46 Ed, Dic 2013

1.1.1 Características mecánicas del material base.

Las propiedades mecánicas deben ajustarse a los requerimientos de tensión de la especificación API 5L de acuerdo con cada tipo y grado de acero.

Tabla 1-3: Especificación de requerimientos de tracción para el acero API 5L X52M

Grado	Esfuerzo mínimo de fluencia MPa (psi)		Mínimo Esfuerzo requerido a la tracción MPa (psi)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
X52M	360 (52 200)	530 (76 900)	460 (66 700)	760 (110 200)

Fuente: Norma API 5L, 46 Ed, Dic 2018

1.2 Procesos de soldadura

Los procesos que considerados fueron el SMAW y GTAW, procesos comunes en nuestro medio y con amplia aceptación en la normativa pertinente (Norma API 1104). Ambos fueron aplicados de forma manual sin ayuda de equipos mecanizados. A tal fin, se hace la presentación de tales procesos:

1.2.1 Proceso SMAW

Comúnmente llamada soldadura por electrodo revestido o soldeo metálico por arco con electrodo revestido (según UNE – EN ISO 4063), es un proceso de soldadura manual por el que se genera un arco entre un electrodo consumible recubierto y la pieza de trabajo.

El proceso utiliza la descomposición del recubrimiento para generar un gas de protección y para proporcionar elementos fundentes que protegen las gotitas fundidas de metal de soldadura y el charco de soldadura.

El arco se inicia tocando momentáneamente el externo libre del electrodo con el metal base para lograr cerrar el circuito. El arco resultante, por efecto Joule, funde tanto el metal base como la punta del electrodo. Se logran temperaturas muy superiores al punto de fusión del metal, hasta 5000°C.

El electrodo fundido es transferido a través del arco al charco de metal base, donde se convierte en el depósito de soldadura cubierto por la escoria protectora, la cual es menos densa que el metal fundido. El electrodo se va consumiendo a lo largo de la unión a soldar. Una vez que la parte útil del electrodo se ha consumido, se interrumpe el arco y se termina de solidificar la última porción del baño fundido. Finalmente, se desecha la parte final del electrodo y se sustituye por una nueva. (CESOL, 2012)

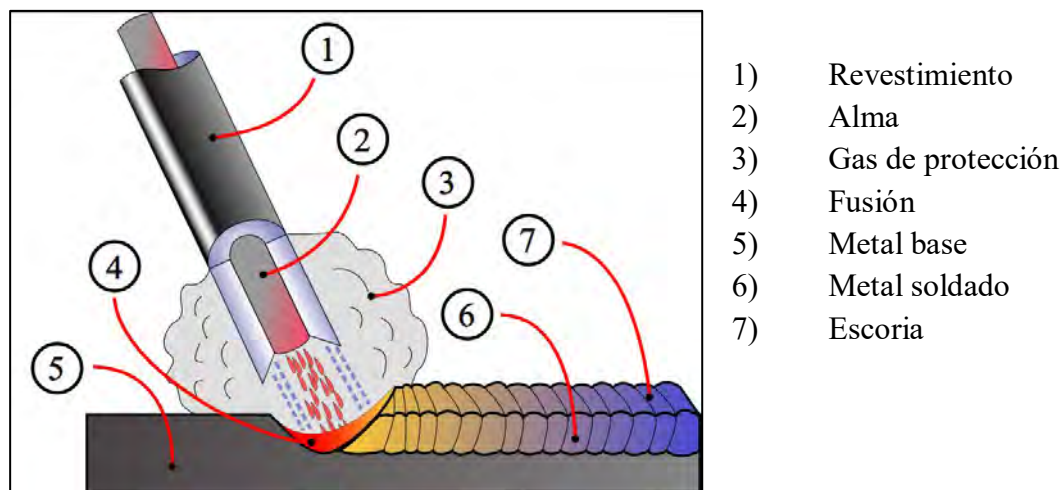


Figura 1-1: Esquema simple de proceso de soldadura SMAW

Fuente: Tema 1.9 Soldeo Manual por Arco con Electrodo Revestido, CESOL, Dic 2012

Ventajas

El proceso SMAW es el proceso de soldadura aún más utilizado actualmente en nuestro medio. Es el más simple, en términos de los requisitos de equipo, pero es, asimismo, uno de los más difíciles en términos de entrenamiento de soldador y requisitos de nivel de habilidad.

La soldadura con arco revestido tiene la mayor flexibilidad de todos los procesos de soldadura, ya que se puede utilizar en todas las posiciones (plana, vertical, horizontal y superior), con prácticamente todos los espesores de metal base y en áreas de accesibilidad limitada, que es una capacidad muy importante.

El metal de aporte y el medio para la protección del arco durante el soldeo provienen del mismo electrodo revestido, haciendo no necesaria alguna protección adicional como gases o fundentes.

Limitaciones

Es un proceso con bajo requerimiento de materiales adicionales, pero requiere una gran habilidad por parte del soldador.

Es un proceso que tiene baja tasa de deposición haciéndolo más lento. Asimismo, la necesidad de tiempo adicional para retirar la escoria ha generado que para ciertas aplicaciones sea reemplazado por otros procedimientos.

La generación de altas temperaturas tiene en contra que no sea aplicable para metales de bajo punto de fusión o de alta sensibilidad a la oxidación. Asimismo, el excesivo calor, hace que no sea aplicable para espesores menores a 2mm.

Calidad de soldadura.

La calidad de la soldadura depende del diseño y accesibilidad de la junta, así como del electrodo, la técnica y la habilidad del soldador. Algunos de los factores que reducen la calidad son la limpieza incorrecta entre pases, la mala ubicación de la soldadura individual dentro de la junta, y diversos problemas con electrodos individuales, incluyendo falta parcial de fundente y alambres de núcleo que no están centradas dentro del recubrimiento.

Entre los principales parámetros de soldeo se tiene:

- a) Diámetro de electrodo: depende de la posición, espesor de material y tipo de unión. Se deberá escoger aquel mayor diámetro posible que asegure los requisitos de aporte térmico. Para el caso de estudio, donde se tendrá soldeo de múltiples pases, es mejor efectuar el cordón raíz con un electrodo pequeño de diámetro, lo que nos permite un mayor acercamiento al fondo de la unión. A medida que se vayan haciendo los pases de relleno o acabado, será posible usar mayores diámetros.
- b) Intensidad y tipo de corriente: Una vez seleccionado el electrodo, en dimensiones y material, se posee un rango de intensidades para el que puede utilizarse. La intensidad depende del tipo de unión e intensidad. En cuanto al tipo de corriente, ese puede realizarse con corriente continua y alterna, dependiendo del equipo disponible.
- c) Longitud de arco: En general, se debe utilizar una longitud de arco igual al diámetro del electrodo; un arco corto puede ser utilizado para electrodos básicos y un arco largo puede generar pérdida de fuerza o capacidad de protección.

Electrodos

Los electrodos utilizados tienen composiciones diferentes de alambre de núcleo y una amplia variedad de tipos y pesos de revestimiento. Los diámetros de los electrodos estándar del alambre del núcleo varían de 1.6 a 8mm.

El recubrimiento del electrodo tiene numerosas funciones y proporciona:

- Gas (normalmente, dióxido de carbono), a partir de la descomposición de ingredientes de revestimiento para proteger el arco y la zona de soldadura.
- Atmósfera, desoxidantes, para el desplazamiento y la purificación del metal de soldadura depositado.
- Elementos ionizantes, para que el arco sea más estable.
- Elementos de aleación, para proporcionar características especiales a la soldadura o depositar polvo de hierro, como en ciertos electrodos, para aumentar la productividad para la soldadura.

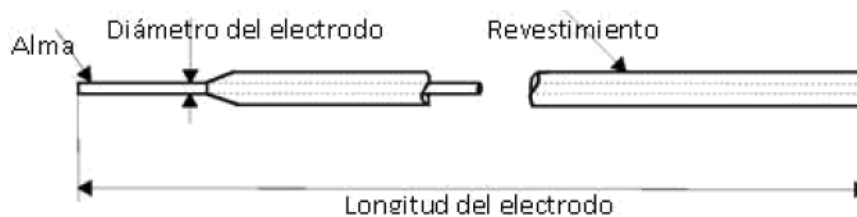


Figura 1-2: Electrodo revestido.

Fuente: Tema 1.9 Soldeo Manual por Arco con Electrodo Revestido, CESOL, Dic 2012

1.2.2 Proceso GTAW

Soldadura Por Arco Con Electrodo De Tungsteno Y Gas (GTAW), también conocida como Tungsteno Inerte Gas (TIG),

La temperatura de fusión necesaria para soldar materiales en el proceso GTAW se obtiene manteniendo un arco entre un electrodo de aleación de tungsteno y la pieza de trabajo. Las temperaturas del charco de soldadura pueden aproximarse a 2500 °C (4530 ° F). Un gas inerte sostiene el arco y protege al metal fundido de la contaminación atmosférica. El gas inerte es normalmente argón, helio o una mezcla de helio y argón.

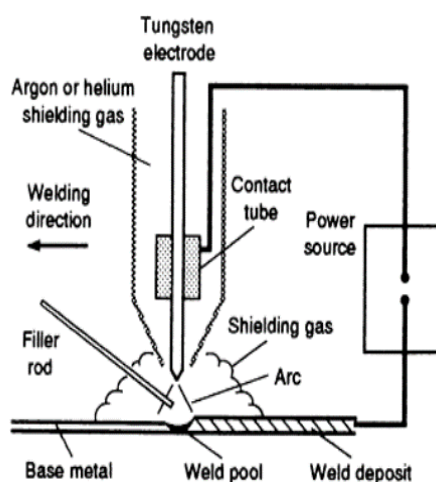


Figura 1-3: Esquema simple de proceso de soldadura GTAW.

Fuente: ASM Handbook Volume 6: Welding, Brazing and Soldering

Ventajas

- Produce cordones de alta calidad y baja distorsión.
- Libre de escorias asociado con otros métodos.
- Se puede usar con o sin alambre de llenado.

- Puede ser utilizado con una ranura de suministros de alimentación.
- Sueldan casi todos los metales, incluidos los disímiles.
- Da un control preciso del calor de soldadura.

El proceso GTAW es aplicable cuando se requiere la calidad de soldadura más alta. Se puede utilizar para soldar casi todos los tipos de rieles. El operador tiene un control excelente del aporte de calor y la visión no está limitada por los humos del proceso. (CESOL, 2012)

Limitaciones

- Produce tasas de deposición inferiores que el proceso SMAW.
- Requiere mucho más destreza y coordinación del soldador que el proceso GMAW o que el proceso SMAW.
- Menos económico que el proceso SMAW para secciones con espesor superior a 9,5 mm (3/8”).
- Inclusiones de tungsteno si se permite al electrodo contactar con el charco de soldadura.
- Baja tolerancia para contaminantes en los metales de llenado o base.
- Contaminación o porosidad, causada por fugas de refrigerante en antorchas refrigeradas.
- Deflexión del arco, como con otros procesos con arco eléctrico.

Las fuentes de alimentación para GTAW suelen ser del tipo de corriente constante con una curva volt-ampere (V-A) de caída negativa.

Electrodos

Los electrodos no consumibles utilizados en GTAW están compuestos de tungsteno o aleaciones de tungsteno. El electrodo más común es una aleación ThO₂-W al 2% (EWTh-2). Este material tiene excelentes características operativas y estabilidad. El torio es radioactivo, por lo que se debe tener cuidado al afilar los electrodos para no inhalar el polvo metálico. El Lantano (EWLa-1) y los electrodos de tungsteno-itrio tienen las mejores características iniciales en que un arco se puede comenzar y manteniendo una tensión más baja. El tungsteno ceriado (EWCe-2) es sólo ligeramente mejor que el tungsteno a la velocidad de arranque y de fusión del arco. Cualquiera de los electrodos mencionados anteriormente produce soldaduras aceptables.

El tungsteno puro se utiliza principalmente en la soldadura de corriente alterna y tiene la tasa de consumo más alta. También se utilizan aleaciones de zirconio.

Gases de protección

Hoy en día, el argón es el gas de blindaje predominante. El argón es el menos costoso de los gases inertes utilizados para proteger las soldaduras GTAW. El argón tiene un potencial de ionización bajo (15.8 eV), facilitando la formación del plasma más que con otros gases de protección. El argón es aproximadamente 1,4 veces más pesado que el aire, por lo que desplaza el aire, lo que resulta en un excelente blindaje del charco de soldadura fundida.

Por otro lado, el helio tiene un potencial de ionización de 3.92×10^{-18} J (24.5 eV), lo que resulta en una iniciación y operación de arco más difícil a un voltaje de arco más alto. La tensión de arco más alta, V, da como resultado una entrada de calor más alta, Q, para una longitud y corriente de arco dada, I: $Q = IVt$ donde Q está en Joules, I está en amperios; y t es en segundos. Esta alta entrada de calor puede ser muy beneficiosa al soldar cobre, aluminio y otros materiales de alta conductividad. El blindaje de helio usado con DCEN es muy efectivo para la soldadura de aluminio grueso.

1.3 Norma API 1104

Pertenece al American Petroleum Institute, tiene como propósito presentar métodos para producir soldaduras de calidad. Esto a través de la calificación de soldadores, procesos y el uso de equipos aprobados. Es aplicado para construcciones nuevas y soldaduras en servicio.

Asimismo, presenta métodos de inspección que aseguran el adecuado análisis de la calidad de las soldaduras. Es aplicada a tuberías de acero al carbono y de baja aleación en juntas a tope, filete y socket que cumplen con la especificación API 5L o ASTM. Presente en sistemas de compresión, bombeo, transmisión y distribución de petróleo crudo, derivados del petróleo, gases combustibles, dióxido de carbono y nitrógeno.

Aplicable a la mayoría de los procesos de soldadura, incluyendo SMAW y GTAW, usados de forma manual, semiautomática o automática en diferentes posiciones. También cubre los procedimientos para ensayos de radiografía, partículas magnéticas, líquidos penetrantes y ultrasonido. Esto incluye los criterios de aceptación y rechazo que deben aplicarse. Los procedimientos y registros a continuación mencionados también son incluidos dentro de esta normativa.

1.4 Especificación de procedimiento de soldadura - WPS

El procedimiento de soldadura o WPS (Welding Procedure Specification) es un documento que brinda las directrices para realizar un proceso de soldeo basándose en los requerimientos del código. Asimismo, proporciona información necesaria para orientar al soldador y asegurar una unión soldada de calidad.

Su contenido debe estar acorde con los requerimientos aplicables a los códigos (API 1104 para el presente estudio), a las buenas prácticas de ingeniería y exigencias del contrato, según sea el caso. Se debe incluir:

VARIABLES ESENCIALES: variable cuya modificación puede producir cambios que afecten las condiciones mecánicas de la unión. Modificar alguna de estas variables, da como necesidad el especificar un nuevo procedimiento de soldadura. Algunas de estas son:

- Proceso de soldadura
- Geometría de metal base (espesor)
- Metales bases y de aporte
- Diseño de juntas
- Posición de soldadura
- Características eléctricas
- Gas de protección y caudal
- Precalentamiento y post calentamiento

VARIABLES NO ESENCIALES: alguna modificación en estas variables no implica una nueva especificación, pero si poner de manifiesto los cambios.

Cabe resaltar que existe la Especificación de procedimiento de soldeo preliminar (pWPS), que contiene las variables requeridas del procedimiento de soldeo que debe ser calificado.

1.5 Registro de calificación del procedimiento de soldadura - PQR

El registro de calificación del procedimiento de soldadura o PQR (Procedure Qualification Record) tiene como finalidad calificar el pWPS y demostrar que la unión soldada propuesta, junto con sus variables, cumple con lo requerido por las normas para la aplicación requerida.

Es un documento que registra los valores reales de las variables que fueron utilizadas durante la soldadura de los cupones de prueba. Asimismo, contiene los resultados de los ensayos destructivos y no destructivos requeridos por el código.

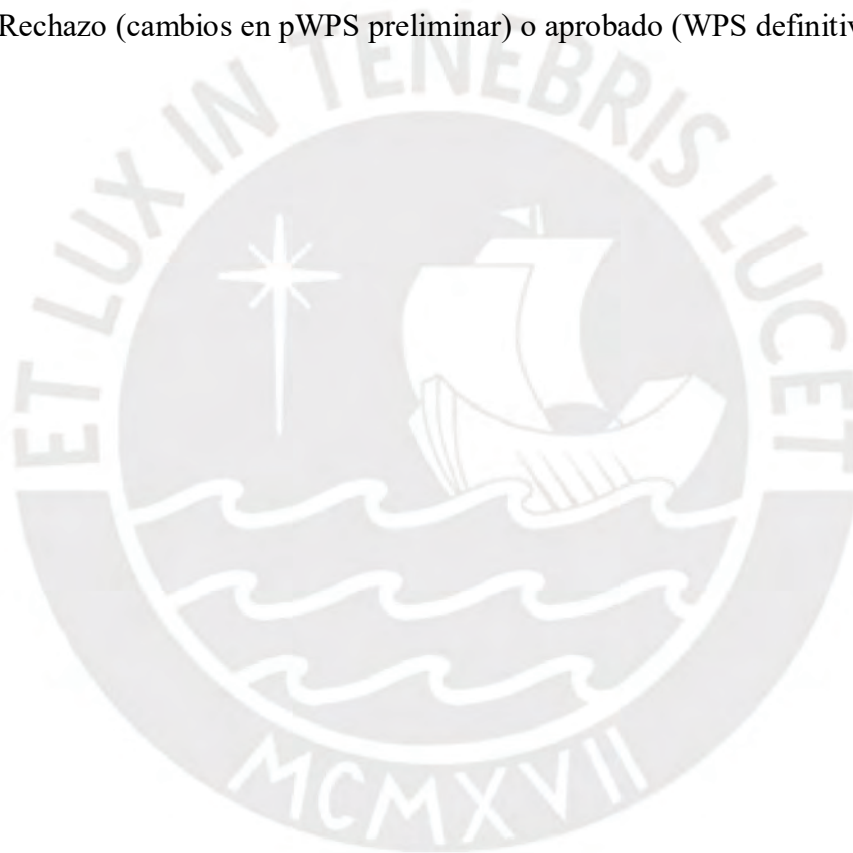
1.6 Registro de calificación de soldador - WPQ

La necesidad de contar con soldadores homologados es vital para la realización correcta de un determinado trabajo. La finalidad de la homologación es verificar que el soldador dispone de destreza suficiente para realizar, en un rango de trabajo, una soldadura libre de defectos.

Se realiza la soldadura de un cupón, se procede con el ensayo del cupón, se evalúa los resultados y finalmente se determina los rangos de cualificación.

En general, para obtener una calificación de un WPS, se tiene la siguiente secuencia:

- WPS preliminar
- Ejecución de cupón de prueba
- END
- Identificación, ubicación, rayado y estampe de probetas
- Extracción y mecanizado de probetas
- Ejecución de Ensayos destructivos
- Análisis de resultados acorde al código aplicado
- Rechazo (cambios en pWPS preliminar) o aprobado (WPS definitivo)



CAPÍTULO 2

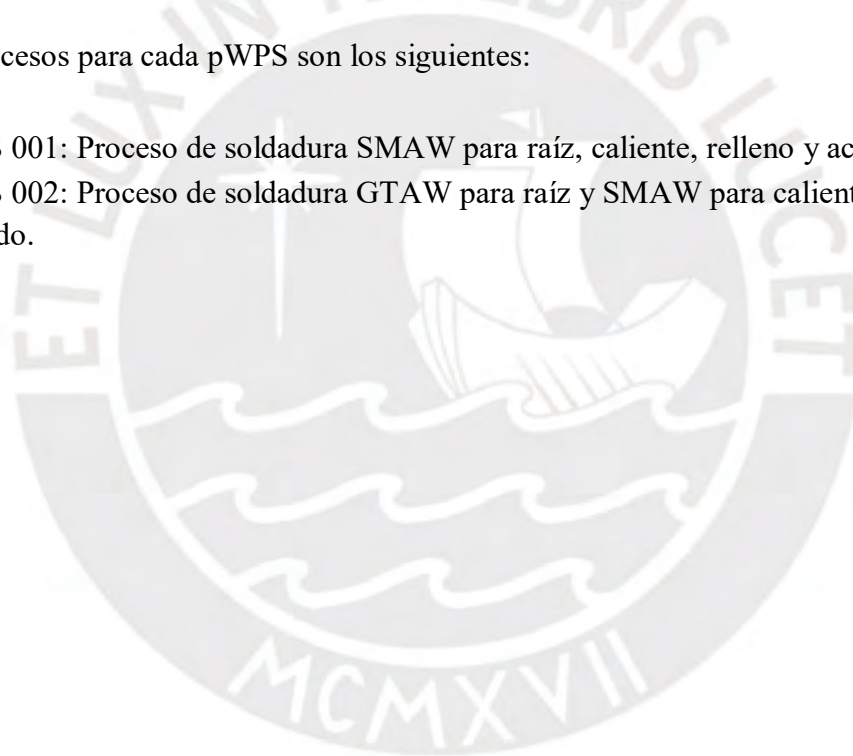
2. Desarrollo metodológico

En este capítulo se presenta los WPS preliminares (pWPS) para ambos procesos, seguidamente se explica la justificación de las variables seleccionadas según la norma API 1104 Welding of Pipelines and Related Facilities; tales como procesos de soldadura, materiales de aportes, parámetros eléctricos, temperatura de precalentamiento, entre otras.

A continuación, de acuerdo con la misma norma, se determina los cupones, cantidad y tipos de probetas para realizar los ensayos requeridos para obtener las propiedades mecánicas para su posterior análisis. Asimismo, se evalúa los criterios de aceptación para determinar si los WPS preliminares (pWPS) son los correctos.

Los procesos para cada pWPS son los siguientes:

- pWPS 001: Proceso de soldadura SMAW para raíz, caliente, relleno y acabado.
- pWPS 002: Proceso de soldadura GTAW para raíz y SMAW para caliente, relleno y acabado.



2.1 pWPS 001 preliminar del proceso SMAW

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SEGÚN NORMA API1104		Código: pWPS 001			
		Rev.	00		
		Fecha:	11/09/2017		
WPS/SMAW- 001					
ESPECIFICACIÓN DE LAS VARIABLES (API 1104 - 2013)					
PQR/SMAW SOPORTE N° 001					
VARIABLES	DESCRIPCIÓN				
Proceso de Soldadura	SMAW(Raiz, caliente ,relleno y acabado)				
Material (Tuberías y accesorios)	API 5L X42< Acero al carbono con limite de fluencia ≤ API 5L X52				
Diámetro	Desde Ø2.375"(60.3 mm) hasta Ø12.75"(323.9 mm)				
Espesor de pared	Desde Ø 0.188"(4.8mm) hasta Ø 0.750"(19.1 mm)				
Diseño de la junta	A tope, ranura en "V"(Ver Figura N° 1)				
Metal de aporte (raíz)	AWS A5.1 (E6010, Grupo 1)				
Metal de aporte (relleno-acabado)	AWS A5.5 (E8010-G, Grupo 2)				
Características eléctricas	Ver Tabla de parámetros eléctricos				
Dirección de soldadura	Descendente (Raiz, caliente, relleno y acabado)				
Posición de la junta	Todas las posiciones				
Numero de soldadores	01 o 02				
Tiempo entre pasadas	Maximo 5 minutos (entre el pase de raíz y el inicio del segundo pase)				
Tipo de presentador de alineamiento	Mecánico externo				
Retiro de presentador de alineamiento	Retirar luego de haber terminado como mínimo del 50% del pase de raíz				
Limpieza y/o amolado	Esmerilado y escobillado en raíz y pases que requiera				
Pre calentamiento	N/A				
Post-calentamiento	N/A				
Gas protector	N/A				
Fundente	N/A				
Caudal	N/A				
Figura n° 1					
NOTA: DETALLE DE JUNTA REFERENCIAL					
Parámetros Eléctricos					
Cordones	1	2	3	4	5
Variables	RAÍZ	2do PASE	RELLENO(1)	RELLENO(n)	ACABADO
-	ROOT	HOT	FILL	FILL	-
Proceso	SMAW	SMAW	SMAW	SMAW	SMAW
Calificación AWS	E 6010	E8010-G	E8010-G	E8010-G	E8010-G
Diámetro	1/8"	5/32"	5/32"	5/32"	5/32"
Amperaje (A)	90 - 145	100 - 190	100 - 180	100 - 180	90 - 160
Voltaje (V)	25 - 40	25 - 40	25 - 40	25 - 40	25 - 40
Velocidad (mm/min)	100 - 200	120 - 200	120 - 200	120 - 200	100 - 200
Polaridad	DC(-)	DC(+)	DC(+)	DC(+)	DC(+)
Dirección	DESCENDENTE	DESCENDENTE	DESCENDENTE	DESCENDENTE	DESCENDENTE
Requerimientos complementarios					
1- Limpieza de la junta					
<ul style="list-style-type: none"> La superficie a soldar y áreas adyacentes, sobre una distancia de 1" a ambos lados de la junta, deben estar libres de aceite, grasa, oxido y otras elementos contaminantes que puedan afectar la calidad de la soldadura. La limpieza de la pasada de raíz debe ser hecha por amolado. El resto de las pasadas (relleno y terminación) deben ser limpiadas completamente por cepillo. 					
2- Protección contra las condiciones climáticas					
<ul style="list-style-type: none"> En caso de fuertes vientos, arena en suspensión o humedad en el aire, utilizar lonas o cualquier otro elemento que asegure una protección eficaz durante la soldadura. Cuando haya finalizado la soldadura o si por algún motivo se haya interrumpido, se deberá cubrir con aislamiento a la junta con el fin de evitar el enfriamiento brusco. 					
3- Otras consideraciones					
<ul style="list-style-type: none"> En ningún caso el último cordón de soldadura puede quedar por debajo de la superficie del metal base. Se deberá dejar una leve sobremonta. El ciclo de la soldadura no deberá ser interrumpido antes de haber finalizado por lo menos 1 / 3 de espesor de la junta. 					
REPRESENTANTE DE LA CONTRATISTA		INSPECTOR CERTIFICADO DE SOLDADURA		INSPECTOR DE REDES	

A continuación, se presenta el registro fotográfico para el pWPS 001:



Figura 2-1: (a) Inspección de hi-low. (b) Inspección de material base. (c) Cupón de 45° para calificación. (d) Proceso de soldadura.

2.2 pWPS 002 preliminar del proceso GTAW/SMAW

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SEGÚN NORMA NORMA API1104		Código:pWPS 002																																																																		
		Revisión :0																																																																		
		Fecha:11-09-2017																																																																		
WPS/ GTAW,SMAW- 002																																																																				
ESPECIFICACIÓN DE LAS VARIABLES (API 1104 - 2013)																																																																				
PQR/GTAW,SMAW SOPORTE N° 002																																																																				
VARIABLES	DESCRIPCIÓN																																																																			
Proceso de Soldadura	GTAW(Raíz) y SMAW(Caliente ,relleno y acabado)																																																																			
Material (Tuberías y accesorios)	API 5L X42 <Acero al carbono limite de fluencia ≤ API 5LX52																																																																			
Diámetro	Desde Ø2.375"(60.3 mm) hasta Ø12.75"(323.9 mm)																																																																			
Espesor de pared	Desde Ø 0.188"(4.8mm) hasta Ø 0.750"(19.1 mm)																																																																			
Diseño de la junta	A tope, ranura en "V"(Ver Figura N° 1)																																																																			
Metal de aporte (raíz)	AWS A5.18(ER70S-3, Grupo 5)																																																																			
Metal de aporte (relleno-acabado)	AWS A5.5(E8010-G, Grupo 2)																																																																			
Características eléctricas	Ver Tabla de parámetros eléctricos																																																																			
Dirección de soldadura	Raíz(ascendente), relleno y acabado(descendente)																																																																			
Posición de la junta	Todas las posiciones																																																																			
Numero de soldadores	01 o 02																																																																			
Tiempo entre pasadas	Maximo 5 minutos (entre el pase de raíz y el inicio del segundo pase)																																																																			
Tipo de presentador de alineamiento	Mecánico externo																																																																			
Retiro de presentador de alineamiento	Retirar luego de haber terminado como mínimo del 50% del pase de raíz																																																																			
Limpieza y/o amolado	Esmerilado y escobillado en raíz y pases que requiera																																																																			
Pre calentamiento	N/A																																																																			
Post-calentamiento	N/A																																																																			
Gas protector	Argón																																																																			
Fundente	N/A																																																																			
Caudal	20 - 25 CFH																																																																			
<p>Figura n° 1</p>																																																																				
<p>NOTA: DETALLE DE JUNTA REFERENCIAL</p> <p style="text-align: center;">Parámetros Eléctricos</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Cordones</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Variables</td> <td>RAÍZ</td> <td>2do PASE</td> <td>RELLENO(1)</td> <td>RELLENO(n)</td> <td>ACABADO</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>ROOT</td> <td>HOT</td> <td>FILL</td> <td>FILL</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Proceso</td> <td>GTAW</td> <td>SMAW</td> <td>SMAW</td> <td>SMAW</td> <td>SMAW</td> </tr> <tr> <td>Calificación AWS</td> <td>ER70S-3</td> <td>E8010-G</td> <td>E8010-G</td> <td>E8010-G</td> <td>E8010-G</td> </tr> <tr> <td>Diámetro</td> <td>3/32"</td> <td>5/32"</td> <td>5/32"</td> <td>5/32"</td> <td>5/32"</td> </tr> <tr> <td>Amperaje (A)</td> <td>90 - 145</td> <td>100 - 190</td> <td>100 - 180</td> <td>100 - 180</td> <td>90 - 160</td> </tr> <tr> <td>Voltaje (V)</td> <td>8 - 15</td> <td>25 - 40</td> <td>25 - 40</td> <td>25 - 40</td> <td>25 - 40</td> </tr> <tr> <td>Velocidad (mm/min)</td> <td>60 - 120</td> <td>120 - 200</td> <td>120 - 200</td> <td>120 - 200</td> <td>100 - 200</td> </tr> <tr> <td>Polaridad</td> <td>DC(-)</td> <td>DC(+)</td> <td>DC(+)</td> <td>DC(+)</td> <td>DC(+)</td> </tr> <tr> <td>Dirección</td> <td>ASCENDENTE</td> <td>DESCENDENTE</td> <td>DESCENDENTE</td> <td>DESCENDENTE</td> <td>DESCENDENTE</td> </tr> </tbody> </table> <p>Requerimientos complementarios</p> <p>1- Limpieza de la junta</p> <ul style="list-style-type: none"> La superficie a soldar y áreas adyacentes, sobre una distancia de 1" a ambos lados de la junta, deben estar libres de aceite, grasa, oxido y otras elementos contaminantes que puedan afectar la calidad de la soldadura. La limpieza de la pasada de raíz debe ser hecha por amolado. El resto de las pasadas (relleno y terminación) deben ser limpiadas completamente por cepillo. <p>2- Protección contra las condiciones climáticas</p> <ul style="list-style-type: none"> En caso de fuertes vientos, arena en suspensión o humedad en el aire, utilizar lonas o cualquier otro elemento que asegure una protección eficaz durante la soldadura. Cuando haya finalizado la soldadura o si por algún motivo se haya interrumpido, se deberá cubrir con aislamiento a la junta con el fin de evitar el enfriamiento brusco. <p>3- Otras consideraciones</p> <ul style="list-style-type: none"> En ningún caso el último cordón de soldadura puede quedar por debajo de la superficie del metal base. Se deberá dejar una leve sobremonta. El ciclo de la soldadura no deberá ser interrumpido antes de haber finalizado por lo menos 1 / 3 de espesor de la junta. 			Cordones	1	2	3	4	5	Variables	RAÍZ	2do PASE	RELLENO(1)	RELLENO(n)	ACABADO	-	ROOT	HOT	FILL	FILL	-	Proceso	GTAW	SMAW	SMAW	SMAW	SMAW	Calificación AWS	ER70S-3	E8010-G	E8010-G	E8010-G	E8010-G	Diámetro	3/32"	5/32"	5/32"	5/32"	5/32"	Amperaje (A)	90 - 145	100 - 190	100 - 180	100 - 180	90 - 160	Voltaje (V)	8 - 15	25 - 40	25 - 40	25 - 40	25 - 40	Velocidad (mm/min)	60 - 120	120 - 200	120 - 200	120 - 200	100 - 200	Polaridad	DC(-)	DC(+)	DC(+)	DC(+)	DC(+)	Dirección	ASCENDENTE	DESCENDENTE	DESCENDENTE	DESCENDENTE	DESCENDENTE
Cordones	1	2	3	4	5																																																															
Variables	RAÍZ	2do PASE	RELLENO(1)	RELLENO(n)	ACABADO																																																															
-	ROOT	HOT	FILL	FILL	-																																																															
Proceso	GTAW	SMAW	SMAW	SMAW	SMAW																																																															
Calificación AWS	ER70S-3	E8010-G	E8010-G	E8010-G	E8010-G																																																															
Diámetro	3/32"	5/32"	5/32"	5/32"	5/32"																																																															
Amperaje (A)	90 - 145	100 - 190	100 - 180	100 - 180	90 - 160																																																															
Voltaje (V)	8 - 15	25 - 40	25 - 40	25 - 40	25 - 40																																																															
Velocidad (mm/min)	60 - 120	120 - 200	120 - 200	120 - 200	100 - 200																																																															
Polaridad	DC(-)	DC(+)	DC(+)	DC(+)	DC(+)																																																															
Dirección	ASCENDENTE	DESCENDENTE	DESCENDENTE	DESCENDENTE	DESCENDENTE																																																															
REPRESENTANTE DE LA CONTRATISTA	INSPECTOR CERTIFICADO DE SOLDADURA	INSPECTOR DE REDES																																																																		

A continuación, se presenta el registro fotográfico para el pWPS 002:



Figura 2-2: (a) Proceso de soldadura. (b) Galgas de inspección visual. (c) Inspección visual de bisel. (d) Inspección visual de hi – low. (e) Cupón de 6” de diámetro.

En los siguientes subcapítulos se muestra la justificación y elección de material base, material de aporte y otros parámetros que se mostraron en los pWPS preliminares.

2.3 Elección de material base

Para la construcción de la red externa de gas natural se utiliza la tubería de 6" API 5L X52M PLS2 HFW de 7.11 mm espesor de pared para una operación de suministro a 10 bar y presión de diseño a 19 bar. La composición química y propiedades mecánicas se pueden ver en la **Tabla 1-2** y **Tabla 1-3** respectivamente.



A continuación, se muestra el certificado del material base:

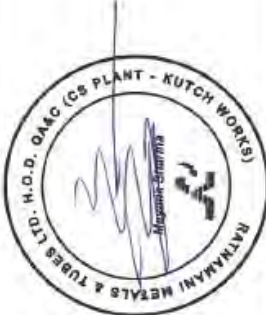

RATNAMANI METALS & TUBES LTD. CH PLANT - KUTCH WORKS		MILL TEST CI EN: 10204-3.1		FICATE																															
ELECTRIC RESISTANCE WELDED PIPE		For		ELECTRIC RESISTANCE WELDED PIPE																															
CHEMICAL ANALYSIS (%)		REPORT NO: RMTL4711090153/PT/CHEM23 to 24																																	
SERIAL NO.	HEAT NO.	SAMPLE COILS / PIPE NO.	NO. OF PIPES	CHEMICAL ANALYSIS (%)																															
SPECIFIC REQUIREMENT				MIN	MAX	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	V	Nb	N	Al	B	Ca	AUN	V+Nb+Ti	Nb+V	Cu+Ni	Cr+Mo	CE (IIV)	CE (PCM)							
1	D31296	D21139A07 [MPQT]	61	0.22	0.450	0.30	0.30	0.025	0.015	0.215	0.010	0.005	0.001	0.009	0.015	0.004	0.026	0.006	0.035	0.002	0.0021	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
				0.070	0.005	0.015	0.003	0.014	0.013	0.028	0.008	0.010	0.013	0.001	0.019	0.009	0.0005	0.003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
				0.081	0.001	0.181	0.001	0.014	0.013	0.028	0.008	0.010	0.013	0.001	0.019	0.009	0.0005	0.003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
2	D31295	D21138A05 [MPQT]	169	0.074	0.157	0.012	0.012	0.015	0.004	0.157	0.012	0.012	0.005	0.010	0.005	0.004	0.020	0.006	0.023	0.0010	0.0001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
				0.080	0.003	0.188	0.003	0.013	0.011	0.005	0.002	0.009	0.016	0.005	0.026	0.005	0.042	0.0025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				0.088	0.003	0.188	0.003	0.013	0.029	0.017	0.005	0.010	0.016	0.001	0.017	0.010	0.085	0.0001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	D21138B01			0.081	0.004	0.168	0.013	0.013	0.005	0.168	0.013	0.005	0.010	0.005	0.005	0.005	0.019	0.009	0.024	0.0010	0.0001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
				0.081	0.004	0.168	0.013	0.013	0.011	0.005	0.002	0.009	0.016	0.005	0.026	0.005	0.042	0.0025	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
COATING				Inside :-	Not Applicable																														
				Outside :-	Not Applicable																														
$CE (IIV) = C + (Mn/6) + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15 + (Nb+Ti)/20 + (N/10) + (V/10) + 5B$																																			
ABBREVIATIONS: Y.S. - Yield Strength, U.T.S. - Ultimate Tensile Strength, EL-Elongation, CBT-Charter Bend Test, FH-Face Bend, KB-Root Bend, KT-Radiography Testing, T - Transverse, L - Longitudinal PL - Fusion Line, SAT - Sanitary, UT-Ultrasonic Testing, MTC - Mill Test Certificate, MPI- Magnetic Particle Inspection, MAX- Maximum, MIN- Minimum, MPQT- Manufacturing Procedure Qualification Test Report We certify that the pipes have been manufactured, inspected and tested in accordance with API-5L-2008, approved QAP No.:- QAP/PERU/AS96-A3201 Rev.0 Dt.12/01/2012 & Test Certificate confirm to EN: 10204-3.1																																			
DETAILS OF THE PIPES MENTIONED IN ATTACHED ANNEXURE NO. :- 15 Dtl. 01/05/2012.																																			
																																			
H.D.D. DARG (CS PLANT - KUTCH WORKS) RATNAMANI METALS & TUBES LTD.																Inspection Authority																			

Figura 2-3: Certificado de material base utilizado para el presente estudio.

2.4 Elección de materiales de aporte

Las recomendaciones dadas por entidades normativas, tales como la API 1104 o AWS, sirven de apoyo en la elección del material de aporte para determinar la que más se adecue a los diversos trabajos de soldadura de acuerdo con las propiedades físicas y mecánicas que se quieran obtener. Los criterios que se deben tomar en cuenta para la elección de un electrodo revestido se resumen a continuación:

- Composición química similar al metal base.
- Propiedades mecánicas del electrodo.
- Soldabilidad
- Posición de soldadura

Para ello se seleccionó los siguientes materiales de aportes:

2.4.1 Materiales de aporte para proceso SMAW

Electrodo AWS / ASME SFA A5.1 E 6010-PT – pase raíz de WPS 001.

- Ideal para pasada de raíz en la soldadura de tuberías, donde la alta velocidad, el control del arco y la rápida solidificación de la escoria son de suma importancia.
- Electrodo de penetración profunda, uniforme y excelente estabilidad de arco.
- Buena operatividad en la posición vertical descendente.

Tabla 2-1: Composición química de electrodo AWS/ASME SFA A5.1 E 6010

%C	%Mn	%Si	%P	%S	Otros
0.05	0.42	0.20	Máx.	Máx.	--
0.09	0.70	0.30	0.05	0.05	--

Fuente: Manual de soldadura y catálogo de productos. Soldexa

Tabla 2-2: Propiedades mecánicas de electrodo AWS/ASME SFA A5.1 E 6010

Tratamiento térmico	Resistencia a la tracción [MPa. (psi)]	Límite de fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" (%)	Energía absorbida ISO-V [-30°C)] [J]
Sin Tratamiento	430 -470 (62 350 -68150)	Min. 350 (50 750)	22 30	Min.50

Fuente: Manual de soldadura y catálogo de productos. Soldexa

Tabla 2-3: Parámetros de soldeo recomendados para el electrodo AWS/ASME SFA A5.1 E 6010

Diámetro	(mm)	3.2	4.0
	(pulgadas)	1/8	5/32
Amperaje mín.		75	110
Amperaje máx.		120	150

Fuente: Manual de soldadura y catálogo de productos. Soldexa

Aplicaciones del electrodo

- Especial para tuberías de petróleo (oleoductos, gaseoductos) de los tipos API 5L X42, X46, X52, X65 Y X70 sólo para pases de raíz.
- Tanques de almacenamiento y transporte de hidrocarburos.
- Recipientes a presión.
- Tuberías en general, por ejemplo, ASTM A53Gr B, ASTM A106 Gr.B, API5L GrB, etc. (soldaduras múltiples).

Se adjunta el **Anexo A**, especificación de electrodo E6010.

Características del electrodo AWS / ASME SFA A5.5 E 8010-G – pases de relleno WPS 001 y WPS 002.

- Electrodo revestido de tipo celulósico, con penetración profunda.
- Fácil de manejar en todas las posiciones.
- Recomendado especialmente para oleoductos y gaseoductos en posición vertical descendente, para pases de raíz, caliente, relleno y presentación.

Tabla 2-4: Composición química de electrodo AWS/ASME SFA A5.1 E 8010-G

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Mo	%Ni	Otros
0.18	0.8	0.21	0.016	0.013	0.23	0.85	---

Tabla 2-5: Propiedades mecánicas de electrodo AWS/ASME SFA A5.1 E 8010-G

Tratamiento térmico	Resistencia a la tracción [MPa. (psi)]	Límite de fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" (%)	Energía absorbida ISO-V [°C] [J(ft-Lbf)]
Sin Tratamiento	560 -650 (80 000 - 92 000)	470 - 540 (67 000 - 77000)	22 29	[-10°C] [62-100J] [-29°C] [30-70J]

Fuente: Manual de soldadura y catálogo de productos. Soldexa

Tabla 2-6: Parámetros de soldeo recomendados para electrodo AWS/ASME SFA A5.1 E 8010-G

Diámetro	(mm)	4.0	4.8
	(pulgadas)	5/32	3/16
Amperaje mín.		120	150
Amperaje máx.		155	180
Polaridad		DCEP/DCEN	

Fuente: Manual de soldadura y catálogo de productos. Soldexa

Aplicaciones del electrodo

- Tubos y similares en aceros de calidad API 5LX de grados; X56, X60, X65.
- Aceros de resistencia a la tracción de hasta 80 ksi.
- Para aplicaciones de soldadura en oleoductos y gaseoductos.

Se adjunta el **Anexo B**, especificación de electrodo E8010 – G.

2.4.2 Material de aporte para proceso GTAW

Electrodo AWS /ASME SFA A5.18 ER70S-6 – pase raíz de WPS 002.

- Varilla sólida para el proceso TIG (GTAW) cuyo depósito es un acero al carbono con mediano contenido de manganeso y silicio.
- Presenta buena soldabilidad proporcionando un charco limpio con buena visibilidad.
- Su depósito es libre de poros y fisuras, ideal para soldar desde el pase de raíz en toda posición.

Tabla 2-7: Composición química del electrodo AWS /ASME SFA A5.18 ER70S-6

%C	%Mn	%Si	%P	%S	Otros
0.06	1.40	0.8	Máx.	Máx.	--
0.12	1.60	1.15	0.025	0.025	--

Tabla 2-8: Propiedades mecánicas de electrodo AWS /ASME SFA A5.18 ER70S-6

Tratamiento térmico	Resistencia a la tracción [MPa. (psi)]	Límite de fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" (%)	Energía absorbida ISO-V (-30°C) [J]
Sin Tratamiento	500 - 640 (78 300– 92 800)	Min. 420 (60 900)	Min. 22	Min. 80

Tabla 2-9: Parámetros de soldeo recomendados para electrodo AWS /ASME SFA A5.18 ER70S-6

Diámetro	(mm)	2.5	3.25
	(pulgadas)	3/32	1/8
Amperaje mín.		20	30
Amperaje máx.		150	250
Polaridad		DCEN	
Gas protector		100% Ar.	
Flujo de gas (l/min)		5 - 15	

Fuente: Manual de soldadura y catálogo de productos. Soldexa

Aplicaciones

- Para la soldabilidad de: Aceros estructurales.
- Aceros de la serie APIX42, X46, API-STANDARD.
- Aceros de grano fino: StE255 a StE355, DIN17102.

Se adjunta el **Anexo C**, certificado de calidad del electrodo ER 70S - 6.

2.5 Análisis de soldabilidad del material base

Para el material base se ha determinado el grado de soldabilidad metalúrgica, es decir hacer posible que, por medio de la elección del material, aporte, consumibles, temperatura, tratamiento térmico (si lo requiera), etc. se obtenga una unión con características mecánicas y químicas deseables. Para determinar el nivel de soldabilidad se tuvo en cuenta los siguientes factores:

- Transformación que se producen en la zona afectada por el calor.
- La composición química de los materiales a unir
- Tensiones residuales

Asimismo, se ha calculado los siguientes factores para estimar la soldabilidad:

- Carbono equivalente.
- La susceptibilidad a presentar estructuras frágiles.
- La presencia de hidrogeno.
- Predicción de probable agrietamiento por hidrogeno.
- La temperatura de precalentamiento necesario para reducir estos efectos.

2.6 Determinación de la temperatura de precalentamiento

Como se ha mencionado anteriormente, el precalentamiento es necesario para evitar obtener zonas frágiles o con mayor cantidad de hidrógeno a lo permisible. El precalentamiento depende directamente de la composición química, espesor, grado de embridamiento, entre otras. En este punto se han analizado tres métodos de cálculo de la temperatura de precalentamiento y finalmente se seleccionó la más conveniente.

2.6.1 Cálculo de carbono equivalente

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

$$CE = 0.33$$

Se debe tener en cuenta que para evitar riesgos de fisuración en frio por la presencia de estructuras frágiles en el cordón de soldadura, se recomienda que el CE no sea mayor a 0.35-0.40 %, es decir, para el caso de estudio (CE=0.33), no se presenta riesgo de fisuración en frio en la ZAC. Igualmente, mediante cálculos se analizó si es necesario efectuar el precalentamiento antes del soldeo.

2.6.2 Cálculo por método de Seferian

Seferian propone las siguientes expresiones para determinar la temperatura de precalentamiento:

$$C_q = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + 7 * \frac{Mo}{90}$$

$$C_q = 0.228$$

$$C_T = C_q + C_e = C_q * (1 + 0.005 * e)$$

e : espesor [mm]

$$C_T = 0.228 * (1 + 0.005 * 7.11) = 0.254$$

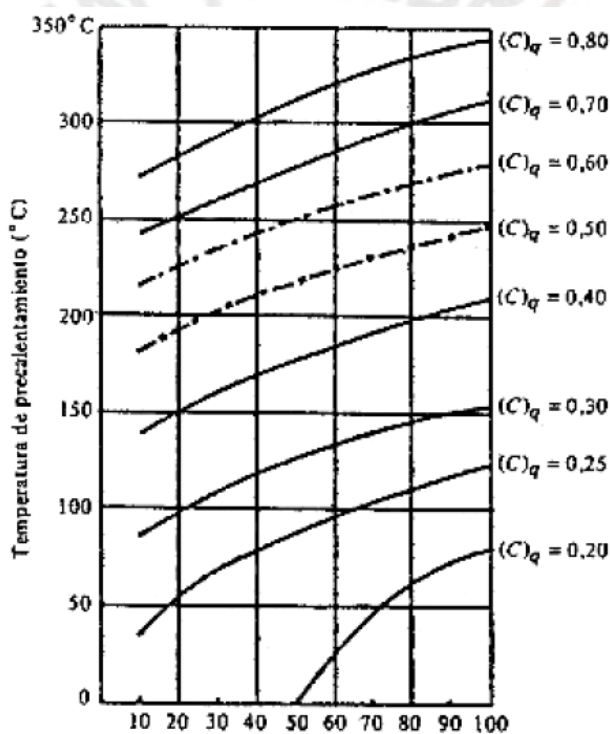


Figura 2-4: Diagrama de temperatura de precalentamiento por método de Seferian

Fuente: Código ASME B31.8 Tuberías de transporte y distribución de gas

Se utilizó el gráfico anterior o de una manera más exacta, la siguiente expresión:

$$Tp = 350 * \sqrt{C_T - 0.25}$$

$$Tp = 350 * \sqrt{0.252 - 0.250} = 15$$

Por lo tanto, la temperatura de precalentamiento, calculado con el método de Seferian fue 15 °C. Siendo este no necesario por haber trabajo a mayor temperatura ambiente.

2.6.3 Cálculo por método del Instituto Internacional de Soldadura

Este método se basa en el planteado por la British Welding Research Association y toma en cuenta el carbono equivalente, diámetro de electrodo, geometría y aporte de calor.


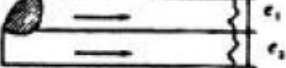
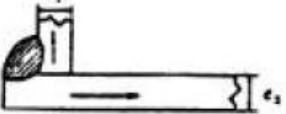
Fue necesario el cálculo de ciertos índices para determinar la temperatura de precalentamiento.

Un índice de brusquedad térmica (IBT) con valor igual a 1, se define como el flujo de calor a través de una sección de espesor igual a 6mm en sentido unidireccional. Para otros tipos de arreglos se cuentan con tablas.

De acuerdo con la **Tabla 2-10**, el índice de brusquedad térmica queda determinada por:

$$IBT = \frac{7.11 + 7.11}{6} = 2.37$$

Tabla 2-10: Índice de brusquedad térmica para distintas uniones

Tipo de Junta	IBT
	
	$\frac{e_1 + e_2}{6}$
	

Fuente: BS EN 1011-2, Welding. Recommendations for Welding of Metallic Materials. Arc Welding of Ferritic Steels.

El carbono equivalente, ya calculado, es:

$$CE = 0.333$$

El diámetro de los electrodos a usar es:

$$D = \frac{5}{32} in \approx 4mm.$$

Por último, la longitud de cordón por electrodo:

$$\varnothing tubo = 6 in = 152.4 mm$$

$$L = \pi * D = 3.14 * 152.4 = 478.5 \text{ mm}$$

De acuerdo con el diagrama que brinda el Instituto Internacional de Soldadura, se obtuvo que la temperatura de precalentamiento es menor a 20°C, siendo este no necesario por trabajar a una temperatura ambiente mayor.

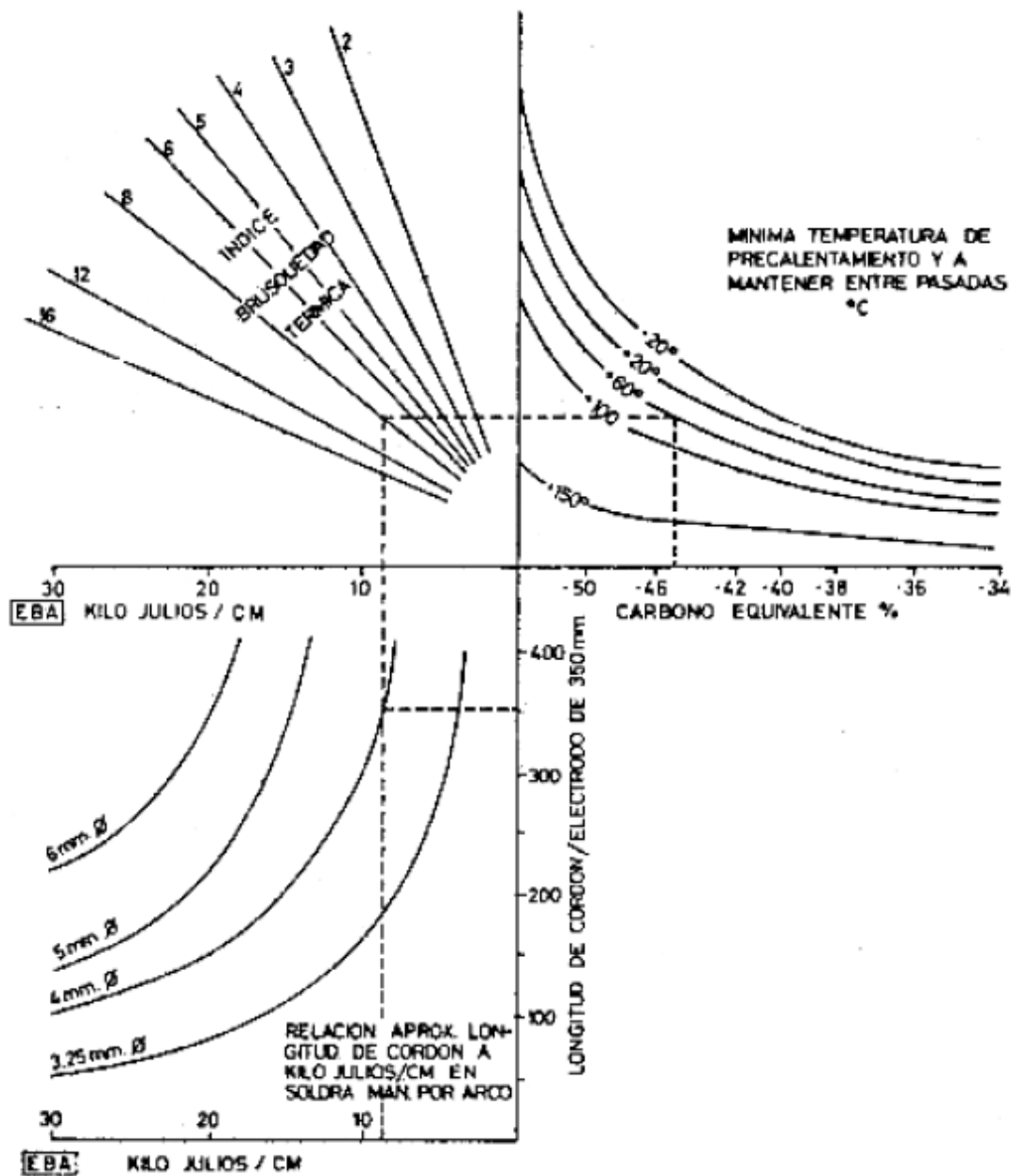


Figura 2-5: Diagrama de temperatura de precalentamiento propuesto por IIW

Fuente: BS EN 1011-2, Welding. Recommendations for Welding of Metallic Materials. Arc Welding of Ferritic Steels.

2.7 Determinación de cupones

Para ensayar juntas soldadas a tope, se deben cortar especímenes de ensayo de la junta en las ubicaciones mostradas en la **Figura 2-6**. El número mínimo de probetas de ensayo, así como los ensayos a los cuales deben ser sometidas son mostrados en la **Tabla 2-11**. Las probetas deben ser preparadas como muestran las **Figuras 2-7, 2-10 y 2-12**. Los especímenes o probetas deben ser enfriados al aire hasta la temperatura de ambiente antes de ser ensayados.

2.7.1 Cantidad y tipo de probetas proceso SMAW y GTAW / SMAW

Para ensayar la junta a tope, los especímenes deben ser cortados de las zonas indicadas en la figura mostrada abajo. El número mínimo de especímenes y las pruebas a las cuales serán sujetos se indican en la tabla mostrada. Las probetas deben ser enfriadas al aire antes de ser ensayadas.

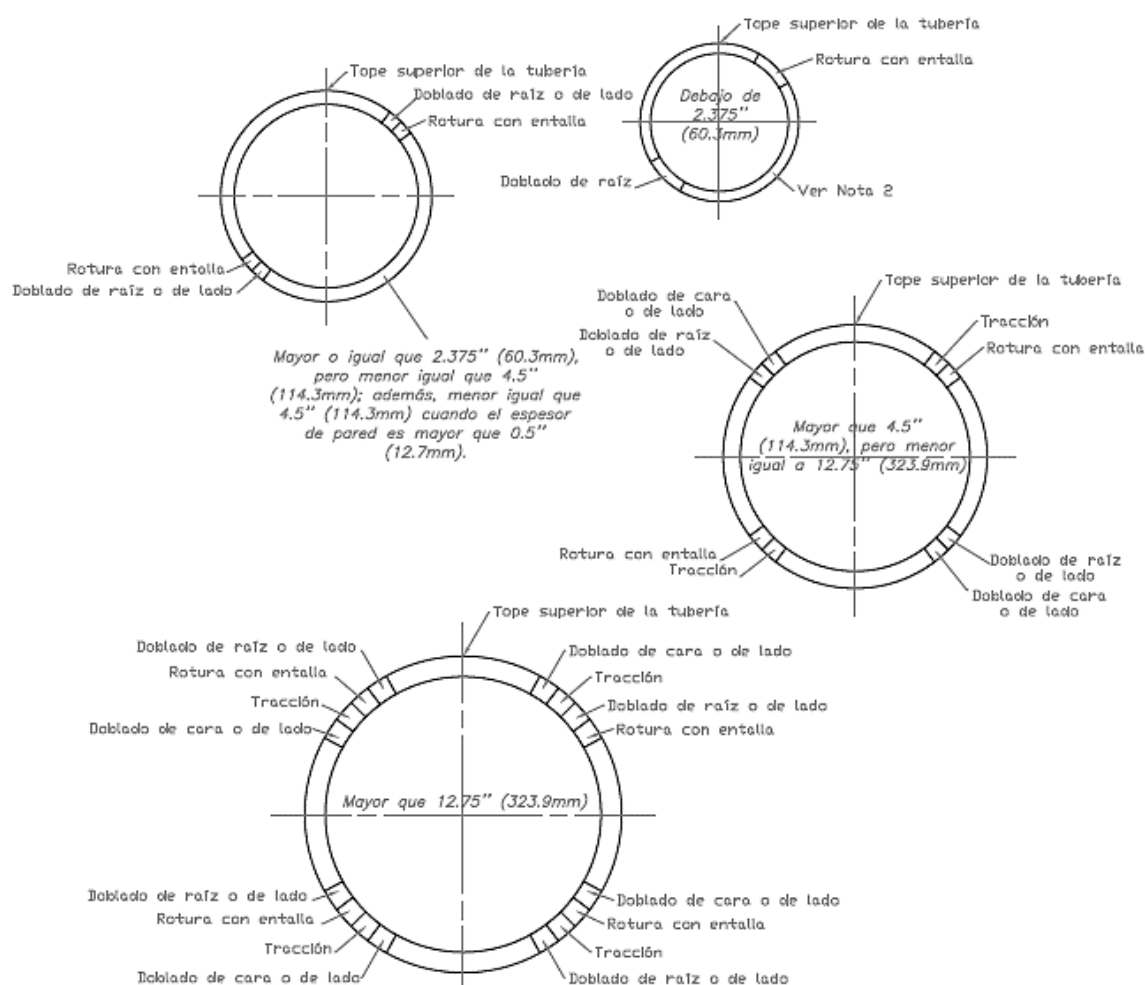


Figura 2-6: Ubicación de las probetas de ensayo de soldaduras a tope para ensayos de calificación de procedimiento

Fuente: Norma API 1104 vigésimo primera edición

Notas:

1. Como opción de la compañía, las ubicaciones pueden ser rotadas, siempre que estén espaciadas igualmente alrededor de la tubería; no obstante, las probetas no deben incluir la soldadura longitudinal.

2. Una probeta de tracción de sección completa puede ser usada para tubería con un diámetro exterior menor o igual a 1.315 pulg. (33.4 mm).

Tabla 2-11: Tipo y número de probetas para ensayo de calificación de procedimiento

Øext de la tubería		Número de probetas					
in.	mm	Tracción	Nick Break	Doblado Raíz	Doblado Cara	Doblado Lateral	Total
Espesor de pared < 0.5 in. (12.7mm)							
<2.375	<60.3	0(b)	2	2	0	0	4 (a)
2.375 – 4.5	60.3- 114.3	0(b)	2	2	0	0	4
4.5- 12.75	114.3- 323.9	2	2	2	2	0	8
Ø>12.75	Ø>323.9	4	4	4	4	0	16
Espesor de pared > 0.5 in. (12.7mm)							
Ø<4.5	Ø<114.3	0(b)	2	0	0	2	4
4.5- 12.75	114.3- 323.9	2	2	0	0	4	8
Ø>12.75	Ø>323.9	4	4	0	0	8	16
Una probeta de Nick break y una de dobles de raíz se tomarán de dos juntas a ensayar, o para una tubería con Ø hasta 33.4mm, se tomará una probeta a tracción con sección completa.							
Para materiales con resistencias de fluencia mínimas especificadas superiores a 42,000 psi (290 MPa), se requerirá un mínimo de una prueba de tracción.							

Fuente: Norma API 1104 vigésimo primera edición

2.7.2 Probetas para ensayo a tracción

Preparación

Las muestras para ensayo de resistencia a la tensión (ver **Figura 2-7**) deben ser aproximadamente de 9" (230 mm) de longitud y 1 pulgada (25 mm) de ancho. Ellas deben ser cortadas por máquina o por oxígeno y no se necesita otra preparación a menos que los bordes estén muescados o no sean paralelos. Si es necesario las muestras deben ser maquinadas para que los lados queden lisos y paralelos.

Método

Las muestras de ensayo de resistencia a la tracción deben romperse bajo carga de tensión con equipo capacitado para medir la carga con la que ocurre la falla. La resistencia a la tensión debe ser computada, dividiendo la carga máxima en el momento de la falla por la menor área de la sección transversal de la muestra cómo fue medido antes que la carga fuera aplicada.

Requerimientos

La resistencia a la tracción de la soldadura, incluyendo la zona de fusión de cada muestra, debe ser igual o mayor que la resistencia a la tracción mínima especificada del material de la tubería, pero no necesita ser igual o mayor que la actual resistencia del material de la tubería. Si la muestra se rompe fuera de la zona de soldadura y fusión (es decir, en el metal principal) en una resistencia a la tracción no inferior al 95% de la del SMTS del material de la tubería, se aceptará que la soldadura cumple con los requisitos.

Si la muestra se rompe en la soldadura o en la zona de fusión y la resistencia observada es igual o mayor que la resistencia mínima de tracción especificada del material de la tubería y reúne los requerimientos de sanidad, se aceptará que la soldadura cumple con los requisitos.

Si la muestra se rompe por debajo de la resistencia mínima a la tracción especificada del material de la tubería, entonces la soldadura debe dejarse de lado y debe hacerse una nueva prueba de soldadura. (API, 2013)

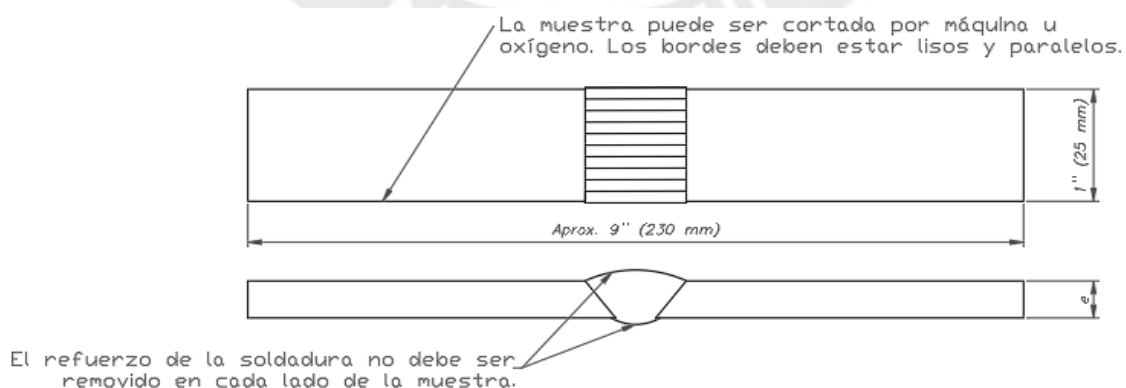


Figura 2-7: Probeta para ensayo a tracción

Fuente: Norma API 1104 vigésimo primera edición



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2-8: (a) Máquina para ensayo a tracción. (b) Ensayo de tracción de probeta WPS 001 – 1. (c) Ensayo de tracción de probeta WPS 001 – 2. (d) Probetas ensayadas aceptadas por rotura fuera de la zona de soldadura.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2-9: (a) Máquina para ensayo a tracción. (b) Ensayo de tracción de probeta WPS 002 – 1. (c) Ensayo de tracción de probeta WPS 002 – 2. (d) Probetas ensayadas aceptadas por rotura fuera de la zona de soldadura.

2.7.3 Ensayos de rotura por entalla (Nick Break Test)

Preparación

Las muestras de ensayo de rotura por entalla deben ser aproximadamente de 9 pulgadas (230mm) de longitud y 1 pulgada (25 mm) de ancho y pueden ser cortadas a máquina u oxígeno. Ellas deben ser entalladas con una sierra de metal en cada lado del centro de la soldadura y cada entalla debe ser aproximadamente de 1/8 de pulgada (3 mm) de profundidad.

Muestras de entalla preparadas de esta manera a partir de soldaduras hechas con ciertos procesos automáticos y semiautomáticos pueden fallar a través de la tubería en vez de la soldadura. Cuando experiencias de pruebas previas indican que las fallas de las tuberías son esperadas, el refuerzo externo debe ser muescado a una profundidad que no exceda 1/16 de pulgada (1.6 mm), medida desde la superficie original de la soldadura.

Como opción de la compañía, las muestras para rotura de muesca destinadas para calificar un procedimiento automático o semiautomático de soldadura pueden ser macro-atacados antes de ser entalladas.

Método

Las muestras deben ser rotas mediante estiramiento en una máquina de tensión, sujetando los bordes y golpeando el centro, o sujetando un extremo y golpeando el otro con un martillo. El área expuesta de la fractura debe tener un mínimo de $\frac{3}{4}$ de pulgada (19 mm) de ancho.

Requerimientos

Las superficies expuestas de cada muestra para rotura de muesca deben mostrar completa penetración y fusión. La mayor dimensión de cualquier bolsa de gas no debe exceder 1/16 de pulgada (1.6 mm), y el área combinada de todas las bolsas de gases no deben exceder el 2% del área de la superficie expuesta. Las inclusiones de escoria no deben ser mayores de 1/32 de pulgada (0.8 mm) de profundidad y no debe ser mayor que 1/8 de pulgada (3 mm) o la mitad del espesor de pared nominal en longitud, cual fuere la más pequeña. Debe haber por lo menos 1/2 pulgada (13 mm) de separación entre las inclusiones de escoria adyacentes. Las dimensiones deben ser medidas tal como se muestran en la **Figura 2-10**. Los ojos de pez (fish eyes) tal como se definen en AWS A3.0, no son causa de rechazo. (API, 2013)

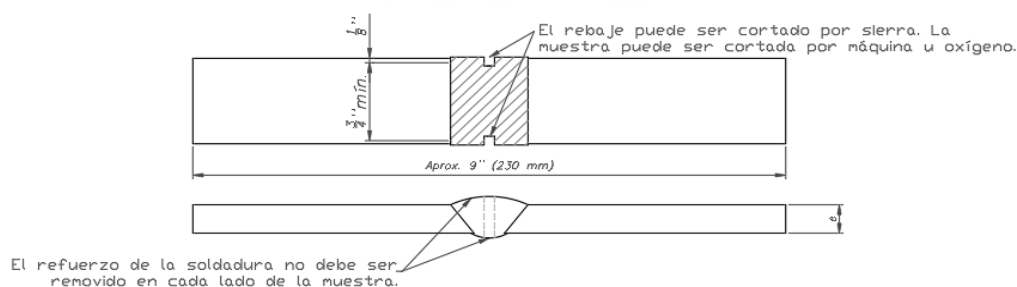


Figura 2-10: Probeta para rotura por entalla (Nick Break)

Fuente: Norma API 1104 vigésimo primera edición



(a)



(b)

Figura 2-11: (a) Probetas para ensayo Nick Break de WPS 001. (b) Probetas aceptadas por no mostrar discontinuidades en cordón de soldadura.

2.7.4 Ensayo de doblado de cara y raíz

Preparación

Los especímenes para el ensayo de doblez de cara y raíz (ver **Figura 2-12**) deben ser aproximadamente 9 pulg. (230 mm) de longitud y aproximadamente 1 pulg. (25 mm) de ancho, y sus cantos longitudinales deben ser redondeados. Pueden ser cortados por sierra o con oxígeno. Los pases de refuerzo y raíz deben ser removidos al ras con las superficies del espécimen. Estas superficies deben ser lisas, y cualquier ralladura que exista debe ser ligera y transversales a la soldadura. El espécimen no deberá ser aplanado antes de la prueba.

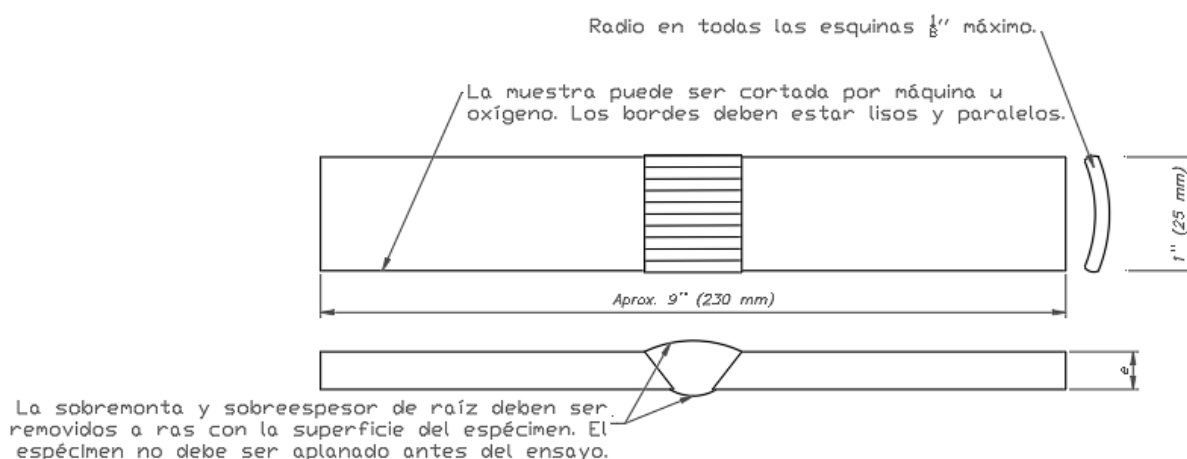


Figura 2-12: Probeta para ensayo de doblado de raíz y de cara. Espesor de pared menor o igual a 0.500 pulgadas.

Fuente: Norma API 1104 vigésimo primera edición

Método

Los especímenes para ensayo de doblez de cara y raíz deben ser doblados en una matriz para ensayo guiado similar al que se muestra en la **Figura 2-13**. Cada espécimen debe ser ubicado en la matriz con la soldadura en el medio de la abertura. Especímenes para doblado de cara deben ser ubicados con la cara de la soldadura mirando hacia la abertura de la matriz y del mismo modo, los especímenes de doblado de raíz deben ser ubicados con la raíz de la soldadura mirando hacia la abertura de la matriz. El émbolo con el punzón debe ser forzado a ingresar dentro del espacio libre de la matriz hasta que la curvatura del espécimen sea aproximadamente en forma de U.

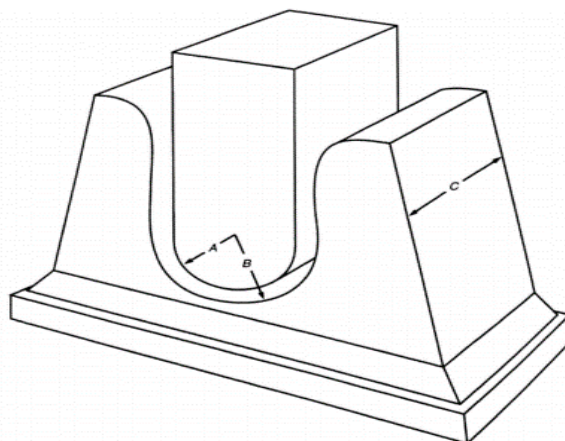


Figura 2-13: Dispositivo para ensayo de doblado.

Fuente: Norma API 1104 vigésimo primera edición

Requerimiento

El ensayo de doblado debe ser considerado aceptable si ninguna fisura u otra imperfección excede al menor valor entre $1/8''$ (3 mm) y la mitad del espesor nominal de pared, sea cual fuere la dirección de la discontinuidad que esté presente en la soldadura o entre la soldadura y la zona de fusión después del doblado. Fisuras que se originan durante el ensayo en el radio exterior del doblado a lo largo del borde del espécimen y que sean menores que $1/4''$ (6 mm), medido en cualquier dirección, no deben ser consideradas a menos que sean observadas imperfecciones relevantes. Para diámetros de soldadura de prueba superior a $12 \frac{3}{4}$ pulg (323.9 mm), si en un solo espécimen falla, el espécimen puede ser reemplazado con dos especímenes adicionales de lugares adyacentes al espécimen fallido. Si falla cualquiera de las muestras de prueba de doblado de remplazo, la soldadura se considera no aceptada. (API, 2013)



(a)



(b)

Figura 2-14: (a) Probetas para el doblado de cara – raíz de WPS 001. (b) Probetas con doblado cara raíz aceptadas por no mostrar discontinuidades.



(a)



(b)

Figura 2-15: (a) Probetas para el doblado de cara - raíz de WPS 002. (b) Probetas con doblado cara raíz aceptadas por no mostrar discontinuidades.

2.7.5 Probetas para calificación de soldadores

El propósito de los ensayos de calificación de soldadores es determinar a habilidad de estos para ejecutar uniones soldadas sanas, sean estas a tope o filete, usando procedimientos previamente calificados. Antes que cualquier soldadura en producción sea llevada a cabo, los soldadores deben ser calificados de acuerdo con los requerimientos aplicables. Estos se harán de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 2-12: Número y tipo de probeta para la calificación de soldadores.

Øext de la tubería		Número de probetas					
in.	mm	Tracción	Nick Break	Dob. Raíz	Dob. Cara	Dob. Lateral	Total
Espesor de pared < 0.5 in. (12.7mm)							
<2.375	<60.3	0	2	2	0	0	4 (a)
2.375 – 4.5	60.3- 114.3	0	2	2	0	0	4
4.5- 12.75	114.3- 323.9	2	2	2	0	0	6
Ø>12.75	Ø>323.9	4	4	2	2	0	12
Espesor de pared > 0.5 in. (12.7mm)							
Ø<4.5	Ø<114.3	0	2	0	0	2	4
4.5- 12.75	114.3- 323.9	2	2	0	0	2	6
Ø>12.75	Ø>323.9	4	4	0	0	4	12
Para tuberías de diámetros exteriores menores o iguales a 1.315'' (33.4mm), deben ser tomadas probetas de dos soldaduras o una de sección completa para resistencia a la tracción.							

Fuente: Norma API 1104 vigésimo primera edición

CAPÍTULO 3

3. Resultado y análisis

En este capítulo se detallará la preparación de las probetas, los resultados de los respectivos ensayos y se analizarán para obtener la calificación del procedimiento de soldadura. Además, se presentará el WPS y PQR del presente trabajo.

3.1 Preparación de probetas

Las preparaciones de probetas se realizaron a partir de secciones obtenidas a través del corte con herramientas mecánicas como la amoladora. El tamaño de la probeta y su geometría quedan señaladas por la norma API 1104.

Como se pudo observar en el registro fotográfico, se obtuvieron dos probetas de tracción (según lo indicado por la API 1104) para cada uno de los procesos a comparar, su geometría aproximada es la siguiente:

- Ancho: 1" (25 mm)
- Espesor: 0.28" (7 mm)
- Largo: 9" (228.6 mm)
- No se deben retirar la sobre monta del cordón, por ninguno de los ambos lados.

Esto es, teniendo en cuenta de que se trata de una probeta estándar ya que la normativa a su vez permite hacer una probeta de sección reducida.

La normativa permite que los cupones puedan ser extraídos a través de corte oxiacetilénico o a través de corte mecanizado.

Los cupones fueron soldados según lo siguiente:

Equipo de soldadura:

Marca:	Miller
Modelo:	XMT 350 CC/CV
Conexión de red:	380v, 3Ph, 60 Hz
Voltaje en vacío:	75 Vdc.
Ciclos de trabajo:	350A/60%
Rango amperaje:	5- 425 A. (CC Mode)

Regulación de parámetros

SMAW

- 1er pase: E6010 – DCEN (110A) – 28V
- 2do: E8010 – DCEP (147A) – 28V
- 3ro: E8010 – DCEP (120A) – 28V
- 4to: E8010 – DCEP (120A) – 27V
- 5to: E8010 – DCEP (147A) – 28V

MIXTO (GTAW/SMAW)

- 1er pase: GTAW E R70S-6 – DCEN (100A) – 10V – 23CFH Argón
- 2do: E8010 – DCEP (145A) – 28.4V
- 3ro: E8010 – DCEP (120A) – 28.4V
- 4to: E8010 – DCEP (120A) – 28.4V
- 5to: E8010 – DCEP (115A) – 28.4V

3.2 Resultados de ensayos de tracción

Tabla 3-1: Resultados de ensayos de tracción de probetas

Muestra	Sección Transversal		Cargas		Tensiones	
	Dimensiones (mm)	Áreas (mm ²)	Fluencia (KN)	Máxima (KN)	Fluencia (MPa)	Máxima (MPa)
T1-1	25.24x6.86	173.15	-	89.6	-	517.48
T1-2	25.44x7.34	186.73	-	90.6	-	485.19
T2-1	25.36x7.58	192.23	-	88.6	-	460.91
T2-2	25.70x7.31	187.87	-	88.8	-	472.67

Como se observa en la **figura 2.8** y **figura 2.9**, ninguna de los especímenes rompe en la soldadura ni en la zona afectada por el calor. De acuerdo con la norma utilizada, si se da el caso anterior, los especímenes serán aceptados si la resistencia a la tracción es mayor al 95% de la resistencia a la tracción mínima especificada del material, el cual es 437 MPa. Por lo tanto, es aceptada de acuerdo con los resultados obtenidos.

3.3 Resultados de ensayos de macrografía

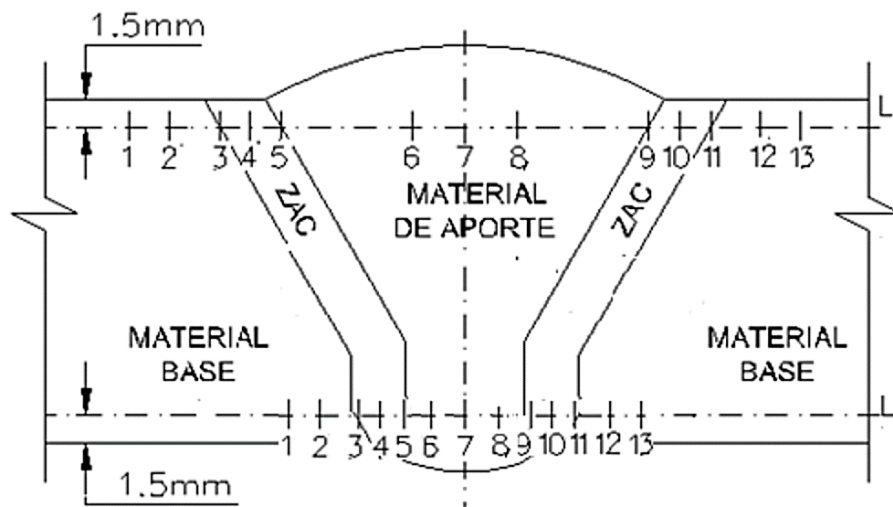


Figura 3-1: Puntos de análisis de medición de dureza

Fuente: Norma API 1104 vigésimo primera edición



Tabla 3-2: Resultados de ensayos de dureza a probetas

Zona WPS-001		Mediciones			Dureza HV10
		d1 (μm)	d2 (μm)	dprom (μm)	
L1 Acabado	1	345.5	347.3	346.4	155
	2	346.4	358.4	352.4	149
	3	335.3	341.8	338.55	162
	4	332.6	341.8	337.2	163
	5	327	338.1	332.55	168
	6	321.5	318.7	320.1	181
	7	317.8	314.1	315.95	186
	8	324.8	376.1	350.45	172
	9	320.6	321.5	321.05	180
	10	334.4	334.4	334.4	166
	11	334	334.4	334.2	164
	12	369.5	354.7	362.1	141
	13	345.5	342.7	344.1	157

Zona WPS-002		Mediciones			Dureza HV10
		d1 (μm)	d2 (μm)	dprom (μm)	
L1 Acabado	1	339	341.8	340.4	160
	2	364.9	341.8	353.35	149
	3	345.5	344.6	345.05	156
	4	340	340.9	340.45	160
	5	325.2	334.4	329.8	170
	6	325.2	317.8	321.5	179
	7	319.6	313.2	316.4	185
	8	314.1	319.6	316.85	185
	9	319.6	318.7	319.15	182
	10	342.7	342.7	342.7	158
	11	344.6	455.7	400.15	151
	12	356.6	363	359.8	143
	13	338.1	338.1	338.1	162

Zona WPS-001		Mediciones			Dureza HV10
		d1 (μm)	d2 (μm)	dprom (μm)	
L11 Raíz	1	332.6	329.8	331.2	169
	2	335.3	343.6	339.45	161
	3	340.9	340	340.45	160
	4	331.6	327.9	329.75	170
	5	329.8	324.2	327	173
	6	337.2	332.6	334.9	165
	7	334.4	330.7	332.55	168
	8	330.7	332.6	331.65	169
	9	327	329.8	328.4	172
	10	333.5	332.6	333.05	167
	11	343.6	340.9	342.25	158
	12	349.2	347.3	348.25	153
	13	343.6	334.4	339	161

Zona WPS-002		Mediciones			Dureza HV10
		d1 (μm)	d2 (μm)	dprom (μm)	
L11 Raíz	1	322.4	337.2	329.8	170
	2	339	317.8	328.4	172
	3	335.3	333.5	334.4	166
	4	327	325.2	326.1	174
	5	330.7	334.4	332.55	168
	6	330.7	331.6	331.15	169
	7	331.6	327.9	329.75	170
	8	332.6	326.1	329.35	171
	9	329.8	325.9	327.85	171
	10	340	332.6	336.3	164
	11	343.6	346.4	345	156
	12	345.5	343.6	344.55	156
	13	337.2	342.7	339.95	160

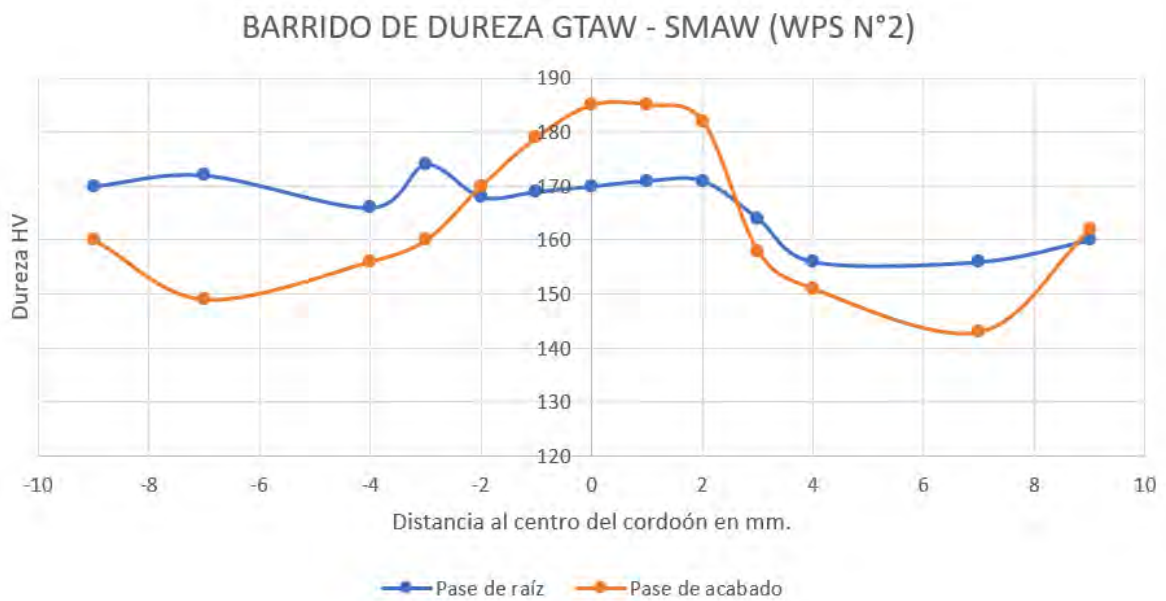
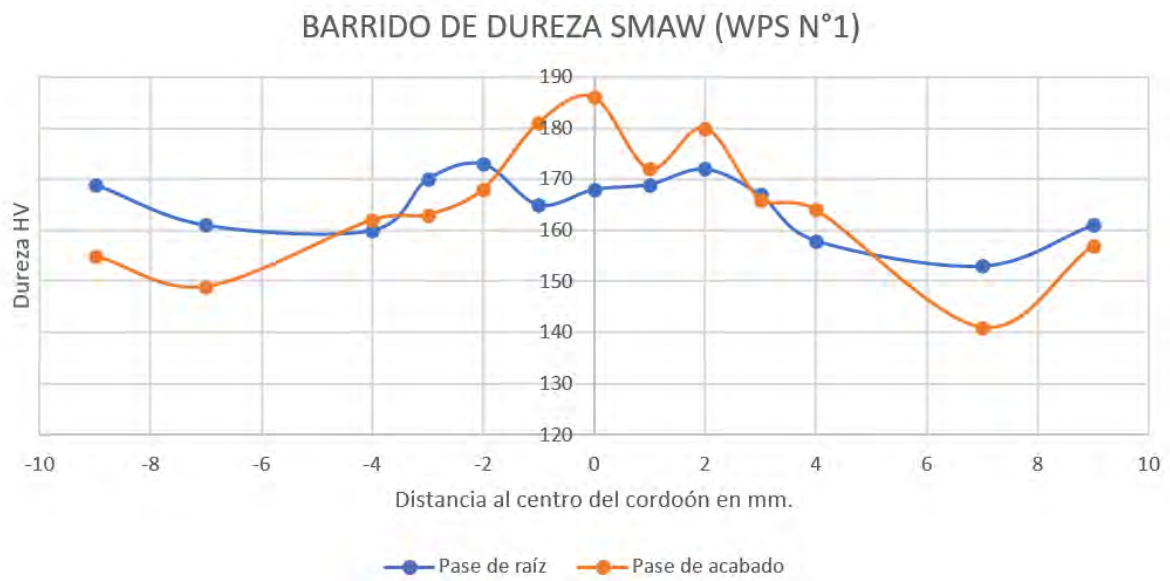


Figura 3-2 Dureza HV vs Distancia al centro del cordón

3.5.1 PQR 001 del Proceso SMAW

CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SEGÚN NORMA API 1104		Código: PQR 001					
		Rev.	00				
		Fecha	13/09/2017				
PQR/SMAW 001							
ESPECIFICACIÓN DE LAS VARIABLES (API 1104, Edic. 2013)							
Nombre del Soldador : Ken Almonte Andrade							
WPS/SMAW N°: 001		Estampa: S 01	DNI: 29696797				
PQR/SMAW N°: 001		Probeta N : CUPÓN-01	Fecha: 13-10-2017				
Variables de Soldadura		Valor Usado en la Calificación					
Proceso de Soldadura	SMAW(Raiz, caliente ,relleno y acabado)						
Material (tuberías y accesorios)	API 5LX52M						
Diámetro Exterior	6.625", (168.3) mm						
Espesor de pared	0.280" (7.1)mm						
Diseño de junta	A tope, ranura en "V"(Ver Figura N° 1)						
Metal de aporte (raíz)	AWS A5.1 (E6010, Grupo 1)						
Metal de aporte (relleno y acabado)	AWS A5.5(E8010-G, Grupo 2)						
Características eléctricas	Ver Tabla de parámetros eléctricos						
Dirección de soldadura	Descendente (Raiz, caliente, relleno y acabado)						
Posición de la junta	Fijo, inclinada a 45°						
Número de soldadores	1						
Tiempo entre pasadas	5 minutos						
Tipo de presentador de alineamiento	Mecánico externo						
Retiro de presentador de alineamiento	Terminado el 50% del pase de Raíz						
Limpieza y/o amolado	Escobillado circular y amolado en pases de Raíz y resto de pases						
Pre calentamiento	N/A						
Post calentamiento	N/A						
Gas protector	N/A						
Fundente	N/A						
Caudal	N/A						
Figura n°1							
NOTA: DETALLE DE JUNTA REFERENCIAL							
RESULTADO DE INSPECCIÓN VISUAL							
Aprobado (x)		No Aprobado ()					
Inspeccionado por: Ing. Freddy Rondonil Sapallanay		N° de reporte: 001					
Fecha: 13-10-2017							
RESULTADO DE ENSAYOS MECÁNICOS							
TIPO ENSAYO	N° PROBETA	RESULTADO	FECHA	N° REPORTE			
Ensayo Tracción	T1-T2	Conforme	30-10-17	01/PUCP			
Ensayo Nick Break	NB1-NB2	Conforme	26-10-17	01/Soldexa			
Ensayo doblado	DC1y2:DR1y2	Conforme	25-10-17	01/Soldexa			
DATOS DE SOLDADURA							
Pase (S)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente Tipo/Polaridad-Direcc.	Amperaje	Voltaje	Vel. Avance (cm/min)
		Clase	Diámetro				
Raíz	SMAW	ER6010	1/8"	DC (-), ↓	100 - 115	28 -30	42
Caliente	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+), ↓	140 - 150	28 - 32	48
Relleno	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+), ↓	120 - 125	28 - 31	32
Relleno	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+), ↓	120 - 125	27 - 30	33
Acabado	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+), ↓	112 -120	28 - 30	26
OBSERVACIONES: El Grupo n° 4; deja constancia que las probetas de calificación fueron soldadas, inspeccionadas en concordancia con los requerimientos del Estándar API 1104, Edic. 2013.							
REPRESENTANTE DE LA CONTRATISTA		INSPECTOR CERTIFICADO DE SOLDADURA		INSPECTOR DE REDES			

3.5.2 WPQ 001 del Proceso SMAW

CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SEGÚN NORMA API 1104		WPQ 001					
		REV.	00				
		Fecha	13/10/2017				
WPQ/SMAW N° : 001							
ESPECIFICACIÓN DE LAS VARIABLES (API 1104, Edic 2013)							
Nombre del Soldador : Ken Almonte Andrade							
WPS/SMAW N°: 001		Estampa: S 01	DNI: 29696797				
PQR/SMAW N°: 001		Probeta N°: CUPÓN-01	Fecha: 13-10-2017				
Variables de Soldadura	Valor Usado en la Calificación	Rango Calificado					
Proceso de Soldadura	SMAW(Raiz, caliente, relleno y acabado)	SMAW(Raiz, caliente, relleno y acabado)					
Material (tuberías y accesorios)	API 5L X52M	API 5L X42<Acero al carbono limite de fluencia ≤ API 5LX52					
Diámetro	∅ Ext. : 6.625" (168.3) mm	Desde ∅2.375"(60.3 mm) hasta ∅12.75"(323.9 mm)					
Espesor de pared	0.280" (7.1) mm	Desde ∅ 0.188"(4.8 mm) hasta ∅ 0.750"(19.1 mm)					
Diseño de la junta	A tope, ranura en "V"(Ver Figura N° 1)	A tope, ranura en "V"(Ver Figura N° 1)					
Metal de aporte (raíz)	AWS A5.1 (E8010, Grupo 1)	AWS A5.1 (E8010, Grupo 1)					
Metal de aporte (relleno-acabado)	AWS A5.5(E8010-G, Grupo 2)	AWS A5.5(E8010-G, Grupo 2)					
Características eléctricas	Ver Tabla de parámetros eléctricos	Ver tabla variables eléctricas					
Dirección de soldadura	Descendente (Raiz, caliente, relleno y acabado)	Descendente (Raiz, caliente, relleno y acabado)					
Posición de la junta	Fija, Inclinada a 45°	Todas las posiciones					
Numero de soldadores	1	Uno o dos					
Tiempo entre pasadas	5 minutos	Maximo 5 minutos (Entre final del 1° pase e inicio del 2° pase)					
Gas protector	N/A	N/A					
Fundente	N/A	N/A					
Caudal	N/A	N/A					
Tipo de presentador de alineamiento	Mecánico externo	Mecánico externo					
Retiro de presentador de alineamiento	Terminado el 50% del pase de Raíz	Concluido como mínimo el 50% del pase de Raíz					
Limpieza y/o amolado	Escobillado y Amolado pases Raíz y resto de pases	Escobillado y amolado en pase Raíz y resto de pases					
Precalentamiento	N/A	N/A					
Post-calentamiento	N/A	N/A					
<p>Figura n°1</p>							
RESULTADO DE INSPECCIÓN VISUAL							
Aprobado (x)		No Aprobado ()					
Inspeccionado por: Ing. Freddy Rondonil Sapallanay							
Fecha: 13-10-2017		N° de Reporte: 001					
RESULTADO DE ENSAYOS MECÁNICOS							
Tipo	N° Probeta	Resultado	Fecha	N° de Reporte			
Ensayo Tracción	T1, T2	Conforme	30-10-17	01/PUCP			
Ensayo Nick Break	NB1, NB2	Conforme	26-10-17	01/Soldexa			
Ensayo de Doblado	DC, DR	Conforme	25-10-17	01/Soldexa			
RESULTADO DE PRUEBA DE FILETE:							
Apariencia :		Dimensión de Filete:					
Prueba Fractura Penetración de Raíz:		Macro ataque:					
Inspeccionado por:		Número de ensayo:					
		Fecha:					
RESULTADO DE PRUEBA RADIOGRÁFICA							
Interpretado por:		Informe radiográfico N°:					
Organización:		Fecha:					
PARAMETROS ELÉCTRICOS							
Pase (S)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente	Amperaje	Voltaje	Vel. Avance (mm/min)
		Clase	Diámetro(mm)				
Raíz	SMAW	ER6010	1/8"	DC (-) ↓	100 - 115	28 -30	42
Caliente	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+) ↓	140 - 150	28 - 32	48
Relleno	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+) ↓	120 - 125	28 - 31	32
Relleno	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+) ↓	120 - 125	27 - 30	33
Acabado	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+) ↓	112 -120	28 - 30	26
OBSERVACIONES: Se deja constancia que el cupón de calificación fue soldado, inspeccionado en concordancia de los requerimientos del Estándar API 1104, Edic. 2013							
REPRESENTANTE DE LA CONTRATISTA		INSPECTOR CERTIFICADO DE SOLDADURA		INSPECTOR DE REDES			

3.5.3 WPS 001 definitivo del Proceso SMAW

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SEGÚN NORMA NORMA API1104		WPS 001			
		Rev.	00		
		Fecha: 13/10/2017			
WPS/MAW N° 001					
ESPECIFICACIÓN DE LAS VARIABLES (API 1104 - 2013)					
PQR/MAW SOPORTE N° 001					
VARIABLES	DESCRIPCIÓN				
Proceso de Soldadura	SMAW(Raíz, caliente ,relleno y acabado)				
Material (Tuberías y accesorios)	API 5L X42 <Acero al carbono con limite de fluencia ≤ API 5LX52,				
Diámetro	Desde Ø2.375"(60.3 mm) hasta Ø12.75"(323.9 mm)				
Espesor de pared	Desde Ø 0.188"(4.8mm) hasta Ø 0.750"(19.1 mm)				
Diseño de la junta	A tope, ranura en "V"(Ver Figura N° 1)				
Metal de aporte (raíz)	AWS A5.1 (E8010, Grupo 1)				
Metal de aporte (relleno-acabado)	AWS A5.5 (E8010-G, Grupo 2)				
Características eléctricas	Ver Tabla de parámetros eléctricos				
Dirección de soldadura	Descendente (Raíz, caliente, relleno y acabado)				
Posición de la junta	Todas las posiciones				
Numero de soldadores	01 o 02				
Tiempo entre pasadas	Maximo 5 minutos (entre el pase de raíz y el inicio del segundo pase)				
Tipo de presentador de alineamiento	Mecánico externo				
Retiro de presentador de alineamiento	Retirar luego de haber terminado como minimo del 50% del pase de raíz				
Limpieza y/o amolado	Esmerilado y escobillado en raíz y pases que requiera				
Pre calentamiento	N/A				
Post calentamiento	N/A				
Gas protector	N/A				
Fundente	N/A				
Caudal	N/A				
Figura n° 1					
NOTA: DETALLE DE JUNTA REFERENCIAL					
Parámetros Eléctricos					
Cordones	1	2	3	4	5
Variables	RAÍZ	2do PASE	RELLENO(1)	RELLENO(n)	ACABADO
-	ROOT	HOT	FILL	FILL	-
Proceso	SMAW	SMAW	SMAW	SMAW	SMAW
Calificación AWS	E 6010	E8010-G	E8010-G	E8010-G	E8010-G
Diámetro	1/8"	5/32"	5/32"	5/32"	5/32"
Amperaje (A)	90 - 120	100 - 160	100 - 150	100 - 150	90 - 150
Voltaje (V)	25 - 35	25 - 35	25 - 35	25 - 35	25 - 35
Velocidad (cm/min)	35 - 45	40- 55	30 - 40	30 - 40	30 - 40
Polaridad	DC(-)	DC(+)	DC(+)	DC(+)	DC(+)
Dirección	DESCENDENTE	DESCENDENTE	DESCENDENTE	DESCENDENTE	DESCENDENTE
Requerimientos complementarios					
1- Limpieza de la junta					
<ul style="list-style-type: none"> La superficie a soldar y áreas adyacentes, sobre una distancia de 1" a ambos lados de la junta, deben estar libres de aceite, grasa, oxido y otras elementos contaminantes que puedan afectar la calidad de la soldadura. La limpieza de la pasada de raíz debe ser hecha por amolado. El resto de las pasadas (relleno y terminación) deben ser limpiadas completamente por cepillo. 					
2- Protección contra las condiciones climáticas					
<ul style="list-style-type: none"> En caso de fuertes vientos, arena en suspensión o humedad en el aire, utilizar lonas o cualquier otro elemento que asegure una protección eficaz durante la soldadura. Cuando haya finalizado la soldadura o si por algún motivo se haya interrumpido, se deberá cubrir con aislamiento a la junta con el fin de evitar el enfriamiento brusco. 					
3- Otras consideraciones					
<ul style="list-style-type: none"> En ningún caso el último cordón de soldadura puede quedar por debajo de la superficie del metal base. Se deberá dejar una leve sobremoneta. El ciclo de la soldadura no deberá ser interrumpido antes de haber finalizado por lo menos 1 / 3 de espesor de la junta. 					
REPRESENTANTE DE LA CONTRATISTA		INSPECTOR CERTIFICADO DE SOLDADURA		INSPECTOR DE REDES	

3.5.4 PQR 002 del Proceso Mixto: GTAW/SMAW

CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SEGÚN NORMA API 1104		PQR 002					
		Rev.	00				
		Fecha	13/10/2017				
PQR/GTAW, SMAW N° 002							
ESPECIFICACIÓN DE LAS VARIABLES (API 1104, Edic. 2013)							
Nombre del Soldador : Ken Almonte Andrade							
WPS/GTAW, SMAW N°: 002		Estampa: S 01	DNI: 29696797				
PQR/GTAW, SMAW N°: 002		Probeta N : CUPÓN-02	Fecha: 13-10-2017				
Variables de Soldadura		Valor Usado en la Calificación					
Proceso de Soldadura	GTAW(Raíz) y SMAW(Caliente ,relleno y acabado)						
Material (tuberías y accesorios)	API 5LX52M						
Diámetro Exterior	6.625", (168.3) mm						
Espesor de pared	0.280" (7.1)mm						
Diseño de junta	A tope, ranura en "V"(Ver Figura N° 1)						
Metal de aporte (raíz)	AWS A5.18(ER70S-3, Grupo 5)						
Metal de aporte (relleno y acabado)	AWS A5.5(E8010-G, Grupo 2)						
Características eléctricas	Ver Tabla de parámetros eléctricos						
Dirección de soldadura	Raíz(ascendente), relleno y acabado(descendente)						
Posición de la junta	Fijo, inclinada a 45°						
Número de soldadores	1						
Tiempo entre pasadas	5 minutos						
Tipo de presentador de alineamiento	Mecánico externo						
Retiro de presentador de alineamiento	Terminado el 50% del pase de Raíz						
Limpieza y/o amolado	Escobillado circular y amolado en pases de Raíz y resto de pases						
Pre calentamiento	N/A						
Post calentamiento	N/A						
Gas protector	Argón						
Fundente	N/A						
Caudal	23 CFH						
Figura n°1							
NOTA: DETALLE DE JUNTA REFERENCIAL							
RESULTADO DE INSPECCIÓN VISUAL							
Aprobado (x)		No Aprobado ()					
Inspeccionado por: Ing. Freddy Rondonil Sapallanay							
Fecha: 13-10-2017		N° de reporte: 002					
RESULTADO DE ENSAYOS MECÁNICOS							
TIPO ENSAYO	N° PROBETA	RESULTADO	FECHA	N° REPORTE			
Ensayo Tracción	T1-T2	Conforme	30-10-17	02/PUCP			
Ensayo Nick Break	NB1-NB2	Conforme	26-10-17	02/Soldexa			
Ensayo doblado	DC1y2;DR1y2	Conforme	25-10-17	02/Soldexa			
DATOS DE SOLDADURA							
Pase (S)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente Tipo/Polaridad-Direcc.	Amperaje	Voltaje	Vel. Avance (cm/min)
		Clase	Diámetro				
Raíz	GTAW	ER70S-3	3/32"	DC (-), ↑	98 - 110	10 - 12	9
Caliente	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+), ↓	135 - 145	28.4 - 32	43
Relleno	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+), ↓	115 - 125	28.4 - 32	30
Relleno	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+), ↓	115 - 120	27 - 30	27
Acabado	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+), ↓	115 - 120	27 - 30	25
OBSERVACIONES: El Grupo n° 4; deja constancia que las probetas de calificación fueron soldadas, inspeccionadas en concordancia con los requerimientos del Estándar API 1104, Edic. 2013.							
REPRESENTANTE DE LA CONTRATISTA		INSPECTOR CERTIFICADO DE SOLDADURA		INSPECTOR DE REDES			

3.5.5 WPQ 002 del Proceso Mixto: GTAW/SMAW

CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SEGÚN NORMA API 1104		WPQ 002	
		REV.	00
		Fecha	13/10/2017
WPQ/GTAW, SMAW N° : 002			
ESPECIFICACIÓN DE LAS VARIABLES (API 1104, Edic 2013)			
Nombre del Soldador : Ken Almonte Andrade			
WPS/GTAW, SMAW N°: 002		Estampa: S 01	DNI: 29696797
PQR/GTAW, SMAW N°: 002		Probeta N°: CUPÓN-02	Fecha: 13-10-2017
Variables de Soldadura		Valor Usado en la Calificación	
Proceso de Soldadura		GTAW(Raiz) y SMAW(Caliente ,relleno y acabado)	
Material (tuberías y accesorios)		API 5L X52	
Diámetro		Ø Ext. : 6.625" (168.3) mm	
Espesor de pared		0.280" (7.1) mm	
Diseño de la junta		A tope, ranura en "V"(Ver Figura N° 1)	
Metal de aporte (raíz)		AWS A5.18(ER70S-3, Grupo 5)	
Metal de aporte (relleno-acabado)		AWS A5.5(E8010-G, Grupo 2)	
Características eléctricas		Ver Tabla de parámetros eléctricos	
Dirección de soldadura		Raiz(ascendente), relleno y acabado(descendente)	
Posición de la junta		Fija, Inclinada a 45°	
Numero de soldadores		1	
Tiempo entre pasadas		5 minutos	
Gas protector		Argón	
Fundente		N/A	
Caudal		23 CFH	
Tipo de presentador de alineamiento		Mecánico externo	
Retiro de presentador de alineamiento		Terminado el 50% del pase de Raíz	
Limpieza y/o amolado		Escobillado y Amolado pases Raíz y resto de pases	
Precalentamiento		N/A	
Post-calentamiento		N/A	
		Rango Calificado	
		GTAW(Raiz) y SMAW(Caliente ,relleno y acabado)	
		API 5L X42 <Acero al carbono con limite de fluencia ≤ API 5LX52	
		Desde Ø2.375"(60.3 mm) hasta Ø12.75"(323.9 mm)	
		Desde Ø 0.188"(4.8mm) hasta Ø 0.750"(19.1 mm)	
		A tope, ranura en "V"(Ver Figura N° 1)	
		AWS A5.18(ER70S-3, Grupo 5)	
		AWS A5.5(E8010-G, Grupo 2)	
		Ver tabla variables eléctricas	
		Raiz(ascendente), relleno y acabado(descendente)	
		Todas las posiciones	
		Uno o dos	
		Maximo 5 minutos (Entre final del 1° pase e inicio del 2° pase)	
		Argón	
		N/A	
		20 - 25 CFH	
		Mecánico externo	
		Mecánico externo	
		Concluido como mínimo el 50% del pase de Raíz	
		Escobillado y amolado en pase Raíz y resto de pases	
		N/A	
		N/A	

Figura n°1

RESULTADO DE INSPECCIÓN VISUAL							
Aprobado (x)	No Aprobado ()						
Inspeccionado por: Ing. Freddy Rondonil Sapallanay							
Fecha: 13-10-2017	N° de Reporte: 002						
RESULTADO DE ENSAYOS MECÁNICOS							
Tipo	N° Probeta	Resultado	Fecha	N° de Reporte			
Ensayo Tracción	T1, T2	Conforme	30-10-17	02/PUCP			
Ensayo Nick Break	NB1, NB2	Conforme	26-10-17	02/Soldexa			
Ensayo de Doblado	DC, DR	Conforme	25-10-17	02/Soldexa			
RESULTADO DE PRUEBA DE FILETE:							
Apariencia :		Dimensión de Filete:					
Prueba Fractura Penetración de Raíz:		Macro ataque:					
Inspeccionado por:		Número de ensayo:					
		Fecha:					
RESULTADO DE PRUEBA RADIOGRÁFICA							
Interpretado por:		Informe radiográfico N°:					
Organización:		Fecha:					
PARAMETROS ELÉCTRICOS							
Pase (S)	Proceso	Metal de Aporte		Corriente	Amperaje	Voltaje	Vel. Avance (cm/min)
		Clase	Diámetro(mm)				
Raíz	GTAW	ER70S-3	3/32"	DC (-) ↑	98 - 110	10 - 12	9
Caliente	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+) ↓	135 - 145	28.4 - 32	43
Relleno	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+) ↓	115 - 125	28.4 - 32	30
Relleno	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+) ↓	115 - 120	27 - 30	27
Acabado	SMAW	E8010-G	5/32"	DC (+) ↓	115 - 120	27 - 30	25

OBSERVACIONES: El grupo n° 4°, deja constancia que el cupón de calificación fue soldado, inspeccionado en concordancia de los requerimientos del Estándar API 1104, Edic. 2013

REPRESENTANTE DE LA CONTRATISTA	INSPECTOR CERTIFICADO DE SOLDADURA	INSPECTOR DE REDES
---------------------------------	------------------------------------	--------------------

3.5.6 WPS 002 definitivo del Proceso Mixto: GTAW/SMAW

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SEGÚN NORMA API1104		WPS 002 Revisión :0 Fecha:11-09-2017			
WPS/GTAW,SMAW N° 002					
ESPECIFICACIÓN DE LAS VARIABLES (API 1104 - 2013)					
PQR/GTAW,SMAW SOPORTE N° 002					
VARIABLES	DESCRIPCIÓN				
Proceso de Soldadura	GTAW(Raíz) y SMAW(Caliente ,relleno y acabado)				
Material (Tuberías y accesorios)	API 5L X42 <Acero al carbono con limite de fluencia ≤ API 5LX52				
Diámetro	Desde $\phi 2.375''(60.3 \text{ mm})$ hasta $\phi 12.75''(323.9 \text{ mm})$				
Espesor de pared	Desde $0.188''(4.8\text{mm})$ hasta $0.750''(19.1 \text{ mm})$				
Diseño de la junta	A tope, ranura en "V"(Ver Figura N° 1)				
Metal de aporte (raíz)	AWS A5.18(ER70S-3, Grupo 5)				
Metal de aporte (relleno-acabado)	AWS A5.5(E8010-G, Grupo 2)				
Características eléctricas	Ver Tabla de parámetros eléctricos				
Dirección de soldadura	Raíz(ascendente), relleno y acabado(descendente)				
Posición de la junta	Todas las posiciones				
Numero de soldadores	01 o 02				
Tiempo entre pasadas	Maximo 5 minutos (entre el pase de raíz y el inicio del segundo pase)				
Tipo de presentador de alineamiento	Mecánico externo				
Retiro de presentador de alineamiento	Retirar luego de haber terminado el primer pase de raíz				
Limpieza y/o amolado	Esmerilado y escobillado en raíz y pases que requiera				
Pre calentamiento	N/A				
Post-calentamiento	N/A				
Gas protector	Argón				
Fundente	N/A				
Caudal	20 - 25 CFH				
Figura n° 1					
NOTA: DETALLE DE JUNTA REFERENCIAL					
Parámetros Eléctricos					
Cordones	1	2	3	4	5
Variables	RAÍZ	2do PASE	RELLENO(1)	RELLENO(n)	ACABADO
-	ROOT	HOT	FILL	FILL	-
Proceso	GTAW	SMAW	SMAW	SMAW	SMAW
Calificación AWS	ER70S-3	E8010-G	E8010-G	E8010-G	E8010-G
Diámetro	3/32"	5/32"	5/32"	5/32"	5/32"
Amperaje (A)	90 - 120	100 - 160	100 - 150	100 - 150	100 - 150
Voltaje (V)	8 - 15	25 - 35	25 - 35	25 - 35	25 - 35
Velocidad (cm/min)	8 - 12	35 - 45	25 - 35	25 - 35	25 - 35
Polaridad	DC(-)	DC(+)	DC(+)	DC(+)	DC(+)
Dirección	ASCENDENTE	DESCENDENTE	DESCENDENTE	DESCENDENTE	DESCENDENTE
Requerimientos complementarios					
1- Limpieza de la junta					
<ul style="list-style-type: none"> La superficie a soldar y áreas adyacentes, sobre una distancia de 1" a ambos lados de la junta, deben estar libres de aceite, grasa, oxido y otras elementos contaminantes que puedan afectar la calidad de la soldadura. La limpieza de la pasada de raíz debe ser hecha por amolado. El resto de las pasadas (relleno y terminación) deben ser limpiadas completamente por cepillo. 					
2- Protección contra las condiciones climáticas					
<ul style="list-style-type: none"> En caso de fuertes vientos, arena en suspensión o humedad en el aire, utilizar lonas o cualquier otro elemento que asegure una protección eficaz durante la soldadura. Cuando haya finalizado la soldadura o si por algún motivo se haya interrumpido, se deberá cubrir con aislamiento a la junta con el fin de evitar el enfriamiento brusco. 					
3- Otras consideraciones					
<ul style="list-style-type: none"> En ningún caso el último cordón de soldadura puede quedar por debajo de la superficie del metal base. Se deberá dejar una leve sobremonta. El ciclo de la soldadura no deberá ser interrumpido antes de haber finalizado por lo menos 1 / 3 de espesor de la junta. 					
REPRESENTANTE DE LA CONTRATISTA	INSPECTOR CERTIFICADO DE SOLDADURA	INSPECTOR DE REDES			

3.6 Comparativo de costos

Descripción general.	Unidad	SMAW	GTAW/SMAW	Origen
Material de aporte.		E6010/ E8010	ER70S-6/ E8010	---
Material base	Unidad.	API 5L X52	API 5L X52	---
Costo electrodo E6010	\$ / Kg	3.5	-	Mercado
Costo electrodo E8010	\$ / Kg	7	7	Mercado
Costo electrodo ER70S-3	\$ / Kg	-	5	Mercado
Costo gas Argón	\$ / m3	-	10	Mercado
Consumo de Argón (ER70S-3)	m3 / kg.	-	1 / 0.75	Medición
Tiempo de soldadura	min	10.7	14.9	Medición
Longitud de cordón	cm	47.8	47.8	Medición
Costo de hora hombre	\$ / hr	9	12	Mercado
Costo por junta soldada (sin considerar equipo)	\$	3.35	4.32	

Tabla 3-3: Comparativo de costos entre proceso SMAW y Mixto

Los costos mostrados fueron resultado del cálculo de tiempos y cantidades necesarias para cada junta soldada. En este análisis no se considera costos fijos como equipos, accesorios, entre otros.

En el proceso SMAW la técnica de soldeo fue en su totalidad en descendente y para el proceso GTAW la técnica en ascendente.

CAPÍTULO 4

4. Conclusiones

Se realizó la comparación de ambos procesos de soldaduras mencionados, teniendo como conclusiones los siguientes puntos:

1. Se obtuvo los procedimientos de calificación de proceso de soldadura (WPQ) y soldador (PQR) de acuerdo con el estándar API 1104, de manera conforme.
2. De los ensayos a tracción, según API 1104, se concluye que para ambos procedimientos se cumple con los criterios de aceptación. La rotura de la probeta se da en el metal base por encima del 95% del mínimo esfuerzo de rotura especificado para el API 5LX52 (437 MPa).
3. De los ensayos de dureza realizados, se concluye que se tienen resultados similares en los puntos alejados del centro de cordón de raíz, esto debido a que comparten el mismo material de relleno y por ende propiedades. Sin embargo, la dureza en el proceso mixto es mayor en los puntos cercanos al cordón de raíz, esto debido al mayor porcentaje de carbono en el material del electrodo del GTAW (0.12%), con respecto al SMAW (0.09%).
4. De los ensayos de doblez de cara, raíz y Nick break, según API 1104 se demuestra que para ambos procedimientos los resultados son conformes, de acuerdo con los parámetros utilizados, en el WPS.
5. De los datos obtenidos se pudo concluir que el proceso SMAW tiene un menor costo de operación por junta soldada en comparación al proceso MIXTO (GTAW/SMAW). El incremento es de un 25% adicional por junta soldada, en gran medida debido a la menor velocidad de avance del proceso GTAW respecto al SMAW para la raíz.
6. Por lo tanto, se puede inferir la importancia de usar ambos procesos en la instalación de tuberías de gas, por un lado, el beneficio del avance que proporciona el proceso SMAW, al ser usado en todos los pases para cumplir con los tiempos establecidos en un proyecto y por otro el proceso MIXTO (GTAW-SMAW), que da un resultado más confiable de la sanidad de una junta crítica. El uso del proceso mixto justifica el tiempo y recursos adicionales que ello implica, reduciendo al máximo los reprocesos e índice de rechazo en reparación de juntas, con defectos.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME)

- 2010 *Código ASME B 31.8 Tuberías de Transporte y Distribución de Gas.*
- 2017 *ASME Sec IX, Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazer; and Welding, Brazing, and Fusing Operators. New York: Library of Congress.*

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE

- 2013 *Norma API 1104 vigésimo primera edición.*
- 2018 *Especificación API 5L, edición 46.*

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE SOLDADURA Y TECNOLOGÍA DE UNIÓN (CESOL)

- 2012a *Introducción al Soldeo por Arco Protegido por Gas. Material de enseñanza. Madrid.*
- 2012b *Soldeo TIG Material de enseñanza. Madrid.*

BRITISH STANDARD INSTITUTION

- 2001 *BS EN 1011-2, Welding. Recommendations for Welding of Metallic Materials. Arc Welding of Ferritic Steels.*

FOSCA PASTOR, Carlos Abraham

- 2007 *Introducción a la Metalurgia de la Soldadura. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.*

OSINERGMIN

- 2008 *DECRETO SUPREMO N° 040-2008-EM*

SOLDEXA SA

- s/a *Manual de Soldadura & Catálogo de productos. Séptima Edición, Lima, Perú, p. 213.*

TAMAYO, Jesús y otros

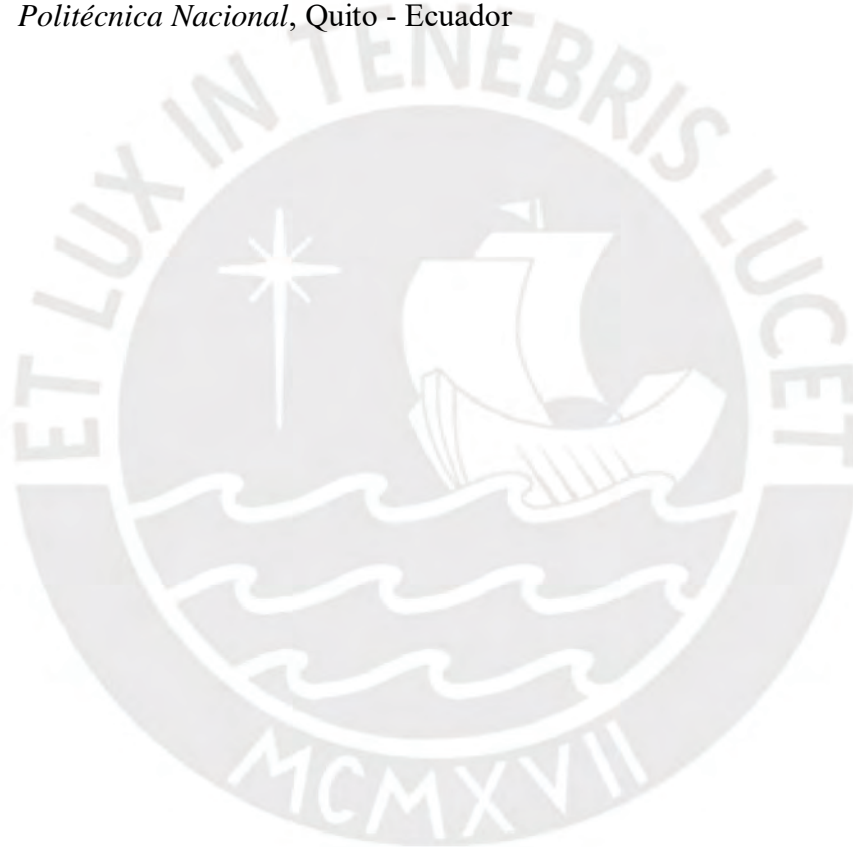
2015 *La industria de los hidrocarburos líquidos en el Perú: 20 años de aporte al desarrollo del país.* Osinergmin. Lima-Perú.

PIÑEIRO, Juan José

1990 *Tecnología y Cálculo de Soldadura,* Editorial Pueblo y Educación. La Habana.

HIDALGO, Darwin Paúl

2015 *Cálculo y análisis del régimen de soldadura para el proceso SMAW en aceros al carbono y aleados y la implementación del software de aplicación.* Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador



ANEXOS

Anexo A: Especificación de electrodo ASME SFA 5.1 E6010

SMAW

Aceros de Bajo Carbono

CELLOCORD P

Electrodo revestido de tipo celulósico de gran penetración, especial para posición vertical ascendente.

Ideal para la soldadura de tanques y estructuras de acero al carbono.

Por su gran fuerza de arco se puede emplear sobre superficies galvanizadas.

Clasificación	
AWS A5.1 / ASME-SFA 5.1	E6010

Aprobaciones	Grados
ABS	3
LR	3m
GL	3

Análisis Químico del Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,08	0,55	0,25	máx. 0,01	máx. 0,01	-	-	-	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V (-20°C) [J]
Sin tratamiento	450 - 550 (62 250 - 79 750)	mín. 360 (52 200)	22 30	mín. 70

Conservación del Producto
<ul style="list-style-type: none"> Mantener en un lugar seco y evitar humedad. No requiere almacenamiento bajo horno.

Posiciones de Soldadura
P, H, V _a , S _c , V _d .

Parámetros de Soldeo Recomendados

Para corriente continua (DC): Electrodo al positivo DCEP / Electrodo al negativo DCEN						
Diámetro	[mm]	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo		50	80	110	140	190
Amperaje máximo		70	120	150	200	250

Aplicaciones

- Aceros de construcción no aleados (estructurales).
- Para soldar aceros de bajo carbono, cuando se desea penetración profunda, poca escoria y cordones no abultados.
- Fabricación de muebles metálicos, catres, mesa, etc.
- Carpintería metálica liviana.
- Fabricación de ductos de ventilación.
- Para la soldadura de todas las uniones o tope que requieren una buena penetración en el primer pase.

Anexo B: Especificación de electrodo E8010 – G

SMAW

Aceros al Carbono y Baja Aleación

SOLDFLEX 80

Electrodo celulósico especialmente diseñado para soldadura de tuberías que brinda alta penetración, buena calidad radiográfica y fácil de manejar en todas las posiciones.
Recomendado para oleoductos y gaseoductos en posición vertical descendente, pase en caliente, pase de relleno y pase de presentación.

Clasificación	
AWS A5.5 / ASME SFA-5.5	E8010-G

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos*) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Fe
0.1	0.6	0.2	máx. 0,025	máx. 0,025	0.3	0.6	---	---	Resto

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V [-30°C] [J]
Sin tratamiento	580 (84 100)	480 (69 600)	23	min. 40

Conservación del Producto
<ul style="list-style-type: none"> Mantener en un lugar seco y evitar humedad. No requiere almacenamiento bajo horno.

Posiciones de Soldadura
<p>todos Vd, Va.</p> 

Parámetros de Soldeo Recomendados

Diámetro [mm]	4,0	5,0
Polaridad	Corriente continua electrodo al negativo (DCEN) o positivo (DCEP)	
Amperaje (A)	120 - 155	150 - 190

Aplicaciones

- API 5L: X56, X60, X65 y 70
- ASTM A283(B,C,D)-A442-(55,60)
- DIN St331-Ust37.2-St37.3U-St44(2,3)-HI-HII

Anexo C: Certificado de calidad de electrodo ER 70S - 6

SOLDEXA	CERTIFICADO DE CALIDAD DE PRODUCTO	CC-F-42
		Edición: 03

Producto: MIGFIL PS6-GC 1.00mm 15.00kg **Clasificación:** ER 70S - 6
Lote producción: LXTM170670 **Especificación:** AWS A5.18
Fecha emisión: 03/05/2017 **Diámetro:** 1.00 mm

Mediante el presente documento se certifica que el producto indicado en el lote referido es de la misma clasificación, proceso de fabricación, y los requisitos de materiales como el material que se utilizó para una prueba, cuyos resultados se muestran a continuación. Este producto ha sido fabricado bajo el sistema de calidad de SOLDEX S.A. el cual cumple con los requerimientos de la Norma ISO 9001 y los ensayos sobre el metal depositado han sido realizados de acuerdo a las Normas Técnicas Internacionales aplicables.

Composición Química

Especificación [%]									
C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Nb	Cu
0.06 - 0.15	Máx. 0.15	Máx. 0.15	Máx. 0.15	1.40 - 1.85	0.80 - 1.15	Máx. 0.025	Máx. 0.035	---	Máx. 0.50
Otros	V = Máx. 0.03								
Metal Depositado / Alambre Sólido [%]									
C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Nb	Cu
0.074	0.01	0.01	< 0.15	1.51	0.88	0.016	0.014	---	0.045
Otros	V = < 0.03								

Propiedades Mecánicas - Tracción

Especificación				
Gas de Protección	Condición de Prueba	Resistencia a la Tracción Min [MPa]	Límite de Fluencia Min [MPa]	Elongación Min [%]
100 % CO2	Después de Soldado	480	400	22
Metal Depositado				
Gas de Protección	Condición de Prueba	Resistencia a la Tracción [MPa]	Límite de Fluencia [MPa]	Elongación [%]
100 % CO2	Después de Soldado	585	475	28

Propiedades Mecánicas - Impacto

Especificación					
Gas de Protección	Condición de Prueba	Temperatura [°C]	Valores Individuales [J]	Valor Promedio [J]	Tipo de Ensayo
100 % CO2	Después de Soldado	-30	---	27	---
Metal Depositado					
Gas de Protección	Condición de Prueba	Temperatura [°C]	Valores Individuales [J]	Valor Promedio [J]	Tipo de Ensayo
100 % CO2	Después de Soldado	-30	---	88	---

Otras Pruebas

Inspección Radiográfica	Prueba de Soldadura en Filete			Otros
Conforme	Vertical:	Conforme	Sobrecabeza:	Conforme

Ing. Ronald Requejo V.
SOLDEX S.A.