

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**SOLDADURA A TOPE EN TUBERÍAS DE 2" SCH160 DE MATERIAL
ASTM A106 GRADO B Y ASTM A53 GRADO B, PARA ESTACIÓN DE
DESCOMPRESIÓN DE GAS NATURAL**

**Trabajo de suficiencia profesional para obtener el título profesional de
INGENIERO MECÁNICO**

AUTOR

Jorge Luis Díaz Izarra

ASESOR:

Dr. Ing. Paul Pedro Lean Sifuentes

Lima, Julio, 2021

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue elaborar el procedimiento de soldadura, calificar el procedimiento de soldadura, calificar al soldador y elaborar un programa de inspección para la fabricación de líneas de tuberías de acero de 2" SCH160, según ASTM A106 grado B y ASTM A53 grado B, unidas por soldadura utilizadas en estaciones de descompresión de gas natural.

Para la elaboración del procedimiento de soldadura, se utilizó el código de fabricación ASME B31.8-2018 y las recomendaciones de la norma API 1104-2018. El procedimiento de soldadura fue realizado, para el tipo de junta a tope, con el proceso TIG; además, para su calificación se utilizaron ensayos no destructivos como el visual, partículas magnéticas y ensayos destructivos: tracción, doblado de cara, doblado de raíz, Nick break y el ensayo de impacto Charpy. Este último ensayo fue necesario debido a la baja temperatura de operación de estas tuberías que llegan hasta los -20°C por lo que era necesario asegurar su tenacidad y su comportamiento de transición dúctil-frágil a tal temperatura. Todos los resultados fueron analizados bajo los criterios de aceptación según la norma API 1104. Para la calificación del soldador, se realizó según la norma API 1104-2018; además, se definió realizar su calificación en la posición de soldadura 6G mediante una inspección radiográfica al 100 % de la junta. Para el plan de puntos de inspección se hace referencias a todas las normas y códigos que se encontraron dentro del alcance para el trabajo actual.

El procedimiento de soldadura propuesto, cumplió con los requerimientos de calificación de la norma API 1104 según lo estipulado por el código ASTM B31.8. Los soldadores fueron calificados como aptos tras no presentarse defectos en los ensayos de radiografía de la junta al 100%. El programa de inspección se realizó conforme a las especificaciones, normas y códigos del alcance del presente caso de estudio, presentado en un formato adaptado para el uso a nivel industrial.

INDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1	4
1.1 DEFINICION DEL MATERIAL	4
1.2 DEFINICION DEL ACERO	6
1.3 SOLDABILIDAD	7
1.3.1 Soldabilidad en aceros de bajo y medio contenido de C	8
1.4. PRECALENTAMIENTO	8
CAPITULO 2	9
2.1. JUSTIFICACIÓN DE NORMA O CÓDIGOS A UTILIZAR	9
2.2. PROCESO DE SOLDADURA	12
2.2.1. Procesos de soldadura TIG	12
2.2.2. Aplicaciones de TIG en tuberías pase raíz	13
2.2.3. Gases de protección	13
2.2.4. Electrodos no consumibles	14
2.2.5. Técnica operativa al momento de soldeo	14
2.4. PRECALENTAMIENTO	17
2.5. TIPO DE JUNTA	22
2.5.1. Preparación de soldaduras a Tope	22
2.5.2. Definición del tipo de junta a emplear	23
2.6. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	24
2.7. CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	26
2.8 CALIFICACIÓN DE SOLDADORES	36
CAPITULO 3	39
3.1 ENSAYOS PARA CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO	39
3.1.1 Ensayo de tracción	39
3.1.2 Ensayo de doblado cara y raíz	41
3.1.3 Ensayo de Nick Break	43
3.1.4 Ensayo de impacto a -20°C	45
3.2 ENSAYOS PARA CALIFICACIÓN DE SOLDADOR	47
3.2.1 ENSAYO DE INSPECCION VISUAL	47

3.2.2 INSPECCIÓN MEDIANTE PARTICULAS MAGNÉTICAS	49
3.2.3 ENSAYO DE RADIOGRAFIA	50
CAPITULO 4	52
4.1 PROGRAMA DE INSPECCIÓN	53
CONCLUSIONES.....	56
RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS	



INTRODUCCIÓN

Uno de los principales retos para la masificación del gas natural es su traslado hacia todos los horizontes del Perú, por lo que se decidió implementar gasoductos virtuales, siendo este un sistema alternativo al transporte mediante gasoductos tradicionales los cuales demandan instalación de grandes tuberías, mientras que la opción de gasoducto virtual permite transportar el gas natural mediante ruedas, es decir camiones cisterna. Este sistema de transporte mediante camiones cisternas, permite trasladar el gas de dos maneras: ya sea teniendo el gas natural licuado (GNL) o al gas natural comprimido (GNC). El gas se encontrará en diferentes estados por lo que las condiciones en su traslado serán diferentes.

Para casos donde la demanda y la distancia de transporte sean de bajos niveles, la opción más beneficiosa a usar es la del GNC, el cual se transporta a altas presiones de hasta 250 bares, y temperaturas hasta de -20°C , por lo que previo a la distribución final al consumidor, existirá una estación de descompresión.

Para la implementación de estas estaciones de descompresión, es necesario la instalación de un sistema de tuberías y sus accesorios, para lo cual se requieren procesos adecuados para el soldeo así como personal calificado para realizar dicho trabajo. De esta manera el trabajo actual tiene como finalidad realizar un procedimiento adecuado de las uniones a tope de estas tuberías, además de definir la calificación del personal encargado de la soldadura, así como dejar establecido un plan de puntos de inspección para el control de calidad desde la recepción de materiales hasta la fabricación post soldadura.

El trabajo a desarrollar deberá estar de acuerdo y cumplir el alcance descrito a continuación:

“ Dentro de las estaciones de descompresión de gas natural, muchas veces se usan tuberías de ASTM A 106 Gr.B y tuberías ASTM A53 Gr.B, las cuales están sometidas a

una temperatura de servicio de hasta -20°C y la presión puede llegar hasta 250 bar. La empresa GASODUCTOS S.A. ha sido designada para fabricar una de estas redes de tuberías donde se necesitará soldar a tope tuberías ASTM A106 grado B y ASTM A53 grado B de 2", ambas Sch 160. "

Del alcance, se extraen los datos y condiciones de operación de trabajo:

Condiciones de Operación:

- Tipo de fluido : Gas natural
- Temperatura de operación : -20°C
- Presión de operación : 250 bar (25 MPa)

Especificación técnica de los materiales:

- Dimensiones de tubería : Ø2" Schedule 160
- Material de tubería : Acero ASTM A106 grado B, acero ASTM A53 grado B

OBJETIVO PRINCIPAL

El objetivo del presente trabajo es elaborar el procedimiento de soldadura, calificar el procedimiento de soldadura, calificar al soldador y elaborar un programa de inspección para la fabricación de líneas de tuberías de acero de 2" SCH160, según ASTM A106 grado B y ASTM A53 grado B, unidas por soldadura utilizadas en estaciones de descompresión de gas natural.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

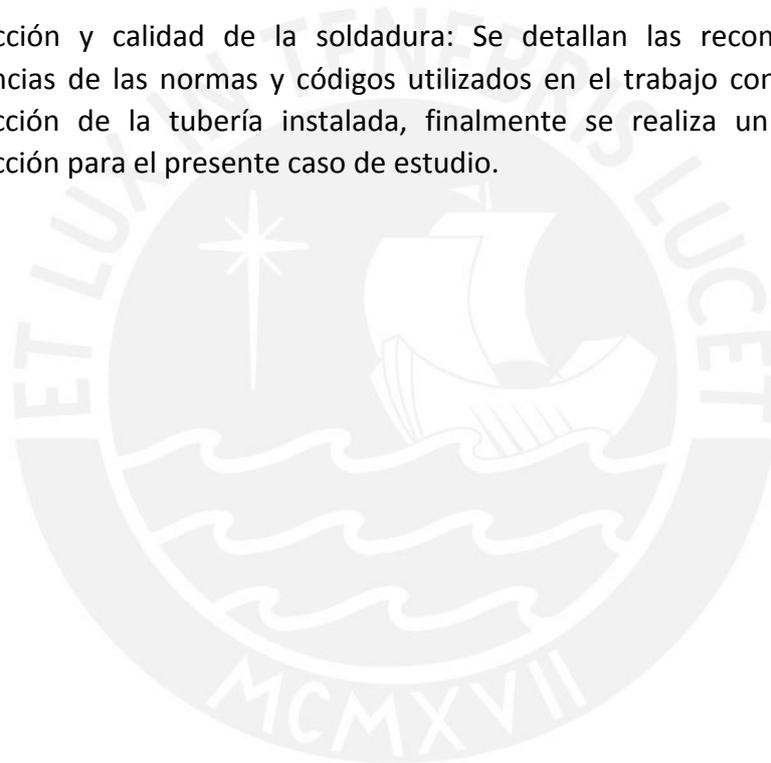
- Identificar los códigos y normas utilizadas en el campo laboral aplicables al actual trabajo.
- Elaborar el procedimiento de soldadura del caso de estudio.
- Calificar el procedimiento de soldadura.
- Calificar a los soldadores
- Evaluar la soldabilidad de la tubería ASTM A53 Gr.B/ A106 Gr.B.
- Evaluar el comportamiento de la soldadura de la tubería operando a condiciones de -20°C.
- Elaborar un programa de inspección desde la recepción de material hasta su fabricación.

El presente trabajo está conformado por 4 capítulos en los cuales se describe a continuación:

- 1) Estudio del Arte: Se describen la composición química y propiedades mecánicas de la tubería según lo indica sus normas de fabricación, se describe y clasifica al

tipo de material de la tubería detallando su soldabilidad y cómo influye el precalentamiento en ello.

- 2) Procedimiento Analítico: Se realiza la justificación de las normas y códigos a utilizar, se analizan todos los datos que se requieren para la elaboración del procedimiento de soldadura, se elabora el procedimiento de soldadura, se detalla todos los requerimientos para la calificación del procedimiento de soldadura, y calificación de los soldadores.
- 3) Resultado de ensayos y comentarios: Se muestra y analiza los resultados de todos los ensayos requeridos y mencionados en el capítulo 2 para la calificación del procedimiento de soldadura y calificación de soldadores.
- 4) Inspección y calidad de la soldadura: Se detallan las recomendaciones y exigencias de las normas y códigos utilizados en el trabajo con respecto a la inspección de la tubería instalada, finalmente se realiza un programa de inspección para el presente caso de estudio.



CAPITULO 1

ESTUDIO DEL ARTE

1.1 DEFINICION DEL MATERIAL

Las tuberías de acero que transportarán al gas natural dentro de la estación de descompresión, serán fabricadas bajo las especificaciones de las siguientes normas: ASTM A53 Gr. B y ASTM A106 Gr. B.

Según las normas ASTM A53M Y A106M, los tubos se definen bajo la siguiente descripción:

- ASTM A53: “Tubo de acero al carbono, galvanizado por inmersión en caliente, soldado y sin costura”
- ASTM A106: “Tubo de acero al carbono sin costura para servicio a alta temperatura”

Como se observa en las descripciones ambas tuberías suelen ser las más utilizadas para el transporte de hidrocarburos gaseosos, siendo un principal detalle que los diferencia, su proceso de fabricación, mientras que el tubo ASTM A53 se produce tanto en opciones con costura y sin costura, el tubo ASTM A106 es exclusivamente fabricado sin costura.

Para la selección del material de las tuberías, teniendo en cuenta la presión máxima de operación la cual es 250 bares, se recomienda utilizar tuberías sin costura ya que soportan presiones muy altas sin agrietarse. Por lo que la tubería ASTM A53 será de tipo S grado B.

Las composiciones químicas correspondientes para los materiales descritos anteriormente se muestran en las tablas 1.1 y 1.2, las cuales fueron obtenidas de las normas ASTM correspondientes.

Tabla 1.1 Composición Química ASTM A53 Gr B.

ASTM A53 Tipo S Gr. B								
Composición Química , máx %								
Carbono	Manganeso	Fósforo	Azufre	Cobre. A	Niquel. A	Cromo. A	Molibdeno. A	Vanadio. A
0.30	1.20	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08

A: La combinación de estos cinco elementos no debe exceder el 1.00%.

Tabla 1.2 Composición Química ASTM A106 Gr B.

ASTM A106 Gr. B									
Composición Química, %									
Carbono máx.A	Manganeso	Fósforo máx.	Azufre máx	Silicio, min	Cromo máx B	Cobre máx B	Molibdeno máx B	Níquel máx B.	Vanadio, máx B
0.30	0.29-1.06	0.035	0.035	0.10	0.40	0.40	0.15	0.40	0.08

A: Para cada reducción de 0.01% por debajo del máximo de carbono especificado, se permitirá un aumento de 0.06% de manganeso por encima del máximo especificado hasta un máximo de 1.35%.

B: Estos cinco elementos combinados no deberán exceder el 1%.

Las propiedades mecánicas, se muestran en la tabla 1.3.

Tabla 1.3 Propiedades mecánicas ASTM A53 Gr. B - ASTM A106 Gr. B.

	ASTM A53 Gr. B	ASTM A106 Gr. B
Resistencia a la tracción (MPa)	415	415
Resistencia a la fluencia (MPa)	240	240

Fuente: Norma ASTM A53 y ASTM A106

En el Perú los proveedores locales lo ofrecen como trinorma, abarcando los siguientes aspectos:

Los tubos fabricados según las normas ASTM A53, ASTM A106 y API 5 L, son para aplicaciones mecánicas y de presión (conducción de vapor, agua, gas y aire). Son aptas para soldadura y conexiones roscadas.

- ASTM A53, Grados A y B: Se fabrican con diferentes tipos de porcentaje de carbono a efectos de obtener de ellos diferentes características mecánicas (grado A y B).
- ASTM A106, Grado A, B y C: Material similar al ASTM A53, pero con mayor contenido de carbono (mejores valores de resistencia mecánica). Su composición química permite un trabajo con fluidos a temperaturas elevadas (250 – 350 °C).
- API 5L: Son tubos de aceros con o sin costura para el transporte de gas natural y de petróleo.

Los tubos trinorma combinan las características de las normas ASTM A53 / ASTM A106 / API 5L, que toman como referencia los valores máximos y/o mínimos de las propiedades mecánicas y composición química.

1.2 DEFINICION DEL ACERO

Para poder hablar de las características del acero de bajo o medio carbono, hay que definir el acero, y este se puede definir desde un aspecto de lo metalúrgico como una aleación de hierro – carbono, debido a que el hierro por sí solo no posee tan buenas propiedades como su aleación, esta aleación es una de las más utilizadas en la industria de la construcción, aprovechando que el hierro es un material que tiene la propiedad alotrópica la cual es un fenómeno que hace que su estructura cristalina cambie a variaciones de temperatura , por consecuencia variando sus propiedades mecánicas.

El carbono es uno de los elementos más importantes y significativo al alearse con el hierro, influirá en las temperaturas de transición de transformaciones alotrópicas, teniéndose en cuenta que los aceros como tal tendrán entre 0.008% a 2% carbono en masa.

Las clasificaciones de los aceros al carbono serán según su porcentaje de carbono, además se puede agrupar según su uso en la industria, tal como se muestra en la figura 1.1



Figura 1.1 Clasificación de los aceros al carbono.

Las propiedades de un acero de medio carbono, tal como sería el caso de las tuberías según las composiciones máximas en las tablas 1.1 y 1.2, cumplen las características

- Contienen entre 0.25 a 0.55 % C
- Contienen Mn entre 0.3% a 0.95% , el cual aumenta la resistencia mecánica
- Contiene Si, entre 0.2 a 0.4 % , el cual tiene la finalidad de desoxidante.
- En algunos casos se le añade cierto porcentaje de cobre para mejorar su resistencia a la corrosión
- Contiene cantidades limitadas de P y S generalmente menor a 0.05% debido a que son impurezas que podrían ocasionar fisuras.

1.3 SOLDABILIDAD

La soldabilidad se define como “la capacidad de un metal para ser soldado en unas condiciones determinadas, de manera que se obtenga la estructura específica deseada y además la unión se comporte satisfactoriamente en las condiciones de servicio”.

La soldabilidad para los aceros al carbono se muestra en la figura 1.2.

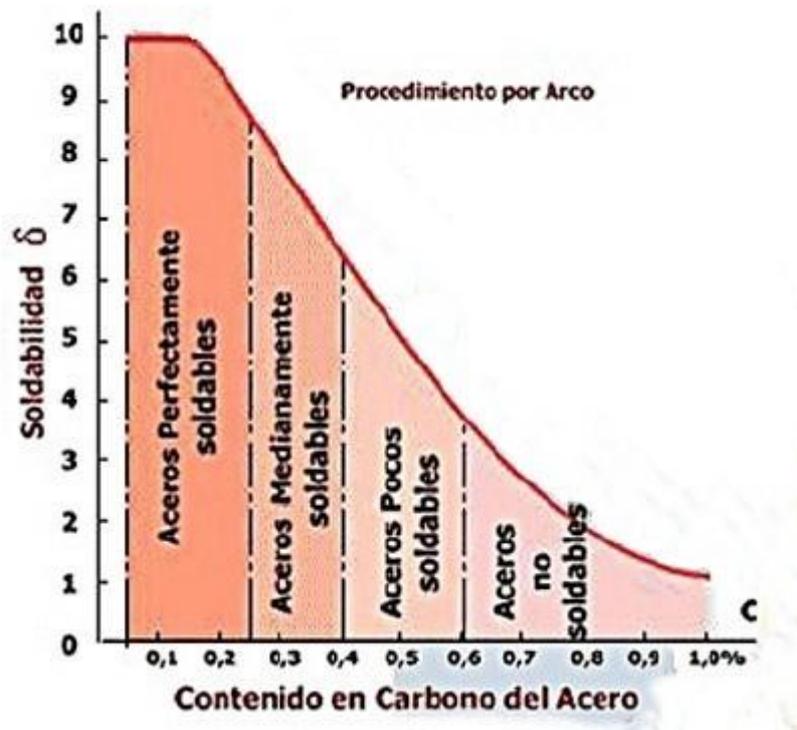


Figura 1.2 Soldabilidad de aceros al carbono. Fuente: CESOL

Además la influencia de su composición química estará principalmente determinada por el carbono equivalente que sirve como un indicador de su tendencia a fisurarse, su fórmula es la siguiente:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} \quad (1)$$

Para el caso del proyecto, el acero de medio carbono será considerado según la curva de la figura 1.2 como acero medianamente soldable, esto será detallado en el apartado 2.4 donde se calculará el carbono equivalente.

1.3.1 Soldabilidad en aceros de bajo y medio contenido de C

Como se sabe de los materiales de las tuberías como máximo tendrán un 0.3% C en su composición, por lo que podría ser un acero de bajo o medio carbono, mientras que para los de bajo carbono hay posibilidad mínima de fisuración en frío, para los de medio carbono se deberá realizar en algunos casos un precalentamiento dependiendo de diversos factores detallados en el apartado 1.4.

1.4. PRECALENTAMIENTO

El precalentamiento se realiza con la finalidad de limitar la velocidad de enfriamiento para evitar así la obtención de una microestructura frágil y dura luego de la soldadura, además este precalentamiento ayuda a difundir el hidrógeno fuera del área de soldadura.

Hay ciertos factores que se deben tomar en cuenta si se debe realizar un precalentamiento o no, ya que como todo proceso en adición a la soldadura, tiene un costo, los factores principales son los siguientes:

- Carbono equivalente
- Geometría de la unión/pieza
- Contenido de hidrógeno difundido
- Aporte térmico de soldadura
- Espesor de material
- Conductividad térmica de material

Si bien se tienen en consideración todos los factores, el carbono equivalente es uno de los más importantes, debido que a mayor contenido de carbono y elementos aleantes mayor será su CE, por lo que será un material más templeable y además más dura su martensita a obtener.

CAPITULO 2

PROCEDIMIENTO ANALÍTICO

2.1. JUSTIFICACIÓN DE NORMA O CÓDIGOS A UTILIZAR

A continuación se describen y detallan los códigos y normas seleccionados que sustentan el proyecto:

ASME B31.8-2018 Gas Transmission and Distribution Piping Systems “Sistemas de Tuberías de Distribución y Transporte de Gas”. (ASME B31.8 ,2018)

Los requerimientos de la citada normada son adecuados para brindar seguridad bajo las condiciones usuales que se encuentran en la industria del gas.

Este código cubre el diseño, fabricación, inspección y pruebas de instalaciones de ductos usados para el transporte de gas. Este código también abarca los aspectos de seguridad de la operación y mantenimiento de dichas instalaciones.

El código no se aplica a:

- El diseño y fabricación de recipientes a presión.
- Tuberías con temperatura del metal por encima de los 450°F (232°C) o menores -20°F (-29°C)

El presente código **ASME B31.8**, abarca soldadura en tramos de tubería, uniones soldadas a tope, soldaduras en ángulo en tuberías, válvulas, bridas, accesorios, ramales de tubería, etc., que se aplican a gasoductos y conexiones a los aparatos o equipos.

Este código en su **Apéndice I**, describe los detalles que se deberán considerar en la preparación de los extremos de las uniones a tope. En este apéndice se considera:

- Unión de tuberías de diámetros internos desiguales
- Unión de tuberías para diámetros externos desiguales
- Unión de tuberías para diámetros internos y externos desiguales.

La soldadura podrá ser efectuada por cualquier proceso o combinación de procesos que produzcan soldaduras que cumplan con los requerimientos de calificación de procedimiento del presente código.

Antes de soldar tuberías, componentes de tuberías, se deberá haber establecido un procedimiento de soldadura y se debe haber calificado. Cada soldador u operador de soldadura debe ser calificado en la aplicación del procedimiento establecido antes de efectuar soldadura de producción en alguna tubería, componentes de tubería o equipo relacionado, instalado en conformidad con este código.

Para la calificación de procedimientos y soldadores el código indica que se definirá según la resistencia a la que operará la tubería: cuando se opera a menos del 20% de la tensión mínima especificada y cuando se operan a mayor o igual del 20%.

En el código ASME B31.8 menciona que se deberán usar los estándares de aceptabilidad para las soldaduras de sistemas de tubería que operen a 20% o más de la tensión mínima especificada de fluencia, según se establece en la norma **API 1104**.

A continuación se demuestra que la tubería trabajará a tensiones mayores al 20% de su fluencia y, por tanto, el uso de la norma API 1104 queda justificada para realizar los procedimientos soldadura como las calificaciones de soldadores.

$$S_H = \frac{P \times D}{2 \times t} \quad (2)$$

Donde:

S_H : Tensión circunferencial

P : Presión interna

t : Espesor de tubería

D : Diámetro interno de tubería

Se reemplaza los datos de operación de la tubería en la fórmula 2.

$$S_H = \frac{\left(250 \text{ bar} \times \frac{14.5038 \text{ psi}}{1 \text{ bar}}\right) \times (2.375 \text{ pulg} - (0.344 \times 2) \text{ pulg})}{2 \times 0.344 \text{ pulg}}$$

$$S_H = 8890.9558 \text{ psi}$$

$$S_H = 8890.9558 \text{ psi} \times \frac{0.00689 \text{ MPa}}{1 \text{ psi}}$$

$$S_H = 61.3 \text{ MPa}$$

Resistencia a la fluencia mínima del acero de la tubería, referenciados en la tabla 1.3:

$$\sigma_y = 35000 \text{ psi} = 240 \text{ MPa}$$

$$20\% \sigma_y = 7000 \text{ psi} = 48 \text{ MPa}$$

Comparando:

$$S_H > 20\% \sigma_y$$

$$8890.9558 \text{ psi} > 7000 \text{ psi}$$

$$61.3 \text{ MPa} > 48 \text{ MPa}$$

Por este resultado se justifica el uso de la norma **API 1104** para su fabricación con soldadura.

API STD 1104- 2018: Welding of Pipelines and Related Facilities,21st Edition (API 1104,2018)

El empleo del estándar API 1104 permitirá al proyecto calificar correcta y eficientemente procedimientos de soldadura y soldadores, seleccionar y diseñar las juntas a unir (junta a tope). Establecer procedimientos y criterios de aceptación de END: Estándares de aceptación para ensayos no destructivos, Procedimientos para ensayos no destructivos.

Este estándar en su sección 1.1 (Generalidades/Alcance) cubre las soldaduras por arco y de gas de uniones a tope, filete y de encaje de tuberías de acero al carbono y de baja aleación utilizadas en la compresión, bombeo y transporte de petróleo crudo, derivados del petróleo, gases combustibles, dióxidos de carbono y nitrógeno y en donde sea aplicable, incluye soldadura en sistemas de distribución. Es aplicable tanto para construcciones nuevas como aquellas que se encuentran en servicio.

La soldadura puede ser realizada por los procesos de SMAW, SAW, GTAW, GMAW, FCAW, soldadura por arco plasma, soldadura oxiacetilénica o soldadura por chisporroteo o una combinación de estos procesos, utilizando una técnica de soldadura manual, semiautomática o automática o una combinación de estas técnicas. Las soldaduras pueden realizarse por posición o con rotación o mediante una combinación de ambos sistemas.

Adicionalmente esta norma en su sección 4.2.1 (Tuberías y Conexiones.) indica que es aplicable a soldaduras de tuberías y accesorios, que correspondan a las siguientes especificaciones:

- a. Especificaciones API.
- b. Especificaciones ASTM.
- c. Especificaciones ASME.
- d. Especificaciones MSS.
- e. Especificaciones ANSI.

2.2. PROCESO DE SOLDADURA

2.2.1. Procesos de soldadura TIG

El proceso TIG, es uno de los procesos de soldadura más limpios que existen, hablando respecto al acabado y calidad del cordón. Este proceso requiere de un arco eléctrico generado entre un electrodo de tungsteno y metal base, con el cual se fundirá el metal de aporte, cabe mencionar que el electrodo será no consumible diferenciándose de los

procesos SMAW, GMAW , FCAW, SAW , entre otros , sin embargo se puede desgastar por mal uso.

Este proceso es utilizado en el soldeo de todo material, incluso a niveles más exigentes como a materiales sensibles a la oxidación, esto debido a lo ya mencionado de su gran calidad y pureza metalúrgica ,así como su buen acabado superficial; siendo ideal en los usos de la industria de petróleo , generación de energía , entre otros.

2.2.2. Aplicaciones de TIG en tuberías pase raíz

El proceso TIG al dejar una soldadura de gran calidad, es utilizado con mucha frecuencia para el pase raíz, el cual es el cordón más crítico en una tubería o tanque, debido al contacto con el fluido que se transportará, el cual estará a diferentes condiciones de presión y temperatura, es por tal motivo que al no producir proyecciones, ni escoria, y se puede utilizar en todo tipo de posiciones, además que permite un control excelente de la penetración en la pasada raíz, será aquel que se utilizará para el presente trabajo con los materiales de ASTM A106 Gr B y ASTM A53 Gr B .

2.2.3. Gases de protección

Durante el proceso TIG, tanto la ZAC, el material que ha sido fusionado y el electrodo de tungsteno, estarán protegidos por una atmósfera de gas inerte, este gas entonces no genera alguna reacción en el baño, entre aquellos gases inertes más empleados son el Argón y el Helio. En la tabla 2.1 se describen las características de los gases de argón y helio.

Entre ambas opciones existe una tercera, la cual es una mezcla entre 70% Ar, y 30% de He, generalmente no es muy común utilizar Helio al 100%, tanto que resulta mucho más caro que el Ar.

Por lo observado en la tabla anterior sería recomendable utilizar He, o una mezcla Ar-He en caso se tenga que soldar algún material con alta conductividad térmica, puesto que gracias a estos gases el aporte de calor sería mayor, sin embargo para el presente caso tratándose de acero de medio carbono, si se opta por este proceso sería utilizando solo el gas Ar.

Tabla 2.1. Características de los gases inertes usados en TIG

	Gas	
	Argón	Helio
Densidad	Elevada, proporciona alta protección.	Más ligera que el Ar, por lo que requerirá un caudal muy superior, para dar buena protección.
Energía de ionización	Baja energía, facilita cebado y origina arcos estables, al necesitar baja tensión, tendrá arcos poco energéticos, idóneo para piezas de bajo espesores.	Alta energía, siendo más dificultoso el cebado y estabilidad de arco, pero al requerir mayor tensión, aporta mayor energía, requeridos para elevados aportes térmicos.
Conductividad térmica	Baja, ocasiona una gran cantidad en la zona central, produciendo una mayor penetración local.	Alta, por lo que la distribución de energía es homogénea, ocasionando cordones más anchos y penetración uniforme.

Fuente: Soldadura de los aceros.

2.2.4. Electrodo no consumibles

Dentro de los electrodos que se usan existen 5 tipos principales, los cuales son el tungsteno puro, tungsteno aleado con torio, tungsteno aleado con zirconio, tungsteno aleado con cerio y el último aleado con lantano.

Para el ámbito local los electrodos serán especificados por la American Welding Society, cuya norma para electrodos no consumibles es la AWS- A5.12 y los materiales de aporte serán varillas para aceros al carbono encontrados en la AWS – A5.18.

2.2.5. Técnica operativa al momento de soldeo

Preparación de la unión

Se considera:

- Accesibilidad: permite que el arco, metal de aporte y gas de protección lleguen a cubrir toda la unión.
- Limpieza: Esmerilar bordes, retirando los óxidos y escorias, también limpiarlos de grasa, pintura, etc.

Cebado del arco

Se utilizará el método de encendido por alta frecuencia, debido a que es un método de rápido encendido, que consiste en tocar el material base sin rasparlo, generando al instante un cortocircuito, calentando el electrodo, el cual al elevar el electrodo alejándolo nuevamente del material base, se inicia automáticamente el arco. Este método es mucho más ventajoso que el método por raspado el cual puede dar inclusiones de tungsteno en la junta soldada.

Para extinguir el arco se posicionará el electrodo hasta una posición horizontal, con un rápido movimiento de la muñeca.

2.3. MATERIAL DE APORTE

De la revisión y comparación del producto del fabricante TIGFIL St6 (OERLIKON – Soldexa) con la norma ANSI/AWS A5.18.

ANSI/AWS A5.18

- Especificación para electrodos de acero al carbono y varillas para soldadura por arco con gas de protección.

ER70S-6

- Con depósito de acero al carbono con mediano contenido de manganeso y silicio.
- Buena soldabilidad, su depósito es libre de poros y fisuras, en el cual es ideal para soldar pases de raíz en toda posición.

En la tabla 2.2 y tabla 2.3 se observan las composiciones químicas de los electrodos según norma y según el producto del fabricante respectivamente.

Tabla 2.2 Composición química de electrodo ER70S-6

Fuente: ANSI/AWS A5.18 – Tabla 1

COMPOSICIÓN QUÍMICA REQUERIDA PARA ELECTRODOS SOLIDOS Y VARAS											
Clasificación AWS	UNS Number c	Porcentaje en peso ^a									
		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu
ER70S-6	K11140	0.06	1.4	0.8	0.025	0.035	e	e	e	e	0.5
		a	a	a							
		0.15	1.85	1.15							

a. Los valores individuales son máximos.

e. Estos elementos residuales no deberán de exceder el 0.50% en total.

Tabla 2.3 Composición química de electrodo TIGFIL St6

Fuente: OERLIKON – Soldexa

TIGFIL St6				
Análisis Químico del Alambre Sólido %				
C	Mn	Si	P	S
0.06	1.40	0.8	máx.	máx.
0.12	1.60	1.15	0.025	0.025

En las tablas 2.4 y 2.5 se mostrarán las propiedades mecánicas de los electrodos según norma y lo ofrecido por el fabricante respectivamente.

Tabla 2.4 Propiedades mecánicas ER70S-6

Fuente: ANSI/AWS A5.18 – Tabla 3

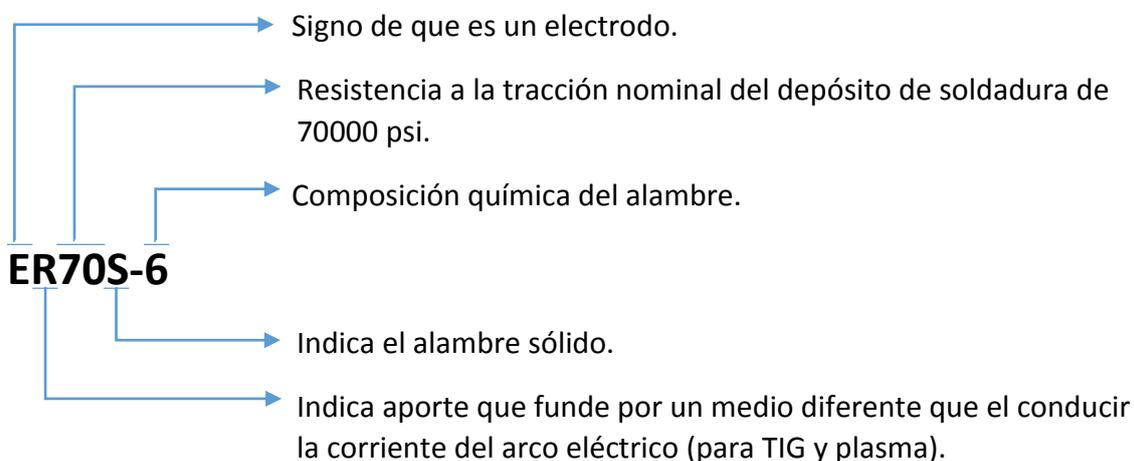
Requisito de prueba de tensión (como soldado)						
Clasificación AWS	Gas protector	Resistencia a la Tracción, min.		Resistencia a la Fluencia, ^b min.		Porcentaje de Elongación ^b
		psi	MPa	psi	MPa	
ER70S-6	CO ₂ ^c	70000	480	58000	400	22

- b. Resistencia a la fluencia con una compensación del 0.2% y elongación en una longitud de calibre de 2" (51 mm).
- c. CO₂ = gas protector de dióxido de carbono. El uso de CO₂ para fines de clasificación no debe interpretarse como un impedimento para el uso de mezclas de gases de protección Ar/CO₂ o Ar/O₂. Un metal de relleno probado con mezclas de gases, como Ar/O₂ o Ar/CO₂, puede dar como resultado que el metal de soldadura tenga mayor resistencia y menor elongación.

Tabla 2.5 Propiedades mecánicas TIGFIL St6

Fuente: OERLIKON – Soldexa

TIGFIL St6						
Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción, min. B		Resistencia a la fluencia, min. B		Elongación en 2" (%)	Energía Absorbida ISO-V (-30°C) (J)
	ksi	MPa	ksi	MPa		
Sin tratamiento	78.300 92.800	500 640	60.9	> 420	> 22	> 80



Los parámetros del material de aporte lo otorga la ficha técnica del fabricante cuyos datos se muestra en la tabla 2.6

Tabla 2.6 Parámetros TIGFIL St6
Fuente: OERLIKON – Soldexa

TIGFIL St6		
Diámetro (mm.) (pulg.)	2.5 (3/32")	3.25 (1/8")
Polaridad	DCEN	
Gas protector	100 % Ar	
Amperaje (A)	20 - 150	30 - 250
Voltaje (V)	9 - 15	10 - 20
Stick out - Salida de alambre (mm)	-	-
Flujo de Gas (l/min)	5 - 15	5 - 15

2.4. PRECALENTAMIENTO

Para el presente caso, el CE se calcula empleando la ecuación 1, considerando los valores máximos de la norma correspondiente mostrados en las tablas 1.1 y 1.2.

$$C_{eq \text{ máx}} (\text{ASTM A53 gr B}) = 0.3 + \frac{1.2}{6} + \frac{0.4 + 0.15 + 0.08}{5} + \frac{0.4 + 0.4}{15} = 0.68\%$$

$$C_{eq \text{ máx}} (\text{ASTM A106 gr B}) = 0.3 + \frac{1.06}{6} + \frac{0.4 + 0.15 + 0.08}{5} + \frac{0.4 + 0.4}{15} = 0.65\%$$

Sin embargo se toma como referencia a la composición como se vende en la industria, el porcentaje del carbono y de los demás aleantes, se encuentran considerablemente por debajo de la composición máxima según norma, para poder aumentar su soldabilidad encontrándose el %C entre un valor del 0.18% al 0.20% y %Mn entre 0.68 a 0.69%, valores obtenidos del certificado de calidad el cual se adjunta en el **ANEXO 1**, donde se observa los porcentajes reales de fabricación de la tubería.

Tomando los valores indicados en el certificado de calidad mencionado anteriormente, los cuales serían 0.69% de Mn y 0.20% de C, se obtiene:

$$CE = 0.20 + \frac{0.69}{6} = 0.315 \%$$

Con este dato se puede ingresar a la gráfica de Graville, el cual indica que tan necesario puede resultar el precalentamiento o que tan crítico puede ser la soldabilidad para este caso. Los datos se detallarán en la gráfica representada en la figura 2.1

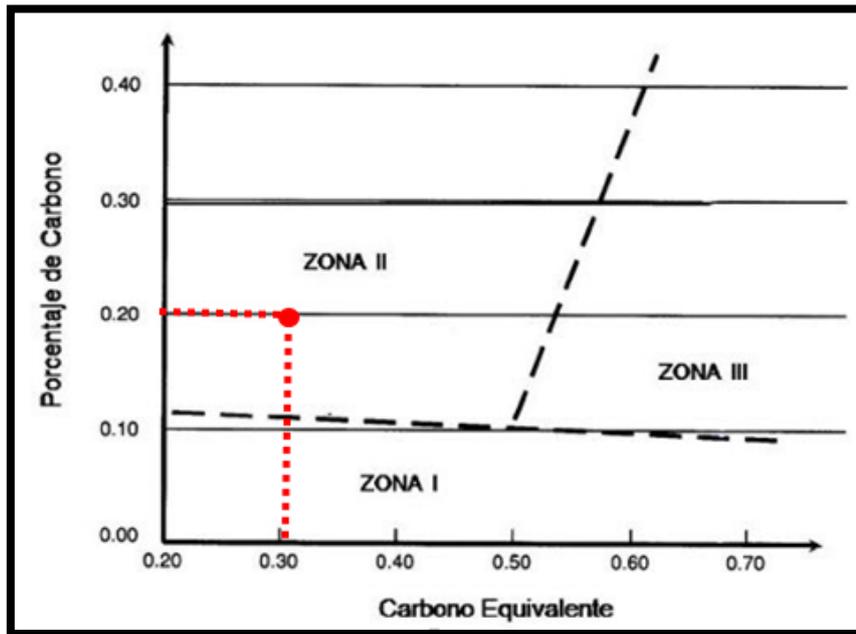


Figura 2.1. Gráfica de Graville

Como se muestra en la figura 2.1 que el material utilizado de las tuberías se encontraría en la zona II lo cual significa que la unión soldada podría tener un riesgo de fisuras en la ZAC y se tendría que tomar consideraciones como el control de velocidad de enfriamiento o realizarle precalentamiento. Sin embargo, el punto se encuentra mucho más cerca de la zona I, lo cual podría indicar que el material presenta buena soldabilidad y que sus riesgos de fisuración siguen siendo bajas, sin necesidad de realizar grandes cuidados al respecto.

El código de fabricación **ASME B31.8** indica que se realizará precalentamiento, en caso el material tenga composición mayor a 0.32%C o mayor a 0.65% CE, en este caso se observa que **no sería necesario proceder con un precalentamiento.**

Aun así para poder corroborar que no se obtenga microestructura dura y frágil durante y post soldeo, se empleará la fórmula propuesta por Düren (ecuación 3), la cual puede predecir la máxima dureza bajo el cordón, a su vez el dato a obtener sirve para saber si la soldadura será susceptible o no al agrietamiento bajo tensión (Düren, 1981).

$$HV = 2019 \left[C \left(1 - 0.5 \log_{\frac{t_8}{5}} \right) + 0.3(CE_B - C) \right] + 66 \left(1 - 0.8 \log_{\frac{t_8}{5}} \right) \quad (3)$$

$$CE_B = C + \frac{Si}{11} + \frac{Mn}{8} + \frac{Cu}{9} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{17} + \frac{Mo}{6} + \frac{V}{3} \quad (4)$$

$$HV \text{ martensita} = 802C + 305 \quad (5)$$

Donde:

HV : dureza Vickers del material

$t_{\frac{8}{5}}$: tiempo correspondiente a la velocidad de enfriamiento en la temperatura

comprendida entre 800°C y 500°C

CE_B : Carbono equivalente para bainita

Se reemplaza los datos de la composición de 0.20%C y 0.69%Mn correspondiente al certificado de calidad del **ANEXO 1**, en las fórmulas 3, 4 y 5, además se asume un tiempo de velocidad de enfriamiento de 5 s, este tiempo es únicamente hallado a través de pruebas experimentales, sin embargo si se puede estimar el tiempo de enfriamiento crítico el cual se halla a través del cálculo de la velocidad crítica de enfriamiento bajo ciertos parámetros de soldadura.

$$CE_B = 0.20 + \frac{0.69}{8} = 0.286$$

$$HV = 2019[0.20(1 - 0.5 \log 3) + 0.3(0.286 - 0.20)] + 66(1 - 0.8 \log 3)$$

$$HV = 343.68$$

$$HV \text{ martensita} = 802(0.20) + 305$$

$$HV \text{ martensita} = 465.4$$

Los resultados obtenidos indican que la dureza obtenida, 343.68 HV, será menor a la dureza que se obtiene con una velocidad de enfriamiento suficientemente rápida para obtener 100% martensita, 465 HV; además según la norma API 1104-2018 se recomienda que la dureza obtenida no debe de excederse de 350 HV, lo cual estaría cumpliéndose.

Para corroborar que el tiempo de enfriamiento estimado anteriormente de 5 s, no sea menor al tiempo de enfriamiento crítico, se calculará este último a través de las ecuaciones 6, 7 y 8:

$$H_{net} = \frac{V * I * f1}{Vel \text{ avance}} \quad (6)$$

$$r = t * \sqrt{\frac{\rho C (T_c - T_o)}{H_{net}}} \quad (7)$$

$$R = \frac{2\pi k * (T_c - T_o)^2}{H_{net}} \quad (8)$$

Donde:

H_{net} : Energía aportada neta (J/mm)

V : Voltaje (V)

$f1$: Rendimiento de transferencia de calor

I : Amperaje (A)

$Vel \text{ avance}$: Velocidad de avance de soldeo (mm/s)

t : Espesor de material a soldar (mm)

k : Conductividad térmica del metal $\left(\frac{J}{s * mm * ^\circ C}\right)$

ρC : Calor específico volumétrico $\left(\frac{J}{mm^3 \cdot ^\circ C}\right)$

T_c : Temperatura a la que inicia el enfriamiento ($^\circ C$)

T_o : Temperatura a la que inicia el proceso de soldadura ($^\circ C$)

R : Velocidad de enfriamiento máxima (C°/s)

De acuerdo a lo anterior, fórmula 6 nos indica el H_{net} , energía aportada neta, la fórmula 7 nos indica “ r ” el cual es un indicador para determinar que fórmula utilizar en la velocidad de enfriamiento crítica, si es aplicable para espesor delgado ($r < 0.6$) o espesor grueso ($r > 0.75$), en el caso de ser espesor grueso se utilizará la fórmula 8, donde obtenemos R que viene a ser la velocidad de enfriamiento máxima.

Reemplazando los siguientes valores, que previamente fueron estimados analizando datos del material del acero y parámetros dentro de los mostrados en la tabla 2.6:

V : 10 V

f : 0.9

I : 100 A

Vel avance : 3 mm/s

t : 8.74 mm

k : $0.058 \frac{J}{s * mm * ^\circ C}$

ρC : $0.0044 \frac{J}{mm^3 \cdot ^\circ C}$

T_c : $550^\circ C$ (para la mayoría de aceros)

T_o : $25^\circ C$

Se obtiene lo siguiente:

$$H_{net} = \frac{10 * 100 * 0.9}{3} = 300 J/mm$$

$$r = 8.74 * \sqrt{\frac{0.0044(550 - 25)}{300}} = 0.76 \text{ (} r > 0.75 \rightarrow \text{espesor grueso)}$$

$$R = \frac{2\pi * 0.058 * (550 - 25)^2}{300} = 334.81 \text{ } ^\circ\text{C/s}$$

Entonces se obtiene que la velocidad de enfriamiento critica será de 334.81°C/s mientras que al asumir un tiempo de enfriamiento de 5 s (enfriamiento de 800° a 500°C), la velocidad de enfriamiento será de 60° C/s ; por lo que el tiempo de 5 s asumido es aceptable.

El código ASME B31.8 indica que a pesar de eso se podría precalentar considerando los demás factores. Para el proyecto, al tratarse de una unión a tope de un espesor aproximadamente a 9 mm y que no estará con un grado de embridamiento elevado, se opta por no realizar el precalentamiento.

2.5. TIPO DE JUNTA

2.5.1. Preparación de soldaduras a Tope

Algunas operaciones de preparación de los extremos a soldar, se muestran en el Apéndice I, Fig. 1-4 del código ASME B31.8, tal como se muestra en la figura 2.2.

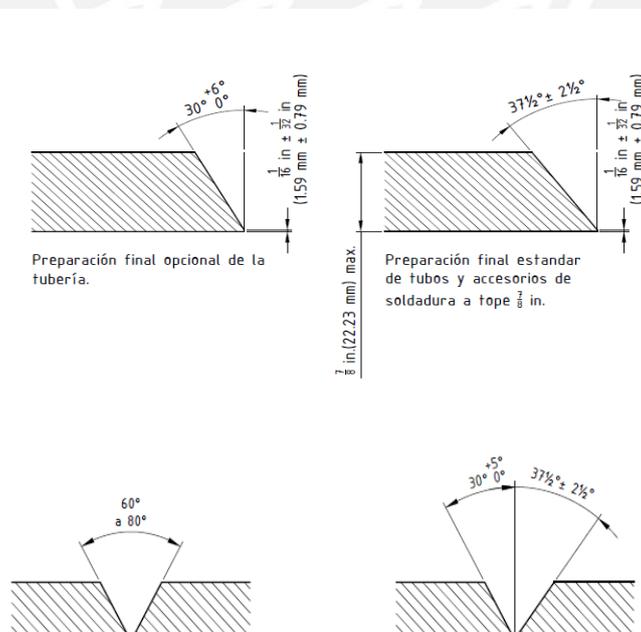


Figura 2.2 Preparaciones de junta a tope.

Fuente: Figura 1-4, ASME B31.8

2.5.2. Definición del tipo de junta a emplear

A continuación se detalla el diseño de la junta a tope de la tubería de $\varnothing 2''$ SCH 160 para el proyecto de la estación de descompresión de gas natural, se observa en la figura 2.3. Cabe indicar que el diseño de junta seleccionado, ha sido tomado del apéndice I, mostrado en la figura 2.2.

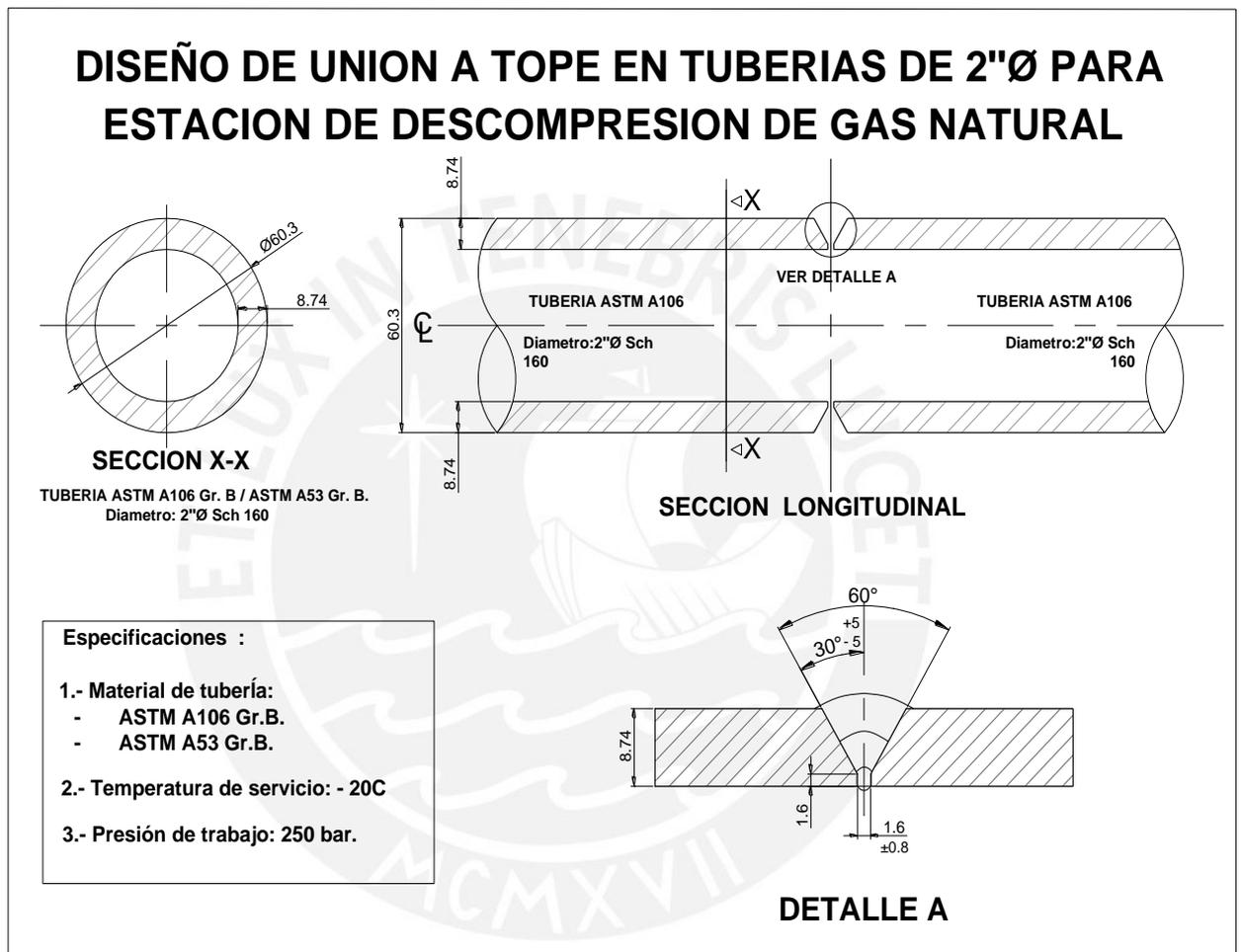


Figura 2.3 Diseño de junta. Fuente : Elaboración propia

Como se observa en la figura 2.3, existirá un pequeño talón sin embargo este puede ser reducido a cero como se observa en el **ANEXO 2**, debido a que el proceso a emplear será TIG para que pueda haber una fusión completa se dejará la preparación como punta lápiz. También en la figura mencionada se puede observar que la abertura raíz será entre 1.6 mm +/- 0.8 mm, sin embargo en la práctica no existe una medida referencial por parte de la norma API 1104, esto se basa un poco más en la experiencia para soldadura de tuberías, en el cual es muy común dejar una abertura entre 3 a 4 mm.

2.6. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

El procedimiento de soldadura es un documento donde se registra diferentes variables que involucran al proceso completo, desde el material base hasta parámetros en el proceso de soldeo a utilizar, y se realiza con la finalidad de que la unión soldada obtenga las propiedades mecánicas y calidad adecuada.

Para realizar el procedimiento de soldadura se hace referencia a la sección 5 de API 1104, se indica también que es necesario y obligatorio antes de realizarse una soldadura de producción, además tendrá que ser calificado previamente mediante diferentes ensayos destructivos, esto se verá en la sección 2.7 del presente trabajo.

Las variables que deberá tener el procedimiento de soldadura se muestran en la tabla 2.7, además también se especificará las variables esenciales, las cuales al ser modificadas, se tendrá que realizar un recalificación y validarse como otro procedimiento con la variable modificada.

Por último se muestra en la figura 2.4 el procedimiento de soldadura (WPS) propuesto.

Tabla 2.7 Variables en el procedimiento de soldadura

Variabes WPS	Variabes esenciales
• Material base	X
• Diámetro de tubo	X
• Espesor de pared	X
• Diseño de uniones	X
• Metal de aporte	X
• Número de pasadas	
• Características eléctricas	X
• Características de la llama	
• Posición de soldadura	X
• Dirección de soldadura	X
• Tiempo entre pasadas	X
• Tipo y retiro de acoplador	
• Limpieza y/o cepillado	
• Pre y post calentamiento	X
• Gases de protección y caudal	X
• Fundente de protección	X
• Velocidad de avance	X

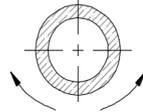
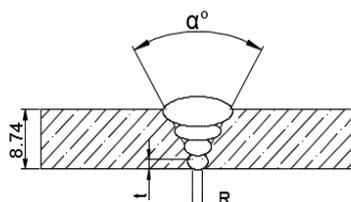
PUCP		REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)						
		De acuerdo a API 1104						
		Código:						
Fecha de Elaboración: 01/11/2019		Revisión: 2		Página: 1 de 1				
Nombre de la compañía: GASODUCTOS S.A. Proceso(s) de soldadura : GTAW PQR de soporte N° (s):			Identificación: Tipo: Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomático <input type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/>					
DISEÑO DE LA JUNTA USADA Tipo: A Tope Ranura : Simple <input checked="" type="checkbox"/> Doble <input type="checkbox"/> Respaldo: Sí <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> Material de Respaldo: NO Abertura de raíz: 3.0 - 4.0 mm Cara de raíz: 0 - 0.5 mm Ángulo de ranura: 60° +/- 10° Radios (J-U) : - Resanado posterior : <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Método: -			POSICIÓN Posición a tope: Todas Filete: - Progresión vertical: Ascendente <input checked="" type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>					
METAL BASE Especificación del material: ASTM A106 / ASTM A53 Gr B Esfuerzo de fluencia mínimo esp. : 240 Mpa Grupo (API) : Grupo A (Hasta esfuerzo fluencia de 290 Mpa) Rango de espesores : Desde 4.8 mm hasta 19.1 mm A tope: Sí Filete: NO Diámetro (Tubería): 2 "			CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Tipo de corriente: CC / DC Polaridad: EN (-) Electrodo de Tungsteno (GTAW) Tamaño de electrodo : 2.5 mm Tipo de electrodo : EWTh-2 Rango de Amperaje: (Ver Tabla) Rango de Voltaje : (Ver Tabla)					
METAL DE APORTE Especificación AWS: A 5.18 Clasificación AWS: ER70S/6 Grupo (API) : 5 Espesor de metal de soldadura: 2.5 mm			TÉCNICA Cordón recto u oscilante: Oscilante Pase simple o pases múltiples(por lado): Múltiple Número de electrodos : - Espaciado de electrodos: NO Longitudinal: Lateral: Método de enfriamiento: - Limpieza entre pases: NO Tiempo entre pases máximo: 10 minutos Alineación: Sí - Tipo Externo					
PROTECCIÓN Fundente: No aplica Gas: Argón Composición: 99.9% Argón Fundente - electrodo: No aplica Caudal: 10 - 15 L/min Tamaño boquilla: 6 - 9 mm			TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA Rango de temperatura : No Aplicable Tiempo de mantenimiento: No aplicable					
PRECALENTAMIENTO Temperatura de precalentamiento, mín: 10°C máx: - Temperatura entre pases , mín: 100°C máx: 200°C								
PROCEDIMIENTO DE SOLDEO								
Pase	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de Avance* (mm/min)	Progresión
		Clase (AWS)	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje			
Raíz	GTAW	ER70S/6	2.50	DCEN	70-115	10-13 V	150-200	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Raíz , Caliente, Relleno , Acabado</div> 
Caliente	GTAW	ER70S/6	2.50	DCEN	90-150	10-13 V	200-250	
Relleno	GTAW	ER70S/6	2.50	DCEN	90-165	10-13 V	150-200	
Acabado - n	GTAW	ER70S/6	2.50	DCEN	90-145	10-13 V	75-125	
DISEÑO DE JUNTA								
								
R: 3.0 - 4.0 mm t: 0 - 0.5 mm α: 60 +/- 10°								
Nombre:		Inspector de Soldadura		Coordinador QA/QC		Supervisión		
Firma:								
Fecha:								

Figura 2.4 Procedimiento de soldadura propuesto.

2.7. CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Para la calificación del procedimiento de soldadura, la norma API 1104 indica que se deberá definir en un primer lugar el procedimiento de soldadura, lo cual si se hizo y se encuentra en el párrafo 2.6 del presente trabajo, por lo que ahora sigue la calificación para poder verificar si el procedimiento que se planteó es el adecuado para obtener una unión soldada de calidad, esto se logra mediante diferentes ensayos destructivos a una cantidad y tipo de probetas determinadas, principalmente por el tamaño de su diámetro externo y su espesor de pared de las tuberías.

En la sección 5.5 de API 1104, refiere justamente el tipo de unión que se trabajará, el cual es la unión a tope, y se muestra en su figura 3 de API 1104, donde se indica según el diámetro externo del tubo, en qué lugares del cupón puede extraerse las probetas a ensayar, para el caso de trabajo en cuestión, la tubería tendrá 60.3 mm de diámetro externo por lo que se muestra la figura 2.5, los cuadrantes donde se extraerán las probetas para el tamaño a escala de la tubería de 2" a trabajar.

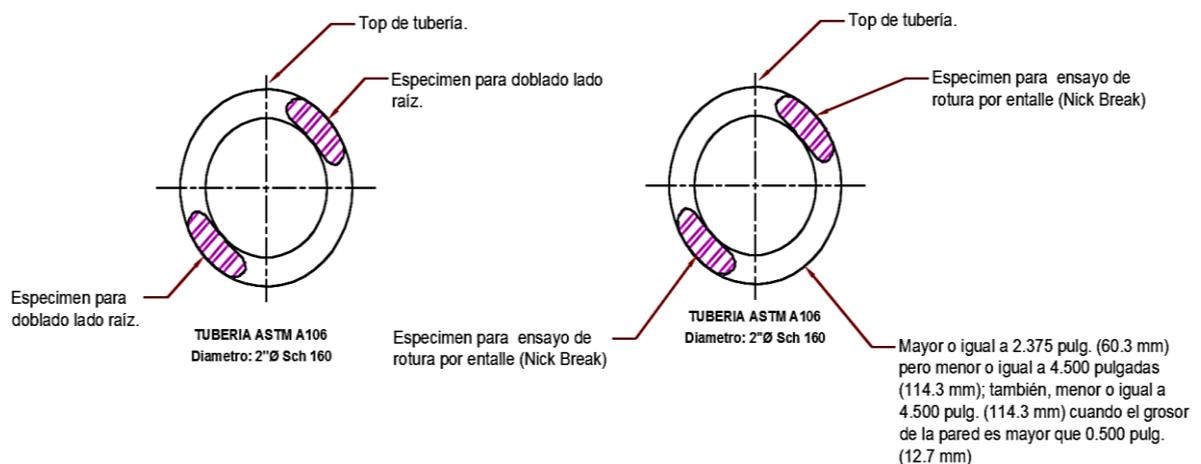


Figura 2.5 Locación de probetas de soldadura a tope para calificación de procedimiento. Fuente: Figura 3 – API 1104

Teniendo ya identificado y establecido la zona de extracción de probetas, se necesita ahora definir cuantas probetas y de qué tipo serán necesarias para la calificación del procedimiento de soldadura de nuestra tubería de 60.3 mm de diámetro externo, para

esto se va a la tabla 2 de API 1104 la cual se muestra en la tabla 2.8, donde se referencia la cantidad y tipo de probetas a ensayar.

Tabla 2.8 Tipo y número de probetas para calificación de procedimiento

Diámetro externo de tubería		Número de probetas					
pulgadas	mm	Ensayo tracción	Nick Break	Doblado raíz	Doblado cara	Doblado de lado	Total
Espesor de pared < 0.500 pulgadas (12.7mm)							
>2.375	<60.3	0 ^b	2	2	0	0	4 ^a
2.375 a 4.500	60.3 a 114.3	0 ^b	2	2	0	0	4
>4.500 a 12.750	>114.3 a 323.9	2	2	2	2	0	8
>12.750	>323.9	4	4	4	4	0	16
Espesor de pared > 0.500 pulgadas (12.7mm)							
<= 4.500	<=114.3	0 ^b	2	0	0	2	4
<4.500 a 12.750	>114.3 a 323.9	2	2	0	0	4	8
>12.750	>323.9	4	4	0	0	8	16

a. Una probeta Nick Break y una de doblado de raíz son tomados cada una de las dos soldaduras de prueba, o para tuberías de menos de o iguales a 1.315 pulgadas (33.4 mm) en diámetro, se toma una muestra de resistencia a la tracción de sección completa.

b. Para materiales con resistencia de fluencia mínima especificada, mayor que el material especificado como API 5L Grado X42, se requiere un mínimo de una prueba de tracción.

Fuente: Tabla 2 – API 1104

De la tabla mostrada, se obtiene que se necesita lo siguiente:

- 2 probetas para ensayo Nick Break
- 2 probetas para ensayo doblado de raíz

Las probetas para cada tipo de ensayo, tendrán diferente preparación y esto así lo muestra las siguientes imágenes extraídas de API1104 donde detallan las dimensiones y diferentes acabados para cada respectivo ensayo.

Ya obtenido el número y tipo de probetas, se tiene que definir el tipo de preparación y dimensiones del ensayo en sí, así como tener en claro sus criterios de aceptación.

En el **ANEXO 3**, se adjuntará los resultados del PQR, el cual será sustento para el WPS.

A continuación se describirá los ensayos de Nick break en la figura 2.6 y doblado raíz en la figura 2.7 respectivamente, que son los que exige la norma.

Ensayo Nick Break:

La finalidad de este ensayo es conocer la calidad del cordón depositado, también conocido como ensayo de rotura, por su nombre donde se tendrá que romper la probeta por el lado del cordón para poder apreciar su sanidad internamente.

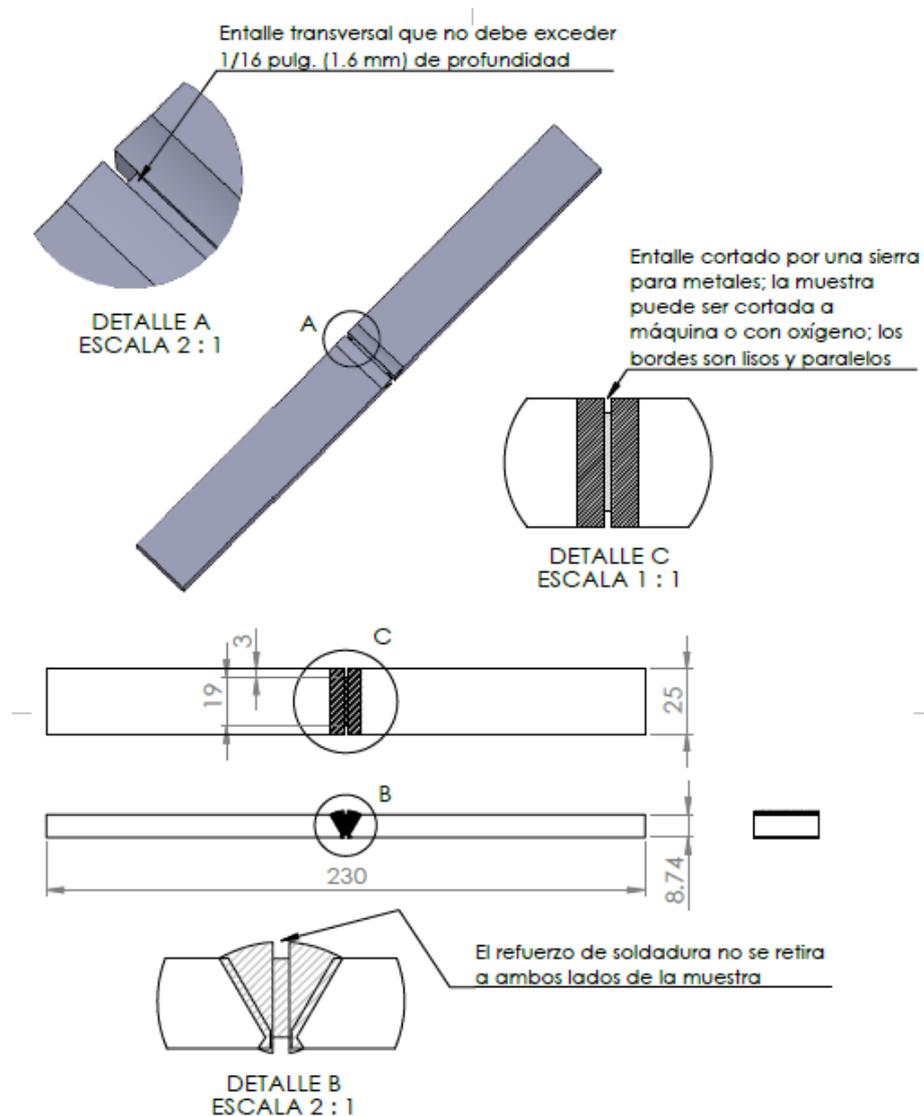


Figura 2.6 Probeta Ensayo Nick Break. Fuente: Figura 5 – API 1104

Como se observa, la longitud de la probeta deberá ser aproximadamente de 230 mm por un ancho de 25 mm, además de ello existen unos pequeños entalles que se tendrán que realizar con una profundidad de 3 mm aproximadamente. La norma también precisa que la probeta puede ser extraída mediante corte máquina u oxígeno. Además en caso se utilizara soldadura automática o semiautomática, se le tendría que realizar un entallado de 1.6 mm al reforzamiento de la cara.

El plano de detalle completo para las probetas Nick Break, se adjunta en el **ANEXO 4**.

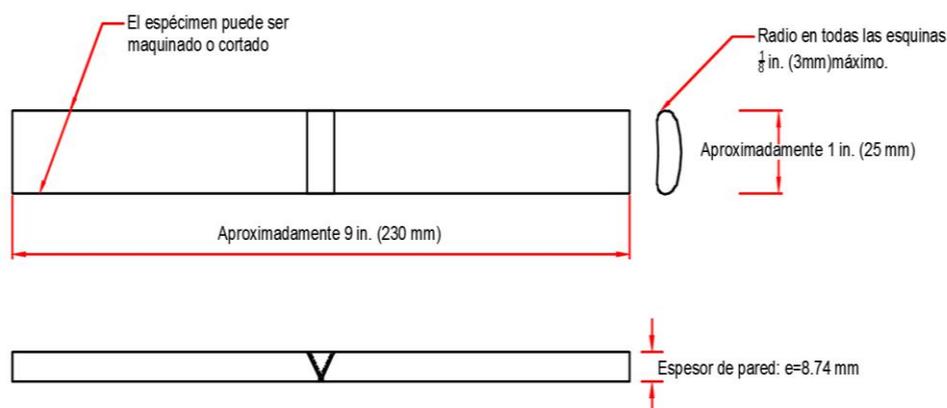
Los criterios de aceptación – Ensayo Nick Break:

- Las superficies deben mostrar penetración y fusión completa.
- Dimensión máxima cavidad de gas 1.6 mm u área de suma total no mayor a 2% de la superficie
- Inclusiones de escoria no mayor a 1/32" (0.8mm) en profundidad y tampoco mayores a 1/8" (3mm) en longitud.
- Existencia mínima de 1/2" (13mm) metal de soldadura constante entre inclusiones de escoria adyacentes.
- Los ojos de pescado no son causa de rechazo.

Doblado de raíz y de cara:

El ensayo de doblado tiene por finalidad determinar la ductilidad localizada en el cordón de soldadura, ya que con un ensayo de tracción no es suficiente para determinar si existen secciones fragilizadas en puntos específicos del cordón.

Al doblar la probeta, la cara exterior siempre será la que quede sometida a tracción, para el caso de doblado raíz, la cara expuesta será la raíz, entonces lo que se inspecciona es si existe alguna sección fragilizada debido a un mal proceso de soldeo en la raíz, y lo mismo ocurre de forma equivalente cuando se hace el doblado de cara.



Nota: La sobremonta y sobreespesor de raíz deben ser removidos a ras con la superficie del espécimen.
El espécimen no debe ser aplanado antes del ensayo.

Figura 2.7 Probeta ensayo doblado raíz (espesor de pared menor a 12.7mm) Fuente: Figura 7 – API 1104

Similar a la probeta de Nick break con respecto a dimensiones, poseerá 230 mm aproximadamente de longitud y 25 mm de ancho, tal cual se muestra en la figura 2.7. Sin embargo la preparación de la probeta será diferente ya que indica que todo reforzamiento deberá ser eliminado tanto el de cara como de raíz.

Los criterios de aceptación – Doblado de raíz y de cara:

- No debe existir defecto grieta u otro que exceda a 1/8" (3mm) o mitad de espesor de pared nominal, en cualquier dirección, ya sea en la soldadura o entre la zona de fusión y soldadura luego del doblado.
- Las grietas originadas en el radio extremo de curvatura en los bordes, deberán ser inferiores a 1/4" (6mm) en cualquier sentido.

Ensayo impacto Charpy

El ensayo de Charpy será crítico y esencial realizarlo para la aprobación del WPS , si bien la norma API 1104 no lo hace referencia como obligatoria, pero para el caso a tratar es necesario debido a que la tubería operará hasta a -20°C , por lo cual se requiere asegurar que la unión soldada posea la tenacidad aceptable a tales temperaturas.

Para realizar los ensayos de impacto, la norma API 1104 indica que se deberá maquinar 18 probetas, las cuales serán extraídas 6 probetas por cada zona de la tubería de 12, 6, 3 o 9, según manecillas de reloj, 3 con muescas V en la zona central de soldadura y 3 de la zona ZAC, obteniéndose en total 9 muestras con muesca en la zona central y 9 en la zona ZAC, la probeta será extraída como se muestra en la figura 2.8

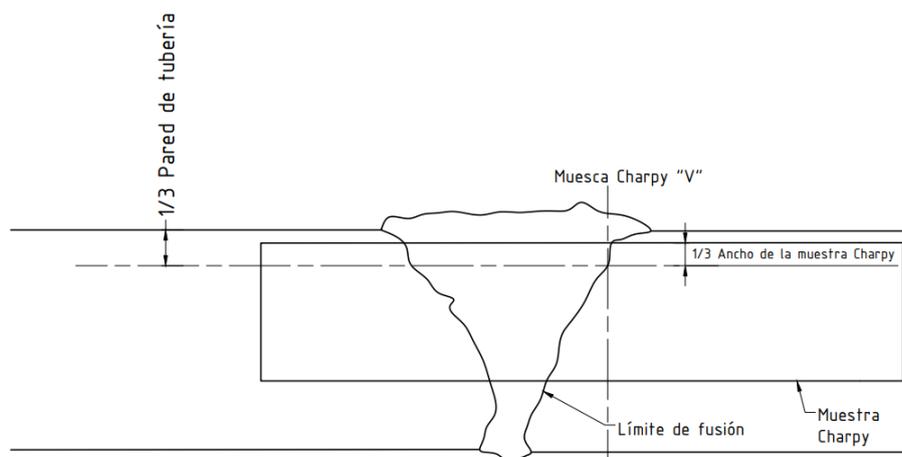


Figura 2.8 Zona de extracción de probeta Charpy. Fuente: Figura 7 – API 1104

La preparación de las probetas se muestra en la figura 2.9

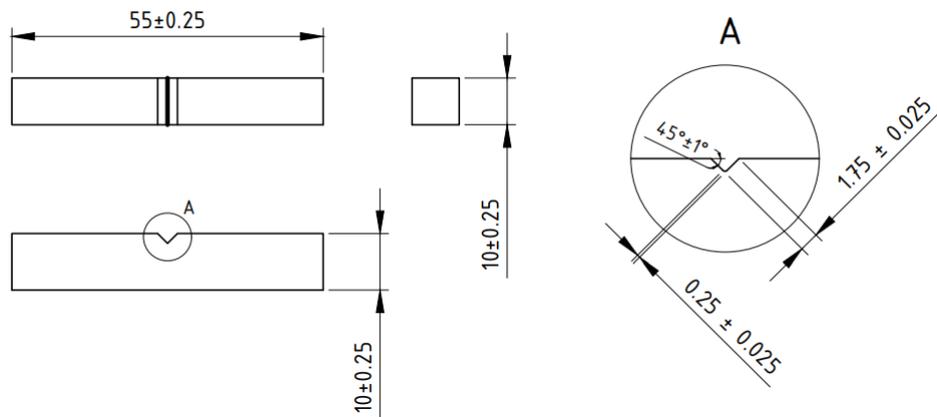


Figura 2.9 Probeta Charpy , entalle V.

Fuente: Figura 7 – API 1104

Los criterios de aceptación – Ensayo Charpy:

- a) La energía absorbida promedio para cada conjunto de tres muestras es igual o superior a 30 pies-lb (40 J).
- b) La energía absorbida individual mínima para cada conjunto de tres muestras es igual o superior a 22 ft-lb (30 J).
- c) Cuando se utilizan especímenes de Charpy “subsized”, los requisitos de energía, sin corrección o conversión, como se indica en los puntos a) y b) anteriores se aplicarán.

Los detalles de la preparación de la probeta Charpy para el proceso realizado, se adjunta en el **ANEXO 5**

Cantidad de cupones a utilizar

Teniendo que nuestro diámetro de tubería es de 2.73” (60.3mm) de diámetro externo, tan solo se obtendrían como máximo 2 probetas por cupón, como se muestra en la figura 2.10 por lo que se necesitaría de 2 cupones, ya que se obtendría las 4 probetas requeridas (2 Nick break, 2 doblado raíz).

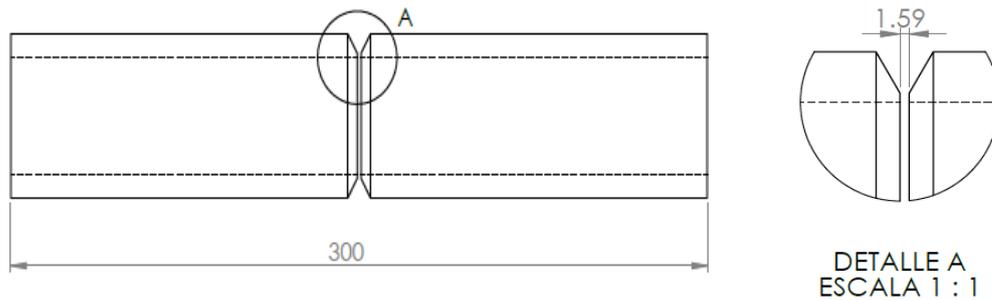


Figura 2.10 Dimensiones de cupón.

Fuente: Elaboración propia

Se define la longitud de cupón en base a la longitud de la probeta, siendo esta última aproximadamente 230 mm, entonces se requiere una longitud mayor para luego poder extraer la probeta sin problemas dimensionales, por lo que se le dará una longitud de 300 mm al cupón.

El espaciado de la raíz será $1/16''$ (1.6 mm), según lo ya definido en el diseño de junta, además se puede observar en la figura 2.3 , que el talón será de igual manera $1/16''$ (1.6mm) con un bisel de $30^\circ -5'/+5^\circ$.

A continuación en las figuras 2.11, 2.12 se muestran detalles del diseño de los biselados que tendrá el cupón a soldar, sin embargo estos son referenciales según norma. En el **ANEXO 2**, se adjuntará el plano de detalle de los cupones de soldadura que finalmente se implementó para el desarrollo del proceso de soldadura.

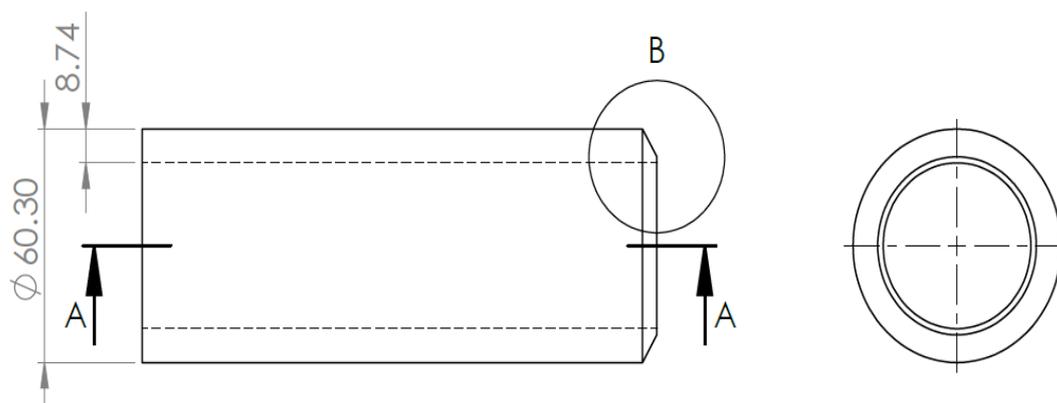


Figura 2.11 Dimensiones de tubo (diámetro externo y espesor de pared).

Fuente: Elaboración propia

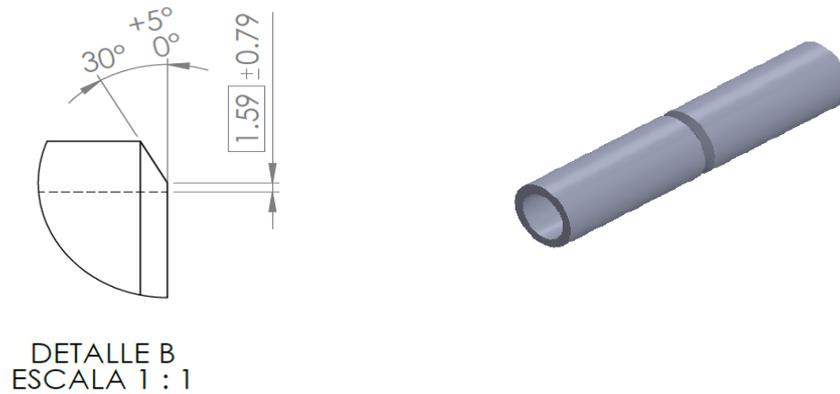


Figura 2.12 Detalle de bisel con tolerancias.

Fuente: Elaboración Propia

Preparación de cupones a utilizar

Se limpia el tubo de todos los residuos del óxido con:

- Martillándolo: golpeándolo levemente sacándole las partes muy oxidadas de las superficies del exterior e interior.
- Cepillo de Alambre.
- Esmeriladora o amoladora.

El biselado se puede proceder a realizar con una biseladora de tubos, equipo de oxicorte o con esmeril, los cupones que se prepararon para esta calificación se muestra en la figura 2.13.

Por último siempre se debe verificar que el bisel cumpla realmente a lo definido por el diseño de junta, esto se puede verificar a utilizando una galga de soldadura Bridge Cam o comúnmente conocido como pico de loro, tal cual se muestra en la 2.14.



Figura 2.13 Preparación de cupones

Fuente: Imagen obtenida de ensayo propio

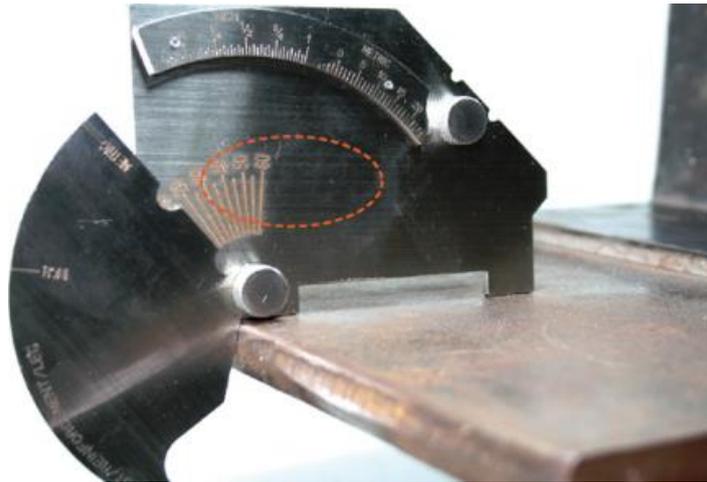


Figura 2.14 Verificación de biselado con galga Bridge Cam

Fuente: Llogsa

Alineamiento de cupones

El alineamiento de las tuberías es de gran importancia para la obtención de una buena soldadura y también para mantener la linealidad a lo largo de la red de tubería, la norma API 1104 indica que el desalineamiento de la parte superficial de la tubería en los extremos colindantes debe minimizarse al máximo, y da como tolerancia hasta 3 mm de desalineación, mientras que el código ASME B31.8 solo indica rangos de desalineamientos máximos para unión de tuberías de diferente espesor.

En la tabla 2.7 del presente trabajo, donde se hace referencia a las variables del procedimiento de soldadura, se hace mención en una de ellas al tipo de acoplador en caso se necesario utilizar así como su tipo, cabe mencionar que la norma API 1104 no hace una exigencia en la utilización de este dispositivo de alineamiento (Lineup clamp), pero en caso de utilizarlo deberá ser referenciado su tipo (externo o interno) en el WPS.

Para el ensayo realizado del presente trabajo se realizó el alineamiento de cupones de una manera tradicional, sin el uso de dispositivos de acople, ya que la criticidad de alineamiento en un ensayo de prueba es diferente a la soldadura de producción, sea en campo o en taller, en el sentido de que la soldadura de prueba no será utilizado en una red de tubería.

Para el alineamiento en primer lugar se fija un primera mitad del cupón con apuntalado desde el extremo no colindante con un soporte de mesa metálico, una vez fijado se hace

lo mismo con la otra mitad de cupón a unir, de manera que quede lo máximo posible alineado, se va regulando con martillado y se va verificando con una regla la superficie hasta que quede perfectamente alineado, se puede mostrar los cupones alineados en la figura 2.15.



Figura 2.15 Alineamiento de cupón de soldadura

Fuente: Imagen obtenida de ensayo propio

Alineamiento de tuberías en soldadura de producción

Para la soldadura de producción, si se tendrá una mayor exigencia en el alineamiento ya que este será instalado en toda una red de tuberías estando en operación real con el gas a grandes presiones.

Para este caso se colocan los dos tramos de tubos en caballetes o borriquetas, con el fin de poder alinear los tubos y sujetarlos, que las caras de raíz casi se toquen. Con una regla de nivel se revisa si están alineados los tubos realizando varias medias en diferentes lados, utilizando dispositivos de centradores de tuberías, de tipo externo ya que el caso de estudio actual refiere a un tubería de diámetro pequeño de 2" mientras que los de tipo internos son utilizados para tuberías de diámetro mucho más grandes. El tipo de dispositivo se aprecia en la figura 2.16.



**Figura 2.16 Centrador de Tuberías de 1 a 3 pulg.
Fuente: DWT Pipetools**

2.8 CALIFICACIÓN DE SOLDADORES

La norma indica según la sección 6 del API 1104, que el soldador deberá pasar por una calificación simple, lo cual dice que el soldador deberá pasar por un ensayo de soldadura utilizando el procedimiento de soldadura a ejecutar. Con respecto a las probetas, serán extraídas en la zona especificada según la siguiente figura 2.17.

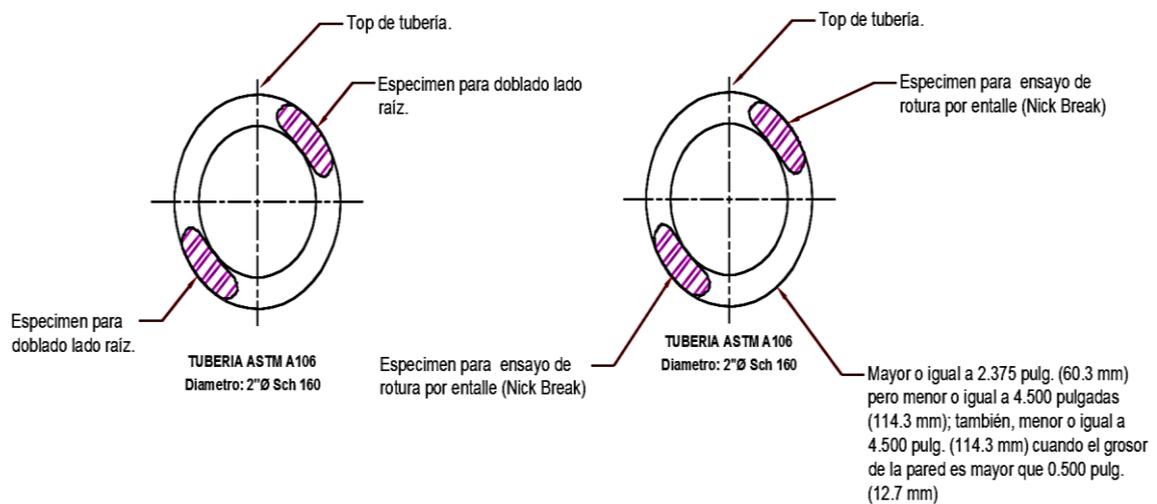


Figura 2.17 Locación de probetas de soldadura a tope para calificación de soldadores. Fuente: Figura 12 – API 1104

Luego, de la tabla 3 del API 1104, que se muestra en la tabla 2.9, se obtendrá el número y tipo de probetas.

Tabla 2.9 Tipo y número de probetas de soldadura a tope para calificación de soldador y ensayos destructivos para junta soldadas

Diámetro externo de tubería		Número de probetas					
pulgadas	mm	Ensayo tracción	Nick Break	Doblado raíz	Doblado cara	Doblado de lado	Total
Espesor de pared < 0.500 pulgadas (12.7mm)							
>2.375	<60.3	0	2	2	0	0	4 ^a
2.375 a 4.500	60.3 a 114.3	0	2	2	0	0	4
>4.500 a 12.750	>114.3 a 323.9	2	2	2	0	0	6
>12.750	>323.9	4	4	2	2	0	12
Espesor de pared > 0.500 pulgadas (12.7mm)							
<= 4.500	<=114.3	0	2	0	0	2	4
<4.500 a 12.750	>114.3 a 323.9	2	2	0	0	2	6
>12.750	>323.9	4	4	0	0	4	12

a. Para tuberías de diámetro exterior igual o inferior a 1.315 pulg. (33.4 mm), muestras de nick break y doblado de raíz de dos soldaduras o se toma una muestra de resistencia a la tracción de una sección completa.

Fuente: Tabla 3 – API 1104

De la tabla 2.9 se obtiene lo siguiente:

- 2 probetas Nick Break
- 2 probetas doblado de raíz

Número y dimensiones del cupón

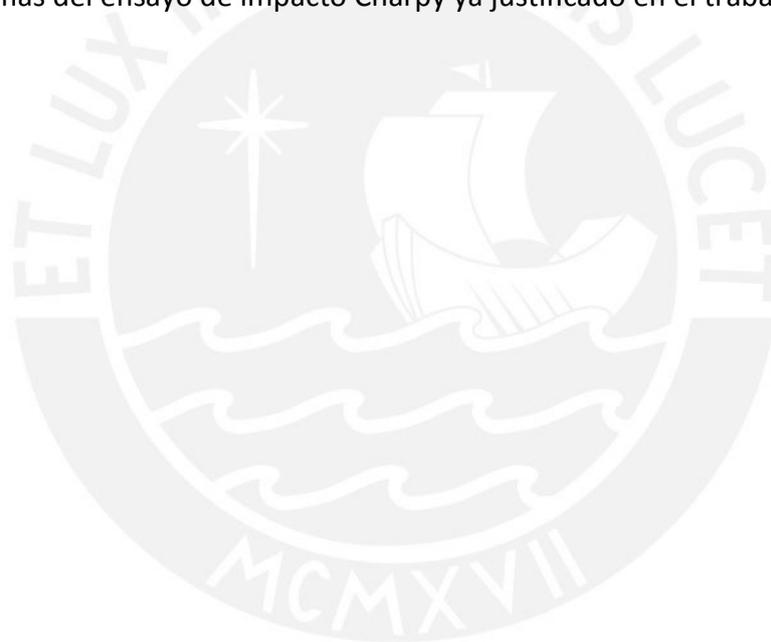
Las dimensiones y preparación de estas probetas serán las mismas que las analizadas para la calificación de procedimiento de soldadura, por lo que se utilizará las mismas. Además que el número de probetas es el mismo que en la calificación del procedimiento, entonces el número de cupones y dimensiones serán lo mismo, considerándose 2 cupones de 300 mm de longitud. Otra forma que se indica en API 1104, es realizarle un ensayo de radiografía, el cual tendrá que pasar bajo los criterios de aceptación de la norma, estos se pueden ver en el capítulo 4 del presente trabajo.

Los resultados de la prueba de radiográfica se mostrarán en el capítulo 3 y en el **ANEXO 6** se adjunta el registro de calificación del soldador (RCS).

Consideraciones de ensayos del presente trabajo

La norma API 1104 brinda requisitos mínimos que deberán ser cumplidos en su totalidad con respecto a los ensayos destructivos y tolerancias de aceptación aplicados para la validación del procedimiento de soldadura y calificación de soldadores, sin embargo no es limitante ni restrictivo a realizar ensayos adicionales que el especialista considere necesario, ni tampoco al definir tolerancias más exigentes para el proyecto, previo acuerdo entre cliente y proveedor.

Para el presente trabajo tal cual se muestra en las tablas 2.8 y 2.9, indican que los ensayos necesarios serán de Nick Break y doblado de raíz, sin embargo para fines exclusivamente demostrativos se realizará también los ensayos de tracción y doblado de cara , además del ensayo de impacto Charpy ya justificado en el trabajo.



CAPITULO 3 RESULTADOS DE ENSAYOS Y COMENTARIOS

3.1 ENSAYOS PARA CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO

3.1.1 Ensayo de tracción

A continuación la figura 3.1 muestra la curva del ensayo de tracción, carga (kN) vs alargamiento (mm), obtenida de la probeta mostrada en la figura 3.1.

Referencia: Calificación de WPS (PQR)

Resultado: Aceptable

Gráfica:

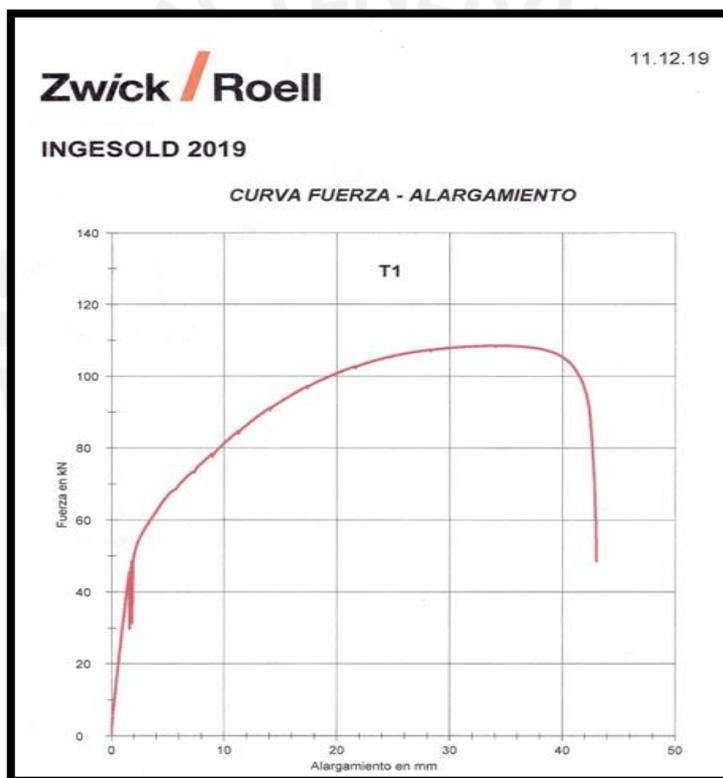


Figura 3.1 Curva Fuerza vs Alargamiento

Comentarios:

Se calculó que el esfuerzo de tracción fue de 494 MPa, estando por encima de los 415 MPa del material base, este se obtiene de la fuerza máxima registrada de 108 KN dividida por el área inicial de la sección transversal de la probeta la cual era de longitudes 8.74 mm x 25 mm obteniendo un área de 218.5 mm², además se observó que la probeta

rompe en el material base, con una rotura dúctil (se observan deformaciones) cerca de la zona de agarre de mordazas , con lo cual queda aprobado que cumple los requisitos referenciados en la sección 5.6.2.3 de API 1104.

Registro Fotográfico

En la figura 3.2, se muestra la probeta normalizada según la norma API 1104 previo al ensayo destructivo de tracción, en tanto la figura 3.3. se muestra la probeta después del ensayo de tracción.



Figura 3.2 Probeta de tracción

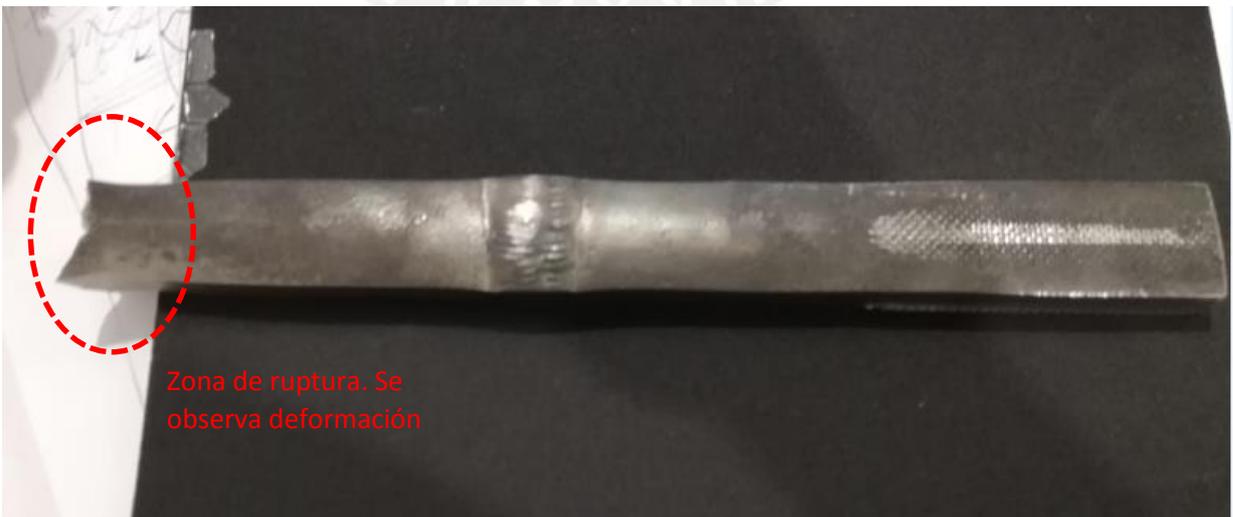


Figura 3.3 Probeta de tracción rota

3.1.2 Ensayo de doblado cara y raíz

Según lo mencionado en la tabla 2.8, se necesita realizar ensayos a dos probetas para los ensayos de doblado de cara y raíz, respectivamente. Estos se muestran en la figura 3.4 previo al ensayo.

Referencia: Calificación de WPS (PQR)

Resultado: Aceptable

Registro fotográfico:

En la figura 3.4 se puede visualizar las probetas para el ensayo de doblado, en la figura 3.5, el proceso del ensayo mediante la máquina utilizada, y en las figuras 3.6 y 3.7, los resultados de las probetas dobladas.



Figura 3.4 Probetas de doblado de cara y raíz



Figura 3.5. Proceso de doblado



Figura 3.6. Resultado doblado de cara

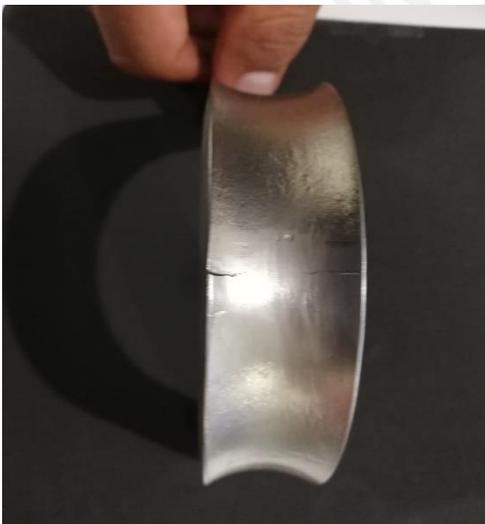


Figura 3.7. Resultado doblado de raíz

Comentarios:

Los resultados en ambos doblados fueron aceptables, para el doblado de cara la superficie sometida al doblado fue encontrada totalmente limpia, mientras que para el doblado de raíz en la superficie traccionada se encontraron dos pequeñas fisuras que corren desde los extremos; sin embargo no superan los 6 mm de longitud, además que posiblemente esta discontinuidad se generó debido a que no se hizo el redondeo adecuado a los filos y bordes de la probeta. Por lo cual la prueba de doblez queda aceptado según los requisitos de API 1104 referenciados en su sección 5.6.4.3, el cual también se ha detallado en el presente trabajo en el apartado 2.7.

3.1.3 Ensayo de Nick Break

Se realiza el ensayo Nick break según lo requerido en la tabla 2.8.

Referencia: Calificación de WPS (PQR)

Resultado: Aceptable

Registro fotográfico:

En la figura 3.8 se aprecia el maquinado de la probeta previa a la prueba, mientras que en la figura 3.9, se observa ya la probeta post prueba, para este ensayo se observa bien la sanidad interna del cordón y esto se muestra en las figuras 3.10 y 3.11.



Figura 3.8. Probeta de Nick Break



Figura 3.9. Probeta rota, Nick Break



Figura 3.10. Ensayo Nick Break, zona interna primera mitad



Figura 3.11. Ensayo Nick Break, zona interna segunda mitad

Comentarios:

La zona interna del cordón no muestra porosidad, ni ninguna muestra de inclusiones externas, en sí el interior del cordón se encuentra limpio y libre de defectos, además con el ensayo se puede apreciar que se ha obtenido una penetración y fusión completa. Esta prueba queda aceptable bajo los requisitos de API 1104 referenciados en su sección 5.6.3.3, de igual manera se pueden observar estos requerimientos en el apartado 2.7 del presente trabajo.

3.1.4 Ensayo de impacto a -20°C

Referencia: Calificación de WPS (PQR)

Resultado: Aceptable

Registro fotográfico:

En las figuras 3.12 y 3.14 se muestran las probetas post ensayos, para las probetas de zona de entalle en la zona de material de aporte y entalle en la zona de línea de fusión.

En las tablas 3.1 y 3.2 se muestran los resultados del ensayo, siendo graficado en la figuras 3.13 y 3.15 respectivamente.



Figura 3.12. Probeta de Impacto en el Material de Aporte

Tabla 3.1. Resultados de energía absorbida probetas zona de aporte

ENTALLE EN V EN LA ZONA DEL MATERIAL DE APORTE				
N	Energía Potencial J	Energía absorbida bruta J	W (Fricc) J	Energía absorbida neta J (NIST Corr)
1	449.95	130.69	0.99	129.39
2	449.95	99.64	1.02	98.34
3	449.95	171.76	0.95	170.46

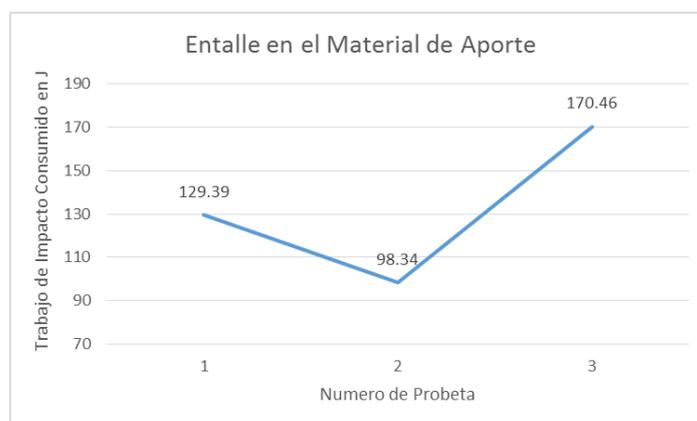


Figura 3.13 Energía absorbida en el ensayo de impacto consumido en J



Figura 3.14 Probetas de Impacto en la Línea de Fusión

Tabla 3.2. Resultados de energía absorbida en probetas de entalle zona línea de fusión

ENTALLE EN V EN LA LINEA DE FUSION				
N	Energía Potencial J	Energía absorbida bruta J	W (Fricc) J	Energía absorbida neta J (NIST corr)
1	449.95	109.65	1.01	108.35
2	449.95	69.2	1.06	67.9
3	449.95	109.23	1.01	107.93

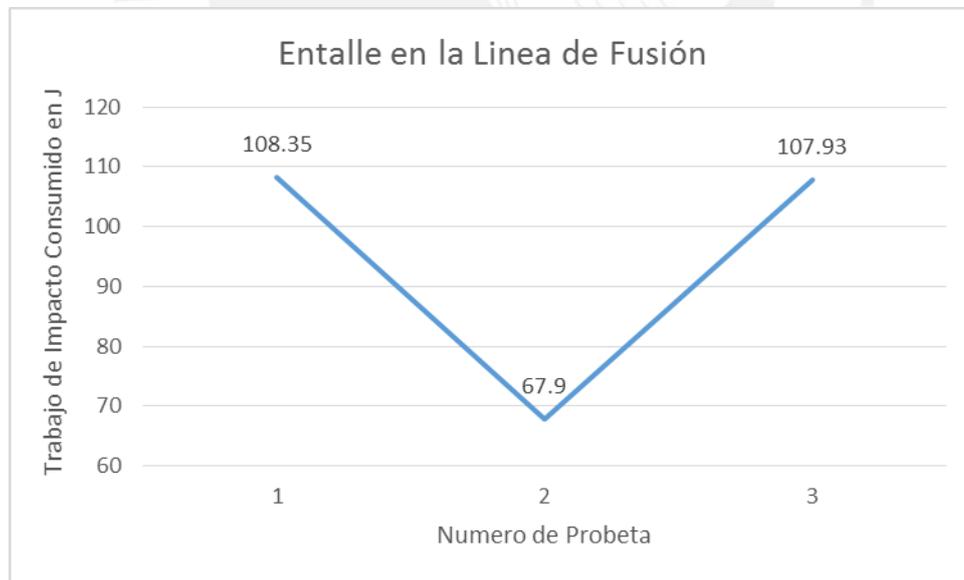


Figura 3.15 Energía absorbida en el ensayo de impacto consumido en J

Comentarios:

Las pruebas en el material de aporte y en la línea de fusión presentaron un comportamiento tenaz ocasionando roturas dúctil en las probetas, además se obtuvo

energía absorbida muy superior al mínimo requerido de 30 J, siendo aceptado según los requisitos de API 1104, referenciados en su sección A.3.4.2.3, el cual también se detalla en este documento en el apartado 2.7.

3.2 ENSAYOS PARA CALIFICACIÓN DE SOLDADOR

3.2.1 ENSAYO DE INSPECCION VISUAL

Referencia: Calificación de WPS (PQR)/ Calificación del soldador

Resultado: Aceptable

Registro fotográfico:

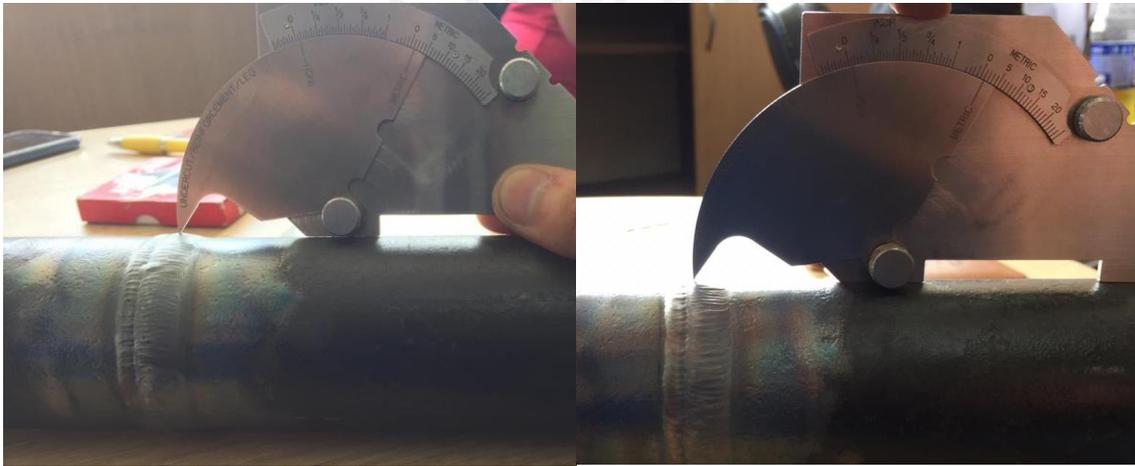


Figura 3.16 Lectura de la sobre monta del cordón



Figura 3.17 Revisión de los cordones de cara



Figura 3.18 Revisión de los cordones de raíz

Tabla 3.3. Resultados de medidas tomadas de sobremonta

Sobremonta del cordón de cara		
N° Espécimen	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Cupón 1	0.9	1.8
Cupón 2	1	1.5
Cupón 3	0.8	1.7
Cupón 4	1.2	1.3

Comentarios:

No presentan ningún defecto en los cordones, en el cordón de cara y en el cordón de raíz no contienen discontinuidades o faltas de conformidad en función como fisuras, porosidades, formas y dimensiones. De la tabla 3.3 se observa que tampoco exceden el máximo permitido de sobremonta de 3 mm. El ensayo de inspección visual resulta aceptable bajo los requerimientos de API 1104 referenciado en su sección 6.4.

3.2.2 INSPECCIÓN MEDIANTE PARTICULAS MAGNÉTICAS

Referencia: Calificación de WPS(PQR) / Calificación del soldador

Resultado: Aceptable

Registro fotográfico:



Figura 3.19 Partículas magnéticas fluorescentes

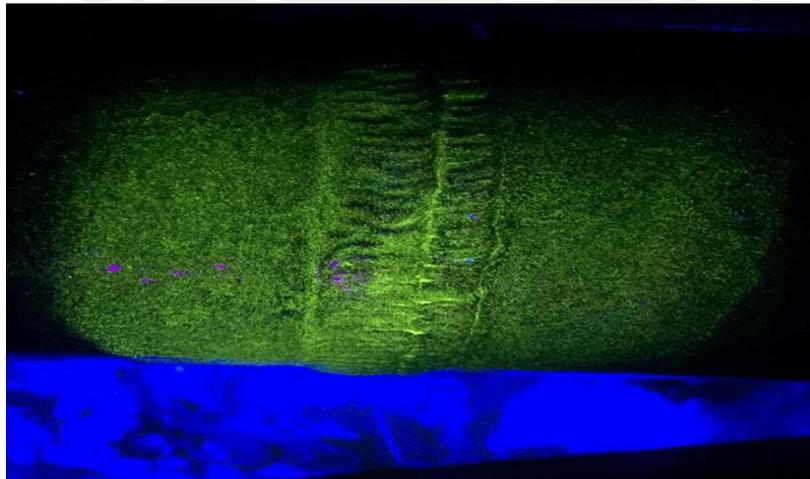


Figura 3.20 Revelado de partículas magnéticas

Comentarios:

Se utilizó partículas magnéticas fluorescentes en suspensión (vía húmeda), con una magnetización por yugo con corriente directa, implementando el método de inspección continua, teniendo en el ambiente al momento de revelar, 20 lux y verificando la luz negra como mínimo de 1000 uw/cm². Bajo estos parámetros al ver el contraste no se observó ninguna indicación, por lo que el cordón fue considerado de buena calidad, siendo el soldador calificado para el trabajo. El ensayo resulta aceptable bajo los requerimientos del API 1104 referenciados en su sección 9.4.2

3.2.3 ENSAYO DE RADIOGRAFIA

Referencia: Calificación del soldador

Resultado: Aceptable

Registro fotográfico:



Figura 3.21 Comprobación de las densidades de la película.



Figura 3.22 Radiografía de la Probeta lado B



Figura 3.23 Radiografía de la Probeta lado A

Segun Codigo: ASME BPVC.V-2019

Indicador de Calidad de Imagen – IQI

- Lado Fuente: 6 – Set. A, diámetro del alambre 0.25 mm.
- Lado Película: 5 – Set. A, diámetro del alambre 0.20 mm.

Densidades de la Película

- Lado A: 2.78 y 2.41
- Lado B: 2.43 y 2.67

Comentarios:

Los indicadores se colocaron en el lado de la fuente. Presentando buena densidad las películas. En la observación de las radiografías se encontró libre de discontinuidades en todo el cordón. El ensayo queda aceptable según los requisitos de API 1104 referenciados en su sección 9.3, de misma manera se adjunta en el **ANEXO 7**, una tabla resumen de estos requisitos.

CAPITULO 4

INSPECCIÓN Y CALIDAD DE LA SOLDADURA

El código de fabricación ASME B31.8, indica en el índice 826 el tema del requerimiento de inspección de la soldadura, y lo clasifica según el esfuerzo circunferencial mayor al 20%, como es el caso a desarrollar.

El cordón de soldadura circunferencial deberá ser examinado al 100%, específicamente con ensayos no destructivos, y el número de juntas a inspeccionar se deberá tomar un porcentaje del total, siendo escogidas al azar, según sea el caso siguiente:

- 10% de soldaduras en Localidades de Clase 1, que se refiere a tuberías con destino a edificios de ocupación humana, que distribuye menor a 10 edificios.
- 15% de soldaduras en Localidades de Clase 2, que se refiere a tuberías con destino a edificios de ocupación humana, que distribuye a más de 10 edificios pero menos de 46 edificios.
- 40% de soldaduras en Localidades de Clase 3, que se refiere a tuberías con destino a edificios de ocupación humana, que distribuye a más de 46 edificios y zonas industriales.
- 75% de soldaduras en Localidades de Clase 4, que se refiere a zonas donde existan muchos edificios, pero que sean de difícil acceso.
- 100% de soldaduras en estaciones de compresión, y en cruces de ríos principales o navegables, cruces de carreteras principales, y cruces de ferrovías, si resulta práctico, pero en ningún caso menos del 90%. Todas las soldaduras de conexión que no se sometan a pruebas de presión, deberán ser examinadas.

Para el caso del proyecto a desarrollar, se deberá inspeccionar todas las juntas de soldadura al 100%, puesto que el caso no aplica de manera directa a las clase de

localidades existentes anteriormente mencionadas ya que se trata de una tubería dentro de una estación de descompresión, donde el gas posterior al proceso de descompresión, recién se destinará al consumo industrial o a redes residenciales según fuera el caso solicitado. Además en el caso actual se toma la inspección de manera equivalente a la estación de compresión dado que la presión a la que llega en ella es de 250 bares, exactamente la misma que será recepcionada en la estación de descompresión. Por último queda en total responsabilidad del fabricante velar por el aseguramiento de la calidad entregada en su producto, por lo que siempre es recomendable independientemente de lo especificado en el código, realizar siempre una inspección total del producto entregado, en este caso las juntas soldadas.

Para la inspección de la soldadura, se tomará en cuenta los criterios de aceptación de la norma API 1104, el cual será de utilidad para poder realizar el programa de inspección.

En el **ANEXO 7** se muestra la tabla con los criterios de aceptación del ensayo de radiografía, se adjunta al trabajo actual debido a que es uno de los ensayos más solicitados en la industria por los clientes para tuberías operando alta presión.

4.1 PROGRAMA DE INSPECCIÓN

Con la información sustentada a lo largo del presente trabajo, se realizará un plan de inspección que abarcará toda la fabricación de las tuberías, dividiéndose en 3 grupos los cuales son los siguientes: Recepción de materiales y equipos, procedimiento soldadura y calificación de soldadores, por último fabricación en taller, estos se muestran en las figuras 4.1, 4.2 y 4.3 respectivamente.

ITEM	ETAPA DE TRABAJO	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	RESPONSABLE	QUE VERIFICAR	METODO DE INSPECCIÓN	FRECUENCIA	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	TIPO DE CONTROL		REGISTRO
								INGESOLD	CLIENTE	
PLAN DE FABRICACIÓN										
1.0 Recepción de materiales y equipos										
1.1	Recepción de materiales	<ul style="list-style-type: none"> Listado de materiales. Órdenes de compra. Certificados de Calidad. Procedimiento de recepción de material. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento de especificaciones técnicas. Estado físico del suministro. Dimensiones. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. Medición directa con flexómetro, pie de rey. 	• Cada vez que ingresa material del proyecto.	• Según normas ASTM (A53) (A106).	V,I,R	P	INGESOLD-QA/QC-001
1.2	Recepción de soldadura	<ul style="list-style-type: none"> Listado de materiales. Órdenes de compra y/o servicio. Certificados de Calidad. Procedimiento de recepción de material. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento de especificaciones técnicas. Estado físico del suministro. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. Revisión documental. 	• Cada vez que ingresa al proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> Según normas AWS (A5.1 / A5.18). Según hoja técnica de fabricante. 	V,I,R	P	INGESOLD-QA/QC-002
Tipo de Control: V = Verificar; I = Inspeccionar; R = Revisar; PE = Punto de espera; P = Presenciar.										

Figura 4.1 Plan de inspección de fabricación – Recepción de materiales y equipos.

Fuente: Elaboración propia

ITEM	ETAPA DE TRABAJO	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	RESPONSABLE	QUE VERIFICAR	METODO DE INSPECCIÓN	FRECUENCIA	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	TIPO DE CONTROL		REGISTRO
								INGESOLD	CLIENTE	
2.0 Procedimientos de soldadura y calificación de soldadores										
2.1	Selección/ Emisión de procedimientos de soldadura (WPS)	<ul style="list-style-type: none"> ASME B31.8. API 1104. Especificaciones de Cliente. 	Responsable QC	<ul style="list-style-type: none"> Procesos de soldadura aplicables. Detalles de juntas. Variables esenciales. Cumplimiento de especificaciones técnicas. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. Revisión documental. 	• Antes de iniciar los trabajos de soldadura.	<ul style="list-style-type: none"> De acuerdo a ASME B31.8. De acuerdo a API 1104. 	V,I,R,P	R, PE	INGESOLD-QA/QC-003
2.2	Calificación de procedimientos de soldadura.	<ul style="list-style-type: none"> ASME B31.8. API 1104. Especificaciones del Cliente. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> Probeta(s): tipo y dimensiones. Geometría de la junta. Verificación de parámetros de soldadura. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. Revisión documental. 	• Si un WPS no cubre las variables esenciales de API 1104.	• De acuerdo a API 1104.	V,I,R,P	R, PE	INGESOLD-QA/QC-004
			Laboratorio CITE MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia a la tracción. Resistencia al doblado de raíz y cara. Nick Break. Impacto -Charpy 	• Visual.	• Por cada probeta.	• Según API 1104.	V,I,R,P	R, PE	
2.3	Calificación de soldadores	<ul style="list-style-type: none"> ASME B31.8. API 1104. Especificaciones del Cliente. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> Dimensiones de las probetas. Material base. Posición de soldadura. Parámetros de soldadura. Ejecución de soldadura. Pruebas de tracción, doblado de raíz y nick break. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. Revisión documental. 	• Por cada soldador.	• Según API 1104.	V,I,R,P	R, PE	INGESOLD-QA/QC-005
Tipo de Control: V = Verificar; I = Inspeccionar; R = Revisar; PE = Punto de espera; P = Presenciar.										

Figura 4.2 Plan de inspección de fabricación – Procedimientos de soldadura y calificación de soldadores.

Fuente: Elaboración propia

ITEM	ETAPA DE TRABAJO	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	RESPONSABLE	QUE VERIFICAR	METODO DE INSPECCIÓN	FRECUENCIA	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	TIPO DE CONTROL		REGISTRO
								INGESOLD	CLIENTE	
3.0 Fabricación en taller										
3.1	Marcado y codificación de partes	• Planos aprobados para fabricación.	Inspector QC	• Metodo de marcado. • Identificación.	• Visual.	• Por cada elemento.	• Marcado de acuerdo a marca de plano. • Cada parte es vinculada a su correspondiente certificado de calidad de material.	V,I,R	R	INGESOLD-QA/QC-006
3.2	Trazo y corte	• Planos aprobados para fabricación.	Inspector QC	• Dimensiones. • Angulos de bisel.	• Visual. • Medición directa.	• Por cada elemento.	• Según planos de detalle aprobados para fabricación.	V,I,R	R	INGESOLD-QA/QC-007
3.3	Habilitado y armado	• Planos aprobados para fabricación.	Inspector QC	• Dimensiones. • Apuntalado	• Visual. • Medición directa	• Por cada elemento.	• De acuerdo a planos aprobados para construcción.	V,I,R	R	INGESOLD-QA/QC-008
3.4	Soldadura	• Planos aprobados para fabricación. • Especificaciones del cliente.	Inspector QC	• Uso de procedimiento de soldadura aprobado (WPS). • Calificación de soldadores. • Metal base y de aporte. • Parámetros de soldadura.	• Visual. • Revisión documental.	• Al iniciar un nuevo elemento.	• Según API 1104.	V,I,R	R, PE	INGESOLD-QA/QC-009
		• Procedimiento de inspección visual de soldadura. • Especificaciones del cliente.	Inspector QC	• Acabados. • Discontinuidades. • Cumplimiento de procedimiento.	• Visual. • Medición directa.	• 100%.	• Según API 1104.	V,I,R	R, PE	
		• Procedimiento de líquidos penetrantes.	Inspector QC	• Discontinuidades. • Defectos en soldadura.	• Visual. • Medición directa.	• PT 100% en los elementos estructurales.	• Según API 1104.	V,I,R	R, PE	

Tipo de Control: V = Verificar; I = Inspeccionar; R = Revisar; PE = Punto de espera; P = Presenciar.

Figura 4.3 Plan de inspección de fabricación – Fabricación en taller.

Fuente: Elaboración propia

En el ANEXO 8 se adjuntará el plan de inspección en un formato más completo adecuado a las exigencias de su uso a nivel industrial.

CONCLUSIONES

1. Tanto para la elaboración como para la calificación del procedimiento de soldadura y calificación de soldadores del presente trabajo, se seleccionaron el código ASME B31.8 y la norma API 1104, debido a que el primero es un código de fabricación para tuberías de transporte de gas, donde se verificó que su alcance abarque en su totalidad a las condiciones técnicas del presente caso de estudio, posteriormente este código indicó la utilización de la norma API 1104 con todo lo relacionado a la soldadura de las tuberías, siempre y cuando la tubería operara a una tensión mayor al 20% de la tensión mínima de fluencia del material de la tubería, quedando de esta manera justificado su uso, ya que se obtuvo una tensión de operación de 61.3 MPa, siendo mayor que los 48 MPa, el cual es el equivalente al 20% de la tensión mínima de fluencia del material.
2. El procedimiento de soldadura propuesto para la unión a tope de tuberías de 2" Sch 160 de acero al carbono fabricado según las normas ASTM A106 Gr. B / ASTM A53 Gr. B, cumple con los requerimientos de calificación de la norma API 1104 según lo estipulado por el código de fabricación ASME B31.8.
3. Los ensayos de radiografía de la junta, al 100%, no presentaron defectos; en consecuencia los soldadores fueron calificados como aptos.
4. Se puede afirmar que el material de la tubería es de buena soldabilidad y no requiere de precalentamiento, en un primer lugar se observa que la diferencia entre las especificaciones técnicas ASTM A106 Gr. B /ASTM A53 Gr. B poseen un CE aproximadamente de 0.7 como máximo mientras que en lo ofrecido en la industria el promedio del CE es de 0.32, este dato fue útil para la determinación de ciertas consideraciones previas y post soldadura.
5. Se puede afirmar que la unión soldada de la tubería será capaz de operar sin ningún problema a bajas temperaturas de operación (de hasta -20°C), ya que en los ensayos de impacto realizados a -20°C, los valores de energía absorbida

resultaron en promedio por cada conjunto de tres muestras con un valor de 132.73 J (muestras con entalle en el material de aporte) y 94.72 J (muestras con entalle en zona de línea de fusión), siendo mayores al mínimo requerido por la norma API 1104, el cual es de 40 J para energía absorbida promedio por conjunto de tres muestras. Además los resultados individuales de cada muestra fueron 129.39 J, 98.34 J, 170.46 J para las muestras con entalle en zona de material de aporte y 108.35 J, 67.9 J, 107.93 J para las muestras con entalle en zona de línea de fusión siendo mayores que a la energía mínima requerida de 30 J de manera individual.

6. El programa de inspección propuesto, quedó conforme a las especificaciones, normas y códigos al alcance del actual proyecto, además está dado a un enfoque más relacionado a la industria en estos tiempos, por lo que su utilización es válida.

RECOMENDACIONES

- El procedimiento de soldadura desarrollado es totalmente válido para aplicación en la industria, sin embargo hay que tener en consideración cuando se aplique en soldaduras de tuberías de mayor diámetro o espesor respecto al planteado en el actual trabajo, en el cual estas variables esenciales quizás se encuentren dentro del rango estipulado en el WPS pero podría a llevar a variaciones más grandes a su vez en otras variables como amperaje, velocidad de avance, tamaño de electrodos, etc. Por tal motivo quedará a criterio del especialista o responsable en hacer el uso correcto del WPS para casos de tuberías de diferente características.
- Para el ensayo de impacto, este se suele realizar a temperaturas más bajas de la mínima de operación, sin embargo para el trabajo desarrollado solo se realizó

exactamente a la temperatura mínima de operación (-20°C), este fue suficiente para validar el WPS debido a los resultados obtenidos y ya comentados, aun así para otros trabajos de elaboración y calificación de WPS se recomienda realizar a una temperatura un poco menor a la mínima de operación.

- En el presente trabajo se tomó como punto de partida las composiciones químicas del certificado de calidad , sin embargo lo ideal es realizar un análisis químico al material , así como una micrografía para observar su microestructura de cómo viene desde su fabricación , para poder así tener un mejor panorama, más seguro y fiable sobre el cual analizar su soldabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- *API STD 1104- 2013: Welding of Pipelines and Related Facilities, 21st Edition* (American Petroleum Institute).
- *ASME B31.8-2018 Gas Transmission and Distribution Piping Systems: Sistemas de Tuberías de Distribución y Transporte de Gas* (American Society of Mechanical Engineering)
- *ASME SECCION IX : Boiler and Pressure Vesel Code Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators*
- *Asociación española de soldadura y tecnologías de unión (CESOL).*
- *ASTM A106 / A106M – 19: Especificación estándar de tuberías de acero al carbono sin costura para servicio de alta temperatura*
- *ASTM A53/A53M-07: Especificación Normalizada para Tubos de Acero Negro e galvanizado por inmersión en caliente , soldados y sin costura.*
- *AWS A2.4:2012, Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination : Símbolos estándar para soldadura, soldadura fuerte y ensayos no destructivos*
- *AWS A3.0M/A3.0:2010: Standard welding terms and definitions: Definiciones y términos estándar de las soldaduras*

- *AWS A5.1 Specification for mild steel covered arc welding electrodes*: Electroodos para soldadura de aceros al carbono.
- *AWS A5.18/A5.18M:2017 Specification for carbon steel electrodes and rods for gas shielded arc welding*: *Especificación para electrodos de acero al carbono y varillas para soldadura por arco con protección de gas.*
- *INDURA*, Manual de sistemas y materiales de soldadura.
- Koellhoffer Leonard, *Manual de Soldadura.*
- Lincoln Electric, *Accesorios de soldadura.*
- Lorenz K And Düren C: “ *Evaluation of large diameter pipe steel weldability by means of the carbón equivalent*”. Steels for Line Pipe and Pipeline Fittings. Proceedings, International Conference, London, 21-23 Oct. 1981, 322-332.
- *Norma técnica peruana: NTP 111.031*: Estación de compresión, módulos contenedores o de almacenamiento, y estación de descarga para el gas natural comprimido.
- *OERLIKON*, Manual de soldadura y catálogo de productos
- Reina, M., (2003) *Soldadura de los aceros – Aplicaciones*, Madrid, España.

ANEXO 1



CERTIFICADO DE CALIDAD



MAG GENERAL BUSINESS
QUALITY CERTIFICATE

ORIGINAL

INVOICE NO.: BLA20181127
 GOODS DESCRIPTION: BLACK AND GALVANIZED PIPE
 SEAMLESS STEEL PIPE
 O/C NRO. HGI19-023

DATE OF ISSUE: JAN-21-2019 SPECIFICA
 TION: ISO 65 SERIE 1
 A53/ASTM A106/
 APISL GRADE B,TYPE B
 CERTIFICATE NUMBER OF API SL: SL-0550

SUPPLIER: MAG GENERAL BUSINESS
 BUYER: HG IMPORT EXPORT S.A.C.

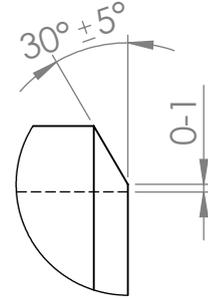
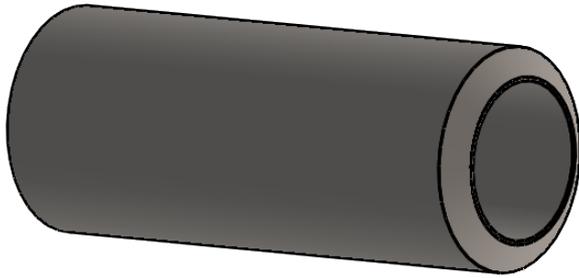
PERU PIPING PRODUCTS S.A.C.
 Manuel Santos Vargas
 JEFE DE CALIDAD

HEAT NO	DIAMETER	W.T.	LENGT H	TOTAL WEIGHT (MT)	QUANTITY (PCS)	CHEMICAL COMPOSITION (%)				TENSION TEST			BENDING FLATTENING TEST	NONDESTRUCTIVE TEST	REMARK
	INCH	MM	M			C	Mn	P	S	T.S MPA	Y.P MPA	E.L (%)			
SEAMLESS STEEL PIPE SCH40, SCH80, SCH160 A53/ASTM A106/ APISL GRADE B,TYPE B															
72A977	8"	SCH40	8.18	6	63.820	250	0.18	0.68	0.009	0.009	486	272	32	G	G
23734H	16"	SCH40	12.7	6	36.990	50	0.19	0.69	0.014	0.007	495	286	32	G	G
27909H	18"	SCH40	14.27	6	9.348	10	0.20	0.68	0.013	0.008	492	282	32	G	G
TT10991	12"	SCH80	17.48	6	11.888	15	0.19	0.68	0.013	0.009	495	286			
T181031	1 1/2"	SCH160	7.14	6	1.304	30	0.18	0.68	0.009	0.009	486	272			
T180931	2"	SCH160	8.74	6	2.000	30	0.19	0.69	0.014	0.007	195	286	32	G	G
TOTAL					195.702	3929									
WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN HAS BEEN TESTED AND THE RESULTS OF ALL TEST ARE ACCEPTABLE.															

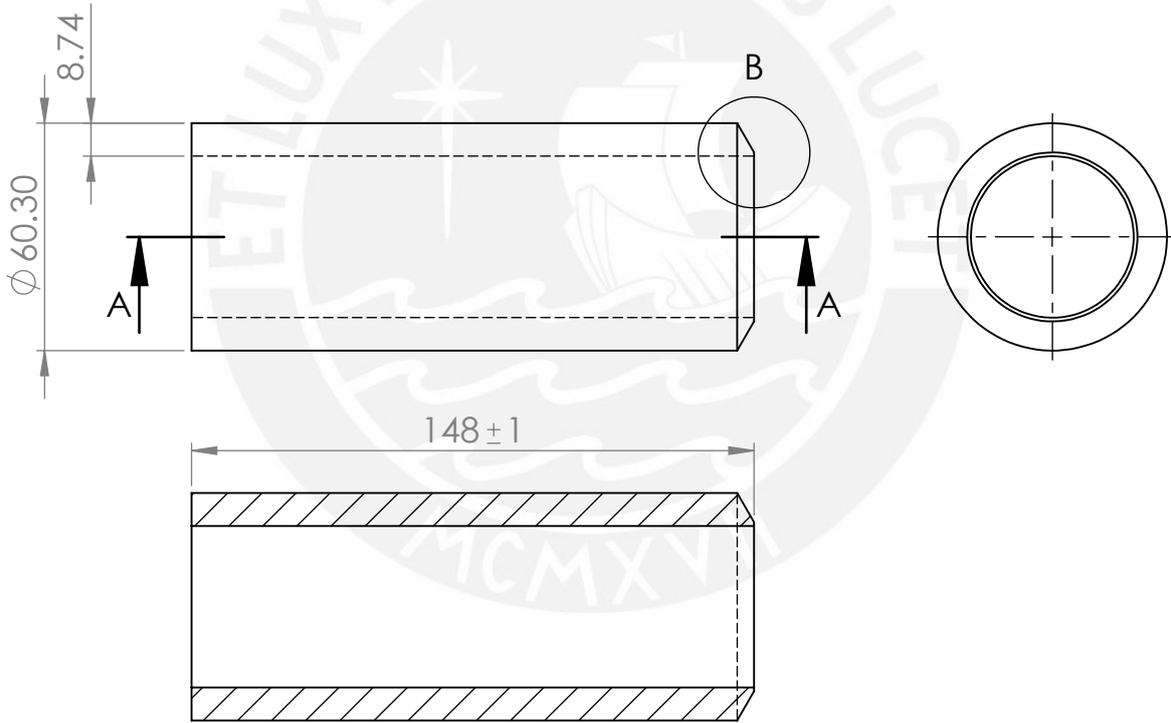
MAG GENERAL BUSINESS S.A.
 MANAGER IMPORT & EXPORT

ANEXO 2



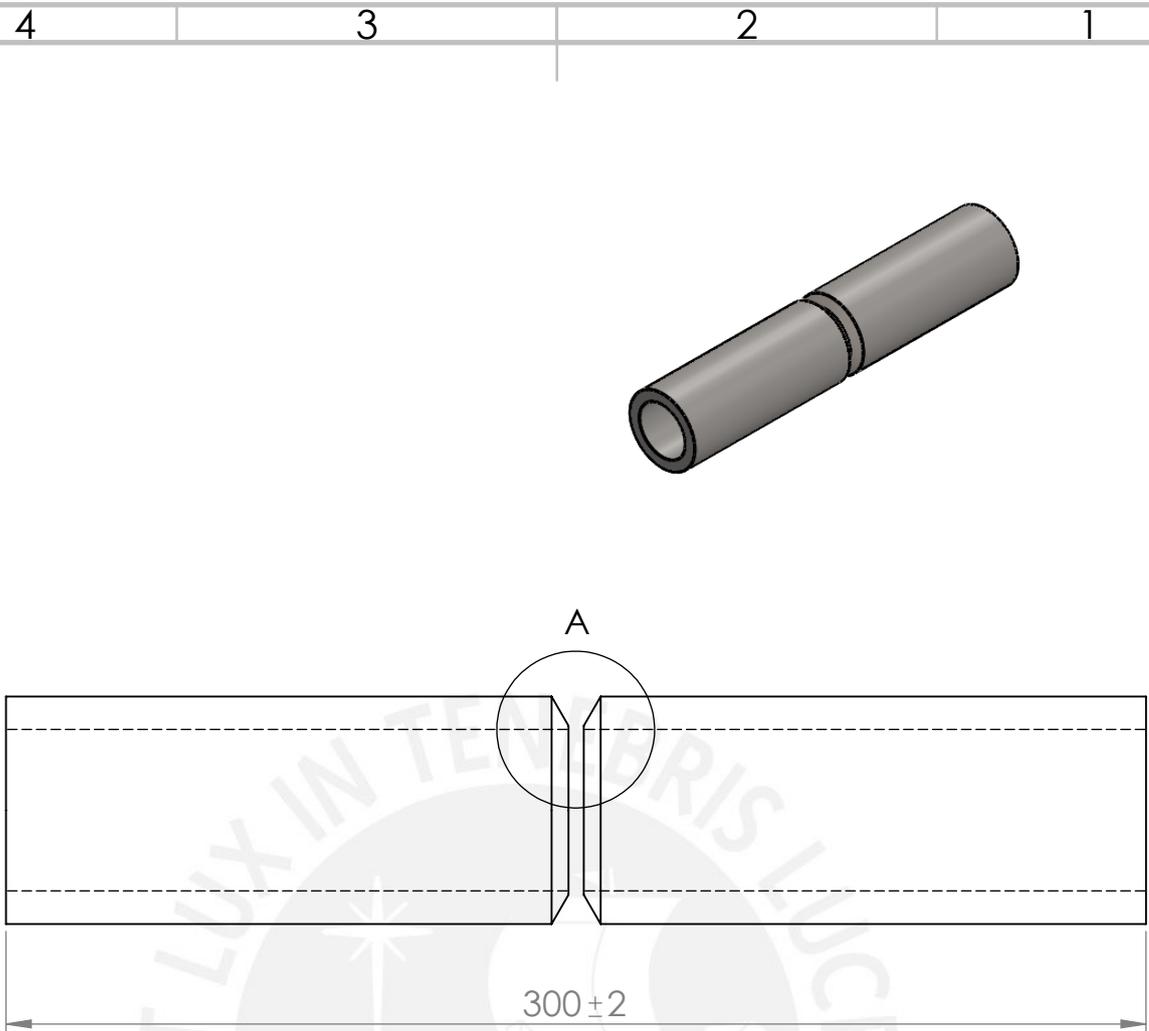


DETALLE B
ESCALA 1 : 1



SECCIÓN A-A

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN																		
<table border="1"> <tr> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> </tr> <tr> <td>DIBUJ.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CALID.</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			NOMBRE	FIRMA	FECHA	DIBUJ.			VERIF.			APROB.			FABR.			CALID.			TÍTULO:		
NOMBRE	FIRMA	FECHA																					
DIBUJ.																							
VERIF.																							
APROB.																							
FABR.																							
CALID.																							
MATERIAL:			N.º DE DIBUJO	PIEZA BISELADA-02 ^{A4}																			
PESO:			ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1																			



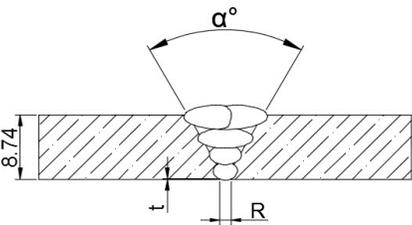
DETALLE A
ESCALA 1 : 1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.		NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					
		MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	A4
		PESO:		ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1

Ensamblaje-02

ANEXO 3

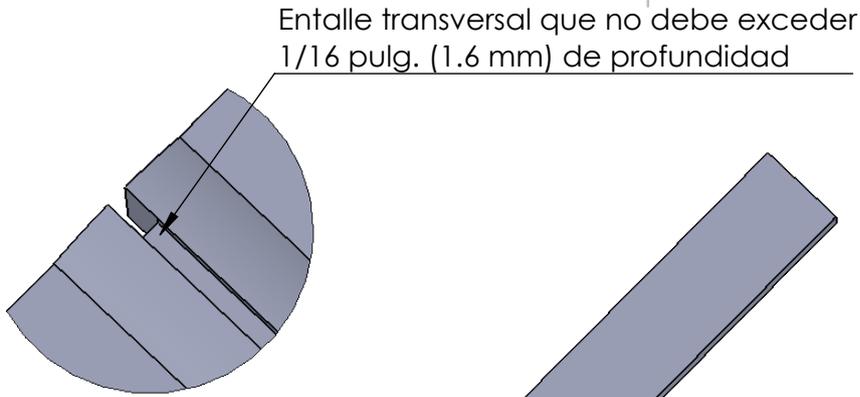


		REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)																																																	
		De acuerdo a API 1104 - Edición 2018																																																	
Código:		Fecha de Elaboración: 13/12/2019		Revisión: 2	Página 1 de 2																																														
Nombre de la Compañía: GASODUCTOS S.A.		Norma Aplicable: API 1104		POSICIÓN																																															
Proceso de Soldadura: GTAW		Tipo: Manual		Posición a tope: 6 G																																															
Identificación Nro.				Filete: No aplica																																															
METAL BASE		Especificación del Material: ASTM A53 S Gr B, A106 Gr B		Progresión: Vertical Ascendente																																															
Esfuerzo de fluencia mínimo esp: 240 Mpa		Grupo (API): Grupo A		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS																																															
Diámetro de la Probeta: 2 plg. - 2.375 plg. (60.32 mm)		Espesor de la Probeta: 0.344 plg Sch 160 (8.73 mm)		Corriente: DC Polaridad: EN (-)																																															
METAL DE APORTE		Especificación AWS: A 5.18		Amperaje: (Ver Tabla) Voltaje: (Ver Tabla)																																															
Calificación AWS: ER70S-6		No. Grupo (API): Grupo 5		Electrodo de W (GTAW): EWTh-2- diámetro 2.5 mm																																															
No. F (ASME): -		Espesor de metal depositado: 3 mm		TÉCNICA																																															
Tiempo entre pases mínimo: 00:01.2		Tiempo entre pases mínimo: 00:01.2		Arrastre u Oscilación: Con Oscilación																																															
DISEÑO DE LA JUNTA EMPLEADA		Tipo: A tope - V Abertura de raíz: 3 - 4 mm		Método de enfriamiento: -																																															
Angulo de ranura: 60° +/- 5° Cara de raíz: 0 - 1 mm		Respaldo: - Soldadura de respaldo: No		Velocidad de avance: (Ver Tabla)																																															
SOLDADOR: Izquierda Marca:		Derecha Marca:		Limpieza entre pases: Escobilla circular y Disco abrasivo																																															
				PRECALENTAMIENTO																																															
				Temperatura de Pre calentamiento: No aplica																																															
				Temperatura entre Pases: 100°C a 180 °C																																															
				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA																																															
				Temperatura: No aplica																																															
				Tiempo: No aplica																																															
				PROTECCIÓN																																															
				Fundente: No aplica																																															
				Gas de Protección: Argón 99.9%																																															
				Fundente electrodo: No aplica																																															
				Caudal: 10 -15 l/min N° Boquilla: 6																																															
DISEÑO DE LA JUNTA EMPLEADA																																																			
																																																			
R: 3.0 - 4.0 mm t: 0 - 0.5 mm α: 60 +/- 10°																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">PASE</th> <th rowspan="2">PROCESO</th> <th colspan="2">METAL DE APORTE</th> <th colspan="2">CORRIENTE</th> <th rowspan="2">VOLTAJE (V)</th> <th rowspan="2">VELOCIDAD DE AVANCE (mm/min)</th> </tr> <tr> <th>Clasificación</th> <th>Diámetro (mm)</th> <th>Tipo y Polaridad</th> <th>Amperaje (A)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>GTAW</td> <td>ER70S-6</td> <td>2.5</td> <td>DC (-)</td> <td>70 - 115</td> <td>10 - 13</td> <td>150 - 200</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>GTAW</td> <td>ER70S-6</td> <td>2.5</td> <td>DC (-)</td> <td>90 - 150</td> <td>10 - 13</td> <td>200 - 250</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>GTAW</td> <td>ER70S-6</td> <td>2.5</td> <td>DC (-)</td> <td>90 -165</td> <td>10 - 13</td> <td>150 -200</td> </tr> <tr> <td>4-2</td> <td>GTAW</td> <td>ER70S-6</td> <td>2.5</td> <td>DC (-)</td> <td>90-145</td> <td>10 - 13</td> <td>75 - 125</td> </tr> </tbody> </table>								PASE	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE		VOLTAJE (V)	VELOCIDAD DE AVANCE (mm/min)	Clasificación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)	1	GTAW	ER70S-6	2.5	DC (-)	70 - 115	10 - 13	150 - 200	2	GTAW	ER70S-6	2.5	DC (-)	90 - 150	10 - 13	200 - 250	3	GTAW	ER70S-6	2.5	DC (-)	90 -165	10 - 13	150 -200	4-2	GTAW	ER70S-6	2.5	DC (-)	90-145	10 - 13	75 - 125
PASE	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE		VOLTAJE (V)	VELOCIDAD DE AVANCE (mm/min)																																												
		Clasificación	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)																																														
1	GTAW	ER70S-6	2.5	DC (-)	70 - 115	10 - 13	150 - 200																																												
2	GTAW	ER70S-6	2.5	DC (-)	90 - 150	10 - 13	200 - 250																																												
3	GTAW	ER70S-6	2.5	DC (-)	90 -165	10 - 13	150 -200																																												
4-2	GTAW	ER70S-6	2.5	DC (-)	90-145	10 - 13	75 - 125																																												
PERSONAL																																																			
Prueba conducidad por:				Informe de Laboratorio:																																															
Certificamos que la información contenida en este registro es correcto y que las probetas fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del API Standard 1104-Edición 2018																																																			
Inspector de Soldadura		Coordinador QA/QC			Supervisión																																														
NOMBRE																																																			
FIRMA																																																			
FECHA																																																			

		REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR)					
		De acuerdo a API 1104 - Edición 2018					
Código:		Fecha de Elaboración:		Revisión:		Página 2 de 2	
ENSAYOS DESTRUCTIVOS							
ENSAYOS DE TRACCIÓN							
N° Espécimen	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Carga máxima (KN)	Esfuerzo máx. (Mpa)	Tipo de Rotura y Ubicación	Resultado
1	25	8.9	222.5	108	485	Rotura dúctil que comienza bajo la intensidad de deformación plástica en el Material Base	Aceptable - Esta por encima de los 415 Mpa del Material Base
ENSAYO DE DOBLADO GUIADO							
N° Espécimen	Tipo de Doblado	Observaciones				Resultado	
1	Doblado de Cara	Presenta libre de defectos en el cordón de soldadura				Aceptable	
2	Doblado de Raíz	Presenta pequeñas mordeduras en los extremos de la probeta				Aceptable - las mordeduras en lo mínimo profundas	
ENSAYO DE IMPACTO							
N° Espécimen/ Distribución	Ubicación de la Muesca	Tamaño del Espécimen (mm)	Energía Abs. (J)	Temperatura de ensayo (°C)	% de Corte	Mils	Resultado
1	Material de Aporte	6 x 10 x 55	129.39	-20	100		Comportamiento tenaz ocasionando roturas dúctil
2	Material de Aporte	6 x 10 x 55	98.34	-20	100		
3	Material de Aporte	6 x 10 x 55	170.46	-20	100		
4	Línea de Fusión	6 x 10 x 55	108.35	-20	100		Comportamiento tenaz ocasionando roturas dúctil
5	Línea de Fusión	6 x 10 x 55	67.9	-20	100		
6	Línea de Fusión	6 x 10 x 55	107.93	-20	100		
ENSAYO DE ROTURA POR ENTALLA							
N° Espécimen	Observaciones					Resultados	
1	No se presentaron porosidades, se observa una buena penetración y fusión completa					Aceptables	
PERSONAL							
Prueba conducida por:					Informe de Laboratorio:		
Certificamos que la información contenida en este registro es correcto y que las probetas fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo con los requerimientos del API Standard 1104-Edition 2018							
	Inspector de Soldadura		Coordinador QA/QC			Supervisión	
NOMBRE							
FIRMA							
FECHA							

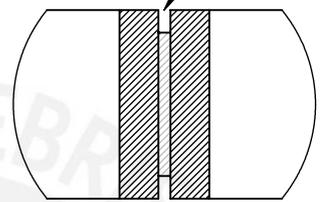
ANEXO 4



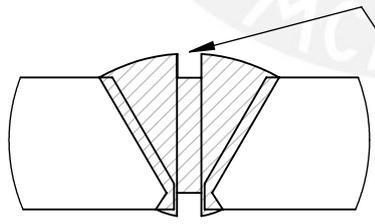
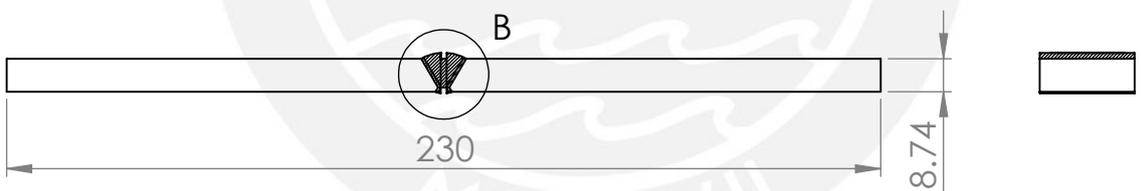
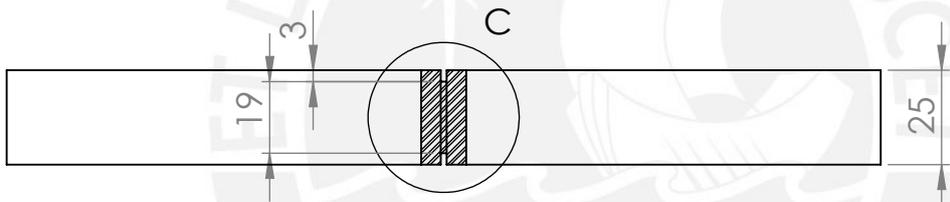


DETALLE A
ESCALA 2 : 1

Entalle cortado por una sierra para metales; la muestra puede ser cortada a máquina o con oxígeno; los bordes son lisos y paralelos



DETALLE C
ESCALA 1 : 1



DETALLE B
ESCALA 2 : 1

El refuerzo de soldadura no se retira a ambos lados de la muestra

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE			FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					
MATERIAL:			N.º DE DIBUJO		A4
PESO:			ESCALA: 1:5		HOJA 1 DE 1

E. Ruptura

ANEXO 5



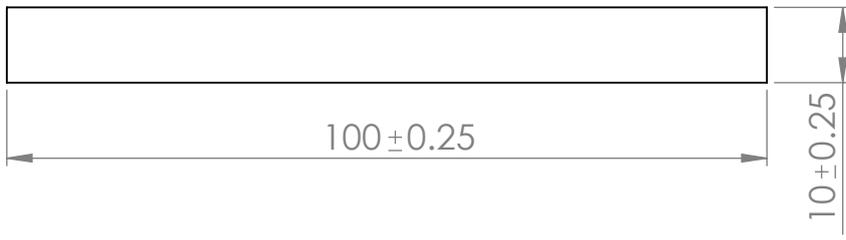
Primer Corte

F



8.32 ± 0.25

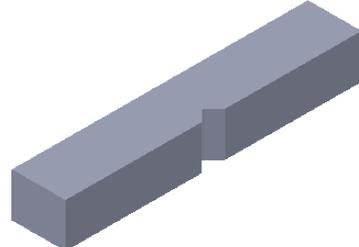
E



100 ± 0.25

10 ± 0.25

Probeta Charpy con Entalle



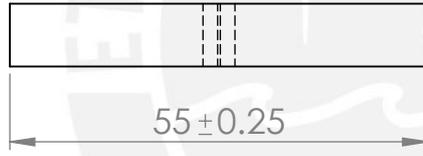
D



8.32 ± 0.25



10 ± 0.25



55 ± 0.25

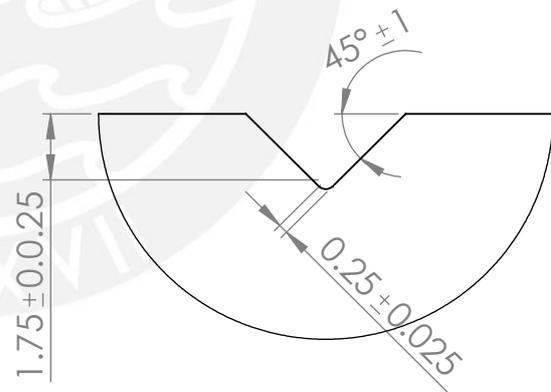
C

ISO Entalle en V

- Profundidad de entalle 2 mm
- Angulo 45°
- Radio de fondo de entalle 0.25 mm

Tolerancias

- Largo +/- 0.25
- Ancho y Espesor +/- 0.025
- Angulo +/- 1



1.75 ± 0.025

45° ± 1

0.25 ± 0.025

DETALLE A
ESCALA 5 : 1

B

Cortar 6 probetas Charpy

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4
			PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1

A

A

4

3

2

1

Charpy

ANEXO 6



	REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE SOLDADOR (RCS)			
	De acuerdo a API ESTÁNDAR			
Nro. Registro		Fecha:		Página:

CLIENTE: _____
 PROYECTO: _____

Nombre del Soldador: _____ ID: _____
 N° Procedimiento: _____ Cupón: _____ Marca/Estampa _____

VALORES EMPLEADOS EN LA PRUEBA Y RANGOS CALIFICADOS

VARIABLES DE SOLDADURA		VALORES EMPLEADOS	RANGO CALIFICADO
Proceso de soldadura	Raíz	GTAW	GTAW
	Caliente	GTAW	GTAW
	Relleno y Presentación	GTAW	GTAW
Tipo de proceso	Raíz	Manual	Manual
	Caliente	Manual	Manual
	Relleno y Presentación	Manual	Manual
Tipo de junta			
A tope V	Raíz	4 mm	3 - 4 mm
	Caliente	-	-
	Relleno y Presentación	-	-
Material Base			
Progresión Ascendente	Raíz		
	Caliente		
	Relleno y Presentación		
Especificación del metal de aporte		ASTM A5.18	ASTM A106
Clasificación del metal de aporte		ER70S-6	ER70S-6
Metal de Aporte - Número de Grupo		Grupo 5	Grupo 5
Tipo de aporte		ER70S-6	ER70S-6
Diámetro exterior de la probeta		2 plg	2 plg
Espesor de la probeta		8.73 mm	8.73 mm
Posición		6 G	6 G
Composición del gas		99.9 % Argon	99.9 % Argon
Tipo de corriente y polaridad	Raíz	95 Amp - DCEN	70 - 115 Amp - DCEN
	Caliente	150 Amp - DCEN	90 - 150 Amp - DCEN
	Relleno y Presentación	160 Amp - DCEN	90 - 165 Amp - DCEN

ENSAYOS			
Tipo de Ensayo	Informe	Resultado	Observaciones
VISUAL	-	Aceptables	Buen aspecto del cordón y simétrico libre de defectos
RADIOGRAFÍA	-	Aceptables	No se presentaron discontinuidades
ENSAYOS MECÁNICOS	-	Aceptables	Pasaron las pruebas de dobles y NB
ENSAYOS ULTRASONIDO	-	-	-

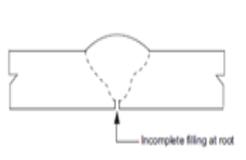
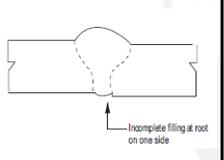
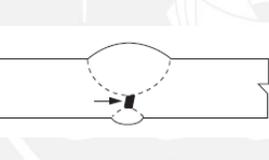
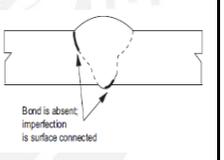
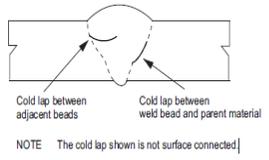
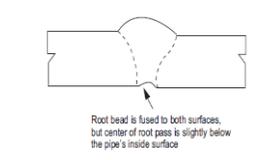
Observaciones: _____

	Inspector de Soldadura	Coordinador QA/QC	Supervisión
Nombre:			
Firma:			
Fecha:			

ANEXO 7



Criterios de aceptación - Ensayos Radiográficos. Fuente: API 1104

ENSAYOS RADIOGRAFICOS						
	Penetración Incompleta sin desalineación. (IP)	Penetración Incompleta por desalineación. (IPD)	Penetración Incompleta Transversal (ICP)	Fusión Incompleta (IF)	Fusión Incompleta por Unión Fría (IFD)	Concavidad Interna (IC)
Definición	Cuando el relleno de soldadura de raíz es incompleto.	Cuando un borde o canto de la raíz no está adherida o se encuentra expuesta.	Cuando el primer pase de cordón interior y el primer pase de cordón exterior, presenta una inadecuada penetración entre sus caras verticales.	Una discontinuidad entre el metal de soldadura y el metal base, abierta hacia la superficie.	Una discontinuidad entre dos pasadas de soldadura adyacentes o entre el metal de soldadura y el metal base que no esta abierta hacia la superficie.	El cordón raíz está fusionado a ambas superficies, pero el centro de la raíz está ligeramente por debajo de la superficie interior del tubo
Ilustración						
Longitud individual de una penetración incompleta	excede 1 plg (25 mm)	excede 2 plg (50 mm)	excede 2 plg (50 mm)	excede 1 plg (25 mm)	excede 2 plg (50 mm)	Cualquier longitud es aceptable, siempre que la densidad de la imagen radiografica no exceda la del material adyacente mas delgado. Para las áreas que exceden la densidad del material adyacente más delgado, se aplican los criterios para BT (Burn- Through) (Tabla 11.2)
Longitud de cordones continuos de 12 plg. (300 mm)	excede 1 plg (25mm) excede el 8% del cordón soldado	excede 3 plg (75 mm)	excede 2 plg (50 mm)	excede 1 plg (25 mm) excede el 8% del cordón soldado	excede 2 plg (50 mm) excede el 8% del cordón soldado	

ANEXO 8



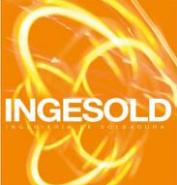
	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD		001-2020-GD/CC/PL-01		
	PLAN DE PUNTOS DE INSPECCION – PPI SOLDADURA DE TUBERÍAS EN ESTACIÓN DE DESCOMPRESIÓN DE GAS NATURAL		Fecha	08-NOV-20	
			Rev.	1	
			Pág.:1/5		

A – ALCANCE

EMISOR: (CONTRATISTA)	GASODUCTOS SA
PROYECTO :	“SOLDADURA A TOPE EN TUBERÍAS DE 2 SCH160 DE MATERIAL ASTM A106 GRADO B Y ASTM A53 GRADO B, PARA ESTACIÓN DE DESCOMPRESIÓN DE GAS NATURAL”
SERVICIO:	SUMINISTRO, FABRICACION Y MONTAJE DEL SISTEMA DE TUBERIAS PARA LA ESTACION DE DESCOMPRESION DE GAS NATURAL
Disciplina Concerniente:	MECANICA

B – VALIDACION

08/11/2020	A	Emitido para revisión	FC / WA	JD/ DR	PUCP
Fecha	Rev.	Revisión	CONTRATISTA	QC- CONTRAISTA	CLIENTE

	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD	001-2020-GD/CC/PL-01			
	PLAN DE PUNTOS DE INSPECCION – PPI SOLDADURA DE TUBERÍAS EN ESTACIÓN DE DESCOMPRESIÓN DE GAS NATURAL	Fecha	08-NOV-20		
		Rev.	1		
		Pág.:2/5			

C – CODIGOS APLICABLES, ESTANDARES, ESPECIFICACIONES

- Leyes y Regulaciones Peruanas
- Especificaciones del Cliente, Procedimientos

- **Standars**

- ◇ NTP Norma Técnica Peruana
- ◇ ASTM American Society for Testing and Materials
- ◇ ASME American Society of Mechanical Engineers.
- ◇ AWS American Welding Society
- ◇ API American Petroleum Institute
- ◇ NACE National Association of Corrosion Engineers
- ◇ SSPC Steel Structures Painting Council

- **Especificaciones Técnicas**

- Especificaciones referentes a Tuberías

- ◇ ASTM A106 Specification for Structural Steel.
- ◇ ASTM A53 Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Low – and Intermediate-Tensile Strength
- ◇ API STD 1104- 2013: Welding of Pipelines and Related Facilities, 21st Edition
- ◇ ASME B31.8-2018 Gas Transmission and Distribution Piping Systems “Sistemas de Tuberías de Distribución y Transporte de Gas”.
- ◇ ASME SECCION IX : Boiler and Pressure Vesel Code Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, . Brazers, and Welding and Brazing Operators

	SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD	001-2020-GD/CC/PL-01			
	PLAN DE PUNTOS DE INSPECCION – PPI SOLDADURA DE TUBERÍAS EN ESTACIÓN DE DESCOMPRESIÓN DE GAS NATURAL	Fecha	08-NOV-20		
		Rev.	1		
		Pág.:3/5			

- Especificación referente a Tratamiento superficial y pintura de tuberías:

- ◇ ASTM D3359 Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test.
- ◇ ASTM D4285 Standard Test Methods for Indicating Oil or Water in Compressed Air.
- ◇ ASTM D4541 Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers
- ◇ ASTM E337 Standard Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer
- ◇ ASTM D4417 Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel
- ◇ SSPC-SP1 Solvent Cleaning
- ◇ SSPC-SP2 Hand Tool Cleaning
- ◇ SSPC-SP10 Near White Blast Cleaning
- ◇ ASTM D3276 Standard Guide for Painting Inspectors (Metal Substrate)
- ◇ ISO 8502-3 Test for the assessment of surface cleanliness
- ◇ ASTM E337 Standard Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer (the Measurement of Wet – and Dry-Bulb Temperatures)
- ◇ ASTM D1186 Standard Test Methods for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied Ferrous Base
- ◇ ASTM D4414 Standard Practice for Measurement of Wet Film Thickness by Notch Gages



SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD
PLAN DE PUNTOS DE INSPECCION – PPI
SOLDADURA DE TUBERÍAS EN ESTACIÓN DE
DESCOMPRESIÓN DE GAS NATURAL

001-2020-PPI-01

Fecha 08-NOV-20
 Rev. 1

Pág.:4/5



PUCP

ITEM	ETAPA DE TRABAJO	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	RESPONSABLE	QUE VERIFICAR	METODO DE INSPECCIÓN	FRECUENCIA	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	TIPO DE CONTROL		REGISTRO
								INGESOLD	CLIENTE	
PLAN DE FABRICACIÓN										
1.0 Recepción de materiales y equipos										
1.1	Recepción de materiales	<ul style="list-style-type: none"> Listado de materiales. Órdenes de compra. Certificados de Calidad. Procedimiento de recepción de material. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento de especificaciones técnicas. Estado físico del suministro. Dimensiones. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. Medición directa con flexometro, pie de rey. 	<ul style="list-style-type: none"> Cada vez que ingresa material del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> Según normas ASTM (A53) (A106). 	V,I,R	P	INGESOLD-QA/QC-001
1.2	Recepción de soldadura	<ul style="list-style-type: none"> Listado de materiales. Órdenes de compra y/o servicio. Certificados de Calidad. Procedimiento de recepción de material. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento de especificaciones técnicas. Estado físico del suministro. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. Revisión documental. 	<ul style="list-style-type: none"> Cada vez que ingresa al proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> Según normas AWS (A5.1 / A5.18). Según hoja técnica de fabricante. 	V,I,R	P	INGESOLD-QA/QC-002
Tipo de Control: V = Verificar; I = Inspeccionar; R = Revisar; PE = Punto de espera; P = Presenciar.										
ITEM	ETAPA DE TRABAJO	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	RESPONSABLE	QUE VERIFICAR	METODO DE INSPECCIÓN	FRECUENCIA	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	TIPO DE CONTROL		REGISTRO
								INGESOLD	CLIENTE	
2.0 Procedimientos de soldadura y calificación de soldadores										
2.1	Selección/ Emisión de procedimientos de soldadura (WPS)	<ul style="list-style-type: none"> ASME B31.8. API 1104. Especificaciones de Cliente. 	Responsable QC	<ul style="list-style-type: none"> Procesos de soldadura aplicables. Detalles de juntas. Variables esenciales. Cumplimiento de especificaciones técnicas. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. Revisión documental. 	<ul style="list-style-type: none"> Antes de iniciar los trabajos de soldadura. 	<ul style="list-style-type: none"> De acuerdo a ASME B31.8. De acuerdo a API 1104. 	V,I,R,P	R, PE	INGESOLD-QA/QC-003
2.2	Calificación de procedimientos de soldadura.	<ul style="list-style-type: none"> ASME B31.8. API 1104. Especificaciones del Cliente. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> Probeta(s): tipo y dimensiones. Geometría de la junta. Verificación de parámetros de soldadura. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. Revisión documental. 	<ul style="list-style-type: none"> Si un WPS no cubre las variables esenciales de API 1104. 	<ul style="list-style-type: none"> De acuerdo a API 1104. 	V,I,R,P	R, PE	INGESOLD-QA/QC-004
			Laboratorio CITE MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia a la tracción. Resistencia al doblado de raíz y cara Nick Break. Impacto -Charpy 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. 	<ul style="list-style-type: none"> Por cada probeta. 	<ul style="list-style-type: none"> Según API 1104. 	V,I,R,P	R, PE	
2.3	Calificación de soldadores	<ul style="list-style-type: none"> ASME B31.8. API 1104. Especificaciones del Cliente. 	Inspector QC	<ul style="list-style-type: none"> Dimensiones de las probetas. Material base. Posición de soldadura. Parámetros de soldadura. Ejecución de soldadura. Pruebas de tracción, doblado de raíz y nick break. 	<ul style="list-style-type: none"> Visual. Revisión documental. 	<ul style="list-style-type: none"> Por cada soldador. 	<ul style="list-style-type: none"> Según API 1104. 	V,I,R,P	R, PE	INGESOLD-QA/QC-005
Tipo de Control: V = Verificar; I = Inspeccionar; R = Revisar; PE = Punto de espera; P = Presenciar.										



SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD
PLAN DE PUNTOS DE INSPECCION – PPI
SOLDADURA DE TUBERÍAS EN ESTACIÓN DE
DESCOMPRESIÓN DE GAS NATURAL

001-2020-PPI-01

Fecha 08-NOV-20
 Rev. 1

Pág.:5/5



PUCP

ITEM	ETAPA DE TRABAJO	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	RESPONSABLE	QUE VERIFICAR	METODO DE INSPECCIÓN	FRECUENCIA	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN	TIPO DE CONTROL		REGISTRO
								INGESOLD	CLIENTE	
3.0 Fabricación en taller										
3.1	Marcado y codificación de partes	• Planos aprobados para fabricación.	Inspector QC	• Metodo de marcado. • Identificación.	• Visual.	• Por cada elemento.	• Marcado de acuerdo a marca de plano. • Cada parte es vinculada a su correspondiente certificado de calidad de material.	V,I,R	R	INGESOLD-QA/QC-006
3.2	Trazo y corte	• Planos aprobados para fabricación.	Inspector QC	• Dimensiones. • Angulos de bisel.	• Visual. • Medición directa.	• Por cada elemento.	• Según planos de detalle aprobados para fabricación.	V,I,R	R	INGESOLD-QA/QC-007
3.3	Habilitado y armado	• Planos aprobados para fabricación.	Inspector QC	• Dimensiones. • Apuntalado.	• Visual. • Medición directa.	• Por cada elemento.	• De acuerdo a planos aprobados para construcción.	V,I,R	R	INGESOLD-QA/QC-008
3.4	Soldadura	• Planos aprobados para fabricación. • Especificaciones del cliente.	Inspector QC	• Uso de procedimiento de soldadura aprobado (WPS). • Calificación de soldadores. • Metal base y de aporte. • Parámetros de soldadura.	• Visual. • Revisión documental.	• Al iniciar un nuevo elemento.	• Según API 1104.	V,I,R	R, PE	INGESOLD-QA/QC-009
		• Procedimiento de inspección visual de soldadura. • Especificaciones del cliente.	Inspector QC	• Acabados. • Discontinuidades. • Cumplimiento de procedimiento.	• Visual. • Medición directa.	• 100%.	• Según API 1104.	V,I,R	R, PE	
		• Procedimiento de líquidos penetrantes.	Inspector QC	• Discontinuidades. • Defectos en soldadura.	• Visual. • Medición directa.	• PT 100% en los elementos estructurales.	• Según API 1104.	V,I,R	R, PE	

Tipo de Control: V = Verificar; I = Inspeccionar; R = Revisar; PE = Punto de espera; P = Presencia.