

GUÍA PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN LA INSPECCIÓN PARA CALIFICACIÓN DE SOLDADORES EN PROCESO SMAW EN TUBERÍA DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS A ALTA PRESIÓN

JORGE ALBERTO BARCO RINCÓN
MARÍA DEL PILAR HERRERA VALENCIA



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN DE SOLDADURA
PEREIRA
2017

GUÍA PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN LA INSPECCIÓN PARA
CALIFICACIÓN DE SOLDADORES EN PROCESO SMAW EN TUBERÍA DE
TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS A ALTA PRESIÓN

JORGE ALBERTO BARCO RINCÓN
MARÍA DEL PILAR HERRERA VALENCIA

MONOGRAFÍA

DIRECTOR
PH.D. JOSÉ LUIS TRISTANCHO REYES

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN DE SOLDADURA
PEREIRA
2017

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. ALCANCE.....	14
2. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 SOLDADURA SMAW	16
2.2 CALIFICACIÓN DE SOLDADORES	16
2.3 EQUIPO.....	18
2.3.1 Fuente de alimentación.	19
2.3.2 Portaelectrodo.	19
2.3.3 Cable del electrodo y cable de masa.....	19
2.3.4 Pinza de masa.....	19
2.4 MATERIAL BASE Y MATERIAL DE APORTE	20
3.OBJETIVOS	21
4. GENERALIDADES.....	22
4.1 FASE INICIAL.....	22
4.1.1 Ítems de documentación personal.....	22
4.1.2 Ítems verificación de equipos.	23
4.1.3 Ítems materiales.	24
4.1.4 Ítems verificación WPS.....	25
4.1.5 Ítems generales	26
4.2 FASE INTERMEDIA	27

4.2.1 Ítems generales.....	27
4.2.2 Ítems de HSE.	28
4.2.3 Ítems verificación de equipos.	29
4.2.4 Ítems de materiales.	31
4.2.5 Ítems de ejecución – Procedimiento.....	31
4.2.6 Ítems de preparación de probetas.	35
4.3 FASE FINAL	35
4.3.1 Ítems de evaluación de ensayos (NTD).....	36
4.3.2 Ítems de evaluación de ensayos (DT)	36
4.3.3 Ítems generales.....	37
5.SISTEMA DE PONDERACIÓN PARA LA CALIFICACIÓN.....	38
BIBLIOGRAFÍA	44

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1 Compatibilidad del metal de aporte con relación al metal base en.....39
soldadura SMAW.

Tabla 2 Tipo y número de probetas de ensayo de soldadura a tope para la.....41
calificación de soldador y para el ensayo destructivo de soldadura.

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Proceso de soldadura SMAW.....	18
Figura 2. Equipo de Soldadura.....	18
Figura 3 Localización de probetas para ensayos, en soldadura a tope.....	42
Figura 4 Localización de probetas para ensayo de sanidad, en soldadura..... a filete.	43

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A Ejemplo WPS diligenciado.....	46
Anexo B Formato 1 Lista de chequeo para calificación de soldadores..... Fase Inicial	48
Anexo C Formato 2 Lista de chequeo para calificación de soldadores..... Fase Intermedia	50
Anexo D Formato 3 Lista de chequeo para calificación de soldadores..... Fase Final	52

GLOSARIO

CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA: Es un método que ha sido ensayado y probado detalladamente en el cual se producen soldaduras sanas y con apropiadas propiedades mecánicas.

CALIFICACIÓN SENCILLA O CALIFICACIÓN MÚLTIPLE: Ver norma API 1104 para observar las consideraciones en el tipo de calificación.

CERTIFICACIÓN: Se refiere a las credenciales que valida como verdadera la experiencia de un soldador de una empresa donde ha desempeñado el cargo. Generalmente es un documento emitido por el área de recursos humanos.

COMPAÑÍA: Se refiere a la empresa propietaria o a la agencia de ingeniería a cargo de la construcción. La compañía puede actuar a través de un inspector u otro representante autorizado.

CONCAVIDAD INTERNA: Es un cordón que está apropiadamente fundido y que penetra completamente el espesor de la pared del tubo a lo largo de ambos lados del bisel, pero cuyo centro está un poco abajo de la superficie interna de la pared del tubo. La magnitud de la concavidad es la distancia perpendicular entre la extensión axial de la superficie de la pared del tubo al punto más bajo de la superficie del cordón de soldadura.

CONTRATISTA: Incluye al contratista principal y cualquier subcontratista comprometido en los trabajos a realizar.

CORDÓN DE FONDEO (DE RAÍZ): Es el primer cordón recto que inicialmente une dos secciones del tubo, una sección del tubo a un accesorio o dos accesorios.

DEBE (SHALL): Término que indica un requisito obligatorio.

DEBERÍA (SHOULD): Indica una práctica recomendada.

DEFECTO: Una imperfección con magnitud suficiente que asegura el rechazo basado en las estipulaciones de una norma.

IMPERFECCIÓN: Una discontinuidad o irregularidad que es detectable por los ensayos destructivos o no destructivos.

INDICACIÓN: Evidencia obtenida por un ensayo destructivo o no destructivo.

MATERIAL BASE: Pieza de un material (generalmente metal) que se va a someter al proceso de soldadura y el cual va a ser unido con otra pieza de igual o diferentes características. En este caso será tubería de acero al carbono especificación API 5L.

METAL DE APORTE: Material usado en la unión de dos metales base que al fundirse, forma un charco de material líquido entre las piezas a soldar (el baño de soldadura) y al enfriarse, se convierte en una unión fija a la que se le denomina cordón. En este caso serán electrodos revestidos (Proceso SMAW).

MAGNETISMO RESIDUAL (IMANTACIÓN): Capacidad de un material para retener el magnetismo que le ha sido inducido, es decir, la magnetización que persiste en un imán permanente después de que se retira el campo magnético externo.

PQR (PROCEDURE QUALIFICATION RECORD): Calificación del Procedimiento de Soldadura que se realiza con base en el WPS y en donde se detallan los rangos de calificación y se anexan los ensayos mecánicos realizados a la muestra, ya sea tensión, doblado, impacto o dureza. En el PQR se debe detallar además el nombre del soldador, su estampe y su número de identificación; el Inspector responsable de realizar las pruebas con su respectiva firma.

RADIÓLOGO: Es una persona que desempeña operaciones radiográficas.

RAMAL SOLDADO: Derivación o accesorio soldado en forma completa de una tubería principal.

REPARACIÓN: Cualquier reproceso sobre una soldadura terminada que requiere de soldadura para corregir una imperfección inicial, la cual ha sido descubierta por inspección visual o ensayo no destructivo y está más allá de los límites de aceptabilidad de la norma.

SOLDADOR: Persona que realiza una soldadura.

SOLDADOR CALIFICADO: Es un soldador que ha demostrado su habilidad para producir soldaduras que cumplan los requisitos de la norma de aplicación.

SOLDADURA: Se refiere a la soldadura completa de la unión de dos secciones de tubo, de una sección de tubo con un accesorio o de dos accesorios.

SOLDADURA GIRADA: Es la soldadura en la cual el tubo o el montaje es girado mientras el metal de aporte es depositado en o cerca a la parte central superior.

SOLDADURA EN POSICIÓN FIJA: Es la soldadura en la cual el tubo o el montaje se mantiene estacionario.

SMAW: Soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido

WPS (WELDING PROCEDURE SPECIFICATION): El procedimiento de soldadura es un documento que provee las directrices para realizar la soldadura con base en los requerimientos del código, proporciona igualmente la información necesaria para orientar al soldador u operador de soldadura y asegurar el cumplimiento de los requerimientos del código. Describe las variables esenciales, no esenciales y cuando se requiera, las variables suplementarias esenciales de cada procedimiento de soldadura.

WPQ (WELDING PERFORMANCE QUALIFICATION): Documento en el cual se evalúa la destreza del soldador u operador de soldadura en depositar metal de aporte sano, esto realizado en un proceso de seguimiento por parte de un Inspector y unos ensayos no destructivos o destructivos.

RESUMEN

El transporte de hidrocarburos se realiza por diferentes modalidades, siendo una de ellas ductos formados por secciones de tubería de acero empalmados mediante uniones soldadas, a través de kilómetros de distancia. Colombia cuenta con una red de infraestructura para el transporte de crudos, de gas natural y combustibles refinados entre otros productos, la cual requiere de construcciones y reparaciones tales como los cambios de secciones, reposiciones de tramos, materialización de nuevos proyectos y corredores (nuevos ductos), etcétera, debido principalmente a las afectaciones tanto antropicas como naturales que se pueden presentar en dicha red. La técnica de soldadura más comúnmente usada para desarrollar las anteriores actividades es el arco eléctrico con electrodo revestido SMAW, donde el soldador es parte fundamental y la causa más frecuente de la mala calidad y falla de una junta soldada.

Es sumamente importante para las empresas dedicadas a la soldadura en la industria de los hidrocarburos garantizar al cliente trabajos con calidad, donde se mantenga un estándar alto de cumplimiento y de seguridad según los códigos usados para la ejecución y evaluación de soldaduras debido al alto impacto que tendría liberación del producto contenido y transportado sobre las personas, el medio ambiente, la infraestructura y la economía de un lugar particular. Todo lo anterior en efecto puede pasar si la calidad de la soldadura no es la idónea.

Garantizar la calidad de una unión soldada depende de los materiales –base y aporte-, de las condiciones climáticas o ambientales del lugar donde se aplica la soldadura, de los equipos usados, pero sobretodo de la habilidad del soldador. Dicha habilidad es tan importante en la ejecución de la soldadura en sí, como en la interpretación de los documentos y normas aplicables, tales como WPS, PQR, normas API, planos, etc. El factor competencia del operario asegura la calidad y validez, sin reprocesos ni reparaciones de las uniones soldadas, del producto final o servicio de la empresa; y para tener un buen control de esta última variable (habilidad del soldador) un buen punto de partida es la calificación del candidato, la cual esta guía pretende facilitar.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la economía y el desarrollo en sí mismos, dependen de gran manera del sector petrolero, es ahí donde la aplicación de soldadura se convierte en el pilar de crecimiento económico del país. En los últimos años, el país ha visto evolucionar los temas del aseguramiento de la calidad; no obstante el SENA en el 2012 en su actualización de la caracterización del sector metalmecánico y área de soldadura manifiesta que hay escasez de personal competente que haga po produzca bienes y servicios de calidad, siendo la soldadura el caso más apremiante, al existir un déficit de más de 10.000 empleos (cifra del 2010) y que se agrava con el inicio de los megaproyectos en infraestructura de puertos y expansión petrolera y minera que se tienen en Colombia. Estos proyectos demandan soldadores calificados (SENA, 2012).

Las empresas colombianas que utilizan soldadura para la unión de tuberías de acero direccionan sus actividades en su mayoría al sector de la industria del petróleo y el gas, y sobre todo al transporte de fluidos, siendo muy específicos en las necesidades y requerimientos acerca del tema. No obstante lo anterior, se identifica que dichas empresas no tienen dentro de sus sistemas de gestión de calidad, una guía procedimental para verificar paso a paso las competencias de sus trabajadores frente al desarrollo de sus procesos operativos referidos específicamente a la aplicación de las soldaduras tipo SMAW.

En ese sentido en la calificación de soldadores, se debe inspeccionar hasta el más mínimo detalle, para así asegurar todo el proceso de calificación como exitoso y cumpliendo los más altos estándares de calidad y satisfacción del producto final, séase la soldadura.

La presente guía, es la unificación y el compendio en un solo documento, del seguimiento y la inspección de todo el proceso de calificación de soldadores, con anexos de gran utilidad a la hora de verificar cualquier paso del proceso- las listas de chequeo para cada una de las fases-, ella norma de referencia será la API STANDARD 1104 Welding of Pipelines and Related Facilities, aplicado a tubería de transporte de hidrocarburos a alta presión.

Empresas del sector, pueden adoptar esta guía para sus procesos internos de inspección y seguimiento de la calificación de soldadores y documentar todos sus registros, mediante los formatos de lista de chequeo, para así darle una trazabilidad al proceso que interviene en la soldadura y asegurar de esta manera la alta calidad del recurso humano que tiene para su servicio, trabajando siempre bajo el sistema integrado de gestión de calidad, evitando reprocesos en el momento de la inspección de la soldadura, para así minimizar los costos operativos que se generen en cualquier tipo de reparación que sea consecuencia del rechazo de la unión soldada.

1. ALCANCE

Esta guía contiene los aspectos que debe observar un inspector/ingeniero para el seguimiento y evaluación del proceso de calificación de soldadores con referencia API STANDARD 1104 Welding of Pipelines and Related Facilities. Es la unificación y compendio de prácticas recomendadas, criterios técnicos, experiencia y normatividad aplicable.

Es aplicable a las tuberías de alta presión que manejan productos hidrocarburos y sus derivados refinados

El documento pretende hacer parte de la validación de las competencias del personal que aplicará sus habilidades de soldadura en la industria petrolera. Las empresas del sector, pueden adoptar esta guía para sus procesos internos de inspección en la calificación de soldadores, documentar todos sus registros mediante los formatos de lista de chequeo proveídos por la presente guía, por el WPQ (Welding Performance Qualification) y mediante un informe final.

La guía es un referente y en todo caso debe primar la norma donde haya alguna diferencia de criterios.

La guía está desarrollada con la última edición de la API 1104 por lo que deberá actualizarse en su versión con cada actualización o modificación de la norma seguida (API 1104)

La ejecución de cada ítem de las listas de chequeo es responsabilidad del soldador o candidato, no obstante para realizar la evaluación el inspector deberá realizar el seguimiento detallado corroborando los tópicos o ítems por sí mismo.

2. MARCO TEÓRICO

Una soldadura, según la definición de la American Welding Society (AWS)¹ es una unión localizada de metales o no metales, producida por el calentamiento de estos a la temperatura de soldadura requerida, con o sin la aplicación de presión y con o sin el uso de material de aporte. Se realiza una soldadura cuando las distintas piezas se combinan y forman una pieza única al calentarse a una temperatura suficientemente alta como para causar el reblandecimiento o fusión.

Los códigos, especificaciones y procedimientos de soldadura son recomendados para la aplicación en las industrias metalmeccánicas afines con la tecnología de soldadura, dado que garantizan la confiabilidad y el aseguramiento en un producto terminado con óptima calidad debido a sus exigencias tecnológicas y son la documentación básica que rige y guía la práctica de soldadura aplicable, para fabricar productos soldados que cumplan con la normatividad y la seguridad del trabajador, suministrando una protección a la vida, a la propiedad y el medio ambiente.²

En la actualidad, uno de los métodos más importantes para la unión de piezas y conjuntos metálicos en general en las industrias que aportan al producto interno bruto y adelanto en infraestructura de países desarrollados y en vías de desarrollo, es la soldadura y sus tecnologías³; por tanto es responsabilidad de las empresas fabricantes de productos soldados, comprobar que la calidad de sus productos este de conformidad con los requerimientos del cliente y lo establecido en códigos y especificaciones de soldadura.

Para asegurar la calidad de los productos y la idoneidad y habilidad de sus soldadores, se deben elaborar procedimientos de soldadura que permitan garantizar la compatibilidad del metal de soldadura depositado, con el metal base utilizado y calificando a sus soldadores acorde con el procedimiento de soldadura calificado, esta evaluación de los soldadores es muy importante para la empresa, dado que permite garantizar el desarrollo de uniones soldadas de alta calidad y además da garantía, buen nombre y confiabilidad a la empresa como al soldador, responsables de la aplicación de soldadura.

Sin embargo, existen antecedentes que demuestran que en las empresas del sector metalmeccánico afines con la soldadura presentan desconocimiento y poco seguimiento en el proceso de calificación del procedimiento de soldadura, como en la calificación del personal que lleva a cabo esta labor; como son ingenieros

¹ AMERICAN WELDING SOCIETY. Disponible en: <http://www.aws.org>.

² NIEBLES, Enrique y ARNEDO, William. Procedimiento de soldadura y calificación de soldadores. Universidad autónoma del Caribe, Facultad de Ingeniería Mecánica. Barranquilla, Colombia, 2009..

³ CAMILLERI D., P Molliconi y T. GRAY; Métodos computacionales y experimentales, validación de modelos de soldadura de distorsión, Diario de materiales: Diseño y Aplicaciones. 235-249 p. 2007.

con poca experiencia en soldadura que ocupan cargos de supervisores e inspectores de control de calidad en esta área.

2.1 SOLDADURA SMAW

La soldadura SMAW se realiza generalmente con un electrodo en forma de varilla, consumible y revestido, este electrodo está formado por dos partes: el núcleo metálico y el revestimiento cerámico obtenido por extrusión. El electrodo se funde durante el proceso de soldadura, por lo cual es necesario acercar continuamente el electrodo a la pieza para mantener la longitud de arco constante. La fusión del núcleo genera el material de aporte. La combustión del revestimiento cerámico forma una atmosfera que protege la zona de la soldadura de la entrada del oxígeno y nitrógeno, lo cual produce una soldadura más limpia y resistente, además la atmosfera retarda la rapidez de enfriamiento de la soldadura, lo cual produce una unión con mejores propiedades.

El proceso de la soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido comienza con el cebado o establecimiento del arco entre el extremo del electrodo y la pieza a soldar. Una vez conseguido el mantenimiento y estabilización del arco, el calor generado funde el revestimiento y la varilla metálica del electrodo, a la vez que la combustión del revestimiento sirve para originar una atmósfera protectora que impide la contaminación del material fundido. Así, las gotas de metal fundido procedentes de la varilla metálica del electrodo van a depositarse en el baño de fusión rodeadas de escoria. Esta escoria, por efecto de la viscosidad, flota en el baño protegiéndolo contra un enfriamiento rápido y de la contaminación del aire circundante. Una vez frío el cordón, se procede a eliminar esta escoria que queda como una especie de costra en la superficie del cordón⁴.

2.2 CALIFICACIÓN DE SOLDADORES

El área de soldadura cuenta con un amplio portafolio de formación ya que capacita ayudantes, auxiliares, técnicos y tecnólogos en soldadura, en la gran mayoría de procesos (SMAW - GMAW - FCAW - GTAW), además en la reparación, corte, conformado y armado de productos metálicos acción de los actuales soldadores en todas las áreas de trabajo: diseño, fabricación, montaje, inspección, consultoría, asesoría, investigación e interventoría de construcciones soldadas, con especial énfasis en el control de la calidad, la producción, competitividad y fiabilidad de los productos, todo de conformidad con los requerimientos de la industria. Dentro de las iniciativas más reconocidas se encuentran los proyectos de capacitación en soldadura por parte del Sena, el Instituto de Soldadura West Arco, el Centro de Capacitación Don Bosco, el Centro Tecnológico de Soldadura (CTS) de la empresa Lincoln Electric, y el recientemente inaugurado Instituto

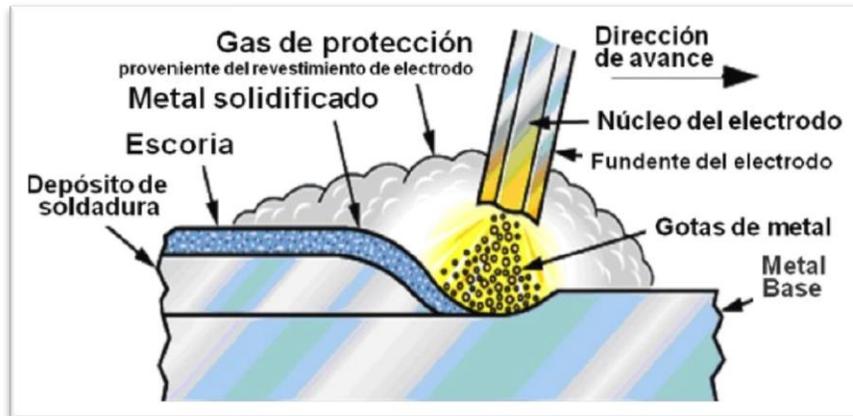
⁴PAZOS PEINADO, Norma. Tecnología de los metales y proceso de manufactura. Edición 1. La Vega, Caracas, 2006

Tecnológico de Soldadura (Itesol) de la empresa Megrieweld Ltda., a diferencia del Sena que, como entidad de formación para el trabajo, desarrolla planes técnicos y tecnológicos de formación en soldadura, los institutos cumplen la función de capacitar y calificar la labor de acuerdo al campo de aplicación específica.

Para la calificación de soldadores y operarios de soldadura la metodología a seguir es muy similar a la de elaboración y calificación de procedimientos de soldadura, teniendo en cuenta que cuando se califica un procedimiento de soldadura se tiene como eje de acción demostrar la compatibilidad existente entre los metales base, los materiales de aporte, los procesos de soldadura y la técnica aplicada mientras que cuando se califica un soldador u operario de soldadura el eje de acción se centra en demostrar que este tiene la capacidad y habilidad para ejecutar una soldadura en determinada posición y acorde a unas especificaciones dadas en el procedimiento de soldadura estipulado para la aplicación requerida.

Para la calificación de soldadores y operarios de soldadura es fundamental la definición de variables que permitan cumplir con lo especificado en el procedimiento entre las cuales se encuentran: la posición de soldadura, la configuración de la junta, el tipo y tamaño del electrodo, el proceso de soldadura, el tipo de metal base, el espesor del metal base y la técnica específica de soldadura. La secuencia general para la calificación del soldador es: i) identificar las necesidades de calificación de soldador en cuanto a: Proceso o procesos de soldadura, posiciones de soldadura, materiales base (platina o tubería o mixta), rango de espesores y diámetros calificados, tipos de juntas (ranura o de filete), etc., ii) identificar e interpretar el procedimiento de soldadura especificado para la calificación. ii) identificar las variables esenciales, iv) verificar que el equipo de soldadura, los materiales base y de aporte sean los requeridos y estén en condiciones óptimas de trabajo (calibrados), v) verificar que la probeta de prueba cumpla con los requerimientos dimensionales y de forma especificados en el código para la calificación del soldador, vi) inspeccionar el desarrollo de la soldadura para asegurar que cumple con el procedimiento de soldadura especificado para la calificación, vii) seleccionar y aplicar los ensayos requeridos para evaluar las probetas soldadas las cuales pueden ser seleccionados acorde a los requerimientos de alta calidad del producto soldado y a los ensayos aplicables, pruebas destructivas o no destructivas, teniendo en cuenta especificaciones de los códigos, ventajas y limitaciones del método de inspección, estándares de aceptación, y costo, viii) elaborar el documento de calificación de la habilidad del soldador.

Figura 1. Proceso de soldadura SMAW

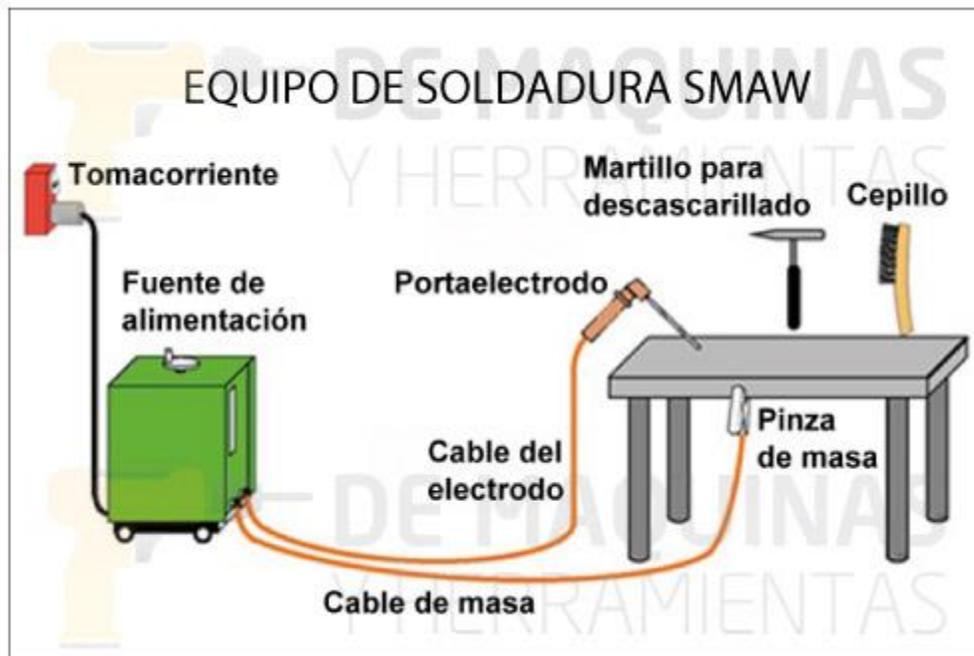


<https://corralesespinoza.wordpress.com>

2.3 EQUIPO

El equipo de soldadura SMAW se destaca por su simplicidad y facilidad de uso.

Figura 2. Equipo de Soldadura



<http://www.demaquinasyherramientas.com>

Este equipo consta de:

2.3.1 Fuente de alimentación. Dependiendo del tipo de electrodo y del tipo y la posición de la pieza de trabajo, la fuente puede ser de corriente continua o corriente alterna. Si es de corriente continua, y nuevamente en función del tipo de electrodo y la naturaleza de la soldadura que se desea obtener, la conexión del electrodo a la fuente se puede efectuar de dos maneras:

- **Conexión al terminal negativo.** En este caso se habla de un electrodo negativo o polaridad directa (DCEN, por sus siglas en inglés). Se utiliza cuando se desean lograr altas tasas de deposición y una baja penetración.
- **Conexión al terminal positivo.** En este caso se habla de un electrodo positivo o polaridad inversa (DCEP, por sus siglas en inglés). Se utiliza cuando se desea lograr una penetración profunda.

2.3.2 Portaelectrodo. Se conecta al cable de soldadura y conduce la corriente de soldadura hasta el electrodo. El mango aislado se utiliza para guiar el electrodo sobre la junta de soldadura y alimentar electrodo en el charco a medida que se consume. Los portaelectrodos están disponibles en diversos tamaños y se clasifican según su capacidad para transportar la corriente.

2.3.3 Cable del electrodo y cable de masa. Ambos son una parte importante del circuito de soldadura. Deben ser sumamente flexibles y tener un aislamiento resistente al calor. Las conexiones al portaelectrodo, la pinza de masa y los terminales de la fuente de alimentación deben estar soldadas o perfectamente efectuadas para garantizar una baja resistencia eléctrica. El área de la sección transversal de estos cables debe ser de tamaño suficiente para transportar la corriente de soldadura con un mínimo de caída de voltaje. Cuanto mayor sea la longitud del cable, mayor debe ser su diámetro, a fin de reducir la resistencia y la caída de voltaje.

2.3.4 Pinza de masa. Se utiliza para conectar el cable de masa a la pieza de trabajo. Se puede conectar directamente a la pieza, a la mesa o al portapieza. Como parte del circuito de soldadura, la pinza de masa debe ser capaz de transportar la corriente de soldadura sin riesgo de sobrecalentamiento debido a la resistencia eléctrica.

2.4 MATERIAL BASE Y MATERIAL DE APORTE

La calidad de una soldadura también depende de la combinación de los materiales usados para el material base y el material de relleno. No todos los metales son adecuados para la soldadura, y no todos los metales de relleno trabajan bien con materiales base.

La soldabilidad de aceros es inversamente proporcional a una propiedad conocida como la templabilidad del acero, que mide la probabilidad de formar la martensita durante el tratamiento de soldadura o calor. La templabilidad del acero depende de su composición química, con mayores cantidades de carbono y de otros elementos de aleación resultando en mayor templabilidad y por lo tanto una soldabilidad menor.

El material de aporte para la soldadura de arco eléctrico corresponde a electrodos, los cuales están clasificados en cinco grupos principales: de acero bajo carbono, de acero de alto carbono, de acero de aleación especial, de hierro fundido y no ferroso. La mayor parte de soldadura por arco es hecha con electrodos en el grupo de acero bajo carbono.

El electrodo revestido tiene una capa gruesa de varios elementos químicos tales como celulosa, dióxido de titanio, polvo de sílice, carbonato de calcio, y otros. Estos ingredientes son ligados con silicato de sodio. Cada una de las substancias en el revestimiento es ideado para servir una función específica en el proceso de soldadura. En general, sus objetivos primarios son los de facilitar el establecimiento del arco, estabilizar el arco, mejorar la apariencia y penetración de la soldadura, reducir salpicadura, y proteger el metal fundido contra oxidación o contaminación por la atmósfera circundante.

Para la identificación de estos electrodos, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos como: La calidad de soldadura requerida, la posición de la soldadura, el diseño de la junta, la velocidad de soldadura, la composición del metal por soldar.

3. OBJETIVOS

- Establecer todos los requerimientos que hay que verificar para realizar una calificación de soldador direccionando al inspector en cada una de las fases descritas durante el proceso SMAW en tubería de transportes de hidrocarburos a alta presión basado en la norma API 1104
- Describir el paso a paso de las tres fases: inicial, segunda y final, involucradas en la inspección para calificación de soldadores en el proceso SMAW en tubería de alta presión.
- Establecer los requerimientos específicos pre soldadura y durante la ejecución del proceso de soldadura.
- Especificar los criterios de aceptación y rechazo de las juntas soldadas bajo norma API 1104.
- Dar las pautas para la interpretación y diligenciamiento de las listas de chequeo para normalizar la calificación del soldador.
- Proveer un documento que contenga las bases para generar un informe final de la calificación del soldador según el análisis de las observaciones, notas y resultados en cada una de las fases

4. GENERALIDADES

Esta guía se divide en tres fases, las cuales pretenden encaminar al inspector siguiendo un paso a paso de las actividades y particularidades que deben tenerse cuenta en el proceso de calificación de un soldador, de tal forma que la evaluación sea ejecutada de forma estructurada y secuencial.

Para garantizar una aplicación de la soldadura con calidad, un buen manejo del proceso, y un excelente comportamiento de la unión soldada; debe no solo tenerse la experticia necesaria en la habilidad de soldeo, sino que también debe conocerse algo de la teoría y los códigos que rigen la aceptación del producto final. Deben manejarse una serie de documentos que especifican las necesidades de los trabajos requeridos.

La norma de referencia principal para el proyecto es la API 1104 Welding of Pipelines and Related Facilities (Soldadura de Oleoductos e Instalaciones Similares), únicamente se ha extractado información de la AWS respecto a la tabla de compatibilidades entre material base y material de aporte referenciada en este escrito; por lo tanto cualquier duda que deba ser solucionada, debe ser verificada bajo la perspectiva de la norma API 1104, único documento resolutorio base para establecer una interpretación válida.

Así pues, en esta guía se encontrará que en cada una de las fases se solicita una información mínima requerida, la cual debe proveer las medidas, criterios y apreciaciones justas para valorar las competencias de los soldadores

4.1 FASE INICIAL

Denominada evaluación documental, en esta sesión se recopilará y verificará la información contenida en el sistema de gestión de calidad de la empresa, refiriéndose más exactamente a la revisión de la información (formatos aplicables al proceso de calificación, manejo de registros, normas de referencia utilizadas, documentación existente del material base, fichas técnicas de insumos, competencias pre aseguradas del soldador, incluyendo experiencia en años y certificaciones vigentes, entre otros).

Previamente deben solicitarse a la empresa y al soldador los documentos donde el candidato demuestre su experiencia laboral, donde los equipos a utilizar sean aptos y sean los demandados para las pruebas, y donde los procedimientos con los cuales se soldará la tubería cuentan con la calidad y avales requeridos.

4.1.1 Ítems de documentación personal. Debe solicitarse a la empresa o al soldador el curriculum vitae donde contenga los certificados, estudios y

experiencia relacionados con el trabajo a realizar, asegurando que tiene conocimiento en su formación para hacer una soldadura con calidad. De entrada, este insumo puede jugar un papel decisivo en la aceptación o descarte del personal a calificar, optimizando los recursos que se gastan en una prueba de calificación.

4.1.1.1 *Se verifica que la hoja de vida del soldador contiene estudios realizados y soportes.* El inspector comprueba el nivel educativo relacionado con los anexos aportados.

4.1.1.2 *Se verifica que la hoja de vida del soldador contiene experiencia laboral certificada.* El inspector avala la práctica evidenciada con los anexos aportados.

4.1.1.3 *Las certificaciones están vigentes.* Es importante que las certificaciones presentadas tengan su fecha de vigencia y que la entidad, empresa o persona por quien son emitidas sean reconocidas legalmente.

4.1.1.4 *El soldador tiene calificaciones previas para WPS actualmente.* Deberán estar relacionadas las entidades o personas que emiten las calificaciones presentadas por el soldador, asegurando que el respaldo de dicha calificación sea verídico. Es recomendable que el candidato presente las calificaciones (PQR- Procedure Qualification Record) de Procedimientos de soldadura (WPS- Welding Procedure Especificación), donde haya participado como soldador.

4.1.1.5 *El soldador tiene más de seis (6) meses sin aplicar el proceso de soldadura SMAW en producción.* Mediante la experiencia laboral relacionada en la hoja de vida se analiza si en el último semestre ha tenido actividades en este proceso.

4.1.1.6 *Se verifica que la solicitud de calificación sea petición del cliente o por falta de habilidad.* Verificar también si ha participado anteriormente en un proceso de recalificación.

Ninguno de los ítems anteriores es un requerimiento primordial para la calificación de un soldador, sin embargo son un parámetro de reflejo de las condiciones del personal y dan una idea al inspector de lo que puede encontrarse en el producto final.

4.1.2 Ítems verificación de equipos. Esta sesión servirá para hacer la revisión documental de los equipos que participarán en el proceso de la calificación de soldadores.

Los equipos tienen que tener su documentación en orden y estar debidamente calibrados y certificados. Razón a lo anterior, se solicitará a la empresa toda documentación que demuestre la usabilidad y funcionalidad de los mismos. Debe tenerse en cuenta que durante la revisión de los documentos, la inspección preoperacional y la ejecución de la prueba, sean siempre los mismos equipos.

4.1.2.1 *Se verifica que el equipo tiene su ficha técnica de fabricación.* La compañía deberá contar con la documentación inicial de la máquina soldadora.

4.1.2.2 *El equipo cuenta con su manual de operación y mantenimiento.* Es importante conocer de antemano las curvas de funcionamiento y el ciclo de trabajo de la máquina para no forzar su rendimiento (esto puede afectar la calidad de la soldadura).

4.1.2.3 *Se verifica que el equipo tiene sus registros de mantenimiento al día.* Tiene que asegurarse que se cuente con la trazabilidad de las fechas respectivas y avales por la entidad o persona que lo realizó.

4.1.2.4 *El equipo tiene registro de cambio de repuestos.* Preferiblemente se debe contar con el número de lote y documento de compatibilidad en caso de no contar con repuestos originales de los mismos, con fechas, empresa y/o persona que realizó el cambio

4.1.3 Ítems materiales. Se hará una revisión de la parte documental de los materiales involucrados en la prueba de calificación de soldadores, tanto el material base como el material de aporte.

Es importante que la empresa de a conocer los manifiestos de importación y las pruebas de calidad que acompañan el lote que se pondrá en servicio (que va a ser soldado) y con el cual se escogerá el tubo/niple sobre el que hará la prueba. Se debe recalcar que tanto la tubería como el material de aporte deben ser compatibles.

No olvidar que un cambio en el material de aporte frustra el proceso llevado, ya que es considerado una variable esencial en la calificación.

4.1.3.1 *La tubería cuenta con manifiesto de importación o soporte de adquisición-compra.* La compañía debería tener el respectivo documento con el cual se adquirió la tubería y el inspector corroborará si corresponde con la que el soldador se calificará.

4.1.3.2 *Se verifican pruebas de calidad como garantía de fabricación por parte del proveedor.* Mediante un certificado otorgado por el proveedor o mediante la entrega de copia de las pruebas que avalen las características mecánicas y físico/químicas del material como son: dureza, esfuerzos, composición química, micrografías, macrografías.

4.1.3.3 *Al material (base) se le hicieron ensayos por parte de la compañía a cargo del proyecto o construcción.* La empresa debería realizar sus propias pruebas, por lo que si cuenta con ellas deberán allegarse al inspector. En caso que ninguna prueba sea enviada, es recomendable hacer las mencionadas en el numeral anterior.

4.1.3.4 *Se cuenta con fichas técnicas del material de aporte (electrodo).* Se verificará fechas de elaboración de los mismos, el tipo de electrodo, la composición del recubrimiento y de la varilla.

4.1.3.5 *El material de aporte es compatible con el material base.* Analizar mediante la tabla No.1 la compatibilidad entre el material de aporte y el material base.

Los materiales pueden ser una causa de desviación en el proceso, por eso conocer su procedencia, propiedades y características pueden hacer que la calidad de la soldadura y sobretodo el buen desempeño del soldador sean respetados.

4.1.4 Ítems verificación WPS. Lo aquí dispuesto servirá para hacer una revisión del Procedimiento de soldadura por el cual se va a calificar el soldador.

Si no se cuenta con los procedimientos de soldadura debidamente calificados (WPS y PQR) por un ente reconocido, no podrá llevarse a cabo la calificación del soldador.

Debe solicitarse siempre con antelación y suficiencia la documentación enumerada y que se entregue de forma completa; ya que es clave (aparte de que los cambios en el WPS es variable esencial) para el correcto entendimiento de lo que el soldador debe ejecutar y lo que debe exigírsele al mismo para su calificación.

4.1.4.1 *Se cuenta con el documento de procedimiento de soldadura WPS.* El cuál es la base de todo el proceso y para tener un seguimiento exhaustivo de las variables esenciales y no esenciales

4.1.4.2 *El WPS cuenta con el PQR respectivo.* Se verifica que la Calificación del Procedimiento de Soldadura, avale totalmente el WPS con el cual se calificará el soldador y que tanto las variables esenciales como no esenciales, quedaron registradas en el PQR con sus referidos rangos de calificación.

4.1.4.3 *El procedimiento tiene definidas sus variables esenciales (proceso de soldadura, material base, diseño de junta, posición, espesor de pared, metal de aporte, polaridad, tiempo entre pases, progresión de la soldadura, velocidad de avance, precalentamiento, tratamiento térmico posterior).* Se debe verificar que todas las variables esenciales estén descritas en el documento, ya que estas son básicas al momento de calificar al soldador.

4.1.5 Ítems generales. En esta parte de la guía y de la lista de chequeo inicial se quiere evaluar la seguridad del ambiente, del proceso y de la persona que va a realizar la prueba.

4.1.5.1 *Se cuenta con un panorama - análisis - de riesgos y sus respectivos controles.* Deben considerarse los riesgos a los que está expuesto el personal, tanto de ejecución (soldador) como de evaluación (inspector), así como los respectivos controles para poder realizar el proceso de calificación de forma segura.

Aquí deberá solicitarse algún tipo de análisis de riesgo y su correspondiente entendimiento por el personal. La empresa deberá facilitar los formatos o deberá indicar la forma como se realizará a cabo.

4.1.5.2 *Se realiza entrevista con el soldador.* Se corrobora en forma verbal lo expuesto en el numeral 3.3.1.1 (curriculum vitae) y se puede evaluar el conocimiento técnico que tenga el candidato a través de preguntas con el inspector. Mediante la misma entrevista se sensibiliza al soldador para que el día de la prueba, se presente con la confianza para realizar el proceso de calificación con sus capacidades y aptitudes sin temores que lo puedan llevar a cometer fallos inesperados

4.1.5.3 *El soldador tiene alguna restricción médica.* Es importante la condición física del soldador y si en los momentos de realizar las soldaduras en las pruebas para la calificación se encuentra con los sentidos al cien por ciento. Alguna condición anormal, alguna ingesta de medicamentos o alguna situación personal puede incidir en la calidad de la soldadura y en su aprobación o reprobación.

4.2 FASE INTERMEDIA

La segunda fase, es la etapa relacionada con la ejecución y evaluación en campo; contiene todo lo relacionado a la ejecución del proceso de soldadura, desde la utilización de los equipos y elementos de protección personal, el cuidado en seguridad industrial y cumplimiento por parte del soldador en los elementos técnicos desde la selección y uso de material de aporte y base, hasta el entendimiento e interpretación de los WPS. Esta etapa debe evidenciar la aplicación de la soldadura y la preparación de las probetas, correspondientes a los ensayos que de acuerdo a la norma, sirven como criterio de aceptación o rechazo para el personal evaluado.

En esta parte del proceso de calificación deben prestarse atención a los comportamientos del soldador, evaluarse las condiciones de aplicación de la soldadura, hablando específicamente del entorno y de los equipos y debe observarse cada paso realizado por el candidato en la elaboración de las probetas.

No se emitirá juicio alguno, ni se necesita ser un experto en la interpretación de los resultados de los ensayos aquí descritos, pero la guía parte de un conocimiento mínimo de los test ya que el inspector si solicitará los resultados y análisis de los ensayos destructivos y no destructivos que pide la API 1104 para calificar al soldador para consolidación del informe final y que son los pilares de la aceptación o rechazo del soldador.

4.2.1 Ítems generales. Es importante que la persona que va a ser calificada conozca medianamente sino a profundidad las condiciones a las que se va a enfrentar para producir un trabajo de calidad, hablando del cordón de soldadura específicamente. Es menester del soldador conocer los términos acuñados y las variables definidas dentro del WPS, diferenciándolas de las esenciales y no esenciales.

Si hay sugerencias por parte del candidato para ajustar o cambiar los WPS con los que se realizará la prueba, estas deben ser debatidas y concertadas con el propósito de modificar el procedimiento antes de ejecutar las actividades de las pruebas y no incurrir en errores o excusas que serán penalizadas si no se siguieron las condiciones inicialmente pactadas.

4.2.1.1 *El soldador interpreta y conoce todos los términos y definiciones del WPS.* Mediante la entrevista, el inspector analiza el conocimiento que el soldador tenga del procedimiento con el cual se va a calificar.

4.2.1.2 *El soldador tiene observaciones o discrepancias al WPS.* La entrevista servirá también para que el personal a calificarse haga un análisis de las variables del procedimiento y agregue comentarios acerca del mismo.

4.2.2 Ítems de HSE. En esta sesión se corroborará toda la parte de seguridad industrial, tanto del sitio de trabajo, como lo correspondiente al soldador. Las condiciones de las instalaciones de prueba, deberán ser tales que no invaliden los resultados de las pruebas o afecte desfavorablemente la precisión requerida en las mediciones que deban realizarse. Los locales adjudicados para la realización de las pruebas prácticas deberán contar con el espacio suficiente, a fin de garantizar la comodidad y seguridad del soldador u operario durante la prueba.

4.2.2.1 *El sitio se encuentra en orden y aseo para la prueba, libre de grasas, superficies combustibles o atmósferas inflamables.* Es importante que se verifique que los alrededores del sitio donde se va a soldar, emitir chispa o va a haber generación de calor, no hayan elementos que puedan iniciar o mantener fuego. También se debe tener en cuenta que el operador nunca debe estar sobre una poza o sobre suelo húmedo cuando suelda, como tampoco trabajar en un lugar húmedo.

4.2.2.2 *El lugar cuenta con protección contra el viento o está aislado de corrientes de aire.* Para que la soldadura no se vea afectada por las corrientes de aire deberá verificarse la existencia de barreras o que no haya un viento fuerte ya que puede afectar las propiedades de la soldadura.

4.2.2.3 *Hay materiales inflamables, combustibles o similares que puedan provocar incendio o deflagración a menos 10 metros del lugar.* Si los hay, el inspector debe asegurarse que sean retirados a la distancia aquí recomendada. Esta guía recomienda 10 metros como mínimo de la estación de soldadura.

4.2.2.4 *El lugar cuenta con aislamiento contra la radiación hacia otras áreas (muros, mamparas y pantallas).* El puesto de trabajo donde se evaluará el soldador, deberá estar separado por medio de mamparas o pantallas que impidan el paso de radiación a otras zonas de la instalación. Estas pantallas no deben presentar roturas que permitan el paso de la luz. Por otra parte, la parte inferior de la pantalla deberá estar al menos 50 cm sobre el suelo para permitir la circulación de aire.

4.2.2.5 *El lugar cuenta con ventilación apropiada (incluye tipo extractores).* No obstante debe tenerse en cuenta que siempre y en toda ocasión las pruebas de soldadura deben hacerse en un sitio, taller o espacio con suficiente aireación; se recomienda al personal involucrado el uso de una máscara con filtros para humos

metálicos. Soldar en áreas confinadas sin ventilación adecuada puede considerarse una operación arriesgada.

4.2.2.6 *La instalación cuenta con protección o con los elementos necesarios para extinción de fuego (extintores, rociadores).* Se verifican las áreas y se confirma que todo el sistema contra incendio esté controlado mediante los elementos de seguridad.

4.2.2.7 *El soldador cuenta con todos los elementos de protección personal mínimos (careta, guantes, mangas, delantal, calzado, polainas, máscara de humos metálicos, monja o capuchón) y los usa.* Debe observarse el comportamiento del soldador para trabajar con seguridad. No debería permitirse la ejecución de la soldadura sin elementos de protección personal. El inspector debe verificar el estado de los elementos de protección personal y el correcto uso por parte del soldador:

- Careta o máscara de soldar, para proteger los ojos, la cara, el cuello, la cual debe estar provista de filtros inactínicos de acuerdo al proceso e intensidades de corriente empleadas.
- Guantes de cuero, tipo mosquetero con costura interna, para proteger las manos y muñecas.
- Mangas, para la protección de los brazos.
- Coleteo o delantal de cuero, para protegerse de salpicaduras y exposición a rayos ultravioletas del arco.
- Polainas y casaca de cuero, para evitar las severas quemaduras que puedan ocasionar las salpicaduras del metal fundido.
- Zapatos de seguridad dieléctricos, que cubran los tobillos para evitar el atrape de salpicaduras.
- Gorro, monja o capuchón; para proteger el cabello y el cuero cabelludo.
- Máscara de humos metálicos

4.2.2.8 *Se cumple los controles del panorama de riesgos.* Se realiza una verificación física de lo expuesto en el análisis de riesgo.

4.2.3 Ítems verificación de equipos. En la fase anterior se indicó que los documentos presentados debían corresponder a los equipos con los que se ejecutan las actividades por parte del soldador. Es importante en este paso revisare minuciosamente el funcionamiento de dichos equipos y dejarlo consignado, así como la descripción de su estado.

Cuando se habla de equipos se refiere exclusivamente al motosoldador y los elementos asociados al mismo, los cuales son los mínimos necesarios para aplicar

soldadura. Se listan los siguientes: Motosoldador, pinza-portaelectrodo, masa y cables de conexionado.

Los equipos que serán utilizados para la calificación de soldadores u operarios de soldadura deberán proveer un rango completo de variables descritas en las especificaciones del procedimiento de soldadura. El equipo debe estar en condición de suministrar características eléctricas y/o mecánicas de forma continua, requeridas para realizar soldaduras óptimas en las pruebas prácticas.

Los controles para modificar o ajustar los diversos parámetros deben funcionar completamente.

Para la supervisión de estos ítems, la inspección se realizará en dos periodos, en primera instancia con el equipo desenergizado y en segunda instancia con el equipo energizado, y se tendrá en cuenta lo siguiente:

4.2.3.1 *El circuito eléctrico de la máquina soldadora se encuentra desenergizado para la inspección.*

- *Se verifica la instalación eléctrica del motosoldador (cables en buen estado, conexión a la toma - clavija del enchufe, bornes).* La conexión a la toma debe ser la correcta, sin sobrecargar el cableado. La clavija del enchufe debe estar completa, sin partes sueltas. Los bornes de la máquina deben estar protegidos y en buen estado. El equipo no debe estar instalado cerca o sobre superficies combustibles o atmósferas inflamables.
- *Se verifica la equipotencialización del equipo (se encuentra con línea a tierra).* El equipo debe tener su polo a tierra antes de encenderse. No se debe permitir operar una máquina que no tenga su línea a tierra.
- *Se hace revisión de las condiciones de la masa y el portaelectrodo (pinza).* La pinza debe ser la adecuada al tipo de electrodo utilizado y que además sujete fuertemente los electrodos. Por otro lado tanto masa como pinza deben estar bien equilibrados por su cable y fijados del mismo modo, que mantengan un buen contacto. Asimismo los aislamientos de los cables deben estar en perfecto estado en el punto de empalme.

4.2.3.2 *Se energiza el circuito.*

- *Es correcta la entrada de voltaje y es normal el funcionamiento del equipo (entrega de voltaje y amperaje).* Debe verificarse estas variables con instrumentos portables tales como amperímetros y voltímetros. Se consignará los valores de salida en la lista de chequeo y el informe final.

- *Se verifica el ciclo de trabajo del equipo para el amperaje escogido. Es importante no sobreesforzar el equipo para que este no sea factor influyente. Debe respetarse los tiempos de trabajo y descanso del mismo sin variar las condiciones para las cuales el WPS fue admitido.*

Antes de iniciar los ensayos, el soldador debe permitirse un tiempo razonable para ajustar el equipo de soldadura a emplear.

4.2.4 Ítems de materiales. El inspector debe solicitar a la empresa que la tubería utilizada en la prueba tenga las condiciones ideales para realizar las soldaduras y que al tomar las probetas, estas no sean causales de daño de los especímenes. Es decir que no haya fallos por calidad de materiales o presencia de defectos tales como laminaciones, abolladuras u ovalidades propias del proceso de fabricación de la tubería.

Adicionalmente debe observarse que el material de aporte utilizado esté debidamente almacenado y sea tratado por el soldador de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y de las normas (sobre todo cuando el factor térmico y de humedad es clave y requeridos para la conservación del electrodo).

4.2.4.1 *La tubería se encuentra libre de óxidos, abolladuras, laminaciones, ovalidades.* Mediante inspección visual hacer una revisión a la tubería en la cual el soldador va a hacer su prueba. Evidenciar que ésta se encuentra libre de óxidos, abolladuras, laminaciones y ovalidades, que serían defectos del material base y podrían llevar a confusiones a la hora de evaluar el cordón de soldadura. Si en determinado caso se encontraran algunos de estos defectos, se podría solicitar el cambio de tubo para la prueba del soldador.

4.2.4.2 *La tubería presenta algún tipo de magnetismo residual (imantación).* Si la tubería presenta este tipo de condición deberá tratarse antes de aplicar la soldadura mediante uso de bobinas o tratamiento térmico (precalentamiento).

4.2.4.3 *El material de aporte se encuentra debidamente almacenado. (Empaquetado, ambiente de guardado, recomendaciones del fabricante, hornos).* Es bueno realizar una anotación en las observaciones del lote y serial del electrodo utilizado para que de esta manera, quede en la trazabilidad del proceso de calificación del soldador evaluado.

4.2.5 Ítems de ejecución – Procedimiento. Es en este apartado donde el inspector debe estar rigurosamente atento a cada paso realizado por el soldador candidato a ser calificado, ya que es aquí donde recae el peso del

resultado de la calificación, pues es donde se pondera el conocimiento y la habilidad propiamente dicha. Es importante cuidar los más mínimos detalles para el éxito del proceso.

El soldador quedará con calificación sencilla o múltiple dependiendo del WPS con el que se esté evaluando y así quedará consignado en el WPQ. El candidato procederá al soldeo de los cupones de prueba requeridos para la calificación. Una vez iniciada esta etapa de la prueba práctica, el evaluador deberá inspeccionar:

4.2.5.1 *Se verifica que el material base cumple los requisitos de variables esenciales descritos en el WPS (clase material, diámetro de tubería y espesor de pared).* El candidato debe estar seguro que el material a soldar es el descrito en el WPS, ya que parte de sus características son variables esenciales para el soldador en la API 1104 y una modificación al diámetro o espesor implica cambio en el procedimiento y por consiguiente descalificación automática. El inspector debe corroborar mediante un flexómetro, la medida del diámetro de la tubería, con el dato tomado por el soldador y con lo establecido en el WPS. El inspector debe ratificar mediante un calibrador o micrómetro, la medida del espesor, con el dato tomado por el soldador con lo establecido en el WPS.

4.2.5.2 De los numerales siguientes la guía se refiere al diseño de la junta, la cual es considerada variable esencial para el soldador; por lo que no está permitido un cambio de ranura de V a U o viceversa, ni quitar el respaldo o poner un respaldo. Así mismo ninguna de las condiciones expuestas en el WPS de los numerales en mención deberá ser objeto de cambio si el soldador quiere aprobar su calificación.

- *El ángulo de bisel tiene las dimensiones especificadas en el WPS. Si el soldador no verifica que el bisel cumpla las condiciones insertas en el WPS, es un hecho diciente que no reconoce los conceptos mínimos de soldadura y por consiguiente dejará sus dudas en el proceso y deberá ser descalificado.*
- *El tamaño de cara de raíz se encuentra dentro del rango especificado en el WPS. El inspector debe corroborar mediante una galga o elemento similar, el tamaño de cara de la raíz de la junta, comparándolo con el dato tomado por el soldador y con lo establecido en el WPS.*
- *La apertura de raíz cumple con la amplitud de diseño descrita en el WPS.*
- *La apertura entre miembros traslapados es la especificada en el WPS (para soldadura en servicio).*
- *El backing (respaldo) usado es el descrito en el WPS (incluye geometría, dimensiones y material) (para soldadura en servicio).*

4.2.5.3 *Se revisa el desalineamiento.* El soldador debe ser capaz de verificar este ítem con el implemento adecuado (galga de hi-lo). El martilleo para la alineación debe ser empleado al mínimo. El desalineamiento no debe exceder los 3mm.

4.2.5.4 *Se utiliza el electrodo adecuado (WPS).* Se debe ratificar que el electrodo a usar sea el indicado en el procedimiento de soldadura.

➤ *Se deja constancia del registro del lote usado (electrodo).* Por tema de trazabilidad se recomienda dejar constancia del número de lote y fabricante del material de aporte.

4.2.5.5 *Se sigue la secuencia de cordones y se controla el número de los mismos.* Controlar la secuencia y número mínimo de cordones en la calificación de soldador, con lo establecido en el esquema del WPS, es una buena práctica en el momento de la ejecución de la soldadura, pero en ningún momento es una variable esencial ni para el procedimiento, ni para el soldador.

4.2.5.6 *Se realiza la soldadura con la corriente indicada sin ajustes en el amperaje.* Los soldadores tienden a bajar o subir el amperaje cuando no se sienten cómodos o cuando su técnica de soldeo no es la mejor. No debe permitirse por ningún motivo variación alguna en el amperaje del equipo por fuera del rango establecido.

4.2.5.7 *Se realiza la soldadura con la polaridad indicada.* Es también común que el soldador quiera invertir la polaridad para lograr la chispa y consumo del electrodo, sin embargo debe considerarse obligatorio el respetar lo indicado en el WPS en este sentido.

4.2.5.8 *Se realiza la soldadura sin cambios en el voltaje.* Se verifica que el soldador maneje el voltaje en el rango establecido en el procedimiento de soldadura.

4.2.5.9 *Se realiza la soldadura en la posición correcta.* Supervisar la posición con la cual se realiza la soldadura, ya que esta es una variable esencial para la calificación del soldador. Cualquier cambio de posición de girada a fija o un cambio de vertical a horizontal o viceversa, hará una descalificación inmediata del personal evaluado.

4.2.5.10 *Se realiza la soldadura en la progresión indicada sin cambiar durante la ejecución.* El inspector debe prestar total atención en el sentido de aplicación del cordón de soldadura. Un cambio en esta progresión es causal de descalificación del soldador.

4.2.5.11 *El soldador respeta los tiempos máximos tanto en el pase de raíz como en entre pases de otros cordones.* El inspector deberá llevar un registro del tiempo entre pases mediante un cronometro, para así controlar el tiempo máximo

establecido en el WPS, con el tiempo entre el fin del cordón de raíz y el inicio del segundo cordón, así como también el tiempo máximo entre la terminación del segundo y el comienzo de los otros cordones

4.2.5.12 *El soldador coloca el alineador y la cantidad de soldadura en el cordón de raíz de acuerdo al lineamiento del WPS antes de soltarlo.* El inspector debe valorar este ítem de acuerdo al WPS.

4.2.5.13 *El soldador remueve al porcentaje correcto del alineador.* El inspector debe valorar este ítem de acuerdo al WPS. La especificación debe señalar si el alineador es externo o interno o si no se requiere alineador. También el procedimiento debe establecer el mínimo de porcentaje de soldadura en el cordón de raíz que tiene que ser aplicado antes de soltarlo. Este ítem no es una variable esencial ni para la calificación del procedimiento ni para la del soldador pero se debe respetar lo sugerido en el WPS.

4.2.5.14 *Se realiza la limpieza según las instrucciones y con los elementos requeridos.* Es válido que la limpieza sea realizada por un ayudante o metalmeccánico bajo instrucciones del soldador. Así mismo el candidato es el encargado de verificar cuando esté listo este ítem. En ningún caso cualquier anomalía derivada por mala limpieza (escoria) será responsabilidad del ayudante.

4.2.5.15 *Se retira la escoria y discontinuidades superficiales entre pases haciendo la limpieza adecuada.* Se inspecciona el tipo de limpieza que se realiza en el cordón de soldadura, ya que si este paso se realiza sin la importancia suficiente, puede traer como consecuencia defectos que pueden llevar a la descalificación del soldador.

4.2.5.16 *Se controla la temperatura ambiente y realiza el precalentamiento según el método definido en el WPS.* El inspector debe verificar que el soldador controla, mediante métodos como tiza térmica o termómetro de chapa, la temperatura de precalentamiento y el post calentamiento térmico. El método será indicado en el procedimiento de soldadura, como el valor de la temperatura a controlar tanto del material como la temperatura ambiente y el post calentamiento térmico para hacer un alivio de tensión ideal para el material. Si la temperatura varía, el WPS requiere un cambio y por ende el soldador no quedaría calificado para el mismo.

4.2.5.17 *Se realiza el pase o cordón de soldadura a la velocidad de avance correcta.* El inspector deberá ser capaz de verificar el control que tiene el candidato en la aplicación del cordón, para ello deberá monitorear dicho avance con elementos como cronómetro y regleta numerada, flexómetro o cordel.

4.2.5.18 *La soldadura pasa la inspección visual.* El inspector debe ser versado y tener habilidad en este tipo de ensayo o inspección. Debe ser capaz de identificar

con detalle descriptivo las indicaciones evaluadas (encontradas) para dar su dictamen de defecto o no, según la norma interpretada (API 1104). Debe evidenciarse que éste esté libre de grietas, penetración inadecuada y quemones; se debe evidenciar limpieza y destreza de la ejecución. El socavado debe ser evaluado con lo exigido en la norma de referencia (API 1104).

4.2.6 Ítems de preparación de probetas. Aquí simplemente el inspector deberá asegurarse que se demarquen las zonas de cortes de probetas como se indican en la norma (API 1104), que se saquen el número de especímenes que pide la norma y que los mismos sean de las medidas indicadas por API 1104 para realizar los ensayos que se determinen.

4.2.6.1 *Se demarcan las zonas de extracción (localización de probetas). Ver figuras No.3 y No.4.* El inspector verifica que la marcación esté hecha en los lugares establecidos en la norma de referencia.

4.2.6.2 *Se toman el número de probetas requeridas según API 1104. Ver tabla No.2.* El inspector corrobora el número de probetas extraídas de la tubería.

4.2.6.3 *Las probetas cumplen con las medidas establecidas en el API 1104 para los ensayos de tracción, sanidad y doblado de raíz, cara y lateral.* Se deben confirmar mediante un calibrador las medidas de los cupones a enviar al laboratorio donde se llevarán a cabo los ensayos destructivos de las mismas.

4.3 FASE FINAL

Esta última fase, involucra la realización de los ensayos y evaluación de resultados.

En este apartado el inspector únicamente debe asegurar que se realicen las pruebas y ensayos tanto destructivos como no destructivos y debe ser capaz de interpretar los resultados para emitir el juicio valorativo de calificación mediante los criterios de aceptación y rechazo para las juntas soldadas hechas por el soldador en el proceso de calificación; para concluir con el dictamen final que dará como resultado el WPQ (Welding Performance Qualification)

Para obtener una calificación positiva, los resultados de los ensayos realizados a las probetas deben cumplir los criterios de aceptación de la norma API 1104 y cumplir con los ítems sugeridos en las listas de chequeo.

Al finalizar la recolección de datos y la evaluación, el inspector tendrá que emitir un informe consolidado, donde registre el proceso de calificación y su respectiva aprobación o desaprobación. Esto se realizará con base en los resultados de las

pruebas y en la ponderación numérica (sistema de calificación) propuesto con este documento.

4.3.1 Ítems de evaluación de ensayos (NTD)

4.3.1.1 *Se realiza radiografía industrial a las soldaduras, sin cortar probetas (aplica para soldaduras a tope) API 1104 numeral 6.6.* Este ensayo sirve como opción para la compañía en soldaduras a tope, sin ser necesaria la extracción de probetas en vez de usar los ensayos destructivos para la evaluación del cordón de soldadura. El laboratorio o personal que realice los ensayos dejará el informe al inspector, para que éste analice los resultados conforme los criterios de la norma

- *Se cumple con los criterios de aceptación para falta de penetración.*
- *Se cumple con los criterios de aceptación para desalineamiento.*
- *Se cumple con los criterios de aceptación para penetración inadecuada (transversal).*
- *Se cumple los criterios para fusión incompleta.*
- *Se cumple los criterios para fusión incompleta entre pases - por traslape en frío.*
- *Se cumple los criterios de aceptación para concavidad.*

- *Se cumple con los criterios de aceptación para quemones.*
- *Se cumple los criterios de aceptación para porosidad.*
- *Se cumple con los criterios de aceptación para grietas.*
- *Se cumple los criterios de aceptación para socavado.*
- *La acumulación de discontinuidades está dentro de lo permitido según API 1104 numeral 9.3.12*

4.3.2 Ítems de evaluación de ensayos (DT)

4.3.2.1 *Se realiza ensayo de resistencia a la tracción.* En este ensayo las probetas deben ser rotas bajo carga de tracción, usando un equipo capaz de medir la fuerza a la cual ocurre la falla. Con el valor arrojado se calcula el esfuerzo y este es comparado con la norma de referencia para así hacer el comparativo de aceptación o rechazo.

- *Las probetas se rompen en la soldadura o en la zona afectada térmicamente.*
- *Las probetas cumplen con los requisitos de resistencia a la tracción mínimos especificados para el material base.*
- *Se cumple con los requisitos de sanidad (numeral 5.6.3.3).*

4.3.2.2 *Se realiza ensayo de Nick Brake (Sanidad).* En este ensayo las probetas a evaluar se deben romper estirándolas en una máquina de tracción, o soportando los extremos y golpeado en el centro, o soportando un extremo y golpeando el otro extremo con un martillo. Se evalúan las áreas expuestas y se evalúan los defectos encontrados con la norma.

- *Se cumple con los requisitos de sanidad (numeral 5.6.3.3).*

4.3.2.3 *Se realiza ensayo de doblado de raíz.* En este ensayo las probetas deben ser dobladas en una matriz de doblado guiado bajo las especificaciones de la norma API 1104. Cada probeta debe ser colocada sobre la matriz con la soldadura en la parte media de la garganta. A continuación el embolo debe ser forzado dentro de la garganta hasta que la curvatura de la probeta forme una U. A continuación se procede a evaluar la defectología y se compara con la norma.

- *Se cumple con los requisitos del numeral 5.6.4.3.*

4.3.2.4 *Se realiza ensayo de doblado de cara.* Este ensayo se realiza igual que el de Doblez de raíz pero lo que se deja expuesto es la cara, para evaluar la defectología y se compara con la norma.

- *Se cumple los requisitos del numeral 5.6.4.3.*

4.3.2.5 *Se realiza ensayo de doblado lateral.* Este ensayo se realiza igual que el de Doblez de raíz pero lo que se deja expuesto es el lateral de la probeta, para evaluar la defectología y se compara con la norma.

- *Se cumple los requisitos del numeral 5.6.4.3.*

4.3.2.6 *Se realizan pruebas a las soldaduras de filete.* Este ensayo se realiza a las probetas de filete extraídas en los puntos que la norma lo solicita y la cantidad que la misma exige, se deben romper en la soldadura por cualquier método de ensayo, para evaluar la defectología y se compara con la norma.

- *Se cumple los requisitos del numeral 5.8.3.*

4.3.3 Ítems generales. En esta sesión se documentan todos los resultados obtenidos por los ensayos no destructivos (END), destructivos (DT) y se entregará por parte del Inspector un informe final de todo el proceso de calificación de las tres fases evidenciadas por el mismo anexando el WPQ que es el soporte de calificación del soldador con los rangos probados en los cuales quedó calificado o descalificado después del proceso.

5. SISTEMA DE PONDERACIÓN PARA LA CALIFICACIÓN

En la presente guía se establece un sistema de medición a cada uno de los ítems descritos en las listas de chequeo, lo que facilitará la calificación final del candidato. Cada uno de estos anexos o listas de chequeo están en orden de ejecución y revisión de los tópicos o temas que deben observarse y evaluarse en el proceso de calificación.

El correcto diligenciamiento de las listas de chequeo debe ser el siguiente:

- 1) Escribir cabalmente el nombre de la empresa y dependencia, el soldador, el lugar donde se llevan a cabo las actividades.
- 2) Para cada uno de los ítems se llenan las casillas una vez verificados dicho elementos:
 - **N.A.** No aplica
 - **SI.** Si el candidato realizó las actividades concernientes al ítem.
 - **NO.** Si el candidato no realizó las actividades concernientes al ítem, ni se evaluó la temática conforme lo señalado en la guía.
 - **PUNTAJE.** Esta casilla es necesaria diligenciarla con los valores 0 para no ejecutado/no aprobado o con el valor correspondiente al ítem si fue ejecutado/aprobado.
- 3) Debe indicarse la fecha de inspección, el responsable (inspector) de la evaluación, el cargo y el área o empresa correspondiente.
- 4) El inspector debe firmar la lista de chequeo una vez diligenciada correctamente.

El puntaje mínimo para pasar al soldador son 1.100 puntos (APROBADO).

Los rangos de aprobación son los siguientes:

- De 1.100 a 1.109 puntos: ACEPTABLE
- De 1.110 a 1.124 puntos: BUENO
- De 1.125 a 1.134 puntos: EXCELENTE

**Tabla 1. Compatibilidad del metal de aporte con relación al metal base en soldadura
SMAW**

Metal Base	Especificación	Rango de Esfuerzo de Tensión (MPa)	Especificación del electrodo	
			Carbon Steel	Low-Alloy Steel
ASTM A36 ASTM A53 ASTM A106 ASTM A131 ASTM A139 ASTM A381 ASTM A500 ASTM A501 ASTM A516 ASTM A524 ASTM A573 ASTM A709 ASTM A1008 SS ASTM A1011 SS ASTM A1018 SS API 5L ABS	(≤3/4 in [20 mm]) Grade B Grade B Grades A, B, CS, D, DS, E Grade B Grade Y35 Grade A, B, C Grade A Grade 55, 60 Grade I, II Grade 65, 58 Grade 36 (≤3/4 in [20 mm]) Grade 30, 33 Type 1, 40 Type 1 Grade 30, 33, 36 Type 1, 40, 45 Grade 30, 33, 36, 40 Grade B, X42 Grades A, B, D, CS, DS, E	400–550 415 min. 415 min. 400–520 415 min. 415 min. 310,400,425 min 400 min. 380–515 / 415–550 415–586 / 380–550 450–530 / 400–490 400–550 310, 330, 360 min 340, 360, 365, 389, 410 min 340, 360, 365, 380 min 414 400–520	E60XX E70XX	E70XX-X
ASTM A36 ASTM A131 ASTM A441 ASTM A501 ASTM A516 ASTM A529 ASTM A537 ASTM A572 ASTM A588 ASTM A595 ASTM A606 ASTM A618 ASTM A633 ASTM A709 ASTM A710 ASTM A808 ASTM A913 ASTM A992 ASTM A1008-HSLAS ASTM A1008-HSLAS-F ASTM A1011-HSLAS ASTM A1011 HSLAS-F ASTM A1011 SS ASTM A1018 HSLAS ASTM A1018 HSLAS-F ASTM A1085	(>3/4 in [20 mm]) Grades AH32, DH32, EH32 Grades AH36, DH36, EH36 Grade B Grade 65, 70 Grade 50, 55 Class 1 Grade 42, 50, 55 (4 in [100 mm] and under Grade A, B, C Grades I, II, III Grade A, C, D (2-1/2 in [65 mm] and under) Grade 36 (>3/4 in [20 mm]), 50, 50W, 50S, HPS 50W Grade A, Class 2 (>2 in [50 mm]) (2-1/2 in [65 mm] and under) Grade 50 Grade 45 Class 1 y 2, Grade 50 Class 1 y 2, Grade 55 Class 1 y 2 Grade 50 Grade 45 Class 1 y 2, Grade 50 Class 1 y 2, Grade 55 Class 1 y 2 Grade 50 Grade 50, 55 Grade 45 Class 1 y 2, Grade 50 Class 1 y 2, Grade 55 Class 1 y 2 Grade 50	400–550 440–590 490–620 415–485 485 min. 450–585 / 485–620 485–690 / 485–690 450–620 415, 450, 485 min. 485 min. 450, 480 min. 450 min. 450 min. 430–570 / 485–620 400–550, 450 min., 485 min., 450 min., 485 min. 415–450 415 min. 450 min. 450 min. 410 y 380 min., 450 y 410 min., 480 y 450 min. 410 min. 410 y 380 min., 450 y 410 min., 480 y 450 min. 410 min. 450 min., 480 min. 410 y 380 min., 450 y 410 min., 480 y 450 min. 410 min.	E7015 E7016 E7018 E7028	E7015-X E7016-X E7018-X

API 2H API 2MT1 API 2W API 2Y API 5L ABS	Grade 42, 50 Grade 50 Grade 42, 50, 50T Grade 42, 50, 50T Grade X52 Grades AH32, DH32, EH32 Grades AH36, DH36, EH36	427–565 / 483–620 488–620 427, 448, 483 min. 427, 448, 483 min. 455 min. 440–590 490–620		
API 2W API 2Y ASTM A537 ASTM A572 ASTM A633 ASTM A710 ASTM A710 ASTM A913 ASTM A1018 HSLAS ASTM A1018 HSLAS-F	Grade 60 Grade 60 Class 2 Grade 60, 65 Grade E Grade A, Class 2 (≤ 2 in [50 mm]) Grade A, Class 3 (> 2 in [50 mm]) Grade 60, 65 Grade 60 Class 2 Grade 70 Class 2 Grade 60 Class 2 Grade 70 Class 2	517 min. 517 min. 485–690 520 min., 550 min. 515–690 495 min. 485–515 520 min., 550 min. 480 min. 550 min. 480 min. 550 min.	N/A	E8015-X E8016-X E8018-X
ASTM A709 ASTM A852 ASTM A913	Grade HPS 70W Grade 70	585–760 620–760 620 min.	N/A	E9015-X E9016-X E9018-X E9018M

Tabla 2. Tipo y número de probetas de ensayo de soldadura a tope para la calificación de soldador y para el ensayo destructivo de soldadura.

Outside Diameter of Pipe		Number of Specimens					
Inches	Millimeters	Tensile Strength	Nick-Break	Root Bend	Face Bend	Side Bend	Total
Wall Thickness ≤ 0.500 in. (12.7 mm)							
< 2.375	< 60.3	0	2	2	0	0	4 ^a
2.375 – 4.500	60.3 – 323.9	0	2	2	0	0	4
> 4.500 – 12.750	> 114.3 – 323.9	2	2	2	0	0	6
> 12.750	> 323.9	4	4	2	2	0	12
Wall Thickness > 0.500 in. (12.7 mm)							
≤ 4.500	≤ 114.3	0	2	0	0	2	4
> 4.500 – 12.750	> 114.3 – 323.9	2	2	0	0	2	6
> 12.750	> 323.9	4	4	0	0	4	12

^aFor pipe less than or equal to 1.315 in. (33.4 mm) in outside diameter, specimens from two welds or one full-section tensile-strength specimen shall be taken.

Tabla tomada API Std 1104 21st Ed.2013 (includes Addendum 1 dated July 2014, Errata 1 dated April 2014, Errata 2 dated June 2014, and Errata 3 dated July 2014)

Figura 3. Localización de probetas para ensayos, en soldadura a tope.

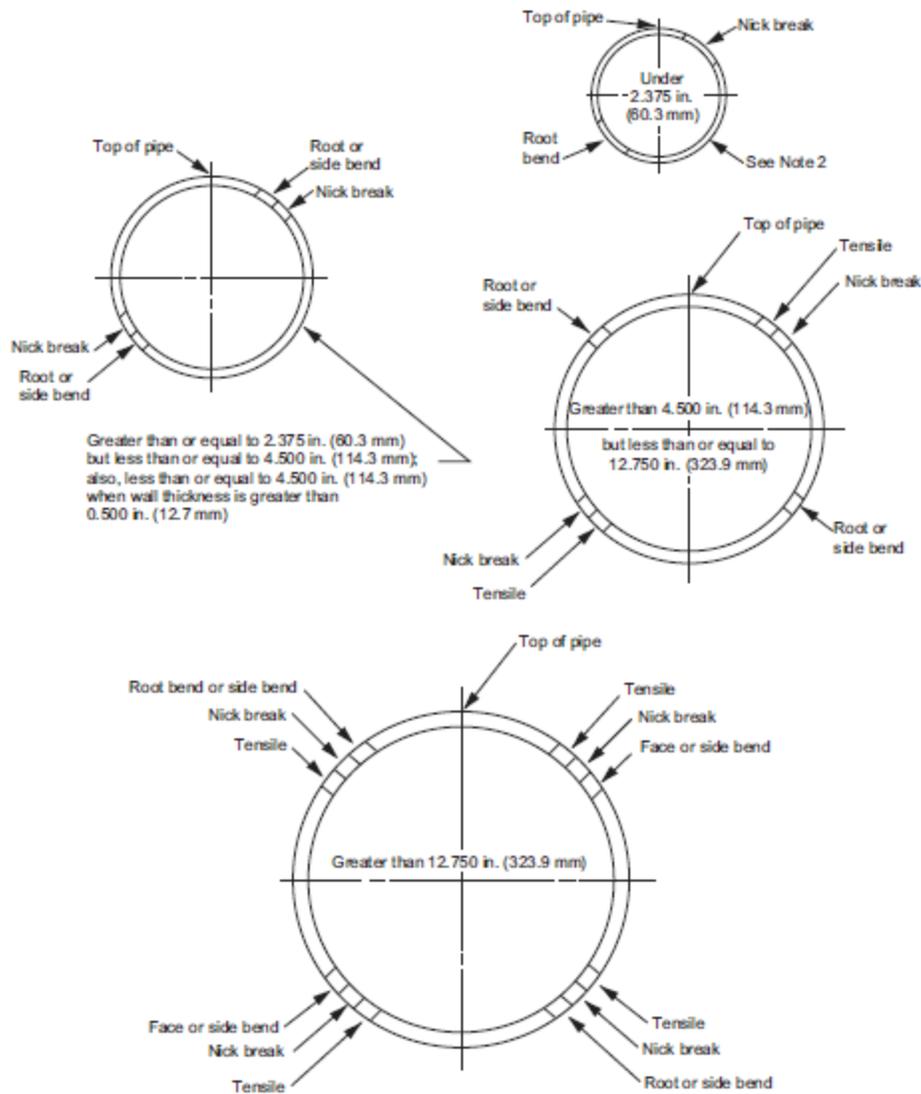


Imagen tomada API Std 1104 21st Ed.2013 (includes Addendum 1 dated July 2014, Errata 1 dated April 2014, Errata 2 dated June 2014, and Errata 3 dated July 2014)

Figura 4. Localización de probetas para ensayo de sanidad, en soldadura a filete.

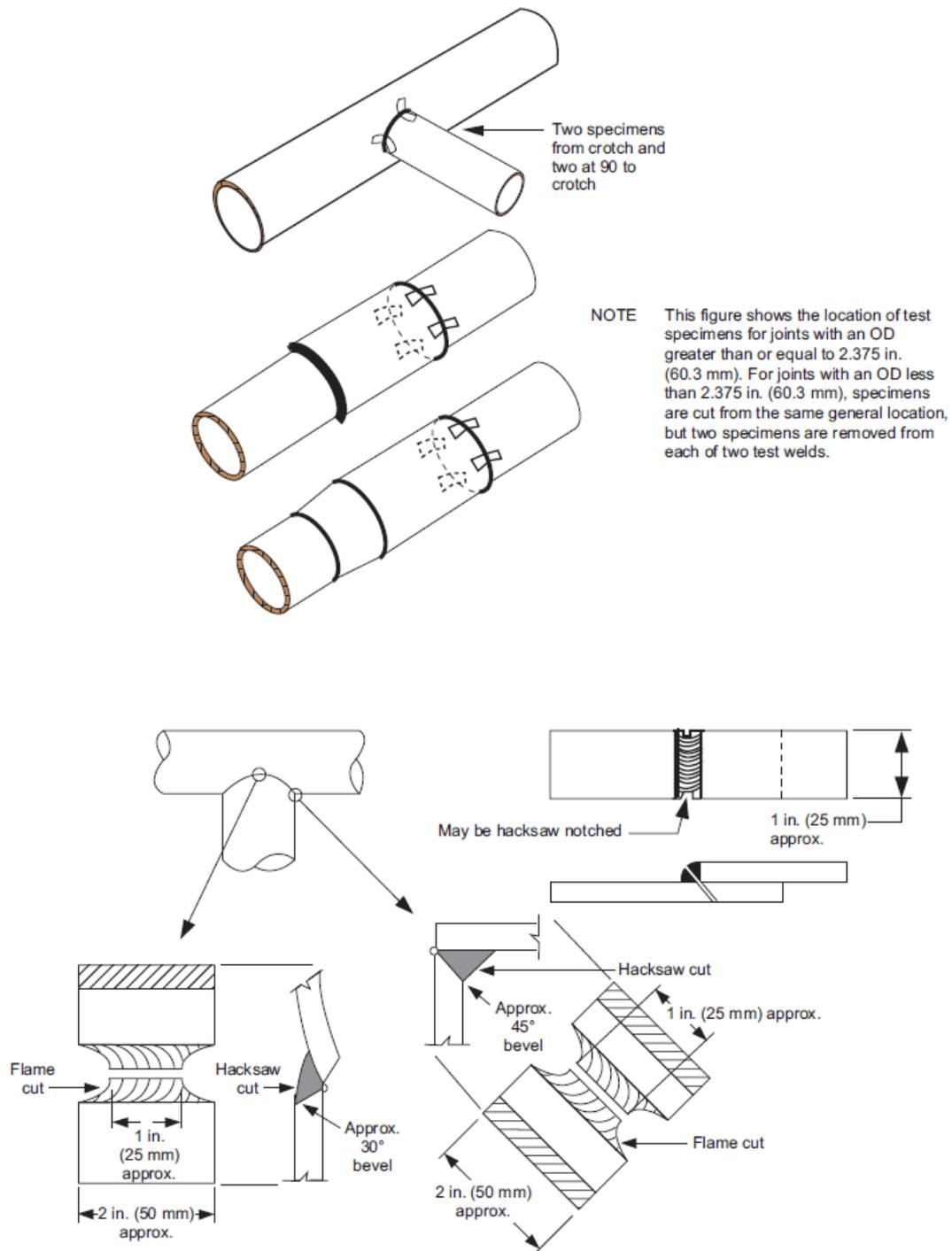


Imagen tomada API Std 1104 21st Ed.2013 (includes Addendum 1 dated July 2014, Errata 1 dated April 2014, Errata 2 dated June 2014, and Errata 3 dated July 2014)

BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE SOLDADURA. Preparación para la calificación y certificación de inspectores de construcciones soldadas. Capítulos 4, 5, 8. Colombia, 2003.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, API STANDARD 1104. Welding of Pipelines and Related Facilities. Pipeline Segments. Twenty-first edition. Washington D.C.: API Publishing services, September 2013. 604 p

AMERICAN WELDING SOCIETY. Disponible en: <http://www.aws.org>.

CAMILLERI D., P. Molliconi y T. GRAY; Métodos computacionales y experimentales, validación de modelos de soldadura de distorsión, Diario de materiales: Diseño y Aplicaciones. 235-249 p. 2007.

CARY, H.B. Manual de Soldadura Moderna. Segunda edición. Tomo 3, 671-691. Editorial Prentice-hall. México, 1992.

INDURA. Manual de sistemas y materiales de soldadura. Chile.

NIEBLES, Enrique y ARNEDO, William. Procedimiento de soldadura y calificación de soldadores. Universidad autónoma del Caribe, Facultad de Ingeniería Mecánica. Barranquilla, Colombia, 2009..

PAZOS PEINADO, Norma. Tecnología de los metales y proceso de manufactura. Edición 1. La Vega, Caracas, 2006

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. Caracterización Ocupacional Área de Soldadura. 107-109. Bogotá, Colombia, 2006. <http://www.sena.edu.co>.

THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY. Fundamentos de soldadura por arco. México, 2016



*GUÍA PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN LA INSPECCIÓN
PARA CALIFICACIÓN DE SOLDADORES EN PROCESO SMAW EN
TUBERÍA DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS A ALTA PRESIÓN*

WEST ARCO COLOMBIA. Solución integral en unión y corte de materiales.
Soldaduras West Arco. Disponible en: <http://www.westarco.com>.