

ELABORACIÓN DE UN PLAN DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD PARA LA FABRICACIÓN DE SISTEMAS DE TUBERÍAS PARA UNA CENTRAL TURBO - GENERADORA DE 100MW

Alvaro Xavier Muñoz Vinuesa

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
axmunoz@espol.edu.ec.

Ernesto Martínez Lozano. Ing.

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador
emartine@espol.edu.ec.

Resumen

En la ciudad de Quevedo, provincia de Los Ríos, se construye una central turbogeneradora que producirá una potencia nominal de 100 MW que serán entregados al sistema nacional interconectado; se requiere la fabricación, inspección y pruebas de sistemas de tuberías de los diferentes servicios que intervienen en el funcionamiento de esta central, para este fin se elaborará y pondrá en práctica un plan de aseguramiento de la calidad, el cual se incluirá procedimientos de inspecciones y pruebas, basados en códigos de construcción aplicables, tales como ANSI-ASME B31.3, ASME BPV IX, ASTM sección VI, con el fin de garantizar la integridad del montaje realizado.

En el plan de aseguramiento de calidad desarrollado en esta tesis cubrirá los siguientes puntos: determinación de criterios de inspección sobre materiales para construcción, elaboración de especificaciones de procedimientos de soldadura y procedimientos de calificación de soldadores, instructivos de instalación e inspección de líneas de proceso, procedimientos de aplicación e inspección de sistemas de protección superficial, ensayos no destructivos.

Palabra claves: *aseguramiento de calidad, montaje de tuberías, procedimientos de soldadura, sistemas de protección superficial, ensayos no destructivos.*

Abstract

In the Quevedo, province of Los Ríos, a turbo - generator plant is built that will produce an output of 100 MW to be delivered to the national grid, it will require the manufacture, inspection and testing of piping systems of the different services involved in the operation of the plant, to meet this objective a plan for quality assurance will be developed and implemented, which include inspection and testing procedures, based on applicable building codes such as ANSI-ASME B31.3, BPV ASME IX, ASTM section VI, in order to ensure the integrity of the completed assembly.

The quality assurance plan developed in this thesis will cover the following points: determination of inspection criteria on materials for construction, development of specifications for welding procedures and welders qualification, installation instructions and inspection for process lines, application procedures and inspection of surface protection systems, non-destructive testing.

1. Introducción

En la ciudad de Quevedo se construye una central turbogeneradora que entregará una potencia nominal de 100 MW al sistema interconectado nacional.

Los sistemas dentro de la planta incluyen el transporte de combustibles, Combustible Pesado No 6 y Diesel, Agua de proceso, Aceite Lubricante, Aire de Arranque, Aire de Servicio, Vapor, Condensado, Agua de Proceso, Agua Aceitosas y Lodos.

Debido a los parámetros del proyecto se requiere que la fabricación se realice en un corto tiempo y que los sistemas de tuberías instalados presenten el menor número de fallas durante la ejecución del trabajo.

En el desarrollo de la tesis se establece los parámetros para realizar la instalación, inspección y pruebas de un sistema de tuberías elaborando un plan de aseguramiento de la calidad, que cubra los siguientes puntos: inspección de materiales, especificación de procedimientos de soldadura, calificación de desempeño de soldadores, procedimientos de inspección de juntas soldadas, procedimientos de instalación y pruebas de sistemas de tuberías, procedimientos de aplicación e inspección de sistemas de protección superficial.

Las actividades puestas en práctica para el montaje de tuberías están basadas acorde a los requisitos presentados en los códigos ASME B31.3 para tuberías de proceso mientras que las pruebas sobre los sistemas de protección superficial estarán basadas en las indicaciones de los estándares ASTM Sección 6 aplicables.

No se incluirá en este estudio equipos, recipientes, intercambiadores de calor o tanques, los sistemas de tubería se revisaran hasta la primera brida de conexión de los elementos mencionados.

2. Elaboración de un plan de aseguramiento de calidad.

El Plan de Aseguramiento de Calidad es un documento que establece la secuencia de actividades y prácticas relevantes específicas de calidad de un proyecto, llevadas a cabo para lograr un objetivo conforme con requisitos definidos, las cuales deben incluir las limitaciones de tiempo, costo y recursos.

Con la elaboración del plan se establece los lineamientos y actividades para el desarrollo y validación de un proyecto. En el mismo se deben indicar las medidas necesarias para que la instalación tenga conformidad con el código de construcción; así como identificar los controles que se aplicarán, para lograr los resultados esperados.

El propósito del plan de inspección incluye proporcionar un plan de inspecciones y pruebas sistemáticas que cubra todas las fases del montaje en una secuencia lógica, al mismo tiempo que proporciona un documento escrito el cual indica que

inspeccionar y como inspeccionar. Este plan de aseguramiento de la calidad podrá ser usado como un requisito de trabajo para ejecución de montaje o como una herramienta de fiscalización.

Para la elaboración del plan de aseguramiento de calidad, es necesario tener presente las referencias aplicables, y los criterios de aceptación para las inspecciones y pruebas realizadas sobre los sistemas a ser instalados. Dado los requisitos del proyecto y los objetivos presentados en esta tesis, los códigos de construcción y estándares a utilizar en el plan consisten principalmente del código ANSI/ASME B31.3 para la instalación de sistemas de tuberías, código ASME BPV sección IX para la especificación de procedimientos de soldadura y calificación de soldadores y la serie de estándares ASTM sección 6 para la aplicación y pruebas de sistemas de protección superficial.

3. Procedimientos de fabricación y montaje de sistemas de tuberías

3.1. Montaje de tuberías

En los planos aprobados para construcción se debe presentar los tramos de tubería, de aquí en adelante denominado spool, a ser fabricados, además debe indicar soldaduras o uniones presentes, sean estas de taller (soldadura realizada fuera de la posición final de la tubería) o de campo. Cada spool se identifica con el nombre del isométrico y una letra en orden alfabético acorde con la dirección del flujo. Las juntas a ser soldadas se enumeran consecutivamente, desde el número uno (1) siguiendo la dirección del flujo.

Los materiales a ser enviados a obra deben ser clasificados, agrupados por bultos o paquetes homogéneos durante su transporte para facilitar su descarga, cada paquete llevará su respectiva identificación, presentando datos relevantes del fabricante, tipo de acero, dimensiones, colada [5]; siendo motivo de rechazo el no contar con esta identificación. Se debe inspeccionar tolerancias y realizar un control dimensional de la tubería y accesorios, verificando que las condiciones de almacenamiento sean las adecuadas.

Todos los materiales de aporte para procesos de soldadura estarán sujetos a una inspección. Al momento de la recepción, todas las cajas están visiblemente marcadas con el nombre del fabricante o su nombre comercial, especificación o clasificación AWS, tamaño estandarizado del electrodo y número de lote de fabricación [2]. En el caso de encontrarse electrodos revestidos con una falta de identificación individual, disminución del espesor de revestimiento o falta de adherencia del mismo, excentricidad del revestimiento con respecto al núcleo o puntos que indiquen contaminación, se rechazara el producto.

Para cortar y biselar, cada sección de tubería se identifica con el número de isométrico y número del spool. Las dimensiones de las secciones de tuberías se calculan de eje a eje entre tuberías como se muestra en el isométrico, y para tramos que son de montaje en sitio se adiciona una longitud de 200 mm para ajuste. El corte de una tubería de acero al carbono se realiza ya sea por procesos mecánicos usando cortadoras o herramientas abrasivas o por procesos térmicos. Una vez que la tubería es cortada, el bisel se limpia usando un proceso de maquinado a fin de obtener una superficie libre de escoria e irregularidades. El bisel se prepara en concordancia con la especificación del proceso de soldadura (WPS). Los extremos de la tubería y accesorios a ser soldados a tope se alinean lo de tal manera que las superficies internas coincidan.

Previo al montaje de una tubería prefabricada que se conecta a un equipo, se debe revisar y confirmar que la instalación del equipo ha sido concluida, y su orientación y nivelación han sido verificadas. Las bridas que conectan con equipos rotativos, se conectan de tal forma que mantenga paralelismo y alineación con la brida del equipo. En las bridas de los equipos se dispone de juntas ciegas provisionales con el fin de evitar el ingreso de elementos extraños.

Previo al ensamble de las bridas, las caras de asiento se limpian para eliminar cualquier material protector colocada en el taller o en fábrica. Si existen signos de oxidación, las superficies son cepilladas, removiendo el óxido presente.

Los espárragos de las uniones bridadas se instalan de forma tal que su longitud quede igualmente repartida a ambos lados de las bridas y, los extremos, con la identificación del material, del lado que sea de más fácil acceso.

3.2. Soldadura de sistemas de tuberías

Los procedimientos de soldadura y los soldadores son calificados de acuerdo a lo estipulado en el Código ASME BPV - Sección IX. Cada soldador es calificado y/o revalidado antes de iniciar su trabajo en la obra.

Una especificación de procedimiento de soldadura, denominado de aquí en adelante WPS, es un documento que provee una dirección al soldador para realizar juntas soldadas acorde con los requerimientos del código, cualquier WPS a ser usado debe ser sujeto a calificación acorde al artículo II del código ASME BPV IX, o debe ser un estándar (SWPS) de sociedad americana de soldadura (AWS), y puesta en práctica acorde con un ensayo no destructivo aplicable [3].

Tanto un WPS y un SWPS, indica las condiciones (incluido rangos, de presentarse) bajo las cuales la soldadura debe ser ejecutada. Estas condiciones incluyen el metal base, el metal de aporte a ser usado, precalentamiento o tratamiento térmico posterior a la soldadura. Estas condiciones son referidas en el documento como “variables de soldadura”.

Las especificaciones del proyecto indican que para las juntas soldadas en tubería, se usará el proceso GTAW [12] o una combinación de procesos GTAW – SMAW [13], usando para el pase de acabado de electrodos de bajo hidrógeno.

El propósito de la calificación de un WPS es determinar si la junta soldada ejecutada presenta las propiedades requeridas que se indican en el código de construcción aplicable o en los requisitos de diseño. La calificación de procedimiento de soldadura verifica y certifica las propiedades de la soldadura, no la habilidad del soldador.

El espécimen de prueba para calificación se somete a un ensayo de tensión, para verificar las propiedades mecánicas de la junta, y a una serie de ensayos de doblado guiado, usados para determinar el nivel de integridad y ductilidad de las juntas soldadas.

Para que un ensayo de tensión se considere satisfactorio, la resistencia mínima obtenida del espécimen sometido a prueba es igual a la especificada para el metal base, o es a la resistencia del metal base más débil, en caso de que la junta soldada sea entre dos metales base diferentes.

Los ensayos de doblado guiado son de 5 tipos, dependiendo si el eje de soldadura es transversal o paralelo a los ejes del espécimen, y que superficie (lado, cara o raíz) se encuentra en el lado convexo (exterior) del espécimen de doblado.

El espécimen no debe mostrar discontinuidades en la soldadura o la zona afectada por el calor que exceda 1/8 de pulgada (3mm), medida en cualquier dirección de la superficie convexa después del doblado.

Una vez que se han finalizado los ensayos de calificación, se procede a elaborar un registro de calificación de procedimiento (PQR), el cual es un reporte de la ejecución de ensayos sobre una probeta para calificación de un procedimiento, así como documentar de los resultados obtenidos.

Los SWPS, son aceptables para los proyectos de construcción en los cuales se especifican requisitos presentados en el código ASME BPV sección IX. Solo se podrán usar SWPS que han sido aceptados e incorporados por la sección IX [4].

Para poner en práctica un SWPS se debe ejecutar una probeta, la misma debe ser satisfactoriamente examinada visualmente y probada mecánicamente o sometida a ensayos radiográficos.

El propósito de la calificación de desempeño es asegurar que el soldador es capaz de ejecutar un procedimiento de soldadura obteniendo una junta soldada que cumple con las propiedades mecánicas requeridas.

La calificación del soldador está limitada por las variables esenciales de cada proceso de soldadura. Un soldador puede ser calificado con una probeta de laboratorio, tanto por ensayos no destructivos o ensayos de doblado, o con una probeta de producción con ensayos no destructivos.

Cada soldador debe ser calificado en cada proceso de soldadura que pondrá en práctica durante el montaje de los sistemas de tuberías; la calificación de desempeño debe ser realizada en función al WPS calificado y se le debe asignar una identificación (estampa de soldador), con el cual se identificarán las juntas soldadas por este soldador.

3.3. Aplicación de protección superficial

La selección de pintura a ser usada se basará en la aplicación del sistema a proteger, los colores usados para identificación deberán ser tomados del código de identificación aplicable.

Entre los factores para la selección de un sistema de pintura, el desempeño del sistema en el ambiente al cual está expuesto impera. Acorde a la SSPC, al tener una atmosférica química y contacto intermitente con hidrocarburos, la central se clasificara como zona 3D; acorde a esta clasificación o zona ambiental, y a las especificaciones del proyecto, los sistemas de pintura seleccionados serán: Primer de inorgánico de zinc y acabado de epóxico y Primer de epóxico y poliuretano acrílico de acabado

Para garantizar la integridad y adherencia de los sistemas de pintura, las superficies donde se aplicará la protección superficial deberán ser sometidas a una limpieza, así como una preparación de perfil de anclaje.

Las tuberías o accesorios a ser pintados, se inspeccionan previamente, garantizando que las uniones soldadas estén terminadas y que los ensayos no-destructivos requeridos sobre las mismas hayan sido finalizados.

El método de preparación de superficies puede ser químico y/o mecánico de acuerdo a la especificación del proceso tomando en consideración las recomendaciones emitidas por el fabricante.

Previo a la operación de limpieza por chorro abrasivo (blasting), toda superficie contaminada con grasa y aceite, deberá ser limpiada con un solvente [16]. Toda suciedad, escamas, u otro material extraño deben ser removidos con un proceso abrasivo [18], con un perfil de anclaje de 1 ½" a 2 mills (40 a 50 µm).

En caso de que se requieran reparaciones en la pintura existente, se procederá a una limpieza con herramientas eléctricas [17], previa a la aplicación de limpieza por un solvente.

Durante la operación de limpieza por chorro abrasivo, es necesario verificar que el material abrasivo utilizado se encuentra seco y libre de elementos contaminantes, comprobar que aire comprimido usado para el proceso de abrasión está libre de agua y aceite. Al mismo tiempo se debe revisar que las superficies estén al menos a 4°C arriba de la temperatura de rocío del aire y que la humedad relativa del aire no sea mayor que 85%.

La preparación de los sistemas de pintura, o el mezclado de sus componentes, se realiza en un área

designada en el sitio; los componentes deben ser agitado hasta que los ingredientes presenten una mezcla homogénea; cuando se trabaje con materiales que se sedimenten rápidamente, la mezcla debe ser frecuentemente agitada durante la aplicación.

Las capas subsecuentes de pintura se aplicarán después de revisar las capas previas, cualquier defecto, partes sin protección, depósitos de materiales extraños deben ser atendidos previos a la aplicación de la siguiente capa. Si un área presente signos de daños en la capa primer aplicada, deben ser limpiadas por herramientas eléctricas o limpieza a mano, y se debe aplicar el mismo sistema especificado.

Los sistemas de tuberías deben estar acompañados por un sistema de identificación, el cual consiste en un código de colores, asignado de acuerdo al fluido transportado, la información sobre los colores de identificación se tomará acorde a códigos ANSI/ASME A13.1.

4. Inspecciones y pruebas sobre los sistemas de tuberías

4.1. Inspección de juntas soldadas

En caso de presentarse evidencias en la junta soldada, estas no deben superar los límites establecidos para cada tipo, caso contrario serán clasificadas como defectos.

Una junta examinada con uno o más defectos, debe ser reparada o reemplazada; y la misma debe ser re-examinada con el mismo método y los mismos criterios de aceptación que la junta original fue examinada.

Antes de comenzar las operaciones de soldadura, se revisará los materiales a soldar en busca de defectos tales como fisuras, escamas, laminaciones ya sean estos en lámina o tubería.

El área de la junta y una distancia de 25 mm (1") a cada lado deben estar libres de pintura, tierra, incrustaciones, óxido y otras substancias que puedan afectar adversamente la operación de soldadura o su calidad final.

En todas las juntas soldadas, el pase en caliente se inicia luego de terminar el cordón de raíz, en la medida de lo posible. Para cada pase del metal depositado se elimina la escoria y fundente mediante el uso de herramientas eléctricas manuales antes de aplicar un próximo pase. Defectos visibles tales como cavidades, escoria, traslapes en frío, porosidad superficial, puntos de arranque u otros defectos se remueven mediante esmerilado.

Los equipos e instrumentos utilizados para la inspección visual son: HI-LO, Medidor completo de soldadura, Medidor graduable de soldaduras de filete, medidor ajustable para relleno de soldadura, espejo, lupas, escuadras, cinta métrica

Las radiografías son realizadas utilizando una fuente de rayos X de Iridio 192 lo más cerca y

centrado como sea práctico con respecto a la longitud y el ancho de la parte de la soldadura que se examina.

La sensibilidad del ensayo de radiografía es definida en base al indicador de calidad de imagen (ICI) tipo alambre.

Las películas utilizadas para las radiografías son de Tipo 1 según la clasificación ASTM E 94, que indica que la película es de grano fino con alto contraste y velocidad elevada; diseñada para exposiciones directas con pantallas de plomo.

Debe mostrarse claramente la junta de soldadura en toda la película radiografiada; la misma que tiene una longitud adecuada para la junta a radiar, la radiografía es inaceptable si tiene baja resolución por exceso de radiación difusa, o cualquier otro proceso que oscurezca las partes o la longitud total de la soldadura.

Todas las películas de radiografías deben tener una marca de identificación que son números o letras de plomo.

El procedimiento de inspección por tintas penetrantes describe las técnicas para la inspección de juntas soldadas por líquidos penetrantes fluorescentes y coloreados; es aplicable para la detección de discontinuidades abiertas a la superficie de soldadura y zona afectada por el calor en partes y/o componentes de tuberías.

Los criterios de aceptación se establecen acorde al código de construcción seleccionado, dadas las a las especificaciones de este proyecto se usará el código ANSI/ASME B31.3; en la tabla 1 se presenta defectos e imperfecciones frecuentes encontradas en juntas soldadas, así como los métodos de inspección recomendados para su detección. Para las juntas soldadas que pueden ser evaluadas por más de un método, la aplicación de un método dependerá de del requerimiento presentado en el plan de calidad.

Tabla 1: métodos de evaluación de imperfecciones de soldadura [1]

Imperfección	visual	radiografía	penetrantes
Grieta	x	x	x
Falta de fusión	x	x	--
Penetración incompleta	x	x	--
Porosidad interna	--	x	--
Indicación elongada	--	x	--
Socavación	x	--	--
Porosidad superficial	x	--	--
Raíz cóncava	x	x	--

Indiferente del método de inspección seleccionado, los límites de las imperfecciones evaluadas se describen a continuación [1]:

Para uniones soldadas con junta de canal:

No debe haber evidencia de grietas, falta de fusión, porosidades superficiales o inclusiones expuestas.

Penetración incompleta cuya longitud no supere 1mm (1/32") y 20% del espesor de la soldadura y la longitud acumulada de varias indicaciones no supere 38mm en 150mm de cordón.

El tamaño y distribución de la porosidad interna permitida por el código se presenta en el apéndice 4 del código ASME BPV VIII.

Una indicación elongada o inclusión de escoria no deberá superar una longitud individual de 0.2 del espesor de la soldadura; un ancho individual de 3mm (1/8") o el 50% del espesor de la soldadura, y una longitud acumulada de varias indicaciones no supere 4 veces del espesor de la soldadura en 150mm de cordón.

En caso de existir socavación, la profundidad de la misma no debe superar 1mm (1/32") o la cuarta parte del espesor de la soldadura.

Para uniones soldadas con junta de filete [1]:

No debe haber evidencia de grietas, falta de fusión, porosidades superficiales o inclusiones expuestas.

En caso de existir socavación, la profundidad de la misma no debe superar 1mm (1/32") o el 25% del espesor de la soldadura.

4.2. Procedimientos para liberación de sistemas de tuberías

Previo a que los sistemas de tuberías entren en operación, y después de terminar con los ensayos no destructivos, cada sistema de tubería debe ser probado para asegurar que esté libre de fugas, la prueba a usarse puede ser hidrostática, neumática, o una observación de fugas durante el arranque.

Se recomienda realizar una prueba neumática preliminar, a una presión no mayor de 25 psi, para localizar e identificar fugas mayores en el sistema, esta presión deberá ser mantenida al menos 10 minutos.

Las tuberías conectadas a equipos pueden ser desconectadas de estos o bien ser aislados por medio de discos ciegos o válvulas, cuando se tenga la seguridad de que esta es adecuada para la presión de prueba que se va a aplicar.

Se constata que la línea esté provista de válvulas que servirán como venteos para liberar la presión del sistema.

Las tuberías deben estar adecuadamente soportadas, si se requiere se puede adicionar soportes temporales para la ejecución de la prueba, adicional a esto se instalará un manómetro a la descarga del compresor para verificar cuando se ha alcanzado la presión de prueba especificada.

En la prueba de presión hidrostática, el fluido a ser usado es agua, en caso de no ser aplicable debido a los efectos negativos que puede tener sobre la tubería de procesos, se deberá optar por otro líquido, no tóxico, y en la medida de lo posible no inflamable (si el fluido a

ser usado es inflamable, su punto de inflamación deberá estar al menos a 49°C).

La presión de la prueba hidrostática, en cualquier punto de una tubería metálica, será:

$$P_t = 1.5P_d \quad [1]$$

La prueba de presión neumática, es una alternativa cuando no se permite tener humedad o un agente corrosivo en el sistema a ser probado. El medio para la prueba neumática a ser usado es aire, en caso de que el uso de este no sea aplicable, se puede seleccionar un gas no tóxico y no inflamable.

La presión de la prueba neumática de una tubería metálica, se indica en la siguiente ecuación:

$$P_t = 1.1 P_d \quad [1]$$

Es necesario mantener registros de cada sistema de tuberías que es sometido a pruebas de presión, incluyendo los siguientes datos: fecha de la prueba, identificación del sistema de tubería, fluido de prueba, presión de la prueba, tiempo de ejecución de la prueba.

La limpieza de los sistemas de tuberías tiene como objetivo la protección de los componentes de las unidades Turbo - Generador, la limpieza interna de la limpieza de tubería se la realiza como paso previo a las pruebas para la puesta en marcha de las unidades de generación.

Los circuitos y límites de limpieza se definen en base a los medios a ser utilizados durante la limpieza, considerando la continuidad del flujo, evitando ramales sin salida o bolsas de acumulación.

En el lugar de los equipos que se retiran, se colocan accesorios como bridas ciegas o interconexiones con empaques provisionales.

Una vez finalizada la prueba de presión de los sistemas de tubería, lentamente se procede a reducir la presión del sistema, se retiran los discos y bridas ciegas existentes y se deja libre la línea para la operación de soplado. Si existen válvulas en los extremos, éstas se abren para facilitar la limpieza.

Los métodos de limpieza dependen del tipo de fluido que circulará durante la operación normal del sistema de tubería, debido a las características de las líneas de proceso de la central, se seleccionan sistemas de limpieza por soplado, y por recirculación.

El Soplado se ejecuta una vez terminada la prueba de presión, removiendo todo el material extraño del interior.

La operación de soplado consiste en inyectar aire o vapor a presión dentro de la línea, lo que permite el transporte y remoción de suciedad, limalla y viruta que puede permanecer en el interior de la tubería, dejando el sistema libre para una operación de limpieza más profunda.

Es necesario realizar un lavado posterior al soplado de las tuberías con el producto que va a circular por ellas o un producto afín, para obtener un recubrimiento de la pared interior del tubo y evitar una posterior oxidación.

Después de la preparación y conexión de las líneas temporales, se procede a la conexión a la bomba y

llenado de las líneas y del tanque provisional; se deberá seleccionar una bomba que permite obtener un flujo turbulento satisfactorio, el flujo debe alcanzar un número de Reynolds de 3000 o mayor para garantizar flujo turbulento.

La circulación del fluido de limpieza se mantiene por un tiempo de 1 hora, momento en el cual se inspecciona el filtro, luego de esto cada hora se revisará el mismo, cambiando gradualmente el número de la malla, de 100 a 200, y luego a 300. Cuando no se encuentren partículas en la malla del filtro se detiene la circulación y se drena el sistema.

Una vez concluidos los procesos para la limpieza se procede a retirar los accesorios, materiales y equipos temporales, a continuación se instalan los equipos y accesorios definitivos y se inspecciona el circuito en base a los planos P & ID e isométricos.

4.3. Pruebas sobre sistemas de protección superficial

La altura del perfil de la superficie ha demostrado ser un factor en el desempeño de diversos revestimientos aplicados a acero, el perfil de anclaje debe ser medido antes de la aplicación de revestimiento para asegurar que cumple con los requisitos especificados para un determinado sistema de pintura. Los métodos de verificación [9] aplicables consisten en la comparación visual de la superficie con otras superficies estándares preparadas con varias profundidades de perfil, uso de un micrómetro para la obtención de la media de las mediciones tomadas, y el uso de una cinta replica plástica que es presionada contra la superficie formando una imagen invertida del perfil, la máxima medida entre pico y valle en esta imagen se mide con un micrómetro.

Estos métodos son aplicables sobre cualquier superficie metálica que esté libre de interferencia.

Durante la aplicación del sistema de protección superficial se recomienda una medición de espesores de película húmeda mediante el uso de galgas de metal rígidas con muescas, estas mediciones no son sensibles ni precisas, pero son útiles ya que existe una relación directa entre el espesor de película seca y espesor de película húmeda, determinada por el volumen de volátiles en el recubrimiento aplicado.

Para la medición de espesor de película seca se plantea el uso de medidores magnéticos. Los tipos de instrumentos para esta medición consisten en dispositivos pull-off y dispositivos de presión constante.

Se debe asegurar la confiabilidad de las lecturas realizando una prueba de verificación del instrumento de medición periódicamente, tanto antes o después de lecturas críticas.

Ciertas características de las superficies afectan la precisión de la medición, estas incluyen: rugosidad en la superficie del sustrato, perfil del sistema de protección superficial, espesor del sustrato, formas

complejas de la superficie, aire atrapado entre la película y el sustrato, distorsión debido a condiciones ambientales, inconsistencia en el espesor de la película debido a la presión ejercida por el instrumento

El número de mediciones de espesor de pintura requeridas para caracterizar una superficie [15] consiste de 5 mediciones separadas (las cuales son el promedio de un mínimo de tres (3) lecturas puntuales tomadas dentro de un círculo de diámetro 40 mm (1.5 in)), espaciadas aleatoriamente en un área de 10 m² (100 ft²), las 5 mediciones se realizan sobre la superficie de 10 m² (100 ft²).

El promedio de las mediciones tomadas en un área de 10 m² (100 ft²) deberá cumplir con el espesor especificado, las lecturas puntuales para una medición no serán menores al 80% del mínimo espesor de recubrimiento especificado. En caso de que el promedio del área cumple o excede los requisitos de espesor mínimo, pero una lectura puntual es menor al 80% del espesor, se deben tomar lecturas adicionales para aislar el área no conforme [15].

Debido a que el sustrato y la preparación de la superficie (o falta de ella) tiene un efecto drástico en la adherencia de los recubrimientos, se requiere establecer métodos para evaluar la adherencia de un revestimiento a diferentes sustratos. En sistemas de pintura de varias capas, si la falla ocurre entre capas, no se puede determinar la adherencia del sistema al sustrato. Esta práctica se puede ejecutar acorde a dos procedimientos [7]: método A o corte en forma de X o método B o patrón de 6 u 11 cortes en forma de reja; ambos métodos se ejecutan sobre la película, la adherencia se evalúa cualitativamente en una escala de 0 a 5. El método A se recomienda principalmente para el sitio de trabajo mientras que el método B es adecuado para uso en laboratorio; además el método de prueba B no se considera apropiado para espesores de película mayores a 125µm (5 mills).

El método A consiste en realizar dos cortes en la película, cada uno cercano a los 40 mm (1.5 in) de longitud, que se interceptan en su centro formando un ángulo menor entre 30° y 45°, sobre un área seca y limpia, libre de manchas, e imperfecciones superficiales, se debe usar la regla de metal para asegurar el corte hasta el sustrato en un solo movimiento constante; se debe tomar la precaución de inspeccionar el corte para garantizar que se ha penetrado hasta el sustrato.

Antes de aplicar la cinta adhesiva, se debe remover y descartar dos vueltas del rollo, se retira una longitud adicional de 75 mm (3 in) de longitud y colocar el centro de esta porción de cinta sobre la intersección de los cortes en la misma dirección de los ángulos agudos, luego suavemente colocar la cinta sobre el corte y frotar suavemente con el objeto romo de caucho (de preferencia usar un borrador de goma). Luego remover la cinta de una manera rápida para inspeccionar el corte en búsqueda de película no adherida, la adherencia se califica acorde a la tabla 2.

Tabla 2: Resultados del ensayos de adherencia método a

Escala cualitativa	Descripción
5A	No presenta remoción de película
4A	Presenta remoción de película en las incisiones o en su intersección
3A	Remoción a lo largo de las incisiones de hasta 1.6 mm (1/16")
2A	Remoción a lo largo de las incisiones de hasta 3.2 mm (1/8")
1A	Remoción de la mayoría del área de la X bajo la cinta
0A	Remoción de la película mas allá del área de la X

Este ensayo se repite en al menos dos locaciones adicionales por cada superficie a ser probada, en largas superficies, realizar suficientes ensayos para caracterizar la superficie completa, se recomienda en ese caso tomar en consideración cambios ambientales durante la aplicación, aplicación en diferentes turnos.

5. Conclusiones

Se ha preparado un plan general de aseguramiento de calidad para la ejecución del montaje, inspecciones y pruebas de sistemas de tuberías, el cual conduce a un trabajo exitoso, la integridad de los sistemas y la generación de una menor cantidad de no conformidades durante el desarrollo.

Se han identificado los puntos de inspección para la ejecución de los trabajos basados en códigos de construcción aplicables, incluyendo el método de prueba, y describiendo de manera precisa los resultados esperados de las pruebas ejecutadas.

La inspección visual es el primer método de inspección y es usada ampliamente durante la ejecución de un trabajo, siendo esta de simple ejecución y manteniendo un bajo costo al proyecto, permitiendo el rechazo de elementos fuera de especificación previo a la ejecución de ensayos adicionales de mayor costo.

La aplicación del código ASME BPV sección IX introduce los requerimientos para calificación de procedimientos de soldadura, así como permite la aplicación de procedimientos de soldadura estándares acorde a su apéndice E; además de asentar los criterios para calificación del desempeño de soldadores, mediante el cual se busca garantizar la ejecución de soldadura sin fallas al seguir los lineamientos de una especificación calificada o estándar; siempre y cuando no se altere una variable esencial del procedimiento.

Los códigos ASTM establecen la estandarización de prácticas, métodos y guías que aseguran la conformidad de un producto a una especificación, sea este un material o proceso, durante la etapa de fabricación, montaje o pruebas.

6. Recomendaciones

Como paso previo al inicio de un trabajo se debe priorizar la obtención de los certificados de fabrica MTR, que muestran que se han realizado todas las pruebas y ensayos mandatorios sobre un material, los cuales aseguran la conformidad de un material con su especificación ASTM aplicable.

Se deben seguir las observaciones respecto a la realización de trabajos en condiciones ambientales adversas, sobre todo para la ejecución de trabajos de soldadura, limpieza de superficies por chorro abrasivo y aplicación de sistemas de protección superficial, ya que factores como humedad, polvo, viento o lluvia son muy perjudiciales y conducirán a un resultado fallido de una inspección y a un rechazo del trabajo ejecutado

La inspección mediante líquidos penetrantes debe realizarse en sitios que disponga de una buena ventilación, puesto que los productos que se utilizan son altamente volátiles e inflamables.

Para la ejecución de inspecciones radiográficas se debe determinar la hora de menor presencia del personal dentro del proyecto, o desalojar al personal a una distancia segura del punto de trabajo y así minimizar la posibilidad de exposición a radiaciones ionizantes.

7. Bibliografía

- [1] ANSI/ASME, B31.3-2006, PROCESS PIPING, New York-USA, Mayo 2007
- [2] ASME, Boiler and Pressure Vessel Code II-2003, MATERIALS PART C SPECIFICATIONS FOR WELDING RODS, ELECTRODES AND FILLER METALS, New York-USA, Julio 2004
- [3] ASME, Boiler and Pressure Vessel Code V-2000, NONDESTRUCTIVE EXAMINATION, New York-USA, Julio 2000
- [4] ASME, Boiler and Pressure Vessel Code IX-2010, QUALIFICATION STANDARD FOR WELDING AND BRAZING PROCEDURES, WELDERS, BRAZERS, AND WELDING AND BRAZING OPERATORS, New York-USA, Julio 2010
- [5] ASTM INTERNATIONAL, A 53/A53M-02, Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless, Pensilvania-USA, Noviembre 2002
- [6] ASTM INTERNATIONAL, D 1186-01, Standard Test Methods for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied to a Ferrous Base, Pensilvania-USA, Septiembre 2001
- [7] ASTM INTERNATIONAL, D 3359-02, Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test, Pensilvania-USA, Octubre 2002
- [8] ASTM INTERNATIONAL, D 4414-95 Standard Practice for Measurement of Wet Film Thickness by Notch Gages, Pensilvania-USA, Enero 1996
- [9] ASTM INTERNATIONAL, D 4417-93 Standard Test Methods for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel, Pensilvania-USA, Julio 1993
- [10] ASTM INTERNATIONAL, E 747-04 Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology, Pensilvania-USA, Febrero 2004
- [11] ASTM INTERNATIONAL, E 1032-01 Standard Test Method for Radiographic Examination of Weldments, Pensilvania-USA, Agosto 2001
- [12] AWS B2.1-1-207- 96 (R2007) Standard Welding Procedure Specification (SWPS) for Gas Tungsten Arc Welding of Carbon Steel (M-1/P-1/S-1, Group 1 or 2), 1/8 through 1 1/2 inch Thick, ER70S-2, As-Welded or PWHT Condition, Primarily Pipe Applications, Florida-USA, Enero 2007
- [13] AWS B2.1-1-209 -96 (R2007) Standard Welding Procedure Specification (SWPS) for Gas Tungsten Arc Welding followed by Shielded Metal Arc Welding of Carbon Steel (M-1/P-1/S-1, Group 1 or 2), 1/8 through 1 1/2 inch Thick, ER70S-2 and E7018, As-Welded or PWHT Condition, Primarily Pipe Applications, Florida-USA, Enero 2007
- [14] SSPC PAINT APPLICATION SPECIFICATION NO. 1 Shop, Field and Maintenance Painting, Pensilvania -USA, Agosto 1991
- [15] SSPC PAINT APPLICATION SPECIFICATION NO. 2 Measurement of Dry Coating Thickness With Magnetic Gages, Pensilvania-USA, Junio 1996
- [16] SSPC SURFACE PREPARATION SPECIFICATION NO. 1 Solvent Cleaning, Pensilvania-USA, Septiembre 2000
- [17] SSPC SURFACE PREPARATION SPECIFICATION NO. 3 Power Tool Cleaning, Pensilvania-USA, Septiembre 2000
- [18] SSPC SURFACE PREPARATION SPECIFICATION NO. 10, Near-White Blast Cleaning, Pensilvania-USA, Septiembre 2000