ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO DE SOLDADURA

Instructor
Elkin medellín

Juan segundo polo Jiménez
1.051.829.970

Sena regional Córdoba centro de

comercio industria y turismo.

10/05/2022

CONTENIDO

CONTENIDO
TABLAS
2. ANTECEDENTES
2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA
3. JUSTIFICACIÓN
4. OBJETIVOS
  4.1 OBJETIVO GENERAL
  4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS
5. MARCOS REFERENCIALES
  5.1 MARCO TEÓRICO
    5.1.1 TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS
    5.1.2 CRUCES SUBFLUVIALES
    5.1.3 PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA (PHD)
    5.1.4 GRÚAS DE IZAJE
    5.1.5 ACCESORIOS DE SOPORTERIA
  5.2 CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA
  5.3 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)
    5.3.1 QUÉ CONTIENE UN WPS
  5.4 REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR)
    5.4.1 SECUENCIA DE UNA CALIFICACIÓN
  5.5 ENSAYOS MECÁNICOS
    5.5.1 ENSAYO TRACCIÓN
    5.5.2 ENSAYO DOBLEZ
    5.5.3 ENSAYO DUREZA
    5.5.4 ENSAYO DE TENACIDAD
  5.6 MATERIAL DE TUBERIA PARA TRANSPORTES DE HIDROCARBUROS 23 5.6.1
    ACERO API 5L X70 PSL- 2

ANEXOS

ANEXO 1. WPS Propuesto
ANEXO 2. PQR Obtenido
ANEXO 3. Reporte de resultados de ensayos West Arco
ANEXO 4. Certificado de calidad de la tubería
ANEXO 5. Plano del trazado del río Nuevo Presidente

INTRODUCCIÓN

Todos los días se instalan incontables kilómetros de tuberías de acero en todo el mundo para los más variados usos civiles e industriales. Forman redes reales comparables a un sistema de redes de carreteras, que no son tan evidentes, sin duda alguna, mucho más complejas y transportar líquidos que se han vuelto esenciales para nosotros. La norma API 1104 tiene requerimientos referidos a Soldaduras de Oleoductos de acero al carbono y baja aleación, usadas en la compresión, bombeo, transmisión y distribución de petróleo y derivados, gas, dióxido de carbono y nitrógeno tanto en la Construcción como en el Mantenimiento de líneas en servicio, incluyendo materiales utilizados, procesos de soldadura, calificaciones, Requisitos de construcción, Ensayos no destructivos, defectos y reparaciones admisibles en mantenimiento.

El objetivo es desarrollar la normatividad técnica, elaborar y calificar los procedimientos de soldadura bajo los requerimientos de API 1104; un procedimiento especifico de soldadura (WPS), soportado con una calificación (PQR), lo cual al aplicar el proceso shield metal arc welding (SMAW) se garantice una soldadura de alta calidad a las solicitaciones de construcción, instalación, montajes complejos y de servicio, que contempla la técnica de perforación horizontal dirigida, con el fin de que las instalaciones operen de manera eficiente, segura y que se manifieste en la preservación de vidas humanas, medio ambiente e instalaciones.

Consecuente con lo antes descrito, el presente documento inicialmente registra las características operativas de la tubería y su correlación con la normatividad de diseño y preparación de juntas, construcción de los ductos destinados al transporte de hidrocarburos, a fin de establecer en la requisición para la compra de la tubería, las características normativas y la ingeniería de diseño resultante, así como requisitos adicionales de inspección y pruebas.

2. ANTECEDENTES

La perforación horizontal dirigida se está convirtiendo en una técnica cada vez más popular para la instalación de tuberías en entornos de urbanizaciones o en lugares donde es difícil la excavación de zanjas, como debajo de los ríos o los ferrocarriles. Esta técnica utiliza poco fondo de pozo para crear el agujero, antes de instalar la tubería se amplía con escariadores de respaldo, esto permitirá asegurar un excelente trabajo. El control de la trayectoria de la perforación es fundamental para el éxito de muchas instalaciones de perforación horizontal dirigida (PHD), y la posible incapacidad para mantener ese control posicional es un factor que impide la adopción generalizada de esta técnica en lugar de los métodos tradicionales a cielo abierto. Dos tipos de broca se utilizan comúnmente en PHD; conformado con poco chorro de corte y sobre montadas sub-curvadas; accionados por motores de barro, siendo el primero utilizado en débiles condiciones del terreno y este último en las formaciones más fuertes. Las unidades se dividen en secciones de trayectoria de perforación, perforado giratorio y deslizante estos son investigados por separado. La práctica de perforación, equipos de perforación, la longitud de la unidad y la geología en el que se está estableciendo el orificio tendrá un efecto sobre la capacidad de controlar la posición de la broca de perforación. (Royal, Riggall, T.J.Chapman,2010).

La consideración de las fuerzas de tracción, es un paso importante en el éxito del diseño de la instalación por perforación horizontal dirigida. La estimación de la tensión axial distribuida a lo largo de la tubería es importante para la predicción de su rendimiento a largo plazo. Este trabajo presenta los resultados de una investigación paramétrica del efecto de diferentes parámetros de instalación a corto y largo plazo de la responsabilidad de la nueva tubería. La investigación se llevó a cabo utilizando el procedimiento PHD, para el desarrollo del análisis de tuberías de polímero y acero instalados. Los resultados muestran que los esfuerzos y las tensiones continúan cambiando a lo largo de la tubería y de su vida de servicio.

Algunos parámetros de instalación tienen efectos significativos sobre las cargas de instalación a corto plazo, así como los esfuerzos axiales a largo plazo y potencialmente influyen en la vida útil esperada. El estudio demuestra que la mitad de la tensión axial máxima a corto plazo durante la instalación se puede utilizar como una medida conservadora de tensión axial a largo plazo. Estimaciones menos conservadoras se pueden obtener utilizando nuevos procedimiento de cálculo de los autores. (Chehab, Abdul G.- Moore, Ian. 2010).

Los autores Rogers y Chapman, realizaron una investigación sobre las fuerzas de tensión asociadas a la larga distancia de instalación con PHD de diferentes diámetros de tubería utilizando "Pipe-force" modelo 2005. Los resultados del estudio sugieren que si la creación de la trayectoria de perforación puede ser controlado adecuadamente, entonces, es teóricamente posible que las tuberías de 600 mm de diámetro podrían ser instalados sobre la distancia máxima considerada en este proyecto (10 km), utilizando las plataformas de perforación convencionales. Sin embargo, si la trayectoria de perforación se desvía de la línea y del nivel deseado, el colapso del pozo parcial ocurre, la fuerza de tensión requerida para instalar la tubería aumentaría a un nivel que ponga en peligro la instalación con equipo disponible actualmente. (Rogers, Chapman, Royal, Polak. 2009)

Se presenta una metodología para obtener el comportamiento eléctrico de los equipos de soldadura por arco. El método se basa en los fundamentos de arco eléctrico en los procesos de soldadura SMAW y GMAW. Para el primero, los diferentes puntos de arco se consiguen mediante la práctica de varias longitudes de arco. Para el proceso MIG, diferentes longitudes de arco se hacen cambiando la velocidad del alambre. Corriente de arco y la tensión se miden para la diferente longitud de arco en ambos casos. Por último, un equipo de GTAW se ha utilizado para obtener las características de arco eléctrico en función a la longitud de arco. Se han hecho diferentes consideraciones acerca de los principios térmicos y eléctricos relacionadas con el comportamiento de arco. Desde el punto de vista

didáctico, la metodología descrita y su aplicación a equipos SMAW y GMAW han llevado a cabo, que los estudiantes de ingeniería mecánica deben ser capaces de diseñar y seleccionar el proceso de soldadura adecuada para desarrollar un proyecto específico (Miguel, Martínez, Manjabacas, Coello, Calatayud, 2009)

La influencia de la figuración inducida en la zona afectada por el calor (ZAC) después de la soldadura y ablandamiento por hidrógeno en estos aceros. Los aceros templado y revenido (Q & T) son ampliamente utilizados en la construcción de vehículos militares debido a su alta relación de resistencia a peso y alta dureza. El uso de (ASS) consumibles de acero inoxidable austenítico era el único remedio para soldar acero debido a la mayor solubilidad de hidrógeno en fase austenítica. Estudios recientes han demostrado que el alto acero níquel (SNP) y bajo hidrógeno ferrítico (LHF) consumibles de acero, se pueden utilizar para soldar aceros de Q & T, que pueden dar niveles de hidrógeno muy bajos en los depósitos de soldadura. Han intentado realizar estudios para el efecto de los consumibles de soldadura en las propiedades de tracción e impacto de alta resistencia en las articulaciones de acero Q & T. Tres consumibles diferentes, a saber, ASS, acero LHF y SNP se han utilizado para fabricar las articulaciones por proceso de soldadura SMAW. En las articulaciones fabricadas están utilizado electrodos de acero LHF mostraron propiedades de tracción transversales superiores que otras articulaciones. Las juntas fabricadas utilizando HNS electrodos exhiben mejores propiedades de impacto que otras. Las juntas fabricadas por electrodos de acero LHF mostraron menor grado de ablandamiento en la HAZ, mientras que las articulaciones HNS exhibieron la ZAC máximo ablandamiento debido a la diferencia en el ciclo térmico de soldadura. (Magudeeswaran, Balasubramanian, Balasubramanian, Reddy, Madhusudhan. 2008)

2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El impacto ambiental que genera la producción de hidrocarburos a nivel mundial, ha llevado al sector petrolero a optar por alternativas preventivas en cuanto a la minimización de los impactos asociados con la explotación, transporte y refinamiento del petróleo.

Teniendo en conocimiento que gran parte del petróleo extraído y procesado se transporta por Oleoducto y Poliducto respectivamente; actualmente las fuentes hídricas por donde hay cruce de líneas de tuberías a cielo abierto están en constante peligro, puesto que están expuestas atentados y/o acciones que podrían resultar en derrames de crudo. La innovación en la construcción y montaje de tuberías, ha traído al país una nueva técnica de perforación horizontal dirigida, donde ya no es necesario afectar los cuerpos de agua, puesto que dicha actividad, permite cruzar a través de un túnel por debajo de éstas riquezas naturales de largas distancias y así mismo instalar la tubería, reduciendo los riesgos de contaminación y vertimientos.

En Montecz S.A. no existen procedimientos específicos de soldadura para la elaboración de la lingada de tubería que se deba instalar bajo esta técnica, debido que es una práctica innovadora en el país y que va tener diferentes tipos de solicitaciones, las cuales estarán sometidas en la línea de la tubería.
Analizando esta problemática, este proyecto tiene como finalidad desarrollar un procedimiento específico de soldadura para llevar a cabo una unión soldada que cumpla con todos los requerimientos mecánicos de éste tipo de solicitación en el campo de la técnica de cruce subfluvial por perforación horizontal dirigida.

3. JUSTIFICACIÓN

En el sector de hidrocarburos, la búsqueda de la seguridad, el mejoramiento continuo y la preservación del medio ambiente, cada día es más fuerte en el mundo, tratando de brindar desarrollo tecnológico y ofrecer un mejor servicio con calidad y garantía. En cuanto a la construcción de poliductos, la exposición de riesgos asociados con derrames de hidrocarburos en cuerpos de agua, comunidades y reservas naturales, ha traído al país una técnica que permite minimizar dichos aspectos que pueden llegar a causar catástrofes ambientales. Una de estas técnicas es la perforación horizontal dirigida, la cual es nueva en Colombia y que solo es ofrecida por multinacionales extranjeras. Dentro de su visión empresarial, Montecz S.A. busca la innovación tecnológica y a partir del año 2013 inició con equipos propios la implementación de dicha técnica, trayendo grandes beneficios en cuanto a la calidad de sus trabajos y la preferencia en el mercado local.

Para las empresas contratistas en el sector de hidrocarburos es de vital importancia elaborar y calificar los procedimientos de soldadura bajo API 1104, para la construcción de poliductos ya que es una exigencia contractual con los clientes. Teniendo en cuenta que la técnica de perforación horizontal dirigida contempla unas solicitaciones de servicio, instalación y montajes complejos, distintos a la construcción de las líneas regulares; es fundamental diseñar las uniones soldadas bajo estos nuevos criterios.

En consecuencia este proyecto busca desarrollar y conceder a Montecz S.A. un procedimiento especifico de soldadura (WPS), soportado con una calificación (PQR), para que asegure el cumplimiento de estas nuevas solicitaciones en las juntas soldadas de los tramos de tubería que deben ser instalados bajo la técnica de perforación horizontal dirigida.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un procedimiento específico de soldadura (WPS) y soporte calificativo (PQR), en unión de juntas a tope con ranura en V, en tuberías de acero de bajo carbono para la construcción de líneas de transporte de hidrocarburos, que será instalada bajo la técnica de perforación horizontal dirigida para la Empresa Montecz S.A.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer las condiciones de fabricación, montaje y operación de poliductos bajo la técnica de perforación horizontal dirigida (PHD) y su incidencia en las uniones soldadas que lo conforman.

- Establecer los valores para las variables esenciales, suplementarias y no esenciales según Estándar API 1104, para el proceso de soldadura en este tipo de solicitación de uniones soldadas.

- Definir las condiciones de la calificación del procedimiento específico de soldadura (PQR) de acuerdo a lo establecido en el Estándar API 1104.

- Ejecutar la calificación, analizar y validar los resultados obtenidos.

5. MARCOS REFERENCIALES

5.1 MARCO TEÓRICO

5.1.1 TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS

La cadena del sector hidrocarburos corresponde al conjunto de actividades económicas relacionadas con la exploración, producción, transporte, refinación o procesamiento y comercialización de los recursos naturales no renovables conocidos como hidrocarburos (material orgánico compuesto principalmente por hidrógeno y carbono), dicho conjunto también está conformado por la regulación y administración de estas actividades. El transporte de hidrocarburos dentro de la cadena de producción del petróleo, juega un papel fundamental, debido a que este producto se extrae de sitios donde generalmente no es posible refinar, además de distribuir el producto refinado para los consumidores finales.

5.1.2 CRUCES SUBFLUVIALES

Los cruces subfluviales buscan sortear obstáculos naturales así como cumplir normas ambiéntales, a través de la perforación direccional, se hacen imprescindibles y aplicables tanto para la construcción de líneas de transporte de petróleo, gas natural, petroquímicos, agua, sistemas de Alcantarillado etc.

Los cruces subfluviales tienen el menor impacto ambiental a comparación con cualquier otro método alternativo, la tecnología también ofrece la máxima profundidad de recorrido bajo los obstáculos, en consecuencia, ofrece máxima protección y minimiza costos de mantenimiento, el tráfico del río no es interrumpido, además tienen un programa de ejecución corto y predecible, lo más significativo de los cruces subfluviales es que son menos costosos que otros métodos.

5.1.3 PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA (PHD)

Cruzamiento Direccional por el método de Perforación Horizontal Dirigida es un procedimiento de instalación de ductos que no utiliza zanja, este procedimiento es utilizado para superar obstáculos tales como ríos o arroyos, carreteras o autopistas, drenes o canales, zonas residenciales, vías de ferrocarril, pantanos, propiedades afectadas, etc., Ver Imagen 1. Instalación de tubería bajo técnica PHD, en este caso se utilizara para cruzar el rio Nuevo Presidente.

El Diseño del cruce se supedita a las características de carácter logístico, geotécnico, hidráulico, mecánico, topográfico y geomorfológico, así como a las características mecánicas del equipo y de la tubería a instalar. (McAllister., Seventh Edition)

5.1.4 GRÚAS DE IZAJE

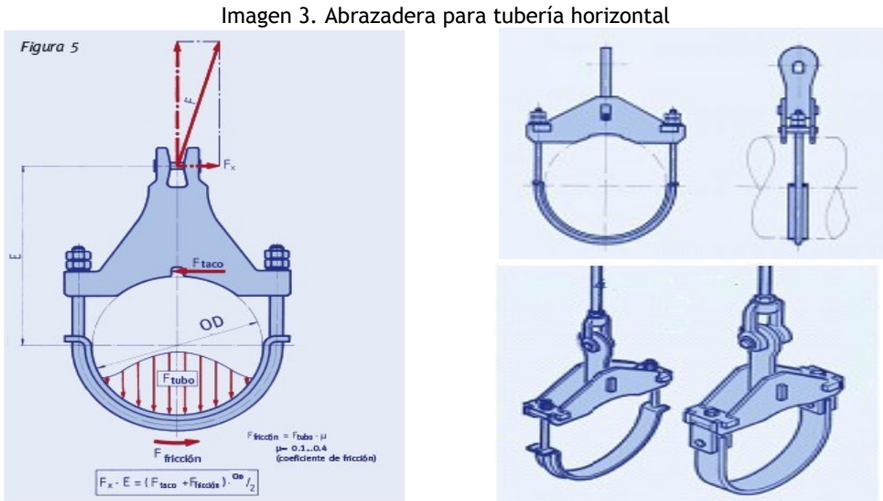
El trabajo con grúas tiene como función principal, el izaje de carga y descarga de material, para ello todo operador debe considerar algunos conceptos y pautas para poder realizar su labor cotidiana respetando las medidas de seguridad estándar.

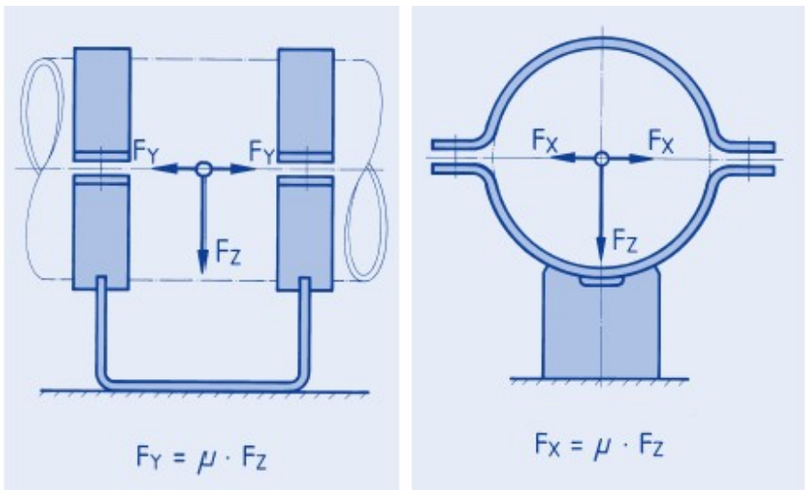
5.1.5 ACCESORIOS DE SOPORTERIA

Los soportes son componentes para sostener la tubería, cuya construcción, en forma y dimensión, así como en los datos de diseño relativos a su capacidad de carga, serán certificados y catalogados, y serán fabricados de acuerdo a unos procedimientos firmemente establecidos, como es la producción en serie.

En sistemas de tuberías de altas temperaturas, las abrazaderas y patines son los componentes de soporte sometidos a mayor tensión y, por tanto, los más vulnerables, debido a los efectos de las altas temperaturas. Sin embargo, las abrazaderas raramente son revisadas, dado que el acceso a ellas suele ser difícil tras la puesta en marcha, debido al aislamiento que las cubre. Ver imágenes 2-3-4.

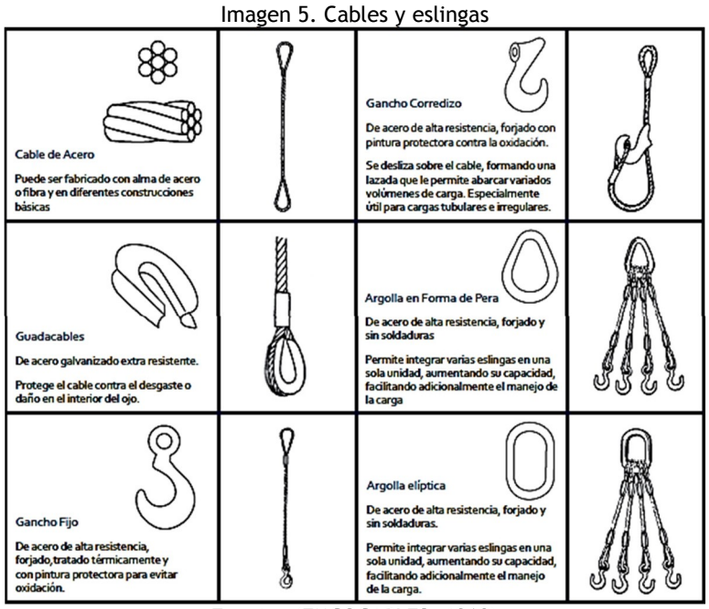
Imagen 3. Abrazadera para tubería horizontal





Fuente: (Lisega, 2010)

Imagen 5. Cables y eslingas



Fuente: (EMCOCABLES, 1960)

5.2 CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Los reportes y certificaciones de calificación en uniones soldadas son declaraciones de las empresas de que los procedimientos de soldadura y el personal han sido probados de acuerdo con el código o especificación apropiada y que han sido encontrados aceptables.

La calificación se debe de referenciar a un documento de soldadura según el servicio (por ejemplo: recipientes a presión, sistemas de transporte de hidrocarburos, etc.), puesto que estos documentos tienen secciones de guías del qué, cuándo, cómo y dónde aplicar, criterios de aceptación y como calificar el WPS y al personal.

La calificación del Procedimiento de soldadura (WPS) tiene en cuenta el diseño de la junta, posición, material base, material de aporte, procesos de soldadura y sus parámetros como: precalentamiento, temperatura entre pases y tratamiento de post- calentamiento. La calificación de los soldadores u operarios de soldadura dependen del WPS establecido. Los resultados de las pruebas de calificación del procedimiento de soldadura son registrados en un documento llamado PQR y es usado como base para respaldar el WPS.

5.3 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

Documento preparado por un departamento técnico o de ingeniería, que suministra las variables de soldadura requeridas para una aplicación específica para asegurar su repetitividad. Es de obligatorio cumplimiento en todas sus partes por el personal de los diferentes departamentos de una empresa involucrados con la soldadura. Los contenidos del WPS deben estar de acuerdo con los requerimientos aplicables de los estándares o códigos de soldadura, las exigencias del contrato y las buenas prácticas de ingeniería. Ver anexo 1. WPS propuesto.

5.3.1 QUÉ CONTIENE UN WPS

- Variables Esenciales: son aquellas en las cuales un cambio en su valor, que se describe en las variables específicas, es considerado que afecta las propiedades mecánicas de la unión y requerirá recalificación del WPS.

- Variables Esenciales Suplementarias: son requeridas para metales para los cuales requieren ensayos de tenacidad a la entalla, y son adicionales a las variables esenciales para cada proceso de soldadura por fusión.
- Variables No Esenciales: son aquellas en las cuales un cambio en su valor, que se describe en las variables específicas, puede ser realizado sin recalificarse de la WPS. Se debe corregir el WPS.
- Información adicional que se considere necesaria para obtener las soldaduras deseadas. Ver Anexo 1. WPS propuesto.

5.4 REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO (PQR)

Documento que valida y respalda el WPS, en el cual se registran los valores reales de las variables del procedimiento de soldadura usado para ejecutar una calificación en una probeta soldada y los valores de los resultados obtenidos de las pruebas y ensayos efectuados a la misma.

5.4.1 SECUENCIA DE UNA CALIFICACIÓN

- WPS.
- Ejecución cupón de prueba.
- Inspección Visual.
- END (cuando se requiera).
- Ubicación, identificación, rayado y estampe de probetas.
- Extracción y mecanizado de probetas.
- Ejecución de los respectivos ensayos destructivos.
- Análisis de resultados (criterios del código o estándar).
- Informe: rechazo o certificaciones (PQR, WPQ)
- WPQ: el propósito es determinar la habilidad para poder depositar metales de soldadura saneadas. Ver Anexo 2. PQR propuesto.

5.5 ENSAYOS MECÁNICOS

Se obtienen datos que se utilizan para propósitos de diseño, aceptación de procesos de unión o como control de materiales. Pueden ser cuantitativos o cualitativos. Un ensayo cuantitativo que suministra información que se puede utilizar para propósitos de diseño. Por ejemplo: Ensayo de Tracción. Un ensayo cualitativo se utiliza para realizar comparaciones o para determinar cumplimiento de especificaciones. Por ejemplo: Charpy, Dureza y Doblez.

5.5.1 ENSAYO TRACCIÓN

Consiste en una prueba que se realiza a los aceros, en donde se les aplica una tensión en sus extremos, hasta llegar al instante de ruptura pasando por las zonas plásticas y elásticas. Suministra la siguiente información:

- Resistencia ultima a la tracción.
- Esfuerzo de fluencia.
- Ductilidad.
- Módulo de elasticidad.
- Tenacidad.
- Normas aplicables ASTM E8, ASTM370 Y AWSB4.0.

5.5.2 ENSAYO DOBLEZ

Consiste en realizar un conformado de una probeta alrededor de un soporte de un determinado diámetro. La ductilidad y la sanidad de una junta soldada se puede determinar con este ensayo y evidencia la habilidad del material a resistir desgarre, como la de detectar la presencia de discontinuidades en la superficie a tracción, la cual es sometida a deformación plástica. Tipos de prueba de doblez: se conocen cuatro tipos de prueba dependiendo de la orientación de la soldadura:

- DDoblez de Raíz
- Doblez de Lado
- Doblez Longitudinal.

5.5.3 ENSAYO DUREZA

Mide la resistencia a la indentación. Está directamente relacionada con la resistencia. Los tres métodos más utilizados son:

- Brinell (ASTM E10)
- Rockwell (ASTM E18)

- Vickers (ASTM E92)
- Microdureza (ASTM E384)

5.5.4 ENSAYO DE TENACIDAD

Es la energía que se suministra a un material hasta hacerlo fallar por fractura. A mayor energía absorbida antes de la falla, el material es más tenaz. Tenacidad a la Entalla, es la medida de la resistencia de un material a fallar en forma frágil o rápida, con la presencia de entallas o fisuras y con la alta velocidad de carga. El principal ensayo es la prueba de Charpy-V (ASTM E23).

5.6 MATERIAL DE TUBERIA PARA TRANSPORTES DE HIDROCARBUROS

ASME B31.4, B31.8, B31.11 Y API1104 contemplan la soldadura de tubería y accesorios que conforman las especificaciones siguientes:

- API especificación 5L
- Especificación de ASTM aplicables

- API 1104 es aplicable a los materiales con propiedades químicas y mecánicas que cumplen con una de las especificaciones mencionadas anteriormente
- API especificación 5L es proveer estándares para tubos de transportes de gas, agua y petróleo. Ver Anexo 4. Certificado de calidad tubería

5.6.1 ACERO API 5L X70 PSL- 2

Es un acero de bajo carbono, tubería adecuada para su uso en el transporte de gas y petróleo. Designaciones de calidad se componen de la letra X, seguidas por los dos primeros dígitos del límite elástico mínimo especificado. Tratamiento térmico es templado y revenidos. PSL 2 tiene requisitos obligatorios para el carbono equivalente, tenacidad a la entalla, máximo limite elástico y máxima resistencia a la tracción. Ver tabla1. Propiedades mecánicas del metal base.

- Certificados de prueba y trazabilidad de la tubería debe cumplir SR15.1 (API5L, 2004)
- El certificado de cumplimiento del fabricante deberá indicar las especificaciones API y la fecha de revisión a la que fue fabricada la tubería
- Diámetro exterior especificado, espesor de pared especificado, grado, proceso de fabricación, y el tipo de tratamiento térmico
- Los análisis químicos muestra el porcentaje en peso de todos los elementos cuyos límites se establecen en la presente certificado; para PSL 2, carbono equivalente y el valor máximo permitido aplicable
- Los datos de prueba para todas las pruebas requeridas de tracción por esta especificación, incluyen esfuerzo a la fluencia, resistencia a la tracción y la elongación
- Resultados de la prueba la tenacidad de fractura (incluyen el tipo de prueba, criterios, tamaño, la ubicación y orientación de la muestra), donde se requiere tal prueba
- Presión de prueba hidrostática mínima y duración

- Para tubería sin costura, para la cual se requiere la inspección no destructiva, el método de inspección empleado (ultrasonidos, electromagnética, o partícula magnética) y el tipo y tamaño de los indicadores de referencia utilizados.
- Para tubería soldada eléctrica y tubería soldada por láser, la temperatura mínima para el tratamiento térmico de la costura de soldadura. Cuando no se realiza un tratamiento térmico, las palabras "Tratamiento Térmico sin costura" se harán constar en el certificado.
- Los resultados de cualquier prueba complementaria requerida por el comprador.

Tabla 1. Propiedades mecánicas del metal base

Grado	Mínimo esfuerzo fluencia		Máximo esfuerzo fluencia		Ultimo (mínimo) Resistencia a la tracción.		Ultimo (máximo) Resistencia a la tracción.		Elongación en 2 in. (50.8mm) Mínimo Porcentaje
	Psi	Mpa	Psi	Mpa	Psi	Mpa	Psi	Mpa	A %
X70	70	483	90	621	82	565	11000	758	27,61

Fuente: (API5L, 2004)

Imagen 6. Estampe de identificación de la tubería



Fuente: (Autores, 2015)

5.7 SOLDADURA

Este proceso que se puede describirse de manera sencilla como la acción de unir dos materiales a través de la coalescencia de los mismos, es un recurso tecnológico que prácticamente aparece en todas industrias y en todas las empresa de

manufactura, presentándose en alguna etapa de fabricación y/o ensamble con una de sus múltiples variaciones.

El grado de desarrollo de esta técnica ha ido guiando el avance de las industrias energéticas, transporte, aeroespacial y electrónica, que no hubieran llegado al estado actual sin investigar, desarrollar y aplicar este proceso, destacado por su versatilidad y economía. El desarrollo tecnológico de la soldadura ha involucrado varios campos del conocimiento, por enunciar algunos: Electrónica, Metalurgia, Física, Control y Métodos numéricos, esto ha convertido la soldadura a través de los años de una actividad artesanal a una disciplina de alta complejidad, o como lo escribe el Ing. Jorge Contreras: "…una actividad multidisciplinaria donde tienen cabida no solo los hombres prácticos sino también quienes buscamos en nuestro trabajo una aventura intelectual…" (ENRIQUE, 1989)

5.7.1 ESTRUCTURAS DE LOS METALES

Los metales solidos tienen una estructura cristalina en la cual los átomos de cada cristal están organizados en un arreglo geométrico específico. Estos arreglos particulares de átomos en los cristales metálicos son los responsable de gran cantidad de las propiedades de estos materiales. Las estructuras cristalinas más comunes en los metales y sus aleaciones son:

Imagen 7. Estructura cristalina de los metales



Fuente: (UTP, 2011)

En estado líquido los átomos de los metales no tienen una organización específica, cuando el metal fundido se acerca a la temperatura de solidificación empiezan a formarse partículas sólidas en los puntos más fríos, llamadas núcleos. La solidificación continúa con el crecimiento de estos núcleos en grandes partículas llamadas granos. Una vez se completa el proceso de solidificación los granos han crecido y se han encontrado unos con otros en limites irregulares. Esta irregularidad de tamaño y forma de granos debidos las diferentes velocidades de enfriamiento y otros factores, como deformaciones mecánicas posteriores, son los responsables de los diferentes comportamientos del solido en diferentes sectores del mismo. (UTP, 2011)

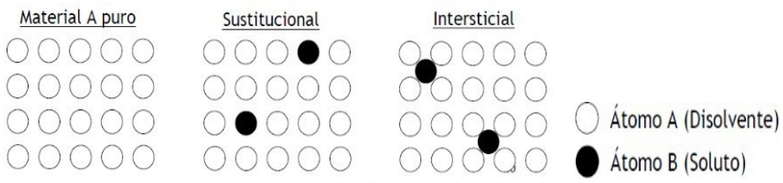
Imagen 8. Tamaños de granos



Fuente: (Cecci, 2000)

En los materiales metálicos más comunes de ingeniería se incluyen cantidades de elementos metálicos y no metálicos en la composición química, los cuales están disueltos en la formación cristalina, lo cual da origen a una aleación. Existen dos formas de como los componentes de una aleación toman posición en la estructura: sustitucional o intersticial, esta forma de posicionamiento está determinada principalmente por el tamaño de los átomos. Esta formación es llamada solución sólida.

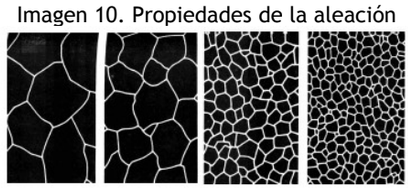
Imagen 9. Posiciones en las estructuras cristalinas



Fuente: (UTP, Solucion Solida, 1990)

El arreglo de átomos (estructura cristalina), la composición química, el tamaño de los granos, la historia mecánica y térmica determinan las propiedades de la aleación. (EASTERLING, 1983)

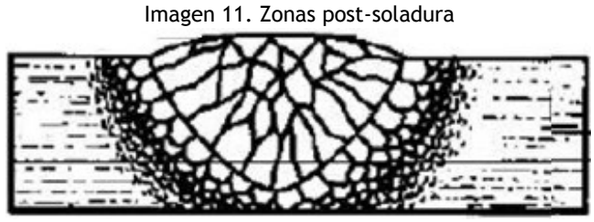
Imagen 10. Propiedades de la aleación



Fuente: (Montero, 1995)

La soldadura describiéndola como un proceso donde hay aporte de calor, fusión, cambio de composición química (aporte de material) y luego enfriamiento y solidificación, es una actividad que afecta la microestructura de las zonas vecinas a su aplicación y genera zonas de diferentes propiedades.

Imagen 11. Zonas post-soladura



Fuente: (Seferian, 1962)

5.7.2 ZONA AFECTADA POR EL CALOR

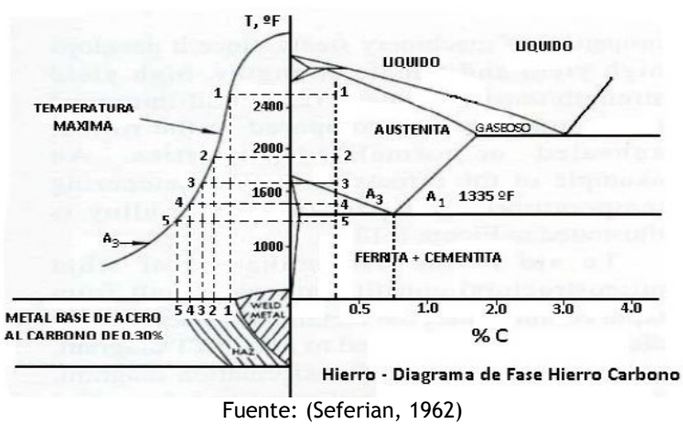
La mayoría de los aceros modernos obtienen sus propiedades mecánicas por intermedio de procesos termo mecánicos como Forja, laminación, extrusión, fundición o Tratamiento Térmico los que realizados correctamente proporcionan una microestructura óptima para soportar las solicitaciones mecánicas.

Cuando a esta estructura se le aplica el ciclo térmico de la soldadura se forman dos zonas perfectamente diferenciadas, metal fundido con o sin presencia de metal de

aporte y zona afectada por el calor (ZAC). Esta zona está afectada estructuralmente sin haber llegado a la fusión.
Estas dos zonas ya no tienen la estructura óptima original del material base y por lo tanto puede considerarse a este cambio estructural un efecto Indeseable del ciclo térmico de soldadura. Esto puede controlarse parcialmente por dos medios:

Modificando el Ciclo Térmico de la Soldadura, actuando sobre las variables del proceso de Soldadura. El Calor Aportado (Heat Input). Su aplicación tiene limitaciones. Por medio del precalentamiento del Material Base, su uso tenderá a reducir la velocidad de enfriamiento en la soldadura y en la ZAC [HAZ] dando una mejora en la ductilidad.
Realizando un ciclo térmico luego de la Soldadura con Temperaturas y velocidades de calentamiento /enfriamiento controlado, a este ciclo se le llama Tratamiento Térmico Post Soldadura. (TTPS) (PWHT), conjuntamente con el precalentamiento es la forma idónea para evitar o corregir los Efectos Indeseables de la Soldadura. (Seferian, 1962). La Imagen 1. Ilustra la relación entre las temperaturas pico mostrado en las diversas regiones de la zona de soldadura y el diagrama de equilibrio carburo hierro – hierro. Como se puede ver, dependiendo de la ubicación del punto dentro o adyacente a la soldadura, pueden producirse diversas estructuras metalúrgicas.

Imagen 12. Diagrama de fase Hierro-Carbono



Fuente: (Seferian, 1962)

5.7.3 SOLDABILIDAD

La soldabilidad de los aceros es inversamente proporcional a una propiedad conocida como la templabilidad, que mide la probabilidad de formar estructuras de alta dureza, como la martensita, durante el proceso de soldadura. La templabilidad del acero depende de su composición química, con mayores cantidades de carbono y de otros elementos de aleación es mayor la templabilidad y por lo tanto una soldabilidad menor. (CARY, 2005). Para poder comparar las soldabilidades de diferentes aleaciones se usa una medida conocida como el Carbono Equivalente CE. Esta medida puede ser calculada de acuerdo con la ecuación 2 del Instituto Internacional de Soldadura, IIW por su sigla en inglés:

Ecuación 1. Carbono Equivalente CE (IIW)

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

Fuente: (IlW, 1967)

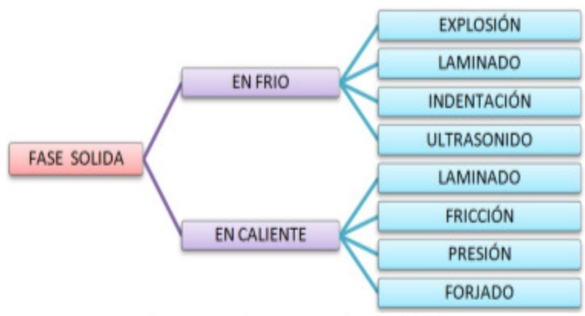
Donde los términos de la ecuación son los porcentajes de cada elemento en la composición química del acero, el efecto de los diferentes elementos de aleación sobre la soldabilidad es ponderado en la ecuación anterior. A medida que se eleva el CE, la soldabilidad es menor, una medida practica donde podemos esperar que no se presentan problemas de soldabilidad en un acero es 0.50%. (PRCI, V6.)

5.7.4 PROCESO DE SOLDADURA

Cada proceso de soldadura ha sido desarrollado para resolver un problema específico o para satisfacer una necesidad especial. Centrado nuestra atención en la soldadura de metales (interés del presente documento) y desde un punto de vista práctico hay dos mecanismos básicos para producir la unión de dos metales: Unión en estado sólido y unión en estado líquido, Unión en estado sólido donde se requiere de la acción de fuerzas externas (impacto, presión) para conseguir la coalescencia de las piezas a soldar. Unión en estado líquido, donde también llamada unión por

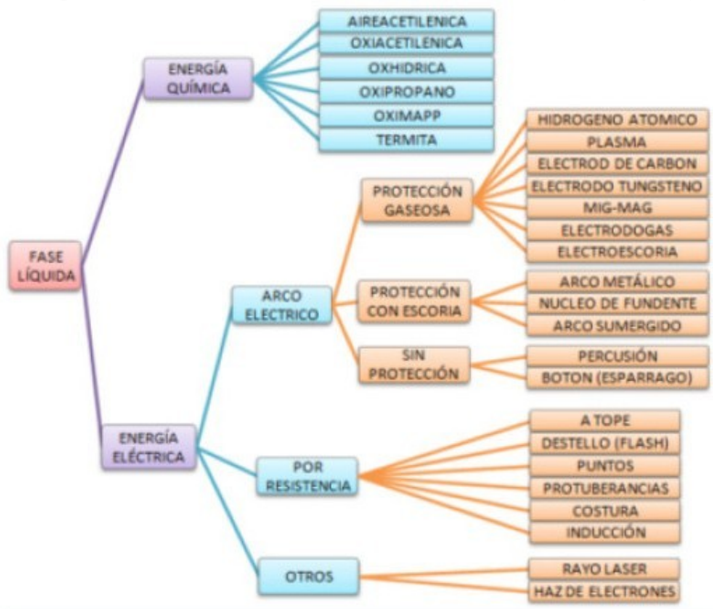
fusión, los materiales que se van a unir o parte de ellos se deben llevar a estado líquido para conseguir su coalescencia, de esta manera no se requiere la acción de fuerzas externas. Los diferentes procesos de soldadura tienen múltiples clasificaciones, por la fase en la cual se realiza el proceso, por el tipo de energía que produce el calor para la fusión, por la protección utilizada, entre otras, los siguientes diagramas muestran de manera resumida una estructura de clasificación practica de los procesos de soldadura.

Imagen 13. Fases de unión de metales



Fuente: (Contreras Cruz, 2000)

Imagen 14. Clasificación de los Procesos de Soldadura (Fase Liquida)



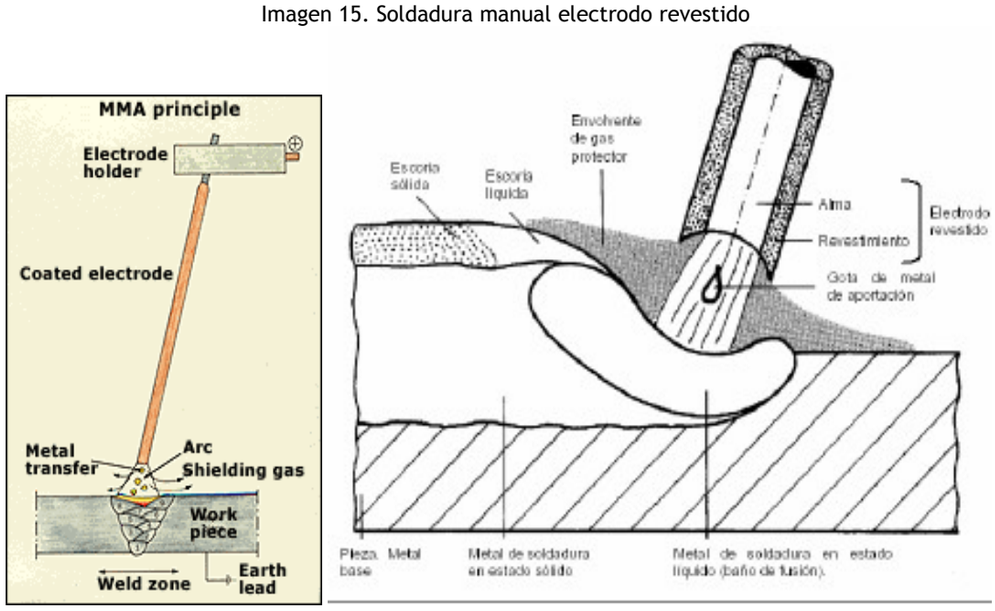
Fuente: (Contreras Cruz, 2000)

5.7.5 PROCESO DE SOLDADURA MANUAL POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW)

El sistema de soldadura Arco Manual, se define como el proceso en que se unen dos metales mediante una fusión localizada, gracias al calor generado por un arco eléctrico entre un electrodo revestido y el metal base que se desea unir. La soldadura al arco se conoce desde fines del siglo pasado. En esa época se utilizaba una varilla metálica descubierta que servía de metal de aporte.

El factor principal que hace de este proceso de soldadura un método tan útil es su simplicidad y, por lo tanto, su bajo precio. A pesar de la gran variedad de procesos de soldadura disponibles, la soldadura con electrodo revestido no ha sido desplazada del mercado. La sencillez hace de ella un procedimiento práctico; todo lo que necesita un soldador para trabajar es una fuente de alimentación, cables, un porta electrodo y electrodos. Sin embargo, aún con todo este tiempo muerto y de preparación, un soldador eficiente puede ser muy productivo. (ESAB, 2015)

Imagen 15. Soldadura manual electrodo revestido



Fuente: (Westarco, 2015)

5.7.6 EQUIPO REQUERIDO

En cualquier proceso para soldadura con arco, el intenso calor requerido para fundir el metal base se produce con un arco eléctrico. Un soldador experto debe tener conocimientos de electricidad para su propia seguridad y a fin de comprender el funcionamiento del equipo para soldar con arco. Aunque la soldadura con arco no es más peligrosa que otros procesos de soldadura, se deben tener algunas precauciones debido a los elevados amperajes que se utilizan y a la radicación que se prenden del arco, entre otras cosas.

Imagen 16. Equipo y conexiones



Fuente: (Metal, 1991)

5.7.7 ELECTRODOS

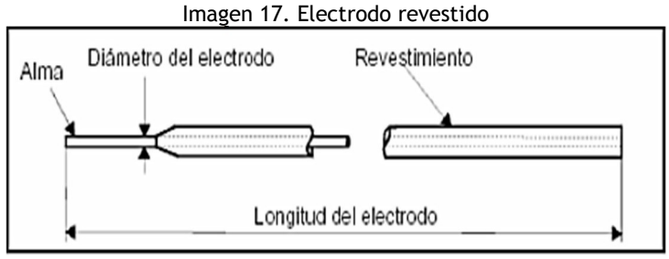
Elemento esencial en la soldadura eléctrica, sirve como conductor de la corriente V como metal de aportación. Pueden ser desnudos o recubiertos. Los electrodos desnudos son varillas de metal, de pequeño diámetro muy poco empleados en soldadura normal por los inconvenientes que presentan, siendo los más destacados:

- Dificultad en el encendido y mantenimiento del arco.
- Cordón irregular de soldadura.
- Imposibilidad de soldar en posiciones que no sean la horizontal.
- Perdida de elementos de aleación por oxidación.

5.7.7.1 ELECTRODO REVESTIDO

En este tipo de electrodos se distinguen una parte metálica o alma y el revestido que la rodea. Este revestimiento tiene entre otras las misiones de facilitar el encendido y darle estabilidad al arco. Además protege el metal fundido de la oxidación y nitruración, protegiendo el baño hasta su total solidificación. Favorece además el revestimiento la formación del cordón y añade elementos necesarios al metal de aportación que no tiene el electrodo. La escoria liquida se airea con las impurezas del baño de fusión y lo transforma en sales que salen a la superficie al solidificarse el cordón. Asegurar un enfriamiento suave de la soldadura, a fin de obtener un manejo comportamiento mecánico de la misma.

Imagen 17. Electrodo revestido



Fuente: (WestArco, 1950)

Los tipos de revestimiento que se pueden encontrar en los electrodos de acero al carbono; se clasifica en función de su composición, como se ha citado anteriormente, ya que esta determinara sus cualidades y aplicaciones, agrupándose y designándose como sigue (según UNE-EN 287-1):

- Acido (A)
- Básico (B)
- Celulósico (c)
- Rutilo (R)
- Rutilo - Acido (RA)
- Rutilo - Básico (RB)
- Rutilo - Celulósico (RC)

- Rutilo Grueso (RR)
- Otros (S)

5.7.7.2 ESPECIFICACIÓN ELECTRODOS DE BAJA ALEACIÓN AWS 5.5

Los electrodos para soldar aceros de baja aleación son calificados por al AWS bajo la especificación AWS 5.5; E1 XX2 X3 X4 – X5:

- E1 Designa que es un electrodo
- XX2 Resistencia mínima a la tracción del metal soldado en 10.000 psi
- X3 Posiciones de Soldadura 0 – Plana y Horizontal 1 – Todas las posiciones
- X4 Designa el tipo de recubrimiento, tipo de corriente, de escoria, penetración, y contenido de polvo de hierro
- X5 Digito y/o letra. Composición química

Los electrodos según esta especificación se codifican según se muestra en la designación anterior. (AWS A5.5/A5.5M, 2006)

5.8 MARCO CONCEPTUAL

5.8.1 DEFINICIONES DE TÉRMINOS

Los términos relacionados con soldaduras usados en este documento, son los definidos en la publicación "AWS A3.0M/A3.0:2010, Términos y Definiciones de Soldadura Estándar".

- WPS: Requerimientos de la Especificación de un Procedimiento de Soldadura
- PQR: Procedure Qualification Record; Registro de Calificación de Procedimiento

- ZAC: Zona afectada por el calor
- DEFECTO: Una imperfección de magnitud suficiente para justificar el rechazo del producto en base a lo establecido en una norma, código y/o estándar.
- ANALISIS COLADA: Es el análisis químico que se reporta de una colada, es la información de un producto del metal.
- FABRICA DE TUBOS: Una empresa, compañía, corporación o planta que fabrica tuberías.
- NORMALIZACION: Es la regulación de un instrumento de inspección no destructiva, con valor de referencia arbitrario.

5.9 MARCO LEGAL

5.9.1 NORMAS, ESTÁNDARES Y CÓDIGOS DE SOLDADURA

En general los códigos, normas y especificaciones son documentos que rigen y regulan actividades industriales. Los documentos que establecen lineamientos para las actividades relacionadas con la industria de la soldadura tienen el propósito de asegurar que solo se producirán bienes soldados seguros y confiables, y que las personas relacionadas con las operaciones de soldadura están calificadas y no estarán expuestas a peligros indebidos ni a condiciones que pudieran resultar dañinas a su salud.

Los códigos, las especificaciones y otros documentos de uso común en la industria tienen diferencias en cuanto a su extensión, alcance, aplicabilidad y propósito. A continuación se describen algunos documentos aplicables a este documento. (INDURA, 2008)

- ASME Código para Tuberías de Presión B31.4-2009: Sistema de Tuberías de Transporte de hidrocarburos líquidos y otros líquidos. Esta sección prescribe requisitos para el diseño, construcción y reparación de tubería que transporta líquidos tales como petróleo crudo, condensados, gasolina natural, líquidos

de gas natural, gas licuado de petróleo, alcohol líquido, amoniaco anhidro líquido y productos derivados del petróleo.

- ASME Código de Calderas y Recipientes a Presión (BPVC), Section IX: Calificación estándar de procedimientos de soldadura, soldadura fuerte y de fusión; y Operadores de Soldadura, soldadura fuerte, y de fusión.Este estándar describen los requerimientos para la calificación de los procedimientos de soldadura y soldadores que se utilizarán en la construcción de tanque y recipientes de presión.

- API 1104-2013: Instituto Americano de Petróleo, Soldadura de Tuberías and facilitaciones relacionadas. Esta norma establece metodologías que permiten obtener soldaduras de alta calidad en tubería empleada en la compresión, bombeo y transmisión de petróleo crudo, productos derivados del petróleo y gases combustibles.

- AWSD1.1/D1.1M:2010; Este código cubre los requisitos de soldadura para cualquier tipo de estructura soldada a partir de los aceros de construcción de carbono y de baja aleación comúnmente utilizados. Cláusulas 1 a 8 constituyen un conjunto de normas para la regulación de la soldadura en la construcción de acero.

- ASTM F1962-11; Guía estándar para el uso de maxi-perforación horizontal dirigida para instalación de tubería de polietileno o conducto bajo obstáculos, incluyendo cruces de ríos. Esta guía describe el diseño, las consideraciones de selección, y los procedimientos de instalación para la colocación de tubería de polietileno o conducto bajo tierra utilizando equipos de perforación horizontal direccional. Las tuberías pueden utilizarse para gas natural, petróleo, líneas de agua, u otro transporte de fluidos.

6. ALCANCE Y LIMITACIÓN

Este trabajo de investigación tiene como esencia principal realizar un procedimiento específico de Soldadura (WPS), para juntas a tope con ranura en V, de espesor de 3/4" y diámetro de 24", en tuberías de acero de bajo carbono para la construcción de líneas de transporte de hidrocarburos, que serán instaladas bajo la técnica de perforación horizontal dirigida, soldadas con proceso Shielded Metal Arc Welding (SMAW), en metal base API 5L X65 PSL- 2, soportado por una calificación (PQR), el procedimiento será calificado según lo especificado en el estándar de soldadura API 1104; con la meta de implementar en adelante, todos los WPS requeridos bajo dicha técnica para los futuros contratos que Montecz S.A. le asignen en el mercado del sector de hidrocarburos. No se realizaran evaluaciones económicas de consumibles de soldadura. Este procedimiento no se calificó para las aplicaciones de tenacidad a la entalla.

7. METODOLOGÍA

En este trabajo se desarrolló un procedimiento específico de soldadura (WPS) con su respectivo soporte calificativo (PQR); con un proceso de soldadura SMAW, aplicado en juntas a tope con ranura en V, para tuberías de acero de bajo carbono, utilizada en la construcción de poliductos y oleoductos, instalados bajo la técnica de perforación horizontal dirigida para la empresa Montecz S.A.

La primera fase tuvo como objeto medir las variables por medio de la lectura directa de características del material base (tubería API 5L), especificación del metal de soldadura (electrodo revestido), temperatura y propiedades mecánicas en la aplicación de procedimientos ya desarrollados.

Seguidamente, se abordó la segunda parte del proyecto, involucrando el establecimiento de las condiciones mecánicas que estará sometido el tramo del oleoducto para este tipo de montaje, se documentaron las características iniciales suministradas por el cliente de Montecz S.A., como diámetros, identificación de la tubería, longitud del tramo a instalar, profundidad de instalación y demás, lo cual permitió registrar características físicas, eléctricas, mecánicas, químicas, entre otras del metal base, propiedades geométricas de la junta, consumibles, tratamientos térmicos basado en el estándar API 1104, se determinó cuáles son las variables esenciales, no esenciales y suplementarias, se definió su relevancia dentro del WPS y se obtuvieron valores reales y eficaces que permitieron entregar un trabajo confiable, brindando garantía de que se pueden obtener beneficios económicos en montaje y operación de oleoductos para Montecz S.A.

Finalmente, basado en API 1104, se establecieron las condiciones de calificación, con el que se ensayó el procedimiento, se ejecutó la calificación y se validaron los resultados obtenidos en las pruebas.

7.1 FASES DE INVESTIGACIÓN

7.1.1 COMPRENSIÓN DE LA TÉCNICA PHD, CONDICIONES DE DISEÑO Y OPERACIÓN

La perforación horizontal direccional abre las posibilidades para que obras como tendido subterráneo de cables de energía o fibra óptica sean posibles, además se ha intentado y logrado con éxito pasar tuberías y cableado debajo de grandes ríos, debajo de carreteras, líneas férreas y pistas de aterrizaje. En este tipo de trabajos se requiere equipo pesado en ambos lados del cruce. Para minimizar costos, el acceso al otro lado del cruce debe ser preparado con la menor distancia posible a un camino principal. A menudo se usa el derecho de vía de la tubería para el acceso.

Imagen 18. Frente de trabajo margen derecho PHD



Fuente: (Sopetrol, 1989)

Descripción:

1. Unidad de equipos
2. Cabina de control de unidad de potencia
3. Tubería de perforación
4. Bomba de agua
5. Tanque de mezcla de lodos
6. Equipo de separación de retazos
7. Bomba de lodos
8. Almacenaje de bentonita
9. Generadores de potencia
10. Almacenamiento de suministros
11. Espacio de oficinas
12. Espacio de oficinas
13. Punto de entrada de lodos contaminado
14. Piscina de sedimentos de desechos de perforación

Se requiere una suficiente longitud de espacio de trabajo para fabricar la tubería a ser instalada en un solo cordón. El ancho debe ser el suficiente para una construcción normal de cualquier línea aunque un espacio de trabajo de 100 pies

de ancho por 150 pies de longitud debería proporcionarse desde punto de salida del mismo. La longitud asegurará que durante el halado, la tubería sea instalada en una sola operación ininterrumpida.

Imagen 19. Frente de trabajo margen izquierdo PHD



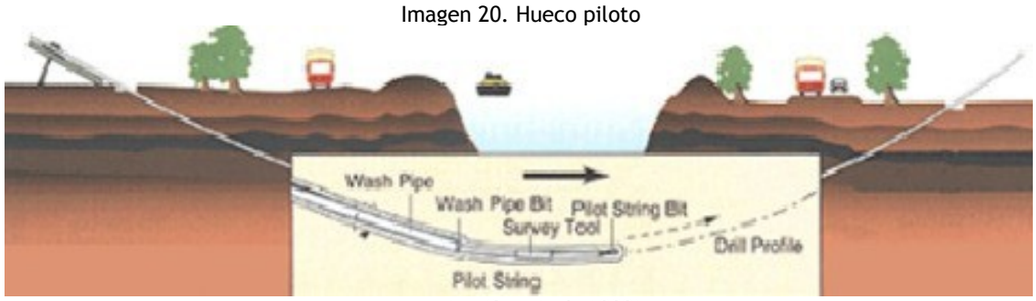
Fuente: (Sopetrol, 1989)

Descripción:

1. Piscina de sedimentos de desecho
2. Piscina de lodos contaminado del punto de salida tubería
3. Rodillos para arrastre de
4. Tubería a ser instalada
5. Equipos de construcción
6. Tubería de perforación
7. Almacenaje de suministros

La técnica consiste en hacer un agujero piloto perforando en un ángulo prescrito con respecto a la horizontal, continúa hacia abajo y a través del obstáculo a lo largo de un perfil de diseño compuesto de rectas tangentes y arcos de radio largos. El control direccional es provocado por una pequeña curvatura en la cadena de perforación un poco detrás de la cabeza cortante.

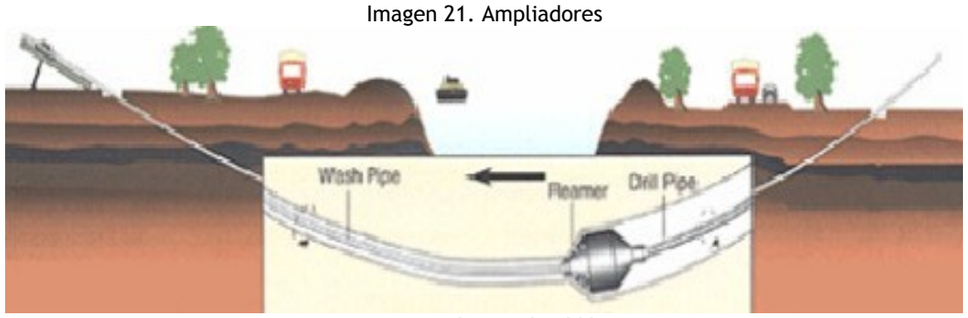
Imagen 20. Hueco piloto



Fuente: (Sopetrol, 1989)

Una vez que el agujero piloto se ha completado, el agujero debe ser agrandado a un diámetro conveniente para el producto de la tubería a ser instalada. Por ejemplo si la tubería a ser instalada es de 36” de diámetro, el agujero debe ser agrandado a un diámetro de 48” o mayor. Esto es hecho por un “pre-escariado” al agujero a sucesivos diámetros más grandes. Generalmente el escariador es vinculado a la cadena del taladro, en la orilla opuesta al equipo de perforación y lo tira hacia atrás dentro del agujero piloto. Se van agregando juntas en la tubería de perforación conforme el escariador regresa al equipo de perforación. Grandes cantidades de lodos de perforación son bombeadas dentro del agujero para mantener la integridad del agujero y vaciar fuera los desechos de la perforación.

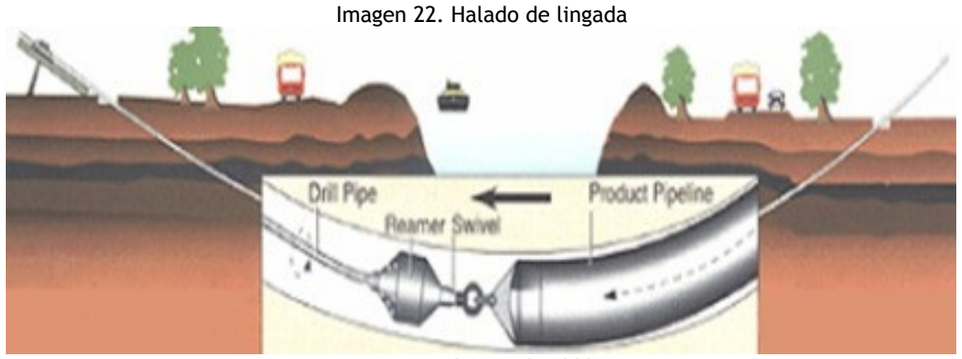
Imagen 21. Ampliadores



Fuente: (Sopetrol, 1989)

Cuando el agujero del taladro se ha agrandado, la tubería a ser instalada se jala a través del agujero. La tubería es prefabricada en la orilla opuesta al equipo de perforación. Un escariador se junta a la cadena del taladro, y a su vez se conecta a la tubería que se va a halar vía un swivel (eslabón giratorio).

Imagen 22. Halado de lingada



Fuente: (Sopetrol, 1989)

7.1.3 PLAN DE PERFORACIÓN RÍO NUEVO PRESIDENTE, NPS 30

El plan de perforación es el resultado del empleo de un software llamado BoreAid. Para obtener el plan de perforación para el cruce del río Nuevo Presidente se tuvieron como base los parámetros mostrados en la tabla 5.

Tabla 2. Plan de perforación

Ángulo de entrada	11,00°
Longitud de Barra	32 ft (6.096 m)
Radio de curvatura mínimo	731.5 m
Cubierta mínima	9,0 m
Topografía de la superficie	Perfil

Fuente: (GEOTECNOLOGÍA, 2014).

El plan de perforación consiste en determinar (resultados):

- El número de barras de perforación. (Un total de 43 barras (32')
- Longitud de la perforación. (Longitud total horizontal 415m)
- Ángulo de entrada y ángulo de salida. (11.0°y 9.0°, respectivamente)

7.1.4 CÁLCULO DE ESFUERZOS

Los esfuerzos generados por las operaciones de instalación y las condiciones de operación se calculan con el software de perforación horizontal dirigida BoreAid, para lo cual se realizó la entrada de datos tubería NPS 30, mostrado en la tabla 7. En la tabla 6, se muestran los porcentajes de esfuerzo admisible según el SMYS (límite de fluencia mínimo especificado para el material de la tubería); de acuerdo a la sección 402.3 de la ASME B31.4.

Tabla 3. Datos para cálculo de esfuerzos

Diámetro exterior	30.0 in
Espesor de pared	0.750 in
Peso lineal	354.183 kg/m
Resistencia a la Tracción	82.0 Ksi
Esfuerzo admisible	70.0 Ksi
Presión de diseño	1480 psi
Radio mínimo para PHD	731.5 m

Fuente: (GEOTECNOLOGÍA, 2014)

Tabla 4. Esfuerzos admisibles

Descripción	Admisible SMYS	Esfuerzo admisible
Esfuerzo cortante	45 %	27.0 ksi
Esfuerzo de flexión	60 %	36.0 ksi
Esfuerzo longitudinal	80 %	48.0 ksi
Esfuerzos combinados	90 %	54.0 ksi

Fuente: (GEOTECNOLOGÍA, 2014)

En consecuencia se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se requiere una fuerza de halado mínima de 742500 lbf (336,9 t).
- La tubería será sometida a un esfuerzo de flexión máximo de 12040 psi, con lo que se obtiene un factor de seguridad de 2,99 a la flexión.
- La tubería en su condición de trabajo más extrema será sometida a un esfuerzo circunferencial máximo de 18800 psi, con lo que se obtiene un factor de seguridad de 1,91 al esfuerzo circunferencial.
- La tubería será sometida a un esfuerzo de tensión longitudinal máximo de 17694 psi. Con lo que se obtiene un factor de seguridad de 2.71 a la tensión longitudinal.
- El esfuerzo cortante máximo es de 15400 psi, con lo que se obtiene un factor de seguridad de 1,75 al esfuerzo cortante.

7.1.5 RESUMEN DE RESULTADOS

En la tabla 7, se presenta el resumen los esfuerzos calculados (stress), tanto para condiciones de instalación, como de operación y la comparación realizada de acuerdo al valor máximo de esfuerzo admisible; el menor factor de seguridad corresponde a 1.5 al esfuerzo circunferencial y a 1,3 al esfuerzo combinado.

Tabla 5. Esfuerzos calculados

INSTALACIÓN				
Esfuerzo	**Valor máximo (psi)**	**Valor admisible (psi)**	**Factor de seguridad**	**Chequeo**
Pull Back Stress	10930	54000	4,94	OK
Bending Stress	12040	36000	2,99	OK
OPERACIÓN				
Esfuerzo	**Valor máximo (psi)**	**Valor admisible (psi)**	**Factor de seguridad**	**Chequeo**
EarthPressure	120	36000	300,0	OK
Hoop Stress	18800	36000	1,91	OK
Bending Stress	12040	36000	2,99	OK
Long. Stress	17694	48000	2,71	OK

Fuente: (GEOTECNOLOGÍA, Software BoreAid,, 2014)

7.1.6 PLAN DE PERFORACIÓN

Para el plan de perforación establecido en el cruce del río Nuevo Presidente se recomienda la secuencia de perforación mostrada en la tabla 8.

Tabla 6. Plan de perforación

Secuencia	Diámetro	Tipo de broca	Tiempo estimado	Agua requerida
Perforación piloto	12”	Rock bits / Modified spade	80 min/barra	13800 gal
Reamer 1	16 in	Barrel / Spiral / Fluted	60 min/barra	10800 gal
Reamer 2	20 in	Barrel / Spiral / Fluted	60 min/barra	13800 gal
Reamer 3	24 in	Barrel / Spiral / Fluted	70 min/barra	16800 gal
Reamer 4	28 in	Barrel / Spiral / Fluted	70 min/barra	20100 gal
Limpieza final	32 in	Barrel / Spiral / Fluted	25 min/ barra	8250 gal
Halado			8 min/barra	2640 gal

Fuente: (GEOTECNOLOGÍA, Software BoreAid,, 2014)

7.1.7 CONCLUSIONES DEL CRITERIO DE DISEÑO

- La construcción del nuevo cruce mediante perforación horizontal dirigida asegura notablemente la integridad y confiabilidad del sistema en el tramo intervenido.
- EL perfil de perforación presenta una geometría alcanzable por la sonda de perforación.
- La distancia horizontal mínima de la perforación es de 415 m.
- El diámetro final de la perforación debe ser mínimo de 42”
- Se requiere una perforadora con capacidad de halado mínimo (Pull back) 742500 lbf (336,9 t).

7.1.8 RECOMENDACIONES DEL CRITERIO DE DISEÑO

- Para la construcción del cruce subfluvial se debe usar tubería API 5L X70 PSL 2, NPS 30, t = 0.750”, recubrimiento FBE DUAL, SMLS.
- Se debe realizar una prueba hidrostática a la lingada de lanzamiento antes del halado a una presión de 2220 psi durante mínimo 4 hr
- Se debe realizar una prueba hidrostática a la totalidad del segmento construido (de tie in 1 a tie in 2) a una presión de 2220 psi mínimo 4 hr
- Se recomienda un equipo de perforación de características iguales o superiores a los siguientes: Vermeer: D750 X 900

7.2 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

El estándar API1104, en las secciones quinta y sexta, describe los requerimientos de información para la calificación de procedimientos de soldadura y soldadores, con el fin, de antes de iniciar la aplicación de la soldadura, se establezca un detallado procedimiento de soldadura (WPS) y un registro de calificación (PQR) demostrando así soldaduras con propiedades mecánicas adecuadas (tales como la

resistencia, ductilidad y dureza). La calidad de las soldaduras se determinara mediante ensayos destructivos. (API1104, 2013).

7.2.1 IDENTIFICACIÓN DEL WPS, DE LA EMPRESA Y DEL RESPONSABLE DEL WPS

El WPS elaborado será identificado por el código MTT-F-150 documento aplicable, propiedad de Montecz y cuyo responsable será el profesional de soldadura y ensayos no destructivos. El documento aplica para soldaduras de tubería de oleoductos que serán instaladas bajo la técnica de perforación horizontal dirigida, el proceso de soldadura utilizado en SMAW (Shielded metal arc welding), el rango de voltaje de alimentación para la operación 23V – 24V, el ciclo de trabajo es de 60% @ 300 amperios, debe trabajar con las salidas de poder estándar de un equipo Moto-soldador Miller Big Blue 400 X CC/CV. Generador accionado por motor diésel, el material base de la tubería es de especificación API 5L X70 PSL 2 SAWL – 30" OD x 0.750" WT 11.71m. A continuación se presenta la composición química y las propiedades mecánicas del metal base.

Tabla 7. Composición química del metal base

C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	Pcm	CE
0,06	0,25	1,51	0,02	0,02	0,22	0,013	0,005	0,00004	0,16	0,36

Fuente: Montecz S.A.

Los valores anteriores son porcentajes máximo de cada elemento en la composición química del acero.

Tabla 8. Propiedades mecánicas del metal base

Orientación Prueba	Esfuerzo Fluencia	Resistencia a la Tracción	Relación Esf/Trac	Elongación Porcentaje	Tracción Soldadura
	MPa	MPa	-	A (%)	MPa
T	525	630	0,83	44	675

Fuente: Montecz S.A.

7.2.2 DIAMETRO EXTERIOR / ESPESOR CALIFICADO

El cambio de grupo del diámetro exterior (OD) especificado a otro, requiere de recalificación. Estos grupos se definen de la siguiente forma:

1) OD especificado menor de 2.375 pulg.
2) OD especificado de 2,375 pulg. Hasta 12.750 pulg.
3) OD especificado mayor que 12.750 pulg.

El OD seleccionado es de 30 pulg., el rango de diámetros que califica es el 3er grupo, mayor que 12.75 pulg. El cambio de grupo del espesor de pared especificado a otro, requiere de recalificación. Estos grupos se definen de la siguiente forma:

1) Espesor de pared tubería especificada, menos de 0,188 pulg.
2) Espesor de pared tubería especificado, de 0,188 pulg. Hasta 0.750 pulg.
3) Espesor de pared de tubería especificada, mayor que 0,750 pulg.

El espesor de pared seleccionado es de 0,75 pulg, el rango de diámetros que califica es el 3er grupo, mayor que 0,750 pulg (19,1mm).

7.2.3 TIPO, CLASIFICACIÓN DE ELECTRDO Y NUMERO DE PASES

- La selección del electrodo se realizó teniendo en cuenta los factores siguientes:
- Identificación del metal base
- Tipo de corriente disponible para la soldadura.
- Posición en la cual debe efectuarse la soldadura.
- Espesor y forma del metal base.
- Diseño de la junta.
- Especificaciones y condiciones de servicio.
- Eficiencia y rapidez requerida en la operación.

Se realizaran 5 pases de soldadura

- En el pase de raíz, el electrodo E8010 – G de clasificación AWS A5.5/A5.5M:2006 ver más detalles en hoja de datos electrodo imagen 23, diámetro 5/32” con un rango de velocidad de avance de 15 a 20 pulg/min en progresión descendente, DC negativo.

- En el pase caliente, el electrodo E9010 – G de clasificación AWS A5.5/A5.5M:2006 ver más detalles en hoja de datos electrodo imagen 24, diámetro 5/32” - 3/16” con un rango de velocidad de avance de 12 a 16 pulg/min en progresión descendente, DC positivo.

- Los pases de relleno y pase de presentación, el electrodo E9010 – G de clasificación AWS A5.5/A5.5M:2006 ver más detalles en hoja de datos electrodo imagen 24, diámetro 3/16” con un rango de velocidad de avance de 6 a 12 pulg/min en progresión descendente, DC positivo.

I

7.2.4 PROGRESIÓN

La progresión que se siguió fue descendente en todos los cordones, logrando alta penetración en la raíz, poca escoria, buena calidad, mejor uniformidad en el cordón debido a que permite un mejor control por su rápida solidificación.

7.2.5 MÉTODO PARA CALCULAR LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO

El precalentamiento involucra elevar la temperatura del metal base antes de realizar cualquier proceso de soldadura. Se puede calentar toda la pieza o únicamente la zona aledaña. El cálculo del valor de la temperatura, depende de la composición química, hidrógeno difusible, entrada de calor, espesor del metal base, tensiones residuales y restricciones de la junta. El método a utilizar es el British Standard BS 5135. (BSI, 2001). Calculo de carbono equivalente (CE), Cálculo se basará en el análisis del producto y se calculará de la siguiente manera. Todos los resultados de carbono equivalente se presentarán cuando el contenido de carbono es menor o

igual a 0,12%, se calculará el carbono equivalente utilizando la siguiente fórmula para CE (PCM):

Ecuación 2. Carbono Equivalente

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

CE (Pcm)

CE (Pcm)= 0.16

La fórmula CE (Pcm), para el acero de bajo carbono es comúnmente llamado la fórmula Ito-Bessyo. CE (Pcm) es un factor de la porción química de la fórmula completa. [Y. Ito & K. Bessyo, "Weldability Formula of High Strength Steels Related to Heat Affected Zone Cracking," Journal rJj'Japanese Welding Society, 1968,37, (9), 938.]. Cuando el contenido de carbono es mayor que 0.12%, se calculará el carbono equivalente mediante la siguiente fórmula para CE (IIW):

Ecuación 3. Carbono Equivalente

$$CE(IIW) = c + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Observando la certificación del material ya viene calculado CE (IIW).
CE(IIW)= 0.36. La fórmula CE (IIW) es comúnmente llamado el IIW. [International Institute of Welding I formula. Reference: Technical Report, 1967, IlW doc. IX-535- 67.]

Imagen 27. Gráfica para el cálculo del carbono equivalente

Fuente: AWS D1.1/D1.1:2010

Las características del comportamiento de la zona I y la interpretación de las mismas es la siguiente:

Zona I. La fisuración es improbable, pero puede ocurrir con alto hidrógeno o alto nivel de restricción. Usar el método de control del hidrógeno para determinar el precalentamiento de los aceros de esa zona.

7.2.6 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE CONTROL DEL HIDRÓGENO

El valor del parámetro de composición Pcm, con anterioridad fue calculado su resultado es Pcm=0.16. El nivel de hidrógeno se consigue:

H1 Hidrógeno Extra – Bajo. Estos consumibles deben tener un contenido de hidrógeno difusible menor que 5ml/100g de metal depositado, será medido de acuerdo con la norma ISO 3690-1976 o un contenido de humedad del recubrimiento del electrodo menor o igual que 0.2% de acuerdo con la ANSI/AWS A5.1 o A5.5. Debe determinarse el grupo correspondiente al índice de susceptibilidad de la Tabla.1.

Fuente: AWS D1.1/D1.1:2010

La Tabla I.2 permite la obtención de las temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasadas que deberán aplicarse. Tabla I.2 establece tres niveles de restricción:

Bajo. Este nivel describe juntas soldadas de filete y con biseles simples, en los cuales existe una libertad razonable de movimiento de los elementos estructurales. Teniendo una restricción baja, un espesor de 20,65mm ± 0,8mm y una susceptibilidad A, se obtiene una temperatura de precalentamiento de 20°C (65°F), para eliminar cualquier rastro de humedad en la junta. La temperatura mínima entre pases deberá ser de 20°C (65°F).

7.2.7 TRATAMIENTO TÉRMICO DESPÚES DE LA SOLDADURA PWTH.

No aplica.

7.2.8 TIPO Y REMOCIÓN DE ALINEADOR

Se utilizara una grapa interna y/o externa para la ayuda de la alineación. Se hará la remoción del 100% del alineador en el pase de raíz.

7.2.9 LIMPIEZA

La limpieza de escoria se realizara por medio de la acción mecánica: disco abrasivo y grata circular.

7.3 PARAMETROS PARA LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Documento que respalda el WPS, es el debido PQR donde se registra los valores reales de las variables del procedimiento de soldadura para elaborar la calificación de unas probetas y los valores de los resultados obtenidos de las pruebas y ensayos efectuados. Al realizar la verificación de la información que se encuentra en el WPS, se adentra a corroborar las variables esenciales que se utilizaron para realizar la junta soldada. Se establece el número de probetas, los ensayos a realizar y cupones de prueba. De la tabla 2. Tipo y número de probetas para la prueba de calificación de procedimiento

Para un diámetro exterior de 30” y un espesor de pared de =0.750”.
Se necesita 4 probetas de resistencia a la tracción.
Se necesita 4 probetas de rotura Nick.
Se necesita 8 probetas de doblamiento de lado. Para un total de 16 probetas.

Imagen 31. Ubicación de toma de probetas
Fuente: API1104: 2013

7.3.1 PRUEBA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Requerimientos. La resistencia a la tracción de la soldadura, incluyendo la zona de fusión de cada probeta, deberá ser mayor que o igual a la resistencia a la tracción mínima (SMTS) especificada del material de la tubería. Si se rompe el espécimen fuera de la zona de soldadura y fusión (es decir, en el metal base) a una resistencia a la tracción no inferior al 95% de la SMTS del material de la tubería, la soldadura se aceptará como el cumplimiento de los requisitos. Si se rompe el espécimen en la zona de soldadura o la fusión y la resistencia observada es mayor que o igual a la de SMTS del material de la tubería y cumple con los requisitos de solidez de la prueba de rotura Nick, la soldadura se aceptará como el cumplimiento de los requisitos. Si se rompe la probeta en la

soldadura y por debajo del SMTS del material de la tubería, la soldadura deberá ser de un lado y un nuevo ensayo de soldadura se realizara.

7.3.2 PRUEBA DE ROTURA NICK

Requerimientos. Las superficies expuestas de cada probeta de rotura nick deberán mostrar la penetración completa y fusión completa. La mayor dimensión de bolsa de gas no deberá ser superior a 1/16 pulg. (1,6 mm), y el área combinada de todas las bolsas de gas no deberá exceder de 2% del área de superficie expuesta. Inclusiones de escoria no deberán ser mayor de 1/32 pulg. (0.8 mm) de profundidad y no deberá ser mayor de 1/8 pulg. (3 mm) o de la mitad del espesor de pared especificado en longitud. Deberá ser menor de 1/2 pulg. (13 mm) de separación entre inclusiones de escoria adyacentes de cualquier tamaño.

7.3.3 ENSAYO DE DOBLEZ DE LADO

Requerimientos. Cada probeta de doblez de lado deberá cumplir con los requisitos de la prueba de raíz y de cara. Para pruebas de soldadura de diámetro mayor de 12 3/4 pulg. (323,9 mm), si solo una muestra de doblez de lado falla pueden ser reemplazada con dos probetas adicionales ubicadas adyacentes a la muestra fallida. Si alguna de las muestras de ensayo de reemplazo de doblez falla, la soldadura se considera inaceptable.

7.3.4 ENSAYO DE DOBLEZ DE CARA Y RAÍZ

El ensayo de doblez se considerará aceptable si no hay grietas u otra imperfección mayor a 1/8 pulg. (3 mm) o la mitad del espesor de pared especificado, lo que sea menor, en cualquier dirección presente en la soldadura, entre la soldadura y la zona de fusión después del doblez. Las grietas que se originen en el radio exterior del doblez a lo largo de los bordes de la muestra durante las pruebas y que tienen menos de 1/4 pulg. (6 mm), medido en cualquier dirección, no serán considerados a menos que se observen imperfecciones obvias.

7.4 DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA PARA LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO

El procedimiento se ejecutó en las instalaciones de Montecz S.A ubicado en Siberia (Cundinamarca), consecuente con los formatos MTT-F-150 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) y REGISTRO DE LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (PQR). Se utilizó una tubería API 5LX70 PSL2 / DIAM = 30" E = 0,750", según marca del fabricante en el tubo en la imagen 11 y certificado de calidad. Una vez revisado el material base, identificando su marca y certificado de calidad, se inicia con la preparación del material base, cortando las secciones del tubo antes descrito y preparando los biseles.

Consecutivamente se alistó el equipo y los consumibles a implementar, como son máquina de soldar, material de aporte y herramientas de limpieza, con los que se dio inicio al proceso de soldadura. El equipo utilizado fue verificado para garantizar las propiedades eléctricas propuestas en el WPS.

En la ejecución la tubería es dispuesta a 45°, dando inicio al pase de raíz y los siguientes pases de relleno y presentación.

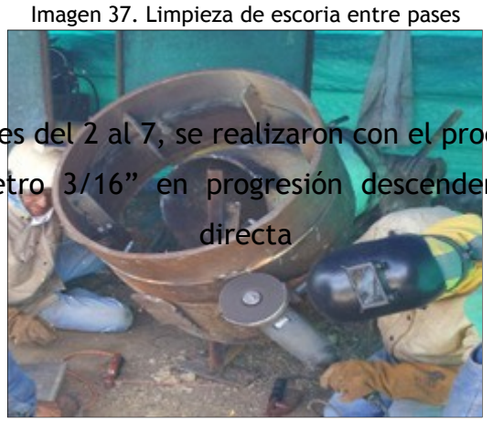
La raíz se realizó con el proceso SMAW, electrodo E8010-G de diámetro 5/32” en progresión descendente, con corriente directa electrodo negativo, a 27 voltios y 141 amperios, la velocidad de avance de 225 milímetros por minuto.

Imagen 36. Pase de raíz



Una vez finalizado el pase de raíz, se procede con la limpieza de la escoria para continuar con los demás pases, pase en caliente, pases de relleno y pase de presentación.

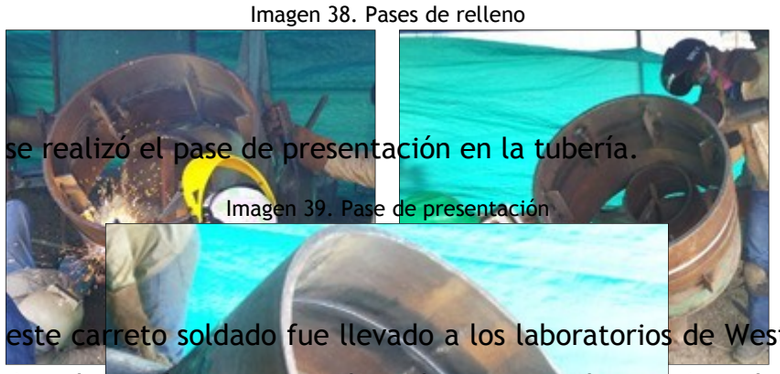
Imagen 37. Limpieza de escoria entre pases



Los cordones siguientes del 2 al 7, se realizaron con el proceso SMAW, electrodo E9010-G de diámetro 3/16” en progresión descendente, con corriente directa

electrodo positivo, con un voltaje entre 25 y 30 y un amperaje entre 150 y 180, la velocidad de avance entre 6 a 12 milímetros por minuto.

Imagen 38. Pases de relleno



Finalmente se realizó el pase de presentación en la tubería.

Imagen 39. Pase de presentación



Finalmente este carreto soldado fue llevado a los laboratorios de West Arco para que se extraigan las probetas y se realicen los ensayos destructivos de acuerdo al estándar API 1104.





8. RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos por parte Soldaduras West Arco, a pesar de que en la inspección visual hecha en los cupones de prueba, no se detectaron posibles defectos, como socavación, poros o grietas, se evidencia que por ensayos de rotura Nick, el procedimiento no cumple con las condiciones exigidas por el estándar API1104.

En un análisis particular de los ensayos de rotura Nick, se registra inclusión de escoria menor a 0.8 mm de profundidad y 3 mm de longitud que por norma cumple, pero en el siguiente cupón se evidencia nuevamente inclusión de escoria mayores a 3 mm que no cumple según código y en un tercer cupón se registra falta de fusión, evidencia una clara tendencia de defectos en la aplicación del metal de aporte.

Revisando las pruebas de doblamiento, cinco de las ocho probetas ensayadas, no presentan discontinuidades, tres de ellas si lo evidencian pero inferiores a 3 mm de longitud, lo cual cumple con lo establecido en la norma, pero mostrando nuevamente la tendencia anteriormente manifestada.

Los ensayos de tracción no se ejecutaron debido a que los laboratorios de ensayos destructivos de west arco no cuentan con una máquina capaz de hacer esta prueba a materiales con las características de resistencia del metal base propuesto en el procedimiento.

La información a detalle puede ser consultada en el informe de West arco adjunto.

9. CONCLUSIONES

- Se elaboró un procedimiento de soldadura (WPS) con su registro de calificación (PQR) de acuerdo a las condiciones establecidas en el estándar API1104, para la construcción de poliductos para la Empresa Montecz S.A.

- La calificación de dicho procedimiento se llevó a cabo en las instalaciones de Montecz S.A., por parte del Autor, así como la inspección visual, la cual tuvo un resultado satisfactorio, así como la experiencia de la calificación.

- Los ensayos de rotura Nick, evidencian claramente que el procedimiento no cumple con el estándar API 1104.

- El análisis exhaustivo del resultado del ensayo Nick, muestra una tendencia clara de la falta de habilidad del soldador, debido a la presencia de escoria entre pases y lo más evidente, la falta de fusión registrada.

- A pesar de que los ensayos de doblamiento cumplieron con el estándar API 1104, un análisis del resultado evidencia de las ocho probetas ensayadas, tres presentaron discontinuidades menores, lo que aumenta la tendencia a que la habilidad del soldador compromete de manera negativa el resultado de los ensayos.

- Igual que los ensayos de doblez, las tracciones que se obtuvieron estuvieron por encima del valor mínimo exigido por el estándar API 1104, lo cual respalda el diseño del procedimiento en cuanto a resistencia a la tracción. Además se vuelve a evidenciar inclusiones de escoria y porosidad, que a pesar de cumplir con las condiciones mínimas del estándar, sigue demostrando que la habilidad del soldador y la sanidad entre pases no fue la ideal en la calificación del procedimiento.

- Debido al resultado obtenido, no es posible comparar los resultados del WPS que implementa la Empresa Montecz S.A. para la unión soldada de la línea regular, frente a la línea que debe ser instalada bajo la técnica PHD.

- Finalmente, luego de analizar la tendencia de los resultados, es importante resaltar que en cuanto a las propiedades mecánicas que respalda el informe emitido por West Arco, el procedimiento propuesto cumple con las expectativas para el cual fue diseñado, evidentemente el resultado final aplicando API 1104, rechaza dicho procedimiento debido a los defectos representados en el mismo informe, pero gracias a la experticia adquirida en la materia, dichos defectos nos llevan a concluir que la falta de habilidad y sanidad del soldador, los resultados no fueron eficaces.

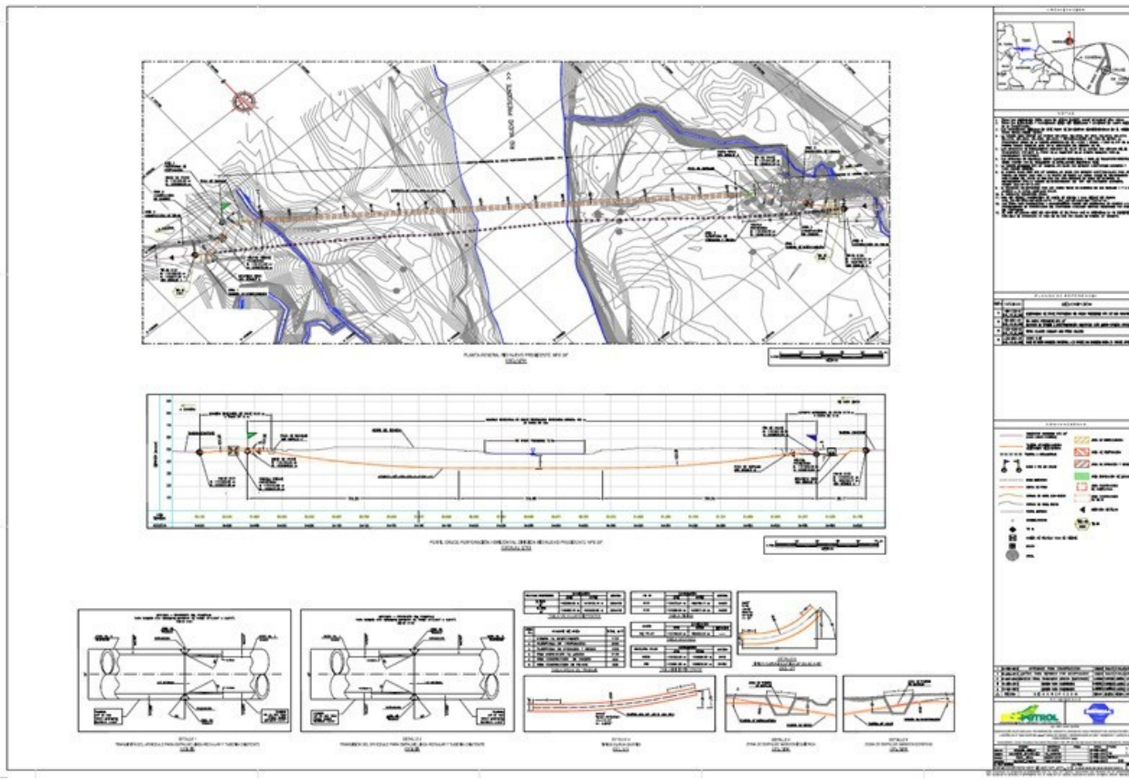
10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda repetir la calificación del procedimiento, donde la aplicación debe hacerse por parte de un soldador calificado de acuerdo con los requerimientos establecidos en el estándar API.

- Se recomienda hacer prueba de soldadores para maximizar las opciones de calificación positiva del procedimiento.

- Aplicar ensayos no destructivos antes de realizar pruebas destructivas. Oportunamente se puede lograr corregir cualquier falla de control que se presente.

- Como el diámetro de la tubería no es una variable esencial, en futuras calificaciones se pueden adoptar diámetros inferiores para facilitar la aplicación del procedimiento a calificar en tuberías de diámetros tan importantes.



BIBLIOGRAFÍA

Royal, A., Riggall, T., & Chapman, D. (2010). Analysis of steering in horizontal directional drilling installations using down-hole motors. Tunneling & Underground Space Technology, 25(6), 754-765. doi:10.1016/j.tust.2010.06.004

Chehab, A. G., & Moore, I. D. (2010). Parametric study examining the short and long-term response of HDPE pipes when installed by horizontal directional drilling. Tunneling & Underground Space Technology, 25(6), 782-794. doi:10.1016/j.tust.2010.06.002

Rogers, C. F., Chapman, D. N., Royal, A. D., & Polak, M. A. (2010). Pull-in force predictions for horizontal directional drilling.Geotechnical Engineering, 163(4), 197- 208. doi:10.1680/geng.2009.163.4.197

Kruse, H. (2009). The trenchless technique for horizontal-directional drilling: soil- related risks and risk mitigation. Journal of Pipeline Engineering, 8(2), 99-109.

Cholewa, J., Brachman, R., & Moore, I. (2010). Stress–strain measurements for HDPE pipe during and after simulated installation by horizontal directional drilling. Tunneling & Underground Space Technology, 25(6), 773-781. doi:10.1016/j.tust.2009.09.002

Hutson, A., Faughtenberry, J., & Fissel, R. (2010). DRILLING UNDER DFW. Civil Engineering (08857024), 80(5), 76-83.

- Niembro, A. M., Dakwar, N. M., & King, R. (2012). On the protection of landfall pipelines installed by HDD. Journal of Pipeline Engineering, 11(1), 11-20.

Lee, J., Han, S., Kim, K., Kim, H., & Lee, U. (2013). Failure analysis of carbon steel pipes used for underground condensate pipeline in the power station. Engineering Failure Analysis, 34300-307. doi:10.1016/j.engfailanal.2013.08.005

Pruiksma, J. P., Brink, H. J., Kruse, H. G., & Spiekhout, J. (2009). Soil reaction force at the head of the pipeline during the pullback operation of horizontal directional drilling. Journal of Pipeline Engineering, 8(3), 205-211.

Suzhen, L. (2013). Construction Monitoring of a Municipal Gas Pipeline during Horizontal Directional Drilling. Journal of Pipeline Systems Engineering & Practice, 4(4), 04013005-1-04013005-5. Doi: 10.1061/ (ASCE) PS.1949-1204.0000155

Popelar, C. H., & Kuhlman, C. J. (1997). Guidelines for installing PE gas pipes using HDD. Pipeline & Gas Journal, 224(6), 21.

Slavin, L. M., & Najafi, M. (2012). Effect of Pipe Stiffness on Maxi-HDD Pull Loads. Journal of Pipeline Systems Engineering & Practice, 3(1), 22-31. Doi: 10.1061/ (ASCE) PS.1949-1204.0000092

Baumert, M. E., Allouche, E. N., & Moore, I. D. (2004). Experimental investigation of pull loads and borehole pressures during horizontal directional drilling installations. Canadian Geotechnical Journal, 41(4), 672-685. Doi: 10.1139/T03-090

Mount, E. (2006). Pipeline design for installation by horizontal directional drilling. Sci- Tech News, 60(1), 53.

Janušas, G., Jutas, A., Palevičius, A., žižys, D., & Barila, A. (2012). 846. Static and vibrational analysis of the GMAW and SMAW joints quality. Journal of Vibroengineering, 14(3), 1220-1226.

ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
12-LAB-038

LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Y QUÍMICOS
SOLDADURAS WEST ARCO S.A.S NIT. 900.216.225-3

Número UNO en soldadura
UNA COMPAÑIA ESAB

INFORME DE ENSAYOS MECÁNICOS A UNIÓN SOLDADA

Informe No.: I-15127-1. **Número de páginas:** 1 de 1 **Orden de Servicio No.:** 15127

Nombre del cliente: MONTECZ S.A.
Dirección: Carrera 55B No. 78 - 27
Teléfono: 2255891 - 2503422
Ciudad: Bogotá D.C.

MATERIAL BASE		UNIÓN SOLDADA			
Especificación:	API 5L X70	Proceso de soldadura:	N/A	Posición:	N/A
Espesor:	0,75 in.	Tipo de proceso:	N/A	Progresión:	N/A
Diámetro Externo:	30 in. Nominal	Metal de aporte:	N/A	Estampe:	N/A
Otros:	N/A	WPS No.:	N/A	Soldador:	N/A
		Tipo de junta:	N/A	Otros:	N/A

Norma de Ensayo:	Welding of Pipelines and Related Facilities API STANDARD 1104 TWENTY-FIRST EDITION, SEPTEMBER 2013.

Fecha de recepción del material de ensayo: 2015-05-06
Fecha de realización de los ensayos: 2015-05-06
Fecha de emisión del informe: 2015-05-06

ENSAYOS DE TRACCIÓN A UNIÓN SOLDADA. Numeral 5.6.2.

Identificación:	Ancho de la sección reducida [mm]:	Espesor en la sección reducida [mm]:	Área sección trasversal [mm²]:	Carga máxima [N]:	Resistencia máxima a la tracción [MPa]:	Temperatura de ensayo [°C]:	Ubicación de la fractura:
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

ENSAYOS DE ROTURA NICK. Numeral 5.6.3.

Identificación:	Longitud [mm]:	Ancho [mm]:	Espesor en el material base [mm]:	Distancia entre entallas [mm]	Temperatura de ensayo [°C]:	Resultado:
N1 127	232	32.35	19.45	20.50	21.4	Sin discontinuidades.
N2 127	230	31.89	19.26	19.98	21.4	Evidencia una inclusión de escoria menor a 0,8 mm de profundidad y menor a 3 mm de longitud.
N3 127	231	31.92	19.29	20.22	21.4	Evidencia dos inclusiones de escoria mayores a 3 mm de longitud.
N4 127	231	31.88	19.32	20.16	21.4	La superficie expuesta evidencia fusión incompleta.

ENSAYOS DE DOBLAMIENTO. Numeral 5.6.5.

Identificación:	Tipo de doblamiento	Longitud [mm]:	Ancho [mm]:	Espesor en el metal de soldadura [mm]:	Temperatura de ensayo [°C]:	Resultado:
L1 127	Lado	232	13.09	18.92	21.2	Sin discontinuidades.
L2 127	Lado	231	13.09	18.92	21.2	Sin discontinuidades.
L3 127	Lado	231	13.07	18.71	21.2	Sin discontinuidades.
L4 127	Lado	231	13.05	18.14	21.2	Sin discontinuidades.
L5 127	Lado	231	13.01	18.47	21.2	Sin discontinuidades.
L6 127	Lado	231	13.04	18.69	21.2	Evidencia dos discontinuidades menores a 3 mm de longitud.
L7 127	Lado	231	13.06	18.72	21.2	Evidencia una discontinuidad menor a 3 mm de longitud.
L8 127	Lado	231	12.98	18.64	21.2	Evidencia una discontinuidad menor a 3 mm de longitud.

Ensayos realizados por:

Diego Andrey Murcia
Auxiliar del Laboratorio
de Ensayos Mecánicos

Informe revisado y emitido por:

SOLDADURAS WEST ARCO S.A.S.
LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Y QUÍMICOS
ACREDITADO ISO/IEC 17025: 2005
12-LAB-038

Ing. Elmer Cepeda Gómez
Jefe del Laboratorio de Ensayos Mecánicos

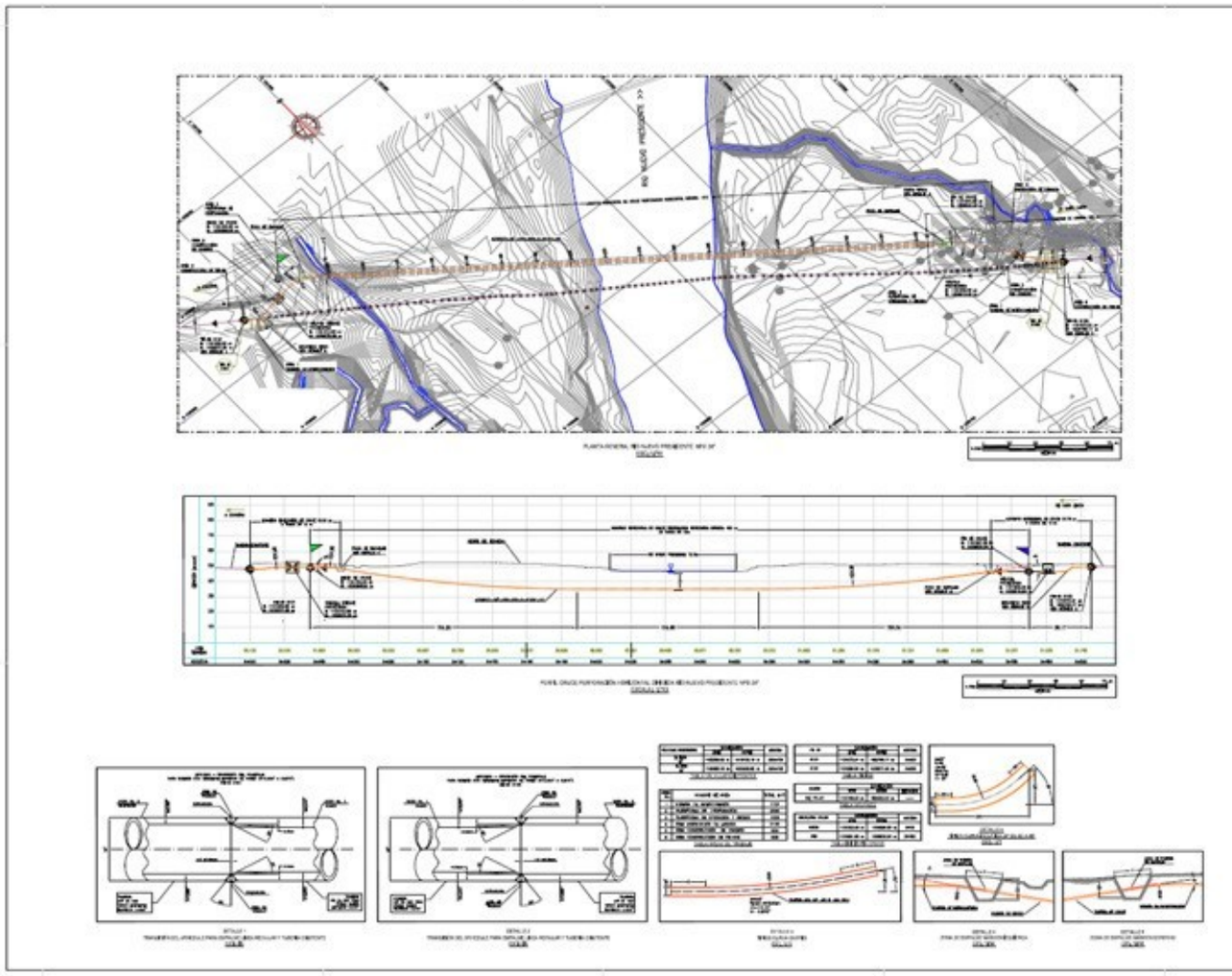
EQUIPO: PRENSA UNIVERSAL DE ENSAYOS
MARCA: TINIUS OLSEN
MODELO: SÚPER L-60
SERIE: 82070
FECHA DE CALIBRACIÓN: 2014-07-04
CERTIFICADO Nº: CFA-14-2890
POR: ICCLAB

NOTAS:
1. DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTÁN RELACIONADOS ÚNICAMENTE CON LAS MUESTRAS ARRIBA MENCIONADAS QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO, LAS CUALES FUERON ENVIADAS POR EL CLIENTE AL LABORATORIO A TRAVES DEL INSTITUTO DE SOLDADURAS WEST ARCO S.A.S.
2. ESTE INFORME NO SE DEBE REPRODUCIR PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Y QUÍMICOS DE SOLDADURAS WEST ARCO S.A.S.
3. LA APLICACIÓN Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Y QUÍMICOS DE SOLDADURAS WEST ARCO S.A.S.
4. LOS DATOS DE MATERIAL BASE Y/O UNIÓN SOLDADA SON SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE, POR LO TANTO NO SON RESPONSABILIDAD DEL LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Y QUÍMICOS DE SOLDADURAS WEST ARCO S.A.S.
5. CUANDO EN ESTE INFORME LAS DIMENSIONES ESTEN EN SISTEMA INGLES LA CONVERSIÓN SE HACE CON FACTORES DE DE ACUERDO A LA GUIA PARA EL USO DEL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES NIST 811 EDICION 2008. APENDICE B.8.

FIN DEL INFORME

LAB-P-0018-F20-GC 5aEd

ANEXO 5. Plano del trazado del río Nuevo Presidente



Fuente: Montecz S.A.