

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA



**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UNIONES
SOLDADAS EN TUBERÍAS API 5LX52 ANTE EL ATAQUE DE
AGUA REGIA EMPLEANDO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR: Bach. Amadeo CORDOVA ARANGO

ASESOR: Ing° Bernardo ENCISO LÓPEZ

AYACUCHO – PERU

2017

DEDICATORIA

Para mis padres, mi familia y todas las personas que me dieron su aliento, para alcanzar esta meta, su apoyo desinteresado fue y seguirá siendo fundamental en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por haberme dado la salud, paciencia, perseverancia y habilidades para culminar esta carrera.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por abrirme sus puertas para mi formación profesional, a todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, que me impartieron sus conocimientos en estos largos años, a los trabajadores del área administrativa por sus apoyo y consejo.

A mi familia, especialmente a mis padres, por el apoyo que me brindaron y los sacrificios que hicieron por mí.

Al Ing. Bernardo Enciso López, por el asesoramiento y apoyo permanente en el desarrollo del presente trabajo.

Mi agradecimiento a Luis Carbajal Padilla, gerente de operaciones de la empresa de ensayos, END INSPECCTION TECHNOLOGIES S.A.C., por el apoyo desinteresado de usar los equipos de radiografía industrial y materiales.

Así mismo al Ing. Gabriel Cerrón Leandro, por su asesoramiento técnico y manejo en el uso de laboratorio de investigación de la FIQM.

También mi agradecimiento a Marco Torres, gerente de la empresa I.C. Industrial, por su asesoramiento técnico y uso de equipos de medición de espesores, materiales y laboratorio.

Finalmente agradezco a todas aquellas personas que de una u otra forma, directa o indirectamente me apoyaron en mi formación profesional.

INDICE

	PAGINA
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE	iv
LISTA ANEXOS	viii
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
GLOSARIO	xii
RESUMEN	xiii
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
ASPECTOS GENERALES	2
1.1 Justificación	2
1.1.1 Justificación técnica	2
1.1.2 Justificación económica	2
1.1.3 Justificación social	2
1.2 Planteamiento del problema	2
1.2.1 Identificación del problema	2
1.2.2 Descripción del problema	3
1.2.3 Delimitación del problema	3
1.2.4 Formulación del problema	3
1.2.4.1 Problema principal	3
1.2.4.2 Problema específico	4
1.3 Objetivos	4
1.3.1. Objetivo principal	4
1.3.2. Objetivo específico	4
1.4 Hipótesis	4
1.4.1 Hipótesis general	4
1.4.2 Hipótesis específico	5
1.5 Método de investigación	5
1.6 Variables e indicadores	5
 CAPITULO II	
MARCO TEORICO	6
2.1 Antecedentes	6
2.2. Base legal y normatividad	9
2.3 Fundamento teórico	11
2.3.1 Aceros API 5L	11
2.3.1.1 Acero API 5L X52	11
2.3.2 Soldadura	12
2.3.3 Material de aporte	13
2.3.4 Partes de una junta tope	15
2.3.5 Proceso de soldadura eléctrica por arco	15
2.3.5.1 Características de una junta soldada	16
2.3.5.2 Zona de fusión	17
2.3.5.3 Interfaz de soldadura	17

2.3.5.4	Zona afectada por el calor	17
2.3.6	Ensayos no destructivos (END)	18
2.3.6.1	Certificación de personal en END	19
2.3.6.2	Inspección visual (VT)	19
2.3.6.3	Líquidos penetrantes (PT)	21
2.3.6.4	Radiografía industrial (RT)	23
2.3.6.5	Ultrasonido industrial (UT)	33
2.4	Termodinámica de la oxidación	36
2.5	Preparación de soluciones	37
2.5.1	Agua regia	37
2.5.2	Corrosión generalizada en medios ácidos	37
2.6	Disolución	40
2.6.1	Mecanismos de la disolución	40
2.6.2	Fracción másica, fracción molar	41
2.7	Corrosión general	42
2.7.1	Tipos de corrosión más comunes	42
2.7.1.1	Corrosión electroquímica	42
2.7.1.2	Corrosión microbiológica	42
2.7.1.3	Corrosión por oxígeno	43
2.7.1.4	Corrosión por presiones parciales	43
2.7.1.5	Corrosión galvánica	44
2.7.16	Corrosión por actividad salina diferenciada	44
2.7.2	Materiales metálicos	45
2.8	Método de prueba y evaluación de corrosión	45
2.8.1	Métodos no electroquímicos que determinan la pérdida de masa acumulada, según ASM Metal Handbook. (2003)	45
2.8.2	Técnica pérdida de masa	47
2.8.3	Ensayo de inmersión total	47
2.8.4	Calculo de la velocidad de corrosión	49
2.9.	Grado de corrosión ISO 8501-1-SIS-055900	49
2.10.	Norma de preparación superficial del acero	51
2.10.1	SSPC-SP-1 (Limpieza con solvente)	53
2.10.2	SSPC-SP-2 (Limpieza manual)	53
2.10.3	SSPC-SP-3 (Limpieza mecánica)	54
2.10.4	SSPC-SP-4 (Limpieza con flama)	54
2.10.5	SSPC-SP-5 NACE-1 (Limpieza con chorro abrasivo grado metal blanco)	54
2.10.6	SSPC-SP-6 NACE-3 (Limpieza con chorro abrasivo grado Comercial)	55
2.10.7	SSPC-SP-7 NACE-4 (Limpieza con chorro de abrasivo grado ráfaga)	55
2.10.8	SSPC-SP-8 (Limpieza química)	55
2.10.9	SSPC-SP-9 (Limpieza por agentes atmosféricos)	56
2.10.10	SSPC-SP-10 NACE-2 (Limpieza con chorro de abrasivo grado cercano a blanco)	56
2.11	Operación y mantenimiento, operaciones que afectan a la seguridad de transporte de hidrocarburos líquidos por sistema de tuberías	57

2.11.1	Corrosión	57
2.11.2	Corrosión externa	57
2.11.3	Corrosión interna	57
2.12	Resumen del Informe sobre Fallas en los Sistemas de Transporte por Ductos	58
CAPITULO III		
MATERIALES Y METODOS		59
3.1	Ubicación y lugar de la experimentación	59
3.2	Diseño y descripción de la experimentación	60
3.2.1	criterios para el dimensionamiento de la muestra	61
3.2.2	Evaluación inicial de la calidad dela muestra por END	62
3.3	Implementación del proceso experimental	63
3.3.1	Prueba gravimétrica	63
3.3.1.1	Materiales y equipos	63
3.3.1.2	Criterios de aceptación	63
3.3.2	Determinación del grado de corrosión y limpieza	63
3.3.2.1	Material y equipo	64
3.3.2.2	Criterios de aceptación	64
CAPITULO IV		
RESULTADOS EXPERIMENTALES		65
4.1.1	Obtención de la muestra	65
4.1.2	Identificación de las muestras	66
4.1.3	Comportamiento de muestra frente al ataque de ácidos inorgánicos	67
4.1.3.1	Ácido nítrico	67
4.1.3.2	Ácido clorhídrico	67
4.1.3.3	Ácido sulfúrico	67
4.1.3.4	Ácido sulfúrico diluido	68
4.1.3.5	Agua regia	68
4.2	Preparación de los reactivos y ataque químico	69
4.2.1	Preparación de los reactivos	69
4.2.2	Ataque químico de muestras	70
4.3	Aplicación de los END durante el ataque	75
4.3.1.	Inspección visual (VT)	75
4.3.1.1	Referencias	75
4.3.1.2	Equipos y accesorios	75
4.3.1.3	Calificación y certificación de personal	75
4.3.1.4	Proceso de inspección	75
4.3.2	Radiografía industrial (RT)	79
4.3.2.1	Referencias	79
4.3.2.2	Equipo y accesorios	79
4.3.2.3	Calificación y certificación de personal	79
4.3.2.4	Procesos	79
4.3.2.5	Interpretación	80

4.3.3	Inspección por ultrasonido industrial (UT)	85
4.3.3.1	Referencias	85
4.3.3.2	Equipos y accesorios	85
4.3.3.3	Personal y calificación	85
4.3.3.4	Calibración	86
4.3.3.5	Proceso	87
4.3.3.6	Medición de espesores	87
4.3.4	Líquidos penetrantes (PT)	92
4.3.4.1	Referencias	92
4.3.4.2	Equipos y materiales	92
4.3.4.3	Personal	92
4.3.4.4	Proceso	92
4.4	Grado de corrosión y limpieza	95
4.4.1	Grado de corrosión	95
4.4.2	Limpieza	95
4.5	Prueba gravimétrica (pérdida de masa)	97
4.6	Discusión de resultados	102
CONCLUSIONES		105
RECOMENDACIONES		107
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		109
ANEXOS		112

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A. Registros fotográficos de fallas comunes encontradas en los ductos de transporte en el Perú
- Anexo B. Tabla de espesores de pared de tubería
- Anexo C. SSPC-VIS1, guía y referencia fotográfica, para preparación de superficies de acero
- Anexo D. Procedimiento de inspección visual
- Anexo E. Procedimiento de radiografía industrial
- Anexo F. Carta de decaimiento de la fuente radiactiva Ir. 192
- Anexo G. Procedimiento de ensayo por líquidos penetrantes API 1104
- Anexo H. Reporte de medición de espesores
- Anexo I. Registro Fotográfico

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1.	Composición química del acero API 5L X52-PSL2
Tabla 2.2.	Propiedades mecánicas
Tabla 2.3.	Tolerancias para espesor de pared de tubería
Tabla 2.4.	Tipo de corriente y revestimiento
Tabla 2.5.	Resumen de funciones de algunos materias primas del revestimiento
Tabla 2.6.	Dimensión máxima de mordedura
Tabla 2.7.	Constante de la velocidad de corrosión
Tabla 2.8.	Clasificación y equivalencia de preparación superficial
Tabla 2.9.	Resumen del informe de fallas reportadas por Osinergmin
Tabla 4.1.	Masa (g) consumida de la muestra 1-7 durante el ataque con agua regia a temperatura ambiente de 29°C
Tabla 4.2.	Masa (g) consumida de la muestra 1-6 durante el ataque con agua regia a temperatura ambiente de 18°C
Tabla 4.3.	Resultados de inspección visual de la muestra 1-7
Tabla 4.4.	Resultados de inspección visual de la muestra 1-6
Tabla 4.5.	Resultados de inspección radiográfica de las muestras iniciales
Tabla 4.6.	Resultados de inspección radiográfica de la muestra 1-7
Tabla 4.7.	Resultados de medición de espesores muestra 1-7; 0, 0.5, 1 y 1.5 h.
Tabla 4.8.	Resultados de medición de espesores muestra 1-7; 2, 2.5, 3.0 y 3.5 h.
Tabla 4.9.	Resultados de medición de espesor inicial de la muestra 1-6
Tabla 4.10.	Resultados de medición de espesores durante el ataque químico de la muestra 1-6
Tabla 4.11.	Resultados de inspección por líquidos penetrantes de la muestra 1-7
Tabla 4.12.	Resultados de inspección por líquidos penetrantes de la muestra 1-6
Tabla 4.13.	Pérdida de masa y velocidad de corrosión de la muestra 1-7
Tabla 4.14.	Pérdida de masa y velocidad de la corrosión de la muestra 1-6

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1. Interpretación de la norma para la identificación de los electrodos
- Figura 2.2. Partes de la junta a tope
- Figura 2.3. Zonas principales en la unión soldada
- Figura 2.4. Estructura de grano típico
- Figura 2.5. Diagrama esquemático de la zona afectada por el calor de la unión soldada de un acero común
- Figura 2.6. Penetración Inadecuada (IP)
- Figura 2.7. Penetración Inadecuada debido al Desalineamiento (ICD)
- Figura 2.8. Penetración Transversal Inadecuada (ICP)
- Figura 2.9. Fusión Incompleta en la raíz o parte superior (IF)
- Figura 2.10. Fusión Incompleta a traslape en frio (IFD)
- Figura 2.11. Concavidad Interna (IU)
- Figura 2.12. Distribución máxima de porosidades
- Figura 2.13. Corrosión microbiológica
- Figura 2.14. Corrosión por oxígeno
- Figura 2.15. Corrosión galvánica
- Figura 2.16. Grado de óxido A
- Figura 2.17. Grado de óxido B
- Figura 2.18. Grado de óxido C
- Figura 2.19. Grado de óxido D
- Figura 3.1. Etapas del proceso experimental
- Figura 3.2. Indicaciones comunes encontradas durante los END.
- Figura 4.1. Reducción de tamaño de la muestra de unión soldada
- Figura 4.2. Identificación con tipos y perforaciones
- Figura 4.3. Ataque con ácidos concentrados
- Figura 4.4. Ataque con ácido sulfúrico diluido
- Figura 4.5. Ataque preliminar de la muestra con agua regia
- Figura 4.6. Recipiente para el ataque químico conteniendo agua regia
- Figura 4.7. Inmersión de la muestra en agua regia
- Figura 4.8. Velocidad de disolución del acero API 5LX52 en agua regia de la muestra 1-7
- Figura 4.9. Temperatura de la reacción de muestra 1-7, temperatura ambiente de 29°C.
- Figura 4.10. Velocidad de disolución del acero API 5LX52 en agua regia de la muestra 1- 6
- Figura 4.11. Temperatura de la reacción de muestra 1-6, temperatura ambiente de 18°C

- Figura 4.12. Evolución de la muestra antes y después del ataque con agua regia
- Figura 4.13. Estado inicial de la muestra 1-7, verificado por radiografía industrial.
- Figura 4.14. Verificación de la densidad del film radiográfico
- Figura 4.15. Ubicación inicial de los puntos, y medición de espesores iniciales
- Figura 4.16. Limpieza mecánica, norma SSPC-SP-3
- Figura 4.17. Estado inicial de la muestra antes de someter al ataque, SSPC-SP-3
- Figura 4.18. Grado de limpieza obtenido después de la primera exposición al medio corrosivo, SSPC-SP-8
- Figura 4.19. Grado de corrosión alcanzado, grado B
- Figura 4.20. Realización de la medición de las pesadas, y comparación de las balanzas usadas, teniendo un porcentaje de error de pesadas de 0.02%
- Figura 4.21. Velocidad de corrosión de la muestra 1-7, desarrollado en la ciudad de Lima
- Figura 4.22. Velocidad de corrosión de la muestra 1-6, desarrollado en la ciudad de Ayacucho
- Figura 4.23. Unión soldada actuando como ánodo respecto al material base

GLOSARIO

END/NDT	Ensayo No destructivos/ Nondestructive Testing
RT	Ensayo Radiografía Industrial
PT	Ensayo por Líquidos Penetrantes
MT	Ensayo por Partículas Magnéticas
UT	Ensayo por Ultrasonido
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASME B31.4	Sistema de transporte y distribución de hidrocarburos líquidos
ASME B31.8	Sistema de transporte y distribución de gas
API 1104	American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo)
API 5L	Especificación para tubería de línea
AWS	American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura)
ANSI	American National Standard Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASTM G1	Guía estándar para pruebas de corrosión por inmersión en laboratorio de metales
NACE	National Association of Corrosion Engineers
ASNT	American Society for Nondestructive Testing
NFPA	National Fire Protection Association
ISO	International Organization for Standardization
SMAW	Shielded Metal Arc Welding (Soldadura por arco metálico protegido)
IQI	Image Quality Indicators
IPEN	Instituto Peruano de Energía Nuclear
AC	Corriente Alterna
CD	Corriente Directa
ZAC	Zona afectada por el calor
Defecto	Una imperfección de magnitud suficiente para ser rechazada
Niple	Segmento de tubería
ILI	Inspección interior de tuberías

RESUMEN

Las uniones de soldadura, sufren corrosión en menor y mayor grado de acuerdo a sus características particulares de construcción y uso.

El problema se incrementa, cuando estas uniones soldadas están expuestas directamente a medios corrosivos como: ambientes húmedos, agua de mar, fundiciones, refinerías, accidentes de derrame de insumos químicos, etc. donde el medio corrosivo generalmente es alto, para determinar cuál de las indicaciones y defectos se presenta primero, al estar expuesto a este medio, se ha realizado la presente investigación del ataque que sufren las uniones soldadas empleando ensayos no destructivos.

La preparación de las soluciones para el ataque y el trabajo experimental se ha realizado en los laboratorios de la UNSCH, de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia.

De los resultados se demuestran que mediante la aplicación de los ensayos no destructivos permiten detectar el tiempo a la cual la unión soldada, no cumple con los criterios de aceptación del API 1104. Se determinaron la pérdida de masa para determinar la velocidad de corrosión, así mismo se determinaron el grado de corrosión de las muestras de uniones soldadas durante el proceso de la corrosión forzada, con lo cual se evidenció la metalografía de la unión soldada, identificando la zona afectada por el calor.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis de investigación se ha desarrollado debido a la necesidad de contar con herramientas, para realizar un análisis eficiente y predictivo de las uniones soldadas de tuberías de material API 5L X52 y así determinar el comportamiento en el proceso de corrosión sometido al medio corrosivo. Para la identificación de las indicaciones presentes en las uniones soldadas se usaran métodos de ensayos no destructivos como: inspección visual, radiografía industrial, medición de espesores, líquidos penetrantes.

Para la evaluación de criterios aceptación/rechazo de las indicaciones se ha empleado el estándar API 1104, Ed. 2013.

En esta investigación también se ha evaluado la susceptibilidad o resistencia a la corrosión de estos aceros de acuerdo a la velocidad de corrosión, es decir, por pérdida de masa, lográndose una tendencia muy similar que en corrosión por picadura.

Una alternativa al tratamiento convencional de la corrosión será establecer tiempos durante la reacción de ataque.

El presente trabajo de tesis, que nace como consecuencia de la inquietud de aplicar conceptos básicos de la ingeniería, y la experiencia adquirida como inspector de Nivel II en ensayos no destructivos, a fin de realizar un estudio de los efectos ocasionados a uniones soldadas en contacto con agua regia.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Justificación

1.1.1 Aspecto Técnico

En base a la experimentación se determina el comportamiento de uniones soldadas en tubería API 5LX52, en las etapas que incluyen en este proceso de corrosión de las uniones soldadas.

1.1.2 Aspecto Económico

El problema está relacionado a los mantenimientos predictivos que se realiza a las uniones soldadas cada cierto tiempo, las cuales generan un costo; con esta investigación se establecerán la aparición de las primeras indicaciones de rechazo, por lo tanto en la etapa constructiva minimizar las indicaciones encontradas.

1.1.3 Aspecto Social

Con la identificación de la aparición de los primeros defectos en la unión soldada en tuberías API 5L X52, se anticipará la fuga, rotura de las uniones soldadas, logrando beneficios para la operación, medio ambiente y seguridad de las poblaciones cercanas a instalaciones de dichas tuberías.

1.2 Planteamiento del Problema

1.2.1 Identificación del Problema

Las uniones de soldadura y material base, están muchas veces sometida a diversos agentes corrosivos, y a esfuerzos longitudinal y tangenciales que al transcurrir los años sufren pérdida de masa y volumen, por lo tanto, se incrementa la debilitación de las uniones soldadas.

1.2.2 Descripción del Problema

Las uniones de soldadura, sufren corrosión en menor y mayor grado de acuerdo a sus características particulares de construcción y el medio donde se usa. El problema se incrementa, cuando estas uniones soldadas están expuestas directamente a medios corrosivos como: agua de mar, fundiciones, refinerías etc. Donde el medio corrosivo generalmente es alto. Para presagiar cuál de las indicaciones se presenta inicialmente se realizará la presente investigación con el apoyo de los ensayos no destructivos.

1.2.3 Delimitación del Problema

El presente trabajo de investigación está limitado a las muestras de ensayo de soldadura de tubería API 5L X52. Para la realización del ataque químico corrosivo con una solución de agua regia, dicha solución tiene en su composición ácidos concentrados: ácido nítrico y ácido clorhídrico en una proporción de 1 a 3. Por otro lado, para evaluar el comportamiento de las uniones soldadas en tuberías API 5LX52 se emplea los ensayos no destructivos: radiografía industrial, medición de espesores, y líquidos penetrantes.

1.2.4 Formulación del Problema

1.2.4.1 Problema Principal

¿Se podrá estandarizar los parámetros de ataque químico del agua regia sobre la unión soldada de la tubería API 5L X52 empleando ensayos no destructivos mediante la evaluación de aceptación y rechazo con el estándar API 1104?

1.2.4.2 Problema Específico

- ¿Es posible determinar la pérdida de peso de la unión soldada después de la ataque del agua regia sobre la unión soldada?
- ¿Será posible determinar el grado de corrosión de la unión soldada?
- ¿Será posible determinar la velocidad de corrosión de la unión soldada?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Principal

Determinar el comportamiento de la unión soldada de la tubería API 5L X52, ante el ataque del agua regia mediante los ensayos no destructivos para establecer los límites máximos de estabilidad.

1.3.2 Objetivo Específico

- Determinar la pérdida de peso de la unión soldada después de la acción de la solución de agua regia.
- Determinar el grado de corrosión de la unión soldada, durante las pruebas experimentales.
- Determinar la velocidad de la corrosión.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis General

Mediante los ensayos no destructivos se determina la aceptación y rechazo de la corrosión y estandarizar los parámetros de control de corrosión de la tubería de unión soldada API 5L X52.

1.4.2 Hipótesis Específicas

- La pérdida de peso de la unión soldada después de la corrosión con agua regia se determina mediante pesadas.

- El grado de corrosión de la unión soldada luego del experimento se determina con las normas ISO 8501-1 – SIS055900.
- La velocidad de la corrosión de la unión soldada, se determina con la norma ASTM G31.

1.5 Método de Investigación

Tipo de Investigación

- Aplicativa

Diseño de Investigación

- Experimental

Nivel de Investigación

- Descriptivo
- Explicativo

1.6 Variable e Indicadores

Variable Independiente:

- Tubería API 5LX52

Indicadores:

- Años

Variable Dependiente:

- Comportamiento de uniones soldadas

Indicadores:

- Cantidad de material disuelto, ensayos no destructivos.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

El estudio de la corrosión de uniones de soldadura, ha sido objeto de estudio en diversas publicaciones y trabajos de investigación realizados en diversos países, pero no existe ninguna que haya hecho un estudio con la aplicación de ensayos no destructivos.

a) NIVEL INTERNACIONAL:

- Publicación Científica.

Autor: R. Réquiz, S. Camero, V.Aristizabal, y A. Rivas

“Estudio del daño por hidrógeno en uniones soldadas de un acero API5LX52”,

REV. METAL. MADRID, 44(2) MARZO- ABRIL101-112 2008

RESUMEN

En la presente investigación se estudió la susceptibilidad al daño por hidrógeno en un acero API 5L X52 soldado por resistencia eléctrica. Para ello, se emplearon técnicas de permeabilidad y de carga catódica de hidrógeno. El material fue caracterizado mediante microscopía electrónica de barrido y de transmisión. La susceptibilidad al daño por hidrógeno fue similar tanto en el metal base como en el cordón de soldadura. Este comportamiento se vincula a la microestructura homogénea constituida por perlita y ferrita, que presentan ambos, aun cuando existen diferencias en el tamaño de grano. El cordón de soldadura tenía dimensiones muy pequeñas, donde la zona de fusión y la afectada por el calor poseen espesores de 5 mm y 1 mm, respectivamente. El daño inducido por hidrógeno se presentó en

forma de ampollas en la superficie del material, asociado, principalmente, a la presencia de inclusiones globulares y semiglobulares ricas en aluminio. Además, se manifestó una disolución parcial de las inclusiones y/o un ataque de la matriz en la zona adyacente a la inclusión.

- Publicación Científica.

Autor: R.D. Cannon

“La disolución del hierro y níquel en agua regia diluida”, Comisión de energía nuclear estadounidense, Washington 25 D.C. 1961

RESUMEN

En estudios de laboratorio, la disolución del hierro en una mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico diluido, muestra un orden de reacción aparente de -0,62 con respecto a HCl.

La disolución del níquel muestra en el orden aparente de 1,4 con respecto a HCl y 4,2 para HNO₃.

Las energías de activación determinadas entre 50 y 80°C no son constantes, en los límites de 10 y 20 kcal por mol para ambos metales.

Una tentativa fue hecha para determinar expresiones de velocidad empíricas para la disolución de hierro y níquel, ya que podrían esperar que estas expresiones fueran de valor en la selección de un mecanismo para reacciones de disolución en agua regia diluido.

La complejidad de las reacciones hace imposible escribir una expresión general empírica, incluyendo los efectos tanto de ácidos nítricos como de ácidos clorhídricos. Las expresiones simplificadas, sin embargo, fueron determinadas describiendo el efecto de la concentración de cada ácido sobre la velocidad de

disolución mientras otra concentración ácida fue mantenida constante. Las energías de activación calculadas para la disolución de cada metal mostraron la dependencia pronunciada de temperaturas, que, como se cree, es debido a otras reacciones cuyas energías de activación son mayores que aquellos para la disolución.

b) A NIVEL NACIONAL:

- Publicación Científica.

Autor: Dr. Segundo Arístides Távara Aponte

Ing. José Fernando Barbosa Flores “***Influencia de los cordones de soldadura sobre la resistencia a la corrosión del acero API5LX52, en agua sedimentada de crudo de petróleo***”, Trujillo-Perú 2001.

RESUMEN

Se analiza la susceptibilidad a la corrosión de dos tipos de juntas, empleando la soldadura manual con electrodos revestidos en multipasadas, en biseles “V” asimétricos (15° - 45°) a tope, soldados por un solo lado, cumpliendo con las exigencias de calificación de la norma API- 1104 y API – 5L; utilizándose los electrodos revestidos AWS E7018 y AWS E6010. La junta que lleva en todos los pases de soldadura el electrodo AWS E7018 es la que se practica en la unión de camisas de refuerzo de la tubería del Oleoducto Nor-Peruano, en zonas donde la tubería presenta daños mecánicos, fisuras y corrosión severa con pérdida del espesor de pared crítica para soportar las presiones de trabajo y la junta que lleva en el pase de raíz el electrodo AWS E6010 y en los demás pases el electrodo AWS E7018, es la que resultó tener las mejores propiedades mecánicas de una serie de juntas evaluadas para optimizar las propiedades mecánicas de las uniones del encamisado de refuerzo. Para los ensayos de corrosión de las juntas se siguió las

normas ASTM: G1-72 y ASTM: G5-78, también se prepararon y evaluaron las muestras para la evaluación metalográfica empleando la norma ASTM: E3-95 y E807-81, también se realizó un análisis del contenido inflacionario por su influencia en el comportamiento a la corrosión de las juntas.

c) A NIVEL LOCAL:

Justidiano Carrasco Sánchez Tesis, “Implementación y monitoreo de un sistema de inspección No Destructiva de soldaduras en tuberías y estructuras en el Proyecto las Bambas” UNSCH- Ayacucho, 2014.

RESUMEN

Se fundamenta en la aplicación de ensayo no destructivos empleando las técnicas de radiografía industrial, líquidos penetrantes, ultrasonido y partículas magnéticas, basados en un plan de calidad y procedimientos escritos, a fin de asegurar la correcta ejecución de estos ensayos operacionales acordes a estándares y normativas aplicables.

Las inspecciones por las técnicas de ensayos planteados han permitido evidenciar la importancia de los ensayos no destructivos, ya que gracias a ellos se han detectado las imperfecciones en las soldaduras, la cuales fueron reparadas cumpliendo con los procedimientos establecidos para la construcción de la nueva planta de procesos.

2.2 Base legal y Normatividad.

D.S. N° 081-2007-EM: Reglamento de Transporte de Hidrocarburos por Ductos; Según este decreto entra en vigencia la fiscalización y regularización de las actividades de Transporte de Hidrocarburo por Ductos, incluido disposiciones de: sistema de integridad de ductos, requisitos para transporte operación de ductos,

reglamento referido a las normas de seguridad. Osinergmin es el responsable de la fiscalización durante el diseño, construcción, ejecución, mantenimiento de gasoductos y oleoductos, de acuerdo a los requerimientos de las Normas ANSI/ASME B31.4 o ANSI/ASME B31.8, y las normas complementarias que mencionan de API 1160 y ASME B31.8S.

El ASME, API, AWS, en forma general son estándares y códigos que tienen la mayor aceptación en la construcción de grandes industrias, petroquímicas de hidrocarburos a nivel nacional e internacional. Existen también otras normas internacionales las cuales también son tomadas como referente:

National Association of Corrosion Engineers (NACE), dedicado a nivel mundial a control y prevención de la corrosión.

National Fire Protection Association (NFPA), International Organization for Standardization (ISO), entre otras.

Los estándares y normas usados en el estudio de la presente tesis son:

- API 1104, Ed. 2013. Welding of pipelines and related facilities.
- ASME B31G, Manual for determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines.
- ASME B31.4. sistema de transporte de hidrocarburos líquidos y otros líquidos por oleoducto.
- ASME V. Nondestructive Examination.
- ASTM G1 Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion Test Specimens.
- ASTM G31 Standard Practice for Laboratory immersion Corrosion Testing of Metals.

2.3 Fundamento teórico

2.3.1 Aceros API 5L

Esta norma internacional especifica los requisitos para la fabricación de dos niveles de especificación de producto (PSL1 y PSL2) de tubos de acero con y sin costura para su uso en sistemas de transporte por tuberías de gas natural y petróleo para la industria.

2.3.1.1 Acero API 5L X52

Los aceros comúnmente usados, para construir líneas de transporte, distribución, salidas y entradas a refinerías (on shore y off shore), pertenecen a la serie API 5L. se designa con una X seguida de dos cifras , que representan los dos primeros dígitos el valor mínimo del límite de fluencia, por ejemplo un acero API 5L X52, designa un acero cuyo límite de fluencia mínima(deformación plástica) es de 52000 lb/plg².

El acero motivo de nuestro estudio es un acero microaleado con la composición química mostrado en la Tabla 2.1, cuyo material base se caracteriza como:

El material base usado es el API 5L X52 –PSL2

Standard : API 5L

Steel Grade : X52

Tabla 2.1. Composición química del acero API 5L X52-PSL2

C	Si	Mn	P	S	V	Nb	Ti
0.18	0.45	1.5	0.025	0.015	0.05	0.05	0.04

Fuente: API 5L (2012)

Las Tablas 2.2 y 2.3 muestran las propiedades y tolerancia de la tubería.

Tabla 2.2. Propiedades mecánicas

Resistencia a la Tracción	Límite de Fluencia	Alargamiento
66700 psi	52200	43%

Fuente: API 5L (2012)

Tabla 2.3. Tolerancias para espesor de pared de tubería

Wall thickness t mm(in)	Tolerance mm
SMILS pipe	
≤ 4.0 (0.157)	+0.6 (0.024) -0.5 (0.020)
> 4.0 (0.157) to < 25.0 (0.984)	+0.6 (0.150 t) -0.125 t
≥ 25.0 (0.984)	+3.7 (0.146) or +0.1 t , whichever is the greater
Welded pipe	
≤ 5.0 (0.197)	± 0.5 (0.020)
> 5.0 (0.197) to < 15.0 (0.591)	$\pm 0.1 t$
≥ 15.0 (0.591)	± 1.5 (0.060)

Fuente: API 5L (2012)

2.3.2 Soldadura

Naturaleza del Trabajo: En general, el trabajo del soldador o del operador de una máquina de soldar es el de unir (soldar) dos piezas de metal aplicando calor intenso, presión intensa, o ambas cosas, para fundir los bordes del metal en forma tal que se unan por fusión en forma permanente. Durante este proceso, el trabajador puede utilizar diversos tipos de dispositivos para obtener el calor necesario, con o sin ayuda de presión, o bien la presión necesaria, con o sin ayuda de calor, para fundir los bordes del metal en forma controlada. Estos procedimientos de soldadura se utilizan en la manufactura y reparación de muchos productos diferentes, que van desde los grifos para agua, los refrigeradores, los automóviles y los trenes, hasta el equipo electrónico, los aviones, los barcos y los proyectiles espaciales (Horwitz, 1997, pp. 3, 4).

2.3.3 Material de aporte

Todo aquel material que se utiliza para la realización de un cordón de soldadura de buena calidad y donde distinguimos, por un lado, el núcleo del electrodo y el revestimiento, por otro lado, la varilla de aporte y los fundentes, estos los usaremos en función del tipo de soldadura que se realizará.

Los tipos de electrodos de soldadura usados en el presente estudio son los siguientes:

E6010. Electrodo de penetración profunda, uniforme y excelente estabilidad de arco, ideal para pasadas de raíz en las soldaduras de tuberías, donde la alta velocidad, el control de arco y la rápida solidificación de la escoria son de suma importancia.

E7010. Electrodo celulósico con silicato de sodio y con características de penetración sobresalientes, propiedades mecánicas por encima de la norma, resaltando su resistencia a la tensión, resistencia al punto de cedencia y porcentaje de elongación, recomendado para soldar tubería en todas las posiciones en pasos múltiples o sencillos, para tendido de líneas de conducción de hidrocarburos, fácil desprendimiento de escoria y limpieza rápida.

Los electrodos que se usaron para la elaboración del cupón de prueba se muestran en las Tablas 2.4 y 2.5.

Tabla 2.4. Tipo de corriente y revestimiento

Clasificación AWS	Tipo de revestimiento	Posición del soldeo según AWS	Corriente eléctrica
E 6010 P-T	Alta celulosa, sodio	F, V, OH, H	CC(+)(-)
E 7010 P-T	Alta celulosa, sodio	F, V, OH, H	CA O CC(+)

Fuente : Oerlikon – Exsa (1999)

Tabla 2.5. Resumen de las funciones de algunas materias primas del revestimiento.

MATERIAS PRIMAS	FUNCION PRINCIPAL	FUNCION SECUNDARIA
MINERALES		
Óxido de hierro	Agente oxidante- da características de acidez al revestimiento	Estabiliza el arco
Rutio (TiO ₂)	Forma escoria - Estabiliza el arco	---
Cuarzo (SiO ₂)	Forma escoria	---
FUNDENTES		
Fluorita	Fluidifica escoria – Da basicidad	---
Caolín	Forma escoria	Estabiliza el arco – Da resistencia al revestimiento
Talco	Forma escoria	
Feldespato	Forma escoria	
Amianto	Forma escoria – Da resistencia al revestimiento	
Silicato de potasio	Estabiliza el arco – Forma escoria - Aglomera	---
Silicato de sodio	Forma escoria - Aglomera	Estabiliza el arco

Fuente: Oerlikon – Exsa (1999)

Interpretación de la norma: En esta clasificación, a cada electrodo se le asignan una serie de símbolos específicos, identificando a un electrodo para soldadura por arco, como se muestra en la Figura 2.1.



Figura 2.1. Interpretación de la norma para la identificación de los electrodos (Oerlikon – Exsa, 1999, p. 47)

2.3.4 Partes de las junta a tope

Las partes o elementos de las juntas soldadas a soldarse son relativamente numerosas, y a fin de poder interpretar y describir correctamente cualquier junta, es necesario identificar y ubicar cada una de sus partes.

Las partes de la junta a tope son los siguientes:

- 1- Abertura de la Raíz
- 2- Cara de la Raíz
- 3- Cara de la Ranura
- 4- Angulo del Bisel
- 5- Angulo de la Ranura
- 6- Tamaño de la Soldadura de Ranura Indicado el Símbolo de Soldar
- 7- Espesor de la Plancha

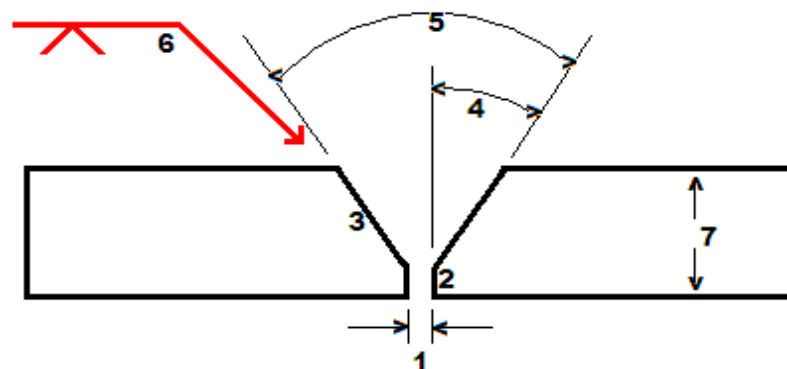


Figura 2.2. Partes de la junta a tope. Carlos Oliva (2007, p.23)

2.3.5 Proceso de soldadura eléctrica por arco

Es un proceso de soldadura, donde la unión es producida por el calor generado por un arco eléctrico, con o sin aplicación de presión y con o sin metal de aporte. La energía eléctrica se transforma en energía térmica, pudiendo llegar esta energía hasta una temperatura aprox. 4 000°C. La energía eléctrica es el flujo de electrones

a través de un circuito cerrado. Cuando ocurre una pequeña ruptura dentro de cualquier parte, o apertura del circuito, los electrones se mueven a gran velocidad y saltan a través del espacio libre entre los dos terminales, produciendo una chispa eléctrica, con la suficiente presión o voltaje para hacer fluir los electrones continuamente. A través de esa apertura, se forma el arco eléctrico, fundiendo el metal a medida que avanza.

El arco eléctrico es, por lo tanto, un flujo continuo de electrones a través de un medio gaseoso, que genera luz y calor (Oerlikon – Exsa, 1999, p. 25).

El electrodo recubierto está constituido por una varilla metálica a la que se le da el nombre de alma o núcleo, generalmente de forma cilíndrica, recubierta de un revestimiento de sustancias no metálicas, cuya composición química puede ser muy variada, según las características que se requieran en el uso. El tipo de revestimiento puede ser básico, rutílico y celulósico.

2.3.5.1 Características de una junta soldada

La mayoría de las soldaduras son consideradas soldaduras por fusión, como se ilustra en la sección transversal de las Figuras 2.3 y 2.4, una junta soldada típica, a la cual se le agregado un metal de relleno, tienen varias zonas: 1) zona de fusión, 2) interfaz de la soldadura, 3) zona afectada por el calor, 4) zona de metal base no afectada

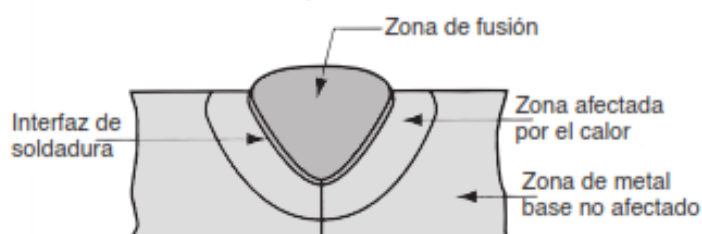


Figura 2.3. Zonas principales en la unión soldada. Groover. M, (2007, p. 700)

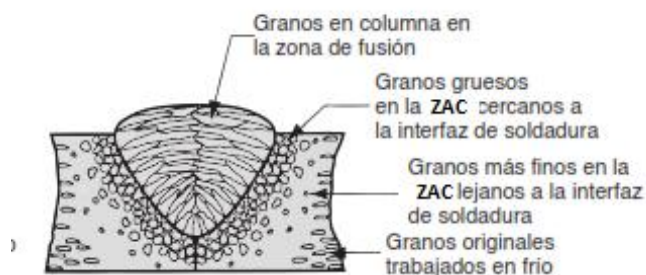


Figura 2.4. Estructuras de grano típico. Groover. M, (2007, p. 700)

2.3.5.2 Zona de fusión. Consiste en una mezcla de metal de aporte y de metal base que se ha fundido por completo. Esta zona se caracteriza por un alto grado de homogeneidad entre los metales componentes que se han fundido durante la soldadura. La mezcla de estos componentes está motivada en gran medida por la convección en la combinación de soldadura fundida. La solidificación en la zona de fusión se asemeja a un proceso de fundición.

2.3.5.3 Interfaz de soldadura. Una estrecha frontera que separa la zona de fusión de la zona afectada por el calor. La interfaz consiste en una banda delgada de metal base fundido o parcialmente fundido durante el proceso de fusión (se localiza dentro de los granos), el cual se ha solidificado inmediatamente después, antes de mezclarse con el metal en la zona de fusión. Por lo tanto, su composición química es idéntica a la del metal base. Groover. M, (2007, p. 700)

2.3.5.4 Zona afectada por el calor. Cuando partes estructurales son soldadas por fusión, en la junta, el material de ambos componentes es calentado hasta su punto de fusión bajo condiciones de restricción impuestas por la geometría del sistema. Debido a este severo ciclo térmico la estructura original del material y sus

propiedades son modificadas en una región cercana a la soldadura. Este volumen de material afectado térmicamente se lo denomina usualmente como *zona afectada por el calor (ZAC)*. Esta zona es convenientemente dividida en sub-zonas, las que se pueden observar en la Figura 2.5, para el caso de un acero.

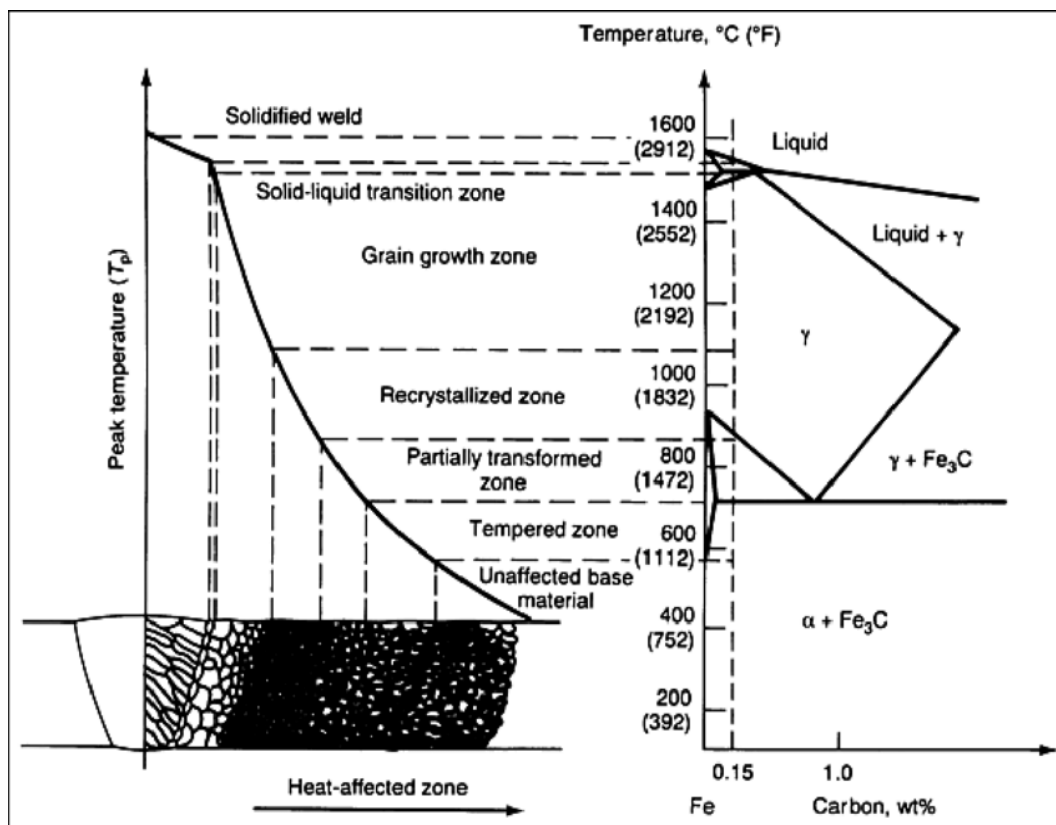


Figura 2.5. Diagrama esquemático de la zona afectada por el calor de la unión soldada de un acero común. L.A. de Vedia, (2004, p. 138, 139)

2.3.6 Ensayos no destructivos (END)

Generalidades. Se denomina **ensayo no destructivo** (también llamado END, o en inglés NDT de Nondestructive Testing) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño

imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

2.3.6.1 Certificación de personal de END

i) Procedimiento: El personal de END debe ser certificado como nivel I, II o III de acuerdo con las recomendaciones de ASNT (American Society for Nondestructive Testing), práctica recomendada N° SNT-TC-1A, ACCP o cualquier otro programa de certificación nacional reconocido que debe ser aceptado por la compañía para el método de ensayo usado. Únicamente personal de nivel II o III debe interpretar los resultados de los ensayos.

ii) Registro: Un registro de certificados de personal de END debe ser mantenido por la compañía. El archivo debe incluir los resultados de los ensayos de certificación, la agencia y el personal que otorga la certificación y la fecha de certificación. El personal de END puede ser requerido para ser recertificado como opción de la compañía o si cualquier cuestionamiento surge acerca de su capacidad. El personal de END nivel I y II debe ser recertificado al menos cada 5 años. El personal de END nivel III debe ser recertificado al menos cada 5 años (**API 1104, 2013, p. 33**).

2.3.6.2 Inspección visual (VT)

La inspección o examen visual es el método no destructivo más ampliamente usado en la industria; aproximadamente un 80% de las discontinuidades, defectos

y deficiencias identificadas por medio de exámenes no destructivos se detectan con esta técnica.

Las normas sobre la capacitación, calificación y certificación del personal de END por lo general se refieren a la inspección visual en un sentido amplio que involucran diferentes tipos de materiales y procesos de fabricación, y no solamente los relacionados con la soldadura y otros métodos de unión. En esta sección se describe esta técnica de examen en tal sentido, pero en el capítulo “Inspección de soldadura” hace énfasis en la inspección visual desde el punto de vista del inspector de soldadura (Carlos Oliva, 2007, p.255).

Los criterios de aceptación de acuerdo al API 1104, cuando los mecanismos de medida visuales o mecánicos son empleados para determinar la profundidad de socavación (mordedura) adyacentes a los pases de acabado o raíz, no deben exceder las dimensiones mostradas en la Tabla 2.6. Cuando ambas medidas, radiografía y mecánica están disponibles, la medida mecánica registrará.

Tabla 2.6. Dimensión máxima de socavación

Profundidad	Longitud
1/32”(0.8mm) o >12.5% del espesor de pared de la tubería, cualquiera sea menor	No aceptable
1/64” (0.4mm) o >6%-12.5% del espesor de pared de la tubería, cualquiera sea menor.	2” (50mm) en una longitud continua de soldadura de 12” (300mm) o un sexto de la longitud soldada, cualquiera sea menor.
1/64” (0.4mm) o ≤6% del espesor de pared de la tubería, cualquiera sea menor.	Aceptable sin importar su longitud

Fuente: API 1104 (2013)

2.3.6.3 Líquidos penetrantes (PT)

El examen por líquidos penetrantes es uno de los más antiguos métodos empleados de ensayos no destructivos. Consiste en aplicar un líquido sobre la superficie a examinar, dejarlo a un tiempo sobre esta-tiempo de penetración- para permitir que se introduzca dentro de las posibles discontinuidades superficiales, eliminar de la superficie el exceso de líquido para luego extraerlo, por medio de un polvo absorbente, mismo que revelara la presencia de las discontinuidades, si las hay, sobre un fondo de contraste que intensifica la visibilidad de las indicaciones.

El examen por líquidos penetrantes permite la detección de discontinuidades en piezas de geometría complicada de una variedad de materiales metálicos (ferrosos y no ferrosos) y no metálicos, como plásticos, cerámicas, vidrios, etc., siempre y cuando no sean porosos; pueden usarse independientemente de las propiedades físicas de los materiales, siempre y cuando la superficie no sea absorbente o porosa y resulte compatible con el procedimiento, método y técnica específicos a emplear (Carlos Oliva, 2007, p.258).

i) Clasificación de indicaciones, según API 1104 (2013)

Las indicaciones encontradas por líquidos penetrantes (PT) no son necesariamente imperfecciones. Marcas de maquinado, rallas y condiciones superficiales pueden producir indicaciones que son similares a aquellas que son producidas por imperfecciones pero que no son relevantes para aceptabilidad.

Cualquier indicación con una dimensión máxima de 1/16" (2mm) o menor, debe ser clasificada como no relevante. Cualquier indicación más larga que se crea no relevante, debe ser juzgada como relevante hasta que una reexaminación por PT u otra técnica no destructiva determinen de un modo u otro si existe una

imperfección. La superficie puede ser pulida o acondicionada por otro método antes de reexaminarse. Después que una indicación se ha determinado como no relevante, otra indicación no relevante del mismo tipo no necesita ser reexaminada.

Indicaciones relevantes son aquellas causadas por imperfecciones. Indicaciones lineales son aquellas cuya longitud es tres veces mayor a su ancho o menor (API 1104, 2013, p. 42).

ii) Normas de aceptación, según API 1104 (2013)

Indicaciones relevantes deben ser consideradas defectos si alguna de las siguientes condiciones existe:

- Indicaciones lineales evaluadas como fisuras de cráter o de inicio de cordón exceden los 5/32" (4mm) en longitud.
- Indicaciones lineales evaluadas como fisuras diferentes que de cráter o de inicio de cordón.
- Indicaciones lineales evaluadas como IF y excedan a 1" (25mm) de su longitud total en cualquier tramo continuo de 12" (300mm) de cordón de soldadura o que excedan el 8% de la longitud soldada.

Indicaciones redondeadas deben ser evaluadas de acuerdo al criterio de radiografía. Para propósitos de evaluación, la máxima dimensión de una indicación redondeada será considerada como su tamaño.

Nota: cuando exista duda acerca del tipo de imperfección de una indicación descubierta, la verificación puede ser obtenida usando otro método de ensayo no destructivo (API 1104, 2013, p. 43).

2.3.6.4. Radiografía industrial (RT)

Es una prueba no destructiva, que nos permite asegurar la integridad y confiabilidad de un producto; además, proporciona información para el desarrollo de mejores técnicas de producción y para el perfeccionamiento de un producto en particular. La inspección por RT se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo físico, diseñado para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna o configuración física de un material. Al aplicar RT, normalmente se obtiene una imagen de la estructura interna de una pieza o componente, debido a que este método emplea radiación de alta energía, que es capaz de penetrar materiales sólidos, por lo que el propósito principal de este tipo de inspección es la obtención de registros permanentes para el estudio y evaluación de discontinuidades presentes en dicho material. Por lo anterior, esta prueba es utilizada para detectar discontinuidades internas en una amplia variedad de materiales.

Dentro de los ensayos destructivos, la radiografía industrial es uno de los métodos más antiguos y de mayor uso en la industria. Debido a esto, continuamente se realizan nuevos desarrollos que modifican las técnicas radiográficas aplicadas al estudio no sólo de materiales, sino también de partes y componentes; todo con el fin de hacer más confiables los resultados durante la aplicación de la técnica.

El principio físico en el que se basa esta técnica es la interacción entre la materia y la radiación electromagnética, siendo esta última de una longitud de onda muy corta y de alta energía. Durante la exposición radiográfica, la energía de los rayos gamma es absorbida o atenuada al atravesar un material. Esta atenuación es proporcional a la densidad, espesor y configuración del material inspeccionado.

La radiación ionizante que logra traspasar el objeto puede ser registrada por medio de la impresión en una placa o papel fotosensible, que posteriormente se somete a un proceso de revelado para obtener la imagen del área inspeccionada; o bien, por medio de una pantalla fluorescente o un tubo de video, para después analizar su imagen en una pantalla de televisión o grabarla en una cinta de video. En términos generales, es un proceso similar a la fotografía, con la diferencia principal de que la radiografía emplea rayos X o rayos Gamma y no energía luminosa.

i) Criterios de aceptación para RT, según API 1104(2013)

a. Penetración Inadecuada sin Desalineamiento (IP). La penetración inadecuada (IP) es definida como el llenado incompleto de la raíz de la soldadura. Esta condición es mostrada esquemáticamente en la Figura 2.6

IP debe ser considerado defecto si alguna de las siguientes condiciones existe:

- La longitud de una indicación individual IP excede de 1" (25mm).
- La suma de las longitudes de las indicaciones IP en una longitud de cordón continuo de 12" (300mm) excede a 1" (25mm).
- La suma de las longitudes de las indicaciones IP exceden el 8% de la longitud en cualquier soldadura con menos de 12" (300mm) de longitud de cordón.

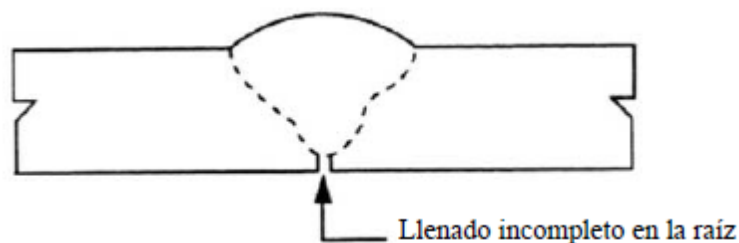


Figura 2.6. Penetración Inadecuada (IP)

b. Penetración Inadecuada debido a Desalineamiento (IPD). IPD es definido como la condición que existe cuando un canto de la raíz esta descubierto

porque la tubería adyacente o la preparación de junta esta desalineada. Esta condición es mostrada esquemáticamente en la Figura 2.7. IPD debe ser considerado un defecto si alguna de las siguientes condiciones existe:

- La longitud de una indicación individual IPD excede de 2" (50mm).
- La suma de las longitudes de las indicaciones IP en una longitud de cordón continuo de 12" (300mm) excede las 3" (75mm).

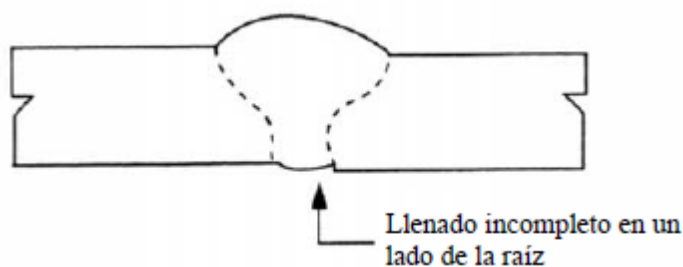


Figura 2.7. Penetración Inadecuada debido al Desalineamiento.

c. **Penetración Transversal Inadecuada (ICP).** ICP es definido como una imperfección sub superficial entre el primer pase interno y el primer pase externo que es causado por la penetración inadecuada de caras verticales. Esta condición es mostrada esquemáticamente en la Figura 2.8. ICP debe ser considerado defecto si alguna de las siguientes condiciones existe:

- La longitud de una indicación individual ICP excede a 2" (50mm).
- La suma de las longitudes de las indicaciones ICP en una longitud de cordón continuo de 12" (300mm) excede a 2" (50mm)

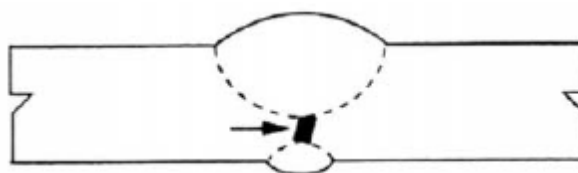


Figura 2.8. Penetración Transversal Inadecuada (ICP)

d. **Fusión Incompleta (IF).** IF es definido como una imperfección superficial entre el metal de soldadura y el material base que está abierto a la superficie. Esta condición es mostrada esquemáticamente en la Figura 2.9. IF debe ser considerado defecto si alguna de las siguientes condiciones existe:

- La longitud de una indicación individual IF excede a 1" (25mm).
- La suma de las longitudes de las indicaciones IF en una longitud de cordón continuo de 12" (300mm) excede 1" (25mm).
- La suma de las longitudes de las indicaciones IF exceden el 8% de la longitud en cualquier soldadura con menos de 12" (300) de longitud de Cordón.

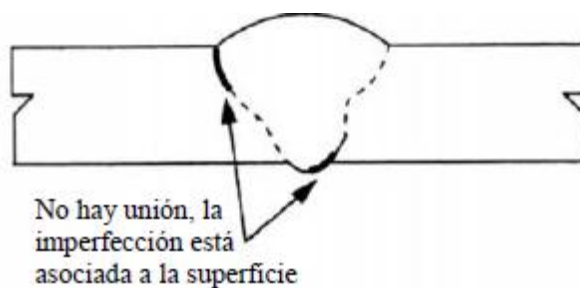


Figura 2.9. Fusión Incompleta en la raíz o parte superior (IF).

e. **Fusión Incompleta Ocasionada por Traslape Frio (IFD).** IFD es definido como una imperfección entre dos pases de soldadura adyacentes o entre el metal de soldadura y el metal base que no está abierto a la superficie. Esta condición es mostrada esquemáticamente en la Figura 2.10. IFD debe ser considerado defecto si alguna de las siguientes condiciones existe:

- La longitud de una indicación individual IFD excede a 2" (50mm)
- La suma de las longitudes de las indicaciones IP en una longitud de Cordón continuo de 12" (300mm) excede a 2" (50mm).

- La suma de las longitudes de indicaciones IFD exceden el 8% de la longitud del Cordón.

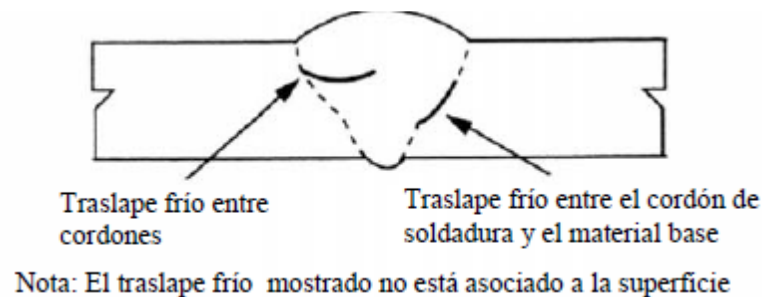


Figura 2.10. Fusión Incompleta a Traslape en frío (IFD)

- f. **Concavidad Interna (IC).** Es definido como un depósito que ha sido fundido adecuadamente y que ha penetrado completamente el espesor de la tubería a lo largo de ambos lados del bisel pero cuyo centro está más debajo de la superficie interior de la pared de la tubería. La magnitud de la concavidad es la distancia perpendicular entre una extensión axial de la superficie de la pared de la tubería y el punto más bajo de la superficie del Cordón soldado. Y es mostrado esquemáticamente en la Figura 2.11. Cualquier longitud de IC es aceptable si la densidad de la imagen radiográfica en la IC no excede a la del material base más delgada. En áreas donde excede la densidad del material base más delgado, se aplicará el criterio para descuelgues.

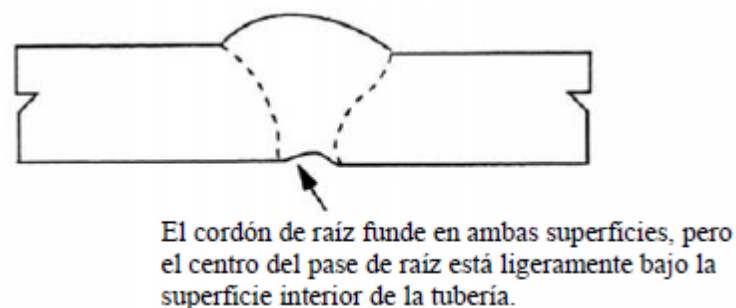


Figura 2.11. Concavidad Interna (IC)

g. Descuelgue (BT). Un BT es definido como una porción del pase de raíz donde una excesiva penetración ha causado que el baño de soldadura penetre hacia el interior del tubo (provocando un agujero o perforación en el Cordón). Para tuberías con un diámetro exterior mayor o igual que 2.375" (60.3mm), un BT debe ser considerado defecto si alguna de las siguientes condiciones existe:

- Cuando la máxima dimensión excede a 1/4" (6mm) y la densidad de la imagen de BT excede la del material base adyacente más delgado.
- Cuando la máxima dimensión excede al menor de los espesores de pared nominales de la unión soldada y la densidad de la imagen de BT excede la del material base adyacente más delgado.
- Cuando la suma de las máximas dimensiones de BTs separados, cuyas densidades de imagen exceden la del material base adyacente más delgado, es mayor a 1/2" (13mm) medido en una porción continua de Cordón de soldadura de 12" (300mm) o medido a lo largo del total del longitud de soldadura, cualquiera sea el menor.

h. Inclusiones de Escoria. Una inclusión de escoria es definida como un sólido no metálico entrampado en el metal depositado o entre el metal base y el metal depositado. Inclusiones de escoria alargadas (ESIs) – ejemplo, líneas de escoria continuas o entrecortadas o huellas de vagon (wagon track)- son usualmente encontrados en la zona de fusión. Las inclusiones de escoria aisladas (ISIs) son formadas irregularmente y pueden ser localizadas en cualquier lugar de la soldadura. Para propósitos de evaluación, cuando se

mida el tamaño de una indicación radiográfica, la máxima dimensión de la indicación debe ser considerada como su longitud.

Para tuberías con un diámetro exterior mayor o igual que 2.375" (60.3mm), una inclusión de escoria debe ser considerada defecto si alguna de las siguientes condiciones existe:

- La longitud de una indicación ESI excede las 2" (50mm).
- Cuando la suma de las longitudes de las indicaciones ESI en cualquier tramo continuo de 12" (300mm) de cordón de soldadura excede a 2" (50mm).
- Cuando el ancho de una indicación ESI excede a 1/16" (1.6mm).
- Cuando la suma de las longitudes de las indicaciones ISI en cualquier tramo continuo de 12" (300mm) de cordón de soldadura excede a 1/2" (13mm).
- Cuando el ancho de una indicación ISI excede a 1/8" (3mm).
- Cuando más de cuatro indicaciones ISI con el máximo ancho de 1/8" (3mm) están presentes en cualquier tramo continuo de 12" (300mm) de cordón de soldadura.
- Cuando las longitudes sumadas de indicaciones ESI e ISI exceden el 8% de la longitud soldada.

- i. **Porosidad (P).** la porosidad es definida como un gas atrapado por la solidificación del metal soldado antes que el gas tenga la oportunidad de ascender a la superficie del baño fundido y escapar. Las porosidades son generalmente esféricas pero pueden ser elongadas o de forma irregular tales como las porosidades alargadas (agujero de gusano). Cuando el tamaño de

una indicación radiográfica producidas por un poro es medido, a la máxima dimensión de la indicación debe aplicarse el criterio mostrado en los siguientes:

Porosidades (P) individuales o dispersas deben ser considerados defectos si alguna de las siguientes condiciones existe:

- Cuando el tamaño de un poro individual excede 1/8" (3mm).
- Cuando el tamaño de un poro individual excede el 25% de espesor de la pared nominal más delgada de la junta.
- Cuando las porosidades distribuidas o dispersas exceden la concentración permitida por las Figuras 2.12.

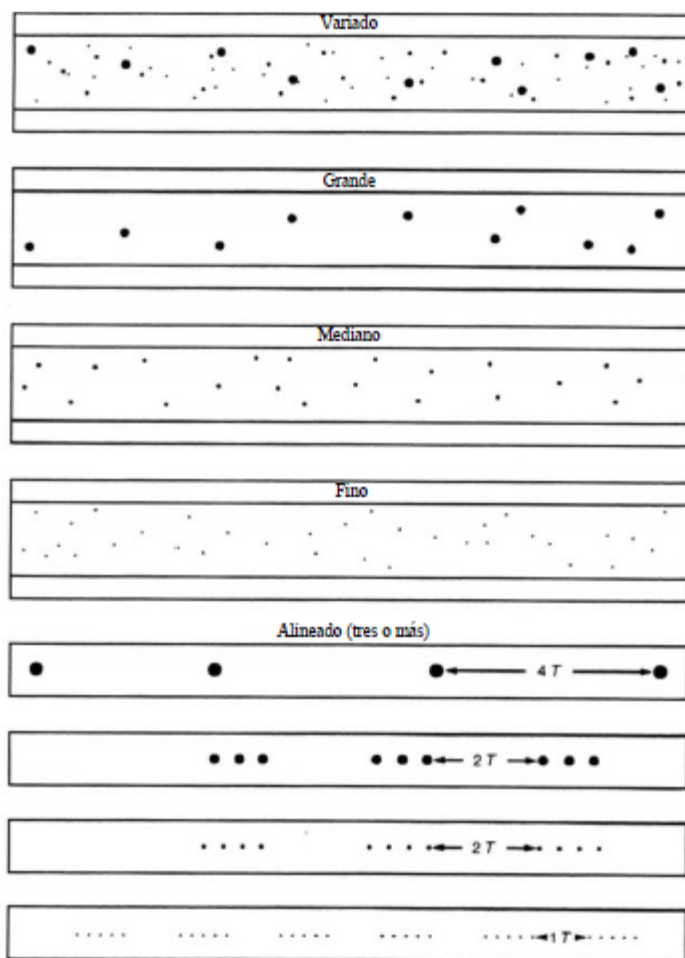


Figura 2.12. Distribución máxima de porosidades.

j. La porosidad agrupada (CP). Que ocurra en cualquier pase excepto el final debe cumplir el criterio de porosidad individual. La CP que ocurra en el pase final debe ser considerada un defecto si alguna de las siguientes condiciones existe:

- Cuando el diámetro del clúster excede $\frac{1}{2}$ " (13mm).
- Cuando la suma de las longitudes de las indicaciones CP en cualquier tramo continuo de 12" (300mm) de cordón de soldadura excede a $\frac{1}{2}$ " (13mm).
- Cuando un poro individual cerca de una porosidad agrupada (CP) excede en tamaño a $\frac{1}{16}$ " (2mm).
- Poro Vermicular (hollow-bead porosity HB) es definido como una porosidad lineal alargada que ocurre en el pase de raíz. HB debe ser considerado un defecto si alguna de las siguientes condiciones existe:
 - Cuando la longitud de una indicación HB individual excede $\frac{1}{4}$ " (6mm).
 - Cuando la suma de las longitudes de indicaciones HB en cualquier tramo continuo de 12" (300mm) de cordón de soldadura excede a 2" (50mm).
 - Cuando las indicaciones individuales de cada porosidad HB, mayor a $\frac{1}{4}$ " (6mm) de longitud, están separadas por menos de 2" (50mm) de distancia.
 - Cuando las longitudes sumada de indicaciones HB exceden el 8% de la longitud soldada.

k. Fisuras (C). Las fisuras deben ser consideradas defectos si alguna de las siguientes condiciones existe:

- Cuando la fisura de cualquier tamaño o localización dentro de la soldadura, no es una fisura de cráter o una fisura en estrella.
- Cuando la fisura es una fisura de cráter o fisura en estrella con una longitud superior a $5/32''$ (4mm).

Nota: las fisuras de cráter o de estrella están situadas en los puntos de parada o de soldadura de pases y son el resultado de contracciones del metal soldado durante la solidificación.

l. Socavación (EU, IU). La socavación (mordedura) es definida como un canal fundido dentro del material base adyacente a la base o raíz de la soldadura y que no es llenado por el metal de aporte. La socavación adyacente al pase de acabado (EU) o al pase de raíz (IU) debe ser considerado como un defecto si alguna de las siguientes condiciones existe:

- Cuando la suma de las longitudes de indicaciones de socavado EU e IU, en cualquier combinación, en cualquier tramo continuo de $12''$ (300mm) excede a $2''$ (50mm).
- Cuando la suma de las longitudes de indicaciones de socavado EU e IU, en cualquier combinación, excede un sexto de la longitud soldada.

m. Acumulación de Imperfecciones (AI). Excluyendo penetración incompleta IPD y socavación, cualquier acumulación de imperfecciones (AI), debe ser considerada un defecto si alguna de las siguientes condiciones existe:

- Cuando la suma de las longitudes de las indicaciones, en cualquier tramo continuo de $12''$ (300mm) de cordón de soldadura excede a $2''$ (50mm).

- Cuando la suma de las longitudes de las indicaciones exceden el 8% de la longitud soldada.

Nota: todas las densidades referidas en este procedimiento son basadas en imágenes negativas (API 1104, 2013, p.34-41).

2.3.6.5 Ultrasonido industrial (UT)

Este método se emplea para detectar y localizar discontinuidades superficiales e internas por medio de haz de ondas sonoras de alta frecuencia que se introducen a las partes a inspeccionar. Los haz sonoros se dirigen por una trayectoria previsible dentro de la pieza y son reflejados por las superficies que los interceptan, y lo ecos o reflexiones del sonido se detectan y su señal es amplificada y llevada a un tubo de rayos catódicos, en el cual es desplegada como un desplazamiento vertical.

i) Propiedades de material: El instrumento deberá ser estandarizado en un material que tenga la misma velocidad acústica y atenuación que el material a ser medido. Donde sea posible la estandarización deberá confirmarse por mediciones dimensionales directas del material a ser examinado.

La exactitud más alta puede obtenerse de materiales con superficies paralelas o concéntricas. En muchos casos, es posible obtener mediciones de materiales con superficies no paralelas, sin embargo, la exactitud de la lectura puede estar ilimitada y la lectura obtenida es generalmente aquella de la porción más delgada de la sección a ser examinada por el haz de sonido en un instante determinado.

ii) Lectura: visualización A-scan son recomendadas donde las superficies de reflexión sean rugosas, picada o corroídas.

iii) Principios y descripción de la técnica, según (Carlos Oliva, 2007). La detección, localización y evaluación de las discontinuidades es posible debido a dos

hechos: la velocidad del sonido a través de un metal es casi constante, por lo que pueden medirse las distancias recorridas; la amplitud de los pulsos de sonidos reflejados es más o menos proporcional al tamaño del reflector. El grado de reflexión (y refracción) que sufre un haz ultrasónico cuando pasa de un medio a otro depende de la diferencia entre las resistencias que cada medio ofrece a su paso (impedancia acústica).

Las ondas sonoras que se emplean en los exámenes por este método son similares a las ondas audibles para el oído humano, pero de una frecuencia mayor, por lo que les denomina ultrasonido. Las frecuencias útiles para la inspección oscilan entre 0.25 y 25 Mega Hert, y las empleadas para examinar soldaduras varían de 1 a 6 MHz, aunque la mayoría de las inspecciones se realiza con frecuencias aproximadas de 2.25 MHz (Carlos Oliva, 2007, p.275).

En resumen. Esta técnica sirve para medir y registrar el espesor real de los materiales en una amplia gama de las industrias, tanto para controlar la calidad de fabricación, como para monitorear su desgaste y así determinar si soportara la presión con el fluido que va a conducir o contener, evitando riesgos de fugas por fisura, e incluso explosión de los elementos a presión.

iv) Practica estándar para la medición de espesores por el método ultrasónico manual de contacto Pulso-Eco, según (ASME V, 2013). Esta práctica proporciona lineamientos para la medición de espesor de materiales utilizando el método de contacto pulso-eco a temperaturas que no excedan los 93°C.

Esta práctica es aplicable a cualquier material en el cual las ondas ultrasónicas se propagaran a una velocidad constante a lo largo de la pieza, y partir de las cuales, las reflexiones por retorno pueden obtenerse y resolverse.

El espesor es medido por el método ultrasonido pulso-eco, es un producto de la velocidad del sonido en el material y la mitad del tiempo de tránsito (ida y vuelta) a través del material.

Donde: T = espesor

V = velocidad

t = tiempo de transito

$$T = \frac{Vt}{2} \quad (2.1)$$

El instrumento ultrasónico de pulso-eco, mide el tiempo de transito del pulso ultrasónico a través de la pieza.

La velocidad en el material siendo examinado, es una función de las propiedades físicas del material. Usualmente se asume que sea constante para una clase de materiales.

Uno o más bloques de referencia se requiere que tengan una velocidad conocida, o del mismo material a ser examinado, y teniendo espesores medidos exactamente y en los rangos de espesores a ser medidos. Generalmente es deseable que los espesores sean en números redondos, en lugar de valores impares misceláneos. Un bloque deberá tener un valor de espesor cerca del máximo del rango de interés y el otro bloque cerca del mínimo de espesor.

Equipo. Los instrumentos de medición de espesor están divididos en tres grupos:

- (1) Detectores de fallas con lector de visualización A-scan.
- (2) Detector de fallas con lector de visualización A-scan y lectura de espesor directo.
- (3) Lector de espesor directo.

(ASME V, 2013, p. 506)

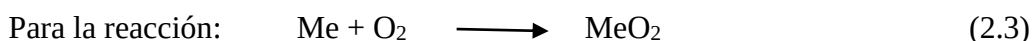
2.4 Termodinámica de la oxidación

Cuando un metal se oxida se produce un cambio en la energía libre, G , del sistema que es igual al trabajo realizado o absorbido durante el proceso. Es máximo cuando el proceso se verifica reversiblemente. En cambio en la energía libre del sistema es la fuerza impulsora de la reacción y representa la fracción máxima de energía que puede convertirse en trabajo. Este trabajo debe ser acompañado por una disminución en la energía libre del sistema ($-\Delta G^o$), ya que de lo contrario, la reacción no podrá tener lugar.

El cambio en energía libre, ΔG^o , está representado por:

$$\Delta G^o = G (\text{productos}) - G (\text{reactantes}) \quad (2.2)$$

El cambio en energía libre tipo para la formación de casi todos los óxidos metálicos es negativo, esto es, los óxidos son termodinámicamente estables en atmosferas de oxígeno, mientras que los metales no lo son. Por consiguiente, tendrá que producirse la oxidación.



La constante de equilibrio K de la ley de acción de masa es igual a:

$$K = [\text{MeO}_2] / [\text{Me}] [\text{O}_2] \quad (2.4)$$

Donde entre paréntesis representan las masas activas de las sustancias reaccionantes. Las masas activas del óxido y del metal solido se tornan iguales a la unidad. La masa activa del oxígeno puede representarse por su presión parcial bajo condiciones de equilibrio. Si el oxígeno está en la atmosfera, la constante de equilibrio, según Scully J. (1968) se convierte en:

$$K_p = 1/P_{\text{O}_2} \quad (2.5)$$

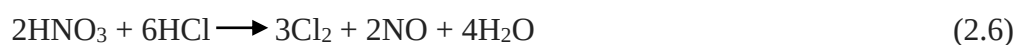
2.5 Preparación de soluciones

La composición de una solución se debe medir en términos de volumen y masa, por lo tanto, es indispensable conocer la cantidad de soluto disuelto por unidad de volumen o masa de disolvente, es decir su concentración. Durante cualquier trabajo experimental, el uso de soluciones se hace indispensable, por lo que es necesario, conocer los procedimientos para su elaboración.

2.5.1 Agua regia

El agua regia o agua fuerte es una solución altamente corrosiva y fumante, de color amarillo, formada por la mezcla de ácido nítrico concentrado y ácido clorhídrico concentrado generalmente en la proporción de una en tres.

El agua regia es un disolvente poderoso debido al efecto combinado de los iones H^+ , NO_3^- , y Cl^- en disolución. Es utilizada el agua fuerte en procedimientos analíticos. El agua regia no es muy estable, por lo que debe ser preparada justo antes de ser utilizada. La ecuación química de la formación del agua regia viene expresado como:



2.5.2 Corrosión generalizada en medios ácidos

En general, los aceros se emplean extensamente como materiales estructurales para una industria que suele enfrentarse a unos medios muy agresivos, donde se presenta una gran diversidad de medios (ácidos, básicos o neutros, con iones en solución, a altas y bajas temperaturas, con sólidos en suspensión, con sales disueltas, velocidades variables de desplazamiento de fluidos) que pueden propiciar fenómenos de corrosión en materiales metálicos. Consecuentemente, uno de los

factores más importantes a considerar en la industria química es la resistencia al medio de los componentes y equipos implicados, por lo que la correcta elección de materiales con buenas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión resulta primordial.

Además, la presencia de impurezas puede influir drásticamente en el grado de corrosividad de las soluciones ácidas. Así, la presencia de agentes reductores como H_2S o SO_2 incrementan la agresividad del medio en lo que a corrosión generalizada se refiere. Por el contrario, la adición de oxidantes tales como el ácido nítrico, iones Fe^{3+} y Cu^{2+} y oxígeno disuelto pueden ampliar el rango de utilidad del acero en contacto con el medio agresivo. Otras sustancias que no son oxidantes ni reductoras pueden afectar también a la corrosividad de las soluciones ácidas. Las más importantes son haluros, como cloruros y fluoruros, cuya presencia incrementa la agresividad de ácidos orgánicos e inorgánicos

En definitiva, en la selección de materiales es importante considerar todas las posibles variaciones de temperatura y composición química que pudiera experimentar el ambiente de proceso, ya que las condiciones durante los periodos de puesta en marcha, parada y otras alteraciones del proceso pueden diferir considerablemente de las condiciones propias de las operaciones normales. Los ácidos más comunes son los siguientes:

a) Ácido nítrico

El ácido nítrico es un ácido fuertemente oxidante que da lugar a capas de óxidos muy estables y adherentes, jugando un papel primordial en la fabricación de productos como fertilizantes, tintes, pirotecnia y explosivos.

En cuanto al efecto de la composición, la resistencia a la corrosión del acero en contacto con ácido nítrico tiende a aumentar al elevar el contenido en cromo. Además, son recomendables bajos contenidos en carbono y silicio, aunque en soluciones muy concentradas (>95%) la adición de Si, resulta beneficiosa.

b) Ácido clorhídrico

El ácido clorhídrico es un ácido fuertemente reductor y extremadamente agresivo, muy empleado como reactivo químico en los procesos de fabricación en la industria papelería, del azúcar, productos farmacéuticos, cuero y textil, así como en la limpieza y desengrasado de materiales metálicos y tratamiento de grasas y aceites.

c) Ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico es considerado, como uno de los ácidos más importantes por ser un reactivo básico para numerosas industrias (química, fertilizantes, petróleo, textil, explosivos, pinturas, etc.) y un subproducto de diversos procesos industriales. El comportamiento de los aceros en soluciones de H_2SO_4 presenta bastantes problemas. Se trata de un medio complejo, ya que en concentraciones por debajo del 85% a temperatura ambiente y del 65% a temperatura más elevada (66°C) se comporta como ácido reductor, mientras que por encima de estos niveles posee un carácter oxidante. Además, la presencia de pequeñas cantidades de sustancias oxidantes o reductoras, trazas de sales metálicas o sustancias orgánicas en el seno de la solución pueden modificar este carácter y convertir los aceros en activos o pasivos.

2.6 Disolución

La mezcla de dos a más sustancias dando un resultado homogéneo, se llama disolución, la disolución entre dos cuerpos es mutua, aunque se suele llamar disolvente o medio de dispersión al componente cuyo estado físico es el mismo que el de la disolución, y soluto al otro u otros componentes.

2.6.1 Mecanismos de la disolución

a) En primer lugar, se produce una reacción superficial que da lugar a la liberación de moléculas de soluto de la fase sólida. Esto implica un cambio de fase, de manera que las moléculas del sólido se convierten en moléculas del soluto en el disolvente en el que se disuelve el cristal.

La solución en contacto con el sólido se saturará (debido a que está en contacto directo con el sólido sin disolver). Su concentración será C_s , una solución saturada.

b) A continuación, las moléculas de soluto deben migrar a través de las capas limítrofes que rodean el cristal hacia la parte principal de la solución, momento en el que su concentración será C . Este paso implica el transporte de estas moléculas lejos de la superficie de unión sólido-líquido hacia la parte principal de la fase líquida por difusión o convección. Los estratos limítrofes son capas de líquido estáticas o de movimiento lento que rodean todas las superficies sólidas húmedas. Se produce una transferencia de masa más lenta a través de estas capas estáticas o de movimiento lento, que inhiben el movimiento de las moléculas de soluto desde la superficie del sólido a la parte principal de la solución. Por consiguiente, la concentración de la solución en las capas limítrofes varía, y pasa de la saturación (C_s) en la superficie del cristal a la igualdad con la parte principal de la solución (C) en su límite más externo.

2.6.2 Fracción másica, fracción molar

Una disolución en un sistema homogéneo en el que se tiene, es el caso más simplificado, un disolvente y un soluto, en donde lo más frecuente de expresar la concentración de una disolución es la fracción másica, que hace referencia siempre al cociente entre una parte del sistema y el total del sistema. En nuestro caso se trataría de un cociente en el que el soluto se encuentra en el numerador y la disolución (disolvente más soluto) en el denominador.

Las fracciones son adimensionales, puesto que se tienen las mismas unidades tanto en el numerador como en el denominador, las fracciones solo pueden tomar valores comprendidos entre 0 y 1, así que todas las fracciones de los componentes presentes en una disolución han de sumar 1.

La **fracción másica** de soluto se define como el cociente entre la masa de soluto y la masa total de la disolución:

$$\text{Fracción másica} = \frac{\text{masa de soluto (g)}}{\text{masa total (g)}}$$

La **fracción molar** de soluto se define como el cociente entre los moles de soluto y los moles totales:

$$\text{Fracción másica} = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{moles totales}}$$

Para nuestro caso en particular la expresión matemática será la siguiente:

$$\text{Porcentaje de masa consumida (\%m}_c\text{)} = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100 \quad (2.7)$$

$$\text{Porcentaje de masa sin reaccionar (\%m}_s\text{)} = 100 - \%m_c \quad (2.8)$$

$$\text{Fracción de masa sin reaccionar (x}_{ms}\text{)} = \%m_s / 100 \quad (2.9)$$

Donde:

m_i : masa inicial antes de la reacción

m_f : masa final al término de la reacción

2.7 Corrosión general

La corrosión puede definirse como la reacción química o electroquímica de un metal o aleación con su medio circundante, con el consiguiente deterioro de sus propiedades. El proceso de corrosión es natural y espontáneo, y cuanto mayor es la energía gastada en la obtención del metal a partir del mineral, tanto más fácilmente el metal revierte al estado combinado (Otero, 2001).

2.7.1 Tipos de corrosión más comunes

- Corrosión electroquímica
- Corrosión microbiológica
- Corrosión por oxígeno
- Corrosión por presiones parciales de oxígeno
- Corrosión galvánica
- Corrosión por actividad salina diferenciada

2.7.1.1 Corrosión electroquímica. Se presenta cuando en una misma superficie metálica ocurre una diferencia de potencial en zonas muy próximas entre sí. Se producirá entonces una migración eléctrica desde la zona en que se verifica el potencial de oxidación más elevado (área anódica), hacia aquella donde se verifica el potencial de reducción más bajo (área catódica).

2.7.1.2 Corrosión microbiológica. Es una forma de corrosión electroquímica y se presenta cuando actúan ciertos microorganismos (ferro-bacterias) con la capacidad de causar corrosión en superficies metálicas sumergidas. Este tipo de corrosión se manifiesta con picaduras sobre el metal (*pitting*). La Figura 2.13, muestra la corrosión microbiológica.



Figura 2.13. Corrosión microbiológica (Carrasco, 2008)

2.7.1.3 Corrosión por oxígeno. La Figura 2.14, muestra la corrosión por oxígeno esta forma de corrosión que afecta generalmente a superficies expuestas al oxígeno di-atómico disuelto en agua o al aire. Esta corrosión se acelera ante la presencia de alta presión o temperaturas elevadas.



Figura 2.14. Corrosión por oxígeno (Carrasco, 2008)

2.7.1.4 Corrosión por presiones parciales. Este tipo de corrosión se manifiesta eventualmente cuando hay oxígeno presente al interior de una tubería, sumado a la condición de presiones distintas al interior de la misma. Cuando esto ocurre, segmentos de la tubería reciben más aireación que otro segmento adyacente, formándose una pila. El área expuesta a una aireación menor (menor presión parcial), actuará como ánodo y la expuesta a una mayor presencia de oxígeno (mayor presión parcial) actuará como un cátodo, generándose una migración de electrones, oxido en un segmento y reducción en la otra parte de la pila. Este tipo

de corrosión es común en superficies irregulares donde se producen obturaciones de oxígeno.

2.7.1.5 Corrosión galvánica. Es la más común de todos los tipos de corrosión y se produce cuando dos metales distintos se convierten uno en ánodo y otro en cátodo. Aquel metal que manifieste un potencial de reducción predominantemente negativo generara oxidación y aquel metal que manifieste un potencial de reducción predominantemente positivo generara una reducción.

Este par de metales constituye lo que se conoce como pila galvánica, por lo cual, el metal que se oxida (ánodo) cederá sus electrones y el metal que se reduce (cátodo) aceptará los electrones. La Figura 2.15 muestra, la corrosión galvánica.



Figura 2.15. Corrosión galvánica (Carrasco, 2008)

2.7.1.6 Corrosión por actividad salina diferenciada. Esta corrosión se manifiesta principalmente en calderas de vapor, cuando la superficie metálica expuesta a diferentes concentraciones salinas genera de manera intermitente una pila galvánica, donde la superficie expuesta a la menor concentración salina se comportará como un ánodo.

2.7.2 Materiales metálicos

Los materiales puros y sus aleaciones tienden a unirse químicamente con elementos corrosivos del medio formando compuestos estables similares a los hallados en la naturaleza. Cuando la pérdida del metal ocurre de este modo, el compuesto formado se denomina **producto de corrosión** y la superficie del metal se dice que esta **corroída**.

La corrosión es un fenómeno complejo aunque puede adoptar una o muchas formas. Normalmente está localizada en la superficie del metal y entonces se denomina corrosión general. Pero algunas aparecen a lo largo de los límites de grano u otras líneas que presentan debilidad a causa de una diferente resistencia al ataque o una acción electrolítica local. En la mayoría de los sistemas acuosos, las reacciones de corrosión están divididas en una región anódica y otra catódica, ocurriendo simultáneamente en distintos puntos de la superficie del metal. El flujo de electricidad desde las áreas anódicas a las catódicas puede ser generado por celdas locales dispuestas bien en una superficie metálica simple (por diferencias locales punto a punto en la superficie) o entre dos metales distintos (Perry -2001, p. 28-3).

2.8 Métodos de prueba y evaluación de la corrosión

2.8.1 Métodos no electroquímicos que determinan la pérdida de masa acumulada:

Las tasas de corrosión son determinadas a partir de la medición gravimétrica de la pérdida de masa en el laboratorio, ya sea bajo condiciones que imitan aquellos en el campo o en condiciones que se aceleran. Este último se consigue a menudo elevando la temperatura o la concentración de componentes en las soluciones

acuosas usadas para el ensayo. La exposición de campo también es simulada por varios métodos de gabinete de laboratorio tales como métodos de pulverización de sal, y otras que introducen diversas condiciones de ambiente ciclos incluyendo inmersión completa. La sabiduría típica es que el protocolo de prueba acelerado produce la corrosión, acelera el mecanismo de corrosión que es operativo en el campo, y se correlaciona en vidas o tasas de campo. A menudo, este último no se logra en pruebas de laboratorio aceleradas. En estos casos, una clasificación relativa de los materiales o tratamientos se obtiene la determinación de la tasa de corrosión por pérdida de masa. Es deseado que se obtiene la misma clasificación en pruebas de campo. Los métodos de pérdida de masa pueden ser atractivos para usar en el tipo de ambientes que involucran humectación y secado. Bajo estas condiciones, los métodos electroquímicos no son adecuados.

Los métodos metrológicos; en cierta medida, representan el método más directo para medir la tasa de corrosión.

El establecimiento del grado de adelgazamiento del material se puede hacer usando varios acercamientos incluyendo el rayo-x.

Mediciones de espesor, mediciones ópticas de la topografía superficial y microscopías de sondas de barrido. La radiografía mide la densidad del material en función de la posición. Los estándares de calibración de la radiografía de convertir en un mapa de grosor. En el caso de mediciones de metrología óptica, una serie de los métodos comerciales permiten mediciones de alta resolución de la topografía superficial como el escaneado por ultrasonido (ASM Metal HandBook, 2003, p. 224-226).

2.8.2 Técnica pérdida de masa:

El método de pérdida de peso relaciona el daño causado por la corrosión con pérdidas de peso en los materiales. Las pruebas de inmersión total que emplean el método de pérdida de peso consisten en exponer piezas pequeñas de metal a ambientes corrosivos, para determinar la pérdida de peso del material después de la prueba. Este método es uno de los más usados en estudios de oxidación y corrosión para determinar el grado de afectación en los metales. Esto se debe a que los resultados obtenidos por este método, son considerados confiables, al asemejarse a resultados obtenidos en pruebas en planta (Casallas, 2014, p. 34)

2.8.3 Ensayo de inmersión total:

Uno de los métodos para determinar el factor de resistencia química, denominado ensayo de inmersión total, representa un método no acelerado que, como se ha descubierto, da resultados razonablemente concordantes, de conformidad aproximada con los resultados obtenidos a gran escala, cuando se tienen en consideración las otras variables. Se han propuesto otros ensayos que se utilizan en la actualidad como aspersion de la sal, el ensayo electrolítico acelerado, la inmersión alterna y la inmersión total aireada; sin embargo, en vista de las muchas complicaciones para la traducción de los resultados de laboratorio a los resultados de la planta, se considera que la prueba más sencilla es la más conveniente para trabajos preliminares de rutina, reservando los métodos especiales de ensayo para casos específicos. El ensayo de inmersión total sirve muy bien para eliminar los materiales que, evidentemente, no se pueden utilizar, se puede llevar a cabo una selección posterior entre los materiales que aparentemente se pueden usar, sobre la base del conocimientos de las propiedades de los materiales de que se trate

y la condiciones de trabajo mediante la construcción a gran escala de equipos de material propuesto, en los que se pueden simular las condiciones operativas.

” Stándar laboratory Corrosión Testing of Metals for the Process Industries” y la ASTM G31 Recomend Practice for laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals, es la guía general para los ensayos de inmersión total de la National association of Corrosion Engineers (NACE) TMO169-95. Pequeñas piezas del metal sometido a estudio se exponen al medio, y las pérdidas de peso del metal se miden durante un periodo de tiempo dado. Los ensayos de inmersión continúan siendo el mejor método para eliminar a los materiales que no pueden utilizarse. Esta técnica frecuentemente, el método más rápido y satisfactorio para hacer una selección preliminar de los mejores materiales en estudio.

Probablemente la desventaja más seria de este método de estudio de corrosión es el tiempo medio, que hay que fijar de pérdida de peso. La velocidad de corrosión puede ser inicialmente elevada y disminuir con el tiempo (pudiendo descender a cero). En otros casos la velocidad de corrosión puede aumentar gradualmente con el tiempo o ser cíclica o alguna combinación de estos casos.

La descripción que sigue se basa en las normas mencionadas anteriormente.

Piezas para ensayos. El tamaño y la forma de las piezas variaran de acuerdo a la finalidad del ensayo, la naturaleza del material y el aparato que se utiliza. Son convenientes una relación grande de superficie a masa y una relación pequeña de área a borde de área total. Esas proporciones se pueden alcanzar mediante la utilización de muestras rectangulares o circulares de espesor mínimo (Perry, Robert, 2001, p. 28-14).

2.8.4 Cálculo de la velocidad de corrosión, según ASTM G31: Práctica estándar para inmersión en laboratorio de pruebas de corrosión de los metales

La tasa de corrosión promedio se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Velocidad de corrosión: } (KxW)/(AxTx D) \quad (2.10)$$

Donde:

K: una constante

T: tiempo de exposición en horas

A: área en cm^2

W: pérdida de masa en gramos

D: densidad en g/cm^3

La Tabla 2.7 muestra las constantes de velocidad de corrosión

Tabla 2.7. Constante de la velocidad de corrosión

Corrosion Rate Units Desired	Constant (K) in Corrosion Rate Equation
mils per year (mpy)	3.45×10^6
inches per year (ipy)	3.45×10^3
inches per month (ipm)	2.87×10^2
millimetres per year (mm/y)	8.76×10^4
micrometres per year ($\mu\text{m/y}$)	8.76×10^7
picometres per second (pm/s)	2.78×10^6
grams per square metre per hour ($\text{g/m}^2\cdot\text{h}$)	$1.00 \times 10^4 \times D^4$
milligrams per square decimetre per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times D^4$
micrograms per square metre per second ($\mu\text{g/m}^2\cdot\text{s}$)	$2.78 \times 10^6 \times D^4$

Fuente: ASTM G31 (2004)

2.9 Grados de corrosión ISO 8501-1 – SIS 055900

Los grados de limpieza a obtener vienen definidos por una serie de normas, la más divulgada de las cuales es la norma SIS 055900 del SWEDISH STANDARDS INSTITUTION, que ha sido recientemente transformada en norma ISO 8501-1: 1988, en la que, los grados de preparación están en función del estado inicial del acero a pintar. Estas normas contemplan solamente acero más o menos envejecido, pero que nunca ha sido pintado.

Estado iniciales definidos por ambas normas:

Grado A. Superficie de acero completamente recubierto con cascarilla de laminación o calamina y con trazas de óxido, Figura 2.16 (grado A es normalmente el que presenta el acero poco tiempo después de su laminación en caliente).



Figura 2.16. Grado de óxido A (ISO 8501-1, 2002)

Grado B. Superficie de acero que ha iniciado su corrosión y de la que ha empezado a desprenderse la cascarilla de laminación, Figura 2.17 (el grado B es normalmente el estado de una superficie de acero laminado en caliente después de haber permanecido expuesta a la intemperie, sin protección, en una atmosfera medianamente corrosiva, durante 2 o 3 meses).

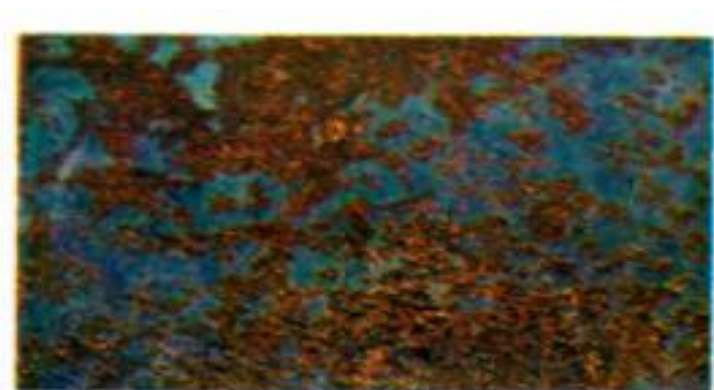


Figura 2.17. Grado de óxido B (ISO 8501-1, 2002)

Grado C. Superficie de acero de la que la corrosión ha hecho saltar la totalidad de la cascarilla de laminación, pero que todavía no presenta picaduras detectables a

simple vista, Figura 2.18 (el grado C es normalmente el estado de una superficie de acero que ha sido expuesta a la intemperie, sin protección, en una atmosfera medianamente corrosiva, durante un año, aproximadamente).

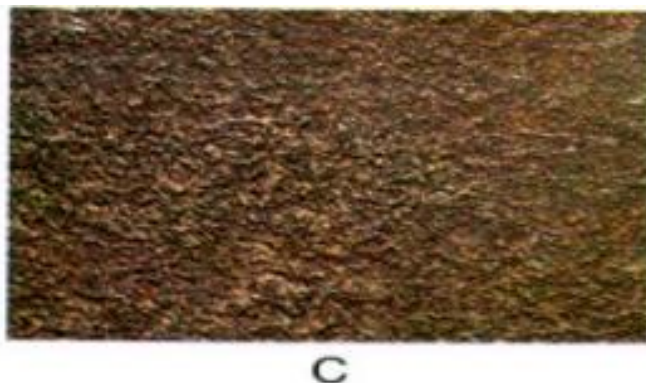


Figura 2.18. Grado de óxido C (ISO 8501-1, 2002)

Grado D. Superficie de acero de la que se ha desprendido la totalidad de la cascarilla de laminación y en la que se observan picaduras a simple vista, Figura 2.19 (el grado D corresponde al estado de una superficie de acero después de su exposición a la intemperie, sin protección, en una atmosfera medianamente corrosiva durante unos 3 años).



Figura 2.19. Grado de óxido D (ISO 8501-1, 2002)

2.10 Norma de preparación superficial del acero

Si bien existen diversos institutos y centros que han establecido normas, las más conocidas y difundidas y que además han sido homologados por la ASTM son:

STEEL STRUCTURES PAINTING COUNCIL SSPC (U.S.A.) y
SWEDISH STANDARD INSTITUTE SIS 055900

Tabla 2.8. Clasificación y equivalencia de preparación superficial

	SSPC	SIS 055900
<i>Limpieza con solventes</i>	SP1	
<i>Limpieza manual</i>	SP 2	St 2
<i>Limpieza motriz</i>	SP 3	St 3
<i>Limpieza con llamas y escobillado</i>	SP 4	
<i>Chorro abrasivo metal blanco.</i>	SP 5	SA 3
<i>Chorro abrasivo comercial</i>	SP 6	SA 2
<i>Chorro abrasivo Brush Off</i>	SP7	SA 1
<i>Decapado</i>	SP8	
<i>Exposición ambiental y Chorro abrasivo</i>	SP9	
<i>Chorro abrasivo casi blanco.</i>	SP 10	SA 2 1/2

Fuente: www.psm-duPont.com.mx/es/axalta/servicios/preparacion-de-superficies.html.
(Recuperado el 10 de julio 2016)

Una cuidadosa preparación de superficies antes y durante la aplicación de un sistema protector, necesariamente permitirá obtener una mejor protección del sustrato que al final se traducirá en una reducción de costos de mantenimiento.

Para seleccionar el método más adecuado de preparación de superficies, así como evaluar las condiciones existentes, deberán ser considerados otros factores como:

- Seguridad
- Accesibilidad
- Protección de Maquinaria y Equipo
- Variables del medio ambiente

- Costos

Los principales métodos de preparación de superficies especificados por el STEEL STRUCTURES PAINTING COUNCIL (SSPC) y la NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS (NACE), que son las principales organizaciones internacionales que han normado los grados de preparación.

2.10.1 SSPC-SP-1 (Limpieza con solvente)

Es llamada limpieza con solvente. Sin embargo está basado en la utilización de productos tales como: vapor de agua, soluciones alcalinas, emulsiones jabonosas, detergentes y solventes orgánicos. Mediante este método son removidos la mayoría de los contaminantes como: grasa, aceite, polvo y sales solubles en el agente limpiador. La solución limpiadora es aplicada suavemente o mediante equipo de presión, seguido de un lavado con agua natural y secado con equipo de vacío o simplemente utilizando aire seco.

2.10.2 SSPC-SP-2 (Limpieza manual)

Este método utiliza herramientas manuales, no eléctricas, para eliminar impurezas, tales como: residuos de soldaduras, oxidación, pintura envejecida y otras incrustantes que puedan ser removidos con el solo esfuerzo humano.

A través de este método, generalmente no es posible desprender completamente todas las incrustaciones. Los bordes de pintura envejecida, deben ser desvanecidos para mejorar la apariencia del repintado que se haga posterior a la limpieza.

2.10.3 SSPC-SP-3 (Limpieza mecánica)

La limpieza mecánica, es un método que utiliza herramienta eléctrica o neumática, para eliminar impurezas tales como: residuos de soldadura, oxidación, pintura envejecida y otros incrustantes que pueden ser removidos con estas herramientas. A través de este método, generalmente no es posible desprender completamente todas las incrustaciones. Los bordes de pintura envejecida, deben ser desvanecidos, para mejorar la apariencia del repintado que se haga posterior a la limpieza.

2.10.4 SSPC-SP-4 (Limpieza con flama)

Este método consiste en pasar sobre las superficies metálicas, altas temperaturas a alta velocidad. Generalmente se usa flama de acetileno. Una vez aplicada la flama a la superficie, ésta debe limpiarse con cepillo de alambre para eliminar la escama floja y el óxido. La pintura primaria deberá aplicarse antes de que la superficie esté completamente fría.

2.10.5 SSPC-SP-5 NACE-1 (Limpieza con chorro de abrasivo grado metal blanco)

Este tipo de limpieza, utiliza algún tipo de abrasivo a presión para limpiar la superficie, a través de este método, se elimina toda la escama de laminación, óxido, pintura y cualquier material incrustante. Una superficie tratada con este método, presenta un uniforme color gris

claro, ligeramente rugoso, que proporciona un excelente anclaje a los recubrimientos. La pintura primaria debe ser aplicada antes de que el medio ambiente ataque a la superficie preparada.

2.10.6 SSPC-SP-6 NACE-3 (Limpieza con chorro de abrasivo grado comercial)

Procedimiento para preparar superficies metálicas, mediante abrasivos a presión, a través del cual es eliminado todo el óxido, escama de laminación, pintura y materiales extraños.

Es permitido que pintura en buen estado e incrustaciones permanezcan adheridas aún después de la preparación de la superficie, siempre y cuando éstas no rebasen la tercera parte de cada superficie.

2.10.7 SSPC-SP-7 NACE-4 (Limpieza con chorro grado ráfaga)

Este tipo de limpieza, utiliza algún abrasivo a presión para preparar superficies metálicas que tengan una cantidad mínima de escoria, pintura, oxidación y otros contaminantes, se conoce generalmente como 'Ráfaga' y consiste en una limpieza muy superficial que permite que algunas incrustantes y pintura no sean eliminadas del sustrato.

2.10.8 SSPC-SP-8 (Limpieza química)

Método para limpieza de metales, mediante reacción química, electrólisis o por medio de ambos.

A través de una reacción química con algún producto específico, superficies metálicas son liberadas de escamas, óxido, pintura y

materiales extraños, posteriormente la reacción es neutralizada con alguna otra solución y secada con aire o vacío.

2.10.9 SSPC-SP-9 (Limpieza por agentes atmosféricos)

Consiste en la remoción de pintura, escamas de laminación u óxido, por medio de la acción de agentes atmosféricos, seguido de alguno de los métodos de limpieza mencionados anteriormente.

La alteración debida a agentes atmosféricos, usualmente no constituye un método efectivo en la preparación de superficies, por lo que debe ir siempre acompañado de alguno de los métodos sugeridos en este documento, ya sea con herramientas mecánicas o mediante la aplicación de chorro de abrasivo.

2.10.10 SSPC-SP-10 NACE-2 (Limpieza con chorro de abrasivo grado cercano a blanco)

Método para preparar superficies metálicas, mediante abrasivos a presión, a través del cual es removido todo el óxido, escama de laminación, pintura y materiales extraños.

La superficie debe tener un color gris claro y deben eliminarse sombras de oxidación visibles en un 95%. De hecho la diferencia entre una limpieza con chorro de arena grado metal blanco y metal cercano al blanco, radica en el tiempo empleado para pintar, ya que el metal es atacado por el medio ambiente y pasa a ser grado cercano al blanco en poco tiempo (<http://www.psm-dupont.com.mx/es/axalta/servicios/preparacion-de-superficies.html>).

2.11 Operación y mantenimiento, procedimientos que afectan a la seguridad de transporte de hidrocarburos líquidos por sistema de tuberías, Según ASME B31.4, (2012)

2.11.1 Corrosión

Áreas externas e internas de pérdida de metal con una profundidad máxima mayor que 80% del espesor de la pared debe ser eliminado o reparado.

Se puede establecerse un criterio adecuado para evaluar el perfil longitudinal de pérdida de metal causada por la corrosión al cordón de soldadura que cruza la tubería longitudinal de un arco sumergido. Para la costura circunferencial serán aplicados de acuerdo al diseño de ingeniería.

2.11.2 Corrosión externa

Áreas externas con corrosión expuestas se limpiaran al metal desnudo en general, las zonas de corrosión con una profundidad máxima de 20% o menos del espesor requerido para el diseño de construcción, no necesita ser reparado, sin embargo se tomaran medidas adicionales para prevenir corrosión. El área de corrosión con profundidad máxima mayor a 20% pero inferior o igual a 80% de espesor de pared se permitirá, que permanezcan en la tubería sin reparar, siempre que se establezca el espesor mínimo que cumpla con la presión de funcionamiento, generalmente aceptable.

Métodos para calcular la presión de funcionamiento segura se puede usar el código ASME 31G, de acuerdo a la presión de operación de cada ducto de transporte.

2.11.3 Corrosión interna

Las limitaciones para las áreas de corrosión interna y externa, son las mismas consideraciones, debe facilitar la incertidumbre relacionada con la

medición indirecta de espesor de la pared y la posibilidad que la corrosión interna pueda requerir esfuerzos de mitigación continua, para evitar la pérdida adicional de metal (ASME B 31.4, 2012, p. 67).

2.13 Resumen del Informe sobre Fallas en los Sistemas de Transporte por Ductos

Se presenta a continuación en la Tabla 2.9, el resumen de las fallas reportadas por Osinergmin, en el sistema de transporte de ductos hacia la costa, estos ductos, son operados por la empresa transportadora del Perú (TGP), en las cuales se observa que las fallas en la parte de soldadura y zona ZAC suman en total 6, y lugares sin especificar 2, en el cuerpo del ducto 2, daño por terceras personas 2, esto quiere decir que el 50% de las fallas es; en la parte soldada, de ahí la importancia del estudio de la unión soldada.

Tabla 2.9. Resumen del informe de fallas reportadas por Osinergmin

1	En la zona ZAC, flexión originados por el hundimiento y desplazamiento del suelo
2	Rotura parcial, presencia de hidrogeno atrapado durante el proceso, al pie de la soldadura
3	Rotura transversal del ducto al borde de la soldadura, por fuerzas externas.
4	El ducto sufrió un impacto durante la construcción, la cual con la operación se generó una fisura
5	Rotura transversal del ducto, debido a fuerzas externas, no especifica el lugar.
6	Falla y fuga por pliegue en la tubería, mal curvado
7	Fuga en la parte soldada, falla por plegado, Una carga de compresión
8	Fuga en la parte soldada, falla por plegado, Una carga de compresión
9	Fuga por perforaciones en la tubería, realizados por terceros y colocación de válvulas
10	Fuga perforaciones en la tubería, realizados por terceros y colocación de válvulas
11	Fuga por fuerza externa en la soldadura circunferencial, Zona ZAC
12	Filtración en el ducto, debido a fuerzas externas, no especifica el lugar.

Ver anexo A, registro fotográfico de fallas.

CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación y lugar de la experimentación

El trabajo de investigación se ha desarrollado en las ciudades de Ayacucho y Lima, a continuación se indican los lugares en donde se han realizado cada uno de las etapas para la experimentación:

- La obtención de la muestra de tubería de unión soldada se obtuvo de una calificación de soldador del proyecto OFF SHORE y ON SHORE la Pampilla, la cual fue realizado para homologar al soldador, para que pueda realizar la unión de soldadura entre tuberías contiguas, para la futura línea submarina a la salida y entrada de la refinería la Pampilla – Lima.
- Medición de espesores iniciales realizados en la empresa de ensayos no destructivos: I&C INDUSTRIALES S.A.C/ NDT INSPECTION TECHNOLOGIES SAC)
- Radiografía industrial inicial, y durante el ataque de las muestras de uniones soldadas, se realizaron en la empresa de ensayos no destructivos I&C INDUSTRIALES S.A.C/ NDT INSPECTION TECHNOLOGIES SAC
- Trabajos de mecanizado en la preparación de la muestra una vez realizado los END iniciales, se realizó en el taller de Indumetal- Ayacucho.
- Ensayos de ataque químico, con ácidos inorgánicos se realizó en el laboratorio de I&C INDUSTRIALES S.A.C.
- Trabajos preliminares de ataque con agua regia, se realizó en el laboratorio de Transferencia de Calor de la FIQM.

- Trabajos de ataque de muestra de la unión soldada, muestra 1-6, con agua regia, y parte de los END, se realizó en el laboratorio de química orgánica, de la FIQM.
- Trabajos de ataque de muestra de la unión soldada muestra 1-7, con agua regia, y la realización de END se realizó en el laboratorio de la empresa I&C INDUSTRIALES S.A.C.

3.2 Diseño y descripción de la experimentación

Para la realización de la presente investigación se toma una muestra de soldadura de tuberías API 5L X52 de 14” de diámetro, al cual se le realizaron los ensayos no destructivos preliminares de radiografía industrial (RT), con la finalidad de verificar el estado inicial del cuerpo volumétrico de la muestra evaluados con el criterios de aceptación del estándar API 1104 Ed. 2013.

La medición de espesores se realizó, con la finalidad de verificar el espesor real de la muestra inicial y durante el proceso de acuerdo al ASME V, artículo 5.

Los ensayos de líquidos penetrantes de igual manera se hicieron antes, durante y al finalizar la corrosión forzada.

En la Figura 3.1, se presenta el diagrama de bloques planteado para la presente investigación, en el cual se detalle las etapas a seguir para el proceso del comportamiento de uniones soldadas en tuberías API 5L X52 ante el ataque de agua regia empleando ensayos no destructivos.

Las etapas del proceso se muestran a continuación:

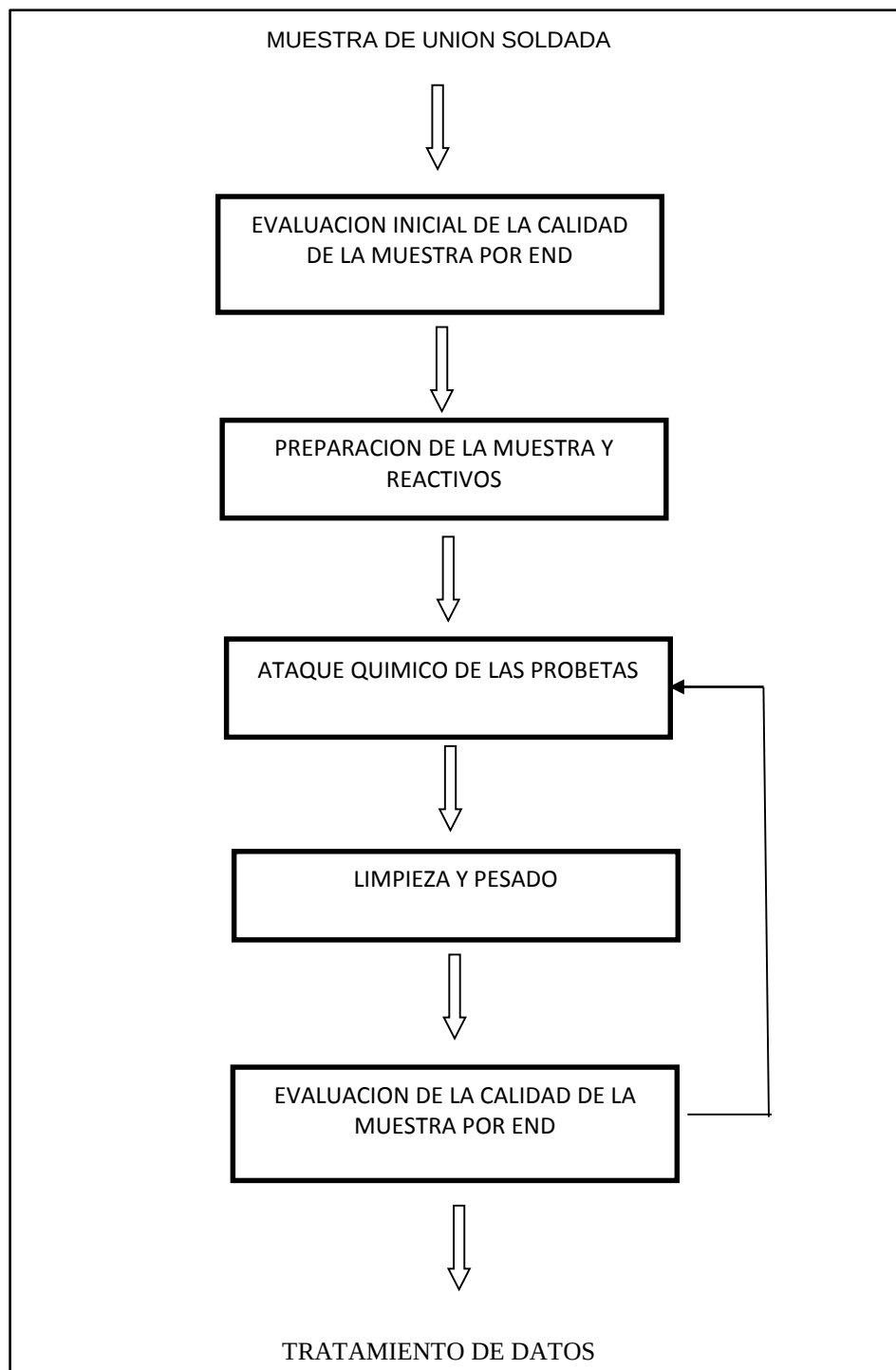


Figura 3.1. Etapas del proceso experimental.

3.2.1 Criterios para el dimensionamiento de las muestras

Para la obtención de las dimensiones de la muestra se elige, un tamaño representativo que debe cumplir con la aplicación del estándar API 1104 Ed. 2013,

ASME V, ASM Metal HandBook, y otras normas, para evaluar la unión soldada. Para lo cual se toma una longitud aproximada de 14 cm. de largo con un ancho de 6 cm, el espesor de SCH 40, que verificando la Tabla de la norma Schedule (anexo B), es de un espesor de 9.53 mm., presentando una configuración de sección de arco en forma rectangular, centrando la unión soldada, las cuales estarán sometidos a inspecciones mediante los END, por ambas caras de la superficie durante el proceso; La cara será donde está el mayor refuerzo de la unión soldada, y la raíz es donde se observa una mínima cantidad de material de refuerzo según mostrado en la Figura 3.2.

3.2.2 Evaluación inicial de la calidad por END de la muestra

La evaluación inicial de la muestra empleando los ensayos no destructivos para la presente investigación son: inspección visual, líquidos penetrantes, radiografía industrial, y medición de espesores.

La muestra de la unión soldada a realizar el ataque del agua regia cumple con las recomendaciones del estándar API 1104, y ASME V, para su análisis e interpretación en las técnicas a evaluarse, teniendo como longitud de interpretación 14 cm de largo y ancho 6 cm. Cumpliendo con los procedimientos de inspección la zona afectada por el calor (los laterales del cordón de soldadura) con lo cual cumplen con las normas de inspección.

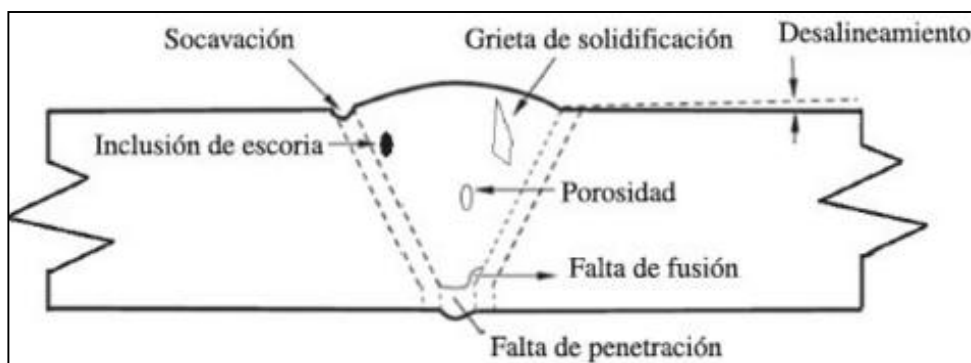


Figura 3.2. Indicaciones comunes encontradas durante los END.

3.3 Implementación del proceso experimental

3.3.1 Prueba gravimétrica

Este procedimiento aplica a la verificación de pérdida de masa, y la determinación de velocidad de corrosión de la muestra durante la realización de la corrosión forzada, teniendo como referencia los siguientes: Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluation Corrosion Test Specimens (ASTM G1), y Standard Practice for laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals (ASTM G31). Los cuales se pretenden aplicar en la industria de transporte de hidrocarburos en donde el uso del material API 5L X52, sea de uso.

3.3.1.1 Materiales y equipos

- Balanza con una tolerancia de 0.1g
- Recipiente de vidrio para la reacción
- Termómetro.
- Campana de tiro
- Detergentes
- Cámara digital

3.3.1.2 Criterios de aceptación

Los criterios de aceptación se desarrollarán de acuerdo a los estándares ASTM descritos líneas arriba.

3.3.2 Determinación del grado de corrosión y limpieza

Este procedimiento aplica a las muestras que se exponen al ataque de agua regia durante la corrosión forzada. Para saber cuál es, el grado de corrosión, que se obtiene al someter a la corrosión forzada se realiza la comparación directa con norma ISO 8501-1 (Grado A, grado B, etc.). y con el patrón guía

de referencia fotográfica, para la preparación de superficie de acero (SPC-VIS 1, Guide and Reference Photographs for Steel Surfaces). Los cuáles serán realizados con la remoción de material extraño de la pieza, utilizando para ello la limpieza manual y mecánica de las muestras de acuerdo a (SSPC – SP 2: Limpieza manual, SSPC – SP 3: Limpieza mecánica).

También se puede aplicar la norma: ASTM D 610 (SSPC-VIS2): Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces.

3.3.2.1 Materiales y equipos

- Referencia fotográfica (Patrones de comparación)
- Agua
- Detergente
- Escobilla
- Cepillo eléctrico

3.3.2.2 Criterios de aceptación

Para saber cuál es, el grado de limpieza óptimo se realizara la verificación de limpieza de la superficie del metal, se debe retirar todos los materiales disueltos en la superficie del metal, para ello se deberá elegir entre: SSPC – SP-2 (limpieza manual) y SSPC – SP-3 (limpieza mecánica), los cuales serán aceptables cuando en la superficie de estudio no tenga material solido disuelto y tenga una apariencia limpia.

CAPITULO IV

RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1 Ensayos preliminares

A continuación se detallan los ensayos preliminares realizados antes del inicio de la parte experimental propiamente.

4.1.1 Obtención de la muestra:

Para la obtención de la muestra problema, se utilizaron segmentos de niples de tubería de material base API 5L X52, obteniéndose el cupón de 14 pulgadas de diámetro-STD 40, con una longitud de 12" de largo, los cuales fueron soldados en su momento con el proceso SMAW, realizándose el pase de raíz con el electrodo E6010 PT, y los pases de relleno y acabado con E 7010 PT (electrodos de varilla).

El cupón de prueba, fue inicialmente, realizado los END, resultando aceptable para los ensayos mencionados durante el presente trabajo (VT, PT, y RT)

Se realizó el seccionamiento del diámetro y largo del cupón, con corte oxiacetilénico, para después realizar el refrentado con una maquina mecánica llamada torno (Figura 4.1), quedando lisa la superficie lateral, el corte tiene un ancho de 6 cm, y una longitud de 14 centímetros aproximadamente, obteniendo en total 7 muestras de unión de soldadura.



Figura 4.1. Reducción de tamaño de la muestra de unión soldada

4.1.2 Identificación de las muestras:

Para la identificación de las muestras y evaluar la corrosión de las muestras de uniones soldadas de material API 5L X52, y la evaluación de la aceptabilidad mediante los ensayos no destructivos, se realizaron la identificación de cada una de las muestras, mediante tipos, lo cual se consigue con un golpe de impacto según la Figura 4.2, las cuales fueron identificados desde el número **1** al número **7**, de la siguiente manera: 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6, 1-7.

En las muestras obtenidas y para evitar confusión de las mismas se realizaron los agujeros, según la recomendación del estándar ASTM G1, perforando agujeros de acuerdo al número de muestra desde 1 hasta 7 agujeros, según la Figura 4.2.

Para la realización del ataque y evaluación por los ensayos no destructivos se tomaron dos muestras las que se mencionan a continuación:

La muestra **1-7**, se le realizó el ataque en la ciudad de Lima.

La muestra **1-6**, se le realizó el ataque en la ciudad de Ayacucho.



Figura 4.2. Identificación con tipos y perforaciones

4.1.3 Comportamiento de muestra frente al ataque de ácidos inorgánicos

Para ampliar el panorama de la corrosión frente a diferentes ácidos, se realizaron ensayos preliminares previos de ataque de pequeñas secciones de muestra problema (unión de soldadura), en los cuales se usaron ácidos como: ácido nítrico concentrado, ácido clorhídrico concentrado, ácido sulfúrico concentrado y diluido.

Luego de los ataques con dichos reactivos se observa los siguientes:

4.1.3.1 Ácido nítrico: se observa que al realizar el ataque con ácido nítrico concentrado la pequeña muestra de sección de tubería soldada no hace ninguna reacción, con lo cual se define que el ácido nítrico concentrado no altera ni modifica las propiedades de la muestra, según se muestra en la Figura 4.3.

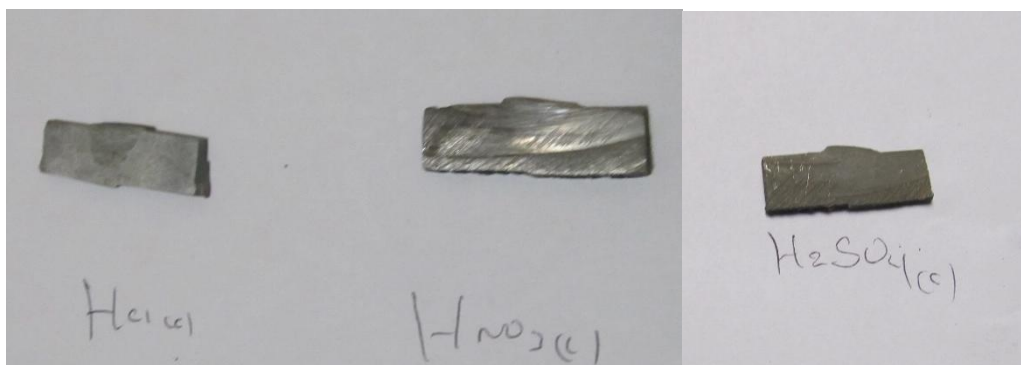


Figura 4.3. Ataque con ácidos concentrados

4.1.3.2 Ácido clorhídrico: Se observa que al efectuar el ataque con ácido clorhídrico concentrado la pequeña muestra de sección de tubería soldada reacciona lentamente al transcurrir el tiempo, se observa un ataque macrográfico identificándose la zona ZAC y la geometría de la unión soldada, con lo cual se define que el ácido clorhídrico concentrado es un agente decapante y oxidante (Figura 4.3).

4.1.3.3 Ácido sulfúrico: Se observa que al realizar el ataque con ácido sulfúrico concentrado la pequeña muestra de sección de tubería soldada no hace ninguna

reacción, con lo cual se define que el ácido sulfúrico concentrado no altera ni modifica las propiedades de la muestra (Figura 4.3).

4.1.3.4 Ácido sulfúrico diluido: Se observa que al realizar el ataque con ácido sulfúrico diluido en diferentes concentraciones, a las muestras de sección de tubería soldada, al transcurrir el tiempo reaccionan observándose, un ataque macro-gráfico identificándose la zona ZAC, por lo tanto se observa una geometría de la unión soldada (Figura 4.4), con lo cual se define que el ácido sulfúrico diluido es un agente oxidante.



Figura 4.4. Ataque de la muestra con ácido sulfúrico diluido

4.1.3.5 Agua regia: Se observa que al realizar el ataque con agua regia las muestras de sección de tubería soldada empiezan a reaccionar al entrar en contacto, desprendiendo óxido nítrico, de color pardo rojizo, para después cambiar a un color gris. Se observa también desprendimiento violento de gases nitrosos, con formación de una capa oscura en el contorno de la muestra, y precipitados de color gris que corresponden al hierro. Después de realizar el lavado de la muestra se observa en la pieza un ataque macrográfico bien diferenciado de la unión soldada, identificando con facilidad la zona ZAC (Figura 4.5).

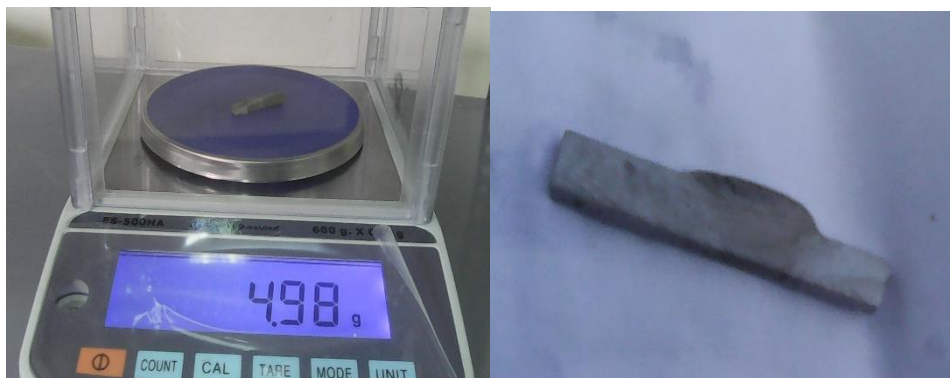


Figura 4.5. Ataque preliminar de la muestra con agua regia

4.2 Preparación de los reactivos y ataque de la muestra

4.2.1 Preparación de los reactivos

Para la preparación del agua regia, se realiza de acuerdo a los manuales, y bibliografía, tiene que cumplir la proporción de 3 a 1, esto quiere decir que se debe medir 3 volúmenes de ácido clorhídrico y un volumen de ácido nítrico concentrado, las cuales deben mezclarse minutos antes de realizar el ataque.

Para la preparación del reactivo de agua regia, se adquirió un envase de vidrio con una capacidad de 5 litros de solución, según la Figura 4.6.

Componentes participantes en la preparación del agua regia:

Ácido nítrico;

HNO₃ (C): 17 M

Volumen: 500ml.

Ácido clorhídrico:

HCl (C): 11 M

Volumen: 1500ml.

Se utilizó 1500 ml de ácido clorhídrico y 500 ml de ácido nítrico.

Según la Ecuación 2.8 se tiene:



4.2.2 Ataque químico de muestras:

El proceso de exposición se realiza con la inmersión de la muestra en el agente corrosivo con concentraciones altas, debido a que en estas concentraciones la mezcla es más puro, por ende el pH es bajo y altamente corrosivo, simulando condiciones extremas para evaluar el comportamiento de la muestra, utilizando para ello recipiente de vidrio de 5L de capacidad, para un contenido de 2L de reactivo de agua regia con el fin de cubrir en su totalidad la muestra, simulando las condiciones extremas de una corrosión, teniendo en cuenta la emanación de gases tóxicos, se realiza la prueba en una cabina de extracción. Ver Figura 4.6.



Figura 4.6. Recipiente para el ataque químico conteniendo agua regia

El recipiente usado, se cortó de una damajuana (botella grande), por medio de un choque térmico, el cual consiste en calentar la zona con un hilo de algodón, empapado con alcohol, para después enfriarlo bruscamente en agua helada, resultando el mostrado en la Figura 4.6.



Figura 4.7. Inmersión de la muestra en agua regia

La muestra de la unión soldada de dimensiones aproximadas de 14 cm x 6 cm., se expone en la solución de agua regia, con un tiempo de ataque químico de 30 minutos, culminado el tiempo se realiza lo siguiente:

- Se efectúa la limpieza y secado de la muestra de ensayo.
- Se realiza las pesadas, verificación de las dimensiones, y la aplicación de los ensayos no destructivos.
- Se continúa con el mismo proceso hasta obtener resultados de rechazo de la muestra de unión soldada, aplicando los ensayos no destructivos.
- Como herramienta de comprobación se usarán estándares y normas de evaluación de la corrosión.

A continuación se presenta en las Tablas 4.1 y 4.2, la masa consumida, durante el ataque con agua regia, realizando los cálculos con las Ecuaciones 2.7, 2.8 y 2.9.

Tabla 4.1. Masa (g) consumida de la muestra 1-7 durante el ataque con agua regia a temperatura ambiente de 29°C

t(horas)	Consumo de masa (g)						
0	678.95	678.95	678.95	678.95	678.95	678.95	678.95
0.5	614.72						
1		506.4					
1.5			453.45				
2				452.2			
2.5					451.1		
3						450.2	
3.5							449.5
%mc= (mi-mf)/mi*100	9.46%	25.41%	33.21%	33.40%	33.56%	33.69%	33.79%
%ms, sin reaccionar	90.54%	74.59%	66.79%	66.60%	66.44%	66.31%	66.21%
Xms, fracción sin reaccionar	0.9054	0.7459	0.6679	0.666	0.6644	0.6631	0.6621
Temperatura (°C)	40	65	75	37	33	32	32

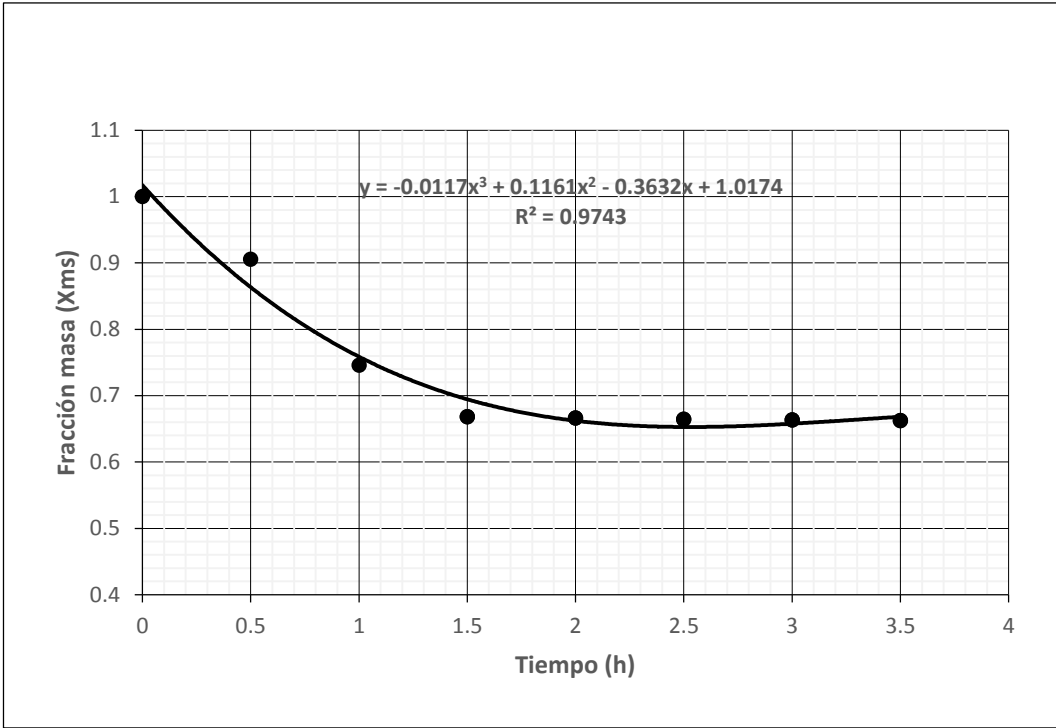


Figura 4.8. Velocidad de disolución del acero API 5LX52 en agua regia de la muestra 1-7, Se presenta la Ecuación, más cercana a los puntos experimentales obtenidos, realizado en la ciudad de Lima, a una temperatura ambiente de 29°C

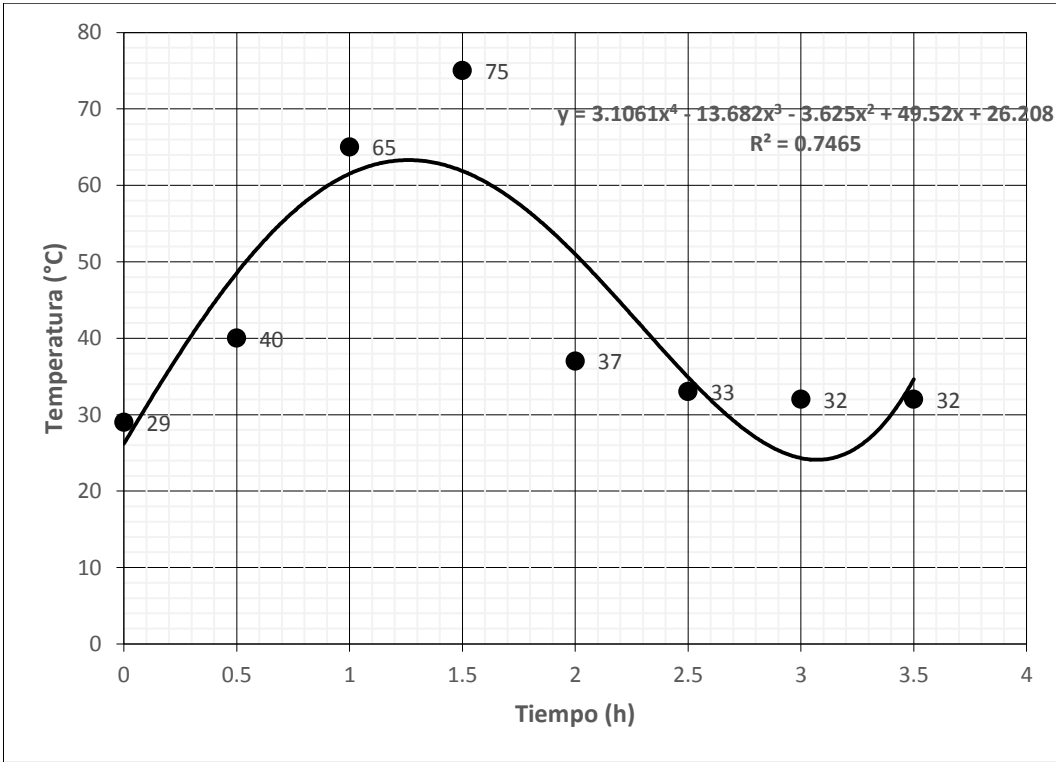


Figura 4.9. Temperatura de la reacción de la muestra 1-7, temperatura ambiente 29°C

Tabla 4.2. Masa (g) consumida de la muestra 1-6 durante el ataque con agua regia a temperatura ambiente de 18°C

Tiempo (h)	consumo de masa(g)									
0	677.65	677.65	677.65	677.65	677.65	677.65	677.65	677.65	677.65	677.65
0.5	660.11									
1		643.88								
1.5			610.3							
2				593.02						
2.5					568.15					
3						527.55				
3.5							484.44			
4								462.22		
4.5									455.79	
5										451.58
%mc= (mi- mf)/mi*100	2.59%	4.98%	9.94%	12.49%	16.16%	22.15%	28.51%	31.79%	32.74%	33.36%
%ms, sin reaccionar	97.41%	95.02%	90.06%	87.51%	83.84%	77.85%	71.49%	68.21%	67.26%	66.64%
Xms, fracción sin reaccionar	0.97	0.95	0.90	0.88	0.84	0.78	0.71	0.68	0.67	0.67
Temperatura °C	20	21	23	27	32	37	60	75	56	40

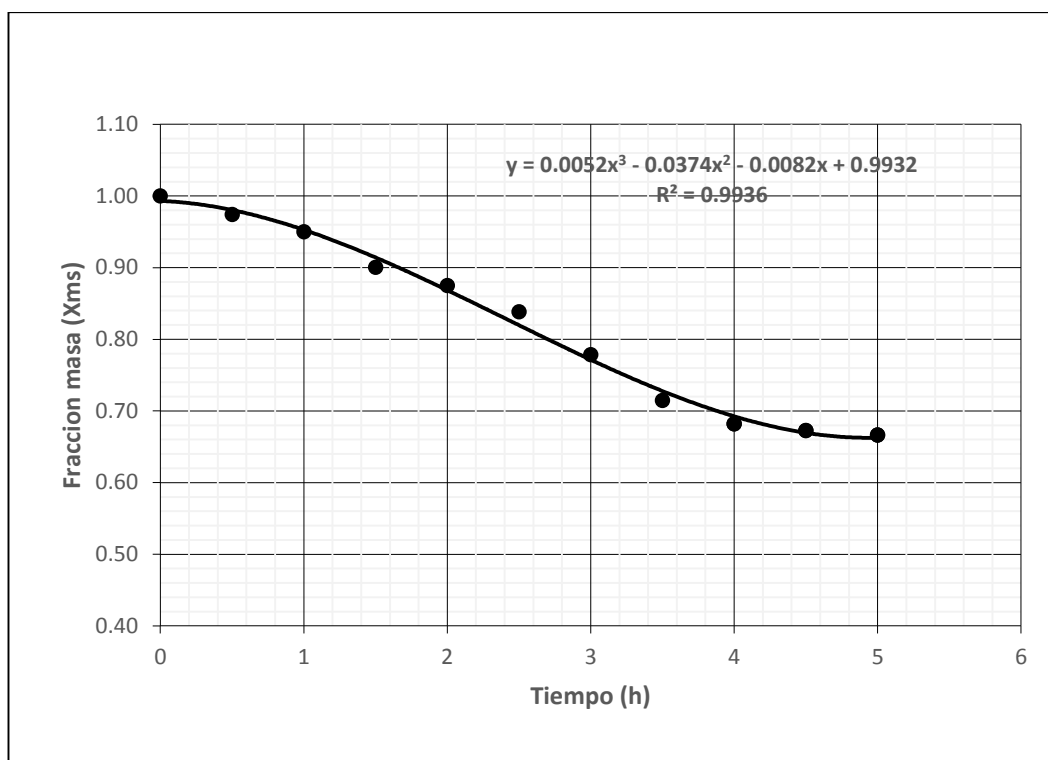


Figura 4.10. Velocidad de disolución del acero API 5LX52 en agua regia, muestra 1-6, desarrollado en la ciudad de Ayacucho, a una temperatura ambiente de 18°C

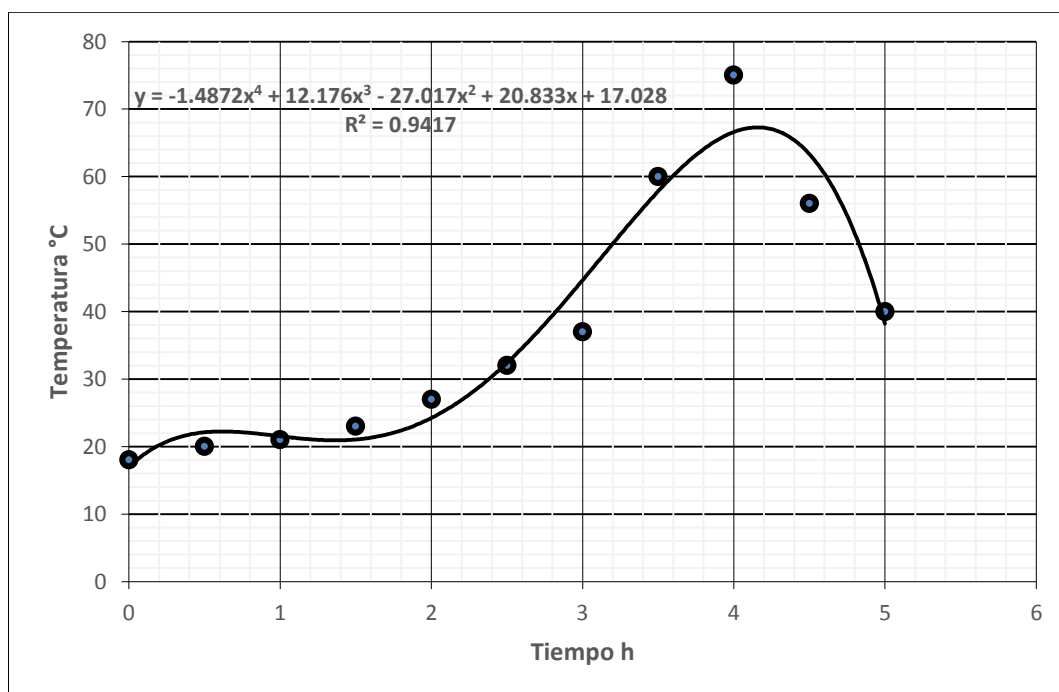


Figura 4.11. Temperatura de la reacción de muestra 1-6, temperatura ambiente 18°C

4.3 Aplicación de los END durante el ataque corrosivo

4.3.1 Inspección visual (VT)

4.3.1.1 Referencias

API 1104. Ed. 2013, Secciones 9.3

ASME V, artículo 9, Inspección Visual

AWS 3.0. Welding, Terms and Definitions

AWS 5.1. Covered Carbon Steel Arc Welding Electrodes

Procedimiento de inspección visual, ver anexo D

4.3.1.2 Equipos y accesorios

- Cámara fotográfica digital.
- Reglas metálicas
- Lupas
- Linternas

4.3.1.3 Calificación y certificación de personal

El encargado para la evaluación de los criterios de aceptación y rechazo de las muestras sometidas al ataque corrosivo, es el inspector certificado como Nivel II, en la técnica mencionada.

4.3.1.4 Proceso de la inspección

La aplicación de la técnica de inspección visual, para las muestras mencionadas, se desarrolló de acuerdo a los siguientes:

- En la muestra inicial, se utilizó la técnica de la limpieza mecánica, que consiste en el uso de un esmeril de escobilla de mano, hasta cumplir con la norma SPPC SP-3.

- Luego de la primera exposición en la solución de agua regia, se efectúa una limpieza, y posterior secado.
- Una vez limpio la muestra se inicia con la evaluación, según los criterios de aceptación/rechazo del API 1104, ed. 2013, los cuales se muestran en la Tabla 4.3.
- Para la inspección visual se tiene las herramientas, para cuantificar la presencia de indicaciones (reglas metálicas, vernier galgas etc.)
- Los procesos mencionados anteriormente se repiten hasta que se detecte que la muestra sometida al ataque se mantenga constante.
- Se puede realizar un reporte de inspección de acuerdo al anexo D.



Figura 4.12. Evolución de la muestra antes y después del ataque con agua regia

Tabla 4.3. Resultados de inspección visual de la muestra 1-7

Muestra 1-7	Zona y localización de discontinuidades y/o defectos	Forma de Indicación		Dimensión de Indicación	Resultado
		Lineal	Redonda		
0.0 horas					Aceptable
0.5 horas					Aceptable
1.0 horas					Aceptable
1.5 horas	Cara, raíz: CP, UC; P, IC	x	x	1.2,0.4,11cm	Rechazado
2.0 horas	Cara, raíz: UC; P, IC	x	x	14, 0.4,11cm	Rechazado
2.5 horas	Cara, raíz: UC; P, IC	x	x	14, 0.4,11cm	Rechazado
3.0 horas	Cara, raíz: UC; P, IC	x	x	14, 0.4,11cm	Rechazado
3.5 horas	Cara, raíz: UC; P, IC	x	x	14, 0.4,11cm	Rechazado
Abreviatura de Discontinuidades de Soldadura					
Porosidad Aislada	P	Falta de Fusión	IF	Concavidad interna	IC
Fisura Transversal	FT	Porosidad Anidada	CP	Socavación	UC
Fisura Longitudinal	FL	Falta Penetración	IP	Bajo llenado	UF

Tabla 4.4. Resultados de inspección visual de la muestra 1-6

Muestra 1-6	Zona y localización de discontinuidades y/o defectos	Forma de Indicación		Dimensión de Indicación	Resultado
		Lineal	Redonda		
00 horas					Aceptable
0.5 horas					Aceptable
1.0 horas					Aceptable
1.5 horas					Aceptable
2.0 horas					Aceptable
2.5 horas					Aceptable
3.0 horas	Cara, raíz: UC; UC	x		28 cm	Aceptable
3.5 horas	Cara, raíz: P, CP; UC,P	x		0.3, 1.2,14cm	Rechazado
4.0 horas	Cara, raíz: UC; IC, UC, P	x	x	14, 14 cm	Rechazado
4.5 horas	Cara, raíz: UC; IC, UC, P	x	x	14, 14 cm	Rechazado
5.0 horas	Cara, raíz: UC; IC, UC, P	x	x	14, 14 cm	Rechazado
Abreviatura de discontinuidades de soldadura, Según Api 1104					
Porosidad Aislada	P	Falta de Fusión	IF	Concavidad interna	IC
Fisura Transversal	FT	Porosidad Anidada	CP	Socavación	UC
Fisura Longitudinal	FL	Falta Penetración	IP	Bajo llenado	UF

4.3.2 Radiografía industrial (RT)

4.3.2.1 Referencias

API 1104 – Sección 11.1 Radiographic tests methods

AWS 3.0 - Términos y definiciones

API 5L – Tubería para línea

Procedimiento escrito, ver anexo E

4.3.2.2 Equipos y accesorios

Monitor Geiger

Vip sonoro

Penetrámetros

Letras y números de plomo

Colimador

Telecomando

Fuente de iridio

Densitómetro

Negatoscopio

Películas radiográficas

4.3.2.3 Calificación y certificación de personal

El inspector encargado de realizar el ensayo y emitir los criterios de aceptación y/o rechazo, de la muestra de ensayo, será la persona que tenga la certificación de nivel II, en la técnica de RT.

4.3.2.4 Procesos

Técnica de ensayo

Para la realización de la toma de placa radiográfica se utiliza la técnica de ensayo de pared simple vista simple

Cálculo de tiempo de exposición

Espesor de la muestra: 10 mm

Fuente radiactiva: Ir 192

Actividad de la fuente: 4 Ci.

Películas radiográficas: D5.

Penetrametros: Set B.

$$T^{\text{exp}} = \frac{F \times D^2}{0.5 \times A \times \exp\left(\frac{-\ln 2t}{13.5}\right)} \quad (4.1)$$

Donde:

F: factor de película

0.5 : Constante del acero

A: Actividad de la fuente, anexo F

t: espesor, en mm

D: distancia, en metros.

Para películas D5, el tiempo de exposición fue de 7 min.

Los cuales que a medida, va disminuyendo el espesor disminuye el tiempo de exposición de acuerdo con la Ec. (4.1). Se identifica el film con números en cada ataque corrosivo de la muestra, de 1 a 7.

4.3.2.5. Interpretación

La interpretación se llevó a cabo en cuarto oscuro, con la ayuda de un iluminador para la evaluación de las placas radiográficas.



Fig. 4.13. Estado inicial de la muestra 1-7, verificado por radiografía industrial



Fig. 4.14. Verificación de la densidad del film radiográfico

Resultado final.

Para la interpretación de los resultados, así como su procesamiento y análisis, la radiografía se realizó en las instalaciones de la empresa NIT, empresa dedicado a prestar servicios de ensayos no destructivos, prueba de ello se adjunta en el anexo E, los procedimientos aplicables y formatos de inspección. Los resultados de la inspección radiográfica iniciales se presentan en la Tabla 4.5. Los resultados de la inspección radiográfica durante el proceso de ataque químico y final se presentan en la Tabla 4.6.

Tabla 4.5. Resultados de inspección radiográfica de las muestras iniciales

Identificación de radiografía	Ubicación de radiografía (cm)	Resultado	*Código de discontinuidad					Densidad ICI	Densidad área	Ubicación y tamaño de discontinuidades (cm)	Observaciones	
J 1-1	0 - 14	A	1					2.6	2.7			
J 1-2	0 - 14	A						2.5	2.62			
J 1-3	0 - 14	A	1					2.4	2.5			
J 1-4	0 - 14	A						2.5	2.6			
J 1-5	0 - 14	A	1					2.7	2.8			
J 1-6	0 - 14	A						2.6	3.8			
J 1-7	0 - 14	A						2.4	2.6			
*Código de discontinuidad								Ug.- 'Penumbra Geométrica DFP.- Distancia fuente película			Resultado A: Aceptado. R: Rechazado	
1.-	Porosidad interna	6.-	Penetración incompleta	11.-	Socavado externo							
2.-	Porosidad Agrupada	7.-	Fisura	12.-	Desalineamiento							
3.-	Inclusión de tungsteno	8.-	Indicación alargada	13.-	Film mark							
4.-	Inclusión de escoria interna	9.-	Superficie cóncava de raíz									
5.-	Falta de Fusión	10.-	Socavado interno									

Tabla 4.6. Resultados de inspección radiográfica de la muestra 1-7

Identificación de radiografía	Ubicación de radiografía (cm)	Resultado	*Código de discontinuidad					Densidad ICI	Densidad área	Ubicación y tamaño de discontinuidades (cm)	Observaciones
J 1-7 (0 h)	0.14	A						2.4	2.6		
J 1-7 (0.5h)	0 - 14	A						2.59	2.71		
J 1-7 (1h)	0 - 14	A						2.52	2.61		
J 1-7 (1.5h)	0 - 14	R	9	1 1				2.31	2.47	2-10, 11-14	
J 1-7 (2h)	0 - 14	R	9	1 1				2.38	2.54	2-10, 11-14	
J 1-7 (2.5h)	0 - 14	R	9	1 1				2.30	2.34	2-10, 11-14	
J 1-7 (3h)	0 - 14	R	9	1 1				2.20	2.29	2-10, 11-14	
J 1-7 (3.5h)	0 - 14	R	9	1 1				2.20	2.29	2-10, 11-14	
*Código de discontinuidad									Ug.- Penumbra Geométrica DFP.- Distancia fuente película		Resultado A: Aceptado. R: Rechazado
1.- Porosidad interna	6.-	Penetración incompleta	11.-	Socavado externo	-						
2.- Porosidad Agrupada	7.-	Fisura	12.-	Desalineamiento	-						
3.- Inclusión de tungsteno	8.-	Indicación alargada	13.-	Film mark	-						
4.- Inclusión de escoria interna	9.-	Superficie cóncava de raíz									
5.- Falta de Fusión	10.-	Socavado interno									

4.3.3 Inspección por ultrasonido industrial (UT)

4.3.3.1 Referencias

- ASTM A797-95 Standard practice for measuring thickness by manual ultrasonic pulse echo contact method.
- ASTM E317-94 Practice for Evaluating Performance Characteristics of ultrasonic pulse echo Testing Systems without the use of electronic Measuring Instruments.

4.3.3.2 Equipos y accesorios

Equipos:

DAKOTA DFX-7+, Ultrasonic Flaw Detector.

Transductores:

- KK 2.25 - 5.00 MHz, 0.250" - 0.500" Haz recto. Puede incluir línea de retraso.
- KK 2.25 - 5.0 MHz, 0.250"-0.750" Dual.
- Sensor de medición de acople en seco, 5 MHz, para barrido automático, semiautomático o manual.

Otros accesorios:

- Vernier, cinta métrica, marcador de superficies y gage de pits.
- Patrón de calibración (escalerilla)

4.3.3.3 Personal y calificación

El inspector encargado de realizar el ensayo de ultrasonido y emitir los criterios de aceptación y/o rechazo, de la muestra de ensayo será la persona que tenga la certificación de nivel II, en la técnica de UT.

4.3.3.4 Calibración

Bloques de calibración: Se requiere uno o más bloques de referencia con velocidad conocida o del mismo material a medir, dentro del rango de los espesores a medir y que posean longitudes que se puedan medir con exactitud. Un bloque deberá tener el espesor cercano al máximo del rango de interés y el otro cerca del espesor mínimo. Son aceptables los bloques de multipasos: Multi-Step Thickness Gage (ASTM-797-95) Apéndice XI.

Verificación del equipo: verificar linealidad horizontal anualmente por ASTM E317.

Patrón de exploración

- Barrido manual: el patrón de exploración será del tipo puntual.
- Barrido automático: establece un perfil del espesor con el avance del sensor.

Reporte. Los formatos deben contener como mínimo los siguientes:

- Identificación de la parte.
- Descripción del Instrumento: Marca-Modelo-#Serie.
- Set / Up: Acoplante & Método de Barrido Automático/Manual.
- Descripción del Sensor: Tipo- Tamaño - Frecuencia.
- Bloques de calibración, tamaño y tipo de material.
- Localizaciones y valores máximos y mínimos de las mediciones
- Anomalías detectadas por inspección visual o mediciones mecánicas previas.

4.3.3.5. Proceso

- i) Es aplicable a sistemas de tuberías para fluidos de proceso, hidrocarburos y similares fluidos de servicio inflamable o tóxico.
- ii) Selección de los lugares de medición: se deben ampliar las zonas para medición de espesores en sistemas de tuberías con alguna de las siguientes características:
 - Alto potencial de ocurrir una emergencia de seguridad o ambiental, en caso de fuga.
 - Expectativa o experiencia de razones de corrosión altos.
 - Alto potencial de corrosión localizada.
 - Complejidad en términos de accesorios, conexiones, puntos de inyección o carga, etc.
 - Alto potencial de corrosión bajo aislamiento.

Técnica de prueba: Pulso eco-contacto, estándar (entre el cero corregido del pulso inicial y la primera reflexión posterior) o múltiple eco.

Preparación de la superficie y acoplante: la superficie debe estar libre de escoria, cascarillas, óxidos u otras partículas extrañas. El acoplante a usar deberá ser de goma celulósica.

4.3.3.6. Medición de espesores

Para la realización de medición de espesores de la muestra inicial y durante el proceso de corrosión forzada se utilizó el código ASME V, Artículo 5 (ultrasonic

examination methods for materials), artículo 23 (ASTM E 797 Stándar Practice for Measuring Thickness by manual), y algunos alcances del API 1104, con respecto al requerimientos de personal para la realización del ensayo ultrasónico, se ejecutó según los requisitos de la practica recomendada SNT-TC-1A, CP-189, para lo cual se utilizó el equipo de medición de espesores DAKOTA DF7, en el modo A-scan.

La realización de medición de espesores, fue ejecutada con el equipo digital de acuerdo a lo mostrado en la Figura 4.15.



Figura 4.15. Ubicación inicial de los puntos, y medición de espesores iniciales.

Los resultados de la inspección ultrasónica de medición de espesores, se presenta en la Tablas 4.7, 4.8 y 4.9. En la tabla 4.10, se muestra el resultado realizado de la medición de espesor en forma mecánica, para la muestra 1-6, con el uso del instrumento de medición llamado vernier, y para trabajos de empresa a empresa se llena un formato de reporte con las características señaladas anteriormente líneas arriba.

Tabla 4.7. Resultados de medición de espesores muestra 1-7; 0, 0.5, 1 y 1.5 h.

Muestra 1-7	P1 (mm)	P2 (mm)	P3 (mm)	Espesor Mínimo	Espesor Promedio
a (0 horas)	10.93	10.98	10.90	10.90	10.94
b (0 horas)	9.90	10.01	9.98	9.90	9.96
c (0 horas)	10.94	10.91	10.90	10.90	10.92
d (0 horas)	9.83	9.85	9.84	9.83	9.84
e (0 horas)	10.90	10.89	10.67	10.67	10.82
a (0.5horas)	10.43	10.48	10.40	10.43	10.44
b (0.5horas)	9.40	9.51	9.48	9.40	9.46
c (0.5horas)	10.44	10.41	10.40	10.40	10.42
d (0.5horas)	9.33	9.35	9.34	9.33	9.34
e (0.5horas)	10.40	10.39	10.17	10.17	10.32
a (1 hora)	8.93	8.98	8.90	8.90	8.94
b (1 hora)	7.90	8.01	7.98	7.90	7.96
c (1 hora)	8.94	8.91	8.90	8.90	8.92
d (1 hora)	7.83	7.85	7.84	7.83	7.84
e (1 hora)	8.90	8.89	8.67	8.67	8.82
a (1.5 horas)	8.93	8.98	8.90	8.90	8.94
b(1.5 horas)	7.90	8.10	7.98	7.90	7.99
c (1.5 horas)	8.94	8.91	8.90	8.90	8.92
d (1.5 horas)	7.83	7.85	7.84	7.83	7.84
e (1.5 horas)	8.90	8.89	8.67	8.67	8.82

Tabla 4.8. Resultados de medición de espesores muestra 1-7; para 2, 2.5, 3.0 y 3.5 h.

Muestra 1-7	P1 (mm)	P2 (mm)	P3 (mm)	Espesor Mínimo	Espesor Promedio
a (2 horas)	8.23	8.28	8.20	8.20	8.24
b (2 horas)	7.30	7.60	7.50	7.30	7.47
c (2 horas)	8.24	8.21	8.20	8.20	8.22
d (2 horas)	7.13	7.15	7.14	7.13	7.14
e (2 horas)	8.20	8.19	7.97	7.97	8.12
a (2.5 horas)	8.13	8.18	8.10	8.10	8.14
b (2.5 horas)	7.30	7.40	7.35	7.30	7.35
c (2.5 horas)	8.14	8.11	8.10	8.10	8.12
d (2.5 horas)	7.03	7.05	7.04	7.03	7.04
e (2.5 horas)	8.10	8.09	7.87	7.87	8.02
a (3 horas)	8.92	8.93	8.66	8.66	8.84
b (3 horas)	7.30	7.40	7.31	7.30	7.34
c (3 horas)	7.98	8.03	8.01	7.98	8.01
d (3 horas)	7.01	7.03	7.02	7.01	7.02
e (3 horas)	8.67	8.85	8.70	8.85	8.74
a (3.5 horas)	8.82	8.83	8.56	8.82	8.74
b (3.5 horas)	7.20	7.30	7.21	7.20	7.24
c (3.5 horas)	7.88	7.93	7.91	7.88	7.91
d (3.5 horas)	6.91	6.93	6.92	6.91	6.92
e (3.5 horas)	8.57	8.75	8.60	8.57	8.64

Tabla 4.9. Resultados de medición de espesor inicial de la muestra 1-6

Muestra 1-6	P1 (mm)	P2 (mm)	P3 (mm)	Espesor Mínimo	Espesor Promedio
a inicio	11.24	11.28	11.30	11.24	11.27
b inicio	10.15	10.10	10.19	10.10	10.15
c inicio	10.83	10.90	10.98	10.83	10.90
d inicio	9.90	9.98	9.99	9.90	9.96
e inicio	11.04	11.30	11.24	11.04	11.19

Tabla 4.10. Resultados de medición de espesores durante el ataque químico de la muestra 1-6

Muestra 1-6	P1 (mm)	P2 (mm)	P3 (mm)	Espesor Mínimo	Espesor Promedio
0 horas	10.20	10.10	10.15	10.10	10.15
0.5 hora	10.20	10.10	10.15	10.10	10.15
1 hora	9.96	10.08	9.95	9.95	10.00
1.5 horas	9.40	9.60	9.50	9.40	9.50
2 horas	8.80	9.20	9.00	8.80	9.00
2.5 horas	8.75	9.15	9.10	8.75	9.00
3 horas	8.40	8.50	8.60	8.50	8.50
3.5 horas	8.10	8.20	8.30	8.10	8.20
4 horas	7.60	7.45	7.45	7.45	7.50
4.5 horas	7.15	7.20	7.25	7.15	7.20
5 horas	7.15	7.20	7.25	7.15	7.20

4.3.4 Líquidos penetrantes (PT)

4.3.4.1 Referencias

ASME V – 2013 - Article 6: Liquid Penetrant Examination.

ASME V – 2013 - Article 24: Liquid Penetrant Standards

ASTM E 165–09: Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination.

API 1104. Ed. 2013 – Soldadura de Tuberías e Instalaciones Relacionadas.

Procedimiento de líquidos penetrantes, ver anexo G

4.3.4.2 Equipos y materiales

Cleaner Magnaflux SKC-S

Penetrant Magnaflux SKL-SP1

Developer Magnaflux SKD-S2

Trapo Industrial

Brochas

Guantes

Camara fotográfica digital

4.3.4.3 Personal

El personal que aplica la prueba deberá estar calificado y certificado como

Nivel II bajo la práctica recomendada ASNT-TC-1A.

4.3.4.4 Proceso

La aplicación de la técnica de líquidos penetrantes se realizó de la siguiente manera:

- Limpieza mecánica y con solvente; se realizó mediante el uso de una escobilla, y después se empapó el trapo industrial con cleaner, asegurando la eliminación completa de material extraño presente.

- Aplicación del penetrante; se realizó con la ayuda de una brocha, el cual se aplicó en la superficie de la unión soldada, con un tiempo de espera de 10 min. Aprox.
- Limpieza del penetrante, se realizó el retiro del exceso del penetrante, para después con un trapo humedecido continuar retirando, hasta lograr una superficie aceptable.
- Revelado. Se agita bien el frasco del revelador a fin de uniformizar su contenido. Se aplica desde unos 30 – 45 cm. de distancia, una capa fina de revelador sobre toda la superficie a inspeccionar, buscando efecto “niebla”. El tiempo de espera recomendado por el fabricante del producto usado, es como mínimo 10 min.
- Inspección y evaluación, se evalúa las partes donde presenta las indicaciones, de color rojo, las cuales se clasifican en indicaciones relevantes y no relevantes, que a la vez se miden y se realiza la evaluación de acuerdo al API 1104 ed. 2013.

El penetrante es usualmente de color rojo, de manera que haga contraste con el fondo blanco del revelador.

Las interpretaciones se realizaron basados en los criterios de aceptación API 110 ed. 2013.

Reporte final

Los resultados de la inspección por líquidos penetrantes durante el ataque químico se presentan en las Tablas 4.12 y 4.13, para las muestras 1-6 y 1-7. Para niveles empresariales se muestra el formato en el anexo G.

Tabla 4.11. Resultados de inspección por líquidos penetrantes de la muestra 1-7

Muestra 1-7	Discontinuidad y/o Defectos	Forma de Indicación		Dimensión de Indicación	Resultado
		Lineal	Redonda		
0.0 horas					Aceptable
0.5 horas					Aceptable
1.0 horas					Aceptable
1.5 horas	P		x	3mm	Rechazado
2.0 horas	P		x	3mm	Rechazado
2.5 horas	P		x	3mm	Rechazado
3.0 horas	P		x	3mm	Rechazado
3.5 horas	P		x	3mm	Rechazado
Abreviatura de Discontinuidades de Soldadura					
Porosidad Aislada	P	Falta de Fusión	IF		
Fisura Transversal	FT	Porosidad Anidada	CP		
Fisura Longitudinal	FL	Falta Penetración	IP		

Tabla 4.12. Resultados de inspección por líquidos penetrantes de la muestra 1-6

Muestra 1-6	Discontinuidades y/o Defectos	Forma de Indicación		Dimensión de Indicación	Resultado
		Lineal	Redonda		
00 horas					Aceptable
0.5 horas					Aceptable
1.0 horas					Aceptable
1.5 horas					Aceptable
2.0 horas					Aceptable
2.5 horas					Aceptable
3.0 horas					Aceptable
3.5 horas	p		x	2 mm	Rechazado
4.0 horas	p		x	2 mm	Rechazado
4.5 horas	p		x	2 mm	Rechazado
5.0 horas	p		x	2 mm	Rechazado
Observaciones					
Poro alineado en la parte de la raíz					
Abreviatura de Discontinuidades de Soldadura					
Porosidad Aislada	P	Falta de Fusión	IF		
Fisura Transversal	FT	Porosidad Anidada	CP		
Fisura Longitudinal	FL	Falta Penetración	IP		

4.4 Grado de corrosión y limpieza

4.4.1. Grado de corrosión. El grado de corrosión se determina comparando con la **guía de fotografías de referencia para superficies de acero**, la cual corresponde a la norma SSPC-VIS 1, sirven para ilustrar las condiciones iniciales de oxidación, antes de la preparación superficial representando una variación que va desde escamas de laminado intactas hasta acero oxidado, según la fotografía inicial del acero, ésta corresponde al grado A, y grado B, de las Figuras 2.16 y 2.17.

4.4.2 Limpieza. La muestra de la unión soldada, primeramente se le realizó la limpieza mecánica, al igual que se hace cuando se construyen los grandes oleoductos/gasoductos (mediante la unión soldada), el cual corresponde a la norma de preparación superficial de SSPC –SP-3 (limpieza mecánica).

Una vez iniciado el ataque químico, con la solución de agua regia, se observa una superficie limpia, que corresponde a la norma de SSPC-SP-8 (limpieza química).

Cuando se elevó la temperatura por acción del ataque corrosivo, el grado de corrosión alcanzado fue el de grado B, para el cual se utilizó la limpieza basado en la norma SSPC-SP-3.



Figura 4.16. Limpieza mecánica, norma SSPC-SP-3



Fig. 4.17. Estado inicial de la muestra antes de someter al ataque, SSPC-SP-3

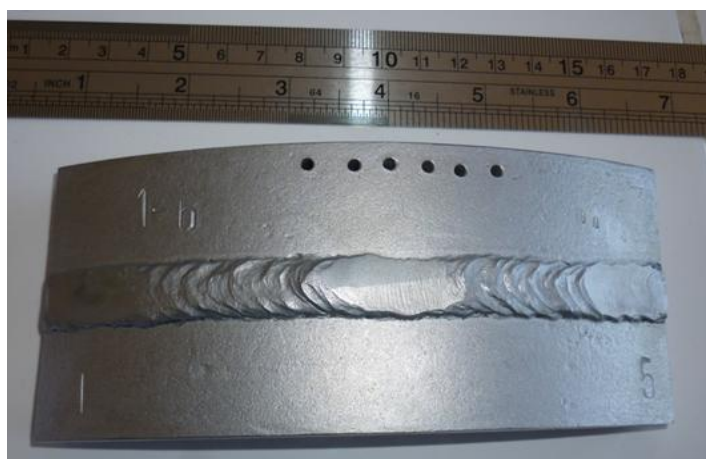


Fig. 4.18. Grado de limpieza obtenido después de la primera exposición al medio corrosivo, SSPC-SP-8



Fig. 4.19. Grado de corrosión alcanzado, Grado B; la cual se elimina con la limpieza, SSPC-SP-3

4.5 Prueba gravimétrica (pérdida de masa)

El proceso de cuantificación de la pérdida de masa se realiza inicialmente con la inmersión a las condiciones asignadas, para cada una de las muestras en sus diferentes etapas y posteriormente se considera la pérdida de masa con la comparación de la masa de las muestras antes y después de ser sometidas a el ataque corrosivo propuesto, teniendo en cuenta el proceso de limpieza descritos anteriormente. Este proceso se realizó mediante una balanza manual ubicada en los laboratorios de la Facultad (Figura 4.20).



Figura 4.20. Realización de las pesadas, y comparación de las balanzas usadas, teniendo un porcentaje de error de pesadas de 0.02%

Después de la exposición de las muestras, a cada uno de los medios asignados se realiza la comparación de la masa antes y después de los ataques a los que fueron sometidos, lográndose una diferencia de masa; de igual forma se calcula el porcentaje de pérdida de masa respecto a las muestras ensayadas y la relación de velocidad de corrosión, determinada por la siguiente ecuación prevista por la norma ASTM G31 – 2004, en los dos casos.

Se toma como constante (K) un valor de 3.45×10^6 , para que la relación esté en mil por año (mpy). el tiempo de exposición asignado a cada ensayo es de media hora, se toma una densidad de 7.85 g/cm^3 , para el acero API 5L X52, y el área se considera sumando toda la superficie de la muestra que está en contacto con el medio corrosivo.

De la Ecuación (2.13), se tiene la siguiente correlación:

$$\text{Velocidad de Corrosión} = (K W)/(A T D)$$

Datos iniciales de la muestra 1-6:

Longitud : 13.98 cm

Ancho : 5.91 cm

Espesor : 1.15 cm.

Densidad : 7.85 g/cm^3

Constante(k) : 3.45×10^6

$$\text{V.C.} = (3.45 \times 10^6 * 17.54) / (210.991 * 0.5 * 7.85)$$

= 73071.146 mpy, Que significa una pérdida de espesor en unidades mils por año, de acuerdo a la Tabla 2.7. Desarrollando la pérdida de espesor de la muestra 1-6, en cada tiempo de ataque, se tiene el resultado de la velocidad de corrosión para diferentes temperaturas de reacción, las cuales son mostrados en la Tabla 4.14 De igual manera se realizó para la muestra 1-7, y se muestra los resultados de la velocidad de corrosión por mils por año en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Pérdida de masa y velocidad de la corrosión de la muestra 1-7

Hora	mi (g)	mf (g)	$\Delta m(g)$	T °C	K (mpy)	Densidad (g/cm ³)	Longitud (cm)	Espesor (cm)	ancho (cm)	Area (cm ²)	R. Corrosión (mpy)
0.5	643.17	614.72	28.45	40	3450000	7.85	14.2	0.94	5.95	206.862	120887.386
1	556.87	506.4	50.47	65	3450000	7.85	14.1	0.79	5.88	197.384	112375.055
1.5	506.4	453.45	52.95	75	3450000	7.85	14	0.79	5.83	194.571	79734.292
2	453.45	452.2	1.25	37	3450000	7.85	13.9	0.73	5.78	189.417	1450.143
2.5	452.2	451.1	1.1	33	3450000	7.85	13.9	0.72	5.75	188.146	1027.796
3	451.1	450.2	0.9	32	3450000	7.85	13.9	0.718	5.75	188.067	701.063
3.5	450.2	449.5	0.7	32	3450000	7.85	13.9	0.708	5.70	186.214	472.028

Tabla 4.14. Pérdida de masa y velocidad de corrosión de la muestra 1-6

Hora(h)	mi (g)	mf (g)	Δm (g)	T °C	K (mpy)	Densidad (g/cm ³)	Longitud (cm)	Espesor (cm)	ancho (cm)	Area (cm ²)	R. Corrosión (mpy)
0.50	677.65	660.11	17.54	20	3450000	7.85	13.98	1.15	5.91	210.991	73071.15
1.00	660.11	643.88	16.23	21	3450000	7.85	13.95	1	5.91	204.609	34861.27
1.50	643.88	610.3	33.58	23	3450000	7.85	13.85	0.95	5.9	200.955	48959.85
2.00	610.3	593.2	17.1	27	3450000	7.85	13.85	0.9	5.9	198.980	18884.53
2.50	593.2	568.15	25.05	32	3450000	7.85	13.8	0.9	5.85	196.830	22373.08
3.00	568.15	527.55	40.6	37	3450000	7.85	13.8	0.85	5.85	194.865	30522.52
3.50	527.55	484.44	43.11	48	3450000	7.85	13.8	0.82	5.8	192.224	28161.24
4.00	484.44	462.22	22.22	75	3450000	7.85	13.7	0.75	5.8	188.170	12974.28
4.50	462.22	455.79	6.43	56	3450000	7.85	13.7	0.72	5.8	187.000	3358.20
5.00	455.79	451.58	4.21	40	3450000	7.85	13.7	0.72	5.8	187.000	1978.88

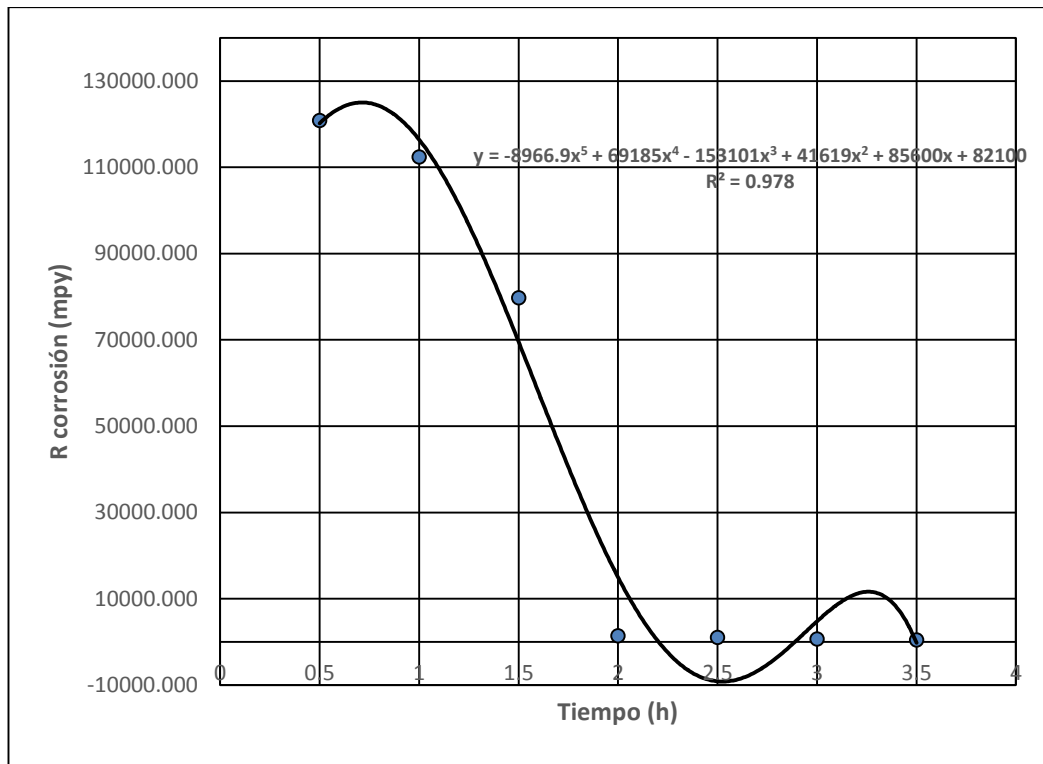


Figura 4.21. Velocidad de corrosión de la muestra 1-7, desarrollado en la ciudad de Lima

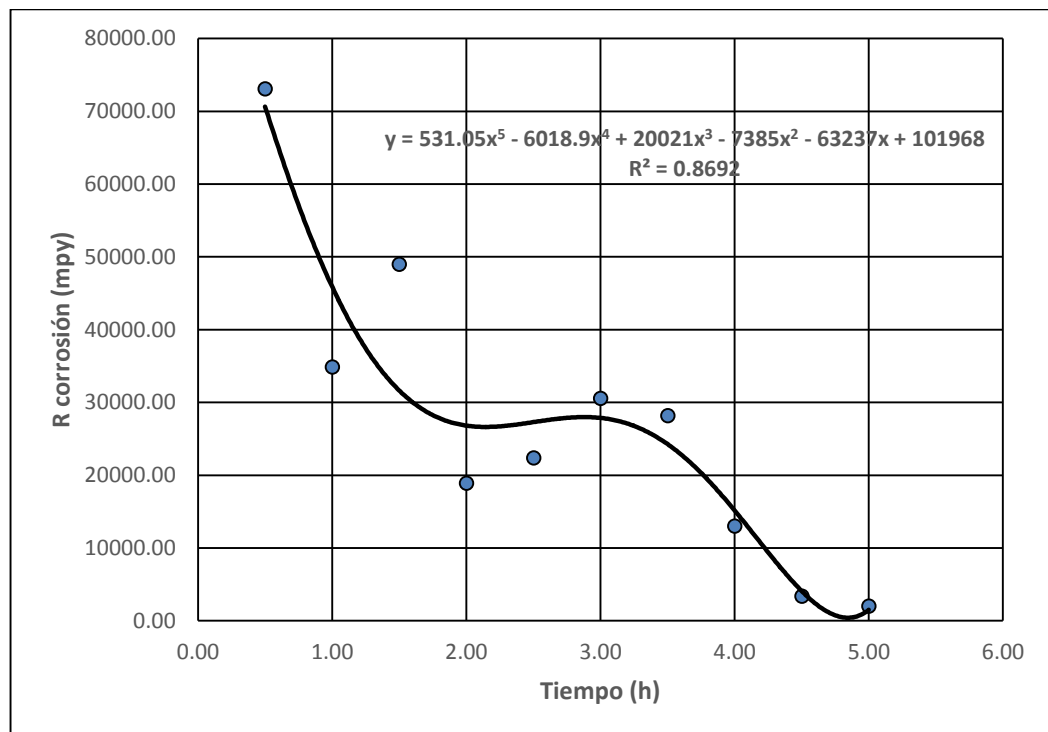


Figura 4.22. Velocidad de corrosión de la muestra 1-6, desarrollado en la ciudad de Ayacucho

4.6 Discusión de resultados

- La pérdida de peso, la temperatura de la reacción y los ensayos no destructivos (inspección visual, líquidos penetrantes, radiografía industrial, ultrasonido industrial) de la muestra 1-7, ha sido determinada en los laboratorios la empresa de ensayos no destructivos I&C INDUSTRIALES S.A.C/ NDT INSPECTION TECHNOLOGIES SAC.

Los resultados de las observaciones se detallan a continuación:

- ✓ En la Tabla 4.1, Figuras 4.8 y 4.9, se muestra la disminución rápida de la masa hasta el tiempo de 1.5 h, debido a una reacción exotérmica, esto debido de que en cada etapa, la temperatura inicial de reacción aumenta, lo que favorece a la reacción de disolución, hasta que la concentración del reactivo disminuya. La temperatura máxima alcanzado fue de 75° C, luego la disminución de la masa se hace lenta (corrosión lenta), al igual la temperatura. La Ecuación que describe dicha reacción es:

$$X_{ms} = -0.0117t^3 + 0.1161t^2 - 0.3632t + 1.0174, \text{ con } R^2 = 0.9743$$

- ✓ En la Tabla 4.3, se muestra el resultado de inspección visual de la muestra presentando las indicaciones relevantes a 1.5 h, de ataque químico tales indicaciones presentes son de rechazo, por presentar clúster, socavados, poros y concavidades, las cuales no cumplen los criterios de aceptación de indicaciones individuales y acumulación de las mismas.
- ✓ Por otro lado en la Tabla 4.12, se muestra el resultado de inspección por líquidos penetrantes de la muestra 1-7, en la que a partir de las 1.5 h, se nota la presencia de poros de 2 mm de diámetros que indica que la unión soldada es rechazada.

- La pérdida de peso, la temperatura de la reacción y los ensayos no destructivos (inspección visual, líquidos penetrantes) de la muestra 1-6, ha sido determinada en los laboratorios UNSCH (laboratorio de transferencia de calor y laboratorio de investigación).

Los resultados se muestran en la Tabla 4.2, y Figuras 4.10 y 4.11, en los que se observan los siguientes detalles:

- ✓ Disminución rápida de masa de la muestra 1-6, hasta las primeras 4 horas de reacción exotérmica, a partir del cual, la disminución se hace lento debido a la disminución de concentración del reactivo. La Ecuación que describe dicha reacción es:

$$X_{ms} = 0.0052t^3 - 0.0374t^2 - 0.0082t + 0.9932, \text{ con } R^2 = 0.9936$$

- ✓ Por otro lado el incremento de temperatura alcanza su máximo valor de 75 °C, aproximadamente a 4 horas de reacción mostrado en la Figura 4.11.
- ✓ Para el tramo comprendido de 4 horas a más, la reacción se hace lenta, debido a que la concentración disminuye por lo tanto también disminuye la temperatura de la reacción.
- ✓ En la Tabla 4.4, se muestra el resultado de inspección visual de la muestra 1-6, en el que se muestran que a partir de las 3 horas, aparecen algunas indicaciones no relevantes, por lo que la unión soldada sigue siendo aceptable, pero a partir de las 3.5 h, la unión soldada es rechazada por esta prueba, por presentar las siguientes indicaciones; poro, clúster y concavidad, que exceden los límites de aceptabilidad del API 1104.
- ✓ Por otro lado en la Tabla 4.12, se muestra el resultado de inspección por líquidos penetrantes de la muestra 1-6, en la que a partir de las 3.5 h de

exposición se visualiza la presencia de poros de 2 mm de diámetro que indica que la unión soldada es rechazada, según los criterios de aceptación y rechazo del API 1104.

- Se produce una corrosión galvánica creándose una pila galvánica y se manifiesta como la reacción de oxidación del ánodo, se desprenden electrones de la superficie del metal que actúa como el polo negativo de la pila, esto produce un desprendimiento paulatino constante de material, según lo mostrado en la Figura 4.21.

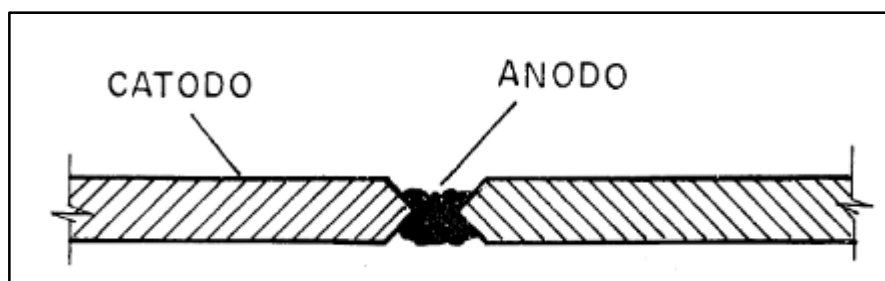


Figura 4.23. Unión soldada actuando como ánodo respecto al material base.

- El proceso de soldadura de fusión produce toda una serie de diferencias estructurales, desde el depósito solidificado al metal base a través de la zona afectada por el calor.
- Se observa que la corrosión forzada realizada en la ciudad de lima fue más rápida, esto debido a que la temperatura inicial de ataque fue mayor en cada etapa del proceso.
- Se observa que al realizar las gráficas de la velocidad de corrosión con la temperatura de las muestras 1-6 y 1-7 (Figuras 4.21 y 4.22), la gráfica realizada para la muestra **1-7** tiene mayor un acercamiento a una ecuación polinómica de orden 5.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los códigos, normas, especificaciones, estudios teóricos y pruebas experimentales realizadas durante el presente trabajo, se establecen las siguientes conclusiones:

- El comportamiento de la unión soldada de la tubería API 5LX52, ante el ataque del agua regia mediante los ensayos no destructivos, presenta los siguientes: Para la muestra 1-7, a 1.5 horas de ataque resulta rechazado, bajo los criterios de aceptación y rechazo del API 1104.

Para la muestra 1-6, a 3.0 horas de ataque resulta rechazado, por inspección visual, y rechazado por líquidos penetrantes a 3.5 horas de ataque, bajo los criterios de aceptación y rechazo del API 1104.
- Se determinó la pérdida de peso de la unión soldada al finalizar el ataque de las muestras: Para la muestra 1-7 es de 449.5 g, y para muestra 1-6 la masa final es de 451.58 g.
- Se determinó el grado de corrosión de la unión soldada: grados A y B, para lo cual se usó como guía y referencia fotográfica el SSPC-VIS 1.
- Se determinó la velocidad de corrosión mediante el uso de la norma ASTM G1-90, los cuales se muestran en las Tablas 4.13 y 4.14.
- De los resultados obtenidos mediante los ensayos no destructivos, se puede predecir, los defectos que pueden originar las indicaciones presentes en la unión soldada, para un material base API 5L X52.

- Se determina mediante comparación en una de las fallas producida en las uniones soldadas mostradas en la Tabla 2.9. Estas fallas fueron producto de la corrosión localizada en la zona ZAC, el cual produce que las propiedades físicas, químicas y estructurales varíen, generando micropilas de acción local, encontrándose con superficies bañadas con un medio acuoso corrosivo, el ataque se concentra en puntos de la zona ZAC, e irregularidades de la unión soldada, haciendo el deterioro mucho más rápido y peligroso, actuando generalmente como ánodo la zona ZAC y como cátodo el material base.

RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos que ya se han indicado en las conclusiones, las uniones soldadas sufren daños significativos ante el ataque del agua regia en comparación a la misma tubería, por lo que, se recomienda que estas deben ser recubiertas por envoltentes de un material protector, para prevenir daños en el ducto y puedan soportar el ataque de medios agresivos.
- También se ha observado de los resultados obtenidos que la temperatura favorece al ataque de la unión soldada, por lo que se recomienda que, ante una eventualidad se debe tratar en lo posible de enfriar la tubería especialmente en las zonas donde hay uniones soldadas.
- Se recomienda que durante la construcción evitar los golpes de arco en el metal base, las uniones soldadas tengan un acabado uniforme sin valles, ni socavados porque estos representan medios en donde se acumulan electrolitos en donde se da el inicio la corrosión.
- Se recomienda que el personal de mantenimiento de transporte de hidrocarburos por ductos, realizar sus patrullajes permanentes, revisen siempre las uniones soldadas porque constituyen puntos críticos, especialmente en las zonas donde hay medios agresivos.
- Para la operación de equipos de radiografía industrial, se necesita personal que opere bajo las condiciones de la normatividad de seguridad radiológica, de acuerdo a lo dispuesto por el instituto peruano de energía nuclear (IPEN).

- Para las pérdidas de espesor en tuberías, existen técnicas modernas las cuales mediante el uso de programas y/o herramientas inteligentes (ILI), y técnicas apropiadas para realizar la medición de espesor residual. Para la verificación de espesor residual de los detectados por (ILI), se aplica la medición de espesores por Ultrasonido, técnica por pulso eco, por ser esta la más exacta y aceptada.
- Se recomienda que el metal base y el metal de aporte, tengan propiedades similares en composición química para evitar las corrosiones galvánicas
- Se recomienda realizar alivios de térmicos en las uniones de soldadura donde la dureza exceda lo recomendado, para homogenizar y evitar la fragilización por temple.
- Se recomienda usar tuberías, de mayor espesor, para evitar la sobrepresión en las partes soldadas en el cuerpo del ducto, para así evitar accidentes como los mostrados en el resumen de los ductos de Camisea.
- Se recomienda, durante la realización del revestimiento de uniones soldadas, realizar antes, un pintado con pinturas epóxica, de ahí continuar con la realización de revestimiento, para evitar lo sucedido en las fallas mostrada.
- Se recomienda que en futuros estudios de ataques a materiales metálicos, utilizar envase de 3 veces el volumen de la solución a emplear, porque cuando se inicia la reacción empieza a arrojar burbujas las cuales rebalsan al tener un recipiente pequeño, y así evitar daños a la propiedad y la salud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Petroleum Institute. (2013). *Welding of Pipelines and Related Facilities, API Standard 1104* (Ed. 2013)

ASME B31.4. Ed. 2012. *Sistema de transporte de hidrocarburos líquidos y otros líquidos*. 2012 by THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS

ASME Boiler and Pressure Vessel Code V (2013) *Nondestructive Examination*. (Edition, July 1, 2013). AN INTERNATIONAL CODE

ASM HANDBOOK (2003), *Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection, Volumen 13A*. Printed in the United States of America

ASTM G31 (2004) "Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals

ASTM G1 (2003) "Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion test Specimens "

API SPECIFICATION 5L (2012), *Specification for Line Pipe*, forty four edition, AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE

Carlos Oliva M. (2007). *Inspector de Soldadura AWS QC1: 2007*

Carrasco Jorge. A. *Fundamentos de la corrosión galvánica* (Ed. 2008)

Casallas Laura M., Abril Oscar M., (2014) *Evaluación de las propiedades mecánicas, micro estructurales y resistencia a la corrosión del acero ASTM A53 grado B sometido a fluidos corrosivos para aplicaciones geotérmicas*. Disponible en:

<http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7829/CasallasMoralesLauraCamila2014.pdf?sequence=1> [consultado 10-03-2016]

Exsa –Oerlikon (1999) *Manual de Soldadura y Catálogo de Productos*, (Ed. 1999). Lima- Perú

Gonzales Fernández, J.A. (1984). *Teoría y Práctica de la Lucha contra la Corrosión*. (Ed. 1984). España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas

L.A. de Vedia y H.G. Svoboda (2004) *Introducción a la metalurgia de la soldadura* (Ed. 2004). España

Linda Gil de Fuentes (2002) *Fundamentos de Corrosión y Protección de los Metales*, (Ed. 2002) Fundacite, Guayana-Venezuela

Scully J. C. (1968). *Fundamentos de la Corrosión* (Ed. 1968). España: Alhambra

Mikell P. Groover. (1997) *FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA Materiales, procesos y sistemas*. (3ra Ed.). México, D.F., México: McGraw Hill Interamericana

NACE International. (2013). *Sesión I del programa de Inspector de Recubrimientos*. Ed. 2003. USA

NORMA EN ISO 8501-1 (2002). España: AENOR

Otero H. (2001). *Corrosión y Degradación de Materiales*. (Ed. 2001). España: Síntesis

Osinergmin, *Informe sobre Fallas en los Sistemas de Transporte por Ductos*. Disponible en:

http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/ciudadania/informe_accidentes.html

[consultado 5-07-2016]

Réquiz, R., Camero, S., Aristizabal, V., y Rivas, A. (2008) *Estudio del daño por hidrogeno en uniones soldadas de un acero API5LX52*, Revista de Metalurgia. Madrid. Disponible en:

<http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/viewFile/99/98> [consultado 10-08-2016]

Robert H. Perry, Don W. Green (2001), *Manual del Ingeniero Químico* (4ta Ed. Edición en español)

SSPC-VIS (2012), *guía y referencia fotográfica, para preparación de superficies de acero*, SSPC Publication 02-12

Távora A. y Barbosa F., (2001) *Influencia de los cordones de soldadura sobre la resistencia a la corrosión del acero API5LX52, en agua sedimentada de crudo de petróleo*, Trujillo-Perú 2001

West J. W. (1986). *Corrosión y Oxidación Fundamentos*. (Ed. 1986). México: Limusa

Dupont (2016), *Preparación de superficies*. Disponible en:

<http://www.psm-dupont.com.mx/es/axalta/servicios/preparacion-de-superficies.html> [Consultado 10-07- 2016]

ANEXOS

Anexo A. Registro fotográfico de fallas comunes encontradas en el ducto de transporte en el Perú



Imagen 18: Probeta que contiene la falla de longitud de 1,53 metros. La línea amarilla indica el sentido del flujo cuando estaba en servicio. (04.05.2015)



Imagen 19: Vista de la rotura que está próxima a la soldadura.

Imagen 20: Vista de la rotura de la tubería el cual tiene una de longitud.79.5 cm.

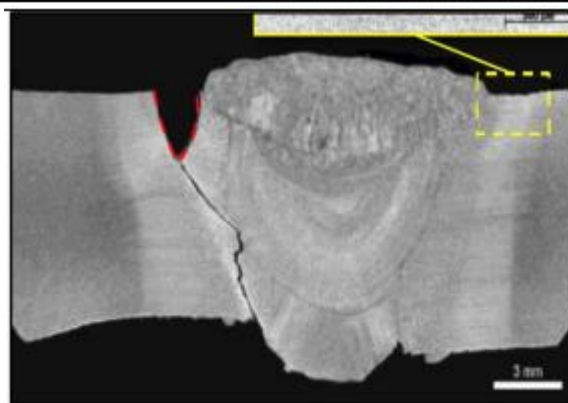


Imagen 24: Macrografía cross section de la fractura.



FOTO N° 06: Junta 084/83, vista del Vista de la parte superior de la tubería pandeada, indicado por la marca 12 h. La dirección del flujo se indica de derecha a izquierda. Las flechas indican las grietas en el dobléz. **(Fuente: Informe Laboratorio de Stork)**

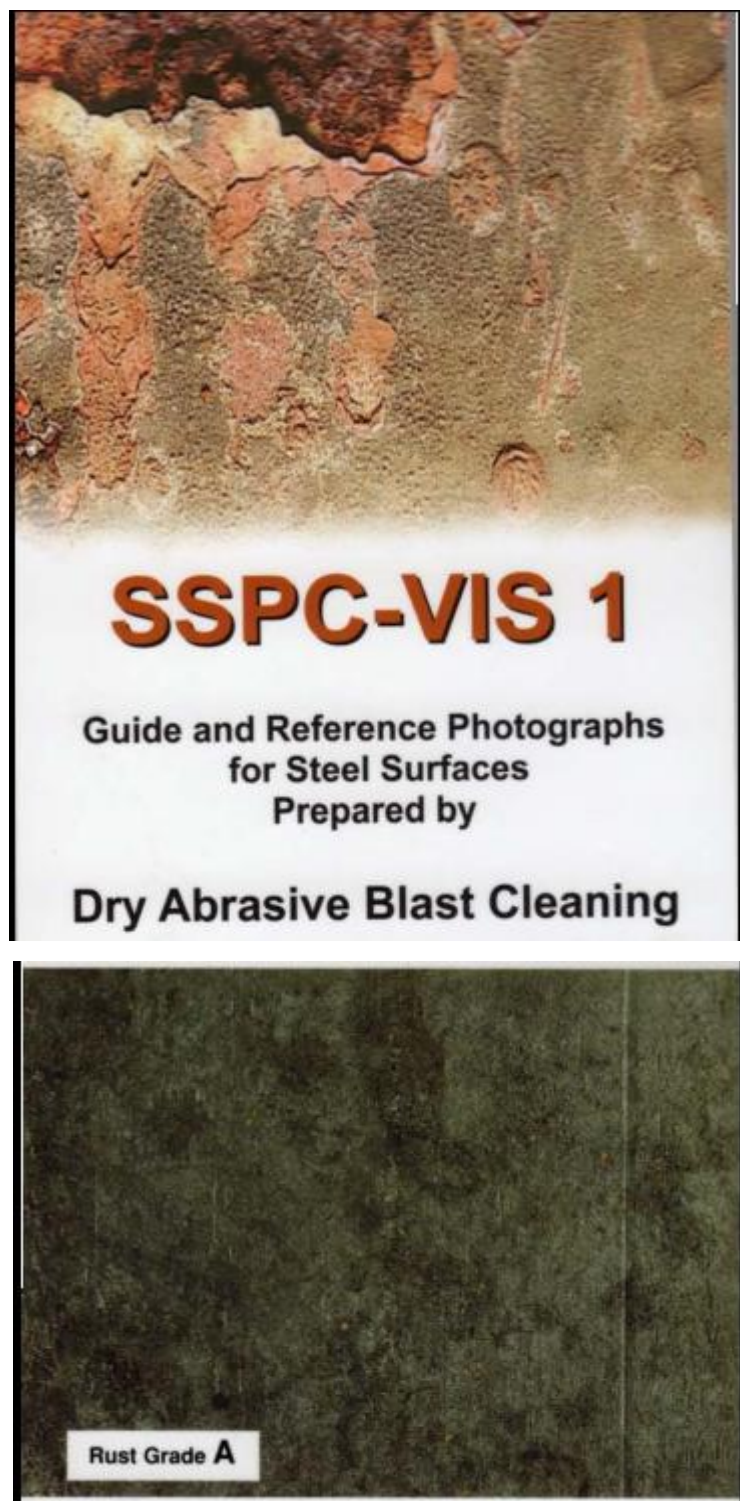


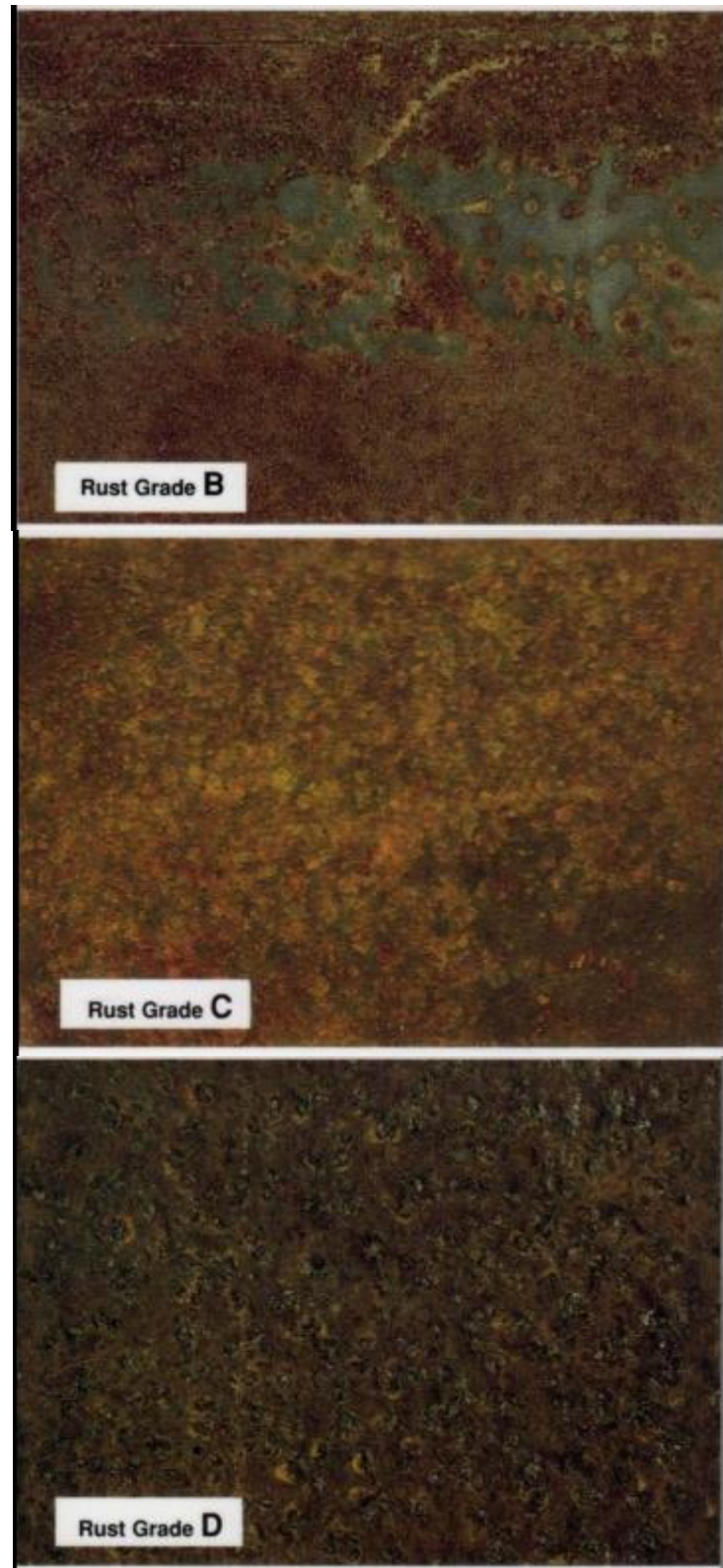
Imagen 11: Vista de la sección afectada. La falla de tubería se presentó en la totalidad de la circunferencia.

Anexo B: Tabla de espesores de pared de tubería

Nominal O.D.		O.D.	Nominal W.T.					
NPS	BN	D	SCH10	SCH20	SCH30	SCH40S	STD	SCH40
1	25	33.4	--	--	--	3.38	3.38	3.38
1 1/4	32	42.2	--	--	--	3.56	3.56	3.56
1 1/2	40	48.3	--	--	--	3.68	3.68	3.68
2	50	60.3	--	--	--	3.91	3.91	3.91
2 1/2	65	73	--	--	--	5.16	5.16	5.16
3	80	88.9	--	--	--	5.49	5.49	5.49
4	100	114.3	--	--	--	6.02	6.02	6.02
5	125	141	--	--	--	6.55	6.55	6.55
6	150	168.3	--	--	--	7.11	7.11	7.11
8	200	219.1	--	6.35	7.04	8.18	8.18	8.18
10	250	273.1	--	6.35	7.8	9.27	9.27	9.27
12	300	323.9	--	6.35	8.38	9.53	9.53	10.31
14	350	355.6	6.35	7.92	9.53	--	9.53	11.13
16	400	406.4	6.35	7.92	9.53	--	9.53	12.7
18	450	457.2	6.35	7.92	11.13	--	9.53	14.27
20	500	508	6.35	9.53	12.7	--	9.53	15.09
24	600	609.6	6.35	9.53	14.27	--	9.53	17.48

Anexo C. SSPC-VIS1, guía y referencia fotográfica, para preparación de superficies de acero

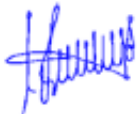




Anexo D. Procedimiento de inspección visual.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DEL ESTÁNDAR API 1104	Página 1 de 9
Procedimiento No. NIT – VT-002		

Control de Revisiones		
N° de Revisión	Fecha	Modificaciones al Documento

	Elaborado	Revisado	Aprobado
Fecha	08 de Marzo 2015	08 de Marzo 2015	09 de Marzo 2015
Nombre	Jonathan Carbajal P.	Ing. Adalberto Ruiz	Luis Carbajal
Cargo	Asesor Tecnico	ASNT NDT Nivel III Certificado No. 55646	Gerente General
Firma			 NIT INSPECTION TECHNOLOGIES S.A.C. LUIS AL CARBAJAL PADILLA GERENTE DE OPERACIONES

Mech.Eng. Adalberto Ruiz
ASNT NDT Level III
Cert. No. 55646

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DEL ESTÁNDAR API 1104	Página 2 de 9
Procedimiento No. NIT – VT-002		

INDICE

1. Objetivo
2. Alcance
3. Responsabilidades y Definiciones
4. Documentos de Referencia
5. Equipos y Accesorios
6. Calificación y Certificación del Personal
7. Procedimientos de Inspección
8. Criterios de Aceptación del Ensayo
9. Reparación y Eliminación de Defectos
10. Soldadura en Servicio
11. Anexos.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DEL ESTÁNDAR API 1104	Página 3 de 9
Procedimiento No. NIT – VT-002		

1 Objetivo

Establecer el procedimiento de inspección, basado en el estándar API 1104, durante la fabricación de juntas soldadas en tuberías de acero al carbono y acero de baja aleación utilizadas en la compresión, bombeo y transmisión de petróleo crudo, derivados del petróleo, gases combustibles, dióxido de carbono y nitrógeno.

2 Alcance

Cubrir la metodología para la inspección de: fabricación, pruebas aplicables, criterios de aceptabilidad de uniones soldadas así como la verificación de las especificaciones del procedimiento de soldadura.

3 Responsabilidades y Definiciones

Es responsabilidad del personal técnico Nivel II realizar las inspecciones; interpretar, evaluar y reportar los resultados de las inspecciones de acuerdo a los requisitos de este procedimiento

Imperfección: Una discontinuidad o irregularidad detectable por métodos señalados en esta norma.

Defecto: Una imperfección de suficiente magnitud para ser rechazada según lo estipulado en esta norma.

Indicación: Evidencia obtenida mediante el ensayo no destructivo.

Soldadura en posición: Soldadura en la que el tubo o ensamble se mantiene estacionario.

Soldador Calificado: Soldador que ha demostrado su habilidad en producir soldaduras que reúnen los requisitos de la sección 5 ó 6 del API 1104.

Procedimiento Calificado de Soldadura: Método detallado probado y aprobado, por el cual se pueden producir soldaduras sanas con adecuadas propiedades mecánicas.

Reparación: Cualquier trabajo nuevo sobre una soldadura completa, que requiere soldar para corregir una falla que ha sido descubierta, en el metal de soldadura, mediante ensayo visual o no destructivo y que se encuentran más allá de los límites de aceptabilidad de esta norma.

Soldadura: Unión completa de dos secciones del tubo, una sección del tubo a un accesorio o dos accesorios.

Nota: Es responsabilidad de la Gerencia Técnica de verificar el cumplimiento de este procedimiento a través de Auditorías Internas en forma aleatoria.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DEL ESTÁNDAR API 1104	Página 4 de 9
Procedimiento No. NIT – VT-002		

4 Documentos de Referencia

- API 1104 Welding of pipelines and related facilities.
- API Spec 5L Specification for line pipe.
- AWS A5.5 Low alloy steel covered arc welding electrodes.
- AWS A3.0, Términos y definiciones.
- AWS A5.2, Iron and Steel Oxyfuel Gas Welding Rods.

5 Equipos y Accesorios

- Cámara fotográfica digital.
- Boroscopios (En caso de no tener acceso a la parte interior del recipiente)
- Instrumentos de metrología tales como: Micrómetros, galgas para evaluar soldaduras, escuadras, reglas metálicas, Vernier ,etc)
- Lupas.
- Espejos.
- Galgas.
- Pirómetro digital
- Pinza amperimétrica
- Linternas.
- Marcador de metal.
- Escobilla de acero manual o eléctrica.

6 Calificación y Certificación del Personal

Los inspectores tendrán entrenamiento y experiencia de acuerdo a las necesidades de las inspecciones especificadas. El empleador deberá certificar los registros de los inspectores, mostrando las fechas y resultados de calificación y deberán mantenerlos a disposición de los interesados.

Los inspectores deberán ser certificados de acuerdo a las recomendaciones de SNT – TC-1A, y/o otra organización reconocida, que tenga un equivalente al de nivel II en la técnica mencionada.

7 Procedimientos de Inspección

7.1 Consideraciones Básicas

- a) Comprobar la existencia iluminación adecuada cuya intensidad (luz natural y artificial) deberá ser como mínima 15 fc (1000 lux).
- b) Verificar la ventilación adecuada del equipo en caso de realizar inspecciones en espacios confinados.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DEL ESTÁNDAR API 1104	Página 5 de 9
Procedimiento No. NIT – VT-002		

- c) Asegurar que existan facilidades de acceso para trabajo en alturas como: Escaleras, andamios, balsos.
- d) Verificar las condiciones de seguridad como conexiones eléctricas, accesos, autorizaciones y permisos de trabajo.
- e) Verificación de condiciones de operación del equipo (presión, temperatura, etc.)
- f) La superficie deberá encontrarse uniforme y libre de restos de óxido, pintura, escoria de soldadura u otro material que pueda disminuir la efectividad de la inspección.

7.2 Consideraciones específicas

- a) La observación será directamente a ojo desnudo o con lente de aumento (lupa).
- b) La distancia de inspección 30 cm (12 ") como máximo, con ángulo de inspección no mayor de 30 ° respecto al eje de la visión.

7.3 Inspección: Directa o con el uso de herramientas ayuda visual con la finalidad de:

- a) Detección y/o localización de posibles grietas o fisuras.
- b) Verificación de la existencia de deformaciones físicas o mecánicas.
- c) Determinar las zonas con signos de corrosión u otro tipo de deterioro.
- d) Verificar el estado de los recubrimientos existentes (pintura, aislamiento etc.)
- e) Clasificar las indicaciones como relevantes e irrelevantes, según el criterio de evaluación asignado.
- f) Dimensión de indicaciones relevantes y registro para su posterior reporte.

7.3 Evaluación: De acuerdo al Código/ Norma aplicable, indicado por el cliente en su orden de servicio u otro documento escrito.

- Según el criterio de aceptación asignado se aceptan o rechazan las indicaciones relevantes

7.4 Elaboración de reporte: Se completa el documento reporte de Inspección visual de los cuales deberán incluir:

- a) Fecha de inspección.
- b) Procedimiento y /o técnica utilizada.
- c) Identificación del componente o equipo inspeccionado.
- d) Detalle de las observaciones encontradas.
- e) Registro fotográfico.
- f) Croquis de ubicación.
- g) Recomendaciones
- h) Firma y sello del Inspector asignado.
- i) Archivo físico y/o electrónico.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DEL ESTÁNDAR API 1104	Página 6 de 9
Procedimiento No. NIT – VT-002		

7.5. Identificación de riesgos.

- Deberá identificar las amenazas que puedan impactar en la calidad del servicio.
- Disponibilidad del personal de inspección.
- Disponibilidad de equipos e instrumentos para pruebas (operativo y calibrado).
- Dificultad por condiciones climatológicas, área geográfica y accesibilidad.
- Falta de canales de comunicación en el sitio de la inspección (Internet, teléfono).
- Accidentes de trabajo en el área de inspección.
- Retrasos o variaciones del cronograma de fabricación.
- Aplicar un juicio profesional equivocado.
- Fallas en precisión y/o exactitud en las pruebas.

Otros particulares al servicio contratado

8 Desarrollo de la Inspección

8.1 Equipos

Se debe verificar que el equipo para soldar, ya sea de gas o por arco, tenga el tamaño y tipo adecuado para su labor además debe conservarse en condiciones aceptables para asegurar su continuidad en la operación y seguridad para el personal.

8.2 Tuberías y accesorios

Los tubos y accesorios deben estar conforme a las siguientes aplicaciones:

- a. Especificaciones API 5L.
- b. Especificaciones ASTM aplicables.

8.3 Metal de aporte

8.1.1 Tipo y tamaño

Todos los metales de aporte deben estar conforme a las especificaciones listadas en la sección 4.2.2.1 del API 1104.

8.1.2 Los metales de aporte y fundentes deben ser almacenados y transportados adecuadamente para evitar deterioros. Se deben proteger de los cambios excesivos

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DEL ESTÁNDAR API 1104	Página 7 de 9
Procedimiento No. NIT – VT-002		

de humedad. Los metales de aporte y fundentes que muestren signos de daño y deterioro no se deben ser usados.

8.4. Inspección y soldadura.

La inspección se deberá realizar antes, durante y después que ha sido terminado el proceso de soldeo.

Las tuberías deberán ser soldadas por soldadores calificados usando los procedimientos calificados. Las superficies a soldar deben estar lisas, uniformes, libres de rebabas, laminaciones, cascarillas, escoria, pintura y otros materiales que puedan afectar de manera adversa la soldadura. El diseño de la junta y el espacio entre los extremos colindantes debe estar de acuerdo con las especificaciones del procedimiento. El proceso de soldadura deberá considerar las condiciones listadas desde la sección 7.2 hasta 7.11 del API 1104

9 CRITERIOS DE ACEPTACION DEL ENSAYO.

Fisuras.

Las fisuras serán inaceptables cuando alguna de las siguientes condiciones exista:

- La fisura, de cualquier tipo o localización en la soldadura que no sea una fisura de cráter o estrella.
- La fisura, si es cráter o estrella, excede 5/32" (4 mm).

Socavación

La socavación está definida como una fusión de metal base adyacente al borde o en la raíz de la soldadura, y sin rellenar con metal de aporte. La socavación externa (SE) o socavación interna (SI) serán inaceptables cuando alguna de las siguientes condiciones exista:

- Profundidad mayor a 1/32" (0.8 mm) o mayor al 12.5% del espesor de pared, de cualquier longitud.
- Profundidad mayor a 1/64" (0.4 mm) o mayor al 6%-12.5% del espesor de pared, y longitud mayor a 2" (50.8 mm) en 12" (300 mm) de longitud de cordón o 1/6 de la longitud total, el que sea menor.

Acumulación de discontinuidades

Sin incluir la penetración incompleta debida a High-Low y socavación, cualquier acumulación de discontinuidades será inaceptable cuando alguna de las siguientes condiciones exista:

- La longitud acumulada de indicaciones, en cualquier longitud continua de 12" (304.8 mm) del cordón exceda las 2 pulgadas.
- La longitud acumulada de indicaciones, excedan el 8% de la longitud total.

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DEL ESTÁNDAR API 1104	Página 8 de 9
Procedimiento No. NIT – VT-002		

10 REPARACION Y ELIMINACION DE DEFECTOS.

10.1 Autorización para reparación

Los defectos detectados por cualquiera de los métodos mencionados en 11.1 pueden ser reparados previa autorización de la compañía. Los defectos en el pase de acabado pueden ser reparados sin autorización de la compañía.

10.2 Procedimiento de reparación

Se requiere un procedimiento de reparación calificado cuando se realiza la reparación de una soldadura utilizando un proceso diferente al procedimiento de soldadura original. El procedimiento de reparación debe incluir los requisitos listados en la sección 10.2 del API 1104. El soldador debe ser un personal calificado. La reparación debe ser realizada bajo la supervisión de un personal experimentado en técnicas de reparación de soldadura.

10.3 Criterio de aceptación

Las áreas de soldadura reparadas deben ser inspeccionadas por los mismos métodos previamente utilizados. Las reparaciones deben reunir las normas de aceptabilidad de la sección 9 del API 1104.

11 SOLDADURAS EN SERVICIO.

Las consideraciones a tener cuando se requiere inspeccionar las reparaciones ó la instalación de accesorios en tuberías y sistemas de tuberías en servicio se dan en el apéndice B del API 1104.

12 ANEXOS

Formato de Inspección visual: DOC. 001VT

	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DEL ESTÁNDAR API 1104	Página 9 de 9
	Procedimiento No. NIT – VT-002	

	REPORTE DE INSPECCION VISUAL	DOC. 001VT PROC.NIT Fecha: 20/02/15 Rev. 0
		CNC-001-15 Pág. 1 de 1

Información General	
Cliente Proyecto Lugar de Inspección Fecha de Inspección Descripción de la pieza ensayada Tipo de material Cantidad de soldadura Inspeccionada Zona de Inspección Acabado Superficial	

Equipo/Instrumento Usado	
1. : 2. :	3. : 4. :

Condiciones del Ensayo	
Procedimiento De Inspección No. Norma o Código Aplicable Temperatura Iluminación	

Registro fotográfico	

UBICACIÓN DE DISCONTINUIDADES						
Numero Junta	Zona y localización de discontinuidades y/o defectos	Soldador	Forma de Indicación		Dimensión de Indicación	Resultado
			Lineal	Redonda		

Observaciones

Abreviatura de Discontinuidades de Soldadura					
Porosidad Aislada	P	Falta de Fusión	IF	Refuerzo excesivo	RO
Fisura Transversal	FT	Porosidad Anidada	CP	Socavación	UC
Fisura Longitudinal	FL	Falta Penetración	IP	Bajo llenado	UF

Datos del Inspector Inspector Nivel II:	Autorizado por:

Anexo G: Procedimiento de radiografía industrial

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO RADIOGRAFICO DE ACUERDO AL STANDAR API 1104	Página 1 de 11
Procedimiento No. NIT- RT-003		

Control de Revisiones		
N° de Revisión	Fecha	Modificaciones al Documento

	Elaborado por:	Aprobado por:	Aceptado por:
Fecha	08 de Enero 2013	11 de Enero 2013	13 de Enero 2013
Nombre	Wualter Preciado	Ing. Adalberto Ruiz	Luis Carbajal
Cargo	Gerente Técnico	ASNT NDT Nivel III Certificado No. 55646	Gerente General
Firma			

Mech.Eng. Adalberto Ruiz
ASNT NDT Level III
Cert. No. 55646

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO RADIOGRAFICO DE ACUERDO AL STANDAR API 1104	Página 2 de 11
Procedimiento No. NIT- RT-003		

INDICE

1. Objetivo
2. Alcance
3. Responsabilidades
4. Personal
5. Documentos de Referencia
6. Procedimiento de Ensayo Radiográfico
 - 6.1 General
 - 6.2 Detalles del Procedimiento
 - 6.3 General
 - 6.4 Película Radiográfica
 - 6.5 Geometría de la Exposición
 - 6.6 Tipos de Indicadores de Calidad de Imagen (IQI)
 - 6.7 Selección del Indicador de Calidad de Imagen (IQI)
 - 6.8 Ubicación de Indicadores de Calidad de Imagen (IQI)
 - 6.8.1 Película
 - 6.9 Radiografías de Producción
 - 6.10 Identificación de Imágenes
 - 6.11 Almacenamiento de Películas
 - 6.11.1 Películas
 - 6.12 Densidad de Película
 - 6.13 Equipo para Visualización de Películas
 - 6.13.1 Facilidades para Visualización de Películas
 - 6.14 Procesado de Imágenes
 - 6.14.1 Área de Procesado de Imágenes
 - 6.15 Protección Radiológica
 - 6.15.1 Requisitos de Seguridad
7. Evaluación Radiográfica
8. Reportes
9. Formato de Reporte Radiográfico

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO RADIOGRAFICO DE ACUERDO AL STANDAR API 1104	Página 3 de 11
Procedimiento No. NIT- RT-003		

1 Objetivo

Establecer los requerimientos mínimos necesarios para la ejecución de un ensayo no-destructivo de Radiografía Industrial mediante Rayos X y Gamma. Este método es empleado para la detección de discontinuidades internas (volumétricas y planares) aplicadas a materiales "opacos" (absorbentes) a dichas radiaciones ionizantes penetrantes.

2 Alcance

Este procedimiento se aplica al ensayo radiográfico durante el examen de soldaduras en construcción de líneas utilizadas en la compresión, bombeo, sistema de distribución y transporte de petróleo crudo y productos de petróleo etc.

3 Responsabilidades

- ✚ Es responsabilidad del personal técnico nivel I realizar las inspecciones de acuerdo a los requisitos de este procedimiento.
- ✚ Es responsabilidad del personal técnico nivel II o nivel III del cumplimiento, verificación y supervisión de la ejecución del presente procedimiento además de interpretar, evaluar y reportar los resultados de las inspecciones de acuerdo al criterio de aceptación o rechazo del estándar API 1104.

Nota: Es responsabilidad de la Gerencia Técnica de verificar el cumplimiento de este procedimiento a través de Auditorías Internas en forma aleatoria.

4 Personal

El personal involucrado está calificado y certificado según los lineamientos de la sociedad americana de ensayos no destructivos (ASNT), practica recomendada SNT-TC-1A última edición 2006, contenidos en el documento de calificación y certificación de personal del manual de procedimientos de NIT 001NDT.

5 Documentos de Referencia

- ✚ ASTM E 94/04 Standard Guide for Radiographic Testing
- ✚ ASTM E 747/04 Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology.
- ✚ ASTM E 1742/00 Standard Practice for Radiographic Examination
- ✚ ASTM E 999/99 Standard Guide for Controlling the Quality of Industrial Radiographic Film Processing.

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO RADIOGRAFICO DE ACUERDO AL STANDAR API 1104	Página 4 de 11
Procedimiento No. NIT- RT-003		

- ✚ ASNT Recommended Practice No. SNT-TC-1A Ed. 2006
- ✚ API Std. 1104 Ed. 2010 Welding Pipelines and Related Facilities

6 Procedimiento de Ensayo Radiográfico

6.1 General

En esta subsección se presentan los requerimientos para producir imágenes radiográficas sobre películas u otros medios, a través del uso de rayos-X o rayos gamma. Un procedimiento detallado para la producción de imágenes debe ser establecido y registrado. Películas radiográficas producidas por este procedimiento deben tener claramente la densidad y contraste requerido por este estándar, además de la sensibilidad requerida para definir claramente el diámetro del alambre esencial del indicador de calidad de imagen apropiado. Los siguientes criterios deben ser usados para evaluar las imágenes:

- a. Una calidad de imagen aceptable que esté libre de velo y de irregularidades de procesamiento que puedan enmascarar la imagen de una imperfección actual.
- b. El indicador de calidad de imagen prescrito y el diámetro del alambre esencial.
- c. Un sistema de identificación satisfactorio.
- d. Una técnica y disposición aceptable.
- e. Compatibilidad con los estándares de aceptación.

Todos los requerimientos que se refieren a la calidad de la imagen resultante deben aplicarse igualmente para rayos-X y rayos gamma. El uso de la inspección radiográfica y la frecuencia de este uso debe ser una opción de la compañía.

La compañía y el contratista radiográfico deberían acordar sobre el procedimiento radiográfico o procedimientos a ser usados, antes de la ejecución de la producción radiográfica. La compañía debe requerir al contratista que demuestre que los procedimientos propuestos producen imágenes aceptables y deben requerir al contratista el uso de tales procedimientos para la producción radiográfica.

6.2 Detalles del Procedimiento

6.3 General

Los detalles de cada procedimiento radiográfico deben ser registrados. Una copia del registro debe ser suministrada a la compañía para su registro. El registro puede ser en la forma escrita o un bosquejo, o ambos. Como mínimo cada procedimiento debe incluir los siguientes detalles.

6.4 Película Radiográfica

Como mínimo el procedimiento para película radiográfica deben incluir los siguientes detalles:

- a. Fuente de radiación.- El tipo de fuente de radiación, el tamaño de fuente efectivo o punto focal, y el rango de voltaje del equipo de rayos-X.

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO RADIOGRAFICO DE ACUERDO AL STANDAR API 1104	Página 5 de 11
Procedimiento No. NIT- RT-003		

- b. Pantallas intensificadoras.- Tipo y ubicación de las pantallas y si se usan de plomo, su espesor.
- c. Película.- La marca o tipo de la película o ambos y el número de películas en el porta-película. Para técnicas de película múltiple, debe especificarse la manera en la cual la película será visualizada.
- d. Geometría de la exposición.- Sea la exposición de pared simple, para visión de pared simple (SWE/SWV), exposición de pared doble, para visión de pared simple (DWE/SWV), o exposición doble pared, para visión de pared doble (DWE/DWV); la distancia de la fuente o punto focal a la película: las posiciones relativas de la película, soldadura, fuente, indicadores de calidad de imagen (IQI) y el intervalo o marcas de referencia; y el número de exposiciones requeridas para radiografiar una soldadura completa.
- e. Condiciones de exposición.- Sea miliamperios o curie-minutos, voltaje de los rayos X o el voltaje y amperaje de entrada, y el tiempo de exposición.
- f. Procesado.- Sea manual o automático; el tiempo y temperatura de revelado y el tiempo para el baño de parada o enjuague, fijado y lavado; y detalles del secado.
- g. Materiales.- El tipo y rango de espesores del material para el cual el procedimiento ha sido adecuado.
- h. Identificadores de calidad de Imagen (IQI).- El tipo de material, identificación del set ASTM o ISO, y diámetro del alambre esencial.
- i. Protector de calor.- Material, espesor y la distancia desde el lado de la película del protector de calor a la superficie de la tubería.

6.5 Geometría de la Exposición

Cuando una fuente radiográfica está centrada en la tubería, para la exposición de una soldadura a tope, es adecuada una exposición, para la inspección radiográfica de una soldadura completa (SWE/SWV). Cuando la fuente radiográfica esta en lado exterior, pero no mayor que $\frac{1}{2}$ " pulg. (13 mm) de la superficie soldada, al menos tres exposiciones separadas 120° deben ser hechas para la inspección radiográfica de la soldadura completa (DWE/SWV). Cuando la fuente radiográfica esta en lado exterior y mayor que $\frac{1}{2}$ " pulg. (13 mm) de la superficie soldada, al menos cuatro exposiciones separadas 90° deben ser hechas para completar la inspección radiográfica de una soldadura completa (DWE/SWV). Cuando el diámetro exterior de la tubería que contiene la soldadura es de 3.5" pulg. (88.9 mm) o menos, un procedimiento DWE/DWV puede ser usado.

Cuando este procedimiento es usado y el haz de radiación está desplazado, de tal forma que la soldadura del lado de la fuente y del lado de la película no se superponen en las áreas de la radiografía que se estén evaluando, al menos dos exposiciones separadas por 90° deben ser hechas para la inspección radiográfica de una soldadura completa. Cuando las porciones de la soldadura del lado de la fuente y del lado de la película están superpuestas, al menos tres exposiciones separadas por 60° deben ser hechas para la inspección radiográfica de una soldadura completa.

Cuando diámetros más pequeños de espesores de pared más gruesos son radiografiados, exposiciones adicionales deberían ser hechas para minimizar la distorsión de las imágenes de las imperfecciones en los extremos de las radiografías. La mínima distancia entre la fuente o

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO RADIOGRAFICO DE ACUERDO AL STANDAR API 1104	Página 6 de 11
Procedimiento No. NIT- RT-003		

punto focal y el lado de la fuente del objeto que se está radiografiando debe ser determinado por la siguiente fórmula (usando unidades constantes de medida):

$$D = St/k$$

Dónde:

- D = distancia mínima, en pulgadas, entre la fuente o punto focal y el lado de la fuente del objeto radiografiado.
- S = tamaño efectivo de la fuente o punto focal, en pulgadas.
- t = espesor de la soldadura, en pulgadas, incluyendo refuerzo, más la distancia entre el lado de la película de la soldadura y la película.
- k = factor de penumbra geométrica.

Cuando t es determinado para procedimientos SWE/SWV y DWE/SWV, el espesor de pared simple y su refuerzo de soldadura debe ser usado. Cuando t es determinado para procedimientos DWE/DWV, el diámetro exterior de la soldadura (esto es, el diámetro exterior de la tubería más dos veces la altura promedio de la corona de soldadura) debe ser usado. K es definido como 0.02" pulg. (0.5 mm) para materiales con un espesor igual o menor que 2.0" pulg. (50.8 mm).

6.6 Tipos de Indicadores de Calidad de Imagen (IQI)

Los indicadores de calidad de imagen (IQI), deberán estar conforme a los requerimientos de IQI de alambre ASTM E 747 o ISO 1027. La compañía debe definir qué tipo de IQI (ASTM o ISO) será usado. Los IQI deben ser hechos de un material que es radiográficamente similar al material que se ha soldado.

6.7 Selección de Indicadores de Calidad de Imagen (IQI)

Los IQI deben consistir de uno y otro; una serie de seis (6) alambres para tipo de alambre ASTM E747, o una serie de siete (7) alambres para IQI tipo alambre ISO 1027, arreglados en orden creciente de diámetro. El diámetro de alambre esencial a ser usado, basado en el espesor de la soldadura es mostrado en la Tabla 5 para IQI tipos de alambre ASTM E747 y Tabla 6 para IQI tipo de alambre ISO. Queda a opción del contratista radiográfico, utilizar un IQI de diámetro de alambre menor que los especificados arriba, siempre que la sensibilidad radiográfica requerida sea obtenida.

Nota: Para propósitos de selección del IQI, el espesor de la soldadura deberá ser el espesor de pared nominal más el espesor promedio del refuerzo de soldadura (interna más externa combinadas).

Las imágenes radiográficas del número de identificación de IQI y el juego de letras ASTM o ISO

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO RADIOGRAFICO DE ACUERDO AL STANDAR API 1104	Página 7 de 11
Procedimiento No. NIT- RT-003		

deben aparecer claramente. La imagen del diámetro de alambre esencial debe aparecer claramente transversal a toda el área de interés.

Las imágenes radiográficas del número de identificación de IQI y el juego de letras ASTM o ISO deben aparecer claramente. La imagen del diámetro de alambre esencial debe aparecer claramente transversal a toda el área de interés.

Table 5—Weld Thickness Versus Diameter of ASTM E 747 Wire Type IQI

Weld Thickness		Essential Wire Diameter		ASTM Set Letter
Inches	Millimeters	Inches	Millimeters	
0 – 0.250	0 – 6.4	0.008	0.20	A
> 0.250 – 0.375	> 6.4 – 9.5	0.010	0.25	A or B
> 0.375 – 0.500	> 9.5 – 12.7	0.013	0.33	B
> 0.500 – 0.750	> 12.7 – 19.1	0.016	0.41	B
> 0.750 – 1.000	> 19.1 – 25.4	0.020	0.51	B
> 1.000 – 2.000	> 25.4 – 50.8	0.025	0.64	B

Table 6—Weld Thickness Versus Diameter of ISO Wire Type IQI

Weld Thickness		Essential Wire Diameter		Wire Identity
Inches	Millimeters	Inches	Millimeters	
0 – 0.250	0 – 6.4	0.008	0.20	13
> 0.250 – 0.375	> 6.4 – 9.5	0.010	0.25	12
> 0.375 – 0.500	> 9.5 – 12.7	0.013	0.33	11
> 0.500 – 0.750	> 12.7 – 19.1	0.016	0.41	10
> 0.750 – 1.000	> 19.1 – 25.4	0.020	0.51	9
> 1.000 – 2.000	> 25.4 – 50.8	0.025	0.64	8

6.8 Ubicación de Indicadores de Calidad de Imagen (IQI)

6.8.1 Película

Los IQI deben ser colocados como sigue.

- Cuando una soldadura completa es radiografiada con una simple exposición usando una fuente dentro de la tubería, deben ser usados al menos cuatro IQI colocados en forma cruzada a la soldadura y espaciados uniformemente alrededor de la circunferencia. Para procedimientos DWE/DWV, un IQI debe ser ubicado en el lado de la fuente de la tubería y cruzado a la soldadura de manera que su imagen este superpuesta sobre la imagen de la soldadura. Para procedimientos DWE/SWV o SWE/SWV que requieran múltiples exposiciones para completar la inspección de la soldadura, y donde la longitud de la película a ser interpretada es más larga de 5" (130 mm), dos IQI colocados en forma cruzada a la soldadura y ubicados en el lado de la película deben ser usados. Uno debe estar a 1" (25 mm) del final de la longitud de la película a ser interpretada y el otro debe estar en el centro de película. Cuando la longitud de la película a ser interpretada es 5" (130 mm) o menos, un IQI debe ser ubicado en el lado de la película cruzado a la soldadura y colocado en el centro de la

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO RADIOGRAFICO DE ACUERDO AL STANDAR API 1104	Página 8 de 11
Procedimiento No. NIT- RT-003		

- longitud a ser interpretada. Cuando una soldadura reparada es radiografiada, un IQI adicional debe ser ubicado cruzado a cada área reparada
- b) Cuando no es práctico colocar una IQI en una soldadura debido a la configuración de la soldadura o tamaño, el IQI puede ser colocado en un bloque separado. Los bloques separados deben ser fabricados del mismo material o radiográficamente similar y pueden ser usados para facilitar el posicionamiento del IQI. EL espesor del material del bloque separado debe ser del mismo espesor que la soldadura
 - c) Protectores de calor: Los IQI pueden ser ubicados sobre protectores en vez de estar en contacto con la tubería, con tal de que la aceptabilidad de la ubicación de cada IQI sea demostrada durante la calificación del procedimiento.

6.9 Radiografías de Producción

Solamente radiólogos nivel II y III deben interpretar las imágenes radiográficas de la soldadura de producción. Los radiólogos deben reportar a la compañía todos los defectos observados en las imágenes a menos que la compañía requiera que todas las imperfecciones observadas sean reportadas. Los radiólogos deben indicar si la soldadura cumple o no los requerimientos de la sección 9. La compañía debe determinar la disposición final de las soldaduras

6.10 Identificación de Imágenes

Las imágenes deben estar claramente identificadas mediante el uso de números de plomo, letras de plomo, marcas u otra identificación de manera que la propia soldadura y cualquier imperfección en ella puedan ser rápida y exactamente ubicadas. La compañía puede especificar el procedimiento de identificación a ser usado. Cuando más de una imagen es usada para inspeccionar una soldadura, deben aparecer marcas de identificación en cada imagen, e imágenes adyacentes deben superponerse. La última marca de referencia de cada final de la imagen debe aparecer en la imagen adyacente apropiada de forma que se establezca que ninguna parte de la soldadura ha sido omitida.

6.11 Almacenamiento de Películas

6.11.1 Películas

Toda película no expuesta debe ser almacenada en un lugar limpio y seco donde las condiciones no afecten adversamente la emulsión. Si algún cuestionamiento surge acerca de las condiciones de las películas no expuestas, las láminas de la parte frontal y posterior de cada paquete o una longitud de película igual a la circunferencia de cada rollo original deben ser procesadas de la manera normal sin exposición a la luz o radiación. Si la película procesada muestra velo, la caja entera o rollo, del cual la película de prueba se extrajo, debe ser descartada. A menos que pruebas adicionales prueben que la película sobrante en la caja o rollo esté libre de velo de pre exposiciones que exceda una densidad transmitida de 0.30 H&D para película de base transparente.

Nota: H&D se refiere al método Hurter-Driffield de definir cuantitativamente el ennegrecimiento de la película.

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO RADIOGRAFICO DE ACUERDO AL STANDAR API 1104	Página 9 de 11
Procedimiento No. NIT- RT-003		

6.12 Densidad de Película

Excepto para pequeñas áreas localizadas causadas por configuraciones irregulares de soldadura, la densidad transmitida H&D en el área de interés de las películas de base transparente no debe ser menor que 1.8 ni mayor a 4.0. Densidades H&D transmitidas a través de pequeñas áreas localizadas pueden exceder estos límites, sin embargo la mínima densidad no deberá ser menor que 1.5 y la máxima densidad no deberá exceder a 4.2

6.13 Equipo para Visualización de Película

El equipo de visualización (negatoscopio) debe ser del tipo de alta intensidad variable y debe ser capaz de visualizar películas con densidades dentro del rango especificado en 6.12.1. Éste debe estar equipado para prevenir que luz proveniente de los alrededores del borde exterior de la radiografía o a través de porciones de baja densidad de la radiografía, interfieran con las interpretaciones.

6.13.1 Facilidades para Visualización de Película

Las facilidades para la visualización deben ser provistas de luces de fondo suavizadas a una intensidad que no cause problemas de reflexión, sombras o resplandores en la radiografía.

6.14 Procesado de Imágenes

Cuando sea requerido por la compañía, la película debe ser procesada, manipulada, y almacenada de manera que las imágenes sean interpretables al menos tres años después que ellas son producidas.

6.14.1 Área de Procesado de Imágenes

El área de procesado de imágenes y todos los accesorios deben ser mantenidos limpios en todo momento.

6.15 Protección Radiológica

El técnico radiólogo debe ser responsable de la protección y monitoreo de cada persona que trabaje con, o cerca de fuentes de radiación. La protección y monitoreo deben cumplir con las regulaciones federales, estatales y locales aplicadas.

6.15.1 Requisitos de Seguridad

Todo el personal involucrado en y comprometido con este procedimiento, deberá cumplir con el Procedimiento NIT de Seguridad Radiológica en su última revisión. Será responsabilidad del Nivel II, Nivel I y operadores de radiografía, por su propia seguridad radiológica e industrial y la del personal que pudiera encontrarse en las inmediaciones del lugar del ensayo, el cumplir el procedimiento indicado y las recomendaciones vigentes del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO RADIOGRAFICO DE ACUERDO AL STANDAR API 1104	Página 10 de 11
Procedimiento No. NIT- RT-003		

Todo el personal involucrado en las tareas de radiografía portará consigo:

- Dosímetro TLD,
 - Dosímetro tipo lapicero
- para registrar y controlar que no excedan los límites de dosis permisibles.

7 Evaluación Radiográfica

Todas las radiografías serán evaluadas por un nivel II certificado para asegurar el cumplimiento de los anexos a este procedimiento.

Las soldaduras mostradas por radiografía que no cumplan los requerimientos del capítulo 9 del estándar API 1104 – Edición 2010, deberán ser reparadas conforme al capítulo 10.

8 Reportes

Antes que las soldaduras sujetas a radiografía, sean aceptadas por el propietario o contratista, todas las radiografías incluidas las que muestren calidad inaceptable antes de la reparación, un reporte de interpretación deberá presentarse al inspector de verificación.

Este reporte incluirá pero no estará limitado a la siguiente información:

- a) Nombre o abreviatura del Proyecto, Constructor y Cliente.
- b) No. de Reporte
- c) Fecha de emisión de reporte
- d) Identificación de la junta, e Isométrico
- e) Diámetro y espesor nominal.
- f) Código o Estándar de Aceptación y Rechazo de soldadura.
- g) No. de Procedimiento radiográfico.
- h) Tipo y número obtenido de alambre o agujero esencial del ICI.
- i) Tipo de película (marca y tipo).
- j) Tipo de fuente radiactiva, tamaño del foco efectivo.
- k) Penumbra geométrica
- l) Actividad
- m) Tipo de pantallas
- n) Distancia Fuente-Lado Objeto, Distancia Objeto-Película.
- o) Densidad
- p) Técnica radiográfica
- q) Nombre y firma del Evaluador.
- r) Fecha.
- s) Representante Autorizado del cliente, cargo, firma y fecha

9 Formato de Reporte Radiográfico

[illegible]

Anexo F: Carta de decaimiento de la fuente radiactiva Ir. 192.



QSA Global, Inc.

40 North Avenue

Burlington, MA 01803

Telephone: (781) 272-2000

Toll Free: (800) 815-1383

Facsimile: (781) 273-2216

Source Certificate

Radionuclide: **Ir192**

ISO/ANSI Classification: **97E64515**

IAEA Special Form Reference Number: **USA/0335/S-96**

Measured Equivalent Activity on **Nov-11-2014**

107.0 Ci 4.0 TBq

Holder/Capsule # **13052G**

Source Model: **A424-9**

Product Code: **ICUCF100**

Sales Order **282588** **NDT INSPECTION TECHNOLOGIES S.A**

Source Physical Size:

	(mm)	(in)
Diameter	2.700	0.106
Length	3.000	0.118
Diagonal	4.036	0.159

Quality Control Tests Nov-11-2014

Wipe Test A: <0.00045 uCi
Vacuum Bubble Test: Passed
Tensile Test: Passed
Wipe Test B: <0.00045 uCi

Decay Data:

Activity in Curies						
Date	Date +1	Date +2	Date +3	Date +4	Date +5	Date +6
107.0	106.0	105.0	104.0	103.1	102.1	101.1
100.2	99.3	98.3	97.4	96.5	95.6	94.7
93.8	92.9	92.1	91.2	90.4	89.5	88.7
87.8	87.0	86.2	85.4	84.6	83.8	83.0
82.3	81.5	80.7	80.0	79.2	78.5	77.7
77.0	76.3	75.6	74.9	74.2	73.5	72.8
72.1	71.4	70.8	70.1	69.5	68.8	68.2
67.5	66.9	66.3	65.7	65.0	64.4	63.8
63.2	62.6	62.1	61.5	60.9	60.3	59.8
59.2	58.7	58.1	57.6	57.0	56.5	56.0
55.4	54.9	54.4	53.9	53.4	52.9	52.4
51.9	51.4	50.9	50.5	50.0	49.5	49.1
48.2	47.7	47.2	46.7	46.2	45.7	45.2
45.5	45.1	44.7	44.3	43.8	43.4	43.0
42.6	42.2	41.8	41.4	41.1	40.7	40.3
39.9	39.5	39.2	38.8	38.4	38.1	37.7
37.4	37.0	36.7	36.3	36.0	35.7	35.3
35.0	34.7	34.3	34.0	33.7	33.4	33.1
32.8	32.5	32.2	31.9	31.6	31.3	31.0
30.7	30.4	30.1	29.8	29.6	29.3	29.0
28.7	28.5	28.2	27.9	27.7	27.4	27.2
26.9	26.6	26.4	26.2	25.9	25.7	25.4
25.2	25.0	24.7	24.5	24.3	24.0	23.8
23.6	23.4	23.1	22.9	22.7	22.5	22.3
22.1	21.9	21.7	21.5	21.3	21.1	20.9
20.7	20.5	20.3	20.1	19.9	19.7	19.5
19.4	19.2	19.0	18.8	18.7	18.5	18.3
18.1	18.0	17.8	17.6	17.5	17.3	17.1
17.0	16.8	16.7	16.5	16.4	16.2	16.0
15.9	15.7	15.6	15.5	15.3	15.2	15.0
14.9	14.7	14.6	14.5	14.3	14.2	14.1
13.9	13.8	13.7	13.6	13.4	13.3	13.2
13.1	12.9	12.8	12.7	12.6	12.5	12.3
12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.7	11.6
11.4	11.3	11.2	11.1	11.0	10.9	10.8
10.7	10.6	10.5	10.4	10.3	10.2	10.1
10.0	9.9	9.8	9.8	9.7	9.6	9.5
9.4	9.3	9.2	9.1	9.0	9.0	8.9
8.8	8.7	8.6	8.6	8.5	8.4	8.3
8.2	8.2	8.1	8.0	7.9	7.9	7.8
7.7	7.6	7.6	7.5	7.4	7.4	7.3
7.2	7.2	7.1	7.0	7.0	6.9	6.8
6.8	6.7	6.6	6.6	6.5	6.5	6.4
6.3	6.3	6.2	6.2	6.1	6.0	6.0
5.9	5.9	5.8	5.8	5.7	5.7	5.6
5.6	5.5	5.4	5.4	5.3	5.3	5.2
5.2	5.2	5.1	5.1	5.0	5.0	4.9
4.9	4.8	4.8	4.7	4.7	4.6	4.6
4.6	4.5	4.5	4.4	4.4	4.3	4.3
4.3	4.2	4.2	4.2	4.1	4.1	4.0
4.0	4.0	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8
3.7	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.5

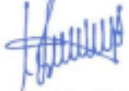
Technician: *[Signature]*

Activity in Tera-Bequerels						
Date	Date +1	Date +2	Date +3	Date +4	Date +5	Date +6
Nov-11-14	3.95	3.92	3.88	3.84	3.81	3.77
Nov-18-14	3.70	3.67	3.63	3.60	3.57	3.53
Nov-25-14	3.47	3.43	3.40	3.37	3.34	3.31
Dec-02-14	3.25	3.21	3.18	3.15	3.13	3.10
Dec-09-14	3.04	3.01	2.98	2.95	2.93	2.90
Dec-16-14	2.84	2.82	2.79	2.77	2.74	2.71
Dec-23-14	2.66	2.64	2.61	2.59	2.57	2.54
Dec-30-14	2.49	2.47	2.45	2.42	2.40	2.38
Jan-06-15	2.33	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23
Jan-13-15	2.19	2.17	2.15	2.12	2.11	2.09
Jan-20-15	2.05	2.03	2.01	1.99	1.97	1.95
Jan-27-15	1.92	1.90	1.88	1.86	1.85	1.83
Feb-03-15	1.79	1.78	1.76	1.74	1.73	1.71
Feb-10-15	1.68	1.66	1.65	1.63	1.62	1.60
Feb-17-15	1.57	1.56	1.54	1.53	1.51	1.49
Feb-24-15	1.47	1.46	1.44	1.43	1.42	1.40
Mar-03-15	1.38	1.36	1.35	1.34	1.33	1.31
Mar-10-15	1.29	1.28	1.27	1.25	1.24	1.22
Mar-17-15	1.21	1.20	1.18	1.17	1.16	1.14
Mar-24-15	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08
Mar-31-15	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01
Apr-07-15	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94
Apr-14-15	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88
Apr-21-15	0.87	0.86	0.85	0.84	0.84	0.83
Apr-28-15	0.81	0.80	0.80	0.79	0.78	0.77
May-05-15	0.76	0.75	0.75	0.74	0.73	0.72
May-12-15	0.71	0.70	0.70	0.69	0.69	0.68
May-19-15	0.67	0.66	0.65	0.65	0.64	0.63
May-26-15	0.62	0.62	0.61	0.61	0.60	0.59
Jun-02-15	0.58	0.58	0.57	0.57	0.56	0.55
Jun-09-15	0.55	0.54	0.54	0.53	0.53	0.52
Jun-16-15	0.51	0.51	0.50	0.50	0.49	0.48
Jun-23-15	0.48	0.47	0.47	0.46	0.46	0.45
Jun-30-15	0.45	0.44	0.44	0.43	0.43	0.42
Jul-07-15	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40
Jul-14-15	0.39	0.39	0.38	0.38	0.38	0.37
Jul-21-15	0.37	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35
Jul-28-15	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32
Aug-04-15	0.32	0.32	0.31	0.31	0.31	0.30
Aug-11-15	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.28
Aug-18-15	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.26
Aug-25-15	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25
Sep-01-15	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23
Sep-08-15	0.23	0.23	0.22	0.22	0.22	0.22
Sep-15-15	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20
Sep-22-15	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19
Sep-29-15	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18
Oct-06-15	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Oct-13-15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15
Oct-20-15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14
Oct-27-15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13
Nov-03-15	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13

Anexo G: Procedimiento de ensayo por líquidos penetrantes API 1104.

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 1 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

Control de revisiones		
Nº de Revisión	Fecha	Modificación al Documento

	Elaborado por:	Aprobado por:	Aceptado por:
Fecha	07 Enero 2013	16 Enero 2013	28 Enero 2013
Nombre	Wualter Preciado	Ing. Adalberto Ruiz	Luis Carbajal
Cargo	Gerente Técnico	ASNT NDT Nivel III Certificado No. 55646	Gerente General Luis Carbajal
Firma			

Mech.Eng. Adalberto Ruiz
 ASNT NDT Level III
 Cert. No. 55646

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 2 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

INDICE

1. Alcance
2. Documentos de referencia
 - 2.1 Normas ASTM
 - 2.2 Estandares ASNT
3. Terminología
4. Resumen del metodo de ensayo
5. Uso y significado
6. Clasificacion de penetrantes y metodos
7. Tipos y materiales
8. Procedimiento
9. Requisitos especiales
10. Calificacion y recalificacion
11. Evaluacion
12. Documentacion
- 13.0 Reporte de inspeccion de Tintes Penetrantes.

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 3 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

1. Alcance

Cuando un ensayo de PT es especificado por la compañía, debe ser establecido un procedimiento escrito detallado para el ensayo de PT que cumpla los requerimientos de ASTM E 165.

1.1 Este método de ensayo cubre los procedimientos para el examen por líquidos penetrantes (LP) de los materiales. Ellos son métodos de ensayos no destructivos para la detección discontinuidades que están abiertas a la superficie tales como: fisuras, costuras, traslapes, juntas frías, laminaciones, fugas o falta de fusión y son aplicables en exámenes en el procesamiento, al final del mismo o en exámenes de mantenimiento. Ellos pueden ser usados efectivamente en el examen de materiales metálicos no porosos, ferrosos y no ferrosos, y de materiales no metálicos como cerámicas vitrificadas o completamente densificadas, ciertos plásticos no porosos y vidrio.

1.2 Este método de ensayo también provee una referencia:

1.2.1 Por la cual un proceso recomendado o requerido de examen por LP por organizaciones individuales puede ser revisado para confirmar su aplicabilidad y competencia.

1.2.2 Para su uso en la preparación de especificaciones de procesos referidas con el examen de LP de materiales y piezas. Se recomienda, fehacientemente, el mutuo acuerdo entre usuario y proveedor con relación a técnicas específicas.

1.2.3 Para su uso en la organización de las instalaciones y personal involucrado con el examen de LP.

1.3 Este método de ensayo no indica o sugiere el criterio de evaluación de las indicaciones obtenidas. Debería anotarse, sin embargo, que después que las indicaciones han sido producidas, ellas deben ser interpretadas o clasificadas y luego ser evaluadas. Para este propósito debe haber un código o especificación o acuerdo específico separado para definir el tipo, tamaño, ubicación y dirección de las indicaciones consideradas aceptables y aquellas consideradas inaceptables.

1.4 Los valores están establecidos en unidades pulgadas-libras como el estándar. Las unidades SI se suministran solo para información.

1.5 No es el propósito de este estándar proponer las condiciones de seguridad involucrada, si hubiera alguna, asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las condiciones de seguridad y salubridad apropiada y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras previas a su uso.

2. Documentos de Referencia.

2.1 Normas ASTM

E 1208 Método de Ensayo para el Examen para Líquidos Penetrantes Fluorescentes usando procesos de Post-Emulsificación Lipofílica.

E 1209 Método de Ensayo para el Examen para Líquidos Penetrantes Fluorescentes usando procesos de Lavable con Agua

E 1210 Método de Ensayo para el Examen para Líquidos Penetrantes Fluorescentes usando procesos de Post-Emulsificación Hidrofílica.

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 4 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

E 1219 Método de Ensayo para el Examen para Líquidos Penetrantes Fluorescentes usando procesos Removibles con Solvente.
 E 1220 Método de Ensayo para el Examen para Líquidos Visibles usando procesos Removibles con solvente.
 E 1316 Terminología para Exámenes No Destructivos.
 E 1418 Método de Ensayo para el Examen para Líquidos Penetrantes Visibles usando procesos lavables con agua

2.2 Estándares ASNT

Práctica Recomendada SNT-TC-1A para Calificación y Certificación de Personal de Ensayo No Destructivo.
 Norma ANSI/ASNT CP-189 para Calificación y Certificación de Personal de Ensayo No Destructivo.

3. Terminología

Las definiciones relativas al examen por LP, las cuales aparecen en la Terminología E1316, deben aplicarse a los términos usados en esta norma.

4. Resumen del Método de Ensayo.

4.1 Un LP el cual puede ser un material visible o fluorescente es aplicado uniformemente sobre la superficie a ser examinada y se le permite ingrese en las discontinuidades abiertas. Después de un tiempo de penetración conveniente, el exceso de penetrante en la superficie es removido. Un revelador se aplica para extraer el penetrante atrapado fuera de la discontinuidad y manchar el revelador. La superficie de ensayo es entonces examinada para determinar la presencia o ausencia de indicaciones.

4.2 **Los parámetros del proceso**, como son: pre-limpieza de la superficie, tiempo de penetración y métodos de remoción del exceso de penetrante, son determinados para los materiales específicos usados, la naturaleza de la pieza en examen (que son, tamaño, forma, condición superficial, aleación) y los tipos de discontinuidades esperados.

5. Uso y Significado

5.1 Los métodos de examen por LP indican la presencia, ubicación y, en determinado límite, la naturaleza y la magnitud de las discontinuidades detectadas. Cada uno de los variados métodos ha sido diseñado para usos específicos tales como componentes de servicio crítico, volumen de piezas, potabilidad o áreas localizadas de examen. El método seleccionado dependerá de acuerdo de los requerimientos de servicio.

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 5 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

6. Clasificación de Penetrantes y Métodos 6.1 Los métodos de examen por LP y tipos de LP son clasificados como se muestra en la tabla 1.

**TABLA 1 CLASIFICACION DEL EXAMEN CON PENETRANTES
TIPO Y METODOS**

Tipo I – Examen Penetrante Fluorescente
Método A – Lavable con agua (ver Método de ensayo E 1209)
Método B – Post emulsificable Lipofílico (ver Método de ensayo E 1208)
Método C – Removible con Solvente (ver Método de ensayo E 1219)
Método D – Post-emulsificable Hidrofílico (ver Método de ensayo E 1210)
Tipo II – Examen con Penetrantes Visibles
Método A – Lavable con agua (ver el método de Ensayo E1418)
Método B –Removible con Solvente (ver Método de ensayo E 1220)

6.2 El Examen con Penetrantes Fluorescentes utiliza penetrantes que fluorescen brillantemente cuando son excitados por luz negra (ver 8.9.1.2). La sensibilidad de los penetrantes fluorescentes depende de su habilidad a ser retenidos en las discontinuidades de variados tamaños durante el proceso, luego son exudados hacia la capa de revelador y producen indicaciones que fluorescerán. Las indicaciones fluorescentes son muchas veces más brillantes que su alrededor cuando son vistas bajo iluminación de luz negra.

6.3 El Examen con Penetrantes Visibles usa penetrantes que pueden ser vistos en luz visible. El penetrante es usualmente rojo, de manera que las indicaciones producen un contraste definido con el fondo blanco del revelador. El proceso del penetrante visible no requiere el uso de la luz negra. Sin embargo, las indicaciones de penetrante visible deben ser vistas bajo luz blanca adecuada (ver 8.9.2.1).

7. Tipos de Materiales.

7.1 Los materiales para Examen por LP (ver Notas 3 y 4) consisten en penetrantes fluorescentes y visibles, emulsificadores (**base-aceite y base-agua**), solventes removedores y reveladores. Una familia de materiales para examen por LP consta del penetrante aplicable y un emulsificador o removedor, como lo recomienda el fabricante. La mezcla de materiales de varios fabricantes no se recomienda.

7.2 Penetrantes:

7.2.1 Los Penetrantes Post-Emulsificables están diseñados para ser insolubles en agua y no pueden ser removidos solo con un enjuague de agua. Ellos están diseñados para ser removidos selectivamente de la superficie usando un emulsificador separado. El emulsificador, aplicado apropiadamente y con un tiempo de emulsificación apropiado, se combina con el exceso de penetrante de la superficie para forma una mezcla lavable con agua la cual puede ser enjuagada de la superficie, dejando la superficie libre de un fondo fluorescente. Los tiempos de emulsificación apropiados deben ser establecidos experimentalmente y mantenidos para asegurar que no ocurra un sobre-emulsificación, con el resultado consiguiente de la pérdida de las indicaciones.

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 6 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

7.2.2 Los Penetrantes Lavables con Agua están diseñadas para ser directamente lavables con agua de la superficie de ensayo de la pieza, después de un conveniente tiempo de penetración. Debido a que el emulsificador esta "dentro" del penetrante lavable con agua, es extremadamente importante ejercer un control apropiado en la remoción en exceso de la superficie para asegurar evitar un sobre lavado. Los penetrantes lavables con agua pueden ser lavados (removidos) de las discontinuidades si la etapa de enjuague es demasiado larga o demasiado vigorosa. Algunos penetrantes son menos resistentes al sobre lavado que otros.

7.2.3 Los penetrantes Removibles con Solvente, están diseñados de manera que el exceso de penetrante de la superficie pueda ser removido por "trapeado" wiping (frotado con un material blando) hasta que la mayoría del penetrante haya sido removido. Las trazas remanentes deberían ser removidas con el solvente removedor (ver 8.6.4.1) Para minimizar la remoción del penetrante de las discontinuidades, debería tomarse cuidado para evitar el uso de solvente en exceso. **Está PROHIBIDO** el rociado (lavado) de la superficie de ensayo con el solvente para remover el exceso de penetrantes.

7.3 Emulsificadores:

7.3.1. Los Emulsificadores Lipofilicos son líquidos de miscibles en aceite usados para emulsificar el exceso de penetrante aceitoso de la superficie de la pieza, haciéndolo lavable con agua. La velocidad de difusión establece el tiempo de emulsificación. Ellos son de acción lenta o rápida, dependiendo de su viscosidad y composición química y también de la rugosidad superficial del área a ser examinada (ver 8.6.2)

7.3.2 Los Emulsificadores Hidrofilicos son líquidos miscibles en agua usados para emulsificar el exceso de penetrantes fluorescentes aceitosos de la superficie de la pieza, haciéndolo en lavable con agua. (ver 8.6.3). Estos emulsificadores de base-agua (removedores tipo detergente) se proveen como concentrados a ser diluidos con agua y usados en inmersión o atomizado. La concentración, uso y mantenimiento estarán en acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

7.3.2.1 Los Emulsificadores Hidrofilicos funcionan por desplazamiento de la película de penetrante en exceso de la superficie de la pieza por acción detergente. La fuerza del atomizador de agua o la agitación por aire o mecánica en un tanque abierto de inmersión provee la acción limpiadora mientras el detergente desplaza la película de penetrante de la superficie de la pieza. El tiempo de emulsificación variará, dependiendo de su concentración, la cual puede ser monitoreada por el uso de un refractómetro conveniente.

7.4 Los Removedores Solventes funcionan por disolución del penetrante, haciendo posible ser extraído por trapeado (wiping) de la superficie hasta dejarla limpia y libre de exceso de penetrante como se describe en **8.6.1.2 y 8.6.4.**

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 7 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

7.5 Reveladores- El revelado de las indicaciones de penetrante es el proceso de hacer salir el penetrante de las discontinuidades abiertas por medio de una acción manchadora del revelador aplicado, por esto se incrementa la visibilidad de las indicaciones.

7.5.1 Los Reveladores Secos en Polvo son usados como se suministran (estos, polvo libre de floculos) de acuerdo con 8.8.2. Debería tomarse cuidado de no contaminar el revelador con penetrante fluorescente, ya que manchitas de penetrante pueden aparecer como indicaciones.

7.5.2 Los Reveladores Acuosos son suministrados normalmente como partículas de polvo seco para ser suspendidos o disueltos (soluble) en agua. La concentración, uso y mantenimiento estará de acuerdo con las recomendaciones del fabricante (ver 8.8.3)

7.5.3. Los Reveladores Húmedos No Acuosos son suministrados como una suspensión de partículas de revelador en un portador solvente no acuoso listo para su uso. Los reveladores húmedos no acuosos forman una capa en la superficie de la pieza cuando se seca, el cual sirve como un medio de revelado (ver 8.8.4).

7.5.4. Reveladores de Película Líquida son soluciones o suspensiones coloidales de resina/polímero en un portador conveniente. Estos reveladores formaran un recubrimiento transparente o translúcido sobre la superficie de las piezas. Ciertos tipos de revelador tipo película pueden ser retirados en formas de tiras (películas) de la pieza y guardados para propósitos de registro (ver 8.8.5).

8. Procedimiento

8.1 Las siguientes guías generales de proceso se aplican a los métodos de examen (ver figuras 1-3) para penetrantes visibles y fluorescente.

8.2 Límites de Temperatura- La temperatura de los materiales penetrantes y la superficie de la pieza a ser procesada debería estar entre **40 y 125 F (4 y 52 C)**. Donde no sea práctico cumplir con estos límites de temperatura, califique del procedimiento como se describe en 10.2 a la temperatura propuesta de uso y en acuerdo entre las partes del contrato.

8.3 Acondicionamiento de la superficie previo al Examen con Penetrantes- Resultados satisfactorios pueden obtenerse usualmente en superficies en condiciones soldadas, laminadas, fundidas, forjadas (o para cerámicas en la condición densificada). Los penetrantes sensibles son generalmente menos fáciles de lavar, por lo tanto son menos convenientes para superficies rugosas. Cuando solo residuos superficiales sueltos están presentes, estos pueden ser removidos por trapeado (wiping) con telas libre de pelusa. Sin embargo, la pre limpieza de los metales para remover residuos de su procesado como aceite, grafito, escamas, materiales aislantes, recubrimientos, y así lo demás, deberían ser echo usando solventes de limpieza, vapor desengrasante o procesos de remoción químico. El acondicionado superficial por esmerilado, maquinado, pulido o ataque químico debe seguir al granallado, arenado o vapor para remover la película "amartillada" y cuando el penetrante se entrampe en las irregularidades superficiales podría enmascarar las indicaciones de discontinuidades

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 8 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

inaceptables o interferirán de otra manera con la efectividad del examen. Para metales, a menos que sea especificado, el ataque químico debe ser realizado cuando exista evidencia que la limpieza previa, tratamiento superficial o uso en servicio ha producido una condición superficial que degrada la efectividad del examen por penetrante. (ver Anexo A1.1.1.8 para las precauciones).

8.4 Remoción de los Contaminantes Superficiales:

8.4.1 Pre-Limpieza- El desarrollo de cualquier procedimiento de examen con penetrantes es fuertemente dependiente de que la superficie adyacente y la discontinuidad se encuentren libres de cualesquier contaminantes (líquido o sólido) que pueda interferir con los procesos del penetrante. Todas piezas o áreas de la piezas a ser examinadas deben estar limpias y secas antes que el penetrante sea aplicado. Si solo una sección de la pieza, como una soldadura, incluida la zona afectada por el calor será examinada, todos los contaminantes deben ser removidos del área a ser examinada como se defina por el contrato entre las partes. La "limpieza" se propone para conseguir que la superficie debe estar libre de óxido, escamas, suciedad, películas de aceite, flux de soldadura, salpicadura de soldadura, grasa, pintura y todo lo demás que puedan interferir con el proceso del penetrante. Todos estos contaminantes pueden evitar que el penetrante ingrese a las discontinuidades (ver Anexo sobre limpieza de Piezas y Materiales)

8.4.2 Secado después de la Limpieza- Es esencial que las superficies de las piezas se encuentren completamente secas después de la limpieza, ya que cualquier residuo líquido obstaculizará la entrada del penetrante. El secado puede ser efectuado por calentamiento de las piezas en hornos de secado, con lámparas infrarrojas, aire forzado caliente o expuestos a temperatura ambiente.

8.5 Aplicación del penetrante- Después que la pieza ha sido limpiada, secada, y está dentro del rango de temperatura especificada, el penetrante es aplicado a la superficie a ser examinada de manera que toda la pieza o el área en examen este completamente cubierta con penetrante.

8.5.1 Modos de Aplicación- Hay varios modos de aplicación efectiva del penetrante tales como inmersión, brochado, bañado o atomizado. Las piezas pequeñas son frecuentemente ubicadas en canastillas convenientes y inmersas en un tanque con penetrante. En piezas más grandes y aquellas con geometría compleja, el penetrante puede ser aplicado efectivamente por brochado o atomizado. Pistolas de atomizado convencional y electrostáticas son medios efectivos para la aplicación de los líquidos penetrantes a las superficie de la piezas. La aplicación del atomizado electrostático puede eliminar el exceso de líquido penetrante aglomerado en la pieza, minimizar el sobre-atomizado y minimizar la cantidad de penetrante que ingresa a agujeros y pasajes los cuales puede servir como depósitos de penetrante, causando problemas severos de "exudamiento" (bleed out) durante el examen. Los atomizadores en aerosol son convenientemente portátiles y adecuados para las aplicaciones locales.

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 9 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

8.5.2 Tiempo de Penetración – Después de la aplicación, permita al exceso de penetrante drenar de la pieza (teniendo cuidado para prevenir estancamientos (piscinas) de penetrante debido a la forma de la pieza), mientras se permita un apropiado tiempo de penetración (ver la tabla 2). El período de tiempo que el penetrante debe permanecer en la pieza para permitir una penetración apropiada debería ser como la recomendada por el fabricante del penetrante. La, Tabla 2 sin embargo, provee una guía para seleccionar los tiempos de penetración de una variedad de materiales, formas, y tipos de discontinuidades. A menos que, se especifique, los tiempos de penetración no excederán el máximo recomendado por el fabricante.

8.6 Remoción del penetrante

8.6.1 Lavable con Agua:

8.6.1.1 Remoción del Exceso de Penetrante- Después del tiempo de penetración requerido, el exceso de penetrante de la superficie a ser examinada debe ser removido con agua, usualmente en una operación de lavado. Puede ser lavado manualmente, por el uso de un equipo automático o semiautomático de atomizado de agua, o por inmersión. Para el enjuague por inmersión, las piezas con inmersas completamente en un baño de agua con agitación por aire o mecánica. La acumulación de agua en huecos y resquicios de la superficie deben evitarse. Si la etapa final del enjuague no es efectiva, lo que se evidencia por un exceso de penetrantes residual en la superficie después del enjuague, seque (ver 8.7) y re-limpie la pieza, luego re-aplique el penetrante por el tiempo de penetración descrito.

(a) La temperatura del agua debería ser relativamente constante y debería ser mantenida dentro del rango de 50 a 100F (10 a 38C)

(b) La presión de agua del atomizado de enjuague no debería ser más grande de 40 Ksi (275 kPa)

(c) El tiempo de enjuague no excederá 120 segundos a menos que se especifique otra cosa en la especificación de la pieza o material.

8.6.1.2 Remoción por "Trapeado" wiping- En aplicaciones especiales, la remoción del penetrante puede ser realizada por trapeado (frotado con un paño) wiping de la superficie con un material limpio absorbente impregnado de agua hasta que el penetrante de la superficie es exceso sea removido, como se determina por el examen bajo luz negra para los métodos fluorescentes y luz blanca para los métodos visibles.

8.6.2 Emulsificación Lipofílica:

8.6.2.1. Aplicación del Emulsificador- Después del tiempo de penetración requerido, el exceso de penetrante de una pieza debe ser emulsificado por inmersión o bañado de la piezas con el emulsificador requerido (el emulsificador se combina con el exceso de penetrante superficial y hace la mezcla removible con el enjuague de agua). Después de la aplicación del emulsificador, las piezas son drenadas de manera que previene que el emulsificador se aloje (haga piscinas) sobre la pieza(s).

8.6.2.2 El Tiempo de Emulsificación se inicia tan pronto como el emulsificador se ha aplicado. El período de tiempo que el emulsificador se permite permanecer en la

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 10 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

superficie de la pieza y en contacto con el penetrante es dependiente del tipo de emulsificador empleado y la condición superficial (liso o rugoso). El tiempo de emulsificación nominal debería ser recomendado por el fabricante. El tiempo de emulsificación real debe ser determinado experimentalmente para cada aplicación específica. El acabado superficial (rugosidad) de la pieza es un factor significativo en la selección del y en el tiempo de emulsificación de un emulsificador. El tiempo de contacto debería mantenerse al menor posible consistente con un fondo aceptable y no debería exceder el tiempo máximo especificado para la pieza o material.

8.6.2.3 Post-Enjuague- Un post-enjuague efectivo de un penetrante emulsificado de la superficie puede ser efectuado por una inmersión en agua, hecha manualmente o usando equipo, semi-automatizado o automatizado o por un atomizado o la combinación a de ambos.

8.6.2.4 Inmersión- Para el post enjuague por inmersión, las piezas son inmersas completamente en un baño de agua con agitación por aire o mecánica. El tiempo y temperatura debería ser mantenido constante.

- a) El tiempo máximo de enjuague por inmersión no debería exceder 120 s a menos que se especifique otra cosa en la especificación de la pieza o material.
- b) La temperatura del agua debería ser relativamente constante y debería ser mantenida dentro del rango de 50 a 100F (10 a 38C)

Precaución: Después de la inmersión, puede ser necesario un enjuague de retoque (correctivo).

8.6.2.5 Atomizado Post-Enjuague- Un post-enjuague efectivo siguiendo la emulsificación puede ser efectuado también por enjuague por atomizado de agua de manera manual o automática de las piezas como sigue:

- (a) Control de la temperatura de agua de enjuague dentro del rango de 50 a 100F (10 a 38C).
- (b) Presión del atomizado del agua de enjuague **no debería exceder 40 psi (275kPa)**.
- (c) El tiempo máximo de atomizado de enjuague no debería exceder 120 s a menos que se especifique otra cosa en la especificación de la pieza o material.

8.6.2.6 Efectividad del Enjuague- Si las etapas de emulsificación y enjuague final no son efectivas, lo que evidencia por excesivo penetrante residual en la superficie después de la emulsificación y el enjuague, seque (ver 8.7), re-limpie la pieza y re-aplique el penetrante para el tiempo de penetración prescrito.

8.6.3 Emulsificación Hidrofílica:

8.6.3.1 Pre-Enjuague- Directamente después del tiempo de penetración requerido, se recomienda que las piezas sean pre-enjuagadas con agua previa a la emulsificación (8.6.3.3). Esta etapa permite la remoción del exceso de penetrante de las piezas previo a la emulsificación de manera que minimice el grado de contaminación por penetrante en el baño del emulsificador hidrofílico, por lo cual extiende su vida. En adición, el pre-enjuague de las piezas con líquido penetrantes minimiza la polución con

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 11 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

penetrante oleoso en la etapa de enjuague final de este proceso. Esto es efectuado por colección del pre-enjuague en un tanque de almacenamiento, separando el penetrante del agua.

8.6.3.2 Controles de Pre-Enjuague- Un pre-enjuague efectivo es efectuado por un enjuague por atomizado de agua manual o automatizado de las piezas como sigue:

- (a) El agua debería estar libre de contaminantes que podrían cargar las toberas o dejar un residuo sobre las piezas.
- (b) El control sobre la temperatura de agua dentro del rango de 50 a 100F (10 a 38C)
- (c) Atomizado de enjuague a una presión de 25 a 40 psi (175 a 275 kPa)
- (d) El tiempo de pre-enjuague debe ser el menor posible (nominalmente 60 s máximo) para proveer un residuo consistente de penetrante en las piezas. El tiempo de lavado será especificado por la especificación de la pieza o material
- (e) Remueva el agua atrapada en las cavidades usando un chorro de aire filtrado a una presión nominal de 25 psi (175 kPa) o un accesorio de succión para remover el agua de las áreas estancadas.

8.6.3.3 Aplicación del Emulsificador- Después del tiempo de penetración requerido y seguido de un pre enjuague, el penetrante residual de la superficie de la pieza (s) debe ser emulsificado por inmersión de las pieza(s) en un baño de emulsificador hidrofílico (8.6.3.4) o por atomizado de la pieza(s) (8.6.3.5) de este modo se hace al penetrante residual de la superficie en lavable con agua en la estación final de enjuague (8.6.3.6).

8.6.3.4 Inmersión- Para aplicaciones de inmersión, las piezas son completamente inmersas en un baño de emulsificador. El emulsificador hidrofílico debería ser cuidadosamente agitado en todo el ciclo de contacto.

- (a) La concentración del baño debería ser como el recomendado por el fabricante. La concentración nominal de uso para aplicaciones de inmersión es 20%.
- (b) La temperatura del baño deberían ser mantenidas entre 50 a 100 F (10 a 38 C).
- (c) El tiempo de contacto en la inmersión debería ser el tiempo mínimo requerido para una adecuada remoción superficial y no debería exceder 2 minutos a menos que otra cosa sea aprobada por la organización conocedora de la Ingeniería.

8.6.3.5 Aplicación por Atomizado- Para la aplicación del atomizado siguiendo la etapa de pre-enjuague, las piezas son emulsificadas por aplicación del atomizado de un emulsificador. Todas las superficies de las piezas deberían ser atomizadas completa y uniformemente para una emulsificación efectiva del penetrante residual de todas las superficies para hacerlo en lavable con agua.

- (a) La concentración del emulsificador para la aplicación debería estar de acuerdo con las instrucciones del fabricante, pero no debería exceder el 5%.
- (b) La temperatura será mantenida de 50 a 100 F (10 a 38 C).
- (c) La presión de atomizado sería de 25 psi (175 kPa) máximo para aire y 40 psi (280 kPa) máximo para agua.

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 12 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

(d) El tiempo de contacto debería mantenerse al mínimo consistente con un fondo aceptable y no debería exceder los 120 s, o el máximo tiempo estipulado por la especificación de la pieza o material

TABLA 2 Tiempos de Penetración Mínimos Recomendados

Material	Forma	Tipo de Discontinuidad	Tiempo de Penetración (minutos)	
			Penetrante	Revelador
Aluminio, Magnesio, Acero, Latón y Bronce, Ti y Aleac Alta Temp.	Fundición y soldaduras	Gotas frías, porosidad, falta de fusión, fisuras (todas las formas)	5	10
	Materiales forjados-extrusión	Traslape, fisuras (todas las formas)	10	10
Herramientas Carburos	Forja, planchas	Falta de fusión, porosidad, fisuras	5	10
Plásticos	Todas las formas	Fisuras	5	10
Vidrio	Todas las formas	Fisuras	5	10
Cerámicos	Todas las formas	Fisuras, porosidad	5	10

^a Para el rango de Temperaturas de 50 a 100F (10 a 38 C) para los penetrantes fluorescentes y 50 a 125 F (10 a 52 C) para penetrantes visibles

^b El máximo tiempo de penetración de acuerdo con 8.5.2

^c El tiempo de revelado empieza tan pronto como la capa de revelado húmedo ha secado en la superficie de las piezas (mínimo recomendado). Tiempos máximos de revelado de acuerdo con 8.8.6

8.6.3.6 Post-Enjuague de las piezas emulsificadas Hidrofílicas- Un post-enjuague efectivo del penetrante emulsificado de la superficie puede ser efectuado por inmersión en agua de manera manual o con equipos semiautomáticos o automáticos o por equipo de atomizado o la combinación de ambos.

8.6.3.7 Post-Enjuague por Inmersión- Las piezas son completamente sumergidas en un baño de agua con agitación por aire o mecánica.

(a) La temperatura del agua debería ser relativamente constante y debería ser mantenida dentro del rango de 50 a 100 F (10 a 38 C).

(b) El máximo tiempo de enjuague no debería exceder los 120 segundos, a menos que se especifique otra cosa en la especificación de la pieza o material.

Precaución: Después de la inmersión, puede ser necesario un enjuague de retoque (correctivo).

8.6.3.8 Post-Enjuague por Atomizado- Siguiendo a la emulsificación en las piezas pueden ser post-enjuagadas por agua atomizada como sigue:

(a) Controle la temperatura del agua de enjuague dentro el rango de 50 a 100 F (10 a 38 C).

(b) La presión de atomizado del agua de enjuague **no debería exceder 40 psi (275 kPa)**.

(c) El tiempo máximo de atomizado no debería exceder 120 s a menos que se especifique otra cosa en las especificaciones de las piezas o material.

8.6.3.9 Si las etapas de emulsificación y enjuague final no son efectivas, como se evidencia por el penetrante residual excesivo después de la emulsificación y el

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 13 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

enjuague, seque (ver 8.7) y re-limpie la pieza y re-aplique el penetrante para el tiempo de penetración prescrito.

8.6.4 Penetrantes Removibles con Solvente:

8.6.4.1 Remoción del exceso de penetrante- Después del tiempo de penetración requerido, el exceso de penetrante es removido lo más rápido posible, usando trapos de un material seco, limpio y libre de pelusa y se repite la operación hasta que la mayoría de trazas del penetrante ha sido removido. Luego usando un material libre de pelusa ligeramente humedecido de solvente remueva las trazas remanentes son delicadamente trapeados para evitar la remoción del penetrante de la discontinuidad. Evite usar solvente en exceso. Si la etapa de "trapeado" (wiping) no es efectiva, como se evidencia en la dificultad de remover el penetrante seque la pieza (ver 8.7) y re-aplique el penetrante para el tiempo de penetración prescrito. El rociado de la superficie con el solvente a continuación de la aplicación del penetrante y previo al revelado está prohibido.

8.7 Secado- El secado de la superficie de la pieza(s) es necesario previo a la aplicación de los reveladores secos y no acuosos o siguiendo a la aplicación de la aplicación del revelador acuosos. El tiempo de secado variará con el tamaño, naturaleza y número de piezas bajo examen.

8.7.1 Parámetros de Secado- Las piezas **deben** ser secadas a temperatura ambiente o en un horno de secado. La temperatura en el horno no debe exceder 160°F (71°C). El tiempo de secado solo debe ser aquel necesario para secar adecuadamente la pieza. Los componentes deben ser removidos del horno inmediatamente después del secado. Los componentes no deben ser colocados en el horno con agua estancada o soluciones / suspensiones acuosas estancadas.

8.7.2 Límites de tiempo de Secado- No permita que las piezas permanezcan en el horno de secado tiempo más largo del necesario del necesitado para secar la superficie. Tiempos mayores de 30 minutos en el secador pueden disminuir la sensibilidad del examen.

8.8 Aplicación del Revelador:

8.8.1 Modos de Aplicación- Hay varios modos de aplicación efectiva de los variados tipos de reveladores tales como espolvoreado, inmersión, bañado o atomizado. El tamaño, configuración, condición superficial número de piezas a ser procesadas, y así todo lo demás, influenciarán la elección de la aplicación del revelador.

8.8.2 Revelador en Seco en Polvo- Reveladores seco en polvo deberían ser aplicados inmediatamente después del secado de manera tal que asegure cubrir completamente la pieza. Las piezas pueden ser inmersas en un contenedor de revelador seco o en una cama fluidizada de revelador seco.

Ellos pueden ser también espolvoreados con un bulbo de polvo de mano o con una pistola de polvos convencional o electrostática. Es común y efectivo aplicar polvo seco en una cámara de espolvoreado cerrada, la cual crea una efectiva y controlada nube de polvo. Otras formas convenientes al tamaño y geometría de los especímenes

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 14 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

pueden usarse previendo que el polvo sea espolvoreado sobre toda la superficie a ser examinada. El polvo en exceso puede ser removido por agitación o golpeando suavemente la pieza o por soplado con aire comprimido, seco, limpio a baja presión 5psi (34 kPa).

8.8.3 Reveladores Acuosos

Reveladores acuosos Solubles no deberían ser usados con penetrantes Tipo 2 o Tipo 1, Método A. Los acuosos Suspendibles pueden ser usados con ambos penetrantes Tipo 1 y Tipo 2. Los reveladores acuosos deberían ser aplicados a la pieza inmediatamente después que el exceso de penetrante ha sido removido y previo a la etapa de secado. Los reveladores acuosos deberían ser preparados y mantenidos de acuerdo de acuerdo con las instrucciones del fabricante y aplicados de manera tal que asegure la completa, cubierta de la pieza. Los reveladores acuosos pueden ser aplicados por atomizado (ver nota 16), rociado, o inmersión de las piezas. Es común sumergir las piezas en baños preparados de revelador. Sumerja las piezas lo suficiente para cubrir las superficies de la pieza con el revelador. Luego remueva las piezas del baño y permita drenar.

Drene todo el exceso de revelador de las secciones con resquicios o entrampadas para eliminar la acumulación (el empozamiento) del revelador, lo cual puede empañar las discontinuidades. Seque las piezas de acuerdo con 8.7. La película seca del revelador aparecerá como una película blanca o translúcida sobre la pieza.

8.8.4 Reveladores Húmedos No Acuosos

Después que el exceso de penetrante ha sido removido y la superficie ha sido secada, aplique el revelador por atomizado de manera tal que asegure cubrir la pieza completamente con una delgada, película de revelador. Estos tipos de portadores de revelador se evaporan muy rápidamente a temperatura ambiente normal y no requieren, por tanto, el uso de un secador). La inmersión o bañado de las piezas con reveladores no acuosos está prohibido, ya que ellos pueden rebalsar o disolver el penetrante de las discontinuidades debido a la acción solvente de estos tipos de reveladores.

8.8.5 Película de líquido Revelador

Se aplican por atomizado como lo recomiendan los fabricantes. Aplique por atomización el revelador sobre las piezas de tal manera que asegure cubrir completamente la área de la pieza ser examinada con una delgada, película de revelador.

8.8.6 Tiempo de Revelado

El período de tiempo en que el revelador permanece en la pieza previo al examen no debería ser menor a 10 minutos. El tiempo de revelado se inició inmediatamente después de la aplicación del polvo seco y tan rápido como el recubrimiento del revelador húmedo (acuoso y no acuoso) está seco (esto es, el solvente portador se ha evaporado a sequedad). El tiempo de revelado máximo permitido es de 4 horas para reveladores secos, de 2 horas para no acuosos y de 1 hora para no acuosos.

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 15 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

8.9 Examen

Realizar el examen de las piezas después de un tiempo de revelado aplicable como se especifica en 8.8.6 para permitir la exudación del penetrante de las discontinuidades en la película del revelador. Es buena práctica observar la exudación mientras se aplica el revelador como una ayuda en la interpretación y evaluación de las indicaciones.

8.9.1 Examen con Luz Fluorescente:

8.9.1.1 Nivel de luz Visible en el Ambiente

Examine de las indicaciones penetrantes fluorescentes bajo luz negra en un área oscurecida. La luz visible del ambiente no debería exceder 2 ft candelas (20lx). La medición debería ser hecha con un medidor conveniente de luz del tipo fotográfico sobre la superficie a ser examinada.

8.9.1.2 Control del Nivel de Luz Negra

La lámpara de la luz negra deben proveer un mínimo de 1000 μ W/cm², en la superficie de examinación. La longitud de onda de la luz negra debe estar en el rango de 320 a 380 nm. La intensidad debería ser chequeada semanalmente para asegurar la cantidad (output) requerida. Los reflectores y filtros deberían ser chequeados diariamente para su limpieza e integridad. Filtros ultravioletas (UV) fisurados o rotos deberían ser inmediatamente reemplazados. Bulbos defectuosos, las cuales irradian energía UV, deben ser reemplazados antes de su uso posterior. Como una caída de voltaje de la línea puede causar disminución de la cantidad de energía de luz negra con un consecuente comportamiento inconsistente, un transformador de voltaje constante debería ser usado cuando hay evidencia de fluctuaciones de voltaje.

Precaución: Ciertas luces negras de alta intensidad pueden emitir cantidades inaceptables de luz visible, los cuales pueden causar que las indicaciones fluorescentes desaparezcan. Deberían tomarse cuidado en usar solo bulbos certificados por el proveedor a ser convenientes para tales propósitos de examen.

8.9.1.3 Calentamiento de la Luz Negra

Permita a la lámpara de luz negra calentar por un mínimo de 10 minutos previo a su uso o a la medición de la intensidad de la luz ultravioleta emitida.

8.9.1.4 Adaptación Visual

El examinador debería estar en el área oscurecida por lo menos un (01) minuto antes de examinar las piezas. Tiempos más largos pueden ser necesarios bajo algunas circunstancias.

8.9.2 Examen con Luz Visible:

8.9.2.1 Nivel de Luz Visible

Las indicaciones de los penetrantes visibles pueden ser examinadas en luz natural o artificial. Se requiere iluminación adecuada para asegurar no halla pérdida de sensibilidad del examen. Se recomienda una intensidad mínima de luz de

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 16 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

100fc (1000 lx) del lugar de examen.

8.9.3 Ambiente de Trabajo (Aseo)- Mantenga el área de examen libre de desechos o resto que puedan interferir, incluyendo objetos fluorescentes. Practique un buen aseo todo el tiempo.

8.9.4 Evaluación - A menos que se acuerde otra cosa, es práctica normal interpretar y evaluar la discontinuidad basados en el tamaño de la indicación (ver la Referencia Fotográfica E433).

8.10 Post-Limpieza

La post-limpieza es necesaria en aquellos casos donde el penetrante o revelador residual podría interferir con subsecuentes procesos o con los requerimientos de servicio. Es particularmente importante donde los materiales del penetrante residual del examen puedan combinarse con otros factores en servicio y producir corrosión. Una técnica adecuada, como un enjuague con agua simple, atomizado con agua, maquina lavadora, vapor desengrasante, remojo en solvente, o limpieza ultrasónica puede ser empleada (ver Anexo en Post-Limpieza).

Se recomienda que si la remoción del revelador es necesaria, debería llevarse a cabo tan prontamente como sea posible después del examen de manera que no se "fije" en la pieza.

9 Requisitos Especiales

9.1 Impurezas:

9.1.1 Cuando se usen materiales penetrantes sobre aceros inoxidables austeníticos, titanio, aleaciones base Níquel a de alta temperatura, debe considerarse la necesidad para restringir las impurezas tales como azufre, halógenos y álcalis metálicos. Estas impurezas pueden causar fragilidad o corrosión, particularmente a temperaturas elevadas. Cualquier evaluación debería incluir consideraciones de la forma en que las impurezas están presentes. Algunos materiales penetrantes contienen cantidades significativas de estas impurezas en la forma de solventes orgánicos volátiles. Estos se evaporan normalmente, rápidamente y visualmente no causan problemas. Otros materiales pueden contener impurezas las cuales no son volátiles y pueden reaccionar con la pieza, particularmente en presencia de humedad o temperaturas elevadas.

9.1.2 Debido a que los solventes volátiles dejan la superficie fácilmente sin reaccionar bajo procedimientos de examen normal, los materiales penetrantes están normalmente sujetos a un procedimiento de evaporación para remover los solventes antes que los materiales son analizados para las impurezas.

El residuo de este procedimiento es entonces analizado de acuerdo con el método de ensayo D 129, Método de Ensayo D 1552, o el Método de ensayo de descomposición D 129 seguido del método de ensayo D 516, Método B (Método Turbidimétrico) para azufre. Los residuos pueden ser analizados también por el método de Ensayo D 808 o Anexo 2 en los Métodos para Medir el Contenido de Cloro total en materiales de líquido penetrantes combustibles (para halógenos distintos a Flúor) y Anexo A3 en el método de Medir de Contenido total de Flúor en Materiales de Líquidos Penetrantes combustibles (para Flúor). Un procedimiento alternativo, el Anexo A4 en la

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 17 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

Determinación de Aniones por Cromatografía de Iones, provee una técnica instrumental simple para una rápida medición secuencial de Aniones comunes como cloruros, fluoruro y sulfatos. Los álcalis metálicos en los residuos se determinan por fotometría de flama o espectrometría de absorción atómica.

9.2 Examen a Temperatura Elevada

Donde se realiza el examen con penetrantes en piezas que deban ser mantenidas a altas temperaturas durante el examen, pueden ser requeridos materiales y técnicas de proceso especiales. Tales exámenes requieren la calificación de acuerdo con 10.2. Las recomendaciones del fabricante deberían ser observadas.

10. Calificación y Recalificación

10.1 Calificación del Personal

Sea requerido en acuerdo usuario/ proveedor, todo el personal de examen estará calificado/certificado de acuerdo con un procedimiento escrito conforme a la edición aplicable de la Práctica Recomendada **SNT-TC-1A, ANSI/ASNT**.

10.2 Calificación del Procedimiento

La calificación de los procedimientos usando los tiempos o condiciones diferentes de aquellos especificados o para nuevos materiales puede ser realizados para cualquier de los variados métodos y deberían estar de acuerdo entre las partes contratantes. Se usa una pieza de ensayo (probeta) conteniendo una o más discontinuidades del tamaño más pequeño relevante. La pieza de ensayo (probeta) puede contener discontinuidades reales o simuladas, previendo que muestre las características de las discontinuidades encontradas en el examen de producción.

11.0 Evaluación

- a) Las indicaciones producidas por PT no son necesariamente imperfecciones. Marcas de maquinado, rayas y condiciones superficiales pueden producir indicaciones que son similares a aquellas que son producidas por imperfecciones pero que no son relevantes para aceptabilidad. El criterio mostrado en 9.5.1.2 y 9.5.1.3 es aplicable cuando las indicaciones son evaluadas.
- b) Para indicaciones relevantes se aplica el estándar de aceptación de 9.5.2 y para indicaciones redondeadas de acuerdo al criterio de 9.3.9.2 y 9.3.9.3 como sea aplicable.

12.0 Documentación

12.1 Registro de indicaciones

12.2 Indicaciones no Rechazables. Las indicaciones no rechazables deben ser registradas como está especificado por la sección del código en referencia.

12.3 Indicaciones Rechazables. Las indicaciones rechazables deben ser registradas. Como mínimo debe ser registrada, el tipo de indicación (lineal o redondeada), ubicación y extensión (longitud, diámetro o si esta alineada).

	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES API 1104	Página 18 de 21
Procedimiento No. NIT-PT-003		

12.4 Registro de Inspección.

Para cada inspección, la siguiente información debe ser registrada:

- a) Identificación del procedimiento y revisión;
- b) Tipo de líquido penetrante (visible o fluorescente);
- c) Tipo de cada penetrante (número o letra de denominación) removedor de penetrante, emulsificador, y revelador usado;
- d) Identidad del personal de inspección y si es requerida por la sección del código en referencia, el nivel de calificación;
- e) Plano o registro de indicaciones conforme a T-691;
- f) Material y espesor;
- g) Equipo de iluminación y
- h) Fecha de inspección.

	REPORTE DE INSPECCION POR TINTES PENETRANTES	DOC. 001PT PROC.NIT Fecha: 20/02/13 Rev. 0
		CNC-001-13 Pág. 1 de 1

Información General		01-PT-2016
Cliente Proyecto Lugar de Inspección Fecha de Inspección Descripción de la pieza ensayada Tipo de material Cantidad de soldadura inspeccionada Zona de inspección Acabado Superficial		

Equipo Usado	
Marca : Magnaflux Corp. Penetrante : SKL-SP1	Removedor : Solvente SKC-S Revelador : SKD-S2

Condiciones del Ensayo	
Procedimiento De Inspección No. Norma o Código Aplicable Método de Inspección Temperatura Intensidad de Luz Negra	NDT-PT-002 Rev.2014 API 1104 Ed. 2013 Método C, Visible removible por solvente 20 -50°C N/A

Registro fotográfico	

UBICACION DE DISCONTINUIDADES						
Numero Junta	Zona y localización de discontinuidades y/o defectos	Soldador	Forma de Indicación		Dimensión de Indicación	Resultado
			Lineal	Redonda		

Observaciones
Poro alineado en la parte de la raíz

Abreviatura de Discontinuidades de Soldadura			
Porosidad Aislada	P	Falta de Fusión	IF
Fisura Transversal	FT	Porosidad Anidada	CP
Fisura Longitudinal	FL	Falta Penetración	IP

Datos del Inspector	Autorizado por:
Inspector Nivel II:	

H. Reporte de medición de espesores

		REPORTE DE INSPECCIÓN ULTRASONICO EN MEDICIÓN DE ESPESORES				Hoja 1 de 1 Reporte N°: 01	
CLIENTE:		PROYECTO:		CONTRATO: -		FECHA: 10-12-16	
ORDEN DE TRABAJO:		ESPECIFICACION: MEDICIÓN DE ESPESORES.		PROCEDIMIENTO: NIT-UT-010		AREA:	
		MÉTODO: ULTRASONIDO					
INSTRUMENTO:		TRANSDUCTOR:		ACOPLANTE:		BLOQUE DE CALIBRACION:	
Marca:		Marca:		Marca:		Material:	
Modelo:		Tipo:		No. de Lote:		Rango del espesor:	
N/S:		Frecuencia : 5 MHz		Rango de T°:		N/S:	
LINEA No : -		Elemento Inspeccionado:				No. de ID:	
Tipo de Material: Union de soldadura de API 5LX52		Espesor Nominal:					
REPORTE FOTOGRAFICO							
PUNTO INSPECCIONADO	P1 (mm)	P2 (mm)	P3 (mm)	P4 (mm)	Espesor Mínimo	Espesor Promedio	Observaciones
Comentarios: Nota:							
EVALUADOR NIVEL II - UT - NIT		CONTROL DE CALIDAD CLIENTE		APROBADO POR CLIENTE			
Firma		Firma		Firma			
Nombre:		Nombre:		Nombre:			
Fecha		Fecha		Fecha			

Anexo I. Registro fotográfico de la experimentación



Figuras I.1. Se observa, la inspección visual realizada inicialmente a la muestra e identificación de la muestra, e inspecciones durante el ataque con agua regia, mostrando el inicio de indicaciones, hasta el rechazo, aplicado el criterio de aceptación/rechazo del API 1104.



Figuras I.2. Se observa, el recipiente de vidrio conteniendo la muestra y el agua regia, iniciándose la reacción con la aparición de las primeras burbujas hasta una reacción exotérmica con producción de espumas, en cada inicio y final se tomó la temperatura de la reacción.



Figuras I.3. Se observa, la inspección realizada por líquidos penetrantes de la muestra; antes, durante y después de haber sido sometido al ataque con agua regia, obteniéndose durante la inspección inicial aceptable para luego después de los ataques resultados de rechazo.



Figuras I.4. Se observa, la identificación de la placa radiográfica usada para la inspección por radiografía industrial, el tamaño usado, las características de la muestra inicial cumple con el criterio de aceptación, tanto en interpretación y densidad del film, después de los ensayos se observa el aumento del tamaño del agujero e indicaciones en la placa; socavados y quemón, las cuales son rechazadas al evaluar con el criterio de aceptación del API 1104.



Figuras I.5. Se observa, la realización de la inspección por ultrasonido industrial, medición de espesores en los diferentes puntos de la muestra, realizados en la ciudad de Lima, y también se observa las mediciones realizadas con vernier la muestra ensayada en el laboratorio de la FIQM, dichos datos son usados los promedios para la realización de la velocidad de corrosión.