

15



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"INSPECCION EN SOLDADURAS DE TUBERIAS
DE LINEA E INSTALACIONES RELACIONADAS"

295708

INFORME DE PRACTICA PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
PRESENTA:

RAMIREZ KIAU CIPRIANO



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA



MEXICO, D. F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: PROF. NOGUEZ AMAYA MA. EUGENIA
VOCAL: PROF. ROBERT NUÑEZ TERESITA
SECRETARIO: PROF. ÁRAMBURO PEREZ GERARDO
1er. SUPLENTE: PROF. GARCIA GALÁN SERGIO
2do. SUPLENTE: PROF. RAMÍREZ VIEYRA JOSE GUADALUPE

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

CIUDAD DEL CARMEN, CAMPECHE Y CIUDAD PEMEX, TABASCO

ASESOR:

M. en I. ROBERT NUÑEZ TERESITA

Teresita Robert N.

SUPERVISOR TECNICO:

IQM. ECHEVERRIA GONZALEZ JOSE ANTONIO

Jose Antonio Echeverria

SUSTENTANTE:

RAMIREZ KIAU CIPRIANO

Kiau Ramirez

TESTIMONIO DE AGRADECIMIENTO

EN ESTAS BREVES LINEAS QUIERO AGRADECER:

A MI ABUELITA (FRANCISCA)

A MIS PADRES (SOFIA Y DAMASO)

A MIS HERMANOS (ROSA, SOFIA, SILVIA, NELLY, DAMACIO Y ANALLELY)

POR TODA LA CONFIANZA QUE PUSIERON EN MI, POR TODO EL APOYO QUE ME HAN BRINDADO TODA LA VIDA, POR TODO SU AMOR Y COMPRENSIÓN.

A MI ESPOSA E HIJA (VERÓNICA Y VANESSA)

POR TODO SU AMOR Y EL APOYO SIEMPRE INCONDICIONAL Y SINCERO QUE ME HAN DADO, POR SER COMO SON Y POR IMPULSARME A CONCLUIR CON ESTA ETAPA DE MI VIDA.

A MIS MAESTROS

POR SU DEDICACIÓN A LA FORMACIÓN DE GENTE PROFESIONAL, POR SU ESFUERZO Y ESmero EN MEJORAR LA CALIDAD DE LA EDUCACIÓN, POR SU AYUDA Y COLABORACIÓN PARA LA CONCLUSIÓN DE ESTE TRABAJO.

AL ING. ECHEVERRIA

POR SU APOYO Y SU AYUDA EN LA EJECUCIÓN DE ESTE TRABAJO, ADEMÁS DE LAS MÚLTIPLES OPORTUNIDADES BRINDADAS PARA DESARROLLARME PROFESIONALMENTE.

A TERE, VICKY, MARTHA, GONZALO Y JUAN

POR SU APOYO INCONDICIONAL Y SUS BUENOS DESEOS.

A TODOS SINCERAMENTE Y DE TODO CORAZON LES DOY LAS GRACIAS.

CRK

INDICE GENERAL

	Página
PARTE 1 INTRODUCCION	1
PARTE 2 INFORMACION GENERAL SOBRE EL TEMA (API-1104)	3
2.1 GENERALIDADES	3
2.1.1 Alcances	3
2.1.2 Definición de Términos	3
2.1.2.1 Generalidades	3
2.1.2.2 Definiciones	3
2.1.3 Equipo	4
2.1.4 Materiales	4
2.1.4.1 Tubos y Accesorios	4
2.1.4.2 Metal de Aporte	5
2.1.4.3 Gases de Protección	5
2.2 CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA	6
2.2.1 Calificación del Procedimiento	6
2.2.2 Registro	6
2.2.3 Especificación de Procedimiento de Soldadura (EPS).	8
2.2.3.1 Generalidades	8
2.2.3.2 Información de la Especificación	8
2.2.4 Variables Esenciales	9
2.2.4.1 Generalidades	9
2.2.4.2 Cambios que Requieren Recalificación	10
2.2.5 Pruebas de Juntas en Soldaduras a Tope	12
2.2.5.1 Preparación	12
2.2.5.2 Ensayo de Resistencia a la Tensión	14
2.2.5.3 Ensayo de Sanidad	15
2.2.5.4 Ensayo de Dobleza de Raíz y Cara	16
2.2.5.5 Ensayo de Dobleza Lateral	17
2.2.6 Pruebas en Juntas en Soldaduras de Filete	19
2.3 CALIFICACIÓN DE SOLDADORES	21
2.3.1 Generalidades	21
2.3.2 Calificación Sencilla	21
2.3.2.1 Generalidades	21
2.3.2.2 Alcance	21
2.3.3 Calificación Múltiple	22
2.3.3.1 Generalidades	22
2.3.3.2 Alcance	24
2.3.4 Examen Visual	24

2.3.5	Ensayos Destructivos	24
2.3.5.1	Muestreo para Ensayo en Soldaduras a Tope	24
2.3.5.2	Procedimientos de Ensayo de Tensión, Sanidad y de Doble para Soldaduras a Tope	25
2.3.5.3	Requisitos del Ensayo de Tensión para Soldaduras a Tope	25
2.3.5.4	Requisitos del Ensayo de Sanidad para Soldaduras a Tope	25
2.3.5.5	Requisitos del Ensayo de Doble para Soldaduras a Tope	25
2.3.5.6	Muestreo para Ensayo en Soldaduras de Filete	26
2.3.5.7	Método de Ensayo y Requisitos para Soldaduras de Filete	26
2.3.6	Radiografía Únicamente para Soldaduras a Tope	26
2.3.6.1	Generalidades	26
2.3.6.2	Requisitos de Inspección	26
2.3.7	Repetición de la Prueba	26
2.3.8	Registros	26
2.4	DISEÑO Y PREPARACIÓN DE UNA JUNTA PARA APLICACION DE SOLDADURA	27
2.4.1	Generalidades	27
2.4.2	Alineamiento	27
2.4.3	Uso de Abrazadera para Alinear Soldaduras a Tope	27
2.4.4	Bisel	27
2.4.4.1	Bisel de Fábrica	27
2.4.4.2	Bisel de Campo	27
2.4.5	Condiciones del Tiempo	28
2.4.6	Limpieza entre Cordones	28
2.4.7	Posición en la Soldadura	28
2.4.7.1	Procedimiento Para Soldadura Fija	28
2.4.7.2	Cordones de Relleno y de Vista	28
2.4.7.3	Procedimiento para Soldadura Girada	28
2.4.7.4	Cordones de Relleno y de Vista	28
2.4.8	Identificación de Soldaduras	29
2.4.9	Pre calentamiento y Postcalentamiento	29
2.5	INSPECCIÓN Y PRUEBAS EN SOLDADURAS DE PRODUCCIÓN	29
2.5.1	Métodos de Inspección	29
2.5.2	Calificación del Personal de Inspección	29
2.5.3	Certificación del Personal de Ensayos No Destructivos	30
2.5.3.1	Procedimientos	30
2.5.3.2	Registros	30
2.6	ESTÁNDARES DE ACEPTABILIDAD PARA ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	30
2.6.1	Generalidades	30
2.6.2	Derechos de Rechazo	30
2.6.3	Ensayo Radiográfico	31
2.6.3.1	Falta de Penetración	31
2.6.3.2	Falta de Penetración debido a Desalineamiento	31
2.6.3.3	Falta de Fusión	32
2.6.3.4	Falta De Fusión Debido a Traslape en Frío	32
2.6.3.5	Concavidad Interna	33
2.6.3.6	Quemadas	33
2.6.3.7	Inclusiones de Escoria	34
2.6.3.8	Porosidad	35

2.6.3.9	Grietas	38
2.6.3.10	Socavados	38
2.6.3.11	Acumulación de Discontinuidades	38
2.6.3.12	Discontinuidades de Tubos y Accesorios	38
2.6.4	Prueba de Partículas Magnéticas	38
2.6.4.1	Clasificación de Indicaciones	38
2.6.4.2	Estándares de Aceptabilidad	39
2.6.4.3	Discontinuidades en Tubos y Accesorios	39
2.6.5	Prueba de Líquidos Penetrantes	39
2.6.5.1	Clasificación de Indicaciones	39
2.6.5.2	Estándares de Aceptabilidad	40
2.6.5.3	Discontinuidades en Tubos y Accesorios	40
2.6.6	Prueba de Ultrasonido	40
2.6.6.1	Estándares de Aceptabilidad	40
2.6.6.2	Indicaciones Lineales	40
2.6.6.3	Discontinuidades en Tubos y Accesorios	41
2.6.7	Estándares de Aceptación Visual para Socavado	41
2.6.7.1	Generalidades	41
2.6.7.2	Estándares de Aceptación	41
2.7	REPARACIÓN Y ELIMINACIÓN DE DEFECTOS	42
2.7.1	Defectos diferentes que Fracturas	42
2.7.1.1	Autorización para Reparación	42
2.7.1.2	Esmerilado y Preparación para Reparaciones	42
2.7.1.3	Pruebas de Reparaciones	42
2.7.2	Autorización y Procedimiento para Reparación de Fracturas	42
2.8	PROCEDIMIENTOS PARA PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS (ASME SECC. V)	43
2.8.1	Métodos de Prueba Radiográfica	43
2.8.1.1	Generalidades	43
2.8.1.2	Detalles del Procedimiento	43
2.8.1.3	Geometría de Exposición	45
2.8.1.4	Tipo de Penetrámetros	46
2.8.1.5	Selección de Penetrámetros	46
2.8.1.6	Colocación de Penetrámetros	48
2.8.1.7	Radiografías de Producción	49
2.8.1.8	Identificación de Imágenes	49
2.8.1.9	Almacenamiento de la Película y Otros Medios de Imagen	49
2.8.1.10	Densidad de la Película	49
2.8.1.11	Procesado de la Imagen	50
2.8.1.12	Área de Procesado de Imágenes	50
2.8.1.13	Protección de la Radiación	50
2.8.2	Método para Ensayo de Partículas Magnéticas	50
2.8.3	Método para Ensayo de Líquidos Penetrantes	50
2.8.4	Método para Ensayo de Ultrasonido	51

	PARTE 3 ACTIVIDADES DESARROLLADAS	52
3.1	MATERIALES	52
3.1.1	Pruebas para la aceptación de materiales	54
3.1.1.1	Prueba No 1 Inspección Visual	54
3.1.1.2	Prueba No 2 Determinación del Espesor	54
3.1.1.3	Prueba No. 3 Soldabilidad	54
3.1.2	Acarreo de Tubería Lastrada y/o con Recubrimiento Epoxico "Fusion Bond"	55
3.1.3	Almacenamiento de Tubería	55
3.2	CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA	55
3.2.1	Variables de Calificación de procedimiento	56
3.2.2	Recalificación de procedimientos de soldadura	57
3.2.3	Especificación de Tubería	57
3.2.4	Diseño de la junta	57
3.2.5	Alineación	58
3.2.6	Proceso de soldadura	58
3.2.7	Pruebas para soldaduras a tope	59
3.2.7.1	Inspección Radiográfica	59
3.2.7.2	Ensayos destructivos	59
3.2.7.3	Ensayo de Tensión	59
3.2.7.4	Prueba de Sanidad o Nick-Breack	60
3.2.7.5	Prueba de Dobleza de Raíz y Dobleza de Cara	60
3.2.7.6	Prueba de dobleza Lateral	60
3.2.7.7	Prueba de Impacto "CHARPY"	61
3.2.7.8	Prueba de Hidrogeno Inducido	61
3.2.7.9	Pruebas de Dureza	62
3.3	PRUEBAS DE CALIFICACION DE SOLDADORES	62
3.4	LANZAMIENTO Y TENDIDO DE TUBERIA	62
3.4.1	Actividades Previas al Lanzamiento	62
3.4.2	Actividades durante el Proceso de Lanzamiento y Tendido de Tubería	63
3.4.3	Transito de Lingadas a través de canales navegables	64
3.4.4	Posicionamiento de la Línea	64
3.4.5	Obras Especiales	64
3.5	PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA EN EL AREA DE LANZAMIENTO	65
3.5.1	Inspección y Limpieza de la Tubería	65
3.5.2	Reparación de las Superficies del tubo	65
3.5.3	Alineamiento de Tubería antes de la aplicación de Soldadura	65
3.6	PROCESO DE SOLDADURA	66
3.6.1	Soldadura de Campo	66
3.6.2	Pre calentamiento	67
3.6.3	Relevado de Esfuerzos	67
3.6.4	Reparación en Soldaduras	67
3.6.5	Otros	67

3.7	INSPECCION Y PRUEBAS EN SOLDADURAS	68
3.7.1	Ensayos no Destructivos	68
3.7.1.1	Ensayo Radiográfico	69
3.7.1.2	Evaluación Radiográfica	69
3.7.1.3	Evaluación de Resultados	69
3.7.1.4	Ensayo Ultrasónico	69
3.7.1.5	Estándares de Aceptabilidad en Soldaduras	70
3.7.1.6	Prueba Hidrostática	74
3.8	RESUMEN GENERAL DEL PROCEDIMIENTO DE SUPERVISIÓN	75
3.9	RESUMEN GENERAL DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN GASODUCTO	76
3.10	ARCHIVO FOTOGRAFICO	78
	PARTE 4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES	102
4.1	RESULTADOS	102
4.2	CONCLUSIONES	111
	PARTE 5 BIBLIOGRAFIA	114

Figuras

1- Ejemplo de Formato para Especificación de Procedimiento	6
2- Ejemplo de Formato para Reporte de Ensayo Destructivo	7
3- Localización de las Probetas de Prueba para Calificación de Procedimiento: Pruebas de Soldadura a Tope.	13
4- Probeta para Prueba de Resistencia a la Tensión	14
5a- Probeta del Ensayo de Sanidad	15
5b- Probeta del Ensayo de Sanidad	16
6- Probeta para la prueba de Doblez de Cara y Raíz: Espesor de Pared Menor o igual a ½ Pulg. (12.7 mm)	16
7- Probetas para Pruebas de Doblez Lateral: Espesor de Pared Mayor de ½ Pulg. (12.7 mm)	17
8- Plantilla para el Ensayo de Doblez Guiado	18
9- Localización de las Probetas para prueba de Sanidad: Soldaduras para Prueba de Calificación de Soldador y de Procedimiento en Soldadura de Filete.	19
10- Localización de las Probetas para la prueba de Sanidad: Soldaduras para prueba de Calificación de Soldador y de Procedimiento de Soldaduras de Filete, incluyendo Prueba de Calificación de Soldador de conexiones de Líneas del mismo diámetro.	20
11- Localización de las Probetas para la Calificación de Soldador en Soldaduras a Tope	23
12- Falta de Penetración sin Desalineamiento (FP)	31
13- Falta de Penetración debida a Desalineamiento (FPDT)	31
14- Falta de Fusión en el Cordón de Raíz o en la Parte Superior de la Junta (FF)	32
15- Falta de Fusión Debida a Traslape en Frto (FFTF)	32
16- Concavidad Interna (CI)	33
17- Distribución Máxima de porosidades: Espesores de Pared Menor o Igual a ½ Pulg. (12.7 mm)	36
18- Distribución Máxima de porosidades: Espesores de Pared Mayores de 1/1 Pulg. (12.7 mm)	37
19- Penetrámetros Estándar	46
20- Formato del Registro de Recepción y Rastreabilidad de Materiales	53
21- Croquis mostrando la Alineación de 2 secciones, mediante un Gage o Escantillón de soldadura	58
22- Identificación de los Cordones de Soldadura	63
23- Esquema de una Soldadura mostrando la Zona Afectada por el Calor.	70
24- Formato del Reporte de Inspección radiográfica.	71
25- Formato del Reporte de Inspección Ultrasónica.	72
26- Formato del Reporte de Inspección con Líquidos Penetrantes.	73

Tablas

1- Grupos de Metal de Aporte	11
2- Tipo y Número de Probetas de pruebas de Calificación de Procedimiento	12
3- Tipo y Número de Probetas de Pruebas de Calificación de Soldador en Soldaduras a Tope y Pruebas Destructivas de Soldaduras de Producción	25
4- Dimensiones Máximas de Socavado	41
5- Espesor del Tubo Vs Espesor del Penetrámetro ASTM E 142	47
6- Espesor del Tubo Vs Espesor del Penetrámetro	47
7- Espesor del Tubo Vs Diámetro del Penetrámetro de Alambre ASTM E 747	47

Gráficas

1- Control de Avance de Soldaduras	107
2- Porcentaje de Reparación de Soldaduras por Mes	108
3- Frecuencia de Defectos	109

PARTE 1 INTRODUCCION

Para transportar el gas amargo que se extrae de las instalaciones de la sonda de Campeche hacia tierra, actualmente se dispone de Gasoductos que van desde las Plataformas Marinas hasta los complejos petroquímicos o refinerías de Petróleos Mexicanos.

Considerando las proyecciones de producción a futuro y la incorporación de nuevos campos de producción, se hace necesario contar con una flexibilidad de operación adecuada que permita satisfacer la demanda de este producto, por lo que Pemex determinó construir un Gasoducto de 36" de diámetro (91.44 cm) y 92 Km de longitud aproximadamente, el cual se construyo en dos etapas; la primera de ellas de 44 km de longitud desde la Estación de Compresión en Atasta, Campeche hasta el Margen Izquierdo del Río Usumacinta en el Estado de Tabasco, la segunda de 48 km de longitud, inicia en el Margen Izquierdo del Río Usumacinta en el Estado de Tabasco y concluye en el Complejo Petroquímico de Cd. Pemex, Tabasco.

El objetivo de este trabajo es el de garantizar que todas las actividades que se desarrollen durante la primera etapa de construcción del gasoducto, se realicen con base en la calidad, vigilando que se cumplan los requisitos de construcción establecidos en el estándar API-1104 (Estándar para soldaduras de tuberías) y las normas ASME B-31.3 (Norma de tuberías para refinerías y plantas químicas), ASME B-31.8 (Norma para sistemas de tuberías para transmisión y distribución de gas), ASME Sección V (Pruebas No Destructivas), así como también del ASME Sección IX (Calificación de soldadores y de operadores de maquinas de soldar).

Este informe de Práctica Profesional consta de cuatro partes:

1. **Introducción.**- En esta se hace una breve descripción del contenido de este trabajo.
2. **Compilación, Selección y Traducción de segmentos de las normas arriba mencionadas.**- En ellas se establecen los requisitos mínimos que deben cumplirse para la calificación de los procedimientos de soldadura, la calificación de soldadores, el diseño y la preparación de una junta para ser soldada, los métodos de inspección con los cuales se debe cumplir para garantizar la sanidad de la soldadura, así como las tolerancias que se tienen en cuanto a las discontinuidades que se pueden presentar durante su realización. En la parte 3 se desarrollan estos temas.
3. **Actividades Desarrolladas.**- Se aplican los lineamientos establecidos en la parte 2, durante la construcción del gasoducto indicado. Se anexan los formatos utilizados para almacenar los datos relacionados con la construcción, así como también se presenta un archivo fotográfico del desarrollo de este proyecto, indicando en cada caso la aplicación de las normas y estándares mencionados.

Como miembro del Area de Tecnología de Materiales Metálicos del Instituto Mexicano del Petróleo, realicé las actividades de supervisión durante la construcción del gasoducto, verificando el cumplimiento de las normas y estándares antes mencionados, a continuación se mencionan las actividades en las cuales se tuvo una participación directa.

Concepto	Actividades Desarrolladas
Revisión de Procedimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de procedimientos de construcción. • Revisión de procedimientos de soldaduras. • Revisión de procedimientos de pruebas no destructivas.
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> • Atestiguamiento de calificación de soldadores especialistas (incluye pruebas destructivas y no destructivas). • Revisión de suministros de materiales y equipos. • Revisión de los certificados de los proveedores de los materiales y equipos. • Revisión de la preparación de uniones para aplicación de soldadura. • Verificación del cumplimiento de la aplicación de soldadura de acuerdo con los procedimientos de soldadura calificados. • Verificación de los resultados de las pruebas no destructivas en las soldaduras de la línea (revisión de películas radiográficas así como de los mismos reportes de radiografía, ultrasonido, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y de durezas). • Verificación de la protección mecánica de la línea (sandblasteo, aplicación de recubrimientos y pruebas de continuidad). • Verificación de la protección catódica y de corriente impresa en la línea.
Lanzamiento y Posicionamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de procedimientos de lanzamiento y posicionamiento de líneas. • Atestiguamiento de la realización de las actividades desarrolladas durante el lanzamiento y el posicionamiento de la línea.
Prueba Hidrostática	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión del procedimiento de prueba hidrostática. • Atestiguamiento de la prueba hidrostática.
Informes	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de Controles de la Supervisión. • Elaboración de Avances de la Obra.

4. **Resultados y Conclusiones.**- En esta sección se indican los resultados generales al finalizar la construcción del gasoducto, así como los resultados de las actividades en las cuales mi participación fue directa.

También se incluye una parte del reporte del Control de Lanzamiento, elaborado con los datos recabados por todo el personal asignado por el IMP que participó en este proyecto, en este reporte se refleja el seguimiento que se va dando a las actividades constructivas.

Además en esta sección se incluyen unas graficas que muestran el control del avance de soldaduras, frecuencia de defectos y porcentaje de juntas reparadas, durante todo el proyecto.

En la parte de conclusiones se indica también la relación que existe entre las normas y códigos aplicables con respecto a los resultados obtenidos.

PARTE 2 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL TEMA

Selección y Traducción de segmentos de las normas API-1104 (Estándar para soldaduras de tuberías), ASME B-31.3 (Norma de tuberías para refinerías y plantas químicas), ASME B-31.8 (Norma para sistemas de tuberías para transmisión y distribución de gas), ASME Sección V (Pruebas No Destructivas) y ASME Sección IX (Calificación de soldadores y de operadores de maquinas de soldar).

2.1 GENERALIDADES (API-1104)

2.1.1 Alcances

Este estándar cubre el proceso de soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) Shielded Metal Arc Welding, en juntas a tope en tuberías de acero al carbón API 5L GRADO B, usadas para la conducción de gases combustibles.

2.1.2 Definición de Términos

2.1.2.1 GENERALIDADES

Los términos de soldadura usados en este estándar, están definidos en la publicación de la Sociedad Americana de Soldadura, Standard Welding Terms and Their Definitions (ANSI/AWS A3.0) con las adiciones y modificaciones mostradas en la sección 2.1.2.2.

2.1.2.2 DEFINICIONES

- a) *Compañía* se refiere a la Compañía propietaria o a la Agencia de Ingeniería a cargo de la construcción. La compañía puede actuar a través de un inspector u otro representante autorizado.
- b) *Contratista* incluye al contratista principal o primario y cualquier subcontratista comprometido en trabajos cubiertos por este trabajo.
- c) *Soldadura* se refiere a la soldadura completa que une a dos secciones de un tubo, una sección de tubo a un accesorio o dos accesorios.
- d) *Procedimiento Calificado de Soldadura* es un método de prueba detallado, por medio del cual pueden producirse soldaduras sanas teniendo propiedades mecánicas apropiadas.
- e) *Soldador* es la persona que ejecuta la soldadura.
- f) *Soldador Calificado* es un soldador, quien ha demostrado su habilidad para producir soldaduras que reúnan los requisitos mostrados en las secciones 2.2 y 2.3.
- g) *Cordón de Fondo* es el primer cordón sin oscilación, el cual une inicialmente dos secciones de tubo, una sección de tubo a un accesorio o dos accesorios.
- b) *Soldadura Fija* es una soldadura, en la cual el tubo o ensamble se mantiene estacionario.
- i) *Soldadura Girada* es la soldadura en la cual el tubo o ensamble es girado, mientras que el material de soldadura se deposita en la parte superior, centro o cerca de ella.

- j) El término *debe o deberá* como se usa en este trabajo, indica un requerimiento obligatorio. El término *debería*, indica una práctica recomendada.
- k) *Soldadura Automática* se refiere a la soldadura de arco con equipo, el cual ejecutará la operación completa de soldadura sin manipulación del arco o electrodo, más que el guiado o trazado y sin requisitos de destreza en la soldadura por parte del operador.
- l) *Soldadura Semiautomática* se refiere a la soldadura de arco con equipo, el cual controla solamente la alimentación de metal de aporte. El avance de la soldadura se controla manualmente.
- m) *Concavidad Interna* es un cordón que está apropiadamente fusionado y penetra completamente el espesor de la pared del tubo a lo largo de ambos lados del bisel, pero el centro del cordón esta algo abajo de la superficie interna de la pared del tubo.

La magnitud de la concavidad debe estar definida como la distancia perpendicular entre una distancia axial de la superficie de la pared del tubo y el punto más bajo de la superficie del cordón de soldadura.
- n) Una *Reparación* es cualquier retrabajo en una soldadura completa que requiere trabajos de soldadura para corregir un defecto en la unión soldada, que ha sido evidenciada por pruebas no destructivas o visualmente y es superior a los límites de los estándares de aceptabilidad.
- o) Un *Radiólogo* es la persona que ejecuta las operaciones radiográficas.
- p) *Pera de Lanzamiento*, se refiere al sitio fijo, donde se tienen ubicadas todas las maquinarias y tuberías para realizar la construcción de un sistema de líneas o de tuberías por secciones de 1 a 1.5 Km de longitud, las cuales serán conducidas por a través de canales navegables hasta su posicionamiento final.
- q) *Gasoducto*.- Es un sistema de tuberías o líneas, cuya finalidad es la conducción o transporte de Gas de un punto a otro.
- r) *Punto de inicio*.- Es el punto de inicio de aplicación de soldadura y sirve como referencia para la localización y extracción de las probetas de calificación de procedimiento de soldadura y de calificación de soldador.

2.1.3 Equipo

El equipo de soldadura, ya sea de Gas o de Arco, debe ser de un tamaño y tipo apropiado para el trabajo, el cual debe mantenerse en condiciones tales que asegure soldaduras aceptables, continuidad de operación y seguridad del personal. El equipo de soldadura de Arco debe operarse dentro de los rangos de voltaje y amperaje dados en el procedimiento calificado de soldadura. El equipo de soldadura de Gas debe operarse con las características de flama y tamaños de boquilla dados en el Procedimiento Calificado de Soldadura. Cualquier equipo que no reúna estos requisitos debe repararse o reemplazarse.

2.1.4 Materiales

2.1.4.1 TUBOS Y ACCESORIOS

Este estándar aplica a las soldaduras de tubos y accesorios que conforman la especificación API 5L (Especificaciones para tuberías de líneas), además este estándar también aplica a materiales con composición química y propiedades mecánicas que cumplan con la especificación ASTM, aunque el material no sea fabricado en concordancia con la especificación.

2.1.4.2 METAL DE APORTE

a) Tipo y Tamaño

Todos los metales de aporte deben estar de acuerdo con una de las siguientes especificaciones:

- i)* AWS A5.1
- ii)* AWS A5.2
- iii)* AWS A5.5
- iv)* AWS A5.17
- v)* AWS A5.18
- vi)* AWS A5.20
- vii)* AWS A5.28
- viii)* AWS A5.29

Los metales de aporte que no cumplan con las especificaciones anteriores, pueden ser usadas si previamente los procedimientos de soldadura incluyendo su uso, están calificados.

b) Almacenamiento y Manejo de Metales de Aporte y Fundentes.

Los metales de aporte y fundentes deben ser almacenados y manejados de tal manera que se evite el daño a ellos y a los contenedores en los cuales son embarcados. Aquellos que estén en contenedores abiertos, deben protegerse del deterioro, y los metales de aporte recubiertos deben ser protegidos de cambios excesivos de humedad, metales de aporte y fundentes que muestran signos de daño o deterioro, no deberán ser usados.

2.1.4.3 GASES DE PROTECCION.

a) Tipos de Gases.

Las atmósferas para la protección de un arco son de varios tipos y pueden consistir de gases inertes, gases activos o mezclas de inertes con activos. La pureza y trazos de humedad de estas atmósferas, tienen gran influencia en la soldadura y deberían ser de valores apropiados para los procesos. La atmósfera protectora que se use, deberá ser calificada para el material y el proceso de soldadura.

b) Almacenamiento y Manejo.

Los gases protectores deben mantenerse en los recipientes en que son suministrados y éstos deben ser almacenados en lugares en donde las temperaturas no sean extremas. Los gases no deben ser mezclados en sus contenedores en campo. Los gases que sean de pureza dudosa y aquellos que se encuentren en contenedores que muestren signos de daño, no deberán usarse.

2.2 CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

2.2.1 Calificación de Procedimiento.

Antes del inicio de una soldadura de producción, debe establecerse y calificarse una especificación de procedimiento detallada para demostrar que por este procedimiento pueden ser ejecutadas soldaduras que tengan sanidad y propiedades mecánicas apropiadas (tales como resistencia a la tensión, esfuerzo de cedencia, ductilidad, dureza, etc.). La calidad de las soldaduras debe determinarse por ensayos destructivos. Estos procedimientos deben ser seguidos fielmente, excepto donde el cambio sea específicamente autorizado por la compañía, como se establece en el párrafo 2.2.4 de variables esenciales.

2.2.2 Registro

Deben registrarse los detalles de cada procedimiento calificado. Este registro debe mostrar los resultados completos de las pruebas de calificación de procedimiento. Se podrán utilizar formatos similares a los mostrados en las figuras 1 y 2. Estos registros deben mantenerse tanto tiempo como el procedimiento esté en uso, los términos utilizados en estos formatos se definen en los puntos 2.2.3 y 2.2.4.

Referencia: Estándar API 1104, 2.2.

ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA NO. _____

Para _____	Soldadura de _____	Tubería y accesorios _____
Proceso _____		
Material _____		
Diámetro y Espesor de Pared _____		
Diseño de la Junta _____		
Metal de Aporte y No. de Cordones _____		
Características Eléctricas o de Flama _____		
Posición _____		
Dirección de Soldado _____		
No. de Soldadores _____		
Tiempo del Lazo entre Pasos _____		
Tipo y Remoción de Almacadores _____		
Limpieza y/o Esmerilado _____		
Pre calentamiento _____	Relevado de Esfuerzos _____	
Gas de Protección y Velocidad de Flujo _____		
Fuente de Protección _____		
Velocidad de Aplicación _____		
Esquemas y Tablas Anexas _____		
Ensayo _____	Soldador _____	
Aprobado _____	Supervisor de la Soldadura _____	
Adoptado _____	Ingeniero Responsable _____	

Figura 1 - Ejemplo de Formato para Especificación de Procedimiento de Soldadura (EPS)

FORMATO PARA REPORTE DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Fecha _____	Prueba No. _____
Lugar _____	Posición de Soldado: Rolada <input type="checkbox"/> Fija <input type="checkbox"/>
Estado soldador _____	Marca _____
Tiempo de Soldado _____	Hora _____
Temperatura _____	Protección contra el Viento Aplicada _____
Condiciones del Medio Ambiente _____	
Voltaje _____	Amperaje _____
Tipo de Máquina para Soldar _____	Tamaño de la Máquina para Soldar _____
Metal de Aporte _____	
Tamaño del Refuerzo _____	
Tipo y Grado de la Tubería _____	
Espesor de Pared _____	Diámetro Exterior _____

Cupón de Estencilado	1	2	3	4	5	6	7
Dimensiones Originales del Espécimen							
Área Original del Espécimen							
Carga Máxima							
Esfuerzo de Tensión por pulg. ² de Área							
Localización de la Fractura							

<input type="checkbox"/> Procedimiento	<input type="checkbox"/> Calificación de Prueba	<input type="checkbox"/> Calificado
<input type="checkbox"/> Soldador	<input type="checkbox"/> Prueba en Línea	<input type="checkbox"/> Descalificado

Tensión Máxima _____ Tensión Mínima _____ Esfuerzo Promedio _____

Observaciones del Ensayo de Tensión _____

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

Observaciones del Ensayo de Dobleces _____

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

Observaciones del Ensayo de Sanidad _____

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

Ensayo Realizado para _____ Fecha _____

Ensayo Realizado por _____ Supervisado por _____

Nota: (Use la parte posterior para observaciones adicionales). Puede usarse para reportar tanto la calificación del procedimiento como la calificación del soldador.

Figura 2 - Ejemplo de Formato para Reporte de Ensayo Destructivo

2.2.3 Especificación del Procedimiento de Soldadura (EPS).

2.2.3.1 GENERALIDADES.

Donde aplique la especificación del procedimiento de soldadura, se debe incluir la información indicada en 2.2.3.2.

2.2.3.2 INFORMACION DE LA ESPECIFICACION.

a) Proceso.

El proceso especificado o combinación de los procesos a usarse deberán ser indicados. El uso de un proceso manual, semiautomático o automático, así como cualquier combinación de éstos deben ser especificados.

b) Material del Tubo y Accesorios.

Los materiales para los cuales se aplica el procedimiento deben ser indicados. Los materiales de Tubo API 5L, así como aquellos que cumplan con la especificación ASTM, pueden ser agrupados, siempre que el ensayo de calificación sea hecho en materiales de un mismo grupo se deberá considerar el que tenga el mayor valor de resistencia a la cedencia. Cuando se sueldan materiales de dos grupos diferentes, se considerará para el procedimiento el que tenga el mayor valor de resistencia.

c) Diámetro y Espesor de Pared.

Los intervalos de diámetros y espesores de pared en los cuales el procedimiento es aplicable deberán ser identificados. Los ejemplos de agrupamiento recomendados se indican en el párrafo 2.3.2.2, incisos d y e.

d) Diseño de la junta.

La especificación debe incluir uno o más croquis de la junta que muestre el ángulo del bisel, hombro y la abertura de la raíz o el espacio entre los elementos a soldar. La forma y tamaño de las soldaduras de filete deberán ser mostradas. Si se usa respaldo, el tipo de éste deberá ser indicado.

e) Metal de Aporte y Número de Cordones.

Los tamaños y número de clasificación del metal de aporte, así como el número mínimo de cordones y la secuencia de aplicación deberá ser previamente establecida.

f) Características Eléctricas.

Deberá indicarse el tipo de corriente y de polaridad, así mismo el rango de voltaje y amperaje para cada electrodo o alambre.

g) Características de la Flama.

La especificación debe describir el tipo de flama ya sea neutral, carburizante u oxidante, y el tamaño del orificio de la boquilla del soplete para cada tamaño de varilla o alambre también debe ser especificado.

h) Posición.

La especificación debe describir si la soldadura es fija o girada.

i) Dirección de Soldadura.

La especificación debe describir si la soldadura se efectúa en dirección ascendente o descendente.

j) Lapso de Tiempo entre Pasos

El tiempo máximo entre la terminación del cordón de fondeo y el inicio del segundo cordón, y el tiempo máximo entre la terminación del segundo cordón y el inicio de los restantes deberá ser descrito.

k) Tipo y Momento de Liberación del Alineador.

La especificación debe describir si el alineador es interno o externo, o si no se requiere alineador. Si se usa una abrazadera, el porcentaje mínimo del cordón de fondeo que debe completarse antes de retirar la abrazadera debe ser especificado.

l) Limpieza y/o Esmerilado.

La especificación debe indicar si se usan herramientas eléctricas, manuales o ambas para la limpieza y esmerilado del material.

m) Pre calentamiento y Relevado de Esfuerzos.

Los métodos, temperaturas, sistemas de control de temperaturas e intervalos de temperaturas, para el pre calentamiento y el relevado de esfuerzos deberá ser indicado.

n) Gas de Protección y Flujo.

La composición del gas de protección y rango de flujo o consumo deberán ser descritos.

ñ) Fundente de Protección.

El tipo de fundente de protección deberá ser descrito.

o) Velocidad de Avance.

El rango para la velocidad de avance deberá ser especificada en pulgadas por minuto.

2.2.4 Variables Esenciales

2.2.4.1 GENERALIDADES

Un procedimiento de soldadura debe ser establecido como una nueva especificación de procedimiento y debe ser completamente recalificado cuando sea cambiada cualquiera de las variables esenciales enlistadas en 2.2.4.2.

Cualquier otro cambio diferente a lo señalado en 2.2.4.2 podrá ser hecho en el procedimiento, sin la necesidad de la recalificación, siempre que la especificación del procedimiento sea revisada para integrar los cambios.

2.2.4.2 CAMBIOS QUE REQUIEREN RECALIFICACION

a) Proceso de soldadura o Método de Aplicación

Un cambio en el proceso de soldadura o método de aplicación establecido en la especificación del procedimiento constituye una variable esencial.

b) Metal Base

Un cambio en el metal base constituye una variable esencial. Para los propósitos de este trabajo todos los materiales deben ser agrupados como sigue:

- i)* De esfuerzo de cedencia mínimo especificado de 42,000 psi (289.58 Mpa) o menos.
- ii)* De esfuerzo de cedencia mínimo especificado de más de 42,000 psi (289.58 Mpa), pero menor de 65,000 psi (448.16 Mpa).
- iii)* Para materiales con un esfuerzo de cedencia mínimo especificado de 65,000 psi (449.16 Mpa) o más, cada grado requerirá un ensayo de calificación por separado.

Nota: El agrupamiento especificado en el párrafo b) no implica que los materiales base o el material de aporte de diferentes análisis, dentro de un grupo puedan ser indiscriminadamente sustituidos para un material para el que fue usado en el ensayo de calificación, sin considerar la compatibilidad de los materiales base y metales de aporte desde el punto de vista de las propiedades metalúrgicas, mecánicas y los requisitos de precalentamiento y de postcalentamiento.

c) Diseño de la Junta

Un cambio mayor en el diseño de la junta, por ejemplo, ranura en V a ranura en U, constituye una variable esencial. Cambios menores en el ángulo del bisel o del hombro no son variables esenciales.

d) Posición

Un cambio en la posición de soldadura girada a fija o viceversa constituye una variable esencial.

e) Espesor de Pared

El cambio en el espesor de pared, de un grupo a otro constituye una variable esencial.

f) Metal de Aporte

Los siguientes cambios de metal de aporte, constituyen variables esenciales.

- i)* De un grupo de metal de aporte a otro (Ver tabla 1).
- ii)* Para un material con un esfuerzo de cedencia mínimo especificado, mayor o igual a 65,000 PSI (448.16 Mpa), un cambio en la clasificación AWS de metal de aporte.

Cambios en el metal de aporte entre grupos, pueden ser hechos entre grupos de materiales especificados en b). La compatibilidad del metal base y el metal de aporte deberá ser considerada desde el punto de vista de las propiedades mecánicas.

Tabla 1

Grupo	Especificación AWS	Electrodo	Proceso
1	A 5.1 A 5.5	E 6010, E 6011 E 7010, E 7011	SMAW
2	A 5.5	E 8010, E 8011	SMAW
3	A 5.1 o A 5.5 A 5.5	E 7015, E 7016, E 7018 E 8015, E 8016, E 8018	SMAW
4	A 5.17	EL 8 EL 8K EL 12 EM 5K EM 12K EM 13K EM 15K	SAW
5 {a}	A 5.18	ER 70S-2	GMAW
6 {a}	A 5.18	ER 70S-6	GMAW
7 {a}	A 5.28	ER 80S-D2	GMAW
8	A 5.28	RG 60, RG 65	GMAW
9	A 5.20 A 5.20	*E 61T-GS *E 71T-GS	FCAW
10	A 5.29	E 71T8-K6	FCAW
11	A 5.29	E 91T8-G	FCAW

Tabla 1 Grupos de Metales de Aporte

Nota: Pueden usarse otros electrodos, metales de aporte y fundentes, pero requerirán de un procedimiento de calificación por separado.

{a} El gas de protección deberá ser usado con los electrodos de los grupos 5, 6 y 7.

* Para soldadura del fondeo únicamente.

g) Características Eléctricas

Un cambio de DC electrodo positivo a DC electrodo negativo o viceversa a un cambio en la corriente de DC a AC o viceversa constituyen una variable esencial.

b) Tiempo entre Pasos

Un incremento en el tiempo máximo entre la conclusión del cordón de fondeo y el inicio del segundo cordón constituye una variable esencial.

l) Dirección de la Soldadura

Un cambio de la dirección de la soldadura de vertical ascendente a vertical descendente o viceversa constituye una variable esencial.

j) Gas de Protección y Velocidad de Flujo

Un cambio de un gas de protección a otro, o de una mezcla a otra constituyen una variable esencial. Un mayor incremento o decremento en el rango de flujo para el gas de protección también constituye una variable esencial.

k) Fundente de Protección

Para cambios en el fundente de protección, solamente se permiten sin recalificación, aquellas sustituciones que resulten en el mismo número de clasificación AWS.

l) Velocidad de Avance

Un cambio en el intervalo para la velocidad de avance constituye una variable esencial.

2.2.5 Pruebas de Juntas en Soldaduras a Tope.

2.2.5.1 PREPARACION

Para pruebas de soldaduras de uniones a tope, las probetas de ensayo deben ser cortadas de la unión en las localizaciones mostradas en la figura 3. El número mínimo de probetas y los ensayos a los cuales se someterán, se indican en la tabla 2. Las probetas deben prepararse como se muestran en las figuras 4, 5, 6 ó 7. Para tubos de diámetro menor a 2 3/8" (60.3 mm), deben hacerse dos soldaduras de prueba para obtener el número requerido de probetas. Las probetas deben enfriarse al aire hasta alcanzar la temperatura ambiente antes de ser probadas. Para tubería de 1 5/16" de diámetro y menores, una probeta de sección completa puede ser substituida por cuatro probetas de sección reducida de sanidad y de dobléz de raíz. La probeta de sección completa deberá ser probada de acuerdo con el método y además deberá cumplir con los requisitos del ensayo de resistencia a la tensión.

Tabla 2

Diámetro Exterior del Tubo		Número de probetas					
Pulgadas	MMímetros	Esfuerzo de Tensión	Sanidad	Dobléz de Raíz	Dobléz de Cara	Dobléz Lateral	Total
Espesor de Pared \leq 1/2 pulgada (12.7 mm)							
< 2 3/8	< 60.3	0 (b)	2	2	0	0	4 (a)
2 3/8 - 4 1/2	60.3 - 114.3	0 (b)	2	2	0	0	4
> 4 1/2 - 12 3/4	> 114.3 - 323.8	2	2	2	2	0	8
12 3/4	> 323.8	4	4	4	4	0	16
Espesor de Pared $>$ 1/2 pulgada (12.7 mm)							
< 4 1/2	< 114.3	0 (b)	2	0	0	2	4
> 4 1/2 - 12 3/4	> 114.3 - 323.8	2	2	0	0	2	4
> 12 3/4	> 323.8	4	4	0	0	8	16

{a} Deberá tomarse una probeta para ensayo de sanidad y otro para dobléz de raíz de cada dos soldaduras de ensayo o para tubería menor o igual a 1 5/16 (33.4 mm) en diámetro, una probeta de tensión de sección completa.

{b} Para materiales con un esfuerzo de cedencia mínimo especificado mayor a 42000 PSI, se requiere un mínimo de una prueba de tensión.

Tabla 2.- Tipo y Número de Probetas para Pruebas de Calificación de Procedimiento.

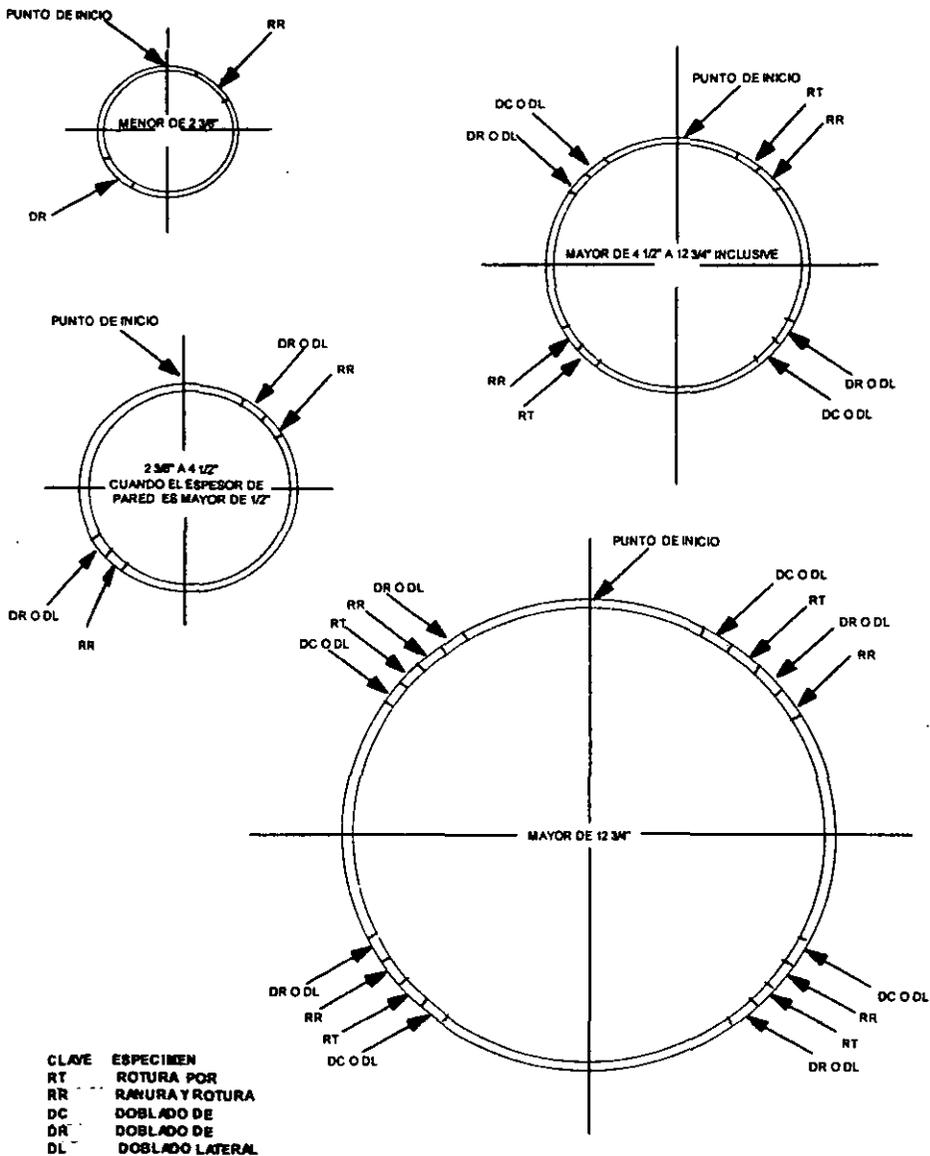


Figura 3.- Localización de las Probetas para la Clasificación de Procedimiento: Pruebas de soldadura a Tope.

2.2.5.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TENSION

a) Preparación

Las probetas para la prueba de tensión (Ver figura 4) deben ser de aproximadamente de 9 Pulg. (230 mm) de largo y 1 Pulg. (25 mm) de ancho. Pueden ser cortadas a máquina o por corte con oxígeno, no siendo necesaria ninguna otra preparación a menos que los lados estén con muescas o no sean paralelas las caras. De ser necesario las probetas deben ser maquinadas de tal manera que los lados estén parejos y paralelos.

El espécimen puede ser maquinado o cortado con oxígeno. Los extremos deben ser lisos y paralelos.

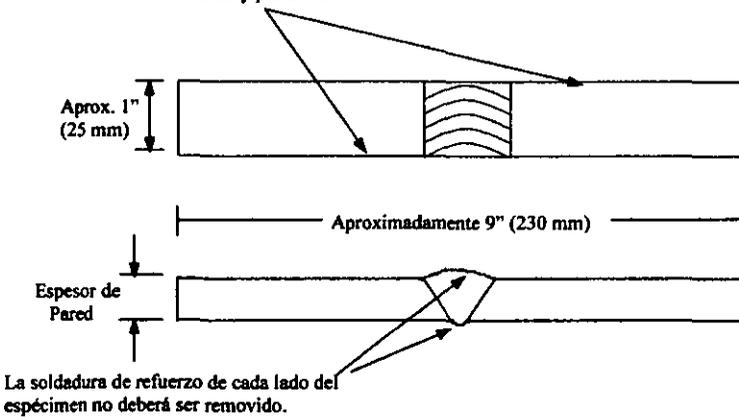


Figura 4.- Probeta para Prueba de Resistencia a la Tensión.

b) Método

Los especímenes para ensayo a la tensión deben ser fracturados bajo una carga de tensión con equipo capaz de medir la carga a la cual ocurre la falla. La resistencia a la tensión debe calcularse dividiendo la carga máxima entre el área transversal mínima de la probeta, con las dimensiones de la misma antes de la aplicación de la carga.

c) Requisitos

La resistencia a la tensión de la soldadura, incluyendo la zona de fusión de cada probeta debe ser igual o mayor que la resistencia a la tensión mínima especificada en el material del tubo, pero no es necesario que sea mayor o igual que la resistencia a la tensión real del material del tubo. Si la probeta se rompe fuera de la soldadura y la zona de fusión, (es decir, en el material del tubo), y reúne los requisitos de resistencia a la tensión mínimos especificados para el tubo, entonces la soldadura debe ser aceptada.

Si la probeta se rompe en la soldadura o en la zona de fusión y la resistencia a la tensión observada es igual o mayor a la resistencia mínima especificada para el material del tubo y cumple con los requisitos de sanidad, entonces la soldadura debe ser aceptada.

2.2.5.3 ENSAYO DE SANIDAD

a) Preparación

Las probetas para la prueba de sanidad (Ver figuras 5a y 5b) deben ser aproximadamente de 9 pulg. (230 mm) de largo y de 1 pulg. (25 mm) de ancho y pueden ser cortadas a máquina o por oxígeno. Debe hacerse una muesca con una sierra en cada lado y al centro de la soldadura. La muesca debe ser de aproximadamente 1/8 de pulg. (3.17 mm) de profundidad.

Las probetas de sanidad preparadas de esta manera procedentes de soldaduras hechas con ciertos procesos automáticos y semiautomáticos, pueden fallar a través del tubo en lugar de la soldadura. Cuando la experiencia en ensayos previos indique que pueden esperarse fallas a través del tubo, al refuerzo externo puede hacerse una muesca hasta una profundidad que no exceda de 1/16 de pulg. (1.59 mm) medida desde la superficie original de la soldadura.

Como opción de la Compañía, las probetas con ranura, destinadas para calificar un procedimiento usando un proceso semiautomático o automático pueden ser macro atacadas antes de ser ensayadas.

b) Método

Las probetas pueden ser fracturadas por carga axial y en una máquina de tensión, soportando los extremos y golpeando el centro o soportando un extremo y golpeando el otro con un martillo. El área expuesta de la fractura deberá ser al menos de 3/4 pulg. (19 mm) de ancho.

c) Requisitos

Las superficies expuestas de cada probeta deben mostrar penetración y fusión completa. La dimensión más grande de cualquier bolsa de gas, no deberá exceder de 1/16 de pulg. (1.59 mm) y las áreas combinadas de todas las bolsas de gas no deberán exceder del 2% del área de superficie expuesta. Las inclusiones de escoria no deberán exceder de 1/32 de pulg. (0.79 mm) de profundidad, ni 1/8 de pulg. (3.17 mm) ó 1/2 pulg. (12.7 mm) del espesor nominal de la pared en longitud cualquiera que resulte menor. Debe haber por lo menos 1/2 pulg. (12.7 mm) de material sano entre inclusiones de escoria adyacentes. Las dimensiones deberán ser medidas con equipos mecánicos. Ojos de pescado, como es definido en AWS A 3.0 no son causa de rechazo.

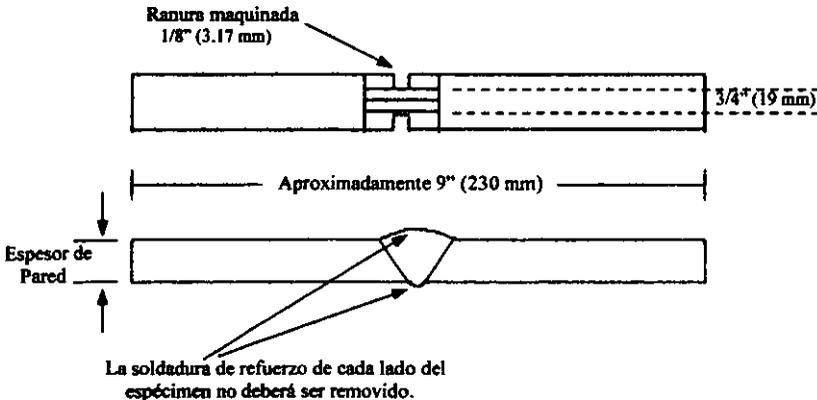


Figura 5a.- Probeta para Ensayo de Sanidad

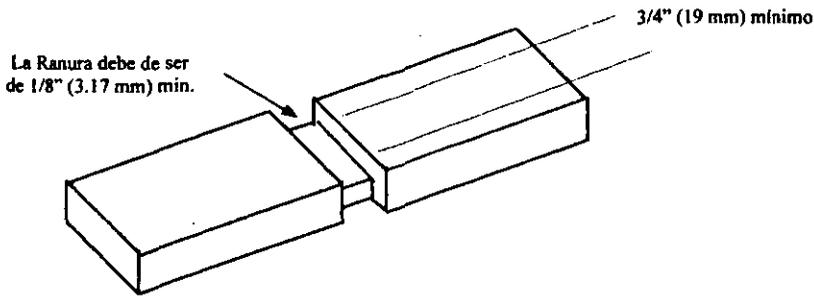
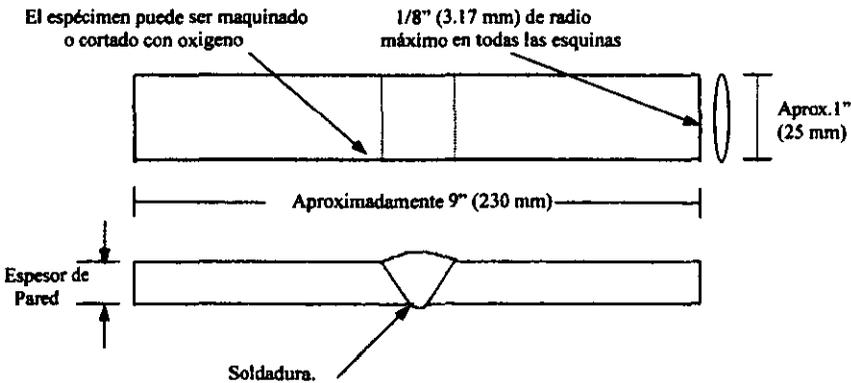


Figura 5b.- Probeta para Ensayo de Sanidad

2.2.5.4 ENSAYO DE DOBLEZ DE RAIZ Y CARA

a) Preparación

Las probetas para la prueba de doblez de raíz y de cara (Ver figura 6) deben ser de 9 pulg. (230 mm) de largo por 1 pulg. (25 mm) de ancho, aproximadamente, y las aristas deben ser redondeadas. Pueden ser cortadas a máquina o por oxígeno. Los refuerzos en los cordones de fondo y de vista deben ser removidos y nivelados con la superficie de la probeta. Estas superficies deben estar lisas y cualquier rayón que exista debe ser ligero y transversal a la soldadura.



Nota: El refuerzo de la soldadura será removido de ambas caras nivelándolo con la superficie de la probeta.

Figura 6.- Probeta para la Prueba de Doble de Cara y de Raíz
Espesor de Pared menor o igual a 1/2 pulg. (12.7 mm).

b) Método

Las probetas para el doblado de cara y de raíz, deberán ser dobladas en una plantilla de ensayo de doblado guiado, similar a la que se muestra en la figura 8. Cada espécimen debe ser colocado en la plantilla con la soldadura en la parte media. Las probetas para doblado de cara deben ser colocadas con la cara de la soldadura directamente hacia el hueco, y las probetas para doblado de raíz deben ser colocadas con la raíz de la soldadura directamente hacia el hueco. El mandril debe ser forzado dentro del hueco hasta que la curvatura de la probeta forme aproximadamente una "U".

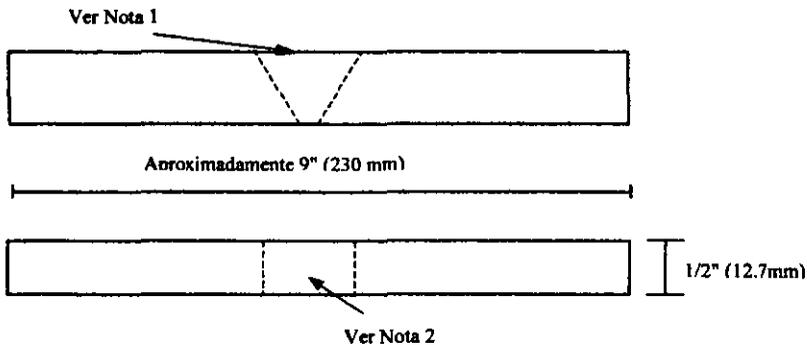
c) Requisitos

El ensayo de doblado debe considerarse aceptable si no están presentes grietas y otros defectos excediendo 1/8 de pulg. (3.17 mm) ó 1/2 pulg. (12.7 mm) del espesor nominal de la pared, cualquiera que sea menor, en cualquier dirección en la soldadura o entre la soldadura y la zona de fusión después del doblado. Las grietas que se originen a lo largo de las orillas del espécimen durante el ensayo y que sean menores de 1/4 de pulg. (6.35 mm) medidas en cualquier dirección, no deben ser consideradas, a menos que se observen defectos obvios. Cada probeta sujeta al ensayo de doblado deberá cumplir con estos requisitos.

2.2.5.5 ENSAYO DE DOBLEZ LATERAL

a) Preparación

Las probetas para la prueba de doblado lateral (Ver figura 7) deben ser de 9 pulg. (230 mm) de largo por 1/2 pulg. (12.7 mm) de ancho aproximadamente, y las orillas a todo lo largo deberán ser redondeadas. Deben ser cortadas por máquina o pueden serlo por corte con oxígeno con medidas de 3/4 de pulg. (19 mm) de ancho, y luego maquinadas o esmeriladas a un ancho de 1/2 pulg. (12.7 mm). Los lados deben ser lisos y paralelos, así como los refuerzos de la viga y de la raíz deberán ser removidos y nivelados con la superficie de la probeta.



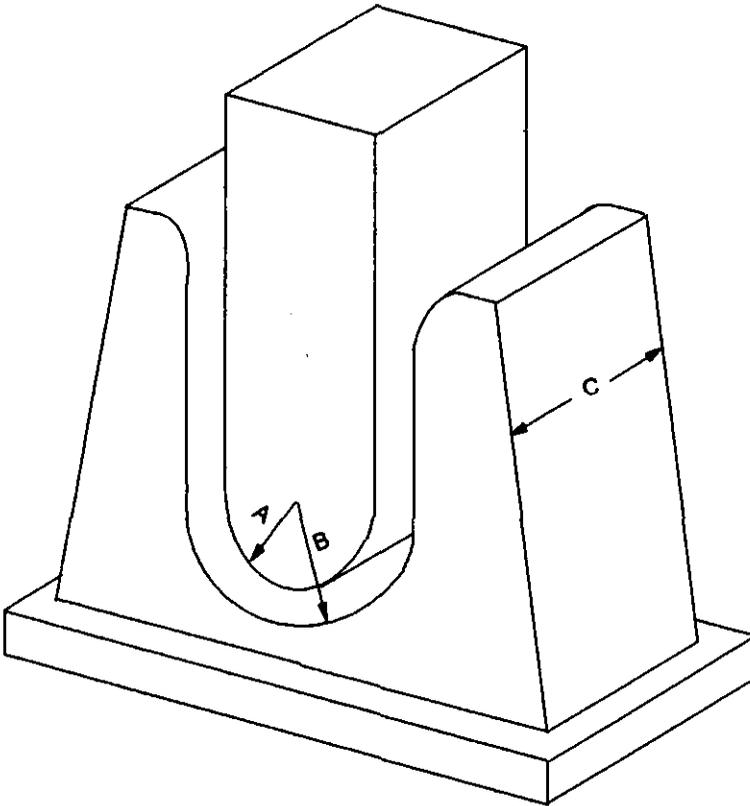
Nota 1: El refuerzo de la Soldadura será removido de ambas caras nivelándolo con la superficie de la probeta.

Nota 2: Las probetas pueden ser cortadas con una máquina a un ancho de 1/2" (12.7 mm) o cortadas con oxígeno a un ancho de 3/4" (19 mm) y después un maquinado o desbaste a liso a 1/2" (12.7 mm). Los cortes de las superficies deben estar lisos y paralelos.

Figura 7.- Probetas para Pruebas de Doblez Lateral
Espesor de Pared mayor a 1/2 pulg. (12.7 mm).

b) Método

Las probetas deben ser dobladas en una plantilla de ensayo de doblé guiado similar a la mostrada en la figura 8. Cada probeta debe ser colocada en la plantilla con la soldadura a la mitad del espacio y con la cara de la soldadura perpendicular con el hueco. El mandril debe ser forzado dentro del hueco hasta que la curvatura de la probeta este formando aproximadamente una "U".



Nota: Esta figura no es un dibujo a escala. El radio del mandril $A = 1 \frac{3}{4}$ pulg (44.45 mm); radio del dado $B = 2 \frac{5}{16}$ pulg (58.74 mm), Ancho del dado $C = 2$ pulg (50.8 mm).

Figura 8. - Plantilla para Ensayo de Doble Guiado.

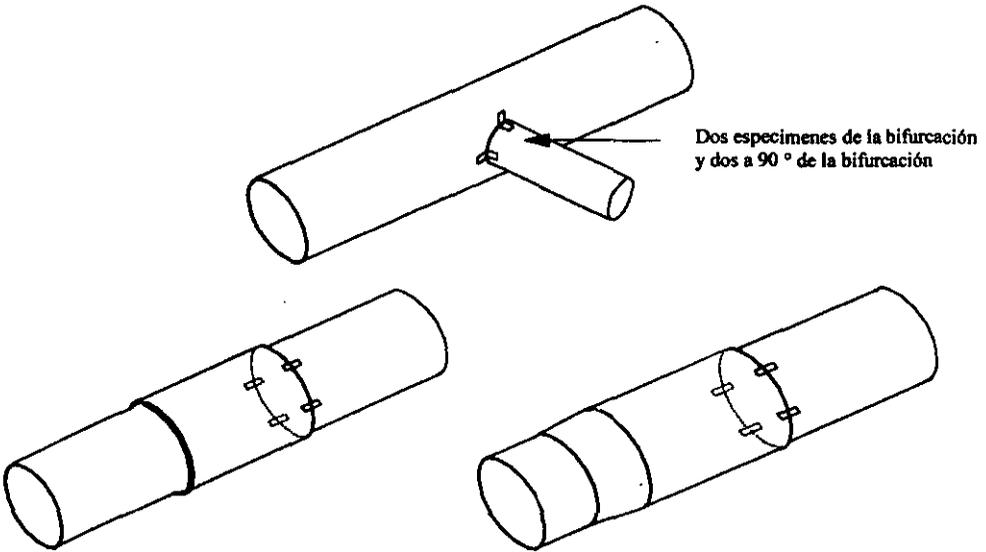
c) Requisitos

Cada probeta de doblez lateral debe cumplir con los mismos requisitos que el ensayo de doblez de cara y de raíz, especificados en 2.2.5.4 inciso c).

2.2.6 Pruebas en Juntas en Soldaduras de Filete

a) PREPARACION

Las probetas de ensayo para soldaduras de filete, deberán cortarse de las localizaciones mostradas en la Figura 9. Deben tomarse y prepararse, al menos 4 probetas como se muestra en la Figura 10. Las probetas pueden ser cortadas con máquina o por corte con oxígeno. Deberán ser de por lo menos 1 pulg. (25 mm) de ancho y con una longitud suficiente, de tal manera que puedan ser fracturadas en la soldadura. Para tubos con diámetros menores a 2 3/8 de pulg. (60.3 mm), puede ser necesario hacer dos soldaduras de prueba para obtener el número requerido de probetas de ensayo. Las probetas deben ser enfriadas al aire a temperatura ambiente antes del ensayo.



Nota: Esta figura muestra la localización de las probetas de prueba para uniones con una dimensión mayor o igual que 2 3/8" (60.3 mm). Para uniones con un diámetro menor que 2 3/8" (60.3 mm), las probetas serán cortadas de la misma localización general pero se toman dos carretes de prueba y se tomaran 2 probetas de cada uno.

Figura 9.- Localización de Probetas para Prueba de Sanidad: Soldaduras para Prueba de Calificación de Soldador y de Procedimiento en Soldaduras de Filete.

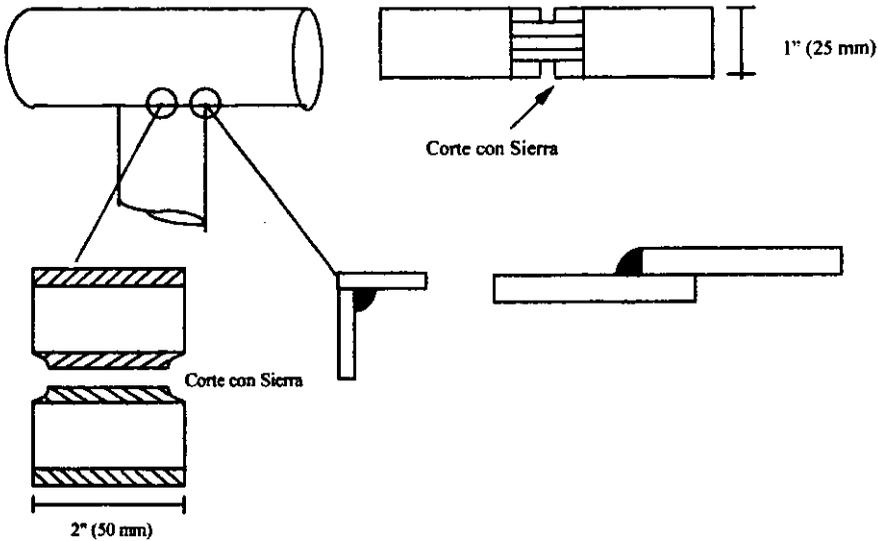


Figura 10.- Localización de las Probetas para la Prueba de Sanidad: Soldaduras para Prueba de Calificación de Soldador y de Procedimiento en Soldaduras de Filete, incluyendo Prueba de Calificación de Soldador de Conexión de líneas del mismo diámetro.

b) MÉTODO

Las probetas de soldadura de filete deben ser fracturadas en la soldadura por cualquier método conveniente.

c) REQUISITOS

Las superficies expuestas de cada soldadura de filete deben mostrar penetración y fusión completa y:

- i) La dimensión máxima de cualquier bolsa de gas no debe exceder de 1/16 de pulg. (1.59 mm),
- ii) Las áreas combinadas de las bolsas de gas no deben exceder del 2% del área de la superficie expuesta;
- iii) Las inclusiones de escoria no deben tener más de 1/32 de pulg. (0.79 mm) de profundidad, ni 1/8 pulg. (3.17 mm) de longitud o un medio del espesor de la pared nominal, cualquiera que sea menor y;
- iv) Debe haber 1/2 pulg. (12.7 mm), por lo menos de metal sano entre inclusiones adyacentes.

2.3 CALIFICACION DE SOLDADORES

2.3.1 Generalidades

El propósito de la prueba de calificación del soldador es determinar la habilidad de los soldadores en la ejecución de las soldaduras sanas a tope y de filete usando un procedimiento de soldaduras previamente calificado. Antes que alguna soldadura de producción sea ejecutada, los soldadores deben ser calificados de acuerdo a los requisitos aplicables de los párrafos 2.3.2 al 2.3.8.

Antes de iniciar las pruebas de calificación, debe permitirse al soldador un tiempo razonable para ajustar el equipo de soldadura usado en la prueba. El soldador debe usar la misma técnica de soldadura y procederá con la misma velocidad que usará si pasa la prueba. La calificación de los soldadores debe ser conducida en presencia de un representante de la compañía.

El soldador debe calificar para la aplicación de soldadura ejecutando una prueba en segmentos de tubería o en tubos de tamaño completo, como se especifica en el punto 2.3.2.1. Cuando se usen dos segmentos de tubería estos deberán ser soportados de tal manera que permitan el depósito de soldadura en posiciones típicas (Plana, Vertical y Sobre cabeza).

Las variables esenciales asociadas con la calificación de procedimiento y la calificación de soldador no son idénticas. Las variables esenciales para la calificación de soldador se muestran en los párrafos 2.3.2.2 y 2.3.3.2.

2.3.2 Calificación Sencilla

2.3.2.1 GENERALIDADES

Para la calificación sencilla, el soldador deberá realizar una soldadura de prueba usando un procedimiento de soldadura calificado para unir dos tubos o tramos de tubería, haciendo una soldadura en posición fija o girada, cuando el soldador se este calificando en la posición fija se pueden tener algunas variantes de estas, ya sea que los tubos se encuentren en posición plana horizontal, vertical o inclinado a un ángulo no mayor de 45° con respecto al plano horizontal.

El soldador que realice una prueba de calificación sencilla para ramales, soldaduras de filete, u otras configuraciones similares, deberá también de cumplir con lo especificado en el párrafo anterior.

Si durante la aplicación de soldadura de producción, se tienen que realizar algunos cambios en las variables esenciales (párrafo 2.3.2.2), el soldador deberá recalificarse.

2.3.2.2 ALCANCE

Un soldador que ha completado satisfactoriamente la prueba de calificación de soldador descrita en el párrafo anterior, debe ser calificado dentro de las variables que a continuación se describen, si son cambiadas estas variables durante la producción de soldaduras, el soldador deberá ser recalificado.

- a) Un cambio de un proceso de soldadura a cualquier otro proceso, o combinación de procesos de soldadura.
- b) Un cambio en la dirección de soldadura, de vertical ascendente a vertical descendente o viceversa.

- c) Un cambio en el metal de aporte de un grupo 1 o 2 a grupos 3 o del grupo 3 al grupo 1 o 2. (Ver tabla 1).
- d) Un cambio en el diámetro exterior de un grupo a otro. estos grupos son definidos como sigue:
 - i) Diámetro exterior menor que 2 3/8" (60.3 mm).
 - ii) Diámetro exterior desde 2 3/4" hasta 12 1/4" (323.8 mm).
 - iii) Diámetro exterior mayor que 12 1/4" (323.8 mm).
- e) Un cambio en el espesor nominal del tubo de un grupo a otro, estos grupos son definidos como sigue:
 - i) Espesor de pared nominal de tubo menor que 3/16" (4.78 mm).
 - ii) Espesor de pared nominal de tubo desde 3/16" (4.78 mm) hasta 3/4" (19.05 mm).
 - iii) Espesor de pared nominal del tubo mayor que 3/4" (19.05 mm).
- f) Un cambio de posición de aplicación de soldadura, diferente de la que ha sido anteriormente calificada.

NOTA ADICIONAL: Un soldador que ha pasado satisfactoriamente la prueba de calificación de soldador, en una soldadura a tope en una posición fija con un eje inclinado a 45° del plano horizontal, estará calificado para realizar soldaduras a tope en todas las posiciones.

- g) Un cambio en el diseño de la junta.

2.3.3 Calificación Múltiple

2.3.3.1 GENERALIDADES

Para la calificación múltiple de un soldador se deberán completar satisfactoriamente las dos pruebas que a continuación se describen:

Para la primera prueba de soldador, se deberá ejecutar una soldadura a tope en posición fija con el eje del tubo, ya sea en un plano horizontal o con una inclinación que no exceda de los 45° con respecto al plano horizontal. Esta soldadura deberá ser realizada en un tubo que tenga un diámetro de al menos 6 5/8" (168.3 mm) y con un espesor nominal de pared de al menos 1/4" (6.35 mm) y sin placa de respaldo. La soldadura debe considerarse aceptable si cumple con los requisitos de inspección visual, de las pruebas destructivas y los de la prueba de radiografía. Las probetas pueden ser cortadas del carrete de prueba de acuerdo a las localizaciones marcadas en la figura 11.

Para la segunda prueba de calificación, el soldador deberá trazar, cortar, ajustar y aplicar soldadura en un ramal con conexión a un tubo, esta prueba deberá ser realizada con una tubería de al menos 6 5/8" (168.3 mm) de diámetro y un espesor nominal de pared de al menos 1/4" (6.35 mm). Debe de realizarse un corte sobre la tubería a manera de que ajuste el ramal. La soldadura de acabado deberá presentar una apariencia uniforme.

La soldadura deberá exhibir una penetración completa alrededor de la circunferencia total. El total del fondeo no debe contener ninguna quemada que exceda de 1/4" (6.35 mm). La suma de las dimensiones máximas de las quemadas no deberán exceder de 1/2" (12.7 mm) en una longitud de 12" (304.8 mm) de soldadura.

Se requieren de 4 probetas para la prueba de sanidad, los cuales deberán ser cortadas de los carretes de prueba de acuerdo a como se muestra en la figura 9, éstas deberán ser preparadas y ensayadas de acuerdo a los puntos 2.2.6 incisos a) y b).

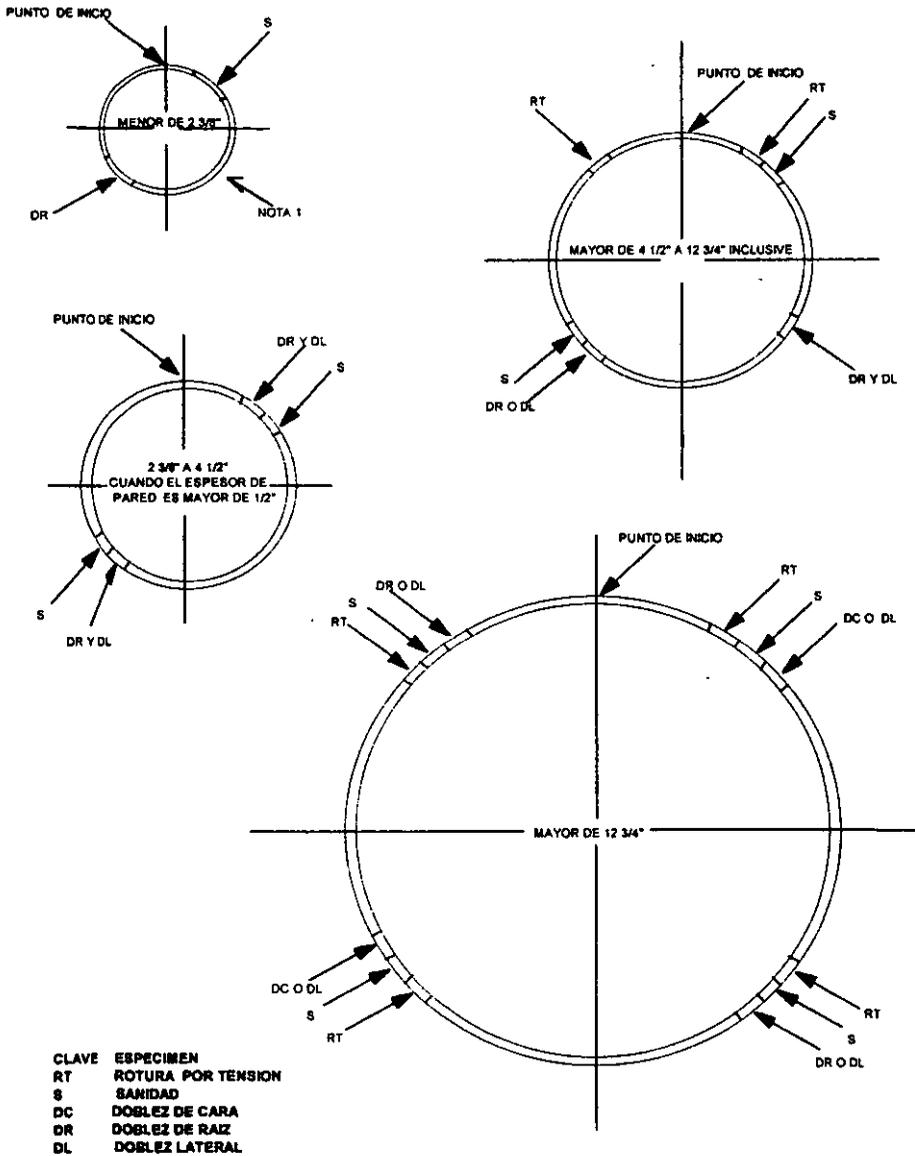


Figura 11.- Localización de las Probetas para la Calificación de Soldadores en soldaduras a Tope

2.3.3.2 ALCANCE

Un soldador que ha completado satisfactoriamente la prueba de soldadura a tope en tuberías de 12 3/4" (323.8 mm) de diámetro o mayores y una conexión de ramal de tamaño completo soldado a una tubería de 12 3/4" (323.8 mm) de diámetro o mayores, estará calificado para soldar en todas las posiciones, en todos los espesores de pared, diseños de juntas, accesorios y en todos los diámetros de tubería. Un soldador que ha completado satisfactoriamente la prueba de soldadura y de conexiones en ramal establecidos en el párrafo 2.3.3.1 en tuberías menores a 12 3/4" (323.8 mm) de diámetro, estará calificado para soldar en todas las posiciones, en todos los espesores de pared, diseños de juntas, accesorios y en todos los diámetros de tubería menores o iguales a los que fueron usados durante su calificación.

Si se cambian cualquiera de las siguientes variables esenciales en la especificación del procedimiento de soldadura, los soldadores que usen un nuevo procedimiento de soldadura deberán ser recalificados:

- a) Un cambio en el proceso de soldadura de un proceso a otro, o una combinación de procesos de soldadura.
- b) Un cambio en la dirección de la aplicación de la soldadura, de vertical ascendente a vertical descendente o viceversa.
- c) Un cambio en el metal de aporte, de un grupo de clasificación 1 o 2 a grupo 3, o de un grupo 3 a un grupo 1 o 2 (Ver tabla 1).

2.3.4 Examen Visual

Las pruebas de calificación de soldador deberán cumplir con los siguientes requisitos para poder ser aceptadas por el examen visual, tales como estar libres de roturas, falta de penetración, quemadas y otros defectos, deberán presentar una apariencia de limpieza y destreza durante su ejecución. Los socavados en el último cordón de soldadura no deberán exceder de 1/32" (0.79 mm) o una profundidad de 12.5% del espesor nominal de pared de la tubería cualquiera que sea la dimensión más pequeña, y no deben presentarse mas de 2" (50.8 mm) de socavados en una longitud continua de 12" (304.8 mm) de soldadura.

Cuando se utilice algún proceso de soldadura automática o semiautomática, la penetración de soldadura en el interior de la tubería deberá ser mantenida al mínimo. Cualquier incumplimiento con lo señalado en el párrafo anterior serán causas justificadas para eliminar ensayos adicionales.

2.3.5 Ensayos Destructivos

2.3.5.1 MUESTREO PARA ENSAYOS EN SOLDADURAS A TOPE

Si los carretes de prueba de soldador son realizados en tuberías al 100%, entonces las localizaciones en donde deberán realizarse los cortes para obtener las probetas para los ensayos se encuentran mostrados en la figura 11. Si la soldadura de prueba consiste de varios segmentos de tubo, deberán ser cortados de cada segmento, un número aproximadamente igual de probetas. El número total de probetas y las pruebas a las cuales deben ser sometidas cada una de ellas se encuentran indicadas en la tabla 3. Dichas probetas deberán ser enfriadas al aire hasta alcanzar la temperatura ambiente antes del ensayo. Para tuberías con diámetros de 1 5/16" (33.4 mm) de diámetro y menores, las pruebas de doblez de raíz y de sanidad podrán ser sustituidas por la prueba de tensión.

Tabla 3

Diámetro Exterior del tubo		Número de Pruebas					
Pulgadas	Milímetros	Esfuerzo de Tensión	Sanidad	Doblez de Raíz	Dobles de Cara	Dobles Lateral	Total
Espesor de Pared ≤ 1/2" (12.7 mm).							
< 2 3/8	< 60.3	0	2	2	0	0	4*
2 3/8 - 4 1/2	60.3 - 114.3	0	2	2	0	0	4
> 4 1/2 - 12 3/4	> 114.3 - 323.8	2	2	2	0	0	6
> 12 3/4	> 323.8	4	4	2	2	0	12
Espesor de Pared > 1/2" (12.7 mm).							
≤ 4 1/2	≤ 114.3	0	2	0	0	2	4
> 4 1/2 - 12 3/4	> 114.3 - 323.8	2	2	0	0	2	6
> 12 3/4	> 323.8	4	4	0	0	4	12

* Para tuberías de diámetro menor o igual a 1 5/16" (33.4 mm) se requiere obtener la probeta de tensión de dos soldaduras o una probeta de sección completa de tubo.

Tabla 3.-Tipo y Numero de Pruebas de Pruebas para Calificación de Soldador en Soldaduras a Tope y Pruebas Destructivas en Soldaduras de Producción.

2.3.5.2 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE TENSION, SANIDAD Y DE DOBLEZ PARA SOLDADURAS A TOPE

Las probetas deberán ser preparadas para las pruebas y estas deberán realizarse conforme a lo mostrado en el párrafo 2.2.6. El ensayo de tensión podrá ser omitido, en cuyo caso las probetas designadas para este ensayo deberán ser sujetas al ensayo de sanidad.

2.3.5.3 REQUISITOS DEL ENSAYO DE TENSION PARA SOLDADURAS A TOPE

Para la prueba de tensión, si dos o más de las probetas de sección reducida o la probeta de sección completa ensayadas rompen en la soldadura o en la zona afectada por el calor (unión entre el metal base y la soldadura de aporte) y además no cumplen con los requisitos de sanidad, el soldador deberá ser rechazado.

2.3.5.4 REQUISITOS DEL ENSAYO DE SANIDAD PARA SOLDADURAS A TOPE

Si cualquier probeta de ensayo presenta discontinuidades que excedan las dimensiones permitidas en el párrafo 2.6.3.3, el soldador deberá ser rechazado.

2.3.5.5 REQUISITOS DEL ENSAYO DE DOBLEZ PARA SOLDADURAS A TOPE

Si cualquier probeta presenta defectos que excedan a lo permitido para las pruebas de doblez de raíz, doblez de cara y doblez lateral, el soldador deberá ser rechazado. Las soldaduras que sean realizadas en un tubo de alta resistencia y que además no puedan doblarse en la forma de una U completa, deberán ser consideradas como aceptables si las probetas se fracturan en la soldadura y las superficies expuestas cumplen con los requisitos de la prueba de sanidad.

Si alguna de las probetas presentara falta de penetración y en opción de la compañía, este tipo de defecto observado no es representativo de la soldadura, la probeta de ensayo podrá ser reemplazada por una probeta adicional, cortada de la zona adyacente de la que ha fallado. El soldador deberá ser descalificado si la probeta adicional muestra también defectos que excedan los límites establecidos para esta prueba.

2.3.5.6 MUESTREO PARA ENSAYOS EN SOLDADURAS DE FILETE

Para la selección de las muestras de las soldaduras de filete, estas deberán cortarse como se muestra en la figura 9, si la soldadura de ensayo es una soldadura circunferencial completa. Si la soldadura de prueba consiste de varios segmentos de tubería, deberán ser cortadas de cada segmento de tubería un número aproximadamente igual de probetas a las marcadas para las soldaduras circunferenciales. Las probetas deberán ser enfriadas al aire a la temperatura ambiente antes de realizar el ensayo.

2.3.5.7 METODO DE ENSAYO Y REQUISITOS PARA SOLDADURAS DE FILETE

Los especímenes deberán ser preparados y probados conforme a lo descrito en el párrafo 2.2.6.

2.3.6 Radiografía Únicamente para Soldaduras a Tope

2.3.6.1 GENERALIDADES

Para la calificación de las soldaduras a tope y como una opción de la compañía esta podrá ser ensayada por la prueba de radiografía en lugar de los ensayos de tensión, de doblez y de sanidad.

2.3.6.2 REQUISITOS DE INSPECCION

Deberán tomarse radiografías de cada una de las soldaduras de ensayo, El soldador deberá ser rechazado si alguna de estas soldaduras no cumple con lo descrito en el párrafo 2.6.3 (Ensayo Radiográfico).

La Inspección Radiográfica no debe ser usada con el propósito de localizar áreas sanas (sin defectos) o áreas conteniendo discontinuidades (con defectos) para realizar en estas los ensayos destructivos para aceptar o rechazar a un soldador.

2.3.7 Repetición de la Prueba

Si en la opinión de los representantes de la compañía así como de la supervisión, el rechazo de un soldador en pasar la prueba fue debido a condiciones inevitables o condiciones mas allá de su control, el soldador podrá recibir una segunda oportunidad.

2.3.8 Registros

Deberá llevarse un registro de las pruebas realizadas por cada uno de los soldadores así como de los resultados detallados de cada una de las pruebas. Deberá usarse un formato similar al de la figura 2, este formato deberá ser adaptado a las necesidades particulares de cada compañía en particular, pero dicho formato deberá contener los requisitos esenciales que se requieren para la prueba de calificación de soldador. Deberá mantenerse actualizada una lista de los soldadores calificados y los procedimientos en los cuales ellos están calificados. Se puede requerir la recalificación de un soldador si existen dudas acerca de su habilidad.

2.4 DISEÑO Y PREPARACION DE UNA JUNTA PARA APLICACION DE SOLDADURA

2.4.1 Generalidades

La soldadura deberá ser ejecutada por soldadores calificados, usando procedimientos calificados. Las superficies a ser soldadas deberán ser lisas, uniformes, libres de laminaciones, rasgaduras, escamas, escorias, grasas, pinturas y cualquier otro material que pueda afectar la calidad de las soldaduras. El diseño de la junta y la abertura de la raíz deberán estar de acuerdo con la especificación del procedimiento de soldadura que ha de usarse.

2.4.2 Alineamiento

El alineamiento se realizará tanto por la parte interior como por la exterior de la tubería de tal manera que se minimice el escalonamiento entre superficies. Para tubería con el mismo espesor nominal de pared, el escalonamiento no deberá exceder de 1/16" (1.59 mm). Cualquier desalineamiento mayor, siempre que este sea causado por variaciones dimensionales, deberá ser distribuido a lo largo de la circunferencia del tubo. El martilleo en el tubo para realizar la alineación deberá mantenerse al mínimo.

2.4.3 Uso de Abrazaderas para Alinear Soldaduras a Tope

Deberán usarse abrazaderas para alinear, de acuerdo a como esta especificado en el procedimiento de soldadura. Se podrán retirar estas abrazaderas antes de complementar al 100% el cordón de raíz, solamente cuando se tengan segmentos de soldadura aproximadamente iguales, espaciados a una distancia aproximadamente igual a todo lo largo de la circunferencia de la junta. Sin embargo cuando se use una abrazadera como alineador interno y las condiciones hacen difícil prevenir el movimiento del tubo, o si la soldadura es sometida a un esfuerzo indebidamente, el cordón de raíz deberá tener una longitud acumulativa de los segmentos no menor al 50% de la circunferencia del tubo antes de que la abrazadera pueda ser retirada.

2.4.4 Bisel

2.4.4.1 BISEL DE FABRICA

Todos los biseles de fábrica en los extremos de la tubería deberán apegarse al diseño de la junta usada en la especificación del procedimiento de soldadura.

2.4.4.2 BISEL DE CAMPO

En campo, los extremos de las tuberías deberán ser biselados con herramientas mecánicas o con máquinas de corte con oxígeno, si la compañía y la supervisión lo autorizan, se pueden realizar los cortes de los biseles con oxígeno de manera manual. Los extremos deberán ser razonablemente lisos y uniformes y las dimensiones deberán estar de acuerdo con la especificación del procedimiento de soldadura. Para verificar los ángulos de los biseles se podrán utilizar escantillones o gage de soldadura.

2.4.5 Condiciones del tiempo

La soldadura no deberá realizarse cuando las condiciones climatológicas y el medio ambiente afecten la calidad de las soldaduras, estas pueden ser humedad excesiva en el ambiente, fuertes vientos, arena soplada, etc., Podrán usarse protectores para el viento y la lluvia, como las casetas o las estaciones de soldadura.

2.4.6 Limpieza entre cordones

El óxido y la escoria deberán ser removidos de entre cada cordón de soldadura, deberán usarse herramientas eléctricas cuando así lo especifique el procedimiento de soldadura, de otra manera la limpieza podrá realizarse con herramientas manuales.

Cuando se realice la soldadura con un procedimiento automático o semiautomático, la porosidad en grupo superficial, así como los depósitos excesivos de soldadura (puntos altos) deberán ser removidos mediante el esmerilado antes de un depósito posterior de soldadura sobre ellos.

2.4.7 Posición en la Soldadura

2.4.7.1 PROCEDIMIENTO PARA SOLDADURA FIJA

Todas las soldaduras de posición fija deberán ser ejecutadas con las partes a ser unidas aseguradas contra el movimiento y con un espacio alrededor de la junta para permitir al soldador o soldadores un espacio en el cual puedan trabajar.

2.4.7.2 CORDONES DE RELLENO Y DE VISTA

El número de cordones deberá ser tal que la soldadura completa tenga una sección transversal uniforme alrededor de toda la circunferencia del tubo. No se permite tener en ningún punto de la soldadura una corona baja por abajo de la superficie exterior del tubo, ni tampoco deberá elevarse sobre el metal base por más de 1/16" (1.59 mm).

Tampoco está permitido iniciar dos cordones en la misma localización. La cara aproximadamente de la soldadura completa deberá ser de aproximadamente de 1/8" (3.17 mm) mayor que el ancho de la ranura original de la junta, al final la soldadura deberá ser cepillada y limpiada.

2.4.7.3 PROCEDIMIENTO PARA SOLDADURA GIRADA

Como una opción para la compañía se puede permitir que se realice la soldadura en posición girada, previniendo que el alineamiento sea mantenido con el uso de polines o armazón estructural, teniendo un número adecuado de soportes para prevenir el pandeo en la longitud soportada del tubo.

2.4.7.4 CORDONES DE RELLENO Y DE VISTA

El número de cordones deberá ser tal que la soldadura completa tenga una sección transversal uniforme alrededor de toda la circunferencia del tubo. No se permite tener en ningún punto de la soldadura una corona baja por abajo de la superficie exterior del tubo, ni tampoco deberá elevarse sobre el metal base por más de 1/16" (1.59 mm).

La cara aproximadamente de la soldadura completa deberá ser de aproximadamente de 1/8" (3.17 mm) mayor que el ancho de la ranura original de la junta, a medida de que progresa la soldadura, el tubo deberá girarse a manera de mantener la soldadura en la parte superior del tubo o cerca de ella, al final la soldadura deberá ser cepillada y limpiada.

2.4.8 Identificación de Soldaduras

Después de terminar una soldadura cada soldador deberá identificar su trabajo de una manera prescrita por la compañía y la supervisión.

2.4.9 Pre calentamiento y Post calentamiento

El procedimiento de soldadura deberá especificar los requerimientos para el pre calentamiento y el post calentamiento, procesos que deberán seguirse cuando los materiales o las condiciones del tiempo hacen necesario alguno de ellos o de ambos.

2.5 INSPECCION Y PRUEBAS EN SOLDADURAS DE PRODUCCION

2.5.1 Métodos de Inspección

La prueba no destructiva puede consistir en la inspección radiográfica u otro método especificado por la compañía y la supervisión, el método usado debe reproducir indicaciones de defectos presentes en este caso en las soldaduras, los cuales deberán poder ser interpretados y evaluados con precisión. Las soldaduras deberán ser evaluadas en base a los estándares de aceptabilidad mostrados en 2.6.

La prueba destructiva deberá consistir en la remoción de soldaduras terminadas, el seccionado de ellas en probetas y finalmente el examen de ellas. Las probetas deberán ser preparadas en concordancia con lo establecido en los párrafos 2.3.5. La compañía y la supervisión podrán rechazar cualquier soldadura que no cumpla con los requisitos del método mediante el cual ellas fueron inspeccionadas. El soldador y/o los soldadores, que han realizado una soldadura que no cumple con los requisitos, podrán ser rechazados para trabajos posteriores.

También se puede requerir que los equipos de inspección no destructiva demuestren su capacidad para detectar defectos rechazables así como de la habilidad del operador para interpretar y evaluar apropiadamente las indicaciones mostradas por el equipo.

2.5.2 Calificación del Personal de Inspección

El personal de inspección de soldadura, deberá ser calificado de acuerdo a su experiencia y entrenamiento para el trabajo específico de inspección que ejecutará, la documentación de estas calificaciones deberá ser retenida por la compañía e incluirá cuando menos estos tres requisitos:

- a) Escolaridad y Experiencia.
- b) Entrenamiento.
- c) Los resultados de cualquier examen de la calificación.

2.5.3 Certificación del Personal de Ensayos no Destructivos

2.5.3.1 PROCEDIMIENTOS

El personal que se encuentre a cargo de los ensayos no destructivos deberá estar calificado y certificado de acuerdo con las recomendaciones de la practica recomendada de ASNT-TC-1A para el método de prueba a usar. Únicamente el personal como nivel II o III podrá interpretar los resultados de las pruebas.

2.5.3.2 REGISTROS

Los registros de certificación de personal para ensayos no destructivos deberán ser conservados por la compañía. Los registros deberán contener los resultados de las pruebas de certificación, la agencia y persona que concedió el certificado y la fecha de certificación. El personal para ensayos no destructivos puede ser requerido para recalificarse a opción de la compañía ó si existe cualquier duda acerca de su habilidad. Todo el personal Nivel I y II de inspección en pruebas no destructivas deberá recalificarse cada tres años, el personal Nivel III de inspección en pruebas no destructivas deberá recalificarse al menos cada cinco años.

2.6 ESTÁNDARES DE ACEPTABILIDAD PARA ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

2.6.1 Generalidades

Los estándares de aceptabilidad presentados en esta sección, son aplicables a la determinación del tamaño y tipo de defectos localizados por radiografía, partículas magnéticas, líquidos penetrantes, y métodos ultrasónicos. También pueden ser aplicados a la inspección visual. Los ensayos no destructivos no deben ser usados para seleccionar las soldaduras que se van a someter a ensayos destructivos de acuerdo con lo establecido en 2.5.1.

2.6.2 Derechos de Rechazo

Todos los métodos de examen no destructivo tienen limitaciones en las indicaciones que producen, las referencias que a continuación se describen en los siguientes párrafos, para los criterios de aceptación y rechazo de los defectos más comunes en soldaduras, la compañía tiene el derecho de rechazar cualquier soldadura que, aunque aparentemente cumple los estándares de aceptabilidad, en su opinión, la profundidad de una discontinuidad puede resultar perjudicial para la soldadura.

Dichos criterios se tomarán de conformidad con el personal que este realizando la supervisión y la certificación de los trabajos.

2.6.3 Ensayo Radiográfico

2.6.3.1 FALTA DE PENETRACIÓN

Esencialmente, la falta de penetración sin desalineamiento (FP), es definida como el llenado incompleto de la raíz de la soldadura con el metal de soldadura. Esta condición se muestra esquemáticamente en la figura 12. La Falta de Penetración deberá ser inaceptable cuando exista al menos una de las condiciones siguientes:

- a) La longitud de una indicación individual de FP exceda 1 pulg. (25.4 mm).
- b) La longitud acumulada de indicaciones de FP en cualquier longitud continua de 12 pulg. (304.8 mm) de soldadura exceda 1 pulg. (25.4 mm).
- c) La longitud acumulada de indicaciones FP exceda el 8 % del total de la longitud soldada en cualquier soldadura menor de 12 pulg. (304.8 mm) de longitud.



Figura 12 - Falta de Penetración sin desalineamiento (FP)

2.6.3.2 FALTA DE PENETRACION DEBIDO A DESALINEAMIENTO

La falta de penetración debido a desalineamiento (FPDT) es definida como una condición que existe cuando una unión de un tubo o la junta de un accesorio esta desalineado y existe un borde expuesto (sin fusión o enlace) en la raíz. Esta condición es mostrada esquemáticamente en la figura 13. FPDT debe ser inaceptable cuando se den cualquiera de las condiciones siguientes:

- a) La longitud de una indicación individual de FPDT exceda 2 pulg. (50.8 mm).
- b) La longitud acumulada de indicaciones FPDT en cualquier longitud continua de 12 pulg. (304.8 mm) de soldadura, exceda 3 pulg. (76.2 mm).



Figura 13 - Falta de Penetración debida a Desalineamiento (FPDT)

2.6.3.3 FALTA DE FUSIÓN

La falta de fusión (FF) se define como la ausencia de unión entre cordones o entre la soldadura y el metal base a soldar. Esta condición se esquematiza en la figura 14. La FF no se aceptará cuando exista cualquiera de las situaciones siguientes:

- a) La longitud individual de una indicación FF exceda 1 pulg. (25.4 mm).
- b) La longitud acumulada de indicaciones de FF en cualquier longitud continua de 12 pulg. (304.8 mm) de soldadura, exceda 1 pulg. (25.4 mm).
- c) La longitud acumulada de indicaciones de FF exceda el 8 % de la longitud soldada en cualquier soldadura con longitud menor de 12 pulg. (304.8 mm).



Figura 14 - Falta de Fusión en cordón de Raíz o parte Superior de la Soldadura (FF)

2.6.3.4 FALTA DE FUSIÓN DEBIDO A TRASLAPE EN FRÍO

La falta de fusión debido a traslape en frío (FFTF) es una discontinuidad entre dos cordones de soldadura adyacentes o entre un cordón de soldadura y el metal base. Esta condición se muestra en la figura 15. La falta de fusión no se aceptará si se presenta cualquiera de las situaciones siguientes:

- a) La longitud individual de una indicación FFTF exceda 2 pulg. (50.8 mm).
- b) La longitud acumulada de indicaciones FFTF en cualquier longitud continua de 12 pulg. (304.8 mm) de una soldadura exceda 2 pulg. (50.8 mm).
- c) La longitud acumulada de indicaciones FFTF exceda el 8% de la longitud de la soldadura.

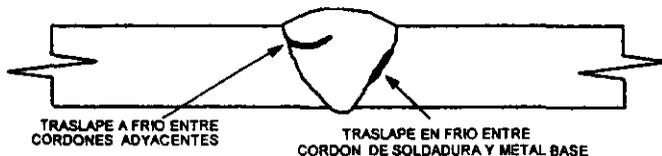


Figura 15 - Falta de Fusión debida a Traslape en Frío (FFTF)

2.6.3.5 CONCAVIDAD INTERNA

La concavidad interna (CI) es definida en 2.1.2.2 inciso m) y se muestra esquemáticamente en la figura 16. Cualquier concavidad interna es aceptable, siempre y cuando la densidad de la imagen radiográfica de la concavidad interna no exceda la parte adyacente más delgada del metal base. Para áreas que excedan la densidad de la parte adyacente más delgada del metal base, es aplicable el criterio para defectos por quemada (ver 2.6.3.6).



Figura 16 - Concavidad Interna (CI)

2.6.3.6 QUEMADAS

Una quemada (Q) es definida como aquella porción del cordón de fundido donde la excesiva penetración ha causado que el metal de soldadura sea proyectado dentro del tubo.

- a) Para tubos con diámetro exterior mayor o igual a 2 3/8 pulg. (60.3 mm), una quemada no se aceptará si se presenta cualquiera de las condiciones siguientes:
 - i) La máxima dimensión excede 1/4 pulg. (6.35 mm) y la densidad de la imagen de la quemada excede el espesor adyacente más delgado del metal base.
 - ii) La máxima dimensión exceda el más delgado de los espesores nominales de las paredes unidas, y la densidad de la imagen de la quemada exceda el espesor adyacente más delgado de metal base.
 - iii) La suma de las dimensiones máximas de quemadas separadas, cuya densidad de imagen exceda el espesor adyacente más delgado del metal base y que exceda 1/2 pulg. en 12 pulg. de longitud continua de soldadura o del total de la longitud de la soldadura, lo que sea menor.
- b) Para tubería con diámetro exterior menor que 2 3/8 pulg. (60.3 mm), una quemada debe ser inaceptable si existe cualquiera de las condiciones siguientes:
 - i) La máxima dimensión exceda 1/4 pulg. (6.35 mm) y la densidad de la imagen de la quemada exceda el espesor adyacente más delgado del metal base.
 - ii) La máxima dimensión exceda el más delgado de los espesores nominales de la pared que se unen, y la densidad de la imagen de la quemada exceda el espesor adyacente más delgado de metal base.
 - iii) Cuando se presenten más de una quemada de cualquier tamaño y la densidad de más de una de las imágenes, exceda el espesor adyacente más delgado del metal base.

2.6.3.7 INCLUSIONES DE ESCORIA

Una inclusión de escoria es definida como un sólido no metálico atrapado en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal del tubo. Las inclusiones de escoria alargadas (LE) - líneas de escoria continuas o intermitentes o líneas dobles de escoria (DLE) - generalmente se encuentran en la zona de fusión. Las inclusiones de escoria aisladas (IE) son inclusiones de forma irregular y pueden ser localizadas en cualquier parte de la soldadura. Para propósitos de evaluación, cuando el tamaño de la indicación de una escoria es medida, debe considerarse la máxima longitud de la indicación.

a) Para tubos de diámetro exterior de 2 3/8 Pulg. (60.3 mm) y mayores las inclusiones no deben aceptarse si se presenta cualquiera de las condiciones siguientes:

i) La longitud de LE exceda 2 Pulg. (50.8 mm).

Nota: Las líneas de escoria paralelas (DLE) separadas por aproximadamente el ancho del cordón de raíz (líneas vagón) deberán considerarse como una sola indicación a menos que el ancho de cualquiera de ellas exceda 1/32 Pulg. (0.79 mm), en tal caso se consideran como separadas.

ii) La longitud acumulada de LE en cualquier longitud continua de 12 pulg. (304.8 mm) de una soldadura exceda 2 pulg. (50.8 mm).

iii) El ancho acumulado de LE exceda 1/16 pulg. (1.59 mm).

iv) La longitud acumulada de IE en cualquier longitud continua de 12 pulg. (304.8 mm) de soldadura exceda 1/2 pulg. (12.7 mm). El ancho de una IE exceda 1/8 pulg. (3.17 mm).

v) Mas de cuatro IE con el ancho máximo de 1/8 pulg. (3.17 mm) se presenten en una longitud continua de 12 pulg. (304.8 mm) de soldadura.

vi) La longitud acumulada de LE y IE exceda el 8% de la longitud de la soldadura.

b) Para tubos con diámetro exterior menor de 2 3/8 pulg. (60.3 mm), las inclusiones de escoria no deberán aceptarse si se presenta cualquiera de las condiciones siguientes:

i) La longitud de una LE exceda tres veces el espesor de pared nominal más delgado a unirse.

Nota: Indicaciones paralelas LE separadas por aproximadamente el ancho del cordón de raíz (líneas vagón) deberán considerarse como una sola indicación a menos que el ancho de cualquiera de ellas exceda 1/32 Pulg. (0.79 mm), en tal caso se consideran como separadas.

ii) El ancho de una LE exceda 1/16 pulg. (1.59 mm).

iii) La longitud acumulada de IE exceda dos veces el espesor de pared nominal más delgado a unirse y el ancho exceda la mitad del espesor de pared nominal más delgado que sean unidos.

iv) La longitud acumulada de LE y IE exceda el 8% de la longitud de la soldadura.

2.6.3.8 POROSIDAD

La porosidad es definida como un gas atrapado durante la solidificación del metal de soldadura antes de que el gas pueda alcanzar la superficie de la soldadura fundida y escapar. La porosidad es generalmente esférica pero puede ser de forma alargada o irregular, tal como porosidad de agujero de gusano. Cuando el tamaño de la indicación radiográfica producida por un poro es medido, la dimensión máxima de la indicación se utilizará para la evaluación bajo los criterios indicados en los incisos a) y b).

a) La porosidad dispersa o individual será inaceptable bajo cualquiera de las siguientes condiciones:

- i) El tamaño de un poro individual excede 1/8 pulg. (3.17 mm).
- ii) El tamaño de un poro individual excede el 25 % del espesor de pared nominal más delgado de las juntas que se han unido.
- iii) La distribución de la porosidad dispersa excede la concentración permitida tal y como se indica en la Figura 17 y 18.

b) La porosidad en grupo (PG) que ocurre en cualquier paso, a excepción del cordón de vista deberá cumplir con los criterios del inciso a). La porosidad en grupo que ocurra en el paso de vista no se aceptará bajo las siguientes condiciones:

- i) El diámetro del grupo exceda 1/2 pulg. (12.7 mm).
- ii) La longitud acumulada de PG en 12 pulg. (304.8 mm) de longitud continua de soldadura excede 1/2 pulg. (12.7 mm).
- iii) Un poro individual dentro de un grupo excede 1/16 pulg. (1.59 mm) de tamaño.

c) La porosidad cilíndrica (PC) es una discontinuidad lineal alargada que ocurre en el paso de raíz. La porosidad cilíndrica no deberá ser aceptada cuando ocurre lo siguiente:

- i) La longitud de una indicación individual de PC rebasa 1/2 pulg. (12.7 mm).
- ii) La longitud acumulada de indicaciones PC en 12 pulg. (304.8 mm) de longitud continua de soldadura excede 2 pulg. (50.8 mm).
- iii) Indicaciones individuales de PC, siempre que sean mayores de 1/4 pulg. (6.35 mm) de longitud, se encuentren separadas por menos de 2 pulg. (50.8 mm).
- iv) La longitud acumulada de todas las indicaciones de PC excede el 8 % de la longitud de la soldadura.

Nota: En las siguientes figuras se muestran las clasificaciones de las porosidades, el tamaño indicado de las porosidades no están dibujadas a escala, para dimensionamiento ver 2.6.3.8

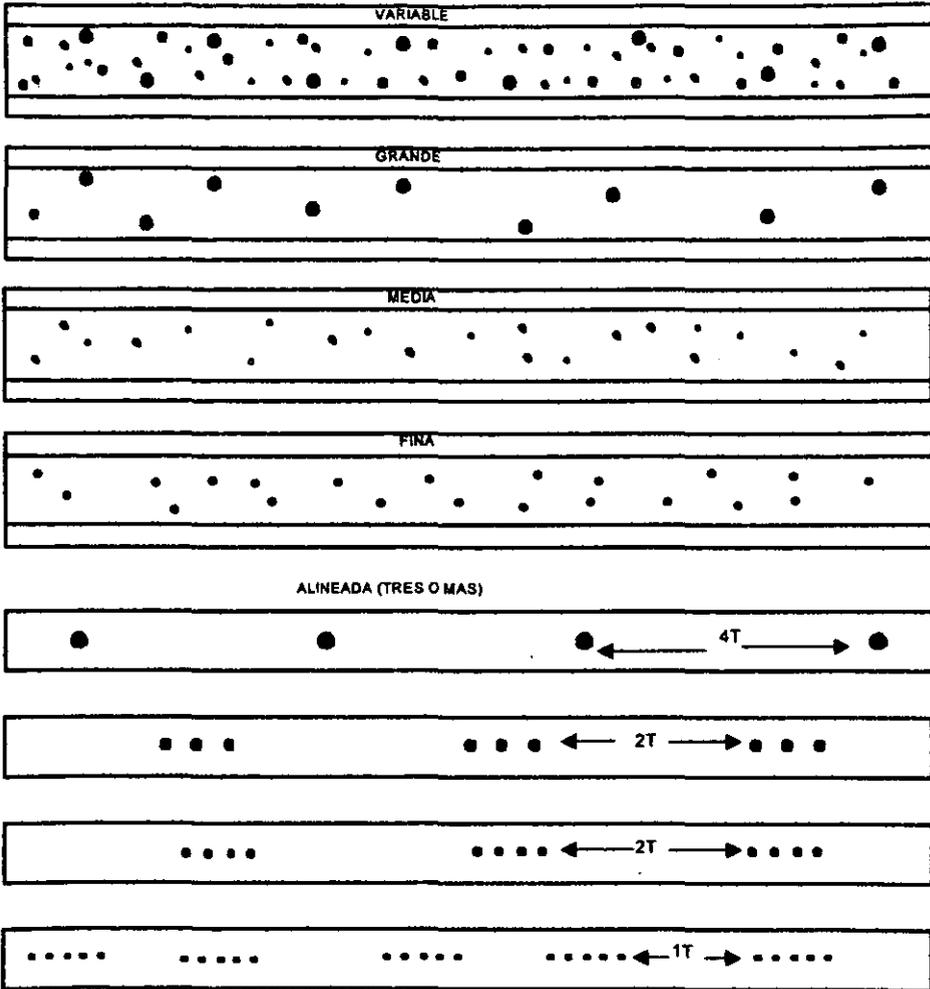


Figura 17 - Distribución Máxima de Porosidades: Espesor de Pared menor o igual que 1/2 pulg. (12.7 mm)
 Donde T es el espesor de Pared del Material Base.

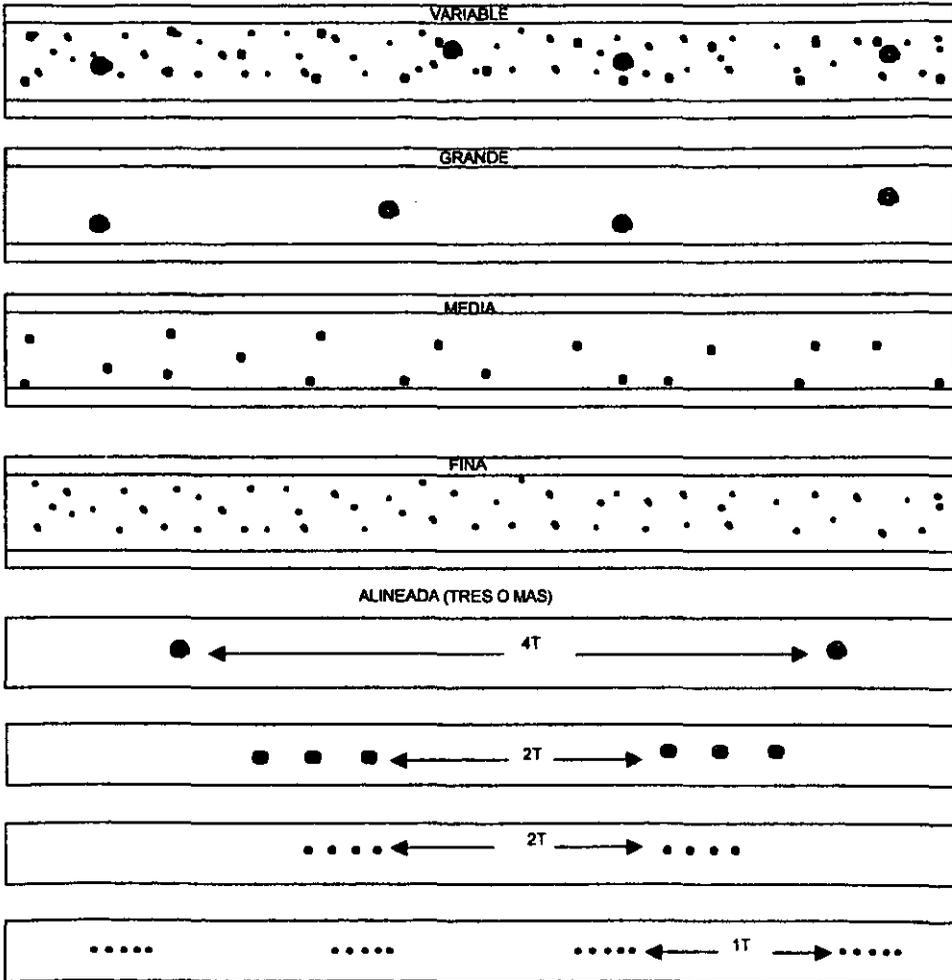


Figura 18 - Distribución Máxima de Porosidades: Espesor de Pared mayor que 1/2 pulg. (12.7 mm)
 Donde T es el espesor de Pared del Material Base.

2.6.3.9 GRIETAS

Las grietas (R) no se aceptarán si se presenta una de las condiciones siguientes:

- a) La grieta, de cualquier tamaño o localización en la soldadura que no sea una grieta superficial de cráter o de estrella.
- b) La grieta de cráter o de estrella cuya longitud excede $5/32$ pulg. (3.96 mm).

Nota: Las grietas superficiales de cráter o estrella están localizadas en los puntos de paro de la aplicación de la soldadura y son el resultado de las contracciones del metal de soldadura durante la solidificación.

2.6.3.10 SOCAVADOS

El socavado es definido como la producción de una ranura por fusión en el metal base adyacente a la orilla o en la raíz de la soldadura y que no es rellenado por el metal de aporte. El socavado adyacente al paso de vista (SE) o cordón de raíz (SI), no se aceptará cuando exista cualquiera de las condiciones siguientes:

- a) La longitud acumulada de indicaciones de SE ó SI en cualquier combinación presente en 12 pulg. (304.8 mm) de longitud continua de soldadura, excede 2 pulg. (50.8 mm).
- b) La longitud acumulada de indicaciones de SE ó SI en cualquier combinación excede $1/6$ de la longitud de la soldadura.

Nota: Ver 2.6.7 para los estándares de aceptación de socavado cuando mediciones visuales y mecánicas son empleadas.

2.6.3.11 ACUMULACIÓN DE DISCONTINUIDADES

A excepción de la falta de penetración debida a desalineamiento y socavado, cualquier acumulación de discontinuidades (AD) será inaceptable bajo los siguientes términos:

- a) La longitud acumulada de indicaciones en 12 pulg. (304.8 mm) de longitud de soldadura continua, excede 2 pulg. (50.8 mm).
- b) La longitud acumulada de indicaciones excede 8 % de la longitud total de la soldadura.

2.6.3.12 DISCONTINUIDADES DE TUBOS Y ACCESORIOS

Quemadas de arco, costuras con defectos y otras discontinuidades en el tubo o accesorios detectado por prueba radiográfica serán reportadas a la compañía y esta decidirá si procede la reparación para su eliminación.

2.6.4 Prueba de Partículas Magnéticas

2.6.4.1 CLASIFICACIÓN DE INDICACIONES

Indicaciones resultantes de la prueba de partículas magnéticas no son necesariamente defectos. Variaciones metalúrgicas y magnéticas pueden producir indicaciones que son similares a aquellas producidas por discontinuidades pero que no son relevantes. Los criterios proporcionados en los incisos a) y b) aplican para la evaluación de las indicaciones.

- a) Cualquier indicación con una dimensión máxima de 1/16 pulg. (1.59 mm) o menos será clasificada como no relevante. Cualquier indicación de mayor dimensión que se suponga no relevante será considerada como relevante mientras no sea reexaminada por partículas magnéticas u otro método de prueba no destructivo para determinar si es que existe una discontinuidad real. La superficie puede ser esmerilada o acondicionada de otra forma antes del reexamen. Después de que se determina que una indicación es no relevante, otras indicaciones no relevantes del mismo tipo no necesitan volverse a examinar.
- b) Indicaciones relevantes son aquellas causadas por discontinuidades. Las indicaciones lineales tienen una longitud de tres veces el ancho o menos, en caso contrario se considerarán como indicaciones redondeadas.

2.6.4.2 ESTÁNDARES DE ACEPTABILIDAD

Indicaciones relevantes serán inaceptables bajo cualquiera de las siguientes consideraciones:

- a) Indicaciones lineales evaluadas como grietas de estrella o de cráter exceden de 5/32 pulg. (3.96 mm) de longitud.
- b) Indicaciones lineales que son evaluadas como grietas diferentes a las de estrella o de cráter.
- c) Indicaciones lineales son evaluadas como FF y exceden 1 pulg. (25.4 mm) de longitud en 12 pulg. (304.8 mm) de longitud continua de soldadura u 8 % de la longitud total de la soldadura.

Las indicaciones redondeadas serán evaluadas de acuerdo a los criterios de 2.6.3.8 incisos a) y b), según aplique. Para propósitos de evaluación de una indicación redondeada, se considerará como el tamaño de la indicación, la dimensión máxima de ésta.

Nota: Cuando existan dudas acerca del tipo de discontinuidad que está revelando una indicación, se puede usar otro método de prueba no destructivo para realizar la verificación de la misma.

2.6.4.3 DISCONTINUIDADES EN TUBOS Y ACCESORIOS

Laminaciones, quemadas de arco, costuras con defectos y otras discontinuidades en el tubo o accesorio que sean detectadas por la prueba de partículas magnéticas deben ser reportadas a la compañía, quien decidirá la reparación para la eliminación de la discontinuidad.

2.6.5 Prueba de Líquidos Penetrantes

2.6.5.1 CLASIFICACIÓN DE INDICACIONES

Las indicaciones obtenidas por ensayo con líquidos penetrantes no son necesariamente defectos. Marcas de maquinado, rayones e irregularidades de la superficie pueden producir indicaciones que no son relevantes, pero que son similares a discontinuidades reales. Los criterios establecidos en los incisos a) y b) aplican para la evaluación de indicaciones.

- a) Cualquier indicación con una dimensión máxima de 1/16 pulg. (1.59 mm) o menor se clasificará como no relevante. Cualquier indicación de mayor tamaño que se suponga no relevante será considerada como relevante hasta que sea reinspeccionada por el método de líquidos penetrantes u otro método de ensayo no destructivo para determinar si existe o no una discontinuidad real. La superficie puede ser esmerilada o acondicionada por otro medio antes del reexamen. Después de que una indicación es evaluada como no relevante otras indicaciones no relevantes similares no necesitan volverse a examinar.

- b) Las indicaciones relevantes son aquellas causadas por discontinuidades. Las indicaciones lineales tiene una longitud mayor de tres veces el ancho. Las indicaciones redondeadas tienen una longitud igual ó menor a tres veces el ancho.

2.6.5.2 ESTÁNDARES DE ACEPTABILIDAD

Las indicaciones relevantes no se aceptarán bajo cualquiera de las siguientes condiciones:

- a) Indicaciones lineales que son evaluadas como grietas de estrella o de cráter y excedan 5/32 pulg. (3.96 mm) de longitud.
- b) Indicaciones lineales que son evaluadas como grietas diferentes a las de estrella o de cráter.
- c) Indicaciones lineales son evaluadas como FF y excedan 1 pulg. (25.4 mm) de longitud total en 12 pulg. (304.8 mm) de longitud continua de soldadura o el 8 % del total de la longitud de la soldadura.

Indicaciones redondeadas serán evaluadas conforme a los criterios marcados en 2.6.3.8 incisos a) y b), según aplique. Para propósitos de evaluación, deberá considerarse la máxima dimensión de una indicación, como el tamaño de ésta.

Nota: Cuando existan dudas acerca del tipo de discontinuidad que esta revelando una indicación, se puede usar otro método de prueba no destructivo para realizar la verificación de la misma.

2.6.5.3 DISCONTINUIDADES EN TUBOS Y ACCESORIOS

Las laminaciones, quemadas de arco, costuras con defectos y otras discontinuidades en el tubo o accesorio que sean detectadas por la prueba de líquidos penetrantes deben ser reportadas a la compañía, quien decidirá la reparación o la eliminación de la discontinuidad.

2.6.6 Prueba de Ultrasonido

2.6.6.1 ESTÁNDARES DE ACEPTABILIDAD

Indicaciones ultrasónicas serán evaluadas conforme los estándares de aceptación indicados en 2.6.6.2 y 2.6.6.3.

2.6.6.2 INDICACIONES LINEALES

Todas las indicaciones que produzcan una respuesta mayor del 20 % del nivel de referencia, serán investigadas para determinar la localización, forma, extensión y tipo de reflectores y serán evaluadas conforme a los siguientes criterios:

- a) Indicaciones lineales que se interpretan como grietas de cráter o de estrella, localizadas en la superficie de la soldadura con una longitud menor de 5/32 pulg. (3.96 mm) son aceptables. Todas las demás fracturas son inaceptables, independientemente de su tamaño y localización en la soldadura.
- b) Indicaciones lineales (diferentes a las fracturas) que se interpretan como abiertas a la superficie son inaceptables si exceden 1 pulg. (25.4 mm) de longitud en 12 pulg. (304.8 mm) de longitud de soldadura continua o el 8% de la longitud total de la soldadura.

- c) Indicaciones lineales que se interpretan localizadas dentro de la soldadura, son inaceptables si rebasan 2 pulg. (50.8 mm) de longitud en 12 pulg. (304.8 mm) de longitud de soldadura continua o el 8% de la longitud total de la soldadura.

2.6.6.3 DISCONTINUIDADES EN TUBOS Y ACCESORIOS

Las laminaciones, costuras largas y otras discontinuidades en el tubo o accesorios detectadas por el ensayo de ultrasonido, deberán reportarse a la compañía, quien decidirá si se realiza la reparación para la eliminación de la discontinuidad.

2.6.7 Estándares de Aceptación Visual para Socavados

2.6.7.1 GENERALIDADES

El socavado es definido en 2.6.3.10. Los estándares de aceptación indicados en 2.6.7.2 complementan pero no reemplazan los requisitos de inspección visual que se señalan a lo largo de este estándar.

2.6.7.2 ESTÁNDARES DE ACEPTACIÓN

Cuando se usan medios mecánicos y visuales para determinar la profundidad, el socavado adyacente al cordón de vista o de raíz no deberá exceder las dimensiones establecidas en la Tabla 4. Cuando estén disponibles mediciones mecánicas y radiográficas, la medición mecánica deberá prevalecer.

Tabla 4

Profundidad	Longitud
Más de 1/32 pulg. (0.79 mm) o más del 12.5 % del espesor de la pared del tubo, cualquiera que sea menor.	No aceptable
Más de 1/64 pulg. (0.4 mm) o del 6 al 12.5 % del espesor de la pared del tubo, cualquiera que sea menor.	2 Pulg. (50.8 mm) en 12 pulg. (304.8 mm) de soldadura continua o 1/6 de la longitud de la soldadura, cualquiera que sea menor.
1/64 pulg. (0.4 mm) Máx. o 6% Máx. del espesor de la pared del tubo, cualquiera que sea menor.	Es aceptable cualquier longitud

Tabla 4- Dimensiones Máximas de Socavado

2.7 REPARACIÓN Y ELIMINACION DE DEFECTOS

2.7.1 Defectos diferentes que Fracturas

2.7.1.1 AUTORIZACIÓN PARA REPARACIÓN

Otros defectos diferentes a las fracturas, en la raíz y en los cordones de relleno pueden ser reparados sin autorización previa de la compañía. También otros defectos diferentes a fracturas en el pasó de vista pueden ser reparados sin autorización previa de la compañía. Cuando las reparaciones son realizadas en una área previamente reparada, un procedimiento similar al de reparación de fracturas deberá ser usado (Ver 2.7.2). Todas las reparaciones deberán cumplir con los estándares de aceptación indicados en la sección 2.6.

2.7.1.2 ESMERILADO Y PREPARACIÓN PARA LA REPARACIÓN

Antes de que la reparación sea realizada, se deberán eliminar completamente los defectos perjudiciales hasta encontrar metal sano. La escoria y cascarilla de óxido debe ser removida. Puede ser requerido por la compañía un tratamiento de precalentamiento.

2.7.1.3 PRUEBAS DE REPARACIONES

Las áreas reparadas deberán ser radiografiadas o inspeccionadas por los medios usados en la inspección original. Si la compañía lo desea, puede reinspeccionar toda soldadura que ha sido reparada, en la misma forma permitida para inspección de cualquier soldadura de producción (Ver 2.5.1 y 2.5.2).

2.7.2 Autorización y Procedimiento para reparación de Fracturas

Las soldaduras fracturadas deberán ser removidas de la línea, salvo lo permitido por 2.6.3.9 o cuando la reparación es autorizada por la compañía. Las fracturas pueden ser reparadas siempre que se cumpla con los siguientes criterios:

- a) La longitud de la fractura es menor del 8% de la longitud soldada.
- b) Se deberá desarrollar y documentar un procedimiento de reparación. El procedimiento de reparación deberá incluir al menos los siguientes puntos:
 - i) Método de exploración del área de fractura.
 - ii) Método de remoción de la fractura.
 - iii) Requisitos para el precalentamiento y tratamiento térmico entre pasos.
 - iv) Procedimiento de soldadura y tipo de electrodos.
 - v) Requisitos para inspección no destructiva entre pasos.
 - vi) Requisitos para tratamiento térmico postsoldadura.
- c) La reparación es realizada bajo la supervisión de un técnico experimentado en técnicas de reparación de soldadura.
- d) La soldadura es realizada por un soldador calificado.
- e) La ranura de la reparación es examinada por una prueba de líquidos penetrantes o partículas magnéticas, para asegurar la remoción completa de la fractura.

2.8 PROCEDIMIENTOS PARA PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS (ASME SECC. V)

2.8.1 Métodos de prueba radiográfica

2.8.1.1 GENERALIDADES

La parte 2.8.1 presenta los requisitos para producir imágenes radiográficas sobre película u otro medio donde se use rayos X o rayos gamma. Deberá ser establecido y registrado un procedimiento detallado para la producción de radiografías. La película radiográfica producida por el uso de este procedimiento deberá tener la densidad (ver 2.8.1.10), claridad y contraste requerido por este estándar. Imágenes producidas por otros sistemas deberán tener la sensibilidad requerida para definir claramente el agujero esencial o diámetro del alambre del penetrámetro apropiado. Los siguientes criterios deberán usarse para evaluar imágenes:

- a) Una imagen con calidad aceptable que esté libre de niebla y de irregularidades de proceso que puedan enmascarar la imagen de discontinuidades reales.
- b) El penetrámetro prescrito y el agujero esencial o diámetro del alambre.
- c) Un sistema de identificación satisfactorio.
- d) Una técnica aceptable y bien establecida.
- e) Compatibilidad con los estándares de aceptación.

Todos los requisitos que se refieren a la calidad de las imágenes resultantes deben aplicar por igual a rayos X y rayos Gamma. El uso de la inspección radiográfica y la frecuencia de su uso se deja a opción de la compañía. La compañía y el contratista radiográfico deberán acordar el procedimiento o procedimientos radiográficos a ser usado antes de la ejecución de la radiografía de producción.

2.8.1.2 DETALLES DEL PROCEDIMIENTO

a) Generalidades

Los detalles de cada procedimiento radiográfico deberán ser registrados. Una copia de los reportes será suministrada a la compañía para su expediente. El reporte puede estar en forma escrita, en forma de dibujos detallados o ambas. Como mínimo, cada procedimiento deberá incluir los detalles aplicables listados en los incisos b) y c).

b) Película Radiográfica

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

- i) Fuente de radiación- el tipo de fuente de radiación, el tamaño efectivo de la fuente o punto focal y el voltaje nominal del equipo de rayos X.
- ii) Pantallas intensificadoras- el tipo y colocación de las pantallas y si se usan en material de plomo, su espesor.
- iii) Película- la marca de la película o tipo o ambas y el número de chasis en el contenedor o cassette. Para técnicas de película múltiple, deberá ser especificada la forma en la cual va a ser vista la película.

- iv)* Geometría de exposición- ya sea para exposición de pared sencilla, vista sencilla (PS/VS), doble pared para vista sencilla (DPVS) o exposición de doble pared para vista doble (DPVD); la distancia de la fuente o punto focal a la película; la posición relativa de la película, soldadura, fuente, penetrámetros e intervalo o marcas de referencia; así como el número de exposiciones requeridas para radiografía de una soldadura completa.
- v)* Condiciones de exposición- ya sea los miliampers o curios minuto, el voltaje de rayos X o el voltaje amperaje de ingreso y el tiempo de exposición.
- vi)* Procesado- ya sea automático o manual. el tiempo y temperatura para su desarrollo y el tiempo del baño de parada enjuague, fijado, lavado y detalles de secado.
- vii)* Materiales- El tipo e intervalo de espesor de los materiales para los cuales el procedimiento es aplicable.
- viii)* Penetrámetros- para penetrámetros de agujero- el tipo, material, número de identificación y agujero esencial, así como el material de las calzas y su espesor. Para penetrámetros tipo alambre. el tipo de material, las letras de identificación ASTM y el diámetro del alambre esencial.
- ix)* Protectores térmicos- material, espesor y la distancia desde el lado de la película del protector térmico a la superficie del tubo.

c) Otros medios de Imagen

Como mínimo el procedimiento para radiografía usando un medio de imagen diferente al de la película deberá contener los siguientes detalles:

- i)* Fuente de radiación- El tipo de fuente de radiación , el tamaño efectivo de la fuente o punto focal, así como el voltaje nominal del equipo de rayos X .
- ii)* El sistema de colección de imágenes.
- iii)* El sistema de procesado de imágenes.
- iv)* El sistema para ver las imágenes.
- v)* El sistema de almacenamiento de imágenes.
- vi)* Geometría de la exposición- PS/VS, DPVS ó DPVD; ya sea imagen estática o en movimiento. La velocidad de barrido para imagen en movimiento, la distancia de la fuente o punto focal a la superficie del proyector de imagen, la posición relativa de la superficie al proyector de imagen, soldadura, fuente, penetrámetros e intervalos de las marcas de referencia, la cantidad de ampliación geométrica, la ampliación total usada para inspección y el número de imágenes requeridas para radiografiar una soldadura completa.
- vii)* Condiciones de exposición- Los miliampers-minuto o curie-minuto, el voltaje de la máquina de rayos X o el voltaje y amperaje de la misma y, cuando es aplicable, el tiempo de exposición.
- viii)* Materiales- El tipo e intervalo de espesores del material para el cual aplica el procedimiento.
- ix)* Penetrámetros - Para penetrámetros tipo agujero- El tipo de material, número de identificación y agujero esencial, así como el material de la calza y su espesor. Para penetrámetros tipo alambre - El tipo de material, letras de identificación ASTM y diámetro del alambre esencial.

- x) Protectores Térmicos- Material, espesor y la distancia desde el lado de la imagen del protector térmico hasta la superficie del tubo.

2.8.1.3 GEOMETRÍA DE EXPOSICIÓN

a) Película Radiográfica

Cuando la fuente radiográfica es centrada en el tubo para la exposición de una soldadura a tope, una exposición es suficiente para la inspección radiográfica de toda la soldadura (PS/VS). Cuando la fuente radiográfica esta colocada en el exterior pero no esta a más de 1/2 pulg. (12.7 mm) de la superficie de la soldadura, por lo menos deberán tomarse tres exposiciones separadas a 120 grados para la inspección radiográfica de toda la soldadura (DPVS).

Cuando el diámetro del tubo que contiene la soldadura es de 3.5 pulg. (88.9 mm) o menos, puede ser usado un procedimiento de exposición de pared doble con vista de pared doble (DPVD). Cuando este procedimiento es usado y el haz de radiación está descentrado de tal manera que las porciones de la soldadura del lado de la fuente y del lado de la película no se traslapen en las áreas de evaluación de la radiografía; por lo menos deberán hacerse dos exposiciones separadas a 90° 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 son superpuestas, al menos deberán tomarse tres exposiciones separadas por 60 grados para la inspección radiográfica de una soldadura completa.

Cuando se radiografien pequeños diámetros de tubería de paredes gruesas, exposiciones adicionales se realizarán para minimizar la distorsión de la imagen de las discontinuidades en los extremos de las radiografías.

La siguiente formula debe estar en unidades constantes de medición. La distancia mínima entre la fuente o punto focal y el lado de la fuente del objeto que está radiografiándose está determinada por la ecuación:

$$D = S / K$$

Donde :

D	Distancia mínima en pulgadas, entre la fuente o el punto focal y el lado de la fuente del objeto que se está radiografiando.
S	El tamaño efectivo de la fuente o punto focal, en pulgadas.
t	El espesor de la soldadura incluyendo su refuerzo más la distancia entre el lado de la película de la soldadura y la película.
k	Factor de penumbra geométrica

Cuando se determine t para procedimientos PS/VS y DPVS, se deberá usar el espesor de pared sencilla y su refuerzo de soldadura; para el procedimiento DPVD se debe usar el diámetro exterior de la soldadura, (que es el diámetro exterior del tubo más dos veces la altura promedio del refuerzo de la soldadura). Normalmente k es 0.02 pulg. (0.51 mm) para materiales de 2.0 pulg. (50.8 mm) y menores.

La aceptación final de la geometría de exposición deberá basarse en ver la imagen del penetrámetro prescrito y el agujero o diámetro del alambre esencial.

b) Otros Medios de Imagen

La aceptación final de la geometría de exposición se basará en ver la imagen del penetrámetro prescrito y el agujero o diámetro del alambre esencial. Para imagen en movimiento, la geometría de exposición deberá evaluarse a la máxima velocidad de barrido que se use durante la inspección radiográfica de toda la soldadura.

2.8.1.4 TIPO DE PENETRÁMETROS

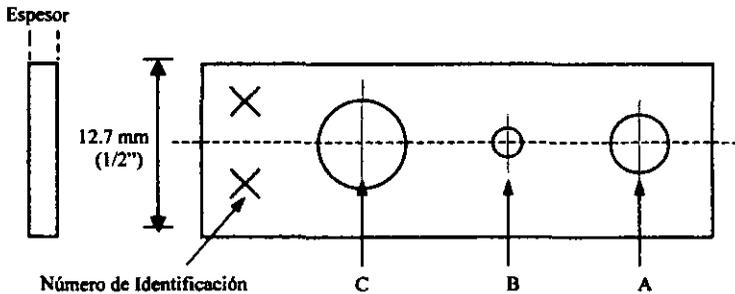
Los penetrámetros serán conforme a los requisitos de ASTM E 142 ó de la Fig. 19 para los penetrámetros tipo agujero o ASTM E 747 para penetrámetros tipo alambre. La compañía decidirá cual se ha de usar. Los penetrámetros deberán estar fabricados de un material radiográficamente similar al material que se esté soldando.

2.8.1.5 SELECCIÓN DE PENETRÁMETROS

a) Penetrámetros Tipo Agujero

El espesor máximo del penetrámetro tipo agujero a ser usado, basado en el espesor de pared del tubo o de la soldadura y su número de identificación se muestran en la Tabla 5 para penetrámetros ASTM E 142 y en la Tabla 6 para penetrámetros como el de la Figura 19. Si la selección del penetrámetro se basa en el espesor de la soldadura, se deberán usar calzas de materiales que sean radiográficamente similares al material del tubo y equivalente al espesor promedio de la corona de la soldadura, las calzas serán colocadas bajo los penetrámetros.

La imagen del contorno del penetrámetro de tipo agujero, número de identificación y el agujero esencial deberán aparecer completamente claros en la radiografía. Los agujeros esenciales para penetrámetros ASTM A 142 y para los de la Figura 19 deberá ser el 2T. Para penetrámetros como el de la Figura 19, el agujero 2T no necesita ser menor a 1/16 pulg. (1.59 mm) de diámetro.



Notas:

1.	T= Espesor del penetrámetro; Diámetro A= 2T; B= T; C= 4T
2.	Ningún agujero necesita ser menor a 1/16 Pulg. (1.59 mm) de diámetro
3.	Los agujeros deberán ser redondeados y perforados perpendiculares a la superficie. Los bordes deberán estar libres de rebabas, pero no deberán estar achaflanados.
4.	Cada penetrámetro deberá llevar un número de identificación de plomo
5.	Las tolerancias para los espesores y diámetro del agujero del penetrámetro será de + 10 % o la mitad del incremento del espesor entre tamaños de penetrámetro subsecuentes, lo que resulte menor.

Figura 19- Penetrámetros Estándar

Tabla 5

Espesor de Soldadura o de Pared del Tubo		Espesor Máximo del Penetrámetro		Número de Identificación
Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros	
0 - 1/4	0 - 6.35	0.0125	0.317	12
> 1/4 - 3/8	> 6.35 - 9.52	0.015	0.381	15
> 3/8 - 1/2	> 9.52 - 12.70	0.0175	0.444	17
> 1/2 - 3/4	> 12.70 - 19.05	0.020	0.508	20
> 3/4 - 1	> 19.05 - 25.40	0.025	0.635	25
> 1-2	> 25.40 - 50.80	0.030	0.762	30

Tabla 5 - Espesor del Tubo Vs Espesor del Penetrámetro ASTM E 142

Tabla 6

Espesor de Soldadura o de Pared del Tubo		Espesor Máximo del Penetrámetro		Número de Identificación
Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros	
0 - 1/4	0 - 6.35	0.005	0.127	5
> 1/4 - 3/8	> 6.35 - 9.52	0.0075	0.19	7
> 3/8 - 1/2	> 9.52 - 12.70	0.010	0.254	10
> 1/2 - 5/8	> 12.70 - 15.88	0.0125	0.317	12
> 5/8 - 3/4	> 15.88 - 19.05	0.015	0.381	15
> 3/4 - 7/8	> 19.05 - 22.22	0.0175	0.444	17
> 7/8 - 1	> 22.22 - 25.40	0.020	0.508	20
> 1 - 1 1/8	> 25.40 - 31.75	0.025	0.635	25
> 1 1/8 - 1 1/2	> 31.75 - 38.10	0.030	0.762	30
> 1 1/2 - 2	> 38.10 - 50.80	0.035	0.889	35

* Ver Figura 19

Tabla 6- Espesor del Tubo Vs Espesor del Penetrámetro *

Tabla 7

Espesor de Soldadura		Diámetro Esencial de la Soldadura		Letra
Pulgadas	Milímetros	Pulgadas	Milímetros	
0 - 1/4	0 - 6.35	0.008	0.20	ASTM A
> 1/4 - 3/8	> 6.35 - 9.52	0.010	0.25	A 6 B
> 3/8 - 1/2	> 9.52 - 12.70	0.013	0.33	B
> 1/2 - 3/4	> 12.70 - 19.05	0.016	0.41	B
> 3/4 - 1	> 19.05 - 25.40	0.020	0.51	B
> 1-2	> 25.40 - 50.80	0.025	0.64	B

Tabla 7- Espesor del Tubo Vs Diámetro del penetrámetro de Alambre E 747

b) Penetrámetros Tipo Alambre

El diámetro del alambre esencial que se va usar basado en los espesores de la soldadura, se muestra en la tabla 7 para penetrámetros de alambre ASTM E-747. A opción del contratista los penetrámetros de alambre con un diámetro más pequeño que el especificado, se puede usar, siempre y cuando se obtenga la sensibilidad radiográfica requerida.

Las imágenes radiográficas del estilo de los números de identificación de penetrámetros tipo alambre así como las letras ASTM deberán observarse claramente. La imagen del diámetro del alambre esencial deberá observarse claramente en toda el área de interés.

2.8.1.6 COLOCACIÓN DE PENETRÁMETROS

a) Película

A excepción de lo indicado en el inciso *l)*, los penetrámetros deberán ser colocados en contacto con la tubería.

l) Penetrámetros tipo agujero- cuando una soldadura es radiografiada con una exposición simple usando una fuente por el interior de la tubería, al menos se deberán usar cuatro penetrámetros colocados paralelos a la soldadura y espaciados equidistantes al rededor de la circunferencia. Para el procedimiento DPVD, un penetrámetro deberá colocarse en el lado de la fuente del tubo y adyacente a la soldadura de tal forma que su imagen no se sobreponga con la de la soldadura. Para los procedimientos DPVS o PSVS que requieren exposiciones múltiples para inspeccionar completamente una soldadura y donde la longitud de la película que se va a interpretar es mayor de 5 Pulg. (127 mm), se deberán usar dos penetrámetros colocados paralelos a la soldadura y localizados del lado de la película, uno de ellos se colocará a 1 Pulg. (25.4 mm) del borde de la longitud de la película y el otro en el centro de la película.

Cuando la longitud de la película que se va a interpretar es menor o igual a 5 Pulg. (127 mm), se colocará un penetrámetro del lado de la película, paralelo a la soldadura y localizado en el centro de la longitud que se va a interpretar. Cuando se radiografía una soldadura reparada, al menos se colocará un penetrámetro adyacente a cada área reparada.

ll) Penetrámetros tipo alambre- El número y localización de los penetrámetros tipo alambre es el mismo que se describió para los de tipo agujero, con la excepción que los alambres se colocarán transversales a la soldadura, esto es perpendiculares a longitud de la soldadura.

lll) Protectores Térmicos- Los penetrámetros pueden ser colocados dentro de un protector térmico en vez de estar en contacto con el tubo, siempre que se demuestre previo a los ensayos en producción que este sistema es conveniente.

b) Otros Medios de Imagen

Para medios de imagen diferentes a la película, la colocación de los penetrámetros será la misma que se requiere por 2.8.1.6. inciso a). Los penetrámetros pueden ser colocados por encima de la superficie del tubo o sostenidos en una posición entre la superficie del tubo y el dispositivo de la imagen por un sujetador, sostenido al dispositivo de imagen o al aparato de barrido. La aceptación de este sistema se calificará antes de la radiografía de producción, para lo cual se usarán penetrámetros colocados en contacto con el tubo y simultáneamente comparando con penetrámetros colocados en forma adyacente y posicionados por un sujetador por encima de la superficie del tubo.

2.8.1.7 RADIOGRAFÍA DE PRODUCCIÓN

Únicamente radiólogos niveles II o III deberán interpretar las imágenes radiográficas de las soldaduras de producción. Los radiólogos reportarán a la compañía todas las discontinuidades inaceptables que observen en las imágenes, a menos que la compañía solicite que se reporten todas las discontinuidades observadas el radiólogo deberá indicar si la soldadura cumple con los requisitos de la Sección 2.6.

2.8.1.8 IDENTIFICACIÓN DE IMÁGENES

Las imágenes se deberán identificar claramente mediante el uso de números de plomo, letras de plomo, marcas u otra identificación que permita que tanto la soldadura y cualquier discontinuidad presente pueda ser fácil y exactamente localizada. La Cía. puede especificar el procedimiento de identificación que va a usar. Siempre que más de una imagen se use para inspeccionar una soldadura, las marcas de identificación deberán aparecer en cada imagen y las imágenes adyacentes se deberán traslapar. La última marca de referencia en cada extremo de la imagen deberá aparecer en la imagen adyacente que le corresponda, de forma tal que se garantice que ninguna parte de la soldadura se ha omitido.

2.8.1.9 ALMACENAMIENTO DE LAS PELÍCULAS Y OTROS MEDIOS DE IMÁGEN

a) Película

Todas las películas no expuestas se deben almacenar en un lugar seco y limpio en donde no se afecte perjudicialmente la emulsión. Si existe alguna duda acerca de la condición de la película sin exponer, una hoja tanto de la parte inicial o final de cada paquete o una longitud de película igual a la circunferencia de cada rollo original se procesará en una forma normal sin exposición a la luz o radiación. Si la película procesada presenta niebla, la caja entera o el rollo del cual la película de esta prueba fue tomada, se deberán desechar a menos que otras pruebas adicionales demuestren que la película restante de la caja o el rollo está libre de una niebla de preexposición que rebase una densidad transmitida de 0.30 H&D para película en base transparente o 0.05 H&D de densidad reflejada para película en base opaca.

Nota: H&D se refiere al método Hunter- Driffield para definir el oscurecimiento cuantitativo de la película.

2.8.1.10 DENSIDAD DE LA PELÍCULA

a) Densidad de la Película

A excepción de pequeñas áreas localizadas causadas por configuraciones irregulares de la soldadura, la densidad transmitida H&D en el área de interés de película en base transparente no será menor que 1.8 ni mayor 4.0. La densidad reflejada H&D para película en base opaca no deberá ser menor de 0.5 ni mayor de 1.5.

La densidad transmitida H&D a través de pequeñas áreas localizadas puede exceder estos límites; sin embargo, las densidades mínimas no serán inferiores de 1.5 y las máximas no rebasarán de 4.2; La densidad reflejada H&D no será menor de 0.25 y no excederá de 1.8.

b) Equipo para Ver la Película

El equipo de observación (iluminador) será del tipo de alta intensidad variable, con capacidad para evaluar densidades dentro de los intervalos especificados en 2.8.1.10. inciso a), deberá estar equipado para prevenir la filtración de la luz proveniente de los bordes exteriores de la radiografía o a través de secciones de baja densidad de la radiografía, que puedan interferir con la interpretación.

c) Instalaciones para Ver Películas

Las instalaciones para ver películas proveerán de un fondo de iluminación tenue de una intensidad que no cause algún problema de reflexión, sombras o deslumbramiento en la radiografía.

2.8.1.11 PROCESADO DE LA IMAGEN

Cuando es solicitado por la compañía, la película u otro medio de imagen deberá ser procesado, manejado y almacenado de tal manera que las imágenes sean interpretables al menos por 3 años después de su producción.

2.8.1.12 AREA DE PROCESADO DE IMÁGENES

El área de procesado de imágenes y todos los accesorios deberán mantenerse limpios todo el tiempo.

2.8.1.13 PROTECCIÓN DE LA RADIACIÓN

El radiólogo será el responsable de la protección y monitoreo de cada persona que trabaje con o cerca de las fuentes de radiación. El procedimiento de protección y monitoreo deberá cumplir con las regulaciones locales, estatales y federales que apliquen.

2.8.2 Método para Ensayo de Partículas Magnéticas

Cuando la prueba de partículas magnéticas sea especificada por la compañía, se establecerá un procedimiento detallado por escrito para este ensayo y deberá ser consistente con los requisitos de ASTM E 709. La compañía y el contratista de las pruebas no destructivas deberán convenir un procedimiento o procedimientos para la inspección bajo este método, antes de iniciar los ensayos en juntas de producción.

La compañía solicitará al contratista demostrar que los procedimientos propuestos producirán resultados aceptables y solicitará al contratista que use tales procedimientos en los ensayos de producción.

2.8.3 Método de Ensayo de Líquidos Penetrantes

Cuando la prueba de líquidos penetrantes sea especificada por la compañía, se establecerá un procedimiento detallado por escrito para este ensayo y deberá ser consistente con los requisitos de ASTM E 709. La compañía y el contratista de las pruebas no destructivas deberán convenir un procedimiento o procedimientos para la inspección bajo este método, antes de iniciar los ensayos en juntas de producción.

La compañía solicitará al contratista demostrar que los procedimientos propuestos producirán resultados aceptables y solicitará al contratista que use tales procedimientos en los ensayos de producción.

2.8.4 Método de Ensayo de Ultrasonido

Cuando la prueba de ultrasonido sea especificada por la compañía, se establecerá un procedimiento detallado por escrito para este ensayo, el cual deberá ser consistente con los requisitos de ASTM E 709. La compañía y el contratista de las pruebas no destructivas deberán convenir un procedimiento o procedimientos para la inspección bajo este método antes de iniciar los ensayos en juntas de producción.

La compañía solicitará al contratista demostrar que los procedimientos propuestos producirán resultados aceptables y también que use tales procedimientos en los ensayos de producción.

PARTE 3 ACTIVIDADES DESARROLLADAS

La construcción del Gasoducto de 36" de diámetro y 44 Kilómetros de longitud, es un proyecto diseñado por el Area de Proyectos del Instituto Mexicano del Petróleo a solicitud de Petróleos Mexicanos.

Como parte de la verificación de la ejecución de este proyecto, PEMEX solicitó al departamento de Tecnología de Materiales Metálicos del Instituto Mexicano del Petróleo, su participación para realizar la supervisión durante la construcción del Gasoducto, de acuerdo con los lineamientos establecidos en este proyecto, las normas, estándares y especificaciones técnicas aplicables.

En la fotografía No. 1 del anexo fotográfico, se puede observar que la construcción de la línea será realizada a lo largo de canales navegables ya existentes, realizando el almacenamiento de tubería y la construcción de lingadas (secciones de línea regular, taponadas en los extremos y flotadas por medio de tambos), en lugares definidos como peras de lanzamiento, para posteriormente transportarlas por canales navegables hasta su posicionamiento final, donde se tendrán que realizar obras especiales (Unión entre 2 lingadas en el sitio de posicionamiento final).

Debido a la magnitud del proyecto, éste se dividió en 3 frentes de trabajo de la manera siguiente:

- a) Pera de lanzamiento 1.- Abarca desde la Estación de Atasta hasta la Laguna del Poom.
- b) Pera de lanzamiento 2.- Abarca desde la Laguna del Poom hasta el Margen Izquierdo del Río San Pedro.
- c) Pera de lanzamiento 3.- Abarca desde el Margen Derecho del Río San Pedro hasta el Margen Izquierdo del Río Usumacinta.

Además se realizaron 2 cruces direccionales en Ríos:

- a) Río San Pedro.
- b) Río Usumacinta

En esta parte No. 3 de Actividades Desarrolladas se presenta paso a paso la secuencia de construcción, indicando las actividades que debe realizar la supervisión y describiendo a detalle, cada una de las actividades en las cuales tuvo una participación directa, las cuales se mencionan a continuación:

3.1 MATERIALES

La tubería destinada al transporte de hidrocarburos en fase líquida deberá ser de acero, la selección del material a emplear se define en la ingeniería del proyecto, la cual también fue hecha por el IMP, tomando como criterios para su selección, el tipo de servicio y las condiciones de operación de la línea (flujo, presión y temperatura).

En la tabla 423.1 de la norma ANSI/ASME B31.4, se indican las especificaciones de los materiales aplicables para el transporte de hidrocarburos y que a continuación se indican:

- a) ASTM A53.- Especificación estándar para tubos de acero soldados, con costura y sin costura.
- b) ASTM A106.- Especificación estándar para tubos de acero al carbón, sin costura para servicios de alta temperatura.
- c) ASTM A134.- Especificación estándar para tubos de placas de acero, soldados por fusión con arco eléctrico, en tamaños de 16" de diámetro y mayores.
- d) ASTM A139.- Especificación estándar para tubos de acero, con costura, soldados por fusión con arco eléctrico, en tamaños de 4" de diámetro y mayores.
- e) ASTM A155.- Especificación estándar para tubos de acero, con costura, soldados por fusión con arco eléctrico, para servicio de alta presión.
- f) ASTM A381.- Especificación estándar para tubos de acero, con costura, soldados con arco metálico, para usarse en sistemas de transporte de alta presión.

- g) ASTM A524.- Especificación estándar para tubos de acero, sin costura, para tuberías de proceso.
- h) ASTM A-530.- Especificación estándar para requisitos generales, para tubos especiales de acero al carbón y aleaciones de acero.
- i) API STD 5L.- Especificación para tuberías de línea.
- j) API STD 5LS.- Especificación para tuberías de acero, con soldaduras en espiral.
- k) API STD 5LX.- Especificación para tuberías de línea de alta presión.
- l) API STD 5LU.- Especificación para tuberías de línea de alta presión tratadas térmicamente.

Para el caso particular de este proyecto, tanto en la ingeniería que elaboró el IMP, así como lo que se encuentra establecido en las especificaciones técnicas de este proyecto (Anexos B y B-1, incluidos durante la licitación de este proyecto), determinan que el tipo de tubería a emplear en este proyecto debe ser API STD 5L Grado B para el transporte de gas amargo, el grado de la tubería se define por el porcentaje de ciertos elementos en su composición química y sus propiedades mecánicas.

Los materiales de aporte empleados para el proceso de soldadura con arco metálico protegido (SMAW) son el E-6010, E-7010 y el E-7018, para el proceso de soldadura de arco con fundente al centro (FCAW) es el NR-207 E71T8-K6, todos los materiales de aporte cumplen con lo indicado en los procedimientos de soldadura calificados.

Todos los materiales de aporte deben ser almacenados dentro de sus contenedores o dentro de homos estacionarios o portátiles, con la finalidad de evitar la humedad en estos y la posible generación de defectos durante su empleo, además de servir para controlar la rastreabilidad de cada lote de soldadura y sus lugares de uso.

Dentro de las actividades desarrolladas para este punto de materiales, se tienen la:

- a) Recepción de materiales.- Se verificaron las tuberías, accesorios y materiales de consumo, anotando en un registro la especificación del material, número de adquisición, número de lote, número de serie, número de colada, número de certificado y proveedor, tal y como se muestra en el formato de la figura 20, los cuales al final del proyecto se entregaron a PEMEX.
- b) Revisión documental.- Se realizó la revisión de la documentación de los certificados de calidad de las tuberías, así como la documentación generada por los reportes de los ensayos no destructivos y destructivos, realizados en el patio del fabricante de la tubería.

Toda la tubería que se recibió para la construcción de esta línea, venía debidamente liberada (la fabricación de la tubería fue supervisada por otros compañeros del IMP, los cuales verificaron la fabricación de la tubería, la protección anticorrosiva y el lastrado de la misma).

REGISTRO DE RECEPCIÓN Y RASTREABILIDAD DE MATERIALES					
CLIENTE:			LINEA:		
PROYECTO:			SERVICIO:		
ISOMETRICO:			SUPERVISOR:		
PROVEEDOR:					
ESPECIFICACION DEL MATERIAL	No. DE ADQUISICION	No. DE LOTE	No. DE SERIE	No. COLADA	LOCALIZACION FINAL.

Figura No. 20 Formato de Registro de Recepción y Rastreabilidad de Materiales

3.1.1 Pruebas para la aceptación de materiales

3.1.1.1 PRUEBA No. 1: INSPECCIÓN VISUAL

Se revisaron de manera aleatoria los tramos y accesorios antes y durante la construcción para verificar que estos se encontraran limpios y libres de defectos o daños mecánicos originados durante su embarque, manejo o instalación anterior, tomando en consideración los siguientes criterios:

- a) La inspección visual incluyó las superficies interiores y exteriores, la preparación y estado de los biselés, las soldaduras, recubrimientos anticorrosivos, rectitud, alineación, etc.
- b) Se consideraron como defectos a todas aquellas anomalías que disminuyen la resistencia o hermeticidad de la pieza inspeccionada, tales como pandeo, ovalamiento, aplastamiento, picaduras, grietas, deformaciones, quemaduras, laminaciones, socavados, abolladuras, soldaduras longitudinales, circunferenciales y en espiral deficientes.
- c) Todos los defectos encontrados fueron registrados y eliminados totalmente para considerar que la pieza se encontraba en buenas condiciones para su uso.
- d) Sólo en un caso, el examen visual reveló defectos obvios que no pudieron ser eliminados correctamente, la tubería se retiró del área de trabajo para su devolución al proveedor.

3.1.1.2 PRUEBA No. 2: DETERMINACIÓN DEL ESPESOR

Se realizó la determinación del espesor, tomando en consideración que la tubería empleada es nueva, en la cual los espesores son uniformes, se midió en cada pieza el espesor de pared mediante un equipo de ultrasonido para medición de espesores, en diferentes partes del cuerpo de la pieza, previamente efectuada la limpieza de la superficie (eliminación de pintura, óxidos o cualquier otro material extraño que impida realizar la medición de espesores del material), en por lo menos, un 10% de los tramos de tuberías.

Se considero como espesor nominal del lote probado el encontrado en el estencitado o en el marcaje de la tubería. El espesor calculado como promedio aritmético no excedió en un 14% del mínimo encontrado para el caso de diámetros menores a 50.8 cm (20 pulg.) y en un 11% del encontrado en diámetros iguales o mayores de 50.8 cm (20 pulg.).

3.1.1.3 PRUEBA No. 3: SOLDABILIDAD

La soldabilidad está determinada por los siguientes factores:

- a) Metalurgia de la soldadura.- Ya que el proceso de soldadura orienta los átomos en las redes cristalinas que forman la estructura del metal y determinan la ductilidad y dureza del mismo, ya sea durante la fusión y solidificación o durante los tratamientos térmicos.
- b) Química de la soldadura.- Tiene que ver con la interacción química entre los metales base y los metales de aporte y otros elementos químicos presentes en la unión, durante el proceso de soldadura.
- c) Preparación de la unión.- Las condiciones de la superficie de la unión afectan directamente al proceso de soldadura.

Para verificar la soldabilidad de 2 piezas, se realizaron las siguientes actividades, teniendo especial cuidado, en la selección del personal que efectuó dichas actividades:

- a) Se seleccionó un soldador de acuerdo al proceso de soldadura a emplear.
- b) Se verificó la preparación de 2 carretes de tubería (estos eran del mismo material), tomando en cuenta los tipos de materiales empleados, preparación de los biselés y tipo de soldadura a emplear.
- c) Posterior a la realización de la soldadura, se realizó la calificación de esta con las más severas exigencias, que se aplican a una soldadura efectuada bajo las condiciones y procedimientos que se presentan en campo.

- d) Los materiales se consideraron soldables ya que cumplieron con los requisitos establecidos en los códigos aplicables (ver fotografías 2, 3, 4, 5 y 6).

3.1.2 Acarreo de tubería lastrada y/o con recubrimiento epóxico "Fusion Bond"

La tubería que se encuentre ya sea con recubrimientos epóxicos o lastrada es transportada en plataformas, se verificó que la superficie de la plataforma se encontrara libre de puntas metálicas que pudieran dañar al recubrimiento anticorrosivo y al lastre de concreto. Para asegurar el transporte de la tubería con epóxico, estas se colocaron sobre medias cañas de neopreno y se amarraron con bandas de lona de 4" de ancho, la carga máxima de tubería con epóxico que será transportada es de 5 tubos por plataforma. Para la tubería lastrada se emplearon maderas de 2"x 4" como cuñas para fijar el tubo y se amarraron con bandas de 4" de ancho. La cantidad de tubería lastrada que fue transportada por cada plataforma fue de 2.

3.1.3 Almacenamiento de tubería

El almacenamiento de la tubería con recubrimiento epóxico se realizó de la misma manera que con la tubería desnuda, en la tubería con recubrimiento epóxico se estibarón hasta en 3 hileras o en camas de tubos, colocando entre ellos cartón para proteger el encintado, la estiba de la tubería se realizó sobre terreno firme.

En el almacenamiento de la tubería lastrada se estibarón hasta 3 camas de tubería, la estiba de la tubería lastrada se efectuó sobre las peras de lanzamiento o bien en terreno firme, acomodándola con cuidado para evitar daños en los biselos y procurando que el terreno fuera uniforme y que este se encontrara libre de materiales que pudieran dañar el recubrimiento anticorrosivo y el lastre de la tubería (ver fotografías 7 y 8).

3.2 CALIFICACION DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

La elaboración del procedimiento para calificación de soldaduras (WPS o EPS), invariablemente se realizó de acuerdo a como esta establecido en los estándares AWS D.1.1 y ASME Sección IX.

Los procedimientos de soldadura detallan los pasos de una unión específica durante la aplicación de soldadura, en este se indican los valores prescritos o los parámetros de cada variable controlable durante el proceso de aplicación de soldadura, además de que rigen la calidad de las soldaduras por el control de las variables.

Para la calificación de cada procedimiento de soldadura, se deberá realizar una soldadura, de acuerdo con los parámetros establecidos en dicho procedimiento, los cuales deberán ser siempre atestiguados por la supervisión. Posterior a esto se deberán realizar los ensayos no destructivos y destructivos para verificar que las soldaduras realizadas con dichos procedimientos de soldadura, proporcionen soldaduras con la calidad requerida y las propiedades especificadas para el servicio que el cliente indique, apejándose a los estándares de calidad.

Cuando alguna soldadura sea rechazada, el procedimiento de soldadura deberá ser modificado en algunas de sus variables, hasta garantizar soldaduras con la calidad requerida.

Estas pruebas se llevarán a cabo al iniciar cada nueva obra y repitiéndose cada vez que cambien las condiciones que sirvieron de base para la calificación.

En nuestro caso, como supervisión del proyecto, se solicitó a la compañía constructora presentar todos los procedimientos de soldadura a emplear durante la construcción, tomando en cuenta los materiales a soldar y los procesos de soldadura a emplear, incluyendo los procedimientos de reparación de soldaduras para su aprobación.

La forma de revisión de estos es sencilla, ya que consiste en verificar el cumplimiento de las normas y especificaciones API-1104, ANSI/ASME B 31.3 y B 31.8.

Ya que la compañía constructora no contaba con los procedimientos de soldadura calificados, esta presentó los procedimientos a emplearse en el proyecto, para la calificación de los mismos. Los procedimientos presentados contienen las siguientes variables y parámetros: Clasificación y especificación del metal base, diámetro y espesor de la tubería, proceso de soldadura, diseño de la junta, clasificación del electrodo, diámetro del electrodo, técnica de depositación (posición y dirección de aplicación), precalentamiento, postcalentamiento, rangos de los voltajes y amperajes, limpieza, equipo auxiliar y tiempo de ejecución de la soldadura.

Una vez revisado el procedimiento escrito, se procedió a su aplicación, realizando una soldadura de acuerdo con los parámetros y variables indicadas en el procedimiento de soldadura, con la finalidad de obtener una soldadura con la sanidad, soldabilidad y propiedades mecánicas que cumpliera con las normas, estándares y especificaciones aplicables a este proyecto.

Como parte de las actividades desarrolladas, se incluye el atestigüamiento de la ejecución del procedimiento para reparación de soldaduras, el cual cumplió con lo indicado en los párrafos anteriores, verificando que esta se efectuase de acuerdo con lo indicado en el procedimiento escrito y registrando los parámetros de ejecución de la soldadura en un formato similar al mostrado en la figura 1.

Una vez concluida la soldadura, se examinó visualmente con el fin de detectar y rechazar defectos obvios. Como el resultado de la inspección visual fue aceptable, se procedió a inspeccionar mediante la técnica radiográfica de acuerdo con los criterios establecidos en API-1104, los cuales se describen en la parte 2.6.3. Como el resultado fue satisfactorio, se cortaron los especímenes para las pruebas destructivas, tal y como se menciona en la sección 2 inciso 2.2.5 de este trabajo, los cuales se enviaron al laboratorio de ensayos mecánicos del IMP, en donde se evaluaron de acuerdo con API-1104, el resultado también fue satisfactorio, por lo que no fue necesario realizar otra calificación.

Con las variables y parámetros del procedimiento calificado, todas las reparaciones de las soldaduras de este proyecto se realizaron tal y como fue calificado el procedimiento de soldadura, sin realizar modificación alguna al mismo.

3.2.1 Variables de calificación de procedimiento

La compañía contratista calificó los procedimientos de soldadura propuestos de acuerdo a los códigos aplicables, conforme al equipo típico que se va a utilizar en las operaciones de campo.

Todos los equipos de soldadura, materiales de aporte, instrumentos de registro y equipos de pruebas necesarios para realizar la calificación, fueron revisados por el personal de la supervisión; durante la ejecución de la soldadura.

Las variables de calificación de procedimiento fueron las establecidas por los códigos API-1104, ANSI/ASME B 31.3 y B 31.8, con las siguientes restricciones:

- a) El agrupamiento de diámetros de tubería fue aprobado por la supervisión.
- b) En la calificación de procedimientos de soldadura se usaron los espesores de tubería mayores.
- c) No fue necesario realizar la calificación por separado para electrodos de diferente marca comercial, grupo o composición química, ya que los electrodos empleados durante la calificación de los procedimientos de soldadura, son los mismos a emplear durante la realización de las soldaduras de campo.
- d) No fue necesaria la calificación por separado para unir materiales de especificación o grado diferentes, ya que los materiales a emplear en este proyecto están cubiertos con los procedimientos calificados.
- e) No fueron requeridas las pruebas de calificación de procedimientos separados para tuberías de diferentes fabricantes, ya que solo hubo un proveedor de la tubería.

3.2.2 Recalificación del procedimiento de soldadura

Variables Esenciales

Un procedimiento de soldadura deberá ser recalificado cuando se modifique alguna de las siguientes variables:

- a) Proceso de soldadura (de un proceso de gas o de soldadura de arco a otro proceso de gas u otra soldadura de arco manual, de manual a semiautomático o automático o una combinación de ambos).
- b) Material de la tubería.
- c) Diseño de la junta, de ranura en "V" a ranura en "U", etc.
- d) Posición de aplicación de soldadura (para soldadura a tope solamente, un cambio de vertical a horizontal o viceversa).
- e) Espesor de pared de la tubería. Un cambio de grupo de espesor de pared a otro grupo.
- f) Metal de aporte, de un grupo de clasificación a otro.
- g) Dirección de aplicación de soldadura, ascendente o descendente o viceversa.
- h) Gas protector, de un gas a otro o de una mezcla diferente de gases.

Una vez que todos los procedimientos de soldadura fueron calificados y no habiendo ningún cambio en las variables esenciales mostradas en los incisos anteriores, no fue necesario la recalificación.

3.2.3 Especificación de la tubería

Antes de iniciar la aplicación de soldadura se realizó la inspección visual de la tubería, corroborando los datos que se tienen en el estencilado (diámetro del tubo, espesor del tubo, grado de acero del tubo, longitud, número de colada, número de aceptación, etc.), los cuales fueron verificados y corroborados con el certificado de calidad de la tubería, en el cual están incluidos los resultados de las pruebas a las cuales fue sujeta (análisis Químico, Inspección Radiográfica, Inspección Ultrasónica, Prueba Hidrostática, etc.), así como el reporte de las reparaciones que se realizaron.

La información indicada en los certificados de calidad de las tuberías, cumplió con lo especificado por la ingeniería de diseño del proyecto. Cuando alguno de los certificados de calidad no cumplió con lo indicado por la ingeniería, estos materiales fueron retirados para no utilizarse en el proyecto.

3.2.4 Diseño de la junta

Una vez que se terminó de revisar la documentación de la tubería, se procedió a verificar las actividades del corte de carretes de aproximadamente 12" de longitud. En uno de los extremos de cada carrete se prepararon los biseles, de acuerdo a lo indicado en el procedimiento de soldadura (existen diferentes tipos de biseles, entre los cuales los más comunes son el bisel en "V", "doble V", "K" y "U"). Para el caso específico de este proyecto, los procedimientos de soldadura empleados, emplean el tipo de bisel en "V", el cual se realizó con una biseladora automática de antorcha o de un buril preparados ambos para realizar biseles que cumplan con un ángulo de $30^\circ \pm 5^\circ$, definido en el procedimiento de soldadura. Después se afinaron manualmente con un pulidor, cuando se terminaron, se verificó que los biseles cumplieran con lo establecido en el procedimiento de soldadura (limpios, libres de grasas, pinturas y aceites, así como con los ángulos de los biseles de acuerdo a como está establecido en el procedimiento de soldadura), esta inspección se realizó visualmente y con ayuda de un escantillón o gages de soldadura, los cuales tienen marcas referenciales de los ángulos de los biseles.

Cuando se encontró alguna desviación en cuanto al ángulo de los biseses estos fueron corregidos; además, cuando se encontraron daños mayores a 1.27 mm (0.050 pulg) de profundidad en los biseses, estos fueron reparados por esmerilado o limado, y si el bisel modificado en el hombro de raíz excedía de las tolerancias del procedimiento de soldadura, el extremo del tubo era cortado y rebiselado antes de poder ser utilizado para la realización de una soldadura (ver fotografía 9).

3.2.5 Alineación

Después de tener los biseses de acuerdo a como lo indica el procedimiento de soldadura, se procedía a realizar la alineación de 2 carretes dejando entre ellos una abertura de raíz tal y como la que esta marcada en el procedimiento de soldadura, la cual podía ser verificada mediante el uso de un gage o escantillón. Se tenía especial cuidado durante la alineación, tomando en cuenta que las soldaduras longitudinales de cada tramo de tubería quedarán localizadas en la parte media superior de la soldadura, así como también que quedaran separadas o giradas una de otra 30.48 cm (12 pulg.) ó 30°, lo que fuera menor (ver la fotografía 10 y la figura 21).

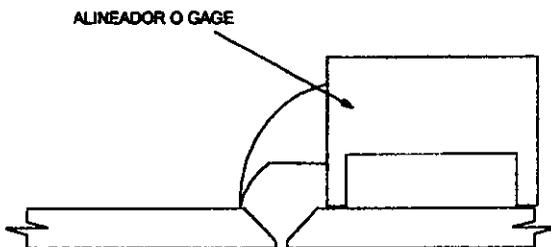


Figura 21.- Croquis mostrando la Alineación de 2 secciones mediante un Gage o Escantillón de Soldadura

3.2.6 Proceso de soldadura

La soldadura se aplicó de acuerdo con los procedimientos calificados, ya sea en proceso manual o semiautomático, cumpliendo además con lo establecido en el código API-1104.

Durante el proceso de aplicación de soldadura, se verificó el precalentamiento del material como lo indica el procedimiento de soldadura, así como también se verificó la temperatura entre pasos (entre el depósito de un cordón de soldadura y otro), mediante el uso de termopares digitales o de lápices térmicos, teniendo cuidado de que no se excedieran las temperaturas establecidas, ya que esto podría ir en el decremento de las propiedades mecánicas de la soldadura y el material (ver fotografías 11 y 12).

También durante todo el proceso de aplicación de soldadura se verificaron las características eléctricas (tipo de corriente, polaridad, voltajes y amperajes (ver fotografía 13), posición de la soldadura (5G), dirección de aplicación de la soldadura (Ascendente, Descendente), velocidad de aplicación (esta puede ser variable entre un soldador y otro, sin embargo se pueden tomar referencias para la aplicación de la soldadura tomando un mínimo y un máximo), cumpliendo con lo establecido en el procedimiento a calificar, además de que entre los pasos de aplicación de soldadura se supervisó que se realizara una limpieza adecuada.

Todos los detalles de cada procedimiento de soldadura calificado, fueron anotados en registros que mostraban los resultados completos de las pruebas de calificación, los procedimientos fueron similares a los mostrados en la figura 1.

Al finalizar la soldadura, ésta fue inspeccionada visualmente, a fin de determinar los defectos que se pudiesen encontrar en la superficie (Socavados Externos, Poros, Coronas Bajas, Fisuras, etc.) o en el interior de esta dependiendo de la accesibilidad que se tenía (Faltas de Penetración, Quemadas, Socavados Internos, Concavidades en la Raíz, Penetración Excesiva, etc.), los cuales debían cumplir con lo establecido en el código o norma aplicable (ver fotografía 14).

3.2.7 Pruebas para soldaduras a tope.

3.2.7.1 INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA.

Las soldaduras de calificación de procedimiento fueron radiografiadas, usando la técnica y el procedimiento radiográfico que será utilizado también durante las operaciones de soldadura de campo. Estas fueron evaluadas por personal acreditado en la técnica radiográfica como nivel II como mínimo, conforme al código aplicable.

Tanto los procedimientos de inspección como la documentación del personal técnico, fueron revisados sin emitirse comentarios.

3.2.7.2 ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Una vez que se ha realizado la inspección radiográfica y esta ha sido evaluada conforme a lo establecido en el código aplicable y los resultados han demostrado que la soldadura cumple con las tolerancias establecidas en cuanto a la sanidad de la soldadura, se procedió a marcar y cortar los especímenes para las pruebas de Tensión, de Doblez de Cara y de Raíz, así como también las de Sanidad (Nick-Break).

Los especímenes fueron cortados de acuerdo a como esta indicado en la figura 3, con las dimensiones y las cantidades mínimas mostradas en la tabla 2, además, los especímenes fueron preparados como se muestra en las figuras 4, 5, 6 y 7, al final se dejaron enfriar al aire a temperatura ambiente, antes de que fueran probados.

3.2.7.3 ENSAYO DE TENSIÓN

El espécimen para la prueba de Tensión midió aproximadamente 228.6 mm (9 pulg) de largo y 25.4 mm (1 pulg) de ancho y fue cortado con gas oxiacetileno. Los especímenes fueron maquinados para que los lados estuviesen lisos, pulidos y paralelos.

El espécimen de prueba de Tensión fue roto bajo una carga de tensión. El esfuerzo de resistencia a la tensión se obtuvo dividiendo la carga máxima a la rotura entre el área menor de la sección transversal del espécimen medido antes de aplicar la carga.

El esfuerzo de resistencia a la tensión de la soldadura, que incluye la zona de fusión de cada espécimen, fue mayor que el esfuerzo de resistencia a la tensión mínimo especificado para la tubería que fue empleada durante el ensayo, por lo cual la prueba fue aceptada.

Esta prueba se realizó en el laboratorio del IMP, los resultados fueron revisados e integrados en el Registro de Calificación del Procedimiento (PQR o CPS) como soporte de este Procedimiento de Soldadura (WPS o EPS).

3.2.7.4 PRUEBA DE SANIDAD O NICK-BREAK

El espécimen para la prueba de sanidad midió aproximadamente 228.6 mm (9 pulg.) de largo y 25.4 mm (1 pulg.) de ancho. Esta fue cortada con gas oxiacetileno. La soldadura fue ranurada con una segueta de manera longitudinal en cada uno de los costados de la probeta, cada ranura media aproximadamente 3.18 mm (1/8 pulg.) de profundidad.

Como el proceso de soldadura empleado es semiautomático, y el espécimen para la prueba de la sanidad ha sido preparado de la forma descrita arriba, puede que la falla pudiese ocurrir en el material base en vez de la soldadura, solo en estos casos la soldadura deberá ranurarse a una profundidad que no exceda de 1.59 mm (1/16 pulg.).

El espécimen fue fracturado de la siguiente forma: con una máquina para aplicar tensión, sujetando uno de los extremos y golpeando el otro.

El área expuesta de la fractura cumplía con el mínimo de 19.05 mm (3/4 pulg) de ancho, la superficie expuesta de cada espécimen mostraba una fusión y penetración completa, no excedieron las tolerancias permitidas; de 6 cavidades de gas por pulgada cuadrada, la dimensión máxima de estas cavidades no debería exceder de 1.59 mm (1/16 pulg) y las longitudes de las líneas de escoria no deberían exceder de 0.79 mm (1/32 pulg) de espesor y una longitud no mayor de 3.18 mm (1/8 pulg) o la mitad del espesor de la pared nominal, lo que fuera menor.

Esta prueba se realizó en el laboratorio del IMP, los resultados fueron revisados e integrados en el Registro de Calificación del Procedimiento (PQR o CPS) como soporte de este Procedimiento de Soldadura (WPS o EPS).

3.2.7.5 PRUEBA DE DOBLEZ DE RAÍZ Y DOBLEZ DE CARA

El espécimen para la prueba de sanidad media aproximadamente 228.6 mm (9 pulg) de largo y 25.4 mm (1 pulg) de ancho y todos los lados estaban redondeados. Estas se cortaron con gas oxiacetileno.

El cordón de la soldadura de raíz y el de vista fueron eliminados al ras del material base, estas superficies se pulieron evitando al máximo las ralladuras. El espécimen fue doblado en una guía dobladora para prueba, cada soldadura se colocó en la matriz con la soldadura al centro. El espécimen para prueba de doblez de cara se colocó con la cara de la soldadura directamente hacia la abertura, el espécimen para la prueba de doblez de raíz se colocó con la raíz de la soldadura directamente hacia la abertura. El émbolo fue forzado dentro de la abertura hasta que la curvatura del espécimen tomó la forma de una U.

La prueba de raíz y de cara se consideró aceptable, ya que no hay presencia de grietas u otros defectos que excedan de 3.18mm (1/8 pulg), o la mitad del espesor nominal de la pared, lo que sea menor. Las grietas que se originaron en las orillas a lo largo del espécimen y que eran menores a 6.35 mm (¼ pulg.) no se consideraron para efectos de rechazo.

Esta prueba se realizó en el laboratorio del IMP, los resultados fueron revisados e integrados en el Registro de Calificación del Procedimiento (PQR o CPS) como soporte de este Procedimiento de Soldadura (WPS o EPS).

3.2.7.6 PRUEBA DE DOBLEZ LATERAL

El espécimen para la prueba de sanidad media aproximadamente 228.6 mm (9 pulg) de largo y 25.4 mm (1 pulg) de ancho y de todos los lados estaban redondeados. Estas se cortaron con gas oxiacetileno.

El cordón de la soldadura de raíz y de vista se eliminó al ras del material base, estas superficies se pulieron evitando al máximo las ralladuras. El espécimen se dobló en una guía dobladora para prueba, cada soldadura se colocó en la matriz con la soldadura al centro. El espécimen para la prueba de doblez lateral se colocó con la cara de la soldadura a 90°

con respecto a la abertura. El embolo se forzó dentro de la abertura hasta que la curvatura del espécimen tomó la forma de una U.

La prueba de doblez lateral se consideró aceptable, ya que no hay presencia de grietas u otros defectos que excedan de 3.18 mm (1/8m pulg), o de la mitad del espesor nominal de la pared, lo que sea menor. Las grietas que se originaron en las orillas a lo largo del espécimen y que eran menores de 6.35 mm (1/4 pulg) no se consideraron para efectos de rechazo.

3.2.7.7 PRUEBA DE IMPACTO "CHARPY"

Se preparo un juego de 3 probetas de tamaño estándar (10 X 10 mm), para cada calificación, las probetas fueron tomadas en forma perpendicular a la soldadura circunferencial, incluyendo material de soldadura y zona afectada por el calor, el criterio de aceptación para las probetas de pruebas de impacto "CHARPY" es:

ENERGIA ABSORBIDA

GRADO	PROMEDIO MÍNIMO JOULES (Lb-ft)	INDIVIDUAL MÍNIMO JOULES (Lb-ft)
X-52	35 (25.8)	28 (20.6)
X-56	41 (30.2)	31(22.9)
X-60	44(32.4)	33(24.4)

La temperatura de prueba será de 10° C y las pruebas deberán desarrollarse de acuerdo a lo indicado en la especificación API-5L Apéndice SR-5 (procedimiento de ejecución de pruebas de impacto en tuberías).

Esta prueba se realizó en el laboratorio del IMP, los resultados fueron revisados e integrados en el Registro de Calificación del Procedimiento (PQR o CPS) como soporte de este Procedimiento de Soldadura (WPS o EPS).

3.2.7.8 PRUEBA DE HIDROGENO INDUCIDO

Para servicio de conducción de gas amargo se requiere que los procedimientos de soldadura incluyan pruebas de agrietamiento inducido por hidrógeno (HIC) de acuerdo a la norma NACE TM-02-84 y la especificación PEMEX TSA-001 ultima edición.

La prueba consiste en sumergir una serie de probetas que incluyan material base, material de la zona afectada por el calor y material de soldadura en una solución de agua de mar saturada con ácido sulfúrico (H₂S 2900 ppm) con un PH de 5, durante un periodo de 96 horas como mínimo, pasado este tiempo se hará una evaluación visual de las posibles fracturas que se presenten en los materiales, además se realizará un examen metalográfico, con objeto de determinar el tipo de inclusiones no metálicas y su distribución, tamaño de grano y porcentaje de perlita, para finalmente compararlos con los parámetros establecidos en ASTM E-45 y ASTM E-112.

Esta prueba se realizó en el laboratorio del IMP, los resultados fueron revisados e integrados en el Registro de Calificación del Procedimiento (PQR o CPS) como soporte de este Procedimiento de Soldadura (WPS o EPS).

3.2.7.9 PRUEBAS DE DUREZA

Se realizaron tres ensayos de dureza en la sección transversal de una probeta obtenida de la soldadura, a intervalos de 100 mm extendiéndose desde el depósito de soldadura a través de la zona afectada por calor y hasta el metal base, la máxima dureza obtenida no fue mayor al 10% de la dureza del material base.

Esta prueba se realizó en el laboratorio del IMP, los resultados fueron revisados e integrados en el Registro de Calificación del Procedimiento (PQR o CPS) como soporte de este Procedimiento de Soldadura (WPS o EPS).

Una vez completadas todas las pruebas y certificadas por una tercera, se emitió la aprobación formal de procedimiento de reparación de soldadura para ser utilizado en las reparaciones durante la construcción de la línea.

3.3 PRUEBAS DE CALIFICACIÓN DE SOLDADORES.

Cada soldador deberá pasar la prueba de calificación de soldadores usando un procedimiento de soldadura calificado, para aquella porción o fase de soldadura que este soldador vaya a efectuar, las soldaduras de prueba deberán cumplir con los estándares de aceptabilidad de inspección visual, de inspección radiográfica y las pruebas mecánicas de acuerdo al código API-1104, ANSI/ASME B 31.3 Y B 31.8, un soldador deberá recalificarse si en un lapso de seis meses no realiza soldaduras empleando el procedimiento calificado, a todos los soldadores se les deberá asignar un número de identificación y deberá contar con credencial de identificación aprobada por la empresa certificadora. (ver fotografías 2, 3, 4, 5 y 6).

3.4 LANZAMIENTO Y TENDIDO DE TUBERÍA.

Antes de iniciar las actividades de lanzamiento se deberá de informar a la supervisión, para realizar una revisión de equipo, del personal y la documentación disponible en el área de trabajo.

Una vez que la revisión se realizó y esta cumplió satisfactoriamente, la compañía contratista pudo iniciar las actividades de construcción.

3.4.1 Actividades Previas al Lanzamiento.

Antes de iniciar las actividades del lanzamiento, se tenía que cumplir con ciertos requisitos contractuales, los cuales se describen a continuación y que fueron atendidos por la compañía constructora antes del inicio de los trabajos:

- a) Para la construcción de la pera de lanzamiento se deberán considerar zapatas con rodillos protegidos con neopreno de alta densidad, para evitar daños en el lastre de concreto.
- b) El alineamiento de los rodillos y el ángulo de inclinación de los mismos, se deberá realizar con apoyo de equipo de precisión (topográfico).
- c) La compactación en el área de las zapatas de cada uno de los rodillos deberá ser tal, que no permita el asentamiento de los mismos durante el periodo de lanzamiento de la tubería
- d) Las estaciones de soldadura deberán estar protegidas de viento, lluvia, polvo, etc., la iluminación deberá ser la adecuada, equipada con tableros que permitan la medición de amperajes y voltajes de las máquinas de soldar que se estén utilizando. Cada una de las estaciones deberá tener una copia de los procedimientos de soldadura certificados, además deberá contar con hornos portátiles para conservar la soldadura a la temperatura adecuada. Los soldadores deberán portar su credencial de identificación certificada.
- e) La estación de radiografiado deberá tener alarmas sonoras visibles y letreros para su rápida identificación conforme a las especificaciones.

- f) Todo el personal deberá usar casco, zapatos de seguridad y ropa de tránsito (uniforme).
- g) Todas las estaciones deberán estar identificadas con números de 30 X 50 cm y los letreros de prevención de riesgos distribuidos en toda el área.
- h) Los equipos como tractores, trascabos, grúas, bulldozer, etc., deberán contar con alarmas sonoras y audibles, como prevención al personal, así como deberán estar delimitadas las áreas de tránsito de los equipos pesados.
- i) Todo el equipo como máquinas de soldar y maquinaria deberán tener aisladores de ruido.

3.4.2 Actividades durante el proceso de lanzamiento y tendido de tubería

Durante las actividades del lanzamiento, se tenía que cumplir con ciertos requisitos contractuales, los cuales se describen a continuación y que fueron atendidos por la compañía constructora durante los trabajos:

- a) Todos los tramos de tubería serán movilizados a la primera estación utilizando estobos protegidos, para evitar dañar la protección anticorrosiva, se realizará la limpieza de polvo, oxido, etc., de los biseles utilizando esmeril y cardas.
- b) El alineador deberá ser conforme a lo especificado en el procedimiento de soldadura.
- c) Se debe contar con el equipo necesario como esmeriles, cardas, multiflamas, etc., para llevar a cabo la aplicación de la soldadura.
- d) El personal de control de calidad de la compañía deberá estar equipado con todos los instrumentos de medición (escantillones, micrómetros, microtest, etc.).
- e) Después de haber iniciado la aplicación de soldadura, no se podrá realizar ningún movimiento en las tuberías en las que se esté aplicando soldadura, sin antes haber completado el 100% del deposito de los 2 primeros cordones de soldadura (primer paso de soldadura también llamado "Cordón de Fondo o de Raíz" y el segundo paso también llamado "Cordón de Paso Caliente" (ver Figura 22) sin antes haber completado al 100% la aplicación del fondo y del paso caliente), ya que en la práctica se ha observado la presencia de fisuras.

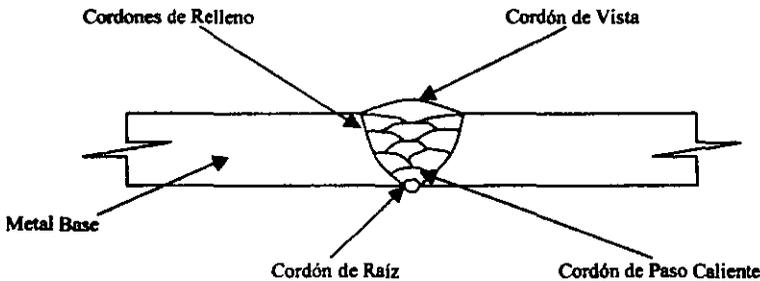


Figura 22.- Identificación de los Cordones de Soldadura

- f) En el caso de pérdida del lastre de la tubería, la compañía contratista deberá evaluar y, en conjunto con la supervisión se deberá determinar si la integridad de la instalación no corre riesgo siempre y cuando el área dañada no exceda de 1 pie cuadrado (900 cm cuadrados).
- g) Para el caso de daños a la protección anticorrosiva, la compañía deberá presentar a la supervisión un procedimiento de reparación, para su evaluación y posterior aceptación, implementando los comentarios que se hayan indicado.

- b) Se debe realizar la limpieza de la junta de campo, conforme a la norma y/o procedimiento establecido (sandblasteo, ver fotografía 15), a fin de garantizar que la aplicación de la protección anticorrosiva sea la adecuada.
- i) En la estación de aplicación de la protección mecánica de la junta de campo, no se permitirá el uso de un material diferente al utilizado para la protección anticorrosiva de la línea regular (ver fotografías 16 y 17), ya que esta podría provocar una incompatibilidad o falta de adherencia entre diferentes productos.
- j) Concluida la aplicación de la protección anticorrosiva de la junta, se deberá pasar el detector de fallas, para localizar poros y/o imperfecciones, en el caso de localizarse fallas estas deberán repararse y se realizarán muestreos para confirmar la adherencia del producto utilizado (ver fotografía 18).
- k) Se instalarán juntas kilométricas, para la corrida del diablo instrumentado, y las zapatas con opresores cada 250 mts, para la interconexión al sistema de protección catódico de acuerdo a lo dispuesto por ingeniería (ver fotografía 19).
- l) Todas las soldaduras realizadas con tubería lastrada, deberán rellenarse al 100% con poliuretano, conformando la cavidad con lamina galvanizada calibre 22 y fijándose con fleje de 1 1/4" (ver fotografías 20 y 21) con la finalidad de garantizar la protección contra el choque térmico de una unión soldada al entrar en contacto con el agua.

3.4.3 Tránsito de Lingadas a través de canales navegables.

Durante la construcción de la línea, se construyen lingadas o secciones de líneas de aproximadamente 1.5 kilómetros de longitud, los cuales se encuentran sellados por sus extremos, cuando se está fabricando la lingada, antes de que esté en contacto con el agua, se colocan una serie de flotadores o tambos sellados, cuya finalidad es la de hacerla flotar, para posteriormente realizar el movimiento de esta por medio de remolcadores y lanchas, hasta el lugar en donde se posicionará finalmente (ver fotografía 22).

La compañía tenía las boyas necesarias para realizar el lanzamiento de la tubería semiflotada. Dentro del procedimiento de lanzamiento se considero el cálculo para determinar la cantidad y el espaciamiento de los flotadores. Es responsabilidad del constructor la geometría y el diseño del flotador, considerando los tirantes de agua que se tienen a lo largo del lanzamiento.

3.4.4 Posicionamiento de la Línea

Cuando se han completado todas las acciones a realizar sobre las lingadas y se ha verificado que la línea se encuentra sobre el trazo sobre el cual fue proyectada su construcción, se procede a desflejar los tambos o flotadores a fin de que la línea se hunda (ver fotografía 23).

Un grupo de buzos serán los encargados de verificar que la línea se deposite en los lugares adecuados, evitando que estas puedan quedar sobre otras líneas que estén en el mismo canal, también serán ellos, los encargados de verificar la total recolección de tambos, flotadores y flejes que se desprendan durante el posicionamiento de la línea.

El retiro de flotadores se realizó conforme al procedimiento, previa señalización de los ductos ya existentes y el alineamiento del nuevo ducto con apoyo del distanciometro, los buzos retiraron los flotadores y confirmaron la posición de la línea, con respecto a la tubería existente. Al final la compañía contratista entrego los planos del alineamiento de la tubería con respecto a las líneas existentes en el canal.

3.4.5 Obras Especiales

Cuando se ha llevado cada lingada hasta el lugar en donde quedará finalmente posicionada, se procede a realizar las Obras Especiales, esto es, realizar la unión de 2 lingadas.

Primero se realiza el levantamiento de cada extremo de las lingadas con la finalidad de poder realizar todas las maniobras fuera del agua, previamente se han diseñado una serie de equipos y accesorios que faciliten realizar esta actividad (Chalanes con guas y pontones). Posteriormente se procede a realizar el corte de los tapones de cada lingada mediante el uso de Equipos de corte con oxígeno, después se procede a realizar la preparación de biseles de acuerdo a como está establecido en el párrafo 2.4.4.2, para la posterior aplicación de soldadura, teniendo en cuenta que esta se deberá realizar de acuerdo con un procedimiento previamente establecido y calificado.

Al igual que las soldaduras que se han realizado en la pera de lanzamiento, estas soldaduras también deberán ser probadas mediante Ensayos No Destructivos (Radiografía, Ultrasonido y Dureza), las cuales también deberán cumplir con los criterios de aceptación establecidas para cada prueba.

También se denominan Obras Especiales, a los trabajos desarrollados en cruces de ríos y en la interconexión de líneas existentes, todas ellas deberán también de cumplir con procedimientos de soldadura calificados y deberán aprobar los ensayos no destructivos que apliquen en cada caso.

Durante el periodo de construcción debe considerarse la limpieza continua, así como la recuperación de desechos a lo largo de la trayectoria del lanzamiento.

3.5 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA EN EL AREA DE LANZAMIENTO

3.5.1 Inspección y limpieza de la tubería

Antes de la alineación, el interior de cada tramo de tubería se encontró libre de objetos extraños (pintura, óxidos, escorias, etc.), los daños mayores a 0.050 pulg. (1.27 mm) de profundidad en los biseles fueron reparados por esmerilado o limado, cuando el bisel modificado, el hombro de la raíz excede las tolerancias del procedimiento de soldadura, el extremo del tubo se cortó y se biseló nuevamente.

Se cortaron y biselaron algunos tubos para mantener el correcto alineamiento y espaciamiento de la tubería, todos los biseles de la tubería se realizaron con biseladoras de antorcha o de buril. El biselado manual con antorcha no es permitido, ya que los biseles de campo deben ser similares a los biseles de fábrica, las quemadas de arco en la superficie del tubo y en los biseles fueron eliminados de la superficie dañada mediante un procedimiento aprobado.

3.5.2 Reparación de las superficies del tubo

Antes de la alineación, el tubo se inspeccionó para detectar defectos que pudieran afectar la vida útil de la tubería, en algunos casos, en los cuales se presentaron arrancaduras, ranuras, muescas, con profundidades mayores a 1/16 pulg. (1.58 mm), estas fueron removidas por esmerilado siempre y cuando el espesor remanente de la pared no fuera menor del 92% del espesor nominal especificado, cuando el área defectuosa excede de esta profundidad, el área del defecto fue cortado del tubo cuando fue posible o en otros casos se rechazó la tubería de la línea de producción, las abolladuras con profundidades mayores a 1/4 pulg. (6.35 mm) no son permitidas en la tubería y tienen que ser removidas por corte, además de que está prohibido sacar las abolladuras por medio de martillo y/o por medio de gatos hidráulicos.

3.5.3 Alineamiento de tubería antes de la aplicación de soldadura

Todas las juntas, excepto como aquí se indica, fueron alineadas con alineador interno, para alineamiento de empates, soldaduras de curvas y en interconexiones o en válvulas de seccionamiento, trampas de diablo o condiciones especiales, se podrá hacer uso del alineador externo solo si se aprueba su uso y la supervisión lo juzgue conveniente.

Al efectuar las uniones circunferenciales las costuras longitudinales quedaron giradas unas de otras por lo menos 12 pulg. (304.8 mm) o 30° y orientadas de tal manera que quedaran en la mitad superior del tubo.

Se cuidó que la distancia entre soldaduras circunferenciales no fuera menor que el equivalente de 3 diámetros; en el caso de tuberías de línea regular, los carretes de longitudes iguales o mayores de 3 diámetros estaban espaciados y soldados entre tuberías de longitud nominal.

Solo en los casos en los que su empleo fue requerido, el martillo que tenía una cara suave (aleación de níquel) se uso al mínimo, después de haberse iniciado la aplicación de soldadura en el paso de raíz, no se permitió el uso del martillo ni el uso de fuerzas externas (gatos, winches u otro equipo) para lograr el alineamiento de los tubos.

3.6 PROCESO DE SOLDADURA

El proceso de soldadura a utilizar estará en función de los resultados satisfactorios que se obtengan, durante el proceso de calificación de procedimientos de soldadura.

Para este proyecto muy en particular las soldaduras se realizaron bajo los proceso de arco eléctrico con el electrodo revestido (SMAW) Shielded Metal Arc Welding y el proceso de alambre tubular con fundente interior Inner Shield (FCAW), Flux Copper Arc Welding.

3.6.1 Soldadura de campo

La compañía contratista suministró las máquinas de soldar, alineadores, biseladoras, electrodos de soldadura, y todo el equipo y material usados en conexión con las actividades de soldadura, los procedimientos y soldadores estaban debidamente aprobados por la supervisión antes de iniciar la producción de soldaduras, las velocidades de aporte no excedieron a aquellas usadas durante las pruebas de calificación de procedimiento, el voltaje y el amperaje no variaron en más del 10% de los fijados en el procedimiento calificado.

La tubería se soldó en la posición horizontal fija, las abrazaderas o grapas de aterrizamiento fueron de acero y tenían contacto sólido con el tubo para prevenir la posibilidad de quemaduras de arco, los alineadores internos no eran removidos hasta que se hubo completado al 100 % el paso de raíz, en casos de severa restricción la supervisión estableció la realización del paso caliente antes de remover el alineador.

El lapso de tiempo máximo entre los pasos de soldadura no excedió al de la calificación del procedimiento, cuando menos se realizaban tres pasos completos una vez que la soldadura era iniciada, en el caso de suspender la soldadura se calentaba a un mínimo de 100 °C antes de reiniciar la soldadura, para diámetros de tuberías mayores a 16 pulg. se indicó que se requería de un mínimo de dos soldadores.

En la instalación de accesorios y en los cambios de espesores de pared, se realizó la unión por medio empleando un cordón interior, para realizar este tipo de soldaduras en las que se requiera del cordón interior la compañía contratista presentó su procedimiento calificado.

En los procedimientos de soldadura se especificaron las clasificaciones AWS de todos los materiales de aporte, los cuales se encontraban debidamente protegidos para evitar deterioros, aquellos en los cuales se encontró daño por almacenamiento o mal manejo, fueron rechazados y su uso fue prohibido durante el proyecto.

3.6.2 Pre calentamiento

Se efectuó un pre calentamiento de las soldaduras cuando se presentó alguno de los casos siguientes:

- a) Una condición que afecta la soldabilidad de la tubería es la temperatura ambiente y la humedad relativa, se deberá precalentar a un mínimo de 212 °F (100 °C) antes de iniciar la soldadura, y mantenerla al menos durante los tres primeros pasos.
- b) Cuando se suelden secciones de espesores gruesos como bridas, válvulas y conexiones, etc.
- c) Cuando se presenten vientos fuertes o lluvias.
- d) Cuando así lo especifique el procedimiento de soldadura.

Se deberá utilizar equipo multiflamo que proporcione calor uniforme sin que afecte la protección mecánica de la tubería.

3.6.3 Relevado de esfuerzos

Se realizó el relevado de esfuerzos a todas aquellas juntas que por diseño de ingeniería así lo marquen o conforme a lo estipulado en los códigos ANSI/ASME B-31.3 y ANSI/ASME B-31.8 última edición, para el caso particular de este proyecto y de acuerdo con los códigos anteriormente mencionados, se realizará el relevado de esfuerzos en aquellos materiales de acero al carbono, clasificados como PI con espesores mayores a 19 mm. (0.750 pulg), los cuales se mantendrán a una temperatura de 1100 – 1200 °F (593 – 648 °C), durante 1 hora como mínimo, incrementando el tiempo del relevado de esfuerzos durante 1 hora por pulgada adicional de espesor.

3.6.4 Reparaciones en soldaduras

Las reparaciones en soldaduras se realizaron con los procedimientos y soldadores calificados bajo la presencia de la supervisión, la máxima longitud de reparación a realizar se realizó conforme a los códigos API-1104, ANSI/ASME B-31.3 y ANSI/ASME B-31.8, últimas ediciones, según aplique.

Los defectos como roturas o fisuras solo se repararon, cuando la compañía contratista presentó el procedimiento calificado para su realización y aun así la supervisión se reservó el derecho para autorizar dichas reparaciones dependiendo de la dimensión, localización y tipo de rotura.

Las quemadas de arco en la superficie del tubo y fuera del bisel fueron retiradas de la superficie dañada de acuerdo a un procedimiento previamente calificado.

3.6.5 Otros

La compañía contratista elaboró carretes representativos durante el proceso de tendido de la tubería, el primero en la junta 10, y los posteriores a cada 100 juntas, la supervisión podrá disminuir el número de carretes, dependiendo de los resultados que arrojen las pruebas, se realizaron pruebas destructivas y no destructivas a las soldaduras conforme a los códigos API-1104 en laboratorios metalúrgicos, para corroborar que las soldaduras se están realizando de acuerdo a como fue calificado el procedimiento de soldadura.

3.7 INSPECCION Y PRUEBAS EN SOLDADURAS

3.7.1 Ensayos No Destructivos

Los ensayos no destructivos son herramientas esenciales y fundamentales para el control de calidad de las soldaduras realizadas. La inspección y pruebas en las soldaduras deberán cumplir con lo estipulado en la última edición del código ASME Boiler and Pressure Vessel Sección VIII o por el estándar API-1104 Standard for Welding Pipelines.

Las soldaduras ejecutadas en tuberías se probaron mediante pruebas no destructivas, como son la Inspección Radiográfica, Inspección Ultrasónica y Pruebas de Dureza, las cuales se efectuaron en proporción al número de soldaduras, clase de localización de la soldadura y tipo de construcción.

Para los ensayos no destructivos se han establecido tres niveles básicos de calificación. Estos niveles pueden ser subdivididos por la empresa contratante o por un comité nacional para cubrir situaciones específicas en las que se requiera de habilidades adicionales o de responsabilidades más específicas. Los niveles básicos de calificación son:

- a) **Aprendiz.-** Es el individuo que está en proceso de capacitación para ser calificado y certificado, por definición se dice que es la persona en entrenamiento para adquirir los conocimientos y la habilidad necesarias para efectuar un ensayo no destructivo específico y que no podrá realizar por sí solo una inspección; interpretar o evaluar una indicación ni emitir un reporte de resultados antes de concluir sus periodos de capacitación teórico y práctico, además de aprobar su examen de calificación.
- b) **Nivel I.-** Es aquel individuo que ha sido capacitado y ha demostrado estar debidamente calificado para ejecutar correctamente calibraciones de los equipos, inspecciones y evaluaciones específicas de acuerdo con instrucciones escritas de la técnica de la inspección para la cual fue calificado y para registrar los resultados adecuadamente. El inspector Nivel I puede o no emitir un veredicto de resultados; la respuesta dependerá del contenido y de las responsabilidades que estén establecidas en su procedimiento interno (SNTC-IA). Su trabajo deberá ser supervisado por un técnico nivel II ó III.
- c) **Nivel II.-** Es aquel individuo que ha sido capacitado y ha demostrado estar debidamente calificado para efectuar correctamente las actividades antes mencionadas de un nivel I. Además está calificado para ajustar y calibrar equipos, para interpretar y evaluar los resultados con respecto a los códigos, normas, estándares o especificaciones aplicables. Además, está familiarizado con el alcance y limitaciones del procedimiento; prepara instrucciones escritas, organiza, controla y reporta los resultados de las inspecciones no destructivas para las cuales fue calificado.
- d) **Nivel III.-** Es aquel individuo que ha sido capacitado y ha demostrado estar debidamente calificado para realizar correctamente las actividades definidas para los niveles I y II, establecer formas de inspección para interpretar códigos, normas, estándares o especificaciones, así como para diseñar el procedimiento y la técnica particular a utilizar. Es responsable de las operaciones de inspección no destructiva para las cuales fue calificado y de las cuales está encargado. Está capacitado para evaluar los resultados con respecto a los códigos, estándares y especificaciones existentes.

El nivel III debe tener un conocimiento general sobre los materiales, métodos y tecnologías de fabricación que le permitan establecer la técnica a emplear durante la inspección no destructiva y para asesorar en la selección de los criterios de aceptación cuando estos no estén definidos. Deberá estar familiarizado con los demás métodos de inspección no destructiva. También puede ser el responsable y estar capacitado para impartir el entrenamiento y aplicar los exámenes para la certificación de niveles I y II.

3.7.1.1 ENSAYO RADIOGRAFICO

Las placas radiográficas de las soldaduras tienen indicadas las referencias necesarias para la identificación y localización de la junta de campo, como son: sistema de tubería, diámetro, tramo o parte del sistema inspeccionado, kilometraje, número progresivo de la junta, etc., de manera que la soldadura en cuestión y cualquier discontinuidad en ella pueda ser localizada precisa y rápidamente, en las placas radiográficas deberá aparecer visiblemente el penetrómetro correspondiente.

El personal técnico encargado de tomar, revelar e interpretar radiografías de uniones soldadas, así como el de reportar los resultados de la inspección, presentó la documentación que lo acredita como técnico calificado en inspección no destructiva de acuerdo al estándar SNT-TC-1A de ASNT.

Los niveles de calificación se dan para cada método de inspección no destructiva y son establecidos en función de los conocimientos, la experiencia práctica y responsabilidades que tiene el individuo al realizar una inspección, tal y como se definió anteriormente en el punto 3.7.1.

3.7.1.2 EVALUACION RADIOGRAFICA

Para la evaluación de las películas radiográficas, estas se observaron por medio de un negoscopio de luz blanca de intensidad fija o variable, el cual debe contar con pantallas que eviten la proyección de luz por las orillas de la película.

La interpretación de las películas se efectuó en un cuarto en penumbra que evite el reflejo de luz desde el acetato de la película.

El personal que efectuó la interpretación de la película estaba calificado como nivel II en método radiográfico y estaba familiarizado con el proceso de manufactura de la pieza analizada.

Las radiografías de referencia de la norma ASTM E-390 pueden ser empleadas para la interpretación de las discontinuidades.

La medición del diámetro o la longitud de las indicaciones, se efectuó haciendo uso de una regla transparente graduada en mm.

3.7.1.3 EVALUACION DE RESULTADOS

Los niveles de aceptación y rechazo de discontinuidades y defectos se establecieron de común acuerdo con el cliente con base a las normas aplicables al producto inspeccionado, además de que esto ya estaba establecido en los anexos del contrato.

Los niveles de evaluación empleados están establecidos en las especificaciones. El cliente puede asumir la responsabilidad de los defectos reportados como fuera de especificación y que no sean reparados.

3.7.1.4 ENSAYO ULTRASONICO

La inspección ultrasónica se realizó para confirmar la presencia de indicaciones rechazables que anteriormente fueron detectadas durante la inspección radiográfica. Esta inspección es de tipo volumétrico, mediante esta técnica se podrá determinar la localización exacta del defecto (profundidad y ancho del mismo), posteriormente después de haber efectuado la reparación de la zona con defectos, se podrá realizar una nueva inspección para corroborar la completa eliminación del defecto y así garantizar la sanidad de la soldadura.

La inspección ultrasónica se realizó por un técnico nivel II, el cual puede interpretar y evaluar los resultados obtenidos conforme a los códigos, normas o especificaciones aplicables.

Cuando los procedimientos de soldadura establezcan la inspección mediante los ensayos con Líquidos Penetrantes, Partículas Magnéticas o Prueba de Dureza, estas se deberán realizar conforme a procedimientos previamente establecidos, los cuales cumplirán con lo establecido en las normas aplicables. El personal que realice estas actividades deberá estar calificado como un técnico nivel II en la técnica que según aplique.

Se presentaron reportes de avance, en conjunto con los reportes de inspección radiográfica, ultrasónica y de prueba de dureza, así como los reportes de campo de todas las soldaduras realizadas, debidamente firmados y sellados por el certificador. Se utilizaron formatos similares a los mostrados en las figuras 24, 25 y 26.

3.7.1.5 ESTÁNDARES DE ACEPTABILIDAD EN SOLDADURAS

Los estándares de aceptabilidad son aplicables para la determinación del tamaño y tipo de defectos localizados por el método radiográfico y otros métodos de prueba no destructivos. Pueden ser también aplicados para la inspección visual, pero no deben ser usados para determinar la calidad de las soldaduras, ésta se logra sometiendo la soldadura a pruebas destructivas. Todas las irregularidades que sean detectadas durante las pruebas deberán ser registradas.

Como los métodos de pruebas no destructivas arrojan solamente resultados dimensionales, aplicando otro procedimiento es posible rechazar soldaduras que parecen cumplir con los estándares de aceptabilidad, cuando se descubre que la profundidad del defecto puede afectar la resistencia de la soldadura.

Las soldaduras rechazadas deben ser reparadas o eliminadas de acuerdo a lo que establezca la última edición del código aplicable, los defectos de soldadura que han sido reparados, deben ser nuevamente sometidos a inspección por el método previamente usado, una soldadura podrá ser reparada como máximo 2 veces, esto es con la finalidad de evitar el sobrecalentamiento en las zonas afectadas por el calor (ver Figura 23) y por consecuencia la variación de las propiedades mecánicas de los materiales.

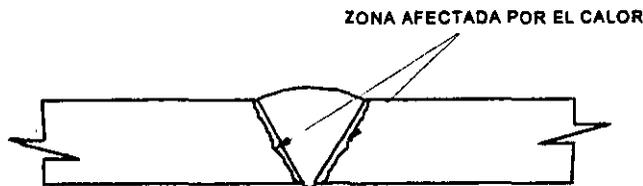


Figura 23.- Esquema de una soldadura mostrando la zona afectada por el calor

REPORTE DE INSPECCION RADIOGRAFICA

REPORTE No.: _____ **PROYECTO:** _____
CLIENTE: _____ **LUGAR:** _____
CODIGO: _____ **FECHA:** _____

No.	IDENTIFICACION DE LA RADIOGRAFIA	RESULTADO		DEFECTOS	OBSERVACIONES	SIMBOLOGIA DEL DEFECTO
		BUENA	MALA			
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

C: CONCAVIDAD EN METAL BASE
CB: CORONA BAJA
CR: CONCAVIDAD EN LA RAIZ
LE: LINEA DE ESCORIA
IE: INCLUSIONES DE ESCORIA
FF: FALTA DE FUSION
FP: FALTA DE PENETRACION
P: POROSIDADES
Q: QUEMADAS
R: RECHUPE
RMB: ROTURA EN METAL BASE
RS: ROTURA EN SOLDADURA
S: SOCAVADOS
DS: DEBALINEAMIENTO DE SOLDADURA
NOTA: CUALQUIER SIMBOLO CIRCUNDADO NECESITARA DE OTRO CORDON DE SOLDADURA

 INSPECTOR
 N-II

 Vo. Bo.

 CLIENTE

Figura 24.- Formato de Reporte de Inspección Radiográfica

REPORTE DE INSPECCIÓN CON LÍQUIDOS PENETRANTES

CLIENTE:	O.T.
OBRA:	PROYECTO:

IDENTIFICACIÓN DE LA PIEZA:	LOCALIZACIÓN:
ÁREA DE INSPECCIÓN:	ACABADO SUPERFICIAL:
TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE:	LONGITUD DE LA SOLDADURA:
TIPO DE ILUMINACIÓN:	PROCEDIMIENTO : GOEAA-PND-004
CÓDIGO:	

PRELIMPIEZA		PENETRANTE		REMOVEDOR		REVELADOR	
MARCA		MARCA		MARCA		MARCA	
TIPO		TIPO		TIPO		TIPO	
LOTE No.		LOTE No.		LOTE No.		LOTE No.	
	T. DE APLIC.		T. DE SEC.		T. DE REV.		

CROQUIS DEL ÁREA O PIEZA:	INDICACIONES RELEVANTES NO RELEVANTES

OBSERVACIONES.

RESULTADOS:	DICTAMEN:
-------------	-----------

INSPECTOR NIV. II

FECHA

CLIENTE

IMP

Figura 26.- Formato de Reporte de Líquidos Penetrantes

3.7.1.6 PRUEBA HIDROSTÁTICA

Una vez que se han concluido todas las actividades de aplicación de soldadura y se han realizado todos los Ensayos No Destructivos sobre la línea, se procederá a realizar la Prueba Hidrostática en la línea, la cual consiste en llenar toda la línea de agua y comenzar a levantar la presión hasta alcanzar 1.5 veces la presión de operación bajo la cual fue diseñada la línea, la cual se mantendrá así durante 24 Horas.

Para que este tipo de prueba quede documentada totalmente se requerirá adicionalmente del uso de indicadores de presión (manómetros), registradores de presión (manógrafos) y de indicadores de temperatura (termómetros), la grafica obtenida del registrador de presión deberá ser similar a las lecturas obtenidas de los manómetros, los cuales se instalarán al principio y al final de la línea y sus lecturas se reportarán a intervalos de 1 hora para corroborar las lecturas obtenidas, a fin de detectar las posibles pérdidas de presión que se pudiesen presentar.

Debe tomarse en cuenta que cuando se tengan periodos tan largos de sostenido de presión, la temperatura del medio ambiente efectuará variaciones de presión, pues al disminuir la temperatura durante la noche la presión de la línea disminuirá ligeramente, pero cuando se incremente la temperatura durante el día la presión aumentara hasta alcanzar la presión de prueba.

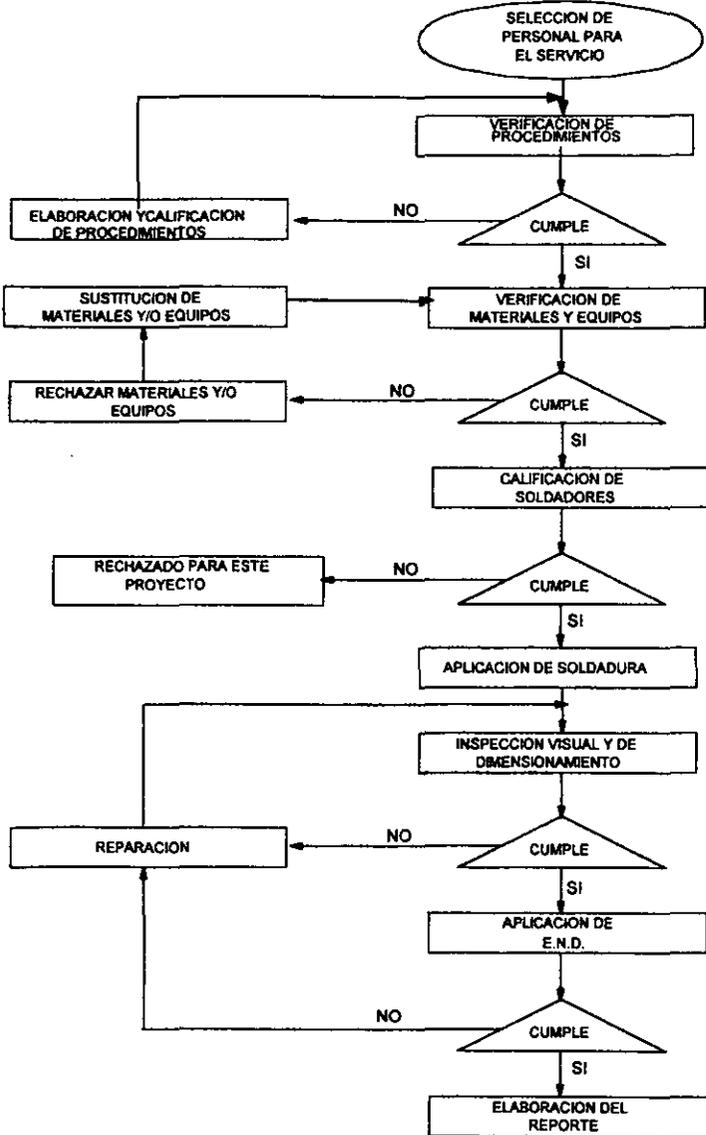
Cabe mencionar que todos los instrumentos de medición empleados presentaron sus certificados de calibración vigentes, para garantizar que las lecturas obtenidas son correctas.

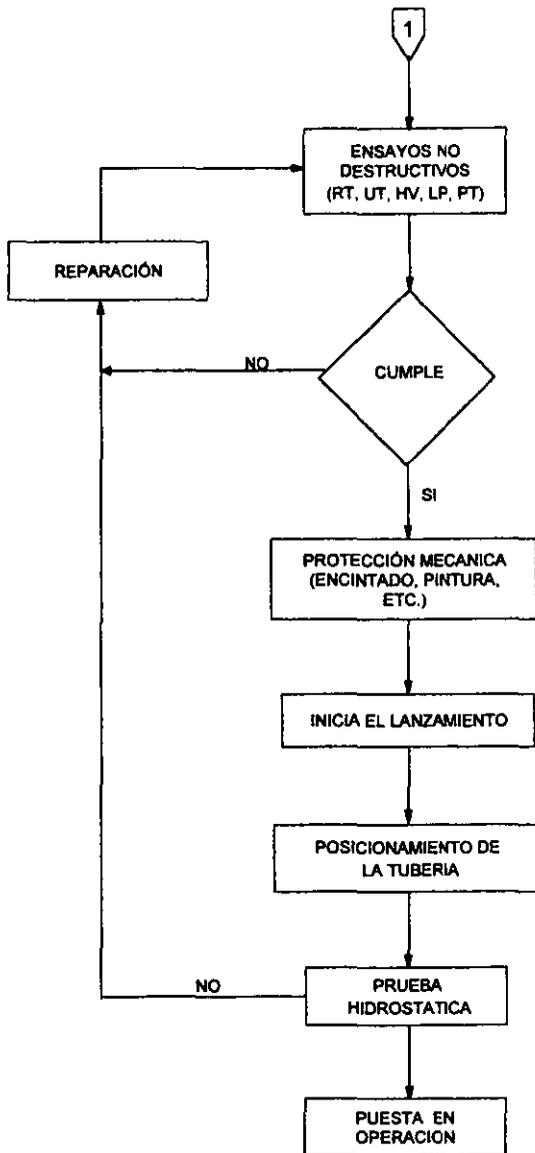
En caso de presentarse fugas o pérdidas de presión se deberá realizar un recorrido a lo largo de la línea a fin de determinar la causa para su posterior reparación, cualquier reparación realizada en la línea deberá de cumplir con lo indicado en el punto 3.6.4, al finalizar la reparación.

Una vez que la línea ha sido probada hidrostáticamente y no se han reportado variaciones de presión que sean causa de investigación, se dará como aceptada esta prueba y la línea podrá ser vaciada y limpiada mediante equipos instrumentados, para posteriormente ser utilizada en el servicio para el cual fue construida.

3.8 RESUMEN GENERAL DEL PROCEDIMIENTO DE SUPERVISIÓN

El resumen del método quedara resumido en el siguiente diagrama de flujo:





3.10 ARCHIVO FOTOGRAFICO

En el presente archivo fotográfico se muestra el desarrollo de la construcción de una Línea Regular, a través de este, se podrá observar lo que es y lo que significa cada una de las etapas que intervienen en el desarrollo de un proyecto de tal magnitud, además, sirve para tener un panorama más amplio de las actividades que se realizaron y que están estrechamente relacionadas con lo que se describe al inicio de este trabajo.

Al inicio de este archivo fotográfico se podrá encontrar el trazo por el cual tendrá que ser construida la Línea Regular, en el cual se puede observar que necesariamente este tipo de trabajo se tiene que realizar en un área de lanzamiento de tubería, la cual tiene que ser lastrada y flotada para realizar su tránsito a través de los canales navegables y ríos hasta su posicionamiento final.

También en este archivo fotográfico están incluidas algunas fotos que muestran las actividades que se desarrollan para realizar la construcción de la línea. Se puede ver la manera en que se realiza la preparación de un carrete para la calificación de procedimientos de soldadura así como también para la calificación de soldadores y las pruebas que se realizan para poder obtener soldaduras con la calidad y con los requerimientos necesarios para garantizar la integridad de estas y la de la línea en general.

Asimismo también se incluyen algunas fotografías del sistema de protección mecánica y de protección catódica que se le da a las áreas con soldaduras circunferenciales y al sistema en general.

Al final de cada fotografía se realiza una breve descripción de lo que se muestra en cada una de ellas, para poder tener un mejor entendimiento del significado de actividades antes mencionadas.

Cabe hacer la mención, que las fotografías de este archivo muestran situaciones muy comunes que ocurren durante la construcción de una Línea Regular, pero suelen sucederse situaciones también, en las que la experiencia y el buen juicio de las personas que realizan la supervisión de dichas actividades, apegados a las normas y los códigos aplicables, no se reflejan en este archivo fotográfico.

Algunas de estas situaciones que se pueden mencionar son los cruces direccionales de los ríos, en los cuales se están empleando nuevas técnicas de construcción que no son mencionados en las normas, otro de ellos suele ser, el considerar las delimitaciones de donde inicia y donde termina la aplicación de un código o norma dentro de una misma Línea Regular.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 1

Línea Regular.

Esta fotografía nos muestra el trazo general de manera esquemática del tramo 1, de un Gasoducto de 36" de diámetro Atasta - Ciudad Pemex, y que va desde la Estación de Compresión en Atasta, Campeche y llega hasta el Margen Izquierdo del Río Usumacinta, el cual es la primer parte del proyecto con 44 Km. de longitud.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 2

Prueba de Calificación de Habilidad de Soldador.

La presente fotografía nos muestra un carrete de 36" de diámetro y 0.875" de espesor para la calificación de habilidad de un soldador, el cual deberá de realizar su prueba usando un procedimiento de soldadura previamente calificado, la posición del carrete es para una calificación de soldador con un grado de dificultad 5G, esta es la posición más usual para la calificación de soldadores en una línea regular.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO

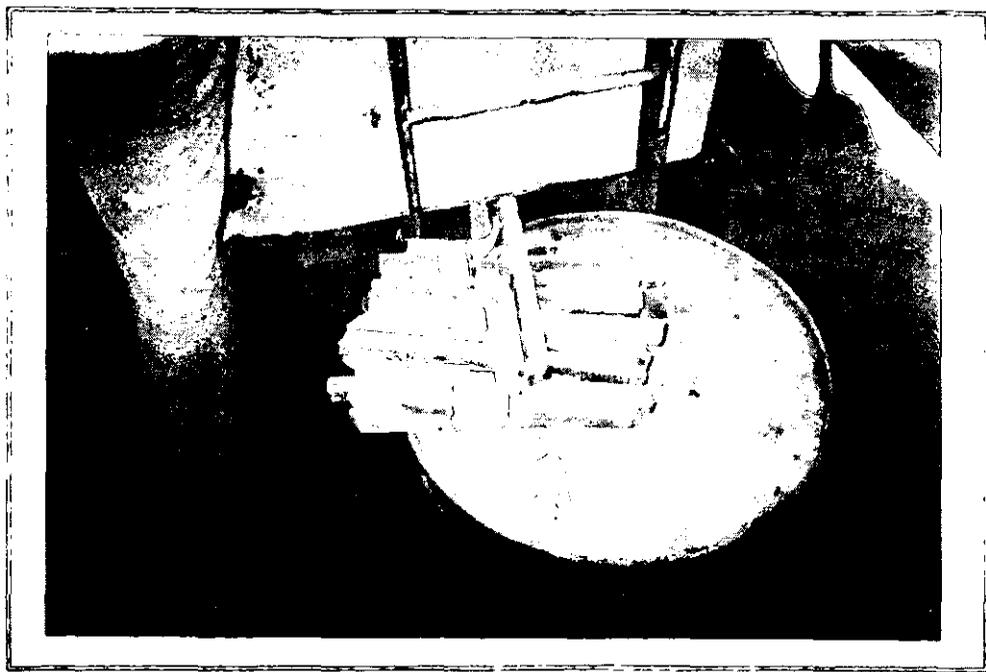


FOTOGRAFÍA No. 3

Prueba de Calificación de Habilidad de Soldador.

Aquí en esta fotografía se puede observar a un soldador realizando su prueba de calificación de habilidad, en particular para esta fotografía se puede ver que la posición de calificación es 5G y que además el proceso de soldadura que está aplicando es el de FCAW, el cual está siendo realizado conforme a un procedimiento de soldadura escrito, previamente calificado. Esta prueba siempre deberá ser atestiguada por el personal del departamento de control de calidad de la compañía constructora, el personal de la supervisión, así como también por el Representante de la compañía certificadora.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 4

Probetas para Pruebas Mecánicas.

Después de que los resultados de Inspección Visual e Inspección Radiográfica han sido satisfactorios, se procede a obtener las probetas para la realización de las pruebas mecánicas (Doblez de Raíz, Doblez de Cara, Tensión y Sanidad Nick-Break), la selección de la cantidad de probetas y de pruebas a realizar dependerá del diámetro de la tubería y del espesor del material a soldar, en algunos casos se requerirá de otro tipo de pruebas que estarán en función del producto que se vaya a conducir a través de la línea (ver Tabla 3).

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



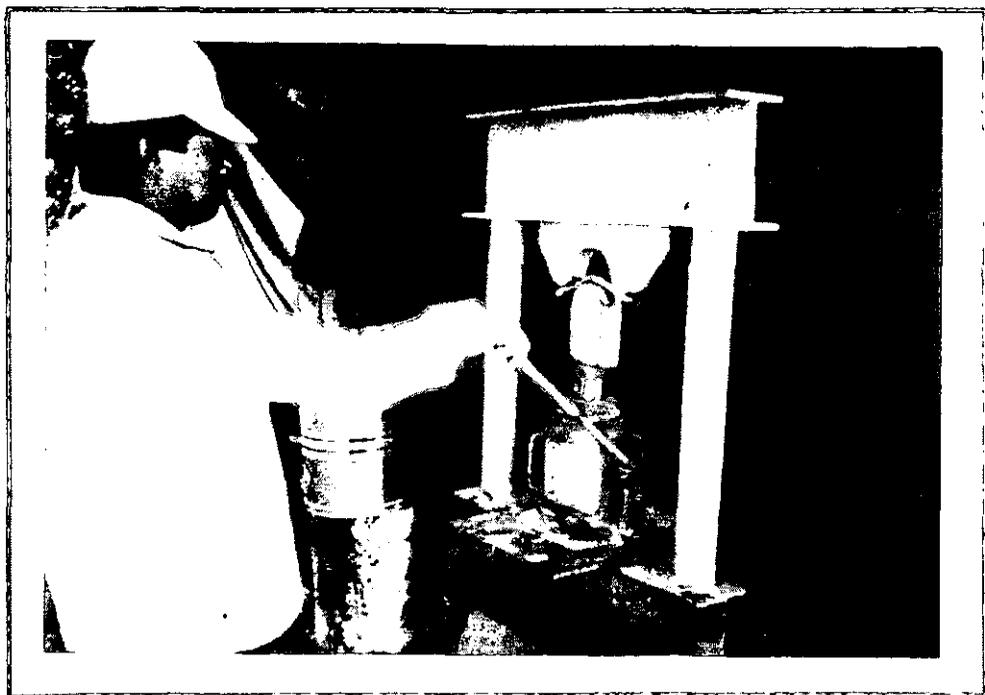
FOTOGRAFÍA No. 5

Prueba de Resistencia a la Tensión.

Este tipo de prueba se realiza en campo solo para las calificaciones de soldador, las calificaciones de procedimiento de soldadura se deberán realizar estrictamente en laboratorios metalúrgicos.

Una soldadura realizada conforme a un procedimiento de soldadura calificado, deberá romper en metal base cuando este sujeto a una carga axial de tensión, por las características del equipo con el que se cuenta en campo no es posible determinar los valores de resistencia a la tensión del material ensayado.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 6

Prueba de Dobleza de Raíz o de Cara.

Esta prueba también realizada en campo, es considerada aceptable cuando no se presentan grietas al finalizar la prueba y que otros defectos no excedan de $1/8''$ (3.17 mm) o la mitad del espesor nominal de la pared del material a ensayar, cualquiera que sea menor, en cualquier dirección en la soldadura o entre la soldadura y la zona de fusión después del doblado.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO

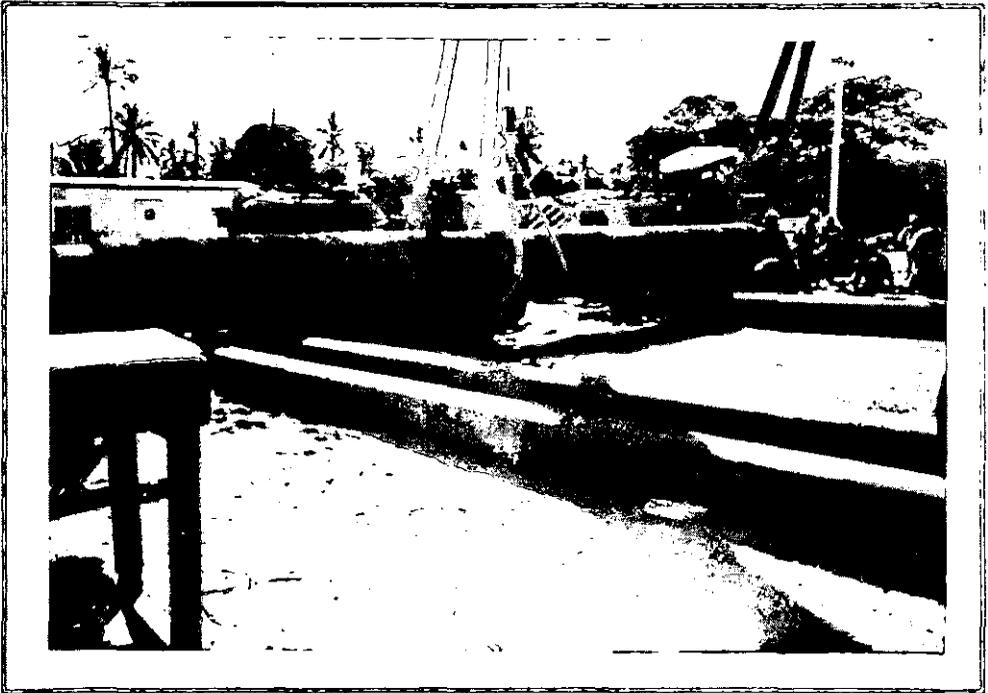


FOTOGRAFÍA No. 7

Estibamiento de la tubería.

Debido al peso de la tubería mas el lastre, estos deberán de estibarse en camas no mayores a 2, para evitar el posible daño del lastre. El lastre es el material que proporciona el peso necesario para evitar que cuando una línea este fuera de operación y se encuentre sumergida en agua, no flote y no se muevan de su posicionamiento original.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 8

Equipo de Trabajo.

Tractores pluma preparando la cama de tubería que va a ser empleada durante el lanzamiento (lanzamiento término así denominado a la construcción de una línea la cual es flotada y conducida a través de canales navegables, lagunas, ríos o mares hasta su posicionamiento final).

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 9

Equipo para preparar biseles.

La Biseladora, es una maquina semiautomática o automática que realiza los biseles para la preparación de la junta que se va a soldar, los cuales deberán ser afinados con un equipo manual, estos a su vez deberán cumplir con las especificaciones que están marcadas en el procedimiento de soldadura en cuanto al diseño de la junta (ángulo del bisel, hombro y abertura de la raíz).

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 10

Equipo de Alineación Interna.

La fotografía nos muestra a un equipo neumático de alineación interna entre 2 tramos de tubería, el procedimiento de soldadura calificado deberá describir si el alineador utilizado será interno, externo o que no lo requiera. (El equipo mostrado es el mas comúnmente usado durante la construcción de una línea).

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 11

Pre calentamiento de la junta a soldar.

Personal de la compañía deberá realizar al inicio de cada soldadura el pre calentamiento con un equipo de gas y oxígeno (multiflamo) hasta alcanzar la temperatura marcada en el procedimiento de soldadura, la temperatura podrá ser verificada con el uso de lápices térmicos o con termopares digitales.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 12

Verificación del Pre calentamiento.

Personal de la compañía constructora, así como el personal de la supervisión (por monitoreo) deberán verificar la temperatura del material base en una zona muy cercana a la zona a soldar, mediante el uso de lápices térmicos o termopares digitales.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 13

Durante la aplicación de la soldadura deberán verificarse los amperajes y voltajes de salida, esto se realiza con la finalidad de verificar que la soldadura, se realice dentro de los rangos en los que fue calificado el procedimiento de soldadura.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 14

Soldadura concluida.

Cuando se concluye una soldadura, esta es revisada por inspección visual para realizar las correcciones que sean necesarias para posteriormente pasarse a inspección radiográfica para observar su sanidad interna, la cual será evaluada conforme al código aplicable. La prueba de radiografía deberá cumplir con un procedimiento previamente calificado y aceptado, así como también el personal que realiza estas actividades deberá estar acreditado como nivel I o nivel II.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 15

Sandblasteo. (Limpieza con chorro de arena)

Finalmente cuando una soldadura ha sido aceptada en las pruebas no destructivas de Radiografía y Ultrasonido, se realizara la protección mecánica de la soldadura y áreas adyacentes para evitar la corrosión externa del material. En la fotografía se observa el Sandblasteo de la junta. mediante la proyección de arena a alta presión, hasta dejar una limpieza a metal blanco (libre de escorias, grasas, pinturas, etc.), la limpieza también deberá cumplir con un cierto grado de anclaje de acuerdo a un procedimiento aceptado.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 16

Equipo de Inducción.

Este tipo de equipo tiene la finalidad de calentar por inducción, mediante el empleo de una resistencia, el área en donde se aplicará el polvo de fusión bond (recubrimiento epóxico), para la aplicación de la protección anticorrosiva.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 17

Equipo para Aplicación de Fusion Bond.

El Fusion Bond es un tipo de recubrimiento epóxico o protección mecánica, que se emplea para evitar que la tubería se encuentre directamente en contacto con el agua o con la tierra, lo cual aceleraría el proceso de corrosión de la tubería, en esta fotografía se observa el uso del equipo para la aplicación del fusion bond.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 18

Prueba de Continuidad.

La prueba de continuidad en el recubrimiento epóxico "FBE" (fusion bond epoxic) sirve para verificar la continuidad de la película de FBE, en caso de tener fallas estas deberán de marcarse y repararse, para así evitar que estos actúen como puntos de corrosión, el equipo funciona formando un circuito eléctrico, en el momento en el que se realiza contacto directo con el metal se cierra el circuito y se escucha una alarma audible, indicando el punto de la falla.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 19

Zapatas para protección catódica.

La colocación de las zapatas deberá realizarse soldando esta al metal base. En estas se colocara el cableado para realizar la protección catódica de la línea (en el proyecto que se esta realizando estas se decidieron colocar a cada kilómetro, además de que sirven también como puntos de referencia).

ARCHIVO FOTOGRÁFICO

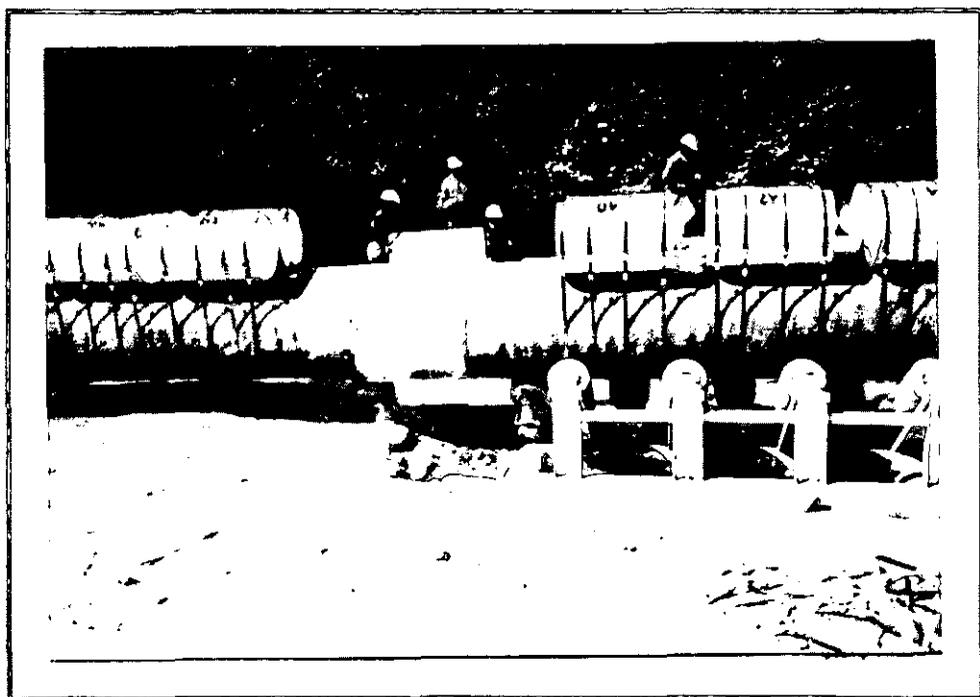


FOTOGRAFÍA No. 20

Proceso de Aplicación de Poliuretano.

En la presente fotografía podemos observar la aplicación de la mezcla de poliuretano líquido dentro del molde formado por la lamina flejada, para la protección de la tubería, así como para evitar el choque térmico cuando la soldadura este en contacto con el agua.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 21

Vista final de una junta soldada recubierta con poliuretano, así como la tubería con tambos flejados.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 22

Vista de un Remolcador y de la lingada entrando al canal navegable.

ARCHIVO FOTOGRÁFICO



FOTOGRAFÍA No. 23

Vista del Canal Navegable

Después de que se ha realizado el posicionamiento de la línea, el canal deberá de quedar libre de objetos (flotadores, tambos y flejes) que puedan afectar la integridad de la flora y la fauna de la región.

PARTE 4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 Resultados

La participación del Instituto Mexicano del Petróleo "IMP", durante la ejecución de este proyecto fue satisfactoria, ya que se realizó un seguimiento a detalle, durante cada una de sus etapas de desarrollo.

Como parte de las actividades que realicé dentro de este proyecto, a continuación se indican los resultados de las actividades en las cuales mi participación se hizo de manera directa.

- **Revisión Documental.**- Del total de procedimientos que se presentaron para su revisión, participé en la revisión de los procedimientos de pruebas no destructivas, de la compañía de inspección Mexicana de Radiografías así como la documentación del personal técnico Nivel I y II, todos ellos de acuerdo con lo establecido en las normas y estándares aplicables.

También se revisó parte de la documentación de los certificados de calidad de las tuberías, accesorios y materiales de aporte a emplear, en el cual se verificó el cumplimiento de éstos de acuerdo con las especificaciones aplicables, cabe mencionar que todas las tuberías y accesorios, ya venían debidamente liberados por personal del IMP, que realizó la inspección en el patio de fabricación.

- **Inspección Visual de Materiales y Soldaduras.**- Se revisaron un total de 3711 tramos de tuberías y accesorios, así como 3756 soldaduras a lo largo de toda la línea, debido a que los frentes de trabajo fueron varios, primero tuve participación en la pera de lanzamiento No 1 y posteriormente en la 3, así como también en los cruces direccionales de los ríos San Pedro y Usumacinta, para dar un total de 658 tramos de tuberías y accesorios, además de 667 soldaduras, verificando el cumplimiento de lo establecido en los códigos y especificaciones aplicables al proyecto, ayudándonos a no tener ningún rechazo por causa de defectos visuales en los materiales y a disminuir el tiempo de ejecución entre soldaduras, evitando rechazos posteriores durante la inspección radiográfica por defectos superficiales.
- **Verificación del empleo de máquinas de soldar calibradas.**- Dentro de la pera de lanzamiento se tenían un total de 20 máquinas de soldar, las cuales durante el transcurso del día, se monitoreaban verificando las lecturas de los amperajes y voltajes durante la ejecución de las soldaduras, los cuales debían cumplir con los rangos indicados en los procedimientos de soldadura calificados, garantizando así que el sobrecalentamiento de los materiales no se presente, además de favorecer la disminución de la generación de defectos por el empleo de voltajes y amperajes fuera de los rangos establecidos (Faltas de fusión "FF", Faltas de Penetración "FP", Traslapes en Frío "TF", Socavados Internos "SI", Socavados Externos "SE", Quemadas "Q", etc.).
- **Calificación de Procedimientos de Soldadura.**- De un total de 8 procedimientos de soldadura empleados en el proyecto, se verifico la calificación de 2 de ellos, uno para soldaduras de filete CAS-008, con proceso SMAW y el otro para reparación de soldaduras CAS-004, en tuberías de línea de 36" de diámetro y 0.875" de espesor, los cuales se realizaron de acuerdo a como está establecido en el procedimiento de calificación propuesto, verificando que las lecturas de los amperajes y voltajes se encuentren dentro de los rangos indicados, ambos procedimientos aprobaron las pruebas no destructivas y destructivas requeridas.

<p>CAS-004 Procedimiento para Reparación de soldaduras de línea</p> <p>Requerimientos</p> <p>Inspección Visual</p> <p>Inspección Radiográfica</p> <p>Pruebas de Doblez Lateral *</p> <p>Pruebas de Doblez de Cara *</p> <p>Pruebas de Doblez de Raíz *</p> <p>Pruebas de Dureza *</p> <p>Pruebas de HIC *</p>	<p>CAS-008 Procedimiento para Soldaduras de Filete</p> <p>Requerimientos</p> <p>Inspección Visual</p> <p>Pruebas de Doblez Lateral</p> <p>Prueba de Macroataque</p>
---	---

* Pruebas realizadas en un Laboratorio Metalúrgico

Como resultado, no hubo retrabajos ni tampoco pérdida de tiempo o aumento de los costos programados para estas actividades.

- **Calificación de Soldadores.-** De un total de 186 pruebas de soldador realizadas, solo calificaron 135 soldadores en los 8 procedimientos de soldadura, siendo rechazados 51 de ellos.

Dentro de las actividades realizadas, se atestiguó la calificación de 7 soldadores con el procedimiento CAS-002 para soldaduras de línea de 36" de diámetro y 0.875" de espesor, con proceso SMAW-FCAW, además de 4 con el procedimiento CAS-004 para reparación de soldaduras de línea también con el proceso de soldadura SMAW, además de los 2 que calificaron los procedimientos CAS-004 y CAS-008, para un total de 13 pruebas de calificación de soldador y un total de 4 rechazados, todos ellos en el procedimiento CAS-002, 3 de ellos por la falta de limpieza durante la aplicación de la soldadura y 1 más por defectos en la soldadura (porosidades).

- **Aplicación de Soldadura.-** Se llevo a cabo una revisión a detalle del cumplimiento de los procedimientos de soldadura calificados, verificando que además estos fueran realizados por soldadores debidamente calificados.

De un total de 3756 soldaduras realizadas en los 5 frentes de trabajo, directamente estuve en la pera de lanzamiento 01 con un total de 238 soldaduras con una longitud de 2896 metros de longitud, en la pera de lanzamiento 03 con un total de 364 soldaduras para una longitud de 4421 metros de longitud, en el cruce del Río San Pedro con un total de 23 soldaduras y 280 metros de longitud y el Cruce del Río Usumacinta con un total de 42 soldaduras y una longitud de 510 metros de longitud, en todas ellas se verificó lo señalado en el punto de Inspección Visual de Soldaduras.

De las 667 soldaduras que se verificaron, 635 se realizaron con el procedimiento calificado CAS-002 para tubería de línea de 36" de diámetro y 0.875" de espesor con proceso de soldadura SMAW-FCAW (API-1104), 32 se realizaron con el proceso CAS-003 para tuberías de proceso de 24" de diámetro y 1.219" de espesor con proceso de soldadura SMAW (ANSI/ASME B31.3), además de que se realizo el atestiguamiento de 48 reparaciones en tubería de línea con el procedimiento calificado CAS-004 en tuberías de línea de 36" de diámetro y 0.875" de espesor, con proceso de soldadura SMAW (API-1104).

- **Pruebas No Destructivas.-** Se realizo la revisión de los reportes radiográficos, los reportes de inspección ultrasónica y los reportes de durezas, que aplican para las 667 soldaduras realizadas.

Todas las soldaduras se inspeccionaron al 100 % mediante inspección radiográfica, la inspección ultrasónica y la medición de durezas se realizo en 66 soldaduras (1 cada 10 soldaduras), los resultados de las inspecciones, así como la frecuencia de incidencia de los defectos como se muestra en la tabla de control de lanzamiento de la pera 3, el cual es un extracto del reporte final del control del lanzamiento elaborado por el IMP, además de las tablas y las graficas que se muestran a continuación:



INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
SUBDIRECCION DE CAPACITACION Y SERVICIOS TÉCNICOS
AREA DE TECNOLOGIA DE MATERIALES
GASODUCTO DE 36" X 92 KM. DE ATASTA A CD. PEMEX (TRAMO 1 ATASTA - USUMACINTA)
CONTRATISTA AGUILAR SILVA **PROYECTO P-022-11-74**

CONTROL DE LANZAMIENTO EN LA PERA 3

FECHA	FECHA	JUNTA	No. DE TUBO	COLADA	LONGITUD ANTERIOR (m)	No. DE ZAPATAS	DOBLES JUNTAS	REPARACIÓN	AVANCE		DEL DIA (m)	ACURRIADO (m)
									TURNO			
									PRIMERO	SEGUNDO		
16/01/97	16/01/97	0	1792	265855					12.37			
SUMA	SUMA				0		0		12.37	0	12.37	12.37
17/01/97	17/01/97	1	1155	560129					12.16			
SUMA	SUMA				12.37		0		12.16		12.16	24.53
18/01/97	18/01/97	2	1159	265137					12.16			
		3	1158	660131					12.36			
SUMA	SUMA				24.53		0		24.52		24.52	49.05
19/01/97	19/01/97	4	1053	264599					12.42			
SUMA	SUMA				49.05		0		12.42		12.42	61.47
20/01/97	20/01/97	5	11.34	265274					12.17			
SUMA	SUMA				61.47		0		12.17		12.17	73.64
21/01/97	21/01/97	6	1163	264695					12.42			
		7	1808	560152					12.17			
SUMA	SUMA				73.64		0		24.59		24.59	98.23
23/01/97	23/01/97	8	1844	265851				P(50-53)	12.42			
		9	1680	264893				LE(-1-4)(27-30)	12.41			
SUMA	SUMA				98.23		2		24.83		24.83	123.06
24/01/80	24/01/80	10	1849	165388					12.42			
		11	1667	164787					12.26			
		12	1860	265033					12.41			
		13	1848	265007					12.17			
SUMA	SUMA				123.06		2		49.28		49.28	172.34

CONAVP3.DESCA CONAVP3 DI
 001

HOJA 1

Extraído del reporte final del control de lanzamiento, elaborado por el personal del IMP



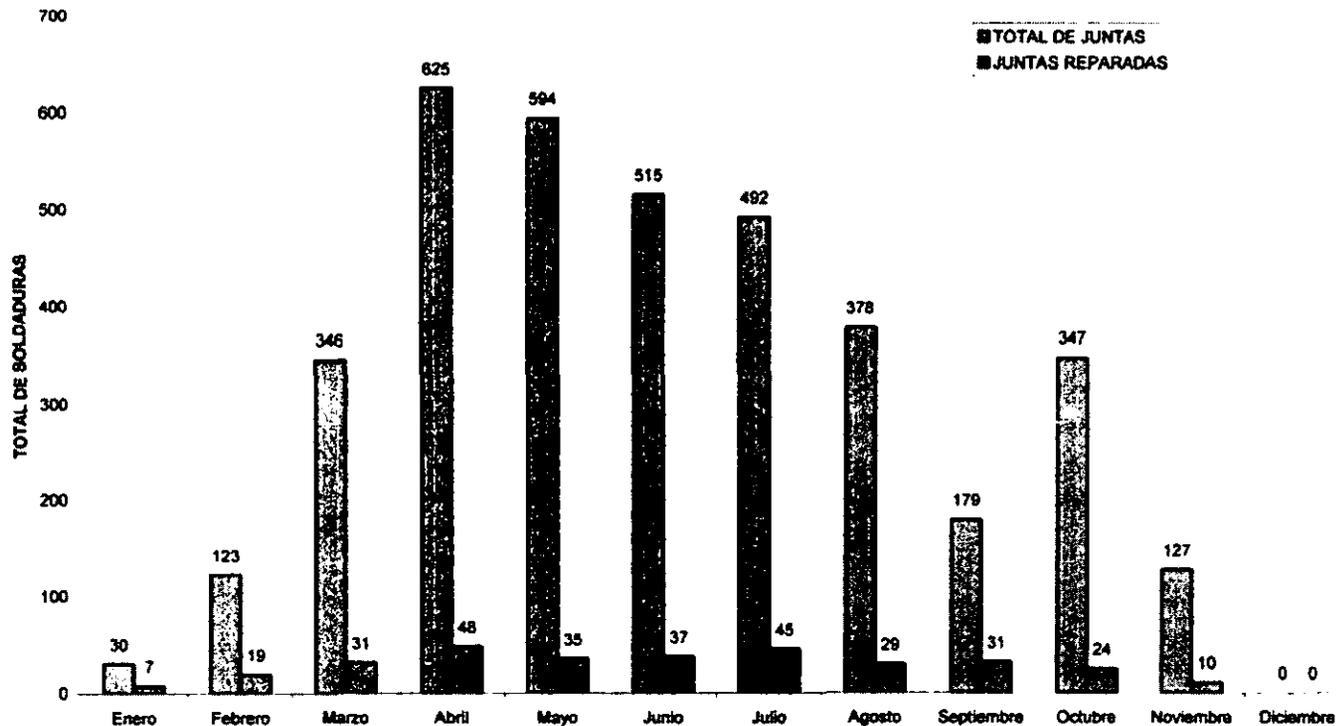
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO
SUBDIRECCION DE CAPACITACION Y SERVICIOS TÉCNICOS
AREA DE TECNOLOGIA DE MATERIALES
GASODUCTO DE 36" X 92 KM. DE ATASTA A CD. PEMEX (TRAMO 1 ATASTA - USUMACINTA)
CONTRATISTA AGUILAR SILVA PROYECTO P-022-11-74

CONTROL DE LANZAMIENTO EN LA PERA 3

FECHA	FECHA	JUNTA	No. DE TUBO	COLADA	LONGITUD ANTERIOR (m)	No. DE ZAPATAS	DOBLES JUNTAS	REPARACIÓN	AVANCE		DEL DIA (m)	ACUMULADO (m)
									PRIMERO	SEGUNDO		
25/01/97	25/01/97	14	1847	265034				P(34-35)	12.41			
		15	1853	265856					12.14			
		16	1859	560152					12.13			
		17	1855	560132					11.94			
		18	1851	265854					12.14			
SUMA	SUMA				172.34			3	60.76		60.76	233.1
26/01/97	26/01/97	19	1753	266854					12.17			
		20	1873	264921				(P,LE)(52-66)	12.41			
SUMA	SUMA				233.1			4	24.58		24.58	257.68
27/01/97	27/01/97	21	1869	560135					12.16			
		22	1854	185390				P (45-48)	12.18			
		23	1877	265032					12.41			
SUMA	SUMA				257.68			5	36.75		36.75	294.43
28/01/97	28/01/97	24	1879	265854					12.17			
		25	1868	560152					12.38			
		26	1773	560149					12.16			
		27	1754	166387					12.17			
SUMA	SUMA				294.43			5	48.68		48.68	343.31
29/01/97	29/01/97	28	1875	265003					12.36			
		29	1680	560152				P(27-29)	12.42			
SUMA	SUMA				343.31			6	24.78		24.78	368.09
30/01/97	30/01/97	30	1864	184787					12.42			
		31	1267	560131				LE(8-70)	12.41			
SUMA	SUMA				368.09			7	24.83		24.83	392.92

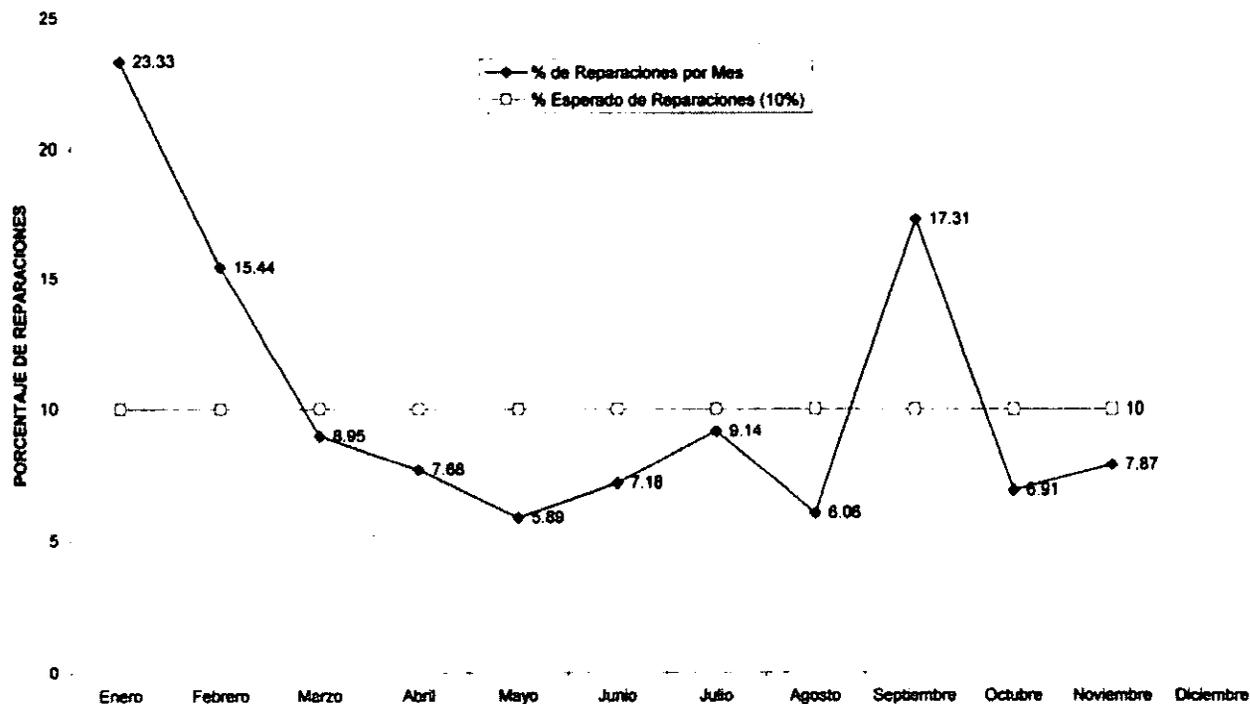
HOJA 2

CONTROL DE AVANCE DE SOLDADURAS



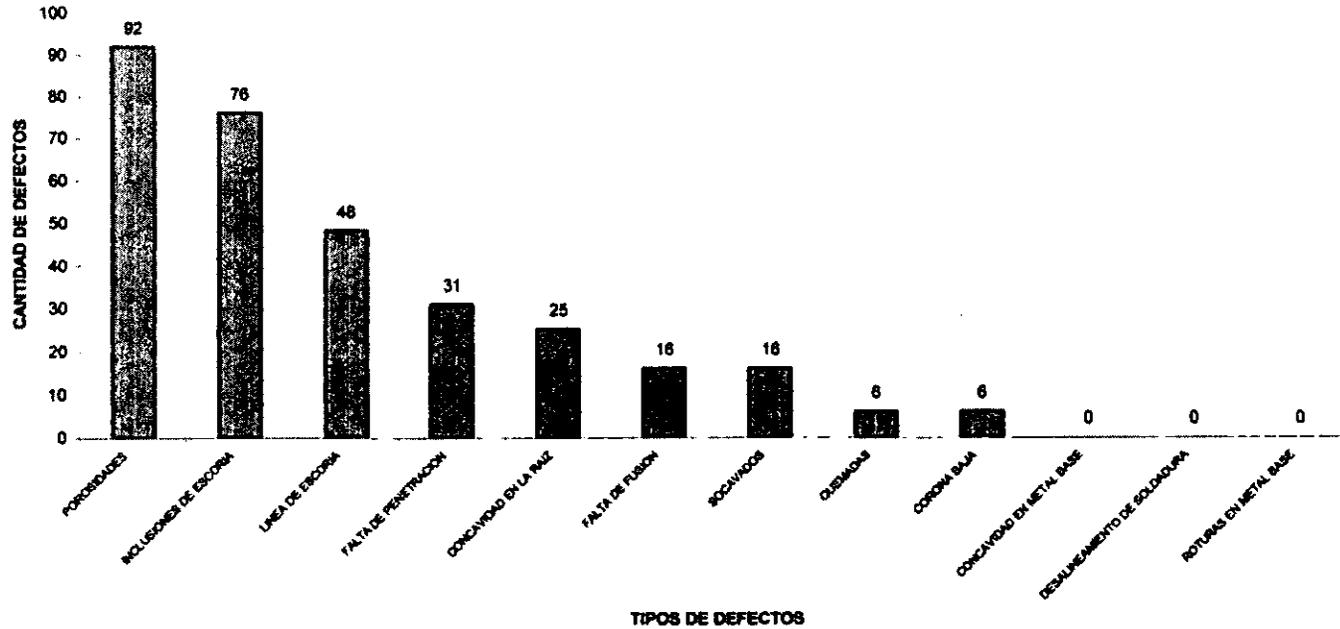
Grafica 1.- La cantidad de soldaduras aquí indicada, corresponde al total de soldaduras realizadas y reparadas en este proyecto

PORCENTAJE DE REPARACIONES DE SOLDADURAS POR MES



Gráfica 2.- El porcentaje de reparaciones indicado corresponde a la relación que existe entre el total de soldaduras realizadas por mes y las soldaduras reparadas en este periodo.

FRECUENCIA DE DEFECTOS



Grafica 3.- El tipo y la cantidad de los defectos, corresponden a los totales reportados para el proyecto

- **Pruebas Hidrostáticas.-** Se realizó el atestiguamiento de 4 pruebas hidrostáticas, todas ellas en tuberías de línea, las cuales se mencionan a continuación:
 - i) Estación de Compresión en Atasta hasta el Río San Pedro.
 - ii) Cruce Direccional del Río San Pedro.
 - iii) Margen Izquierda del Río San Pedro hasta la Margen Derecha del Río Usumacinta.
 - iv) Cruce Direccional del Río Usumacinta.

La presión para la prueba hidrostática de esta línea, fue de 70 Kg/cm² (1000 psi), tal y como se define en la ingeniería de construcción, manteniendo la presión durante 24 horas.

Los instrumentos de medición empleados durante la prueba (indicadores de presión, indicadores de temperatura y los registradores de presión), presentaban sus certificados de calibración vigentes.

No se observó en las graficas de los registradores de presión, ni en los indicadores de presión alguna pérdida de presión, por lo que las pruebas se consideran satisfactorias.

Los siguientes resultados se pueden resumir al final de este proyecto:

- a) La longitud total de la línea fue de 45,483 Km, la línea inicialmente estaba considerada para 44 Km de longitud, pero en esta medida no se tomaron en cuenta las instalaciones de Pemex por las cuales atraviesa la línea, además de que tampoco se tienen consideradas las depresiones de los canales y lagunas, ni tampoco se tiene contemplados los cruces direccionales de los Ríos.
- b) Los tramos de tubería y de accesorio utilizados fueron 3711.
- c) Se realizó la calificación de 8 procedimientos de soldadura, los cuales abarcan las soldaduras de tuberías de línea de acuerdo a como lo marca API-1104 y las soldaduras de las tuberías de proceso de acuerdo con ANSI/ASME B31.3 y B31.8.
- d) Se realizaron 186 pruebas para la calificación de soldadores en los diversos procedimientos de soldadura (siendo el proceso CAS-002 para aplicación de soldadura en tuberías de línea con proceso SMAW-FCAW en donde se calificó a la mayoría de los soldadores), de los cuales 51 fueron rechazados y solo 135 fueron aprobados.
- e) Se realizaron un total de 3756 soldaduras, con los diversos procedimientos de soldadura calificados.
- f) Se realizaron un total de 316 reparaciones en soldaduras (Ver distribución por mes en las Graficas 1 y 2), en la grafica No. 2 se puede observar que se tiene indicado un máximo esperado de reparaciones por mes del 10%, siendo que en los primeros meses y en el mes de septiembre este se rebasó, para los primeros meses esto es normal dado a que es el inicio del proyecto, por lo que esta tendencia debe ser a la baja considerando como un valor aceptable de reparaciones un 10%, en el mes de septiembre esto no se respeto dado a que en este periodo se realizaron obras especiales de cruces direccionales de ríos, en las que se tuvo un mayor porcentaje de rechazos, además de que en este periodo se realizó el cambio total de los soldadores, por diferencias económicas y contractuales con la Compañía constructora.
- g) El defecto más común que se presento en este proyecto es la Porosidad en todas sus variantes (poros agrupados, poros cilíndricos, poro túnel y poros esféricos), siguiéndole las inclusiones y las líneas de escoria (Ver Grafica 3), lo cual es común para este tipo de trabajos.
- h) Se instalaron un total de 44 zapatas para la conexión del sistema de tierras.
- i) Se instalaron un total de 44 juntas dobles o kilométreras, las cuales sirven como puntos de referencia durante la corrida del diablo instrumentado, para cuando se requiera a futuro verificar la integridad de la línea.
- j) El tiempo de ejecución de este proyecto estaba considerado para 6 meses, pero debido a contratiempos (afectaciones, falta de suministro de materiales por parte de la compañía, mala planeación de los inicios de actividades en cada frente de trabajo, mal tiempo, etc.) este se alargó hasta 11 meses.
- k) Se realizó la inspección al 100% de todas las soldaduras mediante inspección radiográfica, además se realizaron 375 inspecciones mediante inspección ultrasónica y de medición de durezas.
- l) Se realizaron un total de 12 carretes representativos, a lo largo de la construcción de la línea, los cuales fueron enviados al laboratorio del IMP en la Cd. de México, para su evaluación mediante ensayos no destructivos y destructivos, los resultados fueron satisfactorios.

4.2 CONCLUSIONES

Como conclusiones de este proyecto se pueden mencionar los siguientes puntos:

1. La revisión documental que se hace a los procedimientos constructivos y a los procedimientos de inspección, antes del inicio de los trabajos, tiene como finalidad definir las fortalezas y deficiencias de la compañía constructora. La supervisión debe informar el resultado de la revisión de los documentos, para que la compañía proceda a su atención y posterior implementación.
2. La inspección física por parte de la supervisión, desde la recepción de materiales hasta la puesta en operación del gasoducto, tiene como finalidad eliminar las posibles causas de formación de defectos que pudieran dar origen a rechazos o a accidentes.
3. El hecho de tener una supervisión durante la construcción del Gasoducto, beneficia en la reducción de los tiempos de ejecución de los trabajos, ya que los retrabajos se minimizan. Al seguir los procedimientos constructivos y los procedimientos de inspección aprobados, se garantiza la calidad de los trabajos, facilitando también el control de la obra en cualquiera de las etapas de construcción, mediante la elaboración de reportes de avance diario, semanal y mensual.
4. El personal que realiza las actividades de supervisión, debe ser el primero en tener un conocimiento amplio de las normas, estándares y especificaciones aplicables al proyecto. Dentro de sus funciones, se encuentra la de verificar que las personas que realicen cualquier tipo de trabajo, tengan los conocimientos y la experiencia necesaria para su ejecución.
5. El supervisor tiene toda la autoridad para hacer las indicaciones y recomendaciones que él considere pertinentes, ya sea durante la revisión de los procedimientos ó cuando detecte que se están realizando trabajos, que no cumplan con lo establecido en las normas, estándares y especificaciones aplicables al proyecto.
6. La revisión de los certificados de calidad de los materiales tiene por objeto, detectar aquellos materiales que no cuentan o no cumplan con la información referente a propiedades químicas y mecánicas, para no permitir su empleo en el proyecto hasta su aclaración o en su defecto para su devolución al proveedor.
7. La calificación de soldadores sirve como parámetro, para medir la experiencia y la habilidad de cada soldador, beneficiando al proyecto en la disminución de reparaciones en soldaduras y produciendo soldaduras de calidad.
8. La evaluación del personal de ensayos no destructivos, sirve para conocer y verificar su educación, sus entrenamientos, su capacidad física y la experiencia de cada uno de ellos, para garantizar que las evaluaciones que realicen sean correctas y en estricto apego a las normas.
9. Los ensayos destructivos, en este tipo de proyectos solo son empleados para la calificación de los procedimientos de soldaduras y de soldadores, los ensayos no destructivos son los más empleados en campo, ya que nos ayudan a detectar discontinuidades en el interior de los materiales, la técnica más empleada es el ensayo radiográfico. Esta técnica no sustituye a los ensayos destructivos, pero nos da un parámetro de medición de la sanidad de la soldadura, garantizando así la calidad de las mismas.
10. Durante la construcción de este Gasoducto, se puede establecer que todas las actividades que se realizaron desde el inicio de su construcción hasta la puesta en operación, se realizaron en estricto apego a las normas, estándares y especificaciones aplicables al proyecto y cumplen satisfactoriamente en cuanto a lo que se tenía diseñado en la Ingeniería de Construcción.

El apoyo que presta la metalurgia en este ramo de la construcción (supervisión), es de esencial carácter ya que mediante las pruebas destructivas (Prueba de Tensión, Prueba de Doblez y Prueba de Sanidad), así como de las pruebas no destructivas (Inspección Visual, Inspección Radiográfica, Inspección Ultrasónica, Líquidos Penetrantes, Partículas Magnéticas, etc.) se puede evaluar, vigilar y controlar el desarrollo del proyecto, para garantizar la seguridad de dicha obra cuando esta este en operación.

Adicional a esto se anexa una copia del Reconocimiento que Pemex Exploración y Producción, Región Marina Noreste, otorgo a cada persona del IMP, que participo directamente en la construcción del proyecto "Gasoducto de 36" Ø X 92 km de Atasta – Cd. Pemex, tramo I Atasta – Usumacinta, de acuerdo con el contrato COTRMN 0051/96.



PEMEX

EXPLORACION Y PRODUCCION
REGION MARINA N ORESTE

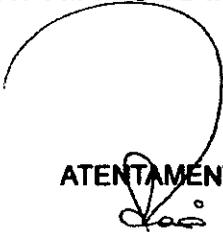
RECONOCIMIENTO

**SE OTORGA EL PRESENTE POR LA LABOR DESEMPEÑADA
DURANTE LA CONSTRUCCION DEL PROYECTO**

**GASODUCTO DE 36" Ø X 92 km ATASTA - CD. PEMEX
TRAMO I ATASTA -USUMACINTA
CONTRATO COTRMN 0051/96**

ING. CIPRIANO RAMIREZ KIAU

ATENTAMENTE


**ING JOSE LUIS RAMIREZ ESPINOSA
SUPTTE. DE INGRIA. Y CONST'N. R.M.N.E.**

CD. DEL CARMEN, CAMP., A 25 DE NOVIEMBRE DE 1997.

SECCION 5.0 BIBLIOGRAFIA

- *API Standard 1104 "Welding of Pipelines and Related Facilities"*, American Petroleum Institute, , 1994 Edition 18.
- *API Spec. 5L "Specification for Line Pipe"*, American Petroleum Institute, 1994 Edition.
- *ANSI/ASME B31.3, "Process Piping"*, The American Society of Mechanical Engineers, 1996 Edition.
- *Article 2 "Nondestructive Examination Radiography"* ASME Section V "Non Destructive Examination", The American Society of Mechanical Engineers, 1996 Edition.
- *Article 5 "Ultrasonic Examination Methods For Materials and Fabrication"* ASME Section V "Non Destructive Examination", The American Society of Mechanical Engineers, 1996 Edition.
- *"Sulfide Stress Corrosion Cracking Resistant Metallic Material for Oil Field Equipment"*, NACE MR-0175-97, NACE International, Houston Tx., 1997.
- *"Nondestructive Inspection and Quality Control"*, American Society for Metals, Metals Handbook Volumen II Metals Park, Ohio, 44073, U.S.A.
- *"Recommended Practice SNT-TC-1A"*, American Society for Nondestructive Testing, Inc, 1988 Edition.
- *"Soldadura"*, por James A. Pender. Editorial Mc. Graw Hill, , Impreso en México, Tercera Edición 1997.
- *"Interpretación de Radiografías para el CONTROL DE CALIDAD" en Soldadura Industrial"*, por Carlos Arturo de la Vega Muñoz, Publicaciones Mocambo, Impreso en México, Primera Edición 1989.