

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Técnica Naval**

**Procedimientos de ensayos no destructivos en la construcción de los colectores subacuáticos de una extracción petrolífera de aguas profundas**

**Gemma CAÑADAS MORILLAS**



**Centro: E. U. I. T. NAVAL**  
**Titulación: I. T. NAVAL**  
**Fecha: Julio 2009**



# Índice:

## 1. Memoria descriptiva:

- 1.1. Objetivos, Alcance y Normativas de referencia.
- 1.2. Antecedentes
- 1.3. Descripción de los colectores subacuáticos.
- 1.4. Definición y justificación de los métodos de ensayos no destructivos elegidos y de las soldaduras a las que aplica.

## 2. Procedimientos de ejecución:

- 2.1. Procedimientos de inspección visual de soldaduras.
- 2.2. Procedimientos de examen de soldaduras y materiales por líquidos penetrantes.
- 2.3. Procedimiento de inspección de soldaduras por partículas magnéticas.
- 2.4. Procedimiento de examen radiográfico en soldaduras.
- 2.5. Procedimiento de examen de soldaduras por ultrasonidos.
- 2.6. Procedimiento de medición de durezas en soldaduras y material base.
- 2.7. Procedimiento de medición de ferrita en soldaduras y material base

## 3. Bibliografía.

## 4. Presupuesto.

# Índice paginado:

## 1. Memoria descriptiva:

1.1.	Objetivos, Alcance y Normativas de referencia	1
1.2.	Antecedentes	3
1.2.1.	Sistema de producción submarino Dalia	7
1.2.1.1.	Sistema de pozos de producción en racimo	9
1.2.1.2.	Sistema de inyección de agua y gas	10
1.2.1.3.	Cabeza de pozo, árbol de extracción y soporte de tubería	10
1.2.1.4.	Finalización y sistema de supervisión	11
1.2.1.5.	Sistema de producción por colectores	11
1.2.1.6.	Carretes, conectores y sistema de conexión	11
1.2.2.	Sistema de control	13
1.2.2.1.	Equipamiento de superficie	13
1.2.2.2.	Umbilicales y equipamiento submarino	14
1.3.	Descripción de los colectores de producción subacuáticos	15
1.3.1.	Módulo de tubería	15
1.3.1.1.	Módulo de tubería de gran diámetro	17
1.3.1.2.	Módulo de tubería de pequeño diámetro	20
1.3.2.	Módulo de estructura	23
1.3.2.1.	Módulo de estructura inferior	24
1.3.2.2.	Módulo de estructura superior	27
1.4.	Definición y justificación de los métodos de ensayos no destructivos elegidos y de las soldaduras a las que aplica	31
1.4.1.	Definición y justificación de los métodos de ensayos no destructivos para los módulos de tubería	31
1.4.2.	Definición y justificación de los métodos de ensayos No destructivos para los módulos de estructura	34

## 2. Procedimientos de ejecución:

2.1.	Procedimientos de inspección visual de soldaduras	36
-	Procedimiento de inspección visual de soldaduras	37
1.	Objeto	39
2.	Alcance	39
3.	Normas y códigos de referencia	40
4.	General	41
4.1.	Equipos empleados	41

5.	Cualificación del personal	43
6.	Inspección visual	44
6.1.	Exigencias de colocación y alineación	44
6.2.	Inspección preliminar	46
6.3.	Inspección durante el proceso	48
6.4.	Inspección final	49
6.4.1.	Aspecto general de la soldadura	49
6.4.2.	Discontinuidades	50
6.4.3.	Verificación de parámetros geométricos	53
7.	Documentación	60
8.	Inspección continua	63
-	Datos obtenidos durante la ejecución del proyecto	64
2.2.	Procedimientos de examen de soldaduras y materiales por líquidos penetrantes	71
-	Procedimiento de examen de soldaduras y materiales por líquidos penetrantes	72
1.	Objeto	74
2.	Alcance	74
3.	Normas y códigos de referencia	75
4.	General	77
4.1.	Líquidos a utilizar	77
4.2.	Estado superficial	78
4.3.	Cualificación del personal	79
4.4.	Rango de temperaturas	80
4.5.	Equipos empleados	80
5.	Realización	81
5.1.	Limpieza previa	81
5.2.	Aplicación del penetrante	81
5.3.	Eliminación del exceso de penetrante	82
5.4.	Aplicación del revelador	83
6.	Interpretación de las indicaciones	84
7.	Discontinuidades	84
8.	Evaluación	86
8.1.	Aspecto de las indicaciones	86
8.2.	Indicaciones falsas	87
8.3.	Criterios de aceptación	88
9.	Limpieza final	91
10.	Reparaciones	91
11.	Informe	91
-	Datos obtenidos durante la ejecución del proyecto	95
2.3.	Procedimiento de inspección de soldaduras por partículas Magnéticas	98
-	Procedimiento de inspección de soldaduras por partículas magnéticas	99
1.	Objeto	101
2.	Alcance	101
3.	Normas y códigos de referencia	101
4.	General	103

4.1.	Material empleado	103
4.1.1.	Equipo de magnetización	103
4.1.2.	Partículas magnéticas	106
4.1.3.	Laca de contraste	106
4.1.4.	Indicador de campo	107
4.1.5.	Luxómetro	107
4.1.6.	Medidores de campo	108
4.2.	Preparación superficial	108
4.3.	Cualificación del personal	109
5.	Realización	111
5.1.	Técnicas de magnetización	111
5.2.	Intensidad recomendada	114
5.3.	Aplicación de partículas magnéticas	114
5.4.	Interpretación de las indicaciones	115
5.5.	Discontinuidades	115
5.6.	Indicaciones falsas	116
5.7.	Desmagnetización	117
5.8.	Limpieza post-inspección	118
6.	Criterios de aceptación	118
7.	Reparaciones	120
8.	Informe	120
-	Datos obtenidos durante la ejecución del proyecto	124
2.4.	Procedimiento de examen radiográfico en soldaduras	125
-	Procedimiento de examen radiográfico en soldaduras	126
1.	Objeto	129
2.	Alcance	129
3.	Normas y códigos de referencia	129
4.	General	132
4.1.	Materiales a utilizar:	132
4.1.1.	Fuentes de radiación	132
4.1.2.	Películas	132
4.1.3.	Pantallas reforzadas y chasis	133
4.1.4.	Densitómetro y juegos de cuñas	133
4.1.5.	Penetrámetros	135
4.2.	Estado superficial	136
4.3.	Identificación	137
4.4.	Cualificación del personal	137
5.	Realización:	139
5.1.	Técnica radiográfica	139
5.1.1.	Técnica de simple pared	139
5.1.2.	Técnica de doble pared	139
5.2.	Selección del penetrámetro	140
5.2.1.	Material	142
5.2.2.	Soldaduras de unión de materiales distintos o soldaduras con metal de aportación distinto	142
5.3.	Colocación y número de penetrámetro	143
5.4.	Sensibilidad radiográfica	147

5.5.	Densidad radiográfica	147
5.5.1.	Límites	147
5.5.2.	Variaciones	147
5.6.	Sectores radiográficos	148
5.6.1.	Colocación sectores para Interpretación a Simple Pared	148
5.6.2.	Colocación sectores para Interpretación a Doble Pared	149
5.6.3.	Mapas	149
5.7.	Radiación secundaria	149
5.8.	Procesado de películas	149
5.9.	Discontinuidades	150
5.10.	Evaluación / Criterio de aceptación	152
5.11.	Informe final	156
6.	Documentación	159
-	Datos obtenidos durante la ejecución del proyecto	161
2.5.	Procedimiento de examen de soldaduras por ultrasonidos	168
-	Procedimiento de examen de soldaduras por ultrasonidos	169
1.	Objeto	172
2.	Alcance	172
3.	Normas y códigos de referencia	172
4.	General	175
4.1.	Materiales a utilizar:	175
4.1.1.	Equipo	175
4.1.2.	Palpadores	176
4.1.3.	Cables	177
4.1.4.	Agente de acoplamiento	177
4.1.5.	Bloques de calibración	177
4.2.	Estado superficial	179
4.3.	Temperaturas	180
4.4.	Cualificación del personal	180
4.5.	Identificación del área de soldadura examinada	182
5.	Realización:	182
5.1.	Calibración	182
5.1.1.	Calibración en distancia	182
5.1.2.	Calibración en sensibilidad	186
5.1.3.	Frecuencia de calibración	188
5.2.	Inspección	189
5.2.1.	General	189
5.2.2.	Inspección por onda en ángulo	189
6.	Discontinuidades	194
7.	Evaluación de las indicaciones	196
8.	Criterios de aceptación	197
9.	Informe final	199
10.	Documentación	202
-	Datos obtenidos durante la ejecución del proyecto	204

2.6.	Procedimiento de medición de durezas en soldaduras y material base	206
-	Procedimiento de medición de durezas en soldaduras y material base	207
1.	Objeto	209
2.	Alcance	209
3.	Normas y códigos de referencia	210
4.	General:	211
4.1.	Equipo	211
4.2.	Preparación de la superficie	213
4.3.	Verificaciones	213
4.4.	Requisitos de personal	213
5.	Realización	214
6.	Criterios de aceptación	218
7.	Informe	219
	ANEXO I: Tabla de conversión de aceros austeníticos de unidades Rockwell C frente a otros valores de dureza.	221
2.7.	Procedimiento de medición de ferrita en soldaduras y material base	223
-	Procedimiento de medición de ferrita en soldaduras y material base	224
1.	Objeto	226
2.	Alcance	226
3.	Normas y códigos de referencia	226
4.	General:	227
4.1.	Requisitos del personal	227
4.2.	Material	227
4.2.1.	Equipo	227
4.2.2.	Accesorios	227
5.	Inspección	227
5.1.	Verificación	227
5.2.	Calibración	229
5.3.	Prueba	229
6.	Criterios de aceptación	233
7.	Informe	233
3.	Bibliografía.	235
4.	Presupuesto.	237

# **1. MEMORIA DESCRIPTIVA**

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.1: OBJETIVOS, ALCANCE Y NORMATIVAS DE REFERENCIA

---

### **Capítulo 1.1. Objetivos, Alcance y Normativas de referencia:**

Los objetivos de este Proyecto Final de Carrera son:

- Definir el tipo de Ensayos No Destructivos (END) a realizar en las soldaduras de fabricación de las tuberías y las estructuras de los colectores subacuáticos de extracción de crudo del Proyecto “Dalia”, justificando técnicamente los motivos por los que se han elegido dichos ensayos.
- Redactar los procedimientos de aplicación para los Ensayos No Destructivos definidos en el apartado anterior, incluyendo las normativas de aplicación, los métodos de ensayos utilizados, los resultados aceptados y no aceptados y la metodología de informes a realizar de manera general. Como apartado adicional a cada procedimiento se incluirán los defectos reales detectados durante la ejecución de la obra y las técnicas y consideraciones tenidas en cuenta para realizar las reparaciones necesarias.

Para ello se definirá el Proyecto “Dalia” de extracción de crudo de la compañía TOTAL en Somalia, mostrando las disposiciones generales de los colectores subacuáticos, los materiales de construcción y el número y características de las soldaduras a realizar.

El alcance de este Proyecto Final de Carrera son las soldaduras realizadas para construir un colector subacuático de extracción de crudo del Proyecto “Dalia”. Se realizará el estudio únicamente sobre un módulo porque todos los módulos que componen dicha obra, por diseño, son iguales en la distribución de sus componentes y en la cantidad de uniones soldadas a realizar.

El colector subacuático de extracción de crudo está compuesto por una parte de tubería de gran diámetro de distribución de crudo y de diámetro menor para la medición de la presión del crudo y la actuación de los automatismos que actuaran las válvulas de seguridad. Por la otra parte, está compuesto por una estructura fija metálica encargada de soportar el peso y rigidizar todas las tuberías, válvulas y automatismos que lo componen.

Las normativas seguidas para la construcción de los colectores de extracción de crudo son definidos por la Ingeniería encargada de la realización del diseño según el país de origen y el país de explotación. Teniendo en cuenta que el país de origen del diseño (Los Estados Unidos de América) y el país de explotación (Somalia), las normativas empleadas son las estipuladas para equipos a presión y estructura de materiales féreos por los Organismos Especializados en Los Estados Unidos de América.

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.1: OBJETIVOS, ALCANCE Y NORMATIVAS DE REFERENCIA

---

La normativa empleada para definir las especificaciones de los materiales utilizados es The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Bolier and Pressure Vessel Code del año 2004 en su Sección II, Parte A “Ferrous Material Specification”.

La normativa de aplicación para el diseño, los materiales, la fabricación, el montaje, las pruebas y la inspección de las tuberías es la American National Standard (ANSI) / The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Code for Pressure Piping B31.3-2002 “Process Piping”, ya que son tuberías sometidas a presión tanto interna como externa y como tuberías de proceso son consideradas las tuberías de distribución de petróleo.

Así mismo, la normativa de aplicación para el diseño, los materiales, la fabricación, el montaje, las pruebas y la inspección de las estructuras es la American Welding Society (AWS) en su apartado D1.1 del año 2000 “Structural Welding Code – Steel” aprobado por la American National Standard (ANSI). No es de aplicación ninguna otra normativa de estructura ya que el diseño de esta se ha realizado con acero al carbono.

Los requerimientos y métodos utilizados para la realización de los Ensayos No Destructivos se recogen en la normativa The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Bolier and Pressure Vessel Code del año 2004 en su Sección V “Nondestructive Examination”. Estos ensayos no destructivos intentan detectar imperfecciones superficiales e internas en los materiales, soldaduras, partes fabricadas y componentes.

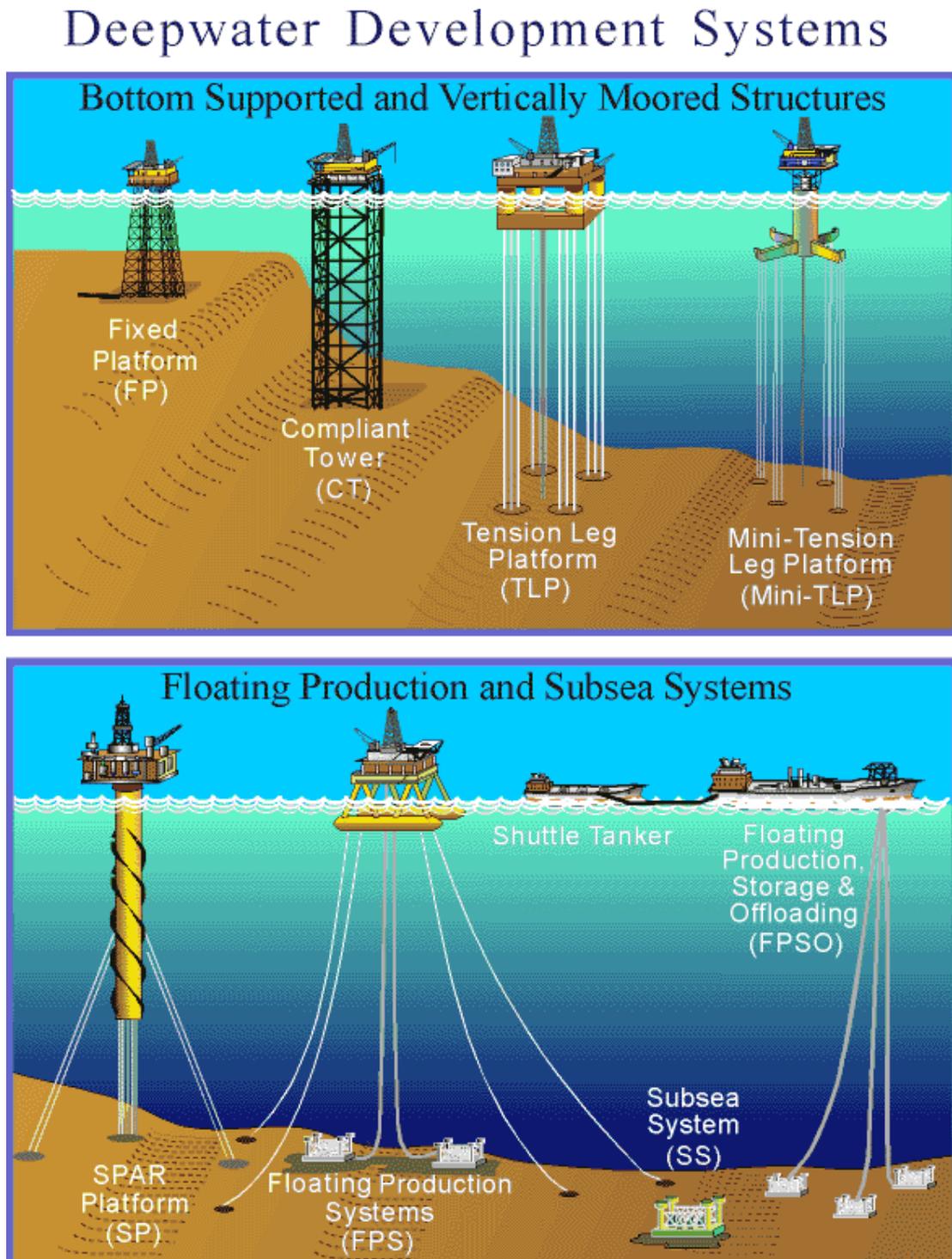
De manera global las normativas de aplicación para este Proyecto son:

- ANSI / ASME B31.3-2002 “Code for Pressure Piping. Process Piping”.
- AWS D1.1:2000 “Structural Welding Code – Steel”.
- ASME II: 2004 “Bolier and Pressure Vessel Code – Part A: Ferrous Material Specifications”.
- ASME V: 2004 “Bolier and Pressure Vessel Code – Nondestructive Examination”.

En cada capítulo del Proyecto se describirán las partes de aplicación de cada normativa para las soldaduras especificadas en el proyecto y los Ensayos No Destructivos desarrollados.

### Capítulo 1.2. Antecedentes:

Existen actualmente en el mercado diferentes tipos de tecnologías para la extracción de hidrocarburos y gas de los yacimientos del fondo marino. En la figura adjunta se muestra la evolución de esta tecnología según la profundidad a la que se encuentra el yacimiento en explotación.



# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.2: ANTECEDENTES

---

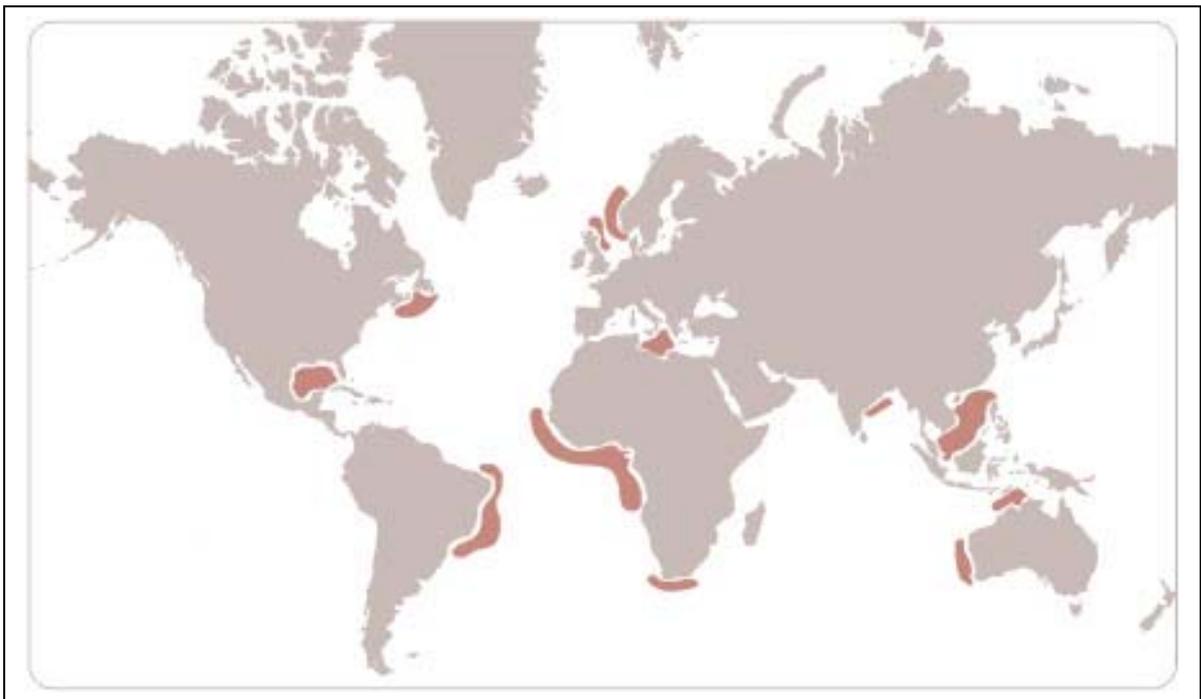
El último avance en esta tecnología surge de la necesidad de explotar yacimientos petrolíferos a grandes profundidades en el fondo marino, para el que se utiliza el sistema conocido como Producción, Almacenaje y Descarga en Flotación (FPSO). Este sistema consiste en un buque petrolero de grandes dimensiones conectado al fondo marino donde se encuentran los sistemas de extracción submarinos. Un FPSO se diseña para tratar y almacenar la producción de pozos submarinos cercanos entre si y periódicamente descargar el producto almacenado a un buque petrolero lanzadera de menores dimensiones. El petrolero lanzadera una vez cargado transporta el crudo a la instalación terrestre para el tratamiento final.

Un FPSO es adecuado para campos con una producción rentable que estén localizados en áreas remotas y en aguas profundas donde no se pueda instalar una infraestructura de tuberías.

Existen yacimientos submarinos de tipo FPSO en diferentes partes del mundo, entre los que destacan por la cantidad de instalaciones de explotación instaladas y la riqueza de sus yacimientos los siguientes, tal como se muestra en la figura adjunta:

- África: Costa Oeste, de Cabo Verde hasta la costa de Angola; Costa de la República Sudafricana y Costa del Líbano.
- América: Golfo de Méjico y Costas de Nueva Escocia y Terranova.
- Asia: Mar de la China Meridional, Costa Oeste de Filipinas y Costa de Malasia.
- Australia: Costa Oeste y Mar de Tímor.
- Brasil: Costas Este y Sur.
- Noruega: Costa del Mar del Norte y Costa de Bergen.
- Reino Unido: Costa Norte del Mar del Norte.

Distribución de yacimientos submarinos en el planeta



# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.2: ANTECEDENTES

---

La tecnología FPSO se está utilizando actualmente desde poca profundidad hasta aguas profundas, pero normalmente cuando se utiliza en poca profundidad acompaña otro tipo de explotaciones como una plataforma petrolífera fija o flotante y los buques son utilizados para el transporte de los productos extraídos.

Este proyecto se centra en las instalaciones submarinas diseñadas para utilizar la tecnología FPSO a grandes profundidades y este campo de actuación es relativamente novedoso, yendo en aumento a la vez que se descubren nuevos yacimientos rentables. Las zonas del planeta donde se está utilizando actualmente esta tecnología para explotar yacimientos en aguas profundas se reducen a África (Angola, Nigeria, Guinea Ecuatorial y Mauritania), Brasil (Regiones de Río de Janeiro y Espirito Santo) y Golfo de Méjico. Se encuentran en proceso de desarrollo o con las licencias concedidas para la explotación mediante tecnología FPSO yacimientos en aguas profundas descubiertos en la costa noroeste de Australia, en Nigeria, en Angola, en Vietnam, en Filipinas y en el Golfo de México.

A continuación se listan los yacimientos explotados con tecnología FPSO en aguas profundas, incluyendo características de cada uno de ellos, según los años de concesión y los países de explotación.

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.2: ANTECEDENTES

### Yacimientos en aguas profundas explotados por tecnología FPSO

Nombre del proyecto	Operador	País	Fecha de concesión	Nº se sistemas submarinos	Profundidad de explotación	Tipo de arboles de extracción	Presión de extracción
Greater Plutonio	BP	Angola (Bloque 18)	2004	45	1.200 – 1.400 m	Verticales	10.000 psi
Pazflor	Total	Angola (Bloque 17)	2007	49	600 – 1.200 m	EHXT	10.000 psi
Agbami	Chevron	Nigeria (Bloques OPL 216 y 217)	2005	32	2.000 m	EHXT	10.000 psi
Girassol Ph I	Total (Elf)	Angola (Bloque 17)	1999	30	1.350 m	Verticales	5.000 psi
Girassol PH II	Total (Elf)	Angola (Bloque 17)	2001	5	1.350 m	Verticales	5.000 psi
Jasmim	Total (Elf)	Angola (Bloque 17)	2002	12	1.350 m	Verticales	5.000 psi
Zafiro SEA	ExxonMobil	Guinea Ecuatorial (Southern Expansion Area)	2002	19	800 m	Verticales y horizontales	5.000 psi
Rosa	Total	Angola (Bloque 17)	2004	27	1.300 – 1.400 m	Verticales y horizontales	5.000 psi
Baobab	CNR	Costa de Ivory	2003	18	1.500 m	EHXT	10.000 psi
Chinguetti	Petronas	Mauritania	2006	6	820 m	EVXT	5.000 psi
Barracuda Caratinga	Petrobras	Brasil (Campos Basin)	2000	4	800 – 1.350 m	Verticales	5.000 psi
Parque das Conchas	Shell	Brasil (Espirito Santo)	2006	10	1.500 – 2.000 m	EVDT	10.000 psi
Bijupira - Salema	Shell	Brasil (Rio de Janeiro)	2005	2	500 – 900 m	Verticales	5.000 psi
Frade	Chevron	Brasil (Campos Basin)	2006	19	1.330 m	EHXT	5.000 psi
Jubarte	Petrobras	Brasil (Campos Basin)	2004	22	2.000 m	Verticales y horizontales	5.000 psi
Cascade Chinook	Petrobras	Golfo de Méjico (Walker Ridge)	2007	4	2.590 m	EHXT	15.000 psi

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.2: ANTECEDENTES

### 1.2.1. Sistema de producción submarino Dalia:

En Diciembre de 2006 se puso en funcionamiento por la empresa Total el Proyecto “Dalia”.

Descubierto en Septiembre de 1997 el yacimiento se encuentra a 135 km de las costas de Angola a una profundidad de entre 1.200 y 1.500 metros. Es una de las instalaciones pioneras en explotación en aguas profundas en el mundo ya que la viscosidad de su rentable producción (puede producir hasta 240.000 barriles de crudo al día durante 20 años) demostró ser un desafío tecnológico.



A estas profundidades, se requiere la instalación de unidades de separación de la mezcla de gas, petróleo y agua procedente de los pozos en un buque anclado, conectado a los pozos submarinos mediante tuberías flexibles (FPSO).

El sistema de producción submarina está formado por:

- 71 pozos submarinos, de los cuales 37 son de producción y están atados a nueve colectores de producción de seis ranuras, 31 son para inyección de agua y 3 son inyectores de gas.
- 40 kilómetros de tuberías de transporte, 35 kilómetros de líneas de inyección de agua, 10 kilómetros de líneas de inyección de gas y 75 kilómetros de tuberías flexibles umbilicales.
- 71 perforadoras de árboles horizontales de extracción (Christmas tree).
- 2 sistemas de torres.
- 1 sistema de conexión con la superficie.
- 1 sistema complejo de control e inyección química.

Los Desafíos Tecnológicos superados para el diseño y construcción de este proyecto se resumen en:

- Geociencias: Los cuatro depósitos de mayores dimensiones de Dalia fueron creados hace más de 25 millones de años por la acumulación de sedimentos en la desembocadura del sistema del río Paleo-Congo. La evaluación de este enorme, no consolidado y muy heterogéneo sistema de crudo es increíblemente compleja.

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.2: ANTECEDENTES

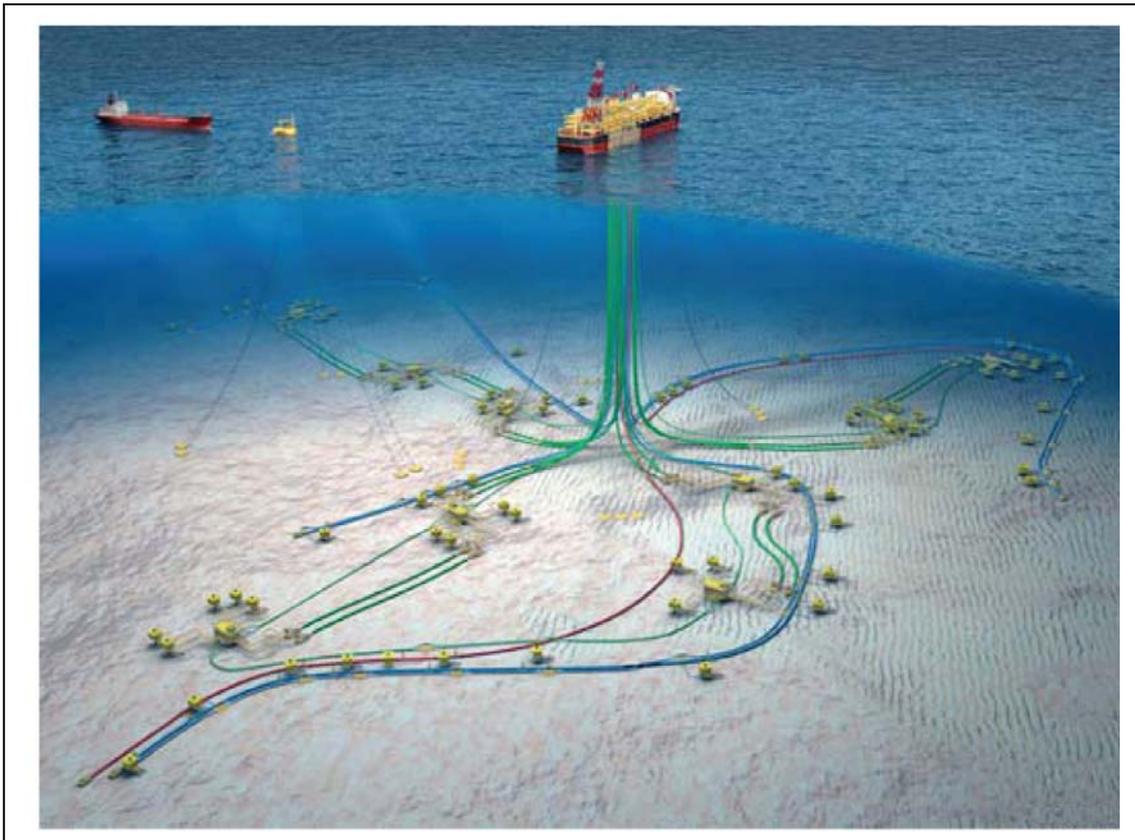
---

- Perforación: Lo extenso del programa de perforación (cerca de 2.500 días) refleja la escarpada escalada del proyecto. Cuando estuvo completo, 67 pozos estaban muy desviados, por lo que se acabaron perforando pozos horizontales con una longitud media de 1.100 metros.
- Tubos de ascenso flexibles: Los ocho tubos flexibles que toman el fluido hasta las instalaciones superficiales son la innovación clave del proyecto. Su tamaño empujó el desarrollo de la tecnología de producción integrada. Los tubos de ascensión y los cables de sujeción están enrollados alrededor del corazón del tubo flexible de 12 pulgadas, el cual está protegido por diez capas de aislamiento y por una sobreprotección por carcasa que asegura la fuerza mecánica de las contrahuellas, que son de 1.650 metros de longitud y pesan 800 toneladas métricas.
- FPSO: El gigantesco buque de carga y descarga de la producción (FPSO) es de 30.000 toneladas métricas, para tratar y almacenar el crudo y exportarlo mediante una boya de carga, así como para inyectar de nuevo el agua para la producción y el gas después de la compresión.



### 1.2.1.1. Sistema de pozos de producción en racimo:

En la figura se muestra la disposición general de los pozos, los colectores de producción, las líneas de superficie y los controles umbilicales que cubren una superficie submarina de aproximadamente 100 km<sup>2</sup>.



Durante la fase de diseño detallado se evaluaron varios diseños para encontrar la solución óptima. Se optó por un típico sistema de pozos de producción en racimo, compuesto por un colector de producción con tres pozos a un lado y tres pozos al otro, todos comunicados por conectores rígidos entre los arboles de extracción y el colector. Cuando el colector está en el centro de un bucle de circulación, unos carretes rígidos conectan las líneas de superficie de producción a ambos finales del colector. Si el colector está al final del bucle de circulación, un bucle de distribución (pigging loop) se instala en la parte abierta del colector, permitiendo la distribución. El control umbilical esencial está encadenado de un colector a otro. Los conectores rígidos no están en contacto con el fondo marino pero flotan aproximadamente 2.5 metros sobre él debido a su conexión a elementos de flotabilidad.

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.2: ANTECEDENTES

---

Los avances en la perforación horizontal y el empleo de terminaciones simplificadas permiten a los pozos estar agrupado en seis pozos racimo, que no sólo facilitan la perforación por lotes donde es necesario sino que también reducen el número de líneas submarinas y conexiones umbilicales.

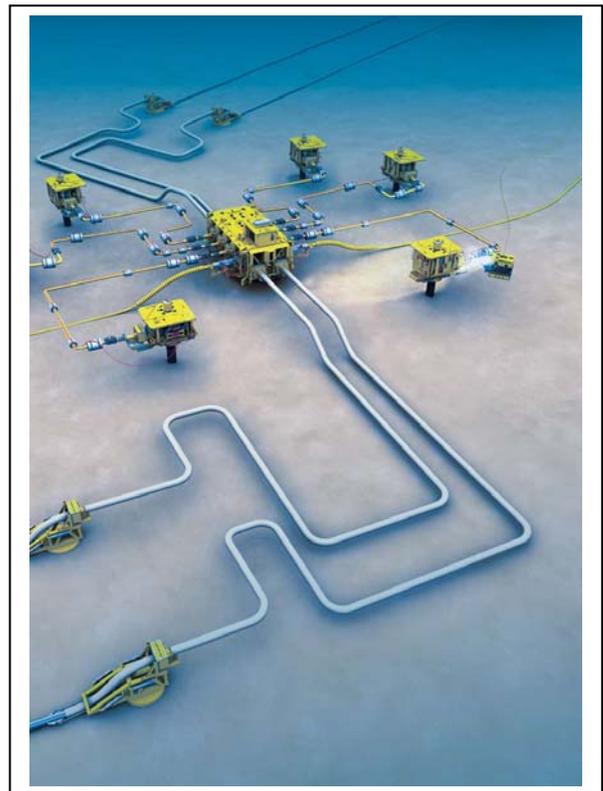
### 1.2.1.2. Sistema de inyección de agua y gas:

Para llevar el agua y el gas a los pozos relevantes se utiliza un diseño de encabezamiento de línea simple. El control umbilical está adyacente a las líneas de superficie con unidades de distribución submarinas (SDUs) conectando el árbol de extracción mediante actuadores eléctricos e hidráulicos actuados por un control a distancia (ROV).

### 1.2.1.3. Cabeza de pozo, árbol de extracción y soporte de tubería:

La tecnología horizontal de los árboles de extracción fue seleccionada por ser compatible con las 7 pulgadas del calibre de terminación y permitir una eficiente secuencia de operación al poder perforar por lotes con un número mínimo de movimientos del equipo. Además, los árboles de extracción tienen el taladro interno con la capacidad para hacer un pozo de tipo ligero, dejando que el equipo (BOP) se desplace para impedir la ruptura. Con el árbol de extracción y el BOP en su sitio, el pozo puede ser taladrado, encajonado y completado.

Son usados dos tipos de modelos para los árboles de extracción, en la mayoría de los pozos se utiliza el tipo de diseño ligero, basado en un programa de tres cubiertas, incluyendo el tubo conductor de 36 pulgadas y 18<sup>3/4</sup> pulgadas del alojamiento de la cabeza del pozo. Sólo el 10% de los pozos están planificados para ser de diseño pesado, basados en un programa de cuatro cubiertas incluyendo el tubo conductor.



En ambos diseños la cabeza de pozo es estándar, de diámetro externo de 18<sup>3/4</sup> pulgadas, pero para el diseño ligero la pared es más gruesa para conectar sólo los soportes de las cubiertas de 14 y 10<sup>3/4</sup> pulgadas. El taladro interno de calibre más pequeño de los árboles de extracción horizontales es de 13 pulgadas y se instalan sobre la cabeza del pozo probándose antes de la instalación y prueba del BOP.

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.2: ANTECEDENTES

---

El conductor de la carcasa comunica con la guía base que proporciona la dirección final para el árbol de extracción. Instalados juntos tras la impulsión del tubo conductor de 36 pulgadas, el principio de la guía base se puede ajustar mediante el control a distancia (ROV) a una exactitud de  $\pm 1^\circ$  e incluye un receptáculo para las herramientas de orientación para realizar la conexión del carrete/conector con el colector.

Los árboles de extracción disponen de un sistema de válvulas submarinas complejo para controlar el flujo de los fluidos producidos o el agua o gas inyectados en los depósitos. También disponen de un acceso vertical al pozo para trabajos de intervención. Los calibres de los árboles de extracción son de 5<sup>1/2</sup> o 7 pulgadas, dependiendo de los requerimientos específicos de los pozos. La presión de trabajo es de 5,000 psi, y las medidas aproximadas de los árboles de extracción son 5.1 × 4.2 × 3.5 metros. El peso seco de cada árbol de extracción es de 40 toneladas.

### **1.2.1.4. Finalización y sistema de supervisión:**

Una ventaja de establecer pozos utilizando árboles de extracción horizontales en aguas profundas es la eliminación del costoso, de mono o dual calibración, sistema de supervisión y contrahuella con sus instalaciones de control específicas. Es habitual que estos sistemas sean desplegados, por motivos de seguridad, junto con la contrahuella que perfora y el BOP, ofreciéndose una base alquilada para campos con un número limitado de pozos. Sin embargo, con casi 100 pozos, la decisión tomada en este caso fue hacer que el proyecto Dalia invertiría dinero en dos sistemas de supervisión y los mantuviera en un almacenaje seguro entre las intervenciones.

### **1.2.1.5. Sistema de producción por colectores:**

El montaje de cada colector consiste como base en una estructura inferior y un colector. La estructura inferior base está compuesta de unos pilares de succión y una estructura de apoyo al colector, ajustable en nivel sobre unos  $\pm 5^\circ$ . El colector incluye tubería de gran calibre y tubería de calibre pequeño, núcleos de conexión y una estructura protectora. En caso de un problema importante con un colector, después de la parada del lazo y la desconexión completa de todas las líneas y tuberías umbilicales, la unidad superior puede ser recuperada por su ascensión a la superficie.

### **1.2.1.6. Carretes, conectores y sistema de conexión:**

El proyecto Dalia utiliza únicamente un sistema estándar para todas las conexiones desplegadas por campo. El árbol de producción está conectado al núcleo de conexión del colector por una vía de 6 pulgadas de conector rígido con forma de "J/L", que flota sobre el fondo del mar.

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.2: ANTECEDENTES

---

Las líneas de 2 pulgadas de metanol y de servicio y las líneas hidráulicas y químicas de  $\frac{3}{4}$  de pulgada también están conectadas al mismo tiempo mediante múltiples núcleos horizontales y abrazaderas de conexión.

La conexión al pozo completa, con núcleos y cajas de aislamiento en los dos extremos, se baja del buque de superficie con una grúa pórtico. El primer extremo del conector entra en el pórtico del colector y se gira antes de que el segundo extremo entre en la guía base del árbol. Un instrumento de manipulación desplegado por el control a distancia (ROV) tira de la terminación externa de ambos extremos. Una vez realizado esto, un instrumento de rotación cierra los conectores de las abrazaderas. Se prueban las dos conexiones realizadas por el control a distancia (ROV) y, finalmente, se encajan y sellan las cajas de aislamiento. Este mismo método se utiliza para el sistema de conexión entre el módulo de producción con su carrete y su línea de superficie y el control de las conexiones umbilicales.

También se utiliza este sistema para la conexión a los pozos de inyección, donde los dos conectores eléctricos adicionales se unen a cada módulo del árbol de control.

Se han desarrollados muchos instrumentos especiales como: un instrumento de limpieza, un instrumento de sustitución de sellos, un instrumento para la rotación y un instrumento de sujeción, que se despliegan por el control a distancia (ROV) en una cesta de trabajo submarina. Esta filosofía de instrumentos de control a distancia (ROV) optimiza las operaciones de engranaje en el fondo del mar debido al limitando número de inmersiones del mismo.

### 1.2.2. Sistema de Control:

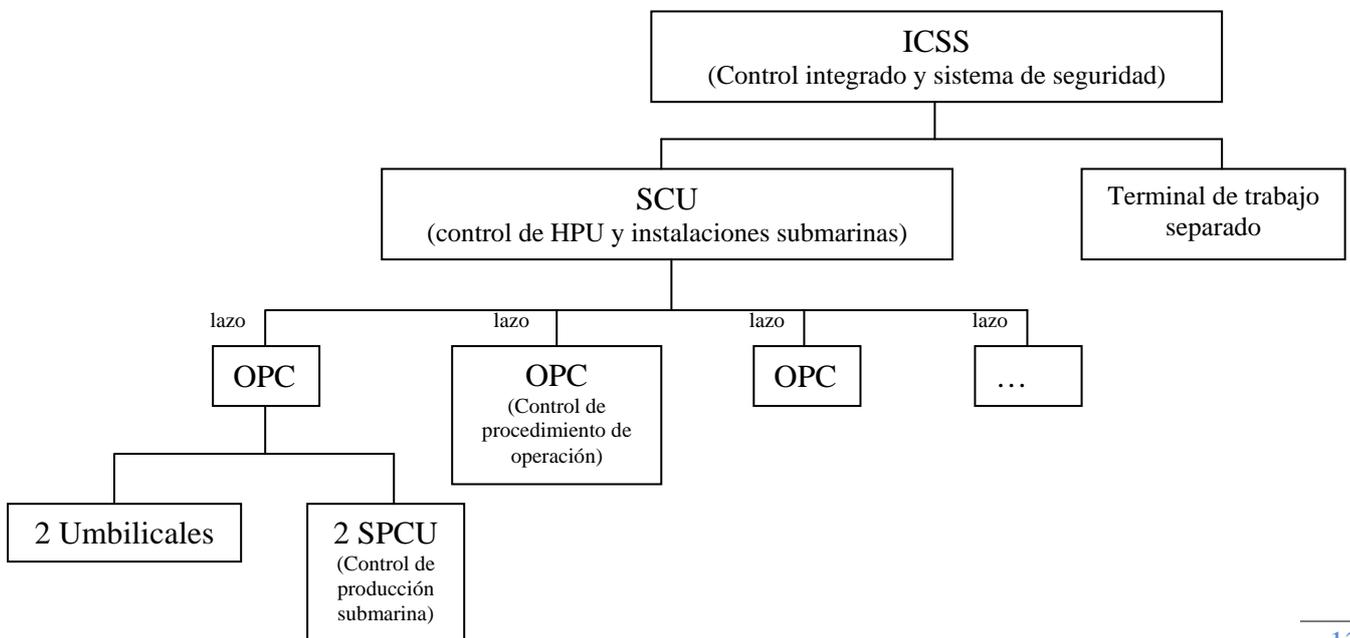
El sistema de control de operaciones para el sistema de producción submarino Dalia es uno de los más grandes y más complejos hasta el momento. Ha sido diseñado para controlar unos 100 pozos submarinos (incluyendo terminaciones finales de hueco inteligentes), todos los colectores asociados y todas las exigencias de inyección química. Además tienen que manejar la producción de petróleo pesado y tiene que operar a temperaturas de funcionamiento bajas. La base del diseño es un sistema electrohidráulico múltiple que es la tecnología probada para operaciones en aguas profundas, con un número de innovaciones claves.

#### 1.2.2.1. Equipamiento de superficie:

El control integrado y el sistema de seguridad (ICSS) fueron diseñados para asegurar la operación segura de todas las instalaciones de superficie y submarinas, y realizar las exigencias del funcionamiento y la filosofía de seguridad. El ICSS está manejado desde la sala de control central y está conectado a la unidad de control submarina (SCU) por una conexión de datos de alta velocidad. El terminal de trabajo separado está dedicado a la operación submarina como parte de la estación principal. Los ordenadores de redundancia dual están localizados en la sala de instrumentos.

El SCU controla la unidad de potencia hidráulica (HPU) y todas las instalaciones submarinas mediante un número de entradas de control de procedimiento de operación llamado OPC, todos están interconectados por una conexión de datos dual. Cada OPC está conectado a dos unidades de control de producción submarinas (SPCUs) y dos umbilicales. Todos los cables de comunicación están duplicados, y el control de producción umbilical está configurado en un lazo cerrado para obtener un 100% de redundancia. Cada lazo de producción está conectado a una entrada OPC y dos SPCUs.

El HPU proporciona fluidos de control para actuar las válvulas de las 270 barras de los árboles de extracción, de los colectores y de las 700 barras de las válvulas de seguridad de 5<sup>1/2</sup> y 7 pulgadas.



### 1.2.2.2. Umbilicales y equipamiento submarino:

Los umbilicales de producción tienen la conexión submarina al colector mediante una terminación especial que la monta en la parte superior de la estructura un módulo de control del colector. Desde allí, cada módulo de control submarino de los árboles de extracción (SCM) está conectado mediante un cable flotante que transmite la energía eléctrica y las señales. Las líneas hidráulicas y químicas son tuberías rígidas y están montadas a cuestras sobre los conectores rígidos de los árboles de extracción.

El SCM está formado por válvulas de control de solenoide, transductores de presión, caudalímetros, filtros y dos (redundancia dual) módulos submarinos electrónicos (SEMs) almacenados en un alojamiento purgado por nitrógeno.

Sensores adicionales como: contadores polifásicos, detectores de arena, válvulas reguladoras de inyección química, indicadores de profundidad y unidades de interfaz de profundidad están controlados todos por el mismo sistema.

Todos los sensores de proceso submarinos tienen la redundancia dual y están arbitrados por el proceso de control de operación (OPC) con un algoritmo predefinido. El OPC simplifica el interfaz entre la unidad de control submarina (SCU) y el equipo submarino, reduciendo al mínimo los esfuerzos de puesta en práctica del software.

Además, considerando las operaciones en campo, el software con el control total de los pozos y las contrahuellas ayuda al personal de sala de control en las operaciones con el manejo del control submarino al reducir el número de tareas que deben ser ejecutadas y en la prevención de las alteraciones operacionales originadas por golpes en las líneas de distribución y las contrahuellas.

### **Capítulo 1.3. Descripción de los colectores subacuáticos:**

Los colectores subacuáticos se dividen en dos partes diferenciadas, un módulo de tubería y un módulo de estructura, según las funciones que realizan y los materiales con los que se han construido.

#### **1.3.1. Módulo de tubería:**

Las tuberías de los colectores subacuáticos son de acero inoxidable de tipo Dúplex (SA-790 / SA-790M designación S31803) y los componentes y válvulas que les acompañan son de acero inoxidable Súper Dúplex (SA-790 / SA-790M designación S32750), según la Sección II de la Normativa The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Bolier and Pressure Vessel Code del año 2004 Parte A: “Ferrous Material Specification”.

El acero inoxidable Dúplex es un acero austeníticos ferrítico de hierro-cromo con aleación de níquel y molibdeno. Tiene buena resistencia a las picaduras, una alta resistencia a la tracción y una mayor resistencia al estrés en la aparición de fisuras por corrosión a temperaturas moderadas que los acero inoxidable austenítico convencionales.

El Dúplex es un material con una cantidad aproximadamente igual de austenita y ferrita, combinándose para dar una excelente resistencia a la corrosión. Las propiedades mecánicas son aproximadamente el doble de las del acero austenítico convencional y la resistencia al estrés por aparición de fisuras por corrosión es superior al del acero inoxidable de tipo 316 en soluciones de cloruro. Es un material dúctil, frágil a transiciones de aproximadamente -50° C, mientras que su uso a altas temperaturas está generalmente limitado a una temperatura máxima de 300° C por tiempo indefinido debido a su fragilización.

Sus características de resistencia a la corrosión, sus características mecánicas y su resistencia al estrés unido a su buen comportamiento a las temperaturas y circunstancias de este proyecto, hacen de este material el más indicado.

Para realizar las uniones soldadas entre dos tuberías de material Dúplex se utilizará el material de aporte siguiente:

- Para las soldaduras realizadas mediante técnica GTAW se empleará una varilla de material clasificado según la American Welding Society (AWS) como ER2209.

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.3: DESCRIPCIÓN DE LOS COLECTORES SUBACUÁTICOS

---

- Para las soldaduras realizadas mediante técnica GTAW + SMAW se empleará una varilla de material clasificado según AWS como ER2209 y un electrodo clasificado según AWS como E2209.

Estos materiales de aporte tienen una estructura similar a la del metal base.

El acero inoxidable Súper Dúplex tiene las mismas características básicas que el acero inoxidable Dúplex con una mayor resistencia a la corrosión por picaduras y en resquicios, pero se utiliza para la construcción de componentes diferentes de tuberías.

Para realizar las uniones soldadas entre dos tuberías de material Súper Dúplex se utilizará el material de aporte siguiente:

- Para las soldaduras realizadas mediante técnica GTAW se empleará una varilla de material clasificado según AWS como ER2553.
- Para las soldaduras realizadas mediante técnica GTAW + SMAW se empleará una varilla de material clasificado según AWS como ER2553 y un electrodo clasificado según AWS como E2553.

Estos materiales de aporte tienen una estructura similar a la del metal base.

Existen casos de uniones soldadas que unen una tubería de material Dúplex con un componente de material Súper Dúplex. Para realizar estas uniones se utilizará el material de aporte siguiente:

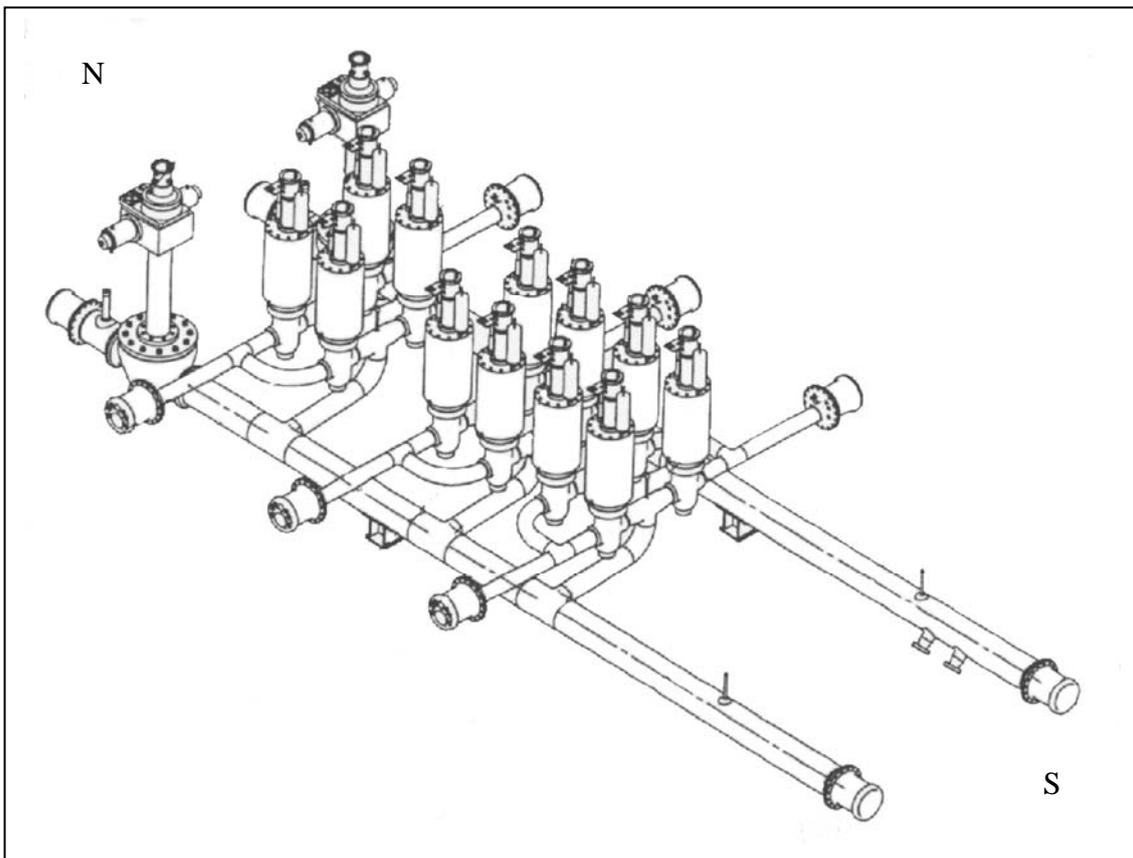
- Para las soldaduras realizadas mediante técnica GTAW se empleará una varilla de material clasificado según AWS como ER2209.
- Para las soldaduras realizadas mediante técnica GTAW + SMAW se empleará una varilla de material clasificado según AWS como ER2209 y un electrodo clasificado según AWS como E2209.

Estos materiales de aporte tienen una estructura similar a la del metal base Dúplex. Este material no aportaría ninguna variación a la estructura del Súper Dúplex ya que tienen la misma composición básica que el Dúplex pero con unas proporciones mayores de Cromo, Molibdeno y Nitrógeno.

Para describir un módulo de tubería de un colector subacuático se ha subdividido en dos módulos diferenciados: una para las tuberías de pequeño diámetro y otra para las tuberías de gran diámetro.

### 1.3.1.1. Módulo de tuberías de gran diámetro:

El módulo de las tuberías de gran diámetro tiene la función de distribuir el petróleo extraído de los pozos hasta las líneas de superficie. La conexión entre los árboles de extracción y la tubería de gran diámetro se realiza por conectores rígidos que se conectan a la tubería de 6 pulgadas de diámetro dispuestas en este módulo. Estas tuberías aportan los productos extraídos a la tubería de gran diámetro que se conecta mediante carretes rígidos a las líneas flexibles de superficie. Esta línea de superficie transporta los productos extraídos al FPSO.



El módulo de tubería de gran diámetro está compuesto por dos tuberías paralelas de 14 pulgadas de diámetro que van de norte a sur del colector de producción. En la parte norte de estas tuberías se encuentran dos válvulas de bola submarinas de 12 pulgadas de diámetro con sus correspondientes actuadores, una por tubería. En los finales de estas tuberías se encuentran los conectores rígidos de 14 pulgadas de diámetro que las unen con las líneas de superficie.

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.3: DESCRIPCIÓN DE LOS COLECTORES SUBACUÁTICOS

---

Interconectando estas dos tuberías de 14 pulgadas se encuentran tres tuberías de 6 pulgadas de diámetro paralelas entre si. Estas tuberías están provistas cada una con cuatro válvulas de compuerta de 6 pulgadas de diámetro con su actuador, que sirven para el control de los fluidos provenientes de los árboles de extracción. La conexión entre estas tuberías y los conductos provenientes de los arboles de extracción se realiza por conectores rígido de 6 pulgadas de diámetro con forma “J/L”, tal como se puede ver en el dibujo.

Entre cada uno de estos pares de válvulas se encuentran las tuberías de 8 pulgadas de diámetro que conectan las líneas que recogen los fluidos de los árboles de extracción y las tuberías principales de 14 pulgadas que los distribuyen a la superficie. Se eligió esta disposición porque las válvulas de compuerta, según su posición abierta o cerrada, regulan el aporte o no de fluido desde un árbol de extracción al colector, o a que ramal principal del colector se debe aportar.

Todas las válvulas, tanto de bola como de compuerta, tienen una conexión de 3/8 de pulgada de diámetro a las tuberías de pequeño diámetro correspondientes al otro módulo de tubería. Estas tuberías aportan los fluidos hidráulicos de control para la actuación de las válvulas.

Las dos tuberías de 14 pulgadas disponen de una conexión de 2 pulgadas que sirve de vía de vaciado de emergencia de las tuberías del módulo en caso de ascensión automática de un colector. Y otra conexión con el módulo de tubería pequeña de 3/4 de pulgada que sirve de vía de aporte del producto biocida que mantiene las tuberías en un estado adecuado, exento de obstrucciones por organismos biológicos, durante la operación normal.

Existen dos bocas de tubería embridada unidas a cada tubería de 14 pulgadas del módulo de tubería grande. Estas bocas de tubería aportan un conexionado adicional al módulo en caso de necesitarse un vaciado rápido. Tanto la conexión de 2 pulgadas como estas bocas de tubería embridada son de uso para el control robotizado de mantenimiento.

Todas estas tuberías se unen entre sí y unen las diferentes partes que las forman, mediante soldaduras metálicas con las características que se adjuntan en la siguiente tabla. En total se sueldan para confeccionar el módulo de tubería grande de un colector subacuático del proyecto Dalia un total de 71.577,46 pulgadas lineales.

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### CAPITULO 1.3: DESCRIPCIÓN DE LOS COLECTORES SUBACUÁTICOS

#### **Tipos de soldaduras metálicas y sus características principales**

Diámetro soldadura	SCH	Espesor (mm)	Nº de soldaduras	Pulgadas lineales	Método de soldadura	Preparación de bordes	Material Base
14"	160	35,71	27	30.163,13"	GTAW <sup>1</sup> + SMAW <sup>2</sup>	Raíz abierta <sup>3</sup>	Dúplex / Súper Dúplex
8"	140	20,62	30	20.649,737"	GTAW <sup>1</sup> + SMAW <sup>2</sup>	Raíz abierta <sup>3</sup>	Dúplex
6"	160	18,26	36	19.034,326"	GTAW <sup>1</sup> + SMAW <sup>2</sup>	Raíz abierta <sup>3</sup>	Dúplex / Súper Dúplex
2"	80	5,54	4	758,005"	GTAW <sup>1</sup>	Raíz abierta <sup>3</sup> /Socket weld <sup>4</sup>	Dúplex
3/4"	80	3,91	2	167,761"	GTAW <sup>1</sup>	Raíz abierta <sup>3</sup>	Dúplex
1/2"	80	3,73	12	804,501"	GTAW <sup>1</sup>	Raíz abierta <sup>3</sup> /Socket weld <sup>4</sup>	Dúplex

<sup>1</sup> GTAW (Gas Tungsten – Arc Welding): Método de soldadura en que se utiliza una punta de tungsteno como material para generar un arco eléctrico que funde el material aportado por una varilla adicional y que sirve de material de aporte a la soldadura. La fusión de los materiales se protege internamente mediante un gas inerte, normalmente Argón, y externamente con un gas de respaldo, normalmente Argón con una pequeña aportación de Nitrógeno. Durante la realización de las soldaduras se deberá llevar un control del porcentaje de Oxígeno existente, para comprobar que se encuentre entre los valores aceptados por procedimiento.

<sup>2</sup> SMAW (Shielded Metal – Arc Welding): Método de soldadura en que se utiliza un electrodo para generar un arco eléctrico entre el material base y el material de aporte. Al fundirse el material del electrodo por las altas temperaturas generadas en el arco eléctrico este sirve como material de aporte a la soldadura.

<sup>3</sup> Raíz abierta: tipo de preparación de bordes en forma de V, donde queda un espacio entre los bordes del material tanto en la parte inferior como superior que ha de ser rellenado por el material aportado durante el proceso de soldadura.

<sup>4</sup> Socket weld: Tipo de preparación de bordes en forma L, donde un borde del material está superpuesto al borde del otro material y que han de ser unidos al aportar material que funde ambos bordes.

### 1.3.1.2. Módulo de tuberías de pequeño diámetro:

El módulo de las tuberías de pequeño diámetro tienen las siguientes funciones:

- Introducir en los pozos de extracción el metanol producido en la superficie al tratar el petróleo.
- Suministrar el agua necesaria para el control de los actuadores de las válvulas de las tuberías de gran diámetro.
- Aportar el biocida que asegure la limpieza de las líneas de gas y de gran diámetro de transporte de petróleo.
- Suministrar el agua a alta o baja presión a los pozos de extracción.
- Proveer de tuberías de reserva para casos de emergencia.
- Suministrar los productos “antiscale” que aseguren la correcta limpieza de las tuberías y evite obstrucciones.

Para realizar todas estas funciones el módulo de tubería pequeña dispone de una conexión con la superficie mediante dos conectores rígidos en la parte sur, uno a cada lado del colector, y para los aportes a los pozos se utilizan los seis conectores rígidos, tres en cada lado del colector, que también conectan las tuberías de 6 pulgadas del módulo de tubería de gran diámetro.

Los productos que se aportan a través de un conectores rígidos de superficie tiene la característica que, a través de un panel donde están situadas todas las válvulas de control de toda las tubería pequeña de  $\frac{3}{4}$  y  $\frac{3}{8}$  de pulgada o a través de conexiones directas como es el caso de las tuberías de 2 pulgada, los productos no utilizados al no ser necesarios son evacuados por el otro conector rígido de superficie y es transportado a otro colector de producción subacuático. El panel de las válvulas de control (MQC) está situado en la parte superior del colector y a través de tuberías de  $\frac{3}{4}$  de pulgada se une al módulo de automatismo de control de accionamiento de las válvulas (MCM) que reporta mediante conexiones eléctricas a la superficie y está también situado en la parte superior del colector.

En todos los conectores rígidos se dispone de una conexión de 2 pulgadas que sirve para el aporte de metanol producido en la superficie a los pozos de extracción. Estas tuberías están conectadas entre sí y tienen para el control de los productos válvulas antes de las entradas en los conectores rígidos. Estas válvulas son controladas desde la superficie mediante el MCM.

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.3: DESCRIPCIÓN DE LOS COLECTORES SUBACUÁTICOS

---

El aporte de agua a alta o baja presión a los pozos de extracción se realiza de la misma forma que el aporte de metanol pero mediante tuberías de  $\frac{3}{4}$  de pulgada. Se dispone de tuberías que conectan los conectores rígidos de superficie con los conectores rígidos de aporte a los pozos de extracción. La única diferencia es que las válvulas de control del aporte a las tuberías están situadas en el MQC en la parte superior del colector de producción subacuático.

La misma disposición y dimensión que las tuberías de aporte de agua de alta y baja presión tienen las tuberías de reserva y las de aporte de los productos “antiscale”. La única diferencia entre ellas es que cada conector rígido de superficie dispone de dos tuberías de reserva en lugar de una como en las tuberías de los otros productos.

Para el aporte del biocida se disponen de conexiones de  $\frac{3}{4}$  de pulgada en los dos conectores rígidos que aportan los productos de la superficie. A través del MQC se controla el aporte de los productos biocidas a la tubería de 14 pulgadas del módulo de tubería grande.

El aporte de los fluidos hidráulicos a los actuadores hidráulicos se realiza desde el MQC mediante tuberías de  $\frac{3}{8}$  de pulgada. Este aporte está controlado por un submódulo del módulo de automatismo MCM referenciado como MCMMB que también es controlado desde la superficie y está ubicado junto a él.

Todas estas tuberías se unen entre sí y unen las diferentes partes que las forman, mediante soldaduras metálicas con las características que se adjuntan en la siguiente tabla. En total se sueldan para confeccionar el módulo de tubería grande de un colector subacuático del proyecto Dalia un total de 2.025,33 pulgadas lineales.

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.3: DESCRIPCIÓN DE LOS COLECTORES SUBACUÁTICOS

---

### Tipos de soldaduras metálicas y sus características principales

Diámetro soldadura	SCH	Espesor (mm)	Nº de soldaduras	Pulgadas lineales	Método de soldadura	Preparación de bordes	Material Base
2”	80	5,54	138	866,64“	GTAW <sup>5</sup>	Raíz abierta <sup>6</sup> / Socket weld <sup>7</sup>	Dúplex
3/4”	80	3,91	468	1.102,14”	GTAW <sup>5</sup>	Raíz abierta <sup>6</sup> / Socket weld <sup>7</sup>	Dúplex
3/8”	40	2,31	48	56,55”	GTAW <sup>5</sup>	Raíz abierta <sup>6</sup>	Dúplex

---

<sup>5</sup> GTAW (Gas Tungsten – Arc Welding): Método de soldadura en que se utiliza una punta de tungsteno como material para generar un arco eléctrico que funde el material aportado por una varilla adicional y que sirve de material de aporte a la soldadura. La fusión de los materiales se protege internamente mediante un gas inerte, normalmente Argón, y externamente con un gas de respaldo, normalmente Argón con una pequeña aportación de Nitrógeno. Durante la realización de las soldaduras se deberá llevar un control del porcentaje de Oxígeno existente, para comprobar que se encuentre entre los valores aceptados por procedimiento.

<sup>6</sup> Raíz abierta: tipo de preparación de bordes en forma de V, donde queda un espacio entre los bordes del material tanto en la parte inferior como superior que ha de ser rellenado por el material aportado durante el proceso de soldadura.

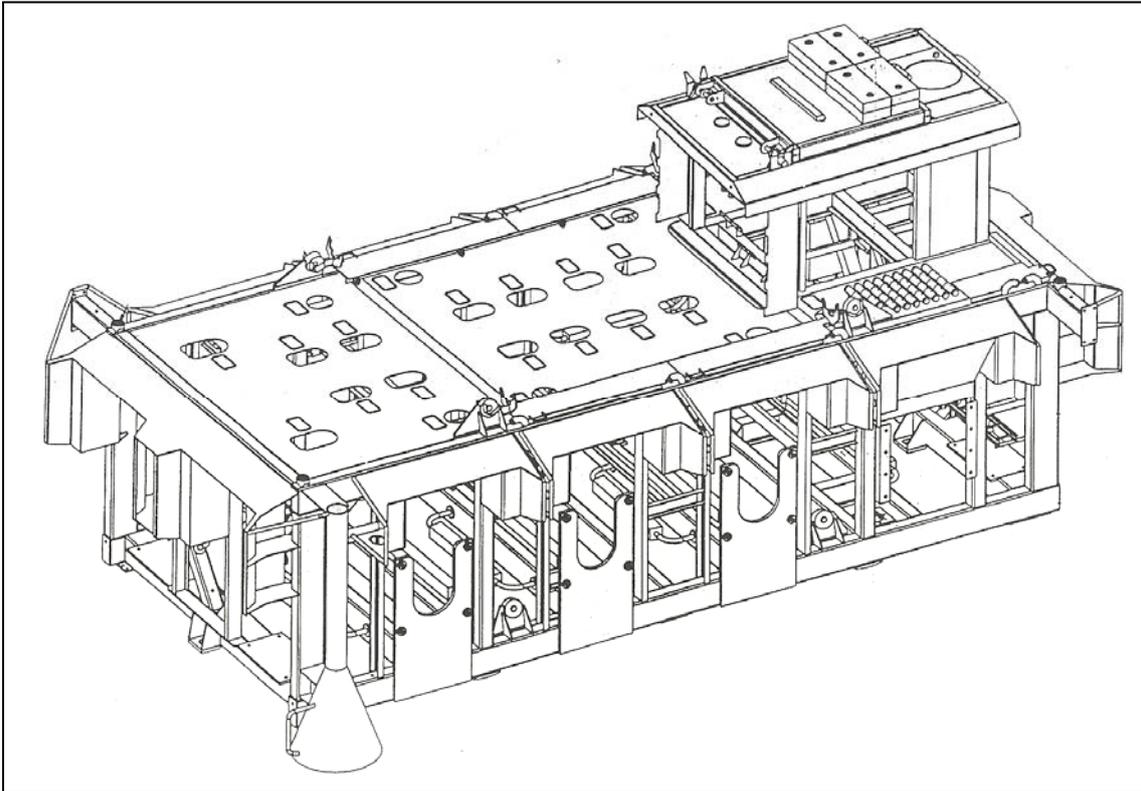
<sup>7</sup> Socket weld: Tipo de preparación de bordes en forma L, donde un borde del material está superpuesto al borde del otro material y que han de ser unidos al aportar material que funde ambos bordes.

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.3: DESCRIPCIÓN DE LOS COLECTORES SUBACUÁTICOS

---

### 1.3.2. Módulo de estructura:



El módulo de estructura de un colector subacuático está construido en el Acero al Carbono conocido como CORTEN de referencia S 355 J2. Por su composición química, transcurrido un cierto tiempo se forma una capa superficial autoprotectora que reduce la velocidad de corrosión en ambientes marinos. En general este tipo de acero se utiliza sin protección ni recubrimiento, sin embargo, al ser una estructura sumergida se aplicará una imprimación antioxidante de buena calidad sobre la superficie bien limpia.

Para realizar las uniones soldadas entre las chapas de acero al carbono se utiliza la técnica SMAW y el electrodo empleado como material de aporte será el clasificado según AWS como E7308 con una composición similar a la del metal base.

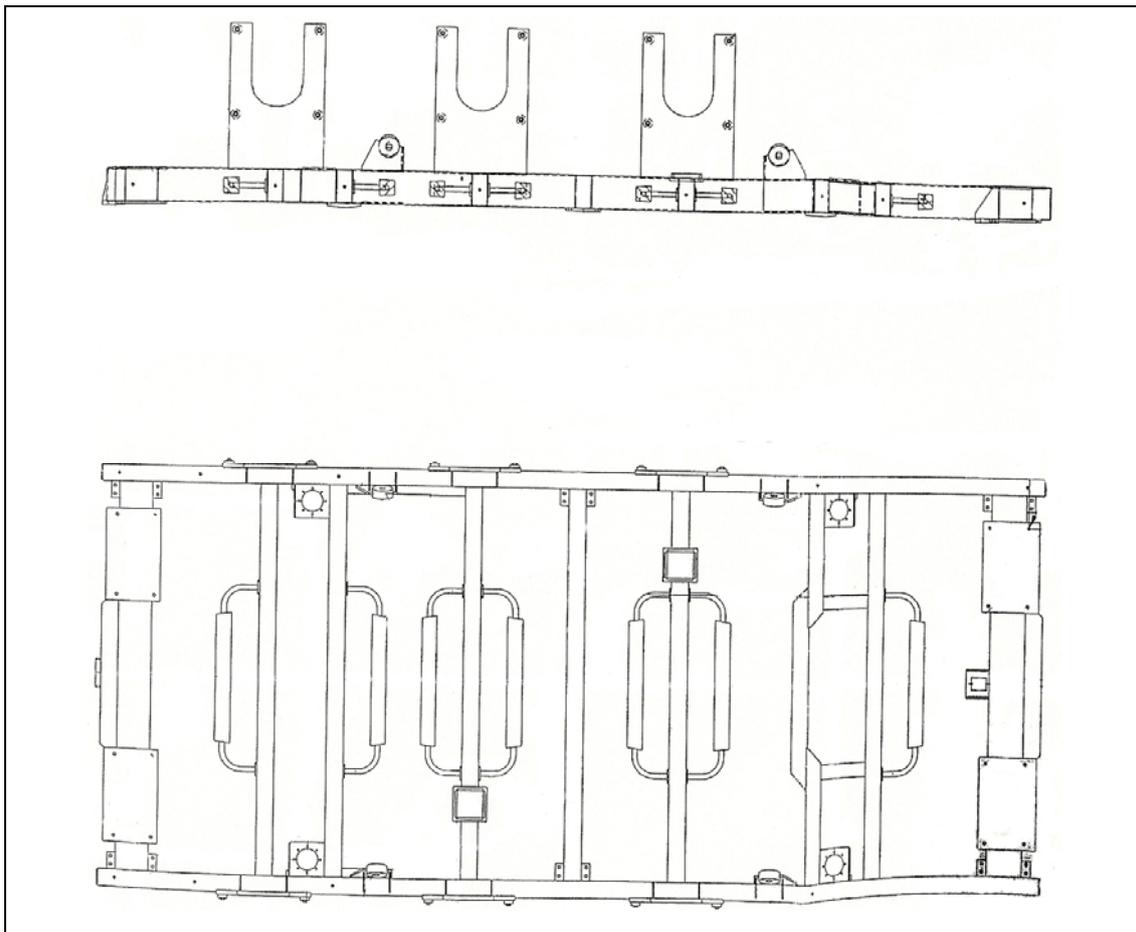
El módulo de estructura de un colector subacuático se subdivide en dos partes: el módulo de estructura inferior y el módulo de estructura superior.

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.3: DESCRIPCIÓN DE LOS COLECTORES SUBACUÁTICOS

### 1.3.2.1. Módulo de estructura inferior:

El módulo de estructura inferior sirve de base al colector subacuático soportando el módulo de tuberías de gran diámetro. También sirve como base para el módulo de estructura superior que es soldado al módulo de estructura inferior una vez montado el módulo de tubería, tanto el de gran como el de pequeño diámetro. Este módulo de estructura se apoya en la estructura adicional que sirve para la sujeción de los colectores de producción subacuáticos al fondo marino.



Este módulo está compuesto por chapas soldadas entre sí formando varias estructuras. La principal de todas las estructuras es un rectángulo hueco formado por dos vigas longitudinales y ocho vigas transversales huecas formadas por cuatro chapas soldadas entre sí.

Las dos vigas longitudinales tienen soldadas a su lado exterior seis chapas (tres por lado) con forma de U en su parte superior. Estas estructuras sirven de soporte a las tuberías de seis pulgadas del módulo de tubería superior y a los conectores rígidos de los arboles de extracción. En las vigas longitudinales también se disponen de cuatro estructuras de izado (dos por viga).

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.3: DESCRIPCIÓN DE LOS COLECTORES SUBACUÁTICOS

---

De las ocho vigas transversales tres tienen funciones estructurales rigidizadoras y el resto tiene funciones de refuerzo y sujeción del módulo de tubería de gran diámetro.

Las tres vigas rigidizadoras, de norte a sur, son la primera, la quinta y la octava y están reforzadas mediante chapas soldadas a las vigas longitudinales. Las vigas transversales primera y octava tienen un perfil sobredimensionado porque son las encargadas de soportar los conectores rígidos de las líneas de superficie que transportan los productos extraídos de los pozos al FPSO. Los conectores se apoyan en unas chapas planas soldadas a las vigas. Entre estas chapas planas de las dos vigas transversales se disponen unas chapas adicionales que servirán para soportar las vigas verticales del módulo de estructura superior. En el centro de estas vigas transversales también se sueldan dos estructuras de conexión con la estructura de sujeción al fondo marino, una por viga.

La segunda, cuarta y quinta de las vigas transversales están soldadas a las vigas longitudinales en el plano medio de las chapas verticales de sujeción de los conectores rígidos de los árboles de extracción, de tal forma que fortalecen estas estructuras. La cuarta y quinta vigas transversales de refuerzo tienen ubicadas en su parte superior unas chapas planas con la función de servir de apoyo a los soportes de las tuberías de 14 pulgadas del módulo de tubería de gran diámetro.

La tercera y séptima vigas transversales tienen la función de servir de conexión con la estructura de apoyo al fondo marino. Para ello a la tercera viga transversal se han soldado dos estructuras, una en cada extremo, en forma de cubo con cuatro lados y con su lado inferior con una perforación hueca de ajuste. Estas mismas estructuras están soldadas a un anexo soldado a la séptima viga transversal, formado por cinco chapas soldadas entre sí. Este anexo está dispuesto para mantener las distancias a las uniones de la estructura de unión al fondo marino.

Además de la imprimación de protección, en la estructura se disponen siete ánodos de sacrificio de zinc soldados a las vigas transversales de refuerzo para prevenir la corrosión del Acero al Carbono. La disposición de los ánodos de sacrificio es la siguiente:

- Un ánodo soldado al lado norte de la segunda viga transversal.
- Un ánodo soldado al lado sur de la tercera viga transversal.
- Dos ánodos soldados a cada lado de la cuarta y quinta viga transversal.
- Un ánodo soldado al lado sur de la séptima viga transversal.

Todas las soldaduras de este módulo son de tipo “fillet” (soldadura en ángulo). Se adjunta la tabla con las soldaduras que componen este módulo:

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.3: DESCRIPCIÓN DE LOS COLECTORES SUBACUÁTICOS

---

Método de soldadura	Preparación de bordes	Material Base
SMAW <sup>8</sup>	Fillet <sup>9</sup>	Acero al Carbono Corten S 355
SMAW <sup>8</sup>	Fillet <sup>9</sup>	Acero al Carbono Corten S 355/ Dúplex

---

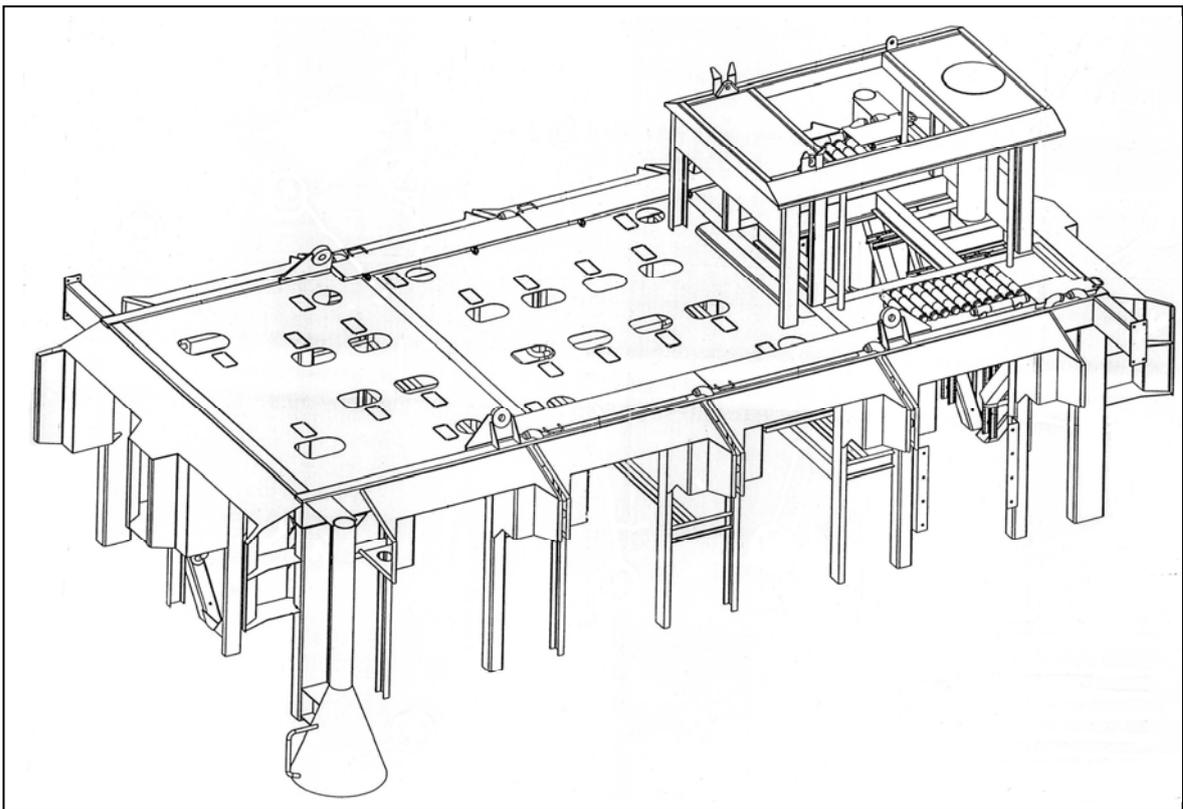
<sup>8</sup> SMAW (Shielded Metal – Arc Welding): Método de soldadura en que se utiliza un electrodo para generar un arco eléctrico entre el material base y el material de aporte. Al fundirse el material del electrodo por las altas temperaturas generadas en el arco eléctrico este sirve como material de aporte a la soldadura.

<sup>9</sup> FILLET: Preparación de bordes en que las chapa se dispone formando una L entre sí. En el proceso de soldadura se funde material base de las dos chapas a la vez que se aporta material.

### 1.3.2.2. Módulo de estructura superior:

El módulo de estructura superior tiene dos funciones principales:

- En primer lugar sirve de soporte para las tuberías del módulo de tuberías de pequeño diámetro mediante soportes de teflón. Con esta suportación se evitando posibles tensiones originadas por los posibles movimientos de las tuberías inducidos por las corrientes marinas.
- En segundo lugar, se encarga de la protección del módulo de tubería, sobre todo de las tuberías de pequeño diámetro dispuestas en la parte superior y de las válvulas de actuación, de las posibles agresiones del medio marino.
- En la parte superior de este módulo se dispone una estructura con forma de caseta que está destinada a alojar y proteger el automatismo de control (MCM) y las válvulas de control (MQC). Estas válvulas son las que abren o cierran el acceso a las diferentes tuberías según las necesidades de la producción.



Este módulo está compuesto por una estructura rectangular hueca formada por dos vigas cuadrangulares longitudinales huecas de mayor longitud y cuatro vigas cuadrangulares transversales huecas. Todas ellas formadas por cuatro chapas soldadas entre sí.

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.3: DESCRIPCIÓN DE LOS COLECTORES SUBACUÁTICOS

---

En las esquinas de las uniones entre las vigas cuadrangulares longitudinales y las vigas transversales de los extremos se disponen cuatro vigas cuadrangulares de suportación principales formadas por cuatro chapas soldadas entre si. Como detalle constructivo comentar que las soldaduras de unión entre estas vigas verticales de suportación del módulo de estructura superior y el módulo inferior son de tipo penetración con preparación de bordes.

A lo largo de las dos vigas cuadrangulares longitudinales principales se disponen tres vigas cuadrangulares verticales de menor dimensionado que las de las esquinas que sirven de suportación al módulo de estructura superior. Estas vigas cuadrangulares están formadas por cuatro chapas soldadas entre si.

Como suportación secundaria se disponen de las vigas cuadrangulares longitudinales principales y de las transversales principales de los extremos vigas verticales formadas por chapas soldadas entre si formando una U. De cada una de las vigas cuadrangulares transversales principales de los extremos se disponen, en su zona media, dos de estas vigas y de cada una de las vigas cuadrangulares longitudinales principales se disponen cuatro de estas vigas. La disposición de las vigas en forma de U que soportan las vigas longitudinales principales está combinada con las tres vigas cuadrangulares verticales descritas anteriormente de la siguiente manera partiendo de norte a sur:

- Tras la viga vertical de esquina se dispone una viga vertical cuadrangular hueca a la que se le suelda un ánodo de sacrificio de zinc.
- Tras la viga vertical cuadrangular hueca se coloca otra viga vertical cuadrangular hueca con ánodo de zinc unida mediante una viga longitudinal con forma de doble T a una viga vertical en forma de U. De esta viga longitudinal de unión parte una viga transversal que se une a la viga longitudinal de unión de la otra cara de la estructura. Esta viga transversal situada en un plano inferior al de la estructura principal tiene la función de soportar las tuberías de pequeño diámetro en su recorrido desde el panel de control en la parte superior del módulo hasta su disposición en la parte inferior del módulo. Esta suportación se realiza mediante paneles de teflón atornillados a la estructura que evitan el contacto entre los diferentes materiales de la tubería y la estructura.
- Tras esta estructura se dispone otra igual pero formada por dos vigas verticales con forma de U.
- Se dispone una tercera estructura formada por una viga vertical con forma de U y una viga vertical cuadrangular hueca, pero estas no disponen de vigas de suportación de la tubería pequeña.
- Antes de la viga vertical de esquina se dispone una nueva viga vertical con forma de U.

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.3: DESCRIPCIÓN DE LOS COLECTORES SUBACUÁTICOS

---

Todas estas vigas verticales descansan sobre el módulo de estructura inferior y son soldadas a él.

Como refuerzo para la estructura a cada una de las vigas transversales principales de los extremos se sueldan dos vigas cuadrangulares huecas oblicuas formadas por cuatro chapas soldadas entre si. Estas vigas son soldadas partiendo de las esquinas de las vigas transversales principales de los extremos y finalizando en el centro de estas pero siendo soldadas al módulo de estructura inferior. Como elemento adicional de protección ante la corrosión se sueldan a cada una de estas vigas oblicuas un ánodo de sacrificio de zinc.

Como elemento adicional para la protección de la parte interior del módulo de estructura superior se sueldan a lo largo de las dos vigas cuadrangulares longitudinales principales y de las dos vigas cuadrangulares transversales principales de los extremos, unas chapas planas en un ángulo descendente que proyectan los posibles elementos externos hacia el exterior de la estructura. En la parte inferior de estas chapas se disponen las estructuras que alojan las estructuras dispuestas en los extremos de las vigas verticales del módulo de estructura inferior y a las que irán soldadas.

Para el cierre de la estructura cuadrangular por su parte superior se disponen chapas metálicas con huecos que permiten el paso del agua, lo que evita que estas chapas se conviertan en superficies de resistencia para las corrientes marinas.

En la parte norte superior del módulo de estructura se dispone de una estructura con forma de caseta donde se aloja el sistema de control de la producción ya comentado anteriormente. Toda esta estructura está formada por vigas verticales soldadas a la parte superior de la estructura principal y por chapas de cierre que protegen la parte interior.

El módulo de estructura superior está dotado de elementos de anclaje e izamiento de la estructura. Estos elementos se disponen para que en caso de liberarse el colector de producción subacuático pueda ser recuperado mediante el equipo robotizado de mantenimiento y ser llevado a la superficie para su recuperación.

Todas las soldaduras son del tipo “fillet” (soldaduras en ángulo), excepto las soldaduras de unión entre las cuatro vigas de esquina que unen con el módulo de estructura inferior que son de tipo penetración completa con preparación de bordes.

# MEMORIA DESCRIPTIVA

## CAPITULO 1.3: DESCRIPCIÓN DE LOS COLECTORES SUBACUÁTICOS

---

Método de soldadura	Preparación de bordes	Material Base
SMAW <sup>10</sup>	Fillet <sup>11</sup>	Acero al Carbono Corten S 355
SMAW <sup>10</sup>	Penetración completa con preparación de bordes <sup>12</sup>	Acero al Carbono Corten S 355

---

<sup>10</sup> SMAW (Shielded Metal – Arc Welding): Método de soldadura en que se utiliza un electrodo para generar un arco eléctrico entre el material base y el material de aporte. Al fundirse el material del electrodo por las altas temperaturas generadas en el arco eléctrico este sirve como material de aporte a la soldadura.

<sup>11</sup> FILLET: Preparación de bordes en que las chapa se dispone formando una L entre sí. En el proceso de soldadura se funde material base de las dos chapas a la vez que se aporta material.

<sup>12</sup> Penetración completa con preparación de bordes: Se realiza una preparación de bordes de la chapa superior creando una media V con la chapa inferior que debe ser soldada a lo ancho de todo el espesor de la chapa superior.

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### CAPITULO 1.4: DEFINICIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS ELEGIDOS Y DE LAS SOLDADURAS A LAS QUE APLICA

---

#### **Capítulo 1.4. Definición y justificación de los métodos de ensayos no destructivos elegidos y de las soldaduras a las que aplica:**

La definición de los métodos de ensayos no destructivos elegidos depende de la Normativa utilizada para cada tipo de construcción (tubería o estructura). Por este motivo este apartado se dividirá en dos subapartados, uno correspondiente a los ensayos a realizar sobre los módulos de tubería y otro para los realizables sobre los módulos de estructura.

##### **1.4.1. Definición y justificación de los métodos de ensayos no destructivos para los módulos de tubería:**

Tal como se ha descrito en el capítulo anterior (Capítulo 1.3. Descripción de los colectores subacuáticos) el módulo de tubería se subdivide en dos módulos diferenciados, una para las tuberías de pequeño diámetro y otra para las tuberías de gran diámetro. En estos dos módulos se recogen soldaduras circunferenciales de conexión entre tuberías de los siguientes tipos:

Diámetro soldadura	SCH	Espesor (mm)	Nº de soldaduras	Método de soldadura	Preparación de bordes
14"	160	35,71	27	GTAW + SMAW	Raíz abierta
8"	140	20,62	30	GTAW + SMAW	Raíz abierta
6"	160	18,26	36	GTAW + SMAW	Raíz abierta
2"	80	5,54	132	GTAW	Raíz abierta
2"	80	5,54	10	GTAW	Socket weld
3/4"	80	3,91	426	GTAW	Raíz abierta
3/4"	80	3,91	44	GTAW	Socket weld
1/2"	80	3,73	6	GTAW	Raíz abierta
1/2"	80	3,73	6	GTAW	Socket weld
3/8"	40	2,31	48	GTAW	Raíz abierta

Siguiendo la sección 341 "Examination" del Capítulo VI "Inspection, Examination and Testing" de la American National Standard (ANSI) / The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Code for Pressure Piping B31.3-2002 "Process Piping", se establece que para las tuberías sometidas a condiciones severas cíclicas se deben realizar los siguientes ensayos no destructivos:

- Inspección Visual: Debe ser examinado el 100% de las soldaduras realizadas.

## MEMORIA DESCRIPTIVA

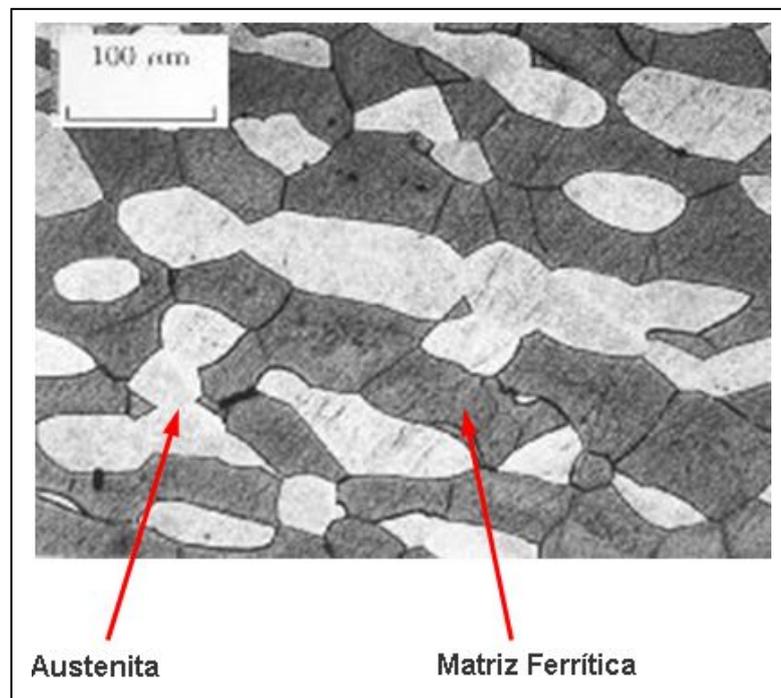
### CAPITULO 1.4: DEFINICIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS ELEGIDOS Y DE LAS SOLDADURAS A LAS QUE APLICA

---

- Inspección Volumétrica: Debe ser examinado el 100% de las soldaduras realizadas mediante examen radiográfico o (si está especificado en el diseño de la Ingeniería) mediante examen por ultrasonidos.

En el caso de quererse efectuar la inspección volumétrica mediante examen por ultrasonidos a todas las soldaduras, se ha de tener en cuenta que en el colector de producción subacuática existen soldaduras de diámetros desde 3/8 de pulgada a 14 pulgadas, con espesores de 2,31 a 35,71 milímetros y que el material a inspeccionar es Dúplex. Este tipo de soldaduras presentan la siguiente problemática:

- o El examen por ultrasonidos, en general, no es recomendable para diámetros inferiores a 6 pulgadas y espesores inferiores a 10 milímetros.
- o Los materiales Dúplex, por su doble estructura ferrítica y austenítica, suelen tener unas condiciones de tamaño de grano y anisotropía que ponen en duda la viabilidad del examen por ultrasonidos.



Por lo tanto se realizarán ensayos volumétricos mediante examen radiográfico al 100% de las soldaduras, pudiéndose considerar complementario un examen por ultrasonidos de las soldaduras de diámetro mayor o igual a 6 pulgadas. Se considera que nunca se deberá realizar como ensayo único el examen por ultrasonidos por los motivos expresados anteriormente.

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### CAPITULO 1.4: DEFINICIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS ELEGIDOS Y DE LAS SOLDADURAS A LAS QUE APLICA

---

- Las soldaduras tipo “Socket Weld” deben ser examinadas el 100% mediante líquidos penetrantes. Se elige este tipo de ensayo debido a que, aunque el material Dúplex es un acero inoxidable inamantable, las reducidas dimensiones de las tuberías a ensayar (2, 3/4 y 1/2 pulgada) que unen largas longitudes de tuberías dificultan la realización de los ensayos por partículas magnéticas, obteniéndose más fiabilidad en los resultados mediante el ensayo de líquidos penetrantes.

Una vez las soldaduras hayan sido finalizadas, no se realizará un tratamiento térmico ya según el apartado 331 “Heat treatment” del Capítulo V “Inspection, Examination and Testing” de la American National Standard (ANSI) / The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Code for Pressure Piping B31.3-2002 “Process Piping”, este tratamiento no es requerido para los materiales Dúplex.

Aunque tampoco sería necesaria la realización de pruebas de dureza a las soldaduras y materiales al no realizarse un tratamiento térmico, se considera que debido al gran diámetro y espesor de algunas soldaduras, se produce en ellas durante el proceso de soldeo un calentamiento elevado y durante un tiempo prolongado que puede producir deformaciones en el material. Estas deformaciones en caliente pueden producir un endurecimiento del material que afecte a sus características mecánicas.

De igual forma, las deformaciones en frío que se realizan a las tuberías de pequeño diámetro al realizar las curvaturas de las mismas para adaptarlas al diseño pueden producir este endurecimiento del material. Este endurecimiento puede llevar a una pérdida de sus características mecánicas.

Para verificar que no han perdido las características mecánicas, por las que se ha elegido este material, durante el proceso de soldeo, se considera necesario realizar un muestreo de los valores de dureza del 10% de las soldaduras de gran diámetro comprobando que se encuentren dentro de los valores requeridos por normativa, así como de un muestreo de los valores de dureza del 10% de las curvaturas de las soldaduras de pequeño diámetro.

Otro problema que podría hacer disminuir las características mecánicas de este material es el crecimiento de grano. Este fenómeno se podría producir ya que el calor aportado por la soldadura incrementa el contenido de ferrita y el crecimiento de grano es especialmente acentuado en una estructura ferrítica. Al enfriarse el material la austenita sólo se reforma parcialmente y la zona de soldadura del metal base adquiere una estructura de grano bastante grueso con mayor contenido en ferrita que antes de realizar el soldeo. Esta es la razón por la que las soldaduras se realizan sin precalentamiento y por la que es necesario verificar un muestreo del porcentaje de ferrita contenido en el material del 10% de las soldaduras de gran diámetro, comprobando que estos valores están dentro de los valores requeridos por normativa.

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### CAPITULO 1.4: DEFINICIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS ELEGIDOS Y DE LAS SOLDADURAS A LAS QUE APLICA

---

Si al realizar alguno de los ensayos no destructivos solicitados se identifica que se incumplen los criterios de aceptación explicados en cada procedimiento de ensayo, se procederá a reparar o sustituir la soldadura afectada. Tras la realización de reparación o sustitución de la soldadura se deberá volver a ejecutar nuevamente todos los ensayos no destructivos que le apliquen.

#### **1.4.2. Definición y justificación de los métodos de ensayos no destructivos para los módulos de estructura:**

Tal como se ha descrito en el capítulo anterior (Capítulo 1.3. Descripción de los colectores subacuáticos) el módulo de estructura se subdivide en dos módulos diferenciados, uno para la estructura inferior y otro para la estructura superior. En estos dos módulos se recogen soldaduras longitudinales del tipo “fillet” con y sin preparación de bordes.

Siguiendo el Apartado B “Contractor Responsibilities” del Capítulo VI “Inspection” de la American Welding Society (AWS), Structural Welding Code – Steel D1.1-2000, se establece que el 100% de las soldaduras realizadas en estructuras se deberán inspeccionar mediante Inspección Visual.

En el punto 6.6.4 “Specified Nondestructive Testing Other Than Visual” de la misma normativa, se establece que cuando se requiera un ensayo no destructivo diferente a la Inspección Visual es responsabilidad del contratista su realización. El requerimiento de realizar estos ensayos lo establece la Ingeniería que desarrolla el proyecto.

El diseño realizado de la parte estructural del colector subacuático se ha realizado para que sea lo más ligero posible para facilitar sus movimientos una vez en servicio, para lo que se han utilizado unos perfiles de chapa lo más finos posibles. Para resistir las tensiones calculadas en las soldaduras de unión de las diferentes chapas y perfiles con estos espesores, se ha definido una soldadura de unión entre las chapas de garganta fina pero con una longitud que abarca las dos chapas a unir. Al haberse realizado un diseño ajustado al límite de lo permitido, sin aportarle márgenes de resistencia, se considera necesario que se verifiquen el 100% de las soldaduras de tipo “fillet” realizadas mediante la realización de una inspección superficial por partículas magnéticas.

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### CAPITULO 1.4: DEFINICIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS ELEGIDOS Y DE LAS SOLDADURAS A LAS QUE APLICA

---

En el caso de las soldaduras de tipo “fillet” que unen el módulo de tubería inferior con el módulo de estructura inferior y que constituyen una transición de materiales, debido a que se soldarán con material austenítico ferrítico no serán sometidas a un ensayo superficial por partículas magnéticas sino por líquidos penetrantes, tal como se describe en el apartado destinado a las soldaduras del módulo de tubería.

Las soldaduras de unión entre la estructura inferior y superior, tal como se han descrito en el Capítulo 1.3. “Descripción de los colectores de producción subacuática”, se realizan mediante soldaduras a penetración completa con preparación de bordes. Debido a la necesidad de asegurar la correcta penetración de estas soldaduras ya que mantienen la unión entre los dos módulos en los que se divide la estructura del colector, se realizará un ensayo volumétrico mediante ultrasonidos que verifique su adecuada realización.

## **2. PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN**

# PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

## CAPITULO 2.1: PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURAS

---

### **Capítulo 2.1. Procedimiento de inspección visual de soldaduras:**

Este capítulo se subdivide en dos apartados:

- En el primero apartado se describe el procedimiento de inspección visual de soldaduras, incluyendo las normativas de aplicación, las inspecciones a realizar, los defectos que se pueden encontrar durante la inspección, la cualificación del personal que realiza las inspecciones y los métodos de registro y seguimiento de las inspecciones realizadas.
- En el segundo apartado se describirán las imperfecciones detectadas durante la ejecución de los trabajos y los métodos de reparación llevados a cabo para corregirlas.

**GESTIÓN DE LA CALIDAD**

**PROYECTO:**        *“Procedimientos de ensayos no destructivos en la construcción de los colectores subacuáticos de una extracción petrolífera de aguas profundas”.*

**DOC. CODIGO:**    **END-001**

**TITULO:**            *Inspección Visual de Soldaduras*

REVISIÓN	FECHA	MODIFICACIONES

PREPARADO / REVISADO	APROVADO	APROVADO CLIENTE
<b>Firma</b>	<b>Firma</b>	<b>Firma</b>
<b>Fecha</b>	<b>Fecha</b>	<b>Fecha</b>

**INDICE**

1. Objeto
2. Alcance
3. Normas y códigos de referencia
4. General
  - 4.1. Equipos empleados
5. Cualificación del personal
6. Inspección visual:
  - 6.1. Exigencias de colocación y alineación
  - 6.2. Inspección preliminar
  - 6.3. Inspección durante el proceso
  - 6.4. Inspección final
    - 6.4.1. Aspecto general de la soldadura
    - 6.4.2. Discontinuidades
    - 6.4.3. Verificación de parámetros geométricos
7. Documentación
8. Inspección continua

## **1. OBJETO**

El objeto de este procedimiento es establecer los criterios, niveles y normativas a seguir para la inspección visual de las soldaduras realizadas en los elementos metálicos clasificados dentro del proyecto y descritos en el Capítulo 1.4. “Definición y justificación de los métodos de ensayos no destructivos elegidos y de las soldaduras a las que aplica”.

La inspección visual es un método de ensayo no destructivo que se basa en la detección o medida de la variación de los parámetros físicos del material, proporcionando indicaciones inmediatas. La interpretación debe conducir a la identificación de la discontinuidad responsable de la indicación, hallando la correlación entre la discontinuidad y la naturaleza, morfología, situación y orientación de la indicación, hasta poder deducirse que las heterogeneidades detectadas alteran o no significativamente con su presencia la funcionalidad de la soldadura. En caso de no producir alteración se clasificará la indicación como imperfección y se seguirá con el proceso de montaje, pero si se considerara que si puede alterar o existieran dudas razonables se considerará defecto y el material será reparado o rechazado.

## **2. ALCANCE**

En el alcance de la inspección visual de soldaduras se contemplarán los siguientes puntos:

- Inspección preliminar del material a soldar, especialmente sus bordes una vez preparados para el proceso de soldeo.
- Inspección durante el proceso de soldeo, comprobándose que los parámetros de soldadura son los especificados.
- Inspección final de soldaduras, juzgándose su aspecto general y limpieza fijándose en la posible presencia de discontinuidades superficiales o que afloran a la superficie.

**3. NORMAS Y CÓDIGOS DE REFERENCIA**

Son de aplicación en los requisitos generales para la Inspección Visual en soldadura los requerimientos especificados en:

- Sección V del Código ASME en su Artículo 9 “Visual Examination”.
  - Punto T-910: “Scope”
  - Punto T-920: “General”
  - Punto T-930: “Equipment”
  - Punto T-950: “Technique”
  - Punto T-980: “Evaluation”
  - Punto T-990: “Documentation”
  - Tabla T-921: “Requirements of a Visual Examination Procedure”
  - Mandatory Appendix. Appendice I: “Glossary of Terms for Visual Examination”
  
- Sección B31.3 de Código ASME: Tuberías a presión. Tuberías de proceso.
  - Capítulo V: “Fabrication, assembly and erection”
    - Punto 328.4: “Preparation for Welding”
      - Punto 328.4.1: “Cleaning”
      - Punto 328.4.2: “End preparation”
      - Punto 328.4.3: “Alignment”
    - Punto 328.5: “Welding requirements”
      - Punto 328.5.1: “General”
      - Punto 328.5.2: “Fillet and socket welds”
      - Punto 328.5.3: “Seal welds”
      - Punto 328.5.4: “Welded branch connections”
      - Punto 328.5.5: “Fabricated laps”
      - Punto 328.5.6: “welding for severe cyclic conditions”
  - Capítulo VI: “Inspection, examination and testing”
    - Punto 341.3: “Examination requirements”
      - Punto 341.3.1: “General”
      - Punto 341.3.2: “Acceptance criteria”
      - Punto 341.3.3: “Defective components and workmanship”
      - Punto 341.3.4: “Progressive sampling for examination”
    - Punto 341.4: “Extent of required examination”
      - Punto 341.4.1: “Examination normally required”
      - Punto 341.4.3: “Examination – Severe Cyclic Conditions”

- Punto 344: “Types of examination”
  - Punto 344.1: “General”
    - Punto 344.1.1: “Methods”
    - Punto 344.1.2: “Special methods”
    - Punto 344.1.3: “Definitions”
  - Punto 344.2: “Visual Examination”
    - Punto 344.2.1: “Definition”
    - Punto 344.2.2: “Method”
  - Punto 344.7: “In-process examination”
    - Punto 344.7.1: “Definition”
    - Punto 344.7.2: “Method”
- AWS D1.1:2000: Código de soldadura estructural – Acero.
  - Capítulo 5: Fabrication”
    - Punto 5.24: “Weld Profiles”
  - Capítulo 6: “Inspection”
    - Parte C: “Acceptance Criteria”
      - Punto 6.7: “Scope”
      - Punto 6.8: “Engineer’s Approval for Alternate Acceptance Criteria”
      - Punto 6.9: “Visual Inspection”

#### **4. GENERAL**

Todas las soldaduras realizadas se inspeccionarán visualmente. Además de lo requerido específicamente en este procedimiento, se comprobará que se cumplen todas las cláusulas particulares de los Procedimientos de Soldadura aplicables.

##### **4.1. EQUIPO EMPLEADO:**

Para la realización de inspecciones visuales en uniones soldadas, el inspector dispondrá de al menos:

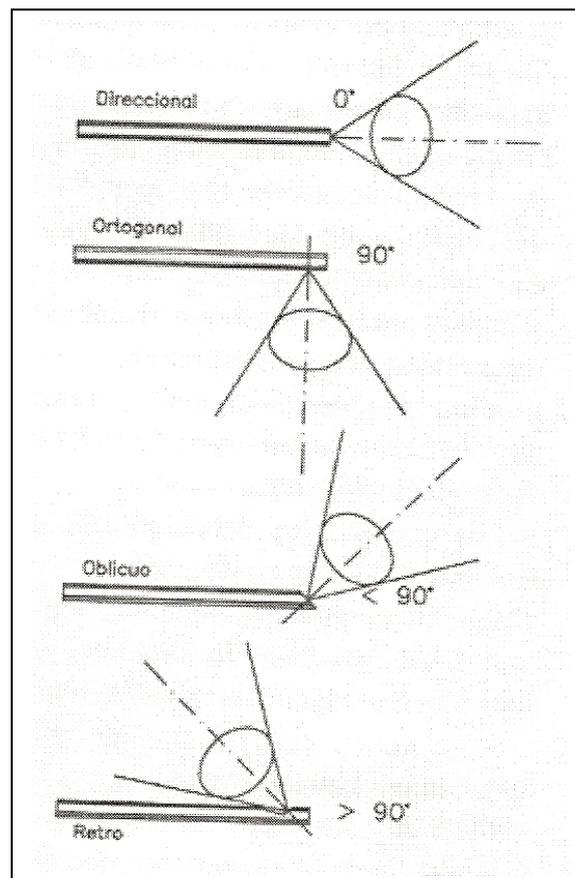
- Galgas para acoplamiento de uniones soldadas
- Galgas para medición de espesores de soldadura
- Pirómetro
- Lápices térmicos
- Linterna
- Espejos

En caso de que sea necesaria la inspección visual en zonas inaccesibles. Una situación de este tipo será la que se produzca al identificarse algún tipo de deficiencia por otro método de ensayo no destructivo en la raíz de una soldadura a raíz abierta realizada en tubería. Si antes de proceder a la reparación se desea inspeccionar visualmente la zona y no se encuentra próxima al final de la tubería se utilizará endoscopios.

Los endoscopios son dispositivos que se introducen dentro de elementos huecos y permiten guiar la luz y la visión hasta los puntos inaccesibles. Las características de estos equipos en función de las necesidades de su empleo y con la dirección de examen serán las mostradas en la figura 1 y descritas a continuación:

- De visión directa, esto es, alineada con el eje del aparato.
- En ángulo recto.
- Oblicua (con ángulo superior a  $90^\circ$ )
- Retrovisión (con ángulo de  $180^\circ$  transversal)

FIGURA 1



Se podrán emplear diversos equipos de endoscopia como pueden ser los endoscopios rígidos o la endoscopia por fibras ópticas, dependiendo de los equipos disponibles.

**5. CUALIFICACIÓN DEL PERSONAL**

Solamente podrán realizar trabajos de Inspección Visual de Soldaduras, aquellas personas cualificadas ex profeso según los requisitos contemplados en los procedimientos y especificaciones aplicables. En la figura 2 se muestra el formato empleado para la certificación de cualificación de los inspectores visuales.

FIGURA 2

<b>CERTIFICADO DE CALIFICACIÓN EN END</b>			
Nombre:		Fecha de Nacimiento:	
Método END: Inspección visual (IV)		Nivel:	
Fecha de Ingreso:		Fecha 1ª Certificación:	
<input type="checkbox"/> <b>Inicial</b> <input type="checkbox"/> <b>Recalificación:</b> <input type="checkbox"/> Continuidad <input type="checkbox"/> Examen			
<b>Estudios:</b>			
<b>Experiencia:</b>			
<b>Entrenamiento:</b>		Fecha:	
<input type="checkbox"/> Curso	<input type="checkbox"/> Autoestudio	Duración:	Resultado:
<b>Exámenes:</b>			
- Físico:		Realizado por:	
- General/Básico:	Específico/Método:		Práctico/Específico:
Factores de Ponderación:	0,33	0,33	0,33
Calificación Final:		(ASNT)	(ASNT-TC-1A)
Revisado por:			Fecha:
Otras evidencias de la demostración de la capacidad:			
Observaciones:			
De acuerdo con los requisitos establecidos en el Procedimiento: basado en la práctica recomendada n° SNT-TC-1ª de la ASNT edición 1996 incluida addenda 2000, se emite el presente certificado:			
Fecha de Certificación:		Validez hasta:	
Certificado por:		Firma	

## **6. INSPECCIÓN VISUAL**

### **6.1. EXIGENCIAS DE COLOCACIÓN Y ALINEACIÓN:**

Los elementos que hayan de soldarse, podrán ser sujetados, alineados y mantenidos en posición durante la operación de soldeo por medio de alineadores externos, puntos de soldadura, fijaciones temporales, etc.

Cuando para asegurar la alineación del elemento a soldar se empleen puntos de soldadura, éstos podrán incorporarse a la soldadura definitiva siempre que se preparen convenientemente los extremos mediante amolado u otro procedimiento adecuado, cumplan con las exigencias de limpieza y no se observen en ellos ningún defecto como grietas, fisuras, porosidad superficial, etc.

El empleo de sujeciones temporales soldadas como refuerzos, etc. durante el proceso de fabricación o montaje de cualquier elemento será permitido, siempre que se cumplan las siguientes exigencias:

- a) El material de las sujeciones será de las mismas características o compatible para soldar el elemento al cual se fija y deberá estar certificado. En ningún caso está permitido usar como sujeciones material de acero corrugado para la construcción (PBA).
- b) El material de aportación será el aprobado para las soldaduras propias del elemento o, en todo caso, compatible con el metal base y amparado con un certificado de acuerdo con el Código o Especificación de trabajo aplicable.
- c) El soldador y procedimiento de soldadura deberán estar cualificados según los requerimientos que se establezcan para la obra, no en estudio en este proyecto.
- d) Las fijaciones temporales se eliminarán por medios mecánicos sin arrancar el material base. Los posibles restos del material de soldadura se eliminarán por amolado.

Las superficies de las piezas a soldar estarán limpias y libres de costuras, herrumbre, aceite, grasa u otra materia, en una distancia mínima de 1" (25,4 mm) a partir de la junta preparada para soldar en los materiales ferrosos.

Las separaciones de los elementos a unir estará dentro de las tolerancias señaladas en los planos o, en su defecto,  $\pm 1,6$  de lo especificado en el Procedimiento de soldadura aplicable. Los chaflanes serán los indicados en los planos correspondientes.

La alineación de las tuberías para la realización de las soldaduras será las indicadas en las figuras adjuntas según sean soldaduras circulares (figura 3), "Socket Weld" (figura 4) o conexiones (figura 5).

FIGURA 3

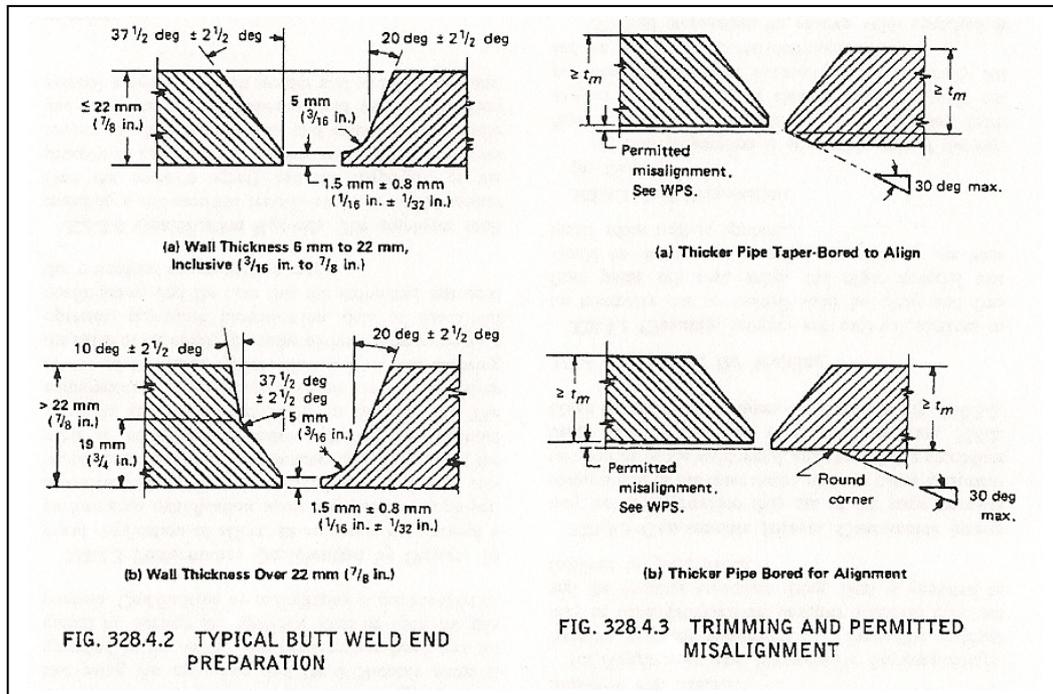


FIGURA 4

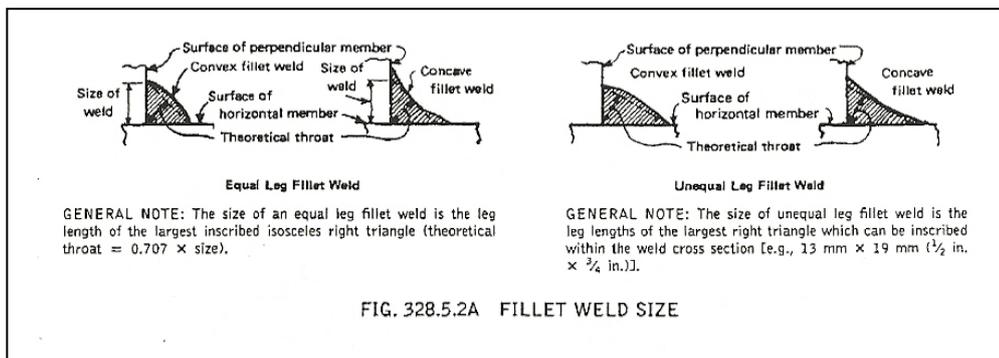
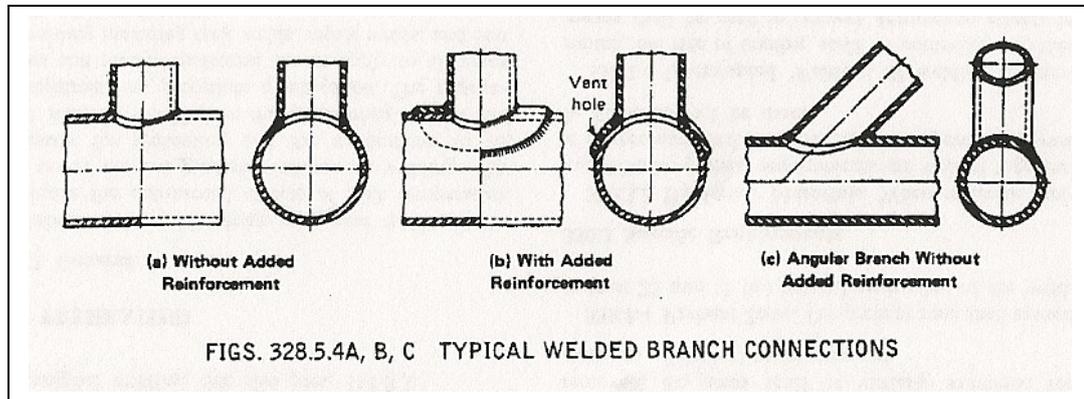


FIGURA 5



No se realizará ninguna soldadura en juntas que no se encuentran dentro de los límites de tolerancia establecidos en los apartados anteriores. Las tolerancias definidas deberán mantenerse durante todo el proceso de soldadura.

Las alineaciones de las soldaduras del módulo de estructura serán las definidas en los planos de diseño por la Ingeniería.

## 6.2. INSPECCIÓN PRELIMINAR:

La inspección preliminar se efectuará sobre los materiales a soldar y muy especialmente en sus bordes, una vez preparados y alineados, atendiendo a:

- Estado de oxidación superficial y naturaleza de los óxidos.
- Discontinuidades, tales como grietas, pliegues, hojas, etc.
- Cortes defectuosos.
- Daños mecánicos ocasionados por mala manipulación o en transporte, tales como deformaciones, huellas de herramientas, huellas de impacto, abrasiones, etc.

En general, se centrará la atención en aquellas anomalías que pueden influir desfavorablemente en el proceso posterior de soldadura. En el caso de preparaciones hechas por mecanizado, atenderá a su control dimensional: talón, separación y ángulo, principalmente, observando si el proceso ha puesto de manifiesto la presencia de escorias u originado grietas.

En la preparación por oxicorte, no sólo se distinguirán los cantos correctos de los que no lo sean, sino que deberá identificar la causa de la imperfección y estimar cuándo ésta es defecto.

El canto de chapa cortada por esta técnica debe idealmente presentar una superficie regular, finamente estriada en sentido perpendicular a la superficie desde la que se hizo el corte y con una ligera curvatura en la opuesta, apreciándose finas escamas de óxido en la parte superior debidas a la llama de precalentamiento, (fig. 6 A).

En la práctica pueden darse por buenos los cantos cortados a alguna mayor velocidad, que proporcionan un estriado razonablemente liso si bien curvado en más del 50% del espesor, (fig. 6 B).

Una velocidad excesiva da lugar a estrías pronunciadas y fuertemente curvadas según arcos de elipse cuyo eje mayor coincide con la sección de la superficie superior, mientras que en la inferior se acumulan escorias adheridas, a las que la velocidad del proceso no ha dado tiempo a ser expulsadas del canal de corte. No es raro que la sección en conjunto presente una ligera concavidad, (fig. 6 C).

Contrariamente, una velocidad corta da lugar a un estriado grosero, (que requerirá mecanizado) transversal respecto a la sección del corte y borde superior redondeado y con escorias, (fig. 6 D).

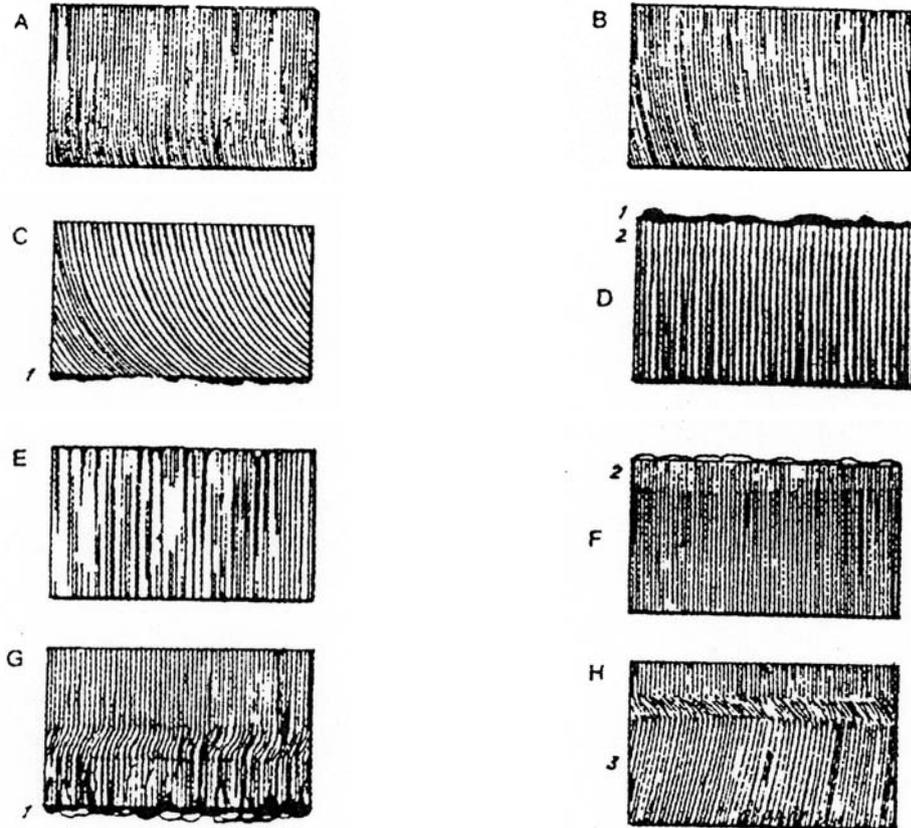
El exceso de oxígeno debido a una boquilla grande o a presión excesiva del gas, coayudados por una velocidad pequeña, produce un corte grosero con borde superior redondeado y estrías transversales, tanto más profundas en su mitad inferior cuanto mayor sea el exceso de oxígeno, (fig. 6 H).

La boquilla demasiado próxima a la chapa que se corta proporciona que parte del dardo de precalentamiento arda dentro de la acanaladura, desviando por expansión el chorro de oxígeno del corte y dando resultado un canto irregular con profundos canales, (fig. 6 E).

Por el contrario, una boquilla distante en exceso no permite un precalentamiento adecuado, redondea en exceso la arista superior y provoca la interrupción de éste con la consiguiente irregularidad en el canto, (fig. 6 F).

Finalmente, un boquilla sucia desvía el chorro de oxígeno, proporcionando una superficie de corte con huellas excesivas, estriado irregular, frecuentemente sinuoso, y fuerte escoriado en la cara inferior, (fig. 6 G).

FIGURA 6



Oxicortes:

- 1) Escoria
  - 2) Zona alterada por el calor
  - 3) "Huellas de presión"
- A: Velocidad ideal  
 C: Velocidad excesiva  
 E: Boquilla demasiado próxima  
 G: Boquilla sucia

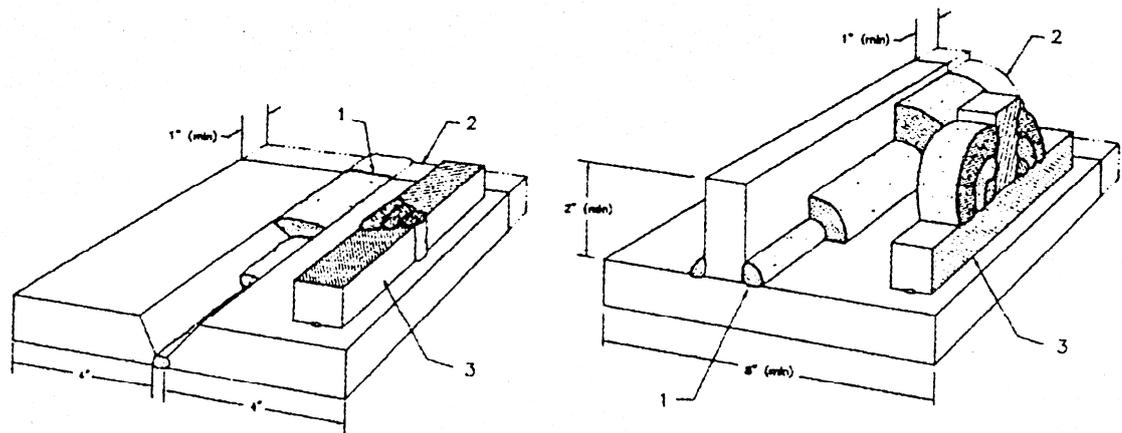
- B: Velocidad industrial  
 D: Velocidad lenta  
 F: Boquilla demasiado lejos  
 H: Presión de oxígeno excesiva

### 6.3. INSPECCIÓN DURANTE EL PROCESO:

Una vez verificada la correcta ejecución de los bordes y su posicionado y comprobado que los electrodos son correctos para el proceso, que están en buen estado y que la pericia de los soldadores garantiza su idoneidad, el inspector comprobará que los parámetros de soldadura son los especificados (intensidad de corriente, precalentamiento, etc.) y, eventualmente, examinará los patrones comparativos realizados, especialmente si se trata de cordones con varias pasadas.

Estos patrones servirán para comparar con el estado de ejecución de las soldaduras en las sucesivas etapas del proceso. La figura 7 muestra dos de estos patrones (soldaduras a tope y en "T") según ASTM.

**FIGURA 7**



1. Metal de aporte
  2. Muestra para probeta de macrografía
  3. Probeta de macrografía atacada
- (Dimensiones en pulgadas)

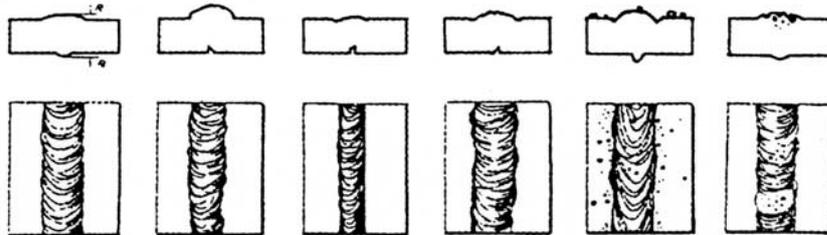
**6.4. INSPECCIÓN FINAL:**

Una vez terminada la soldadura se juzgará su aspecto general y limpieza fijándose en la posible presencia de discontinuidades superficiales o que afloran a la superficie, verificándose si, de acuerdo con los criterios de aceptación de las especificaciones aplicables, deben considerarse defectos. Por último, se verificarán los parámetros geométricos del cordón.

**6.4.1. Aspecto general de la soldadura:**

Una soldadura correcta deberá presentar cordón y penetración completos y uniformes con estrías sensiblemente semielípticas y regulares. Tanto el cordón como la raíz, si es accesible, serán suavemente convexos, y en su vecindad, no existirán proyecciones de metal fundido ni huellas de chispazos (en soldadura eléctrica manual). Las desviaciones de este modelo ideal, si son suficientemente importantes, pueden llegar a ser consideradas defectos. La figura 8 muestra algunas de estas desviaciones y sus causas.

FIGURA 8



INTENSIDAD VELOCIDAD ARCO	Normal Normal Normal	Normal Lenta Normal	Baja Normal Normal	Normal Alta Normal	Alta Normal Normal	Normal Normal Largo
DISCONTINUIDADES	No	Sobrespesor Falta de penetr.	Cordón estrecho Falta relleno Falta de penetr.	Cordón irreg. Mordedura Falta de penetr.	Agua alargada Proyecciones Mordeduras Exceso de penetr.	Poros Cordón irreg.

**6.4.2. DISCONTINUIDADES:**

Las siguientes discontinuidades pueden ser detectadas por inspección visual:

- Grietas: Sólo son visibles cuando tienen un desarrollo considerable. Se atenderá a su disposición respecto al cordón (longitud, transversal u oblicua) su localización (en cruces, en zona de transición, en principio o final de cordón, en cráter de electrodo, etc.) y a su aspecto (recto, quebrado o estrellado). En general la presencia de grietas hace rechazable el cordón. En caso de duda y sin retocar mecánicamente la zona, verificar con líquidos penetrantes o partículas magnéticas.

La causa de la aparición de grietas es la existencia de tensiones en frío o en caliente y la incapacidad del material para soportarlas, para establecer su origen se atenderá a:

- o Idoneidad de los materiales base y de aporte.
- o Velocidad del proceso.
- o Temperatura y parámetros que la regulan.
- o Velocidad de enfriamiento.
- o Idoneidad del tratamiento térmico posterior, si se requiere
- o Diseño de la unión.

Siempre es conveniente, y en los aceros de alta resistencia imprescindible, posponer la inspección visual o cualquier otra, al menos 48 horas al momento de la terminación del cordón, pues las grietas suelen aparecer en ese intervalo.

Las grietas se pueden diferenciar según su disposición en la soldadura y forma en las siguientes:

- Grieta longitudinal: Grieta aproximadamente paralela al eje de la soldadura que pueden estar situadas en el metal de soldadura, en la línea de fusión, en la zona afectada térmicamente y en el material base.
  - Grietas transversales: Grietas sensiblemente perpendiculares al eje de la soldadura y que pueden situarse en el metal de soldadura, en la zona afectada térmicamente y en el metal base.
  - Grietas radiales: Grietas radiales cuyo origen es un punto común y pueden situarse en el metal de soldadura, en la zona afectada térmicamente y en el metal base. A las grietas de este tipo de pequeño diámetro se las conoce como grietas de estrella.
  - Grietas de cráter: Grietas en el cráter final de una soldadura y que pueden ser longitudinales, transversales o grietas de estrella.
  - Grupo de grietas discontinuas: Grupo de grietas discontinuas que pueden estar situadas en el metal de soldadura, en la zona afectada térmicamente y en el metal base.
  - Grietas ramificadas: Grupo de grietas continuas con origen en una grieta común y que se distinguen de las grietas discontinuas y de las grietas radiales. Pueden estar situada en el metal de soldadura, en la zona afectada térmicamente y en el metal base.
- Cavidades: Sólo se aprecian en inspección visual las que abren a la superficie, que en este caso son las picaduras. Las picaduras son sopladuras de pequeña dimensión que emergen a la superficie de la soldadura.
  - Mordeduras: Faltas de metal en forma de surcos de longitud variable en cualquiera de los bordes de un cordón de soldadura. Pueden aparecer en la arista de contacto de la cara de la soldadura con el metal base o entre cordones. Están producidos por la fusión del metal base. Suelen indicar temperatura alta y/o velocidad lenta.
  - Exceso de sobre espesores: Excedente de metal depositado en las pasadas finales del cordón.

- Exceso de convexidad: Exceso de metal depositado en la superficie de una soldadura en ángulo.
- Ángulo del sobre espesor incorrecto: Valor demasiado pequeño del ángulo comprendido entre el plano de la superficie del metal base y el plano tangente al metal de soldadura en la arista de intersección entre metal base y metal de soldadura.
- Solapamiento: Exceso de metal depositado que rebosa sobre la superficie del metal base sin fundirse con él.
- Desfondamiento: Hundimiento del metal de soldadura debido a la gravedad. Dependiendo de los casos puede ser un desfondamiento en cornisa, un desfondamiento en posición plana o en techo, un desfondamiento en ángulo o un desfondamiento en solape.
- Perforación: Hundimiento del baño de fusión que da lugar a un agujero en la soldadura o en un lateral de la misma.
- Falta de metal de soldadura: Carencia apreciable en la superficie del cordón, completa o parcial. En este caso, no debe confundirse con la mordedura, de la que se distingue en que el borde de la preparación aparece intacto.
- Exceso de asimetría de la soldadura de rincón.
- Anchura irregular: Excesiva irregularidad en el ancho de la soldadura.
- Superficie irregular: Excesiva rugosidad superficial.
- Empalme defectuoso: Irregularidad local de la superficie de la soldadura en la zona de empalme de dos cordones.
- Chispazos, cebados de arco: Marcas dejadas en la superficie del metal base al “cebar” el soldador el arco para proceder a soldar.
- Proyecciones o salpicaduras: Gotas de metal fundido proyectadas junto al metal de soldadura o sobre este.
- Desgarro local: Rotura local del metal base originada al arrancar sin cuidado los elementos de unión de las partes a soldar.

- Marcas de amolado: Huellas dejadas por la muela en operaciones de retoque o limpieza del cordón.
- Amolado excesivo: Reducción del espesor debido a un amolado excesivo.
- Huellas de impactos: Se incluyen martillazos, granetazos u otra cualquiera huella dejada por impacto de cuerpos duros cerca, o sobre, el cordón.

**6.4.3. VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS GEOMÉTRICOS:**

El “aspecto general” de la soldadura es, a veces, suficiente para decidir su aceptación o rechazo; sin embargo, lo más frecuente es haber de valorar por medición las irregularidades observadas. Estas mediciones se realizan sobre ciertos parámetros geométricos comunes a todas las soldaduras de un mismo diseño básico, cuyas dimensiones y tolerancias vienen fijadas por las especificaciones aplicables, tanto para el cordón, como para la previa preparación de bordes.

Los criterios de aceptación para las discontinuidades detectadas en las soldaduras realizadas en las tuberías serán los reflejados en la tabla 341.3.2 “Acceptance Criteria for Welds and Examination Methods for Evaluating Weld Imperfections” de la normativa ASME B31.3.

Los criterios de aceptación para las soldaduras a raíz abierta y conexiones de tuberías sometidas a condiciones severas son los siguientes:

- No se aceptará ningún tipo de grieta.
- No se aceptará ninguna falta de fusión.
- No se aceptará ningún tipo de porosidad superficial o inclusión.
- El acabado superficial no tendrá una rugosidad superior o igual a 500 min Ra según ASME B46.1.
- La concavidad superficial será inferior al espesor total de la tubería a soldar.

En caso de poderse deberse examinar la raíz de las soldaduras mediante endoscopía a los criterios de aceptación se le han de sumar los siguientes:

- No se aceptará ninguna penetración incompleta.
- El exceso de penetración permitido será según el espesor nominal el siguiente:

Espesor nominal mm (pulgadas)	Exceso de penetración mm (pulgadas)
$\leq 6$ (1/4)	$\leq 1.5$ (1/16)
$>6$ (1/4) $\leq 13$ (1/2)	$\leq 3$ (1/8)
$>13$ (1/2) $\leq 25$ (1)	$\leq 4$ (3/32)
$>25$ (1)	$\leq 5$ (3/16)

Los criterios de aceptación para las soldaduras tipo “Socket Weld” sometidas a condiciones severas son los siguientes:

- No se aceptará ningún tipo de grieta.
- No se aceptará ninguna falta de fusión.
- No se aceptará ningún tipo de porosidad superficial o inclusión.
- El acabado superficial no tendrá una rugosidad superior o igual a 500 min Ra según ASME B46.1.

A continuación se adjunta la figura 9 donde se puede ver la tabla 34.3.2 de referencia.

**FIGURA 9**

**TABLE 341.3.2  
ACCEPTANCE CRITERIA FOR WELDS AND EXAMINATION METHODS FOR EVALUATING WELD IMPERFECTION**

Criteria (A to M) for Types of Welds and for Service Conditions [Note (1)]												Examina			
Normal and Category M Fluid Service				Severe Cyclic Conditions				Category D Fluid Service				Weld Imperfection	Visual	Radiography	
Type of Weld				Type of Weld				Type of Weld							
Girth, Miter Groove & Branch Connection [Note (4)]	Longitudinal Groove [Note (2)]	Fillet [Note (3)]	...	Girth, Miter Groove & Branch Connection [Note (4)]	Longitudinal Groove [Note (2)]	Fillet [Note (3)]	...	Girth and Miter Groove	Longitudinal Groove [Note (2)]	Fillet [Note (3)]	Branch Connection [Note (4)]				
A	A	A	...	A	A	A	...	A	A	A	A	...	Crack	✓	✓
A	A	A	...	A	A	A	...	C	A	N/A	A	...	Lack of fusion	✓	✓
B	A	N/A	...	A	A	N/A	...	C	A	N/A	B	...	Incomplete penetration	✓	✓
E	E	N/A	...	D	D	N/A	...	N/A	N/A	N/A	N/A	...	Internal porosity	...	✓
G	G	N/A	...	F	F	N/A	...	N/A	N/A	N/A	N/A	...	Internal slag inclusion, tungsten inclusion, or elongated indication	...	✓
H	A	H	...	A	A	A	...	I	A	H	H	...	Undercutting	...	✓
A	A	A	...	A	A	A	...	A	A	A	A	...	Surface porosity or exposed slug inclusion [Note (6)]	✓	...
N/A	N/A	N/A	...	J	J	J	...	N/A	N/A	N/A	N/A	...	Surface finish	✓	...
K	K	N/A	...	K	K	N/A	...	K	K	N/A	K	...	Concave root surface (suck up)	✓	✓
L	L	L	...	L	L	L	...	M	M	M	M	...	Weld reinforcement or internal protrusion	✓	...

**GENERAL NOTES:**

- (a) Weld imperfections are evaluated by one or more of the types of examination methods given, as specified in paras. 341.4.1, 341.4.2, 341.4.3 and M341.4, or by the eng
- (b) N/A the Code does not establish acceptance criteria or does not require evaluation of this kind of imperfection for this type of yield.
- (c) \* Alternative Leak Test requires examination of these welds, see para. 345.9
- (d) ✓ examination method generally used for evaluating this kind of weld imperfection
- (e) ... examination method not generally used for evaluating this kind and weld imperfection.

# CAPÍTULO 2.1.

# PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

## Inspección Visual de Soldaduras

Criterion Value Notes for Table 341.3.2

Symbol	Criterion Measure	Acceptable Value Limits [Note (6)]										
A	Extent of imperfection	Zero (no evident imperfection)										
B	Depth of incomplete penetration Cumulative length of incomplete penetration	$\leq 1 \text{ mm } (\frac{1}{32} \text{ in.})$ and $\leq 0.2 \bar{T}_w$ $\leq 38 \text{ mm } (1.5 \text{ in.})$ in any 150 mm (6 in.) weld length										
C	Depth of lack of fusion and incomplete penetration Cumulative length of lack of fusion and incomplete penetration [Note (7)]	$\leq 0.2 \bar{T}_w$ $\leq 38 \text{ mm } (1.5 \text{ in.})$ in any 150 mm (6 in.) weld length										
D	Size and distribution of internal porosity	See BPV Code, Section VIII, Division 1, Appendix 4										
E	Size and distribution of internal porosity	For $\bar{T}_w \leq 6 \text{ mm } (\frac{1}{4} \text{ in.})$ , limit is same as D For $\bar{T}_w > 6 \text{ mm } (\frac{1}{4} \text{ in.})$ , limit is $1.5 \times D$										
F	Slag inclusion, tungsten inclusion, or elongated indication Individual length Individual width Cumulative length	$\leq \bar{T}_w/3$ $\leq 2.5 \text{ mm } (\frac{1}{32} \text{ in.})$ and $\leq \bar{T}_w/3$ $\leq \bar{T}_w$ in any $12 \bar{T}_w$ weld length										
G	Slag inclusion, tungsten inclusion, or elongated indication Individual length Individual width Cumulative length	$\leq 2 \bar{T}_w$ $\leq 3 \text{ mm } (\frac{1}{8} \text{ in.})$ and $\leq \bar{T}_w/2$ $\leq 4 \bar{T}_w$ in any 150 mm (6 in.) weld length										
H	Depth of undercut	$\leq 1 \text{ mm } (\frac{1}{32} \text{ in.})$ and $\leq \bar{T}_w/4$										
I	Depth of undercut	$\leq 1.5 \text{ mm } (\frac{1}{16} \text{ in.})$ and $\leq [\bar{T}_w/4 \text{ or } 1 \text{ mm } (\frac{1}{32} \text{ in.})]$										
J	Surface roughness	$\leq 500 \text{ min. Ra}$ per ASME B46.1										
K	Depth of root surface concavity	Total joint thickness, incl. weld reinf., $\geq \bar{T}_w$										
L	Height of reinforcement or internal protrusion [Note (8)] in any plane through the weld shall be within limits of the applicable height value in the tabulation at right, except as provided in Note (9). Weld metal shall merge smoothly into the component surfaces.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>For <math>\bar{T}_w</math>, mm (in.)</th> <th>Height, mm (in.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\leq 6 (\frac{1}{4})</math></td> <td><math>\leq 1.5 (\frac{1}{16})</math></td> </tr> <tr> <td><math>&gt; 6 (\frac{1}{4}), \leq 13 (\frac{1}{2})</math></td> <td><math>\leq 3 (\frac{1}{8})</math></td> </tr> <tr> <td><math>&gt; 13 (\frac{1}{2}), \leq 25 (1)</math></td> <td><math>\leq 4 (\frac{3}{32})</math></td> </tr> <tr> <td><math>&gt; 25 (1)</math></td> <td><math>\leq 5 (\frac{1}{4})</math></td> </tr> </tbody> </table>	For $\bar{T}_w$ , mm (in.)	Height, mm (in.)	$\leq 6 (\frac{1}{4})$	$\leq 1.5 (\frac{1}{16})$	$> 6 (\frac{1}{4}), \leq 13 (\frac{1}{2})$	$\leq 3 (\frac{1}{8})$	$> 13 (\frac{1}{2}), \leq 25 (1)$	$\leq 4 (\frac{3}{32})$	$> 25 (1)$	$\leq 5 (\frac{1}{4})$
For $\bar{T}_w$ , mm (in.)	Height, mm (in.)											
$\leq 6 (\frac{1}{4})$	$\leq 1.5 (\frac{1}{16})$											
$> 6 (\frac{1}{4}), \leq 13 (\frac{1}{2})$	$\leq 3 (\frac{1}{8})$											
$> 13 (\frac{1}{2}), \leq 25 (1)$	$\leq 4 (\frac{3}{32})$											
$> 25 (1)$	$\leq 5 (\frac{1}{4})$											
M	Height of reinforcement or internal protrusion [Note (8)] as described in L. Note (9) does not apply.	Limit is twice the value applicable for L above										

X = required examination    NA = not applicable    ... = not required

TABLE 341.3.2 (CONT'D)

NOTES:

- (1) Criteria given are for required examination. More stringent criteria may be specified in the engineering design. See also paras. 341.5 and 341.5.3.
- (2) Longitudinal groove weld includes straight and spiral seam. Criteria are not intended to apply to welds made in accordance with a standard listed in Table A-1 or Table 326.1.
- (3) Fillet weld includes socket and seal welds, and attachment welds for slip-on flanges, branch reinforcement, and supports.
- (4) Branch connection weld includes pressure containing welds in branches and fabricated laps.
- (5) These imperfections are evaluated only for welds  $\leq 5 \text{ mm } (\frac{1}{16} \text{ in.})$  in nominal thickness.
- (6) Where two limiting values are separated by "and," the lesser of the values determines acceptance. Where two sets of values are separated by "or," the larger value is acceptable.  $\bar{T}_w$  is the nominal wall thickness of the thinner of two components joined by a butt weld.
- (7) Tightly butted unfused root faces are unacceptable.
- (8) For groove welds, height is the lesser of the measurements made from the surfaces of the adjacent components; both reinforcement and internal protrusion are permitted in a weld. For fillet welds, height is measured from the theoretical throat, Fig. 328.5.2A; internal protrusion does not apply.
- (9) For welds in aluminum alloy only, internal protrusion shall not exceed the following values:
  - (a) for thickness  $\leq 2 \text{ mm } (\frac{3}{64} \text{ in.})$ :  $1.5 \text{ mm } (\frac{1}{16} \text{ in.})$ ;
  - (b) for thickness  $> 2 \text{ mm}$  and  $\leq 6 \text{ mm } (\frac{1}{4} \text{ in.})$ :  $2.5 \text{ mm } (\frac{3}{32} \text{ in.})$ .
 For external reinforcement and for greater thicknesses, see the tabulation for Symbol L.

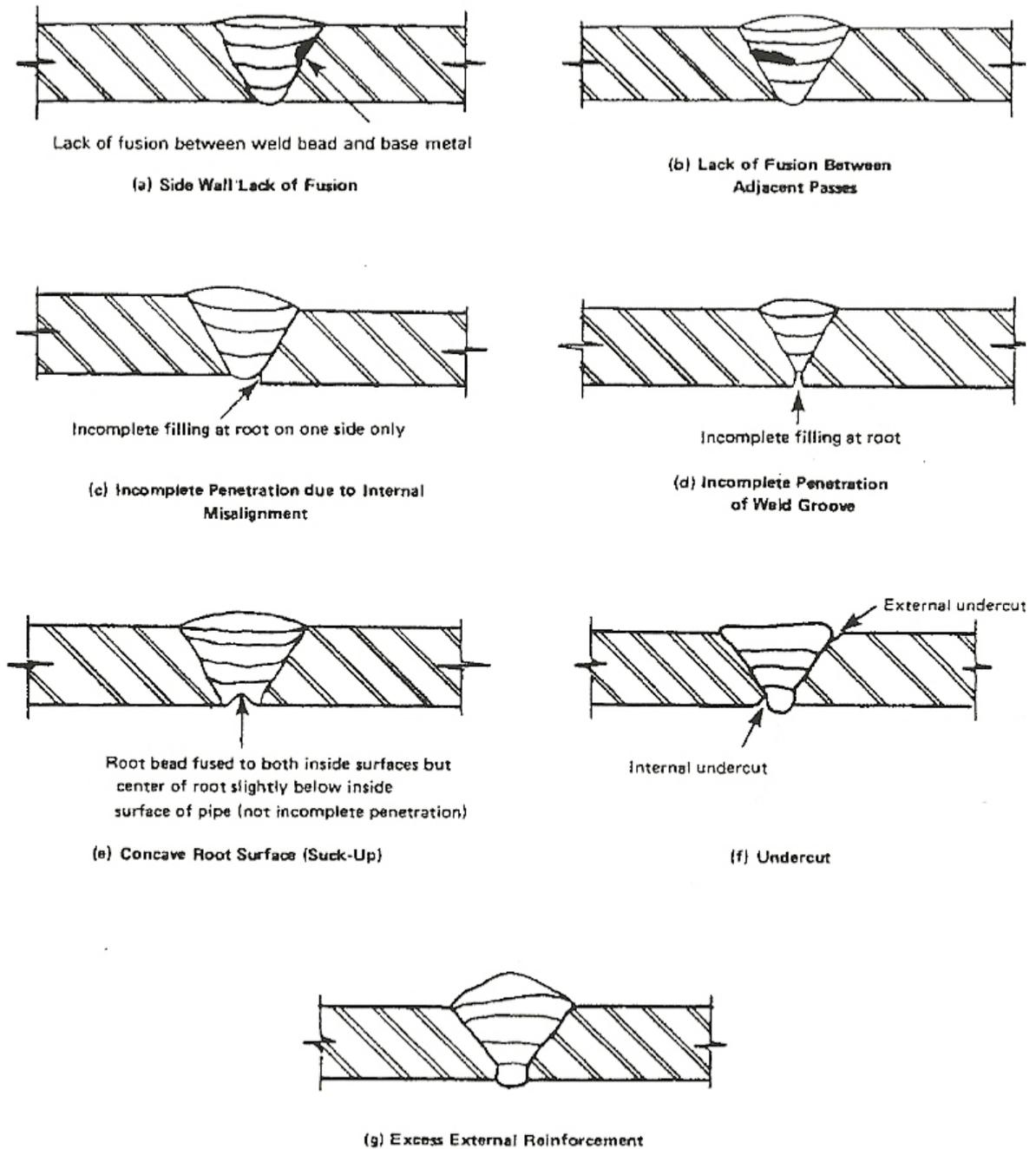


FIG. 341.3.2 TYPICAL WELD IMPERFECTIONS

Los criterios de aceptación para las discontinuidades detectadas en las soldaduras realizadas en la estructura serán los reflejados en la tabla 6.1 “Visual Inspection Acceptance Criteria” de la normativa AWS D1.1.

Según esta normativa, los criterios de aceptación para las soldaduras tipo “fillet” sometidas a cargas cíclicas en conexiones no tubulares son las siguientes:

- No se aceptará ningún tipo de grieta.
- No se aceptarán las faltas de fusión.
- Todos los cráteres serán no aceptables en la zona de soldadura salvo aquellos que se produzcan al final del cordón en soldaduras intermitentes fuera de su longitud efectiva.
- Las mordeduras en elementos primarios no podrán tener más de 0.01 pulgada (0.25 milímetros) de profundidad cuando la soldadura sea transversal a las tensiones de carga de trabajo del diseño. Las mordeduras no deberán ser superiores a 1/32 pulgadas (1 milímetro) de profundidad para el resto de casos.
- La frecuencia de porosidad no excederá de una cada 4 pulgadas (100 mm) a lo largo de la soldadura y el máximo diámetro no excederá de 3/32 pulgadas (2.5 mm).

En el caso de las soldaduras a penetración que unen los módulos superior e inferior de la estructura, se mantendrán los criterios de aceptación anteriores salvo porque las soldaduras transversales a la dirección de las tensiones no deberán tener porosidad. Para las otras soldaduras la frecuencia de la porosidad no excederá de una cada 4 pulgadas (100 mm) a lo largo de la soldadura y el máximo diámetro no excederá de 3/32 pulgadas (2.5 mm).

En la figura 10 se adjunta la tabla 6.1 de referencia y los perfiles de las soldaduras aceptadas se muestran en la figura 11

FIGURA 10

Table 6.1  
Visual Inspection Acceptance Criteria<sup>1</sup> (see 6.9)

Discontinuity Category and Inspection Criteria	Statically Loaded Nontubular Connections	Cyclically Loaded Nontubular Connections	Tubular Connections (All Loads)										
<b>(1) Crack Prohibition</b> Any crack is unacceptable, regardless of size or location.	X	X	X										
<b>(2) Weld/Base-Metal Fusion</b> Thorough fusion shall exist between adjacent layers of weld metal and between weld metal and base metal.	X	X	X										
<b>(3) Crater Cross Section</b> All craters shall be filled to provide the specified weld size, except for the ends of intermittent fillet welds outside of their effective length.	X	X	X										
<b>(4) Weld Profiles</b> Weld profiles shall be in conformance with 5.24.	X	X	X										
<b>(5) Time of Inspection</b> Visual inspection of welds in all steels may begin immediately after the completed welds have cooled to ambient temperature. Acceptance criteria for ASTM A 514, A 517, and A 709 Grade 100 and 100 W steels shall be based on visual inspection performed not less than 48 hours after completion of the weld.	X	X	X										
<b>(6) Undersized Welds</b> The size of a fillet weld in any continuous weld may be less than the specified nominal size (L) without correction by the following amounts (U):													
<table border="0"> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\frac{L}{2}</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\frac{U}{2}</math></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">specified nominal weld size, in. (mm)</td> <td style="text-align: center;">allowable decrease from L, in. (mm)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≤ 3/16 (5)</td> <td style="text-align: center;">≤ 1/16 (2)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1/4 (6)</td> <td style="text-align: center;">≤ 3/32 (2.5)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≥ 5/16 (8)</td> <td style="text-align: center;">≤ 1/8 (3)</td> </tr> </table>	$\frac{L}{2}$	$\frac{U}{2}$	specified nominal weld size, in. (mm)	allowable decrease from L, in. (mm)	≤ 3/16 (5)	≤ 1/16 (2)	1/4 (6)	≤ 3/32 (2.5)	≥ 5/16 (8)	≤ 1/8 (3)	X	X	X
$\frac{L}{2}$	$\frac{U}{2}$												
specified nominal weld size, in. (mm)	allowable decrease from L, in. (mm)												
≤ 3/16 (5)	≤ 1/16 (2)												
1/4 (6)	≤ 3/32 (2.5)												
≥ 5/16 (8)	≤ 1/8 (3)												
In all cases, the undersize portion of the shall not exceed 10% of the weld length. On web-to-flange welds on girders, no underrun is permitted at the ends for a length equal to twice the width of the flange.													
<b>(7) Undercut</b> (A) For material less than 1 in. (25 mm) thick, undercut shall not exceed 1/32 in. (1 mm), except that a maximum 1/16 in. (2 mm) is permitted for an accumulated length of 2 in. (50 mm) in any 12 in. (300 mm). For material equal to or greater than 1 in. thick, undercut shall not exceed 1/16 in. (2 mm) for any length of weld. (B) In primary members, undercut shall be no more than 0.01 in. (0.25 mm) deep when the weld is transverse to tensile stress under any design loading condition. Undercut shall be no more than 1/32 in. (1 mm) deep for all other cases.	X												
<b>(8) Porosity</b> (A) Complete joint penetration groove welds in butt joints transverse to the direction of computed tensile stress shall have no visible piping porosity. For all other groove welds and for fillet welds, the sum of the visible piping porosity 1/32 in. (1 mm) or greater in diameter shall not exceed 3/8 in. (10 mm) in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4 in. (20 mm) in any 12 in. (300 mm) length of weld. (B) The frequency of piping porosity in fillet welds shall not exceed one in each 4 in. (100 mm) of weld length and the maximum diameter shall not exceed 3/32 in. (2.5 mm). Exception: for fillet welds connecting stiffeners to web, the sum of the diameters of piping porosity shall not exceed 3/8 in. (10 mm) in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4 in. (20 mm) in any 12 in. (300 mm) length of weld. (C) Complete joint penetration groove welds in butt joints transverse to the direction of computed tensile stress shall have no piping porosity. For all other groove welds, the frequency of piping porosity shall not exceed one in 4 in. (100 mm) of length and the maximum diameter shall not exceed 3/32 in. (2.5 mm).	X												
		X	X										
		X	X										

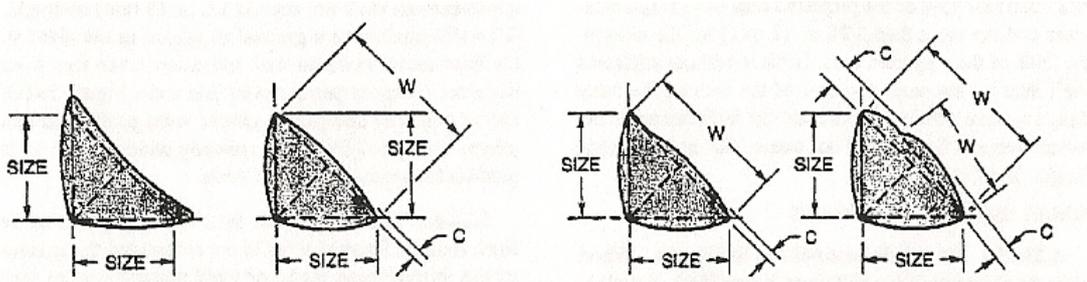
1. An "X" indicates applicability for the connection type; a shaded area indicates non-applicability.

Legend for Figures 6.1, 6.4, 6.5, and 6.6

- Dimensions of Discontinuities**
- B** = Maximum allowed dimension of a radiographed discontinuity.
  - L** = Largest dimension of a radiographed discontinuity.
  - L'** = Largest dimension of adjacent discontinuities.
  - C** = Minimum clearance measured along the longitudinal axis of the weld between edges of porosity or fusion-type discontinuities (larger of adjacent discontinuities governs), or to an edge or an end of an intersecting weld.
  - C<sub>1</sub>** = Minimum allowed distance between the nearest discontinuity to the free edge of a plate or tubular, or the intersection of a longitudinal weld with a girth weld, measured parallel to the longitudinal weld axis.
  - W** = Smallest dimension of either of adjacent discontinuities.
- Material Dimensions**
- E** = Weld size.
  - T** = Plate or pipe thickness for CJP groove welds.

- Definitions of Discontinuities**
- An elongated discontinuity shall have the largest dimension (L) exceed 3 times the smallest dimension.
  - A rounded discontinuity shall have the largest dimension (L) less than or equal to 3 times the smallest dimension.
  - A cluster shall be defined as a group of nonaligned, acceptably-sized, individual adjacent discontinuities with spacing less than the minimum allowed (C) for the largest individual adjacent discontinuity (L'), but with the sum of the greatest dimensions (L) of all discontinuities in the cluster equal to or less than the maximum allowable individual discontinuity size (B). Such clusters shall be considered as individual discontinuities of size L for the purpose of assessing minimum spacing.
  - Aligned discontinuities shall have the major axes of each discontinuity approximately aligned.

FIGURA 11

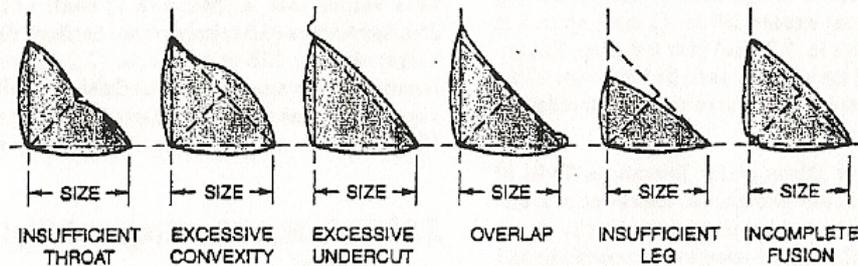


(A) DESIRABLE FILLET WELD PROFILES

(B) ACCEPTABLE FILLET WELD PROFILES

NOTE: CONVEXITY, C, OF A WELD OR INDIVIDUAL SURFACE BEAD WITH DIMENSION W SHALL NOT EXCEED THE VALUE OF THE FOLLOWING TABLE:

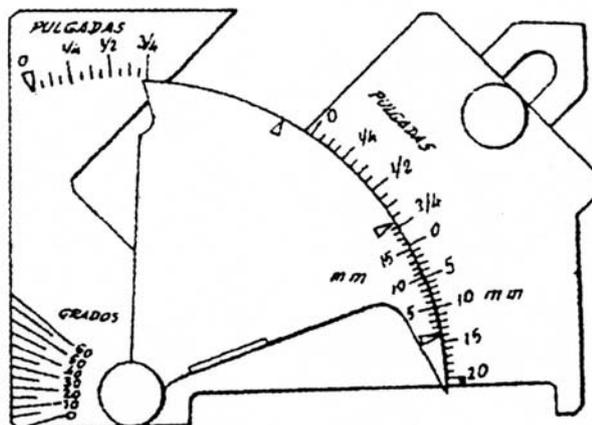
WIDTH OF WELD FACE OR INDIVIDUAL SURFACE BEAD, W	MAX CONVEXITY, C
$W \leq 5/16$ in. (8 mm)	1/16 in. (2 mm)
$W > 5/16$ in. (8 mm) TO $W < 1$ in. (25 mm)	1/8 in. (3 mm)
$W \geq 1$ in. (25 mm)	3/16 in. (5 mm)



(C) UNACCEPTABLE FILLET WELD PROFILES

La toma de estas medidas requiere algunos instrumentos sencillos: galgas, calibres, reglas graduadas y falsas escuadras. Una galga polivalente es la mostrada en la figura 12, resuelve la mayor parte de los problemas dimensionales en soldadura y tiene un uso muy sencillo.

FIGURA 12



## **7. DOCUMENTACIÓN**

Se llevará un control diario de soldaduras mediante un Informe diario de soldadura donde se reflejarán las uniones realizadas, los ensayos no destructivos realizados y el resultado de estos. En la figura 13 se muestra el formato a emplear.

Todos los resultados de las inspecciones visuales realizadas serán registrados en un Informe unitario por inspección donde se recogerán tanto el número de informe correlativo para toda la obra como la fecha de inspección, la empresa que lo solicita, la obra, el sistema, componente y plano si procede, el número o identificación de la soldadura, la especificación por la que se inspecciona, el equipo utilizado para la inspección, el estado superficial de la soldadura, las comprobaciones realizadas y sus resultados y, si se considera necesario, un croquis de la situación de las discontinuidades encontradas así como las observaciones pertinentes. Un formato de informe valido se recoge en la figura 14.



FIGURA 14

<b>EXAMEN VISUAL DE SOLDADURAS VISUAL EXAMINATION OF WELDS</b>				
INFORME/Report: _____	FECHA/Date: _____	HOJA N°/Sheet _____	De/of _____	
<b>1. GENERAL</b>				
PETICIONARIO/ company: _____		OBRA/ Work: _____		
Sistema/system _____	Componente: component _____	Plano/Draw _____		
Soldadura/weld _____				
Especificación/Specification _____		Fecha/Date _____		
<b>2. DATOS DEL EXAMEN/Examination records</b>				
Material utilizado/Equipment _____				
Estado superficie/surface conditioningl _____				
<b>3. COMPROBACIONES Y RESULTADOS/ Results</b>				
PUNTOS A COMPROBAR/ Points of inspeccion	COMPROBADO Tested		RESULTS	OBSERVACIONES Remarks
	SI	NO		
<b>EXAMEN DE SOLDADURAS/ WELD FINAL TEST</b>				
Uniformidad/ uniform				
Sobreespesor/ Overthick				
Mordeduras/ Undercat				
Marcas de mecanizado/ Grinding cuts				
Proyecciones/ weld spatter				
Poros/ Porosity				
<b>4. CROQUIS SITUACIÓN DISCONTINUIDADES/discontinuities location skech</b>				
<b>5. OBSERVACIONES/ Remarks:</b>				
Vº Bº Supervisor	FECHA DE EXAMEN Date of exam	EL OPERADOR operator		
Fdo. _____ Sig. _____		Fdo. _____ Sig. _____		

**8. INSPECCIÓN CONTINUA**

Durante el proceso de ejecución de todos los trabajos que se realicen en tuberías, elementos auxiliares y chapas, se mantendrá constantemente un inspector, controlando los parámetros eléctricos y de temperatura, según lo indicado en los procedimientos de soldadura aplicables.

Durante la fabricación y montaje de la tubería se realizará inspección continua en aquellas uniones a soldar que así se requiera según lo exigido en la norma ASME B31.3, la normativa AWS D1.1 y el Programa de Puntos de Inspección que se defina para la obra, siguiendo en todo momento lo descrito en este procedimiento.

## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.1: PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURAS

#### DATOS OBTENIDOS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO:

Durante el proceso de construcción del proyecto, de la defectología con posibilidad de producirse y de identificarse durante la realización de la inspección visual se recogieron las siguientes indicaciones en los informes de inspección:

- Mordeduras:

Se registraron algunas mordeduras en las soldaduras realizadas sobre todo en las tuberías de pequeño diámetro. Estas eran debidas por soldar a altas temperaturas con una velocidad lenta.

Para corregir este tipo de defectos se instó a los soldadores a realizar las soldaduras con los parámetros recogidos en el PQR (Procedimiento de soldadura homologado). También se insistió a los inspectores que al realizar la inspección durante el proceso de soldeo verificarán en todos los casos los parámetros de soldeo y comprobando posteriormente si se habían producido mordeduras.

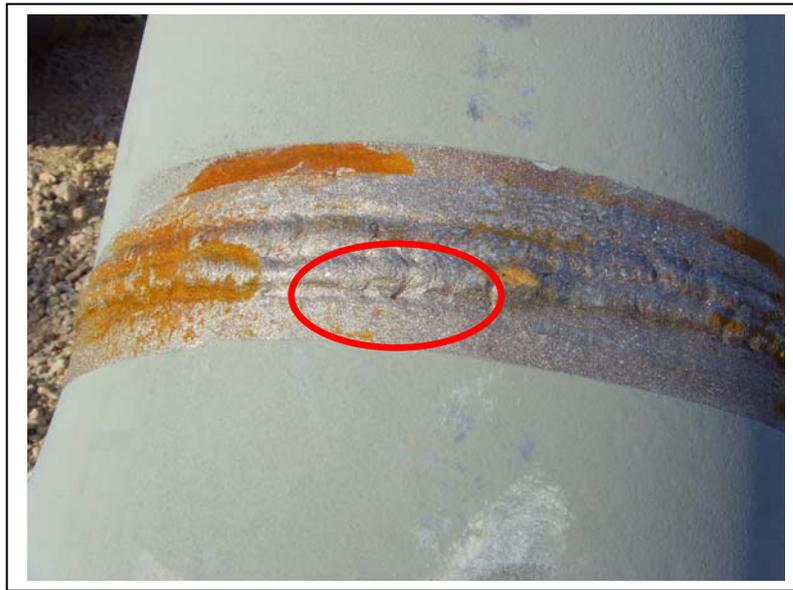
Con la información obtenida de la observaciones realizadas por los inspectores se identificaron los soldadores que mayor número de veces producían este defecto en las soldaduras. A estos soldadores se les explicó la situación y se tomaron medidas tanto por su parte como por la de los inspectores para minimizar al máximo la aparición de estos defectos.

A continuación se muestra una foto de una soldadura de tubería de pequeño diámetro en la que se ha identificado una mordedura.



# PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

## CAPITULO 2.1: PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURAS



La reparación de este tipo de defecto se realizaba recargando la zona afectada y amolando el posible sobre espesor.

- Grietas de cráter.

Se registraron numerosas grietas de cráter al final de las soldaduras de tipo grieta en estrella sobre todo en las soldaduras de tubería de pequeño diámetro. Esto era debido a la retirada a demasiada velocidad del equipo de soldeo una vez finalizada la soldadura.

Para corregir este tipo de defectos se comunicó a los soldadores la necesidad de finalizar las soldaduras de manera más pausada pero sin excederse en el tiempo de finalización. Esto llevó a la eliminación de la aparición de este tipo de defectos sin la aparición de defectos por exceso de sobre espesor.

A continuación se muestra una foto de una soldadura de tubería de pequeño diámetro en la que se ha identificado una grieta de cráter de tipo estrella.



## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.1: PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURAS

---



La reparación de este tipo de defecto se realizaba mediante amolado de la superficie afectada por la grieta de cráter. Este amolado debía ser superficial sin llegar a retirar material de la soldadura que eliminara el sobre espesor aportado.

- Salpicaduras o proyecciones:

Con frecuencia en las soldaduras de las tuberías de gran diámetro y en algunos casos en las soldaduras de tuberías de pequeño diámetro, pero sobre todo en las soldaduras estructurales se identificaron salpicaduras o proyecciones de material de aporte.

Estas proyecciones o salpicaduras son normales durante el proceso de soldeo al desprenderse pequeñas gotas de material de aporte fundido de la varilla de aporte o del electrodo, pero se produce con mayor cantidad durante el soldeo con electrodo.

Este proceso normal debe ser retirado por el soldador una vez finalizada la soldadura y entre pasadas de una soldadura para evitar que se produzcan defectos en el interior de la soldadura.

A continuación se muestra una foto de una soldadura en la que se han identificado proyecciones o salpicaduras.

## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.1: PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURAS



La eliminación de este tipo de defectos se realizaba cepillando con un cepillo de púas de acero inoxidable en el caso de las tuberías o un cepillo de púas convencional en el caso de las soldaduras estructurales.

Si no era posible la eliminación de las proyecciones o las salpicaduras mediante este método se podía proceder a un amolado superficial del material afectado, siempre y cuando no se eliminara material base de la zona afectada.

- Marcas de amolado:

En algunas ocasiones, antes de la inspección final de la soldadura, el soldador realizaba un amolado de algunas partes de la soldadura, o bien para eliminar proyecciones o salpicaduras o grietas de cráter o bien para disimular algún defecto ocasionado en la soldadura con el fin de no ser rechazada durante la inspección.

A continuación se muestran unas fotos de unas marcas de amolado en soldaduras y zona próxima a esta.



# PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

## CAPITULO 2.1: PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURAS



# PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

## CAPITULO 2.1: PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURAS

En estos casos se comprobaba si el amolado realizado implicaba una reducción de espesor del material base significativa o si había supuesto eliminar el sobre espesor de la soldadura por debajo del espesor del material base.

En la mayoría de las ocasiones no se producía esta circunstancia por lo que no se tomaban medidas adicionales, pero en los casos en que este amolado había producido defectos superiores en la soldadura o material base se evaluaba la posibilidad de un recargue de la misma y si no era posible se rechazaba la soldadura o la zona afectada.

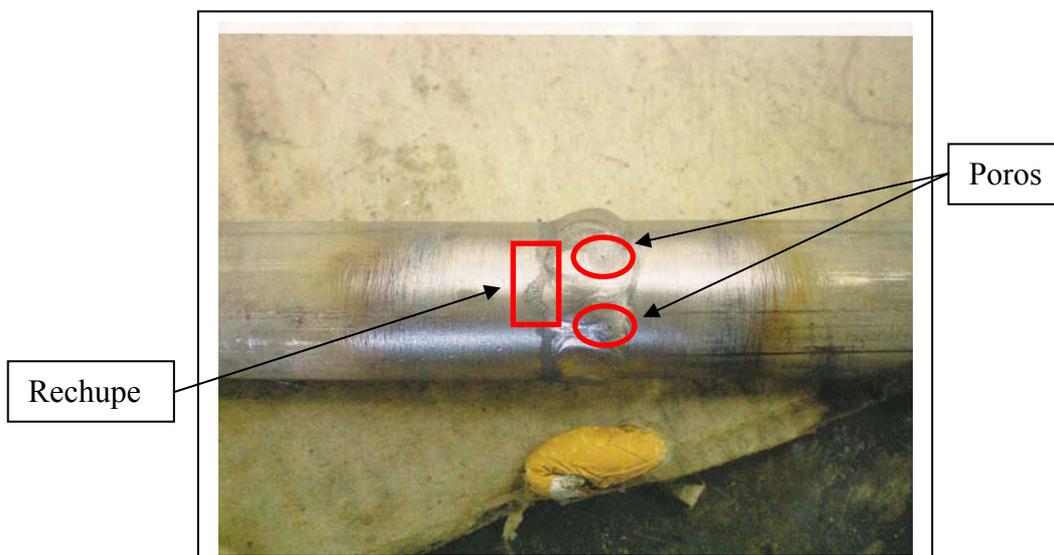
En caso de ser rechazada la soldadura o la zona adyacente se debía eliminar esta y volver a preparar para realizar una nueva soldadura. En caso de que estos defectos afectaran al material base se procedía a eliminar la zona afectada añadiendo un carrete con su correspondiente soldadura adicional.

Para corregir la ocurrencia de estos sucesos se informó a los soldadores que en caso de identificarse un defecto sobre una soldadura realizada se consultara con el inspector que medidas tomar para corregirlo. Justificando esta consulta por la razón de que en ocasiones defectos aceptables eran transformados en no aceptables por realizar el amolado.

Durante la ejecución de la obra se produjeron dos casos puntuales curiosos por las indicaciones que se observaron.

El primer caso se dio durante la homologación de los soldadores. Para la homologación se le solicitaba que realizara una soldadura a raíz abierta por técnica GTAW en una tubería de 3/8 de diámetro. Al finalizar esta soldadura el empalme entre el inicio del cordón de soldadura y el final adquirió una forma poco estética. Para corregir este problema el soldador, a espaldas del inspector que vigilaba la prueba, calentó la zona con la antorcha pero sin aportarle material para homogeneizar la zona.

Este exceso de calor sin aporte produjo el quemado del material apareciendo un rechupe en la zona afectada térmicamente y dos poros donde antes están los finales y principio de cordón. La soldadura resultante con sus defectos se puede ver a continuación:

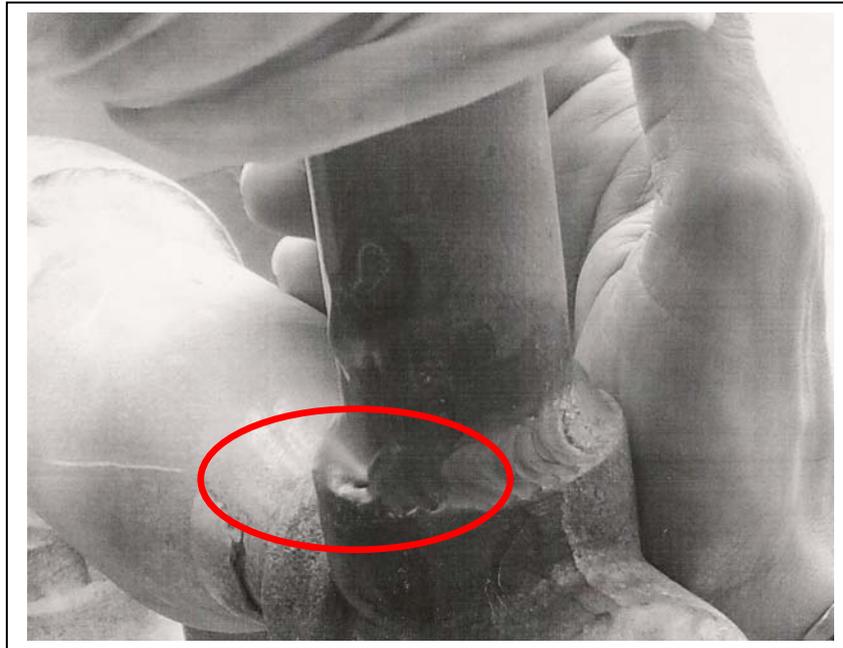


## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.1: PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURAS

El segundo caso curioso que se observó fue una soldadura sin finalizar debido a la posición de soldeo. En este caso el soldador no se dio cuenta que no había finalizado la soldadura al no utilizar espejos ni ninguna otra forma de observación del trabajo finalizado.

La foto siguiente fue tomada por el inspector que realizaba la inspección visual de las soldaduras una vez finalizadas estas tras solicitar que se hiciera circular agua a presión por ellas.



# PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

## CAPITULO 2.2: PROCEDIMIENTO DE EXAMEN DE SOLDADURAS Y MATERIALES POR LÍQUIDOS PENETRANTES

---

### **Capítulo 2.2. Procedimiento de examen de soldaduras y materiales por líquidos penetrantes:**

Este capítulo se subdivide en dos apartados:

- En el primero apartado se describe el procedimiento de examen de soldaduras y materiales por líquidos penetrantes, incluyendo las normativas de aplicación, las inspecciones a realizar, los defectos que se pueden encontrar durante la inspección, la cualificación del personal que realiza las inspecciones y los métodos de registro y seguimiento de las inspecciones realizadas.
- En el segundo apartado se describirán las imperfecciones detectadas durante la ejecución de los trabajos y los métodos de reparación llevados a cabo para corregirlas.

**GESTIÓN DE LA CALIDAD**

**PROYECTO:** *“Procedimientos de ensayos no destructivos en la construcción de los colectores subacuáticos de una extracción petrolífera de aguas profundas”.*

**DOC. CODIGO:** END-002

**TITULO:** *Examen de soldaduras y materiales por líquidos penetrantes*

REVISIÓN	FECHA	MODIFICACIONES

PREPARADO / REVISADO	APROVADO	APROVADO CLIENTE
Firma	Firma	Firma
Fecha	Fecha	Fecha

**INDICE**

1. Objeto
2. Alcance
3. Normas y códigos de referencia
4. General:
  - 4.1. Líquidos a utilizar
  - 4.2. Estado superficial
  - 4.3. Cualificación del personal
  - 4.4. Rango de temperaturas
  - 4.5. Equipos empleados
5. Realización:
  - 5.1. Limpieza previa
  - 5.2. Aplicación del penetrante
  - 5.3. Eliminación del exceso de penetrante
  - 5.4. Aplicación del revelador
6. Interpretación de las indicaciones
7. Discontinuidades
8. Evaluación:
  - 8.1. Aspecto de las indicaciones
  - 8.2. Indicaciones falsas
  - 8.3. Criterios de aceptación
9. Limpieza final
10. Reparaciones
11. Informe

### **1. OBJETO**

El presente procedimiento describe el método operatorio y los niveles de aceptación que deberán seguirse para efectuar el examen por líquidos penetrantes de las soldaduras tipo “Socket Weld” de la tuberías de un colector subacuático de producción submarino y las soldaduras tipo “Fillet” de las conexiones entre el módulo de tubería de gran diámetro y el módulo de estructura inferior del mismo colector realizadas en material Dúplex.

### **2. ALCANCE**

La aplicación de este procedimiento se refiere exclusivamente a la detección y evaluación de discontinuidades que afloran a la superficie. La extensión y momento de examen será el indicado en el programa de puntos de inspección o especificación aplicable.

El método de líquidos penetrantes es eficaz en cualquier material relativamente duro y no poroso. Se utiliza principalmente para detectar discontinuidades en materiales no magnéticos, tales como aluminio, magnesio, acero inoxidable, cobre, bronce y otros metales y aleaciones como el titanio, berilio y circonio. Aunque en este caso el acero inoxidable Dúplex es magnético se utilizará el ensayo por líquidos penetrantes por los motivos explicados en el Capítulo 1.4. “Definición y justificación de los métodos de ensayos no destructivos elegidos y de las soldaduras a las que aplica”.

**3. NORMAS Y CÓDIGOS DE REFERENCIA**

Son de aplicación en los requisitos generales y los criterios de aceptación para la Inspección por Líquidos Penetrantes en soldaduras los requerimientos especificados en:

- Sección V del Código ASME en su Artículo 1 “Liquid penetrant examination”.
  - Punto T-110: “Scope”
  - Punto T-120: “General”
  - Punto T-130: “Equipment”
  - Punto T-150: “Procedure”
  - Punto T-160: “Calibration”
  - Punto T-170: “Examinations and Inspections”
  - Punto T-180: “Evaluation”
  - Punto T-190: “Records/Documentation”
  
- Sección V del Código ASME en su Artículo 6 “Liquid penetrant examination”.
  - Punto T-610: “Scope”
  - Punto T-620: “General”
  - Punto T-630: “Equipment”
  - Punto T-640: “Miscellaneous Requirements”
  - Punto T-650: “Technique”
  - Punto T-660: “Calibration”
  - Punto T-670: “Examination”
  - Punto T-680: “Evaluation”
  - Punto T-690: “Documentation”
  - Mandatory Appendices:
    - Appendix I: “Glossary for Liquid Penetrant Examination”
    - Appendix II: “Control of Contaminants for Liquid Penetrant Examination”
    - Appendix III: “Qualification Techniques for Examinations at Nonstandard Temperatures”
  
- Sección V del Código ASME en su Artículo 24 “Liquid penetrant standards”
  - SE-165 (ASTM E 165-95): “Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination”

- Sección B 31.3 del Código ASME: Tuberías a presión. Tuberías de proceso.
  - o Capítulo VI: “Inspection, examination, and testing”
    - Punto 340: “Inspection”
      - Punto 340.1: “General”
      - Punto 340.2: “Responsability for inspection”
      - Punto 340.3: “Rights of the owner’s inspector”
      - Punto 340.4: “Qualifications of the owner’s inspector”
    - Punto 341: “Examination”
      - Punto 341.1: “General”
      - Punto 341.2: “Responsibility for examination”
      - Punto 341.3: “Examination requirements”
        - o Punto 341.3.1: “General”
        - o Punto 341.3.2: “Acceptable criteria”
        - o Punto 341.3.3: “Defective components and workmanship”
        - o Punto 341.3.4: “Progressive sampling for examination”
    - Punto 342: “Examination personnel”
      - Punto 342.1: “Personnel qualification and certification”
      - Punto 342.2: “Specific requirement”
    - Punto 343: “Examination procedures”
    - Punto 344: “Types of examination”
      - Punto 344.1: “General”
        - o Punto 344.1.1: “Methods”
        - o Punto 344.1.2: “Special methods”
        - o Punto 344.1.3: “Definitions”
      - Punto 344.4: “Liquid penetrant examination”
- AWS D1.1:2000: Código de soldadura estructural - Aceros.
  - o Capítulo 6: “Inspection”
    - Parte C: “Acceptance Criteria”
      - Punto 6.10: “Liquid Penetrant and Magnetic Particle Testing”
    - Parte D: “Nondestructive Testing Procedures”
      - Punto 6.14: “Procedures”
        - o Punto 6.14.5: “Dye Penetrant Testing”
        - o Punto 6.14.6: “Personnel Qualification”

**4. GENERAL****4.1. LÍQUIDOS A UTILIZAR**

Para la aplicación del presente procedimiento se utilizarán líquidos penetrantes coloreados (rojos) eliminables con disolvente o agua desmineralizada.

El líquido penetrante consiste en una disolución de pigmentos fuertemente coloreados en disolventes orgánicos no inflamables (hidrocarburos halogenados), con propiedad de penetrar o entrar en oberturas muy finas, tales como grietas y salir de él una vez el exceso de penetrante ha sido eliminado. Aunque la sensibilidad de los penetrantes coloreados suele ser inferior a la de los penetrantes fluorescentes, serán los empleados por ser los de aplicación más sencilla (pulverización sobre la zona de ensayo) y no requerir lámparas especiales para la observación.

Para el examen de aceros inoxidables austeníticos los productos empleados requieren un nivel de halógenos (fluoruros, cloro) mínimo, por eso todos los líquidos tendrán certificado de que el residuo obtenido después del calentamiento de una muestra de 50 gr. (para el penetrante y revelador) o 100 gr. (para el eliminador) en una caja de vidrio Petri de 150 mm de diámetro nominal, a una temperatura entre 900°C y 100°C, durante 1 hora, sea menor de 0,0025 gr., para los primeros y de 0,005 gr. para el eliminador.

Si el residuo es de 0,0025 gr., 0,005 gr. en el caso del eliminador, o más, éste será analizado, de acuerdo con los métodos de análisis establecidos en ASTM-D129 o D1552, o SE-165 y certificado de que el contenido residual de sulfuro no excede del 1 % en peso y de que el contenido residual de fluoruros y cloruros. En los certificados figurará el nombre del fabricante, el número de lote indicado en el contenedor del líquido y los resultados de los análisis efectuados.

Se empleará un revelador de tipo húmero no acuoso (revelador suspendido en disolvente). Con este tipo de revelador se obtienen capas suaves y finas sobre la superficie, así como que debido a que los disolventes utilizados se secan rápidamente, no es difícil de obtener, inclusive en superficies verticales, una capa uniforme. El método de aplicación será mediante botes de spray, ya que evita la aplicación de cantidades excesivas que podrían reducir la sensibilidad para detectar defectos finos, pero aplica una capa de un espesor tal que suministra una superficie de fondo opaca que dará indicaciones satisfactorias para el método de penetrantes coloreados. A pesar de que los reveladores húmedos no acuosos son ineficaces para detectar defectos anchos y poco profundos estos se deben haber detectado en las inspecciones visuales realizadas previamente.

Los líquidos a utilizar (penetrante, eliminador y revelador) corresponderán a alguno de los siguientes procesos y marcas:

Proceso: Penetrantes rojos eliminables con disolvente.  
Penetrantes rojos eliminables con agua.

Marca: SPOTCHECH o ARDROX

La inspección se realizará utilizando los componentes (penetrantes, eliminador y revelador) de la misma marca y correspondientes al mismo proceso según indicaciones del fabricante de los líquidos. No se permite la mezcla de materiales penetrantes de diferentes familias o diferentes fabricantes.

En los certificados de inspección figurará el nombre del fabricante y el número de lote indicado en el contenedor del líquido para cada componente utilizado (penetrante, eliminador y revelador).

#### **4.2. ESTADO SUPERFICIAL**

Las superficies a examinar y todas las áreas adyacentes hasta 1" (25 mm) deberán estar exentas de óxido, pinturas, aceite, grasa, salpicaduras, agua, proyecciones, escorias, polvo y, en general, de cualquier materia extraña que pudiera dificultar la buena realización del examen. Para obtener buenos resultados, es necesario que la superficie quede limpia y seca.

Los tipos de contaminantes más frecuentes junto con los efectos que producen en los ensayos por líquidos penetrantes son los siguientes:

- Agua: Impide la humectación y penetración.
- Pintura: Impide la humectación; tapa la apertura a la superficie de las discontinuidades.
- Calamina, barniz, óxidos y otras suciedades que se adhieren a la superficie: Tienden a absorber el penetrante así como impiden la acción del líquido a penetrar en la discontinuidad y su efecto humectante.
- Aceites empleados para conformado, mecanizado, aceites lubricantes: Impide la acción del líquido penetrante.
- Restos de ácidos o álcalis: Impiden la humectación y la penetración, reaccionan químicamente con el penetrante y descomponen los pigmentos y otros constituyentes que contienen los penetrantes.

En cuanto a las irregularidades superficiales, una excesiva rugosidad reduce la facilidad de la aplicación del penetrante y también dificulta la eliminación posterior del exceso de penetrante en la superficie. Si quedan restos de metal resultantes del conformado o de la abrasión superficial, estos pueden cubrir los defectos e impedir la acción del penetrante.

**4.3. CUALIFICACIÓN DEL PERSONAL**

Si el personal que realice, evalúe e informe los ensayos está cualificado y certificado con Nivel I deberá ser en todo momento supervisado por personal cualificado y certificado al menos como Nivel II. Si la realización, la evaluación y la realización de los informes recaen sobre personal cualificado y certificado como Nivel II no será necesaria una supervisión adicional por parte de otro personal.

Se adjunta formato de certificado del personal en la Figura 1.

FIGURA 1

<b>CERTIFICADO DE CALIFICACIÓN EN END</b>			
Nombre:	Fecha de Nacimiento:		
Método END: Líquidos Penetrantes (PT)	Nivel:		
Fecha de Ingreso:	Fecha 1ª Certificación:		
<input type="checkbox"/> <b>Inicial</b> <input type="checkbox"/> <b>Recalificación:</b> <input type="checkbox"/> Continuidad <input type="checkbox"/> Examen			
<b>Estudios:</b>			
<b>Experiencia:</b>			
<b>Entrenamiento:</b>		Fecha:	
<input type="checkbox"/> Curso	<input type="checkbox"/> Autoestudio	Duración:	Resultado:
<b>Exámenes:</b>			
- Físico:		Realizado por:	
- General/Básico:	Específico/Método:	Práctico/Específico:	
Factores de Ponderación:	0,33	0,33	0,33
Calificación Final:	(ASNT-TC-1A)		
Revisado por:	(ASNT)		Fecha:
Otras evidencias de la demostración de la capacidad:			
Observaciones:			
De acuerdo con los requisitos establecidos en el Procedimiento: basado en la práctica recomendada n° SNT-TC-1ª de la ASNT edición 1996 incluida addenda 2000, se emite el presente certificado:			
Fecha de Certificación:		Validez hasta:	
Certificado por:		Firma	

**4.4. RANGO DE TEMPERATURAS**

La temperatura de las superficies a examinar y de los materiales penetrantes, estará comprendida entre 10°C y 52°C. Calentamiento o enfriamientos locales para lograr dicho rango están permitidos.

Cuando no sea posible cumplir con el rango indicado, se procederá a homologar el procedimiento según se especifica en ASME V T653.

Los resultados de los ensayos a la temperatura propuesta cualificarán el procedimiento de inspección por líquidos penetrantes para las condiciones establecidas cuando la demostración haya sido satisfactoria por comparación.

**4.5. EQUIPOS EMPLEADOS**

Al ser un trabajo en obra se realizará la limpieza aplicando el disolvente o el agua desmineralizada en trapos, humedeciéndolos y quitándolos de la misma forma. Por el mismo motivo para la aplicación de los líquidos penetrantes se utilizarán trapos, papel celulósico, brochas o cepillos para frotar.

Para la eliminación de escorias, proyecciones, salpicaduras u óxidos, podrá utilizarse cepillos metálicos, buriles o esmerilado teniendo en cuenta las siguientes precauciones:

Los cepillos deberán ser de acero inoxidable. No deben emplearse máquinas para las preparaciones de cepillado.

Por lo tanto, para el proceso de penetrante visible coloreado se necesitarán los siguientes equipos:

- Botes de líquidos penetrantes coloreados (eliminables con disolvente o con agua).
- Botes (pulverizadores) de disolvente (eliminador).
- Agua desmineralizada.
- Botes de revelador (húmedo no acuosos).
- Trapos (sin hilachas) y brocha.

## **5. REALIZACIÓN**

### **5.1. LIMPIEZA PREVIA**

La superficie de examen deberá ser limpiada previamente de forma que se obtenga un estado superficial como el descrito en el apartado 4.2. La limpieza superficial de suciedades podrá realizarse con acetona o eliminador del tipo descrito en el punto 4.1., aplicando el producto directamente sobre la superficie, frotando esta con trapos o papeles de acuerdo con la rugosidad superficial hasta que se observe que las sustancias contaminantes (grasa, aceite, cera o cualquiera materia que pueda interferir en el ensayo) hayan desaparecido. Se dejará secar por evaporación del eliminador durante al menos 5 minutos antes de iniciar el ensayo.

Para la eliminación de escorias, proyecciones, salpicaduras u óxidos, podrá utilizarse cepillos metálicos, buriles o esmerilado teniendo en cuenta las siguientes precauciones, ya que este método de limpieza puede hacer que se cierren las discontinuidades superficiales sobre todo en metales blandos que no es el caso:

- Los cepillos deberán ser de acero inoxidable.
- No deben emplearse máquinas para las preparaciones de cepillado.
- Las operaciones de esmerilado deberán estar autorizados por el propietario.

Para la eliminación de pintura superficial se utilizará disolvente o decapante específico al tipo de pintura. Deberá tenerse en cuenta que para pintura incrustada en posibles discontinuidades es recomendable repetir la aplicación de éste al menos dos veces. Posteriormente, debe eliminarse el decapante y todos los restos producidos ya que sino estos serán los elementos contaminantes. En esta técnica también hay que tener en cuenta la toxicidad de los decapantes. En las soldaduras a las que aplica este procedimiento no debería ser necesaria la eliminación de pinturas ya que según programa de montaje no serán pintadas antes de la realización del ensayo, aun así se mantiene este apartado por si se produjera alguna interferencia de producción.

### **5.2. APLICACIÓN DE PENETRANTE**

Se aplica el penetrante por pulverización, spray o brocha para formar una capa sobre la superficie, para que penetre en las discontinuidades. Posteriormente, se debe esperar un cierto tiempo, para que el penetrante penetre en las discontinuidades.

El tiempo necesario para una correcta penetración depende del material, del tipo de discontinuidad y de la temperatura de la pieza. A continuación damos los tiempos recomendados de penetración para líquidos penetrantes coloreados y el tipo de discontinuidad (Figura 2). No obstante, estos tiempos siempre han de estar de acuerdo a las recomendaciones del fabricante del producto.

FIGURA 2

Naturaleza del material	Estado o proceso	Tipo de discontinuidad	Tiempo de penetración minutos	
Acero	Moldeado	Porosidad	8-10	
		Fragilidad en frío	8-10	
	Forjado	Pliegues	8-10	
		Soldadura	Falta de fusión	18-20
	Todos los estados		Porosidad	18-20
			Grietas	18-20
			Grietas de fatiga	25-30

El calentamiento de la pieza a ensayar acelera la penetración reduciendo el tiempo de la misma. Sin embargo, esta es una práctica no recomendable porque puede causar la evaporación de elementos que componen el penetrante y reducir la sensibilidad del ensayo.

### 5.3. ELIMINACIÓN DEL EXCESO DE PENETRANTE

Este proceso se conoce también como limpieza intermedia y la razón por la que se limpia todo el penetrante de la superficie es para que cuando empieza a salir todo el penetrante que entre en las discontinuidades, éste sea fácilmente visible sobre una superficie de fondo limpia. Transcurrido el tiempo de penetración, se procederá a eliminar el exceso de penetrante de las superficies, de acuerdo con los siguientes criterios.

El exceso de penetrante se eliminará utilizando papel absorbente o trapos limpios secos. Se repetirá la operación hasta obtener una superficie limpia con leves trazas de penetrante.

Estas trazas deberán eliminarse mediante papel absorbente o trapos limpios libres de hilachas ligeramente humedecidos con eliminador o agua desmineralizada. Esta prohibido pulverizar las superficies con eliminador o aplicar agua directamente a la superficie de ensayo.

El tiempo de eliminación será el dado por el fabricante del producto. Hay que hacer notar que este período depende además del producto empleado y del tipo de discontinuidades que se prevé detectar. Así, para discontinuidades poco profundas y muy abiertas será necesario ir a tiempos de eliminación cortos para no arrastrar en el lavado el penetrante de las zonas defectuosas.

Terminada la limpieza de las superficies, antes de la aplicación del revelador húmedo no acuoso, ésta deberá secarse con trapos o papel absorbente limpios, por circulación de aire caliente o por evaporación normal con penetrantes eliminables con disolvente, con la precaución de que la temperatura de la superficie no exceda de 52° C. El tiempo mínimo de secado del eliminador será de unos 5 minutos.

**5.4. APLICACIÓN DEL REVELADOR**

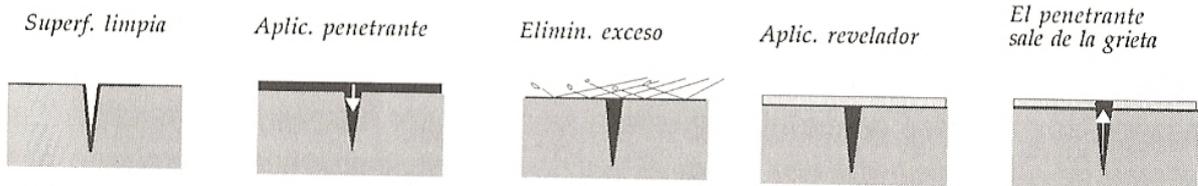
El revelador deberá aplicarse después de terminada la operación definida en el apartado 5.3. Este actuará como papel secante, absorbiendo el penetrante y sacándolo de las discontinuidades.

El revelador húmedo no acuoso es un polvo muy fino, normalmente blanco, que se aplica como suspensión en un líquido volátil, por esto, antes de ser aplicado deberá agitarse energéticamente el bote o bombona de spray para homogeneizar la suspensión de polvo con el vehículo de suspensión. La aplicación se efectuará depositando sobre la superficie una capa fina y homogénea. Deberá tenerse en cuenta que un exceso de espesor en la capa de revelador puede enmascarar indicaciones y que una capa insuficiente puede no lograr sacar el penetrante fuera de las discontinuidades.

Se considera revelado el tiempo transcurrido desde el momento en el que el revelador está seco. Este tiempo antes de la inspección será siempre superior a 7 minutos, según ASME V Art. 6., pero no superior a 30 minutos, a menos que la exudación no altere los resultados del examen, en cuyo caso puede efectuarse después de un período mayor.

A continuación se muestran los fundamentos del ensayo por líquidos penetrantes

*Vista en sección a 5000 aumentos*



*Vista en planta (observación a simple vista):*



## **6. INTERPRETACIÓN DE LAS INDICACIONES**

La indicación a que da lugar este ensayo es consecuencia de una discontinuidad que aflora a la superficie del objeto y señala su situación, poniéndose de manifiesto por el contraste de color sobre el fondo del revelador, y por las cantidades de penetrante extraídas y retenidas en la capa de revelador.

Si el penetrante se difunde excesivamente en el revelador no será fácil de evaluar ni el tamaño ni el tipo de discontinuidad. Por tanto, una buena práctica que ayuda a la interpretación de las indicaciones es observar la superficie mientras se aplica el revelador para detectar cualquier indicación que tienda a dispersarse o extenderse demasiado, dando lugar a que la indicación aparezca difusa.

Si la superficie a examinar es demasiado extensa para poder completar su inspección en el tiempo previsto, la observación deberá efectuarse por zonas.

Indicaciones con ligeros tonos rosados, pueden indicar un exceso de limpieza. Indicaciones procedentes de suciedad o amplias zonas coloreadas, indican una limpieza incorrecta. Irregularidades superficiales debidas a marcas superficiales o condiciones geométricas de éstas, pueden producir indicaciones falsas. En todos estos supuestos deberá repetirse el proceso a partir de la limpieza preliminar.

La iluminación de las superficies será luz blanca natural o artificial y tendrá la suficiente intensidad para asegurar la correcta interpretación de los resultados. Se recomienda en las normas existentes una intensidad mínima de 600 luxes, aunque se aconseja una iluminación de 1000 luxes.

## **7. DISCONTINUIDADES**

Las siguientes discontinuidades pueden ser detectadas por líquidos penetrantes:

- Grietas: Sólo son visibles cuando tienen un desarrollo considerable. Se atenderá a su disposición respecto al cordón (longitud, transversal u oblicua) su localización (en cruces, en zona de transición, en principio o final de cordón, en cráter de electrodo, etc.) y a su aspecto (recto, quebrado o estrellado). En general la presencia de grietas hace rechazable el cordón. En caso de duda y sin retocar mecánicamente la zona, verificar con líquidos penetrantes o partículas magnéticas.

La causa de la aparición de grietas es la existencia de tensiones en frío o en caliente y la incapacidad del material para soportarlas, para establecer su origen se atenderá a:

- Idoneidad de los materiales base y de aporte.
- Velocidad del proceso.
- Temperatura y parámetros que la regulan.
- Velocidad de enfriamiento.
- Idoneidad del tratamiento térmico posterior, si se requiere
- Diseño de la unión.

Siempre es conveniente, y en los aceros de alta resistencia imprescindible, posponer la inspección visual o cualquier otra, al menos 48 horas al momento de la terminación del cordón, pues las grietas suelen aparecer en ese intervalo.

Las grietas se pueden diferenciar según su disposición en la soldadura y forma en las siguientes:

- Grieta longitudinal: Grieta aproximadamente paralela al eje de la soldadura que pueden estar situadas en el metal de soldadura, en la línea de fusión, en la zona afectada térmicamente y en el material base.
- Grietas transversales: Grietas sensiblemente perpendiculares al eje de la soldadura y que pueden situarse en el metal de soldadura, en la zona afectada térmicamente y en el metal base.
- Grietas radiales: Grietas radiales cuyo origen es un punto común y pueden situarse en el metal de soldadura, en la zona afectada térmicamente y en el metal base. A las grietas de este tipo de pequeño diámetro se las conoce como grietas de estrella.
- Grietas de cráter: Grietas en el cráter final de una soldadura y que pueden ser longitudinales, transversales o grietas de estrella.
- Grupo de grietas discontinuas: Grupo de grietas discontinuas que pueden estar situadas en el metal de soldadura, en la zona afectada térmicamente y en el metal base.
- Grietas ramificadas: Grupo de grietas continuas con origen en una grieta común y que se distinguen de las grietas discontinuas y de las grietas radiales. Pueden estar situada en el metal de soldadura, en la zona afectada térmicamente y en el metal base.

- Mordeduras: Faltas de metal en forma de surcos de longitud variable en cualquiera de los bordes de un cordón de soldadura. Pueden aparecer en la arista de contacto de la cara de la soldadura con el metal base o entre cordones. Están producidos por la fusión del metal base. Suelen indicar temperatura alta y/o velocidad lenta.
- Superficie irregular: Excesiva rugosidad superficial.
- Poros: Sopladura de forma sensiblemente esférica con salida a la superficie.

## **8. EVALUACIÓN**

Son indicaciones relevantes aquellas que resultan de discontinuidades mecánicas. Las indicaciones lineales son aquellas en las que la longitud es más de tres veces la anchura. Las indicaciones redondeadas son indicaciones circulares o elípticas con la longitud menor de tres veces la anchura.

Una indicación de discontinuidad podría ser mayor que la discontinuidad que la causa; no obstante, el tamaño de la indicación y no el tamaño de la discontinuidad es la base para la aceptación o el rechazo.

### **8.1. ASPECTO DE LAS INDICACIONES**

- A. Indicaciones lineales continuas: Son indicaciones típicas de grietas (de fatiga, contracción en piezas moldeadas o en uniones soldadas de temple, y de corrosión bajo tensión).
- B. Indicaciones lineales intermitentes: Suelen presentarse en pliegues de forja parcialmente soldadas, en faltas de pegado en uniones soldadas.
- C. Indicaciones redondeadas: Suelen aparecer en productos moldeados como consecuencia de rechupes o sopladuras más o menos grandes. También pueden dar origen a este tipo de indicaciones los cráteres que se forman en los extremos de uniones soldadas.
- D. Indicaciones puntiformes agrupadas o dispersas: Suelen corresponder a porosidad del material o también, a zonas de microrrechupes o pequeñas cavidades de contracción en piezas moldeadas.

- E. Indicaciones difusas: Se presentan como un fondo continuo y homogéneo que, bajo la lupa, puede aparecer como formado por muchas indicaciones puntiformes muy próximas. Pueden corresponder a microporosidad difusa o microrrechupes.
- F. Aspecto de los bordes de la indicación. Cuando la definición de los bordes de la indicación es muy nítida, puede asegurarse, en general, que corresponde a una indicación estrecha que retiene poco volumen de líquido penetrante; tal es el caso de grietas de fatiga.

## 8.2. INDICACIONES FALSAS

Las discontinuidades mecánicas en la superficie estarán indicadas por sangrado del penetrante; sin embargo, imperfecciones superficiales localizadas tales como las que podrían ocurrir por marcas de mecanizado o condiciones superficiales podrían producir indicaciones similares que son irrelevantes para la detección de discontinuidades inaceptables.

Cualquier indicación estimada como no relevante será considerada como defecto y será reexaminada para verificar si existen defectos reales o no. Condicionamiento superficial podría preceder a la reexaminación. Las indicaciones no relevantes y amplias áreas de pigmentación que enmascararían indicaciones de defectos son inaceptables.

La aparición de indicaciones no relevantes puede estar originada por tres causas diferentes:

- a. Lavado defectuoso de las piezas: En el proceso de lavado de la pieza no se elimina totalmente el penetrante que moja la superficie, y al realizar el examen se harán visibles estas zonas, pudiendo dar origen a confusiones.
- b. Manipulación poco cuidadosa: Puede dar origen a indicaciones falsas al manipular las piezas con las manos o útiles contaminados con líquidos penetrantes, por lo que se recomienda una extremada limpieza, sobre todo entre las operaciones de lavado y revelado.
- c. Geometría y construcción de la pieza: Esto es rara vez el motivo aparente, el observador debe conocer perfectamente como está realizada la pieza. Las indicaciones de este tipo se producen en zonas ajustadas o en piezas moldeadas a presión; y tiene una forma muy regular y geométrica.

**8.3. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN**

Para las soldaduras de tubería y siguiendo la tabla 341.3.2 “Acceptance Criteria for welds and examination methods for evaluating Weld imperfections” del ASME B31.3 referenciado en el apartado 3 “Normas y códigos de referencia”, se establece que para condiciones severas de servicio las soldaduras tipo “Socket Weld” en el ensayo de líquidos penetrantes no deberán tener ninguna indicación de grietas de ningún tipo.

En la figura 4 se adjunta la tabla 341.3.2 de referencia.

**FIGURA 4**

**TABLE 341.3.2 ACCEPTANCE CRITERIA FOR WELDS AND EXAMINATION METHODS FOR EVALUATING WELD IMPERFECTIONS**

Criteria (A to M) for Types of Welds and for Service Conditions [Note (1)]												Examination Method					
Normal and Category M Fluid Service				Severe Cyclic Conditions				Category D Fluid Service				Weld Imperfection	Visual	Radiography	Magnetic Particle	Leak Test	
Type of Weld				Type of Weld				Type of Weld									
Girth, Miter Groove & Branch Connection [Note (4)]	Longitudinal Groove [Note (2)]	Fillet [Note (3)]		Girth, Miter Groove & Branch Connection [Note (4)]	Longitudinal Groove [Note (2)]	Fillet [Note (3)]		Girth and Miter Groove	Longitudinal Groove [Note (2)]	Fillet [Note (3)]	Branch Connection [Note (4)]						
A	A	A	...	A	A	A	...	A	A	A	A	...	Crack	✓	✓	...	✓
A	A	A	...	A	A	A	...	C	A	N/A	A	...	Lack of fusion	✓	✓	...	...
B	A	N/A	...	A	A	N/A	...	C	A	N/A	B	...	Incomplete penetration	✓	✓	...	...
E	E	N/A	...	D	D	N/A	...	N/A	N/A	N/A	N/A	...	Internal porosity	...	✓	...	...
G	G	N/A	...	F	F	N/A	...	N/A	N/A	N/A	N/A	...	Internal slag inclusion, tungsten inclusion, or elongated indication	...	✓	...	...
H	A	H	...	A	A	A	...	I	A	H	H	...	Undercutting	...	✓	...	...
A	A	A	...	A	A	A	...	A	A	A	A	...	Surface porosity or exposed slug inclusion [Note (6)]	✓	...	...	...
N/A	N/A	N/A	...	J	J	J	...	N/A	N/A	N/A	N/A	...	Surface finish	✓	...	...	...
K	K	N/A	...	K	K	N/A	...	K	K	N/A	K	...	Concave root surface (suck up)	✓	✓	...	...
L	L	L	...	L	L	L	...	M	M	M	M	...	Weld reinforcement or internal protrusion	✓	...	...	...

**GENERAL NOTES:**  
 (a) Weld imperfections are evaluated by one or more of the types of examination methods given, as specified in paras. 341.4.1, 341.4.2, 341.4.3 and M341.4, or by the engineering design.  
 (b) N/A the Code does not establish acceptance criteria or does not require evaluation of this kind of imperfection for this type of weld.  
 (c) \* Alternative Leak Test requires examination of these welds, see para. 345.9  
 (d) ✓ examination method generally used for evaluating this kind of weld imperfection  
 (e) ... examination method not generally used for evaluating this kind and weld imperfection.

## CAPÍTULO 2.2.

# PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

## Examen de soldaduras y materiales por líquidos penetrantes

Criterion Value Notes for Table 341.3.2

Symbol	Criterion Measure	Acceptable Value Limits [Note (6)]	
A	Extent of imperfection	Zero (no evident imperfection)	
B	Depth of incomplete penetration	$\leq 1 \text{ mm } (\frac{1}{32} \text{ in.})$ and $\leq 0.2 \bar{T}_w$	
	Cumulative length of incomplete penetration	$\leq 38 \text{ mm } (1.5 \text{ in.})$ in any 150 mm (6 in.) weld length	
C	Depth of lack of fusion and incomplete penetration	$\leq 0.2 \bar{T}_w$	
	Cumulative length of lack of fusion and incomplete penetration [Note (7)]	$\leq 38 \text{ mm } (1.5 \text{ in.})$ in any 150 mm (6 in.) weld length	
D	Size and distribution of internal porosity	See BPV Code, Section VIII, Division 1, Appendix 4	
E	Size and distribution of internal porosity	For $\bar{T}_w \leq 6 \text{ mm } (\frac{1}{4} \text{ in.})$ , limit is same as D For $\bar{T}_w > 6 \text{ mm } (\frac{1}{4} \text{ in.})$ , limit is $1.5 \times D$	
F	Slag inclusion, tungsten inclusion, or elongated indication		
	Individual length	$\leq \bar{T}_w/3$	
	Individual width	$\leq 2.5 \text{ mm } (\frac{3}{32} \text{ in.})$ and $\leq \bar{T}_w/3$	
	Cumulative length	$\leq \bar{T}_w$ in any $12 \bar{T}_w$ weld length	
G	Slag inclusion, tungsten inclusion, or elongated indication		
	Individual length	$\leq 2 \bar{T}_w$	
	Individual width	$\leq 3 \text{ mm } (\frac{1}{8} \text{ in.})$ and $\leq \bar{T}_w/2$	
	Cumulative length	$\leq 4 \bar{T}_w$ in any 150 mm (6 in.) weld length	
H	Depth of undercut	$\leq 1 \text{ mm } (\frac{1}{32} \text{ in.})$ and $\leq \bar{T}_w/4$	
I	Depth of undercut	$\leq 1.5 \text{ mm } (\frac{1}{16} \text{ in.})$ and $\leq [\bar{T}_w/4 \text{ or } 1 \text{ mm } (\frac{1}{32} \text{ in.})]$	
J	Surface roughness	$\leq 500 \text{ min. Ra}$ per ASME B46.1	
K	Depth of root surface concavity	Total joint thickness, incl. weld reinf., $\geq \bar{T}_w$	
L	Height of reinforcement or internal protrusion [Note (8)] in any plane through the weld shall be within limits of the applicable height value in the tabulation at right, except as provided in Note (9). Weld metal shall merge smoothly into the component surfaces.	For $\bar{T}_w$ , mm (in.)	Height, mm (in.)
		$\leq 6 (\frac{1}{4})$	$\leq 1.5 (\frac{1}{16})$
		$> 6 (\frac{1}{4}), \leq 13 (\frac{1}{2})$	$\leq 3 (\frac{1}{8})$
		$> 13 (\frac{1}{2}), \leq 25 (1)$	$\leq 4 (\frac{3}{32})$
	$> 25 (1)$	$\leq 5 (\frac{1}{16})$	
M	Height of reinforcement or internal protrusion [Note (8)] as described in L. Note (9) does not apply.	Limit is twice the value applicable for L above	

X = required examination    NA = not applicable    . . . = not required

Notes follow on next p.

TABLE 341.3.2 (CONT'D)

### NOTES:

- (1) Criteria given are for required examination. More stringent criteria may be specified in the engineering design. See also paras. 341.5 and 341.5.3.
- (2) Longitudinal groove weld includes straight and spiral seam. Criteria are not intended to apply to welds made in accordance with a standard listed in Table A-1 or Table 326.1.
- (3) Fillet weld includes socket and seal welds, and attachment welds for slip-on flanges, branch reinforcement, and supports.
- (4) Branch connection weld includes pressure containing welds in branches and fabricated laps.
- (5) These imperfections are evaluated only for welds  $\leq 5 \text{ mm } (\frac{1}{16} \text{ in.})$  in nominal thickness.
- (6) Where two limiting values are separated by "and," the lesser of the values determines acceptance. Where two sets of values are separated by "or," the larger value is acceptable.  $\bar{T}_w$  is the nominal wall thickness of the thinner of two components joined by a butt weld.
- (7) Tightly butted unfused root faces are unacceptable.
- (8) For groove welds, height is the lesser of the measurements made from the surfaces of the adjacent components; both reinforcement and internal protrusion are permitted in a weld. For fillet welds, height is measured from the theoretical throat, Fig. 328.5.2A; internal protrusion does not apply.
- (9) For welds in aluminum alloy only, internal protrusion shall not exceed the following values:
  - (a) for thickness  $\leq 2 \text{ mm } (\frac{3}{64} \text{ in.})$ :  $1.5 \text{ mm } (\frac{1}{16} \text{ in.})$ ;
  - (b) for thickness  $> 2 \text{ mm}$  and  $\leq 6 \text{ mm } (\frac{1}{4} \text{ in.})$ :  $2.5 \text{ mm } (\frac{3}{32} \text{ in.})$ .
 For external reinforcement and for greater thicknesses, see the tabulation for Symbol L.

## CAPÍTULO 2.2.

# PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

## Examen de soldaduras y materiales por líquidos penetrantes

Para las soldaduras de unión entre las estructuras y las tuberías de gran diámetro, que se consideran soldaduras estructurales pero son realizadas con material de aporte Dúplex, los criterios de aceptación serán los indicados en la normativa AWS D1.1. Siguiendo el punto 6.10 de esta normativa se indica que los criterios de aceptación en el ensayo de líquidos penetrantes será el mismo que para la inspección visual, por tanto y siguiendo la tabla 6.1 “Visual Inspection Acceptance Criteria” se establece que en condiciones de carga cíclicas par conexiones no tubulares:

- Todo tipo de grietas son inaceptables.
- Todas grietas de cráter estarán prohibidas en el tamaño especificado de la soldadura
- Las mordeduras en elementos primarios no podrán tener más de 0.01 pulgada (0.25 milímetros) de profundidad cuando la soldadura sea transversal a las tensiones de carga de trabajo del diseño. Las mordeduras no deberán ser superiores a 1/32 pulgadas (1 milímetro) de profundidad para el resto de casos.
- La frecuencia de la porosidad de las tuberías no deberá exceder de una cada 4 pulgadas (100 milímetros) y la longitud y del diámetro máximo no podrá exceder de 3/32 pulgadas (2.5 milímetros).

En la figura 5 se muestra la tabla 6.1 como referencia:

FIGURA 5

**Table 6.1**  
**Visual Inspection Acceptance Criteria<sup>1</sup> (see 6.9)**

Discontinuity Category and Inspection Criteria	Statically Loaded Non-tubular Connections	Cyclically Loaded Non-tubular Connections	Tubular Connections (All Loads)										
<b>(1) Crack Prohibition</b> Any crack is unacceptable, regardless of size or location.	X	X	X										
<b>(2) Weld/Base-Metal Fusion</b> Thorough fusion shall exist between adjacent layers of weld metal and between weld metal and base metal.	X	X	X										
<b>(3) Crater Cross Section</b> All craters shall be filled to provide the specified weld size, except for the ends of intermittent fillet welds outside of their effective length.	X	X	X										
<b>(4) Weld Profiles</b> Weld profiles shall be in conformance with 5.24.	X	X	X										
<b>(5) Time of Inspection</b> Visual inspection of welds in all steels may begin immediately after the completed welds have cooled to ambient temperature. Acceptance criteria for ASTM A 514, A 517, and A 709 Grade 100 and 100 W steels shall be based on visual inspection performed not less than 48 hours after completion of the weld.	X	X	X										
<b>(6) Undersized Welds</b> The size of a fillet weld in any continuous weld may be less than the specified nominal size (L) without correction by the following amounts (U):  <table style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\frac{L}{16}</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\frac{U}{16}</math></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">specified nominal weld size, in. (mm)</td> <td style="text-align: center;">allowable decrease from L, in. (mm)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\leq 3/16</math> (2)</td> <td style="text-align: center;"><math>\leq 1/16</math> (2)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>1/4</math> (6)</td> <td style="text-align: center;"><math>\leq 3/32</math> (2.5)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\geq 5/16</math> (8)</td> <td style="text-align: center;"><math>\leq 1/8</math> (3)</td> </tr> </table> In all cases, the underside portion of the shall not exceed 10% of the weld length. On web-to-flange welds on girders, no undercut is permitted at the ends for a length equal to twice the width of the flange.	$\frac{L}{16}$	$\frac{U}{16}$	specified nominal weld size, in. (mm)	allowable decrease from L, in. (mm)	$\leq 3/16$ (2)	$\leq 1/16$ (2)	$1/4$ (6)	$\leq 3/32$ (2.5)	$\geq 5/16$ (8)	$\leq 1/8$ (3)	X	X	X
$\frac{L}{16}$	$\frac{U}{16}$												
specified nominal weld size, in. (mm)	allowable decrease from L, in. (mm)												
$\leq 3/16$ (2)	$\leq 1/16$ (2)												
$1/4$ (6)	$\leq 3/32$ (2.5)												
$\geq 5/16$ (8)	$\leq 1/8$ (3)												
<b>(7) Undercut</b> (A) For material less than 1 in. (25 mm) thick, undercut shall not exceed 1/32 in. (1 mm), except that a maximum 1/16 in. (2 mm) is permitted for an accumulated length of 2 in. (50 mm) in any 12 in. (300 mm). For material equal to or greater than 1 in. thick, undercut shall not exceed 1/16 in. (2 mm) for any length of weld. (B) In primary members, undercut shall be no more than 0.01 in. (0.25 mm) deep when the weld is transverse to tensile stress under any design loading condition. Undercut shall be no more than 1/32 in. (1 mm) deep for all other cases.	X												
<b>(8) Porosity</b> (A) Complete joint penetration groove welds in butt joints transverse to the direction of computed tensile stress shall have no viable piping porosity. For all other groove welds and for fillet welds, the sum of the viable piping porosity 1/32 in. (1 mm) or greater in diameter shall not exceed 3/8 in. (10 mm) in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4 in. (20 mm) in any 12 in. (300 mm) length of weld. (B) The frequency of piping porosity in fillet welds shall not exceed one in each 4 in. (100 mm) of weld length and the maximum diameter shall not exceed 3/32 in. (2.5 mm). Exception: for fillet welds connecting stiffeners to web, the sum of the diameters of piping porosity shall not exceed 3/8 in. (10 mm) in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4 in. (20 mm) in any 12 in. (300 mm) length of weld.	X												
<b>(C) Complete joint penetration groove welds in butt joints transverse to the direction of computed tensile stress shall have no piping porosity. For all other groove welds, the frequency of piping porosity shall not exceed one in 4 in. (100 mm) of length and the maximum diameter shall not exceed 3/32 in. (2.5 mm).</b>		X	X										

1. An "X" indicates applicability for the connection type; a shaded area indicates non-applicability.

**Legend for Figures 6.1, 6.4, 6.5, and 6.6**

**Dimensions of Discontinuities**

**B** = Maximum allowed dimension of a radiographed discontinuity.

**L** = Largest dimension of a radiographed discontinuity.

**L'** = Largest dimension of adjacent discontinuities.

**C** = Minimum clearance measured along the longitudinal axis of the weld between edges of porosity or fusion-type discontinuities (larger of adjacent discontinuities governs), or to an edge or an end of an intersecting weld.

**C<sub>1</sub>** = Minimum allowed distance between the nearest discontinuity to the free edge of a plate or tubular, or the intersection of a longitudinal weld with a girth weld, measured parallel to the longitudinal weld axis.

**W** = Smallest dimension of either of adjacent discontinuities.

**Material Dimensions**

**E** = Weld size.

**T** = Plate or pipe thickness for CJP groove welds.

**Definitions of Discontinuities**

• An elongated discontinuity shall have the largest dimension (L) exceed 3 times the smallest dimension.

• A rounded discontinuity shall have the largest dimension (L) less than or equal to 3 times the smallest dimension.

• A cluster shall be defined as a group of nonaligned, acceptably-sized, individual adjacent discontinuities with spacing less than the minimum allowed (C) for the largest individual adjacent discontinuity (L'), but with the sum of the greatest dimensions (L) of all discontinuities in the cluster equal to or less than the maximum allowable individual discontinuity size (B). Such clusters shall be considered as individual discontinuities of size L for the purpose of assessing minimum spacing.

• Aligned discontinuities shall have the major axes of each discontinuity approximately aligned.

**9. LIMPIEZA FINAL**

El revelador se debe eliminar lo antes posible después de la etapa de inspección para evitar que este se fije a la pieza. Si el revelador no ha permanecido excesivo tiempo sobre la superficie se puede eliminar con agua desmineralizada a presión. Si permanece mucho tiempo, puede que sea necesario emplear detergente libre de halógenos y cloruros con el agua desmineralizada de lavado. Se recomienda limpiar la pieza una vez examinadas y registradas las indicaciones, y proceder después a su limpieza con papel absorbente o trapos empapados con eliminador o agua desmineralizada.

**10. REPARACIONES**

Las áreas reparadas como consecuencia de la aplicación de este procedimiento, serán nuevamente examinadas, de acuerdo con el mismo método de examen y parámetros que el examen inicial, a partir de la limpieza previa, después del resanado y recargue.

**11. INFORME**

Una vez finalizado el examen, se elaborará el correspondiente "Informe de examen por Líquidos Penetrantes" (Figura 6), indicando en la portada, al menos la siguiente información:

- Nombre y dirección del laboratorio de ensayo.
- Nombre y dirección del cliente.
- Lugar de realización del ensayo cuando sea diferente de la dirección del laboratorio, u obra a la que pertenece.
- Identificación única del informe, así como el número total de páginas (registros).

Con la portada anterior se incluirán los registros correspondientes según formato adjunto en la figura 6, indicando en cada hoja el número de informe, fecha y numeración correlativa para cada hoja, y como mínimo la siguiente información:

- Referencia al presente procedimiento y anexo aplicado.
- Identificación de la pieza o componente y parte examinada.
- Tipo de líquidos utilizados (penetrante, revelador y eliminador) referencia y número de lote.
- Tiempo de penetración.
- Naturaleza del defecto, dimensiones y evaluación.
- Nombre del operador, supervisor, nivel de calificación y firma.
- Fecha de la inspección.
- Observaciones.

El registro de las indicaciones se realizará mediante un croquis, película registradora y/o fotografía.

Se llevará un control diario de soldaduras mediante un informe diario de soldaduras donde se reflejarán las uniones inspeccionadas mediante ensayos no destructivos y el resultado de estos. En la figura 7 se muestra el formato a emplear.

FIGURA 6

<b>LIQUID PENETRANT EXAMINATION EXAMEN POR LÍQUIDOS PENETRANTES</b>																	
REPORT n° INFORME N°				Date: Fecha				Page Hoja:		of De							
<b>1. GENERAL</b>																	
COMPANY NAME: PETICIONARIO						WORK : OBRA											
System: Sistema			Component: Componente			Drawing: Plano											
Part: Parte			Zone Zona			Material: Material											
<b>2. EXAMINATION DATA</b>																	
Specification: Especificación																	
Surface conditioning: cleaning process: Preparación superficial. Método de limpieza																	
Drying time min. Tiempo de secado			Surface Temperature: °C Temperatura de la superficie			Termometer : Termómetro ref.			reference:								
<b>Penetrant materials:</b> Líquidos penetrantes <input type="checkbox"/> Solvent Removable Eliminable disolvente <input type="checkbox"/> Water washable Eliminables con agua <input type="checkbox"/> Post-emulsifiable Post-emulsificables <input type="checkbox"/> Coloured Coloreados <input type="checkbox"/> Fluorescent Fluorescentes Manufacturer: Marca Reference and batch nr: Referencia y n° de lote Penetrant: Penetrante																	
Emulsifier: Emulsificador			Solvent: Eliminador			Developer: Revelador											
Process time (min): Tiempos de proceso			Penetration: Penetración			Emulsifying Emulsificado			Developing: Revelado								
Illumination/ Iluminación:			<input type="checkbox"/> Natural		<input type="checkbox"/> Artificial		<input type="checkbox"/> Black light/ Luz negra		μW/cm <sup>2</sup> Lux								
Measurement equip. Equipo de medida:			Manufacturer Marca			Model: Modelo			Reference nr: N° ref o N° de serie								
Manufacturer			Model:			Reference nr:											
<b>3. RESULTS</b>																	
<b>RESULTADOS</b>						<input type="checkbox"/> No relevant indications Sin indicaciones relevantes						<input type="checkbox"/> With relevant indic. Con indicaciones relevantes					
Specification: Especificación																	
Acceptance level: Nivel de aceptación																	
Ind. N	Nature Naturaleza	Size (mm) Dimensión	Evaluation Evaluación			Removed Saneado			Remainder thickness (mm) Espesor residual	Repair weld Recargue soldadura		Final test Evaluación final					
			A	N	SE	A	N	SE		Yes	No	A	N	SE			
A= Acceptable /Aceptable    N= Non acceptable /No aceptable    SE= Not examined/Sin examinar																	
<b>4. DISCONTINUITIES LOCATION SKETCH</b> CROQUIS SITUACIÓN DISCONTINUIDADES																	
<b>REMARKS</b> OBSERVACIONES																	
SUPERVISOR				DATE OF EXAM FECHA DEL EXAMEN				OPERATOR OPERADOR									
Sign: Fdo.				Sign: Fdo.				Sign: Fdo.									
Level Nivel				Level Nivel				Level Nivel									

**CAPÍTULO 2.2.**

**PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

Examen de soldaduras y materiales por líquidos penetrantes

FIGURA 7

SOLDADURA						MATERIALES DE APORTACIÓN			INSPECCIONES			OBSERVACIÓN
Nº FW	Ø	SCH	Proced	Soldador	Fecha	Tipo	Ø	Colada	Visual	L.P./P.M.	RX/U.T.	
CONTROL VISUAL, LIMPIEZA, PROTECCIÓN Y EJECUCIÓN									CONTROL DOCUMENTACIÓN FINAL			
EJECUCIÓN			SUPERVISIÓN			CONTROL DE CALIDAD EJECUCIÓN			GARANTIA DE CALIDAD SUPERVISIÓN.		OBSERVACIONES	
FECHA			FECHA			FECHA			FECHA			

## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.2: PROCEDIMIENTO DE EXAMEN DE SOLDADURAS Y MATERIALES POR LÍQUIDOS PENETRANTES

---

#### DATOS OBTENIDOS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO:

Durante el proceso de construcción del proyecto, de la defectología con posibilidad de producirse y de identificarse durante la realización del examen por líquidos penetrantes se recogieron las siguientes indicaciones en los informes de inspección:

- Mordeduras:

Se registraron algunas mordeduras en las soldaduras realizadas sobre todo en las tuberías de pequeño diámetro. Estas eran debidas a soldar con altas temperaturas con una velocidad lenta.

Para corregir este tipo de defectos se instó a los soldadores a realizar las soldaduras con los parámetros recogidos en el PQR (Procedimiento de soldadura homologado). También se insistió a los inspectores que, al realizar la inspección durante el proceso de soldeo, verificarán en todos los casos los parámetros de soldeo y comprobaran posteriormente si se habían producido mordeduras.

Con la información obtenida de la observaciones realizadas por los inspectores se identificaron los soldadores que mayor número de veces producían este defecto en las soldaduras. A estos soldadores se les explicó la situación y se tomaron medidas tanto por su parte como por la de los inspectores para minimizar al máximo la aparición de estos defectos.

A continuación se muestran dos fotos de soldaduras de tubería de pequeño diámetro en la que se han identificado mordeduras.



## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.2: PROCEDIMIENTO DE EXAMEN DE SOLDADURAS Y MATERIALES POR LÍQUIDOS PENETRANTES

---



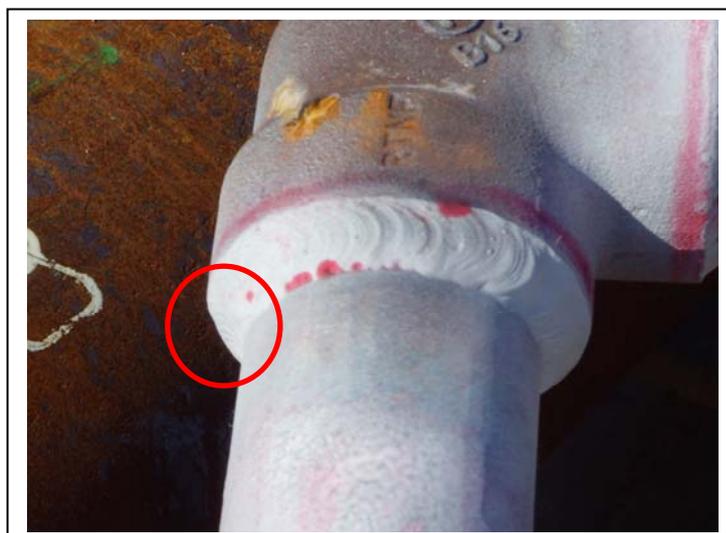
La reparación de este tipo de defecto se realizaba mediante recargue de la zona afectada y amolando el posible sobre espesor que se hubiera producido y que excediera de lo permitido.

- Grietas de cráter.

Se registraron numerosas grietas de cráter al final de las soldaduras de tipo grieta en estrella sobre todo en las soldaduras de tubería de pequeño diámetro. Esto era debido a la retirada a demasiada velocidad del equipo de soldeo una vez finalizada la soldadura.

Para corregir este tipo de defectos se comunicó a los soldadores la necesidad de finalizar las soldaduras de manera más pausada pero sin excederse en el tiempo de finalización. Esto llevó a la eliminación de la aparición de este tipo de defectos sin la aparición de defectos por exceso de sobre espesor.

A continuación se muestra una foto de una soldadura de tubería de pequeño diámetro en la que se ha identificado una grieta de cráter de tipo estrella.



## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.2: PROCEDIMIENTO DE EXAMEN DE SOLDADURAS Y MATERIALES POR LÍQUIDOS PENETRANTES

---

La reparación de este tipo de defecto se realizaba mediante amolado de la superficie afectada por la grieta de cráter. Este amolado debía ser superficial sin llegar a retirar material de la soldadura que eliminara el sobre espesor aportado.

#### - Poros:

En algunas ocasiones se han identificado poros emergentes a la superficie en todos los tipos de soldaduras. Pero han sido casos esporádicos no observándose una tendencia a la existencia generalizada de estas imperfecciones en las soldaduras.

Estos poros son debidos a una inclusión gaseosa en el material de aporte durante el proceso de soldeo. Los poros superficiales normalmente son debidos a una retirada a demasiada velocidad del equipo de soldeo una vez finalizada la soldadura. Si el material de aporte queda plano el poro adquiere la forma de una grieta de cráter, pero si el material de aporte produce una concavidad superficial el poro resultante adquiere la forma de una inclusión gaseosa circular con salida a la superficie.

A continuación se muestra una foto de una soldadura en la que se ha identificado por el examen de líquidos penetrantes la existencia de un poro pasante.



La eliminación de este tipo de defectos se realizaba mediante mecanizado de la parte de la soldadura afectada. Una vez eliminado toda la cavidad de la porosidad se procede a recargar la soldadura. Para identificar cuando ha sido eliminada toda la cavidad de la porosidad se puede proceder a la realización del examen por líquidos penetrantes a las superficies amoladas.

Salvo los poros los otros defectos deberían haberse identificado mediante la inspección visual y haberse corregido en ese momento, pero el examen por líquidos penetrantes sirve de segunda validación de estos defectos.

# PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

## CAPITULO 2.3: PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE SOLDADURA POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

---

### **Capítulo 2.3. Procedimiento de inspección de soldadura por partículas magnéticas:**

Este capítulo se subdivide en dos apartados:

- En el primero apartado se describe el procedimiento de inspección de soldadura por partículas magnéticas, incluyendo las normativas de aplicación, las inspecciones a realizar, los defectos que se pueden encontrar durante la inspección, la cualificación del personal que realiza las inspecciones y los métodos de registro y seguimiento de las inspecciones realizadas.
- En el segundo apartado se describirán las imperfecciones detectadas durante la ejecución de los trabajos y los métodos de reparación llevados a cabo para corregirlas.

**GESTIÓN DE LA CALIDAD**

**PROYECTO:** *“Procedimientos de ensayos no destructivos en la construcción de los colectores subacuáticos de una extracción petrolífera de aguas profundas”.*

**DOC. CODIGO:** END-003

**TITULO:** *Inspección de soldadura por partículas magnéticas*

REVISIÓN	FECHA	MODIFICACIONES

PREPARADO / REVISADO	APROVADO	APROVADO CLIENTE
Firma	Firma	Firma
Fecha	Fecha	Fecha

**INDICE**

1. Objeto
2. Alcance
3. Normas y códigos de referencia
4. General:
  - 4.1. Material empleado
    - 4.1.1. Equipo de magnetización
    - 4.1.2. Partículas magnéticas
    - 4.1.3. Laca de contraste
    - 4.1.4. Indicador de campo
    - 4.1.5. Luxómetro (medidor de luz blanca)
    - 4.1.6. Medidores de campo
  - 4.2. Preparación superficial
  - 4.3. Cualificación del personal
5. Realización:
  - 5.1. Técnicas de magnetización
  - 5.2. Intensidad recomendada
  - 5.3. Aplicación de partículas magnéticas
  - 5.4. Interpretación de las indicaciones
  - 5.5. Discontinuidades
  - 5.6. Indicaciones falsas
  - 5.7. Desmagnetización
  - 5.8. Limpieza post-inspección
6. Criterios de aceptación
7. Reparaciones
8. Informe

## **1. OBJETO**

El presente procedimiento describe el método operatorio y los niveles de aceptación que deberán seguirse para efectuar el examen por partículas magnéticas de las soldaduras tipo “fillet” de la estructura de un colector subacuático de producción submarino realizadas en material de Acero al Carbono.

## **2. ALCANCE**

La aplicación de este procedimiento se refiere exclusivamente a la detección y evaluación de discontinuidades que afloren o que se encuentren cerca de la superficie del material a examinar. La extensión y momento de examen será el indicado en el programa de puntos de inspección o especificación aplicable.

## **3. NORMAS Y CÓDIGOS DE REFERENCIA**

Son de aplicación en los requisitos generales y los criterios de aceptación para la Inspección por Partículas Magnéticas en soldaduras los requerimientos especificados en:

- Sección V del Código ASME en su Artículo 1 “General Requirements”.
  - Punto T-110: “Scope”
  - Punto T-120: “General”
  - Punto T-130: “Equipment”
  - Punto T-150: “Procedure”
  - Punto T-160: “Calibration”
  - Punto T-170: “Examinations and Inspections”
  - Punto T-180: “Evaluation”
  - Punto T-190: “Records/Documentation”

- Sección V del Código ASME en su Artículo 7 “Magnetic Particle Examination”.
  - Punto T-710: “Scope”
  - Punto T-720: “General”
  - Punto T-730: “Equipment”
  - Punto T-740: “Miscellaneous Requirements”
  - Punto T-750: “Technique”
  - Punto T-760: “Calibration”
  - Punto T-770: “Examination”
  - Punto T-780: “Evaluation”
  - Punto T-790: “Documentation”
  - Mandatory Appendices:
    - Appendix I: “Magnetic Particle Examination Using the AC Yoke Technique on Ferritic Materials Coated With Nonmagnetic Coatings”
    - Appendix II: “Glossary of Terms for Magnetic Particle Examination”
    - Appendix III: “Magnetic Flux Leakage (MFL) Examination”
  - Nonmandatory Appendix:
    - Appendix A: “Measurement of Tangential Field Strength With Gaussmeters”
  
- Sección V del Código ASME en su Artículo 25 “Magnetic Particle Standards”
  - SE-709 (ASTM E 709-95): “Standard Guide for Magnetic Particle Examination”
  
- AWS D1.1:2000: Código de soldadura estructural - Aceros.
  - Capítulo 6: “Inspection”
    - Parte C: “Acceptance Criteria”
      - Punto 6.10: “Liquid Penetrant and Magnetic Particle Testing”
    - Parte D: “Nondestructive Testing Procedures”
      - Punto 6.14: “Procedures”
        - Punto 6.14.4: “Magnetic Particle Testing”
        - Punto 6.14.6: “Personnel Qualification”

**4. GENERAL****4.1. MATERIAL EMPLEADO****4.1.1. Equipo de Magnetización:**

La elección del equipo dependerá de la técnica de magnetización requerida de acuerdo con el Apartado 5.1 “Técnicas de Magnetización”. Las técnicas de magnetización se eligen en función del lugar donde se va a realizar el ensayo y la geometría y dimensiones de los componentes a ensayar. Teniendo en cuenta que las inspecciones se realizarán en obra y que se ensayaran soldaduras longitudinales de estructuras complejas se podrán utilizar alguno de los siguientes equipos:

**a) Imanes permanentes:**

Los imanes permanentes se utilizarán en la técnica de magnetización por imanes, pero serán los utilizados como última opción debido a la dificultad de obtener un campo magnético de suficiente intensidad y a la poca manejabilidad. Únicamente se reservará su utilización para aquellos casos en que no sea posible disponer de una fuente de energía o bien donde el riesgo de producción de chispas pueda ocasionar explosiones.

**b) Electroimanes (Yugo):**

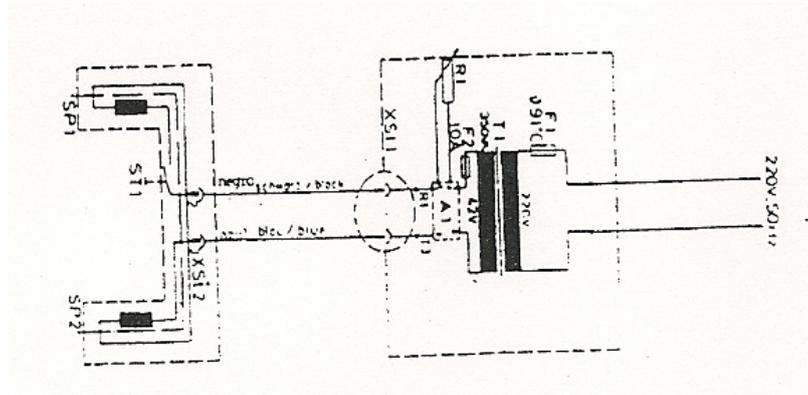
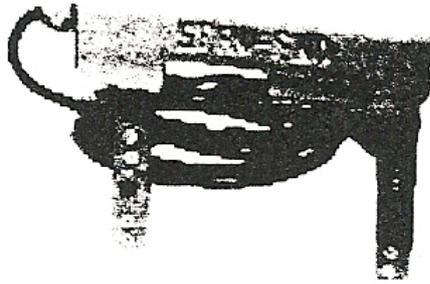
Los electroimanes se utilizarán en la técnica de magnetización por imanes, constituyendo un método eficaz y rápido para la magnetización en el examen por partículas magnéticas.

Tienen la ventaja de que finas capas de revestimiento superficial apenas producen una disminución de la intensidad del campo magnético. Por tanto, puede prescindirse de la operación de quitar la pintura para conseguir unas zonas de contacto buenas.

Esquemáticamente se representa en la figura 1. Aunque existen yugos para conectar directamente a la red (220V, 50Hz), generalmente están dotados de un transformador o transformados y rectificadas en el caso de que se prefieran de corriente continua, de alimentación y separación (220/42V, 350VA) que permiten el trabajo en espacios confinados o recipientes metálicos. En el transformador van montados un fusible térmico que a una temperatura de 91°C y, en algunos modelos, un variador de intensidad de la corriente del yugo que permite adaptarse a las particularidades del material y efectuar la desmagnetización de una forma cómoda cuando el yugo es de corriente alterna.

Como accesorios suelen disponer de unas patas articuladas para permitir adaptarse a las distintas configuraciones geométricas.

FIGURA 1



c) Unidades portátiles con electrodos:

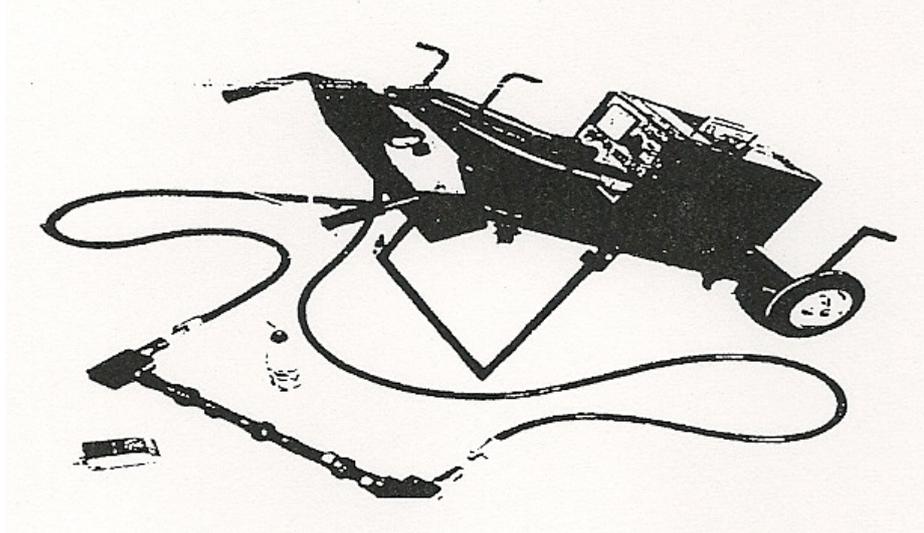
Las unidades portátiles con electrodos se utilizarán en la técnica de magnetización por corriente eléctrica.

Las unidades portátiles están diseñadas para trabajar con corriente continua (semirectificada, en general) o alterna con intensidad de salida desde 500-600 A en los más pequeños, hasta 6.000-8.000 A en los más grandes.

En el uso de electrodos se hace necesario, en la mayoría de los casos, una cuidadosa limpieza de los puntos de contacto para eliminar la cascarilla o el óxido que podrían impedir el paso de la intensidad de corriente necesaria.

En la figura 2 se presenta un equipo portátil de 1.500 A en corriente alterna.

FIGURA 2



El transformador de alta intensidad y los órganos de gobierno y de medida están agrupados en una caja rígida de acero, de concepción estética y funcional. Protegidos por un saliente en forma de visera, en el panel delantero están dispuestos el conmutador regulador de la corriente, el amperímetro de medida de alta intensidad, las bases de conexión y, el zócalo de conexión del mando a distancia.

La corriente se conecta bien desde el puesto de control por un interruptor o pedal, o bien desde la empuñadura de un electrodo mediante un botón pulsador.

La caja contiene, además de los elementos rectificadores, un ventilador para su refrigeración. La elección del tipo de corriente empleada se efectúa introduciendo los cables en las bases correspondientes.

Como accesorios necesarios se completará con: cables de alta intensidad y longitud adecuada, electrodos manuales con interruptor y cables de mando o electrodos de imán permanente e interruptor a pedal, bobinas de diferentes dimensiones y almohadillas para electrodos.

Precauciones:

- Estos equipos no pueden funcionar continuamente, sino que entre períodos de utilización de estos equipos en la magnetización, han de estar un cierto tiempo en reposos (coeficiente de utilización).
- Los electrodos deben hacer perfecto contacto con la superficie para evitar la formación de arcos y el deterioro de las piezas.

**4.1.2. Partículas Magnéticas:**

Las partículas magnéticas sirven de revelador que permite detectar los campos de fuga originados en las discontinuidades. Para la inspección de la estructura del colector de producción subacuática estas partículas magnéticas ferromagnéticas finamente divididas serán del tipo húmedas coloreadas.

Las partículas magnéticas húmedas son las de tamaño más pequeño, lo que permite tener una mayor sensibilidad para la detección de discontinuidades muy finas y a poca distancia de la superficie. Se aplicarán en suspensión en un medio líquido en este caso agua con aditivos antiespumantes y anticorrosivos y su concentración será de 1,2-2,4 en 100 ml, debiendo estar de acuerdo con la normativa ASTM E-709. Esta concentración deberá ser verificada cada ocho horas.

Al utilizarse partículas coloreadas se deberá realizar el ensayo con luz visible, con un mínimo de intensidad de luz de 100 fc (1000 Lx). Esto es necesario para asegurar la adecuada sensibilidad durante la inspección y evaluación de las indicaciones. La luz existente, la técnica utilizada y el nivel medido son necesarios para la realización del informe.

**4.1.3. Laca de contraste:**

En el caso en el que no se obtenga suficiente sensibilidad para la interpretación de las indicaciones debido al contraste entre el color de las partículas y las piezas a probar y dado que no se van a utilizar partículas fluorescentes, se utilizará una laca de contraste.

Esta laca de contraste será de color blanco y se aplicará en una fina y uniforme capa sobre la superficie a probar, permitiendo que se identifiquen perfectamente las formas creadas por las partículas magnéticas negras al aplicarle el campo magnético. Esto demuestra que las indicaciones pueden ser detectadas a través de una cobertura siempre y cuando se sigan las consideraciones del apartado 4.2. "Preparación superficial".

Una vez aplicada la laca sobre la superficie se debe dejar secar antes de aplicar las partículas magnéticas húmedas, ya que si no estuviera seca se produciría un decapado de esta laca al entrar en contacto con el agua.

La laca de contraste deberá estar calificada para esta función siendo válida cualquiera del mercado como por ejemplo la del fabricante ANDROX.

4.1.4. Indicador de campo:

Cuando sea necesario verificar la dirección o la fuerza del campo magnético se utilizará un medidor de campo como el descrito en la figura T-764.1.1 del Artículo 7 del la Sección V del Código ASME.

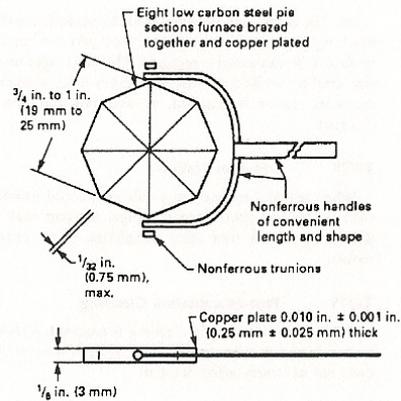


FIG. T-764.1.1 PIE-SHAPED MAGNETIC PARTICLE FIELD INDICATOR

El indicador de campo está formado por ocho piezas triangulares que soldadas entre sí, con una separación máxima de 0,8 milímetros, mediante latón forman un octógono con una distancia entre caras de 25,4 milímetros.

Las piezas triangulares que forman el octógono son de acero con muy bajo contenido en carbono de espesor de 3,2 milímetros y recubrimiento por una cara con chapa de cobre de espesor de 2,54 milímetros más 0,025 milímetros de margen. El conjunto así formado está dotado de un mango de material no férreo.

El indicador será utilizado posicionando la cara no recubierta con la chapa de cobre sobre la superficie a examinar y aplicando sobre la cara de cobre el flujo de partículas simultáneamente con la fuerza de magnetización.

La dirección e intensidad de campo magnético serán satisfactorias cuando se definan con claridad las líneas formadas por las partículas magnéticas en la dirección deseada a través de la cara de cobre.

4.1.5. Luxómetro (medidor de luz blanca):

La intensidad de luz blanca deberá ser determinada y comprobada por el inspector a fin de asegurar la adecuada iluminación sobre la superficie a examinar. En la práctica se considera adecuada una iluminación del orden de 500 – 1000 lux, dependiendo del lugar de trabajo, la cual puede ser comprobada mediante un luxómetro.

El luxómetro consiste en una capa metálica muy fina depositada sobre un elemento semiconductor apoyado en una plancha metálica. Entre la capa metálica y la plancha metálica se dispone de un galvanómetro sensible. Generalmente se utilizará como metal el cobre y como elemento semiconductor el óxido de cobre.

Cuando incide la luz sobre la laminilla de cobre, llega hasta la capa de óxido debido al pequeñísimo espesor de aquella y se liberan electrones. Una corriente eléctrica recorre el circuito indicado y produce una cierta desviación del galvanómetro que se registra en una escala graduada en lux.

#### 4.1.6. Medidores de campo:

Generalmente la intensidad del campo en el examen por partículas magnéticas se controla mediante la intensidad de corriente aplicada para su generación, mediante la fuerza de elevación en la magnetización con yugos y/o mediante un indicador de campo, siendo estas medidas únicamente de forma cuantitativa.

Cuando se quiere conocer el verdadero campo tangencial en las muestras de ensayo o en los casos que sea mandatorio, se utilizará un instrumento de medida de intensidad de campo tangencial. Estos instrumentos pueden ser digitales o analógicos y su función se basa en el factor Hall, dando la medida en Amp/cm, KAmp/m o Oe, cuya equivalencia es:

$$1 \text{ KAmp/m} = 10 \text{ Amp/cm} = 12,5 \text{ Oe}$$

## **4.2. PREPARACIÓN SUPERFICIAL**

Las superficies a examinar y todas las áreas adyacentes hasta 1" (25 mm) deberán limpiarse y estar exentas de óxido, pinturas, aceite, grasa, salpicaduras, agua, proyecciones, escorias, polvo y, en general, de cualquier materia extraña que pudiera dificultar la buena realización del examen.

Esta limpieza se puede obtener con detergentes, disolventes orgánicos, decapantes, eliminadores de pintura, vaporizadores desgrasantes, arena o gravilla abrasiva o métodos de limpieza por ultrasonidos.

En general, los resultados obtenidos son satisfactorios cuando la superficie está limpia y seca. Sin embargo las superficies irregulares pueden producir falsas indicaciones, por lo que es necesaria una preparación previa con esmerilado o mecanizado. Finas coberturas no conductoras como el caso de pinturas con un espesor de capa inferior a 0,05 milímetros normalmente no producen interferencias ni enmascaran la formación de indicaciones. Pero estas capas deberán ser eliminadas en las zonas de contacto eléctrico.

Si la cobertura o capa de pintura que este sobre la zona a examinar tiene un espesor superior a 0,05 milímetros o es una cobertura conductiva que puedan enmascarar discontinuidades, se debe demostrar que las disconformidades pueden detectarse a través del máximo espesor aplicado. El documento que evidencie esta demostración deberá ser anexado al informe y será realizado conforme al Apéndice I del Artículo 7 de la Sección V del Código ASME. La prueba a realizar seguirá un procedimiento específico elaborado según las técnicas y parámetros usados en la demostración y los requerimientos establecidos en el mismo Apéndice.

#### **4.3. CUALIFICACIÓN DEL PERSONAL**

Si el personal que realice, evalúe e informe los ensayos está cualificado y certificado con Nivel I deberá ser en todo momento supervisado por personal cualificado y certificado al menos como Nivel II. Si la realización, la evaluación y la realización de los informes recaen sobre personal cualificado y certificado como Nivel II no será necesaria una supervisión adicional por parte de otro personal.

El personal deberá realizar una prueba visual anual. Esta prueba deberá verificar que el personal es capaz de leer la Carta Estándar número 2 del tipo Jaeger a una distancia no inferior de 305 milímetros y que es capaz de distinguir y diferenciar los contrastes entre los colores utilizados.

Se adjunta formato de certificado del personal en la Figura 3.

FIGURA 3

**CERTIFICADO DE CALIFICACIÓN EN END**

Nombre:	Fecha de Nacimiento:
Método END: Partículas Magnéticas (MT)	Nivel:
Fecha de Ingreso:	Fecha 1ª Certificación:

**Inicial**                       **Recalificación:**                       Continuidad       Examen

**Estudios:**  
**Experiencia:**

<b>Entrenamiento:</b>	Fecha:
<input type="checkbox"/> Curso <input type="checkbox"/> Autoestudio                      Duración:	Resultado:

<b>Exámenes:</b>				
- Físico:	Realizado por:			
- General/Básico:	Específico/Método:			Práctico/Específico:
Factores de Ponderación:	0,33	0,33	0,33	(ASNT-TC-1A)
Calificación Final:	(ASNT)			Fecha:
Revisado por:				

Otras evidencias de la demostración de la capacidad:  
Observaciones:

De acuerdo con los requisitos establecidos en el Procedimiento: basado en la práctica recomendada n° SNT-TC-1A de la ASNT edición 1996 incluida addenda 2000, se emite el presente certificado:

Fecha de Certificación:	Validez hasta:
Certificado por:	Firma

## **5. REALIZACIÓN**

La prueba deberá realizarse de forma continua, es decir, el campo magnético deberá mantenerse mientras se apliquen las partículas magnéticas y se elimine el exceso de partículas.

La prueba deberá realizarse con dos magnetizaciones, con líneas de campo magnético perpendiculares entre ellas y con una superposición continua de posiciones que aseguren la inspección del 100% de la superficie. Se podrán elegir de las técnicas de magnetización las que más convengan según las características geométricas y las dimensiones del componente a inspeccionar.

### **5.1. TÉCNICAS DE MAGNETIZACIÓN**

#### a) Magnetización por imanes:

Cuando un material ferromagnético se sitúa entre los polos de un imán permanente las líneas de fuerza del campo magnético que cerraban el circuito a través del aire, pasarán ahora casi en su totalidad a través de la pieza. Esto se debe a que debido a su carácter presenta una reluctancia (resistencia al paso de flujo magnético) mucho menor que el aire.

Tenemos, por tanto, la pieza magnetizada longitudinalmente, con lo que cualquier discontinuidad superficial que corte a las líneas de fuerza dará lugar, si la magnetización es de suficiente intensidad, a un campo de fuga cuya presencia será revelada cuando se extienda la suspensión de partículas magnéticas por la superficie de la pieza.

La magnetización se puede realizar con dos equipos diferentes:

#### - Imanes permanentes:

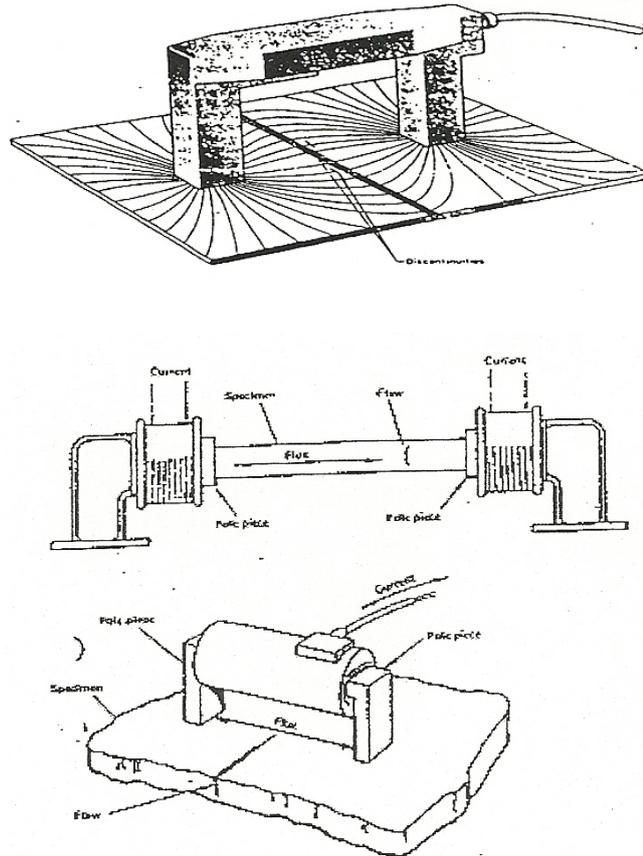
La intensidad de campo magnético de los imanes permanentes suele ser baja y además constante. Con estas características, la técnica a utilizar es el posicionamiento de los imanes permanentes de forma que creen campos magnéticos que atraviesen las superficies a examinar tanto longitudinal como transversalmente.

#### - Electroimanes (yugos):

Los yugos magnéticos permiten obtener un campo de magnetización más potente y regulables a voluntad, pero la técnica de realización del ensayo es la misma que con los imanes permanentes, se deben posicionar los polos del yugo de forma que creen campos magnéticos que atraviesen las superficies a examinar tanto longitudinal como transversalmente.

En la figura 4 se puede ver una representación de un campo magnético creado por la técnica de magnetización por yugo magnético.

FIGURA 4



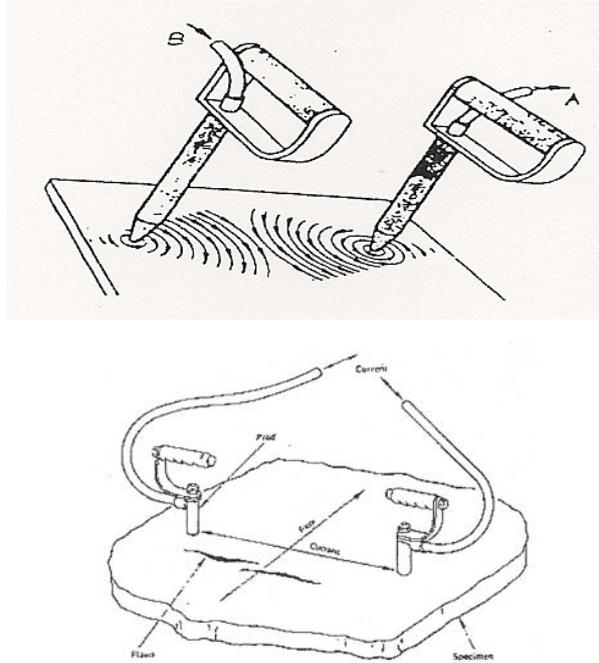
b) Magnetización por corriente eléctrica:

Debido a que este ensayo debe realizarse a estructuras complejas que imposibilitan la colocación de bobinados que son necesarios para la realización de otras técnicas de magnetización por corriente eléctrica (magnetización longitudinal, magnetización circular o magnetización multidireccional), la única técnica de magnetización viable es la técnica de electrodos.

En la técnica de electrodos las puntas son conductoras de corriente (barras redondas de cobre), las cuales se utilizan para magnetizar áreas localizadas. Cuando se utilizan las puntas se debe tener mucha precaución debido a la posibilidad de quemar las piezas a examinar en los puntos de contacto. Las puntas se conectan a la fuente de corriente mediante cables eléctricos. Cuando fluye corriente eléctrica a través de las puntas, se crea en la pieza un campo magnético circular.

En la figura 5 se puede observar un campo magnético creado mediante la técnica de magnetización por corriente eléctrica por electrodos.

FIGURA 5



La corriente eléctrica entra por B y sale por A, siendo la dirección de las líneas de flujo alrededor de la punta A la contraria a la de las manecillas del reloj.

La separación de los electrodos no excederá de 200 milímetros (8 pulgadas). Separaciones más cortas pueden ser utilizadas para adaptarse a las limitaciones geométricas de la pieza a examinar o para incrementar la sensibilidad. Pero separaciones menores de 75 milímetros (3 pulgadas) no son usualmente prácticas debido a la acumulación de partículas alrededor de los electrodos.

Las puntas de los electrodos deberán estar limpias y desengrasadas, al igual que las superficies de contacto de la pieza a examinar.

Para evitar la formación de arco, el paso y corte de corriente será realizado con los electrodos posicionados correctamente. Si el voltaje en circuito abierto de la fuente de corriente de magnetización es mayor de 25V, los electrodos de contacto serán de plomo, acero o aluminio (no de cobre) para evitar los depósitos de cobre sobre la parte a examinar.

**5.2. INTENSIDADES RECOMENDADAS**

La intensidad de corriente utilizada para la magnetización será tal que produzca una intensidad de campo que tenga la suficiente sensibilidad para el examen y que no llegue a producir saturación magnética de la pieza, ya que de ser así, se formarán acumulaciones excesivas de partículas que podrían inducir a error en la interpretación de las indicaciones.

Siguiendo el Artículo 7 de la Sección V del Código ASME se determina que la intensidad de campo magnético según las técnicas utilizadas será la siguiente:

a) Magnetización por imanes:

Tendrán una fuerza de tracción para levantar un peso con el número máximo de polos que se van a utilizar en el examen de:

- Yugos de corriente alterna: 4,5 Kg
- Yugos de corriente continua e imanes permanentes: 18,1 Kg

La fuerza de magnetización de los imanes deberá ser comprobada como mínimo una vez al año o cada vez que un imán sea reparado.

b) Magnetización por corriente eléctrica con técnica de electrodos:

Espesor de material a examinar (e)	Intensidad de corriente (directa o rectificada) Amp/pulgadas de separación entre electrodos
e > 19 milímetros	100 - 125
e < 19 milímetros	90 - 110

**5.3. APLICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

La aplicación de las partículas magnéticas se realizará según el método continuo. En el método continuo la aplicación de las partículas magnéticas se realiza durante el tiempo de magnetización y es el utilizado para la mayor parte de las aplicaciones por su mayor sensibilidad.

Paras las partículas magnéticas húmedas se aplica un baño sobre la parte a examinar de forma que proporcione una abundante suspensión de partículas sobre la superficie a examinar terminando la aplicación simultáneamente con el inicio de la corriente. La duración de la corriente de magnetización normalmente es del orden de ½ segundo.

Se tiene que tener en cuenta que las partículas magnéticas se aplicarán directamente sobre el área a examinar si la velocidad es suficientemente baja como para no desplazar las partículas acumuladas. En caso de no ser así, las partículas magnéticas se aplicarán fuera del área a examinar y estas deberán ser introducidas en el flujo del campo magnético fuera del área a examinar.

#### **5.4. INTERPRETACIÓN DE LAS INDICACIONES**

En términos generales las indicaciones de partículas magnéticas presentan sus bordes con una definición muy nítida cuando proceden de discontinuidades tales como grietas superficiales. Estas discontinuidades tienen su plano perpendicular a las líneas de fuerza del campo magnético. Si dichas discontinuidades son subsuperficiales las indicaciones correspondientes aparecen con sus bordes algo más difusos, al igual que ocurre con heterogeneidades de morfología cilíndrica, tales como algunos tipos de vetas y las macroinclusiones alargadas de los productos hechurados. Esto es debido al menor obstáculo que suponen a las líneas de fuerza del campo magnético.

Todas las indicaciones validas que se forman por partículas magnéticas son el resultado de fugas en los campos magnéticos, pero las indicaciones pueden ser relevantes o no relevantes. Sólo las discontinuidades que producen indicaciones con una dimensión superiores a 1,6 milímetros se considerarán relevantes.

Las indicaciones cuestionables o que produzcan dudas deberán ser reexaminadas para determinar si son o no relevantes. Si es necesario se podrán utilizar acondicionamientos previos de la superficie a reinspeccionar y/o se podrá utilizar otra técnica de ensayos no destructivos previa aprobación por la Ingeniería.

Para el registro de las indicaciones obtenidas por partículas magnéticas se podrá recurrir a la fotografía directa, bien sea en blanco y negro o en color, aunque también pueden usarse otros procedimientos como recubrir la pieza con una laca transparente que proteja la indicación contra roces o deterioro o bien pasar la indicación (una vez perfectamente seca) a un papel adhesivo transparente o de color claro.

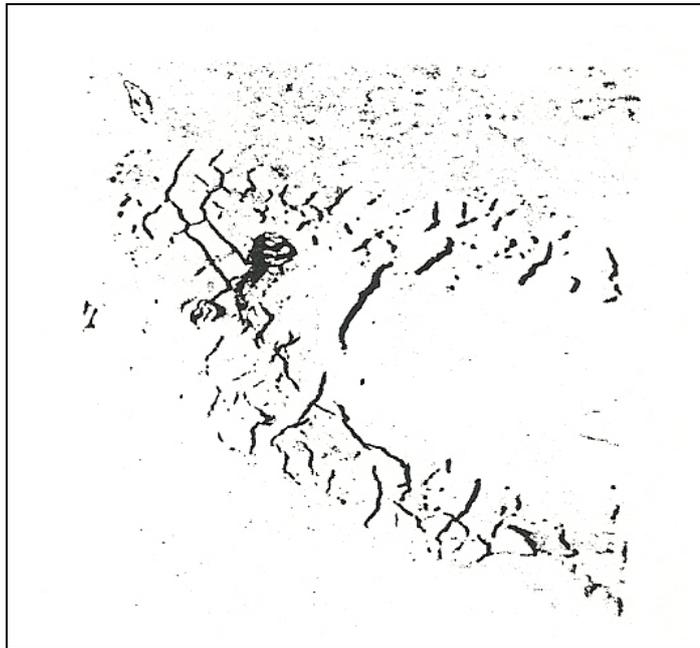
Las indicaciones lineales son aquellas con una longitud mayor que tres veces su ancho y una indicación redondeada es cuando esta relación es igual o inferior a tres.

#### **5.5. DISCONTINUIDADES**

Las heterogeneidades de morfología esférica, tales como cavidades, poros y macroinclusiones globulares son poco detectables por partículas magnéticas dando lugar, en todo caso, a indicaciones poco definidas.

Las discontinuidades más frecuentes en la inspección de soldaduras estructurales son las grietas de contracción. Estas se producen durante el proceso de soldadura y sus indicaciones presentan un aspecto de líneas quebradas con ramificaciones múltiples y, generalmente, agrupadas en áreas limitadas de la muestra. En la figura 6 se muestra un ejemplo de estas discontinuidades.

FIGURA 6



También pueden ser identificadas mediante la inspección por partículas magnéticas las mordeduras. Estas discontinuidades son faltas de metal en forma de surcos de longitud variable en cualquiera de los bordes de un cordón de soldadura. Pueden aparecer en la arista de contacto de la cara de la soldadura con el metal base o entre cordones. Están producidos por la fusión del metal base y suelen indicar velocidad alta de soldeo y/o velocidad lenta.

### **5.6. INDICACIONES FALSAS**

Se ha de tener en cuenta que realizando el examen por partículas magnéticas se pueden producir indicaciones falsas. Estas indicaciones son aquellas que, aún respondiendo a la presencia de campos de fuerza, no son reflejo de una heterogeneidad o discontinuidad del material. Las indicaciones falsas más comunes son:

**a) Efecto de la sobremagnetización:**

Es, quizás, la causa más frecuente de aparición de indicaciones falsas. Si el campo magnético es suficientemente intenso puede dar lugar a acumulaciones de partículas en cambios de sección. Las indicaciones en zonas con acuerdos precisan de una interpretación muy cuidadosa ya que, por un lado, son realmente zonas propicias a la aparición de grietas y, por otro, su simple configuración geométrica da lugar a campos de fuga que pueden originar indicaciones falsas.

Este problema se resuelve, generalmente, disminuyendo la intensidad del campo magnético hasta la desaparición de las indicaciones falsas. En el caso de existir una discontinuidad o grieta, la constricción de las líneas de fuerza es suficiente para dar lugar a un campo de fuga y a la consiguiente formación de una indicación propia de la discontinuidad o grieta.

**b) Escritura magnética:**

Otra causa de aparición de indicaciones falsas es la creación de polos locales surgidos del contacto entre una pieza endurecida y otra pieza magnetizada, o bien entre dos piezas magnetizadas a distinto nivel.

Este tipo de indicaciones no suele causar problemas de interpretación dada su peculiar configuración y apariencia. Además, si se desmagnetiza la pieza y se vuelve a ensayar, las indicaciones ya no aparecen.

**c) Tamaño de grano:**

Cuando el grano del material es muy basto pueden aparecer indicaciones que forman red y que pueden identificarse con los límites de grano, esto es debido a la diferente permeabilidad entre el límite y el propio grano.

Este mismo efecto se produce en materiales muy fibrados y/o muy segregados. Asimismo, pueden aparecer indicaciones en la soldadura de metales de diferente permeabilidad a pesar de que no existan discontinuidades reales.

**5.7. DESMAGNETIZACIÓN**

Todos los materiales ferromagnéticos sometidos a un campo magnético conservan después de cesar la acción del campo, un cierto magnetismo llamado magnetismo residual. La intensidad de este campo residual depende de la retentividad del material ensayado, pero no siempre es necesario desmagnetizar las piezas después de una inspección.

En este caso no será necesaria la desmagnetización del material ensayado ya que las soldaduras inspeccionadas forman parte de una estructura soldada y en estos casos, aunque el material presente alta retentividad, no es probable que el campo residual afecte al funcionamiento del conjunto.

### **5.8. LIMPIEZA POST-INSPECCIÓN**

Cuando una limpieza post-inspección sea requerida por la Ingeniería, se deberá realizar en cuanto sea posible y utilizando un método no abrasivo que no afecte a la pieza inspeccionada.

En este caso no será necesaria una limpieza post-inspección ya que las piezas estructurales serán posteriormente chorreadas para aplicarles la imprimación de pintura necesaria que contribuya a proteger el Acero al Corbo de la corrosión marina, tal como se describe en el Capítulo 1.3. “Descripción de los colectores subacuáticos”.

## **6. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN**

Según el punto 6.10 de la Parte C del Capítulo 6 de la normativa AWS D1.1:200 en caso de ser necesario realizar partículas magnéticas los criterios de aceptación serán los mismos que los requeridos para la inspección visual. Los criterios de aceptación de la inspección visual son los reflejados en la tabla 6.1. “Visual Inspection Acceptance Criteria” de la normativa referenciada.

Estos criterios de aceptación serán:

- Cualquier indicación de grieta será inaceptable.
- Las mordeduras en elementos primarios no podrán tener más de 0.01 pulgada (0.25 milímetros) de profundidad cuando la soldadura sea transversal a las tensiones de carga de trabajo del diseño. Las mordeduras no deberán ser superiores a 1/32 pulgadas (1 milímetro) de profundidad para el resto de casos.

En la figura 7 se adjunta la tabla 6.1. como referencia.

FIGURA 7

**Table 6.1**  
**Visual Inspection Acceptance Criteria<sup>1</sup> (see 6.9)**

Discontinuity Category and Inspection Criteria	Statically Loaded Nontubular Connections	Cyclically Loaded Nontubular Connections	Tubular Connections (All Loads)								
<b>(1) Crack Prohibition</b> Any crack is unacceptable, regardless of size or location.	X	X	X								
<b>(2) Weld/Base-Metal Fusion</b> Thorough fusion shall exist between adjacent layers of weld metal and between weld metal and base metal.	X	X	X								
<b>(3) Crater Cross Section</b> All craters shall be filled to provide the specified weld size, except for the ends of intermittent fillet welds outside of their effective length.	X	X	X								
<b>(4) Weld Profiles</b> Weld profiles shall be in conformance with 5.24.	X	X	X								
<b>(5) Time of Inspection</b> Visual inspection of welds in all steels may begin immediately after the completed welds have cooled to ambient temperature. Acceptance criteria for ASTM A 514, A 517, and A 709 Grade 100 and 100 W steels shall be based on visual inspection performed not less than 48 hours after completion of the weld.	X	X	X								
<b>(6) Undersized Welds</b> The size of a fillet weld in any continuous weld may be less than the specified nominal size (L) without correction by the following amounts (U):  <table style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\frac{L}{\text{specified nominal weld size, in. (mm)}}</math></td> <td style="text-align: center;"><math>\frac{U}{\text{allowable decrease from L, in. (mm)}}</math></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\leq 3/16</math> (5)</td> <td style="text-align: center;"><math>\leq 1/16</math> (2)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>1/4</math> (6)</td> <td style="text-align: center;"><math>\leq 3/32</math> (2.5)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\geq 5/16</math> (8)</td> <td style="text-align: center;"><math>\leq 1/8</math> (3)</td> </tr> </table> In all cases, the undersize portion of the shall not exceed 10% of the weld length. On web-to-flange welds on girders, no underrun is permitted at the ends for a length equal to twice the width of the flange.	$\frac{L}{\text{specified nominal weld size, in. (mm)}}$	$\frac{U}{\text{allowable decrease from L, in. (mm)}}$	$\leq 3/16$ (5)	$\leq 1/16$ (2)	$1/4$ (6)	$\leq 3/32$ (2.5)	$\geq 5/16$ (8)	$\leq 1/8$ (3)	X	X	X
$\frac{L}{\text{specified nominal weld size, in. (mm)}}$	$\frac{U}{\text{allowable decrease from L, in. (mm)}}$										
$\leq 3/16$ (5)	$\leq 1/16$ (2)										
$1/4$ (6)	$\leq 3/32$ (2.5)										
$\geq 5/16$ (8)	$\leq 1/8$ (3)										
<b>(7) Undercut</b> (A) For material less than 1 in. (25 mm) thick, undercut shall not exceed 1/32 in. (1 mm), except that a maximum 1/16 in. (2 mm) is permitted for an accumulated length of 2 in. (50 mm) in any 12 in. (300 mm). For material equal to or greater than 1 in. thick, undercut shall not exceed 1/16 in. (2 mm) for any length of weld. (B) In primary members, undercut shall be no more than 0.01 in. (0.25 mm) deep when the weld is transverse to tensile stress under any design loading condition. Undercut shall be no more than 1/32 in. (1 mm) deep for all other cases.	X										
<b>(8) Porosity</b> (A) Complete joint penetration groove welds in butt joints transverse to the direction of computed tensile stress shall have no visible piping porosity. For all other groove welds and for fillet welds, the sum of the visible piping porosity 1/32 in. (1 mm) or greater in diameter shall not exceed 3/8 in. (10 mm) in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4 in. (20 mm) in any 12 in. (300 mm) length of weld. (B) The frequency of piping porosity in fillet welds shall not exceed one in each 4 in. (100 mm) of weld length and the maximum diameter shall not exceed 3/32 in. (2.5 mm). Exception: for fillet welds connecting stiffeners to web, the sum of the diameters of piping porosity shall not exceed 3/8 in. (10 mm) in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4 in. (20 mm) in any 12 in. (300 mm) length of weld. (C) Complete joint penetration groove welds in butt joints transverse to the direction of computed tensile stress shall have no piping porosity. For all other groove welds, the frequency of piping porosity shall not exceed one in 4 in. (100 mm) of length and the maximum diameter shall not exceed 3/32 in. (2.5 mm).	X										
		X	X								
		X	X								

<sup>1</sup>. An "X" indicates applicability for the connection type; a shaded area indicates non-applicability.

**Legend for Figures 6.1, 6.4, 6.5, and 6.6**

**Dimensions of Discontinuities**

- B** = Maximum allowed dimension of a radiographed discontinuity.
- L** = Largest dimension of a radiographed discontinuity.
- L'** = Largest dimension of adjacent discontinuities.
- C** = Minimum clearance measured along the longitudinal axis of the weld between edges of porosity or fusion-type discontinuities (larger of adjacent discontinuities governs), or to an edge or an end of an intersecting weld.
- C'** = Minimum allowed distance between the nearest discontinuity to the free edge of a plate or tubular, or the intersection of a longitudinal weld with a girth weld, measured parallel to the longitudinal weld axis.
- W** = Smallest dimension of either of adjacent discontinuities.

**Material Dimensions**

- E** = Weld size.
- T** = Plate or pipe thickness for CJP groove welds.

**Definitions of Discontinuities**

- An elongated discontinuity shall have the largest dimension (L) exceed 3 times the smallest dimension.
- A rounded discontinuity shall have the largest dimension (L) less than or equal to 3 times the smallest dimension.
- A cluster shall be defined as a group of nonaligned, acceptably-sized, individual adjacent discontinuities with spacing less than the minimum allowed (C) for the largest individual adjacent discontinuity (L'), but with the sum of the greatest dimensions (L) of all discontinuities in the cluster equal to or less than the maximum allowable individual discontinuity size (B). Such clusters shall be considered as individual discontinuities of size L for the purpose of assessing minimum spacing.
- Aligned discontinuities shall have the major axes of each discontinuity approximately aligned.

### **7. REPARACIONES**

Todas las indicaciones consideradas defectos deberán ser eliminadas o reducidas sus dimensiones hasta ser discontinuidades aceptables. Las zonas reparadas serán reexaminadas para asegurarse de que se han eliminado los defectos o reducido sus dimensiones siendo entonces discontinuidades aceptables.

Las áreas que tras haber sido eliminado el defecto sean recargadas con soldadura deberán ser reexaminadas con el mismo procedimiento antes de realizar cualquier otra prueba requerida.

### **8. INFORME**

Una vez finalizado el examen, se elaborará el correspondiente "Informe de examen por Partículas Magnéticas" (Figura 8), indicando en la portada, al menos la siguiente información:

- Nombre y dirección del laboratorio de ensayo.
- Nombre y dirección del cliente.
- Lugar de realización del ensayo cuando sea diferente de la dirección del laboratorio, u obra a la que pertenece.
- Identificación única del informe, así como el número total de páginas (registros).
- Firma y nombre del Coordinador Técnico responsable de los trabajos.

Con la portada anterior se incluirán los registros correspondientes según formato adjunto en la figura 8, indicando en cada hoja el número de informe, fecha y numeración correlativa para cada hoja, y como mínimo la siguiente información:

- Referencia al presente procedimiento y criterio de aceptación.
- Identificación de la pieza o componente y parte examinada.
- Tipo de equipo utilizado y referencia.
- Tipo de corriente.
- Técnica de magnetización.

- Tipo y color de las partículas magnéticas utilizadas, marca y referencia.
- Parámetros de inspección (intensidad de corriente de magnetización, separación entre electrodos y número de giros cuando aplique).
- Esquema de las indicaciones detectadas.
- Evaluación de las indicaciones
- Nombre, nivel y firma del operador y el supervisor.
- Fecha del examen.
- Observaciones

El registro de las indicaciones se realizará mediante un croquis, película registradora y/o fotografía.

Se llevará un control diario de soldaduras mediante un informe diario de soldaduras donde se reflejarán las uniones inspeccionadas mediante ensayos no destructivos y el resultado de estos. En la figura 9 se muestra el formato a emplear.

FIGURA 8

<b>MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION</b>																		
<b>+EXAMEN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS</b>																		
<b>REPORT / INFORME n°</b>					<b>Date/Fecha:</b>				<b>Sheet/Hoja n°. Of/ De</b>									
<b>1. GENERAL</b>																		
<b>COMPANY NAME:</b> PETICIONARIO							<b>SITE:</b> OBRA											
<b>System:</b> Sistema				<b>Component:</b> Componente				<b>Drawing:</b> Plano										
<b>Part:</b> Part				<b>Zone:</b> Zona				<b>Material:</b>										
<b>2. EXAMINATION DATA DATOS DEL EXAMEN</b>																		
<b>Specification/Especificación:</b>							<b>Rev:</b>				<b>Date/Fecha:</b>							
<b>Equip/Equipo:</b>							<b>Serial n°/N° de serie o ref :</b>											
<b>Testing Method:</b> <input type="checkbox"/> Residual <input type="checkbox"/> Continuous/Continuo							<b>Current/Corriente:</b> <input type="checkbox"/> DC <input type="checkbox"/> AC <input type="checkbox"/> RMW <input type="checkbox"/> RCW											
<b>Método de examen:</b>							<b>Fluorescent/Fluorescentes</b> <input type="checkbox"/> <b>Coloured/Coloreadas</b> <input type="checkbox"/> <b>Colour/Color:</b>											
<b>Type of particles:</b> <input type="checkbox"/> Dry/Secas <input type="checkbox"/> Wet/Húmedas							<b>Fluorescent/Fluorescentes</b> <input type="checkbox"/> <b>Coloured/Coloreadas</b> <input type="checkbox"/> <b>Colour/Color:</b>											
<b>Tipo de partículas:</b>																		
<b>M. Powder manufacturer and ref:</b> Marca y referencia partículas							<b>Lacquer manufacturer and reference:</b> Fabricante y ref. laca de contraste											
<b>Magnetization technique:</b> <input type="checkbox"/> Yoke Yugo <input type="checkbox"/> Direct Directa <input type="checkbox"/> Coil Bobina <input type="checkbox"/> Central C C. Central <input type="checkbox"/> Prod Electrodo																		
<b>Distance between electrodes:</b> Separación entre electrodos o polos							<b>cm</b>		<b>Current:</b> Intensidad:		<b>A</b>		<b>Turns :</b> Nº vueltas		<b>Mag. Field strength:</b> Int. Campo		<b>KA/m</b>	
<b>Magnetic field meter:</b> Equipo medida int. C. Magnético							<b>Manufacturer:</b> Marca			<b>Model :</b> Modelo			<b>Serial n°:</b> Nº ref o Nº de serie					
<b>Illumination</b> Iluminación							<input type="checkbox"/> Natural		<input type="checkbox"/> Artificial		<input type="checkbox"/> Black light/Luz negra			<b>Intens: Lux</b> $\mu$ W/cm <sup>2</sup>				
<b>Light meters</b> Equipos medida Int. Luminosa:							<b>Manufacturer /Marca :</b>			<b>Model/Modelo:</b>			<b>Serial n° /n° de serie</b> <b>Serial n° /n° de serie:</b>					
<b>3. RESULTS</b> <input type="checkbox"/> No relevant indications Sin indicaciones relevantes <input type="checkbox"/> With relevant Indications Con indicaciones relevantes																		
<b>Resultados</b>																		
<b>Specification/Especificación :</b>																		
Ind. n°	Indication Type Naturaleza	Dim. mm.	Evaluation Evaluación		Removed Saneado (mm)			Remain der thicknes S Espesor residual (mm)	Repairing weld thickness Recargue soldadura (mm)		Final Test Examen final							
			A	N	A	N	SE		Yes	No	A	N	SE					
A= Acceptable /Aceptable N= Not acceptable /no aceptable SE= Not examined/ Sin examinar																		
<b>4. DISCONTINUITIES LOCATION SKETCH CROQUIS SITUACIÓN DISCONTINUIDADE</b>																		
<b>REMARKS: BSERVACIONES</b>																		
<b>SUPERVISOR</b>				<b>DATE OF EXAMINATION</b>				<b>OPERATOR</b>										
				<b>FECHA DEL EXAME</b>				<b>OPERADOR</b>										
<b>Signature/Fdo:</b>							<b>Signature/Fdo:</b>											
<b>Level/Nivel</b>							<b>Level/Nivel</b>											

**CAPÍTULO 2.3.**

**PROCEDIMIENTO DE  
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

Examen de soldaduras por  
Partículas magnéticas

FIGURA 9

SOLDADURA						MATERIALES DE APORTACIÓN			INSPECCIONES			
N° FW	Ø	SCH	Proced	Soldador	Fecha	Tipo	Ø	Colada	Visual	L.P./P.M.	RX/U.T.	OBSERVACIÓN
CONTROL VISUAL, LIMPIEZA, PROTECCIÓN Y EJECUCIÓN									CONTROL DOCUMENTACIÓN FINAL			
EJECUCIÓN			SUPERVISIÓN			CONTROL DE CALIDAD EJECUCIÓN			GARANTIA DE CALIDAD SUPERVISIÓN.		OBSERVACIONES	
FECHA			FECHA			FECHA			FECHA			

## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.3: PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN DE SOLDADURA POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

---

#### DATOS OBTENIDOS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO:

Durante el proceso de construcción del proyecto, de la defectología con posibilidad de producirse y de identificarse durante la realización del examen por partículas magnéticas se recogieron únicamente indicaciones por mordeduras en los informes de inspección. Estas eran debidas a soldar con altas temperaturas con una velocidad lenta.

Para corregir este tipo de defectos se instó a los soldadores a realizar las soldaduras con los parámetros recogidos en el PQR (Procedimiento de soldadura homologado). También se insistió a los inspectores que, al realizar la inspección durante el proceso de soldeo, verificarán en todos los casos los parámetros de soldeo y comprobaran posteriormente si se habían producido mordeduras.

Con la información obtenida de la observaciones realizadas por los inspectores se identificaron los soldadores que mayor número de veces producían este defecto en las soldaduras. A estos soldadores se les explicó la situación y se tomaron medidas tanto por su parte como por la de los inspectores para minimizar al máximo la aparición de estos defectos.

A continuación se muestran una foto de soldadura en la que se han identificado mordeduras:



La reparación de este tipo de defecto se realizaba mediante recargue de la zona afectada y amolando el posible sobre espesor que se hubiera producido y que excediera de lo permitido.

# PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

## CAPITULO 2.4: PROCEDIMIENTO DE EXAMEN RADIOGRÁFICO DE SOLDADURAS

---

### **Capítulo 2.4. Procedimiento de examen radiográfico de soldaduras:**

Este capítulo se subdivide en dos apartados:

- En el primero apartado se describe el procedimiento de examen radiográfico de soldaduras, incluyendo las normativas de aplicación, las inspecciones a realizar, los defectos que se pueden encontrar durante la inspección, la cualificación del personal que realiza las inspecciones y los métodos de registro y seguimiento de las inspecciones realizadas.
- En el segundo apartado se describirán las imperfecciones detectadas durante la ejecución de los trabajos y los métodos de reparación llevados a cabo para corregirlas.

**GESTIÓN DE LA CALIDAD**

**PROYECTO:** *“Procedimientos de ensayos no destructivos en la construcción de los colectores subacuáticos de una extracción petrolífera de aguas profundas”.*

**DOC. CODIGO:** **END-004**

**TITULO:** *Examen Radiográfico de Soldaduras*

REVISIÓN	FECHA	MODIFICACIONES

PREPARADO / REVISADO	APROVADO	APROVADO CLIENTE
Firma	Firma	Firma
Fecha	Fecha	Fecha

**INDICE**

1. Objeto
2. Alcance
3. Normas y códigos de referencia
4. General
  - 4.1. Materiales a utilizar:
    - 4.1.1. Fuentes de radiación
    - 4.1.2. Películas
    - 4.1.3. Pantallas reforzadas y chasis
    - 4.1.4. Densitómetro y juegos de cuñas
    - 4.1.5. Penetrámetros
  - 4.2. Estado superficial
  - 4.3. Identificación
  - 4.4. Cualificación del personal
5. Realización:
  - 5.1. Técnica radiográfica
    - 5.1.1. Técnica de simple pared
    - 5.1.2. Técnica de doble pared
  - 5.2. Selección del penetrámetro
    - 5.2.1. Material
    - 5.2.2. Soldaduras de unión de materiales distintos o soldaduras con metal de aportación distinto

5.3. Colocación y número de penetrámetro

5.4. Sensibilidad radiográfica

5.5. Densidad radiográfica

5.5.1. Límites

5.5.2. Variaciones

5.6. Sectores radiográficos

5.6.1. Colocación sectores para interpretación a Simple Pared

5.6.2. Colocación sectores para interpretación a Doble Pared

5.6.3. Mapas

5.7. Radiación secundaria

5.8. Procesado de películas

5.9. Discontinuidades

5.10. Evaluación / Criterio de aceptación

5.11. Informe final

6. Documentación

### **1. OBJETO**

El presente procedimiento tiene por objeto definir el método operatorio y niveles de aceptación en el examen radiográfico de soldaduras a penetración completa del módulo de tubería, tanto de pequeño como de gran tamaño. Las soldaduras serán de material de acero del tipo Dúplex y Súper Dúplex con espesores, a atravesar por la radiación, de entre 3,20 y 35,71 mm, según se indica en el Capítulo D “Definición y justificación de los métodos de ensayos no destructivos y de las soldaduras a las que aplica”.

### **2. ALCANCE**

El alcance del examen radiográfico se realizará al 100% de las soldaduras una vez finalizadas estas para:

- Verificar el correcto acabado de las soldaduras.
- Comprobar la inexistencia de escorias, suciedad o cualquier otro elemento que pudiera enmascarar una correcta realización del ensayo.
- Detectar la existencia de posibles indicaciones que puedan afectar al correcto comportamiento de las soldaduras y acortar su vida útil.

### **3. NORMAS Y CÓDIGOS DE REFERENCIA**

Son de aplicación en los requisitos generales y los criterios de aceptación para la realización del examen radiográfico de soldadura los requerimientos especificados en:

- Sección V del Código ASME en su Artículo 1 “General Requirements”.
  - Punto T-110: “Scope”
  - Punto T-120: “General”
  - Punto T-130: “Equipment”
  - Punto T-150: “Procedure”
  - Punto T-160: “Calibration”
  - Punto T-170: “Examination and Inspection”
  - Punto T-180: “Evaluation”
  - Punto T-190: “Records/Documentation”
  - Mandatory Appendix:
    - Appendix I: “Glossary of Terms for Nondestructive Examination”
  - Nonmandatory Appendix:
    - Appendix A: “Imperfection vs Type of NDE Method”

- Sección V del Código ASME en su Artículo 2 “Radiographic Examination”.
  - Punto T-210: “Scope”
  - Punto T-220: “General Requirements”
  - Punto T-230: “Equipment and Materials”
  - Punto T-260: “Calibration”
  - Punto T-270: “Examination”
  - Punto T-280: “Evaluation”
  - Punto T-290: “Documentation”
  - Mandatory Appendices:
    - Appendix I: “In-Motion Radiography”
    - Appendix II: “Real-Time Radioscopic Examination”
    - Appendix III: “Digital Image Acquisition, Display and Storage for Radiography and Radioscopy”
    - Appendix IV: “Interpretation, Evaluation and Disposition of Radiography and Radioscopic Examination Test Results Produced by the Digital Image Acquisition and Display Process”
    - Appendix V: “Glossary of Terms for Radiographic Examination”
  - Nonmandatory Appendices:
    - Appendix A: “Recommended Radiographic Technique Sketches for Pipe or Tube Welds”
    - Appendix C: “Hole-Type IQI Placement Sketches for Welds”
    - Appendix D: “Number of IQI (Special Cases)”
  
- Sección V del Código ASME en su Artículo 22 “Radiographic Standards”.
  - Punto SE-94 (ASTM E 94-00): “Standard Guide for Radiographic Examination”
  - Punto SE-747 (ASTM E 747-97): “Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology”
  - Punto SE-999 (ASTM E 999-99): “Standard Guide for Controlling the Quality of Industrial Radiographic Film Processing”
  - Punto SE-1025 (ASTM E 1025-98): “Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Hole-Type Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology”
  - Punto SE-1114 (ASTM E 114-92 (RI996)): “Standard Test Method for Determining the Focal Size of Iridium-192 Industrial Radiographic Sources”

- Sección B 31.3 del Código ASME: Tuberías a presión. Tuberías de proceso.
- Capítulo VI: “Inspection, examination, and testing”
  - Punto 340: “Inspection”
    - Punto 340.1: “General”
    - Punto 340.2: “Responsability for inspection”
    - Punto 340.3: “Rights of the owner’s inspector”
    - Punto 340.4: “Qualifications of the owner’s inspector”
  - Punto 341: “Examination”
    - Punto 341.1: “General”
    - Punto 341.2: “Responsibility for examination”
    - Punto 341.3: “Examination requirements”
      - Punto 341.3.1: “General”
      - Punto 341.3.2: “Acceptable criteria”
      - Punto 341.3.3: “Defective components and workmanship”
      - Punto 341.3.4: “Progressive sampling for examination”
  - Punto 342: “Examination personnel”
    - Punto 342.1: “Personnel qualification and certification”
    - Punto 342.2: “Specific requirement”
  - Punto 343: “Examination procedures”
  - Punto 344: “Types of examination”
    - Punto 344.1: “General”
      - Punto 344.1.1: “Methods”
      - Punto 344.1.2: “Special methods”
      - Punto 344.1.3: “Definitions”
    - Punto 344.5: “Radiographic Examination”

**4. GENERAL**

**4.1. MATERIALES A UTILIZAR:**

**4.1.1 Fuentes de radiación:**

Se utilizarán fuentes de rayos gamma (Ir-192), con dimensión de fuente o foco verificada inferior o igual a 3x2 milímetro.

En términos generales la fuente de rayos gamma (Ir-192) se utilizará para espesores superiores a 6,5 mm e inferiores a 70 mm. Para la realización de los exámenes de radiografiado con esta fuente en las soldaduras de espesores inferiores a 6,5 mm, se deberá probar la capacidad del procedimiento comprobando que se obtenga la sensibilidad requerida (resolución del penetrámetro).

A efectos de verificación del tamaño de fuente o foco, serán aceptables las dimensiones indicadas en las publicaciones del fabricante o suministrador, tales como curvas de decaimiento y manuales técnicos. Cuando las publicaciones del fabricante o el suministrador no estén disponibles, la dimensión del punto focal puede determinarse según se establece en SE-1114, “Standard Test Method for Determining the Focal Size of Iridium-192 Industrial Radiographic Sources”.

**4.1.2. Películas:**

La selección de películas se realizará de acuerdo con SE-1815, “Standard Test Method for Film Systems for Industrial Radiography”. El fabricante de películas determinará la clase de sistema de películas para la familia de películas fabricadas y proporcionará una tabla de clasificación. Un ejemplo de tabla de clasificación de películas se muestra en la Tabla 1.

Las referencias comerciales y factores relativos de exposición (FRE) correspondientes a las clases de películas, son las siguientes:

TABLA 1

<b>CLASE S/SE-1815</b>	<b>KODAK</b>	<b>FRE</b>	<b>AGFA</b>	<b>FRE</b>
		<b>Ir<sup>192</sup></b>		<b>Ir<sup>192</sup></b>
Especial	DR	7,4	D2	9,7
I	M	3,7	D3	4,2
I	MX 125	2.9	D4	2,6
I	T 200	1,6	D5	1,6
II	AA 400	1 (35)	D7 (35)	1
III	CX	0,65	D8	0,6

Las clases de sistemas de películas Especial, I, II, III, W-A y W-B están permitidas.

El tipo de película a utilizar, será determinado por la información del fabricante y las características específicas del trabajo, de tal forma que, con el conjunto de material y técnica utilizada, se cumplan los requisitos de sensibilidad establecidos en este procedimiento.

**4.1.3. Pantallas reforzadoras y chasis:**

Se utilizarán pantallas de plomo, exentas de ralladuras, polvo u otras imperfecciones. Los espesores mínimos de las pantallas estarán de acuerdo con los siguientes criterios:

	Anterior	Posterior
Ir-192	$\geq 0,13$ mm	$\geq 0,13$ mm

Cuando se utilicen pantallas de óxido de plomo, el espesor mínimo será de 0,013 mm.

Cuando se realice la técnica radiográfica a doble película, puede ser sin pantalla o con pantalla intermedia; en el caso de utilizar pantalla intermedia su espesor mínimo del plomo por cada lado que está en contacto con las películas, será de 0,10 mm o 0,013 mm si es de oxido de plomo. En ningún caso se permite el uso de pantallas fluorescentes reforzadoras.

No se utilizaran películas con chasis porta – películas recargables, sino que se emplearan películas tipo VACUPAC. Estas películas vienen herméticamente cerradas por el fabricante y con las pantallas reforzadoras incluidas.

**4.1.4. Densitómetro y juegos de cuñas**

**a) Densitómetros**

Los densitómetros se calibrarán al menos cada 90 días durante el uso como sigue:

1. Se utilizará una escala de densidades de norma nacional o un juego de cuñas de comparación, con trazabilidad a una escala de densidades de norma nacional y teniendo al menos 5 escalas con densidades neutrales desde al menos 1,0 hasta 4,0. El juego de cuñas de comparación habrá sido verificado dentro del último año por comparación con una escala de densidades de norma nacional.

2. Se seguirán las instrucciones paso a paso para el uso del densitómetro del fabricante del densitómetro.
3. Se leerán los escalones de densidad más cercanos a 1.0, 2.0, 3.0 y 4.0 sobre la escala de densidades de norma nacional o el juego de cuñas de comparación.
4. El densitómetro es aceptable si las lecturas de densidad no varían más de  $\pm 0.05$  unidades de densidad de la densidad real marcada en la escala de densidades de norma nacional o el juego de cuñas de comparación.

***b) Juego de cuñas de comparación***

Los juegos de cuñas de comparación se verificarán previamente a su uso, si no ha sido realizado por el fabricante, como sigue:

1. La densidad de los escalones en un juego de cuñas de comparación se verificará con un densitómetro calibrado.
2. El juego de cuñas de comparación es aceptable si las lecturas no varían más de  $\pm 0.1$  unidades de densidad respecto a la densidad marcada en el juego de cuñas de comparación.

***c) Verificación periódica***

1. Densitómetros. Se realizarán comprobaciones de verificación de calibración periódicas como se describe en 4.1.4 a) al inicio de cada turno, tras 8 horas de uso continuo, o tras cambio de oberturas, cualquiera que suceda primero.
2. Juegos de cuñas de comparación. Se realizarán comprobaciones de verificación anualmente según 4.1.4 b).

***d) Documentación***

1. Las lecturas de calibración del densitómetro requeridas por 4.1.4.a).3 se registrarán en un registro de calibración apropiado.
2. Las lecturas de verificación periódicas requeridas por 4.1.4.c) no tienen que ser registradas.

**4.1.5. Indicadores de Calidad de Imagen. IQIs (Penetrámetros)**

Los penetrámetros pueden ser del tipo de taladro o de hilo, y se fabricarán e identificarán de acuerdo con los requisitos fijados en SE-1025, para el tipo taladro, y SE-747 para el tipo hilo.

El espesor o diámetro del hilo, la identificación y el diámetro de los taladros serán de acuerdo con las tablas (T-233.1) y (T-233.2) de Artículo 2 de la Sección V del Código ASME.

TABLA (T-233.1)

Designación de los indicadores, espesor y diámetros de los taladros

Designación del IQI	Espesor del IQI	Diámetro taladro 1T	Diámetro taladro 2T	Diámetro taladro 4T
5	0.005	0.010	0.020	0.040
7	0.0075	0.010	0.020	0.040
10	0.010	0.010	0.020	0.040
12	0.0125	0.0125	0.025	0.050
15	0.015	0.015	0.030	0.060
17	0.0175	0.0175	0.035	0.070
20	0.020	0.020	0.040	0.080
25	0.025	0.025	0.050	0.100
30	0.030	0.030	0.060	0.120
35	0.035	0.035	0.070	0.140
40	0.040	0.040	0.080	0.160
45	0.045	0.045	0.090	0.180
50	0.050	0.050	0.100	0.200
60	0.060	0.060	0.120	0.240
70	0.070	0.070	0.140	0.280
so	0.080	0.080	0.160	0.320
100	0.100	0.100	0.200	0.400
120	0.120	0.120	0.240	0.480
140	0.140	0.140	0.280	0.560
160	0.160	0.160	0.320	0.640
200	0.200	0.200	0.400	--

NOTA: Todas las dimensiones son dadas en pulgadas.

TABLA (T-232.2)

Designación Penetrámetros de Hilos y Diámetros de los Hilos

Set A		Set B	
<i>Diámetro de hilo, (")</i>	<i>Identidad Hilo</i>	<i>Diámetro de hilo, (")</i>	<i>Identidad Hilo</i>
0,0032	1	0,010	6
0,004	2	0,013	7
0,005	3	0,016	8
0,0063	4	0,020	9
0,008	5	0,025	10
0,010	6	0,032	11

Set C		Set D	
<i>Diámetro de hilo, (")</i>	<i>Identidad Hilo</i>	<i>Diámetro de hilo, (")</i>	<i>Identidad Hilo</i>
0,032	11	0,100	16
0,040	12	0,126	17
0,050	13	0,160	18
0,063	14	0,200	19
0,080	15	0,250	20
0,100	16	0,320	21

**4.2. ESTADO SUPERFICIAL:**

El estado superficial de las soldaduras y material base adyacente será tal que no pueda enmascarar o confundir la imagen radiográfica resultante. En el caso de que esto suceda, se procederá a un amolado de las superficies hasta alcanzar unas condiciones adecuadas para el examen radiográfico.

El sobre espesor, sobre cada lado, no excederá de los siguientes valores:

<i>Espesor nominal mínimo de las dos partes de la soldadura (mm)</i>	<i>Máximo sobre espesor (mm)</i>
$\leq 6$	$\leq 1,5$
<i>6 a 13 incluido</i>	$\leq 3$
<i>&gt;13 a 25 incluido</i>	$\leq 4$
$>25$	$\leq 5$

NOTA: Para uniones soldadas por dos lados, se aplicarán los límites superiores a cada uno. Esto significa, separadamente al lado interior y exterior de la soldadura.

El sobre espesor máximo se establecerá basado en el espesor más delgado de material a soldar. El sobre espesor se medirá desde su máxima altura (punto más voluminoso) hasta la superficie considerada. El sobre espesor puede eliminarse si se desea.

#### **4.3. IDENTIFICACIÓN:**

Las radiografías deberán mostrar los siguientes datos:

- Identificación del componente.
- Nombre o símbolo del fabricante.
- Identificación de la soldadura.
- Fecha de realización de la soldadura.
- Identificación del soldador

Todos estos datos podrán aparecer como imagen radiográfica (empleando letras y números de plomo), siempre y cuando no enmascaren la zona útil de interpretación, en cuyo caso se utilizará otro sistema de marcado, tal como, un marcador de tinta indeleble que proporcione un marcado permanente. Este marcador indeleble deberá estar libre de cloruros.

#### **4.4. CUALIFICACIÓN DEL PERSONAL:**

El personal que realice el examen radiográfico de acuerdo con el presente procedimiento deberá estar cualificado como mínimo en Nivel I de radiografía. El personal responsable de la interpretación y evaluación de resultados deberá estar cualificado como mínimo en Nivel II de radiografía de acuerdo con el citado documento. Las certificaciones de nivel se acreditarán según la figura 1.

FIGURA 1

**CERTIFICADO DE CALIFICACIÓN EN END**

Nombre:	Fecha de Nacimiento:
Método END: Radiografía Industrial (RT)	Nivel:
Fecha de Ingreso:	Fecha 1ª Certificación:

**Inicial**                       **Recalificación:**                       Continuidad     Examen

**Estudios:**  
**Experiencia:**

<b>Entrenamiento:</b>	Fecha:
<input type="checkbox"/> Curso <input type="checkbox"/> Autoestudio                      Duración:	Resultado:

<b>Exámenes:</b>			
- Físico:	Realizado por:		
- General/Básico:	Específico/Método:	Práctico/Específico:	
Factores de Ponderación:	0,33                      0,33                      0,33	(ASNT-TC-1A)	
Calificación Final:	(ASNT)		
Revisado por:		Fecha:	

Otras evidencias de la demostración de la capacidad:  
Observaciones:

De acuerdo con los requisitos establecidos en el Procedimiento: basado en la práctica recomendada n° SNT-TC-1A de la ASNT edición 1996 incluida adenda 2000, se emite el presente certificado:

Fecha de Certificación:                      Validez hasta:

Certificado por:                      Firma

## **5. REALIZACIÓN**

### **5.1. TÉCNICA RADIOGRÁFICA:**

La dirección del haz central de la radiación será centrada sobre el área de interés cuando sea practicable.

Las radiografías se realizarán con simple película, salvo que se especifique expresamente la utilización de doble película con interpretación a simple o doble película, de acuerdo con una de las siguientes técnicas:

#### **5.1.1. Técnica de simple pared:**

Siempre que la geometría, dimensiones y accesibilidad lo permitan, se utilizará la técnica de simple pared (radiación pasando, solamente, a través de una pared de la soldadura, la cual es interpretada para su aceptación sobre la radiografía). Un adecuado número de exposiciones será realizado para demostrar que la cobertura obtenida se corresponde con la requerida.

#### **5.1.2 Técnica de doble pared:**

Cuando no sea realizable la técnica de simple pared, será utilizada una de las siguientes técnicas de doble pared:

##### **a) Interpretación a simple pared**

En esta técnica la radiación pasa a través de las dos paredes y solamente la soldadura del lado de la película es interpretada para su aceptación. Cuando la soldadura no interpretable se encuentre distante de la fuente, está será posicionada de forma que en la imagen radiográfica la soldadura no interpretable no se superponga con la soldadura a interpretar.

Se realizará el adecuado número de exposiciones, de forma que se evidencie haber radiografiado toda la soldadura requerida. Cuando sea requerido el examen al 100% de soldaduras circunferenciales, se efectuará un mínimo de tres exposiciones, tomadas a 120° una de otra.

**b) Interpretación a doble pared**

Para soldaduras en componentes de 3 pulgadas y media, o menos, de diámetro nominal exterior, se puede utilizar la técnica de interpretación a doble pared. En esta técnica la radiación pasa a través de las dos paredes y la soldadura de ambas paredes es interpretada, para su aceptación, sobre la misma radiografía. Para esta técnica solamente es permisible la colocación del penetrómetro del lado de la fuente.

En esta técnica pueden utilizarse las dos modalidades siguientes:

1. El haz de radiación puede ser situado fuera del plano de la soldadura, con un ángulo suficiente para separar las porciones de soldadura a interpretar, correspondientes a la de lado fuente y lado película, en la radiografía (técnica en elipse). Cuando sea requerido el examen de la soldadura al 100%, un mínimo de dos exposiciones tomadas a 90° una de otra serán realizadas para cada soldadura.
2. Como una alternativa, la soldadura puede ser radiografiada con el haz de radiación posicionado tal que las imágenes de ambas paredes aparezcan superpuestas en la radiografía. Cuando sea requerido el examen de la soldadura al 100%, un mínimo de tres exposiciones tomadas a 60° o 120° una de otra serán realizadas para cada soldadura.

NOTA: Exposiciones adicionales serán realizadas si la cobertura radiográfica requerida no puede ser obtenida utilizando el número mínimo de exposiciones indicado b1 ó b2.

**5.2. SELECCIÓN DEL PENETRÓMETRO:**

La dimensión del taladro esencial o el diámetro de hilo y la designación del penetrómetro será la especificada en la tabla T-276.

El espesor sobre el cual se basa la selección del penetrómetro será el espesor nominal de simple pared más el sobreespesor estimado, no excediendo de los límites indicados en el punto 4.2. La medida real del sobreespesor no es requerida para esta aplicación.

Anillos o pletinas de respaldo no serán considerados como parte de espesor de soldadura en la selección del penetrómetro.

**TABLA (T-276)**

Espesores, designaciones de penetrámetros y taladros o hilos esenciales.

PENETRAMETER <i>Penetrámetro</i>						
<i>Espesor Nominal Simple Pared (mm)</i>	SOURCE SIDE			FILM SIDE		
	Lado fuente			Lado película		
	<i>Designación</i>	<i>Taladro Esencial</i>	<i>Hilo Esencial</i>	<i>Designación</i>	<i>Taladro Esencial</i>	<i>Hilo Esencial</i>
Hasta 6,35	12	2T	5	10	2T	4
De 6,35 a 9,5	15	2T	6	12	2T	5
De 9,5 a 12,7	17	2T	7	15	2T	6
De 12,7 a 19	20	2T	8	17	2T	7
De 19 a 25,4	25	2T	9	20	2T	8
De 25,4 a 38,1	30	2T	10	25	2T	9
De 38,1 a 50,8	35	2T	11	30	2T	10
De 50,8 a 63,5	40	2T	12	35	2T	11
De 63,5 a 101,6	50	2T	13	40	2T	12
De 101,6 a 152,4	60	2T	14	50	2T	13
De 152,4 a 203,2	80	2T	16	60	2T	14

Un taladro menor en un penetrámetro de más espesor, o un taladro mayor en un penetrámetro de menos espesor, puede ser sustituido, siempre que se asegure que la sensibilidad equivalente y los otros requisitos del examen radiográfico son obtenidos.

A fin de determinar la sensibilidad equivalente %, se puede utilizar la siguiente expresión:

$$\alpha = \left( \frac{100}{x} \right) \sqrt{\frac{TH}{2}}$$

donde:

$\alpha$  = Sensibilidad equivalente del penetrámetro %.

x = Espesor a radiografiar.

T = Espesor del penetrámetro.

H = Diámetro del taladro del penetrámetro.

NOTA: Todas las dimensiones estarán expresadas en la misma unidad (mm.) o (pulgadas).

Para la obtención de la equivalencia entre penetrámetros de hilos y de taladros puede utilizarse la tabla (T-283).

Tabla (T-283)

Sensibilidad equivalente IQI tipo de taladro

<i>Designación de tipo de taladro Taladros 2T</i>	<i>Designación tipo de taladro equivalente</i>	
	<i>Taladro 1T</i>	<i>Taladro 4T</i>
10	15	5
12	17	7
15	20	10
17	25	12
20	30	15
25	35	17
30	40	20
35	50	25
40	60	30
50	70	35
60	80	40
70	120	60
100	140	70
120	160	80
160	240	120
200	280	140

**5.2.1. Material:**

Los IQIs se seleccionarán o bien del mismo grupo o grado de material aleado como se identifica en SER-1025 y SER-747 o bien de un grupo o grado de material aleado con menos absorción de radiación que el material a radiografiar.

**5.2.2. Soldaduras de unión de materiales distintos o soldaduras con metal de aportación distinto:**

Cuando el metal de soldadura es de un grupo o grado de aleación que difiere del material base, la selección del material del penetrámetro se basará en el metal de soldadura y será de acuerdo con T-276. Cuando los límites de densidad de 5.5.2. no puedan cumplirse con un penetrámetro, y el área(s) de densidad excepcional está en la interfaces del metal de soldadura y el metal base, la selección de material para los parámetros adicionales se basará en el material base y estará de acuerdo con T-276.

**5.3. COLOCACIÓN Y NÚMERO DE PENETRÁMETROS**

Los penetrámetros se colocarán, sobre la superficie del componente a examinar, siempre que sea posible por el lado de la fuente. Cuando esto no sea posible se colocará del lado de la película, en contacto con la pieza a examinar, y se pondrá una letra "F" de plomo, de al menos las mismas dimensiones que los números de identificación del penetrámetro, adyacente o sobre el penetrámetro, pero no tapando el taladro esencial cuando sea utilizado penetrámetro de taladro.

Los penetrámetros de taladro pueden ser colocados adyacentes o sobre la soldadura. Los números de identificación y la letra de plomo "F", cuando se utilice, no estarán en el área de interés, excepto cuando la configuración geométrica impida evitarlo.

Los penetrámetros de hilos serán colocados sobre la soldadura, de forma que la longitud de los hilos sea perpendicular a la longitud de la soldadura. El número de identificación y la letra de plomo "F", cuando aplique, no estarán en el área de interés, excepto en las condiciones indicadas en el punto anterior.

Un suplemento de material radiográficamente similar a la soldadura será colocado debajo del penetrámetro de taladros, cuando sea necesario, para que la densidad de la radiografía a través del área de interés no varíe en más del -15% / +30% de la densidad de la radiografía a través del penetrámetro.

Las dimensiones del suplemento excederán de las dimensiones del penetrámetro de forma que la imagen de las líneas exteriores de, al menos, tres lados del penetrámetro sean visibles en la radiografía.

Para componentes donde una o mas radiografías son obtenidas en una exposición, al menos, la imagen de un penetrámetro aparecerá sobre cada radiografía, excepto en los casos contemplados en el subapartado (b).

Si para cumplir con los requisitos de variación de densidad establecidos en el punto 5.5, se utiliza más de un penetrámetro, uno será representativo del área de interés de menor densidad y el otro del área de interés de mayor densidad, considerando el rango intermedio de densidades aceptable.

**a) Casos especiales:**

1. Para componentes cilíndricos, donde la fuente es colocada sobre el eje del componente, para una exposición única (panorámica), serán colocados, al menos, tres penetrámetros espaciados 120°, de acuerdo con las siguientes condiciones:

- 1.1. Cuando se radiografie en circunferencia completa, utilizando una o más películas, o;
- 1.2. Cuando se radiografie, utilizando una o más películas, una sección o secciones de la circunferencia, donde la longitud entre los dos extremos más alejados de la sección estén separados por  $240^\circ$  o más, la colocación de película/s adicional/es puede ser necesaria para obtener la separación necesaria de los penetrámetros.
2. Para componentes cilíndricos, donde la fuente es colocada sobre el eje del componente para una simple exposición de una parte de arco, se colocarán tres penetrámetros, colocando uno en cada final del arco de la circunferencia y otro aproximadamente en el centro, de acuerdo con las siguientes condiciones:

Cuando la longitud del arco de la circunferencia es mayor de  $120^\circ$  y menor de  $240^\circ$ , y es radiografiada utilizando una película, o;

Cuando un aro o arcos de la circunferencia es radiografiada utilizando más de una película, y la longitud entre los extremos más alejados del arco de la sección es menor de  $240^\circ$ .
3. En los apartados 1) y 2) anteriores, cuando secciones de soldaduras longitudinales adyacentes a la soldadura circunferencial, son radiografiadas simultáneamente con la soldadura circunferencial, se colocará un penetrámetro adicional sobre cada soldadura longitudinal, en el extremo más alejado del cruce con la circunferencia.
4. Para componentes esféricos donde la fuente es colocada al centro del componente para una exposición única, serán colocados, al menos, tres penetrámetros separados aproximadamente  $120^\circ$ , de acuerdo con las siguientes condiciones:
  - 4.1. Cuando se radiografie una circunferencia completa utilizando una o más películas, o;
  - 4.2. Cuando una sección o secciones de una circunferencia, siendo la longitud entre los extremos más alejados de la sección separados por  $240^\circ$  o más, es radiografiada utilizando una o más películas. Puede ser necesaria la colocación de películas adicionales para obtener la separación necesaria con los penetrámetros.
5. Para componentes esféricos donde la fuente es colocada en el centro del componente para una única exposición, se colocarán, al menos, tres penetrámetros, uno en cada extremo del arco de circunferencia radiografiada y otro aproximadamente en el centro, de acuerdo con las siguientes condiciones:

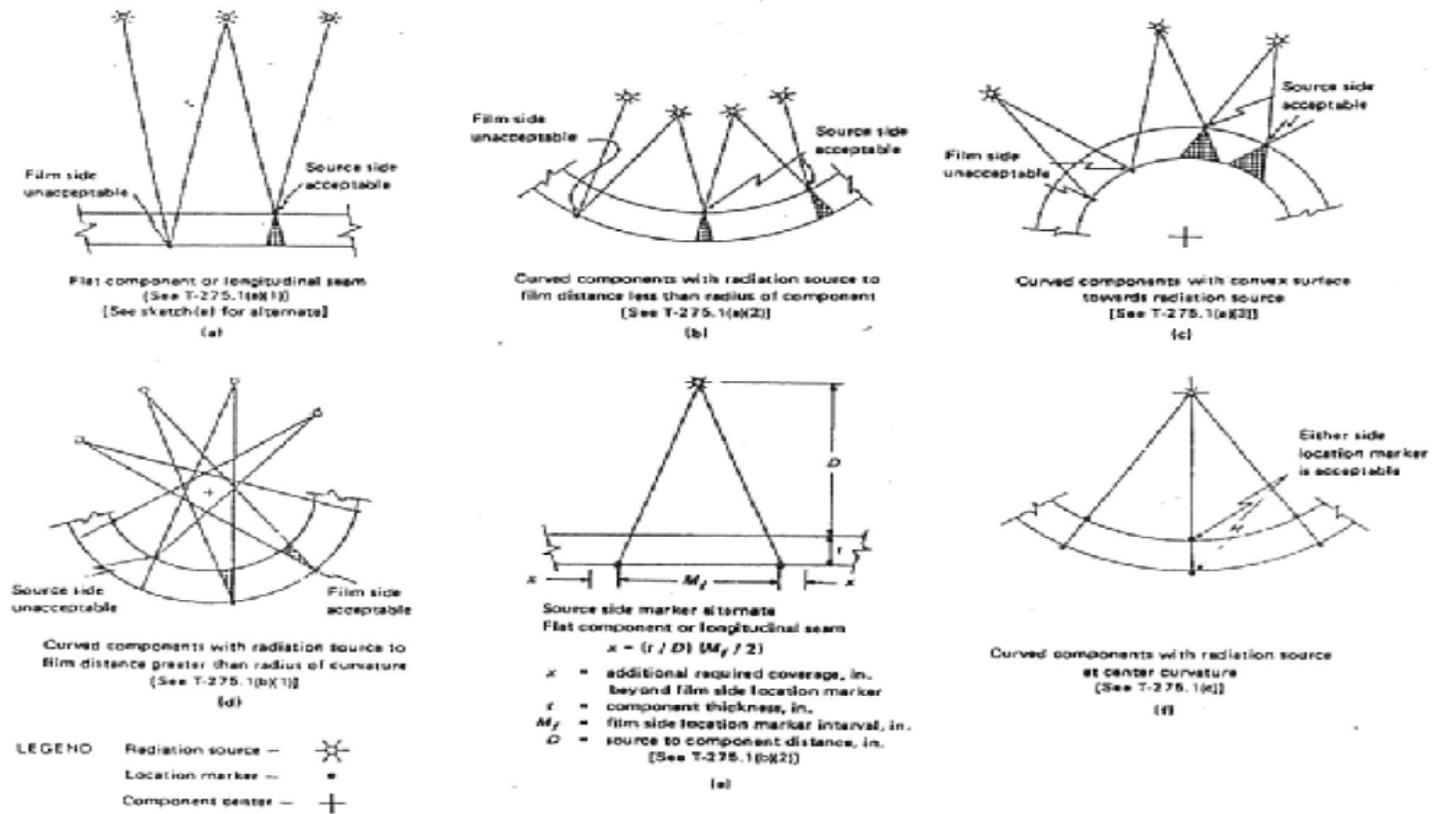
- 5.1. Cuando en una sección de la circunferencia, de longitud mayor de  $120^\circ$  y menor de  $240^\circ$ , es radiografiada utilizando una o más películas.
- 5.2. Cuando una sección o secciones de una circunferencia, de longitud entre los finales de las secciones más exteriores abarcando menos de  $240^\circ$  es radiografiada utilizando más de una película.
6. En los apartados 4 y 5 anteriores, cuando se radiografien otras soldaduras simultáneamente con la circunferencial, se colocará un penetrómetro adicional sobre cada otra soldadura
7. Cuando se radiografie una serie de objetos colocados en un círculo, al menos un penetrómetro aparecerá en la imagen de cada objeto.
8. Para asegurar el cumplimiento de los requisitos indicados de 1 a 6, se conservarán todas las radiografías que contengan penetrómetros que cualificaban la técnica permitida.

**CAPÍTULO 2.4.**

**PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

**Examen Radiográfico de Soldaduras**

Figura T-275 "Location Marker Sketches"



### **5.4 SENSIBILIDAD RADIOLÓGICA**

Se considerarán como elementos esenciales de la calidad de imagen de la radiografía, los números de identificación del indicador, el taladro esencial indicado en la tabla correspondiente, y el contorno del indicador o hilo correspondiente, que aparecerán visibles en la radiografía. Si los elementos esenciales de calidad de imagen no son visibles sobre una película, en la técnica de doble película, pero sí en la interpretación compuesta, solamente será permitida la interpretación compuesta.

### **5.5 DENSIDAD RADIOLÓGICA**

#### **5.5.1 Límites**

La densidad de la película, transmitida a través de la imagen radiográfica del cuerpo del penetrámetro, o adyacente al hilo correspondiente del penetrámetro de hilos y el área de interés, tendrá un valor mínimo de 2 para radiografías realizadas con rayos gamma. Para interpretación compuesta, cada película simple tendrá una densidad mínima de 1,3. La máxima densidad, para todos los casos, será de 4.

Una tolerancia de 0,05 en densidad es permisible para variaciones entre lecturas del densitómetro.

#### **5.5.2 Variaciones**

Si la densidad de la radiografía a través del área de interés varía en más del -15% ó +30% de la densidad a través del cuerpo del penetrámetro, o adyacente al hilo designado, dentro de los límites establecidos en 5.5.1, un penetrámetro adicional será colocado para cada área o áreas de variación.

Para calcular la variación permisible en densidad, el cálculo puede ser redondeado al 0,1 más próximo dentro del rango especificado en 5.5.1.

Cuando se utilicen suplementos, la restricción indicada del +30% puede ser excedida, asegurando que la sensibilidad del penetrámetro requerido es obtenida, y las limitaciones de densidad establecidas en 5.5.1 no son excedidas.

**5.6. SECTORES RADIOGRFICOS**

Los testigos que delimitan los sectores radiográficos deberán aparecer como imagen radiográfica y se colocarán sobre la pieza o componente que se vaya a radiografiar, no sobre el chasis porta-películas, según se indica en la figura T-275 o en un mapa, de una forma que permita que el área de interés en una radiografía sea traceable detalladamente a su localización en la parte.

**5.6.1 Colocación sectores para interpretación a Simple Pared****a) Lado fuente**

1. Componentes planos y soldaduras longitudinales en componentes cilíndricos y/o cónicos.
2. Componentes curvados o esféricos en los que el lado cóncavo está hacia el lado fuente y cuando la distancia fuente - material es menor que el radio interior M componente.
3. Componentes curvados o esféricos en los que el lado convexo está hacia el lado fuente.

**b) Lado película:**

1. Componentes curvados o esféricos en los que el lado cóncavo está hacia el lado fuente y la distancia fuente - componente es mayor que el radio interior del componente.
2. Como alternativa a lo indicado en 5.6.1. (a) (1) se pueden colocar sectores en el lado película cuando en las radiografías presente un solape, desde la posición de los sectores, del valor indicado en fig. T-275 (e) y esta alternativa se documenta en el informe radiográfico.

**c) Lado fuente o lado película:**

Los sectores pueden colocarse tanto por el lado fuente como por el lado película cuando se radiografían componentes curvados o esféricos en los cuales el lado cóncavo esté hacia el lado fuente y la distancia de la fuente al material sea igual al radio interior del componente.

**5.6.2 Colocación sectores para interpretación a Doble Pared**

Para interpretación a doble pared, se colocará, al menos, un sector adyacente a la soldadura para cada radiografía.

**5.6.3 Mapas**

Cuando inaccesibilidad u otras limitaciones impidan la colocación de sectores según se indica en 5.6.1 y 5.6.2, un mapa dimensional del emplazamiento de los sectores reales acompañará a la radiografía para mostrar que se ha obtenido plena cobertura.

**5.7 RADIACIÓN SECUNDARIA**

Con el fin de poder detectar posible radiación secundaria, se colocará a cada chasis, por su parte posterior, una letra "B" de plomo de una altura mínima de 13 mm. y espesor no inferior a 1,6 mm. Cuando esta letra sea visible, por una menor densidad sobre la película, deberá repetirse la exposición colocando una lámina de plomo de espesor suficiente por la parte posterior del chasis. Una imagen oscura de la letra "B" puede producirse por una presión excesiva sobre el chasis después de la exposición y, aunque no es causa de rechazo, deberá evitarse que se produzca.

En general, y siempre que sea posible, se cuidará que no existan objetos próximos a la película por su parte posterior, con el fin de reducir a un mínimo los efectos de radiación secundaria. En los casos en que esto no sea posible, se utilizarán láminas de plomo de espesor  $2 \div 4$  mm por la parte posterior del chasis.

**5.8 PROCESADO DE PELÍCULAS**

Las películas se procesarán en un cuarto oscuro de acuerdo con SE-999, o la parte III de la Práctica Recomendada SE-94 (Artículo 22 de la Sección V del Código ASME).

Las películas estarán exentas de anomalías mecánicas y/o químicas que puedan enmascarar o confundir la imagen de alguna discontinuidad en el área de interés.

**5.9 DISCONTINUIDADES**

Las siguientes discontinuidades pueden ser detectadas por examen radiográfico de soldaduras:

- Grietas: Se atenderá a su disposición respecto al cordón (longitud, transversal u oblicua) su localización (en cruces, en zona de transición, en principio o final de cordón, etc.) y a su aspecto (recto, quebrado o estrellado). En general la presencia de grietas hace rechazable el cordón.

La causa de la aparición de grietas es la existencia de tensiones en frío o en caliente y la incapacidad del material para soportarlas, para establecer su origen se atenderá a:

- o Idoneidad de los materiales base y de aporte.
- o Velocidad del proceso.
- o Temperatura y parámetros que la regulan.
- o Velocidad de enfriamiento.
- o Idoneidad del tratamiento térmico posterior, si se requiere
- o Diseño de la unión.

Las grietas se pueden diferenciar según su disposición en la soldadura y forma en las siguientes:

- o Grieta longitudinal: Grieta aproximadamente paralela al eje de la soldadura que pueden estar situadas en el metal de soldadura, en la línea de fusión, en la zona afectada térmicamente y en el material base.
  - o Grietas transversales: Grietas sensiblemente perpendiculares al eje de la soldadura y que pueden situarse en el metal de soldadura, en la zona afectada térmicamente y en el metal base.
  - o Grietas radiales: Grietas radiales cuyo origen es un punto común y pueden situarse en el metal de soldadura, en la zona afectada térmicamente y en el metal base. A las grietas de este tipo de pequeño diámetro se las conoce como grietas de estrella.
- Cavidades: Por examen radiográfico de soldaduras se pueden identificar los siguientes tipos de cavidades:
    - o Poro: Sopladura de forma sensiblemente esférica.
    - o Sopladuras uniformemente distribuidas: Sopladura distribuida regularmente en toda la extensión del metal de soldadura. Se diferencian de las sopladuras alineadas.
    - o Sopladuras alineadas: Grupo de sopladuras.

- Sopladuras alineadas: Sopladuras distribuidas paralelamente al eje de la soldadura.
  - Sopladura alargada: Sopladura grande no esferoide, cuya dimensión principal es paralela al eje de la soldadura.
  - Sopladura vermicular: Sopladura tubular producida por el escape de gas. La forma y posición de las sopladuras vermiculares está determinada por el modo de solidificación y origen del gas. Generalmente se encuentran agrupadas y distribuidas en forma de espina de pescado.
  - Rechupe: Cavidad debida a la contracción del metal durante la solidificación.
  - Rechupe interdendrítico: Cavidad de forma alargada que se produce entre dendritas durante el enfriamiento y que puede contener gas atrapado. Esta imperfección es, generalmente perpendicular a la soldadura.
  - Rechupe de cráter: Cavidad (o depresión) producida en un final de cordón y no eliminada antes o durante la ejecución de la pasada siguiente.
- Inclusiones: Por examen radiográfico de soldaduras se pueden identificar los siguientes tipos de inclusiones:
- Inclusión sólida: Cuerpo sólido extraño atrapado en el material de soldadura.
  - Inclusión de escoria: Escoria atrapada en el material de soldadura. Dependiendo de las circunstancias de su formación pueden ser alineadas, asiladas u otras.
  - Inclusión de fundente: Fundente atrapado en el metal de soldadura. Dependiendo de los casos pueden ser alineadas, asiladas u otras.
  - Inclusión de óxido: Óxido metálico atrapado en el metal de soldadura durante la solidificación.
  - Capa rugosa de óxido: Capa rugosa de óxidos metálicos formados en algunos casos, especialmente en las aleaciones de aluminio, por falta de protección y atrapados en forma estratificada debido a la turbulencia del baño de fusión.
  - Inclusión metálica: Partícula de metal extraña atrapada en el metal de soldadura puede ser wolframio, cobre u otro metal.
- Falta de fusión: Falta de unión entre el metal depositado y el metal base, o entre dos zonas continuas de metal de soldadura. Hay que distinguir entre:
- Falta de fusión afectando a los bordes a unir.
  - Falta de fusión entre pasadas.
  - Falta de fusión en la raíz de la soldadura.
- Falta de penetración: Ausencia parcial de fusión de los bordes, que da lugar a una discontinuidad entre los mismos.

- Contracción de la raíz: Falta de metal en los bordes laterales de la raíz provocada por contracción del metal de soldadura.
- Exceso de penetración: Exceso de metal depositado en la raíz de una soldadura ejecutada por un solo lado de una o en varias pasadas.
- Descolgadura: Exceso de penetración puntual.
- Perforación: Hundimiento del baño de fusión que da lugar a un agujero en la soldadura o en un lateral de la misma.
- Rechupe de raíz: Falta de espesor en la raíz de soldadura, debido a una contracción del metal fundido.
- Quemado: Formación esponjosa en la raíz de una soldadura debido a la ebullición del metal fundido.

### **5.10. EVALUACIÓN / CRITERIOS DE ACEPTACIÓN**

Las radiografías serán observadas para su interpretación mediante un negoscopio de intensidad luminosa suficiente y regulable, con capacidad de enmascaramiento de la luz.

La evaluación será efectuada de acuerdo con los criterios establecidos en la tabla 341.3.2 del Capítulo VI del Código ASME B31.3:2000, que establece que para soldaduras a raíz abierta y soldaduras de conexiones sometidas a condiciones severas:

- No se permiten grietas de ningún tipo.
- No se permiten faltas de fusión de ningún tipo.
- No se permite una penetración incompleta en ningún grado.
- Los requisitos del tamaño y distribución de la porosidad interior será el reflejado en el Código BPV, Sección VIII, División 1, Apéndice 4.
- Para inclusiones o las indicaciones alargadas el criterio de aceptación será:
  - o Longitud individual:  $\leq 2$  veces el espesor nominal de la tubería a soldar.
  - o Ancho individual:  $\leq 2.5$  mm (3/32 pulgadas) y  $\leq$  el espesor nominal / 2.
  - o Longitud acumulativa:  $\leq 4$  veces el espesor nominal en unos 150 mm (6 pulgadas) de longitud de soldadura.

**CAPÍTULO 2.4.**

**PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

**Examen Radiográfico de Soldaduras**

- No se permiten mordeduras de ningún tipo.
- La concavidad de la raíz de la soldadura deberá ser mayor al espesor total de la tubería a soldar.

Se adjunta la tabal 341.3.2 como referencia.

**TABLE 341.3.2  
ACCEPTANCE CRITERIA FOR WELDS AND EXAMINATION METHODS FOR EVALUATING WELD IMPERFECTIONS**

Criteria (A to M) for Types of Welds and for Service Conditions [Note (1)]													Examination Methods					
Normal and Category M Fluid Service				Severe Cyclic Conditions				Category D Fluid Service					Weld Imperfection	Visual	Radiography	Magnetic Particle	Liquid Penetrant	
Type of Weld			Girth, Miter Groove & Branch Connection [Note (4)]	Type of Weld			Type of Weld											
Longitudinal Groove [Note (2)]	Fillet [Note (3)]			Longitudinal Groove [Note (2)]	Fillet [Note (3)]		Girth and Miter Groove	Longitudinal Groove [Note (2)]	Fillet [Note (3)]	Branch Connection [Note (4)]								
A	A	A	...	A	A	A	...	A	A	A	A	...	Crack	✓	✓	...	✓	✓
A	A	A	...	A	A	A	...	C	A	N/A	A	...	Lack of fusion	✓	✓	...	...	...
B	A	N/A	...	A	A	N/A	...	C	A	N/A	B	...	Incomplete penetration	✓	✓	...	...	...
E	E	N/A	...	D	D	N/A	...	N/A	N/A	N/A	N/A	...	Internal porosity	...	✓	...	...	...
G	G	N/A	...	F	F	N/A	...	N/A	N/A	N/A	N/A	...	Internal slag inclusion, tungsten inclusion, or elongated indication	...	✓	...	...	...
H	A	H	...	A	A	A	...	I	A	H	H	...	Undercutting	...	✓	...	...	...
A	A	A	...	A	A	A	...	A	A	A	A	...	Surface porosity or exposed slug inclusion [Note (6)]	✓	...	...	...	...
N/A	N/A	N/A	...	J	J	J	...	N/A	N/A	N/A	N/A	...	Surface finish	✓	...	...	...	...
K	K	N/A	...	K	K	N/A	...	K	K	N/A	K	...	Concave root surface (suck up)	✓	✓	...	...	...
L	L	L	...	L	L	L	...	M	M	M	M	...	Weld reinforcement or internal protrusion	✓	...	...	...	...

**GENERAL NOTES:**

- (a) Weld imperfections are evaluated by one or more of the types of examination methods given, as specified in paras. 341.4.1, 341.4.2, 341.4.3 and M341.4, or by the engineering design.
- (b) N/A the Code does not establish acceptance criteria or does not require evaluation of this kind of imperfection for this type of yield.
- (c) \* Alternative Leak Test requires examination of these welds, see para. 345.9
- (d) ✓ examination method generally used for evaluating this kind of weld imperfection
- (e) ... examination method not generally used for evaluating this kind and weld imperfection.

Criterion Value Notes for Table 341.3.2

Symbol	Criterion Measure	Acceptable Value Limits [Note (6)]	
A	Extent of imperfection	Zero (no evident imperfection)	
B	Depth of incomplete penetration Cumulative length of incomplete penetration	$\leq 1 \text{ mm } (\frac{1}{32} \text{ in.})$ and $\leq 0.2 \bar{T}_w$ $\leq 38 \text{ mm } (1.5 \text{ in.})$ in any 150 mm (6 in.) weld length	
C	Depth of lack of fusion and incomplete penetration Cumulative length of lack of fusion and incomplete penetration [Note (7)]	$\leq 0.2 \bar{T}_w$ $\leq 38 \text{ mm } (1.5 \text{ in.})$ in any 150 mm (6 in.) weld length	
D	Size and distribution of internal porosity	See BPV Code, Section VIII, Division 1, Appendix 4	
E	Size and distribution of internal porosity	For $\bar{T}_w \leq 6 \text{ mm } (\frac{1}{4} \text{ in.})$ , limit is same as D For $\bar{T}_w > 6 \text{ mm } (\frac{1}{4} \text{ in.})$ , limit is $1.5 \times D$	
F	Slag inclusion, tungsten inclusion, or elongated indication Individual length Individual width Cumulative length	$\leq \bar{T}_w/3$ $\leq 2.5 \text{ mm } (\frac{3}{32} \text{ in.})$ and $\leq \bar{T}_w/3$ $\leq \bar{T}_w$ in any 12 $\bar{T}_w$ weld length	
G	Slag inclusion, tungsten inclusion, or elongated indication Individual length Individual width Cumulative length	$\leq 2 \bar{T}_w$ $\leq 3 \text{ mm } (\frac{1}{8} \text{ in.})$ and $\leq \bar{T}_w/2$ $\leq 4 \bar{T}_w$ in any 150 mm (6 in.) weld length	
H	Depth of undercut	$\leq 1 \text{ mm } (\frac{1}{32} \text{ in.})$ and $\leq \bar{T}_w/4$	
I	Depth of undercut	$\leq 1.5 \text{ mm } (\frac{1}{16} \text{ in.})$ and $\leq [\bar{T}_w/4 \text{ or } 1 \text{ mm } (\frac{1}{32} \text{ in.})]$	
J	Surface roughness	$\leq 500 \text{ min. Ra per ASME B46.1}$	
K	Depth of root surface concavity	Total joint thickness, incl. weld reinf., $\geq \bar{T}_w$	
L	Height of reinforcement or internal protrusion [Note (8)] in any plane through the weld shall be within limits of the applicable height value in the tabulation at right, except as provided in Note (9). Weld metal shall merge smoothly into the component surfaces.	For $\bar{T}_w$ , mm (in.) $\leq 6 (\frac{1}{4})$ $> 6 (\frac{1}{4}), \leq 13 (\frac{1}{2})$ $> 13 (\frac{1}{2}), \leq 25 (1)$ $> 25 (1)$	Height, mm (in.) $\leq 1.5 (\frac{1}{16})$ $\leq 3 (\frac{1}{8})$ $\leq 4 (\frac{1}{32})$ $\leq 5 (\frac{1}{16})$
M	Height of reinforcement or internal protrusion [Note (8)] as described in L. Note (9) does not apply.	Limit is twice the value applicable for L above	
		X = required examination	NA = not applicable . . . = not required

TABLE 341.3.2 (CONT'D)

NOTES:

- (1) Criteria given are for required examination. More stringent criteria may be specified in the engineering design. See also paras. 341.5 and 341.5.3.
- (2) Longitudinal groove weld includes straight and spiral seam. Criteria are not intended to apply to welds made in accordance with a standard listed in Table A-1 or Table 326.1.
- (3) Fillet weld includes socket and seal welds, and attachment welds for slip-on flanges, branch reinforcement, and supports.
- (4) Branch connection weld includes pressure containing welds in branches and fabricated laps.
- (5) These imperfections are evaluated only for welds  $\leq 5 \text{ mm } (\frac{1}{16} \text{ in.})$  in nominal thickness.
- (6) Where two limiting values are separated by "and," the lesser of the values determines acceptance. Where two sets of values are separated by "or," the larger value is acceptable.  $\bar{T}_w$  is the nominal wall thickness of the thinner of two components joined by a butt weld.
- (7) Tightly butted unfused root faces are unacceptable.
- (8) For groove welds, height is the lesser of the measurements made from the surfaces of the adjacent components; both reinforcement and internal protrusion are permitted in a weld. For fillet welds, height is measured from the theoretical throat, Fig. 328.5.2A; internal protrusion does not apply.
- (9) For welds in aluminum alloy only, internal protrusion shall not exceed the following values:
  - (a) for thickness  $\leq 2 \text{ mm } (\frac{1}{16} \text{ in.})$ :  $1.5 \text{ mm } (\frac{1}{16} \text{ in.})$ ;
  - (b) for thickness  $> 2 \text{ mm}$  and  $\leq 6 \text{ mm } (\frac{1}{4} \text{ in.})$ :  $2.5 \text{ mm } (\frac{1}{32} \text{ in.})$ .
 For external reinforcement and for greater thicknesses, see the tabulation for Symbol L.

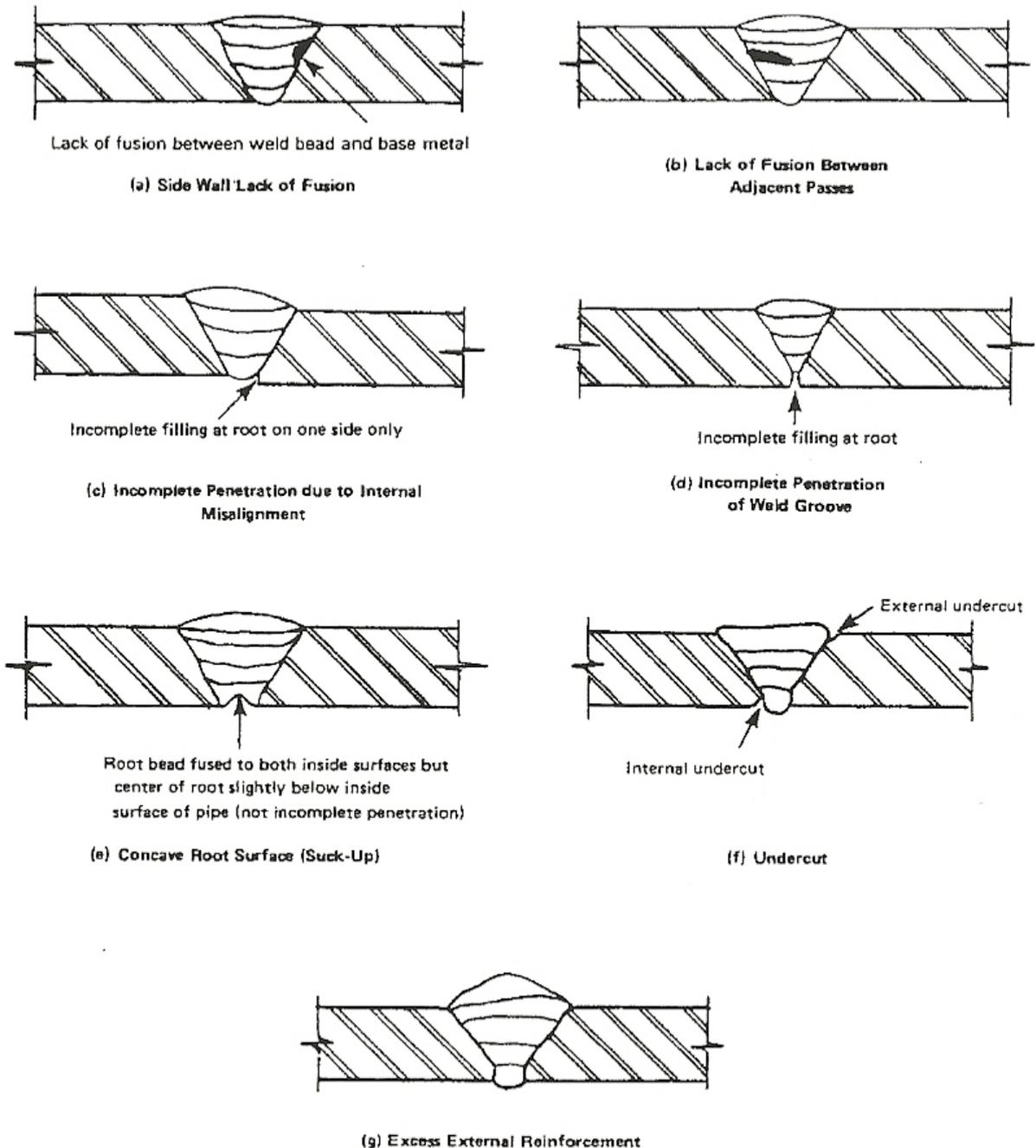


FIG. 341.3.2 TYPICAL WELD IMPERFECTIONS

**5.11 INFORME FINAL**

Una vez realizado el examen, se elaborará el correspondiente informe, indicando en la primera hoja, al menos la siguiente información:

- Nombre y dirección del laboratorio de ensayo.
- Nombre y dirección del peticionario (cliente).
- Lugar de realización del ensayo, cuando sea diferente de la dirección del laboratorio.
- Referencia del componente/s examinado/s.
- Identificación única del informe, así como el número total de páginas (registros).
- Firma y nombre del coordinador técnico responsable de los trabajos.
- Indicación de que el informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo.

Con la primera hoja anterior se incluirán los registros correspondientes según formato adjunto en la figura 2, indicando en cada hoja el número de informe, fecha y numeración correlativa para cada hoja y, como mínimo la siguiente información:

- Identificación, por ejemplo número de obra o de cabecera.
- Situación de marcas de localización
- Número de exposiciones.
- Isótopo o máximo voltaje de rayos X utilizado.
- Dimensión de puntos focales efectivos.
- Tipo de material y rango de espesores.
- Mínima distancia de fuente a objeto.
- Distancia máxima del lado fuente del objeto a la película.
- Marca de película y designación.

- Número de películas por casete.
- Exposición a pared simple o doble.
- Interpretación a pared simple o doble.
- Rango de densidades.
- Sensibilidad lograda.
- Resultado de la evaluación.
- Fecha del examen.
- Nombre y firma del operador y supervisor.
- Notas.

Cuando inaccesibilidad u otras limitaciones impidan la situación de marcadores como se estipula en 5.6., un mapa dimensional de la situación real de los marcadores acompañará a las radiografías para mostrar que se ha obtenido plena cobertura.

Juntamente con el informe final se entregará o comunicará que está a su disposición, el juego de radiografías correspondiente, el cual, será mantenido por el fabricante durante el tiempo establecido en la normativa aplicable.

Un formato de informe valido se recoge en la figura 2.

**FIGURA 2**

<b>EXAMEN RADIOGRÁFICO DE SOLDADURAS</b>																																																																																																																																																																														
<b>INFORME N°:</b> _____					<b>Fecha:</b> _____					<b>Hoja n°</b> _____ <b>de</b> _____																																																																																																																																																																				
<b>1.GENERAL</b>																																																																																																																																																																														
<b>PETICIONARIO:</b> _____										<b>OBRA:</b> _____																																																																																																																																																																				
<b>Sistema:</b> _____					<b>Componente:</b> _____					<b>Soldadura/s:</b> _____																																																																																																																																																																				
<b>Plano:</b> _____			<b>Material:</b> _____			<b>φ Ext:</b> _____ mm			<b>Espesor:</b> _____ mm			<b>Sobreesp:</b> _____ mm																																																																																																																																																																		
<b>2.MATERIAL DE EXAMEN</b>																																																																																																																																																																														
<b>Fuente:</b> Ir 192					<b>Dimensión F:</b> 3 X 2 mm					<b>Actividad:</b> _____ Ci					<b>Intensidad:</b> _____ mA					<b>Tensión:</b> _____ KV																																																																																																																																																										
<b>Película:</b> _____ marca					<b>Tipo:</b> _____					<b>Pantallas:</b> _____					<b>Penetrámetro (ICI):</b> tipo _____ N° _____																																																																																																																																																															
<b>3.DATOS DEL EXAMEN</b>																																																																																																																																																																														
<b>Especificación:</b> _____										<input type="checkbox"/> Clase A					<input type="checkbox"/> Clase B					<input type="checkbox"/> Clase C																																																																																																																																																										
<input type="checkbox"/> Inicial					<input type="checkbox"/> Después de reparar					<b>Interpretación:</b> <input type="checkbox"/> Simple pared <input type="checkbox"/> Doble pared					<input type="checkbox"/> Simple pared <input type="checkbox"/> Doble pared																																																																																																																																																															
<input type="checkbox"/> Simple pared					<input type="checkbox"/> Doble pared																																																																																																																																																																									
<b>Técnica radiográfica:</b>					<b>Posición de la fuente:</b> <input type="checkbox"/> Exterior <input type="checkbox"/> Interior <input type="checkbox"/> Centrada <input type="checkbox"/> Descentrada					<b>Interpretación:</b> <input type="checkbox"/> Simple <input type="checkbox"/> Compuesta																																																																																																																																																																				
<b>Película:</b> <input type="checkbox"/> Simple <input type="checkbox"/> Múltiple																																																																																																																																																																														
<b>Marcas sectores:</b> <input type="checkbox"/> L. fuente <input type="checkbox"/> L. película					<b>Distancia F.P.:</b> _____ cm					<b>Distancia O(LF)P:</b> _____ cm					<b>Tiempo exp.:</b> _____ min																																																																																																																																																															
<b>Origen y sentido referencia de sectores:</b>																																																																																																																																																																														
<b>4. RESULTADOS</b>																																																																																																																																																																														
<b>Especificación:</b> _____										<b>Nivel de calidad:</b> <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3					<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D																																																																																																																																																															
<b>Símbolos clasificación imperfecciones:</b>																																																																																																																																																																														
Aa -Porosidad Ab -Porosidad alargada o vermicular Ba -Inclusión de escoria C -Falta de fusión D -Falta de penetración					E -Grietas radiales, grupo de grietas discontinuas y grietas ramificadas. Ea -Grieta longitudinal Eb -Grieta transversal Ec -Grieta de cráter					F -Mordedura G -Inclusión de fundente H -Inclusión metálica J -Inclusión de óxido K -Rechupe O -Otros					<b>* Evaluación:</b> A- Aceptable NA o N- No aceptable RF o R- Repetir Radiografía																																																																																																																																																															
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width:15%;">Identificación soldadura y radiografía</th> <th style="width:5%;">Sector</th> <th style="width:5%;">Esp (mm)</th> <th style="width:5%;">ICI n°</th> <th style="width:5%;">N° T ó h</th> <th style="width:5%;">Densidad</th> <th style="width:3%;">Aa</th> <th style="width:3%;">Ab</th> <th style="width:3%;">Ba</th> <th style="width:3%;">C</th> <th style="width:3%;">D</th> <th style="width:3%;">E</th> <th style="width:3%;">Ea</th> <th style="width:3%;">Eb</th> <th style="width:3%;">Ec</th> <th style="width:3%;">F</th> <th style="width:3%;">G</th> <th style="width:3%;">H</th> <th style="width:3%;">J</th> <th style="width:3%;">K</th> <th style="width:3%;">O</th> <th style="width:3%;">*</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>															Identificación soldadura y radiografía	Sector	Esp (mm)	ICI n°	N° T ó h	Densidad	Aa	Ab	Ba	C	D	E	Ea	Eb	Ec	F	G	H	J	K	O	*																																																																																																																																										
Identificación soldadura y radiografía	Sector	Esp (mm)	ICI n°	N° T ó h	Densidad	Aa	Ab	Ba	C	D	E	Ea	Eb	Ec	F	G	H	J	K	O	*																																																																																																																																																									
<b>OBSERVACIONES</b>																																																																																																																																																																														
<b>SUPERVISOR</b>					<b>CALIFICACIÓN POR</b>					<b>OPERADOR</b>					<b>FECHA DEL EXAMEN</b>																																																																																																																																																															
Fdo: _____					Fdo: _____					Fdo: _____					_____																																																																																																																																																															
Nivel _____					Nivel _____					Nivel _____					_____																																																																																																																																																															

**6. DOCUMENTACIÓN**

Se llevará un control diario de soldaduras mediante un Informe diario de soldadura donde se reflejarán las uniones realizadas, los ensayos no destructivos realizados y el resultado de estos. En la figura 3 se muestra el formato a emplear.



## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.4: PROCEDIMIENTO DE EXAMEN RADIOGRÁFICO DE SOLDADURAS

---

#### DATOS OBTENIDOS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO:

Durante el proceso de construcción del proyecto, de la defectología con posibilidad de producirse y de identificarse durante la realización del examen radiográfico de soldaduras, se recogieron las siguientes indicaciones en los informes de inspección:

- Mordeduras en la raíz:

Se registraron algunas mordeduras en la raíz en las soldaduras realizadas. Estas eran debidas por soldar a altas temperaturas con una velocidad lenta.

Para corregir este tipo de defectos se instó a los soldadores a realizar las soldaduras con los parámetros recogidos en el PQR (Procedimiento de soldadura homologado). También se insistió a los inspectores que al realizar la inspección durante el proceso de soldeo verificarán en todos los casos los parámetros de soldeo y comprobando posteriormente si se habían producido mordeduras.

Con la información obtenida de la observaciones realizadas por los inspectores se identificaron los soldadores que mayor número de veces producían este defecto en las soldaduras. A estos soldadores se les explicó la situación y se tomaron medidas tanto por su parte como por la de los inspectores para minimizar al máximo la aparición de estos defectos.

A continuación se muestra una foto de los resultados del examen radiográfico de una soldadura (placa) en la que se ha identificado una mordedura en la raíz.



## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.4: PROCEDIMIENTO DE EXAMEN RADIOGRÁFICO DE SOLDADURAS

---

Una vez identificado este defecto se procedía a su reparación mediante amolado de la soldadura hasta alcanzar y sanear la zona afectada y posteriormente se recargaba nuevamente la zona amolada mediante la misma técnica de soldadura empleada.

Se tenía que tener especial cuidado al realizar el recargue de este tipo de defectos ya que se producen en la raíz de la soldadura y, según la técnica empleada, debía realizarse una purga y protección para realizar estas soldaduras.

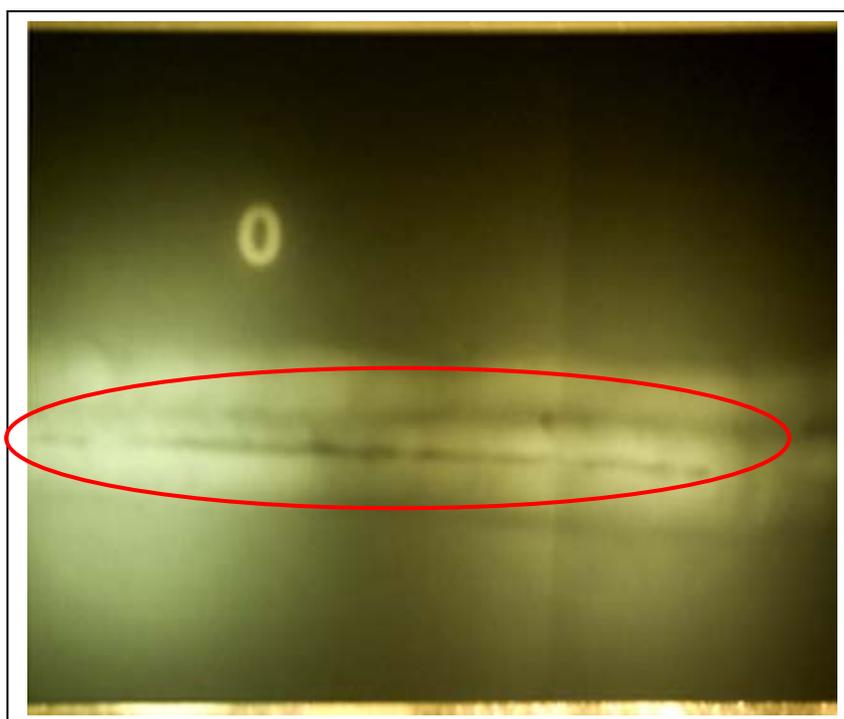
Una vez realizada la reparación se debía repetir el examen radiográfico de la zona afectada para comprobar la correcta eliminación del defecto y la no aparición de nuevas indicaciones.

#### - Inclusión de escoria:

Se registraron inclusiones de escoria sobre todo en las soldaduras de tubería de gran diámetro. Este defecto tiene su origen en la limpieza inadecuada de las superficies a soldar durante el proceso de soldeo y la mayoría de los casos se produce entre pasadas de soldadura.

Para evitar la repetición de estos defectos se instó a los soldadores a que limpiaran adecuadamente las superficies a soldar entre las pasadas durante el proceso de soldeo de las tuberías de gran diámetro. Se reforzó la circunstancia de que emplearan todo el tiempo necesario para realizar el soldeo de las uniones no siendo necesaria la urgencia ni la prisa para realizar los trabajos.

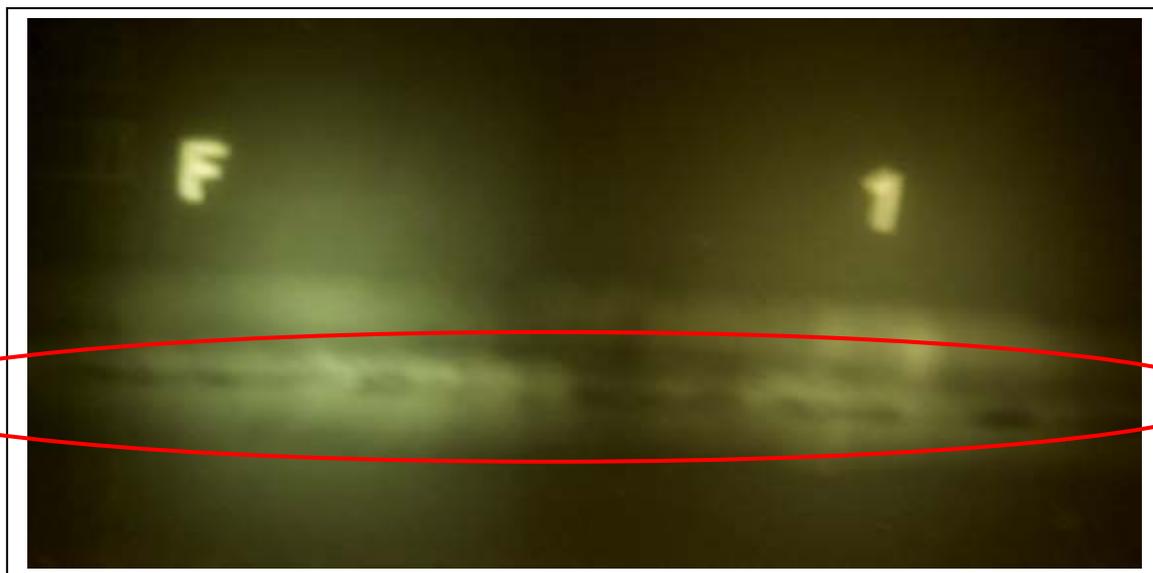
A continuación se muestran unas fotos de los resultados de un examen radiográfico (placas) en las que se ha identificado la existencia de escoria entre pasadas.



# PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

## CAPITULO 2.4: PROCEDIMIENTO DE EXAMEN RADIOGRÁFICO DE SOLDADURAS

---



La reparación de este tipo de defecto se realizaba mediante amolado de la soldadura hasta eliminar la zona afectada y recargando mediante la misma técnicas de soldadura el área eliminada.

Se ha de tener en cuenta que en las soldaduras de gran diámetro se recargaba con electrodo siempre y cuando al sanear no se hubiera llegado a la soldadura. En el caso de que se eliminara la raíz se tenían que aplicar las técnicas adecuadas de soldeo siguiendo todas las instrucciones de purga y protección.

Una vez realizada la reparación se debía repetir el examen radiográfico de la zona afectada para comprobar la correcta eliminación del defecto y la no aparición de nuevas indicaciones.

### - Porosidad:

También se produjeron en las soldaduras realizadas porosidades internas. Esto se debía a golpes de aire durante el proceso de soldeo que provocaban la creación de bolsas gaseosas en el material de aporte. Estos golpes de aire podían venir de las condiciones ambientales durante el proceso de soldeo o por falta de purga o protección, así como también por cebados y arranques de soldadura o por encontrarse el electrodo frío.

Los poros producidos por falta de purga o protección eran más frecuentes en las tuberías de pequeño diámetro, aunque también podían observarse en las pasadas de raíz de las tuberías de gran diámetro que se realizaban con la misma técnica de soldadura que las soldaduras de pequeño diámetro.

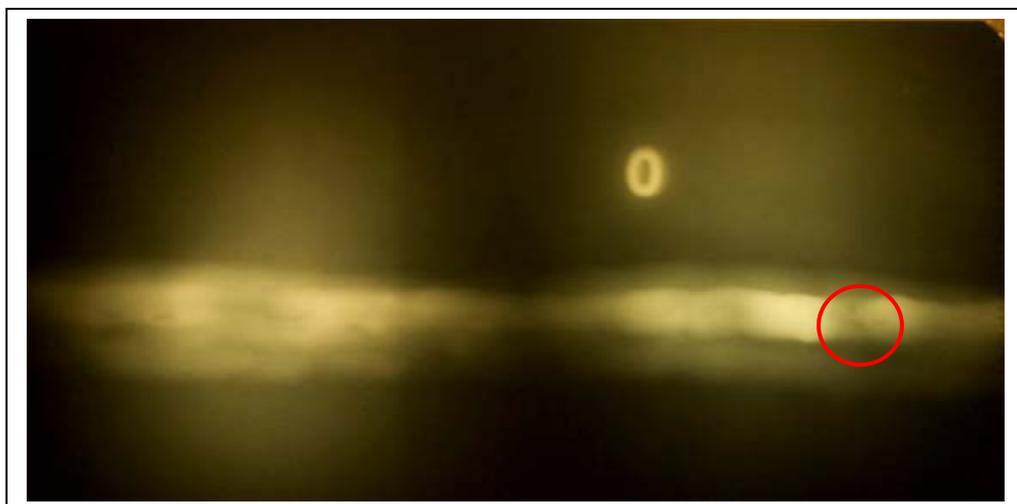
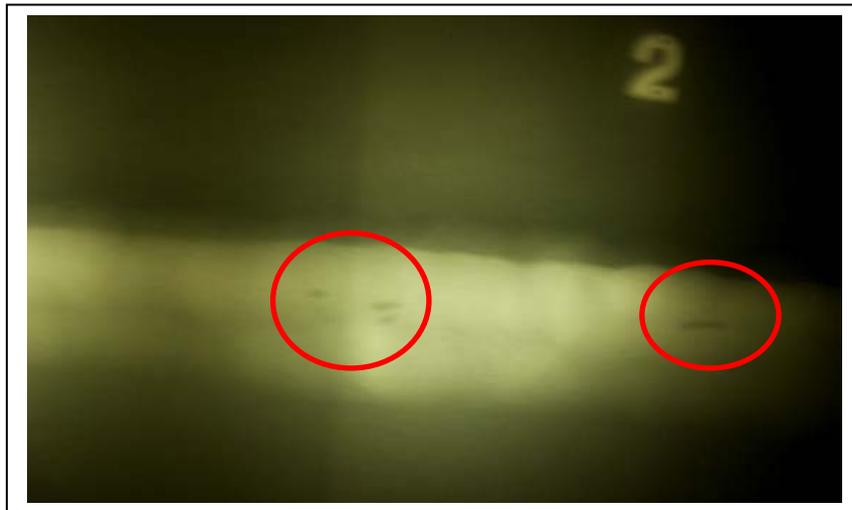
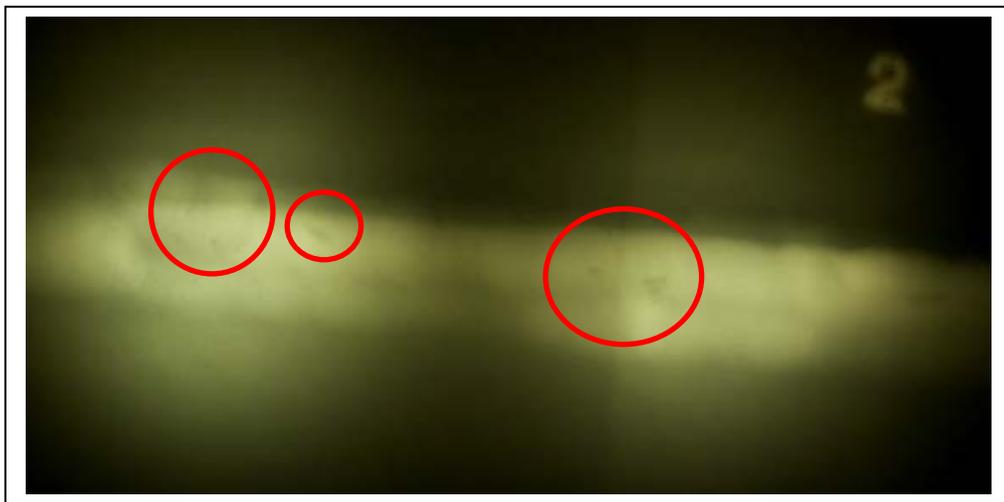
## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.4: PROCEDIMIENTO DE EXAMEN RADIOGRÁFICO DE SOLDADURAS

---

Los poros por arranques, cebados o por encontrarse el electrodo fría eran más característicos de las tuberías de gran diámetro.

A continuación se muestran unas fotos del resultado de un examen radiográfico (placa) realizado a una soldadura en la que se han identificado poros.



## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.4: PROCEDIMIENTO DE EXAMEN RADIOGRÁFICO DE SOLDADURAS

---

La eliminación de este tipo de defectos se realizaba mediante el amolado de la soldadura hasta el saneado de la zona afectada y recargando posteriormente el área eliminada mediante la misma técnica de soldadura empleada.

Se ha de tener en cuenta que en las soldaduras de gran diámetro se recargaba con electrodo siempre y cuando al sanear no se hubiera llegado a la soldadura. En el caso de que se eliminara la raíz se tenían que aplicar las técnicas adecuadas de soldeo siguiendo todas las instrucciones de purga y protección.

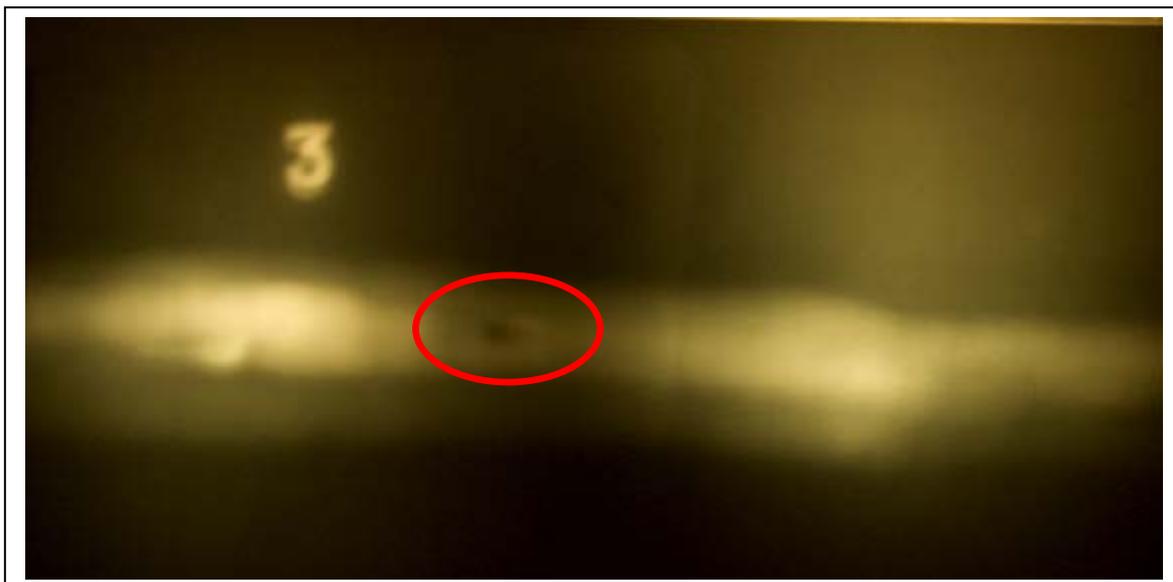
Una vez realizada la reparación se debía repetir el examen radiográfico de la zona afectada para comprobar la correcta eliminación del defecto y la no aparición de nuevas indicaciones.

- Falta de penetración:

En algunas ocasiones sobre todo en la tubería de gran diámetro, se observaron faltas de penetración durante la realización de la soldadura. Estos defectos tienen su origen en una excesiva velocidad de soldeo que provoca que no se deposite suficiente material de aporte para realizar una soldadura completa o que al realizar la segunda pasada sobre la pasada inicial el exceso de velocidad tire del material ya depositado.

Para evitar la repetición de estos sucesos se explicó a las soldaduras las necesidades de seguir los parámetros de soldeo del procedimiento y la no existencia de prisas a la hora de realizar las soldaduras.

A continuación se muestran una foto del resultado del examen radiográfico de una soldadura con falta de penetración (rechupe) en la raíz.



## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.4: PROCEDIMIENTO DE EXAMEN RADIOGRÁFICO DE SOLDADURAS

---

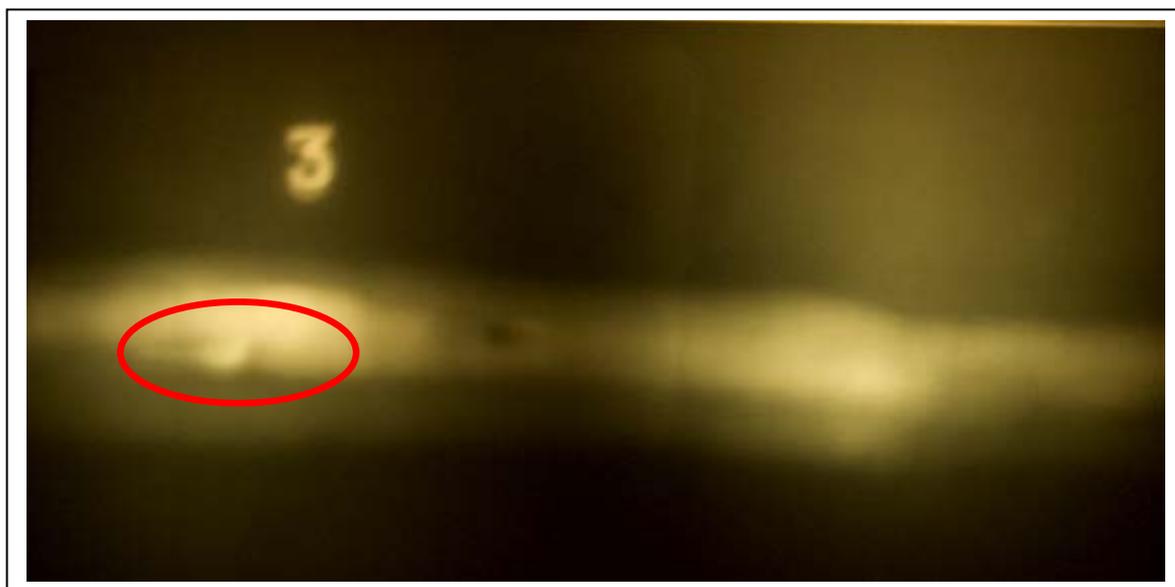
La reparación de estos defectos se realizaba de la misma manera que los descritos anteriormente, mediante amolado de la zona afectada y posterior recarga mediante soldeo. Se tenía que tener especial cuidado durante el proceso de soldeo de recarga al ser un defecto en la raíz y, al siguiendo la técnica de soldeo empleada, se debía utilizar purga y protección durante el soldeo por muy pequeña que fuera la abertura realizada.

- Exceso de penetración:

Al contrario que en el caso anterior, en las soldaduras de las tuberías de pequeño diámetro se producía un exceso de penetración al realizar las soldaduras. Este exceso de penetración se debía a que las dimensiones de las tuberías a soldar eran muy reducidas y el material Dúplex presenta dificultades de soldeo por su poca elasticidad si no se funde a muy altas temperaturas. Los soldadores poco experimentados con el soldeo de este material tenían una velocidad lenta de soldeo y permitían que un exceso de material de aporte se depositara en la misma zona de la soldadura.

Estos defectos fueron muy comunes al inicio de la construcción pero al ir aumentando el tiempo de práctica los soldadores fueron adquiriendo mayor conocimiento del material, hasta no producirse prácticamente ningún caso de exceso de penetración en tuberías de pequeño diámetro al final de la construcción.

A continuación se muestran una foto del resultado del examen radiográfico de una soldadura con exceso de penetración (descolgadura) en la raíz.



## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.4: PROCEDIMIENTO DE EXAMEN RADIOGRÁFICO DE SOLDADURAS

---

- Rizado de la raíz:

En algunas ocasiones se produjo el rizado de la raíz de algunas soldaduras. Se entiende por rizado la aparición de rugosidades en la raíz del material.

Estas rugosidades eran debidas a falta de purga durante el proceso de soldeo y se produjeron en casos puntuales al acabarse el suministro de purga durante el proceso o no haberse aislado correctamente la parte a soldar.

En el caso de las reparaciones en soldaduras por defectos identificados durante el examen radiográfico existía de manera adicional una penalización por daños al material. Esta penalización consistía en que al tenerse que reparar una soldadura por segunda vez, se consideraba que la zona de material base anexa a la soldadura reparada podía haber sufrido deterioro por lo diversos procesos de calentamiento a los que se había visto sometida.

Por este motivo cuando se tenía que reparar por segunda vez una soldadura se debía cortar la tubería en un largo de tres veces su diámetro alrededor de la soldadura afectada (1.5 veces el diámetro a cada lado de la soldadura). Esto creaba la necesidad de introducir un carrete nuevo de tubería y una soldadura reparada por segunda vez se convertía en dos soldaduras nuevas. Si la soldadura a reparar por segunda vez conectaba con un codo o accesorio similar, este debía ser sustituido.

# PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

## CAPITULO 2.5: PROCEDIMIENTO DE EXAMEN DE SOLDADURAS POR ULTRASONIDOS

---

### **Capítulo 2.5. Procedimiento de examen de soldaduras por ultrasonidos:**

Este capítulo se subdivide en dos apartados:

- En el primero apartado se describe el procedimiento de examen de soldaduras por ultrasonidos, incluyendo las normativas de aplicación, las inspecciones a realizar, los defectos que se pueden encontrar durante la inspección, la cualificación del personal que realiza las inspecciones y los métodos de registro y seguimiento de las inspecciones realizadas.
- En el segundo apartado se describirán las imperfecciones detectadas durante la ejecución de los trabajos y los métodos de reparación llevados a cabo para corregirlas.

**GESTIÓN DE LA CALIDAD**

**PROYECTO:**        *“Procedimientos de ensayos no destructivos en la construcción de los colectores subacuáticos de una extracción petrolífera de aguas profundas”.*

**DOC. CODIGO:**    **END-005**

**TITULO:**            *Examen de Soldaduras por Ultrasonidos*

REVISIÓN	FECHA	MODIFICACIONES

PREPARADO / REVISADO	APROVADO	APROVADO CLIENTE
<b>Firma</b>	<b>Firma</b>	<b>Firma</b>
<b>Fecha</b>	<b>Fecha</b>	<b>Fecha</b>

**INDICE**

1. Objeto
2. Alcance
3. Normas y códigos de referencia
4. General
  - 4.1. Materiales a utilizar:
    - 4.1.1. Equipo
    - 4.1.2. Palpadores
    - 4.1.3. Cables
    - 4.1.4. Agente de acoplamiento
    - 4.1.5. Bloques de calibración
  - 4.2. Estado superficial
  - 4.3. Temperaturas
  - 4.4. Cualificación del personal
  - 4.5. Identificación del área de soldadura examinada
5. Realización:
  - 5.1. Calibración
    - 5.1.1. Calibración en distancia
    - 5.1.2. Calibración en sensibilidad
    - 5.1.3. Frecuencia de calibración

5.2. Inspección

5.2.1. General

5.2.2. Inspección por onda en ángulo

6. Discontinuidades
7. Evaluación de las indicaciones
8. Criterios de aceptación
9. Informe final
10. Documentación

## **1. OBJETO**

El presente procedimiento tiene por objeto definir el método operativo y los criterios de aceptación que deberán seguirse en la realización y registro del examen manual por ultrasonidos de las soldaduras indicadas en el Apartado 2 “Alcance “ de este procedimiento.

## **2. ALCANCE**

Este procedimiento será aplicable para el examen de las soldaduras a penetración completa y de las zonas afectadas térmicamente de las tuberías de material Dúplex y Superdúplex con diámetros superiores a 6 pulgadas y espesores superiores o iguales a 10 milímetros del módulo de tubería de gran tamaño de un colector de producción subacuático.

Quedan fuera del alcance de este procedimiento el examen de soldaduras en conexiones de tubo a tubo del tipo T, Y o K.

Así mismo, se encuentran incluidas en el alcance de este procedimiento las soldaduras a penetración completa de unión entre el módulo de estructura superiores e inferior de un colector de producción subacuático.

Las soldaduras a examinar, el momento de examen y extensión, será de acuerdo con lo establecido en el programa de puntos de inspección o especificación aplicable.

## **3. NORMAS Y CÓDIGOS DE REFERENCIA**

Son de aplicación en los requisitos generales y los criterios de aceptación para la realización del examen radiográfico de soldadura los requerimientos especificados en:

- Sección II del Código ASME en su sección correspondiente al material SA-790/SA-790M “Specification for seamless and welded ferritic/austenitic stainless pipe”

- Sección V del Código ASME en su Artículo 1 “General Requirements”.
  - Punto T-110: “Scope”
  - Punto T-120: “General”
  - Punto T-130: “Equipment”
  - Punto T-150: “Procedure”
  - Punto T-160: “Calibration”
  - Punto T-170: “Examination and Inspection”
  - Punto T-180: “Evaluation”
  - Punto T-190: “Records/Documentation”
  - Mandatory Appendix:
    - Appendix I: “Glossary of Terms for Nondestructive Examination”
  - Nonmandatory Appendix:
    - Appendix A: “Imperfection vs Type of NDE Method”
  
- Sección V del Código ASME en su Artículo 4 “Ultrasonic Examination Methods for Welds”.
  - Punto T-410: “Scope”
  - Punto T-420: “General”
  - Punto T-430: “Equipment”
  - Punto T-440: “Miscellaneous Requirements”
  - Punto T-450: “Techniques”
  - Punto T-460: “Calibration”
  - Punto T-470: “Examination”
  - Punto T-480: “Evaluation”
  - Punto T-490: “Documentation”
  - Mandatory Appendices:
    - Appendix I: “Screen Height Linearity”
    - Appendix II: “Amplitude Control Linearity”
  - Nonmandatory Appendices:
    - Appendix A: “Layout of Vessel Reference Points”
    - Appendix B: “General Techniques for Angle Beam Calibration”
    - Appendix C: “General Techniques for Straight Beam Calibration”
    - Appendix D: “Data Record Example for a Planer Techniques”
    - Appendix E: “Computerized Imaging Techniques”
    - Appendix F: “Nozzle Examination”
    - Appendix G: “Alternate Calibration Block Configuration”
    - Appendix H: “Recording Angle Beam Examination Data for Planar Reflector”
    - Appendix I: “Examination of Welds Using Angle Beam Search Units”
    - Appendix J: “Alternative Basic Calibration Block”
    - Appendix K: “Recording Straight Beam Examination Data for Planar Reflectors”
    - Appendix L: “TOFD Sizing Demonstration/Dual Probe – Computer Imaging Techniques”

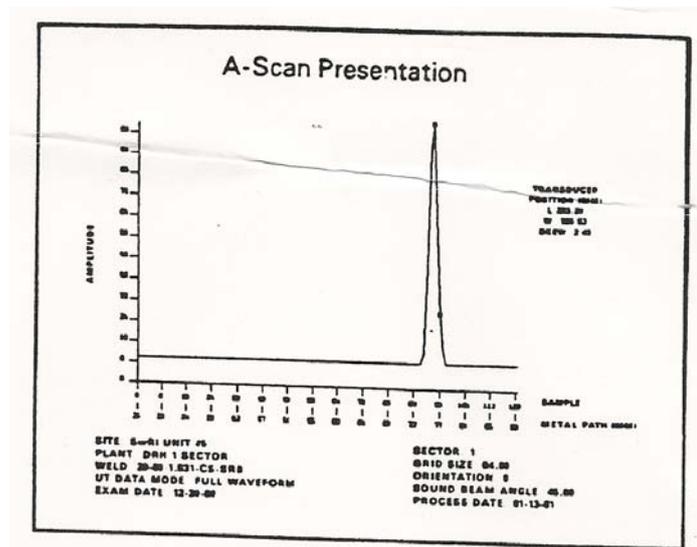
- Sección B 31.3 del Código ASME: Tuberías a presión. Tuberías de proceso.
  - o Capítulo VI: “Inspection, examination, and testing”
    - Punto 340: “Inspection”
      - Punto 340.1: “General”
      - Punto 340.2: “Responsability for inspection”
      - Punto 340.3: “Rights of the owner’s inspector”
      - Punto 340.4: “Qualifications of the owner’s inspector”
    - Punto 341: “Examination”
      - Punto 341.1: “General”
      - Punto 341.2: “Responsibility for examination”
      - Punto 341.3: “Examination requirements”
        - o Punto 341.3.1: “General”
        - o Punto 341.3.2: “Acceptable criteria”
        - o Punto 341.3.3: “Defective components and workmanship”
        - o Punto 341.3.4: “Progressive sampling for examination”
    - Punto 342: “Examination personnel”
      - Punto 342.1: “Personnel qualification and certification”
      - Punto 342.2: “Specific requirement”
    - Punto 343: “Examination procedures”
    - Punto 344: “Types of examination”
      - Punto 344.1: “General”
        - o Punto 344.1.1: “Methods”
        - o Punto 344.1.2: “Special methods”
        - o Punto 344.1.3: “Definitions”
      - Punto 344.6: “Ultrasonic Examination”
- AWS D1.1:2000: Código de soldadura estructural - Aceros.
  - o Capítulo 6: “Inspection”
    - Parte C: “Acceptance Criteria”
      - Punto 6.13: “Ultrasonic Inspection”
        - o Punto 6.13.1: “Acceptance Criteria for Statically Loaded Nontubular Connections”
        - o Punto 6.13.2: “Acceptance Criteria for Cyclically Loaded Nontubular Connections”
    - Parte D: “Nondestructive Testing Procedures”
      - Punto 6.14: “Procedures”
        - o Punto 6.14.3: “Ultrasonic Testing”
        - o Punto 6.14.6: “Personnel Qualification”
    - Parte F: “Ultrasonic Testing of Groove Welds”

**4. GENERAL****4.1. MATERIALES A UTILIZAR:****4.1.1 Equipo:**

Se utilizará un equipo del tipo impulso-eco ya que realiza un mejor tratamiento de la gran cantidad de información recibida y tiene el requisito de utilizar un solo palpador. Este equipo estará dotado con una representación en pantalla tipo A con onda rectificada, capaz de generar y recibir frecuencias de 2 a 5 MHz. También estará dotado de un mando de control de ganancia regulable de escalones de 1 o 2 dB en un rango mínimo de 60 dB y graduación de pantalla que permita apreciar fácilmente variaciones en amplitud equivalentes a 1 dB.

La representación tipo A presenta las señales en unos ejes coordenados Amplitud (eje Y) – Distancia (eje X), tal como se muestra en la figura 1. El instrumento ultrasónico proporcionará una presentación lineal vertical dentro del  $\pm 5\%$  de la altura de la pantalla completa siendo del 20% al 80% de la altura de pantalla calibrada y un control de amplitud exacto sobre su gama útil al 20% de la proporción de amplitud nominal.

Ambas linealidades deberán ser verificadas en intervalos no mayores de 3 meses o antes de su utilización por primera vez, la opción más restrictiva, según los Apéndices I y II del Artículo 4 de la Sección V del Código ASME.



El equipo estará dotado de un estabilizador interno, de forma que después de un precalentamiento no se produzcan variaciones en su respuesta mayores de  $\pm 1$  dB por cambios en el voltaje del 15% del valor nominal o en caso de ser utilizado con batería, durante la vida útil de ésta y dispondrá de un avisador acústico o medidor para indicar la caída de voltaje antes del agotamiento de la batería.

**4.1.2. Palpadores:**

Todos los palpadores a utilizar en exámenes de acuerdo con este procedimiento serán verificados y cumplirán los requisitos establecidos en las Normativas de referencia (Apartado 3).

a) Haz recto:

- Inspección en tubería (ASME B31.3):

Para espesores superiores a 20 milímetros se utilizará un palpador monocristal con frecuencia de 4 a 5 MHz y con 10 milímetros de diámetro de parte activa. Para espesores iguales o inferiores a 20 milímetros se utilizarán palpadores bicristal con dimensiones de 3,5 x 10 milímetros de elemento activo.

- Inspección en estructura (AWS D1.1):

Para la exploración de la zona de material base por la que se ha de atravesar el haz angular se utilizarán palpadores monocristales de onda longitudinal, de haz normal, con frecuencias de 2 a 2,5 MHz y superficie activa de geometría redonda o cuadrada con dimensiones comprendidas en los siguientes valores:

Cristales redondos  
 $20,3 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 28,5 \text{ mm}$

Cristales cuadrados  
 $18 \text{ mm} \leq L \leq 25,4 \text{ mm}$

b) Haz angular:

- Inspección en tubería (ASME B31.3):

Se utilizarán palpadores monocristal de onda trasnversal de 4 a 5 MHz de frecuencia con una dimensión de parte activa entre 8 x 4 milímetros y 20 x 22 milímetros, con ángulos de entrada en el material de 45°, 60° o 70° y una tolerancia de  $\pm 2^\circ$ .

De manera adicional también se podrán utilizar palpadores bicristal de onda longitudinal de 2 MHz de frecuencia y ángulos de entrada de 45°, 60° y 70°.

Otras frecuencias podrán ser utilizadas con objeto de asegurar la completa penetración o mejorarse la resolución. Los trasnductores bicristales se podrán utilizar en caso de ser necesario mejorar la relación señal-ruido.

- Inspección en estructura (AWS D1.1):

Para el examen de soldaduras y zonas afectadas se utilizarán palpadores angulares de onda transversal monocristal o bicristal, con ángulos de entreada en el material a examinar de 45°, 60° y 70°, con una tolerancia de  $\pm 2^\circ$  y frecuencia entre 2 y 2,5 MHz.

La forma del cristal será cuadrada o rectangular o con una relación de ancho/alto máxima de 1,2 a 1 y mínima de 1 a 1 y dimensiones comprendidas entre 15 y 25 milímetros de ancho y 15 y 20 milímetros de alto.

#### **4.1.3. Cables:**

Los cables deberán ser de tipo coaxiales con unas características de impedancia de entre 70 a 75  $\Omega$  y 2 metros de longitud aproximadamente.

#### **4.1.4. Agente de acoplamiento:**

Se utilizará un acoplante con buenas características de mojado y transmisión acústica, tal como, aceite de motor SAE N° 40-90, glicerina o una mezcla de agua con cola celulósica con adición de un agente humectante y/o anticorrosión si es necesario. El agente de acoplamiento debe ser compatible con el material a examinar y debe ser utilizado el mismo tipo para realizar la calibración y el examen.

El acoplante utilizado para inspeccionar las soldaduras del material Dúplex y Súperduplex no debe contener más de 250 ppm de halógenos (fluoruros más que cloruros).

#### **4.1.5. Bloque de calibración:**

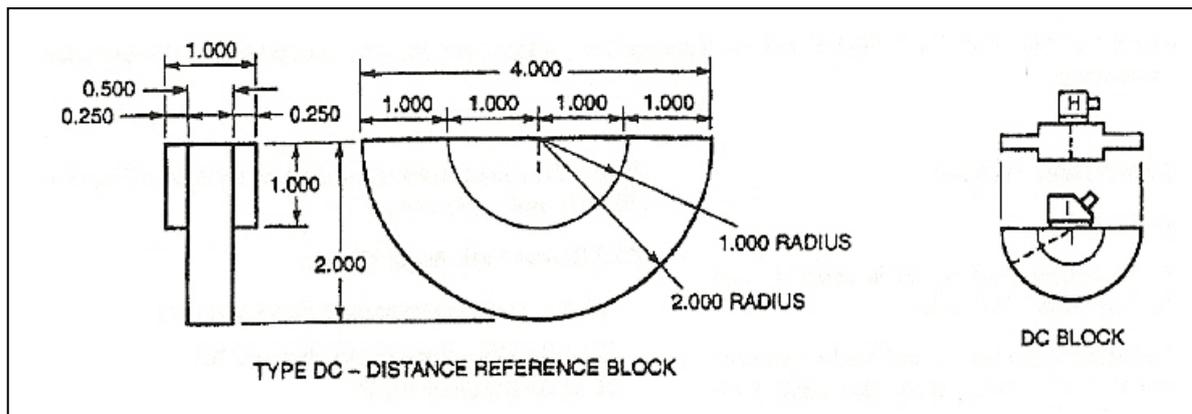
- a) Calibración en distancia:

Para la calibración de distancia y para determinar el punto actual de salida de la onda ultrasónica y el ángulo actual del palpador en palpadores de onda transversal, se utilizarán los bloques n° 1 y 2 de acuerdo a la UNE-EN12223 y UNE-EN27963 respectivamente.

Para los palpadores de onda en ángulo de dirección longitudinal, se utilizarán bloques semicirculares con más de 2 radios diferentes, tipo DC figura X1 del Apéndice X “Qualification and Calibration of Ultrasonic Units with Other Approved Reference Blocks” de la AWS D1.1:2000.

Se adjunta en la figura 2 parte de la figura X1 correspondiente al bloque de calibración tipo DC.

FIGURA 2



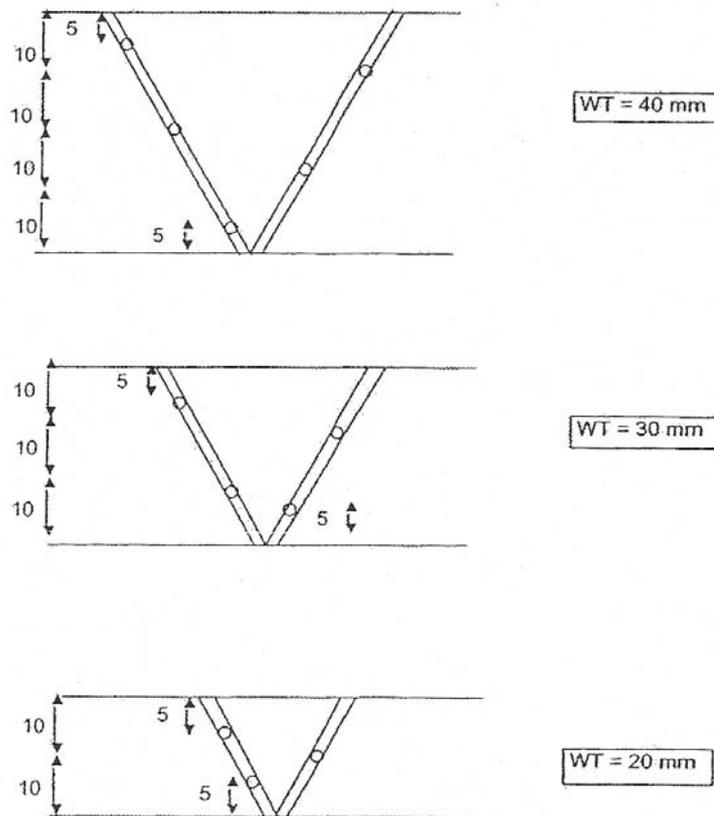
b) Calibración en sensibilidad:

Para la calibración en sensibilidad se utilizará un bloque con el mismo diámetro nominal, schedule, soldadura, tratamiento térmico y especificación de material o número P equivalente del grupo de materiales que se vaya a examinar. Para este objeto los materiales con P-Nº 1, 3, 4 y 5 se consideran equivalentes.

El bloque estará provisto de taladros de  $1,5 \pm 0,1$  milímetro así como reflectores de calibración, longitudinales y circunferenciales en la zona afectada. La localización de los reflectores estará de acuerdo a la figura 3 y serán taladrados a través del espesor del bloque a un ángulo de  $90^\circ$  de la dirección de exploración.

El acabado de la superficie del bloque de calibración será representativo del acabado superficial de los componentes a inspeccionar.

FIGURA 3



#### 4.2. ESTADO SUPERFICIAL:

a) Material base:

El material base a cada lado de la soldadura deberá estar exento de proyecciones, irregularidades superficiales o materiales extraños que puedan interferir con el examen.

b) Soldadura:

La superficie de las soldaduras deberá ser preparada adecuadamente para permitir la realización del examen en toda la profundidad y amplitud necesaria para investigar cualquier indicación detectada. Si es necesario esta preparación se realizará amolando el sobreespesor de la soldadura.

Para explorar las soldaduras austeníticas con palpadores angulares el sobreespesor deberá ser esmerilado sin dejar ninguna irregularidad en la zona de transición al material base. Esto se realizará para permitir la inspección de todo el volumen de soldadura a medio salto.

De manera general todas las superficies por las que tenga que desplazarse el palpador, se encontrarán libres de salpicaduras de soldadura, suciedad, grasa, aceite (otros que los utilizados como acoplante), pintura y escamas desprendibles; teniendo un contorno que permita un íntimo acoplamiento.

#### **4.3. TEMPERATURAS:**

La temperatura del bloque de calibración, durante el proceso de calibración y chequeo, no deberá variar en  $\pm 14^{\circ}$  C de la temperatura de las zonas a examinar de los componentes a inspeccionar.

#### **4.4. CUALIFICACIÓN DEL PERSONAL:**

El personal que realice el examen por ultrasonidos de acuerdo con este procedimiento estará cualificado al menos como Nivel I, de acuerdo con el procedimiento interno aplicable basado en la Recomendación de referencia ASNT-TC-1A de la normativa ASNT.

El personal que supervise el examen, el informe y efectúe la evaluación estará cualificado al menos como Nivel II de acuerdo con el citado procedimiento.

En la figura 4 se muestra un formato tipo para las cualificaciones del personal que realice el examen de soldaduras por ultrasonidos.

FIGURA 4

**CERTIFICADO DE CALIFICACIÓN EN END**

Nombre:	Fecha de Nacimiento:
Método END: Ultrasonidos (UT)	Nivel:
Fecha de Ingreso:	Fecha 1ª Certificación:

**Inicial**                       **Recalificación:**                       Continuidad     Examen

**Estudios:**  
**Experiencia:**

<b>Entrenamiento:</b>	Fecha:
<input type="checkbox"/> Curso <input type="checkbox"/> Autoestudio                      Duración:	Resultado:

<b>Exámenes:</b>				
- Físico:	Realizado por:			
- General/Básico:	Específico/Método:			Práctico/Específico:
Factores de Ponderación:	0,33	0,33	0,33	(ASNT-TC-1A)
Calificación Final:	(ASNT)			
Revisado por:				Fecha:

Otras evidencias de la demostración de la capacidad:  
Observaciones:

De acuerdo con los requisitos establecidos en el Procedimiento: basado en la práctica recomendada nº SNT-TC-1A de la ASNT edición 1996 incluida adenda 2000, se emite el presente certificado:

Fecha de Certificación:	Validez hasta:
Certificado por:	Firma

**4.5. IDENTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS EXAMINADAS DE SOLDADURA:**

## a) Localización de soldaduras:

La localización de las soldaduras y su identificación serán registradas en un mapa de soldadura o en un plan de identificación.

## b) Marcado:

Si las soldaduras necesitan ser marcadas de forma permanente se podrán utilizar estampados de baja tensión y/o marcadores. Las marcas deben realizarse al final del proceso de tensionado de los componentes y su profundidad no debe ser mayor de 3/64 pulgadas (1,2 milímetros).

## c) Sistema de referencia:

En el caso de registrarse indicaciones, cada indicación deberá poder ser localizada e identificada mediante un sistema de puntos de referencia. El sistema deberá permitir identificar la línea central de cada soldadura y designar intervalos regulares (sectores) a lo largo de la soldadura.

La referencia de origen se considerará 0° y la dirección a seguir será según las manecillas de un reloj para la dirección de onda.

**5. REALIZACIÓN****5.1. CALIBRACIÓN:**

Antes de la calibración se comprobará que equipo y palpadores han sido verificados y cumplen los requisitos establecidos en los apartados anteriores. Así como, se debe comprobar que el mando de supresión de ruido del equipo se encuentra en posición de apagado.

**5.1.1. Calibración en distancia:**

## a) Palpador normal:

La base de tiempos del equipo se ajustará, mediante los bloques de calibración indicados en el apartado 4.1.5.a, en un campo, que siendo múltiplo de 25 sea el más próximo superior a dos veces el espesor de la zona de material base a examinar con palpador monocristal y que sea el más próximo superior al espesor en la zona de material base a examinar con palpador bicristal.

La calibración se efectuará mediante al menos dos ecos de la superficie opuesta del bloque de calibración con palpador monocristal y con dos espesores diferentes con palpador bicristal.

Ejemplo 1:

Datos: 15 milímetros de espesor a examinar con palpador bicristal en los bloques 1 y 2 (espesores 25 y 12.5 milímetros) con un campo (barrido de serie lineal) de 25 milímetros.

Proceso: Situar en el primer bloque el eco número 2 (12.5 milímetros) al 50% de la escala total de la base de tiempos y situar en el primer bloque el eco número 1 (12,5 milímetros) en el 100% de la escala total de la base temporal.

Ejemplo 2:

Datos: Espesor a examinar 26 milímetros con un palpador monocristal en el bloque número 1 (espesor 50 milímetros) con un campo (barrido de serie lineal) de 75 milímetros.

Proceso: Situar en el primer bloque el eco número 1 (12,5 milímetros) al 33,33% de la escala total de la base de tiempos y situar en el segundo bloque el eco en el 66%.

b) Palpador angular:

- Inspección en tubería (ASME B31.3):

La base de tiempos del equipo se ajustará, con sonidos real, será realizada con las piezas maestras indicadas en el punto 4.1.5.a., en un campo con suficiente amplitud que permita la calibración en sensibilidad indicada en el apartado 5.1.2 y examine el volumen total indicado en las figuras de la 5 a la 9.

FIGURA 5

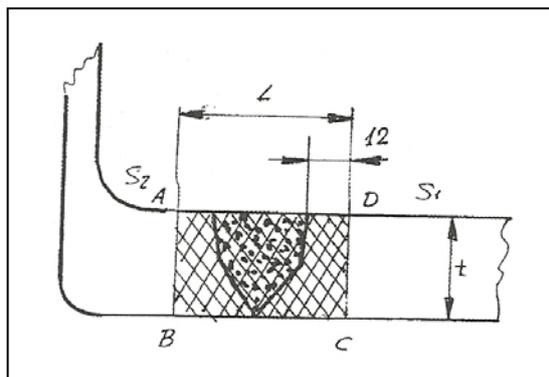


FIGURA 6

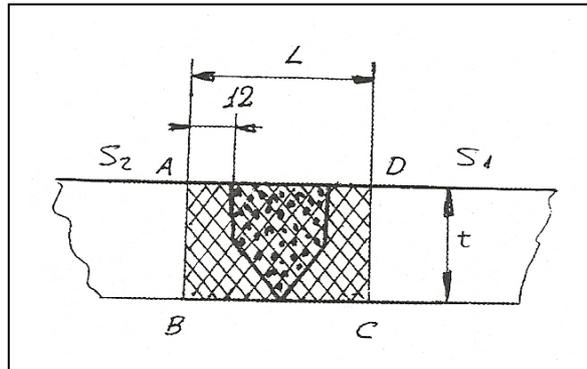


FIGURA 7

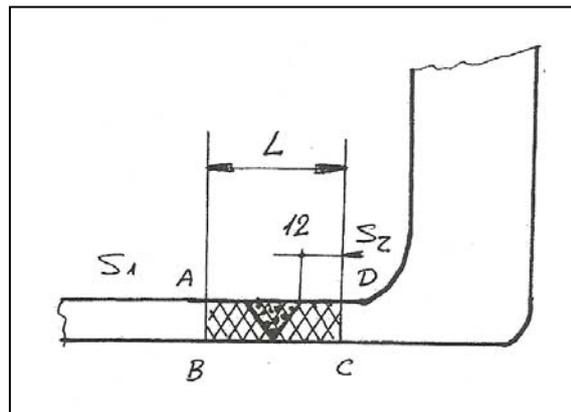
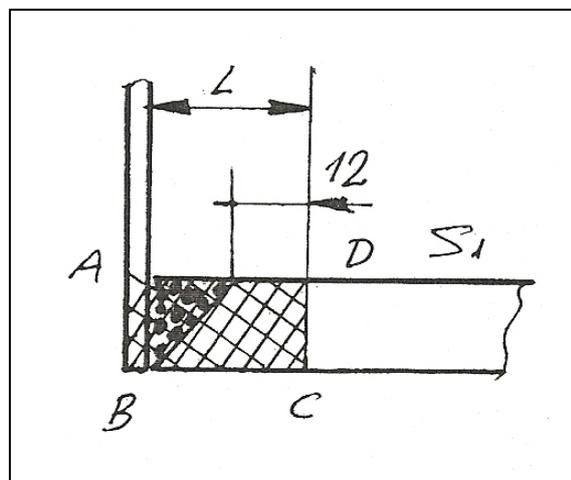
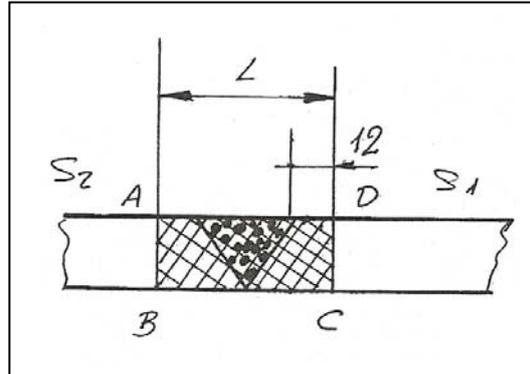


FIGURA 8



**FIGURA 9**



EXPLORACIONES						
FIGURAS	Volumen de examen	Superficie de examen	Palpadores			Calibración en sensibilidad
			Tipo	Angulo	Onda	
5 a 9	Dirección angular de onda	S1 y S2	Normal	0°	L	5.1.2.a.1
	ABCD	S1 y S2	Normal	0°	L	5.1.2.a.2
	ABCD	S1 y S2	Angular	45° 60° 70°	T y L	5.1.2.b

- Inspección en estructura (AWS D1.1):

La base de tiempos del equipo se ajustará, mediante los bloques de calibración indicados en el punto 4.1.5.a, en un campo, que siendo múltiplo de 25 sea lo más próximo superior al máximo recorrido real necesario para efectuar el examen al 100% de la soldadura y zona afectada térmicamente.

Estos recorridos, en secciones de geometría plana serán, en función del espesor de soldadura (e), ángulo de palpador utilizado y tipo de exploración ½ salto, 1 salto o 1 ½ salto, según se establece en el punto 5.2.3 los siguientes:

<u>Ángulo del palpador</u>	<u>Exploración</u>	<u>Recorrido real mínimo</u>
45°	½ salto	e x 1.47
	1 salto	e x 2.94
	1 ½ salto	e x 4.4
60°	½ salto	e x 2.13
	1 salto	e x 4.26
	1 ½ salto	e x 6.4
70°	½ salto	e x 3.24
	1 salto	e x 6.48
	1 ½ salto	e x 9.71

En aquellos casos que por la configuración geométrica no sean aplicables los recorridos indicados, estos serán determinados en función de las condiciones específicas, de forma que se asegure la exploración al 100% del volumen a examinar.

La calibración se efectuará al menos, mediante dos ecos de la superficie curva del bloque patrón, en la dirección del radio.

En ningún caso se utilizarán reflectores de esquina para la calibración.

### 5.1.2 Calibración en sensibilidad:

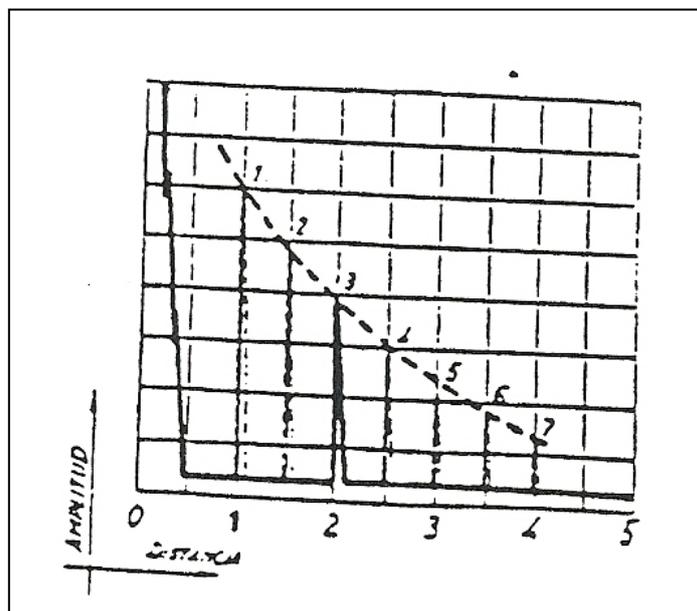
#### a) Palpador normal:

- Inspección en tubería (ASME B31.3):
  - o Exploración del material base en la dirección de onda:

La calibración en sensibilidad con un palpador normal se realizará sobre los bloques de calibración indicados en el apartado 4.1.5.b) o sobre una zona de material base examinada anteriormente de la siguiente manera:

- Obtener el primer eco y maximizar su altura en la pantalla.
- Sin variar la posición del palpador, situar el punto del eco al  $80\% \pm 5\%$  de altura en la pantalla con el control de sensibilidad de la ganancia y dibujar la figura en decibelios (Figura 10) (Curva CAD – Curva de Amplitud / Distancia).

FIGURA 10



- Exploración de la soldadura y del zona afectada térmicamente:

Se procederá como en el apartado b.

- Inspección en estructura (AWS D1.1):

Acoplar el palpador en una zona sana del material base a examinar y ajustar, con el mando de ganancia, la indicación maximizada de la primera reflexión de la superficie opuesta al 50 a 75% de altura de pantalla.

Marcar esta altura sobre la pantalla del equipo, la cual, juntamente con los decibelios necesarios para su obtención, constituye el nivel de referencia.

b) Palpador angular:

- Inspección en tubería (ASME B31.3):

Para la calibración en sensibilidad y la obtención de la curva CAD con cuatro puntos, los valores más representativos para el espesor total serán los taladros y agujeros existentes en los bloques de calibración indicados en el punto 4.1.5.b) y se procederá como sigue:

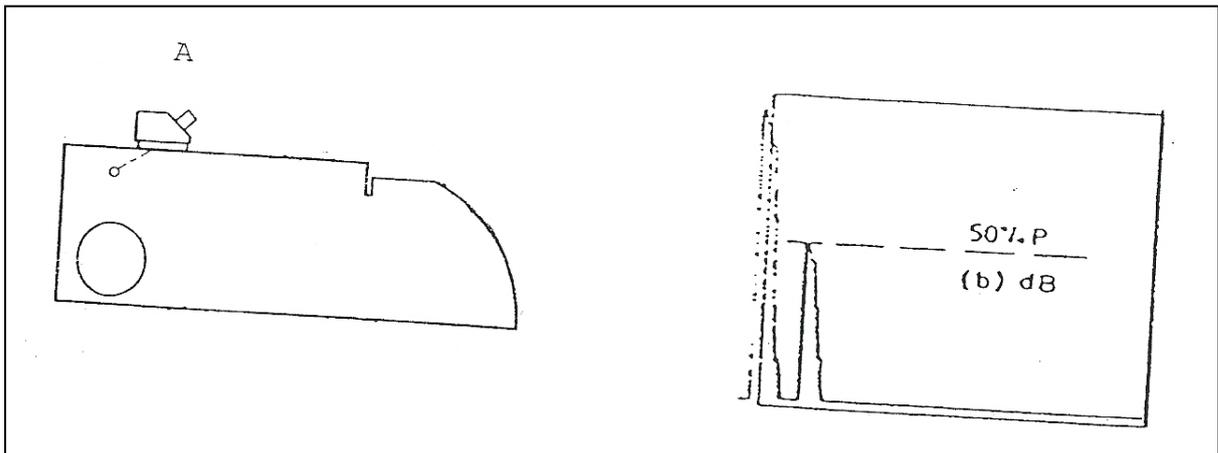
- Para la inspección axial, se utilizarán los taladros radiales; para la inspección circunferencial se utilizarán los taladros axiales.
- Mover el palpador angular a la máxima amplitud del taladro en la pantalla y una vez sea máximo, sin mover el palpador, situar al 80% de altura de la pantalla. Marcar este punto en la pantalla y dibujar la curva CAD en decibelios.
- Sin ajustar la el control de sensibilidad de ganancia, obtener la máxima altura en la pantalla utilizando otro taladro y marcar el punto en la pantalla.
- Repetir el mismo paso para todos los taladros restantes.
- Juntar los puntos marcados en la pantalla según el orden de marcado para obtener la curva CAD de referencia.

- Inspección en estructura (AWS D1.1):

Acoplar el palpador en la posición “A” sobre el bloque de calibración V1 (figura 11) y ajustar, con el mando de ganancia, la indicación maximizada del taladro de 1,5 mm de diámetro al 50 % de altura de pantalla.

Esta altura, juntamente con los decibelios necesarios para obtener (b), constituye el “nivel de referencia”, el cual será utilizado para la estimación de defectos.

FIGURA 11



### 5.1.3 Frecuencia de calibración:

La calibración en distancia y sensibilidad será realizada, por el operador, justo antes del examen de cada soldadura y cuando se cambie el tipo de material o su espesor.

El equipo será recalibrado después de un cambio de operador, cada intervalo de tiempo máximo de 30 minutos o cuando el circuito eléctrico se haya perturbado de cualquier manera, las cuales incluyen las siguientes:

- Cambio de palpador.
- Cambio de batería.
- Cambio de salida eléctrica.
- Cambio de cable coaxial.
- Fallo o variación de la energía.
- Cuando se sospeche que no está bien calibrado.

Estas recalibraciones deberán realizarse al final sobre uno de los reflectores del bloque de calibración.

En el caso de que algún punto de la curva CAD disminuya más del 20% o 2 decibelios, todas las inspecciones realizadas desde esta recalibración o previa a la calibración se considerarán nulas, debiéndose repetir con una nueva calibración.

Si el punto de la curva CAD se incrementa más del 20% o 2 decibelios de las indicaciones registrada desde la recalibración o previo a esta calibración se deberá cancelar, reexaminar y registrar de acuerdo a esta nueva calibración.

Si un punto de la curva CAD varía más del 10% de la línea base de tiempo, la calibración se deberá corregir. En el caso de aparecer alguna indicación durante el registro de la calibración, esta deberá ser cancelada y el registro se deberá repetir después de reexaminar con una nueva calibración.

## **5.2. INSPECCIÓN:**

### **5.2.1 General:**

La velocidad de movimiento del palpador no deberá ser superior a 150 mm/seg.

Cada pasada del palpador deberá desplazarse fuera del área a examinar como mínimo un 10% de la dimensión de la parte activa del elemento perpendicular a la dirección de escaneo.

La exploración se realizará con el doble de nivel de ganancia del nivel de referencia (+6decibelios).

Antes del examen con haz angular, todo el material base a través del cual se desplazará el haz angular, será examinado con palpador normal calibrado según lo indicado anteriormente, para la detección de reflectores laminares.

Si algún área del material base muestra una pérdida total de eco de fondo o una indicación igual o mayor que la altura del nivel de referencia, localizada en una posición que pueda interferir con el procedimiento normal de examen con haz angular, será dimensionada, localizada y determinada su profundidad desde la cara de examen, a fin de determinar una exploración alternativa para el examen con haz angular. Estas zonas serán registradas en el informe del examen por ultrasonidos.

### **5.2.2. Inspección con haz angular:**

- Inspección en tubería (ASME B31.3):

El volumen a examinar corresponderá a la soldadura más 12 milímetros por cada lado.

El tipo de palpador, los ángulos y ondas serán los establecidos en el apartado 5.1.1.b.

El examen se realizará en dos direcciones que permitan detectar la reflexiones con dirección paralela o transversal a la soldadura, y con dos sentidos por cada dirección cuando sea posible.

Las inspecciones con onda de ángulo OL en las soldaduras austeníticas se realizará de forma directa, pasando el palpador sobre la amplitud de la soldadura.

Preferiblemente se utilizará la máxima dimensión del palpador como se indica en el apartado 4.1.2., siempre y cuando sea compatible con el buen acoplamiento y permita chequear todo el volumen de la soldadura.

- a) Exploración paralela a la soldadura por detección de reflexión con orientación transversal a la soldadura.

La inspección se realizará en las dos caras sobre el eje de la soldadura, en dos direcciones opuestas, con la onda pasando sobre el volumen completo a examinar.

En el caso de que la superficie axial no esté amolada o muestre irregularidades, el examen podrá realizarse moviendo el palpador paralelo al eje axial de la soldadura en las dos caras con una inclinación entre 0° y 20° del eje axial de la soldadura.

- b) Exploración perpendicular a la soldadura por detección de reflexión con orientación paralela a la soldadura.

El ángulo de la onda deberá estar dirigido aproximadamente en ángulos rectos al eje de la soldadura desde las dos direcciones que sea posible.

- Inspección en estructura (AWS D1.1):

Las soldaduras en esquina y en T serán examinadas, primeramente, desde un solo lado del cordón.

El examen se realizará a tiro directo (1/2 salto), cubriendo el volumen total de la soldadura y la zona afectada térmicamente, o entre el ½ salto y 1 salto cuando a tiro directo alguna zona resulte inaccesible.

Un máximo de 1 ½ salto será utilizado, solamente, cuando debido al espesor o geometría no se consiga la exploración completa del área de soldadura y zona afectada a ½ salto o 1 salto.

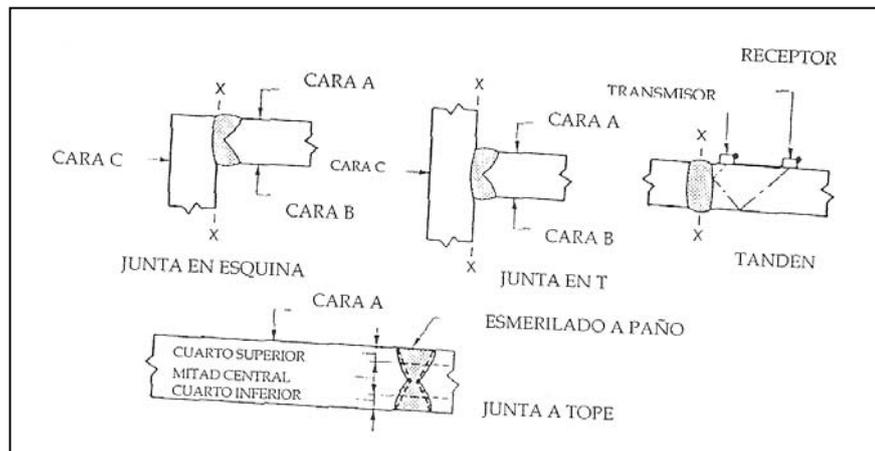
Cuando sea necesario, para permitir el examen completo de la zona de raíz, se esmerilará el sobreespesor.

En soldaduras a tracción de estructuras sometidas a cargas dinámicas, el cuarto superior del espesor de la soldadura será examinada a 1/2 salto desde la superficie opuesta, y el cuarto inferior a 1/2 salto desde la otra superficie. En caso en que sea autorizado por el propietario, el cuarto superior del espesor podrá ser examinado a 1 salto desde la superficie más próxima.

La selección de los ángulos a emplear y superficie de exploración se seleccionarán de acuerdo a la Tabla 1.

TABLA 1

Procedimiento										
Espesor de material en mm										
Tipo de soldadura	8 a 38	≥38 a 45	≥45 a 60	≥60 a 90	≥90 a 110	≥110 a 130	≥130 a 160	≥160 a 180	≥180 a 200	
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A tope	1 0	1 F	IG F 4	IG F 5	6 F 7	8 F 10	9 F 11	12 F 13	12 F	F
T	1 0	1 F XF	4 F XF	5 F XF	7 F XF	10 F XF	11 F XF	13 F XF	—	—
En esquina	1 0	1 F XF	IG F 4 XF	IG F 5 XF	6 F 7 XF	8 F 10 XF	9 F 11 XF	13 F 14 XF	—	—
Electrogas & Electroescoria	1 0	1 0	IG 4	IG P1 3 P3	6 7	11 P3 15	11 P3 15	11 P3 15	11 P3 15**	11 P3 15**



- X - Chequeo desde la cara "C"
- G - Esmerilado de la soldadura a paño
- O - No requerido
- Cara A - La superficie del material desde la cual se realizará la exploración inicial
- Cara B - La superficie opuesta a la "A" (de la misma chapa)
- Cara C - La superficie opuesta a la parte soldada
- \* - Las columnas marcadas con asteriscos en la Tabla 1 serán las exploraciones que deben realizarse cuando se ha detectado una indicación en la zona de fusión en la exploración realizada según la primera columna.
- \*\* - Estos apartados necesitan una calibración en distancia de 380 mm. o 510 mm.
- P - Sistema "tanden" emisor-receptor, para el examen de la mitad central de la unión con 45° ó 70°, siempre con dos palpadores de iguales características y realizando el ajuste como si de un solo palpador se tratase.
- F - Indicaciones que aparezcan en la interfase de la soldadura-material base, serán evaluadas con 70°, 60° ó 45°, el que sea más perpendicular a la superficie de fusión esperada.

Zona del espesor de soldadura

Proced. N°	Cuarto Superior	Mitad Central	Cuarto Inferior
1	70°	70°	70°
2	60°	60°	60°
3	45°	45°	45°
4	60°	70°	70°
5	45°	70°	70°
6	70°G A	70°	60°
7	60° B	70°	60°
8	70°G A	60°	60°
9	70°G A	60°	45°
10	60° B	60°	60°
11	45° B	70°**	45°
12	70°G A	45°	70°G B
13	45° B	45°	45°
14	70° G A	45°	45°
15	70° G A	70° A B	70° G B

Si parte de una soldadura es inaccesible al examen, de acuerdo con lo establecido en la Tabla 1, debido a las zonas registradas con indicaciones de tipo laminar según el examen previo, será realizado utilizando uno o más de los procedimientos alternativos siguientes, a fin de conseguir una exploración al 100% de la soldadura:

- Esmerilado de la superficie de la soldadura.
- Examen desde las caras A y B (figura Tabla 1).
- Utilizando otro palpador de distinto ángulo.

Cuando en espesores pequeños, con las exploraciones indicadas, no sea posible cubrir todo el volumen a examinar, se podrán utilizar, previa autorización de la ingeniería, los siguientes palpadores:

- Para el examen previo: normales monocristales o bicristales de 10 milímetros de diámetro y 4 MHz de frecuencia.
- Examen con haz angular: angulares pequeños de ondas transversales, monocristales o bicristales de 4MHz de frecuencia.

En este caso, para determinar el factor de atenuación C, se sustituirá el valor 2 de la expresión indicada más adelante por el valor 3.

La exploración se realizará aumentando, sobre el nivel de referencia (b) establecido al calibrar en sensibilidad, el número de decibelios indicados a continuación, en función del tipo de estructura:

	Distancia de calibración de recorrido real del sonido (mm)	Decibelios por encima nivel de referencia (b)
	Est. C. cargas estáticas	Est. C. cargas dinámicas
Hasta 64	14	20
De 64 a 127	19	25
De 127 a 254	29	35
De 254 a 381	39	45

Cuando una indicación de discontinuidad aparezca sobre la pantalla, la máxima indicación obtenida de la discontinuidad será elevada, con el mando de ganancia, a la misma altura de pantalla a la que se obtuvo el nivel de referencia (50%). (nivel de indicación (a))

El factor de atenuación (c) representa el sistema de corrección de la amplitud con la distancia del recorrido real del sonido a la discontinuidad, obteniéndose de acuerdo con la siguiente expresión:

$$c = 2 \times \frac{\text{recorrido real (mm)} - 25,4}{25,4}$$

Este factor será redondeado al valor de decibelios entero más próximo. Valores fraccionados menores que ½ decibelio serán reducidos al nivel de decibelios inferior y aquellos de ½ o mayor, incrementados al nivel más alto.

La estimación de la indicación (d) representa la diferencia algebraica en decibelios entre el nivel de indicación (a) y el nivel de referencia (b) con la corrección por atenuación (c), como se indica en la siguiente expresión:

$$d = a - b - c$$

## 6. DISCONTINUIDADES

Las siguientes discontinuidades pueden ser detectadas por examen de soldaduras por ultrasonidos:

- Grietas: Se atenderá a su disposición respecto el cordón (longitud, transversal u oblicua) su localización (en cruces, en zona de transición, en principio o final de cordón, etc.) y a su aspecto (recto, quebrado o estrellado). En general la presencia de grietas hace rechazable el cordón.

La causa de la aparición de grietas es la existencia de tensiones en frío o en caliente y la incapacidad del material para soportarlas, para establecer su origen se atenderá a:

- o Idoneidad de los materiales base y de aporte.
- o Velocidad del proceso.
- o Temperatura y parámetros que la regulan.
- o Velocidad de enfriamiento.
- o Idoneidad del tratamiento térmico posterior, si se requiere
- o Diseño de la unión.

Las grietas se pueden diferenciar según su disposición en la soldadura y forma en las siguientes:

- o Grieta longitudinal: Grieta aproximadamente paralela al eje de la soldadura que pueden estar situadas en el metal de soldadura, en la línea de fusión, en la zona afectada térmicamente y en el material base.
- o Grietas transversales: Grietas sensiblemente perpendiculares al eje de la soldadura y que pueden situarse en el metal de soldadura, en la zona afectada térmicamente y en el metal base.

- Grietas radiales: Grietas radiales cuyo origen es un punto común y pueden situarse en el metal de soldadura, en la zona afectada térmicamente y en el metal base. A las grietas de este tipo de pequeño diámetro se las conoce como grietas de estrella.
- Cavidades: Por examen radiográfico de soldaduras se pueden identificar los siguientes tipos de cavidades:
  - Poro: Sopladura de forma sensiblemente esférica.
  - Sopladuras uniformemente distribuidas: Sopladura distribuida regularmente en toda la extensión del metal de soldadura. Se diferencian de las sopladuras alineadas.
  - Sopladuras alineadas: Grupo de sopladuras.
  - Sopladuras alineadas: Sopladuras distribuidas paralelamente al eje de la soldadura.
  - Sopladura alargada: Sopladura grande no esferoide, cuya dimensión principal es paralela al eje de la soldadura.
  - Sopladura vermicular: Sopladura tubular producida por el escape de gas. La forma y posición de las sopladuras vermiculares está determinada por el modo de solidificación y origen del gas. Generalmente se encuentran agrupadas y distribuidas en forma de espina de pescado.
  - Rechupe: Cavity debida a la contracción del metal durante la solidificación.
  - Rechupe interdendrítico: Cavity de forma alargada que se produce entre dendritas durante el enfriamiento y que puede contener gas atrapado. Esta imperfección es, generalmente perpendicular a la soldadura.
  - Rechupe de cráter: Cavity (o depresión) producida en un final de cordón y no eliminada antes o durante la ejecución de la pasada siguiente.
- Inclusiones: Por examen radiográfico de soldaduras se pueden identificar los siguientes tipos de inclusiones:
  - Inclusión sólida: Cuerpo sólido extraño atrapado en el material de soldadura.
  - Inclusión de escoria: Escoria atrapada en el material de soldadura. Dependiendo de las circunstancias de su formación pueden ser alineadas, asiladas u otras.
  - Inclusión de fundente: Fundente atrapado en el metal de soldadura. Dependiendo de los casos pueden ser alineadas, asiladas u otras.
  - Inclusión de óxido: Óxido metálico atrapado en el metal de soldadura durante la solidificación.
  - Capa rugosa de óxido: Capa rugosa de óxidos metálicos formados en algunos casos, especialmente en las aleaciones de aluminio, por falta de protección y atrapados en forma estratificada debido a la turbulencia del baño de fusión.

- Inclusión metálica: Partícula de metal extraña atrapada en el metal de soldadura puede ser volframio, cobre u otro metal.
- Falta de fusión: Falta de unión entre el metal depositado y el metal base, o entre dos zonas continuas de metal de soldadura. Hay que distinguir entre:
  - Falta de fusión afectando a los bordes a unir.
  - Falta de fusión entre pasadas.
  - Falta de fusión en la raíz de la soldadura.
- Falta de penetración: Ausencia parcial de fusión de los bordes, que da lugar a una discontinuidad entre los mismos.
- Contracción de la raíz: Falta de metal en los bordes laterales de la raíz provocada por contracción del metal de soldadura.
- Exceso de penetración: Exceso de metal depositado en la raíz de una soldadura ejecutada por un solo lado de una o en varias pasadas.
- Descolgadura: Exceso de penetración puntual.
- Perforación: Hundimiento del baño de fusión que da lugar a un agujero en la soldadura o en un lateral de la misma.
- Rechupe de raíz: Falta de espesor en la raíz de soldadura, debido a una contracción del metal fundido.
- Quemado: Formación esponjosa en la raíz de una soldadura debido a la ebullición del metal fundido.

## **7. EVALUACIÓN DE LAS INDICACIONES**

Todas las discontinuidades que produzcan un alcance mayor del 20% del nivel de referencia serán investigadas por el operador con el propósito de determinar la forma, la identidad y la localización de tales discontinuidades para realizar la evaluación de las mismas de acuerdo a los criterios de aceptación del apartado 8 “Criterios de aceptación”.

- Examen con palpador normal:

- o Discontinuidades mayores a las dimensiones del palpador:

Los bordes de la discontinuidad serán determinados por la línea central del palpador en aquellos puntos en que la amplitud de la indicación decaiga al 50% (6 decibelios).

- o Discontinuidades menores que las dimensiones del palpador:

La evaluación aproximada del tamaño de estos reflectores será la determinada por el borde interno del palpador, en aquellos puntos en que la indicación inicie su aparición en la pantalla del equipo.

- Examen con haz angular:

La longitud de los defectos será determinada por la medida entre los ejes del palpador en los extremos de la indicación en que la amplitud decae al 50% (6 decibelios) por debajo de la amplitud máxima.

## **8. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN**

- Inspección en tubería (ASME B31.3):

La evaluación de los defectos encontrados será efectuada de acuerdo con los criterios establecidos en el apartado 344.6.2 “Acceptance Criteria” del Capítulo VI del Código ASME B31.3:2002.

Serán inaceptables todas las discontinuidades que se interpreten como grietas, faltas de fusión o falta de fusión, independientemente de su longitud o extensión.

Las discontinuidades lineales serán inaceptables si la amplitud de la indicación excede el nivel de referencia y su longitud excede:

- a) 6 mm (1/4 pulgada) para un espesor (t)  $\leq$  19 mm (3/4 pulgada)
- b) 1/3 del espesor para espesores entre 19 y 57 milímetros (2 ¼ pulgadas) (19 mm < t  $\leq$  57 mm)
- c) 19 milímetros para espesores mayores de 57 milímetros

- Inspección en estructura (AWS D1.1):

La evaluación de los defectos encontrados será efectuada de acuerdo con los criterios establecidos en el apartado 6.13.2 "Acceptance Criteria for Cyclically Loaded Nontubular Connections" del Capítulo 6 del Código AWS D1.1:2000.

Las soldaduras sometidas a cargas cíclicas serán evaluadas según los criterios de aceptación de la figura 12.

FIGURA 12

Tabla 6.3  
Ultrasonic Acceptance-Rejection Criteria (Cyclically Loaded Nontubular Connections)  
(see 6.13.2)

Discontinuity Severity Class	Weld Thickness* in in. (mm) and Search Unit Angle												
	5/16 (8) through 3/4 (20)		3/4 (20) through 1-1/2 (38)			1-1/2 (38) through 2-1/2 (65)			2-1/2 (65) through 4 (100)			4 (100) through 8 (200)	
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°		
Class A	+10 & lower	+8 & lower	+4 & lower	+7 & lower	+9 & lower	+1 & lower	+4 & lower	+6 & lower	-2 & lower	+1 & lower	+3 & lower		
Class B	+11	+9	+5 +6	+8 +9	+10 +11	+2 +3	+5 +6	+7 +8	-1 0	+2 +3	+4 +5		
Class C	+12	+10	+7 +8	+10 +11	+12 +13	+4 +5	+7 +8	+9 +10	+1 +2	+4 +5	+6 +7		
Class D	+13 & up	+11 & up	+9 & up	+12 & up	+14 & up	+6 & up	+9 & up	+11 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up		

Notes:

- Class B and C discontinuities shall be separated by at least 2L, L being the length of the longer discontinuity, except that when two or more such discontinuities are not separated by at least 2L, but the combined length of discontinuities and their separation distance is equal to or less than the maximum allowable length under the provisions of Class B or C, the discontinuity shall be considered a single acceptable discontinuity.
- Class B and C discontinuities shall not begin at a distance less than 2L from weld ends carrying primary tensile stress, L being the discontinuity length.
- Discontinuities detected at "scanning level" in the root face area of complete joint penetration double groove weld joints shall be evaluated using an indicating rating 4 dB more sensitive than described in 6.26.6.5 when such welds are designated as "tension welds" on the drawing (subtract 4 dB from the indication rating "d").
- For indications that remain on the display as the search unit is moved, refer to 6.13.2.1.

\*Weld thickness shall be defined as the nominal thickness of the thinner of the two parts being joined.

- Class A (large discontinuities)**  
Any indication in this category shall be rejected (regardless of length).
- Class B (medium discontinuities)**  
Any indication in this category having a length greater than 3/4 inch (20 mm) shall be rejected.
- Class C (small discontinuities)**  
Any indication in this category having a length greater than 2 in. (50 mm) in the middle half or 3/4 inch (20 mm) length in the top or bottom quarter of weld thickness shall be rejected.
- Class D (minor discontinuities)**  
Any indication in this category shall be accepted regardless of length or location in the weld.

Scanning Levels	
Sound path** in in. (mm)	Above Zero Reference, dB
through 2-1/2 (65 mm)	20
> 2-1/2 through 5 (65-125 mm)	25
> 5 through 10 (125-250 mm)	35
> 10 through 15 (250-380 mm)	45

\*\*This column refers to sound path distance; NOT material thickness.

**9. INFORME FINAL**

Una vez realizado el examen, se elaborará el correspondiente informe, indicando en la primera hoja, al menos la siguiente información:

- Nombre y dirección del laboratorio de ensayo, así como lugar de realización del ensayo cuando sea diferentes de la dirección del laboratorio.
- Nombre y dirección del peticionario (cliente).
- Identificación única del informe, así como el número total de páginas (registros).
- Firma y nombre del coordinador técnico responsable de los trabajos.
- Indicación de que el informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo.

Con la primera hoja anterior se incluirán los registros correspondientes según formato adjunto en la figura 13, indicando en cada hoja el número de informe, fecha y numeración correlativa para cada hoja y, como mínimo la siguiente información:

- Referencia del componente/s examinado/s y soldadura.
- Referencia del procedimiento de examen.
- Tipo de equipo, palpador y acoplante.
- Bloque de calibración.
- Palpador utilizado, ángulo, frecuencia, dimensiones e identificación.
- Tipo y fecha de calibración.
- Estado superficial.
- Examen inicial o después de reparar (indicando el número de orden de la reparación).
- Evaluación.
- Datos correspondientes al registro de indicaciones: posición, dimensiones y evaluación.

- Fecha de examen.
- Nombre, nivel de certificación y firma del personal que realiza el examen.
- Condiciones que puedan establecer limitaciones en el examen.

Un formato de informe valido se recoge en la figura 13.

**FIGURA 13**

**ULTRASONIC EXAMINATION OF WELD  
(EXAMEN ULTRASÓNICO DE SOLDADURA)**

REPORT N°: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_ Page: \_\_\_\_\_ Of: \_\_\_\_\_  
 INFORME N° \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_ Página \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

**1. GENERAL**  
 CUSTOMER: \_\_\_\_\_ SITE: \_\_\_\_\_  
 PETICIONARIO \_\_\_\_\_ OBRA \_\_\_\_\_  
 SYSTEM: \_\_\_\_\_ ITEM: \_\_\_\_\_ WELD: \_\_\_\_\_  
 SISTEMA \_\_\_\_\_ COMPONENTE \_\_\_\_\_ SOLDADURA/S \_\_\_\_\_  
 DRAWING: \_\_\_\_\_ MATERIAL: \_\_\_\_\_ OUTER  $\phi$  \_\_\_\_\_ THICKNESS: \_\_\_\_\_  
 PLANO \_\_\_\_\_  $\phi$  ext \_\_\_\_\_ ESPESOR \_\_\_\_\_

**2. EXAMINATION MATERIAL/ MATERIAL DE EXAMEN**  
 INSTRUMENT: \_\_\_\_\_ SERIAL N°: \_\_\_\_\_ COUPLANT: \_\_\_\_\_  
 EQUIPO \_\_\_\_\_ N° DE SERIE \_\_\_\_\_ ACOPLANTE \_\_\_\_\_  
 SEARCH UNITS: \_\_\_\_\_  
 PALPADORES \_\_\_\_\_  
 1- REF: \_\_\_\_\_ TYPE: \_\_\_\_\_ DIMENS: \_\_\_\_\_ FREQUENCY: \_\_\_\_\_ MHZ REAL ANG: °  
 2- REF: \_\_\_\_\_ TYPE: \_\_\_\_\_ DIMENS: \_\_\_\_\_ FREQUENCY: \_\_\_\_\_ MHZ REAL ANG: °  
 TIPO \_\_\_\_\_ DIMENSIONES \_\_\_\_\_ FRECUENCIA \_\_\_\_\_ ANGULO REAL DEL HAZ \_\_\_\_\_  
 CALIBRATION BLOCK: \_\_\_\_\_  
 BLOQUE DE CALIBRACIÓN \_\_\_\_\_  
 IDENTIFICATION: \_\_\_\_\_ MATERIAL: \_\_\_\_\_ DIMENSIONS: \_\_\_\_\_ DRILLED HOLES: \_\_\_\_\_ NOTCHES: \_\_\_\_\_  
 IDENTIFICACIÓN \_\_\_\_\_ DIMENSIONES: \_\_\_\_\_ TALADROS \_\_\_\_\_ mm  $\phi$ . ENTALLAS (mm) \_\_\_\_\_

**3. CALIBRATION / CALIBRACIÓN**

Probe ref. Palpador	Range (mm) Campo	Scan. Surface Superficie. Exploración	Reflector Refl. Calibración	Sound path (mm) Posición eco pant. (divisiones/mm RR)	Level (screen %) Nivel Ref. H.% Pantalla	Gain(dB) Amplif	Gain selector Pos. Mando potencia
1							
2							

**4. EXAMINATION DATA**  
 DATOS DEL EXAMEN  INITIAL INICIAL  AFTER REPAIRING DESPUES DE REPARAR

**SURFACE CONDITIONING:**  Grinding irregularities /Esmerilada aguas  
 Grinding flush/ Esmerilado total  
 As welded /Como soldada

ESTADO DE LA SUPERFICIE

**SPECIFICATION: ASME V Art. 5**  
 ESPECIFICACIÓN

**SCANNING SURFACES ARRANGEMENT**  
 DISPOSICIÓN DE LAS SUPERFICIES DE EXPLORACIÓN

**QUALITY LEVEL: NIVEL DE CALIDAD DEL EXAMEN**  A  B  C  D

Haz Normal  Straight beam   W SOLD.  BM MAT. BASE

Scanning Exploración  //   $\perp$

Search unit Palpad. Scan.surface Superf. \_\_\_\_\_

d) SEE ATTACHED SKETCH / ver croquis adjunto

a)  b)  c)

**5. RESULTS**  NO RECORDABLE INDICATIONS SIN INDICACIONES REGISTRABLES  WITH RECORDABLE INDICATIONS CON INDICACIONES REGISTRABLES

**SPECIFICATION: ESPECIFICACIÓN** Q. LEVEL:  B  C  D  
 NIVEL DE CALIDAD  2  3

Indication n° Idicación n°	Search unit Palpador	Scanning surface Sup. exploración	Gain correction (dB) Correc. Transfer	Sc. high Amplitud Max. %NR	Sound path(mm) Recor. real	Depth(mm) Prof. desde superficie explor.	Length Longitud (mm)	XY position Coordenadas discontinuidad				Evaluation Evaluación (*)	Drawing Croquis N°
								X		Y			
								X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>		

ORIGIN COORDINATES/ORIGEN DE COORDENADAS X: \_\_\_\_\_ Y: \_\_\_\_\_ \*Evaluation/Evaluación A: Acceptable N: Non Acceptable

**REMARKS**  
OBSERVACIONES

**SUPERVISOR** \_\_\_\_\_ **DATE OF THE EXAMINATION** \_\_\_\_\_ **OPERATOR** \_\_\_\_\_  
 Sign: /Firmado \_\_\_\_\_ FECHA DE EXAME \_\_\_\_\_ OPERADOR \_\_\_\_\_  
 Level : \_\_\_\_\_ Signature/Firmado: \_\_\_\_\_  
 Nivel \_\_\_\_\_ Nivel \_\_\_\_\_

## **10. DOCUMENTACIÓN**

Se llevará un control diario de soldaduras mediante un Informe diario de soldadura donde se reflejarán las uniones realizadas, los ensayos no destructivos realizados y el resultado de estos. En la figura 14 se muestra el formato a emplear.



## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.5: PROCEDIMIENTO DE EXAMEN DE SOLDADURAS POR ULTRASONIDOS

---

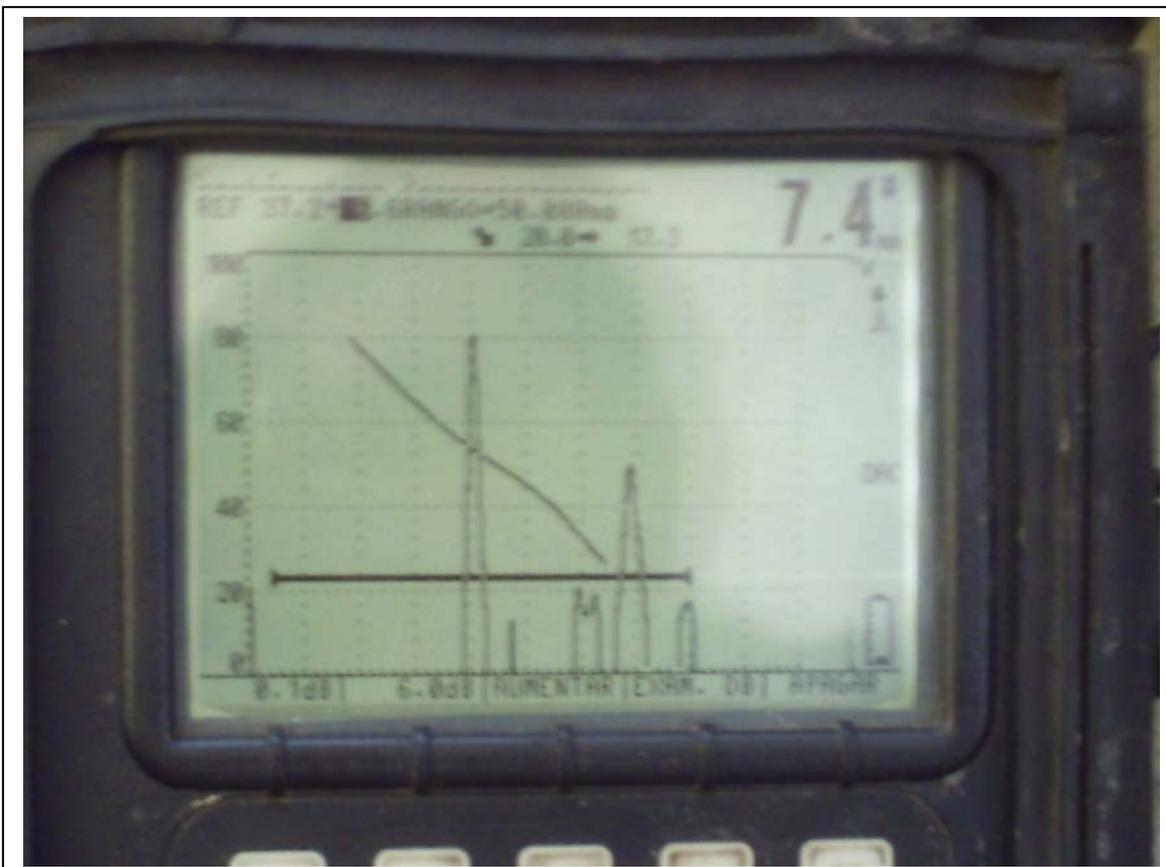
#### DATOS OBTENIDOS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO:

Durante el proceso de construcción del proyecto, de la defectología con posibilidad de producirse y de identificarse durante la realización del examen de soldaduras por ultrasonidos, se recogieron en su gran mayoría indicaciones por inclusiones de escoria.

Este defecto tiene su origen en la limpieza inadecuada de las superficies a soldar durante el proceso de soldeo y la mayoría de los casos se produce entre pasadas de soldadura.

Para evitar la repetición de estos defectos se instó a los soldadores a que limpiaran adecuadamente las superficies a soldar entre las pasadas durante el proceso de soldeo de las tuberías de gran diámetro. Se reforzó la circunstancia de que emplearan todo el tiempo necesario para realizar el soldeo de las uniones no siendo necesaria la urgencia ni la prisa para realizar los trabajos.

A continuación se muestran unas fotos de los resultados de un examen por ultrasonidos en la que se ha identificado la existencia de escoria.



## PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

### CAPITULO 2.5: PROCEDIMIENTO DE EXAMEN DE SOLDADURAS POR ULTRASONIDOS

---

La reparación de este tipo de defecto se realizaba mediante amolado de la soldadura hasta eliminar la zona afectada y recargando mediante la misma técnicas de soldadura el área eliminada.

Se ha de tener en cuenta que en las soldaduras de gran diámetro se recargaba con electrodo siempre y cuando al sanear no se hubiera llegado a la soldadura. En el caso de que se eliminara la raíz se tenían que aplicar las técnicas adecuadas de soldeo siguiendo todas las instrucciones de purga y protección.

Una vez realizada la reparación se debía repetir el examen por ultrasonidos de la zona afectada para comprobar la correcta eliminación del defecto y la no aparición de nuevas indicaciones.

# PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

## CAPITULO 2.6: PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE DUREZAS EN SOLDADURAS Y MATERIAL BASE

---

### **Capítulo 2.6. Procedimiento de medición de durezas en soldaduras y material base:**

En este capítulo se describe el procedimiento de medición de durezas en soldaduras y material base, incluyendo las normativas de aplicación, las inspecciones a realizar, los defectos que se pueden encontrar durante la inspección, la cualificación del personal que realiza las inspecciones y los métodos de registro y seguimiento de las inspecciones realizadas.

Durante la ejecución del proyecto no se produjeron mediciones con resultado no aceptable. En el caso de haberse producido un resultado de este tipo la soldadura hubiera sido rechazada teniendo que ser sustituido por una nueva y se hubiera tenido que repetir la medición sobre la soldadura nueva, añadiendo una medición adicional a las programadas a otra soldadura no analizada previamente. En el caso de que se hubieran producido numerosas mediciones con resultado no aceptable, se hubiera tenido que ampliar la realización de este ensayo al 100% de las soldaduras de gran diámetro.

**GESTIÓN DE LA CALIDAD**

**PROYECTO:** *“Procedimientos de ensayos no destructivos en la construcción de los colectores subacuáticos de una extracción petrolífera de aguas profundas”.*

**DOC. CODIGO:** END-006

**TITULO:** Medición de durezas en soldaduras y material base

REVISIÓN	FECHA	MODIFICACIONES

PREPARADO / REVISADO	APROVADO	APROVADO CLIENTE
Firma	Firma	Firma
Fecha	Fecha	Fecha

**INDICE**

1. Objeto
2. Alcance
3. Normas y códigos de referencia
4. General:
  - 4.1. Equipo
  - 4.2. Preparación de la superficie
  - 4.3. Verificaciones
  - 4.4. Requisitos de personal
5. Realización
6. Criterios de aceptación
7. Informe

ANEXO I: Tabla de conversión de aceros austeníticos de unidades Rockwell C frente a otros valores de dureza.

## **1. OBJETO**

El presente procedimiento se empleará para la determinación de durezas VICKERS, BRINELL, ROCKWELL C o LD-SHORE de materiales metálicos mediante equipos de medición portátiles del tipo EQUOTIP, MIC. 10 y MICRODUR.

Se han elegido estos tres tipos de equipos portátiles porque son de los más representativos del mercado actual y abarcan equipos de medición mecánica y medición digital.

Para realizar las mediciones de durezas en unidades VICKERS o ROCKWELL C se podrán utilizar los tres tipos de equipos portátiles, pero para determinar la dureza en unidades BRINELL sólo se podrán utilizar los equipos tipo EQUOTIP o MIC. 10. Para la determinación de durezas en unidades LD-SHORE se podrá utilizar únicamente el equipo portátil digital EQUOTIP.

## **2. ALCANCE**

La aplicación de este procedimiento se refiere exclusivamente a las soldaduras realizadas a la tubería de gran diámetro de material Dúplex o Superdúplex de un colector subacuático. Las soldaduras afectadas son aquellas con un diámetro igual o superior a 6 pulgadas y con un espesor igual o superior a 10 milímetros.

### **3. NORMAS Y CÓDIGOS DE REFERENCIA**

Son de aplicación en los requisitos generales y los criterios de aceptación para la medición de durezas en soldaduras y material base los requerimientos especificados en:

- Sección II del Código ASME en su sección correspondiente al material SA-790/SA-790M “Specification for seamless and welded ferritic/austenitic stainless pipe”
  - o Punto 9: “Tensiles and Hardness Properties”
  
- ASME B31.3:2002. Tuberías a presión. Tuberías de proceso.
  - o Capítulo V: “Fabrication, Assembly and Erection”
    - Punto 331: “Heat treatment”
      - Punt 331.1.7: “Hardness Test”
  - o Capítulo VI: “Inspection, Examination and Testing”
    - Punto 341.5: “Supplementary examination”
      - Punt 341.5.2: “Hardness Test”
  
- ASTM E 10-99: “Test Method for Brinnell Hardness of Metallic Material”
- ASTM E 18-99: “Test Method for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials”
- ASTM E 92-99: “Test Method for Vickers Hardness Metallic Materials”
- ASTM E 140-99: “Hardness Conversion Tables for metals”
- ASTM E 384-99: “Standard Test Method for Microhardness of Materials”
- ASTM E 448-99: “Sclerocope Hardness Testing of Metallic Materials”
- Manual funcionamiento MIC. 10.
- Especificaciones técnicas del equipo EQUOTIP.
- Operating Manual of Microdur-

## **4. GENERAL**

### **4.1. EQUIPO**

El equipo portátil deberá incluir:

- Unidad de medida.
- Sonda. Del tipo de presión y medición de huella o de martillo, dependiendo del equipo empleado. Diseñado de tal forma que se minimice el movimiento lateral o ángulo de incidencias durante el ensayo.
- Bloque de calibración, para verificar el ajuste del equipo.

Según el equipo a utilizar los componentes de estos equipos son los siguientes:

- Durómetro MIC. 10: Según figura 1.

FIGURA 1



- Durómetro EQUOTIP: Según figura 2.

FIGURA 2

**Unidad EQUOTIP D**  
**Todo lo necesario para mediciones de dureza rápidas y precisas!**

**Equipo estándar D**  
 Instrumento de impacto "D" con cable de 1,5 m. e indicador electrónico. Bloque de pruebas estándar "D". Pasta de acoplamiento. Maletín de transporte: 51 x 35 x 12 cm. Peso: 6,0 kg.

**Unidades EQUOTIP**

Además de la unidad universal "D", pueden acoplarse los accesorios disponibles para formar las unidades siguientes.

**Unidad G**  
 Esta variante se recomienda para la medición exclusiva de componentes macizos y pesados dentro de la gama Brinell. La unidad G no requiere condiciones especiales en cuanto a acabado superficial de la zona de medición. Son aplicaciones típicas los forjados y las piezas de fundición macizas.

**Equipo estándar G**  
 Instrumento de impacto "G" con cable de 1,5 m. e indicador electrónico. Bloque de control estándar "G" (separado): 6,3 kg. Maletín de transporte: 51 x 35 x 12 cm. Peso: 9,8 kg. (6,3 + 3,5 kg.)

**Unidad E**  
 Incluye el instrumento de impacto E con punta de pruebas de diamante de larga vida útil. Recomendable para los casos en que los valores predominantes a medir exceden de 50 HRC o 650 HV o para componentes de muy alto grado de dureza, de hasta 1.200 HV.

**Equipo estándar E**  
 Instrumento de impactos "E" con cable de 1,5 m. e indicador electrónico. Bloque de control estándar "D" y pasta de acoplamiento. Estuche de transporte: 51 x 35 x 12 cm. Peso: 6,0 kg.

**Principio de medición en que se basa el EQUOTIP**

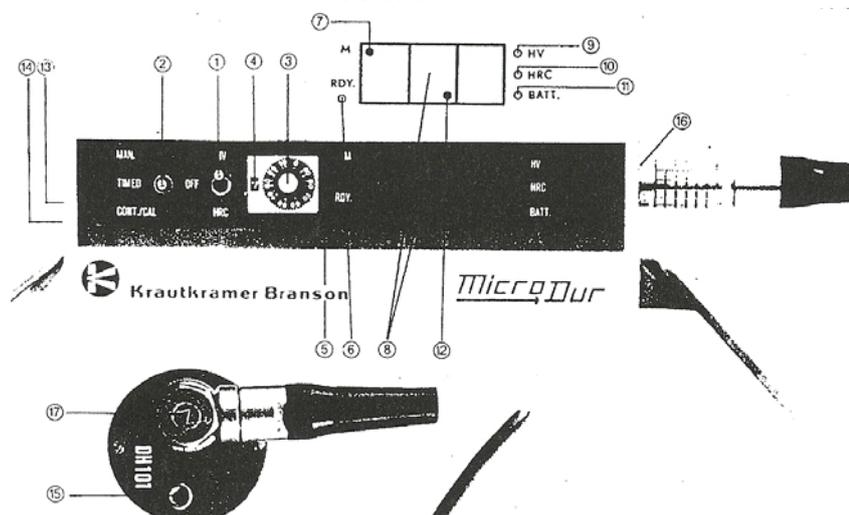
Curva de señal de los impactos de prueba

Para efectuar la prueba, el cuerpo de impacto, dotado de una punta de carburo, es impulsado por la fuerza de un muelle contra la superficie cuya dureza se quiere comprobar, y sobre la cual rebota. Las velocidades de impacto y rebote se miden por el método siguiente: un imán fijo integrado en el cuerpo de impacto pasa por una bobina en la que induce una tensión eléctrica en sus recorridos de ida y vuelta. Estas tensiones son proporcionales a las velocidades correspondientes y después de procesadas y convertidas en el valor "L" de dureza, aparecen indicadas en pantalla.

"Valor L" significa "valor Leeb", nombre del inventor del proceso, el ingeniero Dietmer Leeb.

- Durómetro MICRODUR: Según figura 3.

FIGURA 3



**4.2. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A ENSAYAR**

Es importante, para obtener resultados fiables, conseguir una superficie de apoyo estable y plana, para evitar oscilaciones o desplazamientos de la sonda. Para ello se preparará la superficie adecuadamente con radial y disco abrasivo

El acabado de la superficie será igual o con una rugosidad menor a la resultante de un lijado con papel de granulometría 80, en una profundidad de 4,5 – 60  $\mu\text{m}$ .

Para ensayos con equipos de sonda tipo martillo y rebote (escleroscopia), se deberá tener especial cuidado en que el material no esté magnetizado, ya que se obtendrían valores de dureza más bajos que los reales.

**4.3. VERIFICACIONES**

Antes de aplicar la sonda al objeto a ensayar, se comprobará el equipo completo de acuerdo a las instrucciones del fabricante, para asegurar que el instrumento funciona correctamente. Las comprobaciones incluirán:

- Equipo correctamente conectado y realizados los ajustes apropiados.
- Pilas o baterías cargadas.
- Sonda en buen estado y limpia.

Empleando la probeta de calibración que acompañe al equipo, se comprobará que las lecturas obtenidas están en un margen razonable respecto al proporcionado con la pieza patrón. El proceso a seguir se describe en el punto 5 “Realización”.

**4.4. REQUISITOS DEL PERSONAL**

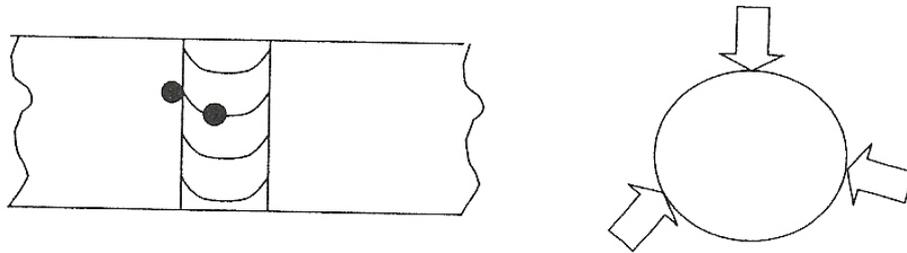
El personal técnico encargado de realizar el ensayo deberá de tener conocimientos de:

- Ajuste y manipulación del equipo.
- Criterios para desestimar lecturas anómalas.

### **5. REALIZACIÓN**

Al ser medición de durezas sobre tuberías se realizará el ensayo en 3 generatrices a 120° realizándose mediciones en la zona de transición y en la Soldadura, tal como se muestra en la Figura 4. Se deben evitar las posiciones invertidas para que no se produzcan errores de medición en el caso de equipos de martillo.

FIGURA 4



Para realizar las mediciones se pondrá en funcionamiento el equipo según el manual del fabricante. Salvo que no se diga lo contrario, se procederá a la calibración del equipo como si se tratara de una medición de durezas normal pero sobre la probeta, comprobando que los resultados sean los esperados. En caso de tenerse que realizar un ajuste de la calibración del equipo se seguirán las instrucciones especificadas en el manual del fabricante correspondiente.

Se procederá a realizar la medición según el método de cada equipo:

- Durómetro MIC. 10:

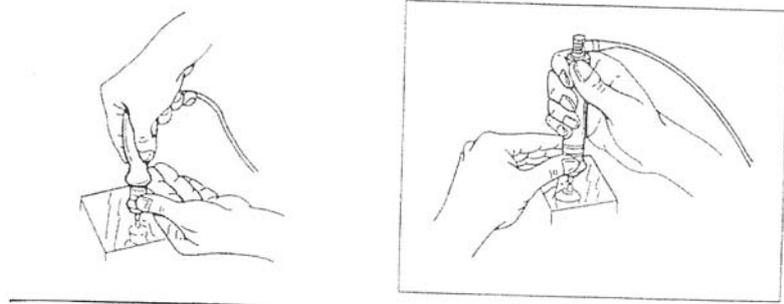
Sujete la sonda siempre con ambas manos, para mantener el mejor control posible al practicar la huella sobre la superficie del material.

Apriete la sonda desde arriba, verticalmente, con una mano. La otra mano es la que usa para llevar la sonda al punto donde desea efectuar la medición.

Preste atención a un guiado tranquilo y vertical de la sonda.

En la Figura 5 se muestran dos posibilidades de sujetar la sonda.

FIGURA 5



Durómetro EQUOTIP:

Colocar la sonda de impacto sobre la superficie y efectuar el movimiento de carga. Sin mover y con la sonda perpendicular a la superficie de ensayo provocar el golpe de la bola de tungsteno. Leer la lectura del durómetro. En la figura 6 se puede observar el proceso completo de ejecución de la medida.

FIGURA 6

**Modo de utilizar la prueba de dureza**

**Cargar comprimiendo el muelle.**

Elementos operativos escasos y sencillos. Es posible efectuar mediciones precisas aunque no se tenga experiencia en ellas. No hace falta ningún ajuste.

Sistema electrónico fiable y ultra-moderno, indicador del estado de la batería y cancelación automática de la lectura en caso de escasez de carga de las pilas. Pantalla LCD para reducir el consumo eléctrico. Comprobación simple e instantánea de las funciones.

**Apoyar el instrumento de impacto.**

No es posible cometer errores por inercia. Las lecturas pueden procesarse o imprimirse automáticamente.

**Desparar, presionando simplemente.**

Leer el valor de dureza "L".

El instrumento queda dispuesto para el siguiente impacto, que borrará el valor "L" que haya aparecido en pantalla.

**Datos Técnicos de la unidad "D" EQUOTIP**

Gama de Mediciones*	Rango de valores "L"	Dureza estática equivalente
Aceros	300 - 800	80 - 650 Brinell 80 - 940 Vickers 20 - 68 Rockwell C
Fundición de aluminio	170 - 560	20 - 160 Brinell
Fundición de hierro	360 - 660	90 - 390 Brinell
Latón	200 - 550	40 - 170 Brinell
Alaciones de cobre	200 - 690	45 - 315 Brinell

\*Las gamas vienen determinadas por los límites de aplicación del procedimiento estático correspondiente. Aplicable al EQUOTIP "D". La dureza del objeto de prueba no debe exceder de 940 HV o 68 HRC.

- Durómetro MICRODUR:

Este tipo de durómetro tiene la particularidad de que el módulo de elasticidad de la pieza influye sobre el resultado de medición de forma notable. Por este motivo, al comenzar las mediciones, es imprescindible ajustar el MICRODUR a esta característica específica del material con el fin de conseguir durezas comparables según VICKERS y ROCKWELL.

Para el caso de medir durezas en materiales féreos se utilizarán patrones de calidad similar a la que se va a chequear, siendo recomendable en su ausencia, la presencia de, al menos, dos patrones de dureza media, uno de acero al carbono y otro de acero altamente aleado.

Se procederá a la calibración del equipo según los pasos indicados en el manual del fabricante.

Después de haber calibrado el equipo, se puede proceder a la toma de medidas. Para componentes con superficie curva como es el caso se deberán realizar los siguientes puntos:

- Colocar selector ((1) Figura 3) en posición deseada HV o HRC.
- Posicionar el conmutador (2) en TIMED.
- Controlar si se ilumina el diodo verde (6), lo que indica que el durómetro está en condiciones de medir.
- Acoplar a la sonda el anillos roscados número 0 para adaptarla al diámetro de la tubería a ensayar.
- Colocar la sonda cuidadosamente sobre la pieza y no moverla durante la realización de la medida.
- Empezar hasta que se ilumine el indicador de memorización M (7), siendo el valor que aparezca en ese momento en la pantalla el considerado como válido.

Se deben tomar entre 3 y 5 medidas en cada posición. Las distancias entre dos medidas será la recomendada por el fabricante o, en su defecto, las que aparecen en la Tabla 1.

TABLA 1

MÉTODO	DISTANCIA ENTRE PUNTOS DE MEDIDA
BRINELL (HB)	La distancia entre el centro de la huella y el borde de la muestra o borde a otra huella, será de al menos dos veces y medio el diámetro de la huella.
ROCKWELL C (HR)	La distancia entre centros de dos huellas adyacentes será de al menos tres veces el diámetro de la huella. La distancia del centro de cualquier huella al borde de la pieza inspeccionada será de al menos dos veces y medio el diámetro de la huella.
VICKERS (HV)	El centro de la huella estará como mínimo alejado del borde de la pieza a ensayar o del borde de otra huella una distancia igual a dos veces y media la longitud de la diagonal de la huella.
SCLEROSCOPE HARDNEES (HSs, HSd, HFRSc, HFRSd)	Se separan las marcas al menos 0.51 mm y no se realizará más de una medida en el mismo punto. Piezas planas con superficies paralelas se ensayarán adecuadamente inmovilizadas y a menos de 6 mm del borde.

Como norma general, la diferencia entre lecturas efectuadas en una misma pieza deberá ser menor de 15 unidades. Si la diferencia fuera mayor que este valor, o las medidas estuviesen fuera del rango correspondiente, se repetirán las mediciones comprobando previamente los siguientes puntos:

- Limpieza y estado de la sonda.
- Espesor del material. El espesor mínimo estará especificado en el manual de instrucciones del fabricante.
- Estado de la superficie.
- Ángulo de incidencia relativo a la superficie. Este deberá ser de 90°.

Si, después de realizadas dichas comprobaciones, se volviesen a obtener resultados impropios, se informará al responsable o coordinador.

**6. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN**

Serán aquellos que cumplan con la especificación del material correspondiente. En este caso el valor especificado en el Código ASME en su Sección II “Materials” para el material Dúplex es de:

- Un máximo de dureza de 290 Brinell.
- Un máximo de dureza de 30,5 Rockwell C.

Para el caso del material Superdúplex, siguiendo el mismo Código, se obtienen los siguientes valores:

- Un máximo valor de dureza de 310 Brinell.
- Un máximo valor de dureza de 32 Rockwell C.

En caso de que la lectura proporcionada por el equipo se dé en unidades diferentes a las empleadas en los criterios de aceptación, podrán emplearse las tablas que se adjuntan en el ANEXO I.

En la figura 7 se muestra la tabla de durezas de todos los tipos de Acero A790 / A790M, en los que se encuentran los empleados en esta obra, del Código ASME II.

FIGURA 7

**TABLE 3  
TENSILE AND HARDNESS REQUIREMENTS**

UNS Designation	Tensile Strength, min, ksi [MPa]	Yield Strength, min, ksi [MPa]	Elongation in 2 in. or 50 mm, min, %	Hardness, max	
				Brinell	Rockwell C
S31803	90 [620]	65 [450]	25	290	30.5
S31500	92 [630]	64 [440]	30	290	30.5
S32550	110 [760]	80 [550]	15	297	31.5
S31200	100 [690]	65 [450]	25	280	...
S31260 [Note (1)]	100 [690]	65 [450]	25	...	...
S32304	87 [600]	58 [400]	25	290	30.5
S39274	116 [800]	80 [550]	15	310	...
S32750	116 [800]	80 [550]	15	310	32
S32760	109–130 [750–895]	80 [550]	25	270	...
S32900	90 [620]	70 [480]	20	271	28
S32950 [Note (2)]	100 [690]	70 [480]	20	290	30.5
S39277	120 [825]	90 [620]	25	290	30
S32520	112 [770]	80 [550]	25	310	...

NOTES:

(1) Prior to A 790/A 790M-87, the values for S31260 were: 92 ksi tensile strength, 54 ksi yield strength, and 30% elongation.

(2) Prior to A 790/A 790M-89, the tensile strength value was 90 ksi for UNS S32950.

## **7. INFORME**

El informe con los resultados del ensayo incluirá como mínimo la siguiente información:

- Unidades de medida (HRB, HRC, HV, etc).
- Datos de identificación del material ensayado.
- Situación de los puntos de medida.
- Comentarios.
- Probeta empleada para verificaciones.
- Firma del operador que realice el ensayo.
- Firma del supervisor o responsable.

En la figura 8 se muestra un formato tipo para estos ensayos.



**ANEXO I:**

**TABLA DE CONVERSIÓN DE ACEROS  
AUSTENÍTICOS DE UNIDADES ROCKWELL C  
FRENTE A OTROS VALORES DE DUREZA**

**CAPÍTULO 2.6.**

**PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

Medición de durezas en soldaduras y material base

Rockwell C Scale, 150-kgf Load, Diamond Penetrator	Rockwell A Scale, 60-kgf Load, Diamond Penetrator	Rockwell Superficial Hardness		
		15N Scale, 15-kgf Load, Diamond Penetrator	30N Scale, 30-kgf Load, Diamond Penetrator	45N Scale, 45-kgf Load, Diamond Penetrator
48	74.4	84.1	64.2	52.1
47	73.9	83.6	63.3	51.9
46	73.4	83.1	62.5	49.8
45	72.9	82.6	61.6	48.7
44	72.4	82.1	60.7	47.5
43	71.9	81.6	59.8	46.4
42	71.4	81.1	58.9	45.2
41	70.9	80.5	58.1	44.1
40	70.4	80.0	57.2	43.0
39	69.9	79.5	56.4	41.8
38	69.5	79.0	55.5	40.7
37	68.8	78.3	54.6	39.6
36	68.3	78.0	53.7	38.4
35	67.8	77.5	52.8	37.3
34	67.3	77.0	52.0	36.1
33	66.8	76.5	51.1	35.0
32	66.3	75.9	50.3	33.9
31	65.8	75.4	49.4	32.7
30	65.3	74.9	48.5	31.6
29	64.8	74.4	47.6	30.4
28	64.3	73.9	46.8	29.3
27	63.8	73.4	45.9	28.2
26	63.3	72.9	45.0	27.0
25	62.8	72.4	44.2	25.9
24	62.3	71.9	43.3	24.8
23	61.8	71.4	42.4	23.6
22	61.3	70.9	41.5	22.5
21	60.8	70.3	40.7	21.3
20	60.3	69.8	41.8	20.2

# PROCEDIMIENTOS DE EJECUCIÓN

## CAPITULO 2.7: PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DEL CONTENIDO DE FERRITA EN EQUIPOS A PRESIÓN

---

### **Capítulo 2.7. Procedimiento de medición de contenido de ferrita en equipos a presión:**

En este capítulo se describe el procedimiento de medición del contenido de ferrita en equipos a presión, incluyendo las normativas de aplicación, las inspecciones a realizar, los defectos que se pueden encontrar durante la inspección, la cualificación del personal que realiza las inspecciones y los métodos de registro y seguimiento de las inspecciones realizadas.

Durante la ejecución del proyecto no se produjeron mediciones con resultado no aceptable. En el caso de haberse producido un resultado de este tipo la soldadura hubiera sido rechazada teniendo que ser sustituido por una nueva y se hubiera tenido que repetir la medición sobre la soldadura nueva, añadiendo una medición más a las programadas en otra soldadura no analizada previamente. En el caso de que se hubieran producido numerosas mediciones con resultado no aceptable, se hubiera tenido que ampliar la realización de este ensayo al 100% de las soldaduras de gran diámetro.

**GESTIÓN DE LA CALIDAD**

**PROYECTO:** *“Procedimientos de ensayos no destructivos en la construcción de los colectores subacuáticos de una extracción petrolífera de aguas profundas”.*

**DOC. CODIGO:** **END-007**

**TITULO:** **Medición del contenido de ferrita en equipos a presión**

REVISIÓN	FECHA	MODIFICACIONES

PREPARADO / REVISADO	APROVADO	APROVADO CLIENTE
Firma	Firma	Firma
Fecha	Fecha	Fecha

**INDICE**

1. Objeto
2. Alcance
3. Normas y códigos de referencia
4. General:
  - 4.1. Requisitos del personal
  - 4.2. Material
    - 4.2.1. Equipo
    - 4.2.2. Accesorios
5. Inspección
  - 5.1. Verificación
  - 5.2. Calibración
  - 5.3. Prueba
6. Criterios de aceptación
7. Informe

### **1. OBJETO**

El objeto del presente procedimiento es definir los métodos operativos para determinar el contenido de ferrita, en material de soldadura, a través de un método de Inducción Magnética, como el descrito en el punto 2 “Alcance”.

La aplicación de este procedimiento se refiere exclusivamente a las soldaduras realizadas a la tubería de gran diámetro de material Dúplex o Superdúplex de un colector subacuático. Las soldaduras afectadas son aquellas con un diámetro igual o superior a 6 pulgadas y con un espesor igual o superior a 10 milímetros.

### **2. ALCANCE**

Este tipo de inspección será aplicable a las soldaduras y a la zona de transición del material austenítico Dúplex y Super dúplex con un rango de contenido de ferrita entre 0.1 y el 80%.

Este procedimiento está indicado para realizar la medición del contenido de ferrita mediante equipos clasificados como “tipo C” o Ferritoscópicos según la AWS A 4.2. Un ejemplo de estos equipos es el Ferritoscópe MP3 de Fisher Instruments.

### **3. NORMAS Y CÓDIGOS DE REFERENCIA**

Son de aplicación en los requisitos generales y los criterios de aceptación para la medición del contenido de ferrita en materiales austenítico - ferríticos Dúplex y Superdúplex los requerimientos especificados en:

- ASTM E 562
- ASTM A 799
- ASTM A 800

## **4. GENERAL**

### **4.1. REQUERIMIENTOS DEL PERSONAL**

Las pruebas deben ser llevadas a cabo por técnicos cualificados que deben haber sido debidamente entrenados para el manejo del equipo.

### **4.2. MATERIAL**

#### **4.2.1. Equipo**

El equipo utilizado para realizar el ensayo tendrá el tamaño y el contenido de ferrita como el Feritcope MP3 o similar. Será capaz de medir el contenido de ferrita en un rango de 0.1 al 80% y permitirá hacer las correcciones en el curva FN (Ferrite Number) de calibración utilizando patrones con contenido certificado.

#### **4.2.2. Accesorios**

El equipo estará dotado de los siguientes accesorios:

- Una probeta apropiada.
- Bloques de patrones para verificación, deben estar estandarizados o con la corrección de calibración.

## **5. INSPECCIÓN**

### **5.1. VERIFICACIÓN**

#### **a) Verificaciones “In Situ”:**

El equipo debe ser verificado con una medición en una probeta con valores conocidos de ferrita, al menos, cada vez que se inicie un grupo de medidas. Para este propósito se podrá utilizar, al menos, una medición para cada rango mostrado en la Figura 1. Será aceptable una variación de un más/menos 10 % del valor certificado para la probeta de calibración.

La Figura 1 contiene como ejemplo unos rangos de valores y unos valores de corrección estimados para un equipo concreto. Pero se debe tener en cuenta que cada equipo posee sus propios valores de corrección, por lo que se deberán utilizar los rangos y valores de corrección facilitados por el fabricante en primera instancia y los estimados por el inspector que realice el mantenimiento de la calibración de los equipos durante la vida útil del equipo.

FIGURA 1

Máxima desviación aceptable de FN		
Máxima desviación aceptable por verificaciones periódicas		
Rango	Variaciones asignadas por el fabricante a la probeta referencia	Variaciones asignadas por mantenimiento de la calibración
0 a 4	+/- 0.60	*
>4 hasta 10	+/- 0.60	*
>10 hasta 16	+/- 0.70	*
>16	+/- 0.90	*

\* Valores aportados al realizar el mantenimiento de la calibración.

**b) Mantenimiento de la calibración:**

Independientemente de la verificación “in situ”, se deberán realizar verificaciones de al menos una medición para cada rango mostrado en la Tabla 1 según la frecuencia siguiente:

- Una verificación anual.
- Una verificación tras realizar una reparación en el almacén.

En ambos casos se deberá realizar un registro de las verificaciones ejecutas mostrando lo siguiente:

- Rango de medida utilizado para realizar la verificación del equipo.
- Valor nominal de la probeta utilizada para cada rango.
- Valores registrados.
- Desviación del valor nominal de la probeta

Cada registro será incluido al resto de documentación del equipo y los valores de desviaciones asignados al realizar estas verificaciones serán incluidos en la Figura 1 de cada equipo utilizado.

En cualquier caso (verificación “in situ”, periódica o después de reparación), en caso de obtenerse desviaciones de los márgenes especificados, será necesario realizar una calibración correctiva del equipo.

**5.2. CALIBRACIÓN**

La calibración de un equipo de ferrita se realizará sobre una placa de prueba calificada. Si existen variaciones geométricas de curvas o grosores de la capa que deben ser ensayadas en relación a la placa calificada se deberá realizar una estandarización de la curva FN. Para llevar a cabo esta estandarización se aconseja se utilice un modelo con el 100% de contenido de ferrita.

Se deberá realizar una calibración correctiva tras los siguientes casos:

- Una verificación “in situ” o periódica en la que se obtenga una desviación mayor que la mencionada anteriormente en apartado 5.1. “Verificación”.
- Una reparación en el almacén.

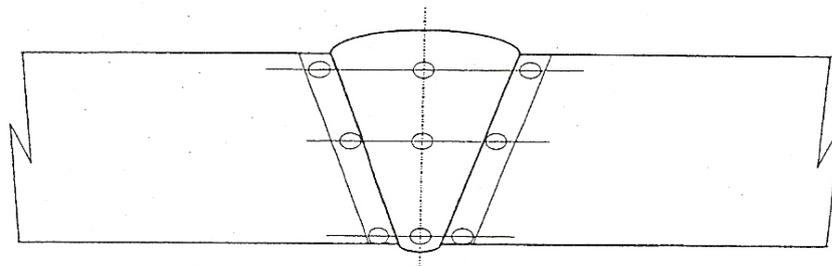
En los dos casos, la calibración correctiva será realizada siguiendo las instrucciones del Manual del Fabricante de cada equipo.

En caso de que el equipo sea enviado al fabricante a consecuencia de un daño que no se pueda reparar en el almacén, es una decisión de la empresa propietaria del equipo solicitar una calibración maestra del equipo, pero siempre se deberá mantener registro de ella. Los valores de esta calibración serán utilizados como una nueva referencia para la verificación siguiendo el formato de la Figura 1 en el apartado 5.1 “Verificación”.

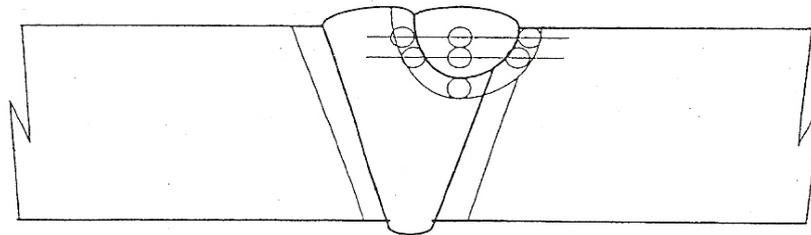
**5.3. PRUEBA**

Se deben realizar un mínimo de seis mediciones de valores de ferrita en la superficie a inspeccionar. Se realizarán dos mediciones en cada una de las áreas de las líneas identificadas en las Figuras 2 (a), (b) y (c).

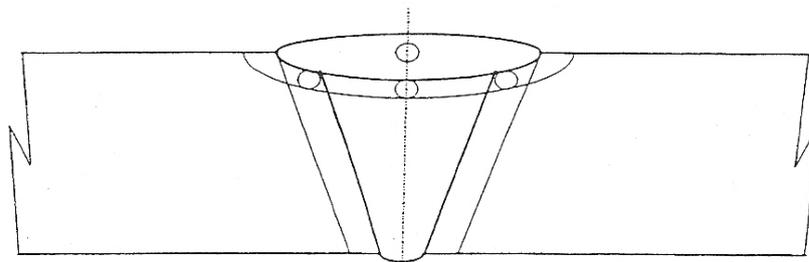
**FIGUAR 2**



**2A - Original weld and full penetration repair**



**2B - Partial penetration repair**



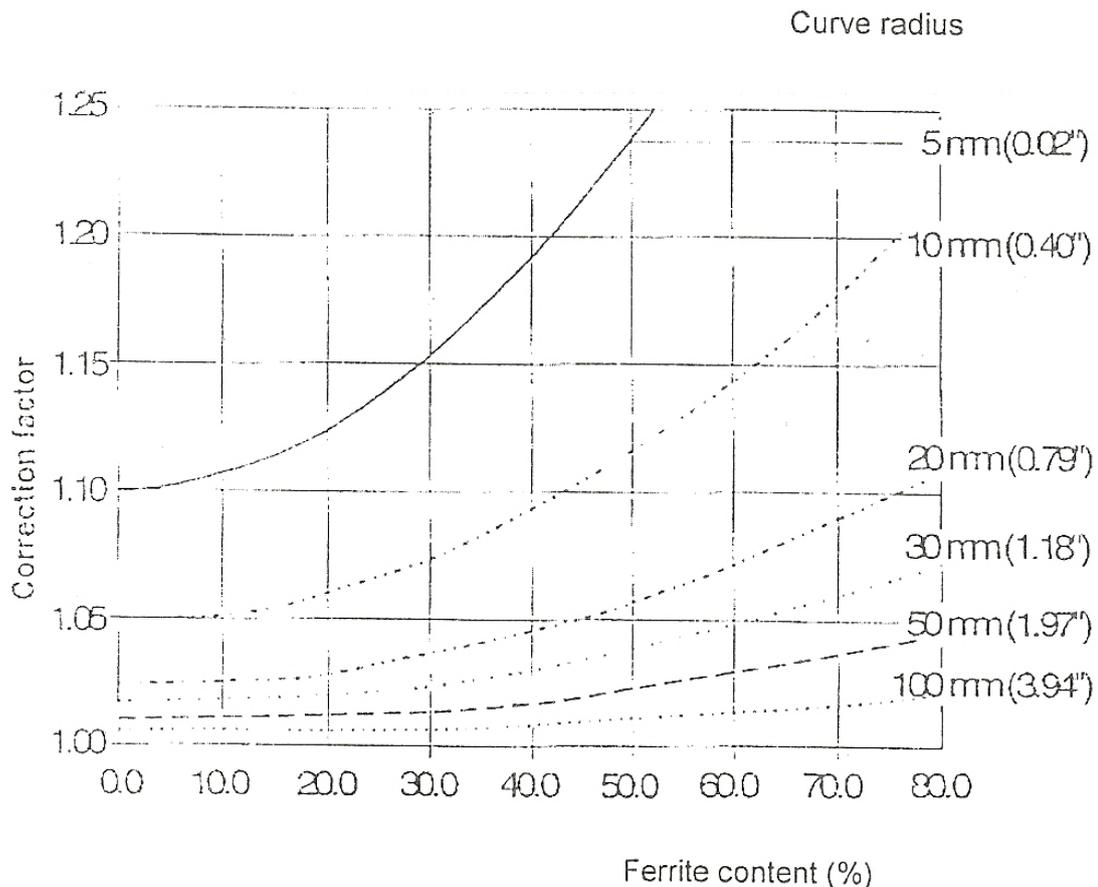
**2C - Cap repair**

Una vez que se define el área a ensayar, es importante tener cuidado con la limpieza de la superficie a ensayar y durante la realización de la prueba. Tienen que ser eliminadas las proyecciones de soldadura, las grasas, los hilos y cualquier tipo de suciedad que pueda afectar a la exactitud de la medida.

Para realizar las diferentes mediciones se tendrá en cuenta que la sonda siempre deberá estar posicionada a una distancia superior de 6,35 milímetros del borde de la superficie de la pieza a inspeccionar.

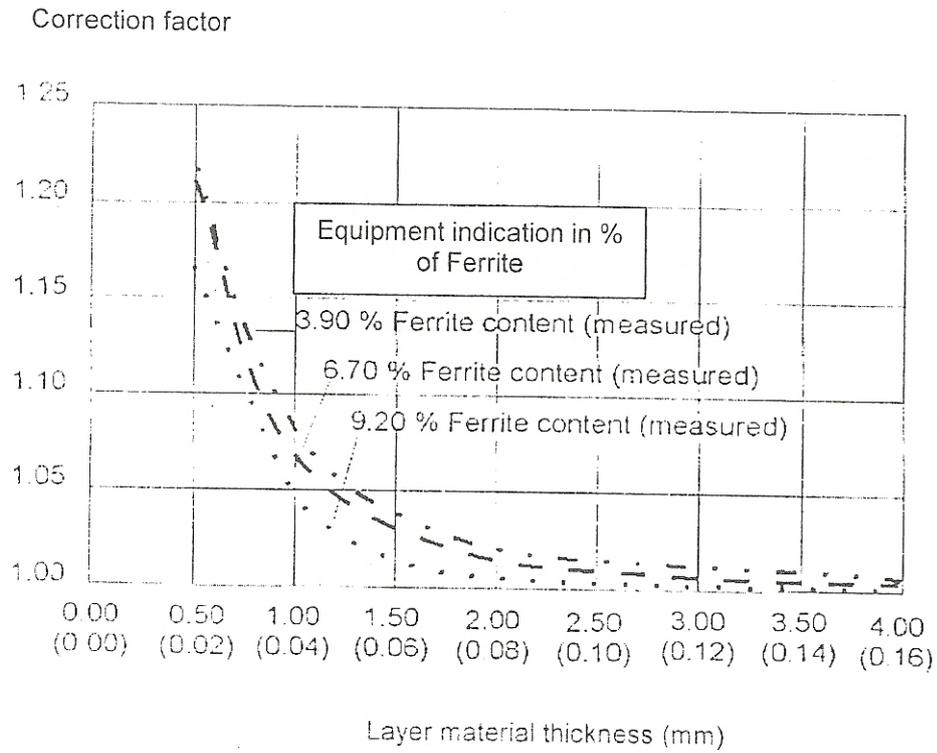
Cuando las medidas se vayan a realizar sobre superficies curvas siempre se harán en áreas con radio de curvatura de más de 9,252 milímetros y utilizando para radios menores de 50 milímetros las curvas de la Figura 3.

FIGURA 3



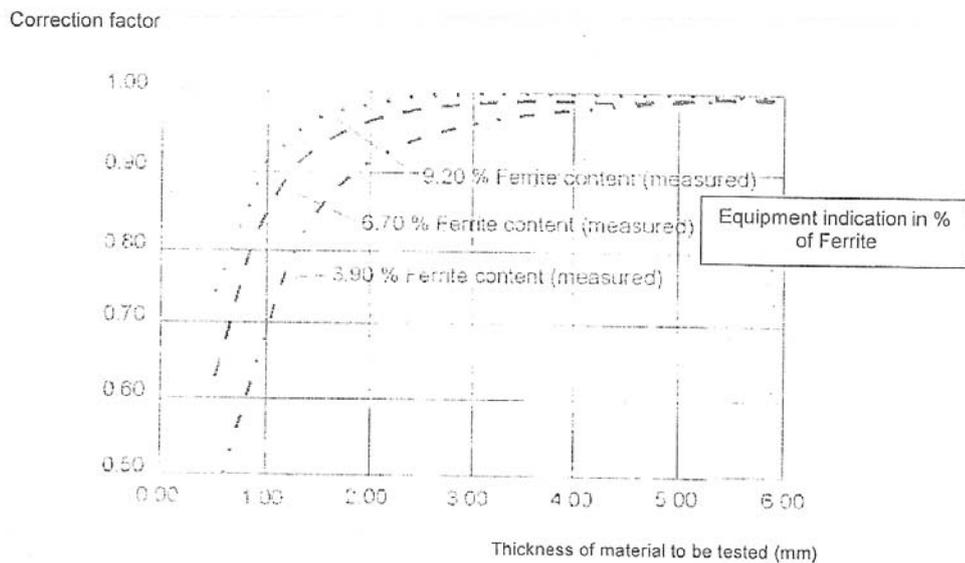
Para materiales con espesor por debajo de 2 milímetros el valor indicado será corregido con las curvas de la Figura 4.

**FIGURA 4**



En el caso de realizar el ensayo sobre una capa de revestimiento o sobre el material de soldadura con un espesor menor o igual a 2 milímetros sobre una base ferromagnética, el valor medido deberá ser corregido con las curvas de la Figura 5.

**FIGURA 5**



## **6. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN**

Serán aquellos que cumplan con la especificación del material correspondiente. En este caso el valor especificado para el material Dúplex es de entre el 30 y el 60%. Mientras que para el material Superdúplex el valor deberá ser entre el 35 y 65% de ferrita.

## **7. INFORME FINAL**

El informe con los resultados del ensayo incluirá como mínimo la siguiente información:

- Identificación completa de la parte ensayada incluyendo nombre, referencias, diámetro, espesor y datos de fabricación siempre que aplique.
- Descripción del equipo utilizado si aplica:
  - o Fabricante.
  - o Modelo y referencias.
  - o Tipo de probeta y dimensiones.
  - o Método de verificación o estandarización si aplica.
- Resultados.
- Fecha, lugar y supervisor de la inspección.
- Cualquier desviación de este procedimiento.

Se adjunta formato de informe de medición de porcentaje de ferrita en la Figura 6.



### 3. BIBLIOGRAFÍA

---

- The American Society of Mechanical Engineers (ASME). ASME Boiler and Pressure Vessel Committee Subcommittee on Materials:
  - o Sección II “Boiler and Pressure Vessel Code. Part A – Ferrous Material Specifications”
  - o Sección V “Boiler and Pressure Vessel Code. Nondestructive Examination”
- American National Standard (ANSI) / The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Code for Pressure Piping. Process Piping B31.3-2002.
- American Welding Society (AWS) D1.1/D1.1M:2000 “Structural Welding Code – Steel”
- ASTM E 10-99: “Test Method for Brinnell Hardness of Metallic Material”
- ASTM E 18-99: “Test Method for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials”
- ASTM E 92-99: “Test Method for Vickers Hardness Metallic Materials”
- ASTM E 140-99: “Hardness Conversion Tables for metals”
- ASTM E 384-99: “Standard Test Method for Microhardness of Materials”
- ASTM E 448-99: “Sclerocope Hardness Testing of Metallic Materials”
- Libros de Ensayos No Destructivos de la Asociación Española de Ensayos No Destructivos (AEND).
- Información Técnica de materiales, soldeo y Ensayos no destructivos de OBTESOL (Observatorio Tecnológico de la Soldadura)
- Cursos de formación en Ensayos No Destructivos de la Empresa Internacional de Cualificación SGS S.A. de la especialización de cualificación de Estructuras Metálicas.
- World Intellectual Property Organization (WIPO):  
WO/2008/070648: Subsea Manifold System

- OTC “Offshore Technology Conference”:
  - o OTC 18539 “Dalia Development – Subsurface, Drilling, and Well Completions Engineering”
  - o OTC 18541 “Dalia Subsea Production System: Presentation and Challenges”
  - o OTC 18543 “Dalia Flowlines, Risers, and Umbilicals”

[www.otcnet.org](http://www.otcnet.org)

- FMC Technologies, Global Subsea Projects. [www.fmctechnologies.com](http://www.fmctechnologies.com)

### 4. PRESUPUESTO

Para la realización de los diferentes trabajos de inspección reflejados en los diferentes apartados del Capítulo 2 “Procedimientos de Ejecución” se estima el siguiente presupuesto separando en dos partes las inspecciones necesarias para los módulos de tubería y las de los módulos de estructura.

Dentro de cada bloque se incluyen los presupuestos individuales de los diferentes tipos de ensayos y si son necesarias consideraciones especiales de la realización de los ensayos que afecten al presupuesto.

- **Módulos de tuberías:**

• **Inspección visual:**

Se ha estimado que se inspeccionarán mediante inspección visual un total de 73.602,79 pulgadas de soldadura en tubería. Esta inspección incluye la revisión previa al proceso de soldadura, la comprobación de los parámetros durante el proceso de soldadura y la inspección de la soldadura finalizada. Por este motivo es necesaria la presencia de un inspector de manera permanente en el taller de soldadura.

El precio mensual de un inspector a tiempo completo es de 8.500 euros. Por lo que estimando un tiempo de cuatro meses a tiempo completo para la realización de un módulo de tubería, el precio total sería:

Inspección visual:	34.000 euros
--------------------	--------------

• **Líquidos penetrantes:**

Se inspeccionaran por líquidos penetrantes un total de 39 pulgadas correspondientes a las soldaduras tipo “Socket Weld”. El precio por pulgada de este ensayo es de 3 euros incluyendo los materiales necesarios y las horas de trabajo del inspector. Se ha de tener en cuenta que los materiales utilizados para la realización de este ensayo en las tuberías de material Dúplex y Súperduplex deben ser especiales al no contener alógenos, ni fluoruros, ni cloruros y en el caso de realizarse con lavables con agua, esta debe ser desmineralizada.

El precio total ascendería a:

Líquidos penetrantes:	117 euros
-----------------------	-----------

- Examen radiográfico de soldaduras:

Las soldaduras a inspeccionar mediante el examen radiográfico de soldaduras se adjuntan en la tabla 1, donde se incluyen el precio unitario de cada soldadura y el precio total de las soldaduras a realizar en cada módulo según su diámetro.

Los precios expuestos incluyen los materiales necesarios para realizar estos exámenes, los equipos necesarios y las horas de trabajo del inspector y del ayudante que ejecutarán las inspecciones.

TABLA 1

Diámetro soldadura	Nº de soldaduras	Precio unitario	Precio total
14"	27	122 euros	3.294 euros
8"	30	92 euros	2.760 euros
6"	36	70 euros	2.520 euros
2"	132	69 euros	9.108 euros
3/4"	426	47 euros	20.022 euros
1/2"	6	47 euros	282 euros
3/8"	48	47 euros	2.256 euros

El precio total de los exámenes radiográficos a realizar para un módulo completo sería de:

**Radiografías: 40.242 euros**

- Examen de soldaduras por ultrasonidos:

Las soldaduras a inspeccionar mediante el examen de soldaduras por ultrasonidos se adjuntan en la tabla 2, donde se incluyen el precio unitario de cada soldadura y el precio total de las soldaduras a realizar en cada módulo según su diámetro.

Los precios expuestos incluyen los equipos y materiales necesarios para realizar estas inspecciones, así como las horas de trabajo del inspector que los ejecutará.

TABLA 2

Diámetro soldadura	Nº de soldaduras	Precio unitario	Precio total
14"	27	40 euros	1.080 euros
8"	30	35 euros	1.050 euros
6"	36	30 euros	1.080 euros

## PRESUPUESTO

---

El precio total de los exámenes por ultrasonidos a realizar para un módulo completo sería de:

Ultrasonidos: 3.210 euros

- Medición de durezas:

Se realizará medición de dureza a 10 soldaduras de gran diámetro. A cada soldadura se le realizarán tres puntos de toma con dos tomas en cada punto. El precio por soldadura de este ensayo es de 12 euros, incluyendo los materiales necesarios y las horas de trabajo del inspector, por lo que el precio total ascendería a:

Durezas: 120 euros

- Medición de ferrita:

Se realizará medición de dureza a 10 soldaduras de gran diámetro. A cada soldadura se le realizarán tres puntos de toma con dos tomas en cada punto. El precio por soldadura de este ensayo es de 12 euros, incluyendo los materiales necesarios y las horas de trabajo del inspector, por lo que el precio total ascendería a:

Ferrita: 120 euros

- **Módulos de estructura:**

- **Inspección visual:**

Se ha estimado que se inspeccionarán mediante inspección visual un total de 30.237 pulgadas de soldadura en estructura. Esta inspección incluye la revisión previa al proceso de soldadura, la comprobación de los parámetros durante el proceso de soldadura y la inspección de la soldadura finalizada. Por este motivo es necesaria la presencia de un inspector de manera permanente en el taller de soldadura.

El precio mensual de un inspector a tiempo completo es de 8.500 euros. Por lo que estimando un tiempo de un mes a tiempo completo para la realización de un módulo de estructura, el precio total sería:

Inspección visual:	8.500 euros
--------------------	-------------

- **Líquidos penetrantes:**

Se inspeccionaran por líquidos penetrantes un total de 97 pulgadas correspondientes a las soldaduras tipo “Socket Weld” de unión de los soportes a las tuberías de 14 pulgadas. El precio por pulgada de este ensayo es de 3 euros incluyendo los materiales necesarios y las horas de trabajo del inspector, se tendrán en cuenta las mismas consideraciones que para el caso de los ensayos por líquidos penetrantes del módulo de tubería al ser estas soldaduras realizadas en material Dúplex.

El precio total ascendería a:

Líquidos penetrantes:	291 euros
-----------------------	-----------

- **Partículas magnéticas:**

Se inspeccionaran por partículas magnéticas un total de 29.950 pulgadas. El precio por pulgada de este ensayo es de 0,25 euros incluyendo los materiales necesarios y las horas de trabajo del inspector, por lo que el precio total ascendería a:

Partículas magnéticas:	7487,5 euros
------------------------	--------------

- **Examen de soldaduras por ultrasonidos:**

Se inspeccionaran por ultrasonidos un total de 190 pulgadas de soldadura. El precio unitario por pulgada es de 8 euros, por lo que el precio total de los exámenes por ultrasonidos a realizar para un módulo completo sería de:

Ultrasonidos:	1.520 euros
---------------	-------------

- **Factura desglosada:**

Módulo de tubería:

Ensayo	Precio total
Inspección visual:	34.000 euros
Líquidos penetrantes:	117 euros
Radiografías:	40.242 euros
Ultrasonidos:	3.210 euros
Durezas:	120 euros
Ferrita:	120 euros
	77.809 euros

Módulo de estructura:

Ensayo	Precio total
Inspección visual:	8.500 euros
Líquidos penetrantes:	291 euros
Partículas magnéticas:	7.487,5 euros
Ultrasonidos:	1.520 euros
	17.798,5 euros

Precio total de inspección de un  
colector subacuático completo:

**95.607,5 euros**

Condiciones particulares:

Se ha de tener en cuenta que en este presupuesto no se incluye el precio de los ensayos que se necesite repetir o añadir por reparaciones. En estos casos los precios por los ensayos a realizar serían:

- Los ensayos adicionales de inspección visual no supondrán coste adicional al estar contratado un inspector a tiempo completo en la hora.
- Los ensayos de líquidos penetrantes, partículas magnéticas, radiografía, ultrasonidos, dureza y ferrita, se facturar de manera unitaria, siendo necesario llevar una contabilidad de los ensayos realizados de esta forma fuera del presupuesto base.

En el caso del examen radiográfico de soldaduras, todas aquellas placas que por motivos del ensayo tengan como resultado la necesidad de repetición del mismo no supondrán un coste adicional del presupuestado.

