

**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE INCLUSIÓN DE ESCORIA EN JUNTAS SOLDADAS DE
TUBERÍA DE ACERO ASTM A36 REALIZADOS POR PROCESO SMAW, MEDIANTE ENSAYOS
NO DESTRUCTIVOS ESPECIFICADOS**

OSCAR RICARDO MONSALVE MARTÍNEZ

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
DIVISION DE INGENIERIAS
BOGOTÁ D.C.
2014**

**CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE INCLUSIÓN DE ESCORIA EN JUNTAS SOLDADAS DE
TUBERÍA DE ACERO ASTM A36 REALIZADOS POR PROCESO SMAW, MEDIANTE ENSAYOS
NO DESTRUCTIVOS ESPECIFICADOS**

OSCAR RICARDO MONSALVE MARTÍNEZ

**Proyecto de Trabajo de Grado en la modalidad de Problema de Ingeniería para optar al
título de Ingeniero Mecánico**

Director

Ing. Elver Jofre Carvajal.

Co- director

Ing. Gilberto Quintero.

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
DIVISION DE INGENIERIAS
BOGOTÁ D.C.
2014**

PAGINÁ DE ACEPTACIÓN

Nota de Aceptación

PAR EVALUADOR No.1

PAR EVALUADOR No. 2

DEDICATORIA

Para mi Familia que ha sido un apoyo incondicional en este proceso académico y personal, a mi Padre Ricardo Monsalve Saavedra por darme la inspiración y fuerza para seguir adelante el día a día, para mi madre por su constancia y amor recibido siempre, a mi hermana por la Gran compañía y colaboración en todos los sentidos, para mi Hija mi nueva inspiración para lograr mis metas propuestas y mi Esposa por su atención y cuidados recibidos.

Todo esto es Gracias a ustedes y para ustedes. Dios los bendiga siempre, para que me sigan acompañando en cada experiencia vivida.

Para ustedes mi Linda Familia Monsalve.

AGRADECIMIENTOS

Agradecido con Dios y la santísima Virgen por darme la oportunidad de lograr esta meta de muchas más que hay por lograr con el fin de alcanzar el éxito con mi Familia, Hija y Esposa ya que son la razón de mí ser y de mi diario vivir.

El agradecimiento a mi Padre no puede faltar, ya que sin su Amor y gran apoyo afectivo y económico, no podría lograrlo; gracias Padre por tu Cariño y cada consejo de tu parte para no caer nunca en vicios, ni en malos pasos. Gracias Padre por trabajar cada día de tu vida tan fuerte con el fin de que yo sea alguien en la vida y pueda ser el primer Ingeniero de la Familia, sé que este es el orgullo tuyo. Padre lograr hacerte feliz para mi es la satisfacción de haber finalizado mis estudios profesionales. Papi Muchas Gracias.

A mi Madre y Hermana, por sus cuidados y consejos diarios que me brindaban con el fin de progresar cada día, por su paciencia, pero sobre todo por la compañía que recibí durante la realización de mis estudios. Gracias Familia

Agradecimientos a todo el Plantel educativo de la universidad santo Tomás que labora en la Facultad de Ingeniería Mecánica, especialmente al ingeniero Elver Carvajal, al ingeniero Gilberto quintero, y a mis pares evaluadores Ricardo Forero y Carlos Garzón, por sus grandes aportes profesionales, que adquirí durante este proceso del trabajo de Grado. Gracias a cada uno de los docentes de la Facultad por sus experiencias y gran sabiduría adquirida durante estos 5 años de estudio, ya que sin estos conceptos se me hubiera hecho muy difícil desarrollarme como ingeniero en la actual empresa que estoy laborando.

Agradecimiento especial a la Compañía Deltagas S.A y a la directora de Operaciones Marina Ramírez y a el Instituto de soldaduras West Arco S.A.S a su directora María de Plaza, ya que me abrieron sus puertas en los momentos justos que los necesitaba, con el fin de terminar mis estudios y afianzarme cada día más como Ingeniero Mecánico.

Gracias a Todos los anteriormente mencionados, por sus sabios consejos y experiencias vividas.

TABLA DE CONTENIDO

1.	RESUMEN	11
2.	INTRODUCCIÓN	12
3.	OBJETIVOS	14
3.1	OBJETIVO GENERAL	14
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4.	MARCO CONCEPTUAL	15
4.1	VARIABLES CRÍTICAS PARA LA GENERACIÓN DE ESCORIA EN JUNTAS SOLDADAS MEDIANTE PROCESO DE ELECTRODO REVESTIDO SMAW (SHIELD METAL ARC WELDING)	15
4.1.1	Defectología	15
4.1.1.1	Discontinuidad.	15
4.1.1.2	Defecto.	15
4.1.1.3	Indicación.	15
4.1.1.4	Indicaciones Relevante.	16
4.1.1.5	Indicaciones Irrelevantes.	16
4.1.2	Inclusión de escoria	16
4.1.2.1	Parámetros que influyen en el proceso de soldadura para producir escoria.	18
4.1.2.2	Generación de escoria por mal limpieza entre pases.	21
4.2	CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA IMPLEMENTADO	22
4.2.1	Variables eléctricas	22
4.2.2	Materiales de aporte:	22
4.2.3	Dimensiones y geometría de la junta	22
4.2.4	Medidas de seguridad antes de realizar el proceso de soldadura.	22
4.2.4.1	Consideraciones de seguridad a tener en cuenta para el correcto procedimiento del Proceso de Soldeo.	22
4.2.5	¿Qué contiene el WPS?	23
4.2.5.1	Variables esenciales.	23
4.2.5.2	Variables suplementarias	23
4.2.5.3	Variables no esenciales.	24
4.2.5.4	Variables Esenciales..	24
•	Metal Base	24
•	Metal de Aporte	24
•	Posiciones:	24
•	Precalentamiento	24
•	Tratamiento Térmico Post-soldadura	24
•	Características Eléctricas	24
•	Técnica:	25
4.3	MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS APLICADOS	25
4.3.1	Radiografía RT (Radiographic testing)	25
4.3.2	Ultrasonido UT (Ultrasonic testing)	25
4.3.2.5	Tipos de Ultrasonido.	26
❖	Principios físicos.	28

4.3.3	Partículas Magnéticas MT (Magnetic testing)	29
4.3.3.1	Generalidades del Ensayo de Partículas Magnéticas:	29
4.3.3.2	Variables Críticas en el procedimiento del Ensayo Partículas Magnéticas.	29
4.3.3.3	Equipo necesario para realizar el ensayo de partículas magnéticas.	30
4.3.3.4	Procedimiento ensayos de partículas magnéticas según Asme Sección V.	31
	• Seleccionar el Tipo de Magnetización del material a inspeccionar:	31
	• Seleccionar el Tipo de Corriente de magnetización:	33
	• Aplicación de partículas magnéticas Secas.	33
	• Aplicación de partículas magnéticas Húmedas.	34
	• Proceso de magnetización del material.	34
	• Inspección y evaluación.	35
	• Des magnetización.	35
4.3.4	Líquidos penetrantes PT (penetrant liquids testing)	35
4.3.4.1	Generalidades del Ensayo Líquidos Penetrantes ASTM Tipo II- Método C (Coloreados y removibles con solvente):	35
	• Propiedades de los líquidos penetrantes.	36
	• Variables Críticas en el procedimiento del Ensayo de Tintas Penetrantes:	37
4.3.4.2	Fases del procedimiento para realizar el ensayo de líquidos penetrantes.	38
	• Limpieza de la Superficie.	38
	• Aplicación del Penetrante.	39
	• Tiempo de permanencia del Penetrante.	39
	• Remoción del Exceso de Penetrante.	39
	• Aplicación del Revelador.	40
	• Tiempo de Permanencia del Revelador.	40
	• Interpretación.	40
5.	MARCO EXPERIMENTAL.	41
5.1	PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SMAW EN TUBERÍA ASTM A-36 PARA GENERACIÓN DE INCLUSIÓN DE ESCORIA	41
5.2	PROCEDIMIENTO ESTABLECIDO PARA LA GENERACIÓN DE ESCORIA MEDIANTE EL PROCESO DE SOLDADURA SMAW (SHIELD METAL ARC WELDING)	43
5.2.1	Generación de escoria mediante la remoción incompleta de la escoria de una pasada anterior	43
	Como previamente se identificó; la generación de Escoria mediante una falta de limpieza entre pases es una mala práctica y muy común para la generación de inclusiones de escoria en juntas soldadas pero para nuestro caso de Estudio es de vital importancia implementar este factor para que al momento de inspeccionar la junta soldada, nos revele la forma, tamaño y ubicación de la escoria que se ha inducido. [12]	43
5.2.2	Remoción incompleta entre pases	44
5.2.3	Electrodo sucio	45
5.2.4	Suciedad presente en la tubería	45
5.2.5	Generación de escoria a partir de separación entre piezas a unir demasiado grande	45
5.2.6	Generación de Escoria por Técnica de Soldeo inapropiada por parte del soldador	45
5.2.7	Generación de Escoria por Bajo Amperaje	46
5.3	PROCEDIMIENTO Y EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS ESPECIFICADOS (SIGUIENDO CÓDIGO ASME SECCIÓN V)	49
5.3.1	Procedimiento y ejecución de tintas penetrantes (PT)	49
5.3.1.1	Materiales para realizar el ensayo:	49
5.3.1.2	Inspección previa a realizar el ensayo (tubería y cordón de soldadura)	50

5.3.1.3	Limpieza superficial	51
5.3.1.4	Aplicación de líquido penetrante.	51
5.3.1.5	Tiempo de permanencia del penetrante.	52
5.3.1.6	Remoción del exceso penetrante.	52
5.3.1.7	Aplicación del revelador.	53
5.3.1.8	Tiempo de permanencia del revelador	53
5.3.1.9	Inspección y evaluación	53
5.3.2	Partículas magnéticas (MT).	55
5.3.2.1	MATERIALES PARA REALIZAR EL ENSAYO:	55
5.3.2.2	Preparación de la superficie del material a realizar el ensayo.	56
5.3.2.3	Seleccionar el tipo de magnetización del material a inspeccionar.	56
5.3.2.4	Seleccionar el tipo de corriente de magnetización	57
5.3.2.5	Aplicación de las partículas magnéticas secas:	57
5.3.2.6	Proceso de magnetización del material.	57
5.3.2.7	Inspección y evaluación.	59
5.3.2.8	Des magnetización	62
5.3.3	Procedimiento realizado siguiendo código Asme sección v en partículas magnéticas húmedas	62
5.3.3.1	Aplicación de las partículas magnéticas húmedas.	62
5.3.3.2	Proceso de magnetización del material.	63
5.3.3.3	Inspección y evaluación.	64
5.3.4	Ultrasonido Phased Array (UT-PA)	65
5.3.4.1	Caracterización morfológica inclusión de escoria (SCAN A).	65
5.3.4.2	Caracterización morfológica inclusión de escoria (scan s o d).	70
5.3.4.3	Caracterización morfológica inclusión de escoria (scan c.).	77
6.	CONCLUSIONES	78
7.	BIBLIOGRAFÍA	80

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 RADIOGRAFÍA DE INCLUSIONES DE ESCORIA ALINEADAS DE TIPO VOLUMÉTRICO.....	17
Figura 2 RADIOGRAFÍA DE INCLUSIONES DE ESCORIA AISLADAS DE TIPO VOLUMÉTRICO	17
Figura 3. INCLUSIÓN DE ESCORIA SUPERFICIAL ALINEADA Y AISLADA.	18
Figura 4 MECANISMO DE LA SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO	18
Figura 5. Limpieza Incorrecta por parte del soldador.	19
Figura 6 Distancia entre placas muy grande.....	19
Figura 7 Técnica inapropiada del soldador.	20
Figura 8 Velocidad de avance demasiado rápida	20
Figura 9 Instrumentos Medidores de Corriente.	21
Figura 10 Aplicación del ultrasonido de arreglo de fases (PA-UT).....	27
Figura 11. Principios Básicos del ultrasonido de arreglo de fases (PA-UT).....	28
Figura 12 Inspección ultrasonido TOFD.	29
Figura 13 Esquema de magnetización Directa.	32
Figura 14 Esquema de Magnetización Indirecta.	32
Figura 15 Magnetización del Material	35
Figura 16 Probeta implementada.	41
Figura 17 Características del Metal de Aporte.	42
Figura 18 Bisel y Datos de la Junta soldada.	42
Figura 19 Proceso de Generación de Inclusión de Escoria.	44
Figura 20 (Diseño de la junta Soldada).	45
Figura 21. ELECTRÓDOS PARA SOLDAR ACEROS DE BAJO CARBONO.	48
Figura 22 DATOS TÉCNICOS DEL MATERIAL A INSPECCIONAR	49
Figura 23 Tintas Penetrantes SPOTCHECK	50
Figura 24 Tubería y soldadura antes de realizar el Ensayo	50
Figura 25 Limpieza superficial del tubo.....	51
Figura 26 Aplicación de Penetrante	52
Figura 27. Remoción con retal de tela del exceso de penetrante	52
Figura 28 Aplicación del líquido Revelador	53
Figura 29 Discontinuidades presentes en la tubería.....	53
Figura 30 Indicaciones relevantes.....	54
Figura 31 Indicaciones no relevantes.....	54
Figura 32 Datos técnicos del material a inspeccionar.....	55
Figura 33 Materiales para realizar el ensayo.	55
Figura 34 Limpieza superficial del tubo.....	56
Figura 35 Tipo de corriente de Magnetización.....	57
Figura 36 Aplicación de Partículas Secas Rojas.....	57
Figura 37 Posicionamiento del Yugo sin encender	58
Figura 38 Encendido del Yugo.	58
Figura 39 TOMA MT -PS No. 1 (Indicaciones relevantes)	59
Figura 40 TOMA MT -PS No. 1 Punto (3)	59
Figura 41 MT -PS No. 2 (Indicaciones reveladas por el ensayo)	60
Figura 42 MT -PS No. 3 (Indicaciones reveladas por el ensayo).....	61

Figura 43 TOMA MT -PS No. 3 Punto (2).....	61
Figura 44 Aplicación de laca Blanca.....	62
Figura 45 Aplicación de partículas Magnéticas Húmedas	63
Figura 46 Posicionamiento del Yugo sin encender	63
Figura 47 (Posicionamiento y encendido del Yugo)	64
Figura 48 Scan A Phase Array Toma 1.....	66
Figura 49 Segmento Scan A Toma No. 1	66
Figura 50 Scan A Phase Array Toma 2.....	67
Figura 51 Segmento Scan A Toma No. 2	67
Figura 52 Scan A Phase Array Toma 3.....	68
Figura 53 Segmento Scan A Toma No. 3	68
Figura 54 Scan A Phase Array Toma 4.	69
Figura 55 Segmento Scan A Toma No. 4	69
Figura 56 Scan D Phase Array Toma 1	71
Figura 57 Scan A y Scan S Toma No.1	71
Figura 58 Segmento Scan A Toma No. 1	72
Figura 59 Scan D Phase Array Toma 2	72
Figura 60 Scan A y Scan S Toma No.2.	72
Figura 61 Segmento Scan A Toma No. 2	73
Figura 62 Scan D Phase Array Toma 3)	73
Figura 63 Scan A y Scan S Toma No.3.	74
Figura 64 Segmento Scan A Toma No. 3	74
Figura 65 (Scan D Phase Array Toma 4).....	75
Figura 66 Scan A y Scan S Toma No.3.	75
Figura 67 Segmento Scan A Toma No. 4	76
Figura 68 (Scan C Phased Array Toma única).	77

1. RESUMEN

En este trabajo de dar solución a un problema de ingeniería, se realizó la caracterización de la discontinuidad de inclusión de escoria en uniones o juntas soldadas por proceso SMAW, mediante ensayos No Destructivos como (Tintas Penetrantes **PT**, Partículas Magnéticas **MT** y Ultrasonido de arreglo de fases (Phase Array **PA-UT**), la cual se desarrolló con la tecnología del **Instituto de Soldadura West Arco S.A.S.** Con el fin de identificar las características visuales que se presentan en juntas soldadas de tubería de acero al inducir escoria en la unión soldada, en la cual se parametrizó una morfología que presente la discontinuidad en cada uno de los ensayos no destructivos realizados, teniendo en cuenta factores y variables críticas que influyeron directamente en el proceso de soldadura para la inclusión de Escoria, en donde se implementaron metodologías para que se generará escoria en la junta soldada; todo esto ligado bajo formatos y procedimientos para realizar posteriormente todas estas metodologías con el fin de implementar posteriormente en la industria una metodología de estudio con los métodos de inspección implementados en este trabajo.

Al realizar la caracterización de inclusión de escoria por medio de cada uno de los ensayos mencionados inicialmente, se permitió analizar su correspondiente morfología y características visuales que brindó cada ensayo. Además, detallando y comparando cuál de los ensayos no destructivos es el que tiene más sensibilidad para identificar la discontinuidad de inclusión de escoria. Toda esta metodología implementada sirvió para generar herramientas de aprendizaje en la industria, para que se implementen en los procesos de inspección adicionales a los conocidos en las juntas soldadas dentro de cualquier organización; por lo tanto este artículo tendrá como propósito social divulgar la importancia de la identificación de inclusión de escoria en la soldadura mediante los END especificados.

2. INTRODUCCIÓN

En este trabajo de solución a un problema de ingeniería se trata de la caracterización morfológica de escoria presente en la soldadura realizada por medio del proceso de soldadura de arco por electrodo revestido o SMAW ("Shield Metal Arc Welding") mediante ensayos no destructivos como (Tintas Penetrantes **PT**, Partículas Magnéticas **MT** y Ultrasonido de arreglo de fases (Phase Array **PA-UT**). Esta caracterización permite implementar como una herramienta de mantenimiento para realizar intervenciones de tipo predictivo en los equipos y/o componentes a inspeccionar, con el fin de brindar soluciones correctivas de una forma rápida y efectiva para eliminar las causas de la generación de escoria presente en la soldadura.

La característica principal de este tipo de herramienta predictiva es de identificar la discontinuidad (inclusión de Escoria) de una forma rápida y efectiva, de tal forma que en cada uno de los resultados revelados por los ensayos que posean la mayor aptitud, indique una forma, color, tamaño o especificaciones propias que nos indiquen de manera visual que es escoria presente en la soldadura.

Esta caracterización morfológica de la escoria surge por el interés de brindar una herramienta de tipo visual, para que el inspector de soldadura identifique de forma inmediata, las características propias de la escoria presente en la soldadura, ya que por ejemplo en la práctica del Ultrasonido convencional como el Phased Array el inspector identifica la discontinuidad como tipo Lineal o Volumétrico; en cambio con esta herramienta de caracterización se podría identificar inmediatamente que la discontinuidad presente en la soldadura es escoria según las características propias visualizadas en cada ensayo.

Para realizar dicha caracterización se implementó la Tecnología presente en el **Instituto de Soldadura West Arco S.A.S**, los cuales para la inclusión de escoria tienen mayor sensibilidad y poseen una mayor aptitud los siguientes ensayos:

- Ultrasonido de arreglo de fases ("Phased Array" PA-UT)
- Ultrasonido Convencional (UT)
- Radiografía (RT)*
-

Adicionalmente a esto se realizaron los END de tipo superficial y sub- superficial tales como **Tintas Penetrantes y partículas magnéticas**. Que no poseen la más alta sensibilidad y aptitud para encontrar inclusiones de escoria, pero se realizan con un fin Educativo para evidenciar otras clases de discontinuidades presentes en el cordón de soldadura.

**Radiografía (RT). El método de Radiografía, no se realiza por parte de nosotros debido al alto riesgo y peligrosidad que este ensayo posee. Empleando más el ultrasonido que la Radiografía.*

Para los ensayos de Ultrasonido de arreglo de fases (PA-UT), Tintas Penetrantes (PT) y Partículas Magnéticas (MT), se aplicó la metodología del procedimiento del código ASME Sección V, con el fin de seguir un paso a paso de forma correcta para garantizar que los resultados obtenidos en el ensayo sean confiables y verídicos en el momento de caracterizar la morfología de la escoria.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Identificar la morfología de la discontinuidad de inclusión de escoria en juntas soldadas de tubería de acero, mediante ensayos no destructivos especificados.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Implementar variables críticas que influyen para la generación de escoria en la junta soldada, de acuerdo con la normatividad existente.
- ✓ Determinar la muestra de las variables que afectan directamente durante el proceso SMAW para inclusiones de escoria, mediante el análisis de procedimientos.
- ✓ Realizar el proceso de Soldadura SMAW, bajo características y especificaciones técnicas establecidas en las normas, teniendo en cuenta las especificaciones del procedimiento soldeo, así como el reporte de calificación del procedimiento de fabricación e inspección de la junta soldada.
- ✓ Realizar los Ensayos No Destructivos para la determinación de la discontinuidad de Inclusión de Escoria en la junta soldada.
- ✓ Determinar a partir de resultados propios que revela cada ensayo no destructivo en la unión soldada, las características de la morfología que identifican la inclusión de escoria en la junta soldada.

4. MARCO CONCEPTUAL

4.1 VARIABLES CRÍTICAS PARA LA GENERACIÓN DE ESCORIA EN JUNTAS SOLDADAS MEDIANTE PROCESO DE ELECTRODO REVESTIDO SMAW (SHIELD METAL ARC WELDING)

Para conocer acerca de las variables que afectan el proceso de soldadura para la generación de escoria, es necesario tener el conocimiento acerca de la defectología presente en la soldadura, evidenciando que es una discontinuidad, que diferencia una discontinuidad a un defecto y que son las indicaciones, con el fin de dar una definición formal de la inclusión de escoria en soldadura.

4.1.1 Defectología

La caracterización de la defectología presente en uniones soldadas, es una herramienta de estudio muy útil, para determinar cuáles son las condiciones que se presentan en el proceso de soldadura, para que existan los diferentes defectos como: Porosidad, Escoria, Falta de Penetración, Falta de Fusión, Socavado, Grietas, Des-alineamiento, entre otras. Por lo tanto es de vital importancia, conocer el amplio marco de estudio que tiene la caracterización de la soldadura, y así indicar que es lo que NO se debe hacer en un proceso de soldadura SMAW en una unión soldada, para una aplicación industrial específica [10].

En una unión soldada pueden producirse defectos variados; éstos pueden originarse en el tipo de electrodos utilizados, o por las deformaciones producidas por el intenso calor aportado y las anomalías o discontinuidades del cordón, que pueden malograr el aspecto y configuración tanto interna como externa de la soldadura [10].

Para introducir el tema “defectos en las soldaduras” es necesario, para evitar errores de interpretación, comenzar definiendo términos tales como discontinuidad, defecto, indicación, método de ensayo, evaluación de indicaciones, entre otras.

4.1.1.1 Discontinuidad. Falta de continuidad; falta de cohesión (de unión); interrupción en la estructura física normal del material o producto [11].

4.1.1.2 Defecto. Discontinuidad cuyo tamaño, forma, orientación, ubicación o propiedades son inadmisibles para alguna norma específica. En particular, al realizar un ensayo no destructivo (END) se cataloga como defecto a toda discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones no se encuentran dentro de los criterios de aceptación especificados por la norma aplicable [11].

4.1.1.3 Indicación. Respuesta o evidencia de una discontinuidad resultante de la aplicación de un END [11].

4.1.1.4 Indicaciones Relevante. Proceso en el cual se decide la severidad del estado de la parte o pieza, luego de que la indicación ha sido interpretada. De la interpretación surgirá que la indicación es irrelevante o es una discontinuidad, y en este último caso surgirá que es un defecto o no. Dicha evaluación lleva a decidir, entonces, si la parte o pieza debe ser rechazada, reparada o aceptada para su uso [11].

4.1.1.5 Indicaciones Irrelevantes. Las condiciones que las causan están presentes por diseño, por accidente, o por otras características de la pieza que no tienen relación con el defecto que está siendo investigado, por lo tanto se desprecian. Por ejemplo:

a) indicaciones producidas por campos de fuga (campos magnéticos que abandonan o entran a la superficie de la pieza en una discontinuidad en las propiedades magnéticas o en un cambio de sección de un circuito magnético) en MT.

b) indicaciones producidas por una raya en la película radiográfica en RT [11].

4.1.2 Inclusión de escoria

Antes de dar la definición formal de Inclusión de escoria en soldadura, se tiene que tener claro que todo lo que se refiera a “inclusión”, es aquel material sólido atípico o extraño a la estructura tanto física y química de un material. En este caso se tiene que aclarar que la inclusión puede ser metálica o no metálica. El término de Inclusión de Escoria se utiliza para describir las partículas de óxido u otros sólidos no metálicos atrapados entre pasadas de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal base. En general la escoria es generada por el recubrimiento que deja el electrodo, el cual con el calor del arco se convierte en un líquido menos denso que el metal. Por lo que a medida que este líquido flota hacia la superficie de la junta y quede atrapada dentro del material en vez de flotar hasta la superficie, genera inclusiones que degradan la resistencia mecánica de la junta soldada [1].

Por lo tanto Inclusión de Escoria en la soldadura se puede definir de la siguiente forma:

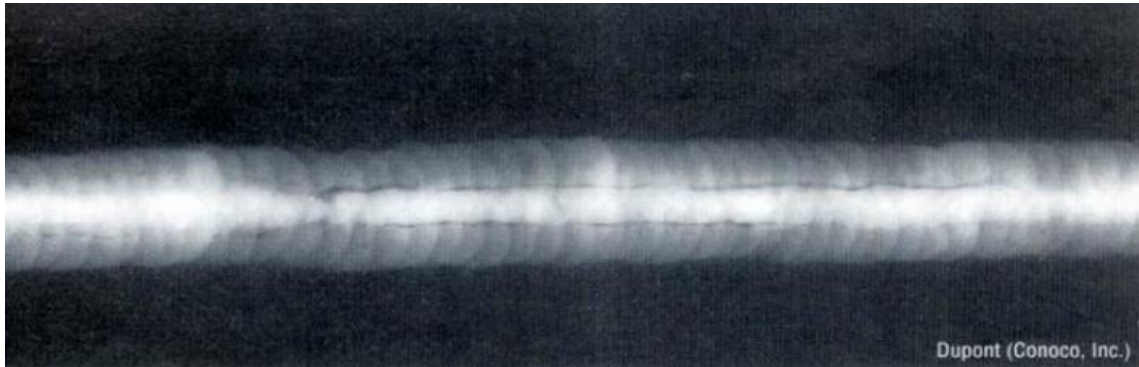
- *La AWS A 3.0 (Definiciones y términos en soldadura) nos da la siguiente definición de Inclusión de Escoria en Soldadura:
“Es una discontinuidad que consta de características no metálicas y es resultante de la mutua disolución de impurezas de flujo en los procesos de soldadura. Estas discontinuidades pueden presentarse en el metal de soldadura o en la interface de la soldadura.” [24]*

Como cita anteriormente la Sociedad Americana de Soldadura AWS, en la definición de inclusión de escoria existen inclusiones de escoria, tanto en la superficie de la soldadura como el cuerpo o relleno de la soldadura (Volumétrico). Existen dos grupos de inclusión de escoria en general las cuáles son:

- INCLUSIONES DE ESCORIA AGRUPADA (Superficial o Volumétrico).

Son aquellas que se presentan en la junta soldada de forma agrupada y amontonada, esto por consecuencia de acumulación de escoria entre varios pases. Se puede presentar en la superficie del cordón de soldadura o en el volumen como tal de la junta. [2]

Figura 1 RADIOGRAFÍA DE INCLUSIONES DE ESCORIA ALINEADAS DE TIPO VOLUMÉTRICO

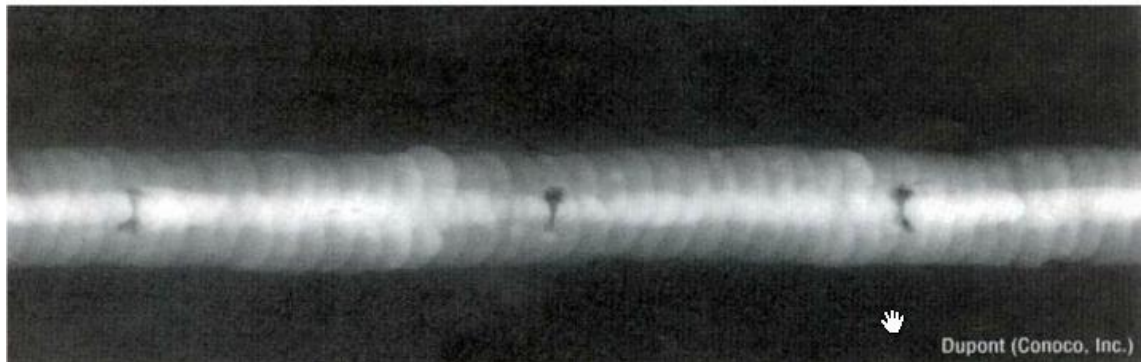


Fuente: [25]

- INCLUSIONES DE ESCORIA AISLADAS (Superficial o Volumétrico).

Son aquellas que se presentan en la junta soldada de forma aislada y No amontonada, esto por consecuencia de la deficiencia de limpieza entre pase y pase. Se puede presentar en la superficie del cordón de soldadura o en el volumen como tal de la junta. [1]

Figura 2 RADIOGRAFÍA DE INCLUSIONES DE ESCORIA AISLADAS DE TIPO VOLUMÉTRICO

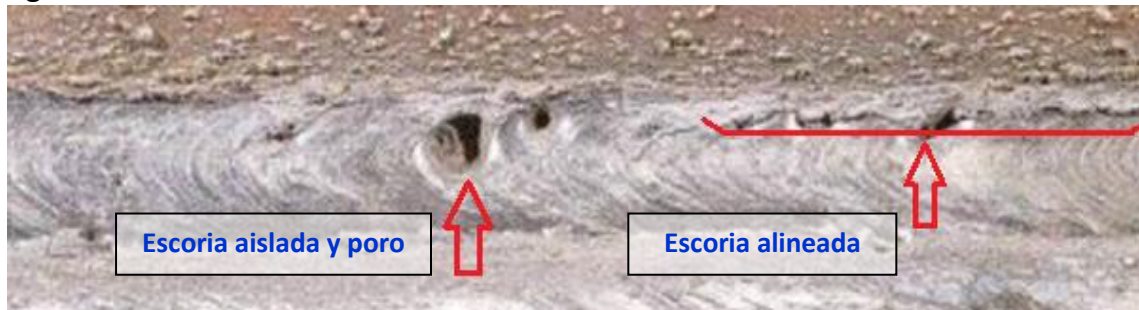


Fuente: [25]

- INCLUSIONES DE ESCORIA ALINEADA (Superficial o Volumétrico).

Son aquellas que se presentan en la junta soldada de forma seguida y alineada, esto por consecuencia de la deficiencia de limpieza entre pase y pase. Se puede presentar en la superficie del cordón de soldadura o en el volumen como tal de la junta. [1].

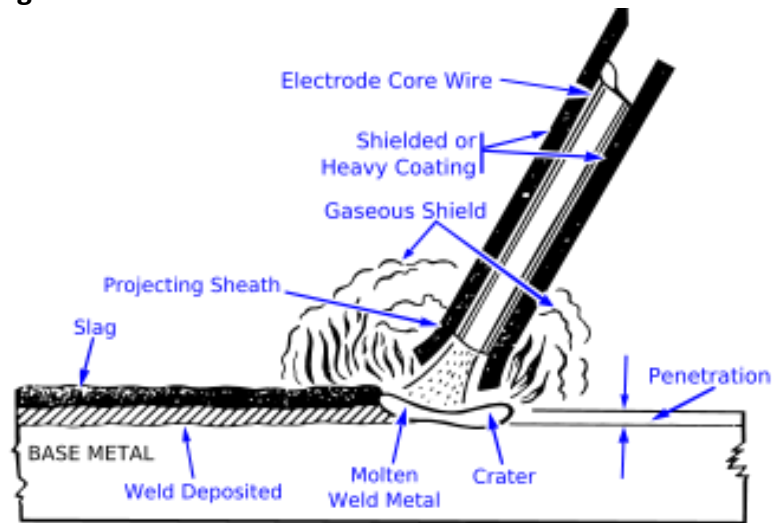
Figura 3. INCLUSIÓN DE ESCORIA SUPERFICIAL ALINEADA Y AISLADA.



Fuente: [25]

4.1.2.1 Parámetros que influyen en el proceso de soldadura para producir escoria. Hay que tener en cuenta que para que se produzca inclusión de escoria en la junta soldada, el factor más importante es que se aplique un proceso de soldadura que utilice alguna clase de Fundente de protección, es decir se produce por el efecto de la fundición del material que protege el arco eléctrico al momento de realizar la soldadura. Por lo que únicamente se pueden producir en proceso de Soldadura como SMAW, FCAW, y en muchos casos en GTAW ya que se genera inclusión de escoria de tungsteno.

Figura 4 MECANISMO DE LA SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO



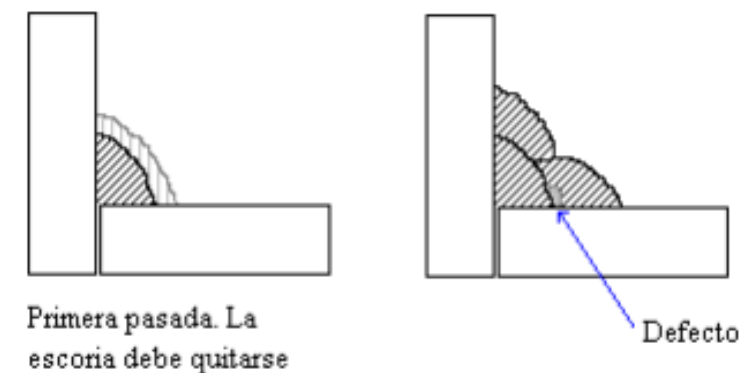
Fuente: [25]

Se nombrará los factores determinantes en la producción de escoria en la junta soldada:

a) Remoción incompleta de la escoria de una pasada anterior.

La remoción incompleta entre pases se da por una incorrecta manipulación de las herramientas de limpieza, al momento de remover la escoria que se genera por cada pasada de soldadura, por lo tanto el soldador está realizando una incorrecta limpieza entre pases de la soldadura.

Figura 5. Limpieza Incorrecta por parte del soldador.

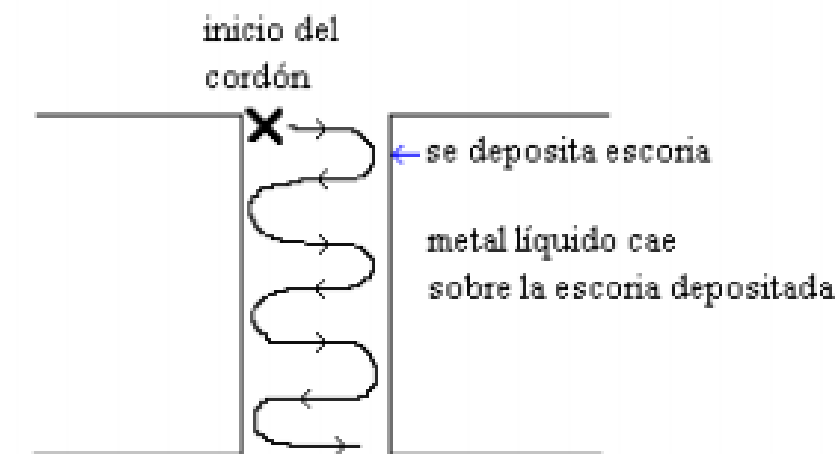


Fuente: [3]

b) Separación entre piezas a unir es demasiado grande.

El diseño de la Junta a soldar es el inadecuado para la aplicación de la soldadura, es decir la separación entre piezas a unir es demasiado grande por lo cual interfiere para la generación de escoria en la junta soldada; por la alta distancia entre metal base y metal de aporte. [3]

Figura 6 Distancia entre placas muy grande.



Fuente: [3]

c) Técnica de Soldeo inapropiada por parte del soldador.

Cuando el soldador realiza movimientos erróneos con el electrodo se produce que el arco No sea uniforme, permitiendo que la escoria no flote hacia la superficie y quede de forma volumétrica en la junta soldada. Adicionalmente la **Inclinación del trabajo** del eje y la unión por soldar suele estar en posición vertical o casi vertical. Si se desvía en más de 10 o 15 grados respecto a la vertical, será preciso emplear procedimientos de soldadura especiales. [3]

Figura 7 Técnica inapropiada del soldador.

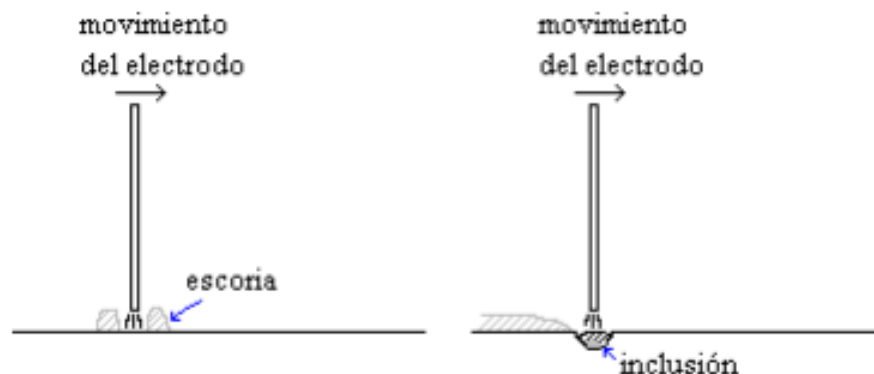


Fuente: [3]

d) Velocidad de avance demasiado rápida.

En este parámetro se tiene en cuenta que si es muy rápida la velocidad de avance del electrodo, no formaría un arco estable y uniforme, y si por el contrario se aplica la soldadura con una velocidad de avance baja, se acumularía la escoria con el metal base y metal de aporte que se están fundiendo en el proceso. Por lo que se recomienda manejar una velocidad de avance que sugiera el fabricante de la soldadura. [3]

Figura 8 Velocidad de avance demasiado rápida



Fuente: [3]

e) Bajo Amperaje.

No se puede mantener un arco uniforme, por lo que genera inclusiones de escoria. Por la disminución de corriente o el inapropiado amperaje previamente seleccionado, será consecuencia de que permita la generación de inclusiones de escoria debido a que con un bajo amperaje NO se podrá mantener un arco uniforme, permitiendo que agentes externos como impurezas en el ambiente se puedan filtrar durante la ejecución del proceso de soldadura. [3]

Figura 9 Instrumentos Medidores de Corriente.



Fuente: [Autor]

Todos los anteriores parámetros previamente explicados son factores y variables críticas que se deben tener en cuenta en el proceso de soldadura a realizar. En conclusión y específicamente para este estudio de caracterización morfológica de la escoria en juntas soldadas se va a tener en cuenta el factor de **Remoción incompleta de la escoria de una pasada anterior**, debido a que es el factor que con mayor frecuencia se comete y el factor que es más crítico de todos los anteriormente mencionados. A continuación se explica el por qué este Factor es el más crítico para la Generación de Escoria:

4.1.2.2 Generación de escoria por mal limpieza entre pases. El cuidado con que se elimina la escoria de cada CORDÓN O PASE de soldadura antes de soldar es lo más importante debido a que sobre ella influye directamente la calidad de las soldaduras de varias pasadas. Si no se limpia exhaustivamente cada pase, aumenta la probabilidad de atrapar escoria y, por tanto, de producir una soldadura defectuosa. Pero debido a la complejidad de este proceso, conseguir que entre cada pasada el perfil de soldadura sea el mismo es muy difícil, por lo que el soldador al momento de realizar la limpieza No va a ser removida totalmente por consecuencia de la geometría que se originó en el proceso de Soldeo, consiguiendo que quede escoria atrapada entre cada pase y el soldador ni lo note. Por lo tanto para la eliminación completa y eficiente de la escoria es necesario que en cada pasada tenga el perfil apropiado y que se funda en forma continua entre cada pasada con el metal base.

NOTA: Además las variables como separación entre piezas a unir demasiado grande, la técnica de Soldeo inapropiada por parte del soldador, Velocidad de avance demasiado rápida, bajo Amperaje; están ligadas y/o normalizadas según catálogos, requerimientos que se deben indicar y cumplir de una manera rigurosa en cada proceso de soldadura; por lo tanto no se caracterizará la escoria por estos factores y variables

4.2 CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA IMPLEMENTADO

En la actualidad todos los procesos de soldadura se rigen bajo códigos, normas y especificaciones las cuáles las más reconocidas son:

- AWS (American Welding Society)
- ASME (American Society of Mechanical Engineers)
- API (American Petroleum Institute)

Estas organizaciones se encargan de establecer las NORMAS para soldar cualquier tipo de conductos a presión, Puentes, construcciones y líneas de transmisión de gas y petróleo. Las cuáles establecen la siguiente definición de variable crítica:

"Toda variable crítica en soldadura es la que cuando cambia considerablemente, obliga al trabajador a emplear nuevos procesos y someterlos nuevamente a pruebas de aceptación" [13]

Estas variables críticas que influyen en el proceso son las siguientes:

4.2.1 Variables eléctricas: Corriente y tensión del arco eléctrico. Se considera que una modificación del 10% o 7% en la tensión representa un cambio esencial en el proceso de soldadura. [13]

4.2.2 Materiales de aporte: Los cambios en los materiales de aporte tienen efecto en la potencia del Arco eléctrico, es decir si hay un cambio importante en el metal de aporte afecta la tensión y corriente del proceso. Esto involucra directamente el diámetro del electrodo utilizado y el tipo de fundente que se está implementando en el proceso, por lo que se vuelve una variable crítica cuando se sobredimensiona o se elige mal el diámetro del electrodo a implementar. [14]

4.2.3 Dimensiones y geometría de la junta: Esta variable influye en el proceso debido a que la distribución y el flujo de calor depende de la masa del objeto que se esté soldando. Por lo que un metal delgado se transfiere calor con mayor rapidez que un metal más grueso. Aquí entra el Diseño de la junta en el cuál involucra ángulo de Bisel, Tamaño de la Cara de la raíz, abertura de Raíz, grado de inclinación entre placas. [15]

4.2.4 Medidas de seguridad antes de realizar el proceso de soldadura.

4.2.4.1 Consideraciones de seguridad a tener en cuenta para el correcto procedimiento del Proceso de Soldeo. Como Normativa y Obligatoriedad en todo proceso industrial, se

debe seguir y conocer obligatoriamente las medidas de seguridad que se deben tener en cuenta en cualquier actividad que genere cualquier tipo de Riesgo, esto con el fin de disminuir lo más alto posible cualquier tipo de accidente cuando se esté realizando una actividad de tipo industrial. En este caso el proceso de soldadura tiene un alto índice de accidentalidad, por lo que es bueno conocer que debemos tener en cuenta cuando se esté realizando el proceso de Soldeo SMAW en tubería.

- ✓ Cuando se realiza una soldadura de arco (SMAW), ciertas partes conductoras de energía eléctrica están al descubierto, el operador tiene que observar con especial cuidado las reglas de seguridad, a fin de contar con la máxima protección personal y también proteger a las otras personas que trabajan a su alrededor.
- ✓ Siempre utilizar todo el equipo de protección necesario para el tipo de soldadura a realizar. Los elementos de Protección personal (EPP) son: Máscara de soldar con su respectivo lente protector certificado, Guantes de cuero, delantal de cuero, Botas de seguridad
- ✓ Antes de usar el equipo de soldadura se debe guardar ciertas precauciones, conocer su operación y manejo, como también los accesorios y herramientas adecuadas.
- ✓ Nunca se debe soldar en la proximidad de líquidos inflamables, gases, vapores, metales en polvo o polvos combustibles.
- ✓ Soldar en áreas con una adecuada ventilación para que el operario no quede expuesto a severas molestias y enfermedades.

Con el fin de establecer el procedimiento realizado para la junta soldada es necesario realizar un **WPS "Welding Procedure Specification" o "Especificaciones del Proceso de Soldadura"**, en el cual tiene como objeto orientar al soldador bajo unos procedimientos aceptados, utilizando unas técnicas de soldadura repetibles y fiables.

4.2.5 ¿Qué contiene el WPS?

EL WPS involucra **Variables Esenciales, Variables Suplementarias y variables No Esenciales.**

4.2.5.1 Variables esenciales. Aquellas variables que si se modifican o se realiza un cambio, afectan proporcionalmente las propiedades mecánicas de la soldadura y requieren de recalificación.

4.2.5.2 Variables suplementarias. Aquellas que por requerimientos de otras secciones del código requieren pruebas de impacto

4.2.5.3 Variables no esenciales. Aquellas variables en que cualquier cambio o modificación no afecta las propiedades mecánicas de la soldadura y por lo tanto se puede hacer sin recalificar el WPS, pero se debe documentar el cambio.

4.2.5.4 Variables Esenciales.. Todas las variables anteriormente descritas se deben de registrar el soldador y están enmarcados en el código ASME sección IX, (Estándar para Calificación de Procedimientos de Soldadura), los cuales establecen los lineamientos precisos para el desarrollo de un procedimiento de soldadura, aquí se describe:

- **Diseño de Junta:** Indica qué tipo de junta se utilizará en este proceso, (ranura en U, en V, bisel simple, o bisel doble), además de aclarar si en el proceso que se propone, es necesario un respaldo, y de que material debe ser este.
- **Metal Base:** Aquí se indica la especificación del material de las juntas a soldar, ya sean similares o de diferente tipo, su tipo o grado, tensión, composición química y molecular, número y grupo, ya sea para tubo o lámina. Estos datos se establecen con el propósito de identificar la resistencia a la tracción y los componentes químicos y mecánicos en el material base.
- **Metal de Aporte:** Aquí se registra las especificaciones del material de aporte, el cual es depositado para crear el cordón de soldadura, especificando las características eléctricas del mismo, tamaño, diámetro del electrodo, composición química, rango de su espesor.
- **Posiciones:** En este punto hay que especificar la posición en la cual se apoyará el operario para aplicar una apropiada soldadura, ya sea en productos laminados, posiciones para ranura en tubo o posiciones de pruebas para soldaduras con filete en placa o en tubo.
- **Pre calentamiento:** La temperatura para el pre calentamiento del material a soldar se define en este punto, si el proceso así lo requiere, para garantizar la perfecta fusión entre las partes a soldar, y el material depositado.
- **Tratamiento Térmico Post-soldadura:** Si el material utilizado requiere de un tratamiento térmico luego del proceso de soldadura, se debe especificar el rango de temperatura y tiempo al cual será sometido el material, para generar un alivio de tensiones adecuado.
- **Características Eléctricas:** Los parámetros de amperaje, polaridad, corriente alterna o directa, y rango de alimentación del electrodo, se deben consultar en la tabla diseñada por el fabricante de los electrodos a utilizar.

- **Técnica:** Este punto debe especificar la técnica de soldadura a utilizar por el soldador, velocidad de aplicación, distancia entre el material y el electrodo; de igual manera, especificar el material que se utilizará para la limpieza del metal soldado, entre pases de soldadura.

El WPS, es una guía que debe implementarse en toda empresa para cada proceso de soldadura que se quiera desarrollar; pero debe ser bajo una supervisión continua desde el principio hasta el final del proceso, este supervisor debe ser un inspector de soldadura, calificado y certificado.

4.3 MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS APLICADOS

Para la detección y caracterización de la discontinuidad de inclusión de Escoria se implementan diferentes tecnologías en la industria, las cuáles identificaremos a continuación:

4.3.1 Radiografía RT (Radiographic testing)

Ensayo No Destructivo de tipo volumétrico en la cual detecta defectos internos de un componente u estructura y posee aptitudes para un debido registro de la inspección Determinando forma y tamaño de la discontinuidad, posee un alto nivel de detección siendo un ensayo de los más sensibles de discontinuidades de tipo volumétrico: Inclusiones de Escorias, grietas, faltas de Fusión y Porosidad interna. [20]

**Radiografía (RT). El método de Radiografía, no se realiza por parte de nosotros debido al alto riesgo y peligrosidad que este ensayo posee. Empleando más el ultrasonido que la Radiografía.*

4.3.2 Ultrasonido UT (Ultrasonic testing)

El ultrasonido industrial es un Ensayo No Destructivo el cual se basa en la impedancia acústica de los materiales, la que se manifiesta como el producto entre la velocidad máxima de propagación del sonido y la densidad del material. [20]

4.3.2.1 Generalidades del Ultrasonido. [20]

- ✓ La técnica ultrasónica está basada en el hecho de que los materiales sólidos son buenos conductores de las ondas acústicas.
- ✓ Las ondas se reflejan en las interfaces y por ende en las discontinuidades internas.
- ✓ El haz reflejado se muestra en la pantalla de un equipo para su posterior análisis.
- ✓ Mediante la inspección ultrasónica se puede: Detectar, ubicar, evaluar y hacer un diagnóstico de los defectos encontrados.

4.3.2.2 Equipo básico del Ultrasonido. [20]

- ✓ Un generador de señales electrónicas (Zapata).
- ✓ Un palpador que emite ondas.
- ✓ Acoplante. Gel o multicelulosa.
- ✓ Un palpador que recibe ondas.
- ✓ Un artefacto electrónico para ampliar y modificar las señales provenientes del palpador.
- ✓ Una pantalla
- ✓ Un temporizador de datos o configuración de un sistema quien realiza el registro de cada dato ("Encoder" o "timer").

4.3.2.3 Ventajas del Ultrasonido. [20]

- ✓ La prueba genera resultados inmediatos.
- ✓ Alta sensibilidad para detectar discontinuidades pequeñas.
- ✓ Es una tecnología limpia.
- ✓ No emite radiaciones perjudiciales para el ser humano.
- ✓ Alta capacidad de penetración en materiales de gran espesor.
- ✓ Solo requiere acceso por una sola cara del objeto a inspeccionar.
- ✓ No requiere condiciones especiales de seguridad para ejecutar la prueba.
- ✓ Se pueden realizar trabajos simultáneos mientras se lleva a cabo el ensayo.

4.3.2.4 Limitaciones del Ultrasonido. [21]

- ✓ Requiere de personal con una buena experiencia y capacidad técnica.
- ✓ Dificultad para inspeccionar piezas con una geometría muy compleja o espesores muy delgados.
- ✓ Se necesitan patrones de calibración.
- ✓ Dificultad para encontrar discontinuidades cercanas a la superficie.
- ✓ Es afectado por la estructura del material (tamaño de grano, tipo de material)
- ✓ Alto costo del equipo.
- ✓ Se requiere de un agente acoplante.

4.3.2.5 Tipos de Ultrasonido. Existen diversas técnicas de inspección por medio de ondas ultrasónicas, las cuales se implementan según la aplicación y necesidades, entre ellos las siguientes:

- **Ultrasonido Convencional.**

El ensayo de ultrasonido convencional implementa ondas sonoras de alta frecuencia quedan reflejadas en las discontinuidades de forma predecible, produciendo patrones de eco distintivos que se pueden visualizar y registrar por los instrumentos portátiles. Maneja

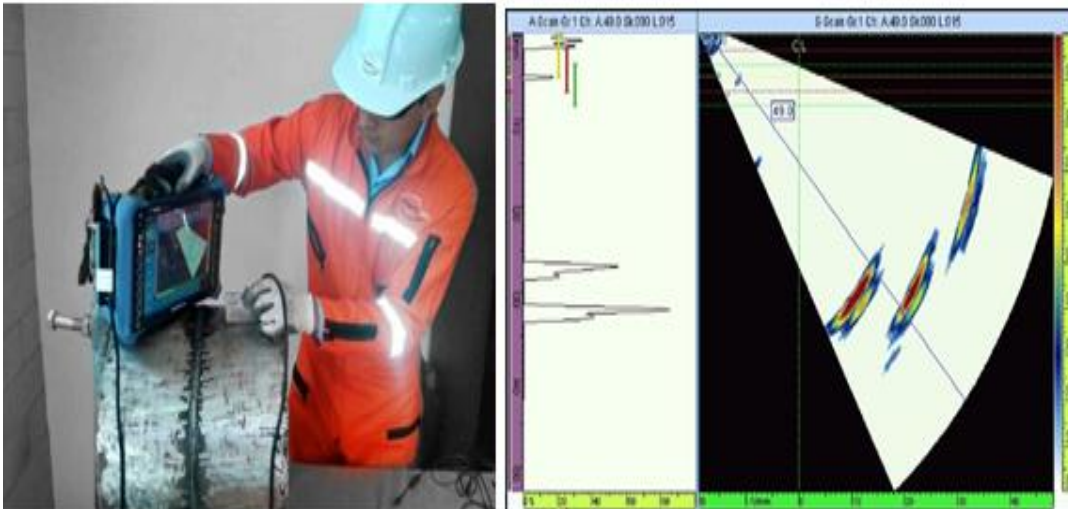
un solo tipo de vista Scan A (Amplitud Vs Tiempo). Y produce un solo haz de ondas sonoras. [9]

- **Ultrasonido Arreglo de Fases PAUT (Phase d Array).**

El ultrasonido de arreglo de Fases PAUT (*Phased Array*) produce imágenes transversales precisas y detalladas de la estructura interna de un material a altas velocidades de inspección. Estas imágenes se pueden evidenciar en los diferentes tipos de vistas o Scan que presenta el Equipo, estos Scan están parametrizados con el fin de obtener diferentes vistas del material de la siguiente forma: Scan A (Amplitud vs Tiempo), Scan B (Transversal), Scan C (Longitudinal - Transversal), Scan D (Sectorial).

La tecnología de arreglo de fases utiliza elementos de ultrasonidos múltiples y retardos electrónicos para crear haces que se pueden dirigir, escanear, barrer y enfocar electrónicamente para lograr inspecciones rápidas, almacenamientos completos de datos e inspecciones con ángulos múltiples. La tecnología *de arreglo de fases* permite obtener mediciones precisas y resultados más confiables. [9]

Figura 10 Aplicación del ultrasonido de arreglo de fases (PA-UT)



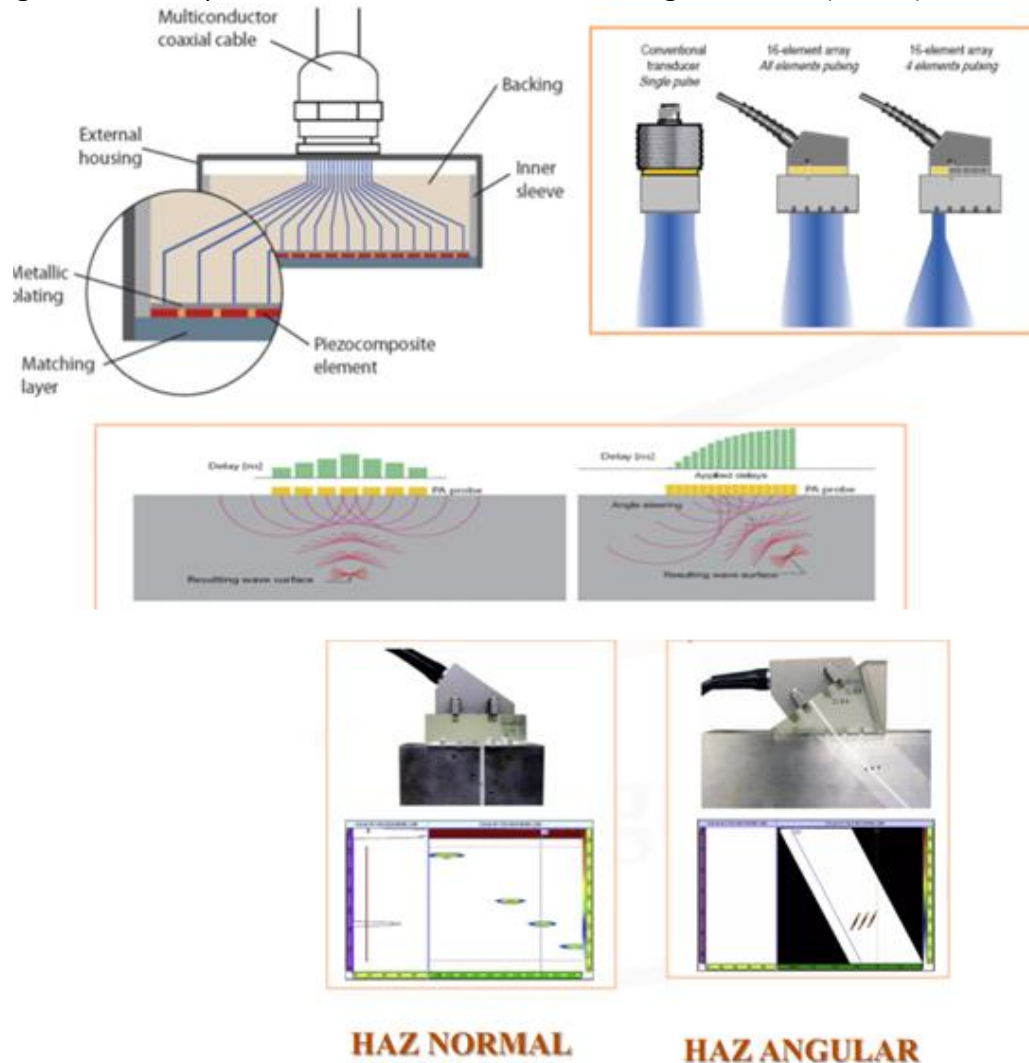
Fuente: [23]

Es una herramienta implementada para la inspección de soldaduras y diferentes componentes de acero en el cual posee las siguientes características:

- ✓ Alta velocidad de barrido electrónico sin movimiento del palpador.
- ✓ Mejora las posibilidades de inspección, controlando las características del haz mediante software.
- ✓ Inspección mediante múltiples ángulos con un simple control electrónico del palpador.
- ✓ Gran flexibilidad para la inspección de geometrías complejas
- ✓ Enfoque optimizado de Barrido de ángulos localizado.

❖ Principios físicos.

Figura 11. Principios Básicos del ultrasonido de arreglo de fases (PA-UT)



Fuente: [23]

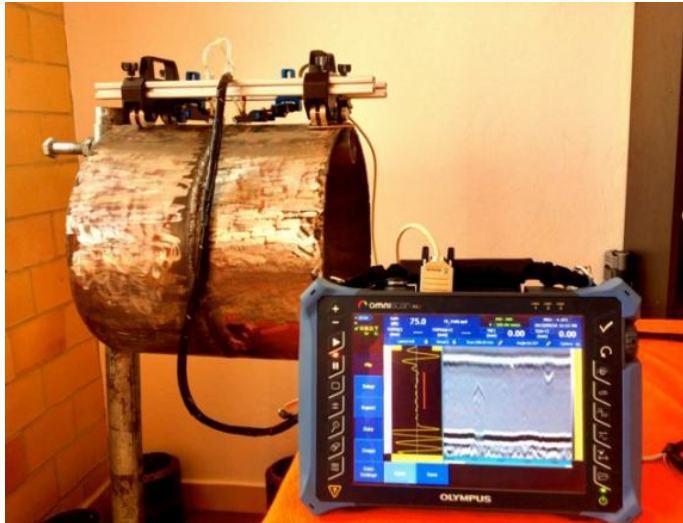
- **Ensayo automatizado de TOFD (Time of flight diffraction).**

Es una poderosa herramienta para la inspección de soldaduras es decir es un ensayo volumétrico, muy utilizada mundialmente en el sector petroquímico minero y nuclear. La técnica permite realizar un control de calidad muy rápido y eficiente a soldaduras de gran espesor, o con configuraciones de bisel complejas, donde la técnica P-E o PAUT puede tener problemas.

El ensayo de TOFD se basa en un sistema de adquisición de datos a computador, el cual registra las variaciones en el tiempo de vuelo de ondas de difracción. Actualmente todos los sistemas de inspección automatizada de soldaduras incluyen el TOFD, ya que permiten

detectar discontinuidades con orientación vertical, como en el caso de la IF (falta de fusión) en juntas de HDPE. [23]

Figura 12 Inspección ultrasonido TOFD.



Fuente: [Integrity NDT] [23]

4.3.3 Partículas Magnéticas MT (Magnetic testing)

4.3.3.1 Generalidades del Ensayo de Partículas Magnéticas: El método de ensayo No Destructivo Partículas magnéticas (MT) se aplica a detectar discontinuidades de tipo SUPERFICIALES y SUBSUPERFICIALES, tales como grietas, porosidad, socavados, falta de fusión presente en la superficie y sub-superficiales (3 mm de profundidad máximo) del material ferro magnético a examinar. La sensibilidad del ensayo de partículas Magnéticas a detectar discontinuidades es mayor en la superficie y disminuye rápidamente al aumentar la profundidad debajo de la superficie a examinar. El principio de este método implica en magnetizar el área ser examinada, y en la aplicación de partículas ferro magnéticas (medio para realizar el examen) a la superficie. Al ser magnetizadas las partículas se agrupan ciertas Partículas formando las líneas de campo magnético generado en la superficie, el campo magnético es obligado a salir de la pieza y dado el caso de existir una discontinuidad se interrumpe el campo magnético causando una fuga de campo y esto es lo que atrae a las partículas. Una cierta agrupación de partículas magnéticas es generalmente característica del tipo de discontinuidad que se detecta. Cualquiera que sea la técnica que se utilice para producir flujo magnético en el área a examinar, la sensibilidad máxima será las discontinuidades linealmente orientadas perpendicularmente a las líneas de flujo del campo magnético. Para una eficacia óptima en la detección de todos los tipos de discontinuidades, cada área debe ser examinada al menos dos veces. [16]

4.3.3.2 Variables Críticas en el procedimiento del Ensayo Partículas Magnéticas. Toda prueba de Partículas Magnéticas se llevará a cabo a conformidad con un procedimiento

escrito que deberán, contener como mínimo los requisitos enumerados por el código ASTM Sección V en la tabla T-721, Artículo 7. [16]

En la siguiente tabla se especifican las variables determinantes en el procedimiento de partículas Magnéticas:

Tabla 1 REQUERIMIENTOS DEL PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

TABLE T-721
REQUIREMENTS OF A MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION PROCEDURE

Requirement	Essential Variable	Nonessential Variable
Magnetizing technique	X	...
Magnetizing current type or amperage outside range specified by this Article or as previously qualified	X	...
Surface preparation	X	...
Magnetic particles (fluorescent/visible, color, particle size, wet/dry)	X	...
Method of particle application	X	...
Method of excess particle removal	X	...
Minimum light intensity	X	...
Existing coatings, greater than the thickness demonstrated	X	...
Nonmagnetic surface contrast enhancement, when utilized	X	...
Performance demonstration, when required	X	...
Examination part surface temperature outside of the temperature range recommended by the manufacturer of the particles or as previously qualified	X	...
Shape or size of the examination object	...	X
Equipment of the same type	...	X
Temperature (within those specified by manufacturer or as previously qualified)	...	X
Demagnetizing technique	...	X
Post-examination cleaning technique	...	X
Personnel qualification requirements	...	X

Fuente: [17]

4.3.3.3 Equipo necesario para realizar el ensayo de partículas magnéticas. Los medios adecuados y apropiados para producir el flujo magnético necesario en la zona a examinar será empleado y aplicado de una o más de las técnicas enumeradas en la siguiente enumeración que identifica la ASTM, para realizar el ensayo:

- Técnicas empleadas para realizar el Ensayo de Partículas Magnéticas:
 - a) Técnica de magnetización permanente.
 - b) Técnica de magnetización longitudinal.
 - c) Técnica de magnetización circular.
 - d) Técnica de yugo: Fabricado con una bobina eléctrica enrollada alrededor de una pieza de acero ferro magnético. Se puede trabajar con DC o AC
 - e) Técnica de magnetización multidireccional.

*Nota: La técnica a emplear para el proceso de magnetización en el Acero ASTM A36 que se va a utilizar, para la caracterización de inclusión de escoria es la **Técnica del Yugo**. [16]*

- Medio de Ensayo (Partículas Ferro-Magnéticas) [16]:

Las partículas ferro magnéticas utilizados para el ensayo deberán cumplir con los siguientes requisitos.

- a) Crear un contraste con el área a inspeccionar.
- b) La Partículas se pueden presentar en seco, suspensión y en húmedo y se tienen que aplicar de acuerdo con **SE-709 ASME SECCION V, ARTICULO 7 (Guía Estándar para realizar ensayo de Partículas Magnéticas).**
- c) Limitaciones de temperatura. Las partículas se utilizarán dentro de las limitaciones en el alcance de temperatura establecidos por el fabricante de las partículas.

*Nota: El medio para realizar el ensayo o las partículas ferro magnéticas a emplear en esta ocasión para el desarrollo del ensayo son las partículas de **Secas y Húmedas.** [16]*

4.3.3.4 Procedimiento ensayos de partículas magnéticas según Asme Sección V.

- **Preparación de la superficie del material a realizar el ensayo.**

- ✓ Pre – inspección (Des-magnetización): El material a inspeccionar será desmagnetizado, garantizando que en condiciones de trabajo anteriores se haya generado un campo magnético residual que pueda interferir, en el proceso del ensayo. [17]
- ✓ Limpieza de la superficie. Todas las superficies a inspeccionar deben estar limpias y secas. La expresión “limpia” quiere decir que la superficie se encuentre libre de aceite, grasa, suciedad, arena, óxido, cascarilla suelta u otro material extraño, el cual pueda interferir con el ensayo. [17]
- ✓ Revestimientos. El ensayo de partículas magnéticas no será realizado con recubrimientos existentes que podrían impedir la detección de discontinuidades superficiales en el material ferro magnético. A demás no se realizará en las siguientes condiciones:

Que tales recubrimientos normalmente incluyen pintura o cromo de la placa mayor que 0,003 pulgadas (0,08 mm) de espesor y recubrimientos ferro magnéticos tal como níquel electro chapado sea mayor que 0,001 pulgadas (0,03 mm) en espesor. Si recubrimientos superiores a estos límites están presentes durante el examen, se debe demostrar que el mínimo discontinuidades rechazables se pueden detectar a través del espesor máximo recubrimiento aplicado. [17]

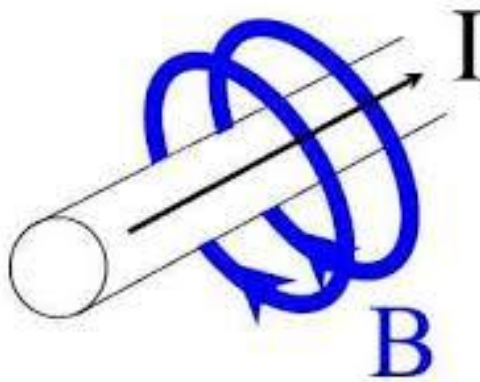
Cuando tales revestimientos son de tipo NO conductor, deberán ser retirados cuando el contacto eléctrico se deba hacer. [16]

- **Seleccionar el Tipo de Magnetización del material a inspeccionar:**

Este paso puede efectuarse por medio de un imán permanente, con un electroimán o por el paso de una corriente eléctrica a través de la pieza (como por ejemplo el yugo). El tipo de magnetización a emplear depende de: el tipo de pieza, las instalaciones existentes en la empresa, el tipo de discontinuidad y la localización de la misma. Entre los métodos de magnetización podemos encontrar:

- ✓ **Magnetización Directa:** En este tipo de magnetización la corriente pasa directamente a través del material bajo prueba, por lo que genera un Campo Magnético Circular.[17]

Figura 13 Esquema de magnetización Directa.



Fuente [17]

- ✓ **Magnetización Indirecta:** Utiliza bobinas preformadas, cables encauchetados, yugos y accesorios de flujo de campo o un conductor central para producir un campo magnético de adecuada fuerza y dirección para magnetizar la pieza bajo prueba. (Campo magnético Longitudinal) [17]

Figura 14 Esquema de Magnetización Indirecta.



Fuente [17]

- **Seleccionar el Tipo de Corriente de magnetización:**

Los tipos de corrientes a ser utilizadas para el examen de partículas magnéticas son:

- ✓ Corriente Directa.[17]
- ✓ Corriente Alterna (La corriente de magnetización de corriente alterna es de aplicación para ser utilizado sólo para la detección de defectos abierto a la superficie.) [17]
- ✓ Corriente Alterna rectificada de onda completa. Tiene la penetración más profunda posible y debe ser utilizado para la inspección de defectos por debajo de la superficie cuando se usa el método de partículas magnéticas en húmedo [17]
- ✓ Corriente Alterna rectificada de media onda. Es ventajoso para el método de partículas secas, ya que crea un campo unidireccional pulsante que da aumento de la movilidad de las partículas. [17]

El tipo de corriente se seleccionará en función de la localización más probable de las discontinuidades; si se desea detectar sólo discontinuidades superficiales, debe emplearse la corriente alterna, ya que ésta proporciona una mayor densidad de flujo en la superficie y por lo tanto mayor sensibilidad para la detección de discontinuidades superficiales; pero es ineficiente para la detección de discontinuidades sub-superficiales. [17]

Si lo que se espera es encontrar defectos superficiales y sub-superficiales, es necesario emplear la corriente rectificada de media onda; ya que esta presenta una mayor penetración de flujo en la pieza. [17]

- **Aplicación de partículas magnéticas Secas.**

- ✓ Cuando se aplica el medio de ensayo de partículas secas, no se debe magnetizar el material a inspeccionar antes de la aplicación de las partículas magnéticas secas.[17]
- ✓ Las Partículas secas se aplicaran con sopladores de polvo o agitadores con aire comprimido de tal manera que el revestimiento causado por la aplicación de dichas partículas sea uniforme de polvo cuando se instalen en la superficie del material a inspeccionar. [17]
- ✓ Después de haber magnetizado el material y antes de retirar la magnetización, se retirará el exceso de polvo se elimina por medio de un aire seco con la fuerza suficiente para eliminar las partículas en exceso, pero no lo suficientemente fuerte como para molestar a las partículas en poder de un campo de fuga que es la indicativa de discontinuidades. Con el fin de reconocer patrones amplios, difusos, identificada ligeramente por partículas secas formadas por discontinuidades cerca de la superficie. [17]

- ✓ El tiempo suficiente para la formación del campo magnético y la identificación de las indicaciones será instantáneo.[17]
- **Aplicación de partículas magnéticas Húmedas.**
 - ✓ Las partículas magnéticas húmedas de tipo fluorescente o partículas no fluorescentes se aplicarán, ya sea por pulverización (espray) o que fluya suavemente sobre el área a inspeccionar.[17]
 - ✓ La secuencia adecuada en el momento de magnetización y aplicación de las partículas magnéticas son las variables de criticidad a obtener la adecuada formación y la retención de las indicaciones.[17]
 - ✓ En el proceso de magnetización se aplicará un mínimo de dos aplicaciones en la zona a ser inspeccionada. La segunda aplicación debe ser simultánea a la primera aplicación. [17]
 - ✓ Debe venir después la suspensión de las partículas húmedas para que se revelen las indicaciones que se requiere inspeccionar.[17]
 - ✓ El tiempo suficiente para la formación del campo magnético y la identificación de las indicaciones será instantáneo.[17]
- **Proceso de magnetización del material.**

En la técnica de magnetizar el material como previamente se había mencionado, se realizó con Yugo, debido a que era el instrumento que posee el instituto de soldadura West Arco.

Este instrumento posee los dos tipos de corriente AC y DC, pero como se nombró anteriormente la corriente directa DC es necesaria para que se pueda IDENTIFICAR los tipos de discontinuidades de forma superficial y sub – superficialmente, por lo que se implementó este tipo de corriente.

Además tanto como en el procedimiento con partículas Magnéticas Húmedas y Partículas Magnéticas secas, se debe mover el yugo de una forma semicircular devolviendo el sentido con el que se mueve previamente, con el fin de que a diferentes ángulos y direcciones de magnetización se identifiquen las discontinuidades presentes en el material. Esto porque la discontinuidad tendrá más sensibilidad a ser detectada si el ángulo que forme el campo magnético y el área transversal de la discontinuidad sea entre 20 y 90 grados. [17]

Figura 15 Magnetización del Material



Fuente [Autor]

- **Inspección y evaluación.**

Se procede a inspeccionar y a evaluar las indicaciones reveladas del ensayo, las cuales nos indican Poros, Socavados, Falta de Fusión, y todas aquellas discontinuidades que sean de tipo superficial. [17]

- **Des magnetización.**

Después de realizada la inspección es necesario desmagnetizar el componente. El campo magnético permanente en el material puede:

- ✓ Afectar posteriores operaciones de maquinado
- ✓ Interferir con equipos electrónicos cercanos al material evaluado.
- ✓ Afectar procesos de soldadura posteriores.

4.3.4 Líquidos penetrantes PT (penetrant liquids testing)

4.3.4.1 Generalidades del Ensayo Líquidos Penetrantes ASTM Tipo II- Método C (Coloreados y removibles con solvente): La prueba de líquidos Penetrantes es un ensayo de tipo no destructivo (END) ideal para visualizar discontinuidades de tipo Superficial en metales No porosos. La esencia del ensayo, primero es aplicar un líquido penetrante a la superficie con el fin de limpiar la superficie a examinar para permitir visualizar claramente discontinuidades presentes en la superficie del metal. A continuación se procede a aplicar

el líquido penetrante Coloreado para que pueda ingresar por medio de la propiedad de Capilaridad a la discontinuidad presente en el material, a continuación todo el exceso de penetrante se elimina, la pieza se seca, y se aplica el líquido penetrante revelador. El revelador funciona tanto como secante para absorber penetrante que ha sido atrapado en las discontinuidades, y también como un fondo de contraste para mejorar la visibilidad de las indicaciones que coloreo el penetrante.

Como podemos observar en la siguiente tabla los líquidos Penetrantes pueden ser clasificados en Coloreados (visibles con luz blanca) o Fluorescentes (visible bajo luz ultravioleta). [17]

Tabla 2 Metodologías implementadas para realizar las pruebas de Líquidos penetrantes. Norma ASTM: E 165-94.

Tipo I Fluorescente	
Método A	Lavable con agua (ASTM E-1200)
“ B	Postemulsificable lipofílico (ASTM E-1208)
“ C	Removible con solvente (ASTM E-1219)
“ D	Postemulsificable hidrofílico (ASTM E-1210)
TIPO II Coloreados	
Método A	Lavables con agua (ASTM E-1418)
“ C	Removibles con solvente (ASTM E-1220)

Fuente [16]

En la anterior tabla se puede observar que la *Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM)* clasifica los líquidos penetrantes según su tipo de Visualización y método de Remoción del Líquido penetrante.

- **Propiedades de los líquidos penetrantes.**

Para que se pueda realizar con gran éxito el ensayo, los líquidos penetrantes deben cumplir con unas propiedades específicas, para que el principio fundamental del ensayo se efectúe y se pueda obtener indicaciones relevantes gracias a la efectividad en que se realizó el ensayo. En general el principio de la técnica por líquidos penetrantes se basa en la capilaridad más no por la gravedad. A continuación nombraremos estas propiedades específicas que deben tener cada uno de los líquidos penetrantes a emplear:

- ✓ **Tensión Superficial:** Es la forma de cohesión de las moléculas en la superficie.

- ✓ **Mojabilidad** o poder de humectación: Propiedad de un líquido de expandirse adhiriéndose a la superficie de un sólido.
- ✓ **Viscosidad:** Es la resistencia del líquido a fluir. El penetrante debe poseer suficiente fluidez para internarse en las discontinuidades y rapidez para salir de ellos cuando sea requerido.
- ✓ **Volatilidad:** Es aquella propiedad físico-química de algunos componentes, constituyentes de la mezcla líquida, de pasar al estado gaseoso (evaporarse) más o menos fácilmente de la superficie en examen.
- ✓ **Punto De Inflamación:** Es la temperatura mínima a la cual el líquido penetrante debe ser calentado, en condiciones normales de laboratorio, para producir vapor en cantidad suficiente como para formar una mezcla inflamable.
- ✓ **Capilaridad:** Es la propiedad más importante que deben poseer los líquidos penetrantes, la capilaridad se puede describir como la capacidad que tiene un líquido a subir por un conducto, esto debido a que la fuerza intermolecular o cohesión intermolecular entre sus moléculas es menor que la adhesión del líquido con el material del tubo; es decir, es un líquido que moja.

Tabla 3 Comparación de Tintas de Penetrante, Limpiador y Revelador

PROPIEDADES / LÍQUIDOS	VISCOSIDAD	MOJABILIDAD	Velocidad de Penetración	Riesgo de Pérdida de indicación.	CAPILARIDAD	EFICIENCIA EN EL REVELADO	EFICIENCIA GLOBAL EN EL PROCESO
Limpiador	Media	Alta	Media	Bajo	Media	Medio	Alta
Penetrante	Baja	Media	Alta	Alto	Baja	Bajo	Media
Revelador	Alta	Baja	Baja	Medio	Alta	Alto	Baja

Fuente:[Autor]

- **Variables Críticas en el procedimiento del Ensayo de Tintas Penetrantes:**

Toda prueba de Líquidos Penetrantes se llevará a cabo a conformidad con un procedimiento escrito que deberán, contener como mínimo los requisitos enumerados por la **ASTM en la tabla T-621 Sección V, Artículo 6**. El procedimiento escrito deberá establecer un solo valor o rango de valores para cada requisito. A continuación se anexa la tabla en donde se especifican las variables determinantes en el procedimiento de Líquidos penetrantes:

Tabla 4 Cuadro de los requerimientos para la examen por medio de Tintas Penetrantes

TABLE T-621
REQUIREMENTS OF A LIQUID PENETRANT EXAMINATION PROCEDURE

Requirement	Essential Variable	Nonessential Variable
Identification of and any change in type or family group of penetrant materials including developers, emulsifiers, etc.	X	...
Surface preparation (finishing and cleaning, including type of cleaning solvent)	X	...
Method of applying penetrant	X	...
Method of removing excess surface penetrant	X	...
Hydrophilic or lipophilic emulsifier concentration and dwell time in dip tanks and agitation time for hydrophilic emulsifiers	X	...
Hydrophilic emulsifier concentration in spray applications	X	...
Method of applying developer	X	...
Minimum and maximum time periods between steps and drying aids	X	...
Decrease in penetrant dwell time	X	...
Increase in developer dwell time (Interpretation Time)	X	...
Minimum light intensity	X	...
Surface temperature outside 40°F to 125°F (5°C to 52°C) or as previously qualified	X	...
Performance demonstration, when required	X	...
Personnel qualification requirements	...	X
Materials, shapes, or sizes to be examined and the extent of examination	...	X
Post-examination cleaning technique	...	X

Fuente [16]

4.3.4.2 Fases del procedimiento para realizar el ensayo de líquidos penetrantes.

- **Limpieza de la Superficie.**

- En general, se pueden obtener resultados satisfactorios cuando la superficie de la pieza a examinar se encuentre en óptimas condiciones de acabado. Si el material a inspeccionar no está en las condiciones superficiales óptimas que se requiere, es necesario aplicar diferentes métodos de mecanizado para lograr retirar las imperfecciones que tenga el material a inspeccionar para no llegar a confusiones con indicaciones falsas.[17]
- Antes de cada ensayo de líquidos penetrantes, la superficie a ser examinada y todas las áreas adyacentes a la zona a inspeccionar deberá estar dentro del rango de al menos 1 pulgada (25 mm) deberá estar seca y libre de polvo, grasa, pelusas, la escala, la soldadura flux, salpicaduras de soldadura, pintura, aceite, y otros materias extrañas que podrían oscurecer aberturas superficiales o de otro modo interferir con el ensayo.[17]
- Agentes de limpieza típicos que pueden ser utilizados son detergentes, disolventes orgánicos, soluciones desengrasantes y removedores de pintura. Métodos de limpieza y desengrase por ondas ultrasónicas también puede ser utilizadas.[17]

- d) Los disolventes de limpieza deben cumplir con los requisitos de control de contaminantes. El método de limpieza empleado es una parte importante del proceso de examen.

Después de la limpieza, el secado de las superficies a ser examinados se puede lograr por evaporación normal o con aire frío o caliente forzado. Un período de tiempo mínimo deberá ser establecido para asegurar que la solución de limpieza tiene evaporada antes de la aplicación del penetrante. [17]

- **Aplicación del Penetrante.**

El penetrante puede ser aplicado por cualquier medio adecuado, tales como inmersión, cepillado o pulverización. Si el penetrante es aplicado por pulverización utilizando un aparato de tipo de aire comprimido, filtros se colocarán en el lado aguas arriba cerca del aire de entrada para evitar la contaminación de la penetrante por el aceite, agua, suciedad o sedimento que haya quedado en las líneas. [17]

- **Tiempo de permanencia del Penetrante.**

El Tiempo de permanencia del penetrante es crítico. El tiempo de penetración mínima será el que se estipule en la tabla T-672 del código que se muestra a continuación:

Tabla 5 ASTM T-672. Cuadro de tiempo de Permanencia de los líquidos según el material.

TABLE T-672 MINIMUM DWELL TIMES

Material	Form	Type of Discontinuity	Dwell Times [Note (1)]
			Penetrant (minutes)
Aluminum, magnesium, steel, brass and bronze, titanium and high-temperature alloys	Castings and welds	Cold shuts, porosity, lack of fusion, cracks (all forms)	5
	Wrought materials — extrusions, forgings, plate	Laps, cracks	10
Carbide-tipped tools	Brazed or welded	Lack of fusion, porosity, cracks	5
Plastic	All forms	Cracks	5
Glass	All forms	Cracks	5
Ceramic	All forms	Cracks	5

Fuente [17]

- **Remoción del Exceso de Penetrante.**

Después de transcurrido el tiempo de penetración especificada de permanencia, cualquier penetrante que quede en la superficie debe ser eliminado, teniendo cuidado para reducir al mínimo la eliminación de penetrante de discontinuidades. [17]

En el caso de los líquidos Tipo II método C (Penetrantes colorantes removibles con solvente), el exceso de penetrante se pueden eliminar limpiando con un paño o papel absorbente empapado con el disolvente (limpiador), repitiendo la operación hasta que se hayan eliminado la mayoría de los restos de penetrante. Los rastros restantes se

eliminarán ligeramente al limpiar la superficie con un paño o papel absorbente humedecido con disolvente (limpiador). [17]

Para reducir al mínimo la eliminación de penetrante de discontinuidades, se debe tener cuidado para evitar el uso de exceso de disolvente.

***NOTA:** El lavado de la superficie con disolvente, después de la aplicación del penetrante y antes del desarrollo, está prohibido. [17]*

- **Aplicación del Revelador.**

El revelador deberá aplicarse tan pronto como sea posible después de eliminación penetrante. El revelador se aplicará sólo sobre la superficie seca puede ser por medio de un cepillo suave, espray, u otros medios, siempre y cuando el revelador se aplique de manera uniforme sobre toda la superficie que se está examinado. [17]

- **Tiempo de Permanencia del Revelador.**

Se debe dejar actuar el revelador alrededor de 7 a 10 minutos, la interpretación comienza inmediatamente después de la aplicación del revelador húmedo se seca. [17]

- **Interpretación.**

La interpretación final se deberá realizar al menos 10 minutos y no más de 60 minutos después de realizar cada uno de los pasos anteriores.

Si la superficie a examinar es lo suficientemente grande como para impedir examen completo en el plazo establecido o el tiempo establecido, el examen se llevará a cabo en incrementos. [17]

- ✓ **Caracterización de la Indicación.** El tipo de discontinuidades que son difíciles de evaluar son aquellas en donde el penetrante se difunde excesivamente en el revelador.

En los líquidos penetrantes coloridos. Con un contraste de color penetrante, el revelador forma uniformemente una capa blanca. Las discontinuidades superficiales se indican mediante la capilaridad que produce el revelador en la discontinuidad, la que normalmente es un color rojo oscuro color que tiñe el revelador. Las indicaciones con una luz color de rosa puede indicar la limpieza excesiva. Insuficiente limpieza puede dejar un fondo excesivo haciendo la interpretación difícil. Una intensidad de luz mínima de 100 LUZ CANDELA (1.000 lux) se requiere en la superficie a examinar para garantizar una adecuada sensibilidad durante el examen y Evaluación de las indicaciones. [17]

5. MARCO EXPERIMENTAL.

5.1 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SMAW EN TUBERÍA ASTM A-36 PARA GENERACIÓN DE INCLUSIÓN DE ESCORIA

De esta manera, el documento WPS implementado en este trabajo, es realizado en conjunto con *Soldaduras West Arco S.A.S* y está certificado por un inspector en soldadura nivel II por el instituto de Soldaduras West Arco, que adicionalmente es inspector certificado de soldadura CWI, de la AWS (Asociación Americana de Soldadores), quien fue el encargado de registrar el correcto uso del documento, la disposición de materiales, y el perfecto desarrollo del procedimiento, en un formato conocido como Registro de Calificación de procedimiento (PQR), donde registró las condiciones reales, de los materiales y maquinarias usadas al momento de realizar el trabajo de soldadura. El propósito de este registro PQR, fue de calificar el procedimiento, avalar y determinar si el conjunto de partes soldadas según la aplicación requerida.]

Por motivos Privacidad de los documentos realizados por el Instituto de Soldadura West Arco No se autoriza la divulgación del PQR, en el cuál fue supervisado el proceso de Soldeo realizado en el instituto de Soldaduras West Arco S.A.S.

A continuación se identificarán las especificaciones de los elementos y materiales registrados en el WPS:

- **Especificaciones de Material Base y Material de Aporte.**
Metal Base:

Figura 16 Probeta implementada.



DATOS TÉCNICOS DEL MATERIAL A BASE			
Diámetro Nominal	Schedule	Material	Longitud Total
Ø [in]	Nº	ASTM	L [mm]
10 "	120	A 36	150

FUENTE:[Autor]

- Metal de Aporte:

Figura 17 Características del Metal de Aporte.

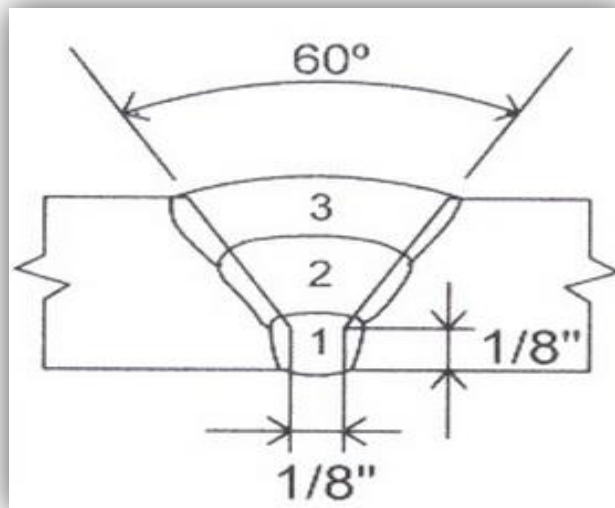


DATOS TÉCNICOS DEL MATERIAL DE APORTE			
Especificación AWS	Calificación AWS	Fabricante	Longitud Total
Nº	Nº	Empresa	Ø[in]
A 5.1	E 6011 E 7018	WEST ARCO	1/8"

FUENTE: [AUTOR]

- Geometría de la Junta soldada.

Figura 18 Bisel y Datos de la Junta soldada.



DATOS DE LA JUNTA SOLDADA.			
Especificación BISEL	No. de Pases	Espesor	Longitud Total
Clase	Nº	t [mm]	Ø[in]
A TOPE En V sencilla	3	12,5	1/8"

FUENTE:[Autor]

5.2 PROCEDIMIENTO ESTABLECIDO PARA LA GENERACIÓN DE ESCORIA MEDIANTE EL PROCESO DE SOLDADURA SMAW (SHIELD METAL ARC WELDING)

Como se identificó anteriormente las variables a tener en cuenta para Generar Escoria en la unión soldada, se deben controlar apropiadamente utilizando criterios técnicos con el fin de Inducir de forma segura y eficaz Escoria cuando se esté realizando el Proceso de Soldadura.

Esto con el fin de Visualizar la escoria mediante los Ensayos no destructivos especificados. Ya que es una buena práctica de estudio para determinar en las diferentes uniones soldadas la sensibilidad que posee cada ensayo para la detección de escoria en la junta soldada.

Este capítulo tiene como finalidad además definir que es una variable crítica, identificando los factores que influyen directamente en el proceso de soldadura SMAW para la generación de Escoria, por lo tanto debemos tener en cuenta los códigos y especificaciones que identifican cuáles son las variables que son críticas y esenciales en el proceso de soldadura:

A continuación se darán las variables críticas bajo los criterios técnicos que Influyeron en el Proceso de Soldeo SMAW en aceros al carbono para la Generación de Escoria y la metodología que se realizó para la generación de Escoria en la Tubería a soldar.

5.2.1 Generación de escoria mediante la remoción incompleta de la escoria de una pasada anterior

Como previamente se identificó; la generación de Escoria mediante una falta de limpieza entre pases es una mala práctica y muy común para la generación de inclusiones de escoria en juntas soldadas pero para nuestro caso de Estudio es de vital importancia implementar este factor para que al momento de inspeccionar la junta soldada, nos revele la forma, tamaño y ubicación de la escoria que se ha inducido. [12]

Por lo tanto la metodología para inducir esta escoria mediante falta de limpieza entre pases fue la siguiente:

Figura 19 Proceso de Generación de Inclusión de Escoria.



Fuente: [Autor]

5.2.2 Remoción incompleta entre pases

El soldador para garantizar que se induce escoria en la junta soldada, debe dejar escoria entre cada pasada. Realizando una limpieza incompleta con la herramienta que se está implementando la limpieza de la escoria depositada en el cordón de soldadura; en este caso las herramientas implementadas para la remoción incompleta entre pases, son la Grata Manual y cepillo circular con fibras metálicas, que son las herramientas comúnmente más implementadas en el proceso de limpieza de Escoria en el proceso de soldadura SMAW. [12]

5.2.3 Electrodo sucio

Este factor para generar escoria en la junta soldada tiene que ser controlado y verificado tanto como el soldador y como el inspector de soldadura que están liderando el proceso de soldadura. Pero por motivos de estudio se estableció que los electrodos estuvieran sucios (Recubiertos de polvo) pero no expuestos a Humedad ni a cambios bruscos de temperaturas, porque nos generarían otro tipo de discontinuidad en la junta como Porosidad.[12]

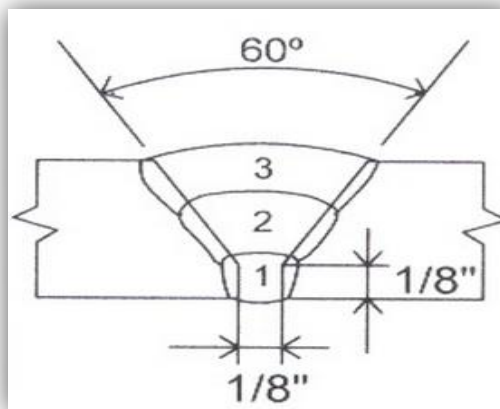
5.2.4 Suciedad presente en la tubería

La calidad del metal base debe ser igualmente inspeccionada, revisada y aprobada para su disposición por el Soldador encargado de la actividad y por el Supervisor de Soldadura responsable de la actividad; pero en nuestro caso de estudio se realizará con una probeta o con juntas de tubería ASTM A36 (Acero de bajo carbono) que posee una leve suciedad en el bisel donde se va a aplicar la soldadura. [11]

5.2.5 Generación de escoria a partir de separación entre piezas a unir demasiado grande

No se tendrá en cuenta este factor para nuestro caso de estudio, debido a que por geometría y diseño de la junta se estableció que la separación entre piezas sea de $1/8''$, según instrucciones del fabricante del material de aporte West Arco, ya que según las especificaciones técnicas al emplear un electrodo de diámetro de $1/8''$, se debe dejar la distancia entre piezas de $1/8''$.

Figura 20 (Diseño de la junta Soldada).



Autor: [Fuente]

5.2.6 Generación de Escoria por Técnica de Soldeo inapropiada por parte del soldador

Este factor para la generación de escoria No se tendrá en cuenta para la muestra de variables que afectan el proceso de soldeo en nuestro caso de estudio, debido a que se cuenta con personal Calificado y entrenado por parte del Instituto de Soldadura West Arco S.A.S para la realización del proceso de soldadura, por lo que el personal está en la capacidad de realizar el proceso de soldeo en las diferentes técnicas de Soldeo, posiciones, etc. [12]

Por motivos y términos de privacidad, Soldaduras West Arco S.A.S, se restringe de la publicación del soldador que realizó el proceso de soldadura en este estudio.

5.2.7 Generación de Escoria por Bajo Amperaje

Igualmente este factor no se aplicará para nuestro caso de estudio, debido a que ya está parametrizado en las especificaciones técnicas que describe el fabricante del material de aporte Soldaduras West Arco, en el cual describe a que amperaje y voltaje se deben maniobrar los electrodos seleccionados con un diámetro y referencia específica. En la siguiente figura se identifican las especificaciones técnicas para los metales de aporte seleccionados para la tubería ASTM A 36 que es de bajo carbón, posteriormente en el siguiente capítulo se explicará por qué la selección de los electrodos utilizados. [13]

En la **Tabla 6** se especifica el WPS implementado para el proceso de soldadura realizado en las instalaciones del Instituto de soldaduras West Arco S.A.S

Tabla 6 WPS realizado para la Fabricación de la Junta soldada para Generación de escoria ASTM A36.

WPS		Especificaciones del Proceso de Soldadura.							
Nombre de la Empresa:	USTA	Identificación No:	0-0001						
Proceso de Soldadura:	SMAW	Revisado por:	Ing. Gilberto Quintero						
TIPO DE PROCESO:	MANUAL	FECHA:	8 de Julio de 2013						
Soldador:	Jhon	Autorizado por:	Ing. Gilberto Quintero						
DISEÑO DE UNIÓN		Geometría de Junta							
Estandar según:	API 1104								
Tipo de Unión:	A Tope								
Tipo de Soldadura:	Ranura en V (Simple)								
Alto de Raíz:	1/8"								
Abertura de Raíz:	1/8"								
Ángulo de Ranura:	60°								
Espesor de Tubería:	12, 5mm								
Soporte:	NO					Material de Soporte:	NO		
Limpieza en la Raíz:	Si					Método:	Manual		
POSICIÓN						TÉCNICA			
Ranura:	5G	Filete:	---						
Placa:	---	Tubería:	SI						
METALES BASE		Aportación:	Oscilante (Pase Múltiple)						
		Corriente:	DC (DCEP)						
		Limpieza entre Pases:	SI						
		Método de Limpieza:	Grata Manual y cepillo circular						
		Metal Base No.1	Metal Base No.2	PRECALENTAMIENTO					
Grupo:	I	I	I	T° de Precalentamiento:					
Especificación del Acero:	ASTM A36	ASTM A36	ASTM A36	No aplica					
Grado:	B	B	B	T° de Interpase: No aplica					
Espesor de Tubería:	12, 5mm	12, 5mm	12, 5mm	POST- CALENTAMIENTO					
Diámetro (Tubería):	10 "	10 "	10 "	Temperatura: No Aplica					
				Tiempo: No Aplica					
METAL DE APORTE		PROTECCIÓN							
Especificación AWS:		Fundente:							
Calificación AWS:		Gas:							
Marca:		Velocidad deFlujo:							
Diámetro del Electrodo:		Tamaño de Boquilla:							
A 5.1		Revestimiento							
E 6011 Y E7018		No Aplica							
West Arco		No Aplica							
1/8"(3.2 mm)		No Aplica							
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA									
Pase	Proceso	Progresión	Metales de Aporte		Corriente		Velocidad de Avance (mm/min)	Detalles y Secuencia De la junta	
			Clase	Diámetro (in)	Tipo y Polari	Amperaje (A)			Voltaje (V)
1	SMAW	Ascenden.	E 6010	1/8	DCEP	110	17	100	
2	SMAW	Descenden	E 7018	1/8	DCEP	135	19	110	
3	SMAW	Ascenden.	E 7018	1/8	DCEP	135	19	80	
ELABORADO POR:						Oscar Ricardo Monsalve			

Fuente: [Autor]

Figura 21. ELECTRÓDOS PARA SOLDAR ACEROS DE BAJO CARBONO.

SW 11



ELECTRODOS PARA SOLDAR ACEROS AL CARBONO

IDENTIFICACIÓN : WEST ARCO SW 11 E6011
 CLASIFICACIÓN : AWS E6011
 ESPECIFICACIÓN : AWS A5.1, NTC 2191, ASME SFA5.1

CARACTERÍSTICAS SOBRESALIENTES

Este electrodo se caracteriza por su operación suave, manteniendo suficiente penetración debido a su revestimiento a base de celulosa. Presenta bajas pérdidas de chisporroteo.

APLICACIONES TÍPICAS

Se emplea para soldar todo tipo de aceros de bajo carbono y está particularmente indicado en aplicaciones de ornamentación y carpintería metálica.

RECOMENDACIONES PARA SU APLICACIÓN

Trabaja en todas las posiciones de soldadura, con corriente alterna y continua, electrodo positivo (+). Utilice ésta última cuando requiera obtener la mayor suavidad y el mínimo de chisporroteo característicos del electrodo. Lleve un arco de mediana longitud.

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS DEL METAL DEPOSITADO

Resistencia a la tracción:	42 - 51 Kg/mm ² (60 - 72 Ksi)
Límite de fluencia:	34 - 42 Kg/mm ² (48 - 60 Ksi)
Elongación:	22 - 32%
Resistencia al impacto Charpy en V a -29 °C:	27-70 joules.

NOTA: Ensayos realizados según AWS A5.1

DIMENSIÓN	AMPERAJES RECOMENDADOS
2.4 X 300 mm (3/32")	50 - 80A
3.2 X 350 mm (1/8")	70 - 115A
4.0 X 350 mm (5/32")	90 - 160A

EMPAQUE: Caja de 20 Kg peso neto.
 Ver recomendaciones de almacenamiento al final del catálogo.

5.3 PROCEDIMIENTO Y EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS ESPECIFICADOS (SIGUIENDO CÓDIGO ASME SECCIÓN V)

5.3.1 Procedimiento y ejecución de tintas penetrantes (PT)

5.3.1.1 Materiales para realizar el ensayo:

Figura 22 DATOS TÉCNICOS DEL MATERIAL A INSPECCIONAR



Fuente: [Autor]

Tabla 7 Especificaciones de tubería a inspeccionar.

DATOS TÉCNICOS DEL MATERIAL A INSPECCIONAR			
Díámetro Nominal	Schedule	Material	Longitud Total
Ø [in]	Nº	ASTM	L [mm]
10 "	120	A 36	300

Fuente: [Autor]

MATERIALES:

- ❖ RETAL DE TELA COLOR BLANCO.
- ❖ GRATA MANUAL.
- ❖ GUANTES DE NITRILO.
- ❖ TINTAS PENETRANTES.

Figura 23 Tintas Penetrantes SPOTCHECK

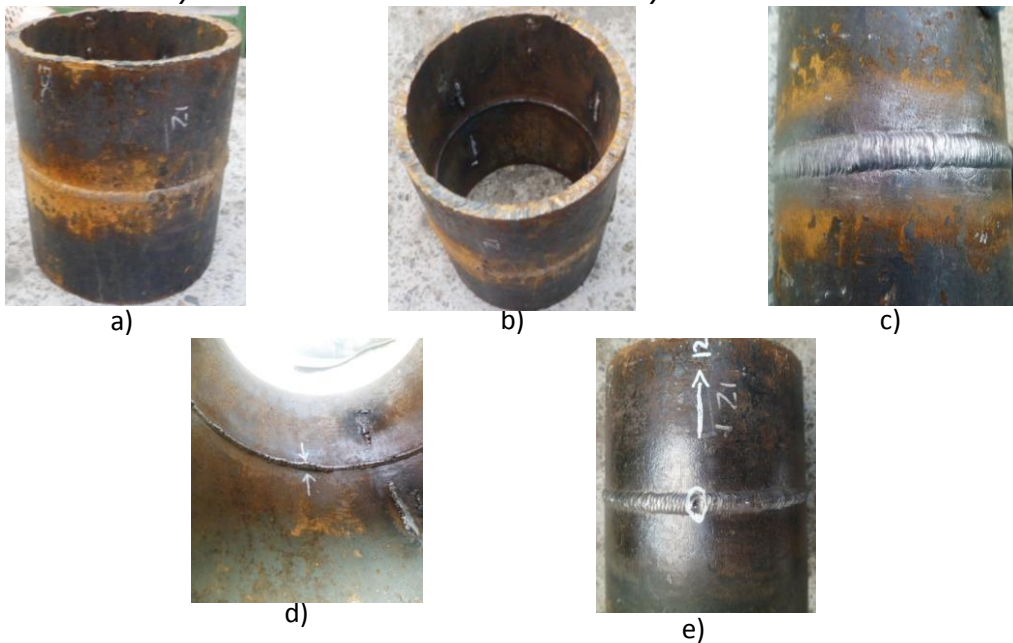


Fuente: [Autor]

5.3.1.2 Inspección previa a realizar el ensayo (tubería y cordón de soldadura)

- ✓ Se encontró tanto la tubería como el cordón de soldadura con óxido. Se encuentra el tubo con evidencia de corte por proceso de Oxicorte.
- ✓ El cordón de soldadura presenta una aceptable distribución, continuidad, tamaño, según los requerimientos especificados.
- ✓ Se visualiza un exceso de penetración en la posición a las 9 respecto al reloj. Además se visualiza un Cráter a la posición de las 12 del tubo.

Figura 24 Tubería y soldadura antes de realizar el Ensayo



Fuente: [Autor]

5.3.1.3 Limpieza superficial. Se procedió a limpiar el exceso de óxido y suciedad presente en el cordón de soldadura y zonas adyacentes alrededor de 25 mm garantizando según el código que los alrededores estén libres de impurezas. Se utiliza materiales para remover óxido tales como grata manual, liquido limpiador y remoción de suciedad con retal de tela.

Figura 25 Limpieza superficial del tubo



a)



b)



c)



d)

Fuente: [Autor]

5.3.1.4 Aplicación de líquido penetrante. Se cubre la superficie de interés con el líquido penetrante a una distancia aproximadamente de 15 cm y se deja transcurrir el tiempo necesario para permitir que el líquido penetrante se introduzca por capilaridad en las discontinuidades presentes en el cordón de soldadura.

Figura 26 Aplicación de Penetrante



Fuente: [Autor]

5.3.1.5 Tiempo de permanencia del penetrante. Aplicado ya el penetrante, se toma un período de tiempo de aproximadamente entre 7 y 10 minutos, con el fin de que penetre el líquido en las discontinuidades presentes en el cordón.

5.3.1.6 Remoción del exceso penetrante. Se removió el exceso de líquido penetrante de la superficie, evitando extraer aquel que se encuentra dentro de las discontinuidades. Esta remoción se debe hacer en un solo sentido con un trapo seco y después, aplicar el solvente a un trapo seco removiendo en un mismo sentido el exceso de penetrante en el cordón.

Figura 27. Remoción con retal de tela del exceso de penetrante



Fuente: [Autor]

5.3.1.7 Aplicación del revelador. Sobre la superficie ya preparada se aplica el revelador en forma de aerosol. Dejando así una capa pulverizada sobre la superficie a inspeccionar.

Figura 28 Aplicación del líquido Revelador



Fuente: [Autor]

5.3.1.8 Tiempo de permanencia del revelador. Dejar actuar el líquido revelador en un período de tiempo entre 7 a 10 minutos. Si se necesita que el revelador identifique indicaciones que son muy difíciles de detectar a simple vista, se deja actuar el revelador en un período entre 10 a 15 minutos.

5.3.1.9 Inspección y evaluación. La capa de revelador absorberá el líquido penetrante retenido en las discontinuidades, llevándolo a la superficie para hacerlo visible, por contraste del líquido Penetrante que es de color ROJO, las indicaciones podrán registrarse y evaluarse.[8] A continuación se evidencia el reporte fotográfico de las discontinuidades superficiales presentes en la tubería que se obtuvo por medio del Ensayo de Líquidos Penetrantes:

Figura 29 Discontinuidades presentes en la tubería.



Fuente: [Autor]

Se evidencia en las fotografías varias discontinuidades, las cuales vamos a identificar toma por toma.

Figura 30 Indicaciones relevantes.



a) Porosidad Agrupada



b) Porosidad Aislada, junto con socavado.



c) Porosidad Aislada, junto con falta de Fusión



d) Falta de Fusión.

Fuente: [Autor]

Figura 31 Indicaciones no relevantes.



a) Geometría de la soldadura



b) Geometría de soldadura



c) Geometría de la soldadura



d) Geometría de la soldadura

Fuente: [Autor]

NOTA: Cabe resaltar que el método de tintas Penetrantes es una técnica de inspección no destructiva de tipo SUPERFICIAL, normalmente la capa superior o de presentación de las soldaduras se limpia, tal cual en este caso, por ende no se evidencia indicación de escoria por líquidos penetrantes. En las anteriores tomas fotográficas se pueden evidenciar varias discontinuidades superficiales como Socavados, Falta de Fusión y Porosidad. Observación: Todo las indicaciones de intensidad de color rojo NO es defecto, sino que gran parte es geometría y también falta de limpieza.

5.3.2 Partículas magnéticas (MT).

PROCEDIMIENTO REALIZADO SIGUIENDO CÓDIGO ASME SECCIÓN V EN PARTÍCULAS MAGNÉTICAS SECAS.

5.3.2.1 MATERIALES PARA REALIZAR EL ENSAYO:

Figura 32 Datos técnicos del material a inspeccionar



Fuente: [Autor]

Tabla 8 Especificaciones de tubería a inspeccionar.

DATOS TÉCNICOS DEL MATERIAL A INSPECCIONAR			
Diámetro Nominal	Schedule	Material	Longitud Total
Ø [in]	Nº	ASTM	L [mm]
10 "	120	A 36	300

Fuente: [Autor]

Figura 33 Materiales para realizar el ensayo.



a) Grata Manual



c) Guantes Nitrilo



b) Partículas Secas Rojas



d) Laca Blanca



e) Yugo

Fuente: [Autor]

5.3.2.2 Preparación de la superficie del material a realizar el ensayo. Se desmagnetiza la tubería colocando el yugo en una posición y posteriormente girar 180° en 3 sectores de la tubería para así garantizar la des-magnetización del material, esto se realiza con el fin de que el metal a inspeccionar haya sido expuesto a cualquier tipo de magnetización previa antes del Ensayo. Se procedió a limpiar el exceso de óxido y suciedad presente en el cordón de soldadura y zonas adyacentes alrededor de 25 mm garantizando según el código que los alrededores estén libres de impurezas. Se utiliza materiales para remover óxido tales como grata manual, liquido limpiador y remoción de suciedad con retal de tela.

Figura 34 Limpieza superficial del tubo



Fuente: [Autor]

5.3.2.3 Seleccionar el tipo de magnetización del material a inspeccionar. Se selecciona el tipo de magnetización Indirecta (Yugo), con el fin de generar un campo magnético con mayor fuerza y dirección para magnetizar la tubería.

5.3.2.4 Seleccionar el tipo de corriente de magnetización. Posteriormente se selecciona en modo de corriente Directa, con el fin de encontrar defectos superficiales y sub-superficiales, ya que esta presenta una mayor penetración de flujo en la pieza.

Figura 35 Tipo de corriente de Magnetización



Fuente: [Autor]

5.3.2.5 Aplicación de las partículas magnéticas secas: Las Partículas secas se aplican con sopladores de polvo tal cual como lo indica la figura de tal manera que el revestimiento causado por la aplicación de dichas partículas sea uniforme de polvo cuando se instalen en la superficie del material a inspeccionar. *Es válido recordar que no se debe magnetizar el material a inspeccionar antes de la aplicación de las partículas magnéticas secas.*

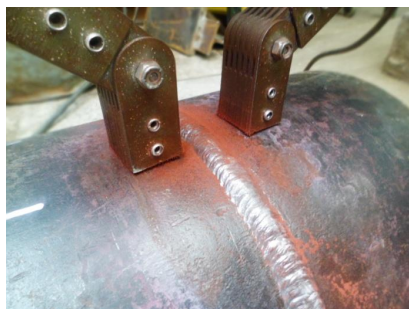
Figura 36 Aplicación de Partículas Secas Rojas



Fuente: [Autor]

5.3.2.6 Proceso de magnetización del material. Ya aplicadas las partículas magnéticas en el material, se procede a colocar el yugo (sin encender) de tal forma que el campo magnético generado sea perpendicular al área a ser inspeccionada, como lo muestra la siguiente figura.

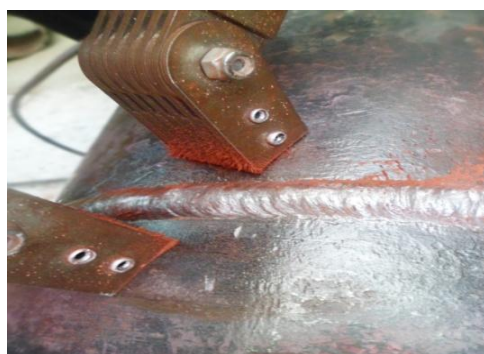
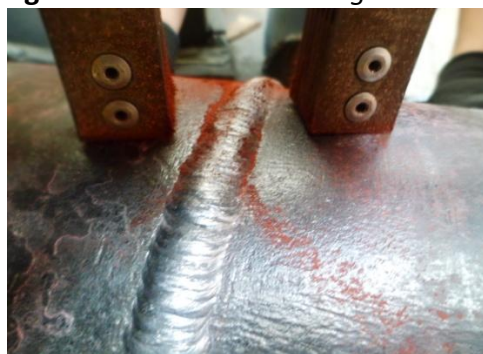
Figura 37 Posicionamiento del Yugo sin encender



Fuente: [Autor]

- ✓ Se procede a encender el Yugo; tanto en el procedimiento con partículas Magnéticas Húmedas y Partículas Magnéticas secas, se debe mover el yugo de una forma semicircular devolviendo el sentido con el que se mueve previamente, con el fin de que a diferentes ángulos y direcciones de magnetización se identifiquen las discontinuidades presentes en el material. Esto porque el ensayo tendrá mayor sensibilidad si el ángulo que forme el campo magnético y el área transversal de la discontinuidad sea entre 20 y 90 grados

Figura 38 Encendido del Yugo.



Fuente: [Autor]

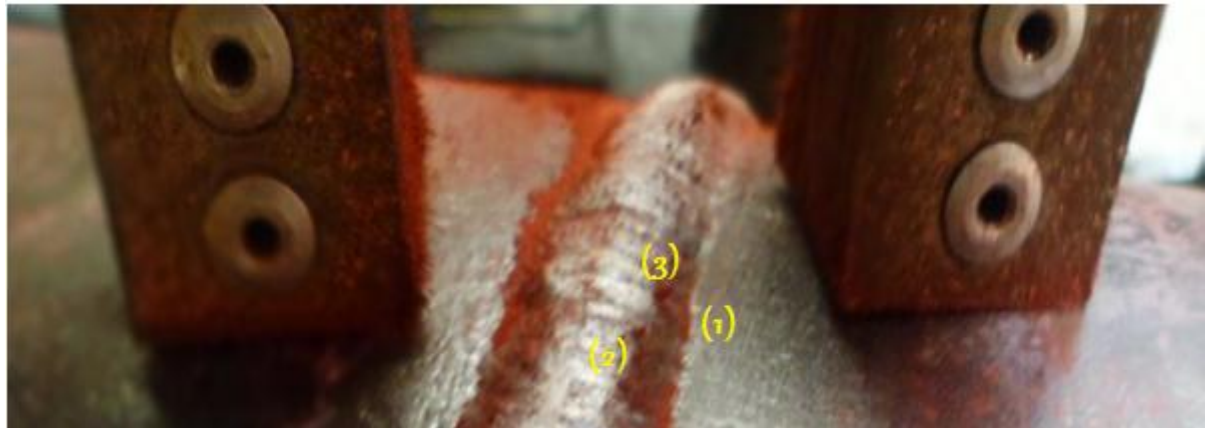
- ✓ Cuando se note una acumulación de partículas magnéticas en el material toca estar alerta, ya que esto indica que hay una discontinuidad detectada, por lo tanto se recomienda en hacer el reporte fotográfico cada vez que se encuentre con esta situación.

5.3.2.7 Inspección y evaluación. Con el reporte fotográfico anteriormente tomado, se procede a evaluar las discontinuidades encontradas por medio del ensayo.

- **TOMA MT -PS No. 1.**

En esta toma se pueden observar dos discontinuidades de tipo superficial como Falta de Fusión (1) y posible escoria en los puntos (2) y (3). Pero nótese que en la **TOMA MT -PS No. 1.** En el punto (3) de la figura N° 46 nos indica una posible Escoria aislada que no fue retirada en el proceso de soldeo.

Figura 39 TOMA MT -PS No. 1 (Indicaciones relevantes)



Fuente: [Autor]

Figura 40 TOMA MT -PS No. 1 Punto (3)



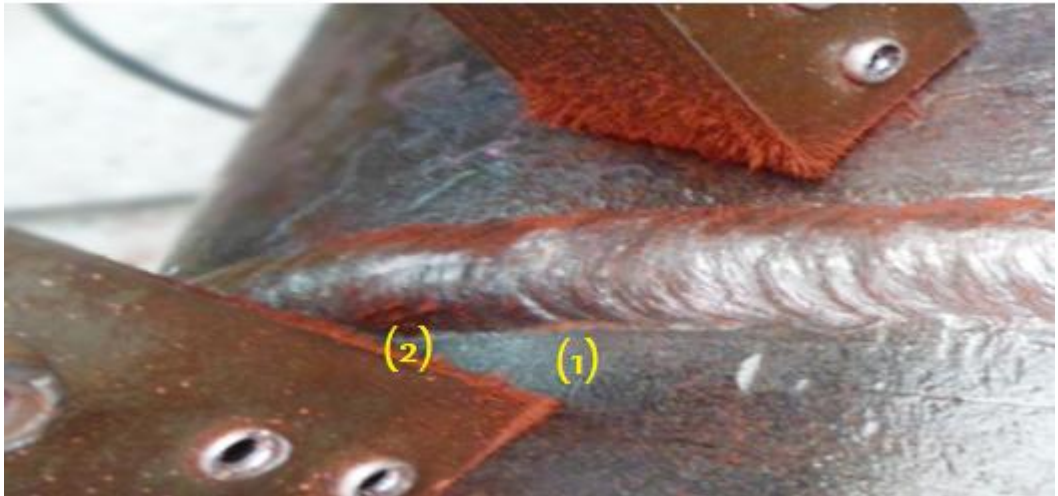
Fuente: [Autor]

Podemos intuir que es Escoria debido a que no se presenta en los bordes de la soldadura, ni de forma alargada, como se evidenciaría la falta de fusión o socavados; sin embargo al analizar el punto (3) se evidencia que es Suciedad que NO se retiró después de haber realizado el cordón de soldadura. Esta suciedad no retirada por el soldador es de forma compacta y con mucha intensidad de color. Es válido aclarar que ente ensayo es difícil de diferenciar con la porosidad por las similares características de morfología.

- **TOMA MT -PS No. 2.**

En esta toma se puede observar discontinuidad de tipo superficial como Falta de Fusión (1) y en el punto (2) es geometría del cordón de soldadura (Indicación No relevante). Cabe resaltar que muchas de las agrupaciones de partículas no siempre van a ser discontinuidades; ya que la morfología y geometría del cordón de soldadura no es homogénea, en cada unión entre pases se va a agrupar partículas magnéticas.

Figura 41 MT -PS No. 2 (Indicaciones reveladas por el ensayo)

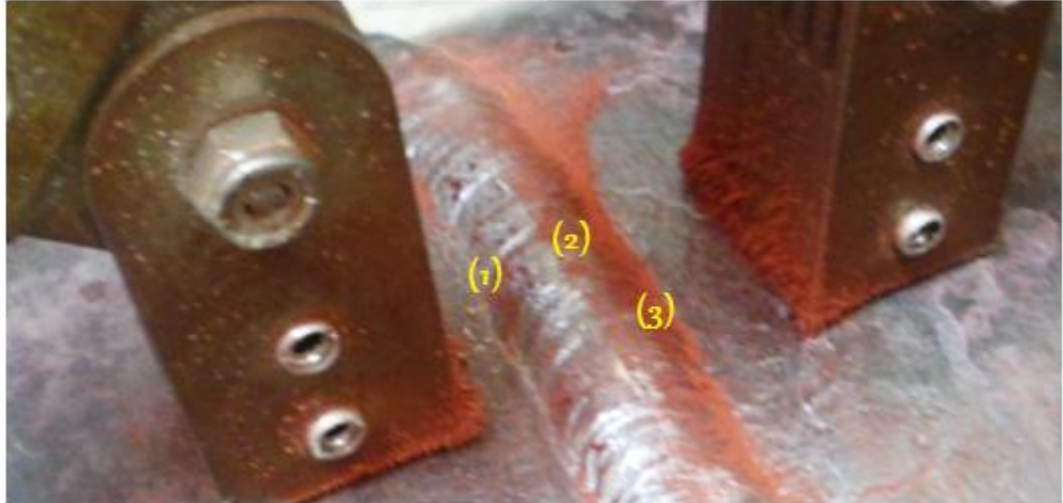


Fuente: [Autor]

- **TOMA MT -PS No. 3.**

En esta toma se pueden observar discontinuidades de tipo superficial como Porosidad Agrupada (1) y nuevamente una pequeña suciedad no removida por el soldador (2), en el punto (3) evidenciamos la acumulación de partículas que previamente habíamos explicado (Indicaciones no relevantes)

Figura 42 MT -PS No. 3 (Indicaciones reveladas por el ensayo)



Fuente: [Autor]

Al igual que en la **TOMA MT- PS No. 1** la discontinuidad se encuentra en el material de aporte y de forma compacta; pero podemos evidenciar que la intensidad del color es menor lo que nos indica que la suciedad es de menor tamaño. Es válido aclarar que ente ensayo es difícil de diferenciar con la porosidad por las similares características de morfología.

Figura 43 TOMA MT -PS No. 3 Punto (2)



Fuente: [Autor]

NOTA: Como podemos evidenciar en las anteriores tomas fotográficas, se puede llegar a concluir que este tipo de Ensayo NO evidencia y adicionalmente no es óptimo para la

identificación de Escoria superficial ni sub-superficial, solo identifica suciedad fácilmente removible que se depositó en el proceso de soldadura realizado.

5.3.2.8 Des magnetización. Después de realizada la inspección es necesario desmagnetizar el material girando el yugo 180° en el sentido que se estaba inspeccionando, con el fin de afectar posteriores operaciones de maquinado, interferir con equipos electrónicos cercanos al material evaluado y afectar procesos de soldadura posteriores.

5.3.3 Procedimiento realizado siguiendo código Asme sección v en partículas magnéticas húmedas

Los materiales y el procedimiento llevado a cabo para el ensayo de partículas húmedas es el mismo que el de partículas secas, lo diferencia es que se tiene que generar un medio de contraste para evidenciar las partículas magnéticas Húmedas, lo cual mostraremos a continuación:

- **Generar un medio de contraste para visualizar las Partículas Magnéticas Húmedas:**

Para garantizar una mejor visualización de las partículas húmedas se aplica Laca de Color Blanco, las partículas en este caso son de color Negro y así se generará un mayor contraste para garantizar el proceso de inspección.

Figura 44 Aplicación de laca Blanca



Fuente: [Autor]

5.3.3.1 Aplicación de las partículas magnéticas húmedas. Las Partículas Húmedas se aplicarán en forma de spray (Pulverizadores) tal cual como lo indica la figura de tal manera que el revestimiento causado por la aplicación de dichas partículas sea uniforme de cuando se apliquen en la superficie del material a inspeccionar.

Figura 45 *Aplicación de partículas Magnéticas Húmedas*



Fuente: [Autor]

Es válido recordar que no se debe magnetizar el material a inspeccionar antes de la aplicación de las partículas magnéticas húmedas.

5.3.3.2 Proceso de magnetización del material. Ya aplicadas las partículas magnéticas en el material, se procede a colocar el yugo (sin encender) de tal forma que el campo magnético generado sea perpendicular al área a ser inspeccionada, como lo muestra la siguiente figura.

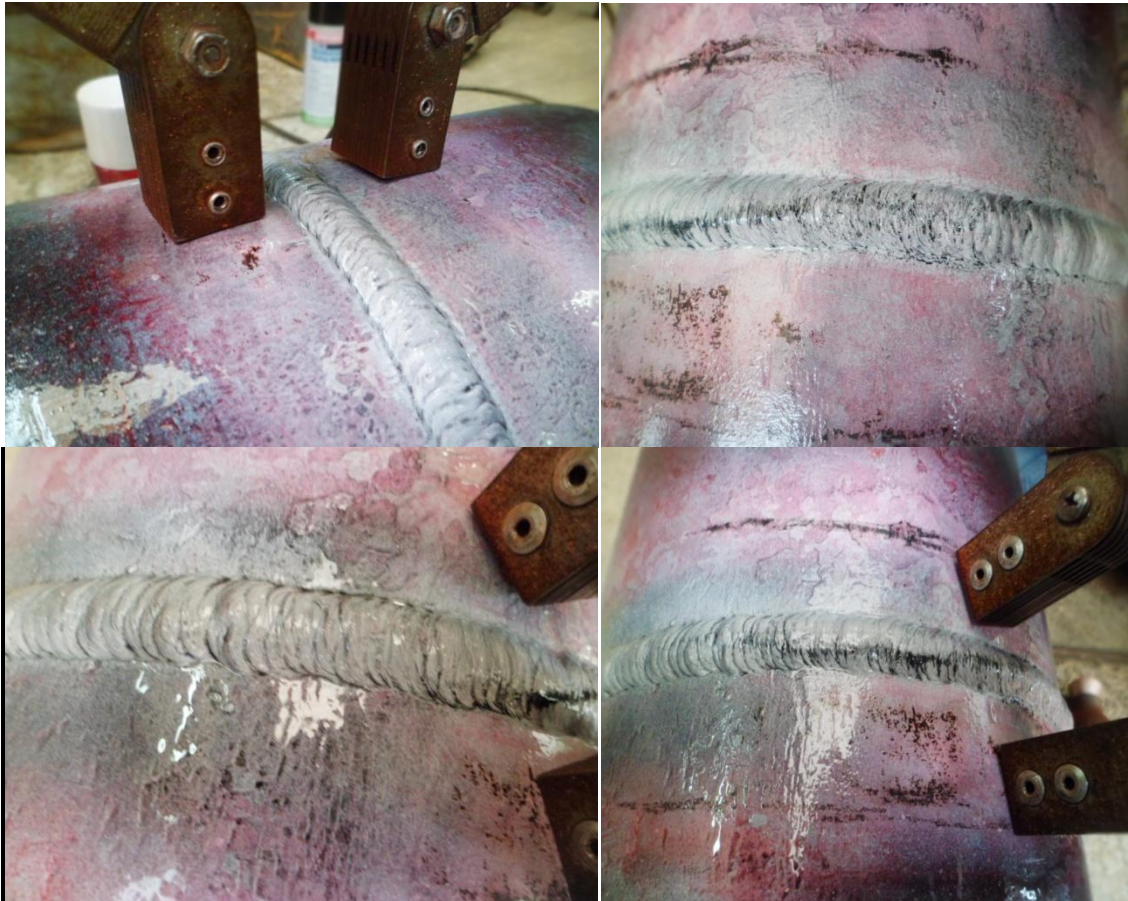
Figura 46 *Posicionamiento del Yugo sin encender*



Fuente: [Autor]

Se procede a encender el Yugo; tanto en el procedimiento con partículas Magnéticas Húmedas y Partículas Magnéticas secas, se debe mover el yugo de una forma semicircular devolviendo el sentido con el que se mueve previamente, con el fin de que a diferentes ángulos y direcciones de magnetización se identifiquen Las discontinuidades presentes en el material. Esto porque el ensayo tendrá mayor sensibilidad si el ángulo que forme el campo magnético y el área transversal de la discontinuidad sea entre 20 y 90 grados.

Figura 47 (Posicionamiento y encendido del Yugo)



Fuente: [Autor]

- ✓ Cuando se note una acumulación de partículas magnéticas en el material es deber del inspector estar alerta, ya que esto indica que hay una discontinuidad detectada, por lo tanto se recomienda en hacer el reporte fotográfico cada vez que se encuentre con esta situación.

5.3.3.3 Inspección y evaluación. Como se puede observar en las anteriores figuras, la escoria con este tipo de ensayo es difícil de evidenciar. Ya que las partículas húmedas solamente encuentran discontinuidades abiertas a la superficie. Por lo tanto encontramos que No es un método óptimo para la caracterización de escoria. En general de este ensayo se concluye que difícilmente se puede evidenciar escoria, por ende no se recomienda detectar este tipo de discontinuidad por medio de este método, agregando que normalmente las escorias en soldadura se encuentran atrapadas a una profundidad considerable dependiendo del espesor soldado y esta técnica que es superficial y sub-superficial y no va más allá.

5.3.4 Ultrasonido Phased Array (UT-PA)

- **¿Cómo se puede identificar la escoria por medio del ultrasonido Phased Array?**

Por lo general la escoria se identifica en múltiples facetas y aristas visibles en los diferentes tipos de Vistas o "Scan" presentes en el ultrasonido Phased Array, cada una de estos "Scan" (A, B, C y D o S) nos muestran unas características propias de la discontinuidad [5].

5.3.4.1 Caracterización morfológica inclusión de escoria (SCAN A). A continuación se visualizarán diferentes tomas fotográficas del SCAN A. Estas imágenes corresponden a tubería ASTM A-36 de Diámetro 12 pulgadas con un espesor de 12.5 mm, a esta tubería se le indujeron diferentes tipos de Escoria (Aislada y agrupada), pero se tomaron muestras de la misma discontinuidad para caracterizarla de una forma más clara y específica. Ya que las tomas en campo son más complejas de caracterizar debido a las diversas condiciones que se encuentran los materiales en operación.

- **Scan A Toma No. 1**

El scan A permite visualizar la cantidad de energía reflejada de la onda ultrasónica contra el tiempo que tarda el haz ultrasónico en ser reflejado [5]. Como se observa en la figura de el Scan A Toma 1, se evidencia una indicación relevante de tipo agudo, es decir que el pico de la discontinuidad sube y baja de una forma relativamente rápida, la cual tiene un espesor la escoria entre 3 a 4 mm de longitud. La figura también indica que a al grado No. 58° que envía el UT Phase Array y a la longitud recorrida de la onda (17,5 mm) se genera la mayor reflexión del haz ultrasonico y se encuentra una indicación con una amplitud de onda reflejada aproximadamente del 43% y se encuentra a una profundidad de 7,125 mm de la superficie del tubo.

Además se puede observar que presenta dos picos, esto representa que en este punto el haz de ultrasonido la escoria tiene una forma irregular y muy probablemente es escoria agrupada.

Figura 48 Scan A Phase Array Toma 1



Fuente: [Autor]

Figura 49 Segmento Scan A Toma No. 1



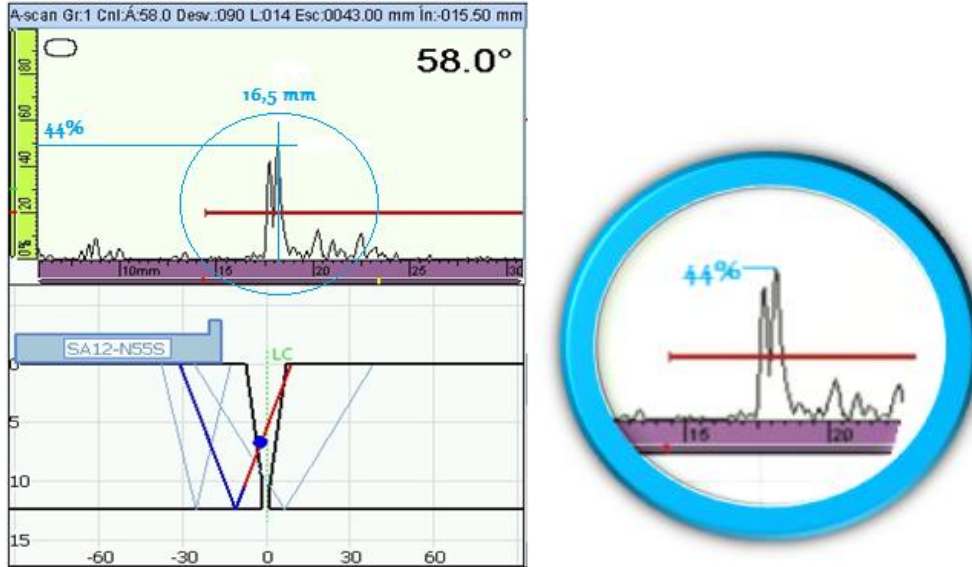
Fuente: [Autor]

- **Scan A Toma No. 2**

En la figura de el Scan A Toma 2 también se observa una indicación relevante de tipo agudo, con un espesor la escoria entre 3 a 4 mm de longitud. La figura también nos indica que a al grado No. 58° y a la longitud recorrida de la onda (16,5 mm) se genera la mayor reflexión del haz ultrasonico y se encuentra una indicación con una amplitud de onda reflejada aproximadamente del 44% y se encuentra a 7 mm de la superficie del tubo. A diferencia de la toma 1 el segundo pico de izquierda a derecha es de mayor amplitud, lo que significa que a mayor longitud recorrida de la onda y más cerca a la superficie del tubo se encuentra una escoria de mayor tamaño que la anterior.

Además se puede observar que presenta dos picos, esto representa que en este punto el haz de ultrasonido la escoria tiene una forma irregular y muy probablemente es escoria agrupada.

Figura 50 Scan A Phase Array Toma 2



Fuente: [Autor]

Figura 51 Segmento Scan A Toma No. 2

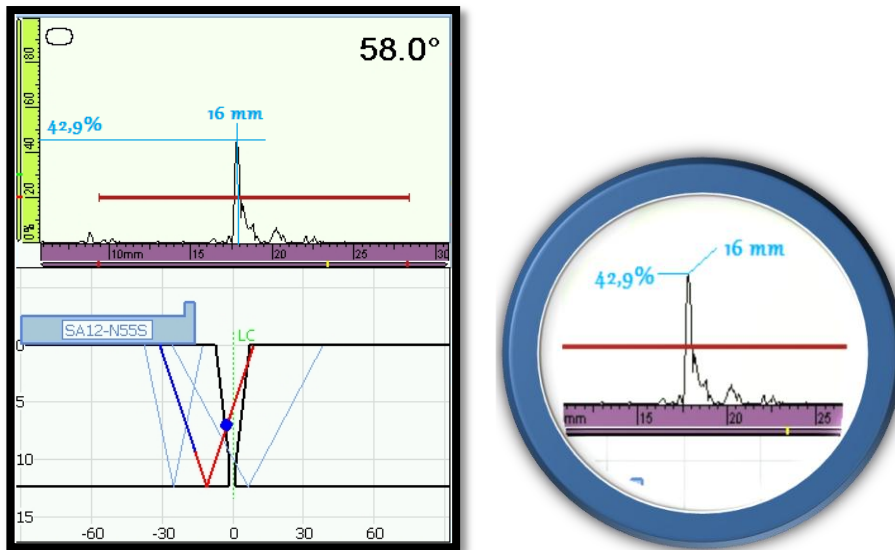


Fuente: [Autor]

- **Scan A Toma No. 3**

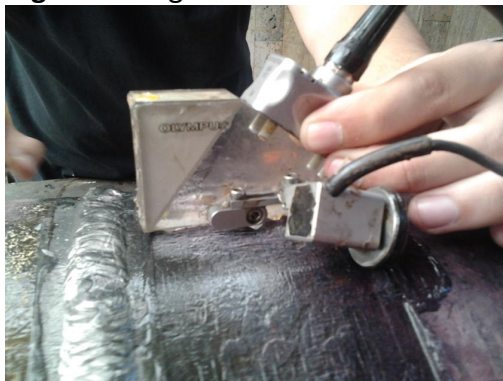
En la figura de el Scan A Toma 3 también se observa una indicación relevante de tipo aún más agudo, con un espesor de la escoria entre 4 a 5 mm de longitud. La figura también nos indica que a al grado No. 58° y a la longitud recorrida de la onda (16 mm) se genera la mayor reflexión del haz ultrasonico y se encuentra una indicación con una amplitud de onda reflejada apróximadamente del 42,9% y se encuentra a 7,13 mm de la superficie del tubo. A diferencia de la toma 1 y toma 2, solo muestra un pico es decir que en ese punto se encuentra la escoria en su forma más plana y regular (muy probablemente escoria alineada aislada).

Figura 52 Scan A Phase Array Toma 3



Fuente: [Autor]

Figura 53 Segmento Scan A Toma No. 3

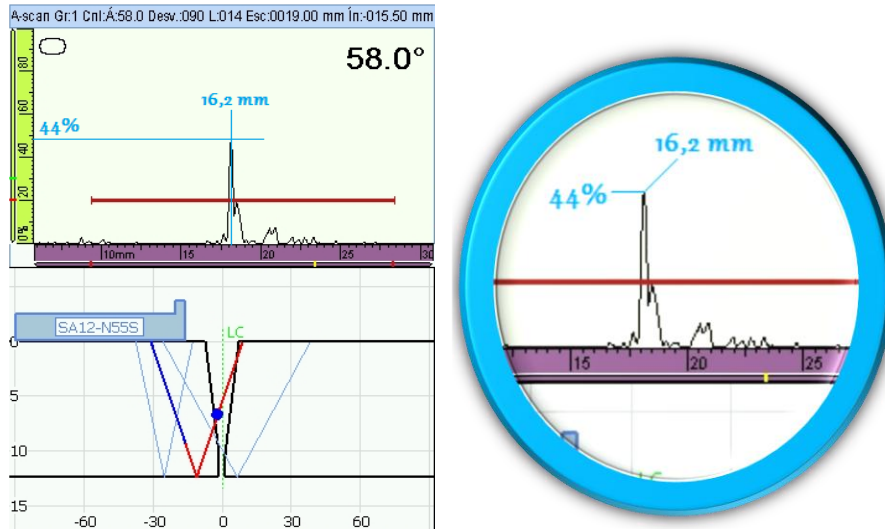


Fuente: [Autor]

- **Scan A Toma No. 4**

En la figura de el Scan A Toma 4 también podemos observar una indicación relevante de tipo aún más agudo, con una longitud de onda relativamente corta entre 4 a 5 mm de longitud. La figura también nos indica que a al grado No. 58 se genera la mayor reflexión del haz ultrasonico y se encuentra una indicación con una amplitud de onda reflejada aproximadamente del 44% y se encuentra a 7 mm de la superficie del tubo. Al igual que la toma anterior, se muestra un pico (forma más plana y regular) seguido de un pico a media altura del pico mayor esto significa que presenta una forma irregular esto nos indica que se presenta escoria de tipo alineada con minima agrupación de escoria.

Figura 54 Scan A Phase Array Toma 4.



Fuente: [Autor]

Figura 55 Segmento Scan A Toma No. 4



Fuente: [Autor]

Las características generales que presentan las discontinuidades de inclusión de escoria alineadas o asiladas en el Scan A mediante proceso SMAW tomadas anteriormente son las siguientes:

- ✓ Se identifica que la señal o "pico" sube de una manera muy rápida formando un ángulo de 90° respecto al eje de las abscisas "Longitud de Onda" .[6]
- ✓ El rango de Porcentaje de la onda reflejada está entre el 40% al 48%. [5]
- ✓ La envolvente es muy estrecha y aguda. (Indicación Relevante) [6]
- ✓ Presenta una forma irregular en los picos o final de la onda reflejada para el caso de escoria agrupada.[6]
- ✓ Las Escorias suelen mostrar menor amplitud que los defectos planares (Falta de Fusión, Falta de Penetración)

Para las características específicas de los dos tipos de escoria (Escoria Alineada y Escoria Aislada) que podemos encontrar en proceso SMAW el Scan A se describen de la siguiente manera:

- **Características visualizadas en el Scan A para Inclusión de Escoria ALINEADAS o AGRUPADAS:**
 - ✓ La envolvente es muy estrecha y aguda.[5]
 - ✓ La distancia entre inicio y final del pico es función de la longitud de la discontinuidad.[5]
 - ✓ Cuando el palpador avanza hacia la discontinuidad, la indicación del eco crece rápidamente al principio y a continuación la caída es rápida.[5]

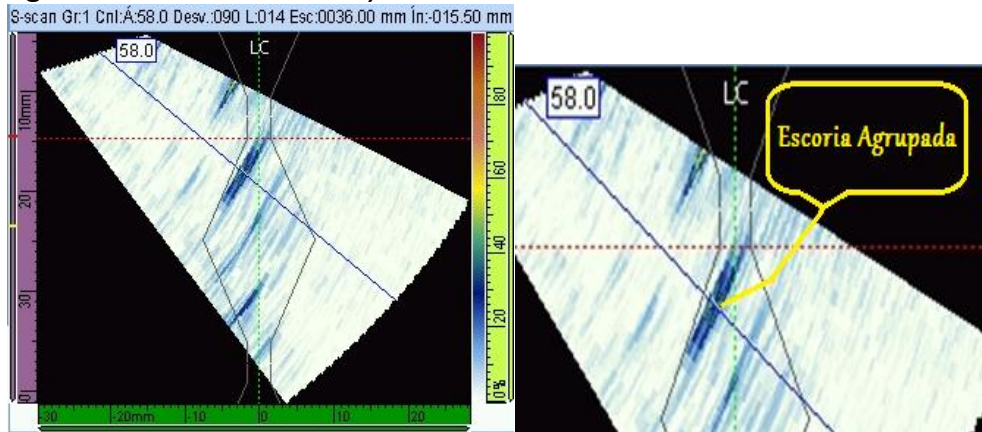
- **Características visualizadas en el Scan A para Inclusión de Escoria AISLADAS:**
 - ✓ La envolvente es más aguda aún y estrecha.
 - ✓ La distancia entre inicio y final del pico es función del diámetro de la discontinuidad.
 - ✓ Además la envolvente es de menor anchura en general.

5.3.4.2 Caracterización morfológica inclusión de escoria (scan s o d). El tipo de Visualización Scan S o D es la base del Ultrasonido Phased Array (PAUT), debido a que es una vista de tipo "Sectorial" que nos permite visualizar la sección transversal del material a inspeccionar. Debido a que este Scan es de tipo sectorial, nos permite visualizar directamente las discontinuidades de tipo volumétrico tales como Porosidad Interna, Grietas, Falta de Penetración, Falta de Fusión, socavados internos y claro está Inclusión de Escoria. [7]

A continuación se visualizan diferente toma fotográfica del SCAN S o D. Estas imágenes corresponden a tubería ASTM A-36 de Diámetro 12 pulgadas con un espesor de 12.5 mm, a esta tubería se le indujeron diferentes tipos de Escoria (Aislada y agrupada), pero se tomaron muestras de la misma discontinuidad para caracterizarla de una forma más clara y específica. Ya que las tomas en campo son más complejas de caracterizar debido a las diversas condiciones que se encuentran los materiales en operación.

- Scan D Toma No. 1.

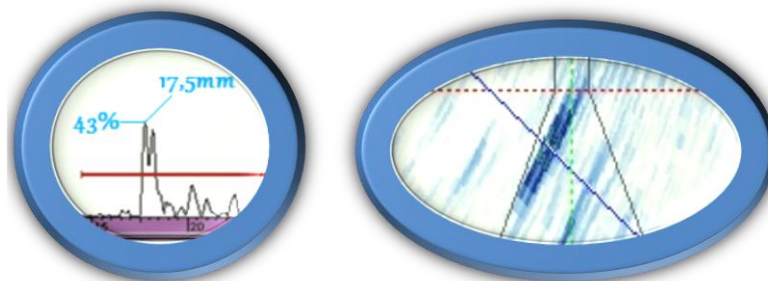
Figura 56 Scan D Phase Array Toma 1



Fuente: [Autor]

Como se sabe la inclusión de escoria siempre va a estar presente dentro del volumen de aporte de material, nunca en el metal base, esto lo podemos observar también en el Scan - S de la toma 1. La figura nos indica que la criticidad de la discontinuidad es baja al rededor de un 30% por el color azul rey, la forma de la discontinuidad es de tipo agrupado y sólida.

Figura 57 Scan A y Scan S Toma No.1



a) Scan A Toma 1

b) Scan D Toma 1

Fuente: [Autor]

El Scan D se complementa directamente con la vista del Scan A. Como se observa en la figura a) Scan A toma 1, se identificó dos picos que interpretábamos que en ese punto la escoria tiene una forma irregular; ahora en el b) Scan D Toma 1 se evidencia la forma irregular que poseen esos dos picos, siendo la escoria que esta a mayor profundidad posee un mayor volumen es decir esta de un color más azul y concentrado, por lo que refleja una mayor cantidad de energía reflejada en comparación con el segundo pico.

Figura 58 Segmento Scan A Toma No. 1

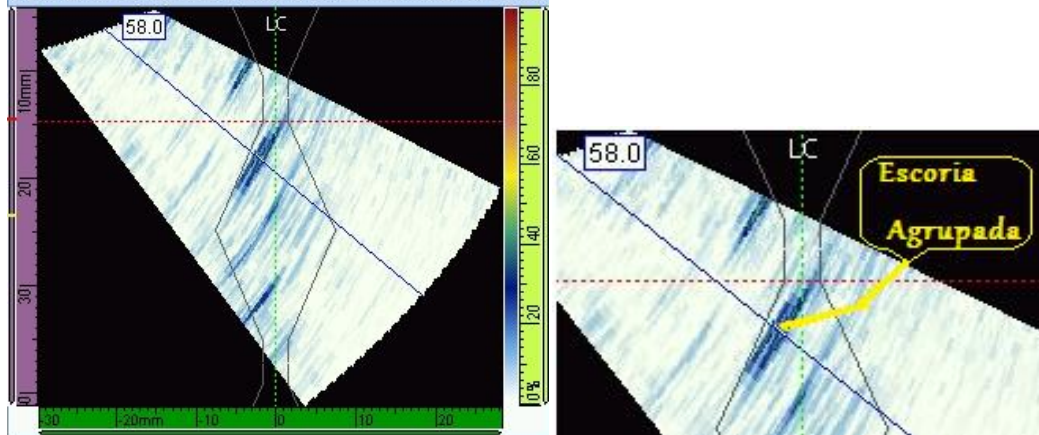


Fuente: [Autor]

- **Scan D Toma No. 2.**

Figura 59 Scan D Phase Array Toma 2

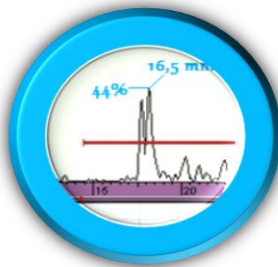
S-scan Gr:1 Cnl:A:58.0 Desv.:090 L:014 Esc:0043.00 mm In:015.50 mm



Fuente: [Autor]

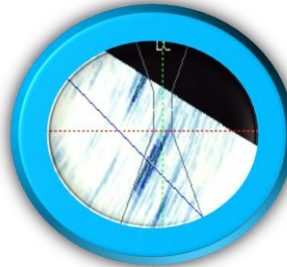
La figura anterior indica que la criticidad de la discontinuidad es baja al rededor de un 30% por el color azul rey, la forma de la discontinuidad es de tipo agrupado y sólida.

Figura 60 Scan A y Scan S Toma No.2.



c)Scan A Toma 2

Fuente: [Autor]



d)Scan D Toma 2

Figura 61 Segmento Scan A Toma No. 2

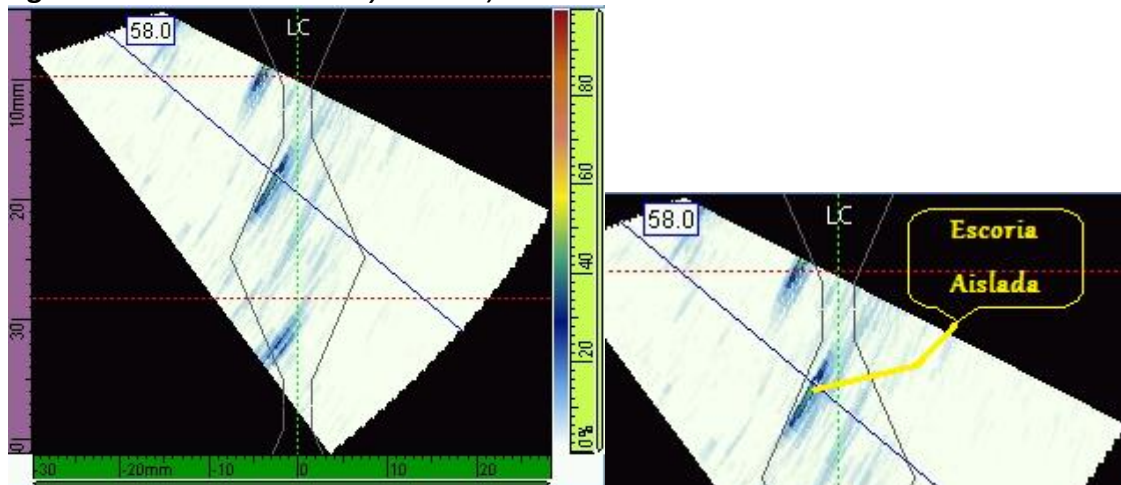


Fuente: [Autor]

Como se observa en la figura c) Scan A toma 2, se identificaron dos picos en este caso el primer pico es de menor amplitud comparado con el segundo pico, lo que se interpreta es que en ese punto la escoria tiene una forma irregular; ahora utilizando el d) Scan D toma 2, se puede observar que la escoria que está a menor profundidad posee un mayor volumen es decir esta de un color más azul y concentrado, por lo que refleja una mayor cantidad de energía reflejada en comparación con el primer pico.

- **Scan D Toma No. 3.**

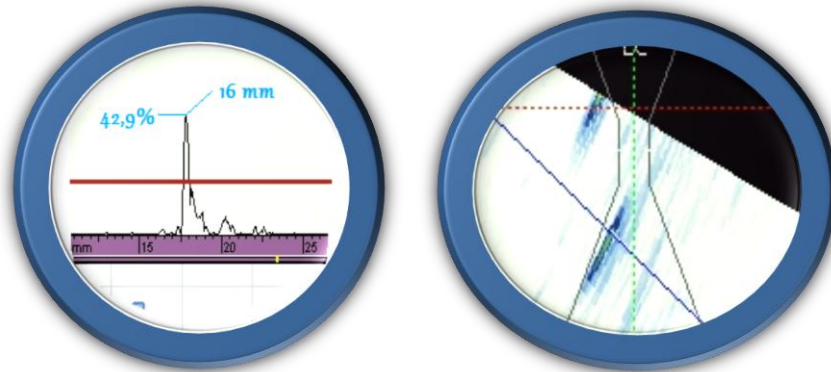
Figura 62 Scan D Phase Array Toma 3)



Fuente: [Autor]

La figura anterior indica que en comparación con las tomas anteriores la criticidad de la discontinuidad es más alta al rededor de un 40% por el color azul verdoso, la forma de la discontinuidad es de tipo aislada y sólida.

Figura 63 Scan A y Scan S Toma No.3.



e) Scan A Toma 3

f) Scan D Toma 3

Fuente: [Autor]

Figura 64 Segmento Scan A Toma No. 3

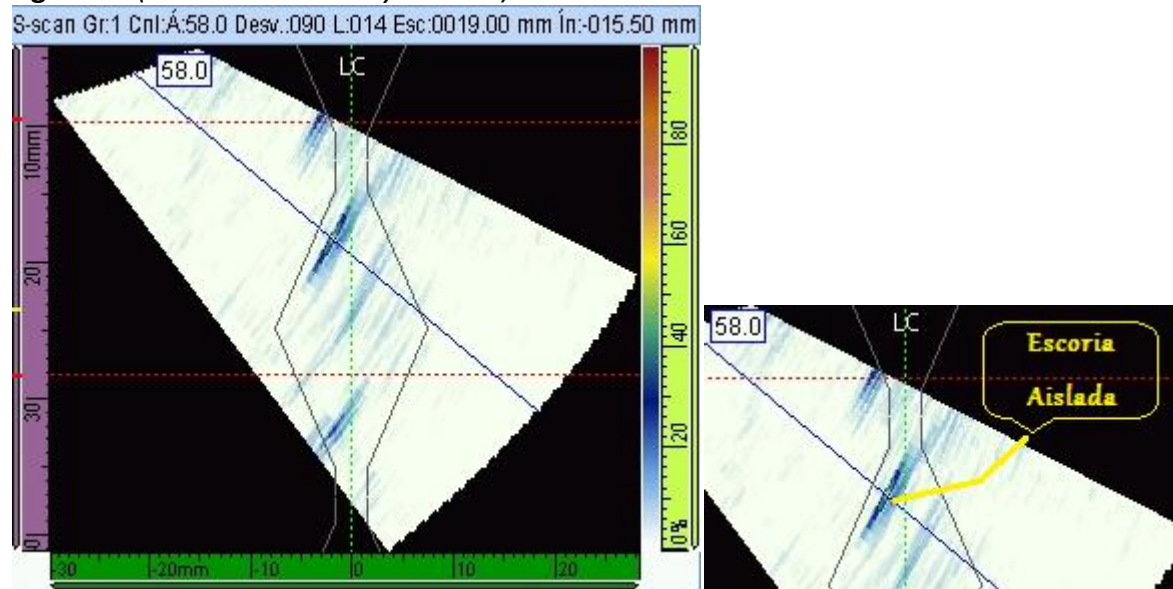


Fuente: [Autor]

Como podemos observar en la figura e) Scan A toma 3, se identifica una sola envolvente es decir que en ese punto la escoria tiene la forma más plana y regular, y en comparación a las tomas anteriores posee menos energía reflejada; ahora utilizando el f) Scan D toma 3, podemos verificar que la escoria si posee una morfología más regular y plana, además cabe resaltar que debido a que presenta una sola envolvente se garantiza que es escoria aislada.

- **Scan D Toma No. 4.**

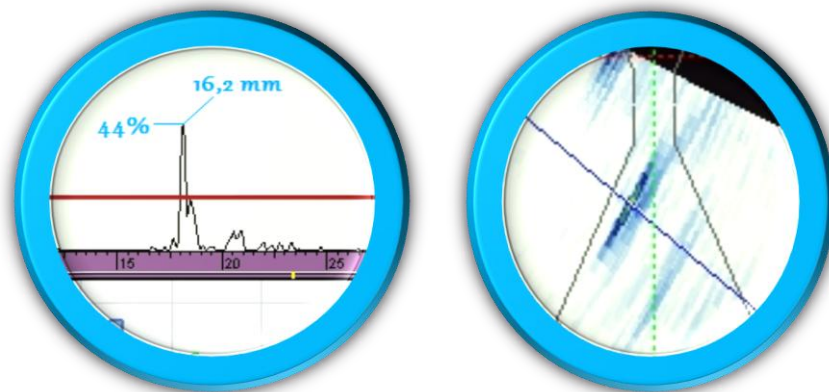
Figura 65 (Scan D Phase Array Toma 4)



Fuente: [Autor]

Esta Toma No. 4 del Scan D es muy parecida a la anterior, ya que revela que es una escoria de tipo aislada con una criticidad más alta al rededor de un 40% por el color azul verdoso, la forma de la discontinuidad es de tipo aislada y sólida.

Figura 66 Scan A y Scan S Toma No.3.



g)Scan A Toma 4

h)Scan D Toma 4

Fuente: [Autor]

Figura 67 Segmento Scan A Toma No. 4



Fuente: [Autor]

Como se observa en la figura g) Scan A toma 4, al igual que la toma anterior se muestra un pico (forma más plana y regular), seguido a ese primer pico se identifica un pico a media altura del pico mayor esto significa que seguido presenta una forma irregular esto nos indica que se presenta escoria de tipo alineada con mínima agrupación de escoria. Ahora utilizando el h) Scan D toma 4, podemos verificar que la escoria si posee una morfología regular y plana seguido de unas manchas azules más claras esto indica que se presenta escoria de tipo alineada con mínima agrupación de escoria.

Las características generales que presentan las discontinuidades de inclusión de escoria alineadas o asiladas en el Scan D mediante proceso SMAW tomadas anteriormente son las siguientes:

- ✓ La Criticidad en cuanto a los colores se evidencia entre el 30% y el 40%. Entre un tono azul rey y azul verdoso.
- ✓ Se evidencia que es una forma sólida de tipo planar y alargada.

Para las características específicas de los dos tipos de escoria (Escoria Alineada y Escoria Aislada) que podemos encontrar en proceso SMAW el Scan D se describen de la siguiente manera:

- **Características visualizadas en el Scan D para Inclusión de Escoria ALINEADAS o AGRUPADAS:**
 - ✓ La criticidad en los colores es alrededor de un 30% al 35%, presentando un color azul rey.

- ✓ La morfología de la discontinuidad es de tipo sólido ancha y alargada, debido a que el recorrido de la envolvente en el Scan A posee más anchura.

- **Características visualizadas en el Scan A para Inclusión de Escoria AISLADAS:**

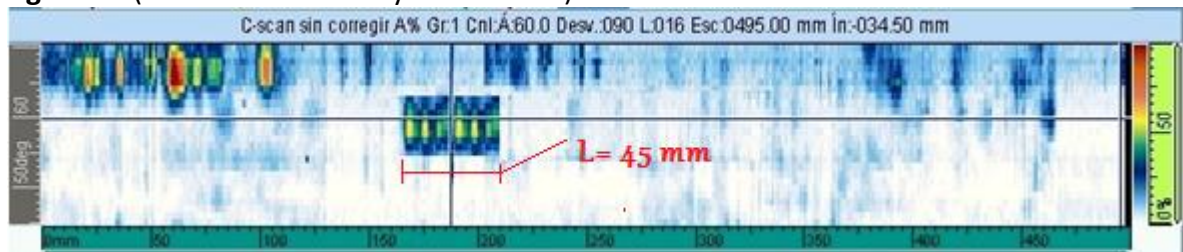
- ✓ La criticidad en cuanto a los colores es mayor presentando un color más azul verdoso, alrededor de un 35 al 40%.
- ✓ La morfología de la discontinuidad es más plana y delgada, debido a que el recorrido de la envolvente en el Scan A es más corta.
- ✓ Cuando el palpador avanza hacia la discontinuidad, la indicación del eco crece rápidamente al principio y a continuación la caída es rápida.

5.3.4.3 Caracterización morfológica inclusión de escoria (scan c.). El tipo de Vista Scan C, nos permite identificar la longitud de la escoria presente en el material. Como podemos observar en la figura la longitud de la escoria es de largo de 45 mm y se encuentra al grado No. 60. [5]

Características Morfológicas del SCAN C:

- Longitud de Escoria 45 mm
- Intensidad de Colores: La inclusión de escoria tiene un color azul y en el centro un color amarillo - verdoso: Estos colores significan que la criticidad de la discontinuidad no es tan alta en comparación a la intensidad de colores que presentan las grietas, socavados y faltas de fusión. (Según la paleta de colores utilizada)
- En la parte superior del Scan C, se identifica la geometría presente en la raíz, se visualizan estos colores debido a la geometría No uniforme que se presenta en el proceso de soldeo en la raíz.

Figura 68 (Scan C Phased Array Toma única).



Fuente: [Autor]

6. CONCLUSIONES

- ✓ La escoria analizada y encontrada en la tubería, efectivamente se generó mediante las variables críticas establecidas en el formato de procedimiento de la soldadura WPS. Liderando como variable crítica la falta de limpieza entre cada pasada de soldadura.
- ✓ Se visualizó en los resultados arrojados por ultrasonido de arreglo de fases (phased array) tiene unas características propias que indican que es inclusión de escoria presente en el metal de aporte.
- ✓ Con la evidencia de que se encuentra escoria en la junta soldada, empieza la gestión del correspondiente supervisor del proceso de soldadura, con el fin de atacar la o las causas de falla que produjo la escoria y verificando las variables implementadas en el WPS que posiblemente influyeron en el proceso de soldadura.
- ✓ Al realizar cada uno de los ensayos especificados (Tintas Penetrantes, Partículas Magnéticas y Ultrasonido Phased Array) se evidenció que el ensayo con mayor sensibilidad para la caracterización morfológica de Inclusión de escoria es la técnica del Ultrasonido Phased Array, debido a su característica de indicar Forma, tamaño y posición de la discontinuidad encontrada.
- ✓ Las variables de cada proceso de soldadura se deben de controlar adecuadamente por medio de controles y estándares que dicta la Normativa, tales como las especificaciones y códigos que se disponen en la actualidad, ya que las Organizaciones que realizan estos procedimientos se rigen bajo una ingeniería de confiabilidad para realizar cada proceso, esto con el fin de establecer que un producto (en este caso una junta soldada), cuente con todos los requisitos para entregar un producto de Excelente calidad. Por lo tanto surge la necesidad de implementar estudios y técnicas de Verificación de estos lineamientos con el fin de Aceptar y tomar medidas para un mejoramiento de la calidad del producto a realizar.
- ✓ Este estudio nos lleva a que el proceso de soldadura se puede mejorar, con el fin de atacar y reducir las malas prácticas que se realizan para la generación de escoria en la Junta soldada, todo esto con el análisis de esta herramienta predictiva que identifica la escoria presente en la soldadura.

- ✓ Este documento también sirve de base para realizar un plan de mejora continua del proceso de soldadura en cualquier institución. Esto con el fin de garantizar que el proceso de soldadura que se esté ejecutando cuente con los requerimientos necesarios para satisfacer las necesidades para que se requiere la junta soldada.

- ✓ Adicionalmente este documento nos brinda una herramienta de tipo visual con el fin de establecer la morfología que presenta cualquier tipo de inclusión de Escoria en una junta soldada de acero de bajo carbono, identificando rápidamente las características que indican que es un defecto volumétrico en la junta soldada.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Koell Hoffer, August Manz, Eugene Hornberger. (1998). *MANUAL DE SOLDADURA*. Editorial Limusa S.A. ISBN 968-18-4926-4.
- [2] Características mecánicas acero ASTM A36
http://www.csc.com.tw/csc_e/pd/spec/mlg_std1_3.pdf
- [3] Galvery, William L. (2006). *Guía de soldadura para el técnico profesional*. Editorial Limusa S.A. ISBN 9789681863876.
- [4] Colciencias. (2007). *Guía para la formulación de programas estratégicos y/o proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación. Modalidad: Cofinanciación y/o crédito*. www.colciencias.gov.co
- [5] Callejas Mancipe, Jorge Enrique. (2008). *Validación del funcionamiento de un sistema de ultrasonido para la detección de defectos en soldaduras*. T.I.M C14VAL
- [6] Angulo Rodríguez, Nelson Xavier. (2006). *Aplicación e investigación de la soldabilidad de aceros de alta resistencia con cálculo, selección y disposición de los componentes de laboratorio de soldadura en la universidad Santo Tomás*. T.I.M A53AP
- [7] Ávila Héctor. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación*. Edición electrónica. ISBN-10: 84-690-1999-6
- [8] Sampieri Roberto, Collado Carlos, Lucio Pilar. (1998). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill. ISBN 970-10-1899-0.
- [9] REVISTA METALURGIA. (1998). Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (Madrid). R-377 1998 V.34 NO.1-6 ENE-DIC.
- [10] INSTITUTO URUGUAYO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE MATERIALES. (2012) Ingeniero Carlos Alberto Buitrago. *Defectología en soldadura*. Facultad de Ingeniería de la Asociación Uruguaya de Ensayos de Materiales.
- [11] INSTITUTO PANAMERICANO DE INGENIERÍA NAVAL. (2009). Ingeniero Adán Vega. *Defectología en la Soldadura*.
- [12] ORGANIZACIÓN ARGENTINA DE LA SOLDADURA. (2009). Ingeniero Samuel Rosario Francia. *Imperfecciones en soldadura y tipos de discontinuidades*.
- [13] Normativa AWS (American Welding Society) D1.1. Código de Soldadura en estructuras.
- [14] Normativa ASTM (American Society of testing Materials) E-165. Clasificación del ensayo Tintas penetrantes.
- [15] Normativa ASNT (American Society of Nondestructive Testing) ASNT SNT-TC-1A Técnica de certificación de Inspección en soldaduras.
- [16] Normativa ASME (American Society of Mechanical Engineers) SECCION V
- [17] Normativa ASME (American Society of Mechanical Engineers) SECCION V A-1 *pág.6*.

- [18] Normativa API (American Petroleum Institute) API 1104.
- [19] Normativa Técnica Colombiana (NTC 1486).
- [20] Manual de Soldadura West Arco – Primera Edición – 2012.
- [21] http://www.metalactual.com/revista/25/procesos_asme.pdf
- [22] <http://www.westarco.com/westarco/sp/productos/consumibles/electrodos/upload/1-Electrodos-para-soldar-Aceros-al-Carbono.pdf>
- [23] http://www.ndt.net/myndt/openfile.php?file=4982_1.pdf&id=4982
- [24] Normativa AWS A 3.0 (*Definiciones y términos en soldadura*)
- [25] Manual “Tecnología de la inspección de la soldadura” Modulo 9 Discontinuidades del metal base y soldadura. Página 11.

ANEXO No. 1
SOLDADURAS WEST ARCO E7018

WIZ 18



IDENTIFICACIÓN : WESTARCO E7018-1
CLASIFICACIÓN : AWS E7018-1
ESPECIFICACIÓN : AWS A5.1, NTC 2191, ASME SFA5.1
APROBADO : ABS (Grado 3H10, 3Y) Lloyd's (3Ym)

CARACTERÍSTICAS SOBRESALIENTES

El WIZ 18 es un electrodo cuyo revestimiento es de tipo básico, bajo hidrógeno, para ser utilizado con corriente directa, polaridad positiva (+) o con corriente alterna (75 OCV mínimo). Debido al polvo de hierro, tiene una alta tasa de deposición y bajas pérdidas por salpicaduras. Su extremo de arco grafitizado le da un excelente encendido. El depósito de soldadura da una excelente calidad radiográfica y una alta resistencia al impacto a baja temperatura.

APLICACIONES TÍPICAS

Se utiliza para soldaduras de acero al carbono de hasta 70.000 lbs/pulg² de resistencia a la tensión, en aplicaciones en estructuras tuberías y tanques a presión especialmente cuando se requiere alta resistencia al impacto a bajas temperaturas.

RECOMENDACIONES PARA SU APLICACIÓN

Al soldar con WIZ 18 se debe mantener un arco corto evitando movimientos bruscos del electrodo. Al usar corriente alterna, el transformador debe tener por lo menos 75V en vacío. En posiciones diferentes a la plana deben utilizarse electrodos de 5/32" (4mm) ó de menor diámetro.

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS DEL METAL DEPOSITADO

Resistencia a la tracción:	49 - 56 Kg/mm ² (70 - 80 Ksi)
Límite de fluencia:	41 - 49 Kg/mm ² (58 - 70 Ksi)
Elongación:	22 - 36 %
Resistencia al impacto Charpy en V a -29 °C:	100 J. a -46°C: 60 joules

NOTA: Ensayos realizados según AWS A5.1

COMPOSICIÓN QUÍMICA TÍPICA DEL METAL DEPOSITADO

Carbono	0.05 - 0.10%	Manganeso	1.20 - 1.50%
Silicio	0.35 - 0.50%	Fósforo	0.035% máx.
Azufre	0.035% máx.		

DIMENSIÓN AMPERAJES RECOMENDADOS

2.4 X 300 mm (3/32")	70 - 100A
3.2 X 350 mm (1/8")	100 - 145A
4.0 X 350 mm (5/32")	135 - 200A
4.8 X 350 mm (3/16")	170 - 270A

EMPAQUE: Caja de 20 Kg peso neto.

Ver recomendaciones de almacenamiento al final del catálogo.

49

ANEXO No. 2
SOLDADURAS WEST ARCO E6011

SW 11



ELECTRODOS PARA SOLDAR ACEROS AL CARBONO

IDENTIFICACIÓN : WEST ARCO SW 11 E6011
CLASIFICACIÓN : AWS E6011
ESPECIFICACIÓN : AWS A5.1, NTC 2191, ASME SFA5.1

CARACTERÍSTICAS SOBRESALIENTES

Este electrodo se caracteriza por su operación suave, manteniendo suficiente penetración debido a su revestimiento a base de celulosa. Presenta bajas pérdidas de chisporroteo.

APLICACIONES TÍPICAS

Se emplea para soldar todo tipo de aceros de bajo carbono y está particularmente indicado en aplicaciones de ornamentación y carpintería metálica.

RECOMENDACIONES PARA SU APLICACIÓN

Trabaja en todas las posiciones de soldadura, con corriente alterna y continua, electrodo positivo (+). Utilice ésta última cuando requiera obtener la mayor suavidad y el mínimo de chisporroteo característicos del electrodo. Lleve un arco de mediana longitud.

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS DEL METAL DEPOSITADO

Resistencia a la tracción:	42 - 51 Kg/mm ² (60 - 72 Ksi)
Límite de fluencia:	34 - 42 Kg/mm ² (48 - 60 Ksi)
Elongación:	22 - 32%
Resistencia al impacto Charpy en V a -29 °C:	27-70 joules.

NOTA: Ensayos realizados según AWS A5.1

DIMENSIÓN AMPERAJES RECOMENDADOS

2.4 X 300 mm (3/32")	50 - 80A
3.2 X 350 mm (1/8")	70 - 115A
4.0 X 350 mm (5/32")	90 - 160A

EMPAQUE: Caja de 20 Kg peso neto.

Ver recomendaciones de almacenamiento al final del catálogo.

ANEXO No. 3
TINTA PENETRANTE SPOTCHECK

Spotcheck® SKL-SP2 Solvent Removable Penetrant

Spotcheck® SKL-SP2 is a solvent removable penetrant offering maximum reliability in the detection of surface-open flaws and discontinuities. Spotcheck® SKL-SP2 is a solvent removable (or post emulsifiable) red color contrast penetrant with outstanding penetrating characteristics. It offers maximum reliability in locating surface-open flaws and discontinuities and has been successfully used on non-porous ceramics and other similar materials.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET
PRODUCT DATA SHEET
APPLICATION INSTRUCTIONS
DISTRIBUTOR LIST
LPI ACCESSORIES

Specifications Compliance:

AMS-2644, AECL, ASME B & PV Code Sec V, ASTM E1417, MIL-STD 2132, ASTM E165, MIL-STD-271, ISO 3452

Part Number and Container Size:

- 01-5155-35: 1 gallon (case of 4)
- 01-5155-40: 5 gallon pail
- 01-5155-45: 55 gallon drum

Available in 16 oz. aerosol cans

Applications: Welds, Forgings, Pressure Vessels, Castings, General Metal Work, Leak Testing, Power Plant, Construction.

Classification: Type 2, Method B, C or D

Temperature: SKL-SP2 should be used at temperatures between 40° F to 125° F.



ANEXO No. 4
TINTA REVELADORA SPOTCHECK

Spotcheck® SKD-S2 Non-Halogenated Solvent Developer

Spotcheck® SKD-S2 is a non-halogenated solvent developer that meets major requirements for special alloy and nuclear applications.

Spotcheck® is a ready to use suspension of white developing particles in a fast drying solvent. It produces an opaque white coating, which provides an excellent contrasting background for penetrant indications.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET
PRODUCT DATA SHEET
APPLICATION INSTRUCTIONS
DISTRIBUTOR LIST
LPI ACCESSORIES

Specifications Compliance:

AMS 2644, MIL-STD-271, MIL-STD-2132, AECL, ASME B & PV Code, Section V, Boeing PS-21202, AMS 2647, ASTM E1417, ASTM E165, NAVSEA 250-1500-1, Boeing BAC 5423, PSD 6-46 or 8-4, GE P50YP107, ISO 3452

Part Number and Container Size:

- 01-5352-35: 1 gallon (case of 4)
- 01-5352-40: 5 gallon pail
- 01-5352-45: 55 gallon drum
- Also available in 16 oz. aerosol cans

Applications: Developer for Liquid Penetrant Inspection process.

Classification: Form d Non-aqueous Type 1 Fluorescent (solvent based). Form e Non-aqueous Type 2 Visible Dye (solvent based).



ANEXO No. 5
TINTA LIMPIADOR SPOTCHECK

Spotcheck® SKC-S

Spotcheck® SKC-S is a non-halogenated material used in the penetrant inspection process.

Spotcheck® SKC-S is a non-halogenated material used in the liquid penetrant inspection process. SKC-S is used on a moist cloth to remove surface penetrant from the inspection area prior to applying developer.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET
PRODUCT DATA SHEET
APPLICATION INSTRUCTIONS
DISTRIBUTOR LIST
LPI ACCESSORIES

Specifications Compliance:

AMS-2644; MIL-STD-271; MIL-STD-2132; AECL; ASTM E 165; ASTM E 1417; ASME B&PV Code, Section V; NAVSEA 250-1500-1; Boeing BAC 5423 PSD 6-46 or 8-4; General Electric P50YP107; Boeing PS-21202, ISO 3452

Part Number and Container Size:

- 01-5750-35: 1 gallon (case of 4)
- 01-5750-40: 5 gallon pail
- 01-5750-45: 55 gallon drum
- Available in 16 oz. aerosol cans

Applications: SKC-S is used to remove excess surface penetrant from the inspection area prior to applying developer.

Classification: Class 2

Temperature: 40°F to 125°F



ANEXO No. 1 .
Partículas Magnéticas Secas Rojas

1 GRIS / 2 AMARILLO / 3A NEGRO / 8A ROJO PARTÍCULAS MAGNÉTICAS NO FLUORESCENTES MÉTODO SECO

Descripción general:

Los polvos magnéticos MAGNAFLUX #1 Gris, #2 Amarillo, #3A Negro y #8A Rojo están listos para usarse, son de libre flujo para uso general, método seco, de contraste de color. Estos polvos se usan para localizar discontinuidades en la superficie y ligeramente por debajo de la superficie en estructuras ferrosas.

El #1 Gris es un polvo gris o casi blanco que produce indicaciones bien definidas de contraste de color sobre fondos oscuros.

El #2 Amarillo es un polvo amarillo pálido ideal para superficies oscuras.

El #3 Negro es un polvo negro azulado ideal para producir indicaciones bien definidas sobre superficies pulidas con chorro de arena (sandblasteado) o granallado sobre fondos claros.

El #8A Rojo es un polvo cuyo color proporciona un fuerte contraste sobre la mayoría de las superficies y fondos con color.

Composición:

Los polvos magnéticos secos se componen de polvos magnéticos y pigmentos selectos.

Aplicación:

Algunas de las aplicaciones más usuales incluyen, soldaduras, grandes piezas forjadas y coladas y en aquellos lugares con superficie áspera.

Propiedades típicas (no es una especificación):

	#1 Gris	#2 Amarillo	#3 Negro	#8A Rojo
Dimensión de partículas (promedio)	180 micras	180 micras	180 micras	180 micras
Sensibilidad relativa SAE	8	8	8	8
Límite superior de temperatura*	750 °F 399 °C	500 °F 280 °C	600 °F 316 °C	600 °F 316 °C

*Los límites en la temperatura no significan que el material no formará indicaciones de partículas magnéticas arriba de las temperaturas especificadas. Sin embargo, las partículas sometidas a altas temperaturas durante un cierto tiempo pueden alterar su color, sinterizarse o despedir humo. Las partículas calentadas a 900 °F (482 °C) o que pasen por una flama pueden arder sin llama o producir chispas.

MAGNAFLUX

A Division of Illinois Tool Works Inc.
3624 WEST LAKE AVENUE ■ GLENVIEW, ILLINOIS 60026
TEL 847.657.5300 ■ FAX 847.657.5388
www.magnaflux.com

ANEXO No. 2
YOKE AC/DC MAGNAFLUX

MAGNAVIS® MAGNETIC YOKES

Magnavis® Y-7 AC/DC Magnetic Particle Inspection Yoke

The Magnavis7 Y-7 AC/DC Magnetic Particle Yoke is designed for one-person portable magnetic particle inspections of ferrous parts. Ideal for inspection of welds and other remote testing. Articulating, double-jointed legs of yokes contour to any part shape to assure good contact.

quick links

MAGNAVIS PRODUCTS
DISTRIBUTOR LIST

Y-7 Core Benefits:

- Used to find both surface and near-surface discontinuities
- Articulating, double-jointed legs contour to part's shape for superior contact
- Solid state controls located in the yoke's housing for maximum safety and reliability



Y-7 Yoke Part Numbers:

- 43550: 115V - 50/60Hz
- 43560: 230V - 50/60Hz

Y-7 Yoke Kit Part Numbers:

- 43509: 115/60Hz Kit
- 620741: 230V/50-60Hz

Y-7 Yoke Kit Includes:

Y-7 AC/DC Yoke, 1 lb. of #1 Gray, 1 lb. of #8A Red Powder, Portable Carrying Case, Paint Marker, SCRUBSTM Hand Cleaner, Powder Spray Bulb and Kit Instructions.



General Specifications	Y-7 AC/DC Yoke
Weight	115V - 7.4 lbs 230V - 7.2 lbs
Leg Span	0" - 12"
Current Type	115V/60Hz or 230V/50-60Hz
Cord Length	12 feet
Warranty	1 year

ANEXO No. 3 .
Equipo Ultrasonido Phase Array OMNISCAN MX2.

Especificaciones del OmniScan MX2*

Especificaciones de la estructura principal del OmniScan MX2

Dimensiones globales (A x A x D)	325 mm x 235 mm x 130 mm
Peso	3,2 kg, sin módulo y con una batería
Almacenamiento de datos	
Dispositivos de almacenamiento	Tarjeta de memoria SD de alta capacidad, dispositivos de almacenamiento USB de serie en gran parte, o cable Ethernet de alta velocidad y opcional
Tamaño de archivos de datos	300 MB
Puertos de E/S	
Puertos USB	3
Alarma acústica	Si
Salida de vídeo	Salida de vídeo (SVGA)
Ethernet	10/100 Mbps
Líneas de comunicación de E/S	
Codificador	Línea del codificador de dos ejes (cuadratura, hacia arriba/abajo o reloj/dirección)
Entrada digital	TTL de 4 entradas digitales, 5 V
Salida digital	TTL de 4 salidas digitales, 5 V, 15 mA
Teclea de activación/desactivación de adquisición	TTL habilitado de adquisición remota, 5 V
Línea de salida de energía	5 V, línea de salida de alimentación de 500 mA (con protección contra cortocircuitos)
Alarmas	2 TTL, 5V, 15 mA
Salida analógica	2 salidas analógicas (12 bits) de -5 V a +5 V en 10 kΩ
Entrada de sincronización	Entrada de sincronización TTL de 5 V
Pantalla	
Tamaño de pantalla	26,4 cm (10,4 pulg.) (diagonal)
Resolución	800 píxeles x 600 píxeles
Luminación	700 cd/m ²
Cantidad de colores	16 millones
Tipo	LCD de TFT
Fuente de energía	
Tipo de batería	Baterías inteligentes de iones de litio
Cantidad de baterías	1 a 2 unidades (el compartimiento de batería puede albergar dos baterías sustitibles en modo caliente)
Duración de la batería	Mínimo de siete (7) horas con las dos baterías instaladas
Especificaciones ambientales	
Temperatura de funcionamiento	-de -10 °C a 45 °C
Temperatura de almacenamiento	-20 °C a +60 °C con baterías incorporadas -20 °C a +70 °C sin baterías incorporadas
Humedad relativa	Máximo del 70 % de humedad relativa a 45 °C sin condensación
Grado de protección	Diseñado para cumplir los requisitos IP65
Índice de protección ante caídas	Resistencia ante caídas conforme a la norma MIL-STD-810G 516.6
Compatibilidad del módulo MX2	
MXU 4.0 y versiones ulteriores	OMNI-M2-PA1664 OMNI-M2-PA16128 OMNI-M2-PA32128 OMNI-M2-UT-2CH
MXU 3.1	OMNI-M-UT-8CH
Todas las versiones MXU	OMNI-M-PA1664 OMNI-M-PA16128 OMNI-M-PA32128 OMNI-M-PA32128PR OMNI-M-PA3232 (200 V)
MXU-M 3.1 y previa versiones	OMNI-M-PA1664M

Especificaciones del módulo Phased Array

(se aplica a los módulos OMNI-M2)

Dimensiones globales (A x A x D)	226 mm x 163 mm x 40 mm	
Peso	1,6 kg	
Conectores	1 conector phased array; conector PA de Olympus 2 conectores UT: LEMO 00	
Cantidad de leyes locales	256	
Reconocimiento de la sonda	Reconocimiento automático de la sonda	
Emisor/Receptor		
Apertura	32 elementos**	
Cantidad de elementos	128 elementos**	
Emisor	Canales PA	Canales UT
Tensión	40 V, 80 V y 115 V	95 V, 175 V, y 340 V
Ancho del impulso	Regulable de 30 ns a 500 ns; y con 2,5 ns de resolución	Regulable de 30 ns a 1,000 ns; 2,5 ns de resolución
Forma del impulso	Onda cuadrada negativa	Onda cuadrada negativa
Impedancia de salida	<25 Ω	<30 Ω
Receptor	Canales PA	Canales UT
Ganancia	0 dB a 80 dB de señal máxima de salida de 550 mV _{p-p} (altura completa de pantalla)	0 dB a 120 dB de señal máxima de salida de 34,5 V _{p-p} (altura completa de pantalla)
Impedancia de entrada	65 Ω	64 Ω en modo pulso y eco 51 Ω en modo emisión y recepción
Ancho de banda del sistema	0,6 MHz a 18 MHz (-3 dB)	0,25 MHz a 28 MHz(-3 dB)
Formación (concentración) del haz		
Tipo de escaneo	Sectorial y lineal	
Cantidad de grupos	Hasta 8	
Adquisición de datos		
Frecuencia de digitalización	400 MHz (12 bits) después de interpolación por 4 pasos	
Frecuencia máxima de emisión de impulsos	Hasta 10 kHz (C-acan)	
Tratamiento de datos	Canales PA	Canales UT
Cantidad de puntos de datos	Hasta 8192	
Promedio en tiempo real	2, 4, 8, 16	2, 4, 8, 16, 32, 64
Rectificador	Radiofrecuencia (RF), onda completa, media onda positiva (+), media onda negativa (-)	
Filtro	tres (3) filtros de paso bajo, tres (3) de paso banda y cinco (5) de paso alto.	tres (3) filtros de paso bajo, seis (6) de paso banda y tres (3) de paso alto (ocho (8) filtros de paso bajo cuando son configurados en TOFD)
Filtro de vídeo	Suavizado (ajustado a la banda de frecuencia de la sonda)	
Visualización de datos		
Frecuencia de refresco de la representación A-acan	Tiempo real: 60 Hz	
Sincronización de datos		
Según el reloj interno	de 1 Hz a 10 kHz	
Según el codificador	Dos ejes: de 1 a 65 536 pasos	
Ganancia corregida en función del tiempo (TCG) programable		
Cantidad de puntos	32; curva de ganancia corregida en función del tiempo por ley focal	
Alarmas		
Cantidad de alarmas	3	
Condiciones	Toda combinación lógica de puertas	
Salidas de alarma	2	

** Las aperturas y las cantidades de elementos varían según el modelo. Los modelos vigentes para envío presentan las configuraciones 16:64, 16:128 y 32:128.