

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE ENSAYOS NO  
DESTRUCTIVOS EN LOS CORDONES DE SOLDADURA DE  
RECIPIENTES A PRESIÓN**

PRESENTADO POR:

**FRANCO ESAÚ ORELLANA GONZÁLEZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

**Msc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIA GENERAL :

**Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO :

**Ing. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DIRECTOR INTERINO :

**Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Título :

**PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE ENSAYOS NO  
DESTRUCTIVOS EN LOS CORDONES DE SOLDADURA DE  
RECIPIENTES A PRESIÓN**

Presentado por :

**FRANCO ESAÚ ORELLANA GONZÁLEZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ**

San Salvador, agosto de 2022

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ**

# **PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LOS CORDONES DE SOLDADURA DE RECIPIENTES A PRESIÓN**

Estudiante: Br. Franco Esaú Orellana González<sup>1</sup>  
Docente Asesor: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz<sup>2</sup>

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de  
El Salvador

## **RESUMEN**

Se ha realizado una investigación bibliográfica sobre pruebas no destructivas realizadas a componentes mecánicos, principalmente recipientes a presión fabricados por proceso de soldadura; así, se tomó como referencia la norma de la ASTM E165 además de ASTM E709 (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) y los códigos que establece la ASNT (Sociedad Americana de Pruebas No Destructivas). Además, se realiza una propuesta de metodología de ensayos no destructivos en los cordones de soldadura de recipientes a presión que sirva de guía o referencia para las personas que se dediquen a la fabricación de dichos recipientes. En el mismo sentido, dicha metodología podrá ser utilizada por personas cuya actividad sea la identificación de posibles fallas durante la fabricación e inspección de elementos mecánicos que involucre la unión por soldaduras de láminas. Finalmente, en dicha propuesta se hace énfasis en las pruebas no destructivas por líquidos penetrantes y por partículas magnéticas. Se detallan las herramientas a utilizar y los procedimientos a seguir para una buena práctica y obtener resultados confiables o con poco porcentaje de error.

Palabras claves: Recipientes; Código; Soldadura.

---

1 E-mail: esau13022@gmail.com

2 E-mail: jonathan.berrios@ues.edu.sv

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	2
1.1. Historia general de las pruebas no destructivas.....	2
1.2. Ensayo por líquidos penetrantes.....	6
1.3. Ensayo por partículas magnéticas.....	9
1.4. Normas a utilizar.....	12
1.4.1. Documentos de referencia.....	12
1.4.2. Práctica estándar para la prueba por líquidos penetrantes para la industria en general ASTM E165.....	14
1.4.3. Guía estándar para examen con partículas magnetizables ASTM E709.....	16
1.5. Propuesta de metodología de ensayos no destructivos en cordones de soldadura en recipientes a presión.....	21
1.5.1. Criterios para seleccionar una técnica de ensayo no destructivo.....	21
1.6. Características principales para la selección de metodología de ensayo no destructivo por líquidos penetrantes.....	23
1.6.1. Principios físicos de los líquidos penetrantes.....	23
1.7. Características principales para selección de metodología de ensayo no destructivo por partículas magnéticas.....	27
1.7.1 Selección del método apropiado en la aplicación de partículas magnéticas.....	28
2. GUÍA DE EJECUCIÓN DE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS EN CORDONES DE SOLDADURA DE RECIPIENTES A PRESIÓN.....	36
2.1. Clasificación general de los líquidos penetrantes.....	36
2.1.1. Procedimiento general de inspección por líquidos penetrantes.....	43
2.1.2. Procedimiento de ensayo.....	44
2.1.3. Ficha técnica para uso de prueba no destructiva para líquidos penetrantes.....	47
2.2. Procedimiento general de inspección por partículas magnéticas.....	48
2.2.1. Materiales de inspección.....	48
2.2.2. Preparación de la superficie.....	57

	Pág.
2.2.3. Técnica de inspección.....	58
2.2.4. Equipamiento para procedimiento general de inspección por partículas magnéticas.....	59
2.2.5. Ficha técnica para uso de prueba no destructiva para partículas magnéticas.....	60
3. MATERIALES A UTILIZAR Y EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA PARA LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS A DESARROLLAR.....	62
3.1. Equipamiento para ensayos por tintes penetrantes.....	64
3.2. Equipamiento para ensayos por partículas magnéticas.....	65
3.3. Práctica a desarrollar en ensayo por tintes penetrante.....	66
3.3.1. Preparación de la superficie a ensayar.....	67
3.3.2. Ejecución del ensayo.....	67
3.3.3. Limpieza final de la superficie.....	71
3.4. Práctica a desarrollar en ensayos por partículas magnéticas.....	71
3.4.1. Preparación de la superficie a ensayar.....	71
3.4.2. Ejecución del ensayo.....	72
3.4.3. Limpieza final de la superficie.....	76
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	77
4.1. Interpretación de indicaciones.....	77
4.2. Criterios de aceptación.....	78
4.2.1. Norma API 650.....	78
4.2.2. AWS D1.1.....	79
4.2.3. Código ASME B31.3-2018.....	80
4.3. RESULTADOS DE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.....	81
CONCLUSIONES.....	93
BIBLIOGRAFÍA.....	94
ANEXO A.....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Resumen significativo para tomar en consideración a la hora de realizar un ensayo no destructivo.....	22
Tabla 1.2. Cualidades físicas de un penetrante al momento de realizar un ensayo por líquidos penetrantes.....	26
Tabla 2.1. Tipos y métodos que se pueden seleccionar a la hora de realizar el ensayo por líquidos penetrantes.....	37
Tabla 2.2. Características de los productos de la marca cantesco.....	43
Tabla 2.3. Comparativa sobre el método a seleccionar previo al ensayo por partículas magnéticas.....	54
Tabla 3.1. Descripción general de materiales a utilizar en la realización de los ensayos no destructivos.....	63
Tabla 3.2. Tiempos mínimos para la examinación.....	69
Tabla 4.1. Criterios de aceptación de la inspección visual.....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1. Trabajadores realizando inspección de piezas por medio de baños de aceite, lo que en un futuro se llamaría Pruebas por Líquidos Penetrantes.....	3
Fig. 1.2. Inspección superficial.....	5
Fig. 1.3. Inspección volumétrica.....	5
Fig. 1.4. Pruebas de hermeticidad.....	6
Fig. 1.5. Operario realizando el ensayo por líquidos penetrantes a una pieza de metal que cumple con los requerimientos para realizar el ensayo no destructivo.....	7
Fig. 1.6. Efecto de capilaridad en: a) El agua, asciende; y b) el mercurio, desciende.....	8
Fig. 1.7. Diferentes posiciones en la que se puede colocar la pieza a ensayar: a) Vertical; y b) horizontal.....	9
Fig. 1.8. Realización del ensayo por partículas magnéticas utilizando un yugo Y-2 de corriente alterna de patas articuladas.....	11
Fig. 1.9. Las partículas serán atraídas y se agruparán no sólo en los polos de los extremos del imán, sino también en los polos en los bordes de la grieta llamado campo de fuga de flujo.....	11
Fig. 1.10. Procedimiento general para ensayo por líquidos penetrantes.....	16
Fig. 1.11. Líneas de campo magnético sobre un metal.....	18
Fig. 1.12. Etapas del método de aplicación de partículas ferromagnéticas.....	18
Fig. 1.13. Líneas orientadas a la dirección del campo magnético generadas sobre un material ferromagnético.....	20
Fig. 1.14. Fenómeno físico de la tensión superficial del agua, es capaz de soportar el peso de un pequeño metal.....	24
Fig. 1.15. Ángulo formado entre la superficie de contacto de la gota con el material: a) Ángulo menor que 90°; b) ángulo igual a 90°; y c) ángulo mayor que 90°.....	25
Fig. 1.16. Comportamiento de la corriente alterna.....	29
Fig. 1.17. Comportamiento de la corriente directa rectificada de media onda.....	30
Fig. 1.18. Comportamiento de la Corriente directa rectificada de onda completa.....	31
Fig. 1.19. Instrumento para medir densidad de flujo.....	34
Fig. 1.20. Formas de Indicadores de campo magnético: a) Indicador de tipo paste; y b) Placas con ranuras.....	34

	Pág.
Fig. 2.1. Lámpara de luz ultravioleta.....	38
Fig. 2.2. Indicaciones expuestas a luz natural y a luz ultravioleta.....	39
Fig. 2.3. Pieza recubierta con revelador formando un contraste blanco.....	40
Fig. 2.4. Algunas marcas de los productos para ensayos por líquidos penetrantes.....	41
Fig. 2.5. Productos de la marca CANTESCO utilizados para ensayo por líquidos penetrantes.....	44
Fig. 2.6. Polvos de partículas ferromagnéticas utilizadas para la prueba no destructiva.....	48
Fig. 2.7. Partículas ferromagnéticas.....	50
Fig. 2.8. Comportamiento de los dominios magnéticos en un material expuesto a un campo magnético: a) Sin magnetismo, b) con magnetismo.....	51
Fig. 2.9. Instrumentos utilizados para el ensayo por partículas magnéticas cuando se utilizan partículas secas.....	52
Fig. 2.10. Presentaciones en las que se puede adquirir las partículas ferromagnéticas.....	53
Fig. 2.11. Partículas ferromagnéticas fluorescentes.....	56
Fig. 2.12. Productos para limpieza de una superficie a ser examinada.....	58
Fig. 2.13. Equipo para utilizar en el ensayo por partículas magnéticas.....	60
Fig. 3.1. Productos de la marca CANTESCO para la realización del ensayo no destructivo por tintes penetrantes.....	65
Fig. 3.2. Equipo para realizar el ensayo por partículas magnéticas.....	66
Fig. 3.3. Preparación de la superficie para realizar ensayo por líquidos penetrantes: a) Superficie con óxido; b) superficie con químico removedor de pintura aplicado; y c) superficie completamente limpia.....	67
Fig. 3.4. Aplicación de líquido limpiador.....	68
Fig. 3.5. Aplicación de líquido penetrante: a) aplicación a superficie de sacrificio para limpieza de boquilla; y b) aplicación directa al material a ensayar.....	68
Fig. 3.6. Remoción de líquido penetrante previo a la aplicación del revelador.....	70
Fig. 3.7. Aplicación del líquido revelador.....	70
Fig. 3.8. Limpieza final del ensayo por líquidos penetrantes.....	71
Fig. 3.9. Preparación de la superficie para el ensayo por partículas magnéticas: a) Superficie recubierta con químico removedor de pintura; b) pintura desprendida de la superficie a examinar; y c) superficie limpia.....	72
Fig. 3.10. Posicionamiento de las patas articuladas del yugo magnético.....	73
Fig. 3.11. Colocación correcta de la pata del yugo en la superficie.....	73

	Pág.
Fig. 3.12. Forma de esparcir las partículas ferromagnéticas.....	74
Fig. 3.13. Revelación de las indicaciones que se forman en el ensayo por partículas magnéticas.....	75
Fig. 3.14. Desmagnetización de la superficie ensayada.....	75
Fig. 3.15. Limpieza final de la superficie examinada: a) Cepillado; y b) con químico limpiador.....	76
Fig. 4.1. Algoritmo para análisis de pruebas no destructivas.....	78
Fig. 4.2. Grieta en el cordón de soldadura.....	81
Fig. 4.3. Presencia de un poro en un cordón de soldadura.....	82
Fig. 4.4. Poros encontrados en el cordón de soldadura.....	83
Fig. 4.5. Cordón de soldadura sin defectos.....	84
Fig. 4.6. Cordón de soldadura realizado a una muestra de prueba.....	84
Fig. 4.7. Evidencia de poros sobre la superficie de examinación: a) Escala 1-1; y b) escala 1-5.....	85
Fig. 4.8. Indicaciones reveladas bajo el método de ensayo por partículas magnéticas.....	86
Fig. 4.9. Defectos en un cordón de soldadura, expuestas por partículas magnéticas.....	86
Fig. 4.10. Líneas de campo magnético uniforme.....	87
Fig. 4.11. Defectos expuestos bajo campo magnético.....	88
Fig. 4.12. Defecto inducido a una de las tapaderas del recipiente a presión: a) Defecto inducido; y b) defecto reflejado por las partículas magnetizadas. ..	89
Fig. 4.13. Defectos inducidos a tapadera de recipiente a presión.....	90
Fig. 4.14. Grietas inducidas en la parte interna del recipiente a presión.....	90
Fig. 4.15. Evidencia de defectos en el material inspeccionado.....	91
Fig. 4.16. Fisuras detectadas por partículas magnéticas.....	92

## LISTADO DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

API:	Instituto Americano del Petróleo
ASME:	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
ASNT:	Asociación Americana de Ensayos No Destructivos
ASTM:	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
ANSI:	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
AWS:	Sociedad Americana de Soldadura
BPVC:	Código de Calderas y Recipientes a Presión
IV	inspección Visual
LP:	Líquidos Penetrantes
PM	Partículas magnéticas
PND:	Pruebas No Destructivos

## INTRODUCCIÓN

Se denomina prueba no destructiva (PND) a cualquier tipo de ensayo practicado a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Las pruebas no destructivas implican un daño imperceptible o nulo en el material. Los diferentes métodos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada. Aunque en la mayoría de los casos, las pruebas no destructivas (PND) no dan una medición directa de las propiedades mecánicas, son muy valiosas para localizar defectos en los materiales que podrían afectar el funcionamiento de una pieza de una máquina cuando está en servicio. Dicha prueba se emplea para detectar materiales defectuosos antes de que las partes componentes sean formadas o maquinadas; para detectar componentes defectuosos antes de ensamblar; para medir el espesor de un metal u otros materiales; para determinar el nivel de líquido o el contenido de sólido en recipientes opacos; para identificar y clasificar materiales; y para descubrir defectos que se pudieran desarrollar durante el procesamiento o el uso. Las partes también se pueden examinar cuando están en servicio, lo que permitirá su remoción previa a la ocurrencia de una falla.

Las pruebas no destructivas (PND) se utilizan para hacer productos más confiables, seguros y económicos. Aumentar la confiabilidad mejora la imagen pública del fabricante, que conduce a mayores ventas y ganancias. Además, los fabricantes recurren a estas pruebas para mejorar y controlar los procesos de fabricación. Para esta investigación se trabajará con las pruebas no destructivas por líquidos penetrantes (LP) y partículas magnéticas (PM).

## **1. MARCO TEÓRICO**

Para la inspección, en busca de una posible falla, de un elemento mecánico existen una amplia gama de pruebas a realizar, así como también de equipos que se utilizan para la ejecución de estas. Existen 2 grupos los cuales son pruebas no destructivas y pruebas destructivas.

Para esta investigación nos enfocaremos en las pruebas no destructivas, líquidos penetrantes y partículas magnéticas, que se realizan a un componente mecánico fabricado por proceso de soldadura, en busca de fallas y asegurar una calidad del producto que se está fabricando.

Se tomará de referencia los documentos, normas y códigos que actualmente rigen los procedimientos para la realización de pruebas no destructivas.

### **1.1. HISTORIA GENERAL DE LAS PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS**

La historia de las pruebas no destructivas se puede considerar que se remonta al siglo XIX con las investigaciones del británico William Crookes, quien desarrolló experimentos con tubos al vacío y electrodos generando corrientes de alto voltaje, lo que dio paso al descubrimiento de los rayos X en 1895 por el físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen que permitió captar estructuras óseas. Así, se inició a lo que en medicina se denomina procedimientos no invasivos; y posteriormente, aprovechar este descubrimiento para realizar la prueba no destructiva, denominada radiografía industrial. Además, se tienen registros de que las pruebas no destructivas se han practicado por muchas décadas. Desde 1868 cuando se comenzó a trabajar con campos magnéticos [1].

Uno de los métodos también más utilizados fue la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Una técnica muy temprana de inspección superficial constituía en restregar carbón negro en cerámica lisa de

modo que el carbón quedase atrapado en fisuras superficiales volviéndolas visibles. Tiempo después, a finales de los 1800 apareció una técnica más elaborada en los talleres de ferrocarril de los Estados Unidos para examinar componentes de hierro y acero mediante el método de "aceitado y blanqueado". En este método, un aceite pesado común en los talleres de ferrocarril era diluido con querosén en tanques de gran capacidad, de modo que varios componentes de locomotora como las ruedas podían ser sumergidos, después de una limpieza cuidadosa, la superficie era entonces recubierta con una delgada suspensión de tiza blanca en alcohol de modo que una vez que el alcohol se evaporaba, se formaba una capa blanca. Se golpeaba el objeto con un martillo para hacerlo vibrar, provocando que el aceite atrapado saliera de cualquier fisura abierta hacia la superficie tiñendo así la capa blanca, en la Fig. 1.1a se presenta como un operario prepara los componentes de ferrocarril a examinar, eje y ruedas, dándoles previamente una limpieza y una inspección visual antes de aplicarles el baño de aceite. Posteriormente (ver, Fig. 1.1b) la pieza está completamente bañada en la solución de aceite y querosén para su secado y posterior examinación [1].

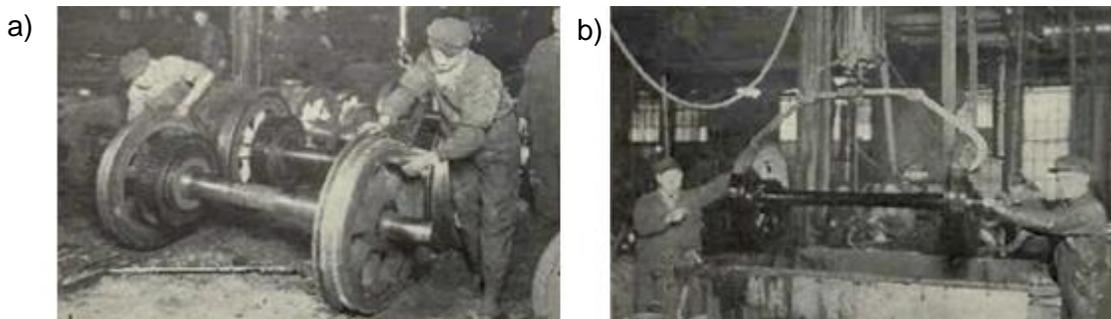


Fig. 1.1. Trabajadores realizando inspección de piezas por medio de baños de aceite, lo que en un futuro se llamaría Pruebas por Líquidos Penetrantes.

Sin embargo, con el desarrollo de los procesos de producción, la detección de discontinuidades ya no era suficiente. Era necesario también contar con información cuantitativa sobre el tamaño de la discontinuidad, para utilizarla como fuente de información, con el fin de realizar cálculos matemáticos y poder predecir así la vida mecánica de un componente. Estas necesidades,

condujeron a la aparición de las pruebas no destructivas como nueva disciplina. A raíz de esta revolución tecnológica se suscitarían en el campo de las pruebas no destructivas una serie de acontecimientos que establecerían su condición actual [1].

Varios de estos primeros desarrollos fueron llevados a cabo por Switzer Brothers en asociación con Magnaflux, siendo estos últimos desarrolladores de aceites con mayor capacidad de penetración que contenían tintes altamente visibles de color rojo, mejorando así la capacidad de detección. Éste, conocido como el método visible, es usado extensamente aun en la actualidad. En 1942, Magnaflux introdujo el sistema de inspección con tintes penetrantes en el que tintes fluorescentes se añadieron al penetrante, de modo que se iluminen durante la exposición a luz ultravioleta, revelando indicaciones de discontinuidades superficiales como fisuras y otros defectos [1].

En el año de 1941 se funda la Sociedad Americana para Ensayos No Destructivos (ASNT, por sus siglas en inglés), la cual es la sociedad técnica más grande en el mundo de pruebas no destructivas. Esta sociedad es promotora del intercambio de información técnica sobre los Ensayos No Destructivos, así como de materiales educativos y programas. Es también creadora de estándares y servicios para la Calificación y Certificación de personal que realiza ensayos no destructivos, bajo el esquema americano [2].

Las pruebas no destructivas son la aplicación de métodos físicos indirectos, como es la transmisión del sonido, la capacidad al paso de la radiación, etc., y que tienen la finalidad de verificar la sanidad de las piezas examinadas. No obstante, cuando se aplica este tipo de pruebas no se busca determinar las propiedades físicas inherentes de las piezas, sino verificar su homogeneidad y continuidad. Por lo tanto, estas pruebas no sustituyen a los ensayos destructivos, sino que más bien los complementa. Las pruebas no destructivas, como su nombre lo indica, no alteran de forma permanente las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales de un material. Por ello no dañan las piezas que son sometidas a los ensayos, ni afectan de forma permanente las propiedades de los materiales que las componen. De acuerdo

con su aplicación, los Ensayos no Destructivos (nombre más comúnmente usado para las pruebas no destructivas) se dividen en 3 grupos los cuales son: [2].

- a) Pruebas de Inspección Superficial. Estas pruebas, Fig. 1.2. proporcionan información acerca de la sanidad superficial de los materiales inspeccionados. Las pruebas superficiales son: Inspección visual (IV), Líquidos penetrantes (LP), Partículas Magnéticas (PM).



Fig. 1.2. Inspección superficial.

- b) Pruebas de Inspección Volumétrica. Son aquellas con las que se comprueba la integridad de un material en su espesor y se detectan discontinuidades internas que no son visibles en la superficie de la pieza, Fig. 1.3. Este tipo de inspección se realiza por medio de cualquiera de los siguientes ensayos: Radiografía Industrial (RI), Ultrasonido Industrial (UI), Radiografía Neutrónica (RN), Emisión Acústica (EA).



Fig. 1.3. Inspección volumétrica.

- c) Pruebas de Inspección de la Integridad o hermeticidad. Estas pruebas proporcionan información del grado en que pueden ser contenidos los fluidos en recipientes, sin que escapen a la atmósfera o queden fuera de control, Fig. 1.4. Los métodos de hermeticidad son: Pruebas de fuga, Pruebas por cambio de presión, Pruebas de burbujas [2].



Fig. 1.4. Pruebas de hermeticidad.

Para cada ensayo no destructivo se identifican 5 elementos básicos, los cuales siguen un orden jerárquico, los cuales son:

- a) Fuente: una fuente que proporciona un medio de sondeo, es decir, algo que se puede usar con el fin de obtener información del artículo bajo prueba.
- b) Modificación: este medio de sondeo debe cambiar o ser modificado como resultado de las variaciones o discontinuidades dentro del objeto sometido a prueba.
- c) Detección: Un detector que puede determinar los cambios en el medio de sondeo.
- d) Indicación: Una forma de indicar o registrar las señales del detector.
- e) Interpretación: Un método de interpretar estas indicaciones [2].

## 1.2. ENSAYO POR LÍQUIDOS PENETRANTES

El ensayo por líquidos penetrantes se introdujo en la industria en los años que precedieron a la Segunda Guerra Mundial, la causa principal fue la

necesidad de poder disponer de un control válido alternativo al de Partículas Magnetizables el cual requiere, para su aplicación, materiales con características ferromagnéticas. El análisis no destructivo con Líquidos Penetrantes se emplea generalmente para evidenciar de manera rápida y confiable discontinuidades abiertas a la superficie (fisuras, picaduras, pliegues, entre otras), sobre casi todos los materiales no porosos (O con excesiva rugosidad o escamado) como metales, cerámicos, vidrios, plásticos, etc. En la Fig. 1.5 se presenta la acción de la aplicación de tintes penetrantes, dependiendo de la técnica a utilizar se rocía penetrante a la pieza a examinar, luego se aplica el revelador. Estos productos se pueden obtener en presentaciones de aerosol o para emulsificaciones [3].



Fig. 1.5. Operario realizando el ensayo por líquidos penetrantes a una pieza de metal que cumple con los requerimientos para realizar el ensayo no destructivo.

Independientemente de la geometría y del material de la pieza, característica que lo hace utilizable en innumerables campos de aplicación. Cabe recalcar un uso obligatorio de equipo de protección personal al momento de realizar estos procedimientos, ya que algunos de los productos utilizados para dicho proceso son levemente irritables e inflamables [3].

El principio en el cual se basa esta técnica no destructiva es en la capacidad que el líquido pueda penetrar por CAPILARIDAD y no por gravedad, y de ser retenido en las discontinuidades como fisuras y poros abiertos a la superficie, en la Fig. 1.6a y b se presenta dicha propiedad de los líquidos,

fenómeno debido a la tensión superficial, en virtud del cual un líquido asciende por tubos de pequeño diámetro y por entre láminas muy próximas. Pero no siempre ocurre así debido a que la atracción entre moléculas iguales (cohesión) y moléculas diferentes (adhesión) son fuerzas que dependen de las sustancias. Así, el menisco que se forma en la superficie del líquido será cóncavo, plano o convexo, dependiendo de la acción combinada de las fuerzas de adherencia y de cohesión, que definen el ángulo de contacto en la vecindad, y de la gravedad [3].

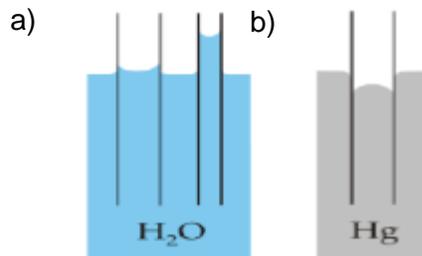


Fig. 1.6. Efecto de capilaridad en:  
a) El agua, asciende; y b) el mercurio, desciende.

El ensayo por líquidos penetrantes se basa fundamentalmente en que un penetrante tenga las siguientes características generales: Capacidad humectante y poder de penetración. Es de mucha importancia que se entienda que para dicho ensayo no hay una posición específica de como colocar la pieza a examinar, inclusive se puede colocar la pieza en posición sobre cabeza, ya que el principio fundamental que tienen dichos líquidos es el de capilaridad. En la Fig. 1.7a se presenta como un inspector realiza el ensayo colocando la pieza de manera vertical. De otra forma (ver, Fig. 1.7b) la pieza a examinar se ha puesto de forma vertical. En ambos casos, la práctica se hizo de manera correcta, ya que la norma ASTM E165 (Práctica Estándar Para la Prueba Por Líquidos Penetrantes Para la Industria En General) no especifica la posición, por lo antes mencionado. Las principales características físicas para tener en consideración son [3]:

- ✓ Tensión superficial,

- ✓ Mojabilidad o poder de humectación,
- ✓ Capilaridad,
- ✓ Viscosidad,
- ✓ Densidad,
- ✓ Volatilidad, y
- ✓ Punto de inflamación.

Actualmente, el ensayo por líquidos penetrantes posee una alta sofisticación en cuanto a las características de los productos empleados pudiéndose detectar, en condiciones especiales, fisuras de espesores de décimos del orden de los micrómetros [3].



Fig. 1.7. Diferentes posiciones en la que se puede colocar la pieza a ensayar: a) Vertical; y b) horizontal.

### 1.3. ENSAYO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

La Inspección por partículas magnéticas es un método de ensayo no destructivo, se utiliza para la detección de defectos como fisuras, rasgones, inclusiones y discontinuidades. El ensayo es rápido y relativamente fácil de aplicar, y la preparación de parte de la superficie no es tan crítica como lo es para algunos otros métodos de ensayos no destructivos. Estas características hacen del ensayo por partículas magnéticas uno de los métodos de prueba no destructivos más utilizados. Dicho ensayo utiliza campos y partículas magnéticas pequeñas (limaduras de hierro) para detectar fallas en los componentes [4].

El único requisito fundamental para realizar el ensayo por partículas magnéticas es que el componente debe estar hecho de un material ferromagnético, tal como hierro, níquel, cobalto, o algunas de sus aleaciones (ver, Fig. 1.8). Los materiales ferromagnéticos son materiales que pueden ser magnetizados a un nivel que permita que la inspección sea eficaz [4].

El ensayo se utiliza para inspeccionar una variedad de formas de producto incluyendo piezas fundidas, piezas forjadas, y piezas soldadas. Muchas industrias diferentes utilizan inspección de partículas magnéticas para determinar la calidad de producción para el uso de un componente. Algunos ejemplos de industrias que utilizan inspección de partículas magnéticas son la de acero estructural, la industria automotriz, petroquímica, generación de energía, aeroespacial, etc. [4].

La inspección por partículas magnéticas se puede realizar en diversas formas. La pieza que se va a inspeccionar se puede magnetizar y luego cubrir con finas partículas magnéticas (polvo de hierro); esto se conoce como método residual; es decir, la magnetización y aplicación de las partículas se puede hacer simultáneamente, lo cual se conoce como método continuo. Las partículas magnéticas se pueden mantener en suspensión en un líquido que se vierte sobre la pieza, o la pieza se puede sumergir en la suspensión (método húmedo). En algunas aplicaciones, las partículas, en forma de polvo fino, se esparcen sobre la superficie de la pieza de trabajo (método seco). La presencia de una discontinuidad se revela por la formación y adherencia de un arreglo característico de las partículas sobre la discontinuidad en la superficie de la pieza de trabajo. Este arreglo recibe el nombre de indicación y adquiere la forma aproximada de la proyección superficial de la discontinuidad [4].

Cuando la discontinuidad está abierta a la superficie, el campo magnético se fuga hacia la superficie y forma pequeños polos norte y sur que atraen a las partículas magnéticas (ver, Fig. 1.9). Cuando pequeñas discontinuidades están bajo la superficie, alguna parte del campo aún se podría desviar a la superficie, pero la fuga es mejor y se atraen menos partículas, con lo que la indicación obtenida es mucho más débil. Si la discontinuidad está muy lejos por debajo de

la superficie, no habrá ninguna fuga del campo magnético y, en consecuencia, no se obtendrá alguna indicación. Es necesario emplear apropiadamente métodos de magnetización, para asegurar que el campo magnético formado este perpendicular a la discontinuidad y lograr la indicación más clara [4].



Fig. 1.8. Realización del ensayo por partículas magnéticas utilizando un yugo Y-2 de corriente alterna de patas articuladas.

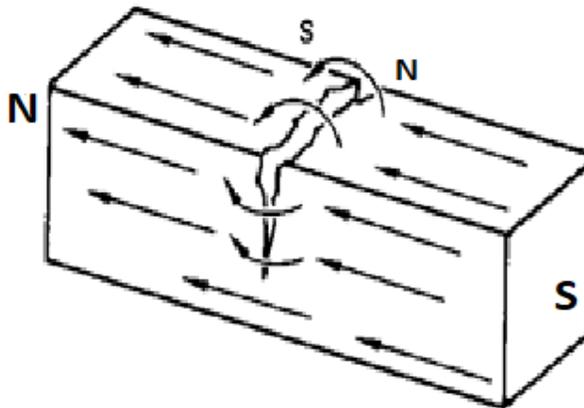


Fig. 1.9. Las partículas serán atraídas y se agruparán no sólo en los polos de los extremos del imán, sino también en los polos en los bordes de la grieta llamado campo de fuga de flujo.

## **1.4. NORMAS A UTILIZAR**

Hasta aquí se ha definido y mencionado los diferentes ensayos no destructivos que se pueden aplicar a los procesos de manufactura como son soldaduras, fundiciones, maquinado, etc. En esta sección se hará mención sobre los documentos a tomar en consideración para llevar a cabo una adecuada práctica de inspección en los cordones de soldadura que se realizan en los cilindros que almacenan aire comprimido que se fabrican por procesos de soldadura. Además, se respetará todo lo que ya se ha establecido en los diferentes documentos de la Sociedad Americana de Ensayos No Destructivos y las distintas entidades existentes que rigen la forma de realizar los ensayos como la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) y el código Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME).

### **1.4.1. DOCUMENTOS DE REFERENCIA**

Para la elaboración de la práctica a seguir se tomará de referencia todo lo que ya se ha establecido en los distintos documentos que rigen un ensayo no destructivo. Para ello primero se definirá lo que significa cada uno de ellos y como se aplican estos documentos, empezando por definir que es un código, una norma y un estándar [5].

Los códigos, normas y especificaciones son documentos que rigen y regulan actividades industriales. Los documentos que establecen lineamientos para las actividades relacionadas con la industria de la soldadura tienen el propósito de asegurar que sólo se producirán bienes soldados seguros y confiables, y que las personas relacionadas con las operaciones de soldadura no estarán expuestas a peligros indebidos ni a condiciones que pudieran resultar dañinas a su integridad física. Todo el personal que participa en la producción de productos soldados, ya sean diseñadores, fabricantes, proveedores de productos y servicios, personal de montaje, soldadores o

inspectores, tienen la necesidad de conocer, por lo menos, las porciones particulares de las normas que aplican a sus actividades [5].

Los códigos, las especificaciones y otros documentos de uso común en la industria tienen diferencias en cuanto a su extensión, alcance, aplicabilidad y propósito. A continuación, se mencionan las características claves de algunos de estos documentos [5].

- a) Código. Es un conjunto de requisitos y condiciones, generalmente aplicables a uno o más procesos que regulan de manera integral el diseño, materiales, fabricación, construcción, montaje, instalación, inspección, pruebas, reparación, operación y mantenimiento de instalaciones, equipos, estructuras y componentes específicos [5].
- b) Norma. El término "norma" tal y como es empleado por la Sociedad Americana de Soldadura (AWS), la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) y Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI), se aplica de manera indistinta a especificaciones, códigos, métodos, prácticas recomendadas, definiciones de términos, clasificaciones y símbolos gráficos que han sido aprobados por un comité patrocinador (vigilante) de cierta sociedad técnica y adoptados por ésta [5].
- c) Especificación. Una especificación se toma de una norma que describe clara y concisamente los requisitos esenciales y técnicos para un material, producto, sistema o servicio. También indica los procedimientos, métodos, clasificaciones o equipos a emplear para determinar si los requisitos especificados para el producto han sido cumplidos o no [5].

Los códigos y las especificaciones son similares en que hacen uso frecuente de la palabra "debe" para indicar requisitos obligatorios. Su uso es a menudo un requisito por las leyes y regulaciones federales o estatales. La principal diferencia entre un código y una especificación es que los códigos se suelen aplicar a procesos (como la soldadura) y las especificaciones se suelen aplicar a materiales o productos. Con frecuencia usan las palabras "debe" y

"puede" (en contraposición a "debe"), pero se pueden convertir en un requisito cuando son invocadas por un contrato o código o especificación aplicable [5].

Las prácticas recomendadas suelen describir la práctica general de la industria, mientras que las clasificaciones, los métodos y las guías tienden a proporcionar información más específica sobre los mejores métodos prácticos para realizar una tarea determinada [5].

Para este informe se hará uso de la práctica recomendada N° ASNT-TC-1A 2020 (calificación y Certificación de personal en pruebas no destructivas). Además de las normas ASTM E165 (Práctica Estándar Para la Prueba Por Líquidos Penetrantes Para la Industria En General) y ASTM E709 (Guía estándar para examen con partículas magnetizables).

#### **1.4.2. PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA LA PRUEBA POR LÍQUIDOS PENETRANTES PARA LA INDUSTRIA EN GENERAL ASTM E165**

Práctica estándar para la prueba por Líquidos Penetrantes para la industria en general.

Este estándar se expide con la designación fija E165. Esta norma con fines educativos se dividirá en 2 secciones para describir en forma breve lo que contiene, estas son [6]:

##### **1) Alcance de la norma ASTM E165**

Esta práctica cubre los procedimientos para el examen por líquidos penetrantes de materiales. La prueba por líquidos penetrante es un método de prueba no destructiva para detectar discontinuidades que están abiertas a la superficie, tales como grietas, costuras, solapes, pliegues fríos, contracciones, laminaciones o falta de fusión y es aplicable en examinación de mantenimiento de proceso o final. Puede ser utilizado efectivamente en la examinación de materiales no porosos, metálicos ferrosos y no ferrosos, y de materiales no metálicos tales como cerámicos esmaltados o totalmente densificados no porosos, así como también ciertos plásticos no porosos, y vidrios.

Esta práctica también proporciona una referencia para otros documentos en los que se requiere: [6]

- ✓ Por el cual se realiza un proceso de examinación de un líquido penetrante recomendado o requerido por organizaciones individuales que puede ser revisado para determinar su aplicabilidad y exhaustividad.
- ✓ Para uso en la preparación de especificaciones de proceso y procedimientos relacionados con la prueba de líquidos penetrantes en piezas y materiales. Acuerdo por parte del cliente que solicita la prueba por líquidos penetrantes la prueba es muy recomendable. Todas las áreas de esta práctica pueden estar abiertas a un acuerdo entre la organización de ingeniería competente y el proveedor, o dirección específica de la organización de la ingeniería competente.
- ✓ Para usar en la organización de instalaciones y el personal interesado por la prueba de líquidos penetrantes [6].

## **2) Resumen general de la práctica según la norma ASTM E165**

El líquido penetrante puede consistir en material visible o fluorescente. El líquido penetrante se aplica uniformemente sobre la superficie a ser examinada y se le permite entrar en discontinuidades abiertas. Después de un tiempo de permanencia adecuado, el exceso de penetrante en la superficie es removido. Luego se aplica un revelador para extraer el penetrante atrapado fuera de la discontinuidad y colorear el revelador. Luego la superficie de la prueba es examinada para determinar la presencia o ausencia de indicaciones, Fig. 1.10. Parámetros de procesamiento, tales como limpieza previa de la superficie, tiempo de permanencia del penetrante y métodos de eliminación del exceso de penetrante, dependen de los materiales específicos utilizados, la naturaleza de la parte bajo examen (es decir, tamaño, forma, condición de la superficie y aleación), y tipo de discontinuidades esperadas [6].

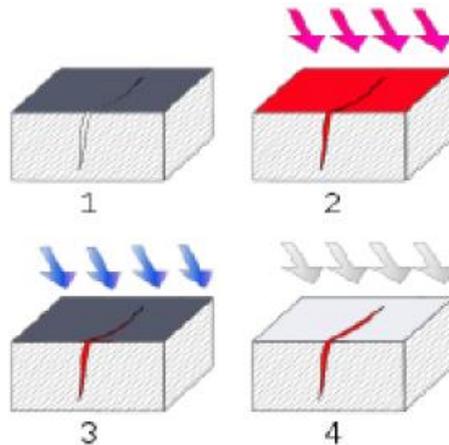


Fig. 1.10. Procedimiento general para ensayo por líquidos penetrantes.

#### 1.4.3. GUÍA ESTÁNDAR PARA EXAMEN CON PARTÍCULAS MAGNETIZABLES ASTM E709

Guía estándar para examen con Partículas Magnetizables. Esta norma se emite bajo la designación fija E 709. Esta norma a fines educativos se dividirá en 2 secciones para describir en forma breve lo que contiene, estas son [7]:

##### 1) Alcance de la norma ASTM E709.

Esta guía describe técnicas para el examen con partículas magnetizables tanto secas como húmedas, un método no destructivo para detectar grietas y demás discontinuidades en o cerca de la superficie en materiales ferromagnéticos. El examen con partículas magnetizables se puede aplicar a materias primas, materiales semiterminados (lingotes, fundiciones y forjados), material terminado y soldaduras, independientemente del tratamiento térmico o de la ausencia del mismo. Resulta útil para el examen en mantenimiento preventivo. Esta guía se realizó para usar como referencia ayudando en la preparación de especificaciones/normas, procedimientos y técnicas [7].

Esta guía es también una referencia que se puede usar para:

- ✓ Para establecer los medios por los que el examen con partículas magnetizables, procedimientos recomendados o requeridos por

organizaciones individuales pueden ser revisados para evaluar su aplicabilidad e integridad.

- ✓ Para ayudar en la organización de las instalaciones y personal implicado en el examen con partículas magnetizables.
- ✓ Para ayudar en la preparación de procedimientos que tratan el examen de materiales y piezas. Esta guía describe las técnicas de examen con partículas magnetizables que se recomiendan para una gran variedad de medidas y formas de materiales ferromagnéticos y una amplia gama de requerimientos de examen. Como existen muchas diferencias aceptables tanto en los procedimientos como en las técnicas, los requerimientos explícitos deben ser cubiertos por un procedimiento escrito [7].

## 2) Resumen general de la práctica.

Para la realización de la práctica por partículas magnéticas, es de mucha importancia dominar conceptos sobre el magnetismo, como magnetizar y controlar dicho fenómeno. Además de conocer los diferentes accesorios para poder realizar una práctica correcta. Para ello se han enumerado 6 conceptos que describen de forma general como realizar de manera correcta un buen ensayo por partículas magnéticas, estos son [7]:

- a) Principio fundamental del ensayo. El método de partículas magnetizables se basa en el principio de que las líneas del campo magnético, en presencia de material ferromagnético, se distorsionaran ante un cambio en la continuidad del material, como puede ser un cambio dimensional agudo o una discontinuidad, como se detalla en la Fig. 1.11. Si la discontinuidad es abierta o cerrada a la superficie de un material magnetizado, las líneas del flujo se distorsionarán en la superficie, condición denominada "flujo disperso". Cuando las partículas magnetizables finas se distribuyen sobre el área de la discontinuidad mientras existe el flujo disperso, serán mantenidas en el lugar y la acumulación de partículas será visible bajo condiciones lumínicas apropiadas. Al tiempo que existen variables en el método de partículas magnetizables, todas dependen de este principio, que las

partículas magnetizables serán retenidas en las localizaciones del flujo disperso [7].

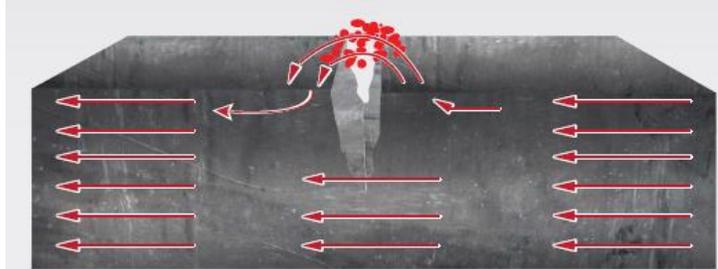


Fig. 1.11. Líneas de campo magnético sobre un metal.

b) Método. Si bien esta práctica permite y describe muchas variables en equipos, materiales y procedimientos, existen tres etapas esenciales en el método:

- ✓ La parte debe estar magnetizada;
- ✓ Las partículas magnetizables del tipo diseñado en el contrato/orden de compra/especificación se deben aplicar mientras la parte esta magnetizada (ver, Fig. 1.12).
- ✓ Cualquier acumulación de partículas magnetizables debe ser observada, interpretada y evaluada [7].



Fig. 1.12. Etapas del método de aplicación de partículas ferromagnéticas.

- c) Magnetización. Dependerá de las condiciones físicas del material a inspeccionar y de las herramientas que se dispongan para realizar el ensayo por partículas magnéticas.
- ✓ Formas de magnetización. Un material ferromagnético se puede magnetizar haciendo circular una corriente eléctrica por el material o colocando el material en el interior de un campo magnético originado por una fuente externa (ver, Figs. 1.13a y b). Toda la masa o una parte de esta se puede magnetizar según lo impongan las dimensiones y capacidad del equipo o la necesidad. Según se subrayó previamente, la discontinuidad debe interrumpir el paso normal de las líneas del campo magnético. Si una discontinuidad está abierta a la superficie, el flujo disperso estará en el máximo para dicha discontinuidad particular. Cuando esa misma discontinuidad esta debajo de la superficie, se perderá la evidencia del flujo disperso en la superficie. En efecto, las discontinuidades deben estar abiertas a la superficie, para crear suficiente flujo disperso como para acumular las partículas magnetizables [7].
  - ✓ Dirección del campo. Si una discontinuidad está orientada paralela a las líneas del campo magnético, puede ser esencialmente indetectable. En consecuencia, como las discontinuidades se pueden presentar con cualquier orientación, puede ser necesario magnetizar la parte o área de interés dos veces o más secuencialmente en distintas direcciones por el mismo método o una combinación de métodos para inducir las líneas del campo magnético en una dirección adecuada para realizar un examen apropiado [7].
  - ✓ Intensidad del campo. El campo magnético debe tener suficiente intensidad como para indicar aquellas discontinuidades que sean inaceptables, si bien no debe ser tan intenso como para que se acumule localmente un exceso de partículas enmascarando así las indicaciones relevantes [7].

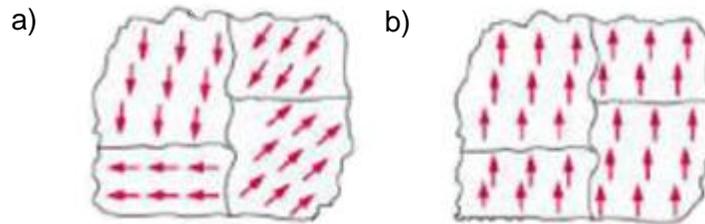


Fig. 1.13. Líneas orientadas en la dirección del campo magnético generadas sobre un material ferromagnético:  
a) Sin campo magnético; y b) con campo magnético,

- d) Tipos de partículas magnetizables y sus usos. Se tienen disponibles varios tipos de partículas magnetizables para usar en el examen con partículas magnetizables. Se las consigue como polvos secos (fluorescentes y no fluorescentes) listas para usar tal como se las provee, concentrados de polvo (fluorescente y no fluorescente) para su dispersión en agua o para preparar suspensiones en destilados livianos de petróleo, pastas/pinturas magnetizables, y dispersiones de polímeros magnetizables [7].
- e) Evaluación de las indicaciones. Cuando el material a ser examinado ha sido convenientemente magnetizado, se han aplicado adecuadamente las partículas magnetizables y se ha eliminado convenientemente el exceso de partículas, se producirá una acumulación de partículas magnetizables en los puntos de dispersión del flujo. Estas acumulaciones exponen la distorsión del campo magnético y se las denomina indicaciones. Sin perturbar las partículas, las indicaciones se deben examinar, clasificar, interpretar que las causo, se deben comparar con las normas de aceptación y tomar una decisión respecto a la disposición del material que contiene la indicación [7].
- f) Indicaciones típicas de las partículas magnetizables. Luego de realizar el ensayo por partículas magnéticas se tendrá que evaluar los defectos reflejados por el ensayo, de los cuales se mencionas los siguientes:
- ✓ Discontinuidades superficiales. Las discontinuidades superficiales, con pocas excepciones, producen patrones marcados y característicos.
  - ✓ Discontinuidades casi superficiales. Las discontinuidades casi superficiales producen indicaciones menos características que las que

están abiertas a la superficie. Los patrones son difusos y no tan definidos, y las partículas se mantienen menos apretadas [7].

## **1.5. PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN CORDONES DE SOLDADURA EN RECIPIENTES A PRESIÓN**

Se mencionó todo lo necesario para tener una idea más precisa de lo que son ensayos no destructivos que se le pueden aplicar a los diferentes materiales, sin importar si están en servicio o no, o están en etapa de producción; tomando como referencia todos los documentos ya antes citados. En este apartado se pondrá en práctica los procedimientos a seguir para llevar a cabo una práctica correcta, enfocado a aquellas personas que trabajan en el área de la soldadura en todos los distintos campos de aplicación [8].

Para definir una propuesta clara a lo que se realizará se tendrán en consideración ciertos aspectos a considerar tales como: ¿Por qué realizar un ensayo no destructivo a la pieza?, ¿Qué tipo de ensayo se realizará a la pieza?, ¿Con qué instrumentos cuento para realizar el ensayo no destructivo?, ¿Qué conocimientos tengo acerca de las técnicas de ensayo?, y, por último, pero no menos importante ¿Qué resultados son los que espero obtener después de realizar un ensayo no destructivo? Estos puntos por considerar darán como resultado una respuesta precisa de lo que se realizará [8].

### **1.5.1. CRITERIOS PARA SELECCIONAR UNA TÉCNICA DE ENSAYO NO DESTRUCTIVO**

Cuando es necesaria una inspección no destructiva de un elemento estructural o componente mecánico, la duda que surge es cuál técnica aplicar. Esto se puede determinar teniendo en consideración los siguientes aspectos:

- ✓ Defectos potenciales y su localización;
- ✓ Orientación del defecto;

- ✓ Forma del objeto a inspeccionar; y
- ✓ Material por inspeccionar [8].

En la práctica, se suele realizar más de dos tipos de ensayos no destructivos en un sólo elemento para detectar discontinuidades o defectos con la finalidad de aumentar la velocidad de inspección. En estos casos, no es recomendable aplicar una técnica en reemplazo de otra, ya que el resultado final es desfavorable. Pero si es conveniente realizar distintos tipos de ensayos que llevaran a confirmar fallas en el elemento y en otros casos a descartar indicaciones falsas. En la Tabla 1.1. Se presentan distintos puntos a tener en consideración para determinar que ensayo es el más apropiado [8].

Tabla 1.1. Resumen significativo para tomar en consideración a la hora de realizar un ensayo no destructivo.

Prueba	Defecto	Ventajas	Limitaciones
Ultrasonido	Grietas, adherencia, porosidad, inclusiones, defectos de laminación, corrosión, medición de espesores.	Detecta defectos internos y los presenta en 3D; utilizado en diferentes tipos de geometría y materiales, se obtiene un registro permanente; obtiene información cuantitativa y cualitativa.	Difícil de aplicar en geometrías complejas; generalmente requiere de agua u otro tipo de acoplante; algunas veces se dificulta la interpretación.
Líquidos penetrantes	Grietas, vacíos, porosidades y uniones entre piezas laminadas, picaduras superficiales.	Bajo costo de aplicación, fácil de implementar e interpretar, portátil, tiene alta sensibilidad para discontinuidades abiertas y de poca profundidad.	La falla debe estar abierta en la superficie; requiere inmersión del líquido penetrante; la profundidad es difícil de estimar; puede dar indicaciones falsas por irregularidades.
Partículas magnéticas	Grietas, vacíos, defectos de laminación y unión entre piezas laminadas.	Requiere poca preparación, limpieza; es un método rápido y económico; revela discontinuidades que no afloran a la superficie; consideración con alto espectro de alternativas de aplicación.	Se aplica sólo a materiales ferromagnéticos; detecta fallas próximas a la superficie; sólo detecta discontinuidades perpendiculares al campo magnético.

## **1.6. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES PARA LA SELECCIÓN DE METODOLOGÍA DE ENSAYO NO DESTRUCTIVO POR LÍQUIDOS PENETRANTES**

Para este tipo de ensayos existen distintas formas de realizarlo, cada forma en que se realice el ensayo es en función de la pieza en estudio. La finalidad siempre es la misma, pero el método y la forma de realizarlo son muy importante tenerlas bien definidas, en este apartado se hará mención de las formas en que se puede realizar el ensayo por tintes penetrantes. Primero se hará mención sobre los principios físicos de los tintes a utilizar para entender de raíz como es la forma en que funcionan dichos líquidos. Para luego hacer la selección del método adecuado a utilizar en esta investigación.

### **1.6.1. PRINCIPIOS FÍSICOS DE LOS LÍQUIDOS PENETRANTES**

Las principales características físicas para considerar, en la selección correcta de los materiales, son las siguientes:

- a) Tensión superficial. Es la forma de cohesión de las moléculas de la superficie del líquido en función de la cual, a igualdad de volumen, asume la forma correspondiente a la mínima superficie compatible con el vínculo externo. La tensión superficial está definida como una fuerza que actúa sobre toda 'saliente' en una superficie acabada. Generalmente hablando, una tensión superficial alta es deseable, Fig. 1.14, sin embargo, no es suficiente; por ejemplo, el agua tiene una tensión superficial muy alta, pero a pesar de ello no es un buen penetrante. La tensión superficial depende de la temperatura y disminuye con el aumento de la energía cinética de las moléculas del líquido, la tensión superficial de los líquidos penetrantes es normalmente de 25 a 30 dinas/cm [9].



Fig. 1.14. Fenómeno físico de la tensión superficial del agua, es capaz de soportar el peso de un pequeño metal.

b) Mojabilidad o poder de humectación. Se define como la propiedad de un líquido de expandirse adhiriéndose a la superficie de un sólido. Esta depende de la interacción del líquido con la fase sólida y gaseosa en la que se encuentra. La mojabilidad está estrechamente ligada a la tensión superficial, y está determinada por el ángulo  $\theta$  que se forma con el contacto a la superficie en donde se presentan 3 condiciones intermedias con  $<90^\circ$ ,  $90^\circ$  y  $>90^\circ$ . Si se tiene una gota de líquido sobre una superficie sólida, las fuerzas de cohesión y de adherencia determinan el ángulo de contacto  $\theta$  formado por la superficie y la tangente a la superficie del líquido en el punto de intersección de ambas superficies. Un líquido penetrante de buena calidad debe necesariamente poseer un bajo ángulo de contacto a fin de asegurar una buena mojabilidad de la superficie de examen y una óptima penetración en las discontinuidades. En la Fig. 1.15 se presenta los 3 casos descritos anteriormente [9]:

- Si el ángulo  $\theta$  es menor que  $90^\circ$ , el líquido moja a la superficie y su poder humectante es bueno.
- Si el ángulo  $\theta$  es igual que  $90^\circ$ , el líquido no moja al sólido y su poder humectante es malo.
- Si el ángulo  $\theta$  es mayor que  $90^\circ$ , el líquido no moja al sólido y su poder humectante es muy malo [9].

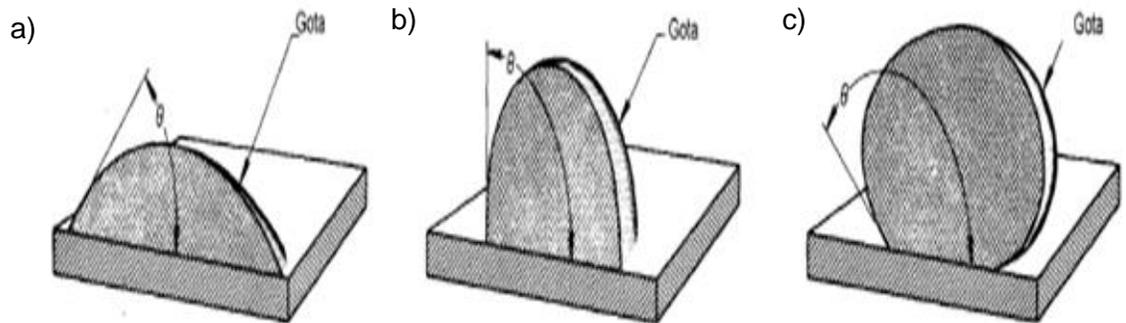


Fig. 1.15. Ángulo formado entre la superficie de contacto de la gota con el material: a) Ángulo menor que  $90^\circ$ ; b) ángulo igual a  $90^\circ$ ; y c) ángulo mayor que  $90^\circ$ .

- c) Capilaridad: Se define como el movimiento del agua dentro de los espacios de un material poroso, debido a las fuerzas de adhesión y a la tensión de la superficie [9].
- d) Viscosidad: Propiedad física debido a la interacción interna de las moléculas, es la fuerza tangencial o de corte debido a esa cohesión, que tiene que vencer para separar dos capas adyacentes en el líquido. De por sí la viscosidad no influye directamente sobre la valoración cuantitativa del penetrante, pero asume una particular importancia en la fase operativa del ensayo. En otras palabras, el penetrante debe tener la suficiente fluidez para entrar con facilidad y rapidez en los defectos tanto como para salir de ellos cuando se lo requiera. En la Tabla 1.2 se presenta de manera general características físicas de los diferentes tintes penetrantes. Los penetrantes de alta viscosidad son generalmente usados para aplicaciones en spray o electrostáticamente por cuanto tienen una lenta velocidad de drenaje. Son particularmente usados sobre superficies verticales. Aquellos con baja viscosidad son usados para aplicaciones por inmersión donde se requiere un rápido drenaje para disminuir el consumo de penetrante y la contaminación del emulsificador y/o el agua. Normalmente el penetrante tiene una viscosidad variable de 5 a 10 centistokes a  $38^\circ\text{C}$  [9].

Tabla 1. 2. Cualidades físicas de un penetrante al momento de realizar un ensayo por líquidos penetrantes.

Viscosidad	Velocidad de penetración	Riesgo de pérdida de indicación	Eficiencia de revelado	Eficiencia global del proceso.
Alta	Menor	Menor	Menor	Mayor a Menor
Baja	Mayor	Mayor	Mayor	Menor a Mayor.

e) Densidad: Siendo generalmente compuestos orgánicos oleosos, los líquidos penetrantes poseen generalmente un peso específico muy bajo. La densidad y el peso específico del producto no inciden en forma directa sobre la sensibilidad y confiabilidad del ensayo. Especialmente en el caso en el cual la inspección se efectúa con la técnica de inmersión, son más adecuados los penetrantes con peso específico menor a uno (comercialmente entre 0.85 a 0.95). Esta exigencia deriva principalmente del hecho que una eventual contaminación del líquido penetrante con agua, usada durante el control, no producirá consecuencia irreparable, por cuanto al ser el peso específico de la misma mayor que la del líquido penetrante, se depositará en el fondo del recipiente, facilitando así la separación del agua. La densidad para líquidos se mide en  $\text{g/cm}^3$  y para reveladores en polvo secos en  $\text{g/l}$  dando, esto en este último caso idea de su granulometría o finura. En reveladores secos, la densidad debe ser normalmente menor a  $200 \text{ g/l}$  [9].

f) Volatilidad: 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. La consecuencia inmediata de la volatilidad es la variación de la composición química (y por lo tanto de la tensión superficial, mojabilidad, viscosidad, densidad, punto de inflamabilidad, entre otros) de la mezcla original. La volatilidad está en función de la temperatura y la presión a la cual se encuentra la mezcla penetrante. Es evidente que, para un líquido penetrante ideal, la volatilidad deberá ser la mínima posible e igual o similar para cada componente con el objeto de mantener la posición química original. Un líquido muy volátil no resulta completamente competitivo por cuanto, si se usa en un contenedor

abierto para la técnica por inmersión, se tiende continuamente a evaporar con la consiguiente pérdida de sus características. Cuando se trata de reveladores húmedos no acuosos se necesita ajustar la volatilidad del material para asegurar una determinada velocidad de secado [9].

g) Punto de inflamación: es la temperatura mínima a la cual el líquido penetrante debe ser calentado, en condiciones normalizadas de laboratorio, para producir vapor en cantidad suficiente como para formar una mezcla inflamable. En la inspección se requiere penetrantes con alto punto de inflamabilidad, que además de poseer un bajo grado de volatilidad, se asegure que se ajustará a las normas de seguridad vigentes. Tales exigencias son normalmente requeridas cuando se utiliza la técnica por inmersión, donde los recipientes están abiertos al aire. El mayor conocimiento de los principios físicos que intervienen en el proceso de líquidos penetrantes unido a las exigencias crecientes del nivel de calidad ha llevado a los fabricantes de productos penetrantes en los últimos años a conseguir:

- ✓ Aumentar la sensibilidad,
- ✓ Mejorar la calidad de la imagen de la indicación,
- ✓ Disminuir el tiempo de ensayo,
- ✓ Disminuir los riesgos de incendio y de intoxicación, y
- ✓ Utilizar penetrantes especiales en los intervalos de temperaturas diferentes al ambiente [9].

## **1.7. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES PARA SELECCIÓN DE METODOLOGÍA DE ENSAYO NO DESTRUCTIVO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

Al igual que los tintes penetrantes, el ensayo por partículas magnéticas tiene diferentes alternativas en la que se puede realizar. Tales como: el equipo disponible, la geometría de las piezas a ensayar, el material a ensayar, la tendencia de las indicaciones a obtener, entre otras.

En esta sección se hará mención sobre conceptos generales de la magnetización para seleccionar de manera apropiada la forma de realizar el ensayo por partículas magnéticas.

### **1.7.1. SELECCIÓN DEL MÉTODO APROPIADO EN LA APLICACIÓN DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

Para la ejecución de este ensayo se presentan 4 puntos a tomar en cuenta, los cuales caracterizaran la metodología en que se realizara el ensayo.

1) Aleación, forma y condiciones de la pieza.

La aleación de la pieza a inspeccionar es importante porque ya se citó que de ello depende la permeabilidad de un material. Para la aplicación de este método son una limitante las aleaciones con alto contenido de níquel y cromo, que vienen siendo los aceros inoxidable y austeníticos en general [10].

La forma de identificar estos materiales es por medio de un imán; si el imán se adhiere fuertemente a la pieza, es indudable que el método de partículas magnéticas se puede aplicar; si la adherencia es muy débil, se recomienda utilizar otro método de examen. La forma geométrica de las piezas también es una limitante para el método ya que las esquinas, los chaveteros, los agujeros, entre otros, producen indicaciones falsas o indicaciones no relevantes. Así mismo, se debe tener en consideración si la pieza fue sometida a un tratamiento térmico o si ha sido trabajada en frío o en caliente, o si es nueva o usada, es decir, se deben tomar en consideración las condiciones de las piezas porque de ello depende, en gran parte, la interpretación y evaluación de las indicaciones resultantes ya que pueden ser relevantes o no [10].

2) Tipo de corriente de magnetización.

Con la expansión y desarrollo de los procesos de inspección por partículas magnéticas y los continuos avances en los circuitos eléctricos, actualmente se encuentran disponibles varios tipos de corrientes de magnetización, estas son:

a) Corriente alterna.

La corriente alterna (CA), Fig. 1.16, es el tipo más conveniente de corriente eléctrica debido a que es utilizada para casi todos los servicios. Su intervalo de voltaje comercialmente disponible es de 110 a 440 V. Los circuitos eléctricos para producir corriente alterna son simples y relativamente baratos, porque sólo se requiere transformar el suministro comercial en voltajes bajos y corrientes de magnetización con altos amperajes. Por todo esto, la corriente alterna es el tipo de corriente más ampliamente utilizada para efectuar la prueba por partículas magnéticas [10].

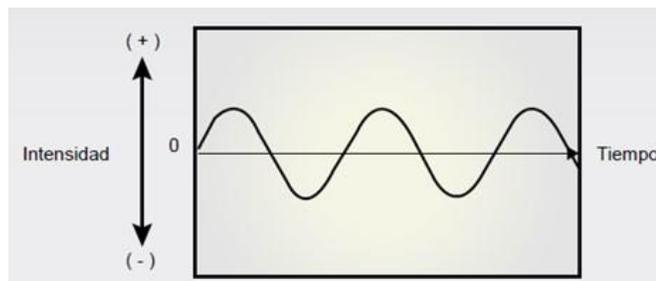


Fig. 1.16. Comportamiento de la corriente alterna.

La corriente alterna tiene poca capacidad de penetración, por lo que, el campo magnético inducido por la corriente alterna se concentra cerca de la superficie de la pieza que está siendo magnetizada, a esto se le conoce como “efecto piel”. Por tal razón, la corriente alterna es considerada como la mejor para detectar discontinuidades superficiales. Debido a que la corriente alterna cambia continuamente de dirección, a razón de 50 o 60 ciclos por segundo, el cambio de dirección constante del campo magnético tiene la tendencia de agitar o proporcionarles movilidad a las partículas magnéticas. Esto provoca que las partículas sean atraídas más fácilmente a los campos producidos por las fugas de flujo [10].

b) Corriente directa rectificada de media onda.

Cuando se rectifica una fase de corriente alterna, la corriente resultante es conocida como corriente directa rectificada de media onda (CDRMO). Esto significa simplemente que la polaridad inversa o porción

negativa de la curva sinusoidal de corriente alterna es positiva. La corriente directa rectificada de media onda consiste en pulsos individuales de corriente alterna, con intervalos de tiempo en los que no fluye corriente. Se presenta a continuación la Fig. 1.17 En el eje horizontal se representa el tiempo, y en el eje vertical la intensidad de la corriente. Se puede observar la polaridad de la corriente, varia de un valor positivo a cero, pero nunca tendrá un valor negativo [10].

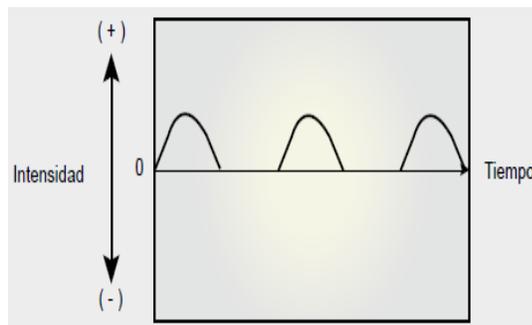


Fig. 1.17. Comportamiento de la corriente directa rectificada de media onda.

Aunque la corriente directa es rectificada de media onda es un tipo de corriente directa, se identifica como CDRMO, lo que permite diferenciarla de la verdadera Corriente Directa. En la inspección por partículas magnéticas, una diferencia importante entre la corriente alterna y la Corriente Directa Rectificada de Media Onda y Corriente Directa, es que los campos producidos por estas últimas penetran en la pieza. La corriente directa rectificada de media onda tiene un valor de densidad de flujo de cero en el centro de la pieza inspeccionada, y se incrementa hasta que alcanza un valor máximo en la superficie, por lo que, la densidad de flujo en el interior de una pieza es mucho mayor con la corriente directa rectificada de media onda y corriente directa que con corriente alterna. Entonces, la corriente directa rectificada de media onda y la corriente directa se emplean siempre en los ensayos para detectar discontinuidades subsuperficiales, aunque se

podrá detectar también discontinuidades superficiales, pero no son tan eficaces como la corriente alterna para éste último caso [10].

c) Corriente Directa.

La corriente directa es un flujo continuo de corriente en una sola dirección, con un valor en magnitud positivo. Una fuente común de CD es la batería o la pila normal. Una desventaja del uso de CD es porque las altas corrientes sólo pueden ser mantenidas mientras la carga de la batería o pila es adecuada y, muchas veces, es necesario contar con el flujo de corriente durante intervalos de tiempo prolongados [10].

d) Corriente directa rectificada de onda completa.

Corriente directa rectificada de onda completa de fase simple. Con circuitos eléctricos no sólo es posible bloquear (o rectificar) el flujo negativo de la corriente alterna, sino también invertirlo, para duplicar el número de pulsos positivos. En la Fig. 1.18 se presenta la forma de la corriente alterna rectificada de onda completa de fase simple, normalmente identificada como corriente directa de onda completa de fase simple. Esencialmente, tiene la misma habilidad de penetración que la corriente directa de onda completa de tres fases [10].

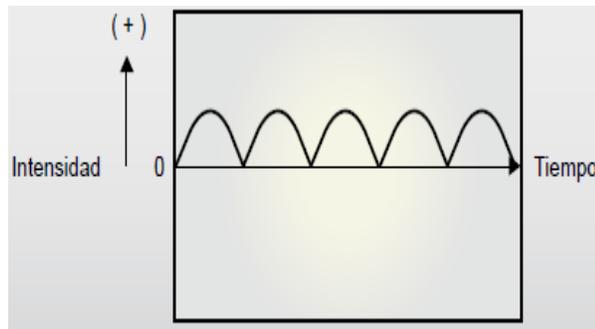


Fig. 1.18. Comportamiento de la Corriente directa rectificada de onda completa.

3) Secuencia de operaciones.

En la inspección por partículas magnéticas, la secuencia de operaciones se aplica a la relación entre el tiempo que se toma para la aplicación de las

partículas y el establecimiento del campo magnético. El examen se puede realizar por medio de dos técnicas básicas comúnmente empleadas en la industria, la continua y la residual [10].

a) Magnetización continua. La magnetización continua se emplea en la mayoría de las aplicaciones, utilizando partículas secas o húmedas, así:

- ✓ Técnica de magnetización continua seca. A diferencia de una suspensión húmeda, las partículas secas pierden casi toda su movilidad cuando entran en contacto con la superficie de la pieza. Por ello, es imperativo que la pieza o el área de interés se encuentre bajo la influencia del campo magnético, mientras las partículas se encuentren en el aire y libres, para que sean atraídas hacia las fugas de flujo. Debido a lo anterior, la corriente de magnetización debe empezar a fluir antes de la aplicación de las partículas secas, se debe mantener hasta después que se ha terminado la aplicación de las partículas y que cualquier exceso de partículas haya sido removido, y hasta realizar una inspección visual [14].
- ✓ Técnica de magnetización continua húmeda. Generalmente se aplica en la inspección de piezas en equipos estacionarios horizontales. Involucra el baño abundante de la pieza con partículas, que termina antes de cortar la corriente de magnetización. La duración del tiempo de magnetización es típicamente de 0.5 s con dos o más disparos [10].

b) Magnetización residual.

La inspección por el método residual no es tan sensible como el método continuo. En esta técnica, el medio de inspección se aplica después que la corriente de magnetización ha sido interrumpida. Se utiliza solamente si la pieza inspeccionada tiene alta retentividad para que el magnetismo residual sea tan fuerte como para atraer y mantener las partículas en los campos de fuga. Tiene gran aplicación en la inspección de tubería o productos tubulares [10].

4) Determinación del valor de la densidad de flujo.

El nivel de la densidad de flujo es crítico en la inspección por partículas magnéticas. Se debe hacer énfasis que, para producir una buena indicación, la

fuerza del campo magnético generado debe ser adecuada y su dirección favorable. Además, para que las indicaciones sean consistentes, la fuerza del campo debe ser controlada dentro de límites razonables. Por todo lo anterior es obviamente importante que al aplicar la prueba por partículas magnéticas el operador conozca cual es la fuerza del campo dentro de la pieza que está siendo inspeccionada [10].

Los factores que afectan la densidad de flujo magnético generado son:

- ✓ El tamaño,
- ✓ La forma,
- ✓ El espesor,
- ✓ El tipo de material, y
- ✓ La técnica de magnetización.

Estos factores varían ampliamente, es difícil, establecer reglas rígidas para la densidad de flujo para cada configuración. Se encuentran disponibles varios tipos de medidores e indicadores que son herramientas para determinar, en forma cuantitativa y cualitativa, la densidad del flujo magnético [10].

Existen muchos medidores de campo, los cuales miden el campo magnético en el aire, estos medidores casi siempre son usados para medir la fuerza de magnetización (H), aunque pueden ser calibrados en Gauss o Teslas, las cuales son unidades de densidad de flujo. Además, existen instrumentos que cuentan con una sonda que funciona por efecto Hall (ver, Fig. 1.19), los cuales proporcionan la medición del campo cerca de la superficie y exponen su dirección, pero indican la componente H. Además, es de gran utilidad cuando al finalizar un ensayo utilizando magnetismo la pieza tiene obligadamente que quedar libre de magnetismo residual, por medio del instrumento se puede asegurar que en la pieza ya no exista o sea mínimo la densidad de flujo [10].



Fig. 1.19. Instrumento para medir densidad de flujo.

Con la necesidad de mejorar los ensayos por partículas magnéticas han sido desarrollados variedades de accesorios simples, con el propósito de asegurar que el campo en una pieza particular que está siendo inspeccionada es de magnitud y dirección adecuada. Estos accesorios son colocados sobre la superficie de la pieza que está siendo magnetizada, funcionan provocando que parte del campo salga de la superficie de la pieza inspeccionada, que pase a través del accesorio externo de prueba y que regrese otra vez a la pieza inspeccionada. Algunos de estos accesorios son [10]:

- ✓ El indicador de campo magnético tipo pastel;
- ✓ El indicador de campo del Prof. Berthold; y
- ✓ Los indicadores de magnetización de tipo placas con ranuras.

Estos indicadores (ver, Fig. 1.20) consisten en piezas de hierro suave, dentro de las cuales han sido maquinado o insertado un “defecto artificial” normalmente en forma de ranura [10].

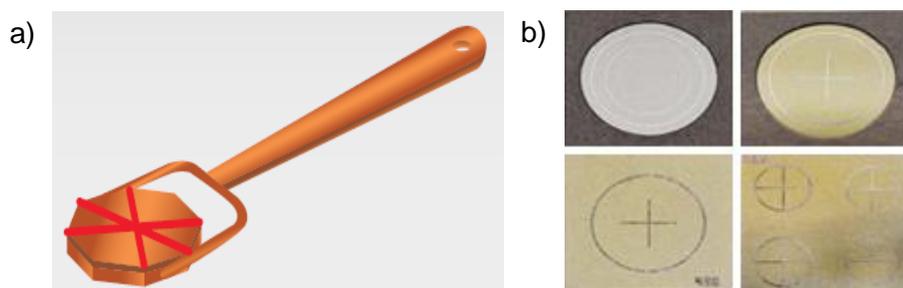


Fig. 1.20. Formas de Indicadores de campo magnético: a) Indicador de tipo paste; y b) Placas con ranuras.

El nivel adecuado de sensibilidad para varios tamaños de discontinuidades es alcanzado variando el ancho y profundidad del defecto artificial. Si son usados adecuadamente estos accesorios son muy valiosos. Otra forma práctica para determinar, en forma cualitativa, la densidad de flujo magnético es utilizando discontinuidades conocidas. Esto es, realizando pruebas con piezas similares o idénticas a las piezas que serán inspeccionadas que contengan discontinuidades conocidas [10].

## **2. GUÍA DE EJECUCIÓN DE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS EN CORDONES DE SOLDADURA DE RECIPIENTES A PRESIÓN**

Realizar una prueba no destructiva, sin importar el ensayo que se ha seleccionado requiere una secuencia de pasos a seguir, un orden cronológico con la finalidad de obtener los resultados correctos. Existen normas y códigos que ayudan a seleccionar ciertos parámetros para el procedimiento de las pruebas; no obstante, existen parámetros que son seleccionados a criterio personal de acuerdo con la disponibilidad de recursos que se tengan.

En este capítulo se resume puntos importantes para la correcta ejecución de las pruebas no destructivas en los cordones de soldadura de los cilindros con las que se trabajará como son los ensayos no destructivos por líquidos penetrantes y ensayo por partículas magnéticas.

### **2.1. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS LÍQUIDOS PENETRANTES**

Los materiales de prueba consisten en tres productos principales los cuales son:

- Limpiador para la superficie y del líquido penetrante.
- líquido penetrante, y
- Producto revelador de indicaciones [6].

Según lo recomendado por el fabricante. Cualquier líquido penetrante, removedor y revelador enumerados en la Norma AMS-2644 puede ser utilizado, independientemente del fabricante. Los Penetrantes y los emulsificadores deberán ser de la misma familia; el uso de un penetrante y emulsificadores de diferentes fabricantes o grupos familiares está prohibido [6].

Los métodos y materiales de la prueba por líquidos penetrantes se clasifican de acuerdo con la norma SAE AMS 2644 como se presenta en la Tabla 2.1 para prueba de líquidos penetrantes [6].

Tabla 2.1. Tipos y métodos que se pueden seleccionar a la hora de realizar el ensayo por líquidos penetrantes.

Prueba de líquido penetrante fluorescente – Tipo I	
Método A	Lavable con agua, ASTM E1209
Método B	Post Emulsificables – Lipofílico, ASTM E1208
Método C	Removible con solvente, ASTM E1219
Método D	Post Emulsificables, Hidrofílico, ASTM E1210
Prueba de líquido penetrante visible – Tipo II	
Método A	Lavable con agua, ASTM E1418
Método C	Removible con solvente, ASTM E1220

Los sistemas de penetrantes cubiertos por esta práctica deben ser de las siguientes 2 categorías: tipos, niveles de sensibilidad y métodos:

1) Tipos.

Estos se clasifican en:

- a) Tintes fluorescentes (Tipo I): Para la inspección con estos líquidos se necesita una lámpara de luz ultravioleta, Fig. 2.1. Son más sensibles y no son fáciles de detectar a simple vista.

Los penetrantes tipo 1 tienen diferentes grados de sensibilidad (Estos niveles se aplican sólo al sistema de penetrante tipo I. Los sistemas de penetrante tipo II tienen sólo una sensibilidad y no es representado por cualquiera de los niveles listados en lo que sigue) [6]:

- Nivel ½ Ultra Bajo,
- Nivel 1 Bajo,
- Nivel 2 Medio,
- Nivel 3 Alto, y
- Nivel 4 Ultra Alto.



Fig. 2.1. Lámpara de luz ultravioleta.

b) Tintes visibles: Se caracterizan por ser visibles a la luz natural, y tener menos sensibilidad. Se considera que los penetrantes de tipo II sólo tienen un nivel de sensibilidad y no se les clasifica como a los de tipo I [6].

La prueba de penetración fluorescente (Tipo I): la prueba de líquido penetrante fluorescente utiliza penetrantes que emiten una fluorescencia brillante cuando se excitan con la radiación UV-A. La sensibilidad de los líquidos penetrantes fluorescentes depende de su capacidad de ser retenido en los diversos tamaños de discontinuidades durante el procesamiento, para luego sangrar sobre el recubrimiento del revelador y producir las indicaciones que emitirán la fluorescencia. Las indicaciones fluorescentes son muchas veces más brillantes que las de su entorno cuando se observan con la iluminación UV-A adecuada, puede observar la Fig. 2.2, en la parte superior indicaciones reveladas con luz Ultravioleta y en la parte inferior las mismas indicaciones a luz natural. La prueba de líquido penetrante visible tipo II utiliza un penetrante que se puede ver en la luz visible. El penetrante por lo general es rojo, a fin de que las indicaciones resultantes produzcan un contraste definitivo con el fondo blanco del revelador. Las indicaciones del penetrante visible deben ser vistas bajo luz visible [6].

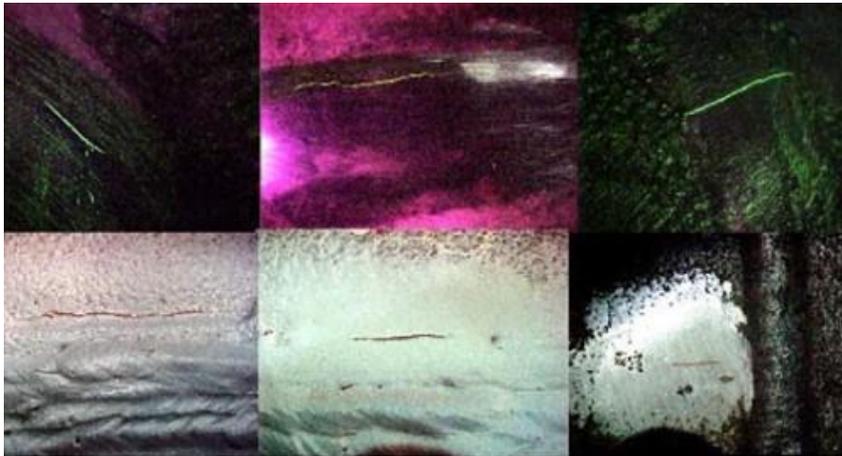


Fig. 2.2. Indicaciones expuestas a luz natural y a luz ultravioleta

## 2) Métodos de inspección por líquidos penetrantes.

Los diferentes métodos se clasifican según la manera de remover el líquido penetrante, existen 4 métodos diferentes:

**Método A:** Lavable con agua. Luego de realizada la inspección, estos pueden ser removidos directamente con agua. Su uso es muy frecuente para inspecciones rápidas. La desventaja de usar este líquido es su baja sensibilidad debido a su composición [6].

**Método B:** Post Emulsificable Lipofílico. Luego de aplicar el líquido penetrante sobre la superficie, se coloca una emulsión a base de aceite, que únicamente actúa en el excedente, lo que lo hace fácil de remover con agua y evitando eliminar el líquido de las grietas.

**Método C:** Lavable con solvente. El funcionamiento es igual que el líquido soluble en agua, a diferencia que este usa un solvente. La ventaja que tiene en comparación con el primer método es que tiene mayor sensibilidad, pero es más complicada su preparación.

**Método D:** Post Emulsificable Hidrofílico. Es igual al método B, con la diferencia que la emulsión que se aplica al excedente del líquido penetrante soluble en agua. Con este método se puede obtener una muy alta sensibilidad [6].

Existe una categoría adicional que sólo es aplicable a las distintas formas en que se puede utilizar los reveladores de indicaciones, las cuales son [6]:

Forma a: Polvo seco,

Forma b: Soluble en agua,

Forma c: Suspendible en agua,

Forma d: No acuoso para penetrante fluorescente tipo I,

Forma e: No acuoso para penetrante visible tipo II, y

Forma f: Aplicación específica.

Los reveladores forman un recubrimiento absorbente blanco o translúcido que ayuda a sacar el penetrante fuera de las discontinuidades superficiales a través de la acción capilar inversa, Fig. 2.3, lo que aumenta la visibilidad de las indicaciones [6]



Fig. 2.3. Pieza recubierta con revelador formando un contraste blanco.

Reveladores de polvo seco se utilizan tal como se suministran, es decir, polvo no apelmazante de flujo libre. Se debe tener cuidado de no contaminar el revelador con un penetrante fluorescente, ya que las motas del revelador contaminadas pueden aparecer como indicaciones de penetrante [6].

Los reveladores Acuosos se suministran normalmente como partículas de polvo seco para ser suspendidos (suspendibles en agua) o disueltos en agua (solubles en agua). La concentración, el uso y el mantenimiento deberán estar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Los reveladores solubles

en agua no deberán ser usados con penetrantes del tipo II o con penetrantes del tipo I, Método A [6].

En el caso de los reveladores húmedos no acuosos se suministran como suspensiones de partículas de revelador en un solvente portador no acuoso listo para usar tal como se suministra. Los reveladores húmedos no acuosos se pulverizan para formar una capa delgada sobre la superficie de la pieza cuando se seca. Esta fina capa sirve como el medio de revelado. Este tipo de revelador está diseñado para ser aplicado por pulverización solamente [6].

Observe la Fig. 2.4 una diversidad de reveladores, en presentaciones y fabricantes distintos.



Fig. 2.4. Algunas marcas de los productos para ensayos por líquidos penetrantes.

En la selección de un penetrante se tienen presentes 3 formas disponibles, cada una de ellas dependerá de la necesidad y de la disponibilidad de los equipos disponibles.

- ✓ Los Penetrantes Post-emulsificables son insolubles en agua y no pueden ser eliminados con agua sola. Son formulados para ser eliminados selectivamente de la superficie usando un emulsificador por separado. Aplicados de manera apropiada y dado un tiempo de Emulsificación apropiado, el emulsificador se combina con el exceso del penetrante de la superficie para formar una mezcla lavable con agua, la cual puede ser enjuagada de la superficie, dejando la misma libre de excesivo fondo fluorescente. El tiempo de emulsificación

apropiado debe ser establecido y mantenido de manera experimental para garantizar que la sobre emulsificación no resulte en pérdidas de indicaciones [6].

- ✓ Los penetrantes lavables con agua son formulados para ser directamente lavable con agua de la superficie de las partes, después de un tiempo de permanencia apropiado. Debido a que el emulsificador esta formulado en el penetrante, los penetrantes lavables con agua pueden ser sacado fuera de las discontinuidades si el paso de enjuague es demasiado prolongado o vigoroso. Es por lo tanto extremadamente importante ejercitar un control apropiado en la remoción del exceso de penetrante de la superficie para asegurarse contra el sobre lavado. Algunos penetrantes son menos resistentes al sobre lavado que otros, y se debe tener precaución [6].
- ✓ Los penetrantes removibles con solvente son formulados para que el exceso de penetrante de la superficie pueda ser eliminado con un trapo hasta que la mayoría del penetrante haya sido eliminado. Las trazas remanentes deberían ser eliminadas humedeciendo el trapo con solvente. Para evitar eliminar el penetrante de las discontinuidades, se debe tener cuidado de evitar el uso de solvente excesivo. Lavar la superficie con solvente está prohibido porque las indicaciones pudieran fácilmente ser sacadas fuera de la superficie. En el caso de los emulsificadores, como ya se mencionó existen 2 tipos, los LIPOFÍLICOS son líquidos miscibles en aceite usados para emulsificar el penetrante post-emulsificado sobre la superficie de las partes, haciéndolo lavable con agua. Las características individuales del emulsificador y del penetrante, y la geometría y rugosidad de la superficie del material de la pieza contribuyen en determinar el tiempo de Emulsificación. En el caso de Emulsificadores HIDROFÍLICO son líquidos miscibles en agua usados para emulsificar el exceso del penetrante post-emulsificado sobre la superficie de las partes, haciéndolo lavable con agua. Estos emulsificadores a base agua

(removedores de tipo detergente) se suministran como concentrados para ser diluidos en agua y utilizados como una inmersión o rociado. La concentración, el uso y el mantenimiento deben estar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Funcionan desplazando el exceso de la película del penetrante de la superficie de la pieza a través de la acción detergente. La fuerza del rociado de agua o la agitación de aire/mecánica en un tanque de inmersión abierto proporciona la acción de lavado, mientras que el detergente desplaza la película del penetrante de la superficie de la pieza [6].

### 2.1.1. PROCEDIMIENTO GENERAL DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES

Esta sección presenta los lineamientos y elementos para la realización del ensayo por líquidos penetrantes. Es importante tener en consideración la limitante de poder obtener los recursos necesarios en este país para realizar las pruebas no destructivas. En el anexo A se presenta una lista del costo de los productos utilizados y el lugar en donde se adquirieron.

Los materiales a utilizar, Fig. 2.5, para realizar el ensayo de líquidos penetrantes pertenecen a la familia de tintes CANTESCO P101S-A (ver, Tabla 2.2), es un penetrante removible con solvente portátil, particularmente para trabajos de soldadura, y es post emulsificable para una mayor visualización de indicaciones de defectos. Produce un contraste de color rojo visible y tiene características de penetración sobresalientes [11].

Tabla 2.2. Características de los productos de la marca CANTESCO.

Fabricante	Penetrante	Removedor	Revelador	Tipo	Método	Aplicación
CANTESCO	P101a-a	C101-a Solvente	D101-a	II visible	C, removible con solvente	Aerosol



Fig. 2.5. Productos de la marca CANTESCO utilizados para ensayo por líquidos penetrantes.

## 2.1.2. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Se iniciará con los procedimientos que establecen las condiciones y los pasos a seguir para realizar la inspección mediante la técnica de líquidos penetrantes a uniones soldadas, en forma adecuada y segura, de acuerdo con los parámetros de la Norma ASTM E165-18 Practica estándar para la prueba por líquidos penetrantes para la industria en general [10].

### a) Condición inicial.

La temperatura de los materiales penetrantes y la superficie de la pieza a ser procesada estarán en el rango de temperatura no mayor que 52 °C (método C) o 38 °C (método A). La superficie de la unión soldada a verificar, previa al examen con líquidos penetrantes, será inspeccionada visualmente, indicando en la especificación de procedimiento del ensayo, algún tipo de 'irregularidad', que pudiese ser confundido con indicaciones de defectos propios de la unión soldada o pieza [10].

### b) Limpieza.

Remoción del óxido y corrosión de la superficie por medio mecánico (cepillo metálico) y luego trapo (libres de pelusa) humedecido con solvente.

El desarrollo de cualquier procedimiento de examen con líquidos penetrantes es grandemente dependiente de que el área a inspeccionar y la superficie adyacente aproximadamente 25 mm, se encuentren libres de cualesquier contaminantes (líquido o sólido) que pueda interferir con los procesos del penetrante [10].

Toda pieza o áreas de la pieza a ser examinadas deben estar limpias y secas antes que se aplique el líquido penetrante. Se propone la limpieza para conseguir que la superficie esté libre de óxido, escamas, suciedad, películas de aceite, escoria de soldadura, salpicadura de soldadura, grasa, pintura y todo lo demás que puedan interferir con la penetración de dicho líquido penetrante. Todos estos contaminantes pueden evitar que el penetrante ingrese a las discontinuidades superficiales [10].

c) Secado.

Secado después de la limpieza: es esencial que las superficies de la pieza se encuentren completamente seca después de la limpieza, ya que cualquier residuo líquido obstaculizará la entrada del penetrante. El secado será efectuado por evaporización normal del solvente o aire forzado a temperatura ambiente [10].

d) Aplicación del líquido penetrante.

Después que la pieza ha sido limpiada, secada, y está dentro del rango de temperatura especificada, el penetrante se aplicará a la superficie a ser examinada de manera que toda la pieza o el área en examen este completamente cubierta con penetrante. Esta será aplicada mediante atomizado o pincelado (brocha) [10].

e) Tiempo de penetración: ~5 min.

Después de la aplicación, se permite al exceso de penetrante drenar de la pieza para prevenir estancamientos de penetrantes debido a la forma de la pieza, mientras se permita un apropiado tiempo de penetración. El período

de tiempo que el penetrante debe permanecer en la pieza para permitir una penetración apropiada debería ser recomendado por el fabricante del penetrante. A menos que, se especifique, los tiempos de penetración no excederán el máximo recomendado por el fabricante [10]

f) Remoción del exceso.

Trapo humedecido con solvente (Método C) [10].

g) Secado.

Evaporación normal (Método C), al ambiente [10].

h) Aplicación de revelador.

Atomizado, forma directa del envase [10].

i) Tiempo de revelado: ~10 min.

El periodo de tiempo en que el revelador permanece en la pieza previa al examen no será ~10 min. El tiempo de revelado se inicia inmediatamente después que el recubrimiento del revelador este seco [10].

j) Condiciones de luz del ambiente

Luz natural y/o artificial blanca (tipo II) [10].

En la prueba no destructiva se realiza la examinación de las piezas después del tiempo de revelado aplicable en donde se permite el sangrado apropiado del penetrante de las discontinuidades hacia la película del revelador. Se observará el sangrado mientras se aplica el revelador como una ayuda en la evaluación de las indicaciones [10].

Todos los criterios de aceptación de la soldadura inspeccionada se basarán de acuerdo con lo descrito en el código y/o norma de referencia a utilizar, teniendo en consideración el tipo de soldadura, diseño, fabricación, material, etc., en los elementos estructurales [10].

Las discontinuidades en la superficie serán indicadas por el sangrado del penetrante, sin embargo, las irregularidades superficiales localizadas debido a marcas de maquinado u otras condiciones superficiales pueden producir falsas indicaciones.

### 2.1.3. FICHA TÉCNICA PARA USO DE PRUEBA NO DESTRUCTIVA PARA LÍQUIDOS PENETRANTES

Este registro es de carácter didáctico y puede estar sujeto a modificación de acuerdo con las necesidades de la persona que realice la prueba no destructiva.

	<b>REGISTRO DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES</b>		Fecha:
			Código:
			Página:
Cliente:			ID cliente:
Dirección:			teléfono:
<b>Datos técnicos</b>			<b>Datos generales</b>
Elemento/pieza:			material precedente de:
Material de fabricación:			
Nombre del soldador/operario:			
Proceso de fabricación: _____		ID del soldador/ operario: _____	
Tratamiento térmico:	Comentarios:	fecha de realización de evaluación: __/__/__	
Proceso de manufactura (maquinado/temple/otros):			
Tipo de soldadura		Fecha de realización de ensayo: __/__/__	
Parámetros de soldadura: _____			
Tipo de electrodo:		Fecha de entrega de resultados: __/__/__	
Descripción del ensayo			
Penetrante	Removedor/emulsificador	Revelador	
Tipo:	Método:	Tiempo de acción:	
Notas:			
Descripción del procedimiento realizado: _____			
<b>CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DEL ENSAYO</b>			
Zona donde se realizó el ensayo:	Iluminación		
Temperatura local:	Ambiente:	Ultravioleta:	
Marca de los tintes utilizados:			
Material utilizado para limpieza _____		Tiempo de secado penetrante:	
		Tiempo de secado revelador:	
<b>INSPECCIÓN</b>			
Código de pieza:	Código de junta soldada	Código soldador:	
Tipo de indicación o defecto:		Forma/geometría	
Interpretación:			
observaciones de los resultados: _____			
Recomendaciones/notas: _____			
Inspección realizada por:			
FIRMA:	ID de inspector:	Cargo/nivel:	

## 2.2 PROCEDIMIENTO GENERAL DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Al igual que el ensayo por líquidos penetrantes, este ensayo se realiza de acuerdo con la disponibilidad de los recursos que se cuenten en la región o lugar de trabajo. La principal limitación fue la adquisición de las partículas ferromagnéticas, las cuales se adquirieron en otro país, como se observa en el anexo A. Como primer punto describiremos a continuación los insumos necesarios para realizar dicho ensayo.

### 2.2.1 MATERIALES DE INSPECCIÓN

Las partículas magnéticas que forman una indicación, también conocidas como “polvo o medio de inspección”, Fig. 2.6, son tan importantes como el propio equipo de magnetización. Estas partículas no actúan como una sola unidad, se amontonan cuando son magnetizadas. Sin embargo, un amontonamiento excesivo reduce su capacidad para moverse hacia las fugas de flujo para formar indicaciones. Algunas partículas se suministran en forma de polvo seco, algunas como una pasta y otras como concentrados [10].



Fig. 2.6. Polvos de partículas ferromagnéticas utilizadas para la prueba no destructiva.

- 1) Características de las partículas magnéticas.

Las partículas magnéticas son fabricadas de materiales ferromagnéticos, con propiedades físicas y magnéticas que afectan su funcionalidad como medio para formar indicaciones, Fig. 2.7 [10]:

- Las propiedades físicas principales de las partículas magnéticas son:
  - a) Tamaño de las partículas magnéticas. Estas partículas son mucho más pequeñas que las limaduras de hierro, por lo que, cuando están secas parecen polvo. Sus dimensiones varían dentro de un intervalo, para permitir que las fugas de flujo con diferentes fuerzas puedan atraer las partículas de diferentes masas. El intervalo de dimensiones de las partículas comercialmente disponibles es de entre 0.125 a 60  $\mu\text{m}$  (0.000005 a 0.0025 pulg). Las partículas muy finas no tienden a moverse como unidades separadas, se aglomeran para formar grandes acumulaciones [10].
  - b) Forma de las partículas magnéticas. La forma de la partícula es importante. En la actualidad, las partículas magnéticas son una mezcla de formas esféricas y alargadas, unas proporcionan movilidad adecuada y las otras polarizaciones magnéticas. Juntas se enlazan para formar cadenas o puentes pequeños para los campos de fuga, con lo que se forman las indicaciones visibles [10].
  - c) Densidad de las partículas magnéticas. Es una propiedad que afecta la movilidad de las partículas. Por ejemplo, los polvos de tipo metálico y óxido son más densos que el agua, por lo que las partículas húmedas, preparadas en agua o aceite, se tienden a asentar cuando no se agitan [10].
  - d) Color de las partículas magnéticas. Las partículas son coloreadas para proporcionar un color contrastante con la superficie de la pieza inspeccionada, para resaltar la visibilidad de indicaciones pequeñas. La presentación de las partículas es en diferentes colores, con el objeto de proporcionar un contraste adecuado para la pieza inspeccionada [10].



Fig. 2.7. Partículas ferromagnéticas.

➤ Propiedades magnéticas. Las partículas magnéticas deben ser muy sensibles al magnetismo, por lo que deben tener características magnéticas similares a los materiales ferromagnéticos. Observe la Fig. 2.8a como es el comportamiento de los dominios magnéticos en el material sin magnetizar y 2.8b los dominios magnéticos en un material magnetizado. Las características de las partículas magnéticas son, esencialmente [10]:

- ✓ Una alta permeabilidad
- ✓ Una baja retentividad.

Alta permeabilidad: La alta permeabilidad de las partículas permite que puedan ser rápidamente magnetizadas, para que sean fácilmente atraídas y retenidas por campos de fuga débiles. Baja retentividad: Se requieren partículas de baja retentividad, esto significa que no retendrán prácticamente ningún magnetismo residual, para que no se queden sobre la pieza cuando no son retenidas por un campo de fuga, lo que permite que sean fácilmente removidas de la superficie de la pieza inspeccionada [10].

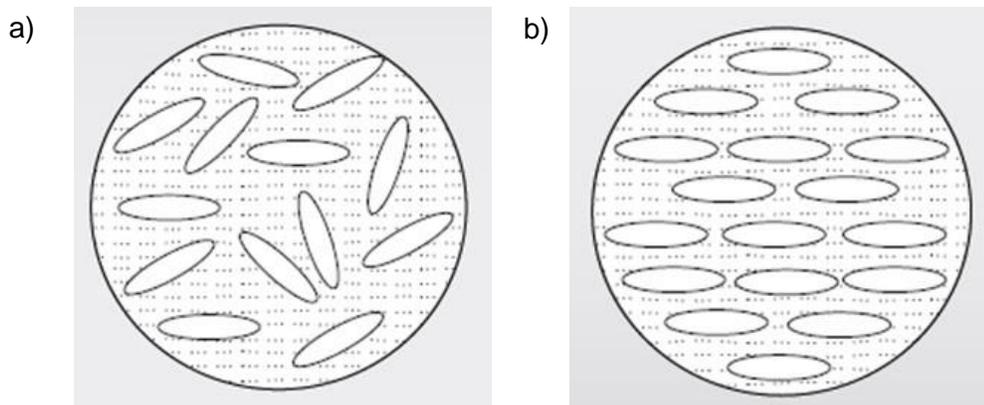


Fig. 2. 8. Comportamiento de los dominios magnéticos en un material expuesto a un campo magnético: a) Sin magnetismo; y b) con magnetismo.

## 2) Clasificación de las partículas magnéticas.

Las partículas magnéticas pueden ser clasificadas en:

- Métodos, por la forma de ser transportadas [10].
  - ✓ Partículas secas.

El requisito básico para las partículas secas es que tengan las propiedades magnéticas adecuadas, además que sean ligeras y móviles. Las partículas empleadas en el método seco tienen características similares a las del método húmedo, excepto que se utilizan secas, en forma de polvo. Las partículas secas dependen de que el aire las lleve a la superficie de la pieza, por lo que se pueden utilizar pistolas, bulbos o aplicadores racionadores en forma de pera o tipo salero, Fig. 2.9. Además, Las partículas utilizadas en el método seco pueden ser de diferentes colores, como roja, negra, gris, azul, amarilla o anaranjada. El método para aplicar las partículas secas es dispersarlas en forma de una nube ligera de polvo, lo cual les proporciona un alto grado de movilidad. Como las partículas flotan hacia abajo, por encima de la pieza que está siendo magnetizada, tienen libertad para moverse en cualquier dirección, por lo que pueden ser atraídas por campos de fuga débiles. La mejor forma para

proporcionarles movilidad a las partículas secas es utilizando campos magnéticos pulsantes [10].



Fig. 2.9. Instrumentos utilizados para el ensayo por partículas magnéticas cuando se utilizan partículas secas.

- ✓ Partículas vía húmedas. Las partículas húmedas pueden ser aplicadas en forma manual o automática, bombeadas a través de boquillas, pistolas y aspersores. Las partículas húmedas normalmente son aplicadas sobre las piezas inspeccionadas y posteriormente son recolectadas en recipientes o tanques abiertos en donde son agitadas y bombeadas, todo esto se hace en equipos de magnetización estacionarios. Cuando se utiliza el método húmedo las partículas se encuentran suspendidas en un líquido, el cual puede ser agua o aceite (petróleo ligero o queroseno). El líquido de las partículas húmedas les permite flotar para que sean fácilmente atraídas hacia las fugas de flujo, pero cuando no existen fugas salen de la pieza junto con el líquido. La presentación de las partículas en las distintas formas de poder encontrar los productos, existen distintas marcas y en diferentes volúmenes. Las partículas vía seca tienen un tamaño de partícula que oscila de 100 a 1,000  $\mu\text{m}$ , mientras que en la vía húmeda el tamaño del grano oscila de 1 a 25  $\mu\text{m}$ . Pueden obtenerse de las siguientes maneras: [10]
  - a) En forma de pasta. Las partículas magnéticas deben ser disueltas en aceite para conseguir el tamaño de partícula y la consistencia

adecuada. Actualmente, casi ya no se suministran las partículas en forma de pastas [10].

b) Polvo. Con el uso del agua como líquido, las partículas en forma de pasta son más difíciles de dispersar, por lo que actualmente las partículas son producidas en forma de un polvo concentrado seco, que puede ser para suspensiones en aceite o en agua. Las partículas en polvo tienen la necesidad de mezclarse con agentes que faciliten su dispersión, agentes humectantes, agentes inhibidores de corrosión, entre otros. Las partículas en forma de polvo pueden ser vertidas directamente en el tanque para preparar el baño, sin la necesidad de mezclarlas previamente [10].

c) Las partículas usadas en concentrados son recubiertas con agentes humectantes, un tipo de detergente, que les permite combinarse fácilmente con el líquido. Los concentrados de partículas que son diseñados para utilizarse en agua vienen premezclados con un acondicionador para que puedan ser vertidas directamente en el agua y para mejorar las características de la solución, Fig. 2.10 [10].

A continuación, se presenta la Tabla 2.3 en donde se mencionan algunas ventajas y desventajas sobre el uso de cada método, seco y húmedo.



Fig. 2.10. Presentaciones en las que se puede adquirir las partículas ferromagnéticas.

Tabla 2.3. Comparativa sobre el método a seleccionar previo al ensayo por partículas magnéticas.

Método	Ventajas	Desventajas
Seco	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excelente para detectar discontinuidades subsuperficiales.</li> <li>- Fácil de usar en la inspección de objetos grandes con equipo portátil.</li> <li>- Adecuado para la inspección de materiales con superficie rugosa.</li> <li>- No es tan “sucio” como el método húmedo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No es tan sensible como el método húmedo para grietas poco profundas y muy finas</li> <li>- No es fácil cubrir toda la superficie adecuadamente, especialmente de piezas con forma irregular o grande.</li> <li>- Más lento que el método húmedo para la inspección de una gran cantidad de piezas pequeñas.</li> </ul>
Húmedo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es el método más sensible para grietas superficiales muy finas muy poco profundas.</li> <li>- El baño se puede recuperar fácilmente y se puede reutilizar.</li> <li>- Las partículas magnéticas tienen excelente movilidad en el líquido de suspensión.</li> <li>- Se adapta a tiempos de inspección cortos, con la técnica de “disparos” de magnetización para el método continuo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Normalmente no es capaz de detectar discontinuidades subsuperficiales.</li> <li>- Es sucio para trabajar, especialmente cuando no se recuperan las partículas y en inspecciones en campo.</li> <li>- Cuando se utiliza aceite para el baño y la magnetización circular por contacto directo, se presenta un riesgo potencial de producirse fuego.</li> </ul>

➤ Tipos, por el contraste con la superficie.

- ✓ Partículas visibles, no-fluorescentes, contrastantes o coloreadas.

Aun desarrollando un sistema de inspección altamente sofisticado, sin embargo, si el inspector tiene dificultades para observar las indicaciones, entonces el sistema es inadecuado. La mejor visibilidad para el ojo humano es proporcionada por condiciones de alto contraste. Uno de los requisitos principales para observar la presencia de indicaciones es contar con una buena iluminación. Las indicaciones de partículas visibles son examinadas con luz blanca, que puede ser natural, proveniente del sol, o artificial, proveniente de lámparas, focos, entre otros. Con partículas visibles la selección del

color de la partícula a utilizar depende únicamente de cuál proporcione el mayor contraste con el color de la superficie de la pieza inspeccionada, como en el caso de una hoja blanca, la impresión de color negro es una condición con alto contraste. Por ejemplo, polvos blancos o grises sobre la superficie gris de fundiciones de arena son difíciles de ver, por el contrario, polvos de color rojo proporcionan buen contraste [10].

Algunas partículas son cubiertas con tintes que proporcionan colores brillantes, con los cuales se tiene un mejor contraste que los colores naturales menos brillantes. En algunos casos, se puede utilizar un tipo de recubrimiento sobre la superficie de la pieza inspeccionada, conocido como tinta de contraste, con el objeto de proporcionar una superficie que contraste con el color de las partículas. Su espesor debe ser el menor posible (no mayor que 0.05 mm) para que no ocasione interferencias con la formación de indicaciones, no debe interferir con la movilidad de las partículas, no debe interferir con los puntos de contacto eléctrico y no deben ser solubles en el líquido de las partículas húmedas [10].

Para efectuar la inspección utilizando partículas visibles se debe contar con una intensidad mínima de luz sobre la superficie de la pieza inspeccionada. Por ejemplo, de acuerdo con el Código ASME para Recipientes a presión y calderas, Sección V, Artículo 7, se requiere una intensidad mínima de 1000 lux (100 pies-candela, fc) sobre la superficie inspeccionada para asegurar una sensibilidad adecuada durante el examen y evaluación de las indicaciones, y del Volumen 03.03 de ASTM el documento E-709 considera esa intensidad como una recomendación [10].

✓ Partículas fluorescentes.

Existen partículas magnéticas cubiertas con un tinte fluorescente, el cual proporciona el máximo contraste para el ojo humano. En partículas magnéticas, la fluorescencia es la propiedad que tienen

ciertas sustancias para emitir luz blanca, dentro del intervalo de luz visible, cuando son iluminadas o expuestas a la luz ultravioleta, Fig. 2.11 [10].

La luz visible y la luz ultravioleta pertenecen a una familia de ondas llamadas Ondas Electromagnéticas. La luz ultravioleta utilizada es conocida como Luz negra, la que se encuentra en un intervalo de longitudes de onda de 330 a 390 nm, cercano a las longitudes de onda de la luz visible, siendo la predominante de 365 nm, que es equivalente a 3650 Ångstrom [10].

Normalmente las partículas fluorescentes tienen una coloración verde-amarilla, la cual tiene la particularidad de ser la más fácilmente visible para el ojo humano, por encontrarse al centro del espectro visible. Con los colores de los extremos del espectro la apariencia es mucho más atenuada que con los colores en el centro. Con excepción de algunas aplicaciones, las partículas fluorescentes son usadas en el método húmedo. Con ello, la inspección con partículas fluorescentes es más rápida, más confiable y sensible para discontinuidades muy finas, en la mayoría de las aplicaciones. Con el uso de partículas fluorescentes se requiere cumplir con varias condiciones. Una de ellas es contar con un área de trabajo con cierto nivel de oscuridad y otra es utilizar una fuente de luz negra, con lo que se obtiene un muy alto contraste [10].



Fig. 2.11. Partículas ferromagnéticas fluorescentes.

### 3) Condición de la superficie.

Sin tener en consideración las partículas que se van a utilizar, bien sean húmedas o secas, es primordial que las piezas examinadas estén bien limpias y libres de grasa, aceite, polvo, entre otros. Si las piezas no están limpias, se puede disminuir la movilidad de las partículas y provocar que no sean atraídas hacia los campos de fuga. Si la pieza no está limpia, un baño húmedo puede dar como resultado una superficie grasosa o aceitosa, ya que la grasa, aceite o polvo también pueden contaminar el recipiente. También, las partículas secas se pegarán a una superficie sucia o húmeda, por lo cual, las piezas además de estar limpias también se deben encontrar secas [10].

#### **2.2.2. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE**

Con las superficies en la condición tal como quedaron soldadas son obtenidos resultados usualmente satisfactorios. Sin embargo, la preparación superficial por pulidora o maquinado puede ser necesario donde las irregularidades superficiales podrían enmascarar discontinuidades [7].

Previo a la inspección por partículas magnéticas. La superficie a inspeccionar, así como las zonas adyacentes a la misma (1 pulg a cada lado), deben estar secas y limpias de grasa, polvos, óxidos, salpicaduras de soldadura o materiales extraños que pueden interferir o arrojar falsas indicaciones durante la inspección [7].

La limpieza puede ser llevada a cabo usando detergentes, solventes orgánicos, soluciones decapantes, removedores de pintura, vapor desengrasante, chorro de arena, lijas, cepillos de alambre, entre otros, Fig. 2.12. Remover las irregularidades superficiales que podrían enmascarar indicaciones de discontinuidades y materiales extraños, tales como suciedad, restos de escoria, pintura, herrumbre, escamas, restos de tierra, arena, etc. De las zonas a inspeccionar [7].



Fig. 2.12. Productos para limpieza de una superficie a ser examinada.

### 2.2.3. TÉCNICA DE INSPECCIÓN

Los procedimientos detallados en esta sección son de carácter obligatorio, tener en cuenta que los resultados que se obtiene al finalizar el ensayo estar sumamente relacionados con la secuencia de pasos que a continuación se detallan:

- 1) Si es necesario para definir claramente la geometría de la inspección, se debe trazar una cuadrícula sobre la zona a inspeccionar para asegurar que no se queden zonas sin inspeccionar.
- 2) Mientras se realiza la inspección, la iluminación con luz blanca, ya sea natural o artificial, no debe ser menor a 1000 Lux.
- 3) Asegúrese de que la temperatura de la superficie este dentro de lo establecido y/o las recomendaciones de los fabricantes.
- 4) Previo al inicio del trabajo y al terminar el mismo verifique el poder de levantamiento del yugo con las planchas de comprobación, el de 10 lb (4.5 kg) para los yugos de Corriente Alterna.
- 5) Si el yugo falla en la prueba de levantamiento, todas las juntas inspeccionadas desde la última prueba satisfactoria del yugo deberán ser inspeccionadas nuevamente con un yugo que cumpla la prueba del levantamiento.

- 6) Coloque los polos (patas) del yugo con la abertura necesaria sobre la pieza a inspeccionar y ponga el interruptor del yugo en la posición de encendido (ON).
- 7) Aplique las partículas con el bulbo, espolvoreando una pequeña cantidad de partículas sobre la zona de la superficie que está siendo examinada. Remueva el exceso con una ligera corriente de aire, debe de tenerse cuidado con este método de limpieza de tal modo de no remover ligeros patrones de partículas retenidas.
- 8) Después de dar el tiempo suficiente (normalmente unos pocos segundos) para que los patrones de partículas se formen, observe buscando indicaciones formadas.
- 9) Después que la inspección se ha terminado, ponga el interruptor del equipo en la posición de apagado (OFF).
- 10) Desarrolle una nueva examinación en la misma área, repitiendo los 4 últimos pasos, con el yugo posicionado a  $\sim 90^\circ$  con respecto a la primera examinación.
- 11) Reposicione los polos del yugo en la siguiente área adyacente a la primera traslapando lo suficiente para garantizar que la inspección de la zona requiriendo examinación, es completa.

NOTA: La examinación puede ser realizada hasta completar en una posición enteramente, (ejemplo a la posición de  $90^\circ$  con respecto a un eje de referencia) y luego inspeccionar completamente la parte en la posición transversal a la primera.

#### **2.2.4. EQUIPAMIENTO PARA PROCEDIMIENTO GENERAL DE INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

Procedimiento de examinación por la técnica de yugo y método continuo de partículas magnéticas visibles secas (ver, Fig. 2.13). Los materiales a utilizar serán:

- ✓ Yugo electromagnético de corriente alterna;
- ✓ Una bombilla operada manualmente para esparcir las partículas o una pistola de espolvorear operada por aire;
- ✓ Solventes removedores de grasa, tales como el alcohol isopropílico, el thinner o los removedores de los kits de tintes penetrantes;
- ✓ Trapo limpio o trozos de tela;
- ✓ Linterna o lámpara de luz eléctrica; y
- ✓ Cepillo de alambre y discos de amolado pueden ser usados para el acondicionamiento de las superficies cuando se requiera [7].



Fig. 2.13. Equipo para utilizar en el ensayo por partículas magnéticas.

### **2.2.5 FICHA TÉCNICA PARA USO DE PRUEBA NO DESTRUCTIVA PARA PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

Este registro es de carácter didáctico y puede estar sujeto a modificación de acuerdo con las necesidades de la persona que realice la prueba no destructiva.

	Registro de Inspección por Partículas Magnéticas		Fecha: __/__/__
			Código:
			Página:
Cliente:	ID cliente:		
Dirección:	Teléfono:		
<b>Datos técnicos</b>		<b>Datos generales</b>	
Elemento/pieza:	Fecha de realización de evaluación: __/__/__		
Material de fabricación:	Fecha de realización de ensayo: __/__/__		
Proceso de conformado:	Fecha de entrega de resultados: __/__/__		
Tratamiento térmico:	Comentario:		
<b>Proceso de manufactura</b>		<b>Tipo de yugo para ensayo</b>	
Tipo de soldadura:	Eléctrico:		
Parámetros de soldadura:	Imanes naturales:		
	Características generales:		
Tipo de electrodo:	Comentarios:		
<b>Descripción del ensayo</b>			
Método de limpieza:	Marca del yugo:	Amperaje:	
Área a examinar:	Modelo:	Tipo de corriente:	
	Serie:		
<b>Partículas a utilizar</b>			
Fluorescentes:	Contraste:	Color:	
Húmedas:	En suspensión:	Líquido:	
<b>Proceso de magnetización</b>			
Técnica de desmagnetización:	Cantidad de luz ambiente:	Tiempo total para la realización del ensayo: __/__/__	
Tipo de iluminación	Cantidad de luz negra:		
Código, elemento o pieza	Código soldador/ operador:	Comentarios:	
Código de junta soldada:	Longitud examinada:		
Tipo de indicación:	Forma/geometría:		
Interpretación			
Recomendaciones/notas:			
Inspección realizada por:			

### **3. MATERIALES A UTILIZAR Y EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA PARA LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS A DESARROLLAR**

Para realizar una adecuada práctica es de mucha importancia disponer de los elementos necesarios y adecuados, con el fin de obtener resultados favorables o con pequeño porcentaje de error. En la realización de los ensayos no destructivos, en general, la implementación de los productos adecuados son uno de los principales requisitos, así en este capítulo se hará mención y descripción de dichos elementos.

En la Tabla 3.1 se presentan los implementos a utilizar para desarrollar los 2 ensayos no destructivos con los que se trabajará. Los materiales detallados serán los mismos para ambos ensayos, los recipientes utilizados en la práctica están sujetos a modificación de geometría para una mejor evaluación de los defectos que se detecten en las pruebas no destructivas.

Además, se utilizarán equipos de protección personal, los cuales no son de uso obligatorio, pero proporcionan una protección en el instante de realizar los ensayos. Se utilizarán guantes para la protección de las manos en el instante de aplicar los tintes, debido a que contienen químicos que irritan la piel. Gafas para protección de los ojos, esto es de mucha importancia en el instante de esparcir las partículas magnéticas ya que son tan finas que fácilmente pueden volar hacia nuestros ojos en el instante de realizar el ensayo. Mascarilla para evitar inhalar las partículas magnéticas en el instante de la aplicación, y cuando se apliquen los tintes penetrantes ya que se generan vapores durante el secado.

Tabla 3.1. Descripción general de materiales a utilizar en la realización de los ensayos no destructivos.

Material	Descripción	Ilustración física
<p>Recipiente de aire comprimido de baja presión de trabajo</p>	<p>Este recipiente será el testigo en donde se realizarán los ensayos de tintes penetrantes. Este recipiente trabaja a presiones menores a los 150 psi y temperatura inferior a los 40 °C.</p>	
<p>Recipiente de aire comprimido de alta presión de trabajo</p>	<p>Es un recipiente cuya presión máxima de llenado ronda los 1,300 psi. Y una temperatura de 35 °C.</p>	
<p>Removedor de pintura, óxido, suciedad en general</p>	<p>Se utilizará detergentes, químicos y líquidos de limpieza para poder remover toda impureza no deseada o que contamine la superficie.</p>	
<p>Lija de metal y cepillo de alambre</p>	<p>Estos materiales se utilizarán para dar una mejor limpieza y un mejor acabado en la superficie de trabajo. Además de ser un requerimiento necesario para realizar los ensayos no destructivos.</p>	
<p>Trapos de algodón</p>	<p>Se utilizará estos insumos para limpiar y secar las superficies justo antes de realizar los ensayos.</p>	

### 3.1. EQUIPAMIENTO PARA ENSAYOS POR TINTES PENETRANTES

Para realizar el ensayo por tintes penetrantes, los materiales a utilizar serán de las siguientes características: la marca comercial de los productos será CANTESCO (ver, Fig. 3.1), limpiador, penetrante y revelador. Cabe recalcar que no es permitido combinar distintas marcas de los productos en el instante de realizar este ensayo, de ser así, el ensayo por tintes penetrantes queda totalmente invalidado. “Los Penetrantes y los emulsificadores deberán ser de la misma familia; el uso de un penetrante y emulsificadores de diferentes fabricantes o grupos familiares está prohibido” [Práctica Estándar Para la Prueba Por Líquidos Penetrantes Para la Industria En General. Designación E165. Sección 7. Apartado 7.1]

Las características de los materiales a utilizar para el ensayo por tintes penetrantes se describen a continuación:

- ✓ El penetrante y el revelador a utilizar serán del tipo II. En el caso del Penetrante el color de la tinta es Rojo de alto contraste con una sensibilidad nivel II, tipo visible, los ensayos se realizarán con luz natural.
- ✓ El líquido penetrante a utilizar será del método “C” removible con solvente. El mismo solvente limpiador de suciedad será el que se ocupe para remover el penetrante aplicado en la superficie donde se realice el ensayo.
- ✓ El revelador a utilizar será del tipo Polvo Seco. Este producto se utilizará y se aplicará tal y como viene suministrado. Un polvo cuya presentación es en embace presurizado.



Fig. 3.1. Productos de la marca CANTESCO para la realización del ensayo no destructivo por tintes penetrantes.

### 3.2. EQUIPAMIENTO PARA ENSAYOS POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Los materiales a utilizar en este tipo de ensayos son más simples, ya que solo se necesita principalmente una fuente de magnetismo y pequeñas partículas de hierro (ver, Fig. 3.2). En este ensayo los materiales son los siguientes.

- ✓ Yugo magnético marca PARKER, de patas articuladas, fuente de alimentación corriente alterna 110/220 V. Forma de producir el campo magnético por corriente alterna.
- ✓ Partículas magnéticas marca GOODSON del tipo visible, finas, aproximadamente 500  $\mu\text{m}$  el tamaño de las partículas y en baño de tinte

color Rojo para un mayor contraste. Método de aplicación vía seca, medio para aplicar las partículas será el aire.

- ✓ Depósito para rociar las partículas magnéticas, para la aplicación la forma en que se rocían estas partículas tiene que ser distribuida de forma homogénea y controlada, ya que se puede presentar aglomeración entre las partículas y presentar indicaciones erróneas.



Fig. 3.2. Equipo para realizar el ensayo por partículas magnéticas.

### 3.3. PRÁCTICA A DESARROLLAR EN ENSAYO POR TINTES PENETRANTES

Se procederá a la realización de la prueba no destructiva sobre un recipiente de alta presión en busca de defectos.

### 3.3.1. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A ENSAYAR

Cuando se realiza un ensayo no destructivo lo primero a realizar es la preparación de la superficie a examinar, se procederá a despintar la superficie de interés (ver, Fig. 3.3), remover el óxido con cepillo de alambre y lija para metal. Posteriormente, se aplica químico removedor de pintura y se espera 5 min para que el químico remueva la capa de pintura.



Fig. 3.3. Preparación de la superficie para realizar ensayo por líquidos penetrantes: a) Superficie con óxido; b) superficie con químico removedor de pintura aplicado; y c) superficie completamente limpia.

Finalmente, es de mucha importancia realizar la limpieza de manera correcta ya que los resultados dependerán de la condición de la superficie.

### 3.3.2. EJECUCIÓN DEL ENSAYO

En el instante de aplicar los líquidos penetrantes es necesario haber agitado muy bien las latas para garantizar la homogeneidad de los químicos de los cuales están compuestos. Se aplica de forma directa el limpiador (CLEANER), a la superficie que se ensayara (ver, Fig. 3.4), con abundante cantidad para garantizar que se limpie muy bien la superficie. El procedimiento se puede repetir hasta garantizar una óptima limpieza, se recomienda utilizar cepillo de alambre y trapos de algodón como herramientas de ayuda.



Fig. 3.4. Aplicación de líquido limpiador.

Posteriormente se aplica el líquido PENETRANTE, se rocía el líquido a una distancia de  $\sim 10$  cm separada de la zona de interés, como se presenta en la Fig. 3.5b. Como recomendación se puede aplicar un poco de líquido a otra zona o sobre una pieza de sacrificio con la finalidad de limpiar la boquilla del envase y verificar la forma de atomizar el líquido penetrante (ver, Fig. 3.5a).

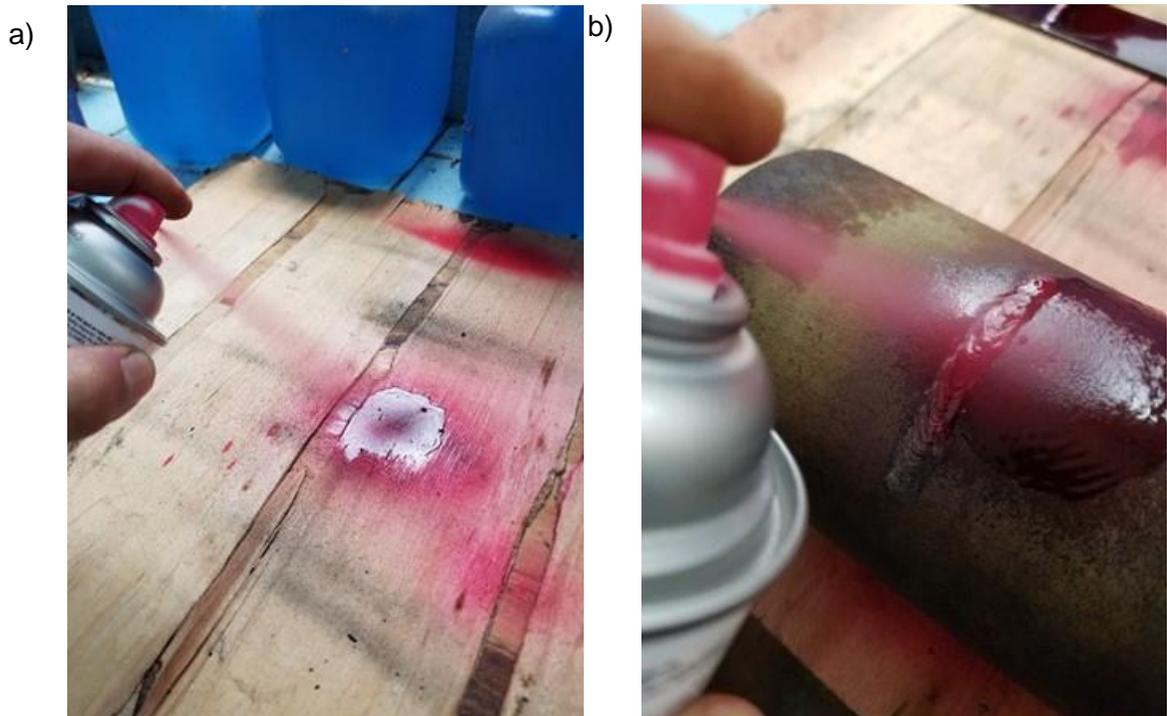


Fig. 3.5. Aplicación de líquido penetrante: a) Aplicación a superficie de sacrificio para limpieza de boquilla; y b) aplicación directa al material a ensayar.

En el instante de finalizar la aplicación del líquido penetrante esperar un lapso de 10 min para que el líquido tenga tiempo de penetrar en los poros del material. En la Tabla 3.2 se presentan los tiempos mínimos requeridos para la aplicación del líquido penetrante como del líquido revelador en la examinación.

Tabla 3.2. Tiempos mínimos para la examinación.

Material	Forma	Tipos de discontinuidad	Tiempo de permanencia, min	
			Penetrante	Revelador
Aluminio, magnesio, acero, latón, y bronce.	Fundiciones y soldadura	Pliques fríos, porosidad, falta de fusión, grietas (todas las formas)	5	10
Titanio y aleaciones a alta temperatura	Materiales forjados, extrusiones, forjas y planchas	Solapes, grietas (todas las formas)	10	10
Herramientas con punta de carbono	Fundiciones y soldadura	Falta de fusión, porosidad, grietas	5	10
Plástico	Todas las formas	Grietas	5	10
Vidrio	Todas las formas	Grietas	5	10
Cerámica	Todas las formas	Grietas	5	10

El siguiente paso es limpiar con trapos de algodón el exceso de líquido penetrante tal como se presenta en la Fig. 3.6. Este proceso se realiza con mucho cuidado ya que se pueden limpiar las verdaderas grietas que se están marcando por el líquido penetrante. Con el mismo producto limpiador (CLEANER) se aplica sobre un trapo para humedecerlo y luego frotarlo sobre la superficie donde se examinó para limpiar la superficie de inspección.



Fig. 3.6. Remoción de líquido penetrante previo a la aplicación del revelador.

Por último, inmediatamente después de la limpieza se aplica el REVELADOR (ver, Fig. 3.7), una capa fina del producto es deseable para que las indicaciones sean bien detalladas. Una capa demasiado gruesa de revelador puede provocar que el líquido penetrante no sea marcado. Se espera un lapso de 3 – 5 min para que las indicaciones se puedan marcar sobre la superficie de ensayo.



Fig. 3.7. Aplicación del líquido revelador.

### **3.3.3. LIMPIEZA FINAL DE LA SUPERFICIE**

Se remueve todo producto del ensayo con químicos limpiadores, se puede utilizar el mismo limpiador (CLEANER), con ayuda de un trapo humedecido (ver, Fig. 3.8), así se puede garantizar que la superficie quedará completamente limpia para un proceso de producción posterior.



Fig. 3.8. Limpieza final del ensayo por líquidos penetrantes.

### **3.4. PRÁCTICA A DESARROLLAR EN ENSAYOS POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

Se procederá a la realización de la prueba no destructiva sobre un recipiente de baja presión en busca de defectos.

#### **3.4.1. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A ENSAYAR**

El recipiente con el que se trabajará tiene un recubrimiento de pintura (ver, Fig. 3.9), se utiliza químico removedor de pintura, cepillo de alambre y lija para metal. Se aplica removedor de pintura en abundancia y se deja reposar hasta que la capa de pintura se logre separar de la superficie metálica, esta se logra observar a simple vista.

Posteriormente con ayuda del cepillo de alambre y lija para metal se remueven los restos de pintura que el removedor de pintura no logre desprender, hasta dejar la superficie sin ningún tipo de recubrimiento.

Este procedimiento se puede realizar las veces necesarias, hasta lograr obtener una superficie completamente limpia.

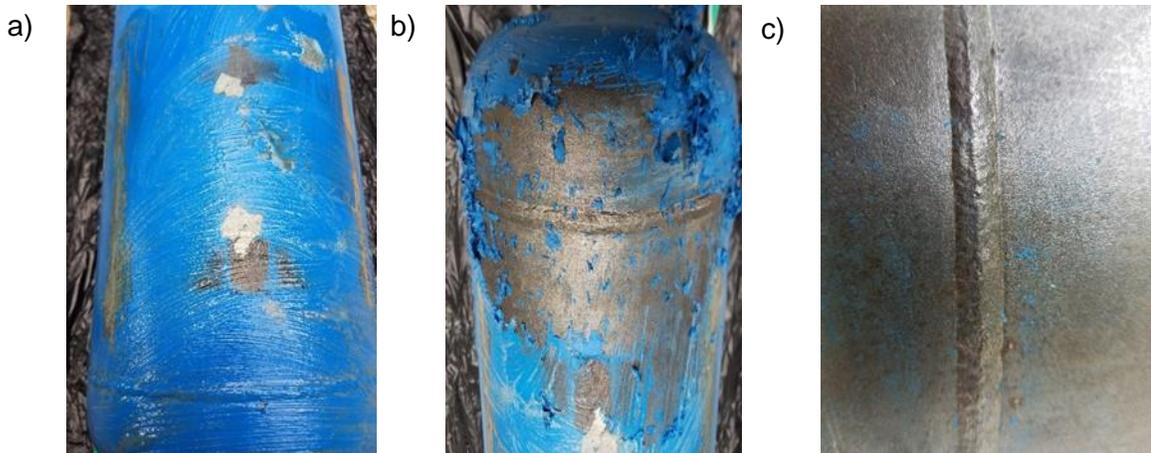


Fig. 3.9. Preparación de la superficie para el ensayo por partículas magnéticas: a) Superficie recubierta con químico removedor de pintura; b) pintura desprendida de la superficie a examinar; y c) superficie limpia.

### 3.4.2. EJECUCIÓN DEL ENSAYO

En el instante de ejecutar la prueba se debe posicionar las patas articuladas del yugo lo más abiertas posible, para abarcar mayor área de ensayo (ver, Fig. 3.10). Con el yugo apagado se posiciona en contacto con la superficie a ensayar, las patas del yugo se tienen que colocar perpendicular a la superficie para tener menor pérdidas en el campo magnético (ver, Fig. 3.11).



Fig. 3.10. Posicionamiento de las patas articuladas del yugo magnético.

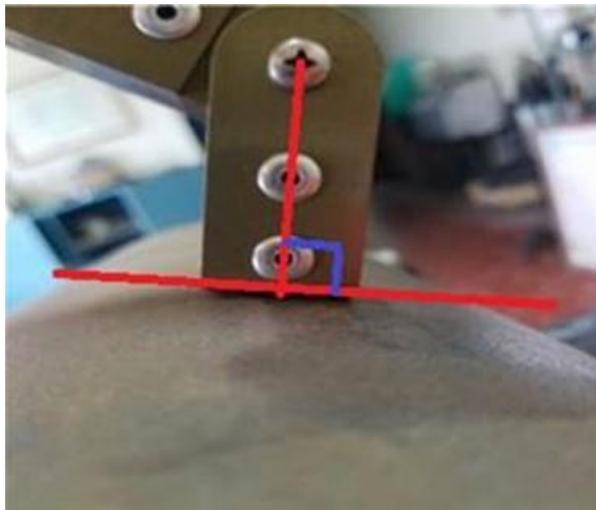


Fig. 3.11. Colocación correcta de la pata del yugo en la superficie.

Estando las patas en contacto directo con la superficie, se procede a encender el yugo magnético y se espera  $\sim 3$  s para que el campo magnético llegue a un valor numérico constante.

Cuando se ha establecido el campo magnético constante, se procede a esparcir las partículas ferromagnéticas, esto se logra con la ayuda de un abanico o atomizador. En la Fig. 3.12 se presenta como las partículas se tienen que esparcir de manera abundante para lograr marcar las indicaciones, a una

distancia de 10 a 15 cm de la superficie a examinar, con la finalidad de evitar aglomeraciones.



Fig. 3.12. Forma de esparcir las partículas ferromagnéticas.

Realizado las operaciones anteriores, tomará un tiempo máximo de 2 a 3 s para que las indicaciones sean marcadas por las partículas ferromagnéticas, se evidenciarán los resultados con fotografías tal como se presenta en la Fig. 3.13. Posteriormente se apaga el yugo magnético y se retira del material.



Fig. 3.13. Revelación de las indicaciones que se forman en el ensayo por partículas magnéticas.

El último paso es la desmagnetización del material, para ello se utiliza un pequeño pedazo de metal ferromagnético, en la Fig. 3.14 se presenta como se frota levemente sobre la superficie ensayada hasta que esta quede desmagnetizada, el material ensayado no tendrá atracción magnética con el pequeño metal.



Fig. 3.14. Desmagnetización de la superficie ensayada.

### 3.4.3. LIMPIEZA FINAL DE LA SUPERFICIE

Con la ayuda de un cepillo, tal como se presenta en la Fig. 3.15a, se remueven todas las partículas ferromagnéticas que queden sobre la superficie examinada. Ya que este ensayo no requiere algún tipo de líquido (ver, Fig. 3.15b), basta con limpiar la superficie utilizando un trapo de algodón humedecido con algún químico limpiador, en este caso se utilizará el mismo limpiador CLEANER.

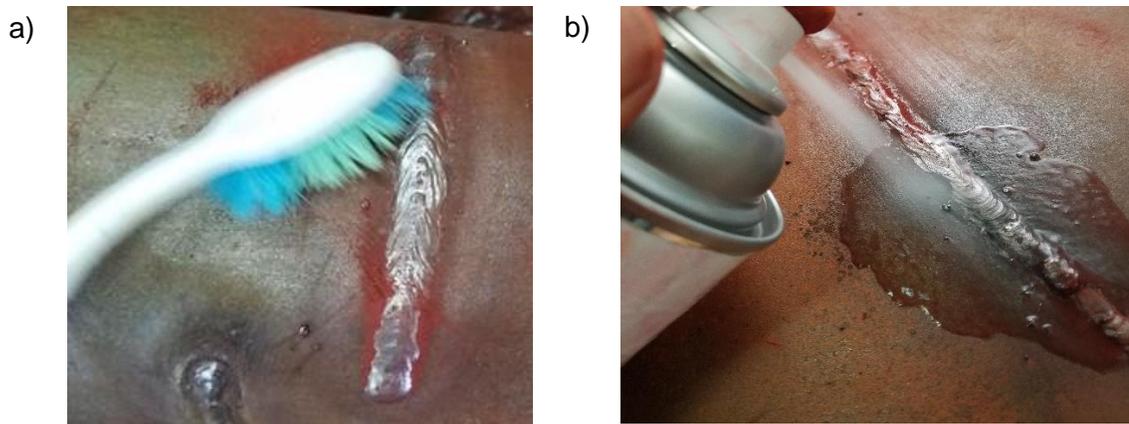


Fig. 3.15. Limpieza final de la superficie examinada: a) Cepillado; y b) con químico limpiador.

## **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Hasta este punto ya se realizaron las pruebas no destructivas necesarias para analizar la integridad de los cordones de soldadura de los recipientes a presión. A continuación, se analizan los resultados obtenidos y documentados para determinar bajo los criterios de aceptación de los documentos de referencia si estos cordones son aceptables o rechazados.

### **4.1. INTERPRETACIÓN DE INDICACIONES**

Lo que se manifiesta, en la superficie de interés, luego de haber realizado una prueba no destructiva se denomina indicación. Una indicación no es siempre una falla, pero una falla si es por completo una indicación. Esto se debe a que existen 3 tipos de indicaciones las cuales son [12]:

- a) Indicaciones relevantes: son todas aquellas que requieren corrección o descarte en el material. Las indicaciones relevantes requieren una evaluación con respecto a la aceptación de las normas acordadas entre el fabricante / organismos de prueba y el comprador [12].
- b) Indicaciones no relevantes. pueden ocurrir por separado o formando patrones que no requieren de una evaluación, pueden originarse en ranuras o perforaciones en una pieza, cambios de sección o el grabado/estampado de la misma [12].
- c) Indicaciones falsas. Estas generalmente se producen por errores en el instante de la inspección [12].

En la Fig. 4.1 se presenta un mapa conceptual que resume los pasos a seguir en el instante de realizar una prueba no destructiva [12].

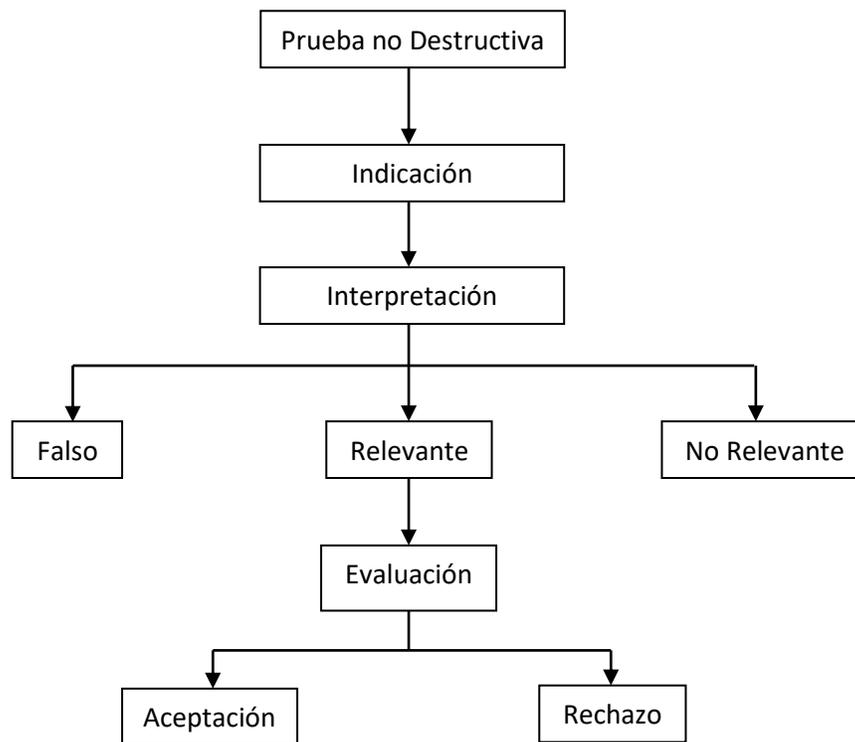


Fig. 4.1. Algoritmo para análisis de pruebas no destructivas.

## 4.2. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

Existen diversos documentos de referencia para la aprobación de los cordones de soldadura de los recipientes a presión, pero todos están enfocados en los mismos criterios que establecen un cordón de soldadura bien realizado o un mínimo porcentaje de defectos. A continuación, se hará mención de los criterios de aceptación más importantes a nivel internacional.

### 4.2.1. NORMA API 650

Criterios de aceptación para inspección visual en tanques de almacenamiento edición 2007, sección 8.5.2. Así, una soldadura será aceptable por examen visual si la inspección presenta lo siguiente [13]:

- a) No hay grietas de cráter, otras grietas superficiales o golpes de arco en o adyacentes a las juntas soldadas [13].
- b) La muesca máxima permitida es de 0.4 mm (1/64 pulg) de profundidad para juntas verticales a tope [13].
- c) La frecuencia de poros no debe exceder de una agrupación (uno o más poros) en 4 pulg de longitud y el diámetro de cada agrupación no debe exceder 2.5 mm (3/32 pulg) [13].

#### **4.2.2. AWS D1.1**

Para el caso de las pruebas no destructivas visual, líquidos penetrantes y partículas magnéticas los criterios de aceptación aplicables son básicamente los mismos, debido a que estas 3 pruebas son del tipo superficial como se explicó en el capítulo 1.

La evaluación de las indicaciones en la unión soldada o superficie podrán ser realizadas de acuerdo con los criterios de aceptación de la norma a utilizar. Una de las normas referenciales aplicables al presente procedimiento es:

- ✓ AWS D1.1 Secc. 6 / 6.9, 6.10, Tabla 6.1 Código de soldadura estructural. Que establece lo siguiente: “Todas las soldaduras deben ser inspeccionadas visualmente y serán aceptables si cumplen con los criterios de la Tabla 6.1. [14].

Tabla 4.1. Criterios de aceptación de la inspección visual.

Categoría de discontinuidad y criterio de inspección.	Conexiones no tubulares estáticamente cargadas	Conexiones no tubulares cíclicamente cargadas
1) Prohibición de grietas Cualquier grieta será inaceptable, sin considerar el tamaño o localización.	X	X
2) Fusión de soldadura / metal base Deberá existir una fusión completa entre los pases de soldadura y entre soldadura y metal base	X	X
3) Cráter de soldadura. Todos los cráteres serán rellenados, a fin de proveer el tamaño especificado de soldadura, excepto para los finales de soldadura de filete intermitente, fuera de su longitud efectiva.	X	X

#### 4.2.3. CÓDIGO ASME B31.3-2018

Este código ve por separado cada prueba no destructiva, sin embargo, los criterios de aceptación son los mismos para cada prueba. Este establece en el apartado 344.4.2 lo siguiente [15]:

Criterio de aceptación por líquidos penetrantes. Solamente las indicaciones que tienen cualquier dimensión mayor que 1.5 mm (1/16 pulg) deberán ser consideradas relevantes [15].

Todas las superficies a ser examinadas deberán estar libres de:

- ✓ Indicaciones lineales relevantes.
- ✓ Indicaciones redondeadas relevante > 5 mm (3/16 pulg).
- ✓ Cuatro o más indicaciones redondeadas relevantes en una línea separada por 1.5 mm (1/16 pulg o menos, de borde a borde) [15].

Al finalizar los criterios del código, este hace una referencia hacia otro código, código ASME sección V pruebas no destructivas, en este código se establecen todos los procedimientos para realizar las pruebas no destructivas a los cordones de soldadura de los recipientes a presión. Sin embargo, este código no establece criterios de aceptación propios, ya que hace referencia a

utilizar otros documentos de referencia para el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas no destructivas tales como la norma AWS D1.1, norma API 650, entre otros. Es por ello por lo que se han descritos criterios de aceptación de otros documentos distintos al código ASME sección V pruebas no destructivas.

#### 4.3. RESULTADOS DE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.

Se analizarán los resultados obtenidos del ensayo por líquidos penetrantes realizados a 2 recipientes a presión.

Se empieza con una inspección visual, en la Fig. 4.2 se evidencia una leve grieta de forma longitudinal o paralela al cordón de soldadura, como se observa con la ayuda de una regla, la medida longitudinal de esa grieta es aproximadamente 40 milímetros y como se estableció en los criterios de aceptación esta soldadura es totalmente rechazada.



Fig. 4.2. Grieta en el cordón de soldadura.

En la Fig. 4.3 se observa otra indicación, se logra apreciar la presencia de un poro en la superficie del Cordón de soldadura. Como ya se estableció en los criterios de aceptación, esta indicación representa una falla y como tal está sujeta a corrección para que este cordón sea aceptado, de lo contrario este cordón de soldadura es totalmente rechazado.



Fig. 4.3. Presencia de un poro en un cordón de soldadura.

En la Fig. 4.4 se presenta la evidencia de más poros en la superficie de la soldadura, se logra observar la continuidad homogénea del cordón de soldadura, no obstante, la falla está presente en la pieza. Se tiene que tener en cuenta según el criterio de aceptación con el cual se tiene trabajando que, si sobrepasa la cantidad de poros admitidos, el recipiente a presión queda completamente DESCARTADO.



Fig. 4.4. Poros encontrados en el cordón de soldadura.

La Fig. 4.5 corresponde a un cordón de soldadura el cual no presenta ninguna indicación en toda la cara superior del cordón. Este cordón de soldadura se realizó en una pletina de acero SAE 1020, cuyas dimensiones son las siguientes: 2 pulg de ancho, 12 pulg de largo y 0.25 pulg de espesor.

Así, como se puede evidenciar en la Fig. 4.5, el cordón no presenta en toda su longitud alguna pigmentación roja, esto sugiere que el cordón de soldadura no presenta falla alguna y es aprobado bajo cualquier criterio de aceptación con el que se está trabajando el proceso de soldadura.



Fig. 4.5. Cordón de soldadura sin defectos.

Al realizar la limpieza de la pletina y en particular el cordón de soldadura (ver, Fig. 4.6) se puede evidenciar el buen trabajo realizado y la excelente presentación que presenta dicho cordón.



Fig. 4.6. Cordón de soldadura realizado a una muestra de prueba.

Si se observa detenidamente en la Fig. 4.6, se logra apreciar al final del cordón de soldadura, que existe una leve socavación, originada por la falta de material de aporte. En este caso los criterios de aceptación toman a bien la

corrección de este defecto siempre y cuando no exceda de la medida máxima permitida.

Dado lo anterior, los ensayos no destructivos no son sustitucionales sino más bien complementarios. En la prueba de líquidos penetrantes no se evidencio tal defecto, pero en la inspección visual es claramente evidente la presencia de un defecto en el cordón de soldadura.

En la Fig. 4.7a se presenta en la zona central la presencia de pigmentación roja, lo que se caracteriza como poros. En la 4.7b se presenta un detalle acercamiento de la zona central de la Fig. 4.7a, en la cual se observa con mayor detalle la presencia de porosidad. Este grupo de poros puede ser medido y obtener un resultado cuantitativo con el fin de determinar si esta indicación provocará una aceptación o rechazo del material.

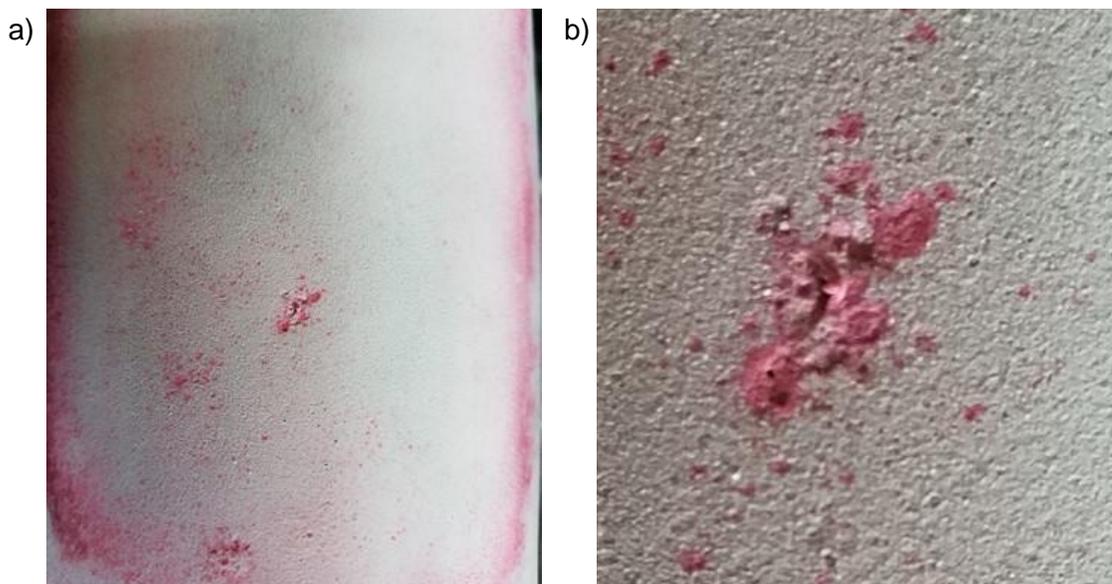


Fig. 4.7. Evidencia de poros sobre la superficie de examinación: a) Escala 1-1; y b) escala 1-5.

Todos los defectos encontrados hasta esta instancia se realizaron bajo inspección visual y líquidos penetrantes. Por otro lado, en la Fig. 4.8 se presenta la evidencia de defectos detectados mediante el método de ensayo por partículas magnéticas. Así, en la Fig. 4.8 se presentan dos (2) indicaciones, las cuales hasta un posterior análisis se podrán catalogar como defectos.



Fig. 4.8. Indicaciones reveladas bajo el método de ensayo por partículas magnéticas.

Al realizar un cordón de soldadura, siempre existirá una zona que se ve afectada térmicamente por el calor producido, la cual se conoce como zona afectada térmicamente (ZAT). Así, en la Fig. 4.9 se evidencia una concentración de partículas justo en las inmediaciones laterales del cordón de soldadura, esta indicación puede ser producto del cambio de alturas que se produce entre el cordón de soldadura y la superficie del recipiente o generadas por alguna discontinuidad interna en el material.



Fig. 4.9. Defectos en un cordón de soldadura, expuestas por partículas magnéticas.

En el párrafo anterior se logró evidenciar el defecto por medio del magnetismo. Pero como se explicó en el capítulo anterior existen indicaciones que tienen una orientación definida en el material, Fig. 4.10.



Fig. 4.10. Líneas de campo magnético uniforme.

En la Fig. 4.10 se presenta que las líneas de campo magnético de manera uniforme (sin campos de fuga) lo que indica que no existe defecto en la zona inspeccionada. Sin embargo, en la Fig. 4.11 se presenta que al girar el yugo magnético  $90^\circ$  y volver a aplicar el campo magnético se logra evidenciar dos (2) zonas de flujo disperso las cuales están evidenciando dos (2) fallas en el material, esto es debido a la orientación en la que se encuentra la falla. Por lo tanto, no siempre se encontrarán las fallas en los cordones de soldadura con los que se fabrican los recipientes a presión, es decir se pueden localizar más lejos o en las ZAT, tal como se demostró.

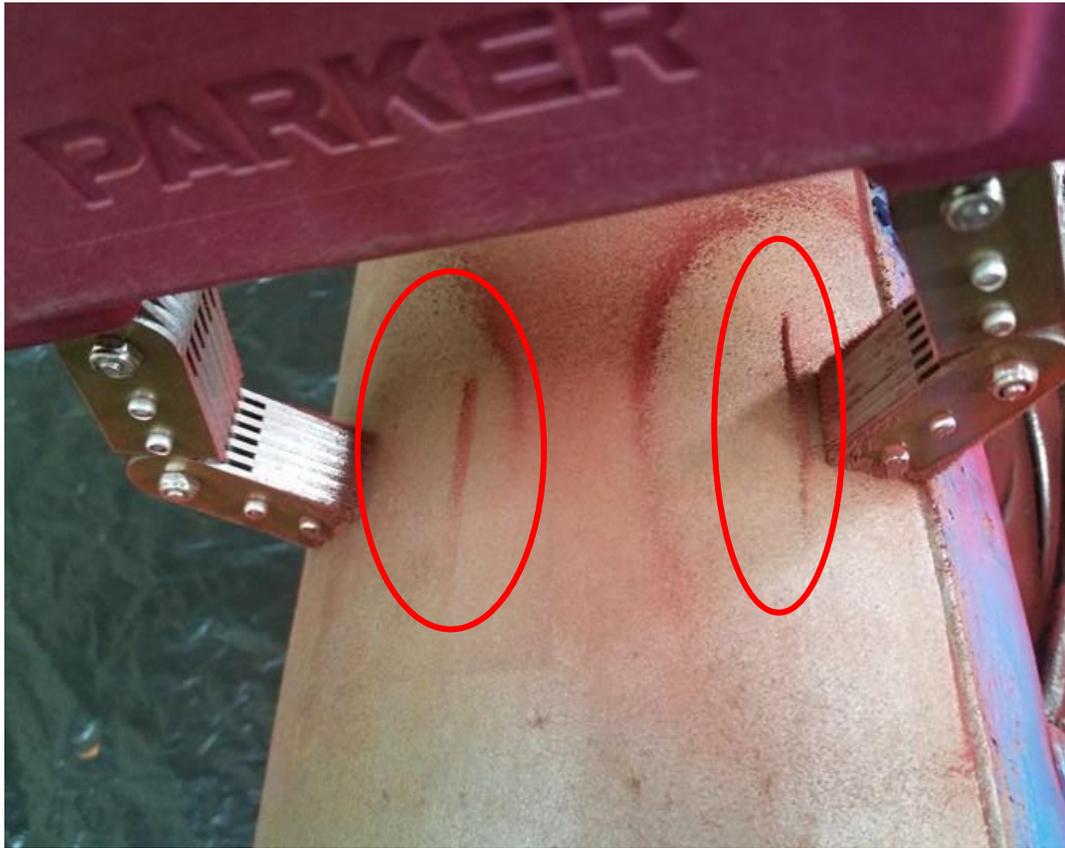


Fig. 4.11. Defectos expuestos bajo campo magnético.

Por otro lado, para lograr obtener más información sobre los defectos encontrados en los cordones de soldadura de los recipientes a presión, se han inducido defectos, a propósito, en una de las tapaderas que componen dicho elemento. Así, en la Fig. 4.12a se presenta el cordón de soldadura mal efectuado y se evidencia a simple vista una grieta justo en la parte central del cordón, esta imagen fue tomada en la parte interna del recipiente. En la Fig. 4.12b se presenta la evidencia de zonas de flujo disperso que confirman la presencia de fallas en el material.



Fig. 4.12. Defecto inducido a una de las tapaderas del recipiente a presión: a) Defecto inducido; y b) defecto reflejado por las partículas magnetizadas.

Realizando un acercamiento de la zona afectada (ver, Fig. 4.13) se aprecia la concentración de las partículas ferromagnéticas justo en la parte central del cordón de soldadura y en las zonas adyacentes a este.

Con esto se logra evidenciar las fallas presentes en el cordón de soldadura, y es una referencia muy clara de cómo se reflejaría una falla por grieta o fisuras sobre un proceso de soldadura de un recipiente a presión.



Fig. 4.13. Defectos inducidos a tapadera de recipiente a presión.

Además, en la Fig. 4.14 se presenta otro defecto inducido en el recipiente a presión, en esta ocasión se esmerilo la parte interna del recipiente con la finalidad de generar grietas en la superficie.



Fig. 4.14. Grietas inducidas en la parte interna del recipiente a presión.

Así, en la Fig. 4.15 se presenta una imagen durante el examen con partículas magnéticas, en la cual se observa alrededor del cordón de soldadura

una densidad mayor de partículas ferromagnéticas, evidenciando la presencia de una falla interna en el material.



Fig. 4.15. Evidencia de defectos en el material inspeccionado.

En la Fig. 4.16 se presenta un mejor enfoque de la zona examinada, en la cual se puede observar con mayor claridad dos (2) líneas de concentración de partículas ferromagnéticas que demarcan la falla inducida en el material, de esta manera se tendrá una referencia muy clara de cómo se observa una grieta en el interior del material.



Fig. 4.16. Fisuras detectadas por partículas magnéticas.

Finalmente, se han presentado distintos defectos tanto en los cordones de soldadura como también en zonas cercanas a dichos cordones; sin embargo, los criterios de aceptación dan la pauta de poder corregir dichos defectos. Así, el código ASME BPVC en su sección VIII (Caldera y Código de recipiente a presión), presenta la pauta para que estos cordones que presenten defecto puedan ser corregidos con la finalidad de ser aprobados los recipientes a presión, además de garantizar que el recipiente a presión cumple con las exigencias bajo las cuales se fabricó [16].

La norma UW-38 sobre reparación de defectos de soldadura, describe: Los defectos de soldadura, tales como rajaduras, agujeros y fusión incompleta, descubiertos visualmente o por prueba hidrostática o neumática o por las pruebas prescritas en UW-11 serán removidos por medios mecánicos o procesos térmicos, luego la junta se volverá a soldar. [16].

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos durante este trabajo se puede concluir que:

- ✓ Los mejores resultados que se obtienen para una prueba no destructiva por líquidos penetrantes o partículas magnéticas se dan cuando se utilizan productos químicos de limpieza en la superficie del material, confirmando de esta manera lo establecido en el código Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) como primer paso para la realización de una prueba no destructiva.
- ✓ Al inducir fallas mecánicas en los recipientes a presión examinados se determinó que las pruebas no destructivas superficiales son complementarias y no sustitucionales, ya que las fallas fueron reflejadas solo por el ensayo de partículas magnéticas y no por el ensayo de líquidos penetrantes.
- ✓ En la prueba no destructiva por partículas magnéticas el posicionamiento de las patas del yugo magnético sobre la superficie a examinar tiene que ser alternado 90° para que las posibles fallas puedan ser reflejadas en todas sus direcciones.
- ✓ Para la prueba no destructiva por líquidos penetrantes se evidencia de mejor manera los resultados cuando se respetan los tiempos de permanencia de los líquidos penetrantes y la temperatura de la pieza a examinar según lo que dice el fabricante del producto utilizado.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Calderón, J., y Scarpati, G. (enero-junio 2018). Los ensayos no destructivos (END) y su aplicación en la industria. Campus. Volumen (XXIII), Numero 25, 1-7. <https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/rc/article/view/1342/1101>
- [2] Rojas Rodríguez, D.A. (Junio 2016). Desarrollo y elaboración del manual de procedimientos de inspección para talleres aeronáuticos de reparación de ensayos no destructivos [Tesis de Ingeniería, Universidad Los Libertadores].
- [3] Echevarría, R.n (2003).n Líquidos penetrantes [Universidad Nacional Del Comahue, Facultad de Ingeniería, laboratorio de ensayos no destructivos], Pág. 3.
- [4] Rodríguez, D. (2021). Partículas Magnéticas, Centro de instrucción en soldadura – CISOLD. Juan Vicente Rosell G. (julio 2004). Partículas Magnéticas. Curso de formación de ingenieros europeos/internacionales de soldadura.
- [5] Soriano, A. (2021). Códigos, Normas y Especificaciones [INDURA tecnología a su servicio] [https://www.academia.edu/8489344/CODIGOS\\_NORMAS\\_Y\\_ESPECIFICACIONES](https://www.academia.edu/8489344/CODIGOS_NORMAS_Y_ESPECIFICACIONES)
- [6] ASTM Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. (2018). Práctica Estándar Para la Prueba Por Líquidos Penetrantes Para la Industria En General. E165/E165M-18
- [7] ASTM Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. (1995). Guía estándar para examen con partículas magnetizables. E709-95
- [8] Pontificia universidad católica del ecuador. Facultad de ingeniería. Escuela de civil. Elaboración de una metodología para la detección de fallas en estructuras metálicas empleando técnicas no destructivas. Eduardo Esteban Espinoza Aguilar. Quito, mayo 2019.
- [9] Curso de tintes penetrantes (2020), Carlos Mella. CISOLD. Centro de instrucción en soldadura, Lima. Perú.
- [10] ILOG S.A. de C.V. (2021). El primer nombre en pruebas no destructivas. Curso Partículas Magnéticas. [www.ilogsa.com](http://www.ilogsa.com).
- [11] CANTESCO welding chemical products (2021) Agentes de Ensayos No Destructivos. Inspeccion de tintura penetrante cantesco.

- [12] Norma ASTM E1316. Terminología estándar para exámenes no destructivos. Alcances. (1999).
- [13] Norma API 650. Tanques soldados para almacenamiento de petróleo. 8.5  
examinación visual. Edición 2020.
- [14] American Welding Society. Código de soldadura estructural – acero.  
Traducción de la segunda impresión agosto de 2016. AWS D1.1 Sección 6.
- [15] Código ASME B31.1 Tuberías de proceso. Capítulo VI. 344 tipos de  
examinación, edición 2018.
- [16] ASME BPVC sección VIII reglas para la construcción de recipientes a  
presión. División 1. Subsección B, parte UW. Edición 1992.

# ANEXO A



Oferta: 24252

San Salvador, Lunes 8 de agosto de 2022

Sucursal San Salvador: INFRA de El Salvador S.A. de C.V. / 2

Número de cliente: 99999

Contacto FRANCO ORELLANA ESTUDIANTE UES

Dirección FRANCO ORELLANA ESTUDIANTE UES /  
General Numero / San Salvador / SV

Tenemos el agrado de presentar nuestros productos por medio de la cotización pendiente

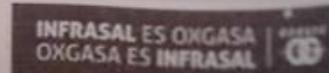
Línea	Imagen	Producto	Descripción	Cantidad	Precio neto	Total
10		2412260	Bote liquido limpiador 5034	1 Unidad	9.98 USD / 1 Unidad	9.98 USD
Precio de lista			9.98 USD / 1 Unidad		9.98 USD	
Valor total neto de posición			9.98 USD		9.98 USD	
FRANCO ORELLANA ESTUDIANTE UES						
20		2412261	Bote liquido revelador 5051	1 Unidad	11.40 USD / 1 Unidad	11.40 USD
Precio de lista			11.40 USD / 1 Unidad		11.40 USD	
Valor total neto de posición			11.40 USD		11.40 USD	
FRANCO ORELLANA ESTUDIANTE UES						
30		2412262	Bote liquido penetrante 5053	1 Unidad	12.77 USD / 1 Unidad	12.77 USD
Precio de lista			12.77 USD / 1 Unidad		12.77 USD	
Valor total neto de posición			12.77 USD		12.77 USD	
FRANCO ORELLANA ESTUDIANTE UES						

Valor total neto de posición 34,15 USD  
 Impuesto sobre el valor añadido (%) 13,00 % 4,44 USD  
**Total 38,59 USD**

Condiciones Generales

Forma de pago: Contado

SOLUCIONES EN:  
 / GASES / INDUSTRIA / MEDICA / SERVICIO TÉCNICO





**Orden GDSN40139**  
02 de enero de 2022 11:46

**Dirección de envío**  
**Estado de pago:** Facturado  
Juan Vásquez  
5407 Tiffany Dr. Houston TX  
77045  
Houston, Texas  
Estados Unidos 77045  
8324174066

**Dirección de Envío**  
**Estado de**  
**Cumplimiento:** Cumplido  
Juan Vásquez  
5407 Tiffany Dr. Houston TX  
77045  
Houston, Texas  
Estados Unidos 77045  
8324174066

Producto	SKU	Precio	Cantidad	Total
<u>Polvo magnético rojo para detección de grietas - 1 lb.</u> Cumplido el 4 de enero FedEx <u>n.º 508361138766</u>	WCD-103-G	\$10.99	1	\$10.99
Total, parcial				\$10.99
Envío (FedEx Express Saver ®)				\$11.28
<b>Total</b>				<b>\$22,27 USD</b>