
CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
i. ¿Qué son las pruebas no destructivas?	3
ii. Antecedentes históricos	3
iii. Falla de materiales	3
iv. Clasificación de las pruebas o ensayos no destructivos	6
v. Razones para el uso de PND	7
vi. Factores para la selección de las PND	7
vii. Calificación y certificación del personal de PND	8
I PRINCIPIOS DE LÍQUIDOS PENETRANTES	12
i. Principios básicos	12
ii. Antecedentes históricos	12
iii. Aplicaciones	13
iv. Ventajas	13
v. Limitaciones	14
vi. Procedimiento básico para la inspección por líquidos penetrantes	14
vii. Tipos de materiales penetrantes comerciales disponibles	16
viii. Mecanismo de penetración	20
ix. Propiedades físicas de los penetrantes	22
x. Limpiadores (removedores) y emulsificadores	24
xi. Reveladores	25
II PROCESO DE INSPECCIÓN	29
i. Preparación y limpieza de las superficies inspeccionadas	33
ii. Aplicación del penetrante y tiempo de penetración	36
iii. Remoción del exceso de penetrante	40
iv. Aplicación del revelador	44
v. Inspección	46
vi. Limpieza posterior	53

III	SELECCIÓN DEL PROCESO DE INSPECCIÓN	54
i.	Ventajas y limitaciones de los procesos de inspección	55
IV	MATERIALES PENETRANTES	59
i.	Penetrantes visibles	59
ii.	Penetrantes fluorescentes	60
iii.	Reveladores	61
V	DOCUMENTOS	63
i.	Códigos, normas o estándares y especificaciones	63
ii.	Procedimientos de inspección	65
iii.	Reporte de resultados	67
iv.	Criterios de aceptación y rechazo	67
VI	BLOQUES COMPARADORES Y DE REFERENCIA	71
i.	Bloque comparador de aluminio agrietado	71
ii.	Panel de prueba con superficie de níquel-cromo agrieta	72
iii.	Bloque comparador con indicaciones superficiales	73
VII	APLICACIONES DE LA INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	76
i.	Fundiciones	76
ii.	Soldaduras	77
iii.	Forjas	78
iv.	Piezas maquinadas y ensambles	79
v.	Piezas no metálicas	79
vi.	Inspección en campo y en servicio	80
VIII	GLOSARIO DE TÉRMINOS	81
IX	ANEXOS	85

INTRODUCCIÓN

i. ¿Qué son las Pruebas No Destructivas?

Las Pruebas no Destructivas son herramientas fundamentales y esenciales para el control de calidad de materiales de ingeniería, procesos de manufactura, confiabilidad de productos en servicio, y mantenimiento de sistemas, cuya falla prematura puede ser costosa o desastrosa. Así como la mayoría de los procedimientos complejos, no pueden ser definidas en pocas palabras por lo que se consideran como: *“El empleo de propiedades físicas o químicas de materiales, para la evaluación indirecta de materiales sin dañar su utilidad futura”*.

Se identifican con las siglas PND, y se consideran como sinónimos Ensayos no destructivos (END), inspecciones no destructivas y exámenes no destructivos.

ii. Antecedentes históricos

El método de prueba no destructiva original, y más antiguo, es la inspección visual, una extensión de esta prueba son los líquidos penetrantes, el inicio de estos es considerado con la técnica del aceite y el talco. A continuación, se proporciona una lista de acontecimientos históricos relacionados con descubrimientos y aplicaciones de las pruebas no destructivas.

- 1868 Primer intento de trabajar los campos magnéticos
- 1879 Hughes establece un campo de prueba
- 1879 Hughes estudia las Corrientes Eddy
- 1895 Roentgen estudia el tubo de rayos catódicos
- 1895 Roentgen descubre los rayos X
- 1896 Becquerel descubre los rayos Gamma
- 1900 Inicio de los líquidos penetrantes en FFCC
- 1911 ASTM establece el comité de la técnica de MT
- 1928 Uso industrial de los campos magnéticos
- 1930 Theodore Zuschlag patenta las Corrientes Eddy
- 1931 Primer sistema industrial de Corrientes Eddy instalado
- 1941 Aparecen los líquidos fluorescentes
- 1945 Dr. Floy Firestone trabaja con Ultrasonido
- 1947 Dr. Elmer Sperry aplica el UT en la industria

iii. Falla en materiales

Aclaremos la diferencia entre productos, de acuerdo con sus aplicaciones:

- Algunos productos son usados únicamente como decorativos, o tienen requisitos de resistencia a los esfuerzos tan bajos que son normalmente sobre diseñados, estos materiales pueden requerir la inspección solamente para asegurar que mantienen su calidad de fabricación, tal como el color y acabado.
- Los productos o materiales que necesitan pruebas y evaluación cuidadosa son aquellos utilizados para aplicaciones en las cuales deben soportar cargas; bajo esas condiciones la *falla* puede involucrar: sacar de operación y desechar el producto, reparaciones costosas, dañar otros productos y la pérdida de la vida humana.

Se define como falla a: “*el hecho que un artículo de interés no pueda ser utilizado*”.

Aunque un artículo fabricado es un producto, el material de ese producto puede fallar, así que los tipos de falla del material y sus causas son de gran interés. Existen dos tipos generales de falla: una es fácil de reconocer y corresponde a la *fractura o separación* en dos o más partes; la segunda es menos fácil de reconocer y corresponde a la *deformación permanente o cambio de forma y/o posición*.

Es de gran importancia conocer el tipo de falla que pueda esperarse, para saber:

- ¿Por qué se realiza la inspección?
- ¿Qué método de inspección se debe utilizar?
- ¿Cómo se inspecciona?
- ¿Cómo se elimina la falla?, y
- ¿Cómo se reduce el riesgo de falla?

Si se espera prevenir la falla por medio del uso de pruebas no destructivas, éstas deben ser seleccionadas, aplicadas y los resultados deben ser interpretados con cuidado y basándose en el conocimiento válido de los mecanismos de falla y sus causas. El propósito del diseño y aplicación de las pruebas debe ser el control efectivo de los materiales y productos, con el fin de satisfacer un servicio sin que se presente la falla prematura o un daño.

El conocimiento de materiales y sus propiedades es muy importante para cualquier persona involucrada con las pruebas no destructivas. La mayoría de las pruebas están diseñadas para permitir la detección de algún tipo de falla interior o exterior, o la medición de algunas características, de un solo material o grupos de materiales.

La fuente de la falla puede ser:

- Una discontinuidad
- Un material químicamente incorrecto, o
- Un material tratado de tal forma que sus propiedades no son adecuadas.

Discontinuidad

Una falta de continuidad o cohesión; una interrupción o variación, intencional o no intencional, en la estructura o configuración física normal de un material o componente.

Se considera como discontinuidad a cualquier cambio en la geometría, huecos, grietas, composición, estructura o propiedades.

Las discontinuidades pueden ser intencionales o no intencionales. Algunas discontinuidades, como barrenos o formas de superficies, son intencionales por el diseño, normalmente estas no requieren ser inspeccionadas. Otras discontinuidades son inherentes en el material por su composición química o su estructura, estas discontinuidades pueden variar ampliamente en tamaño, distribución e intensidad, dependiendo del material, el tratamiento térmico, el proceso de fabricación, las condiciones y el medio ambiente al que están expuestos los materiales.

En general, existen dos clasificaciones de discontinuidades:

1. Por su forma:

- Volumétricas - Descritas porque tienen tres dimensiones o volumen
- Planas - Descritas porque son delgadas en una dimensión y grandes en las otras dos dimensiones

2. Por su ubicación:

- Superficiales - Descritas porque se encuentran abiertas a la superficie
- Internas - Descritas porque no interceptan la superficie

Otras clasificaciones de discontinuidades:

- Relevantes - Son aquellas que por alguna de sus características (longitud, diámetro, ubicación, forma, etc.) deben ser interpretadas, evaluadas y reportadas.
- No relevantes - Son aquellas que por sus características se interpretan pero no se evalúan, y que deberían ser registradas.
- Lineales - Son aquellas con una longitud mayor que tres veces su ancho.
- Redondas - Son aquellas de forma elíptica o circular que tienen una longitud igual o menor que tres veces su ancho.

Defecto

Es una o más discontinuidades o fallas, cuyo tamaño agregado, forma, orientación, localización o propiedades no cumplen con un criterio de aceptación especificado y que es rechazada.

También puede definirse como una discontinuidad que excede los criterios de aceptación establecidos, o que podría generar que el material o equipo falle cuando sea puesto en servicio o durante su funcionamiento.

Indicación

Es la respuesta o evidencia de una respuesta, que se obtiene al aplicar alguna Prueba no Destructiva.

Se clasifican en tres tipos:

- Indicaciones falsas - Una indicación que se interpreta como que ha sido producida por otra causa que no sea una discontinuidad. Se presentan normalmente por la aplicación incorrecta de la prueba.

- Indicaciones no relevantes – Una indicación que se produce por una condición o tipo de discontinuidad que no es rechazada. Son creadas normalmente por el acabado superficial o la configuración del material.
- Indicaciones verdaderas – Una indicación que se produce por una condición o tipo de discontinuidad que requiere evaluación. Son aquellas producidas por discontinuidades.

Al aplicar una prueba no destructiva los técnicos observan indicaciones, por lo que deben determinar cuáles son producidas por discontinuidades.

iv. Clasificación de las pruebas o ensayos no destructivos

La clasificación de las pruebas no destructivas se basa en la posición en donde se localizan las discontinuidades que pueden ser detectadas, por lo que se clasifican en:

1. Pruebas no destructivas superficiales.
2. Pruebas no destructivas volumétricas.
3. Pruebas no destructivas de hermeticidad.

1. Pruebas no destructivas superficiales

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad superficial de los materiales inspeccionados. Las PND superficiales son:

VT - Inspección Visual

PT - Líquidos Penetrantes

MT - Partículas Magnéticas

ET - Electromagnetismo

En el caso de VT y PT se tiene la limitante para detectar únicamente discontinuidades superficiales (abiertas a la superficie); con MT y ET se tiene la posibilidad de detectar tanto discontinuidades superficiales como sub-superficiales (las que se encuentran debajo de la superficie pero muy cercanas a ella).

2. Pruebas no destructivas volumétricas

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad interna de los materiales inspeccionados. Las PND volumétricos son:

RT - Radiografía Industrial

UT - Ultrasonido Industrial

AE - Emisión Acústica

Estos métodos permiten la detección de discontinuidades internas y sub-superficiales, así como bajo ciertas condiciones, la detección de discontinuidades superficiales.

3. Pruebas no destructivas de hermeticidad

Estas proporcionan información del grado en que pueden ser contenidos los fluidos en recipientes, sin que escapen a la atmósfera o queden fuera de control. Las PND de hermeticidad son:

- Pruebas de Fuga
 - Pruebas por Cambio de Presión (Neumática o hidrostática).
 - Pruebas de Burbuja
 - Pruebas por Espectrómetro de Masas
 - Pruebas de Fuga con Rastreadores de Halógeno
-

v. Razones para el uso de PND

Además de la detección y evaluación de discontinuidades, las PND son usadas para:

- La medición de dimensiones
 - Detectar fuga y su evaluación
 - Determinar localización y su evaluación
 - Caracterizar estructura o micro-estructura
 - Estimación de propiedades mecánicas y físicas
 - Identificar o separar materiales
 - Uniformidad en la producción
 - Ahorro en los costos de producción
 - Eliminar materia prima defectuosa
 - Mejoras en los sistemas de producción
 - Asegurar la calidad en el funcionamiento de sistemas en servicio, en plantas o diversos tipos de instalaciones, y prevenir la falla prematura durante el servicio
 - Diagnóstico después de la falla para determinar las razones de la misma.
-

vi. Factores para la selección de las PND

Se considera que existen seis factores básicos involucrados en la selección de las PND

- Las razones para efectuar la PND
 - Los tipos de discontinuidades que son de interés en el objeto
 - El tamaño y la orientación de las discontinuidades que se necesitan detectar
 - La localización o ubicación de las discontinuidades que son de interés
 - El tamaño y la forma del objeto a inspeccionar
 - Las características del material que va a ser inspeccionado
-

vii. Calificación y certificación del personal de PND

Para aplicar las pruebas no destructivas se requiere:

- La calificación del método de inspección utilizado – Las PND deben llevarse a cabo de acuerdo con procedimientos escritos, que en ciertos casos deberían ser previamente calificados.
- La calificación del personal que realiza la inspección – Se considera que el éxito de cualquier prueba no destructiva es afectado *“principalmente por el personal que realiza, interpreta y/o evalúa los resultados de la inspección”*. Por esto, los técnicos que ejecutan las PND deben estar calificados y certificados.
- La administración del proceso de calificación y del personal para asegurar resultados consistentes – Actualmente existen dos programas aceptados para la calificación y certificación del personal que realiza PND, además de uno nacional.

Estos programas son:

- La Práctica Recomendada SNT-TC-1A, editada por ASNT,
- La Norma ISO-9712, editada por ISO, y
- La Norma Mexicana NMX-B-482.

SNT-TC-1A

Es una Práctica Recomendada que proporciona los lineamientos para el programa de calificación y certificación del personal de PND de una empresa. Es emitida por ASNT.

ASNT

American Society For Nondestructive Testing (Sociedad Americana de Ensayos No Destructivos).

ISO 9712

Es una Norma Internacional que establece un sistema para calificar y certificar, por medio de una agencia central nacional, el personal que realiza PND en la industria.

ISO

International Organization for Standardization (Organización Internacional para Normalización).

CALIFICACIÓN

Es el cumplimiento documentado de requisitos de escolaridad, entrenamiento, experiencia y exámenes (teóricos, prácticos y físicos); establecidos en un programa escrito (procedimiento interno de la empresa, de acuerdo con SNT-TC-1A; o norma nacional, de acuerdo con ISO-9712).

El documento SNT-TC-1A considera que la empresa debe establecer un procedimiento o práctica escrita, para el control y administración del entrenamiento, experiencia, exámenes y certificación del personal de PND.

La práctica o procedimiento escrito de la empresa debe describir la responsabilidad de cada nivel de certificación para determinar la aceptación de materiales o componentes, de acuerdo con códigos, estándares, especificaciones y procedimientos aplicables. Además, debe describir los requisitos de entrenamiento, experiencia y exámenes para cada método y nivel de certificación.

La práctica escrita debe ser revisada y aprobada por el Nivel III en PND de la empresa, la cual debe mantenerse archivada.

Existen tres niveles básicos de calificación, los cuales pueden ser subdivididos por la empresa o el país para situaciones en las que se necesiten niveles adicionales para trabajos y responsabilidades específicas.

Niveles de Calificación

Nivel I

Es el individuo calificado para efectuar calibraciones específicas, para efectuar PND específicas, para realizar evaluaciones específicas para la aceptación o rechazo de materiales de acuerdo con instrucciones escritas, y para realizar el registro de resultados.

El personal Nivel I debe recibir la instrucción o supervisión necesaria de un individuo certificado como nivel III o su designado.

Nivel II

Es el individuo calificado para ajustar y calibrar el equipo y para interpretar y evaluar los resultados de prueba con respecto a códigos, normas y especificaciones. Está familiarizado con los alcances y limitaciones del método y puede tener la responsabilidad asignada del entrenamiento en el lugar de trabajo de los niveles I y aprendices. Es capaz de preparar instrucciones escritas y organizar y reportar los resultados de prueba.

Nivel III

Es el individuo calificado para ser el responsable de establecer técnicas y procedimientos; interpretar códigos, normas y especificaciones para establecer el método de prueba y técnica a utilizarse para satisfacer los requisitos; debe tener respaldo práctico en tecnología de materiales y procesos de manufactura y estar familiarizado con métodos de PND comúnmente empleados; es responsable del entrenamiento y exámenes de niveles I y II para su calificación.

Capacitación (entrenamiento)

Es el programa estructurado para proporcionar conocimientos teóricos y desarrollar habilidades prácticas en un individuo, a fin de que realice una actividad definida de ensayo.

Experiencia Práctica

No se puede certificar personal que no tenga experiencia en la aplicación de PND, por lo que:

- El técnico Nivel I: Debe adquirir experiencia como aprendiz.
- El técnico Nivel II: Debe trabajar durante un tiempo como nivel I.
- El técnico Nivel III: Debió ser aprendiz, nivel I y haber trabajado al menos uno o dos años como nivel II.

Esta experiencia debe demostrarse con documentos, que deben mantenerse en expedientes o archivos para su verificación.

Exámenes Físicos

Tienen la finalidad de demostrar que el personal que realiza las PND es apto para observar adecuada y correctamente las indicaciones obtenidas.

Los exámenes que se requieren son:

- Agudeza visual lejana, o
- Agudeza visual cercana, y
- Discriminación cromática.

Para los exámenes de agudeza visual, el técnico debe ser capaz de leer un tipo y tamaño de letra específicos a una cierta distancia; de acuerdo con SNT-TC-1A el examen se realiza usando la carta Jaeger y se debe leer el tamaño de letra J2 a una distancia no menor de 30 cm (12 pulgadas); En el caso del examen de diferenciación de colores, debe ser capaz de distinguir y diferenciar los colores usados en el método en el cual será certificado.

Exámenes

Los exámenes administrados para calificación de personal nivel I y II consisten de un examen general, un específico y un práctico. De acuerdo con SNT-TC-1A, la calificación mínima aprobatoria, de cada examen, es de 70% y, además, el promedio simple mínimo de la calificación de los tres exámenes es de 80%.

CERTIFICACIÓN

La certificación es el testimonio escrito de la calificación. La certificación del personal de PND de todos los niveles es responsabilidad de la empresa contratante (de acuerdo con SNT-TC-1A) o de la agencia central (de acuerdo con ISO-9712), y debe basarse en la demostración satisfactoria de los requisitos de calificación.

El documento SNT-TC-1A recomienda contar con registros de certificación del personal, los cuales deben mantenerse archivados por la empresa durante el tiempo especificado en el procedimiento escrito de la empresa, y deberían incluir lo siguiente:

1. Nombre del individuo certificado.
2. Nivel de certificación y el método de PND.
3. Educación (escolaridad) y el tiempo de experiencia del individuo certificado.
4. Establecer que se ha cumplido en forma satisfactoria con el entrenamiento, de acuerdo con los requisitos de la práctica escrita de la empresa.
5. Resultados de los exámenes de la vista para el periodo de certificación vigente.
6. Copias de los exámenes o evidencia del cumplimiento satisfactorio de los mismos.
7. Otras evidencias adecuadas de calificaciones satisfactorias, cuando tales calificaciones sean usadas para la exención del examen específico como se describa en la práctica escrita de la empresa.

8. Calificación compuesta o evidencia adecuada de las calificaciones.
9. Firma del Nivel III que verifica la calificación del candidato para su certificación.
10. Fecha de certificación y / o re-certificación, y la fecha de asignación a PND.
11. Fecha en la que expira la certificación.
12. Firma de la autoridad certificadora del empleador.

La certificación tiene validez temporal únicamente. ISO y ASNT establecen un periodo de vigencia de la certificación de:

- Cinco años para los niveles I, II y III.

Todo el personal de PND debe ser re-certificado, de acuerdo con SNT-TC-1A basándose en uno de los siguientes criterios:

- Evidencia de continuidad laboral satisfactoria en Pruebas no Destructivas.
- Reexaminación.

i. Principios básicos

La inspección por Líquidos Penetrantes puede ser definida como un procedimiento de ensayo no destructivo diseñado para detectar y exponer discontinuidades superficiales en materiales de ingeniería.

En muchas ocasiones, es la segunda prueba no destructiva considerada para la inspección de productos en la industria, gracias a que:

- 1) El costo de su implementación es bastante económico,
- 2) Puede ser realizada en una gran variedad de materiales, objetos, formas, tamaños, ubicaciones y condiciones del medio ambiente.

Sin embargo, los resultados son grandemente dependientes del factor humano.

La longitud de las discontinuidades, sobre la superficie de las piezas inspeccionadas, puede ser muy exactamente determinada, pero su profundidad, a la cual se extienden por debajo de la superficie en la que están expuestas, no puede ser determinada.

En todos los casos, la inspección por líquidos penetrantes es críticamente dependiente de la limpieza de las superficies del material inspeccionado, la ausencia de contaminación o condiciones superficiales que puedan cerrar las aberturas superficiales, y el cuidado del técnico para asegurar una técnica adecuada y la observación de las indicaciones.

ii. Antecedentes históricos

La inspección por líquidos penetrantes es uno de los métodos de ensayos no destructivos más antiguos. Basado en el viejo proceso conocido como “*el aceite y el blanqueador*”, figura No. 1. Sus principios se originan en los talleres de mantenimiento de ferrocarriles. A finales del siglo XIX la parte a inspeccionar era sumergida en aceite usado, después de unos pocos minutos de penetración la parte era limpiada hasta eliminar el exceso de penetrante y entonces la parte se cubría con una mezcla de talco y alcohol. Donde existían grietas, el aceite atrapado era exudado, haciéndolas visibles.

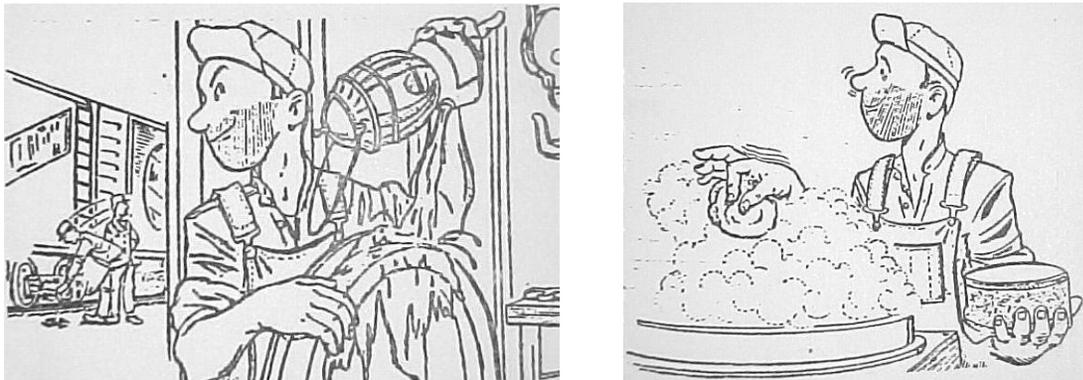


Figura No. 1: El aceite y el blanqueador

Luego de algunos años, el método fue reemplazado por partículas magnéticas para inspección de materiales ferromagnéticos. Sin embargo, para las industrias que utilizaban materiales no ferromagnéticos o no ferrosos, especialmente en la industria aeronáutica, era necesario contar con un método más confiable y sofisticado que el antiguo método del aceite y blanqueador, entonces, el método de inspección fue refinado.

En 1941 se agregaron tintes colorantes fluorescentes a los aceites usados como penetrantes, para que las discontinuidades superficiales fueran visibles bajo luz ultravioleta, como indicaciones luminosas con alto contraste. Luego, fueron agregados tintes colorantes, principalmente un rojo brillante. Desde entonces, un gran número de penetrantes y reveladores ha sido desarrollado.

La inspección por penetrantes también ha sido usada para detectar fugas en contenedores, se aplica el mismo principio básico, solo que la remoción del exceso de penetrante puede ser omitida. El contenedor es llenado con penetrante, o el penetrante es aplicado por un lado del contenedor y el revelador es aplicado en el lado opuesto, el cual es inspeccionado después de permitir un tiempo de penetración razonable.

iii. Aplicaciones

El método de inspección por líquidos penetrantes es ampliamente utilizado en diferentes ramas de la industria, como: metalmecánica, aeronáutica, naval, construcción, etc.

Se aplica en:

- Inspección de materia prima;
- Inspección en proceso;
- Inspección de producto terminado;
- Mantenimiento de equipo y maquinaria;

Se utiliza para la inspección de materiales metálicos magnéticos (hierro, acero, etc.) y no magnéticos (aceros inoxidables, aluminio, aleaciones de cobre, etc.), o materiales no metálicos (plásticos, vidrios o cerámicas), encontrándose en condición como soldados, fundidos, forjados, rolados, etc.

iv. Ventajas

Las principales ventajas del método de inspección por líquidos penetrantes son:

- Se puede aplicar en la inspección de piezas de forma compleja
 - La inspección puede realizarse en una variedad de materiales
 - La inspección es de bajo costo
 - La inspección es relativamente sencilla
 - No se requiere suministro de energía eléctrica
 - El equipo puede ser tan sencillo que solamente se requiera un pequeño conjunto de botes a presión
 - La inspección puede ser automatizada en sistemas de inspección
 - La inspección puede llevarse a cabo en el sitio en el que se localiza el material de interés
-

v. Limitaciones

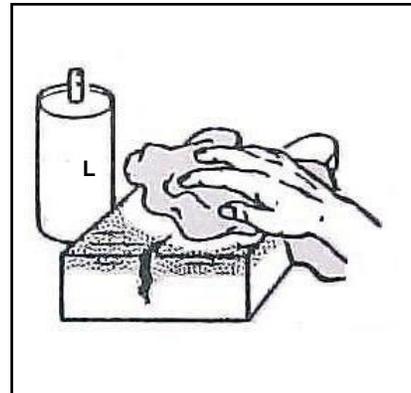
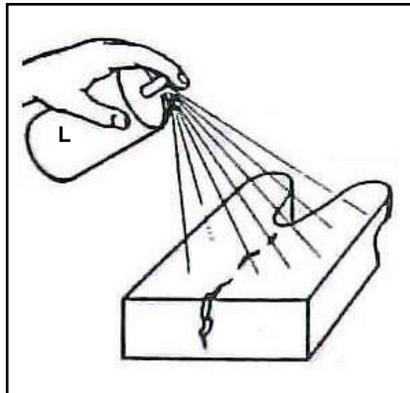
Las limitaciones del método de inspección por líquidos penetrantes son:

- Solo pueden ser detectadas discontinuidades que estén abiertas a la superficie
- La inspección se torna difícil en superficies rugosas
- La interpretación de los resultados requiere técnicos experimentados
- El éxito de la inspección depende de la preparación y limpieza de la superficie
- La inspección no puede ser aplicada en materiales porosos
- No se puede determinar la profundidad de una discontinuidad

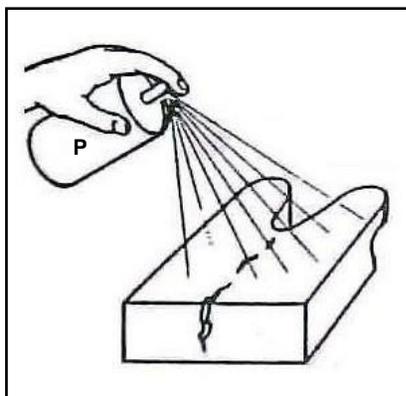
vi. Procedimiento básico para la inspección por líquidos penetrantes

El procedimiento de inspección por penetrantes es bastante sencillo y consiste en seis pasos básicos.

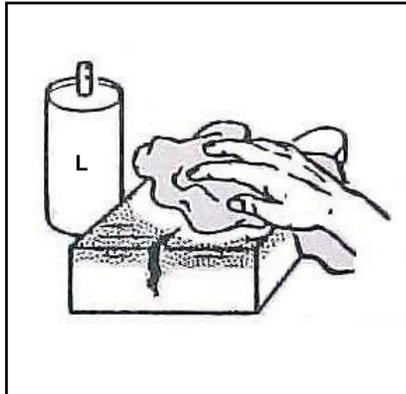
1. Preparación, limpieza y secado de las superficies del objeto que será inspeccionado



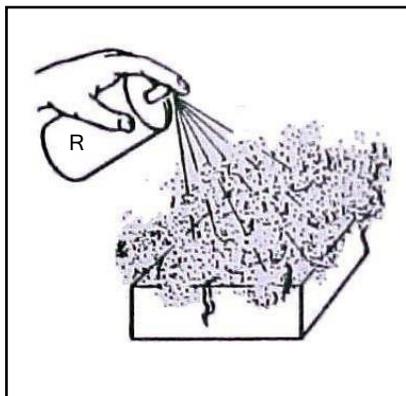
2. Aplicación del líquido penetrante a la superficie que está siendo inspeccionada, permitiendo que se introduzca en las discontinuidades superficiales



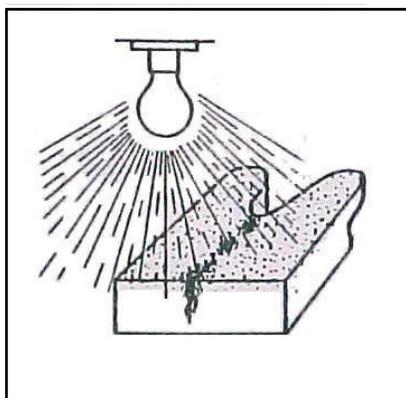
3. Remoción del exceso del líquido penetrante de la superficie inspeccionada.



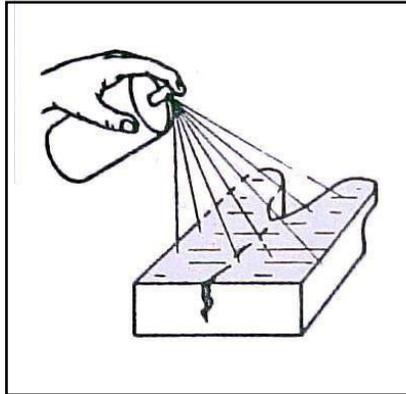
4. Aplicación del revelador para producir indicaciones con el penetrante atrapado en las discontinuidades.



5. Inspección de la superficie para detectar indicaciones producidas.



6. Limpieza posterior para remover los residuos del proceso. (En algunos casos, puede requerirse un tratamiento especial para prevenir la corrosión)



Estos seis pasos se siguen sin importar el tipo de tinte (visible o fluorescente) para producir las indicaciones.

vii. Tipos de materiales penetrantes comerciales disponibles

Gracias a la proliferación de nuevos materiales para la inspección por líquidos penetrantes, y a la mejora en sus características, existe gran cantidad de marcas disponibles. Ya, inclusive, se puede hablar de penetrantes biodegradables.

Los materiales penetrantes disponibles comercialmente incluyen una variedad de materiales de limpieza, penetrantes, emulsificantes y reveladores, y con ellos la posibilidad de combinar estos elementos en un sistema de inspección por penetrantes.

1. Clasificación de las inspecciones por penetrantes

a) Por la sensibilidad

Básicamente, el concepto que debemos entender al comprar una marca u otra de penetrantes, es que, si hablamos de sensibilidad, todos los penetrantes son igualmente sensibles, si comparamos dos penetrantes de diferentes marcas de un mismo grupo.

Sin embargo, ¿qué sensibilidad requerimos en nuestra inspección?

Esta información la debe proporcionar nuestro procedimiento de inspección calificado.

En México, desgraciadamente, no existe un organismo que regule o clasifique las propiedades o características de los materiales usados en los ensayos por líquidos penetrantes. En los Estados Unidos, la Fuerza Aérea ha establecido niveles de sensibilidad y procedimientos de prueba, que garanticen que cada penetrante calificado es por lo menos tan sensible como el estándar. Esto quiere decir que el penetrante que ha sido calificado para sensibilidad 2, puede tener una sensibilidad real de 2 hasta justo abajo de 3.

A continuación se enlista a los penetrantes en grupos de familias, basándose en su sensibilidad, como es considerado en especificaciones militares de los Estados Unidos.

- Grupo I — Penetrante con tinte visible removible con solvente
- Grupo II — Penetrante con tinte visible post-emulsificable
- Grupo III — Penetrante con tinte visible lavable con agua
- Grupo IV — Penetrante con tinte fluorescente lavable con agua (Baja sensibilidad)
- Grupo V — Penetrante con tinte fluorescente post-emulsificable (Media sensibilidad)
- Grupo VI — Penetrante con tinte fluorescente post-emulsificable (Alta sensibilidad)
- Grupo VII — Juego de penetrante con tinte fluorescente removible con solvente (consiste en penetrante del Grupo VI, solvente y un revelador húmedo en suspensión noacuosa)

La sensibilidad de los Grupos I, II y III es aproximadamente la misma como para el Grupo IV. Estos niveles de sensibilidad son válidos solo cuando son usados los mismos tipos de revelador.

En la Tabla No.1, se muestran diferentes marcas de penetrantes y su equivalente en sensibilidad.

b) Por el tipo de tinte

El penetrante deberá ser visible después de haber entrado y, posteriormente, haber salido de una discontinuidad. El método más fácil para cumplir con este requisito básico es agregando un tinte al penetrante, para proporcionar un color que contraste con el fondo.

Los líquidos penetrantes y sus procedimientos de inspección correspondientes pueden ser clasificados en términos de sus tintes trazadores como sigue:

1. Penetrantes con tinte visible (color contrastante)
2. Penetrantes con tinte fluorescente (brillantez contrastante)

Los líquidos que se utilizan como vehículos, que transportan los tintes, y los mecanismos físicos por los cuales los materiales y el proceso por penetrantes realizan sus funciones, pueden ser idénticos, sin importar los tipos de tintes empleados. Muchos tipos diferentes de vehículos, limpiadores o removedores, emulsificadores y reveladores pueden ser empleados en sistemas de penetrantes con cada tipo de tinte.

1. Penetrantes con tinte visible (color contrastante)

El rojo proporciona un color altamente contrastante con muchos otros colores típicos de partes metálicas. Los tintes rojos son obtenidos fácilmente en muchos matices, son económicos y fáciles de mezclar.

Tabla No.1

	MET-L-CHEK	MAGNAFLUX	AUTOMATION	SHERWIN	URESCO	TESTING SYSTEMS	TURCO	
	Met-L-Chek	Spot Chek Zygo	Chex-All	Dubl-Chek	Tracer-Tech	Flaw Finder Fluoro Finder	Dy-Chek Fluoro-Chek	
I	Penetrante	VP-31	SKL-HF & SF	DP-400	DP-40	P-300A	DD-60B	#2
	Limpiador	E-59	SKC-S	C-570	DR-60	K-410E	SD-80B	#3
	Revelador*	D-70	SKD-S		D-100	D-495	AD-70B	NAD
	Seco	D-72	ZP-4			D-493A		DD-3
	Húmedo	D-78	SKD-W	DW-530		D-492C		WD
IA	Penetrante	VP-301 FH	SKL-HF & S	DP-400	DP-40	P-300A	DD-60A	Penetrante
	Limpiador	R-501 NF	SKC-NF	C-570	DR-61	KC-410C	SD-80	Limpiador
	Revelador	D-701 NF	SKD-NF	DW-530	D-100	D-495C	AD-70	Revelador NF
II	Penetrante	VP-31	SKL-HF & S		DP-40	P-300A	DD-60A	#2
	Emuls/Limpia	E-50	SKC-W		ER-70	K-342	JD-90	LS
	Revelador*	D-70	SKD-NF		D-100	D-495C	AD-70	NAD
	Seco	D-72	ZP-4		D-90	D-493A	AD-4	DD-3
	Húmedo	D-78	SKD-W		D-110	D-492C	AD-5	WD
III	Penetrante	VP-30	SKL-W		DP-50	P-303A	DD-60W	WW-1
	Revelador*	D-70	SKD-NF		D-100	D-495C	AD-70	No-acuoso
	Seco	D-72	ZP-4		D-90		AD-4	DD-3
	Húmedo	D-78	SKD-W		D-110		AD-5	
IV	Penetrante	FP-90	ZL-15	FPW-500	HM-2	P-131	FL-17	WP-1
	Revelador*	D-70	ZP-9		D-100	D-495C	FD-33	NAD
	Seco	D-72	ZP-4	DD-535	D-90	D-493A	FD-4	DD-2
	Húmedo	D-78	ZP-5	DW-530	D-110	D-492C	FD-5	WD
V	Penetrante	FP-93(FP-91)	ZL-2A (ZL-17A)	FPE-505	FP-20	P-1488	FL-2	P-21
	Emulsificador	E-56	ZE-3	PE-520	ER-80	E-153	FE-5	E
	Revelador*	D-70	ZP-9		D-100	D-495C	FD-33	NAD
	Seco	D-72	ZP-4	DD-535	D-90	D-493A	FD-4	DD-2
	Húmedo	D-78	ZP-5	DW-530	D-110	D-492C	FD-5	WD
VI	Penetrante	FP-95(FP-92)	ZL-22A (ZL-18A)		FP-30	P-1494	FL-22	P-40
	Emulsificador	E-56	ZE-3		ER-80	E-153	FE-5	E
	Revelador*	D-70	ZP-9		D-100	D-495C	FD-33	NAD
	Seco	D-72	ZP-4		D-90	D-493A	FD-4	DD-2
	Húmedo	D-78	ZP-5		D-110	D-492C	FD-5	WD
VII	Penetrante	FP-95	ZL-22A		FP-30	P-9	FL-22	P
	Removedor	E-59	ZC-7		ER-80	K-410C	FC-44	R
	Revelador*	D-70	ZP-9		D-100	D-495C	FD-33	NAD

* En suspensión no acuosa (solvente)

Cuando son usados emulsificadores o limpiadores, para remover el exceso de penetrante de la superficie, la pequeña cantidad de penetrante atrapado en las discontinuidades superficiales es diluido para que se disperse a través del revelador, para compensar esta dilución, son usados los matices más oscuros y las concentraciones más altas posibles de tinte. Los penetrantes con tinte visible más sensibles contienen un tinte rojo muy oscuro y la máxima cantidad de tinte posible que pueda ser suspendido en el vehículo del penetrante sin que se precipite.

Los penetrantes con tinte visible son normalmente iguales en sensibilidad al nivel del Grupo IV de penetrante fluorescente. Son usados normalmente con reveladores húmedos o secos.

La principal ventaja de un penetrante con tinte visible, es que puede usarse con luz blanca ordinaria y que puede ser aplicado con un juego pequeño portátil de inspección.

2. Penetrantes con tinte fluorescente (brillantez contrastante)

La sensibilidad total de los sistemas de penetrantes fluorescentes es influenciada por la concentración del tinte y el matiz del color, como con los penetrantes visibles. En general, los sistemas con penetrantes fluorescentes tienen más aplicaciones potenciales que los penetrantes visibles y, además, son considerados más sensibles porque pueden proporcionar una indicación con un menor volumen de penetrante.

Los materiales fluorescentes absorben energía de ondas de luz en la región ultravioleta del espectro electromagnético. Esta energía es convertida y emitida como luz con diferente longitud de onda. La luz más comúnmente usada en pruebas no destructivas es la ultravioleta (UV) con longitud de onda de 365 nanómetros (10^{-9} m), la cual es conocida comúnmente como "luz negra". Los tintes penetrantes son seleccionados para que absorban energía en un rango de 350 a 400 nanómetros y emitan luz en un rango de 475 a 575 nanómetros, luz que se encuentra en el espectro visible entre verde y amarillo.

La calidad de los tintes fluorescentes está determinada por su eficiencia para absorber luz ultravioleta y convertirla en luz visible. Existe una serie de variables que afectan la fluorescencia:

- Los tintes fluorescentes requieren un cierto espesor mínimo de película para emitir fluorescencia, que corresponde a aproximadamente 4 micro pulgadas. Esta variable es controlada o es característica de una discontinuidad.
- Otra variable es la intensidad de iluminación de la luz negra, una luz más intensa proporciona más energía para el tinte.
- La capacidad de absorber luz ultravioleta y la cantidad de luz visible que será producida, son variables características de un sistema de tinte, ambas son controladas por la mezcla de tintes en el penetrante, lo que significa que existe una interacción de diferentes tipos de tintes.
- La cantidad relativa de tinte agregado al penetrante, por lo que al incrementar la concentración de tinte se incrementa la brillantez.

Existen otros factores que afectan la brillantez general: los tintes fluorescentes pueden decolorarse con la edad, exposición a la luz (negra y de día) y el calor. Debido a lo anterior, los penetrantes fluorescentes deberán mantenerse tan frescos como sea posible y en contenedores cubiertos.

c) Por la técnica de remoción

Los métodos de inspección por penetrantes pueden ser clasificados por el procedimiento particular usado para remover el exceso de penetrante de la superficie de la pieza inspeccionada. Esto depende de cuál de los siguientes líquidos penetrantes sea usado:

1. Penetrante lavable con agua o auto-emulsificación

El penetrante es soluble en agua, por lo que el exceso es eliminado con agua.

2. Penetrante post-emulsificable

Requiere una operación adicional en el proceso, la aplicación de un emulsificante o emulsificador después que el penetrante ha sido aplicado y el tiempo de penetración se ha cumplido. El emulsificante hace que el penetrante sea soluble en agua, de tal forma que el exceso sea removido con agua y que solo permanezca el penetrante atrapado en las discontinuidades.

3. Penetrante removible con solvente

Este penetrante tiene una base aceitosa, por lo que no es soluble en agua. Normalmente se usa el mismo solvente en la limpieza previa y en la remoción del exceso de penetrante. Es el más indicado para inspeccionar áreas específicas de una pieza o cuando la inspección debe ser realizada en campo.

La aplicación de un penetrante depende prácticamente de los siguientes factores:

- La condición superficial del objeto inspeccionado
- Las características de las discontinuidades del material
- Tiempo y lugar de la inspección
- Tamaño de las piezas inspeccionadas

viii. Mecanismo de penetración**Penetrabilidad**

En este momento surgen dos preguntas importantes *¿cómo y por qué un buen penetrante entra en una abertura muy fina?*. Estas preguntas han sido motivo de muchas discusiones e investigaciones en los últimos años y, en algunos casos, la respuesta y resultado son explicaciones satisfactorias.

La penetrabilidad o capilaridad de los líquidos es una propiedad complicada que incluye muchas variables, y que depende de factores como la condición superficial, el tipo de objeto inspeccionado, el tipo de penetrante, la temperatura y la presencia o ausencia de contaminación. Es la propiedad física en la que se basa la prueba por líquidos penetrantes.

La capilaridad es definida como: *“la propiedad que tienen los líquidos para ascender y/o descender a través de tubos capilares”*, ver la figura No.2.

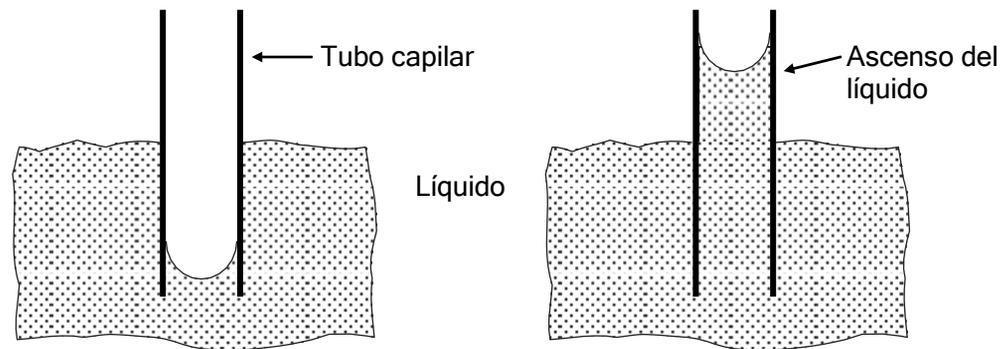


Figura No. 2: Capilaridad

Las fuerzas que se generan por la atracción capilar son básicamente las que producen la entrada de un penetrante en una grieta; estas fuerzas hacen que un líquido suba por un tubo de diámetro pequeño. La presión capilar determinada es función de la tensión superficial y también de su habilidad para mojar la superficie interior del tubo.

La altura a la que sube el líquido depende del diámetro del tubo, es decir, a menor diámetro mayor será la altura. Aunque el líquido no se eleve apreciablemente en un tubo sellado debido al aire atrapado, de cualquier manera, se generan presiones debidas a las fuerzas capilares. Estas presiones son tan grandes como una atmósfera o más, que es suficiente como para levantar una columna de agua sobre 10 metros. De igual forma, estas fuerzas se ejercen sobre el aire atrapado en una grieta fina.

La tendencia a entrar en una discontinuidad se relaciona directamente con estas presiones. Para un penetrante determinado y una discontinuidad tipo grieta, la presión desarrollada se expresa por la fórmula siguiente:

$$P = \frac{2S \cos \theta}{W}$$

En donde:

- P = Presión capilar
- S = Tensión superficial del líquido
- θ = Ángulo de contacto del líquido y las superficies de la grieta
- W = Ancho de la grieta

Eficiencia de atrapamiento de la falla

La habilidad del penetrante para formar una indicación lo bastante grande para ser visualmente detectada es conocida como eficiencia de atrapamiento de la falla.

El tamaño de una indicación está basado en el volumen de penetrante que entra en la discontinuidad. Entre más grande sea la discontinuidad, más penetrante entrará y más será extraído por el revelador para formar una indicación. La longitud de la discontinuidad es usualmente el componente dimensional principal de la indicación y proporciona un tamaño de objeto que es normalmente detectable por el ojo humano sin ayuda.

Aunque es deseable una alta eficiencia de atrapamiento de la falla, para detectar discontinuidades pequeñas, en ciertas discontinuidades con alta penetrabilidad pueden existir problemas, esto es porque pueden mantener una gran cantidad de penetrante que continuará sangrando posteriormente. Además, el sangrado en exceso puede cubrir o enmascarar otras discontinuidades.

La eficiencia de atrapamiento de la falla puede ser medida por medio de un tipo de prueba de sensibilidad, usando patrones agrietados. Existen dos tipos de pruebas de sensibilidad comúnmente usadas:

- 1) Prueba comparativa, en la cual, un penetrante es comparado con un penetrante estándar.
- 2) Un juego de bloques de prueba que tienen diferentes tamaños de grietas que califican la sensibilidad del penetrante mostrando el tamaño de las grietas que pueden ser detectadas.

ix. Propiedades físicas de los penetrantes

La habilidad para penetrar, de un líquido penetrante, es función, principalmente, de las propiedades del líquido o vehículo del penetrante. A continuación mencionaremos algunas de ellas.

Viscosidad

Es la propiedad de los líquidos de oponerse al flujo, se debe a la fricción molecular o interna, y es un efecto combinado de la adhesión y la cohesión. Depende de la temperatura y de la composición de la mezcla. La viscosidad determina la velocidad de penetración.

Adhesión

Es la fuerza de atracción entre moléculas de sustancias diferentes.

Cohesión

Es la fuerza que mantiene a las moléculas de un líquido a distancias cercanas unas de otras.

Humectabilidad

Es la propiedad de los líquidos de mojar la superficie de un sólido. Afecta las características de penetrabilidad y sangrado del penetrante. Es controlada por el ángulo de contacto y la tensión superficial

Ángulo de contacto

Corresponde al ángulo de contacto en la interfase líquido – sólido. Se considera que cualquier combinación penetrante – material que produzca un ángulo de contacto de 5° o menor producirá resultados satisfactorios durante una inspección, ver figura No. 3.

Tensión superficial

Es el trabajo que un líquido debe realizar para llevar moléculas en número suficiente hasta su superficie, para crear una nueva unidad de superficie. Es la fuerza que se opone a la deformación de una gota de un líquido.

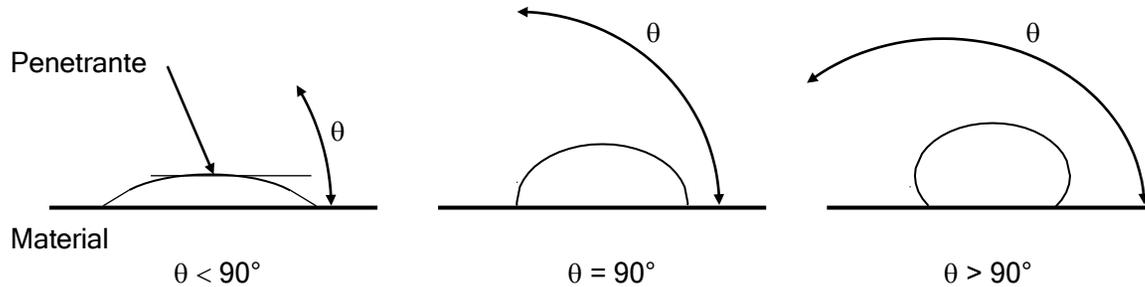


Figura No. 3: Ángulo de contacto

Gravedad específica

Es una comparación entre la densidad de un penetrante y la densidad del agua destilada a 4 °C. El penetrante debe tener una gravedad específica menor que 1 para asegurar que el agua no flote por arriba del penetrante.

Volatilidad (Evaporación)

Es la propiedad de los líquidos de poder convertirse en vapor, está definida por la presión de vapor y el punto de ebullición de un líquido. Es preferible una baja volatilidad, para que exista una menor evaporación del penetrante almacenado en tanques abiertos. Una alta volatilidad del penetrante provoca que seque más rápidamente sobre la superficie, mientras transcurre el tiempo de penetración, dejando una película que es más difícil de remover; esta condición puede ser balanceada como ventaja al incrementarse la concentración del tinte en las discontinuidades.

Inflamabilidad

Es la susceptibilidad de algunos líquidos de producir flama, de incendiarse. Se relaciona principalmente con el punto de inflamación o de ignición (flashpoint), que corresponde a la temperatura más baja a la cual un líquido desprende vapores sobre su superficie, suficientes para producir la combustión. Algunas especificaciones requieren una temperatura mínima del punto de inflamación de 51.6 °C (125 °F), y los fabricantes consideran 57.2 °C (135 °F) como la mejor temperatura mínima. La inflamabilidad es una consideración de seguridad cuando los aceites son contenidos en tanques abiertos. Algunos botes aspersores de revelador contienen alcoholes que pueden producir flama a temperatura ambiente.

Actividad química

Es importante que los materiales penetrantes sean compatibles con los materiales inspeccionados.

Los materiales penetrantes que contienen cloro, flúor o azufre son frecuentemente restringidos para usarse en aceros austeníticos, aleaciones de titanio y aceros con alto contenido de níquel. Esto se debe a que esos elementos son químicamente muy activos y se pueden combinar y reaccionar fácilmente con otras sustancias, lo cual puede producir fragilidad del material y agrietamiento. El contenido residual de estos elementos está restringido al 1% en peso (de acuerdo con ASTM E-165 y el Artículo 6 de la Sección V del Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas).

x. Limpiadores (removedores) y emulsificadores

Solventes limpiadores (removedores)

La función principal de los solventes es ayudar a remover el exceso de penetrante. El exceso de penetrante se remueve con papel absorbente o un paño limpio, y los rastros de penetrante con papel absorbente o un paño limpio humedecido con solvente. Pueden ser usados solventes de grado comercial y solventes clorinados. También puede ser usado como agente de limpieza para remover contaminantes como aceite, grasa y suciedad.

Los solventes de grado comercial son altamente inflamables, por lo que no deben usarse cerca de flamas abiertas. Los solventes remueven aceites naturales de la piel, por lo que se recomienda usar guantes cuando se tenga contacto prolongado.

Emulsificadores

Su función es hacer que el exceso de penetrante pueda ser lavado con agua. Existen dos opciones disponibles de emulsificadores:

1. Emulsificadores lipofílicos

Son un tipo de jabón líquido, base aceite, mezclados con ciertos constituyentes que les proporcionan algunas propiedades. Una de estas es el color, para que contraste con el color del penetrante y muestre que todo el penetrante sobre la superficie ha sido cubierto por el emulsificador. El emulsificador debe difundirse o interactuar con el penetrante a una velocidad un poco lenta para permitir su manejo durante el proceso y para proporcionar el tiempo necesario para que el lavado pueda ser controlado.

Los emulsificadores lipofílicos tienen tres propiedades que deben ser balanceadas para asegurar sus características de lavado:

- (1) Actividad – Es la velocidad con la que el emulsificador interacciona con el penetrante. La interacción está relacionada con la habilidad del emulsificador para actuar como un solvente para el aceite del penetrante.
- (2) Viscosidad – Determina la velocidad de difusión del emulsificador en el penetrante; balanceando la actividad y la viscosidad se obtiene el control necesario para cumplir con los tiempos de emulsificación.
- (3) Tolerancia al agua – El agua puede producir una apariencia turbia del emulsificador, por lo que se requiere cierta tolerancia al agua. Algunas especificaciones requieren hasta un 5% de tolerancia al agua, pero en algunos casos, su tolerancia es de hasta 15% y 20%. La adición de agua reduce la actividad y viscosidad del emulsificador.

2. Emulsificadores hidrofílicos

Son esencialmente agentes tenso-activos o detergentes. La palabra hidrofílico significa afecto al agua o soluble en agua. Estos emulsificadores tienen una tolerancia infinita al agua, y son suministrados como concentrados que deben ser mezclados con agua para obtener la dilución deseada.

Para diferentes aplicaciones son usados diferentes niveles de dilución, por ejemplo, para tanques de inmersión se encuentran en un rango típico de 65% a 90% de agua, y para aplicaciones por aspersión en un rango de 100:1 hasta 300:1.

Una ventaja del uso de emulsificadores hidrofílicos es el rango amplio de tiempos de emulsificación lo que proporciona menos dependencia en el control del tiempo.

xi. Reveladores

La mayoría de procedimientos de inspección con penetrantes en la industria, requieren el uso de reveladores, aunque existe la posibilidad de ahorrar costos si no son utilizados.

El propósito principal de un revelador es formar una indicación que pueda ser detectada a simple vista, para lo cual realiza cuatro funciones básicas:

1. Extraer una cantidad suficiente de penetrante de la discontinuidad para formar una indicación
2. Expandir el ancho de la indicación lo suficiente para hacerla visible
3. Incrementar la brillantez del tinte fluorescente
4. Incrementar el espesor de la indicación

El primer requisito del revelador para que cumpla con las cuatro funciones es su habilidad para adherirse a la superficie, y la rugosidad de la pieza influye en la adhesión del revelador.

Mecanismo de revelado

El mecanismo de revelado se realiza por:

- Calor

El calor expande el penetrante y reduce su viscosidad para ayudar en la función de revelado.

- Acción capilar

El revelador proporciona un recubrimiento poroso con muchos caminos para la acción capilar del penetrante, actúa como papel secante que extrae penetrante de la discontinuidad. Todas las funciones del revelador son parcialmente completadas por acción capilar, la cual:

- a. Dispersa el penetrante lateralmente sobre la superficie, ensanchando la indicación,
- b. Extiende el tinte en muchas capas delgadas alrededor de las partículas del revelador para resaltar su brillo, y
- c. Trabaja verticalmente a través del revelador para incrementar el espesor del tinte.

- Solventes

Los solventes en el revelador en suspensión acuosa y de película plástica disuelven el penetrante atrapado en las discontinuidades, actúan sobre el penetrante reduciendo su viscosidad y expandiendo su volumen, por lo cual el penetrante fluye hacia la superficie, dentro del revelador, para formar una indicación por acción capilar.

Existen dos características de las indicaciones producidas por penetrantes que son grandemente controladas por los reveladores: la sensibilidad y la resolución:

- La sensibilidad es la capacidad del revelador para formar una indicación con un volumen pequeño de penetrante atrapado.
- La resolución es la habilidad del revelador para mostrar dos o más indicaciones cercanas entre sí, sin formar una sola indicación grande.

Existen cinco tipos de reveladores usados en la prueba por penetrantes:

1. Polvo seco
2. Suspendido en agua (húmedo acuoso)
3. Suspendido en solvente (húmedo no acuoso)
4. Soluble en agua (solución acuosa)
5. Película plástica

Cada revelador tiene diferentes características y procedimientos de aplicación, además, cada uno produce una sensibilidad diferente cuando son usados con un mismo penetrante.

Gracias a los resultados obtenidos en investigaciones realizadas, se ha establecido la sensibilidad de diferentes sistemas, basándose en el tipo de revelador y su método de aplicación como sigue:

Sensibilidad	Tipo de revelador	Aplicación
Menor sensibilidad	1. Seco	Inmersión
	2. Seco	Nube
	3. Seco	Cama
	4. Seco	Nube (electrostática)
	5. Húmedo acuoso	Inmersión
	6. Soluble agua	Inmersión
	7. Húmedo acuoso	Aspersión
	8. Soluble agua	Aspersión
	9. Película plástica	Aspersión
Mayor sensibilidad	10. Húmedo no acuoso	Aspersión

La relación aplica solo para un tipo y marca de penetrante, sin embargo, cada penetrante puede ser evaluado con resultados similares. El método de aplicación influye en la adhesión del revelador con la superficie.

Revelador seco

Este revelador es un polvo ligero y suave, una mezcla de un tipo de talco y otros polvos, no es tóxico, es de baja densidad, y debe mantenerse seco.

En piezas con superficies rugosas este revelador no necesita estar en contacto durante largos periodos de tiempo. El revelador seco proporciona una película fina y delgada, siendo una ventaja sobre los reveladores húmedos que dejan una capa continua de mayor espesor. El revelador seco limita el sangrado lateral y, con esto, el tamaño de la indicación, lo que proporciona una mejor resolución que los reveladores húmedos.

Revelador suspendido en agua (suspensión acuosa)

Normalmente es suministrado como un polvo seco que debe ser mezclado con agua, también está disponible en mezclas preparadas.

Contiene agentes tenso-activos que ayudan a humedecer la superficie de las piezas y a cubrirlas completamente. Además, contiene inhibidores de corrosión para proteger a las piezas, los tanques y el equipo para su aplicación. También, contienen un dispersante para reducir la aglomeración del polvo en suspensión.

Tiene dos ventajas sobre otros reveladores, permite determinar visualmente si toda la superficie ha sido cubierta y proporciona una cubierta uniforme y continua sobre la superficie. El espesor del revelador puede ser controlado por medio de la concentración de las partículas. También tienen algunas desventajas, por ejemplo, después de varios días de no usarse es difícil re-mezclar la suspensión, la concentración debe ser verificada diariamente, el mantenimiento del equipo (bombas de agitación, aplicadores, secador) incrementa los costos de aplicación, después de secarse su remoción de superficies rugosas es difícil por lo que requiere una operación adicional de lavado.

Revelador soluble en agua (solución acuosa)

Es suministrado como un polvo cristalino que proporciona una solución clara cuando se mezcla con agua. Después que el agua se evapora el polvo vuelve a cristalizar, por lo que no contiene partículas suspendidas. Se le agregan agentes humectantes, inhibidores de corrosión y fungicidas para evitar la generación de bacterias.

Debe ser aplicado después del lavado y antes del secado, el cual, se realiza a temperaturas elevadas con aire caliente circulante. Se usa en una variedad de concentraciones y tiene buena adherencia superficial.

Tiene desventajas similares a las de reveladores en suspensión acuosa, por ejemplo, no cuenta con una base solvente para penetrantes base aceite, por lo que su acción de revelado es solamente por acción capilar; su aplicación por inmersión puede no proporcionar una cobertura uniforme, ya que se pueden encontrar áreas con exceso de revelador y áreas con revelador insuficiente, además, puede cambiar el color del tinte en azul.

No se recomienda utilizar con penetrantes lavables con agua. Su aplicación es casi nula actualmente.

Revelador suspendido en solvente (suspensión no acuosa)

Ha sido usado principalmente con penetrantes visibles, para proporcionar un fondo uniforme de contraste blanco. La alta evaporación e inflamabilidad del solvente en el que está suspendido el revelador requiere que sea suministrado en botes sellados, gracias a lo cual, es la selección natural para suministrarse en juegos de penetrantes portátiles.

La razón por la que cuenta con una alta sensibilidad es porque tiene una doble acción:

1. Reacciona con el penetrante en la discontinuidad diluyéndolo, reduciendo con esto su viscosidad y expandiendo su volumen.
2. La acción del solvente esencialmente fuerza al penetrante hacia la capa de polvo, lo cual proporciona muchos espacios capilares dentro de los cuales puede extenderse y, una vez iniciada, la acción capilar continua extrayendo el penetrante de la discontinuidad para formar una indicación.

Se suministra en botes aspersores o en barriles. Debido a la inflamabilidad y rápida evaporación del solvente no es práctico o económico almacenarlo o usarlo en tanques abiertos.

Contienen agentes tenso-activos para ayudar en la adherencia con la superficie de las piezas inspeccionadas. Se le agregan dispersantes para evitar la aglomeración del polvo.

Revelador de película plástica

Consiste de una laca clara o resina, y es usado para aplicaciones con penetrantes visibles.

El mecanismo efectivo de la acción del revelador se cree que es porque el penetrante es disuelto en la película plástica debido a la acción del solvente que es altamente volátil y evapora en segundos. Este revelador no proporciona acción capilar, esencialmente fija la indicación como una línea fina con poco sangrado, dentro de la propia película.

Su sensibilidad y resolución son muy altas, sin embargo, es muy caro y no es práctico usarlo en piezas grandes.

Sus desventajas incluyen el costo alto y la necesidad de técnicas de aplicación especiales, además, su remoción es costosa debido a que debe ser removido con solventes especiales.

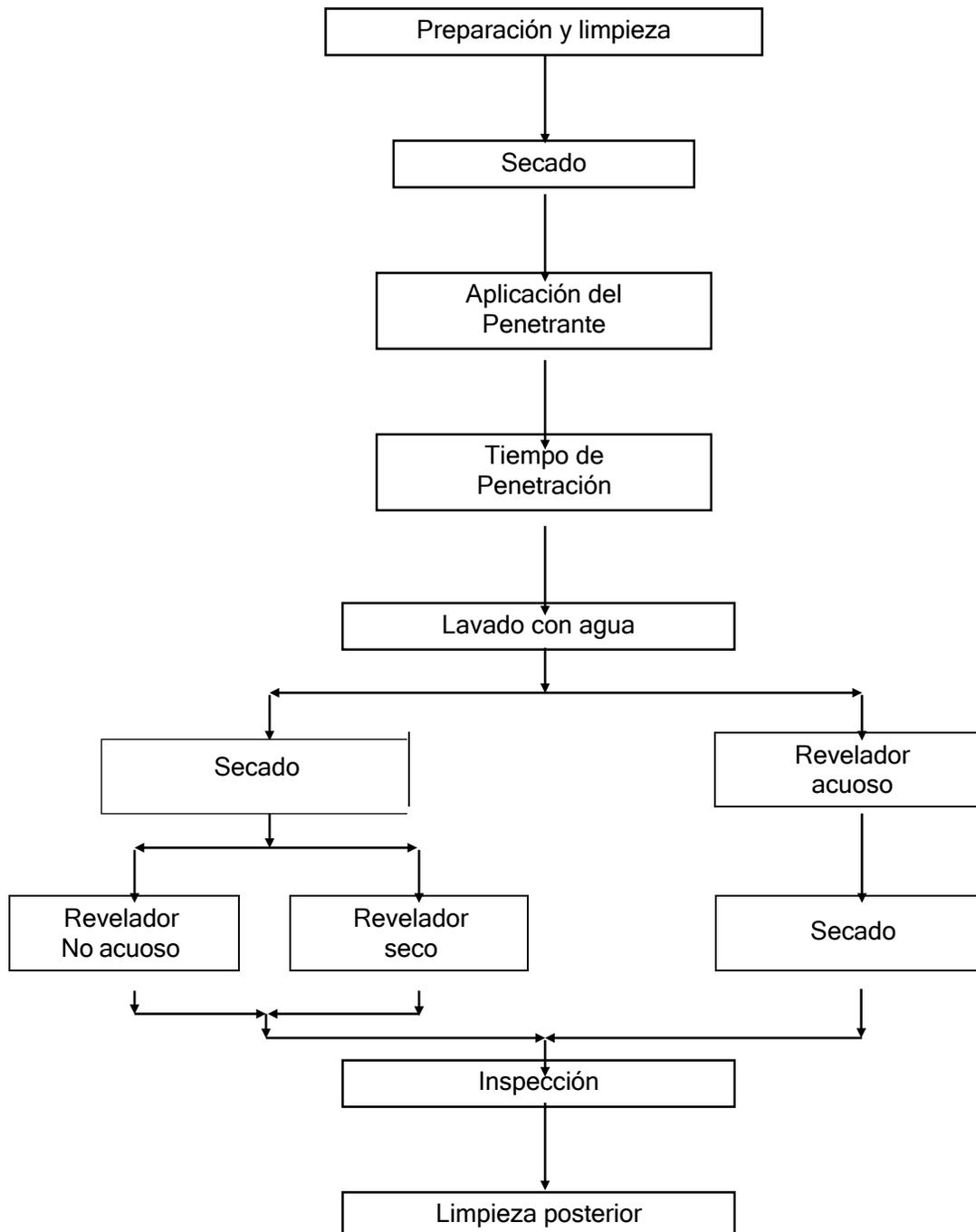
La inspección por líquidos penetrantes puede subdividirse hasta en seis procesos o sistemas de inspección. Los documentos de uso común consideran varias clasificaciones de los procesos de inspección, en general manejan dos grupos: un grupo consiste de aquellos procesos que emplean penetrantes fluorescentes y el otro grupo consiste en los que emplean penetrantes visibles. Para cada grupo existe la posibilidad de combinarse con los diferentes tipos de penetrantes, de acuerdo con la forma de ser removidos: penetrantes lavables con agua, penetrantes postemulsificables y penetrantes removibles con solvente.

A continuación mencionaremos algunas de las clasificaciones de los procesos de inspección de acuerdo con varios documentos:

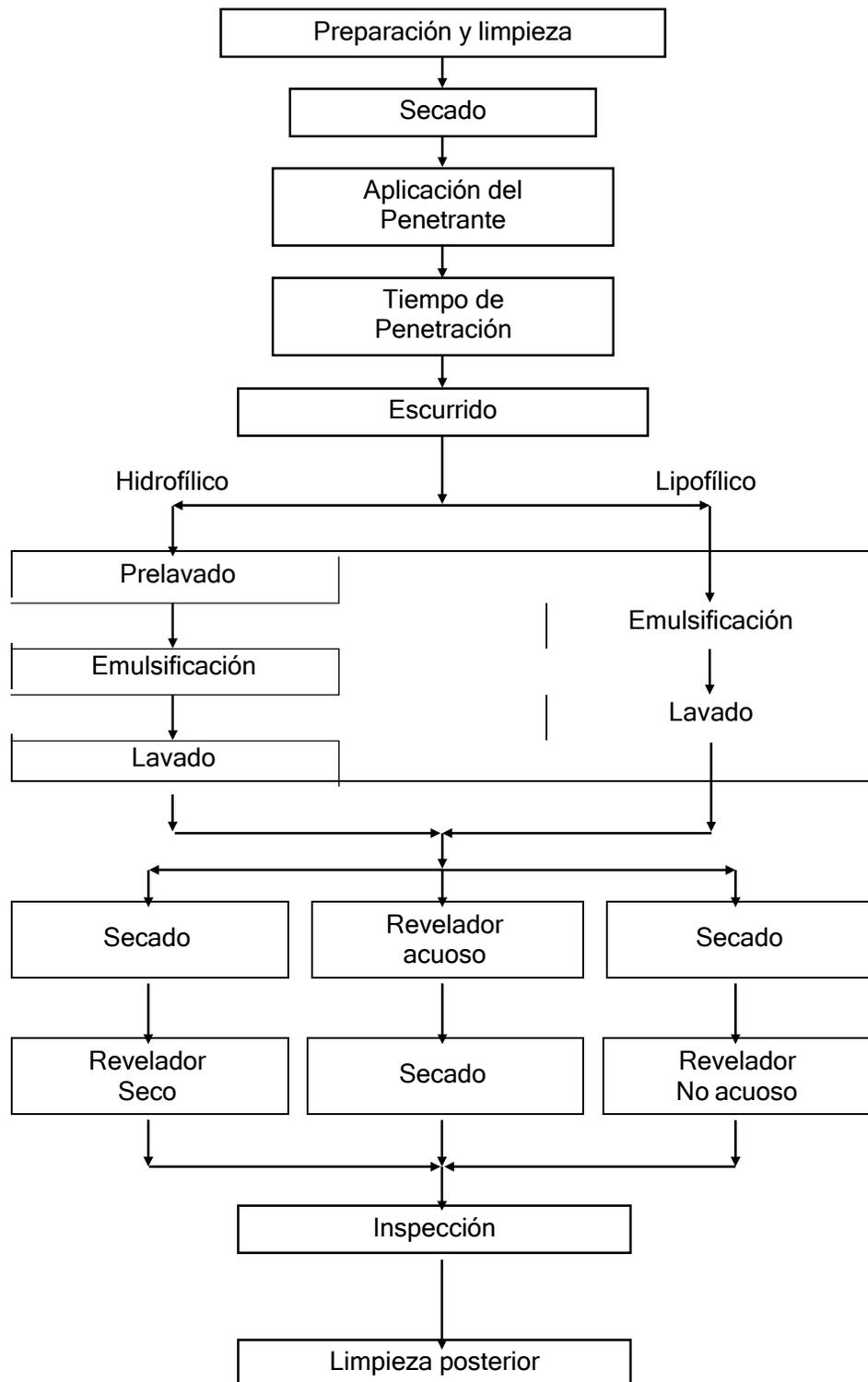
Documento	Clasificación de tipos y métodos
ASTM E-165	Tipo I - Inspección con penetrante fluorescente Método A - Lavable con agua Método B - Postemulsificable lipofílico Método C - Removible con solvente Método D - Postemulsificable hidrofílico Tipo II - Inspección con penetrante visible Método A - Lavable con agua Método C - Removible con solvente
ASME Sección V Artículo 6	Inspección con penetrante fluorescente Lavable con agua Postemulsificable Removible con solvente Inspección con penetrante visible Lavable con agua Postemulsificable Removible con solvente
Especificación Militar Mil-I-6866	Tipo I - Penetrante fluorescente Método A - Lavable con agua Método B - Postemulsificable Método C - Removible con solvente Tipo II - Penetrante visible Método A - Lavable con agua Método B - Postemulsificable Método C - Removible con solvente

Por medio de diagramas de flujo, a continuación se muestra la secuencia y los pasos generales de los procedimientos de inspección por líquidos penetrantes de acuerdo con el método para la remoción del exceso de penetrante.

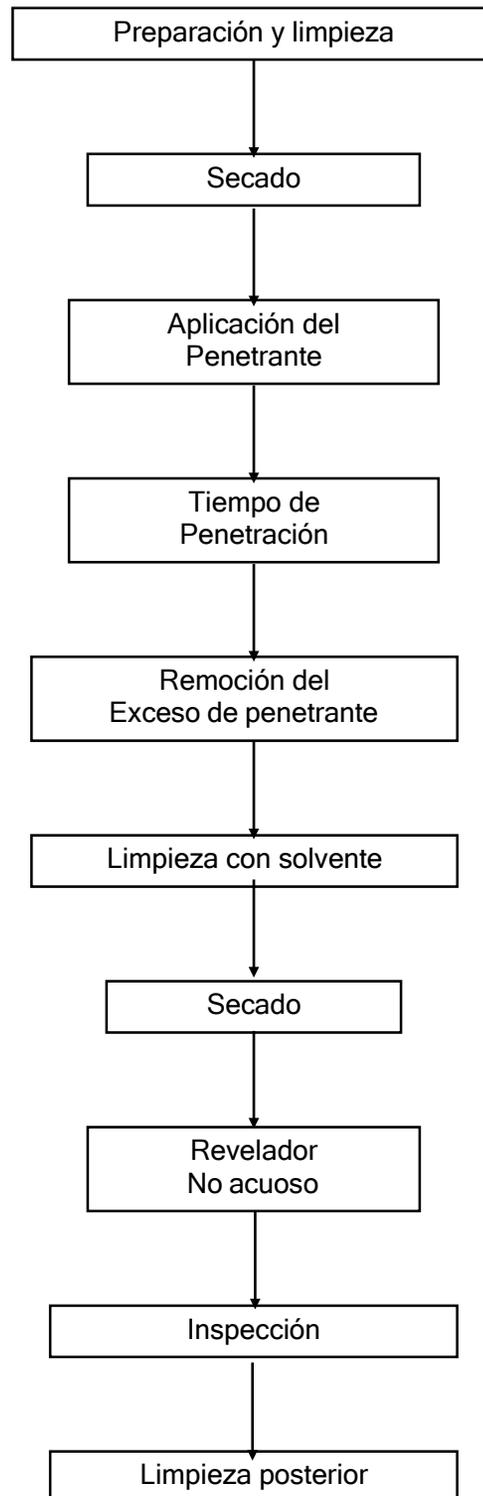
Procedimiento de inspección por penetrantes lavables con agua



Procedimiento de inspección por penetrantes postemulsificables



Procedimiento de inspección por penetrantes removibles con solvente



i. Preparación y limpieza de las superficies inspeccionadas

Como sabemos, la prueba por líquidos penetrantes es un método de inspección para detectar discontinuidades superficiales, por lo tanto, cualquier contaminante (recubrimientos, manchas, suciedad, etc.), sobre la superficie de la pieza que será inspeccionada, puede resultar en la falla del penetrante para:

- (a) Mojar la superficie
- (b) Entrar en las discontinuidades
- (c) Salir de las discontinuidades

Contaminantes

Antes que pueda establecerse un procedimiento de limpieza, debe determinarse qué tipo de contaminante existe sobre la superficie. La lista siguiente incluye la mayoría de contaminantes que son frecuentemente encontrados, las letras (a), (b) y (c) están relacionadas con el efecto que tiene cada uno sobre el penetrante.

- | | | |
|---|-----|-----|
| 1. Refrigerante, aceites de lubricación o maquinado y otros líquidos que contengan constituyentes orgánicos | (a) | (b) |
| 2. Carbón, barniz y otro tipo de contaminante fuertemente adherido | (b) | (c) |
| 3. Escamas, cáscara, costras, óxidos, productos de corrosión, metal de soldadura y residuos de chisporroteo y fundente de soldadura | (b) | (c) |
| 4. Pinturas y recubrimientos protectores orgánicos | (b) | |
| 5. Agua y manchas dejadas después de la evaporación del agua | (a) | |
| 6. Ácidos o álcalis u otros residuos químicamente activos, incluyendo halógenos | (c) | |
| 7. Lubricantes para pulir, troquelar, formar o estirar | (a) | (b) |
| 8. Residuos de inspecciones por líquidos penetrantes previas | (b) | |
| 9. Tratamientos superficiales tales como fosfatos, cromado, anodizado, etc. | (b) | (c) |

Una condición adicional, que no es clasificada normalmente como contaminante o recubrimiento, es el metal embarrado, producido por procesos mecánicos del metal.

Muchas veces es difícil identificar los constituyentes de un contaminante, en algunos casos, puede ser necesario realizar un análisis químico, principalmente cuando el contaminante es difícil de remover.

Métodos de preparación y limpieza

La selección del método adecuado de limpieza está basada en los siguientes factores:

1. El tipo de contaminante que debe ser removido, ningún método remueve todos los contaminantes con la misma efectividad.
2. El efecto del método de limpieza sobre la pieza, los agentes químicos y de limpieza utilizados no deberán reaccionar o atacar el material, solo deben actuar sobre el contaminante específico o el recubrimiento que se necesita remover.
3. Lo práctico del método de limpieza de acuerdo con la pieza.
4. Los requisitos específicos del comprador.

A continuación se incluye una lista de los métodos de limpieza estándar.

1. Limpieza con detergentes

Son solubles en agua, no son inflamables, contienen compuestos para humedecer, penetrar, emulsificar y diluir varios tipos de contaminantes, como grasa y películas de aceite, fluidos de corte y maquinado, etc. Pueden ser de naturaleza alcalina, neutra o ácida, pero no deben ser corrosivos para la pieza inspeccionada.

2. Vapor desengrasante

Es el método preferido para remover manchas de grasa y aceite, pero no puede remover manchas de tipo inorgánico (polvo, corrosión, etc.), y puede que no remueva manchas de resinas (recubrimientos plásticos, barniz, pintura, etc.). Debido a que el tiempo de aplicación es corto, el desengrasado podría no ser completo para discontinuidades profundas, por lo tanto, se recomendaría el uso posterior de un solvente.

3. Limpieza con vapor

Es una modificación del método de limpieza del tanque caliente con álcalis, el cual, puede ser usado en la preparación de piezas grandes. Remueve contaminantes inorgánicos y orgánicos, podría no alcanzar el fondo de discontinuidades profundas, por lo que, se recomendaría el uso posterior de un solvente.

4. Solvente limpiador

Existe una variedad de solventes limpiadores que pueden ser usados en forma efectiva para disolver manchas de grasa y aceite, cera y selladores, pinturas, y en general, materia orgánica. Deben estar libres de residuos y no son recomendados para remover escamas, cáscara y costras, chisporroteo de soldadura, y en general, manchas inorgánicas. Deben manejarse con precaución ya que algunos solventes son inflamables y tóxicos.

5. Limpieza alcalina

Son soluciones base agua no inflamables que contienen detergentes especialmente seleccionados para humedecer, penetrar, emulsificar y diluir varios tipos de contaminantes. Las soluciones alcalinas calientes son usadas para remover escamas, cáscara, costras y óxido, que pueden enmascarar discontinuidades. Las partes que han sido limpiadas por el proceso alcalino deben ser enjuagadas, deben quedar completamente libres de residuos del limpiador y secas.

6. Limpieza mecánica o abrasiva

Procesos para remover metal como limado, pulido, raspado, esmerilado, taladrado, afilado, asentado, lijado, cepillado, limpieza con abrasivos como arena, granalla, óxido de aluminio, etc., muchas veces son usados para remover carbón, cáscara, costras, escamas y arena adherida, así como para pulir o producir un acabado superficial terso en la pieza. Estos procesos pueden reducir la efectividad de la inspección por líquidos penetrantes porque pueden embarrar o untar metal sobre la superficie y tapar discontinuidades abiertas a la superficie, especialmente en materiales suaves como aluminio, titanio y magnesio.

7. Removedores de pintura

Las capas de pintura pueden ser removidas muy efectivamente des adhiriéndolas o desintegrándolas. La pintura debe ser removida completamente para exponer la superficie del metal. Los solventes removedores de pintura pueden ser de alta viscosidad, para aplicarse por aspersión o con brocha, o de baja viscosidad, para aplicarse por inmersión, ambos son usados generalmente a temperatura ambiente. Después de la remoción de la pintura, las piezas deben enjuagarse para remover la contaminación de las aberturas superficiales y deben secarse completamente.

8. Limpieza ultrasónica o agitación

Mediante este método se agrega agitación ultrasónica a un solvente o detergente limpiador para mejorar su eficiencia en la limpieza y reducir el tiempo de limpieza. Debe usarse con agua y detergente si el contaminante que será removido es inorgánico (cáscara, polvo, sales, productos de corrosión, etc.), y con solventes orgánicos si el contaminante es orgánico (grasa y aceite, etc.). Después de la limpieza ultrasónica, las piezas deben calentarse para remover los líquidos de limpieza, y después deben enfriarse antes de la aplicación del penetrante.

9. Ataque con ácido

Soluciones ácidas son usadas normalmente para decapar parte de la superficie. El decapado es necesario para remover costras de óxido, las cuales pueden enmascarar discontinuidades superficiales y evitar que el penetrante entre en ellas. El ataque con ácido también se utiliza para remover metal embarrado. Las partes atacadas y los materiales deben ser enjuagados completamente para que queden libres de las soluciones utilizadas, la superficie debe ser neutralizada y secada antes de realizar la inspección. Como existe la posibilidad de producir fragilización por hidrógeno, como resultado del ataque con ácido, las piezas deben calentarse a una temperatura adecuada durante un tiempo adecuado para remover el hidrógeno.

10. La combinación de los métodos anteriores

En algunos casos, los clientes proporcionan procedimientos de limpieza para usarse en sus contratos. En otros casos, los procedimientos de limpieza son referenciados en especificaciones del proceso de inspección por penetrantes, la importancia es tal, porque se protegen componentes críticos de la corrosión y para asegurar que se usa el proceso de limpieza adecuado para obtener los mejores resultados.

Secado después de la limpieza

Es esencial que las superficies de las piezas se encuentren completamente secas después de la limpieza, esto se debe a que cualquier líquido residual puede impedir la entrada del penetrante. El secado puede realizarse calentando las piezas en un horno secador, con lámparas infrarrojas, aire caliente forzado o exposición al medio ambiente.

ii. Aplicación del penetrante y tiempo de penetración

Después que la pieza ha sido limpiada, está seca y se encuentra dentro del rango de temperatura especificado, el penetrante debe ser aplicado sobre la superficie que será inspeccionada, hasta que toda la pieza o el área de interés quede completamente cubierta.

Precaución: No se deben aplicar penetrantes fluorescentes en piezas que fueron previamente inspeccionadas con penetrantes visibles, ya que los residuos reducen el contraste y visibilidad de las indicaciones.

El penetrante puede ser aplicado por inmersión, aerosol, brocha y vaciado.

El método de aplicación depende de algunos factores que incluyen el tamaño, la forma y la configuración de la pieza que esté siendo inspeccionada. Todos los métodos de aplicación son aceptables, sin embargo, existen algunas condiciones que deben cumplirse para cada método.

1. Inmersión

Es el método preferido de aplicación cuando se requiere aplicar penetrante para cubrir completamente una pieza o superficie. Este método está limitado por el tamaño del tanque o contenedor del penetrante. Las piezas pueden ser sumergidas una a la vez o en pequeños lotes (cuando son piezas pequeñas), en este caso se utilizan cestos contenedores, ver figura No. 4.

Las piezas deben estar separadas durante la inmersión y mientras transcurre el tiempo de penetración.

Los componentes inspeccionados deben permanecer fuera del tanque de penetrante mientras transcurre el tiempo de penetración, con lo que se obtiene mayor sensibilidad gracias a que algunos constituyentes del penetrante se evaporan dejando una concentración más alta del tinte que la del penetrante original.

2. Aerosol (aspersión, espray)

Este método de aplicación del penetrante es especialmente utilizado en piezas grandes o cuando solo una porción de una pieza requiere ser inspeccionada. Existen dos opciones de aplicación: pistolas electrostáticas y botes aspersores, ver figura No. 5.

La aplicación por aerosol tiene grandes ventajas sobre el método por inmersión, por ejemplo, no existe contaminación o deterioro del penetrante, como en el tanque de inmersión. Además, la aplicación con pistolas electrostáticas es más económica y elimina el exceso de líquido penetrante aplicado sobre la pieza, gracias a que se aplican capas muy delgadas de penetrante; y, en el caso de los botes aspersores, proporcionan un método conveniente cuando es necesaria la inspección en campo.

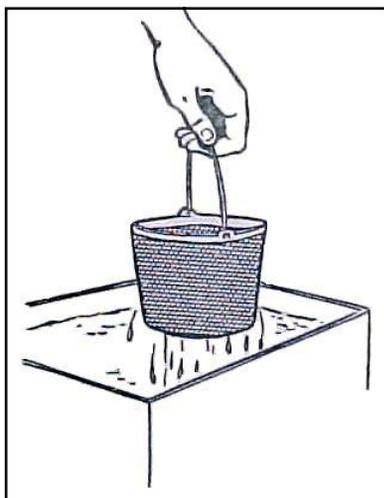


Figura No. 4: Aplicación por Inmersión

También existen algunas desventajas, en la presentación con botes aspersores el costo de la presentación es alto y se debe cuidar que la capa de penetrante sea aplicada de la forma más uniforme posible.

Son recomendables las áreas ventiladas donde se realice la inspección.

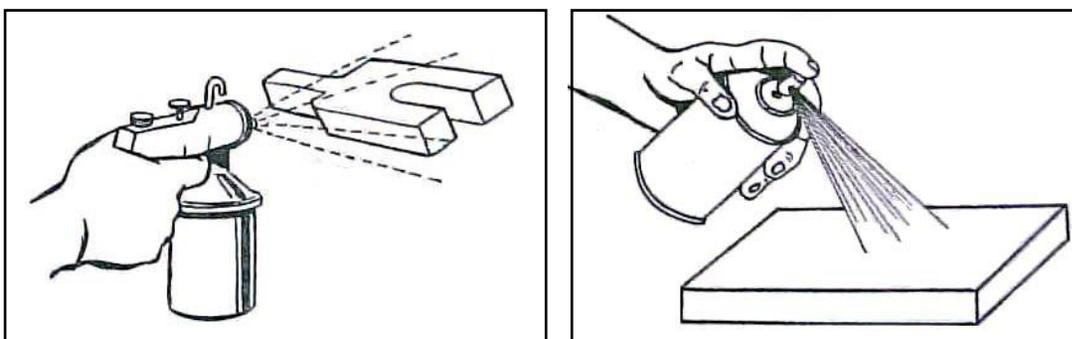


Figura No. 5: Aplicación por Aspersión

3. Brocha

La aplicación del penetrante con brocha es la mejor cuando se requiere regular la cantidad de penetrante aplicado, lo que ayuda a eliminar la necesidad de remover penetrante en exceso, además de ser económico, ver figura No. 6. Es un buen método para aplicar penetrante en áreas locales pequeñas, especialmente en lugares de difícil acceso.

Tiempo de penetración

El tiempo de penetración es muy importante, corresponde al tiempo transcurrido desde la aplicación del penetrante hasta su remoción. El objetivo de permitir un tiempo de penetración es que el penetrante llene las posibles discontinuidades en la superficie inspeccionada.

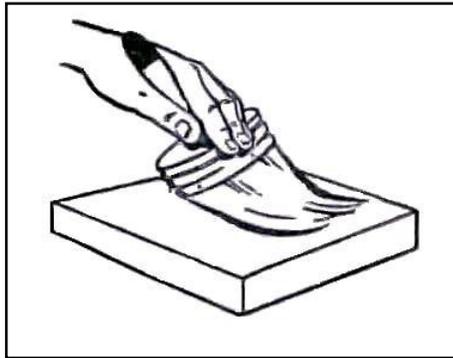


Figura No. 6: Aplicación por Brocha

Los tiempos de penetración son proporcionados en muchas fuentes de literatura, por ejemplo especificaciones de contrato, normas, etc. La Tabla No.2 muestra tiempos de penetración típicos.

1. Factores que afectan la penetración

Existe un número de factores que interactúan en el tiempo requerido para llenar una cavidad o discontinuidad abierta a la superficie, algunos de estos factores son:

a. Tipo de penetrante

El tipo y el nivel de sensibilidad del penetrante afectan el tiempo de penetración. En este caso, las diferencias entre los tiempos de penetración se deben a las características del penetrante como la tensión superficial, el ángulo de contacto y la viscosidad, las cuales varían entre los diferentes fabricantes. La combinación de todos estos factores tiende a estabilizar el tiempo de penetración y la sensibilidad. Esto permite tener tiempos de penetración equivalentes dentro de los penetrantes de cada nivel de sensibilidad.

b. Superficie inspeccionada y forma del material

La superficie inspeccionada y la forma del material afectan el tiempo de penetración debido, fundamentalmente, a la rugosidad superficial ya que esta afecta la tensión superficial, por lo que afectará la velocidad de penetración del líquido penetrante.

c. Tipo de discontinuidad

Los tipos de discontinuidades difieren en su abertura a la superficie. Por ejemplo, los traslapes son más apretados que la porosidad, y las grietas por fatiga son aún más apretadas que los traslapes y la porosidad. El tiempo de penetración aumenta inversamente proporcional conforme la abertura de la discontinuidad se reduce.

d. Viscosidad del penetrante

Siendo la viscosidad la resistencia de los líquidos para fluir, es el factor de mayor influencia en el tiempo requerido para llenar una discontinuidad. La viscosidad de los aceites que forman parte de los penetrantes cambia drásticamente con la temperatura, los aceites se vuelven más delgados (menos viscosos) a temperaturas altas. Los tiempos de penetración están normalmente basados en la aplicación a temperatura ambiente y deben ser ajustados a otras temperaturas. Normalmente, las temperaturas entre 16 °C y 30°C son consideradas como temperatura ambiente.

Tabla No. 2

Material	Forma	Tipo de discontinuidad	Tiempo de penetración (minutos)		
			Lavable con agua	Postemulsificable	Removible con solvente
Acero	Fundiciones	Porosidad	30	10	5
		Traslapes en frío	30	10	7
	Extrusiones y forjas	Traslapes	NR	10	7
		Soldaduras	Falta de fusión	60	20
			Porosidad	60	20
	Todas	Fracturas	30	20	7
Todas	Fracturas x fatiga	NR	30	10	
Aluminio	Fundiciones	Porosidad	5 a 10	5	3
		Traslapes en frío	5 a 10	5	3
	Extrusiones y forjas	Traslapes	NR	10	7
		Soldaduras	Falta de fusión	30	5
			Porosidad	30	5
	Todas	Fracturas	30	10	5
Todas	Fracturas x fatiga	NR	30	5	
Magnesio	Fundiciones	Porosidad	15	5	3
		Traslapes en frío	15	5	3
	Extrusiones y forjas	Traslapes	NR	10	7
		Soldaduras	Falta de fusión	30	10
			Porosidad	30	10
	Todas	Fracturas	30	10	5
Todas	Fracturas x fatiga	NR	30	10	
Latón, Bronce y Plásticos	Fundiciones	Porosidad	10	5	3
		Traslapes en frío	10	5	3
	Extrusiones y forjas	Traslapes	NR	10	7
		Soldaduras	Falta de fusión	15	10
			Porosidad	15	10
	Todas	Fracturas	30	10	3
Todas	Fracturas x fatiga	5 a 30	5	5	
Cristales	Todas	Fracturas	5 a 30	5	5
Htas. de Carburo	Soldadura	Falta de fusión	30	5	3
		Porosidad	30	5	3
		Fracturas	30	20	5
Titanio	Todas		NR	20 a 30	15
Todos los Metales	Todas	Esfuerzos o corrosión intergranular	NR	240	240

NR = No recomendable

e. Limpieza de la discontinuidad

Los tiempos de penetración son considerados basándose en discontinuidades sin contaminantes dentro. En situaciones prácticas, la inspección de componentes que han estado en servicio puede ser complicada por la dificultad de remover los posibles contaminantes atrapados en las discontinuidades.

Si la discontinuidad contiene contaminantes pueden presentarse diferentes situaciones:

1. Si la discontinuidad está llena de algún contaminante que no ha sido removido, como productos de corrosión fuertemente adheridos, entonces, no podrá existir penetración. Algún cambio en la sensibilidad del penetrante o en el tiempo de penetración no ayudará a detectar la discontinuidad
2. Si la discontinuidad está parcialmente llena de algún contaminante, el penetrante debe compartir el espacio, lo cual reduce el volumen de penetrante depositado, esto producirá una indicación más pequeña y menos visible. Por esta razón, algunos procedimientos requieren tiempos de penetración muy largos, de 2 y hasta 4 horas, para la detección de grietas por corrosión intergranular y por esfuerzos de corrosión.
3. Si la discontinuidad contiene algún contaminante soluble en el penetrante, como por ejemplo aceite, agua o algún otro compuesto orgánico, el penetrante y el contaminante se mezclarán, provocando con esto una reducción en la velocidad de penetración o produciendo una indicación menos visible, por lo que no proporcionará suficiente información a cerca del tamaño de la discontinuidad.

f. Tamaño de la discontinuidad

El tiempo requerido para que el penetrante llene una discontinuidad depende en gran parte de su ancho y profundidad. El penetrante llena rápidamente discontinuidades abiertas y anchas, en cambio, le toma más tiempo llenar discontinuidades cerradas y apretadas. Por ejemplo, grietas por fatiga pueden requerir de 2 a 5 veces el tiempo requerido para una grieta de otro tipo.

iii. Remoción del exceso de penetrante

Después que el tiempo de penetración ha sido suficiente para permitir el atrapamiento del penetrante por las discontinuidades abiertas a la superficie, el exceso de penetrante sobre la superficie inspeccionada debe ser removido.

La remoción del exceso de penetrante es un paso crítico en el proceso de inspección, una remoción errónea puede producir malas interpretaciones o resultados incorrectos. Idealmente, todo el penetrante de la superficie deberá ser removido (incluyendo filetes, esquinas y huecos) sin que la remoción sea excesiva como para reducir o eliminar totalmente el penetrante atrapado en las discontinuidades. Así también, una remoción incompleta puede producir un contraste residual que puede interferir con una adecuada interpretación de las indicaciones. Por ejemplo, en componentes con superficies rugosas o porosas, estas irregularidades se comportan como discontinuidades, por lo que atrapan y mantienen pequeñas cantidades de penetrante. Si tales cantidades de penetrante atrapado no son removidas, formarán un efecto de fondo visible o fluorescente que reduce el contraste, que puede ocultar indicaciones de discontinuidades significativas o que puede interferir en la inspección.

Con una buena remoción del exceso de penetrante, las indicaciones (después del revelado) aparecerán claramente con un color intenso o un contraste brillante y pueden ser fácilmente vistas.

1. Factores que afectan la remoción

a. Condición de la superficie inspeccionada

La condición superficial afecta directamente la remoción del exceso de penetrante. Una superficie con buen acabado puede ser fácilmente procesada por cualquier método de remoción sin dejar contraste residual, en cambio, las superficies rugosas reducen la facilidad de remoción.

b. Forma y geometría de la pieza inspeccionada

Una forma compleja, de la pieza inspeccionada, puede impedir el acceso a todas sus superficies.

c. Tamaño de la pieza inspeccionada

El tamaño de la pieza puede complicar el proceso de remoción. En el caso de piezas de grandes dimensiones el tiempo para la remoción puede extenderse demasiado.

2. Métodos de remoción

a. Remoción de penetrantes lavables con agua

El exceso de este penetrante se remueve directamente de la pieza por medio de un lavado con agua, por aspersion manual o automática, inmersión o, inclusive, con un trapo empapado con agua, esto es gracias a que contiene un agente emulsificante como parte integral de su formulación, por lo que se conoce también como auto emulsificante y tiene gran aceptación. La cantidad del agente emulsificante varía entre fabricantes y tipos, resultando en diferencias en la remoción. Algunas formulaciones consisten en 100% de agente emulsificante.

El penetrante se convierte en pequeñas gotas por los mecanismos de la fuerza del agua aplicada. Deben evitarse acumulaciones de agua.

El documento ASTM E-165 considera que:

- El tiempo de lavado no exceda de 120 s, a menos que se determine experimentalmente para una aplicación específica
- La presión del agua no sea mayor de 280 kPa
- La temperatura del agua sea relativamente constante y se mantenga en un rango de 10°C a 38°C (50 a 100°F)

Cuando el agua se aplica por aspersion se recomienda que el chorro sea basto y que incida sobre la superficie con un ángulo de 45°.

Lo adecuado del lavado normalmente se juzga con la observación de la superficie durante la operación de lavado. Con penetrantes fluorescentes, el lavado se realiza bajo iluminación de luz negra en un área semi oscurecida.

Este tipo de penetrantes tiene ciertas ventajas sobre otros:

- Gracias a que no es necesaria la aplicación de un emulsificador por separado, representa un ahorro de tiempo y dinero.
- El penetrante es fácilmente removido.
- No se requiere un control sobre el tiempo de emulsificación.

Pero también tiene desventajas:

- No existe control sobre la capa emulsificada, por lo que el penetrante atrapado en las discontinuidades podría ser removido.
- No es efectivo para algunos tipos de discontinuidades.

b. Remoción de penetrantes post-emulsificables

Los penetrantes post-emulsificables contienen una base aceitosa, son formulados para optimizar su capacidad de penetración y visibilidad. Difieren de los penetrantes lavables con agua fundamentalmente porque no contienen un agente emulsificador, por lo que es requerido un proceso de emulsificación por separado.

Después de transcurrido el tiempo de penetración se aplica un material conocido como emulsificador. La difusión del emulsificador en el penetrante resulta en una mezcla que puede ser removida con agua. Entonces, el lavado con agua, igual que con penetrantes lavables con agua, remueve la mezcla de penetrante y emulsificador de la superficie de la pieza inspeccionada.

Deben tenerse ciertos cuidados para evitar que el penetrante atrapado en las discontinuidades también sea emulsificado y posteriormente removido durante el lavado.

La causa principal por la que se puede presentar un sobre emulsificado es permitir periodos excesivos del tiempo de emulsificación, por lo que, el control cuidadoso del tiempo de emulsificaciónes la función más crítica en este proceso de inspección.

Por el contrario, tiempos de emulsificación cortos son insuficientes para permitirle al emulsificador reaccionar adecuadamente con el exceso de penetrante para asegurar su remoción.

Los siguientes factores influyen en la selección del tiempo de emulsificación:

- El penetrante y el emulsificador que están siendo utilizados.
- La superficie que está siendo inspeccionada.
- La funcionalidad deseada.
- El tipo de lavado utilizado.

En función del tipo de emulsificador existen ciertas condiciones de uso:

Emulsificador Lipofílico

Su modo básico de acción sobre el penetrante es por difusión y solubilidad. Puede ser aplicado por inmersión, vaciado o aspersion. No se recomienda usar brocha debido a que la aplicación del emulsificador y la mezcla con el penetrante es irregular.

La rugosidad de la superficie es un factor muy importante para determinar el tiempo de emulsificación, por lo que para cada tipo de pieza debería establecerse por experimentación. La mayoría de procedimientos establecen tiempos máximos de emulsificación de 3 a 5 minutos, aunque los mejores resultados se obtienen con tiempos cortos.

Emulsificador Hidrofílico

Funciona por medio de una acción detergente o de dilución, es algunas veces identificado como removedor o detergente de dilución. Puede ser aplicado por inmersión o aspersion.

Antes de aplicar este tipo de emulsificador se requiere un lavado con agua, para remover la mayor cantidad del exceso de penetrante, y un periodo corto de escurrido.

El rango de tiempo de emulsificación es desde 5 y hasta 20 minutos.

c. Remoción de penetrantes removibles con solvente

Los materiales usados para remover el exceso de penetrante de la superficie son identificados como removedores o limpiadores, y son normalmente mezclas volátiles de hidrocarburos clorinados o compuestos alifáticos.

Cuando se utilizan penetrantes removibles con solvente nunca se debe aplicar el solvente directamente sobre el penetrante.

La remoción se lleva a cabo por disolución y dilución. El procedimiento de remoción recomendado es limpiar el exceso de penetrante de la superficie con un trapo o paño limpio y seco, hasta que no pueda removerse más penetrante. Entonces, se humedece un trapo o paño con solvente y se limpian los rastros de penetrante de la superficie.

Este procedimiento sirve para remover hasta la última película de exceso del penetrante para que no aparezca fondo innecesario cuando sea aplicado el revelador.

Este método de remoción, y en general el tipo de penetrante, es difícil de usar en piezas con superficie rugosa o en huecos como roscas o ranuras por la dificultad para limpiar el fondo.

Secado después de la remoción del exceso de penetrante

El secado después de la remoción del exceso de penetrante depende del método de remoción y del revelador que será usado.

El secado después de la remoción con solvente se realiza solamente con aire o por evaporación normal.

El secado después de la remoción con agua requiere calentar para evaporar el agua, para expandir el penetrante y para reducir su viscosidad, para proporcionar un mejor revelado. El calor también es esencial cuando serán usados reveladores suspendidos en agua y solubles en agua, debido a que el agua del revelador debe ser evaporada. Los secadores pueden ser de gas, eléctricos o con vapor, es esencial que el aire dentro del secador se encuentre circulando para reducir el tiempo de secado.

iv. Aplicación del revelador

La cantidad de penetrante que emerge desde las pequeñas discontinuidades es casi invisible, por lo tanto, es necesario realizar otra operación antes de poder observar las indicaciones de discontinuidades. Los reveladores actúan de muchas formas, todas aumentando la visibilidad, por lo que puede considerarse que son los encargados de hacer visibles las indicaciones.

1. Tiempo de revelado

El revelador debe permanecer sobre la superficie de la pieza inspeccionada durante un periodo de tiempo, antes de realizar la inspección, a este periodo se le conoce como *“tiempo de revelado”*.

El tiempo requerido para que una indicación sea revelada o para que aparezca, es inversamente proporcional al volumen de la discontinuidad. Entre más grande sea la discontinuidad, el penetrante atrapado más rápidamente será extraído por el revelador, pero al contrario, es importante permitir el tiempo suficiente para la aparición de indicaciones diminutas de discontinuidades finas. Para usar el tiempo necesario para el revelado de indicaciones, como una medición de la extensión de la discontinuidad, deben controlarse las siguientes variables:

- Tipo penetrante
- Sensibilidad de la técnica
- Temperatura de la pieza
- El tiempo de penetración
- Las condiciones de la inspección

El tiempo de revelado inicia inmediatamente después de la aplicación del revelador seco y tan pronto como los reveladores húmedos (acuosos y no acuosos) se han secado.

El documento ASTM E-165 recomienda que el tiempo de revelado no sea menor de 10 minutos, y establece que el tiempo máximo de revelado permitido es de 2 horas para reveladores acuosos y de 1 hora para reveladores no acuosos. Se considera una buena práctica, observar la superficie inspeccionada mientras se aplica el revelador y durante el tiempo de revelado, como ayuda para la interpretación y evaluación de las indicaciones.

2. Características requeridas en los reveladores

Al seleccionar un revelador, este deberá cumplir con algunas propiedades o características, a continuación mencionaremos las más importantes, sin embargo, debemos hacer notar que ningún revelador presenta en grado óptimo todas a la vez:

- Debe ser absorbente
- Debe ser de grano fino y la forma de su partícula deberá producir indicaciones bien definidas
- Debe producir un buen contraste
- Debe ser fácil de aplicar
- Debe ser fácil de remover
- No debe contener elementos que afecten las características de las piezas inspeccionadas
- No debe contener elementos que afecten al operador

3. Selección del revelador

Debido a que los reveladores juegan un papel importante en la inspección por líquidos penetrantes, se debe utilizar el revelador adecuado dependiendo el tipo de trabajo.

Las siguientes son reglas generales con respecto al uso de los reveladores:

- Es preferible usar reveladores húmedos a usar revelador seco en superficies tersas o pulidas
- Es preferible usar revelador seco a usar reveladores húmedos en superficies muy rugosas
- Los reveladores húmedos son más adecuados para la inspección de altas cantidades de piezas pequeñas en serie, por la facilidad y velocidad de aplicación
- Los reveladores húmedos no pueden usarse con confianza donde pueda acumularse, como por ejemplo en filetes agudos, porque puede enmascarar indicaciones de discontinuidades.
- Los reveladores húmedos no acuosos son los más efectivos para revelar grietas finas y profundas, pero no son adecuados para revelar discontinuidades anchas y poco profundas.

4. Tipos de reveladores

a. Revelador seco

Puede aplicarse por inmersión en tanques de revelador, procesadores automáticos, cámaras de neblina y pistolas electrostáticas.

Son recomendados para usarse con penetrantes fluorescentes y deben ser aplicados cuando la superficie se encuentre completamente libre de humedad, por lo que producen mejores resultados en piezas que han sido calentadas.

En la mayoría de los casos, la cantidad de revelador adherido a la superficie inspeccionada es tan pequeña que normalmente no es necesaria la limpieza posterior, pero sí se requiere, puede hacerse con aire a presión o agua.

b. Revelador suspendido en agua (húmedo o suspensión acuosa)

Puede ser aplicado por inmersión o aspersion. Este tipo de revelador permite realizar la inspección a granel en piezas de tamaño medio.

A pesar que la mayor ventaja de este tipo de reveladores es porque son fácilmente aplicables, se debe tomar en cuenta que es necesario agitarlo antes de su aplicación, con la finalidad de que todas las partículas se encuentren en suspensión.

Igual que con el revelador seco, la remoción del revelador puede no ser necesaria, dependiendo del proceso subsecuente de la pieza inspeccionada.

c. Revelador soluble en agua (solución acuosa)

Es un tipo de solución con agua. Puede ser aplicado por inmersión o aspersion. Las mezclas adecuadas son recomendadas por los fabricantes.

d. Revelador suspendido en solvente (húmedo o suspensión no acuoso)

Es aplicado normalmente por aspersión, con botes a presión, pistolas de aire comprimido y sistemas electrostáticos. El sitio donde se usa debe estar bien ventilado para eliminar los vapores del solvente.

Debido a que el polvo se asienta rápidamente, es muy importante mantener el revelador agitado, por lo cual, los botes aspersores se deben agitar antes y durante la aplicación.

Su aplicación requiere experiencia cuando se realiza en forma manual. Los penetrantes visibles necesitan una capa lo suficientemente gruesa para proporcionar un fondo contrastante blanco, pero no debe ser en exceso porque se pueden enmascarar o cubrir las indicaciones.

Los mejores resultados se obtienen aplicando dos capas ligeras con el bote aspersor o la pistola manteniéndolos a aproximadamente 30 cm (12 pulgadas) de la superficie.

La segunda capa se puede aplicar en dirección transversal a la primera, lo cual se considera una buena práctica. Las superficies deben estar secas antes que el revelador sea aplicado, por lo que, debe permitirse que la primera capa de revelador seque antes de aplicar la segunda capa.

Con penetrantes fluorescentes es suficiente una capa muy ligera, y no debe aplicarse bajo iluminación con luz negra ya que no es posible ver qué tanto revelador está siendo aplicado.

e. Revelador de película plástica

Es aplicado por aspersión, pero se requiere experiencia considerable en la técnica de aplicación para aplicarlo adecuadamente.

Se deben aplicar capas muy delgadas, si se aplica demasiado revelador sin que seque, esto provoca que el penetrante se disuelva en la película plástica y se difunda a través de la película. Un par de aplicaciones es suficiente si no es necesario obtener un registro.

Para obtener un registro se requieren cerca de 8 capas, lo que incrementa aún más los costos.

v. Inspección

La inspección es una parte crítica del proceso por líquidos penetrantes, pero no puede considerarse como más importante que el proceso, porque si el proceso es inadecuado no se producirán indicaciones que sean vistas a un nivel de sensibilidad adecuado, por lo que no podrán ser detectadas por el inspector.

Para la detección visual de las indicaciones producidas se requiere iluminación adecuada, para asegurar que no exista pérdida en la sensibilidad durante la inspección.

1. Inspección de penetrantes visibles

Las indicaciones de penetrantes visibles son de color rojo sobre un fondo blanco, cuyo tamaño está cercanamente relacionado con el volumen de penetrante atrapado. Pueden ser examinadas con luz de día (natural) o luz blanca artificial (focos o lámparas). De acuerdo con ASTM E-165, la intensidad mínima de luz recomendada sobre la superficie de interés es de 1000 lux (100 pies candela).

2. Inspección de penetrantes fluorescentes

Las indicaciones de penetrantes fluorescentes se presentan como luz verde-amarilla brillante dentro de áreas con tono azul-violeta, la intensidad de la fluorescencia está asociada con el volumen y la concentración del penetrante retenido en la discontinuidad.

Son examinadas con luz negra en un área oscurecida. El documento ASTM E-165 recomienda que la luz visible ambiental no exceda de 20 lux (2 pies candela) y que la medición de la intensidad se realice con un medidor adecuado de luz visible sobre la superficie que está siendo inspeccionada.

Además, recomienda que para uso general la intensidad mínima de luz negra sobre la superficie que está siendo inspeccionada sea de $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (el Código ASME para recipientes a presión y Calderas, establece como requisito que la intensidad mínima sea de $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) y que la intensidad sea medida con un medidor de luz negra adecuado, ver figura No. 7.

La intensidad de luz debe ser verificada periódicamente para asegurar la mínima requerida.

Debe permitirse un periodo de tiempo para el calentamiento de la lámpara de luz negra (ASTM E-165 recomienda 10 minutos) antes de usarla o de medir la intensidad de la luz emitida.



Figura No. 7: Medidor de intensidad de luz negra

Se recomienda que el técnico adapte sus ojos a las condiciones del área oscura durante un periodo de tiempo (ASTM E-165 recomienda al menos 1 minuto) antes de iniciar el trabajo de inspección, y que no use lentes fotosensibles.

Existe un gran número de diferentes tipos de lámparas de luz negra disponibles comercialmente, por ejemplo, lámparas tubulares, lámparas incandescentes y lámparas de vapor de mercurio, quees casi la universalmente usada, ver figura No. 8.

En general, las lámparas de luz negra usan filtros de vidrio, con el fin de separar y eliminar prácticamente toda la luz visible y al mismo tiempo toda la radiación de longitud de onda que no corresponda a la de la luz negra.

Se recomienda verificar diariamente la integridad de los filtros y limpiarlos, además, reemplazar inmediatamente los filtros rotos o agrietados.



Figura No. 8: Lámpara de luz negra

Deben prevenirse fluctuaciones de voltaje que deterioren la lámpara o que afecten la inspección.

3. Interpretación y evaluación de las indicaciones

Los términos interpretación y evaluación se refieren a dos pasos completamente separados y distintos de la inspección.

- **Interpretar**

Es el hecho de determinar qué condición está causando las indicaciones obtenidas; en otras palabras, es la acción de decidir si las indicaciones obtenidas son falsas, no relevantes o relevantes (verdaderas de discontinuidad). En ocasiones, además, es necesario determinar qué tipo de discontinuidad ha generado la indicación.

Durante la inspección se debe tener presente la definición de indicación y los aspectos importantes relacionados con la interpretación.

Indicación: Es la respuesta que se obtiene al aplicar alguna prueba no destructiva, que requiere ser interpretada para determinar su significado.

Existen tres tipos de indicaciones:

Indicaciones falsas: Se presentan debido a una aplicación incorrecta de la prueba. La causa más común por la que se producen estas indicaciones es por una remoción deficiente del penetrante.

Las fuentes más comunes de indicaciones falsas son:

1. Penetrante en las manos del técnico
2. Contaminación del revelador
3. Pelusa con penetrante
4. Puntos de penetrante sobre la mesa de inspección

Indicaciones no relevantes: Son producidas por la construcción o configuración del material y por el acabado superficial. Causan una reacción del material de la misma manera que lo haría una discontinuidad verdadera. Este tipo de indicaciones incluye a aquellas que aparecen sobre artículos que son ajustados a presión, estirados, ranurados, barrenados o punteados.

Indicaciones relevantes (verdaderas): Son aquellas que se producen por una discontinuidad. Para determinar si una indicación es verdadera se requiere de un conocimiento previo del proceso empleado para la fabricación del artículo o el conocimiento de su funcionamiento y las condiciones a las que ha estado sometido.

- **Evaluar**

Es la acción de determinar o decidir si una indicación verdadera se acepta o se rechaza.

La evaluación se realiza basándose en un criterio de aceptación y rechazo, el cual, normalmente forma parte de los documentos que rigen y son aplicables al componente que está siendo inspeccionado.

El criterio de aceptación y rechazo considera el efecto que la discontinuidad tendrá en el servicio o funcionamiento del componente.

Si una indicación relevante es evaluada como rechazada, entonces pasa a ser considerada como defecto. En este momento cabe recordar la definición de defecto.

Defecto: Una discontinuidad cuya dimensión, forma, orientación o localización excede los criterios de aceptación establecidos, o que podría generar que el material o equipo falle cuando sea puesto en servicio o durante su funcionamiento. No todas las discontinuidades son necesariamente defectos porque pueden no afectar el funcionamiento de la pieza en la cual se encuentran.

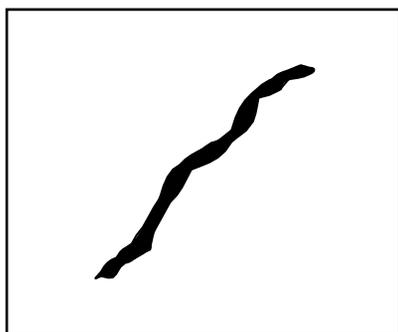
4. Apariencia de indicaciones producidas en líquidos penetrantes

Varios factores influyen en la apariencia exacta de indicaciones individuales. Sin embargo, existen ciertas tendencias generales que se mantienen para todas las formas y clases de materiales. Las siguientes descripciones aplican para piezas ferrosas y no ferrosas, grandes y pequeñas.

Las indicaciones son caracterizadas por el tipo de discontinuidad que las produce. La apariencia de una indicación puede ser usada para evaluar el tipo de discontinuidad que la causa.

- Interpretación de indicaciones en forma de líneas continuas

Normalmente una grieta aparece como una indicación en forma de línea continua, ver figura No. 9. La línea puede ser recta, irregular o dentada, ya que sigue la intersección de la grieta con la superficie. Un traslape en frío de una fundición también aparece como una línea continua generalmente angosta. Debido a que el traslape en frío es originado por una fusión imperfecta en donde dos corrientes de metal se encuentran pero no se fusionan, la indicación es bien delineada, no aparece como dentada. Un traslape de forja también puede producir una indicación en forma de línea continua.



Grieta grande

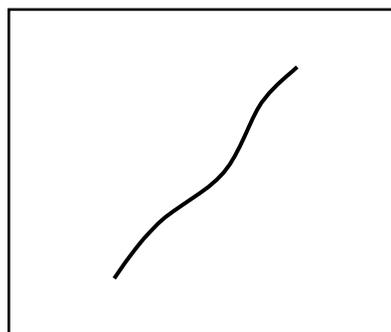
Grieta estrecha o
Traslape en frío

Figura No. 9: Líneas continuas

- Interpretación de indicaciones en forma de líneas intermitentes

Muchos traslapes de forja son parcialmente soldados durante golpes posteriores del martillo o la prensa de forja. La indicación originada por el traslape es, por lo tanto, una indicación lineal intermitente. Una grieta subsuperficial cuya longitud total no alcanza la superficie, o una costura que está parcialmente llena, también producen indicaciones lineales intermitentes, ver figura No. 10.

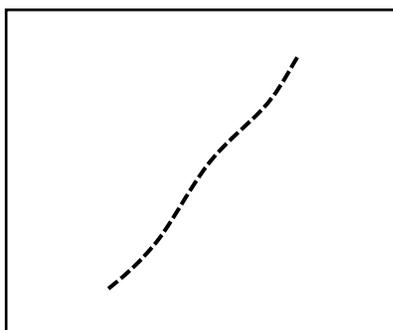


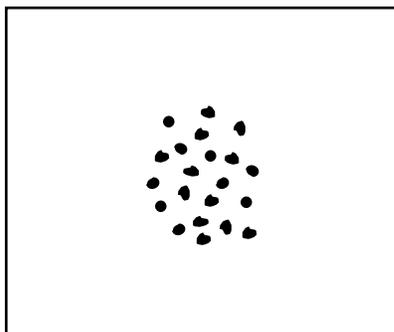
Figura No. 10: Traslape parcialmente soldado

- Interpretación de indicaciones de áreas redondeadas

Este tipo de indicaciones significa la presencia de agujeros por gas (porosidad) o agujeros tipo alfiler en fundiciones, o áreas relativamente grandes con falta de solidez en cualquier forma de metal. Las indicaciones aparecen redondeadas debido al volumen de penetrante atrapado, por lo que pueden ser producidas por discontinuidades de forma irregular, por ejemplo, grietas de cráter profundas en soldaduras frecuentemente producen indicaciones redondeadas, debido a que hay una gran cantidad de penetrante atrapado.

- Interpretación de indicaciones de puntos pequeños

Las indicaciones en forma de puntos pequeños, ver figura No. 11, resultan de una condición porosa. Tales indicaciones pueden ser causadas por agujeros tipo alfiler o grano excesivamente burdo en fundiciones, o por contracciones (rechupes), en este caso se nota una configuración de la indicación con contornos dendríticos.



Picaduras o porosidad

Figura No. 11: Indicaciones de puntos pequeños

- Interpretación de indicaciones difusas

En algunas ocasiones, un área grande puede presentar una apariencia difusa. Si son utilizados penetrantes fluorescentes, la superficie total puede brillar débilmente; si son empleados penetrantes visibles, el fondo se tornará rosa en lugar de blanco. Esta condición difusa puede resultar de una porosidad muy fina dispersada o muy difundida, o por micro contracciones en piezas de magnesio.

También puede ser causada por una limpieza insuficiente antes de la inspección, por una remoción incompleta del exceso de penetrante, por una capa gruesa de revelador o por una superficie porosa. Si indicaciones débiles se extienden en un área extensa se debería juzgar como sospechosa. Se considera bastante acertado repetir la inspección, con el objeto de eliminar cualquier indicación falsa debido a una técnica errónea, antes de intentar la evaluación inmediata de una indicación difusa.

- Nitidez de las indicaciones

La definición de las indicaciones es afectada por el volumen de líquido penetrante retenido en la discontinuidad, así como las condiciones de la inspección tales como la temperatura y el tiempo permitido para que sean reveladas las indicaciones, y además el tipo de penetrante. Generalmente, las indicaciones bien definidas o claras provienen de discontinuidades lineales angostas.

- Brillantez y extensión de las indicaciones

El color o brillantez fluorescente de las indicaciones puede ser muy útil al estimar la severidad de la discontinuidad.

La brillantez está directamente relacionada con la cantidad de penetrante presente y, por lo tanto, con el tamaño de la discontinuidad. Es difícil para el ojo humano detectar diferencias pequeñas en el color de los penetrantes visibles o en la brillantez de la fluorescencia. Ciertas pruebas han demostrado que aunque los instrumentos pueden registrar diferencias de hasta 4% en la brillantez, el ojo humano no puede detectar menos del 10% de diferencia. Afortunadamente las discontinuidades grandes por lo general producen indicaciones grandes además de tener incremento de brillantez.

- **Persistencia de las indicaciones**

Una buena forma de estimar el tamaño de una discontinuidad es por la persistencia de la indicación. Si reaparece después que ha sido removido y aplicado nuevamente, es porque está una reserva de penetrante en la discontinuidad.

5. Registro de indicaciones

En muchas ocasiones es conveniente registrar las indicaciones para reportarlas o durante la evaluación.

En inspecciones para detectar discontinuidades en servicio, algunas de ellas pueden ser toleradas, si no exceden una longitud específica o si no se han propagado. La longitud de la discontinuidad debe ser registrada en los registros que serán mantenidos, para que pueda determinarse el crecimiento o la propagación que se ha presentado en inspecciones subsecuentes.

Los siguientes son algunos métodos de registro de indicaciones que pueden ser utilizados durante la inspección, en función de las posibilidades.

- **Dibujos o croquis**

Es el método más simple para el registro de indicaciones.

El dibujo o croquis debe incluir una marca fácil de reconocer y rastrear sobre el área inspeccionada para que la indicación pueda ser localizada y orientada adecuadamente.

Las dimensiones y orientación de la indicación, con relación a la pieza, deben ser bastante exactas, debido a que ello puede originar una evaluación enfática o acentuada, de ser necesario. También, debe acompañar al dibujo o croquis la descripción del tipo de indicación para indicar si fue grande, una línea fina, brillante o sin brillo, indicaciones pequeñas alineadas y su semejanza. Este tipo de descripción es importante como parte del registro.

- **Técnicas para recoger indicaciones**

Las tres técnicas principales son transferencia con cinta adhesiva transparente, el uso de revelador de película plástica y el uso de cinta para réplica.

- a. La técnica más sencilla es la de transferencia con cinta adhesiva transparente. El área que rodea a la indicación se limpia y se seca, puede usarse una brocha para remover el exceso de revelador de esa área. Usando cinta adhesiva transparente de 3/4 de pulgada o más ancha, un extremo se pega a la superficie y la cinta se baja y es colocada levemente sobre la indicación. Se presiona firmemente sobre ambos lados de la indicación, si se presiona demasiado sobre la indicación puede distorsionarse su ancho y forma. Cuidadosamente se despega la cinta de la superficie y se coloca sobre una hoja de papel, en el formato de reporte o en un libro de registros. Si los extremos de la cinta tienen demasiado revelador no podrán adherirse al papel, entonces puede ser necesario agregar pedazos de cinta en cada extremo para fijar la cinta en el papel.
- b. Los reveladores de película plástica son excelentes para indicaciones ligeras. En lugar de aplicar capas adicionales de plástico o laca, puede ser usada la técnica de transferencia con cinta sobre la capa de revelador para retirar la indicación de la superficie.

- c. La cinta para réplica, usada para obtener réplicas para análisis de metalografías para microscopios electrónicos, puede ser usada para registrar indicaciones muy pequeñas o muy finas. La cinta se corta y se coloca sobre la indicación, presionando fuertemente con el dedo pulgar. Se aplica acetona alrededor del dedo y se mantiene la presión hasta que seque la acetona.

La acetona ayuda en el revelado del penetrante y con esta técnica se obtienen indicaciones definidas. La cinta debe permanecer al menos 10 minutos. La indicación debe removerse de la superficie y fijarse a una tarjeta con un agujero en el centro, de tal forma que la indicación quede sobre el agujero. La cinta puede ser observada con luz blanca o ultravioleta, como se requiera.

- **Fotografía**

El mejor método para registrar indicaciones es utilizando fotografía. La fotografía proporcionará la localización y orientación de la discontinuidad con relación a las piezas, así como también su dimensión.

La fotografía en blanco y negro con frecuencia puede revelar las indicaciones con buen contraste, en cambio, la fotografía de color es más difícil debido a que el color real es difícil de reproducir. Sin embargo, pueden obtenerse muy buenas fotografías si se desarrolla una buena técnica.

En el caso de la fotografía de líquidos fluorescentes son muy importantes los filtros utilizados, esto se debe a que la luz ultravioleta utilizada para la iluminación de las indicaciones podría no llegar a la película. Además, debido a la baja brillantez, la fotografía de indicaciones fluorescentes requiere el uso de tiempos de exposición.

Hoy en día la fotografía digital permite obtener registro de las indicaciones con gran facilidad, sin importar si corresponden a penetrantes visibles o fluorescentes, además de la facilidad para el manejo y administración de la información.

vi. Limpieza posterior

La limpieza posterior normalmente no es necesaria, si ha sido usado revelador seco, pero los reveladores acuosos y no acuosos deben ser removidos. La limpieza con rocío de agua normalmente es suficiente y en el campo puede ser usado un desengrasante o solvente.

Es preferible que el revelador sea removido tan pronto como sea posible después de la inspección, esto se debe a que algunos tipos de reveladores son más difíciles de remover conforme pasa el tiempo. El revelador que sea más difícil de remover puede ser restregado con una brocha o cepillo y detergente.

Para la selección del proceso o sistema de inspección por líquidos penetrantes se requiere que los materiales y los tipos de discontinuidades que deben ser detectadas sean revisados y categorizados para que puedan ser evaluados fácilmente, por ejemplo como sigue:

Tipos de discontinuidades	finas y estrechas anchas y abiertas porosidad conectada con la superficie finas grietas u otras discontinuidades que se extienden a través del espesor discontinuidades no relevantes
Dimensión y forma	tamaño de la discontinuidad (longitud, ancho, profundidad) orientación del plano de la discontinuidad con respecto a la superficie
Fuente de origen	discontinuidades de proceso primario fundición, forjado, soldadura, rolado, etc. discontinuidades de acabado maquinado, esmerilado, tratamiento térmico, moldeo, etc. discontinuidades de servicio fatiga, corrosión, etc.

Otra consideración importante corresponde a lo crítico de la discontinuidad. Las dos condiciones que afectan lo crítico de una discontinuidad son:

- a. La confiabilidad y los requisitos de seguridad de la pieza
- b. El tamaño de la discontinuidad que puede ser tolerado

También, la localización de la discontinuidad es otra consideración importante para la selección del proceso de inspección. Por ejemplo, una discontinuidad que esté localizada en un área inaccesible podría ser muy difícil de detectar. La ubicación de las discontinuidades hace difícil, prácticamente, todo el proceso de inspección, desde la preparación de la superficie, la aplicación del penetrante, la remoción del exceso de penetrante, la aplicación del revelador y hasta la inspección.

La siguiente es una lista que resume las consideraciones generales que deberían hacerse antes de seleccionar los materiales penetrantes y el proceso de inspección:

- a. El tipo y tamaño de la discontinuidad que se espera encontrar
- b. El tipo, material, forma, condición superficial, tamaño, etc., de la pieza que será inspeccionada
- c. La forma y la etapa del proceso de fabricación de la pieza, por ejemplo si es de fundición, de forja, etc., y si está en acabado, maquinado, etc.

- d. Los tipos y tamaños de las discontinuidades que pueden ser toleradas, en otras palabras contar con un criterio de aceptación y rechazo
 - e. Contestar a la pregunta ¿Para qué será usada la pieza?
 - f. La historia de piezas similares
 - g. La secuencia del proceso de fabricación y de inspección
 - h. El tipo materiales de inspección que estén disponibles
 - i. Aspectos económicos, por ejemplo costos, etc.
 - j. Consideraciones de seguridad
-

i. Ventajas y limitaciones de los procesos de inspección

1. Penetrantes fluorescentes lavables con agua

Ventajas

- a. Por la fluorescencia tienen gran visibilidad
- b. Son fácilmente lavables con agua
- c. Permiten la inspección en serie de grandes cantidades de piezas pequeñas
- d. Permiten la inspección de superficies rugosas
- e. Permiten la inspección de zonas internas, piezas ranuradas y roscadas
- f. Inspección rápida y de pasos sencillos
- g. Bueno para un rango amplio de discontinuidades
- h. Relativamente económico

Limitaciones

- a. Es el menos sensible de los penetrantes fluorescentes
 - b. La inspección debe llevarse a cabo en un área oscura y bajo condiciones de luz negra
 - c. No es confiable para detectar discontinuidades tenues o poco profundas o bien discontinuidades anchas
 - d. Es fácil que ocurra un sobre lavado que remueva el penetrante de las discontinuidades
 - e. La fluorescencia se reduce por ácidos y cromatos residuales y por superficies anodizadas
 - f. El penetrante en las discontinuidades está expuesto a contaminantes que contenga el agua utilizada
 - g. Se requiere de agua suficiente
-

2. Penetrantes fluorescentes postemulsificables

Ventajas

- a. Por la fluorescencia tienen gran visibilidad
- b. Tienen alta sensibilidad para discontinuidades muy finas
- c. Permiten la detección de discontinuidades tenues o poco profundas o bien discontinuidades anchas
- d. Son más sensibles que los penetrantes fluorescentes lavables con agua
- e. Son fácilmente lavables con agua después de la emulsificación
- f. Tienen tiempos de penetración cortos
- g. Son menos afectados por contaminantes que contenga el agua utilizada
- h. Pueden ser usados en superficies anodizadas

Limitaciones

- a. La aplicación del emulsificador es un paso más, por lo que es de mayor costo que los penetrantes lavables con agua
- b. La inspección debe llevarse a cabo en un área oscura y bajo condiciones de luz negra
- c. En ocasiones se dificulta remover el penetrante de piezas roscadas y agujeros ciegos
- d. Es difícil de usar en superficies rugosas, especialmente en fundiciones
- e. Para emulsificadores hidrofílicos se requiere un lavado con agua antes de su aplicación, por lo que se necesita gran cantidad de agua

3. Penetrantes fluorescentes removibles con solvente

Ventajas

- a. Por la fluorescencia tienen gran visibilidad
- b. Tienen la más alta sensibilidad cuando se combinan con reveladores húmedos en suspensión no acuosa
- c. No requieren el uso de agua
- d. Son portátiles
- e. Son buenos para la inspección por muestreo
- f. Tienen las mismas ventajas que los penetrantes postemulsificables

Limitaciones

- a. Para la remoción del exceso de penetrante se requiere el uso de un solvente
- b. La inspección debe llevarse a cabo en un área oscura y bajo condiciones de luz negra
- c. Los materiales son muy inflamables
- d. Se consume tiempo en la remoción del exceso de penetrante
- e. Es difícil remover el penetrante de piezas roscadas y agujeros ciegos
- f. Es difícil usarse en superficies rugosas, especialmente en fundiciones

4. Penetrantes visibles lavables con agua

Ventajas

- a. Son los más rápidos y simples de todos los procesos de inspección por penetrantes
- b. Son económicos
- c. Son útiles para la inspección de piezas grandes
- d. Permiten la inspección de superficies muy rugosas
- e. No requieren el uso de luz negra

Limitaciones

- a. Son los menos sensibles de todos los procesos de inspección por líquidos penetrantes
- b. Se requiere de una fuente de agua
- c. Las indicaciones son menos visibles que las indicaciones de penetrantes fluorescentes

5. Penetrantes visibles postemulsificables

Ventajas

- a. Son más sensibles que los penetrantes visibles lavables con agua
- b. Son menos afectados por contaminantes que contenga el agua utilizada
- c. No requieren el uso de luz negra

Limitaciones

- a. La aplicación del emulsificador es un paso más, por lo que es de mayor costo que los penetrantes lavables con agua
- b. Se requiere de una fuente de agua
- c. Son difíciles de usar en superficies rugosas

- d. Las indicaciones son menos visibles que las indicaciones de penetrantes fluorescentes
- e. Los emulsificadores hidrofílicos requieren un lavado con agua antes de aplicarse, por lo que se necesita gran cantidad de agua

6. Penetrantes visibles removibles con solvente

Ventajas

- a. Son los más portátiles
- b. Pueden usarse en campo y en sitio
- c. Son simples para usar
- d. Proporcionan buen contraste y sensibilidad
- e. No requieren el uso de luz negra
- f. No requieren el uso de agua

Limitaciones

- a. Los materiales son muy inflamables
- b. Es un proceso costoso
- c. Son difíciles de usar en superficies rugosas
- d. Son usados para inspecciones de áreas limitadas
- e. No son buenos para la detección de discontinuidades poco profundas y anchas
- f. Las indicaciones son menos visibles que las indicaciones de penetrantes fluorescentes

A continuación mencionaremos los datos técnicos de algunos materiales usados para realizar el examen por líquidos penetrantes. Además, se describen algunas características.

Los materiales considerados son utilizados en gran cantidad de aplicaciones, incluyendo la manufactura de componentes nucleares y la fabricación de tubería para sistemas nucleares. Consecuentemente, estos materiales cubren, no solo los criterios de MIL-I-25135D, sino también de NAVSEA 250-1500-1 y RDT. Son aprobados por firmas de ingeniería arquitectónica. Corresponden a los materiales penetrantes de MAGNAFLUX y MET-L-CHEK. De cualquier forma, los certificados del contenido de elementos contaminantes y otras características relevantes se entregan con cada embarque.

i. Penetrantes visibles MAGNAFLUX

SPOTCHECK® SKL-SP2 – Este es un penetrante removible solvente (o post-emulsificable) de color rojo. Clasificado por ASMT E-165 como tipo II, método B, C y D. El exceso de penetrante puede ser removido con limpiador-removedor SKC-S (Método C), ZE-4B (Método B) o ZR-10B (Método D). Es típicamente usado en el examen de soldaduras, forjas, recipientes a presión, fundiciones, trabajo general de metales, prueba de fuga, y en la construcción de plantas de potencia. Puede ser usado con los reveladores en suspensión no acuosa SKD-S2 y ZP-9F, y con el revelador en suspensión acuosa ZP-5B.

Cumple con AMS-2644, AECL, Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, Sección V, ASTM E1417, MIL-STD 2132, ASTM E165 y MIL-STD 271.

SPOTCHECK® SKL-WP2 – Este es un penetrante lavable con agua. Clasificado por ASMT E-165 como tipo II, método A y C. El exceso de penetrante puede ser removido con agua (Método A) y con limpiador-removedor SKC-C (Método C). Es usado en el examen de soldaduras y fundiciones para la detección de grietas y porosidad. Puede ser usado con el revelador en suspensión no acuosa SKD-S2 y con el revelador en suspensión acuosa ZP-5B.

Cumple con AMS 2644, Boeing PS 21202, MIL-STD-271, Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, Sección V, MIL-STD-2132, NAVSEA 250-1500-1, AECL, ASTM E 165, Boeing BAC 5423 PSD 6-46 o el 8-4 y ASTM E 1417.

ii. Penetrantes visibles MET-L-CHEK

VP-30 – Este es un penetrante removible con agua, clasificado por ASMT E-165 como tipo II, método A. También es calificado como removible con solvente tipo II, método C. Este penetrante es uno de los más versátiles disponibles en el mercado. Hoy en día, es usado en la mayoría de las aplicaciones. Es removible con agua pero, de ser necesario, puede removerse con solvente, utilizando los limpiadores o removedores E-59 o R-501. Dentro de sus aplicaciones se puede incluir la inspección de cerámica blanca gracias a que no necesita la aplicación del revelador. Para las aplicaciones usuales de este penetrante puede ser usado un revelador no acuoso, como el D-70 o D-71, para proporcionar alto contraste y fácil detección de discontinuidades.

VP-31A – Este es un penetrante postemulsificable o removible con solvente, clasificado por la especificación MIL-I-6866 como tipo II, método B o C, y por ASMT E-165 como tipo II, método C. Este es penetrante tradicional del juego de penetrantes, donde la inspección se basa en la aplicación del penetrante, seguido de la remoción del exceso de penetrante con un paño humedecido con limpiador-removedor E-59 o R-501, y finalmente aplicando el revelador no acuoso D-70 o D-701. Cubre los requisitos en cuanto al contenido de sulfuros y halógenos de NAVSEA 250-1500-1, el Código ASME para recipientes a presión, y RTD y otras especificaciones nucleares. Cuando es utilizado como penetrante postemulsificable la emulsificación se lleva a cabo con el emulsificador E-50, y en conjunto con revelador no acuoso, como el D-70 o D-71.

VP-302 – Este es un penetrante para altas temperaturas. Diseñado para aplicaciones donde la temperatura de la pieza es muy elevada para penetrantes ordinarios, y donde la pieza es muy grande para ser enfriada para realizar el examen. Es un penetrante removible con solvente, usado en conjunto con removedor R-502 y revelador D-702, que son también para altas temperaturas. Puede usarse a temperaturas de hasta 177°C (350°F). A temperatura ambiente es un producto viscoso, al aplicarlo sobre la superficie caliente, se convierte en muy ligero y excelente penetrante.

iii. Penetrantes fluorescentes MAGNAFLUX

ZYGLO® ZL-27A (Nivel de sensibilidad 3) – Este es un penetrante removible solvente o post-emulsificable. Clasificado por ASMT E-165 como tipo I, método B, C y D. El exceso de penetrante puede ser removido con limpiador-removedor SKC-S (Método C), ZE-4B (Método B) o ZR-10B (Método D). Es típicamente usado en fundiciones, forjas, extrusiones y superficies maquinadas rugosas para detectar grietas, costuras, traslapes, laminaciones y porosidad. Puede ser usado con los reveladores en suspensión no acuosa SKD-S2 y ZP-9F, y con el revelador en suspensión acuosa ZP-5B.

Cumple con AMS-2644, ASTM E 1417, ASTM E 165, MIL-STD-271, MIL-STD 2132, Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, Sección V, AECL, Boeing PS-21202, Boeing BAC 5423 PSD 6-46 o el 8-4.

ZYGLO® ZL-60D (Nivel de sensibilidad 2) – Este es un penetrante lavable con agua. Clasificado por ASMT E-165 como tipo I, método A y C. El exceso de penetrante puede ser removido con agua (Método A) y con limpiador-removedor SKC-C (Método C). Es usado en el examen de superficies rugosas de fundiciones, forjas, extrusiones y superficies maquinadas rugosas para detectar grietas, costuras, traslapes, laminaciones y porosidad. Puede ser usado con el revelador en suspensión no acuosa SKD-S2 y ZP-9F, y con el revelador en suspensión acuosa ZP-5B.

Cumple con AMS 2644, Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, Sección V, MIL-STD-271, MIL-STD-2132, Boeing BAC 5423 PSD 6-46 o el 8-4, AECL, ASTM E 165 y ASTM E 1417.

iv. Penetrantes fluorescentes MET-L-CHEK

1. Penetrantes postemulsificables / removibles con solvente

FP-94 – Nivel de sensibilidad 1. Es el penetrante fluorescente de menor sensibilidad. Puede ser usado con emulsificador lipofílico o hidrofílico. Es de bajo costo y se recomienda para la detección de discontinuidades relativamente grandes.

FP-93A(M) – Nivel de sensibilidad 2. Es un penetrante de media sensibilidad, el más popular para inspecciones en general. Usado para piezas maquinadas, soldadas o similares. Puede ser usado con emulsificador lipofílico o hidrofílico. Aprobado por PRATT & WHITNEY, General Electric AEG, Detroit Diesel Allison y otras manufactureras aeroespaciales.

FP-95A(M) – Nivel de sensibilidad 3. Es un penetrante muy resistente, usado ampliamente en partes aéreas y otros componentes. Aprobado por PRATT & WHITNEY, General Electric AEG, Detroit Diesel Allison y otras compañías aéreas. Su nivel de sensibilidad es calificado con emulsificador hidrofílico y lipofílico.

FP-97A(M) – Nivel de sensibilidad 4. Es un penetrante de ultra alta sensibilidad, aprobado para el uso en partes rotativas de turbinas por General Electric AEG, PRATT & WHITNEY, Detroit Diesel Allison, Rolls Royce y otras. Calificado con emulsificador hidrofílico y lipofílico, pero normalmente recomendado con emulsificador hidrofílico ya que en general se tiene mayor control del proceso.

2. Penetrantes lavables con agua

FP-900 – Nivel de sensibilidad 1/2. Es un penetrante de bajo costo, usado para detectar discontinuidades relativamente grandes en piezas de fundición, forja o similares. Es fácil de remover.

FP-901 – Nivel de sensibilidad 1. Es un penetrante de bajo costo, aprobado como nivel 3 por DMS 1908B y MMS 615.

FP-91B – Nivel de sensibilidad 1. Es un penetrante para líneas de producción, aprobado por PRATT & WHITNEY, General Electric AEG, Detroit Diesel Allison, como nivel 3 por DMS 1908B y MMS 615 y otras. Es fácil de remover y es biodegradable.

FP-902 – Nivel de sensibilidad 2. Es un penetrante de bajo costo. Calificado como nivel 4 por DMS 1908B y MMS 615.

FP-92B(M) – Nivel de sensibilidad 2. Aprobado por PRATT & WHITNEY, General Electric AEG, Rolls Royce y Detroit Diesel Allison, y como nivel 4 por DMS 1908B y MMS 615 y otras. Es un penetrante resistente para líneas de producción.

FP-903 – Nivel de sensibilidad 3. Es un penetrante de bajo costo. Calificado como nivel 4 por DMS 1908B y MMS 615.

FP-98A – Nivel de sensibilidad 3. Nivel de sensibilidad alto, es fácil de lavar y es biodegradable.

FP-99A – Nivel de sensibilidad 3. Nivel de sensibilidad mayor que el penetrante FP-98A. Es fácil de lavar y es biodegradable.

v. Reveladores MAGNAFLUX

SPOTCHECK® SKD-S2 – Este es un revelador en suspensión no acuosa no halogenado. Puede ser usado con penetrantes **SPOTCHECK®** o **ZYGLO®**.

Cumple con AMS 2644, MIL-STD-271, MIL-STD-2132, AECL, Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, Sección V, Boeing PS-21202, AMS 2647, ASTM E 1417, ASTM E 165, NAVSEA 250-1500-1 y Boeing BAC 5423.

ZYGLO® ZP-9F - Este es un revelador en suspensión no acuosa no halogenado. Puede ser usado con penetrantes **SPOTCHECK®** o **ZYGLO®**.

Cumple con AMS 2644, MIL-STD-271, MIL-STD-2132, AECL, Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, Sección V, Boeing PS-21202, AMS 2647, ASTM E 1417, ASTM E 165, NAVSEA 250-1500-1 y Boeing BAC 5423.

vi. Reveladores MET-L-CHEK

Revelador	Tipo	Características
D-70	Suspensión no acuosa	Suspensión base alcohol. Contiene solventes no clorinados
D-701	Suspensión no acuosa	Suspensión base solvente. Clorinado, no inflamable
D-702	Suspensión no acuosa	Para uso exclusivo en altas temperaturas, usado en conjunto con penetrante VP-302 y removedor R-502
D-72A	Seco	Alta sensibilidad, diseñado específicamente para usarse con penetrante fluorescente
D-76E	Soluble en agua	Alta sensibilidad, usado con penetrante fluorescente
D-78A	Suspensión acuosa	Alta sensibilidad, usado con penetrantes visibles y fluorescentes

Con la finalidad que el técnico de ensayos no destructivos realice un trabajo, se requiere una gran cantidad de información en cada método específico, sin embargo, la información es similar en muchos aspectos. Cada inspección requiere algo de información única. La simple solicitud de una compañía o de personal de producción de que "el equipo o parte debe estar bien" es información insuficiente para juzgarse como buena. Es evidente que el estado de alguna parte o componente de un producto afectará la calidad total o final del mismo. Aún el técnico más experimentado no podrá determinar el estado de un producto en función de su calidad y, por lo tanto, de cómo este va a ser evaluado.

Para satisfacer esta necesidad existe una gran cantidad de documentos dependiendo, desde luego, de la aplicación específica del producto o parte en cuestión. Algunos de esos documentos pueden ser códigos, estándares o normas y especificaciones.

Existen un gran número de organizaciones responsables de la edición y revisión de estos documentos, por mencionar algunos: ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), AWS (Sociedad Americana de Soldadura), API (Instituto Americano del Petróleo), etc.

Un buen técnico de ensayos no destructivos siempre debe tener en cuenta la importancia de los documentos como códigos, estándares o normas y especificaciones.

Como técnico en ensayos no destructivos debe ser capaz de elaborar procedimientos escritos e interpretar los resultados de las inspecciones basándose en los requisitos que son tomados de los documentos aplicables al componente o material inspeccionado. Además, para cumplir con el objetivo y requisitos de los documentos, el técnico debe ser capaz de entender el punto de vista que dirige lo establecido en ellos y también de asegurar que quien realiza actividades de inspección, documentada en procedimientos, cumple con la variedad de documentos aplicables.

La forma en la cual se encuentran establecidos los requisitos en los códigos, normas o especificaciones varía de documento a documento.

i. Códigos, normas o estándares y especificaciones

Código

Es una colección de estándares y especificaciones relacionadas entre ellas, es un documento que define los requisitos técnicos de prueba, materiales, procesos de fabricación, inspección y servicio, con los que debe cumplir una línea en particular de partes, componentes o equipo.

Ejemplos:

- Código ANSI / ASME Boiler and Pressure Vessel Code (Código para Recipientes a Presión y Calderas, de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)
- Código ANSI / AWS D 1.1 Structural Welding Code – Steel (Código para Estructuras Soldadas de Acero, de la Sociedad Americana de Soldadura)
- Código ANSI / ASME B31 Code for Pressure Piping (Código para Tubería sujeta a Presión, de la sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)

- Código ANSI / API 570 Piping Inspection Code (Código para Inspección de Tubería, del Instituto Americano del Petróleo)

Los códigos se aplican o se siguen de forma obligatoria solo cuando se establece en un contrato de compra-venta, o en la fabricación de una parte, componente o equipo. Los Códigos no se combinan o sustituyen entre sí.

Los códigos americanos que llevan las siglas ANSI son documentos normativos nacionales oficiales en los EUA.

A continuación, se menciona como ejemplo la estructura general del Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, así como la ubicación de los requisitos de los ensayos no destructivos.

El Código ASME está dividido en varias secciones, las cuales, se puede considerar forman dos grupos:

1. Para clases específicas de componentes (recipientes a presión, calderas, etc.)
2. Tecnología de soporte (soldadura, pruebas no destructivas y materiales)

ASME ha establecido, como parte del Código, reglas y requisitos de ensayos no destructivos en la Sección V, que tiene aplicación similar a las normas ASTM y en ocasiones utiliza algunas de ellas como base técnica para las actividades de ensayo.

Ya que el Código contempla varios tipos de componentes críticos, los criterios de aceptación, los requisitos de personal y la definición de lo que debe ser examinado se reserva para la Sección correspondiente, determinada por la referencia específica del componente, por ejemplo:

- La Sección I (reglas para la construcción de calderas)
- La Sección III (reglas para la construcción de instalaciones nucleares)
- La Sección VIII (reglas para la construcción de recipientes a presión)

Normas (Estándares)

Son especificaciones publicadas, métodos de prueba o ensayo, clasificación o práctica, que ha sido preparada por un cuerpo editor, con el fin de satisfacer las necesidades de un contrato, un estándar o parte de uno, para que pueda funcionar como una especificación.

Son documentos que establecen y definen reglas para:

- Adquirir, comprar, dimensionar o juzgar un servicio, material, parte o componente;
- Establecer definiciones, símbolos, clasificaciones.

Ejemplos:

- Normas ASTM (Sociedad Americana para Pruebas en Materiales)
- Normas Internacionales ISO (Organización Internacional de Normalización)
- Normas Mexicanas

- Normas Americanas ANSI (Instituto Americano de Estándares Nacionales)

Las normas ASTM relacionadas con los ensayos no destructivos hacen énfasis en la forma en la cual deben realizarse las actividades de inspección, pero dejan el criterio de aceptación y rechazo para que sea decidido entre el comprador y el vendedor del servicio, de acuerdo con el componente.

Especificaciones

Es documento que establece, con detalle, el juego de requisitos asociados con un método. La fuente de una especificación es normalmente el comprador del componente o servicio.

Describen, definen y establecen:

- De forma detallada, un servicio, material o producto,
- Propiedades físicas o químicas de un material,
- La forma en la cual deben realizarse pruebas, inspecciones, etc., y las tolerancias aplicables en los resultados para la aceptación o rechazo,
- Establecen la forma de realizar la compra de un servicio, material o producto.

En lugar de un documento técnico complejo, el comprador elige un documento particular que cubre adecuadamente el método particular. Tienen condiciones que deben ser establecidas por el comprador o que pueden ser aplicadas por el vendedor, a su consideración.

Ejemplos:

- Especificaciones API,
- Especificaciones particulares de los clientes.
- Especificaciones ASTM.

Las especificaciones y normas solo son obligatorias por mutuo acuerdo entre comprador y vendedor.

ii. Procedimientos de inspección

Un Procedimiento de Inspección es un documento escrito, en forma de una secuencia ordenada de acciones, que describen cómo debe ser aplicada una técnica específica. Es un documento que define los parámetros técnicos, requisitos de equipos y accesorios, así como los criterios de aceptación y rechazo que son aplicables a materiales, partes, componentes o equipos, todo de acuerdo con lo establecido en códigos, normas y especificaciones.

El alcance de un procedimiento es intentado para cubrir componentes complejos o críticos o un grupo de artículos semejantes. Aún el técnico más experimentado no podrá determinar el estado de un componente sin la información aplicable al bien o servicio, de cómo se requiere que sea el componente en función de su calidad y, por lo tanto, de cómo el componente va a ser inspeccionado y evaluado.

A continuación se mencionan algunos beneficios que aporta el uso de los procedimientos de inspección:

- Apego a los documentos aplicables
- Mantiene homogénea la técnica de inspección
- El criterio de aceptación y rechazo es homogéneo
- Se mantiene un nivel de calidad constante de los productos inspeccionados
- Se tiene repetitividad de resultados
- Evita discrepancias entre el fabricante y el comprador en la inspección de recepción de materiales, cuando el comprador está enterado y ha autorizado la aplicación del procedimiento.

Con base en los documentos aplicables, los procedimientos de inspección deben ser elaborados por un técnico nivel II o III, calificado y certificado en el método de inspección aplicable. Además, frecuentemente se establece que deben ser revisados y aprobados por un técnico nivel III, calificado y certificado en el método de inspección correspondiente.

El procedimiento debería contener cada aspecto que el técnico necesita saber para llevar a cabo la inspección, como sea requerido, por lo que antes de elaborar un procedimiento de inspección deberían considerarse varios aspectos preliminares importantes, como los siguientes:

- Obtener las especificaciones del cliente, si se requirieran, o se debería definir los documentos aplicables entre el prestador del servicio y el cliente, tales como especificaciones, Códigos, estándares, dibujos, pedido, etc.
- Verificar o definir el alcance del procedimiento y de las especificaciones del cliente o documentos aplicables, y aclarar dudas de los requisitos
- Verificar los requisitos específicos que sean aplicables contenidos en notas técnicas, planos, especificaciones, dibujos, pedido, etc.
- Determinar los equipos y accesorios necesarios
- Definir los niveles de calidad requeridos
- Considerar los programas de fabricación o mantenimiento, para determinar los puntos críticos de la inspección como: las áreas de interés, la etapa del proceso de fabricación o mantenimiento en la que se debe realizar la inspección, etc.
- Seleccionar y preparar las muestras, en caso que sea requerida la calificación del procedimiento.

El procedimiento debería contener cada aspecto que el técnico necesita saber para inspeccionar piezas como sea requerido, por lo cual el procedimiento debería detallar al menos lo siguiente:

- Materiales, formas y tamaños para los cuales es específicamente aplicable el procedimiento
- Tipo de penetrante que será usado, y del emulsificador si es necesario
- Equipo que será usado, si es necesario

- Preparación de la superficie
 - Tipo de revelador que será usado
 - Tiempos de penetración y emulsificación
 - Requisitos para la limpieza posterior
-

iii. Reporte de resultados

Los procedimientos de inspección normalmente hacen referencia a un formato de reporte de los resultados de la inspección.

Cuando se reportan y documentan los resultados de las inspecciones, se debe incluir la información completa y exacta de la inspección realizada, con el objeto de hacerla reproducible.

Lo anterior se debe a que pueden existir revisiones por parte del cliente o por alguna agencia (durante auditorías, inspecciones, etc.). Esas revisiones pueden ocurrir mucho tiempo después de haber realizado la inspección y la aceptación por el cliente. Entonces, la falta de información y documentación puede resultar en retrasos costosos, por ejemplo al tratar de resolver la aparente o sospechosa presencia de indicaciones.

La información necesaria para minimizar confusiones durante la revisión de un reporte de resultados debe incluir, pero no está limitada, a los requisitos establecidos por el Código, norma o especificación que sea aplicable.

iv. Criterios de aceptación y rechazo

Los criterios de aceptación son incluidos en algunos documentos, para proporcionar rangos, clases, grados y niveles de calidad que son aceptables.

Los documentos que contienen criterios de aceptación y rechazo presentan un método para la calificación de ciertos componentes, materiales o productos. Son categorizadas ciertas variables como la aleación, el tipo de fabricación, el acabado, el recubrimiento, el esfuerzo, la seguridad y la función; estos factores deben ser considerados en el análisis de diseño antes de asignar una clase o grado del componente.

El criterio de aceptación y rechazo establece el tamaño y tipo de una discontinuidad aceptable en un área especificada.

El componente puede ser dividido por zonas, para permitir diferentes niveles de calificación en diferentes posiciones sobre el componente, si está así considerado. Sin embargo, en la mayoría de casos, el criterio de aceptación solo tiene un tamaño de discontinuidad, arriba del cual el defecto debe ser removido o debe ser removido y reparado, o la pieza debe ser desechada.

A continuación se incluyen algunos ejemplos de criterios de aceptación y rechazo.

APENDICE 8
(ASME BPV CODE SECTION VIII, DIVISION 1)
MÉTODOS PARA EL EXAMEN POR LÍQUIDOS PENETRANTES (PT)

8-3 EVALUACIÓN DE INDICACIONES

Una indicación es la evidencia de una imperfección mecánica. Solamente indicaciones con dimensiones mayores que 1/16 de pulgada deben ser consideradas relevantes.

- a) Una indicación lineal es aquella que tenga una longitud mayor que tres veces su ancho.
- b) Una indicación redonda es aquella de forma elíptica o circular que tenga la longitud igual o menor que tres veces su ancho.
- c) Cualquier indicación cuestionable o dudosa debe ser reexaminada para determinar, en todo caso, si es o no relevante.

8-4 ESTÁNDARES DE ACEPTACIÓN

Estos estándares de aceptación deben aplicarse a menos que otros estándares más estrictos sean especificados para materiales o aplicaciones específicas dentro de esta División:

Todas las superficies examinadas deben estar libres de:

- a) Indicaciones lineales relevantes;
- b) Indicaciones redondas relevantes mayores de 3/16 de pulgada (4.8 mm);
- c) Cuatro o más indicaciones redondas relevantes en una línea y separadas por 1/16 de pulgada (1.6 mm) o menos (de extremo a extremo);
- d) Una indicación de una imperfección puede ser más grande que la imperfección que la causa; sin embargo, el tamaño de la indicación es la base para la evaluación.

API SPECIFICATION 6A
Especificación para Equipo de Cabeza de pozo y Árbol de Navidad
Capítulo 7 Control de Calidad

7.5.2.2.9 END Superficiales - No ferromagnéticos

c. Criterio de Aceptación

No se aceptan indicaciones lineales relevantes

No se aceptan indicaciones redondas con su dimensión mayor igual o mayor que 3/16" (5 mm)

Son inaceptables cuatro más indicaciones redondas relevantes en una línea y separadas por menos de 1/16" (1.6 mm) (de extremo a extremo)

No se aceptan indicaciones relevantes en superficies de sello en contacto con presión

Además de los criterios anteriores, para soldaduras no se aceptan indicaciones redondas mayores de 1/8 (3mm) para soldaduras cuyo espesor es de 5/8 (16 mm) o menores; o 3/16 para soldaduras cuyo espesor es mayor de 5/8 (16 mm)

STRUCTURAL WELDING CODE - STEEL AWS D1.1/D1.1M:2008
CLÁUSULA 6. INSPECCIÓN
Parte C - Criterios de Aceptación

6.10 PT y MT

Las soldaduras que son sujetas a MT y PT, además de la inspección visual, deben ser evaluadas basándose en los requisitos aplicables para la inspección visual. Los ensayos deben realizarse de acuerdo con 6.14.4 o 6.14.5, lo que sea aplicable.

C-6.10 PT y MT

El código no incluye criterio de aceptación para el ensayo por líquidos penetrantes basado en el sangrado del tinte. Cuando sea usado el ensayo por PT, la aceptación de cualquier discontinuidad debe estar basada en una evaluación visual de la discontinuidad, después de remover el medio indicativo. Cuando la discontinuidad no pueda ser vista (aun con magnificación, si es requerida) después de la remoción del medio indicativo, la evaluación debe estar basada en el tamaño y naturaleza de la indicación producida por el ensayo por PT. La observación del penetrante mientras sangra, proporciona información útil concerniente con la naturaleza de la discontinuidad.

6.11 END

Con excepción de lo indicado en 6.18, todos los métodos de END, incluyendo los requisitos de equipo y calificaciones, calificaciones de personal y métodos de operación, deben ser de acuerdo con la Cláusula 6, Inspección. Los criterios de aceptación deben ser los que se describen en esta Sección. Las soldaduras sujetas a END, debieron haberse encontrado aceptables por inspección visual, de acuerdo con 6.9.

Para soldaduras sujetas a END, de acuerdo con 6.10, 6.11, 6.12.1 y 6.13.3, los ensayos pueden iniciar inmediatamente después que la soldadura ha sido terminada y se ha enfriado a temperatura ambiente. El criterio de aceptación para aceros ASTM A514, A517 y A 709 Grado 100 y 100W debe basarse en END realizados a no menos de 48 horas después de completar las soldaduras.

Tabla 6.1
Criterio de Aceptación para Inspección Visual (ver 6.9)

Categoría de la discontinuidad y Criterio de Inspección	Conexiones No Tubulares Estáticamente Cargadas	Conexiones No Tubulares Cíclicamente Cargadas	Conexiones Tubulares (Todo tipo de cargas)
(1) Prohibición de grietas Cualquier grieta debe ser inaceptable, sin importar su tamaño o localización.	Aplicable	Aplicable	Aplicable
(2) Fusión entre Soldadura/Metal Base Debe existir fusión completa entre capas adyacentes de metal de soldadura y entre metal de soldadura y metal base.	Aplicable	Aplicable	Aplicable

Tabla 6.1
Criterio de Aceptación para Inspección Visual (ver 6.9)

Categoría de la discontinuidad y Criterio de Inspección	Conexiones No Tubulares Estáticamente Cargadas	Conexiones No Tubulares Cíclicamente Cargadas	Conexiones Tubulares (Todo tipo de cargas)
<p>(5) Tiempo de Inspección La inspección visual de soldaduras en todos los aceros puede iniciar inmediatamente después que la soldadura ha sido terminada y se ha enfriado a temperatura ambiente. El criterio de aceptación para aceros ASTM A514, A517 y A 709 Grado 100 y 100W debe basarse en la inspección visual realizadas a no menos de 48 horas después de completar la soldadura.</p>	Aplicable	Aplicable	Aplicable
<p>(8) Porosidad (A) Las soldaduras de ranura con penetración completa, en juntas a tope transversales a la dirección de los esfuerzos de tensión calculados, no deben tener porosidad tubular visible. Para todas las otras soldaduras de ranura así como soldaduras de filete, la suma de la porosidad tubular visible de 1/32" (1 mm) de diámetro o mayores, no debe exceder de 3/8" (10 mm), en cualquier pulgada lineal de soldadura y no debe exceder de 3/4" (19 mm) en cualquier longitud de 12" (305 mm) de soldadura.</p>	Aplicable		
<p>(B) La frecuencia de la porosidad tubular en soldaduras de filete, no debe exceder de una en cada 4" (100 mm) de longitud de soldadura y el diámetro máximo no debe exceder de 3/32" (2.5 mm). Excepción: Para soldaduras de filete que conectan refuerzos al alma, la suma de los diámetros de porosidad tubular no debe exceder de 3/8" (10 mm) en cualquier pulgada lineal de soldadura y no debe exceder de 3/4" (19 mm) en cualquier longitud de 12" (305 mm) de soldadura.</p>		Aplicable	Aplicable
<p>(C) Las soldaduras de ranura con penetración completa, en juntas a tope transversales a la dirección de los esfuerzos de tensión calculados, no deben tener porosidad tubular. Para todas las otras soldaduras de ranura, la frecuencia de la porosidad tubular no debe exceder de una en 4" (100 mm) de longitud y el diámetro máximo no debe exceder de 3/32" (2.5 mm)</p>		Aplicable	Aplicable

A continuación, describiremos algunos bloques comparadores y de referencia que son usados en la inspección por líquidos penetrantes, para evaluar la sensibilidad y funcionalidad de los procesos o sistemas de inspección. La evaluación se realiza por comparación entre varios materiales o procesos para determinar la funcionalidad relativa bajo condiciones específicas de la inspección.

i. Bloque comparador de aluminio agrietado

Es la más popular de todas las herramientas actualmente usadas para evaluar a los materiales penetrantes y para juzgar la utilidad de un sistema de inspección por líquidos penetrantes, esto no significa que sea el más valioso y el más confiable. Este bloque se describe en la Sección V del Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas y en la especificación militar de los Estados Unidos la MIL-I-25135.

El bloque comparador se fabrica de aluminio rolando, como sea requerido por el Código o Especificación aplicable. Si se desea, se puede simular la condición superficial de las piezas que serán inspeccionadas. El Artículo 6 para el Examen por Líquidos Penetrantes de la Sección V del Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, contiene los datos específicos para la fabricación del bloque comparador de aluminio, la figura No. 12 ilustra el bloque.

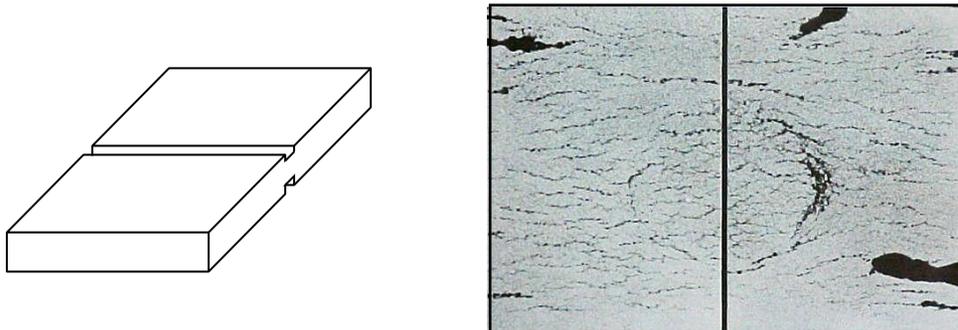


Figura No. 12: Bloque comparador de aluminio agrietado

De acuerdo con el Artículo 6 de la Sección V del Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, es utilizado para la calificación de procedimientos de inspección para ser usados a temperaturas no estándar de 5°C a 52°C (40°F a 125°F).

El procedimiento para usar el bloque es sencillo, se aplica el penetrante que se desea evaluar sobre una de las secciones y el penetrante estándar en la otra sección del bloque comparador. La ranura separa las dos secciones de prueba.

Después del tiempo de penetración, la remoción y el revelado, siguiendo los procedimientos establecidos, las dos secciones son comparadas en cuanto a la definición de los patrones de las fallas, la delineación de las fallas, el color, características similares de interés, y la visibilidad general. Pueden ser usadas las dos caras del bloque, ya que ambos lados tienen patrones agrietados.

Debido a las características de los líquidos penetrantes, puede suceder que alguno llegue a cruzar la ranura del bloque, lo que afectaría la prueba de comparación. Por esta razón, el bloque puede cortarse en dos secciones separadas. También, si es comparada la funcionalidad de un penetrante a baja o alta temperatura, con un penetrante estándar a temperatura ambiente, es esencial cortar el bloque en dos secciones separadas, ver figura No. 13.

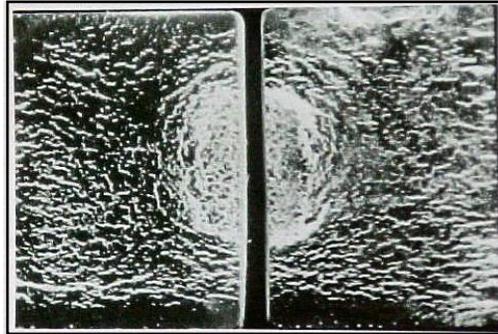


Figura No. 13: Bloque comparador cortado en dos secciones

Teóricamente, los patrones de fallas de las dos secciones de un bloque agrietado de aluminio deberían ser similares o idénticos, pero aunque sean similares, las dos secciones tendrán patrones de grietas diferentes. La diferencia puede ser suficiente para hacer que el bloque tenga poco valor como medio para la comparación.

ii. Panel de prueba con superficie de níquel–cromo agrietada

Es la más popular de todas las herramientas actualmente usadas para evaluar a los materiales penetrantes y para juzgar la utilidad de un sistema de inspección por líquidos penetrantes, esto no significa que sea el más valioso y el más confiable. Este bloque se describe en la Sección V del Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas y en la especificación militar de los Estados Unidos la MIL-I-25135.

Estos bloques fueron desarrollados para la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. Son hechos de láminas de bronce o cobre pulidos hasta un acabado espejo, sobre los cuales se les aplica una capa delgada de níquel seguida por una capa de cromo.

La capa de cromo es frágil, y se pueden generar grietas doblando el panel sobre una pieza curva. La profundidad de las grietas es controlada por el espesor de la capa de cromo, y el ancho, por el grado de deformación del panel durante el doblado.

Los paneles de prueba con cromo agrietado contienen fallas que caen dentro de un rango de magnitudes cercanas al límite de la habilidad de la inspección por líquidos penetrantes para revelarlas.

Son usados para evaluar la funcionalidad para la detección de fallas de un sistema de inspección. Estos bloques pueden proporcionar resultados cualitativos, por la comparación lado por lado, así también para la evaluación de la funcionalidad del revelador, ver figura No. 14.

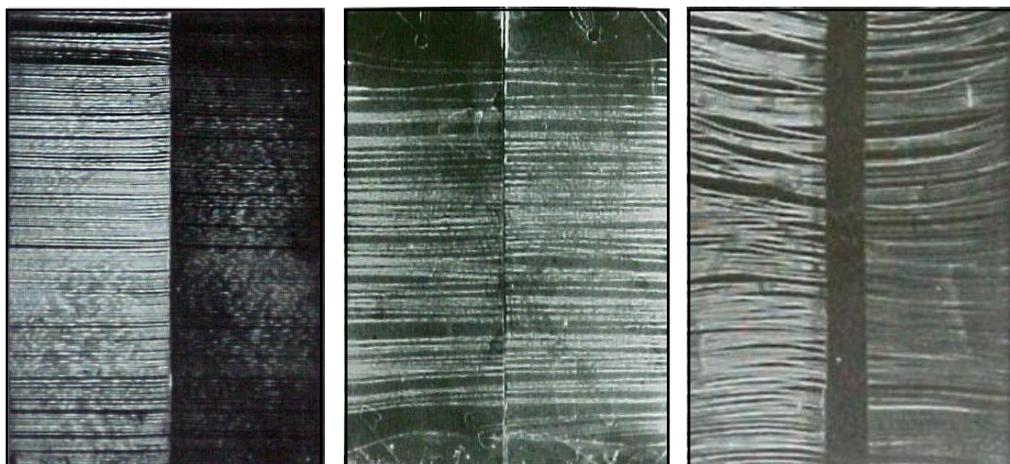


Figura No. 14: Bloques de referencia de cromo agrietado

Variaciones en la composición de las capas y la técnica para su aplicación determinan el tipo y tamaño de las grietas de los bloques. Datos particulares sobre la preparación de tres diferentes tamaños de grietas son publicados en la especificación militar MIL-I-8963.

Con estos bloques es posible comparar un sistema de inspección con otro, de forma secuencial, aplicando un sistema y registrando los resultados y después de la limpieza y secado aplicando el otro sistema. También puede hacerse la comparación simultánea de dos procesos de inspección diferentes dividiendo el panel en dos secciones, por medio de una línea longitudinal de cera o cinta adhesiva. Sin embargo, no es factible la evaluación de variaciones en los tiempos del proceso y las técnicas.

Pueden ser usados no solamente para comparar la definición de los patrones de las fallas, también para comprar el brillo y legibilidad de las indicaciones.

Debe evitarse doblar los bloques, porque se puede incrementar el tamaño de las grietas existentes y se pueden crear nuevas grietas.

iii. **Bloque comparador con indentaciones superficiales que simulan fallas**

El panel monitor de sistemas de penetrantes (PSM por su nombre en inglés) fue desarrollado por la Corporación aérea Pratt & Whitney y puede ser usado para detectar cambios mayores en los procesos o sistemas de inspección. Normalmente es usado al inicio de la aplicación de cada proceso, aunque puede ser usado más frecuentemente, si el proceso muestra características que no sean de confiar, para verificar la funcionalidad.

El panel está hecho de una lámina de acero inoxidable en forma de rectángulo. Una franja de recubrimiento de cromo corre a lo largo de un lado del panel. En la franja de recubrimiento de cromo son inducidas cinco grietas centradas y espaciadas, por medio de la indentación de un aparato de prueba de dureza, con una carga variable en la parte posterior del cromo, ver figura No. 15.

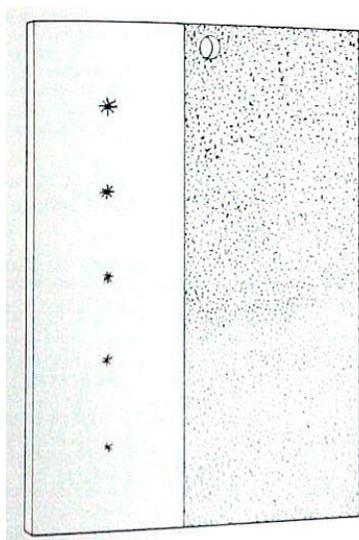


Figura No. 15: Panel monitor de sistemas de penetrantes

En orden de magnitud de la grieta, son arreglados patrones circulares o de grietas de estrella. El patrón más grande es fácilmente visible con penetrantes de baja funcionalidad, y el más pequeño muchas veces es difícil de observar aun con materiales penetrantes con alta sensibilidad, ver figura No. 16.

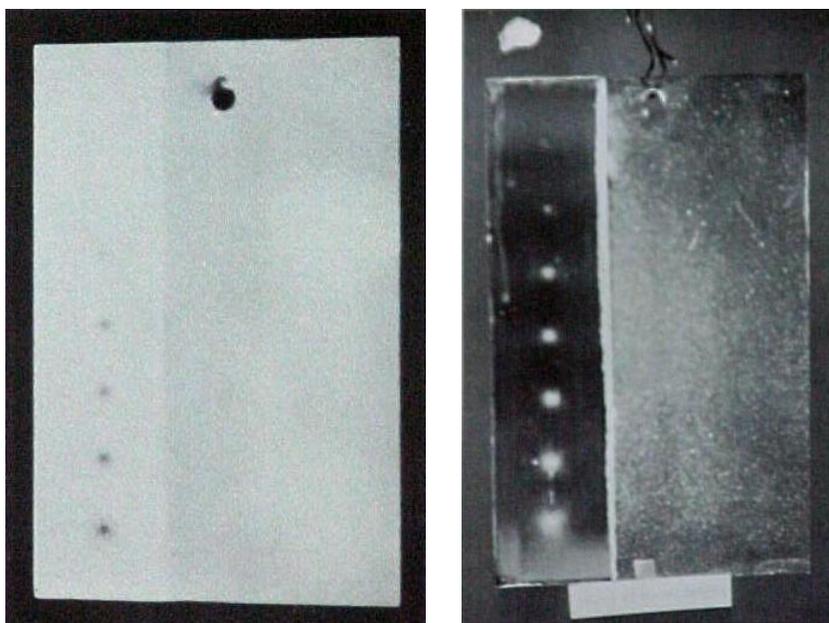


Figura No. 16: Patrones de indicaciones del panel monitor

En la misma cara del panel y adyacente a la franja de cromo, se encuentra un área pulida de rugosidad media, usada para monitorear el color o la fluorescencia del fondo.

La funcionalidad del sistema de inspección se verifica por la detección del número requerido de grietas. Las características de la remoción del penetrante son verificadas por la apariencia del área adyacente.

La efectividad del panel monitor depende directamente de la habilidad del técnico para usarlo. El técnico debe ser capaz de apreciar una diferencia en la apariencia del panel entre una y otra prueba. La diferencia puede ser un incremento en la fluorescencia del fondo o una marcada reducción en la brillantez de la indicación.

Las grietas son examinadas para evaluar cómo y también si son mostradas.

El panel monitor no está diseñado para reemplazar el examen periódico de los materiales penetrantes para determinar su contaminación o deterioro.

Una disminución gradual de la brillantez o de otras características de la funcionalidad, probablemente puedan no ser notadas aun con el uso de del panel monitor.

La fundición y el trabajo de los metales cambian las estructuras cristalinas y pueden desarrollar esfuerzos que puedan llevar a la formación de discontinuidades. Existen muchas imperfecciones en los metales debido a varios métodos de manufactura. Estas imperfecciones, en muchas ocasiones, están directamente relacionadas con el tipo de metal y con los métodos de formado. Es de utilidad discutir los efectos de cada uno de los métodos de procesado primario del metal, por separado, para clasificar los tipos de imperfecciones que puedan esperarse.

El uso de partes de metal puede provocar discontinuidades en servicio que pueden estar relacionadas con los procesos de manufactura. La fundición, forjado, soldadura, tratamiento térmico, maquinado y formado pueden producir discontinuidades que son características del metal, la forma de la parte, el medio ambiente de uso y el tipo de cargas. A continuación se discute la relación entre el procesado del metal y el desarrollo de discontinuidades.

i. Fundiciones

El metal es vaciado dentro de moldes, para formar componentes desde formas geométricas muy simples hasta configuraciones muy complejas e intrínsecas. Existe un gran número de diferentes tipos de discontinuidades que están característicamente relacionadas con la fundición; muchas de esas discontinuidades pueden ser detectadas por la inspección con líquidos penetrantes, en piezas recién fabricadas o después de maquinado. La siguiente es una lista de discontinuidades comunes de fundición:

- Gas y porosidad
- Contracciones o rechupes (porosidad y cavidades)
- Inclusiones (de arena o escoria)
- Grietas (por contracción, templado, esfuerzos o enfriamiento)
- Desgarres en caliente
- Insertos (chaplets sin fundir)
- Traslapes en frío
- Pliegues o doblez (fundición con dados)

Como sabemos, la inspección por líquidos penetrantes solo puede ser usada para detectar discontinuidades abiertas a la superficie. El tamaño de la indicación y la cantidad del sangrado indican el volumen relativo de la discontinuidad, por lo que la inspección puede ser usada para estimar, de forma burda, la profundidad relativa de la discontinuidad.

El Grupo IV fue formulado para usarse con fundiciones de arena fabricadas con moldes, son fáciles de remover de las superficies rugosas y pueden detectar la mayoría de las discontinuidades superficiales en fundiciones comerciales. Las fundiciones de alta integridad son fundidas en moldes de cerámica, moldes permanentes y otros tipos de moldes que proporcionan mucho mejor acabado superficial que las fundiciones de arena.

En fundiciones de este tipo pueden ser usados los penetrantes del Grupo VI. Los alabes de turbina fundidos son un ejemplo de este tipo de fundiciones.

El revelador seco es normalmente usado en fundiciones; tiene sensibilidad adecuada y alta resolución, por lo que no permite demasiado sangrado de la porosidad, como otros reveladores, y por lo cual puede medirse el tamaño de los poros y contarse su número dentro de un área específica.

ii. Soldaduras

Las soldaduras son similares a las fundiciones, por lo tanto, algunas discontinuidades de soldadura son similares a aquellas encontradas en fundiciones. También, existen discontinuidades adicionales relacionadas con la fusión, penetración y zonas afectadas por el calor (HAZ por su nombre en inglés). Existen muchos métodos de soldadura por fusión, los cuales, producen discontinuidades similares. La inspección por líquidos penetrantes puede ser usada para detectar las siguientes discontinuidades:

- Porosidad
- Falta de penetración en la raíz (en juntas de preparación sencilla)
- Grietas
- Inclusiones de escoria (cuando se remueve la corona)
- Grietas de cráter o estrella
- Faltas de fusión
- Grietas en la zona afectada por el calor

Las soldaduras en trabajos de construcción en sitio son normalmente inspeccionadas con un penetrante visible usando el método removible con solvente. El procedimiento estándar para la remoción del exceso de penetrante, con un trapo o papel absorbente y sin aplicar el solvente directamente, muchas veces es modificado en soldaduras con refuerzos rugosos. Ya que las grietas normalmente son bastante profundas, retienen suficiente volumen de penetrante para formar una indicación, aún cuando el solvente se introduce directamente en la superficie rugosa de la soldadura. Si esto no se hace, el exceso de fondo del penetrante atrapado en las ondulaciones de la soldadura puede hacer inservible la inspección. Por esta razón, y por la capacidad de detectar algunas discontinuidades subsuperficiales, en ocasiones se prefiere la inspección por partículas magnéticas sobre la inspección por líquidos penetrantes.

Las soldaduras fabricadas con los métodos de soldadura de arco con electrodo de tungsteno y de arco con gas de protección normalmente tienen una superficie bastante tersa y regular, por lo que se recomienda el método de limpieza más sensible.

En recipientes a presión o en estructuras grandes pueden ser usados penetrantes fluorescentes lavables con agua, enjuagando con una manguera y un secador de aire. El revelador en suspensión no acuosa puede proporcionar buena sensibilidad.

Es importante remover toda la escoria de las soldaduras antes de la inspección con líquidos penetrantes. Sería preferible esmerilar las ondulaciones de la soldadura para realizar una buena inspección, pero se debe tener cuidado que el esmeril o abrasivo no embarre metal sobre la superficie, especialmente en metales suaves.

iii. Forjas

Las forjas son originalmente fundiciones, las cuales, son trabajadas con martillos o prensas para cambiar la estructura cristalina de la fundición, para formar una estructura de grano fino direccional en el metal. Este trabajo del metal también aplana discontinuidades globulares tales como inclusiones, porosidad y contracciones.

Las inclusiones se convierten en encordados, los pliegues o dobleces pueden formar costuras o traslapes, y la porosidad en el centro de un billet fundido puede formar laminaciones.

Las forjas son un tipo de materiales extruidos. Los métodos de trabajo de metales extruidos incluyen:

- Forjado (por martillo o presión)
- Extruido
- Rolado (en caliente y en frío)
- Estirado
- Formado por explosión, y otros procesos de deformación

El proceso de forjado también desarrolla algunas discontinuidades con sus propias características, algunas de ellas son:

- Tubería (pipe)
- Inclusiones
- Reventones
- Grietas
- Hojuelas o escamas
- Traslapes y costuras
- Grietas chevron

La estructura de grano en una forja normalmente es alargada, en la dirección de su dimensión mayor; esto resulta en propiedades diferentes en direcciones diferentes. Los granos alargados pueden actuar como un paquete de fibras en dirección longitudinal, y su esfuerzo en dirección transversal normalmente es menor.

Las piezas forjadas muchas veces tienen cáscara fuertemente adherida, la cual, puede evitar que el penetrante entre en discontinuidades como traslapes y costuras, reduciendo la efectividad de la inspección. Por esto, la mayoría de piezas forjadas deben ser preparadas antes de la inspección para remover la cáscara superficial y algo de los óxidos incluidos.

Las discontinuidades en metales extruidos normalmente son cerradas, debido a la naturaleza del proceso que las produce.

Debido a que los metales extruidos normalmente son usados en aplicaciones que requieren cargas mayores que para fundiciones, las discontinuidades pequeñas pueden ser muy críticas. Por lo anterior, las partes extruidas requieren el uso de, al menos, penetrantes del Grupo V. Las aleaciones resistentes al calor, y especialmente partes de rotación en motores, requieren penetrantes con sensibilidad del Grupo VI junto con revelador seco y con el proceso de fluorescente postemulsificable. Los tiempos de penetración típicamente son de 30 minutos o más.

iv. Piezas maquinadas y ensambles

Las piezas maquinadas pueden presentar dos tipos de discontinuidades que pueden ser detectadas con líquidos penetrantes:

- El maquinado puede abrir discontinuidades internas de fundición, soldadura y forja, tales como porosidad, contracciones o inclusiones, proporcionando aberturas superficiales que pueden ser detectadas. Algunas otras discontinuidades superficiales, como costuras o traslapes de forja, en ocasiones son removidas completamente por el maquinado.
- El maquinado puede producir sus propias discontinuidades, como desgarres y grietas por esmerilado. También, puede provocar condiciones como filetes agudos, raíces de roscas y ranuras muy finas que pueden ser puntos potenciales de concentración de esfuerzos, en los cuales pueden iniciar, más adelante, grietas por fatiga. El maquinado también puede exponer discontinuidades internas en las que más adelante pueden iniciar discontinuidades de servicio.

El maquinado puede embarrar el metal sobre la superficie, por lo que debería realizarse un corte final muy superficial, con una herramienta aguda o aplicando un ataque.

Para la detección de discontinuidades de maquinado, la inspección debería ser similar a la recomendada para el material original, con variaciones dependiendo si es fundido o extruido; con excepción en la detección de grietas por esmerilado, para lo cual, se requiere un proceso de alta sensibilidad.

v. Piezas no metálicas

Gran cantidad de piezas no metálicas es inspeccionada con líquidos penetrantes. Grietas en aislantes de alto voltaje pueden causar cortos circuitos, especialmente si el componente contiene algún tipo de mezcla. Los líquidos penetrantes son adecuados para la inspección de la mayoría de plásticos moldeados o termo-ajustados.

También, las cerámicas no porosas vidriadas, partes fabricadas con nylon o teflón para implantes ortopédicos, rocas ornamentales para aplicaciones en arquitectura, y piezas de vidrio, son inspeccionadas para detectar grietas.

La inspección de partes no metálicas puede ser realizada con un penetrante visible lavable con agua junto con reveladores secos, gracias a que las grietas en estos productos pueden ser fácilmente detectadas. Normalmente los tiempos de penetración son cortos. Es muy importante determinar que los aceites y solventes del proceso de inspección no ataquen a los materiales plásticos.

vi. Inspección en campo y en servicio

La inspección en campo y en servicio incluye aplicaciones de mantenimiento y reparación. La inspección por líquidos penetrantes es especialmente importante en el mantenimiento de aviones, porque muchos de los metales usados son no magnéticos.

La preparación puede ser considerada como la parte más difícil e importante de la inspección por líquidos penetrantes en servicio. Esto se debe a que si existen grietas por fatiga frecuentemente están contaminadas con aceite u otros contaminantes; si las grietas son causadas por esfuerzos de corrosión o corrosión íntergranular son muy finas y se encuentran contaminadas con productos de corrosión.

Una especificación militar de los Estados Unidos proporciona un juego de penetrante fluorescente para usarse en campo, en la inspección de componentes de aviones de la fuerza aérea. Este juego proporciona la mayor sensibilidad y capacidad disponible en la inspección por líquidos penetrantes, e incluye solvente limpiador, botes de penetrante del Grupo VI, revelador en suspensión no acuosa y luz negra. También se encuentra disponible comercialmente para uso industrial, para mantenimiento de plantas o edificios y en la industria del transporte.

Absorción

La acción del revelador al extraer el penetrante de la discontinuidad para acelerar el sangrado.

Acción capilar

Tendencia de ciertos líquidos a penetrar o emigrar cuando se aplican en pequeñas aberturas como grietas y fisuras.

Acción humectante

Habilidad de un líquido de extenderse, dispersarse o "humedecer" y para adherirse a las superficies.

Acción solvente

Disolución de un fluido o sólido por otro material.

Auto-emulsificante

Indica la propiedad de un penetrante líquido de combinarse satisfactoriamente con agua ya sea en forma de emulsión o de solución para permitir su remoción de una superficie por lavado (enjuague) en agua. Sinónimo de lavable con agua.

Baño

Término usado familiarmente para designar la inspección de materiales con penetrantes líquidos en la cual las partes son sumergidas durante el proceso de inspección.

Bloque de prueba comparativo

Bloque de metal agrietado intencionalmente con dos áreas separadas pero adyacentes para la aplicación de penetrantes diferentes, de tal forma que pueda obtenerse una comparación directa.

Contaminante

Cualquier sustancia extraña presente sobre la superficie examinada o en los materiales de inspección, la cual afecta adversamente el funcionamiento de los materiales penetrantes.

Contraste

Diferencia en visibilidad (brillo o coloración) entre los componentes que están siendo inspeccionados (fondo) y las indicaciones de discontinuidades.

Defecto

Es una o más discontinuidades, o fallas, cuyo tamaño agregado, forma, orientación, localización o propiedades, no cumple con un criterio de aceptación especificado y que es rechazada.

Disminución de fluorescencia

Extinción de la fluorescencia por otras causas diferentes a la remoción de la radiación de excitación, por ejemplo, la acción de oxidación fuerte, álcalis o ácidos fuertes.

Discontinuidad

Una falta de continuidad o cohesión; una interrupción, que puede ser intencional o no, en la estructura física o configuración normal de una parte, material o componente.

Emulsificador

Agente, normalmente en forma líquida, el cual, cuando se combina con un penetrante líquido insoluble en agua, suministra solubilidad al penetrante facilitando con ello su remoción con agua.

Emulsión

Mezcla estable de agua y aceite, producida por la adición de un tercer material líquido emulsificador.

Enjuague

Proceso de remover el líquido penetrante de la superficie de una pieza, por medio de lavado o inmersión en otro líquido, usualmente agua. También es llamado lavado.

Evaluación

Acción de determinar o decidir si las indicaciones verdaderas observadas cumplen o no con el criterio de aceptación especificado, si se aceptan o se rechazan.

Familia

Una serie completa de materiales penetrantes, requerida para realizar un tipo específico o proceso de inspección por líquidos penetrantes.

Fluorescencia

Propiedad de una sustancia para emitir luz blanca visible, como resultado de, y solamente, durante la absorción de radiación de luz negra.

Fondo

La superficie de la pieza inspeccionada sobre la cual se observa la indicación. Puede ser la superficie natural de la pieza inspeccionada o la capa de revelador que cubre la superficie.

Indicación

Es la respuesta o evidencia de una respuesta, que se obtiene al aplicar algún ensayo no destructivo, requiere interpretación para determinar su significado. Aquella marca que denota la presencia de una discontinuidad. En la inspección por líquidos penetrantes es la presencia o sangrado detectable del penetrante.

Indicación relevante (verdadera)

Una indicación producida por una discontinuidad, que requiere ser evaluada.

Inspección

Examen visual de la pieza inspeccionada después de completar las etapas del proceso de líquidos penetrantes.

Interpretación

La acción de determinar qué condición está causando una indicación; en otras palabras, es la acción de determinar si las indicaciones son relevantes o no, o de determinar qué tipo de discontinuidad ha generado la indicación.

Limpieza posterior

La remoción de residuos, de los materiales penetrantes, de la superficie inspeccionada después que la inspección por líquidos penetrantes ha sido completada.

Limpio

Libre de contaminantes.

Luz negra

Luz (radiación electromagnética) localizada dentro del rango de longitud de onda (330 a 390 nm) de los rayos ultravioleta, justo debajo de la luz visible.

Penetrante

Líquido que posee propiedades únicas, que le dan una alta capacidad de penetrar en pequeñas aberturas, característica que hace que este líquido sea especialmente adecuado para usarse en la detección de discontinuidades superficiales en materiales. Una solución o suspensión de tinte.

Postemulsificación

Técnica donde se requiere una etapa de emulsificación separada para facilitar la remoción del penetrante de la superficie, mediante enjuague con agua.

Pre limpieza (limpieza previa)

La remoción de contaminantes superficiales de la pieza inspeccionada, para que no interfieran con el proceso de inspección.

Prueba de fuga con penetrantes

Técnica de la inspección con líquidos penetrantes donde el penetrante se aplica sobre un lado del material y la observación se hace en el lado opuesto, para asegurar la presencia o ausencia de huecos que se extienden a través del material.

Punto de inflamación

Temperatura más baja a la cual un vapor producirá flama en presencia de una fuente de ignición.

Removedor (solvente limpiador)

Líquido no acuoso (solvente) empleado para la remoción del exceso de penetrante de la superficie que está siendo examinada.

Revelador

Un material que se aplica sobre la superficie inspeccionada para acelerar el sangrado y mejorar el contraste de las indicaciones.

Sangrado

La acción del líquido penetrante por la cual sale o exuda de una discontinuidad a la superficie del material, por acción capilar y acción de secado o absorción del revelador, para formar indicaciones.

Tiempo de penetración

El periodo de tiempo total que el penetrante está en contacto con la superficie del objeto que está siendo inspeccionado.

Tiempo de revelado

El lapso de tiempo que transcurre entre la aplicación del revelador y la detección, interpretación y evaluación de las indicaciones.

En este Capítulo se incluye la traducción (sin valor técnico) de un documento de uso común en la industria, el Artículo 6 de la Sección V del Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, así como, un procedimiento típico de examen por líquidos penetrantes, como ejemplos de este tipo de información.

Los documentos considerados son:

- El Artículo 6 de las Sección V del Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, Examen por Líquidos Penetrantes, Edición 2010, 01 de Julio de 2010;
- Procedimiento para el Examen por Líquidos Penetrantes, Procedimiento No. MAPER-010, Revisión Original.

CÓDIGO ASME PARA RECIPIENTES A PRESIÓN Y CALDERAS

SECCIÓN V, ARTÍCULO 6

EXAMEN POR LÍQUIDOS PENETRANTES

T-610 ALCANCE

Cuando sea especificado por la Sección de referencia del Código, las técnicas de examen por líquidos penetrantes descritas en este Artículo deben ser usadas. En general, este Artículo está conforme con SE-165, Método Estándar de Prueba para el Examen por Líquidos Penetrantes. Este documento proporciona detalles que deben ser considerados en los procedimientos usados.

Cuando este Artículo es especificado por una Sección de referencia del Código, el método de líquidos penetrantes, descrito en este Artículo, debe ser usado junto con el Artículo 1, Requisitos Generales. Las definiciones de los términos usados en este Artículo aparecen en el Apéndice Obligatorio I de este Artículo y en el Artículo 1, Apéndice I.

T-620 GENERALES

El método de examen por líquidos penetrantes es un medio efectivo para la detección de discontinuidades, las cuales se encuentran abiertas a la superficie de metales no porosos y otros materiales. Las discontinuidades típicas que pueden ser detectadas por este método son grietas, costuras, traslapes, traslapes en frío, laminaciones y porosidad.

En principio, un líquido penetrante es aplicado a la superficie que es examinada y se le permite entrar en las discontinuidades. Posteriormente es removido todo el exceso de penetrante, la parte es secada y es aplicado un revelador. El revelador funciona de dos formas, como papel secante, para absorber el penetrante que ha sido atrapado en las discontinuidades, y como un fondo de contraste, para mejorar la visibilidad de las indicaciones de penetrante. Los tintes en los penetrantes son de color contrastante (visible bajo luz blanca) o fluorescente (visible bajo luz ultravioleta).

T-621 Requisitos del Procedimiento Escrito

T-621.1 Requisitos. El examen por líquidos penetrantes debe ser realizado de acuerdo con un procedimiento escrito el cual debe, como mínimo, contener los requisitos de la lista en la Tabla T-621. El procedimiento escrito debe establecer un valor simple, o rango de valores, para cada requisito.

T-621.2 Calificación del Procedimiento. Cuando es especificada la calificación del procedimiento, por la Sección de referencia del Código, cuando exista un cambio en un requisito de la Tabla T-621, identificado como una variable esencial, se debe requerir la recalificación del procedimiento escrito por demostración. Un cambio en un requisito identificado como variable no esencial, no requiere recalificación del procedimiento escrito. Todos los cambios de variables esenciales o no esenciales especificados en el procedimiento escrito deben requerir revisión in el procedimiento escrito.

T-630 EQUIPO

El término *materiales penetrantes*, como es usado en este Artículo, pretende incluir a todos los penetrantes, emulsificadores, solventes o agentes de limpieza, reveladores, etc., usados en el proceso de examen. Las descripciones de las clasificaciones de líquidos penetrantes y de los tipos de materiales son proporcionadas en SE-165 del Artículo 24.

T-640 REQUISITOS MISCELANEOS

T-641 Control de Contaminantes

El usuario de este Artículo debe obtener la certificación del contenido de contaminantes para todos los materiales de líquidos penetrantes usados en aleaciones de base níquel, aceros inoxidables austeníticos o dúplex (dobles), y titanio. Estas certificaciones deben incluir los números de colada (lote) del fabricante del penetrante y los resultados de prueba obtenidos de acuerdo con el Apéndice Obligatorio II de este Artículo. Estos registros deben mantenerse archivados, como sea requerido por la Sección de referencia del Código.

T-642 Preparación de la Superficie

(a) En general, se pueden obtener resultados satisfactorios cuando la superficie de la pieza se encuentra en condición como soldada, como rolada, como fundida o como forjada. La preparación de la superficie por esmerilado, maquinado u otros métodos, puede ser necesaria donde las irregularidades superficiales pudieran enmascarar indicaciones.

TABLA T-621
REQUISITOS DE UN PROCEDIMIENTO PARA EL EXAMEN POR LÍQUIDOS PENETRANTES

Requisitos	Variable Esencial	Variable No esencial
Identificación de y cualquier cambio en el tipo o grupo de familia de los materiales penetrantes, incluyendo reveladores, emulsificadores, etc.	X	...
Preparación de la superficie (acabado y limpieza, incluyendo el tipo de solvente para limpieza)	X	...
Método de aplicación del penetrante	X	...
Método de remoción del exceso de penetrante de la superficie	X	...
Concentración del emulsificador hidrofílico o lipofílico, el tiempo de permanencia en los tanques de inmersión y el tiempo de agitación para emulsificadores hidrofílicos	X	...
Concentración del emulsificador hidrofílico en aplicaciones por aspersión	X	...
Método de aplicación del revelador	X	...
Periodos mínimos y máximos de tiempo entre cada etapa y ayudas para el secado	X	...
Decremento en el tiempo de penetración del penetrante	X	...
Incremento en el tiempo de revelado (Tiempo de Interpretación)	X	...
Intensidad mínima de luz	X	...
Temperatura exterior de la superficie de 40°F a 125°F (5°C a 52°C) o como sea calificado previamente	X	...
Demostración de la funcionalidad, cuando sea requerido	X	...
Requisitos de calificación del personal	...	X
Materiales, formas o dimensiones que serán examinadas y la extensión del examen	...	X
Técnica de la limpieza posterior al examen	...	X

(b) Antes de cada examen por líquidos penetrantes, la superficie que será examinada y todas las áreas adyacentes, dentro de al menos 1 pulgada (25 mm), deben estar secas y libres de toda suciedad, grasa, pelusa, costras, salpicaduras de soldadura y fundente, pintura, aceite y otra materia extraña que pudiera obstruir las aberturas superficiales o que interfiera con el examen por cualquier otra forma.

(c) Los agentes típicos de limpieza que pueden ser usados son detergentes, solventes orgánicos, soluciones decapantes y removedores de pintura. También pueden ser usados los métodos de limpieza desengrasante y ultrasónica.

(d) Los solventes para limpieza deben cumplir con los requisitos de T-641. El método de limpieza empleado es una parte importante del proceso de examen.

NOTA: El acondicionado de las superficies, antes del examen, como es requerido en T-642(a), puede afectar los resultados. Ver SE-165, Anexo A1.

T-643 Secado Después de la Preparación

Después de la limpieza, el secado de las superficies que serán examinadas debe ser realizado por evaporación normal o con aire forzado caliente o frío. Debe ser establecido un periodo mínimo de tiempo para asegurar que la solución de limpieza se ha evaporado antes de la aplicación del penetrante.

T-650 TÉCNICA

T-651 Técnicas

Un penetrante de color contrastante (visible) o un penetrante fluorescente debe ser usado con uno de los siguientes tres procesos de penetrantes:

- (a) lavable con agua
- (b) post-emulsificación
- (c) removible con solvente

Los penetrantes visibles y fluorescentes usados en combinación con estos tres procesos de penetrantes dan como resultado seis técnicas de líquidos penetrantes.

T-652 Técnicas para Temperaturas Estándar

Como una técnica estándar, la temperatura del penetrante y la superficie de la pieza que será procesada no deben estar abajo de 40°F (5°C) ni arriba de 125°F (52 °C) durante el periodo completo de examen. Está permitido un calentamiento o enfriamiento local de la pieza siempre y cuando la temperatura permanezca en el rango de 40°F a 125°F (5°C a 52°C) durante el examen. Donde no es práctico cumplir con estos límites de temperatura, otras temperaturas y tiempos pueden ser usados, siempre y cuando los procedimientos sean calificados como se especifica en T-653.

T-653 Técnicas para Temperaturas no Estándar

Cuando no es práctico conducir un examen por líquidos penetrantes dentro del rango de temperatura de 40°F a 125°F (5°C a 52°C), el procedimiento de examen a la temperatura propuesta por debajo o por arriba del rango, requiere calificación de los materiales penetrantes y el proceso, de acuerdo con el Apéndice Obligatorio III de este Artículo.

T-654 Restricciones Técnicas

El examen con penetrante fluorescente no debe realizarse después de un examen con penetrante de color contrastante. No es permitido mezclar materiales penetrantes de diferentes familias o diferentes fabricantes. Un nuevo ensayo con penetrantes lavables con agua puede causar la pérdida de indicaciones marginales debido a la contaminación.

T-660 CALIBRACIÓN

Los medidores de luz, ambos medidores, de luz visible y fluorescente (negra), deben ser calibrados por lo menos una vez al año o cuando el medidor ha sido reparado. Si los medidores no han sido usados durante un año o más, la calibración debe realizarse antes de comenzar a usarlos.

EXAMEN

Aplicación del Penetrante

El penetrante puede ser aplicado por cualquier forma adecuada, tal como inmersión, brocha o espray. Si el penetrante es aplicado por espray usando aparatos del tipo de aire comprimido, se deben colocar filtros cerca de la entrada de aire, para evitar la contaminación del penetrante con aceite, agua, polvo o sedimentos que pudieran haberse colectado en las líneas.

Tiempo de Penetración (Permanencia)

El tiempo de penetración (permanencia) es crítico. El tiempo mínimo de penetración debe ser el requerido en la Tabla T-672, o como sea calificado por demostración para aplicaciones específicas.

Remoción del Exceso de Penetrante

Después que el tiempo de penetración (permanencia) especificado ha transcurrido, cualquier penetrante que permanezca sobre la

superficie debe ser removido, teniendo cuidado de minimizar la remoción del penetrante de las discontinuidades.

T-673.1 Penetrantes Lavables con Agua. El exceso de penetrante lavable con agua debe ser removido con aspersión de agua. La presión del agua no debe exceder de 50 PSI (350 kPa), y la temperatura del agua no debe exceder de 110°F (43°C).

T-673.2 Penetrantes Post-Emulsificación

(a) *Emulsificación Lipofílica.* Después del tiempo de penetración requerido, el exceso de penetrante en la superficie debe ser emulsificado por inmersión inundando la pieza con el emulsificador. El tiempo de emulsificación depende del tipo de emulsificador y la condición superficial. El tiempo de emulsificación actual debe ser determinado experimentalmente. Después de la emulsificación, la mezcla debe ser removida por inmersión en o lavando con agua. La temperatura y la presión del agua deben ser recomendadas por el fabricante.

(b) *Emulsificación Hidrofílica.* Después del tiempo de penetración requerido y antes de la emulsificación, las piezas deben ser lavadas previamente con aspersión de agua, usando el mismo proceso como para los penetrantes lavables con agua. El tiempo del lavado previo no debe exceder de 1 minuto. Después del lavado previo, el exceso de penetrante en la superficie debe ser emulsificado por inmersión en o aspersión con emulsificador hidrofílico. La concentración del baño debe ser como lo recomiende el fabricante. Después de la emulsificación, la mezcla debe ser removida por inmersión en o lavando con agua. La temperatura y la presión del agua deben ser como lo recomiende el fabricante.

NOTA: Se puede obtener información adicional de SE-165.

T-673.3 Penetrantes Removibles con Solvente. El exceso de penetrantes removibles con solvente debe ser removido limpiando con un trapo o papel absorbente, repitiendo la operación hasta que haya sido removida la mayoría de rastros de penetrante. Los rastros que permanezcan deben ser removidos frotando suavemente la superficie con un trapo o papel absorbente humedecido con solvente. Para minimizar la remoción del penetrante de las discontinuidades, se debe tener cuidado para evitar el uso excesivo de solvente. **Está prohibido rociar la superficie con solvente, después de la aplicación del penetrante y antes de la aplicación del revelador.**

TABLA T-672 TIEMPOS MÍNIMOS DE (PERMANENCIA) PENETRACIÓN

(10)

Material	Forma	Tipo de Discontinuidad	Tiempos de Penetración [Nota (1)] (minutos)
			Penetrante
Aluminio, magnesio, acero, cobre, bronce, titanio y aleaciones de alta temperatura	Fundiciones y soldaduras	Traslapes en frío, falta de fusión, grietas (de todas sus formas)	5
	Materiales Conformados - Extrusiones, Forjas, placa	Traslapes, grietas	10
Herramientas de Carburo	Soldadas	Falta de fusión, grietas porosidad	5
Plástico	Todas sus formas	Grietas	5
Vidrio	Todas sus formas	Grietas	5
Cerámica	Todas sus formas	Grietas	5

NOTA:

(1) Para el rango de temperatura de 50°F a 125°F (10°C a 52°C). Para temperaturas de 40°F (5°C) a 50°F (10°C) el tiempo mínimo de penetración debe ser de 2 veces el valor de la lista.

Secado Después de Remover el Exceso de Penetrante

(a) Para las técnicas de lavable con agua o post-emulsificación, las superficies pueden ser secadas con materiales de limpieza o por circulación de aire, siempre que la temperatura de la superficie no exceda de 125°F (52°C).

(b) Para la técnica de removible con solvente, las superficies pueden ser secadas por evaporación normal, secado, frotando o aire forzado.

Revelado

El revelador debe ser aplicado tan pronto como sea posible después de remover el penetrante; el intervalo de tiempo no debe exceder al establecido en el procedimiento. Un espesor insuficiente de la capa de revelador puede ocasionar que el penetrante no salga de las discontinuidades; por el contrario, un espesor excesivo de la capa de revelador puede enmascarar las indicaciones.

Con penetrantes de color contrastante, solo debe ser usado un revelador húmedo. Con penetrantes fluorescentes, puede ser usado un revelador húmedo o seco.

T-675.1 Aplicación de Revelador Seco. El revelador seco debe ser aplicado sólo a una superficie seca, por medio de una brocha suave, bombilla manual para espolvorear, pistola para espolvorear u otros medios, de tal forma que el polvo

sea aplicado uniformemente sobre toda la superficie que está siendo examinada.

T-675.2 Aplicación de Revelador Húmedo.

Antes de aplicar el revelador húmedo en suspensión sobre la superficie, el revelador debe ser agitado vigorosamente para asegurar una dispersión adecuada de las partículas suspendidas.

(a) *Aplicación de reveladores acuosos.* El revelador acuoso puede ser aplicado a una superficie húmeda o seca. Debe ser aplicado por inmersión, brocha, espray u otros medios, de tal forma que se obtenga una capa delgada sobre toda la superficie que está siendo examinada. El tiempo de secado puede reducirse usando aire caliente, siempre que la temperatura de la superficie de la pieza no se encuentre por arriba de 125°F (52°C). No se permite el uso de material secante.

(b) *Aplicación de reveladores no acuosos.* Los reveladores no acuosos deben ser aplicados por espray, excepto donde por seguridad o por acceso restringido sea impedido. Bajo tales condiciones, el revelador puede ser aplicado con brocha. Para penetrantes lavables con agua o post-emulsificación, el revelador debe ser aplicado a una superficie seca. Para penetrantes removibles con solvente, el revelador puede ser aplicado tan pronto como sea práctico después de la remoción del exceso de penetrante. El secado debe ser por evaporación normal.

- (10) **T-675.3 Tiempo de Revelado.** El tiempo de revelado, para la interpretación final, inicia inmediatamente después de la aplicación de un revelador seco o tan pronto como la capa de revelador húmedo esté seca.

Interpretación

- (10) **T-676.1 Interpretación Final.** La interpretación final debe hacerse a no menos de 10 minutos ni más de 60 minutos después que los requisitos de T-675.3 han sido satisfechos. Si el sangrado no altera los resultados del examen, son permitidos periodos más largos. Si la superficie examinada es bastante grande como para impedir el examen completo dentro del tiempo prescrito o establecido, el examen debe realizarse en incrementos (secciones).

T-676.2 Caracterización de Indicaciones. Los tipos de discontinuidades son difíciles de evaluarse si el penetrante se difunde excesivamente en el revelador. Si ocurre esta condición, la observación cercana de la formación de indicaciones, durante la aplicación del revelador, puede ayudar en la caracterización y determinación de la extensión de las indicaciones.

T-676.3 Penetrantes de Color Contrastante. Con un penetrante de color contrastante, el revelador forma una capa blanca razonablemente uniforme. Las discontinuidades superficiales son indicadas por el sangrado del penetrante el cual normalmente es de un color rojo intenso que tiñe el revelador. Las indicaciones con un color rosa pálido pueden indicar limpieza excesiva. La limpieza inadecuada puede dejar un fondo excesivo haciendo difícil la interpretación. Se requiere una intensidad mínima de luz de 100 fc (1000 lx) sobre la superficie examinada, para asegurar una sensibilidad adecuada durante el examen y la evaluación de las indicaciones. Se requiere la verificación, en una ocasión, de la fuente de luz, la técnica usada y el nivel de intensidad de luz, para demostrarse, documentarse y mantenerse en expediente.

T-676.4 Penetrantes Fluorescentes. Con penetrantes fluorescentes, el proceso es esencialmente el mismo como en T-676.3, con la excepción que el examen se realiza usando una luz ultravioleta, llamada *luz negra*. El examen debe ser realizado como sigue.

- (a) Debe realizarse en un área oscura.
- (b) El examinador debe estar en el área oscura por al menos 5 minutos antes de realizar el examen,

para que sus ojos se adapten a la observación en condiciones de oscuridad. Si el examinador usa anteojos o lentes, estos no deben ser fotosensibles.

(c) La luz negra debe alcanzar un mínimo de $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ sobre la superficie de la pieza que está siendo examinada, durante todo el examen.

(d) Los reflectores y filtros deberían ser verificados y, si es necesario, limpiados antes de ser usados. Los filtros agrietados o rotos deben ser reemplazados inmediatamente.

(d) La intensidad de la luz negra debe ser medida con un medidor de luz negra antes de usarla, en cualquier momento que el suministro de poder de la luz sea interrumpido o cambiado, y al completarse el examen o las series de exámenes.

Limpieza posterior al examen

Cuando la limpieza posterior sea requerida por el procedimiento, debería realizarse tan pronto como sea práctico después de la Evaluación y Documentación, usando un proceso que no afecte adversamente la pieza.

T-680 EVALUACIÓN

(a) Todas las indicaciones deben ser evaluadas en términos de los estándares de aceptación de la Sección de referencia del Código.

(b) 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 indicaciones falsas.

(c) Son inaceptables áreas extensas de fluorescencia o pigmentación, las cuales pudieran enmascarar indicaciones de discontinuidades que sean inaceptables, y tales áreas deben ser limpiadas y reexaminadas.

T-690 DOCUMENTACIÓN

T-691 Registro de Indicaciones

T-691.1 Indicaciones que no sean rechazadas. Las indicaciones que no sean rechazadas deben ser registradas como sea especificado por la Sección de referencia del Código.

T-691.2 Indicaciones que sean rechazadas. Las indicaciones que sean rechazadas deben ser registradas. Como mínimo, debe ser registrado el tipo de indicaciones (lineal o redonda), la localización y extensión (longitud o diámetro o si está alineada).

T-692 Registros del Examen

Para cada examen, la siguiente información debe ser registrada:

(a) identificación del procedimiento y revisión;

(b) tipo de líquido penetrante (visible o fluorescente);

(c) tipo (número o letras de designación) de cada penetrante, removedor de penetrante, emulsificador y revelador usado;

(d) identificación del personal que realiza el examen y el nivel de calificación, si se requiere por la Sección de referencia del Código;

(e) mapa o registro de indicaciones de acuerdo con T-691;

(f) material y espesor;

(g) equipo de iluminación; y

(h) fecha del examen.

APÉNDICES OBLIGATORIOS

APÉNDICE I — GLOSARIO DE TÉRMINOS PARA EL EXAMEN POR LÍQUIDOS PENETRANTES

I-610 ALCANCE

Este Apéndice Obligatorio es usado para el propósito de establecer términos estándar y definiciones de los términos, los cuales aparecen en el Artículo 6, Examen por Líquidos Penetrantes.

I-620 REQUISITOS GENERALES

(a) La Terminología Estándar para Exámenes No Destructivos (ASTM E 1316) ha sido adoptada por el Comité como SE-1316.

(b) La Sección G de SE-1316, proporciona las definiciones de los términos de la lista en I-630(a).

(c) Para términos generales, tales como *Indicación, Falla, Discontinuidad, Evaluación, etc.*, refiérase al Artículo 1, Apéndice Obligatorio I.

(d) El párrafo I-630(b) proporciona una lista de términos y definiciones, los cuales son adicionales a SE-1316 y son específicos para el Código.

I-630 REQUISITOS

(a) Los siguientes términos de SE-1316 son usados en conjunto con este Artículo: luz negra; sangrado; secar; limpiar; contaminante; contraste; revelador; revelador acuoso; revelador seco; revelador no acuoso; tiempo de revelado; tiempo de secado; tiempo de penetración (permanencia); emulsificador; familia; fluorescencia; sobre-emulsificación; penetrante; comparador de penetrante; penetrante fluorescente; penetrante lavable con agua; limpieza posterior; post-emulsificación; limpieza previa; enjuague; solvente removedor.

(b) Los siguientes términos del Código son usados en conjunto con este Artículo:

intensidad de luz negra: una expresión cuantitativa de irradiación ultravioleta

penetrante de color contrastante: un líquido altamente penetrante que tiene incorporado un tinte no fluorescente, el cual produce indicaciones de tal intensidad que son fácilmente visibles durante el examen bajo luz blanca

penetrante post-emulsificación: un tipo de penetrante que no contiene emulsificador, el cual requiere un paso por separado de emulsificación para facilitar la remoción del penetrante de la superficie al lavar con agua.

penetrante removible con solvente: un tipo de penetrante usado, donde el exceso de penetrante es removido de la superficie de la pieza por enjuague, usando un líquido no acuoso.

APÉNDICE II — CONTROL DE CONTAMINANTES PARA EL EXAMEN POR LÍQUIDOS PENETRANTES

II-610 ALCANCE

Este Apéndice contiene requisitos para el control del contenido de contaminantes para todos los materiales de líquidos penetrantes usados en aleaciones base níquel, aceros inoxidable austeníticos y titanio.

II-640 REQUISITOS

II-641 Aleaciones Base Níquel

Cuando son examinadas aleaciones base níquel, todos los materiales penetrantes deben ser analizados individualmente en su contenido de azufre, de acuerdo con SE-165, Anexo 4. Alternativamente, el material puede ser descompuesto de acuerdo con SD-129 y analizado de acuerdo con SD-516. El contenido de azufre no debe exceder del 1% en peso.

II-642 Acero Inoxidable Austenítico o Dúplex (Doble) y Titanio

Cuando sean examinados acero inoxidable austenítico o dúplex (doble) y titanio, todos los materiales penetrantes deben ser analizados individualmente en su contenido de halógenos de acuerdo con SE-165, Anexo 4. Alternativamente, el material puede ser descompuesto y analizado de acuerdo con SD-808 o SE-165, Anexo 2 para cloro y SE-165, Anexo 3 para flúor. El contenido total de halógenos no debe exceder del 1% en peso.

II-690 DOCUMENTACIÓN

La certificación obtenida de los materiales penetrantes debe incluir los números de colada (lote) del fabricante y los resultados obtenidos de las pruebas de acuerdo con II-640. Esos registros deben mantenerse archivados como sea requerido por la Sección de referencia del Código.

APÉNDICE III — CALIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS PARA EXÁMENES A TEMPERATURAS NO ESTÁNDAR

III-610 ALCANCE

Cuando un examen por líquidos penetrantes no puede ser conducido dentro del rango de temperatura estándar de 40°F a 125°F (5°C a 52°C), la temperatura del examen debe ser calificada de acuerdo con este Apéndice.

III-630 MATERIALES

Un bloque comparador de líquidos penetrantes debe ser hecho como sigue. Los bloques comparadores de líquidos penetrantes deben ser hechos de aluminio, ASTM B 209, Tipo 2024, de 3/8 de pulgada (9.5 mm) de espesor, y debería tener dimensiones aproximadas de cara de 2 x 3 pulgadas (50 mm x 75 mm). Al centro de cada una de las caras, en un área de aproximadamente 1 pulgada (25 mm) de diámetro, se debe marcar con un crayón o pintura indicadora de temperatura (térmica) de 950°F (510°C) o con pintura. El área marcada debe ser calentada con un soplete, antorcha, mechero Bunsen o accesorio similar, hasta una temperatura de entre 950°F (510°C) y 975°F (524°C). Entonces, el espécimen debe ser templado inmediatamente en agua fría, lo cual produce una red de grietas finas en cada una de las caras.

El bloque debe ser secado por calentamiento hasta aproximadamente 300°F (149°C). Después de enfriado, el bloque debe cortarse a la mitad. Una mitad debe ser designada como bloque A y la otra como bloque B, para su identificación en procesos subsecuentes. La Figura III-630 ilustra los bloques comparadores A y B. Como una alternativa al corte del bloque en mitades para hacer los bloques A y B, se pueden hacer bloques separados de 2 x 3 pulgadas (50 mm x 75 mm) usando la técnica de calentamiento y temple como se describe anteriormente. Pueden ser usados dos bloques comparadores con patrones de grietas cercanamente parecidos. Los bloques deben ser marcados como A y B.

III-640 REQUISITOS

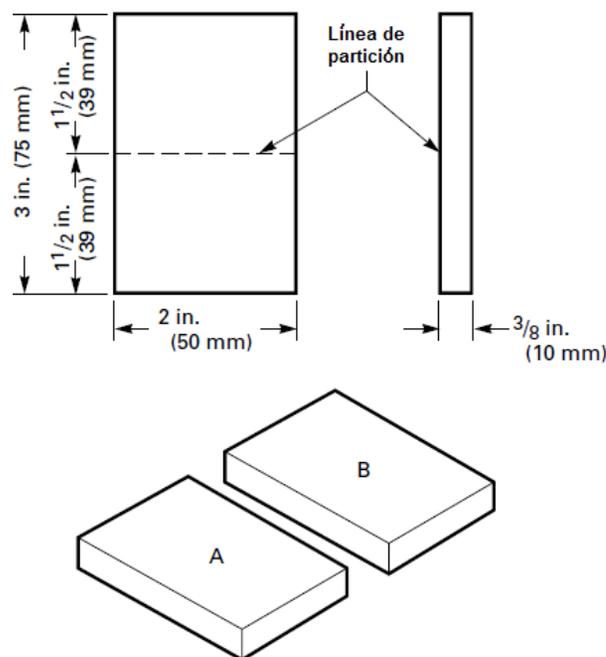
III-641 Aplicación del Comparador

III-641.1 Temperatura Menor de 40°F (5°C). Si se desea calificar un procedimiento de examen por líquidos penetrantes a una temperatura menor de 40°F (5°C), el procedimiento propuesto debe ser aplicado al bloque B, después que el bloque y

todos los materiales han sido enfriados y mantenidos a la temperatura de examen propuesta, hasta que sea completada la comparación. Un procedimiento estándar, el cual ha sido previamente demostrado como adecuado para usarse, debe ser aplicado al bloque A en el rango de temperaturas de 40°F a 125°F (5°C a 52°C). Las indicaciones de las grietas deben ser comparadas entre los bloques A y B. Si las indicaciones obtenidas bajo las condiciones propuestas en el bloque B son esencialmente las mismas que las obtenidas en el bloque A, durante el examen entre 40°F y 125°F (5°C y 52°C), el procedimiento propuesto debe ser considerado como calificado para su uso. Un procedimiento calificado a una temperatura menor de 40°F (5°C) debe ser calificado desde esa temperatura hasta 40°F (5°C).

FIG. III-630 COMPARADOR DE LÍQUIDOS PENETRANTES

(Nota: Las dimensiones dadas son como guía solamente y no son críticas)



III-641.2 Temperatura Mayor de 125°F (52°C). Si la temperatura propuesta para el examen está por arriba de 125°F (52°C), el bloque B debe mantenerse a esta temperatura durante el examen completo. Las indicaciones de las grietas deben ser comparadas como se describe en III-641.1 mientras el bloque B está a la temperatura propuesta y el bloque A está en el rango de temperaturas de entre 40°F y 125°F (5°C y 52°C).

Para calificar un procedimiento para temperaturas arriba de 125°F (52°C), deben ser establecidos los límites mayor y menor de temperatura, y el procedimiento estará calificado a esas temperaturas. [Como un ejemplo, para calificar un procedimiento para el rango de temperaturas de 126°F (52°C) a 200°F (93°C), la capacidad del penetrante para revelar indicaciones sobre el bloque comparador debe demostrarse con ambas temperaturas.]

III-641.3 Técnicas Alternas para Penetrantes de Color Contrastante. Como una alternativa a los requisitos de III-641.1 y III-641.2, cuando se usan penetrantes de color contrastante, se permite el uso de un solo bloque comparador para la temperatura estándar y la no estándar, y se hace la comparación por fotografía.

(a) Cuando es usado un solo bloque comparador y la técnica de fotografía, se aplican los detalles del proceso (como sea aplicable) descritos en III-641.1 y III-641.2. El bloque debe limpiarse completamente entre los dos pasos del proceso. Las fotografías deben ser tomadas después del proceso a la temperatura no estándar y después del proceso a la temperatura estándar. Las indicaciones de las grietas deben ser comparadas entre las dos fotografías. Debe ser aplicado el mismo criterio para la calificación como en III-641,1.

(b) Deben ser usadas técnicas fotográficas idénticas para hacer la comparación por medio de fotografías.

PÁGINA			TITULO: PROCEDIMIENTO PARA EL EXAMEN POR LIQUIDOS PENETRANTES	PROCEDIMIENTO
1	DE	12		MAPER-010
REVISION				
ORIGINAL				

OBJETIVO
Establecer los parámetros necesarios para el examen por el método de
de líquidos penetrantes

CONTROL DE REVISIONES				
NOMBRE	TITULO	FIRMA	FECHA	REVISION
ELABORADO POR:				ORIGINAL
REVISADO Y APROBADO POR:				
APROBADO POR (CLIENTE):				
ELABORADO POR:				
REVISADO Y APROBADO POR:				
APROBADO POR (CLIENTE):				

PÁGINA			TITULO: PROCEDIMIENTO PARA EL EXAMEN POR LIQUIDOS PENETRANTES	PROCEDIMIENTO
2	DE	12		MAPER-010
REVISION				
ORIGINAL				

CONTENIDO

SECCION	DESCRIPCION	PAGINA
1.0	OBJETIVO	3
2.0	ALCANCE	3
3.0	RESPONSABILIDADES	3
4.0	REQUISITOS DE PERSONAL	3
5.0	NORMAS Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA	4
6.0	REQUISITOS GENERALES	4
7.0	AREAS DE EXAMEN	5
8.0	DESARROLLO DE LA INSPECCION	5
9.0	INDICACIONES REGISTRABLES	10
10.0	METODO DE EVALUACION	10
11.0	CRITERIO DE ACEPTACION Y RECHAZO	10
12.0	LIMPIEZA POSTERIOR	11
13.0	REPORTE DE INSPECCION	11
14.0	ANEXOS	11

PÁGINA			TITULO: PROCEDIMIENTO PARA EL EXAMEN POR LIQUIDOS PENETRANTES	PROCEDIMIENTO
3	DE	12		MAPER-010
REVISION				
ORIGINAL				
<p>1.0 OBJETIVO.</p> <p>Establecer los parámetros necesarios para la inspección por el método de líquidos penetrantes.</p>				
<p>2.0 ALCANCE.</p>				
<p>2.1 Este procedimiento establece el método y los criterios de aceptación, para la inspección por líquidos penetrantes de recipientes a presión por los métodos de: penetrante con tinte fluorescente y visible (contrastante) lavable con agua (Métodos A y B, Tipo 1), y penetrante con tinte fluorescente y visible (contrastante) removible con solvente (Métodos A y B, Tipo 3), y revelador seco o en suspensión no acuosa, el que sea aplicable.</p>				
<p>2.2 Es aplicable para la detección de discontinuidades que afloren a la superficie en materiales ferromagnéticos y no ferromagnéticos, como uniones soldadas de cualquier forma de preparación de junta, tipo de unión y dimensiones, y componentes estructurales fundidos, cuando sea requerido por los documentos del cliente o la orden de servicio, lo que sea aplicable.</p>				
<p>3.0 RESPONSABILIDADES.</p>				
<p>3.1 Es responsabilidad del personal técnico de MAPER, nivel I realizar inspecciones, de acuerdo a los requisitos de este procedimiento.</p>				
<p>3.2 Es responsabilidad del personal técnico de MAPER. nivel II ó nivel III realizar las inspecciones; interpretar, evaluar y reportar los resultados de las inspecciones de acuerdo a los requisitos de este procedimiento.</p>				
<p>3.3 Es responsabilidad del General de Aseguramiento de Calidad de MAPER, del control y actualización de este procedimiento.</p>				
<p>4.0 REQUISITOS DE PERSONAL.</p>				
<p>4.1 El personal que realice las inspecciones debe estar calificado y certificado de acuerdo al Procedimiento de Capacitación, Calificación y Certificación del Personal de MAPER No. CC-PND-001.</p>				
<p>4.2 El personal que realice las inspecciones debe estar calificado y certificado como nivel I en el Método de Inspección por Líquidos Penetrantes.</p>				
<p>4.3 El personal que realice las inspecciones, interprete, evalúe y elabore el reporte de los resultados de las inspecciones, debe estar calificado y certificado como nivel II o III en el Método de Inspección por Líquidos Penetrantes.</p>				

PÁGINA			TÍTULO:	PROCEDIMIENTO
4	DE	12	PROCEDIMIENTO PARA EL EXAMEN POR LIQUIDOS PENETRANTES	MAPER-010
REVISION				
ORIGINAL				
<p>5.0 NORMAS Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA.</p> <p>Este procedimiento se apega a los siguientes documentos:</p> <p>5.1 ASME BPV CODE SECTION V, ARTICLE 6, Ed. 1995, Liquid Penetrant Examination(Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas, Sección V, Artículo 6, Ed.1995, Inspección por Líquidos Penetrantes).</p> <p>5.2 ASME BPV CODE SECTION VIII, DIVISION 1, APPENDIX 8, Ed. 1995, Liquid Penetrant Examination (MT) (Código ASME para Recipientes a Presión y Calderas Sección VIII, División 1, Apéndice 8, Ed.1995, Inspección por Líquidos Penetrantes).</p> <p>5.3 RECOMMENDED PRACTICE SNT-TC-1A, DECEMBER 1992 EDITION, ASNT, INC. (Práctica Recomendada SNT-TC-1A, Edición Diciembre 1992).</p> <p>6.0 REQUISITOS GENERALES.</p> <p>6.1 Materiales.</p> <p>6.1.1 Todos los materiales utilizados en el método de inspección por líquidos penetrantes (penetrante, removedor y revelador), deben ser certificados por el fabricante en su contenido de contaminantes, para garantizar que no excedan del 1% en peso del contenido de sulfuros y halógenos. Los certificados deben incluir el número de lote e identificación de cada líquido.</p> <p>6.1.2 Los materiales penetrantes calificados y que podrán ser utilizados para el presente procedimiento, son los enlistados en el Anexo A.</p> <p>6.2 Revisión del Procedimiento.</p> <p>6.2.1 Se requiere que este procedimiento sea revisado y recalificado cuando:</p> <p>6.2.1.1 Se efectúe un cambio o sustitución en el tipo o familia de los materiales penetrantes (incluyendo los reveladores, etc.), o en las técnicas del proceso.</p> <p>6.2.1.2 Se realice un cambio o sustitución en el tipo de materiales o proceso de limpieza previa.</p> <p>6.2.1.3 Exista cualquier cambio en el procesado de la pieza que pueda cerrar las discontinuidades abiertas a la superficie o que pueda formar un depósito que interfiera con la prueba. Procesos tales como la limpieza con chorro de granalla o tratamiento con ácido.</p> <p>6.3 Restricciones Técnicas.</p> <p>6.3.1 La inspección con líquidos penetrantes con tinte fluorescente no se debe realizar a materiales inspeccionados previamente con líquidos penetrantes con tinte visible (contrastante).</p>				

PÁGINA			TITULO:	PROCEDIMIENTO	
5	DE	12		PROCEDIMIENTO PARA EL EXAMEN POR LIQUIDOS PENETRANTES	MAPER-010
REVISION					
ORIGINAL					
<p>6.3.2 No se permite mezclar materiales penetrantes de diferentes marcas o familias.</p> <p>6.4 Temperatura de la Superficie a Inspeccionar.</p> <p>6.4.1 La temperatura de los materiales penetrantes y de la superficie de la pieza a inspeccionar deben estar entre 60 °F (15 °C) y 125 °F (52 °C), durante todo el proceso de inspección.</p> <p>6.4.1.1 Calentamiento o enfriamiento local es permitido, para lograr que la temperatura cumpla con lo establecido en el párrafo 6.4.1, durante el proceso de inspección.</p> <p>6.5 Requisitos de Iluminación.</p> <p>6.5.1 Para asegurar que no existan pérdidas de sensibilidad, debe verificarse el nivel de iluminación de acuerdo a lo siguiente:</p> <p>6.5.1.1 Para la inspección con líquidos penetrantes visibles (contrastantes), la luz blanca puede ser natural o artificial; en este último caso, debe ser la proveniente de un foco de 125 watts como mínimo y sin resplandor.</p> <p>6.5.1.2 La inspección con líquidos penetrantes fluorescentes se debe efectuar en un área oscura, mediante el empleo de una lámpara de luz ultravioleta cuya intensidad de iluminación no debe ser menor de 800 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.</p> <p>6.5.1.2.1 La determinación de la intensidad de la luz ultravioleta debe efectuarse con un medidor calibrado y a una distancia no menor de 15" desde la cara del filtro a la superficie de prueba. La lámpara de luz ultravioleta debe calentarse por espacio de 5 minutos antes de efectuar la medición. La medición de la intensidad debe efectuarse cada 8 horas de trabajo, cada cambio de turno y siempre que se cambie el lugar de inspección.</p> <p>6.5.1.2.2 Antes de hacer la interpretación y evaluación de indicaciones, el inspector deberá adaptarse a la oscuridad por un período no menor de 5 minutos y la lámpara debe ser calentada por un período no menor de 5 minutos.</p> <p>7.0 AREAS DE EXAMEN.</p> <p>7.1 Las zonas de interés y superficies a inspeccionar deben ser definidas por el cliente, o las que se establezcan en los documentos aplicables.</p> <p>7.2 En la inspección de uniones soldadas, el área de interés incluye media pulgada adyacente a cada lado del cordón de soldadura.</p> <p>7.3 En la inspección de reparaciones por soldadura, el área de interés incluye media pulgada adyacente a cada lado de la soldadura.</p>					

PÁGINA			TITULO: PROCEDIMIENTO PARA EL EXAMEN POR LIQUIDOS PENETRANTES	PROCEDIMIENTO
6	DE	12		MAPER-010
REVISION				
ORIGINAL				
8.0 DESARROLLO DE LA INSPECCION				
8.1 Preparación de la Superficies.				
8.1.1	La inspección por líquidos penetrantes puede ser efectuada en materiales que estén en la condición de soldado, conformado o fundido; la superficie debe estar libre de irregularidades que interfieran con la inspección, o que puedan provocar indicaciones falsas, en estos casos, puede ser necesaria la preparación de la superficie por esmerilado o por cualquier otro método adecuado antes de la inspección.			
8.1.2	El área de interés de la superficie a inspeccionar y las áreas adyacentes al menos hasta una pulgada a cada lado, deben estar secas y limpias, libres de grasa, aceite, óxido, escorias, gotas de soldadura, suciedad o cualquier material extraño que pueda interferir con la inspección o que cubra las aberturas superficiales.			
8.1.3	Cuando se requiera de limpieza previa, se pueden emplear los agentes de limpieza comunes como son: detergentes, solventes orgánicos, soluciones desincrustantes, removedores de pintura o desengrasantes, siempre y cuando sean fácilmente lavables antes de iniciar la inspección.			
8.1.4	Después de haber aplicado cualquier método de limpieza previa, la superficie deberá limpiarse con un solvente removedor del mismo fabricante del penetrante para asegurar la limpieza completa de las piezas.			
8.2 Secado Después de la Preparación de la Superficie.				
8.2.1	Las piezas deben estar perfectamente secas antes de aplicar el penetrante. Cuando se utilicen líquidos no inflamables, el secado se efectuará primeramente con lámparas infrarrojas, aire caliente a presión o por evaporación normal. La temperatura debe cumplir con lo establecido en el párrafo 6.4.			
8.2.2	El secado después de la aplicación de solventes orgánicos de limpieza debe ser, de preferencia, por evaporación normal, el tiempo de secado no debe ser menor a 5 minutos.			
8.3 Aplicación del líquido penetrante.				
8.3.1	El líquido penetrante debe ser aplicado sobre la superficie sujeta a inspección utilizando brocha o por aspersion, evitando la aplicación excesiva o innecesaria del penetrante y asegurándose de cubrir en forma homogénea la zona a inspeccionar. Se debe evitar la formación de encharcamientos de penetrante.			
8.3.2	La temperatura debe cumplir con lo establecido en el párrafo 6.4. En el caso de que la temperatura de la superficie esté por arriba del límite superior, se deberá dejar enfriar la pieza antes de aplicar el penetrante.			

PÁGINA			TITULO: PROCEDIMIENTO PARA EL EXAMEN POR LIQUIDOS PENETRANTES	PROCEDIMIENTO
7	DE	12		MAPER-010
REVISION				
ORIGINAL				

8.3.3 El tiempo de penetración se inicia con la aplicación del penetrante en la superficie a inspeccionar, este tiempo es crítico y se debe seleccionar de acuerdo a los tiempos establecidos en la Tabla 1.

TABLA 1

MATERIAL	FORMA	TIPO DE DISCONTINUIDAD	TIEMPO DE PENETRACION (MINUTOS)
Acero y sus aleaciones, Aluminio, Cobre y bronce.	Fundido: Fundiciones y soldaduras.	Traslapes en frío, faltas de fusión, grietas (En todas sus formas).	5
	Conformado y placas.	Traslapes, grietas (En todas sus formas).	10

- A) Estos tiempos son para un rango de temperatura entre 15°C y 52°C.
- B) Estos tiempos de penetración son mínimos.
- C) El tiempo de penetración máximo es de 30 minutos.
- D) El tiempo de revelado inicia inmediatamente después de la aplicación del revelador seco y tan pronto como el revelador en suspensión no acuosa se ha secado sobre la superficie de la pieza (tiempo mínimo recomendado).

8.3.3.1 Cuando se desconozca la forma de fabricación del material, el tiempo de penetración mínimo será de 10 minutos.

8.3.4 Debe evitarse que el penetrante se seque sobre la superficie. Si el penetrante comienza a secarse, debe aplicarse nuevamente penetrante; En caso de que el penetrante se seque debe repetirse el proceso desde el párrafo 8.1.4.

8.4 Remoción del exceso de penetrante.

8.4.1 Cuando se empleen penetrantes con tinte fluorescente, la remoción del exceso de penetrante se debe efectuar bajo condiciones de iluminación de luz ultravioleta en una zona oscurecida.

8.4.2 Una vez transcurrido el tiempo de penetración, el exceso de penetrante se debe remover de la superficie de la pieza como se indica a continuación:

8.4.2.1 Penetrantes lavables con agua.

8.4.2.1.1 El exceso de penetrante se elimina lavando directamente con agua. Es importante controlar esta operación para evitar el sobre lavado, y con ello la remoción del penetrante de las discontinuidades.

8.4.2.1.2 La remoción debe realizarse por rociado. La presión del agua de lavado no debe ser mayor de 50 psi (350 kPa), y la temperatura no debe exceder de 110 °F (43 °C). Se debe emplear un chorro basto de agua.

PÁGINA			TITULO: PROCEDIMIENTO PARA EL EXAMEN POR LIQUIDOS PENETRANTES	PROCEDIMIENTO
8	DE	12		MAPER-010
REVISION				
ORIGINAL				
<p>8.4.2.1.3 Cuando no es posible disponer de sistemas de rociado, se puede eliminar el exceso de penetrante empleando paños empapados con agua, con los cuales se talla suavemente.</p> <p>8.4.2.2 Penetrantes removibles con solvente.</p> <p>8.4.2.2.1 Limpiar la superficie con un papel absorbente o con un trapo limpio y seco hasta eliminar la mayor cantidad del exceso de penetrante.</p> <p>8.4.2.2.2 Los rastros remanentes deben ser eliminados con un papel absorbente o un trapo ligeramente humedecido (no empapado) con solvente y frotando suavemente la superficie.</p> <p>8.4.2.2.3 No se debe emplear el solvente en exceso, nunca se debe lavar la superficie a ser inspeccionada con rocío directo del removedor o solvente después de la aplicación del penetrante y antes de la aplicación del revelador.</p> <p>8.5 Secado Después de la Remoción del Exceso de Penetrante.</p> <p>8.5.1 Después de la remoción del exceso de penetrante, debe secarse la superficie para evitar que los residuos de agua, removedor o solvente puedan diluir el penetrante atrapado en las discontinuidades.</p> <p>8.5.2 Una vez que ha sido eliminado el exceso de penetrante lavable con agua, se debe secar la superficie por lo menos durante 7 minutos, para asegurar la evaporación de los residuos de agua que se mantengan sobre la superficie. El secado puede llevarse a cabo por evaporación normal, con un papel absorbente o trapo limpio y seco, en un horno con aire caliente re circulante o con chorro de aire caliente.</p> <p>8.5.2.1 Si se emplean hornos para el secado, la temperatura de la superficie no debe exceder de 125 °F (52 °C). Si se emplea chorro de aire caliente, la presión debe estar entre 5 y 10 psi (34 a 70 kPa).</p> <p>8.5.3 Una vez que ha sido eliminado el exceso de penetrante removible con solvente, la superficie debe secarse por evaporación normal. Si para eliminar el exceso de penetrante se utiliza líquido removedor, no es necesario dejar secar la pieza. El tiempo mínimo de secado por evaporación normal es de 3 minutos.</p> <p>8.6 Aplicación del revelador.</p> <p>8.6.1 Después de la remoción del exceso de penetrante y ya que la superficie de inspección esté seca, si es necesario, se aplicará el revelador.</p> <p>8.6.2 Revelador en suspensión no acuosa.</p>				

PÁGINA			TITULO:	PROCEDIMIENTO	
9	DE	12		PROCEDIMIENTO PARA EL EXAMEN POR LIQUIDOS PENETRANTES	MAPER-010
REVISION					
ORIGINAL					
<p>8.6.2.1 Se aplicará el revelador en suspensión no acuosa cuando se empleen penetrantes visibles (contrastantes) en cualquier tipo de superficie; o penetrantes fluorescentes en superficies tersas.</p> <p>8.6.2.2 El revelador es un polvo en suspensión, por lo que debe agitarse vigorosamente antes y durante su aplicación.</p> <p>8.6.2.3 El revelador se debe aplicar por rocío, de tal forma que se obtenga una capa fina y uniforme que permita un buen contraste de fondo para el líquido penetrante. Se debe evitar la aplicación en exceso. El revelador se deberá aplicar a una distancia de entre 8 y 12 pulgadas de la superficie de prueba.</p> <p>8.6.3 Revelador seco.</p> <p>8.6.3.1 Se aplicará el revelador seco cuando se empleen penetrantes fluorescentes en superficies rugosas, con roscas o barrenos ciegos.</p> <p>8.6.3.2 La aplicación del revelador seco será por aspersion o por medio de un bulbo de aplicación, de tal manera que se asegure una cobertura completa. el exceso de revelador se deberá eliminar agitando o golpeando ligeramente la pieza, o mediante el empleo de aire comprimido limpio y seco con una presión de entre 5 y 10 psi (34 a 70 kPa).</p> <p>8.6.4 El proceso de inspección se debe repetir, iniciando desde el paso de limpieza, cuando la superficie a inspeccionar presente un color rosa intenso, en el caso del uso de penetrantes visibles (contrastantes); o un fondo excesivo de color verde-amarillo, cuando se empleen penetrantes fluorescentes, después de la aplicación del revelador.</p> <p>8.7 Interpretación y evaluación de las indicaciones.</p> <p>8.7.1 Las superficies deben observarse después de la aplicación del revelador y mientras transcurre el tiempo de revelado, para monitorear el desarrollo de indicaciones que tiendan a sangrar en exceso, ya que ayudará a la interpretación final de las indicaciones.</p> <p>8.7.2 La interpretación final de las indicaciones debe efectuarse después de que el revelador haya permanecido durante un tiempo de revelado de entre 10 a 20 minutos. El tiempo de revelado inicia con la aplicación del revelador seco o una vez que el revelador en suspensión no acuosa se ha secado. Hasta donde sea prácticamente posible, el tiempo de revelado debe ajustarse a un rango de 10 a 15 minutos para homogeneizar los resultados.</p> <p>8.7.3 Si la superficie a ser examinada es demasiado grande para terminar la inspección en un tiempo de 30 minutos, se recomienda hacer la inspección por partes.</p> <p>8.8 Marcas de localización de referencia.</p> <p>8.8.1 Cada parte inspeccionada debe ser identificada con una marca de localización de referencia. La marca de referencia debe ser localizada de la siguiente forma:</p>					

PÁGINA			TITULO: PROCEDIMIENTO PARA EL EXAMEN POR LIQUIDOS PENETRANTES	PROCEDIMIENTO
10	DE	12		MAPER-010
REVISION				
ORIGINAL				
<p>8.8.1.1 En componentes horizontales, la marca de referencia deberá ser localizada en la parte superior, cercana a: la placa de identificación, entrada hombre, extremo Norte, extremo Este, parte frontal, entrada de fluido, etc., lo que sea aplicable.</p> <p>8.8.1.2 En componentes verticales, la marca de referencia deberá ser localizada hacia la parte norte, cercana a: la placa de identificación, entrada hombre y/o nivel de piso, lo que sea aplicable.</p> <p>8.8.2 La localización de cualquier discontinuidad registrable, sobre el componente y en el dibujo o croquis complementario del reporte de resultados, deberá tener como referencia la marca de localización. Se debe considerar como inicio la marca de referencia y, sucesivamente, el sentido del flujo del fluido, de Norte a Sur o de Este a Oeste, de abajo hacia arriba y el sentido de las manecillas del reloj.</p> <p>8.8.3 Las marcas de referencia deben ser identificadas, sobre el material base, por estampado mecánico de bajo esfuerzo o con pintura.</p> <p>8.9 Marcado de las piezas.</p> <p>8.9.1 Las uniones soldadas o componentes aceptados, de acuerdo con este procedimiento, deben ser identificados por estampado mecánico de bajo esfuerzo o con pintura, y con la siguiente leyenda: PT-XXX-ACCEPT.</p> <p>8.9.2 Las uniones soldadas o componentes rechazados, de acuerdo con este procedimiento, deben ser identificados por estampado mecánico de bajo esfuerzo o con pintura, y con la siguiente leyenda: PT-XXX-RECH.</p> <p>Nota: XXX representa el número de reporte correspondiente.</p> <p>9.0 INDICACIONES REGISTRABLES.</p> <p>9.1 Se deben registrar todas aquellas indicaciones de discontinuidades que se encuentren fuera de especificación, de acuerdo con los criterios de aceptación establecidos en este procedimiento, a menos que el cliente especifique otra cosa.</p> <p>9.2 El medio de registro es a través de dibujos, aproximadamente a escala, a través de réplicas elaboradas con cinta adhesiva transparente, cinta adhesiva opaca o fotografía.</p> <p>10.0 EVALUACION DE INDICACIONES.</p> <p>10.1 Las indicaciones serán reveladas por el sangrado del líquido penetrante; sin embargo, irregularidades localizadas en la superficie debido a marcas de maquinado u otras condiciones superficiales pueden producir indicaciones falsas.</p>				

PÁGINA			TÍTULO:	PROCEDIMIENTO
11	DE	12	PROCEDIMIENTO PARA EL EXAMEN POR LIQUIDOS PENETRANTES	MAPER-010
REVISION				
ORIGINAL				
10.2	Una indicación es la evidencia de una imperfección mecánica. Solamente indicaciones que tengan cualquier dimensión mayor que 1/16 de pulgada deben ser consideradas relevantes.			
10.3	Una indicación lineal es aquella que tiene una longitud mayor que tres veces su ancho.			
10.4	Una indicación redonda es aquella de forma elíptica o circular que tiene una longitud igual o menor que tres veces su ancho.			
10.5	Cualquier indicación cuestionable o dudosa debe ser reexaminada para determinar, en todo caso, si es o no relevante.			
10.6	Una indicación de una imperfección puede ser más grande que la discontinuidad que la causa; sin embargo, el tamaño real de la indicación es la base para la evaluación.			
10.7	Se tomará en cuenta el tamaño de las indicaciones obtenidas por el sangrado del líquido penetrante. La evaluación será efectuada por el dimensionamiento directo de las indicaciones obtenidas.			
11.0	CRITERIOS DE ACEPTACION.			
11.1	Los siguientes criterios de aceptación deberán aplicarse a menos que otros criterios más estrictos sean especificados para materiales o aplicaciones específicas:			
11.1.1	Todas las superficies a ser examinadas deben estar libres de:			
11.1.1.1	a)	Indicaciones lineales relevantes.		
11.1.1.2	b)	Indicaciones redondas relevantes mayores de 3/16 de pulgada.		
11.1.1.3	c)	Cuatro o más indicaciones redondas relevantes alineadas y separadas por 1/16 de pulgada o menos de extremo a extremo.		
12.0	LIMPIEZA POSTERIOR.			
12.1	Cuando se requiera, puede emplearse flujo de aire comprimido limpio y seco o empleando un solvente y frotando con un material absorbente para efectuar la limpieza posterior.			
13.0	REPORTE DE INSPECCION.			
13.1	Los resultados de cada inspección deben ser reportados por el Nivel II o III en el formato de reporte de inspección No. F-PND-010, al cual se le anexará cualquier documentación, información o dibujo necesario que permita el seguimiento del reporte al (los) componente(s), zona(s) de (los) componente(s) o unión(es) soldada(s) inspeccionado(s).			

PÁGINA			TITULO: PROCEDIMIENTO PARA EL EXAMEN POR LIQUIDOS PENETRANTES	PROCEDIMIENTO
12	DE	12		MAPER-010
REVISION				
ORIGINAL				
<p>13.2 La localización de las indicaciones será documentada de acuerdo a lo establecido en el párrafo 8.8, en un croquis dentro del formato de reporte o en un croquis anexo, dimensionando aproximadamente a escala la zona o pieza inspeccionada.</p> <p>14.0 ANEXOS.</p> <p>14.1 ANEXO A: TABLA DE MATERIALES PENETRANTES A EMPLEAR.</p> <p>14.2 FORMA No.: F-PND-010 "REPORTE DE INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES".</p>				

REPORTE DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES

1.-INFORMACIÓN GENERAL

REPORTE No.:	FECHA:	HOJA:	DE
CLIENTE:	OBRA:		

2.-DATOS DE LA PIEZA

DESCRIPCION DE LA PIEZA:	
DIMENSIONES:	TIPO DE MATERIAL:
No. DE PARTE:	No. DE SERIE:
PROCESO DE FABRICACIÓN:	
ACABADO SUPERFICIAL:	
ZONA INSPECCIONADA:	

3.-INFORMACION SOBRE LA INSPECCION

PROCEDIMIENTO No.:	REVISION:	NORMA:		
TIPO DE PENETRANTE (TINTE):				
MÉTODO DE REMOCIÓN:				
TIEMPO DE:	SECADO	PENETRACIÓN	SECADO	REVELADO
TIPO DE ILUMINACIÓN:				

4.-MATERIAL

LÍQUIDO PENETRANTE	MARCA	IDENTIFICACIÓN	No. DE LOTE
REMOVEDOR			
REVELADOR			
MATERIAL DE LIMPIEZA:			
TIPO DE REVELADOR:			

5.-OBSERVACIONES

<hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin-bottom: 5px;"/> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/>

7.-RESULTADOS DE LA INSPECCION

ACEPTADO	<input type="checkbox"/>	RECHAZADO	<input type="checkbox"/>	CRITERIO DE ACEPTACIÓN: _____
----------	--------------------------	-----------	--------------------------	-------------------------------

ELABORO:	APROBO:	CLIENTE:
NIVEL _____ SNT-TC-1A	NIVEL _____ SNT-TC-1A	NOMBRE:
FECHA:	FECHA:	FECHA:

REPORTE DE DISCONTINUIDADES LOCALIZADAS

1.-INFORMACION GENERAL.

REPORTE No.: _____ FECHA: _____ HOJA: _____ DE _____

ELABORÓ: _____

METODO APLICADO DE END: _____

No. SERIE DE LA (S) MUESTRA (S): _____

2.-CROQUIS, NÚMERO Y LOCALIZACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES ENCONTRADAS.

3.-DISCONTINUIDADES ENCONTRADAS.

DISCONTINUIDAD NÚMERO	DESCRIPCIÓN	INICIO DE LA DISCONTINUIDAD	LONGITUD TOTAL DISCONTINUIDAD	ALTURA DE LA DISCONTINUIDAD	LOCALIZACIÓN DESDE LA SUPERFICIE	RESULTADO	
						ACEPT	RECH

4.-OBSERVACIONES.
