

Fundamentos, utilización y aplicación de este método

Índice

- Ensayo no destructivo por líquido penetrante.
 - Fundamentos del método.
 - Mojabilidad.
 - Clasificación de los líquidos penetrantes.
- Consideraciones fundamentales para el examen con líquidos penetrantes.
 - Preparación para examinar.
 - Secado posterior a la limpieza.
 - Aplicación del penetrante.
 - Remoción del penetrante.
- Observación y evaluación de las indicaciones.
 - Evaluación de los líquidos penetrante.
 - Parámetros relativos al comportamiento.
 - Conclusión.

Ensayo no destructivo por líquido penetrante

El método de ensayo no destructivo por líquido penetrante basado en el PRINCIPIO DE CAPILARIDAD DE LOS LÍQUIDOS, que permite su penetración y retención en las aberturas estrechas, tiene un amplio cambio de aplicación en la detección de defectos abiertos a la superficie.

El método se distingue de otros métodos de inspección convencionales, porque es prácticamente independiente de la forma o geometría y ubicación de la pieza a examinar, requiere de un equipamiento mínimo (no depende de fuentes de energía) y posee una gran sensibilidad en la detección de fallas.

Primitivamente ya se usaba este sistema de detección de fisuras, que consistía en la penetración de aceite y posterior blanqueo con cal, utilizado en talleres ferroviarios para encontrar fallas de fatiga en componentes de locomotoras y vagones.

Esta técnica consistía en las siguientes operaciones.

- a) Limpiar adecuadamente la pieza
- b) Sumergirla durante VARIAS HORAS en una mezcla de aceite al 25% y kerosene al 75% en caliente, con el fin de lograr la penetración.
- c) Quitar la pieza del baño, escurrirla y remover la mezcla de la superficie mediante trapos.
- d) Blanquear la pieza con cal o tiza suspendida en alcohol.
- e) Finalmente, observar la misma con el fin de detectar las zonas en las que las afloraciones de aceite en la cal revelan la presencia de defectos.

Este ensayo tenía limitaciones serias en cuanto a su sensibilidad, debido principalmente a las características del líquido usado y a la falta de contraste en las indicaciones, como también el desconocimiento de la mecánica física del sistema en sí.

Para mejorar el control de calidad en la producción de equipos y armamentos durante la segunda guerra mundial, se perfeccionó sustancialmente esta técnica. Luego, en el año 1941, se patentó un método muy mejorado, que se desarrolló sobre la base de la aplicación de conocimientos científicos y técnicos, habiéndose logrado en la actualidad procesos de gran sensibilidad, capaces de detectar fisuras cuyo espesor es del orden de tan solo décimas de micrones.

Fundamentos del método

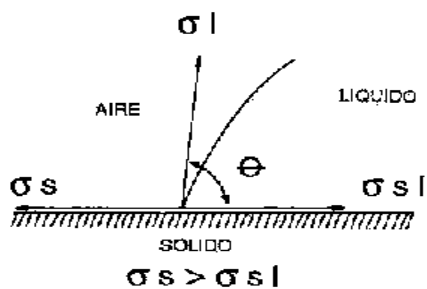
El fundamento científico del método reside en la capacidad que poseen ciertos líquidos para penetrar y ser retenidos en las fisuras, grietas, poros o aberturas abiertas a la superficie, cuando son aplicadas sobre las mismas.

Esta capacidad depende principalmente de 3 propiedades:

- 1) Mojabilidad o ángulo de contacto líquido y sólido (θ)
- 2) Tensión superficial (σ)
- 3) Viscosidad (μ)

1) Mojabilidad

Al depositar una gota de líquido sobre una superficie, tendremos un punto en el cual se pueden considerar aplicadas 3 fuerzas a las tensiones superficiales.

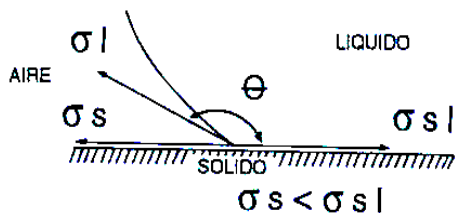


Si la gota no se extiende, se producirá la siguiente ecuación:

$$\sigma_s = \sigma_{sl} + \sigma_l \cdot \cos \theta$$

Si el líquido moja la superficie: $\sigma_s > \sigma_{sl}$

Esto se logra manteniendo el ángulo $\theta < 90^\circ$. Caso contrario; si el líquido no moja la superficie, ello se producirá con $\theta > 90^\circ$, y esto implicará:



El primer caso corresponde al comportamiento de la gota H₂O, el segundo caso, al comportamiento de la gota Hg, ambas depositadas sobre un cristal plano.

σ_s , σ_{sl} y σ_l son valores característicos para cada sistema líquido – sólido – gas en contacto.

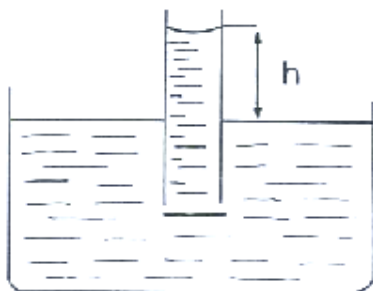
El valor de σ_{sl} puede ser variado mediante el agregado de aditivos al líquido. Estos aditivos pueden disminuir el valor σ_{sl} en tal grado que aun con ($\theta \rightarrow 0$), se obtiene la siguiente inecuación:

$$\sigma_s > \sigma_{sl} + \sigma_l \cos \theta$$

El resultado de esto será que la gota se extenderá continuamente sobre la superficie, tendiendo a formar una capa molecular.

La MOJABILIDAD será, pues UNA DE LAS PROPIEDADES FUNDAMENTALES EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS LÍQUIDOS PENETRANTES. La relación entre el ángulo de COMPORTAMIENTO DE LOS LÍQUIDOS PENETRANTES. La relación entre el ángulo de contacto θ , la tensión superficial (σ) y la viscosidad (μ), puede ser establecida mediante la observación del FENÓMENO DE CAPILARIDAD.

El mismo está basado en el hecho que si en un líquido introducimos un tubo capilar, se podrá observar que si el mismo moja las paredes, ascenderá dentro del tubo hasta cierto nivel, en el cual se establece un equilibrio entre la resultante de fuerza gravitatoria y de viscosidad, obteniéndose la siguiente relación:



$$h^2 = \frac{r \cdot t \cdot \sigma \cos \theta}{2 \mu}$$

h = altura alcanzada por el líquido dentro del capilar al cabo de t segundos.

t = tiempo.

r = radio del capilar.

θ = ángulo de contacto entre líquido y sólido.

μ = viscosidad.

Esta ecuación indicaría: para que un líquido tenga un buen poder de penetración, debe poseer elevada tensión superficial, bajo ángulo de contacto y baja viscosidad. De esta forma es posible evaluar la penetrabilidad de un líquido mediante el siguiente coeficiente:

$$C = \sqrt{\frac{\sigma}{2 \mu}}$$

Debe tenerse en cuenta que el cumplimiento de las condiciones anteriores, por si solas, no define una buena Tinta Penetrante.

La evaluación final de un líquido penetrante está obtenida, por supuesto, mediante MEDICIONES FÍSICAS DE SU SENSIBILIDAD DE DETECCIÓN, UTILIZANDO PIEZAS DE ENSAYO NORMALIZADAS CON FALLAS CALIBRADAS.

Actualmente, el rango de líquidos orgánicos técnicamente aceptables como penetrantes apropiados es muy amplio.

Las PRINCIPALES LIMITACIONES aparecen, sin embargo, cuando se considera la etapa de REMOCIÓN DEL EXCESO DE PENETRANTE APLICADO.

Es decir, debe indicarse que a las propiedades como penetrante que debe poseer la tinta, se sumará la propiedad de ser fácilmente removible de la superficie en que se ha aplicado, y quedar al mismo tiempo firmemente retenida en las discontinuidades. ESTA CONDICIÓN PUEDE SER OBTENIDA MEDIANTE MEZCLAS APROPIADAS DE LÍQUIDOS ORGÁNICOS.

En su estado actual, el método de ensayo con líquidos penetrantes comprende las siguientes operaciones:

- 1) Limpieza efectiva de la parte a examinar, incluyendo un buen secado (evitar especialmente la presencia de agua).
- 2) Aplicación del líquido penetrante de manera que cubra toda la superficie a examinar.
- 3) Dejar transcurrir el tiempo necesario para que la tinta penetre. Este tiempo puede variar para distintos materiales, de acuerdo con las diferentes formas en que se encuentra (fundición, forjado, soldadura, etc.).
- 4) Remover el líquido penetrante de la superficie, evitando que sea extraído el que ha penetrado en las fallas. Esta remoción puede hacerse mediante pulverización con agua, por **ARRASTRE CON TROPAS HUMEDECIDOS EN SOLVENTE**, o bien por pulverización con agua, previa aplicación de un agente emulsificador que hace a la tinta lavable al agua, según sea al tipo de líquido penetrante usado.
- 5) Dejar secar la superficie y aplicar el revelador, que puede ser un sólido (preferentemente de color blanco) en suspensión de un líquido volátil, el que, una vez evaporado, deja una fina capa de polvo sobre la superficie.

El revelador tiene por función extraer el líquido penetrante retenido en las fallas, y que al difundirse a la superficie produce figuras de las formas de las fallas.

Para obtener un buen contraste, es necesario disponer de una tinta de gran concentración de color.

Clasificación de los líquidos penetrantes

En la descripción precedente se pudo observar que el tipo de LÍQUIDO PENETRANTE USADO DETERMINA VARIANTES EN LA APLICACIÓN DEL MÉTODO.

En nuestro país el Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM) junto con la Comisión Nacional de Energía Atómica (CONEA), han elaborado en conjunto la norma IRAM-CONEA Y-500.1004 (equivalente a ISO 9712) que trata sobre la clasificación de tintas penetrantes.

En los E.E.U.U. de Norte América son utilizadas las normas ASME SE-165 y MIL-1-6866, las cuales coinciden en las definiciones de los distintos de penetrantes y en su clasificación, difiriendo solamente en la simbología utilizada.

Dentro de las normas podemos dar la siguiente clasificación:

TÉCNICA

TIPO A (Tintas Fluorescentes)	<ol style="list-style-type: none">1. Lavable con H₂O2. Postemulsificables3. Removible con solvente
TIPO B (Tintas Coloreadas)	<ol style="list-style-type: none">1. Lavable con H₂O2. Postemulsificables3. Removible con solvente

De todos estos procesos, el tipo B 3 (tinta coloreada removible con solvente) es el más difundido en cuanto a su utilización y aplicación.

Respecto al proceso B 3, daremos el esquema de aplicación de la técnica correspondiente:

- a) Aplicación del solvente removedor.
- b) Aplicación del penetrante, después del secado de la pieza.
- c) Escurrido y remoción de la tinta mediante trapos o ligeramente embebidos en el removedor.
- d) Aplicación del revelador.
- e) Realización de la inspección.
- f) Remoción y limpieza de la pieza con el solvente removedor.

Debe mencionarse que, en cuanto a los materiales a utilizar para la elaboración de líquidos penetrantes, los mismos son clasificados según Norma Militar Americana 25135.

Consideraciones fundamentales para el examen con líquidos penetrantes.

El resultado óptimo del examen realizado depende, en parte, del cuidado y exactitud con que el operador ejecuta las diferentes etapas, desde la limpieza de las partes hasta completar todas las operaciones que permitan la observación y evaluación final de las indicaciones.

Los principios básicos para el ensayo son:

- 1) El líquido penetrante debe entrar en el defecto. Es por ello que el mismo debe estar limpio, libre de materias contaminantes y obstruyentes, como asimismo libre de agua u otros solventes.
- 2) Cuanto menor sea la abertura del defecto, mayor será el tiempo necesario para la penetración. Fisuras muy finas requerirán mucho más tiempo para la penetración que poros u huecos abiertos a la superficie.
- 3) En todo proceso de examen con líquidos penetrantes debe existir una perfecta compatibilidad entre el líquido removedor, el líquido penetrante, y el medio revelador.

No deben mezclarse productos que correspondan a distintos procesos o diferentes fabricantes, salvo que se pueda demostrar sus perfectas compatibilidades.

Preparación para examinar

LIMPIEZA:

El éxito de cualquier ensayo con líquidos penetrantes es, en GRAN PARTE, dependiente de que la superficie se encuentre libre de cualquier contaminante que interfiriera en el proceso.

Todas las partes deben estar LIMPIAS y SECAS antes de aplicar el penetrante y, por lo tanto, deben recibir una preparación previa adecuada.

Esta preparación incluye la remoción de óxidos, capas de pintura, escoria u otras cubiertas, y la realización de una limpieza profunda, que deje la superficie sin ningún tipo de contaminantes que pueda interferir al penetrante.

Para la remoción de óxidos, escamas, etc., se pueden aplicar métodos mecánicos, tales como granallado con metales blandos o cepillado con cepillos de alambre blandos, siempre que la pieza tenga una dureza superior a la 49 R.C. En general no se recomienda el uso de arenado, tela e esmeril, cepillos de acero o escurpado con herramientas, pues existe el peligro de que la deformación superficial producida por estos métodos cierra las fisuras u otros defectos.

Se hayan o no aplicado métodos mecanizados o químicos en la preparación de la pieza, siempre es necesario realizar la limpieza profunda de la misma. Esta limpieza debe remover todo vestigio de grasa, aceites, suciedades, polvos, etc.

La norma A.S.T.M. E 165 menciona distintos métodos de limpieza:

- Limpieza con detergentes

- Solvente removedor.

- Vapor desengrasante.

- Limpieza ultrasónica.

- Soplado abrasivo: Respecto a este último, se permite su uso cuando se comprueba que no aplasta los bordes de los defectos, cerrándolos, o no llena los huecos de los mismos.

Secado posterior a la limpieza

Es esencial que las partes sean enérgicamente secadas, con el fin de que no quede agua ni solvente retenido en los defectos, ya que aquellos impedirían la entrada del penetrante.

El secado se realiza calentando con lámparas infrarrojas, estufas o, simplemente, con aire caliente.

Aplicación del penetrante

La aplicación del penetrante se efectúa una vez que la pieza está perfectamente limpia y seca. La forma de aplicación del penetrante NO DEPENDE DEL TIPO DE PROCESO UTILIZADO SINO, FUNDAMENTALMENTE, DE LAS CONDICIONES EN QUE SE DEBE OPERAR, Y EL TIPO, TAMAÑO Y CANTIDAD DE PIEZAS A EXAMINAR.

Los modos de aplicación son

- Inmersión

- Pulverización

- Pintado

La aplicación por medio de pulverización se realiza generalmente en piezas grandes, que no pueden ser sumergidas en un tanque, o bien en los casos en que se revisa una zona determinada, como ser el examen en cordones de soldadura, en un tanque, o una estructura cualquiera.

Es, además, la UNICA TECNICA APLICABLE EN INSPECCIONES O MONTAJES, O EN TRABAJOS SOBRE EL TERRENO, DONDE NO SE DISPONE DE INSATACIONES FISICAS.

Una vez que se ha asegurado el completo mojado de la superficie a examinar, se debe dejar transcurrir el tiempo necesario para la penetración de la tinta. Estos tiempos están normalizados para los distintos procesos, pero lo mas seguro es adoptar como mínimo el tiempo indicado por el fabricante.

Remoción del penetrante

Esta etapa del proceso TAMBIEN ES FUNDAMENTAL para asegurar la mejor sensibilidad del método.

Una vez que se ha conseguido que el liquido penetrante entre en el defecto, es imperativo que la mayor parte posible quede retenido en el, hasta la etapa de revelado. La remoción del exceso de penetrante debe realizarse con la mínima extracción del liquido retenido en los defectos. La forma de efectuar esta operación depende del tipo de penetrante. En el caso penetración removibles con solvente, ya sean coloreados o fluorescentes, la remoción se hace utilizando un trapo limpio, ligeramente embebido en el solvente removedor.

Cuando se presentas superficies muy pulidas, es aconsejable utilizar solamente trapos limpios para retirar el excedente de la superficie.

Revelado

La etapa de revelado consiste en la aplicación de una capa delgada de polvo muy fino (sólido finamente pulverizado) sobre la superficie bajo examen.

El polvo absorbe el liquido penetrante retenido en las fallas, funcionando como tubo capilar, y lo concentra en la superficie, permitiendo su visualización. En el caso de los líquidos coloreados, el revelador permite aumentar el contraste.

El revelador puede ser polvo en suspensión acuosa, o POLVO EN SUSPENSIÓN NO ACUOSA.

Respecto a este ultimo, diremos que consiste en un sólido suspendido en un liquido volátil, y PUEDE SER USADO CON TODS LOS TIPOS DE PENETRANTES Y PROCESOS.

Este revelador es el que da la más alta sensibilidad. Antes de su aplicación el revelador debe ser agitado y pulverizado sobre la superficie.

Observación y evaluación de las indicaciones

La observación de las indicaciones debe iniciarse inmediatamente después del secado del revelador, y debe repetirse, por lo menos una vez, después de transcurridos 10 minutos, aproximadamente.

Para el caso del líquido penetrante coloreados, la observación debe hacerse con luz natural o luz artificial, asegurándose en ambos casos que la iluminación este entre 300 a 500 lux, sobre la superficie de la muestra.

Con este tipo de penetrante, las indicaciones se verán generalmente de un rojo intenso, que contrasta con un fondo blanco producido por la capa del revelador.

La intensidad del color y la velocidad con que se extiende, está relacionada con la profundidad del defecto. Es decir que, inicialmente, aparecerán las indicaciones de las fisuras, y el posterior ensanchamiento en determinadas zonas, será una media de la profundidad de las fisuras, o sea, que el penetrante se extenderá sobre la superficie.

Fisuras muy estrechas o parcialmente cerradas mostraran una línea de trazos. Poros muy finos serán indicados por puntos distribuidos al azar, o agrupados en áreas localizadas. Astillas adheridas aparecerán como indicaciones difusas que, observadas con aumento, mostrarán que el color proviene del colorante debajo de las mismas.

Evaluación de los líquidos penetrantes

La optimización de un examen con líquidos penetrantes no solo depende del cuidado con que sean aplicadas las distintas etapas de proceso descrito anteriormente, sino también de la APTITUD Y PERFORMANCE DEL SISTEMA PENETRANTE UTILIZADO. En consecuencia, es necesario efectuar algún tipo de evaluación que nos permite obtener resultados respecto a su comportamiento y de su capacidad de DETECCION DE DEFECTOS O SENSIBILIDAD DIMENSIONAL.

Es posible asignar valores numéricos a estos comportamientos, en etapas individuales o en conjunto.

Para ello es necesario que los materiales a utilizar en la fabricación cumplan ciertas propiedades.

Estas propiedades, físicas, químicas y físico – químicas, determinan las características de los materiales para el proceso de ensayo por líquidos penetrantes.

Entre estas propiedades tenemos:

- 1) **PUNTO DE INFLAMACION:** La medición de este parámetro cumple con el propósito de asegurar que el material que el material cumple los requisitos respecto a riesgo de incendio y, además de una indicación respecto a la formulación del producto.
La medición del punto de inflamación se hace generalmente con el aparato de TAG, o con el vaso abierto de CLEVELAND, siguiendo la norma ASTM D-92. Los materiales no inflamables, o de alto punto de inflamación, permiten proveer mayor seguridad operativa.
- 2) **VISCOSIDAD:** Este parámetro tiene un doble significado, ya que afecta la velocidad con que se difunde el líquido penetrante hacia o desde las discontinuidades y, además, sirve para verificar la exactitud de la formulación.

La viscosidad no debe variar + - 10% respecto al valor medio. Este resultado se obtiene como el promedio de un número de lotes de producción, y debe ser evaluado periódicamente. Su medición se realiza por el método cinemático, según A.S.T.M.

- 3) **CORROSIÓN:** Los materiales no deben exhibir acción corrosiva ni alterar la superficie cuando son aplicados en aluminio, magnesio o acero inoxidable. Ciertas aleaciones de inoxidable son sensibles a compuestos de azufre que desarrollan efectos de corrosión intergranular. El contenido de azufre es medido como, el % de azufre (S) en el residuo no volátil de material, luego de completar su evaporación, según código A.S.M.E.; la cantidad tolerada es de menos del 1% en peso de azufre.

Los halógenos, en especial el flúor y cloro, muestran tendencias a producir ataques en los aceros austeníticos, aleaciones e níquel y / o titanio. Su efecto más peligroso es la inducción de corrosión bajo tensiones. Cuando el material se utiliza en el examen de los metales citados, se debe especificar al máximo contenido de halógenos permisibles. La norma A.S.T.M. establece como admisible un máximo de 0,5% de halógenos, determinado por el método

(H) A.S.T.M. D-808

(S) A.S.T.M. D-129

sobre muestra evaporada. (La cantidad también tolerada es < 1% en peso de halógeno

- 4) **TOXICIDAD:** Ninguno de los materiales usados, ni sus combinaciones, deben resultar peligrosos para la salud cuando se los usa de acuerdo con las instrucciones del fabricante. El olor no debe producir náuseas cuando se está expuesto a los vapores del líquido.

Debe tenerse en cuenta que estas propiedades por sí solas no definen la aptitud del sistema. Si bien es cierto que estas propiedades pueden evaluarse con precisión. **NO INDICAN CON QUE APTITUD SE COMORTAN LOS SISTEMAS DE MATERIALES QUE COMPONEN EL ENSAYO.**

Por ello, es necesario mencionarlos:

Parámetros relativos al comportamiento

Al hacer la evaluación de un sistema de líquidos penetrantes, se deben considerar las siguientes parámetros en cuanto al comportamiento de los materiales:

- a) **MOJABILIDAD:** Este parámetro de información, sobre la aptitud del penetrante para mojar la superficie a ensayar. Depende de la tensión superficial (___) y del ángulo de contacto (___) que forma con la superficie. Para cuantificar este parámetro, se puede medir la extensión de una gota del penetrante de una pipeta de 0,10 ml. sobre una superficie preparada según norma MIL – I – 25135 en función del tiempo, y comparar los resultados con los correspondientes a igual ensayo efectuado con un líquido penetrante, que se toma como referencia. La superficie puede estar constituida por

placas de acero inoxidable, arenada en una de las caras con cuarzo a una presión especificada, a cierta distancia, y con un tamaño de grano establecido.

Se pueden trazar curvas sobre un diagrama (tiempo en función de diámetro), que corresponde a distinta tinta penetrante, y realizar las comparaciones correspondientes, fijando como buena tinta aquella que logra alcanzar diámetro establecidos en el menor tiempo posible; generalmente, para alcanzar 40 mm no debe ser mayor que 1'30".

- b) PODER CUBRIENTE: Con el fin de poder calcular las necesidades del líquido penetrante para efectuar una serie de ensayos, o para prever las necesidades de reposición del mismo, es importante obtener información previa sobre el poder cubriente.

Se entiende como poder cubriente, la superficie que es capaz de cubrir uniformemente una unidad de volumen del penetrante cuando se lo deja escurrir libremente sobre la misma. ESTE PARAMENTRO ES FUNCION DIRECTA DE LA VISCOSIDAD Y DE LA TEMPERATURA.

Poder cubriente: $f(\mu, \text{Temp.})$

Respecto a la temperatura, la óptima para el ensayo será:

$(15^{\circ}\text{C} < T < 45^{\circ}\text{C})$

- c) SENSIBILIDAD DIMENSIONAL: La sensibilidad de detección de defectos de un sistema de líquidos penetrantes es una función de las propiedades de los materiales que lo conforman, de su comportamiento en las distintas etapas del proceso, de las condiciones de observación de las indicaciones.

En la práctica resulta muy difícil el diseño de un ensayo que satisfaga dicha condición, especialmente por las dificultades en preparar patrones de defectos que produzcan las condiciones de los defectos reales.

A pesar de ello, existen probetas calibradas que poseen fisuras producidas por método de impresión electrográfica, cuyos anchos van desde $10 \cdot 10^{-6}$ a $05 \cdot 10^{-6}$

Y cuyas profundidades varían entre $50 \cdot 10^{-6}$ a $2 \cdot 10^{-6}$.

Estas probetas calibradas han sido elaboradas para su fabricación siguiendo las normas MIL 8963.

Además, podemos mencionar la utilización de bloques patrones con fisuras controladas, de distintos materiales y en distintas concepciones de diseño:

- 1) Bloque de aluminio 2024.
- 2) Bloque de acero inoxidable con cromado duro.
- 3) Bloques cerámico.

Conclusión

El método de Ensayo por Líquidos Penetrantes puede ser usado en la inspección de materiales metálicos ferrosos y no ferrosos, y en materiales como consecuencia de un proceso de fabricación (fusión, soldadura, tratamiento térmico) o con motivo de su uso (fatiga, corrosión, erosión, etc.)

Las uniones soldadas de una construcción nueva son sometidas al examen mediante líquidos penetrantes antes de que se aplique cualquier tratamiento superficial que pueda tapar o disimular los defectos.

Por esas propiedades han conquistado ya un gran campo de aplicación, sobre todo en PLANTAS DE PROCESOS, y no queda ninguna duda que van a adquirir la importancia alcanzada ya en países altamente industrializados.