

04.75.01

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	AÑO 1976

CNEA-AC 48/75

PMM/A-190

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

Curso de Reciclado
para
Profesionales de la Industria

LIQUIDOS PENETRANTES

Ing. Juan N. Báez

Instituto de Ensayos no Destructivos
y Control de Calidad

Proyecto ARG/71/537 - PNJD

OIEA - UNIDO

Programa Multinacional de Metalurgia
Organización de los Estados Americanos

OEA

Departamento SATI
Area Investigación, Desarrollo y Servicios
- Argentina -

1975

INDICE

1	Introduccion	1
2	Fundamentos del método	1
3	Clasificación de los líquidos Penetrantes	7
4	Esquema de los distintos procesos	8
5	Consideraciones fundamentales para el examen con líquidos penetrantes	10
	5.1 Preparación de las piezas a examinar	11
	5.2 Aplicación del Penetrante	13
	5.3 Remoción del exceso de Penetrante	14
	5.4 Revelado	16
	5.5 Observación y evaluación de las indicaciones	18
	5.6 Presentación de los resultados	21
6	Equipamiento para el ensayo con líquidos penetrantes	24
	6.1 Examen de piezas aisladas. Equipo portátil	24
	6.2 Instalaciones fijas	25
	6.3 Luz negra	28
	6.3-1 Fuentes de luz negra	28
	6.3-2 Intensidad requerida	33
	6.3-3 Condiciones de operación de las lamparas de luz negra	36
7	Evaluación de líquidos penetrantes	37
	7.1 Propiedades de los materiales	37
	7.2 Parámetros relativos al comportamiento	40
	7.3 Sensibilidad dimensional	47

MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
Por
LIQUIDOS PENETRANTES

J. P. Pérez

1.- Introducción.

El método de ensayo no destructivo por líquidos penetrantes, basado en el principio de la capilaridad de los líquidos que permite su penetración y retención en aberturas estrechas, tiene un amplio campo de aplicación en la detección de defectos abiertos a la superficie (grietas, fisuras y poros) en metales (ferrosos y no ferrosos) y en materiales cerámicos, plásticos y vidrios que no sean porosos ni presenten rugosidad excesiva o escamado.

Este método se distingue porque es prácticamente independiente de la forma o geometría de la pieza a examinar, requiere un equipamiento mínimo y permite obtener una gran sensibilidad en la detección de fisuras (superior a la que se puede lograr con radiografía, ultrasonido o eddy currents).

El método de ensayo no destructivo por líquidos penetrantes tiene sus antecedentes en la antigua técnica de "aceite y blanqueo" aplicado desde fines del siglo pasado en los talleres ferroviarios para detectar fisuras de fatiga en componentes de locomotoras y vagones.

La técnica de "aceite y blanqueo" consistía en la aplicación de las siguientes operaciones: limpiar adecuadamente la pieza; sumergirla durante varias horas en una mezcla de aceite, 25%, y querosene, 75%, en caliente, a fin de lograr la penetración de la mezcla en las posibles fisuras o poros; quitar la pieza del baño, escurrirla y remover la mezcla de la superficie mediante un trapo o papeles; blanquear la pieza con cal o tiza suspendida en alcohol para finalmente observar detenidamente la pieza a fin de detectar las zonas en que las manchas de aceite en la cal revelaban la presencia de los defectos en los cuales había sido retenida la mezcla de aceite y querosene.

Este ensayo tenía, no obstante, serias limitaciones en cuanto a su sensibilidad debido principalmente a las características del líquido usado y a la falta de contraste de las indicaciones.

Las necesidades de mejorar y acelerar los métodos de control de calidad en la producción masiva de equipos y armamentos durante la segunda guerra mundial, especialmente para materiales no ferrosos, impulsaron el mejoramiento de esta antigua técnica. Así en 1941 Roberto y José Switzer patentaron un método muy mejorado que posteriormente venden a la Magnaflux Corporation que inicia rápidamente su difusión y comercialización.

El desarrollo y perfeccionamiento del método se extendió a todas las etapas del proceso sobre la base de la aplicación de conocimientos científicos y técnicos, habiéndose logrado en la actualidad procesos de gran sensibilidad, capaces de detectar, en condiciones especiales, fisuras cuyo espesor es del orden de tan solo decimos de micrones, sin recurrir a auxiliares de la visión.

2.- Fundamentos del Método.

El fundamento del método reside en la capacidad de ciertos líquidos para penetrar y ser retenidos en fisuras, grietas y poros o huecos abiertos a la superficie de un material cuando son aplicados sobre la misma.

Esta capacidad depende principalmente de tres propiedades: mojabilidad o ángulo de contacto entre líquido y sólido; tensión superficial y viscosidad.

Mojabilidad: al depositar una gota de líquido sobre una superficie tendremos un punto en el cual se pueden considerar aplicadas tres fuerzas debidas a la tensión superficial; una correspondiente a la interfase sólido-aire (σ_s), otra a la interfase líquido-aire (σ_l), y la tercera a la interfase líquido-sólido (σ_{ls}). Fig. 1.

Si la gota no se extiende en la superficie existirá un equilibrio entre las tres fuerzas y por lo tanto: $\sigma_s = \sigma_{ls} + \sigma_l \cdot \cos \theta$

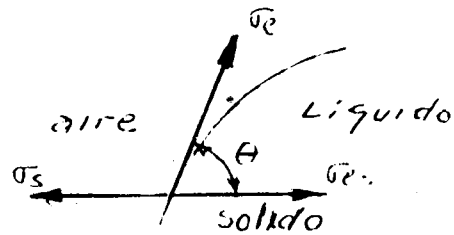


Fig. 1

Si el líquido moja la superficie: $\sigma_s > \sigma_{ls}$. Para mantener el equilibrio $\cos \theta$ debe ser mayor que cero, es decir que el ángulo θ que forma la interfase líquido-aire con la interfase líquido-sólido debe ser menor que 90° . En caso contrario, si el líquido no moja la superficie θ será mayor que 90° . En el esquema siguiente podríamos esquematizar estas dos situaciones:

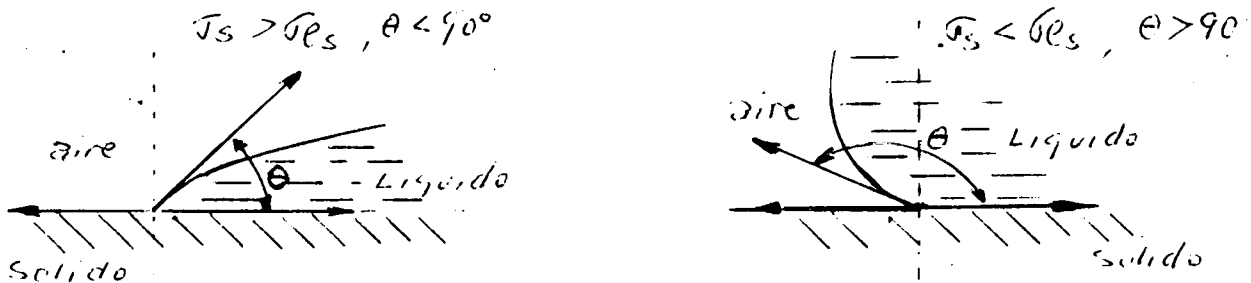


Fig. 2

El primer caso correspondería a una gota de agua y el segundo al de una gota de mercurio, ambas sobre un cristal plano. σ_l , σ_s y σ_{ls} son valores característicos para cada líquido o sólido y para cada par de líquido-sólido en contacto. Un punto importante para el método de líquidos penetrantes es que el valor de σ_{ls} no sólo depende del líquido y del sólido en contacto sino también del estado superficial del sólido, pudiendo además ser variado o disminuido mediante el agregado de aditivos al líquido. Estos aditivos pueden disminuir el valor de σ_{ls} en tal grado que aun con el valor de θ tendiendo a cero no se alcanza el equilibrio por resultar $\sigma_s > \sigma_{ls} + \sigma_l \cos \theta$. El resultado será que la gota se extenderá continuamente sobre la superficie tendiendo a formar una capa molecular si no actúan otros fenómenos (evaporación por ejemplo). La mojabilidad será, pues, una de las propiedades fundamentales en el comportamiento de los líquidos penetrantes.

La relación entre ángulo de contacto, tensión superficial y viscosidad puede ser establecida mediante la observación del fenómeno de capilaridad. Si en un líquido introducimos un tubo capilar se podrá observar que si el mismo moja las paredes ascenderá dentro del tubo

capilar hasta un cierto nivel en el cual se establece un equilibrio entre la resultante de las tensiones superficiales y las fuerzas inerciales, gravitacionales y de viscosidad. Si el líquido no moja las paredes se producirá una depresión dentro del tubo, cuyo valor depende de las mismas fuerzas actuantes, con la diferencia de que ahora σ_s (tensión superficial sólido-líquido) es mayor que σ_s y por lo tanto su resultante se opone al ascenso del líquido.

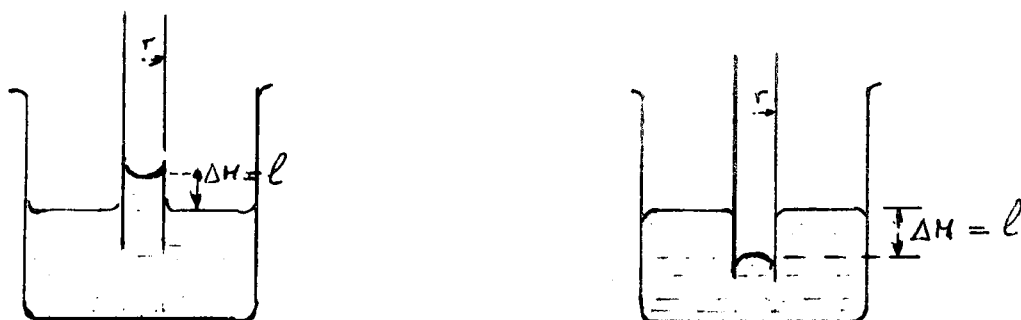


Fig. 3.-

Si consideramos ahora un tubo capilar horizontal en el cual penetra un líquido por capilaridad el alcance que logra el líquido al cabo de un cierto tiempo dentro del capilar está dado por la ecuación de Washburn (1) o de Rideal (2):

$$l^2 = \frac{r \cdot t \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{2 \eta} \quad \text{donde}$$

l = longitud alcanzada por el líquido dentro del capilar al cabo del tiempo t

t = tiempo en segundos ; r = radio del capilar

σ = tensión superficial

θ = ángulo de contacto entre líquido y sólido

η = viscosidad.

Esta ecuación indicaría que para que un líquido tenga un buen poder de penetración debe poseer elevada tensión superficial, un pequeño ángulo de contacto y baja viscosidad. Esto ha llevado a proponer el cálculo de un valor numérico para evaluar la penetrabilidad de un líquido, mediante la siguiente ecuación:

$$CP = \sqrt{\frac{\sigma}{2\eta}}$$

en la cual $\frac{CP}{\sigma}$ = coeficiente de penetrabilidad
 σ = tensión superficial
 η = viscosidad.

En la práctica estos valores calculados en base a datos obtenidos en condiciones de laboratorio, no son siempre coincidentes con la aptitud demostrada por diferentes líquidos en las condiciones en que debe realizarse el ensayo. Ya mencionamos la importancia de los aditivos en las variaciones de la tensión superficial por lo tanto su valor en un líquido puro o con una determinada formulación será tan importante

como la susceptibilidad del mismo frente a agentes contaminantes y a las condiciones superficiales de la pieza en examen. En cuanto a la viscosidad, debe tenerse en cuenta el total de las etapas de que consta el método, pues si bien debe lograrse la mayor y más refinada penetración del líquido es también importante que el líquido no sea fácilmente extraíble de la fisura durante la etapa de remoción del exceso y por lo tanto en esta segunda etapa una mayor viscosidad puede resultar un factor coadyudante para obtener una mejor performance en la aplicación del método.

Observaciones realizadas por muchos investigadores indican que los factores a tener en cuenta para formular un buen líquido penetrante conducen a situaciones difíciles de resolver ya que se deben considerar no sólo efectos físicos sino que también aparecen otros fenómenos más complejos. Por ejemplo, Banks (3) ha encontrado que el ángulo de contacto (θ) de aceites sobre metales en presencia de agua se relaciona con la basicidad del óxido hidratado del metal y por lo tanto con su tendencia a reaccionar con los constituyentes ácidos del aceite. Encontró que el cobre y el zinc eran mucho más oleofílicos que el hierro en estas condiciones, simplemente porque ambos, en presencia de agua, reaccionan químicamente en forma diferente.

No obstante, como una aproximación de primer orden puede asumirse que elevada tensión superficial, bajo ángulo de contacto y baja viscosidad, contribuyen a una buena penetración si bien ellos por sí solo no definen un buen penetrante. La evaluación final de un líquido penetrante será obtenida, por supuesto, mediante mediciones físicas de su sensibilidad de detección utilizando piezas de ensayo normalizadas.

En el siguiente cuadro damos los coeficientes de penetración (CP) para diversos líquidos.

Líquido	Coeficiente de Penetración	
	Calculado	Observado
Aqua	11,31	11,40
Benceno	8,90	9,40
Alcohol etílico	5,35	5,65
Alcohol isobutílico	3,75	3,70

Tabla 1. Coeficiente de Penetración

De acuerdo al mismo vemos que el agua tiene un aceptable valor de CP debido a su elevada tensión superficial y baja viscosidad. No obstante falla en satisfacer la tercer condición ya que su ángulo de contacto con la mayoría de los sólidos es elevado. La adición de agentes humectantes tiende a reducir este ángulo pero también baja su tensión superficial y al hacer el balance es poco lo que se gana. Los líquidos orgánicos tienen ángulos de contacto muy pequeños, o iguales a cero y sus tensiones superficiales no difieren sustancialmente entre sí, por lo tanto las diferencias en viscosidad son las que asumen primordial importancia. Actualmente el rango de líquidos orgánicos teóricamente 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.

Como ya hemos dicho, a las buenas propiedades como penetrante, debe sumarse la propiedad de ser removido fácilmente de la superficie en que se ha aplicado y quedar al mismo tiempo retenido firmemente en los defectos. Esta condición puede ser obtenida mediante apropiadas mezclas de líquidos orgánicos.

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

- Limpieza efectiva de la parte a examinar incluyendo un buen secado.
- Aplicación del líquido penetrante de manera que cubra toda la superficie.
- Dejar transcurrir el tiempo necesario para la penetración del líquido. Este tiempo puede variar entre algunos minutos y una hora aproximadamente.
- 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 trapos humedecidos en solvente o bien por pulverización con agua previa aplicación de un agente emulsificador, según sea el tipo de líquido penetrante usado.
- Dejar secar la superficie y aplicar el revelador, que puede ser talco o alguna otra sustancia mineral finamente pulverizada, en forma de polvo seco o en suspensión alcohólica que una vez evaporada deja una fina capa de polvo.
- El revelador tiene por función extraer el líquido penetrante retenido en las fallas que al difundirse en la superficie ofrece indicaciones visibles de la presencia de las mismas. Si el líquido penetrante es coloreado se tendrá un buen contraste con respecto al fondo blanco del revelador. Si es fluorescente deberá ser observado con luz ultravioleta.

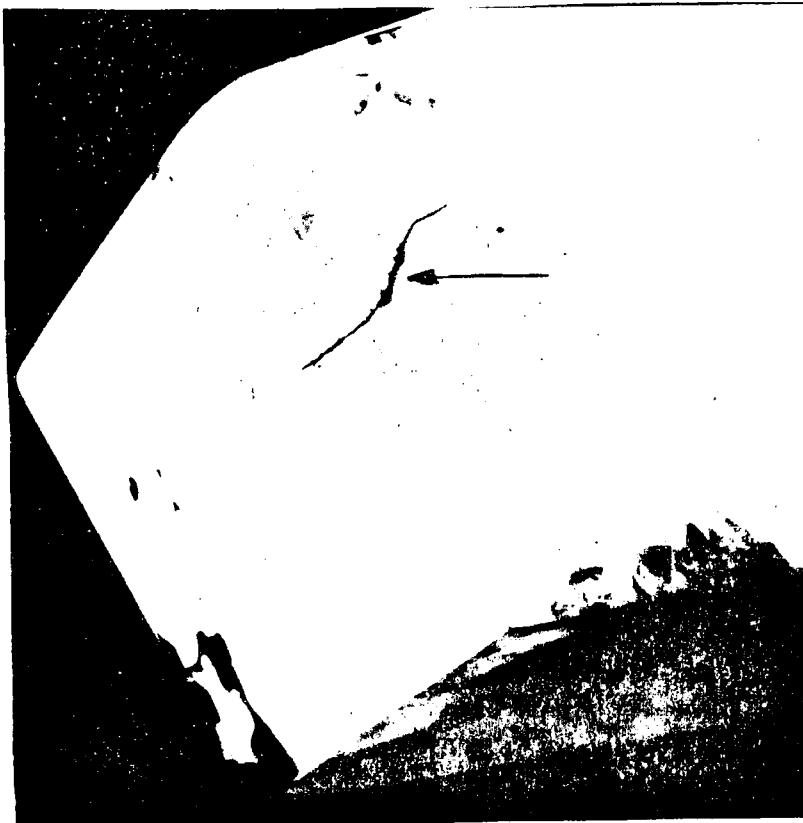


FIG. 4 (a)

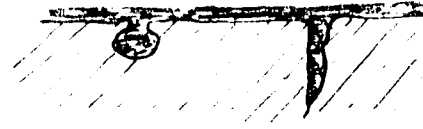
(b)

Indicaciones de fisuras mediante el método de líquidos penetrantes
(a) en herramienta de torneado (b) en piezas fundidas

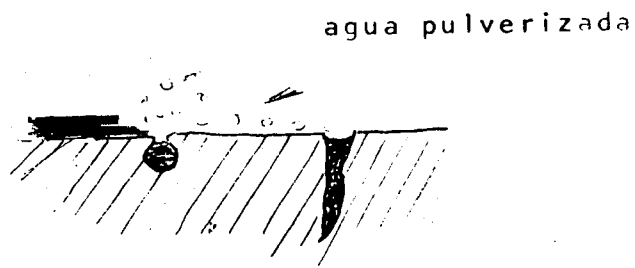
Las etapas de aplicación del método pueden ser visualizadas de acuerdo a los esquemas de la Fig. 5



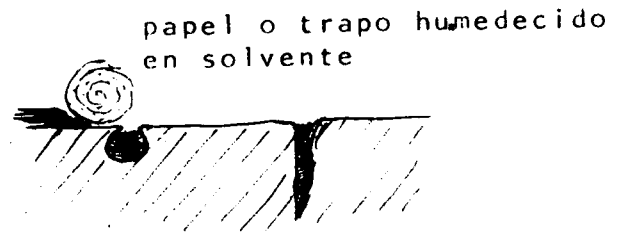
a) Superficie limpia, con fallas



b) Líquido penetrante aplicado



c) Remoción del exceso de penetrante

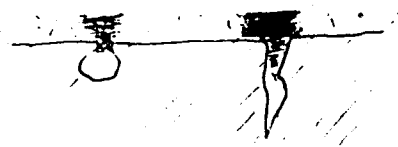


polvo seco

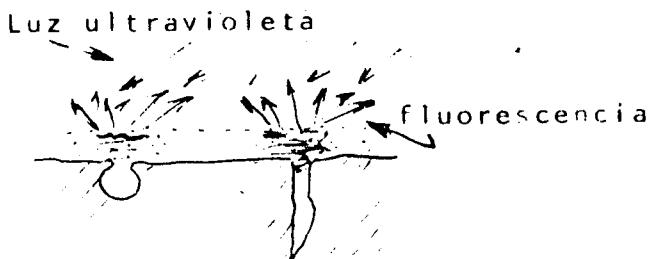


d) Aplicación del revelador

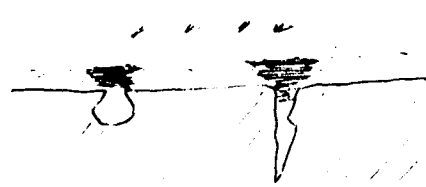
polvo húmedo



e) Extracción del penetrante por el revelador



Luz visible



f) Observación de los defectos

Fig. 5 Esquemización del proceso de aplicación del método de ensayo por líquidos penetrantes.

3.- Clasificación de los líquidos penetrantes.

En la descripción precedente se puede observar que el tipo de líquido penetrante usado determina variantes en la aplicación del método. Los diferentes tipos de penetrantes han sido motivo de normas que los definen y clasifican. Dado que en nuestro país no existe norma oficializada al respecto creemos oportuno dar las clasificaciones correspondientes a dos normas ampliamente usadas en la industria: ASTM E-165 y MIL-I-6866-B. Ambas normas coinciden en la definición de los distintos tipos de tintas penetrantes y en su clasificación, difiriendo únicamente en la simbología utilizada como puede observarse en la tabla II.-

ASTM-E 165		MIL-I-6866		Pigmento	Caracterización
Tipo	Técnica	Tipo	Técnica		
A	1	J	A	Fluorescente	Lavables con agua
	2		B		Post-emulsificables
	3		C		Removibles con solvente
B	1	II	A	Coloreados	Lavables con agua
	2		B		Post-emulsificables
	3		C		Removibles con solvente

TABLA II : Clasificación de métodos según normas ASTM E-165 y MIL-I-6866.-

Los materiales a ser usados en el examen con líquidos son clasificados por la norma MIL-I-25135 C (ASG) en los siguientes grupos:

- Grupo I.- Consistente en un líquido penetrante coloreado, removible con solvente; un solvente removedor y un revelador seco, húmedo o húmedo no acuoso.
- Grupo II.- Consistente en un líquido penetrante coloreado post-emulsificable; un emulsificador y un revelador seco, húmedo o húmedo no acuoso.
- Grupo III. Consiste en un líquido penetrante coloreado lavable con agua y un revelador seco, húmedo o húmedo no acuoso.
- Grupo IV.- Consiste en un líquido penetrante fluorescente lavable con agua y un revelador seco, húmedo o húmedo no acuoso.
- Grupo V.- Consiste en un líquido penetrante fluorescente post-emulsificable, un emulsificador y un revelador seco, húmedo o húmedo no acuoso.
- Grupo VI.- Consistente en un líquido penetrante fluorescente post-emulsificable de alta sensibilidad, un emulsificador y un revelador seco, húmedo o húmedo acuoso.

Grupo VII. Consiste en un líquido penetrante fluorescente removible con solvente, un removedor y un revelador húmedo no acuoso.

Esta norma aclara que todos los componentes que conforman un proceso correspondiente a cualquiera de dichos grupos debe ser provistos por un mismo fabricante con las indicaciones precisas para su aplicación.

La equivalencia entre esta clasificación de los materiales y la clasificación de las técnicas de ensayo dada por la norma MIL-I-6866 B (ASG) está dada en la tabla III.

MIL-I 6866 B		MIL-I-25135
I	A	IV
	B	V y VI
	C	VII
II	A	III
	B	II
	C	I

TABLA III. Equivalencia entre normas MIL-I-6866 B y MIL-I-25135 C.

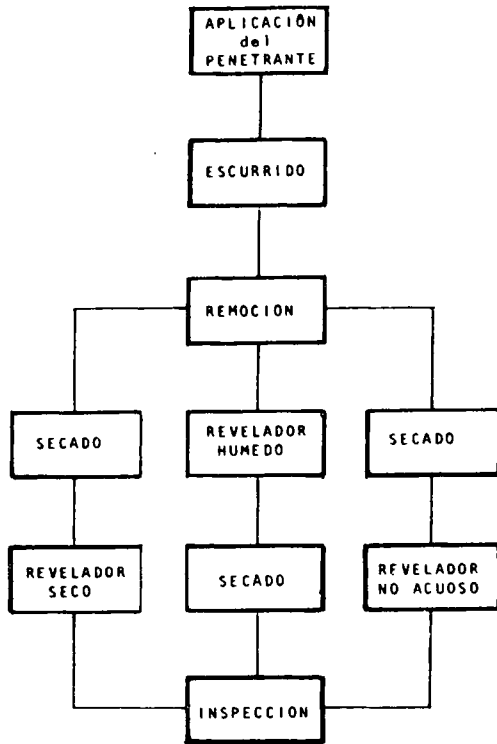
4.-Esquemas de los distintos procesos

Como hemos visto en la clasificación precedente (tabla II) se deben considerar seis procesos o técnicas de aplicación diferentes en el método de ensayo por líquidos penetrantes.-

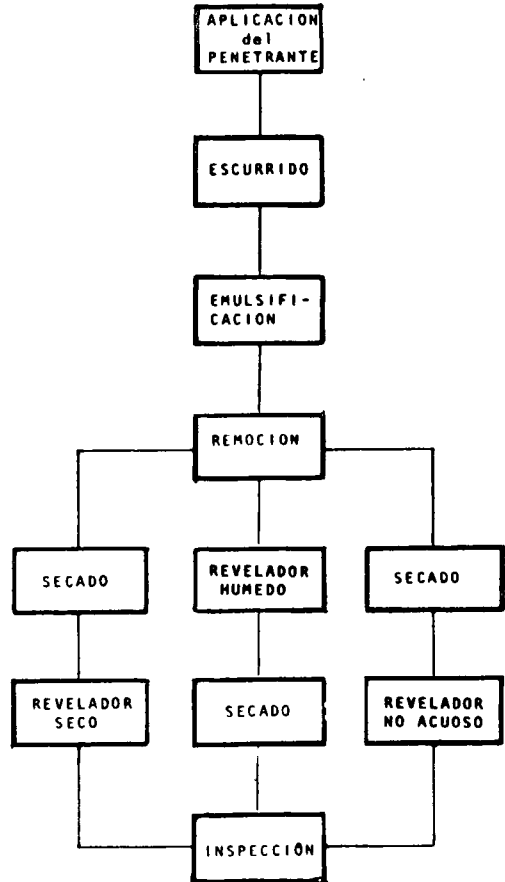
Las distintas operaciones o etapas, y su secuencia de aplicación para cada una de estas técnicas han sido resumidas en los esquemas de la Figura 6.

LIQUIDOS PENETRANTES

Procesos A1 y B1



Procesos A2 y B2



Procesos A3 y B3

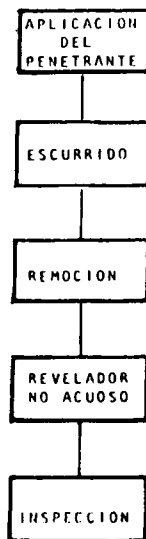


Fig.6: Esquemas de aplicación de los distintos procesos de ensayo mediante líquidos penetrantes.
Nomenclatura ASTM-E 165

5.- Consideraciones fundamentales para el examen con líquidos Penetrantes.

El éxito y la confiabilidad de un examen realizado con líquidos penetrantes depende del cuidado y exactitud con que el operador ejecuta las diferentes etapas, desde la limpieza de las partes hasta completar todas las operaciones que permiten la observación y evaluación final de las indicaciones.

Los principios básicos para el examen con líquidos penetrantes son:

- El penetrante debe penetrar en el defecto a fin de poder dar forma a una indicación. Es esencial que el defecto esté limpio y libre de materias contaminantes a fin de que el penetrante pueda entrar libremente. Es además importante dejar el tiempo apropiado de penetración para asegurarse de que el penetrante ha llenado el defecto.
- Durante la remoción del penetrante de la superficie es posible que el penetrante pueda ser extraído tanto de la superficie como del interior del defecto. Si esto ocurre no se formarán indicaciones. Cuando se usa un líquido lavable con agua la misma no lavará al penetrante de las fisuras y grietas finas ya que el agua no tiene las propiedades de penetración del líquido. En el caso de líquidos post-emulsificables la chance de remover el penetrante de los defectos es mucho menor debido a que estos penetrantes no son lavables con agua, excepto previa emulsificación. En las piezas que hayan sido procesadas con líquidos coloreados es posible remover el exceso de penetrante usando trapos o papeles humedecidos con solvente limpiador.
- Grietas y fisuras limpias son usualmente fáciles de detectar. Aberturas superficiales que no están contaminadas pueden a veces ser difíciles de detectar debido a lo fino de la abertura que presentan. La presencia de contaminantes en los defectos reduce la sensibilidad de detección en una o varias formas:
 - a) el contaminante puede llenar completamente el defecto e impedir la entrada de penetrante.
 - b) el contaminante puede reaccionar con el penetrante y reducir su coloración o su fluorescencia.
 - c) el contaminante puede ser de tal naturaleza que reduzca o anule la actividad capilar del penetrante.
- Cuanto menor sea la abertura del defecto mayor debe ser el tiempo requerido para la penetración. Fisuras muy finas requerirán mucho más tiempo para la penetración que poros o huecos abiertos. El fenómeno se puede comprender si se considera la fórmula de Rideal que relaciona tiempo, radio de capilar y viscosidad.
- Defectos que presentan aberturas anchas requieren técnicas especiales. Si la discontinuidad superficial es más ancha que profunda el lavado o enjuague puede remover el penetrante. En estos casos se usarán líquidos post-emulsificables.
- En todo proceso de examen en líquidos penetrantes debe existir una perfecta compatibilidad entre el método de lavado, líquido penetrante, líquido removedor, emulsificador y medio revelador. No deben mezclarse productos que correspondan a distintos procesos o distintos fabricantes salvo que se puedan demostrar sus perfectas compatibilidades.

5.1.- Preparación de las piezas a examinar.

El éxito de cualquier examen con líquidos penetrantes es en gran parte dependiente de que la superficie se encuentre libre de cualquier contaminante que interfiera en el proceso. Todas las partes deben estar limpias y secas antes de aplicar el penetrante, por lo tanto deben recibir una preparación previa adecuada. Esta preparación incluye la remoción de cascarillas, escamados, óxidos, capas de pintura u otras cubiertas protectoras y la realización de una profunda limpieza que deje la superficie libre de toda contaminación que pueda interferir con el penetrante.

Para la remoción de escamas, cascarillas y óxidos se pueden aplicar métodos mecánicos tales como el granallado con metales blandos o cepillado con cepillos de alambres blandos siempre que la pieza tenga una dureza mayor que 40 Rockwell C. En general no se recomienda el uso del arenado, telas de esmeril, cepillos de acero o escarpado con herramientas pues existe el peligro que la deformación superficial que producen estos métodos cierren las fisuras u otros defectos. Alternativamente se puede aplicar procesos de decapado alcalino, ácido o neutro según el material a preparar.

La remoción de pinturas y cubiertas protectoras debe hacerse con métodos que no afecten los defectos que pueden estar presentes usándose generalmente los removedores específicos.

Se hayan aplicado o no métodos mecánicos o químicos en la preparación de la pieza siempre es necesario realizar la limpieza profunda de la pieza. Esta limpieza debe remover todo vestigio de grasas, aceites, suciedades, polvo etc., que pueden contaminar la superficie y los defectos.

El tipo de limpieza a utilizar depende de las características de la pieza y de los contaminantes y suciedades a eliminar. En el caso del examen de piezas al final o en etapas intermedias de su producción la limpieza puede comprender un lavado por inmersión en kerosene o gasoil seguido por una operación con vapor desengrasante y finalmente en el caso de piezas muy críticas un ataque químico superficial. El ataque se puede hacer por breve inmersión en soluciones fuertemente iónicas ya sean ácidas o básicas tales como cloruro férrico en ácido clorhídrico, ácido nítrico, soda cáustica o ácido fluorhídrico en ácido nítrico, según el tipo de metal o aleación que debe ser atacada. Este ataque deja una superficie muy apta para el examen visual y por líquidos penetrantes, pero admite el riesgo de dejar contaminación acuosa en los defectos. La eliminación del agua por calentamiento no es aconsejable pues al evaporar dejará residuos sólidos. Se considera apropiado aplicar a las piezas un agente condicionador que sea miscible tanto con agua como con solventes orgánicos. Estos condicionadores se formulan para que sean miscibles ya sea con soluciones ácidos o básicos y luego compatibles con el solvente orgánico. Luego de aplicado el condicionador la pieza se somete a la limpieza final con vapor desengrasante.

En la norma ASTM-E165-65 se dan recomendaciones para la aplicación de los siguientes métodos de limpieza:

Limpieza con detergentes: los detergentes pueden ser alcalinos, ácidos o neutros pero no deben ser corrosivos con respecto al metal

a limpiar. Las propiedades limpiadoras de las soluciones de detergentes permiten remover suciedad y contaminaciones de las superficies y defectos. El tiempo de lavado oscila entre 10 y 15 min. a 70/90°C con una agitación moderada y usando concentraciones recomendadas por el proveedor (generalmente 45 a 60 grs/l.). Las partes deben ser enérgicamente enjuagadas y perfectamente secadas antes de aplicar el penetrante.

Solventes: Se pueden utilizar solventes libres de residuo sólido (se recomienda punto de inflamación por encima de 80°C) ya sea para limpieza manual de áreas localizadas mediante pulverizadores o aerosoles o bien por inmersión de las piezas en tanques con el solvente. Estos solventes son apropiados para remover aceites, grasas y productos pero difícilmente arrastran los sólidos que puedan estar retenidos en los defectos y no remueven el agua ni la humedad.

Vapor desengrasante: es un método aceptable para la limpieza especialmente cuando se deben remover aceites pesados y grasas. Suciedades sólidas orgánicas son generalmente removidas por este método pero las contaminaciones inorgánicas son mejor removidas mediante soluciones de detergentes. El método se basa en la condensación de los vapores de un solvente orgánico (generalmente tricloroetileno) sobre la pieza formando una película líquida que disuelve las contaminaciones y se escurre de la superficie arrastrándolas.

Soluciones decapantes (alcalinas o ácidas): la remoción de capas de óxidos se puede conseguir por inmersión en solución de ácidos inhibidos o alcalis decapantes. La solución decapante no debe ser corrosiva para el metal que se está procesando. Las soluciones ácidas decapantes son usadas con una dilución en 2 o 3 partes de agua. Los decapantes alcalinos son usados en concentraciones de 240 a 360 gr. por litro de agua a una temperatura de 90 a 100°C. Las piezas deben ser perfectamente enjuagadas y secadas antes de aplicar el penetrante. El decapante se debe usar de acuerdo a las instrucciones del proveedor.

Remoción de pinturas: las capas de pintura pueden ser removidas por solventes de tipo apropiado o por acción desintenerante de removedores alcalinos en caliente. En ambos casos se debe conseguir la completa remoción de la pintura en toda la superficie expuesta. Los solventes pueden ser de alta viscosidad para aplicar mediante pulverizadores o pinceles o de baja viscosidad para usar en tanques por inmersión. En ambos casos se trabaja a temperatura ambiente.

Los removedores alcalinos son compuestos, en polvo, solubles en agua, para usar en temperaturas de 80 a 90°C y con concentraciones de 60 a 120 gr. por litro.

Luego de la remoción de la pintura las piezas deben ser enjuagadas y secadas perfectamente.

Limpieza ultrasónica: La agitación ultrasónica puede ser usada en todos los procedimientos de limpieza descritos para aumentar su efectividad y disminuir el tiempo de lavado.

Soplado abrasivo (blasting): El soplado abrasivo usando arena, grallas metálicas, pellets ligno-celulósico o alúmina. Este tipo de limpieza puede ser usado para remover residuos frágiles tales como carbon, escamado u óxidos. Sólo es permitido su uso cuando no aplasta los bordes de los defectos cerrándolos o no llena los huecos de los mismos. Siempre se debe usar abrasivo nuevo, si el aplastamiento producido es muy superficial puede ser eliminado mediante un ataque

químico que vuelve a abrir los defectos por disolución de la capa deformada.

Quemado con aire: En materiales cerámicos la limpieza se puede lograr mediante su calentamiento en una atmósfera oxidante y limpia. De esta manera se puede remover en forma muy efectiva humedad y suciedad orgánica liviana. Se puede usar la mayor temperatura que no produzca modificación alguna en el material. Generalmente no se excede de los 1000°C.

Secado posterior a la limpieza: Es esencial que las partes sean energicamente secadas a fin de que no quede agua ni solvente retenido en los defectos ya que ellos impedirían la entrada del penetrante. El secado se hace calentando con lámparas infrarojas, en hornos de secado, en corriente de aire caliente seco, etc.

NOTA :

La importancia de la limpieza y preparación de las piezas en el proceso de examen por líquidos penetrantes nos ha movido a extendernos en este punto y aun a redundar en algunas recomendaciones.

5.2.- 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, tipo, tamaño y cantidad de piezas a examinar.

Modos de aplicación:

Inmersión
Pulverización
Por pinceles

Las piezas pequeñas o medianas pueden ser sumergidas en tanques conteniendo el penetrante, ya sea por mano o en canastos y luego se dejan escurrir en un bastidor apropiado durante el tiempo de penetración. Dentro del tanque sólo debe quedar el tiempo necesario para asegurar el mojado de toda la superficie expuesta.

El penetrante puede ser también aplicado mediante pinceles o pulverizadores. Estas técnicas se aplican generalmente en piezas grandes que no pueden ser sumergidas en un tanque o bien en aquellos casos en que sólo se examina una zona determinada como sería el caso de examen de soldaduras en un tanque o estructura. Son además las únicas técnicas aplicables en inspección de montaje o en trabajos en el terreno donde no se dispone de instalaciones fijas.

La aplicación mediante pinceles es más lenta pero más segura en cuanto a lograr una buena distribución y menos peligrosa desde el punto de vista sanitario por menor probabilidad de inhalación de vapores tóxicos.

Más práctico y rápido es el uso de pulverizadores accionados por aire pero en estos casos se debe trabajar al aire libre con alguna protección personal o en campanas con extracción de gases.

Otra forma de pulverización muy práctica es mediante aerosoles pero por su costo y los peligros de inhalaciones sólo se reserva para inspección de montaje en lugares en que no hay comodidad de acceso y para áreas reducidas.

Una vez que se ha asegurado el completo mojado de la superficie a examinar se debe dejar transcurrir el tiempo de penetración. Estos tiempos están normalizados para los distintos procesos y diferentes aplicaciones pero lo más seguro es adoptar como mínimo el tiempo indicado por el fabricante. El excederse en el tiempo de penetración no disminuye la sensibilidad del ensayo pero puede dificultar el proceso de remoción si se produce una evaporación parcial del líquido penetrante.

Según J. D. Hislop (4) si la fisura se encuentra perfectamente limpia la penetración del líquido se logra en segundos, independientemente del tamaño y tipo de fisura y del tipo de penetrante usado. El efecto beneficioso que algunos autores han encontrado con tiempos de penetración prolongados se debería a la acción limpiadora que puede tener el penetrante. Esta útil característica sería, según Hislop, la principal responsable de las mejores performances que algunos operadores denuncian obtener con determinados penetrantes cuando realizan ensayos comparativos. La mayoría de los penetrantes son también moderadamente buenos limpiadores y es su capacidad para digerir y desplazar sólidos y semisólidos que contaminan las fisuras lo que determina una mejora en su performance si se da el tiempo necesario para que ello ocurra. Esto se demuestra por el hecho de que una segunda o tercera aplicación del mismo proceso en una pieza aumenta la sensibilidad de detección: el penetrante aplicado sucesivamente ha mejorado la limpieza de los defectos.

5.3.- Remoción del exceso de penetrante.

Esta etapa del proceso es también fundamental para la mejor sensibilidad del método. Una vez que se ha conseguido que el líquido penetrante entre en el defecto es imperativo que la mayor parte posible quede retenida en él hasta la etapa de revelado. La remoción del exceso de penetrante debe realizarse con la mínima extracción del retenido en los defectos.

La forma de efectuar esta operación depende del tipo de penetrante:

a) Penetrantes preemulsificados o lavables con agua:

Estos penetrantes son removidos de la superficie por un lavado directo con agua. La aplicación de una pulverización con agua forma una emulsión con el penetrante y esta es arrastrada por el flujo de agua. En el caso de líquidos fluorescentes este lavado debe hacerse bajo la luz ultravioleta para verificar cuando se ha completado la remoción y evitar un sobrelavado. El penetrante preemulsificado en la fisura es también susceptible de ser lavado, el único impedimento es la relativa dificultad para que el agua entre en la misma. Se debe utilizar un pulverizador apropiado para el lavado ya que el penetrante es más fácilmente emulsificado por la acción física de las gotas de agua. La presión del agua aconsejada es de 2.1 kg/cm² (30 psi).

Las partes pequeñas pueden ser lavadas por separado o en el mismo canasto usado para sumergirlas en el penetrante. A fin de evitar remover el penetrante de los defectos el lavado debe ser suspendido tan pronto como haya sido quitado de la superficie. La temperatura del agua no debe exceder los 40°C para evitar remover el penetrante de defectos abiertos y poco profundos.

En partes muy grandes para ser lavadas en instalaciones fijas se puede usar un pulverizador de mano comenzando de abajo hacia arriba, pues el fluir del agua sobre el penetrante no lavado, en el caso de penetrantes fluorescentes puede formar una película fluorescente difícil de remover.

b) Penetrantes post-emulsificables.

El lavado de este tipo de penetrantes, sean o no fluorescentes, debe ser precedido por una operación previa de emulsificación dado que estos líquidos no son lavables con agua.

La introducción de esta etapa adicional complica la realización del ensayo pero mejora sustancialmente la sensibilidad del método especialmente para la detección de defectos poco profundos y abiertos.

La aplicación del emulsificador debe ser hecha por inmersión o mediante pulverización una vez que haya transcurrido el tiempo de penetración correspondiente al líquido penetrante usado. El emulsificador debe depositarse en forma de capa superpuesta a la capa de penetrante de manera que difunda hacia el interior de la misma. Por esta razón no debe usarse pincel para su aplicación.

El tiempo de permanencia del emulsificador antes del lavado no debe exceder de 5 minutos y puede ser menor que 1 minuto. Se determina de acuerdo con las siguientes recomendaciones:

- el mínimo tiempo necesario para emulsificar el exceso de penetrante en el caso de defectos anchos y poco profundos.
- el mínimo tiempo necesario para remover el exceso de penetrante de las marcas de maquinado, dentados y otras condiciones de rugosidades poco profundas, para el caso de detectar fisuras finas.
- el determinado experimentalmente para cada tipo de pieza. El grado de sensibilidad del penetrante, rugosidad, actividad del emulsificador, contaminación del emulsificador y tenacidad del pigmento del penetrante afectará el tiempo de emulsificación.
- la determinación experimental se hará para asegurar que no ocurra una sobre-emulsificación.;

Todas las partes post-emulsificadas deben recibir inmediatamente una ligera pulverización inicial con agua sobre toda la superficie para interrumpir la acción del emulsificante.

Si las partes no pueden ser pulverizadas rápidamente deben ser sumergidas en agua a temperatura entre 15 y 35°C o sino pulverizadas en una lavadora automática con pulverizadores.

El lavado manual debe realizarse con una pulverización gruesa y gran volumen de agua. Los pulverizadores deben estar a unos 30 cm.

de la superficie de la pieza.

En caso de que el lavado no pueda remover la totalidad del penetrante superficial la pieza debe ser nuevamente procesada cumpliendo todas las etapas correspondientes.

En el caso de líquido penetrante fluorescente el lavado debe hacerse bajo luz negra a fin de poder determinar cuando ha sido completado

c) Penetrantes removibles con solvente.

En estos penetrantes ya sean coloreados o fluorescentes, la remoción se hace aplicando primero el solvente mediante pulverizador o aerosol pero sin que el mismo haga fluir al penetrante y luego limpiando con papel absorbente o trapos limpios humedecidos en solvente

5.4. Revelado.

La etapa de revelado consiste en la aplicación de una capa delgada de polvo muy fino (talco u otros materiales) sobre la superficie bajo examen. El polvo absorbe el líquido penetrante retenido en las fallas y lo concentra en la superficie permitiendo su visualización. En el caso de los líquidos coloreados el revelador permite aumentar el contraste.

El revelador, según ya hemos visto, puede ser polvo seco, polvo en suspensión acuosa (húmedo) o polvo en suspensión no acuosa (húmedo no acuoso). En caso de usar revelador seco o húmedo no acuoso las partes deben ser secadas previamente a la aplicación del revelador. Este secado puede hacerse con aire caliente o aire frío calentando ligeramente la pieza con lámparas infrarrojas.

Los distintos procedimientos de revelado son los siguientes:

a) Revelado en seco.

El revelado consiste en un polvo muy fino, que no se asienta ni se apelmaza. Su aplicación se hace sumergiendo la pieza en el polvo o bien espolvoreando el mismo, o dejándolo caer directamente sobre la superficie a examinar. El exceso se remueve golpeando ligeramente la pieza o bien soplando con aire seco a baja presión. Los reveladores secos pueden tener menor sensibilidad que los húmedos no acuosos, pero permiten una mejor definición de los defectos detectados. El revelador seco sólo se usa para líquidos penetrantes fluorescentes.

b) Revelado húmedo no acuoso.

Consiste en un polvo suspendido en un vehículo volátil y puede ser usado con todos los tipos de penetrantes y procesos. Este revelador tiene la más alta sensibilidad. Se usa principalmente para el examen de zonas parciales o cuando la pieza no debe ser calentada en el secado previo.

Antes de su aplicación el revelador debe ser agitado vigorosamente y pulverizado sobre la pieza. Se pueden usar pulverizadores o aerosoles.

Se debe prestar especial atención a que la pieza o zona a examinar esté lo suficientemente fría antes de aplicar el revelador.

c) Revelador acuoso.

El revelador para uso acuoso es provisto en forma de polvo que se mezcla con agua para formar una suspensión. Debe ser cuidadosamente mezclado en las proporciones indicadas por el proveedor y controlado periódicamente para verificar que la concentración no haya variado. El baño revelador debe ser agitado suavemente para mantener la suspensión antes de su uso. Si el tanque que contiene el baño revelador tiene una bomba se debe poner en funcionamiento para recircular el baño y provocar su agitación durante por lo menos cinco minutos antes de su uso.

Las piezas inmediatamente después del enjuague de la etapa de remoción del exceso de penetrante, sin secar, se sumerge en el baño y se retiran inmediatamente para dejarles escurrir durante un corto tiempo, el exceso de baño revelador antes de colocarlas en un secador con circulación de aire seco caliente. La pieza debe acomodarse de manera de evitar que sobre alguna parte de las mismas queden lagunas de baño revelador no escurrido pues en estas zonas al secarse quedará una gruesa capa de revelador que puede enmascarar los resultados. Luego del secado debe quedar una capa muy delgada de revelador. En el caso de proceso con líquidos coloreados la capa puede ser algo más gruesa hasta formar una capa blanca continua que favorece el contraste.

Este tipo de revelado sólo se usa con los procedimientos en base a líquidos penetrantes lavables con agua o post-emulsificables.



Limpieza previa



Aplicación del Penetrante



Remoción del penetrante



Aplicación del revelador



Observación con luz negra

Fig. 7.- Aplicación del ensayo con líquidos penetrantes fluorescentes, removibles con solvente, proceso A3 (ASTM-E 165.- Equipo en aerosol .-

5.5.- Observación y evaluación de las indicaciones.

La observación de las indicaciones debe iniciarse inmediatamente después de secado el revelador y debe repetirse por lo menos una vez después de transcurridos 15 a 20 minutos o al cabo de un tiempo no menor al requerido para la penetración. En el caso de indicaciones débiles o dudosas el tiempo de observación puede extenderse aún más.

Para el caso de líquidos penetrantes coloreados la observación debe hacerse con luz natural o luz artificial asegurándose, en ambos casos que la iluminación no sea inferior a 500 Lux en la superficie bajo examen. Deben evitarse resplandores o reflejos, ya que afectan la sensibilidad visual (1 lux es la iluminación producida por 1 candela a 1 metro de distancia).

Con penetrantes coloreados las indicaciones se verán de color rojo intenso, que contrasta con el fondo blanco producido por la capa de revelador. La profundidad del color y la velocidad con que se extiende puede ser relacionado con la profundidad del defecto.

La observación de líquidos penetrantes fluorescentes debe hacerse en un cuarto oscuro u oscureciendo el lugar de observación mediante una carpa de tela negra. La iluminación debe hacerse con lámparas de luz negra de alta intensidad, generalmente de 100W de vapor de mercurio, como las que se describirán más adelante. La medición de la intensidad, hecha con un fotómetro provisto de filtro que sólo permita el paso de luz negra, debe indicar de 900 a 1000 Lux en la posición de la superficie a examinar, cuando se requiere la máxima sensibilidad. En caso de trabajo menos exigente es suficiente que esta irradiación indique no menos de 200 a 250 Lux.

En la observación de penetrantes fluorescentes las indicaciones al ser iluminadas con luz negra, se ven por su brillante fluorescencia de color amarillo verdoso y el mayor contraste se obtendrá cuanto mayor sea el oscurecimiento logrado en la superficie a examinar. La lámpara de luz negra debe tener una buena filtración del espectro visible y en casos de pretender el máximo de sensibilidad el inspector puede usar lentes amarillas que sólo permiten el paso de la luz de longitudes de ondas correspondientes a la fluorescencia excitada por la luz negra en el pigmento del penetrante. La mesa donde se realiza la observación debe estar exenta de sustancias fluorescentes. El operador o inspector debe acostumbrar sus ojos a la oscuridad antes de comenzar la observación y evitar dirigir su vista hacia la lámpara de luz negra.

Para la interpretación de los resultados debe tenerse en cuenta que, en discontinuidades grandes, que ha retenido mucho penetrante, las indicaciones se van a extender en la superficie. La experiencia en el uso del método permite que se pueda inferir el tamaño de la discontinuidad por la forma en que se extiende la indicación.

Generalmente una fisura o discontinuidad similar mostrará una línea (roja o fluorescente), fisuras muy estrechas o parcialmente cerradas (pliegues) mostrarán una línea de trazos. Poros gruesos pueden producir una indicación grande que cubre toda un área. Los poros muy finos serán indicados por puntos distribuidos al azar o agrupados en áreas localizadas.

Materiales cerámicos vitrificados retendrán muy poco penetrante después de la aplicación y cualquier fisura, agujero o escamas adheridas serán fácilmente discernibles como indicaciones fluorescentes o rojas, según el método, en forma de líneas o puntos. Escamas o astillas adheridas usualmente aparecen como indicaciones difusas que observadas con aumento mostrarán que el color proviene del colorante o pigmento atrapado debajo de las mismas.

Los agujeros producidos por mezclado inapropiado de los constituyentes o por quemado de contaminantes volátiles aparecen generalmente como puntos fluorescentes o coloreados según el proceso.

Cuando un agujero es muy grande y playo de manera que el penetrante es removido parcialmente durante el lavado, la sensibilidad de detección disminuye

5.6.- Apariencia de las indicaciones

Las figuras que siguen dan información sobre la apariencia de las indicaciones en relación con el tipo de defectos y proceso utilizado en el examen.-

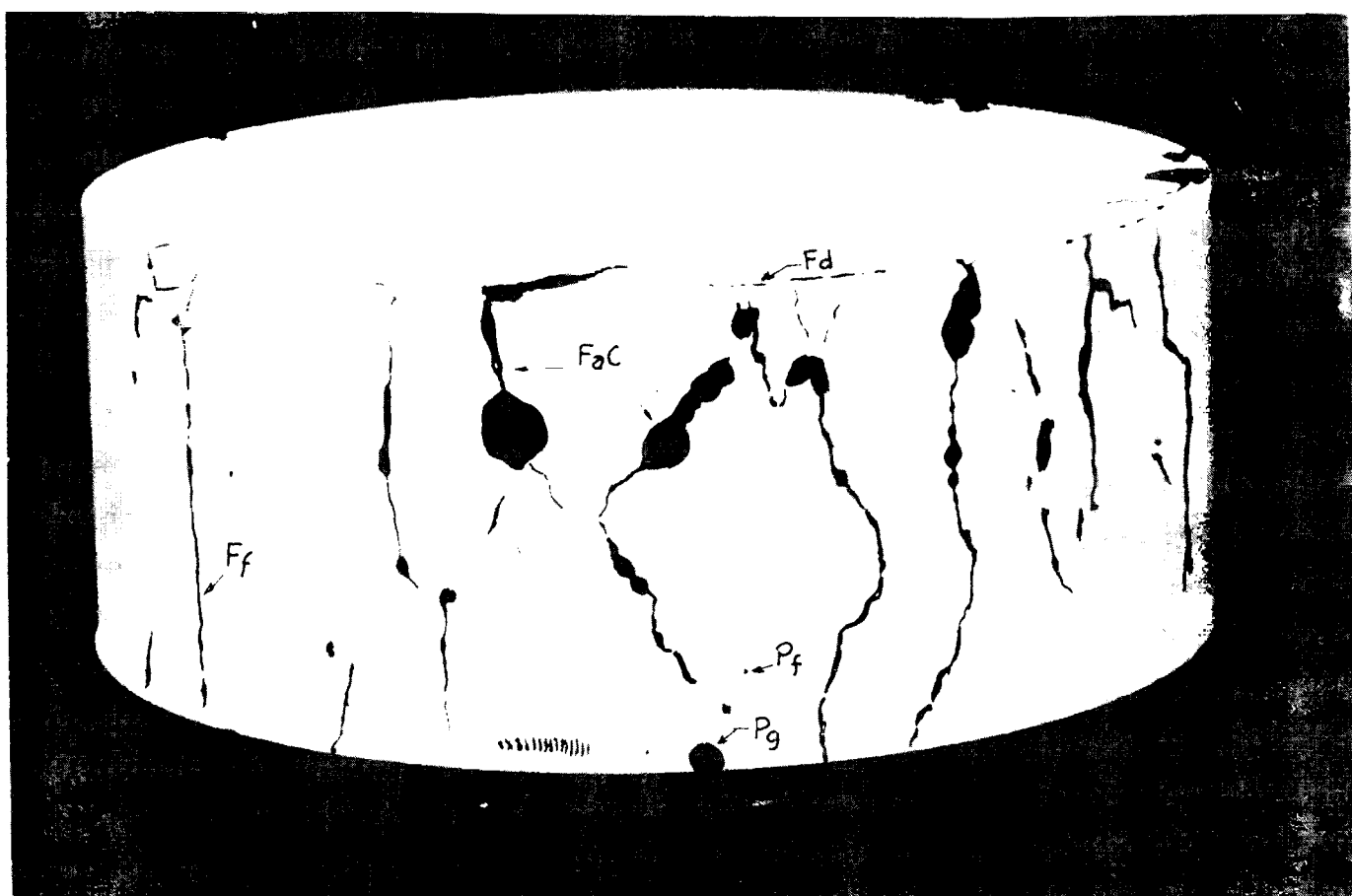
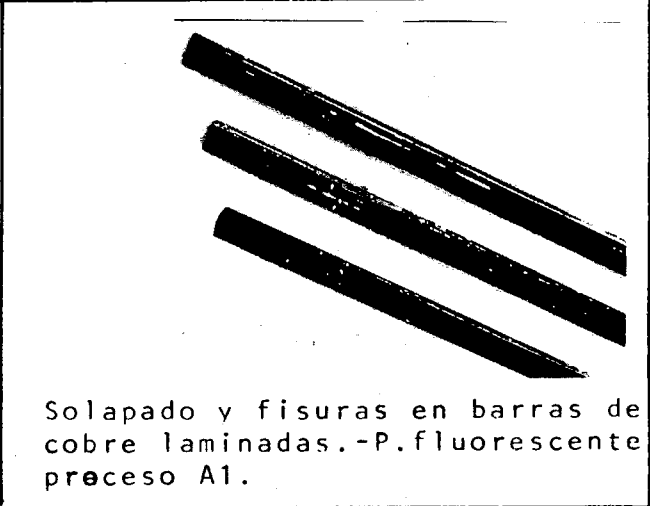
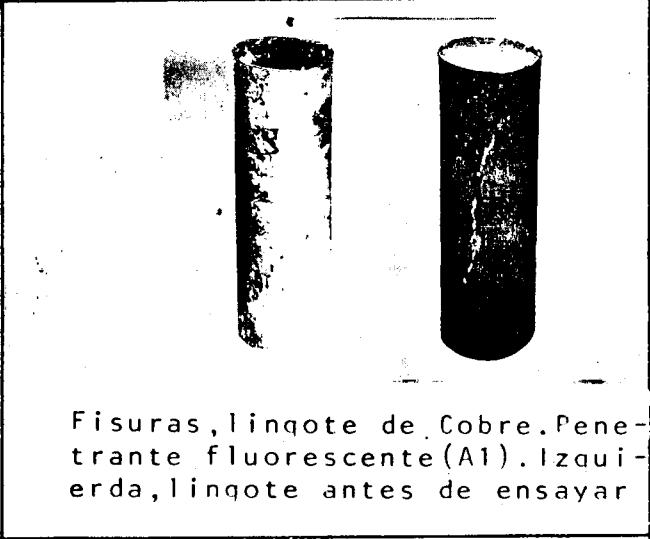
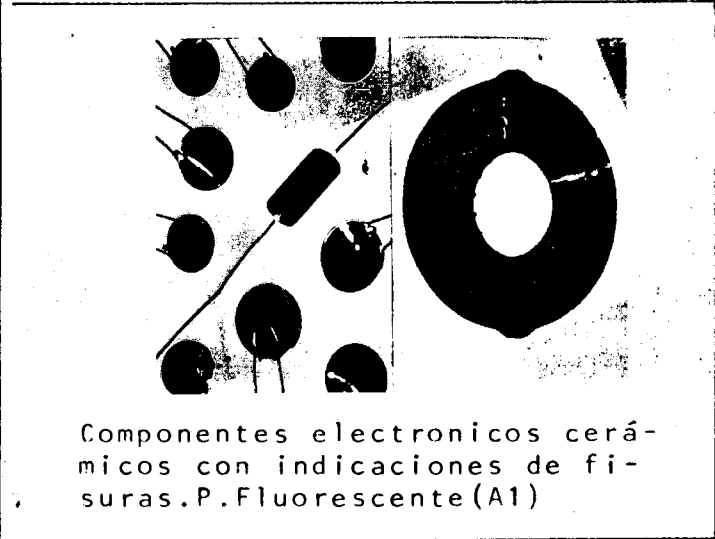
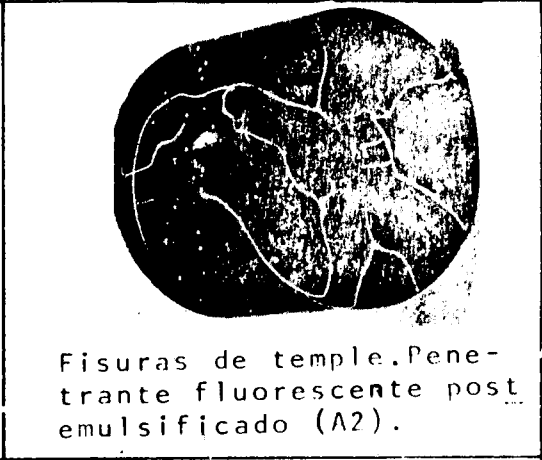
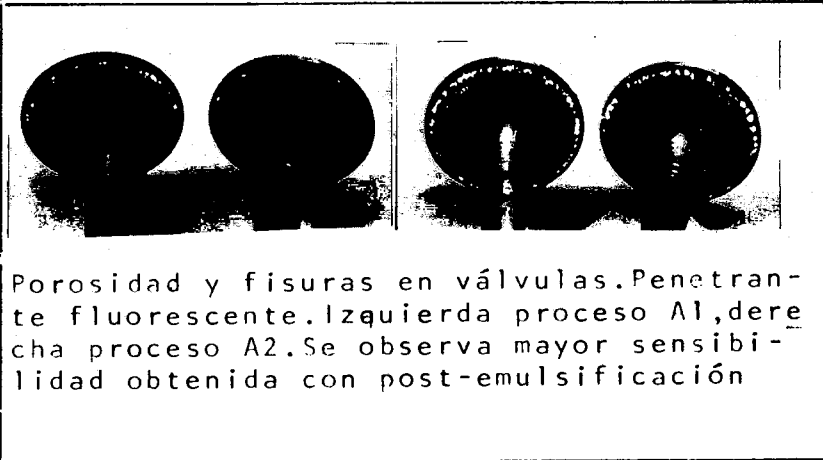
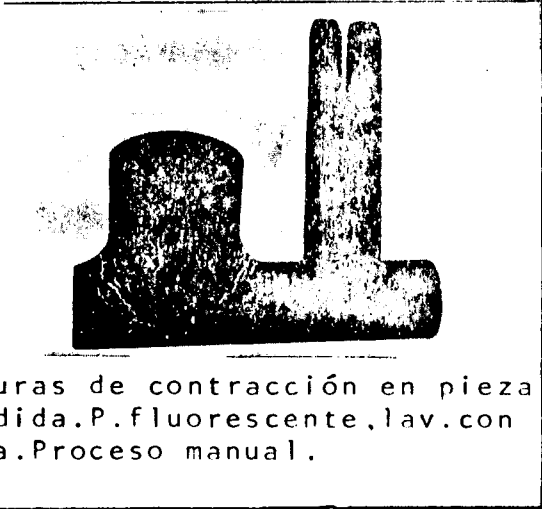
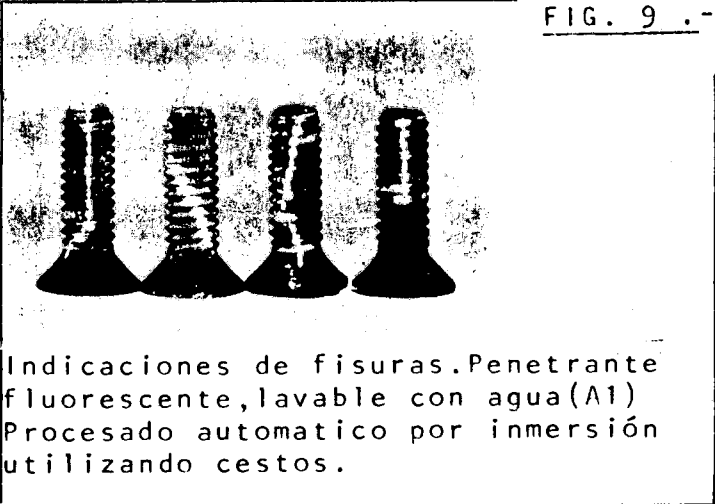


FIG.8.- Barra de aleación de magnesio, torneada y examinada con líquido penetrante rojo (Proceso ASTM-B1). Se observan: poros gruesos (Pg), fisuras anchas conectadas con cavidades (FaC), fisuras finas (Ff), fisuras discontinuas y/o parcialmente cerradas (Fd).-

FIG. 9 .-



5.7.- Presentación de los resultados.-

El operador o inspector que realiza un examen debe normalmente elevar un informe escrito en el cual además de indicar los resultados obtenidos, deje constancia de las condiciones en que recibió la pieza para el examen, preparación efectuada sobre la misma, especificación o norma de ensayo, tipo de penetrante y proceso utilizado. En dicho informe deben constar tipo de limpieza, forma de aplicación y remoción del penetrante, tiempo de penetración, condiciones de revelado, tiempo de observación.

En las páginas siguientes se dan dos modelos de "hoja de ensayo" que pueden ser utilizados para la presentación de informes.

En ciertos casos, especialmente cuando se trata de informes que deben servir de referencia, o para peritajes suele ser apropiado adjuntar una evidencia o registro de las indicaciones obtenidas. En ese caso se puede utilizar cinta durex, que al ser aplicada sobre la indicación la adhiere y permite transferirla al informe. Alternativamente se pueden usar lacas pelables aplicadas por pulverización sobre la zona con indicaciones. Estas lacas impregnan el revelador y al secar pueden ser removidos de la superficie en forma de película que contiene la indicación y puede ser adherida al informe.

ENSAYO POR LIQUIDOS PENETRANTES

CODIGO.....

N".....

Solicitado por:..... Fecha / /

Pieza:

Cantidad Material.....

Lugar de realización

ETAPAS DEL ENSAYO

Limpieza

N°	tipo	marca	modo de aplic.	tiempo	secado

Liquido Penetrante

Coloreado		Proceso	Lavable con agua	Marca:
Fluorescente			Post-emulsificable	
			Remov.con solvente	

Modo de aplicación	Tiempo de penetración	Modo de lavado

Emulsificador			Revelador	
Tipo	Modo de aplicación	Tiempo	Tipo	Modo de aplicación
			Seco	Húmedo

RESULTADOS OBTENIDOS:

.....

.....

Operador.....

Supervisor.....

<u>LABORATORIO DE E N D</u>		Examen por Líquidos Penetrantes		Informe N°		
Cliente:		Objeto del examen:				
		C. Calidad <input type="checkbox"/>		Recepc. <input type="checkbox"/>	Manten. <input type="checkbox"/>	
Pieza: ,		Material:				
Planos:		Especificación:				
Condición superficial:						
Proceso: Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/>						
Forja <input type="checkbox"/> Esmerilado <input type="checkbox"/> Rectificado <input type="checkbox"/>						
Tipo y Técnica de examen	avable agua		Post-emulsif.		Remov. solvente	
	Rojo	Fluoresc.	Rojo	Fluoresc.	Rojo	Fluoresc.
Limpiador						
Penetrante						
Emulsificador						
Removedor						
Marca						
Lámpara						
Iluminación						
Condiciones de trabajo						
Limpieza			Secado			
Aplic. penetrante			Tiempo de penetración			
emoc: " "			Aplic. del emulsif.			
Aplic. del revel.			Tiempo de emulsif.			
Tiempo de observación:			Limpieza final:			
RESULTADOS:						

.....
Operador

.....
Inspector

.....
Jefe Laboratorio

6.- Equipamiento para examen con líquidos penetrantes.

El examen con líquidos penetrantes requiere, en términos generales, un equipamiento simple y de poco costo pero que de todas maneras debe ser analizado por la empresa antes de decidir inversiones.

Normalmente se presentan dos tipos de necesidades: examen de piezas aisladas o examen de producción seriada.

6.1.- Examen de piezas aisladas:

Este caso se presenta en inspecciones de montaje, en inspección de mantenimiento y en inspecciones parciales de grandes componentes o instalaciones.

-Inspección de montaje: se trata generalmente de examinar soldaduras en material no magnético (aceros inoxidables austeníticos, latón, bronce, aleaciones de aluminio, etc.) a fin de detectar fisuras de proceso. El equipo más práctico está constituido por limpiador-removedor, penetrante y revelador húmedo no acuoso en aerosol debiendo preverse una proporción de 3:1:2, es decir por cada unidad de penetrante disponer de dos unidades de revelador y tres de limpiador.

Alternativamente, por razones de economía se pueden usar, en lugar de aerosoles pulverizadores de mano o accionados por aire. En este caso puede formar parte del equipo un compresor de baja presión.

Si el lugar no dispone de ventilación adecuada el penetrante se debe aplicar con pinceles, el limpiador removedor mediante papeles absorbentes, trapos limpios o esponjas y el revelador con un pulverizador de mano. Fig. 10

El equipamiento se debe completar en todos los casos con una fuente de iluminación adecuada, luz blanca para líquidos coloreados y luz negra para líquidos fluorescentes.

La luz blanca debe asegurar un nivel de iluminación de por lo menos 500 Lux en la superficie a examinar. La luz negra debe ser del tipo reflector, de por lo menos 100 Watios. En este último caso debe disponerse además de un compartimento desarmable de lona negra para oscurecer la zona bajo examen

-Inspección de mantenimiento: En estos casos el objeto del examen es detectar fisuras de fatiga, corrosión inter-cristalina, picado, etc.

El equipamiento debe ser aproximadamente el mismo que para el caso anterior pero debe tenerse en cuenta que el correcto examen puede requerir el uso de líquidos penetrantes post-emulsificables y/o etapa de revelado con polvo seco. En estos casos el examen puede hacerse en laboratorio en el cual se dispondrá de instalaciones fijas. Esta instalación fija dispondrá de una estación de limpieza, los correspondientes tanques para penetrante y emulsificador y estación de lavado, secado y revelado.

- Inspecciones parciales de grandes componentes o instalaciones:

En estos casos puede tratarse de exámenes de procesos de fabricación (montaje) o inspección de mantenimiento.

El equipo apropiado es el descrito en Inspección de Montaje, debiendo agregarse equipos pulverizadores de agua para el lavado de penetrantes preemulsificados o post-emulsificables. Para la aplicación del emulsificador se deben usar pulverizadores de baja presión o aerosoles.

En todos los casos es conveniente agregar al equipamiento guantes y máscaras para protección personal, especialmente cuando se trata de grandes trabajos y no se dispone de una muy buena ventilación.



Fig.10.- Equipo portátil para aplicación del ensayo por líquidos penetrantes fluorescentes en aerosol.-

6.2.- Instalaciones Fijas.-

Las instalaciones fijas pueden formar parte de laboratorios de ensayos para atender requerimientos del control de calidad o para prestar servicios a distintos sectores de la planta o bien estar incluidas dentro de la planta intercalados en los procesos de producción.

En el mercado se ofrecen unidades compactas diseñadas para la aplicación de los distintos procesos normalizados y dimensiones standardizadas para distintos tipos de producciones. En nuestro país no existe una fabricación establecida para este tipo de instalaciones y generalmente se recurre a su importación a pesar de que podrían ser diseñadas y construídas en el país. Los requisitos para el diseño son:

- 1) Conocer los requerimientos del proceso a utilizar.
- 2) Conocimiento de las características, dimensiones y cantidad de la producción a examinar.

En la fig. 11 tenemos un ejemplo de una unidad simple de propósitos generales para piezas de pequeño tamaño. Consta de un tanque para aplicar el líquido penetrante por inmersión, provisto de parrilla para el drenaje del exceso; un tanque para aplicación del emulsificador; un recipiente con pulverizador de agua para remoción del penetrante; un tanque para revelador, un gabinete de secado y otro para inspección final.

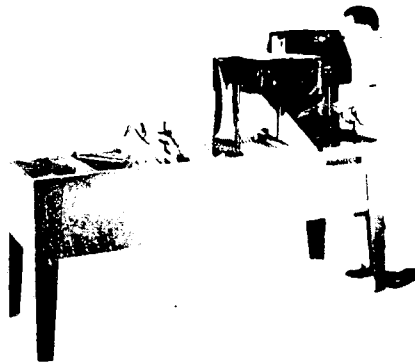


Fig. 11

En la fig. 12 se puede observar una instalación también para propósitos generales, que puede aceptar piezas de mayor tamaño y está diseñada para usar líquidos fluorescentes lavables con agua o post-emulsificables.

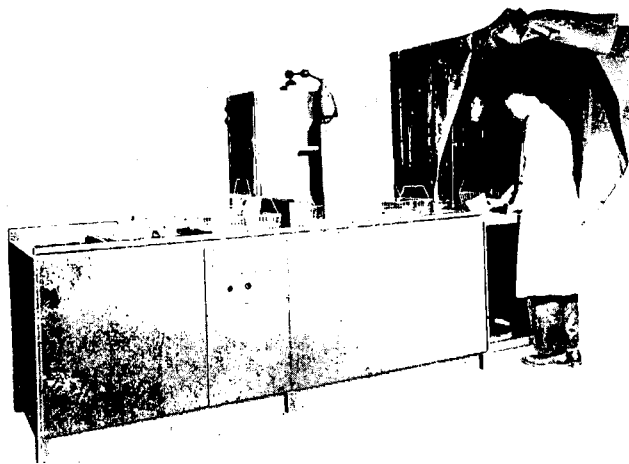


Fig. 12

En las figs. 13 y 14 se muestran instalaciones automáticas integradas por unidades modulares. Permiten el examen de producción seriada; las piezas se colocan en cestos, soportes especiales o en forma unitaria y se desplazan mediante rodillos.

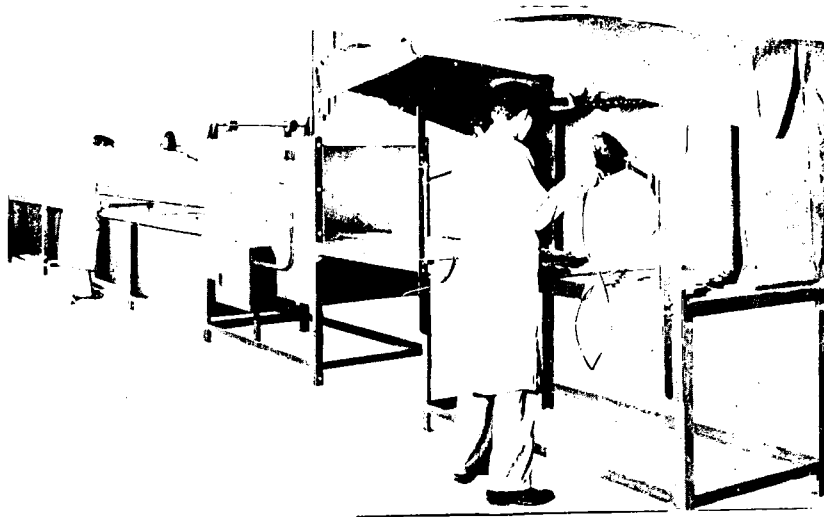


Fig. 13.-

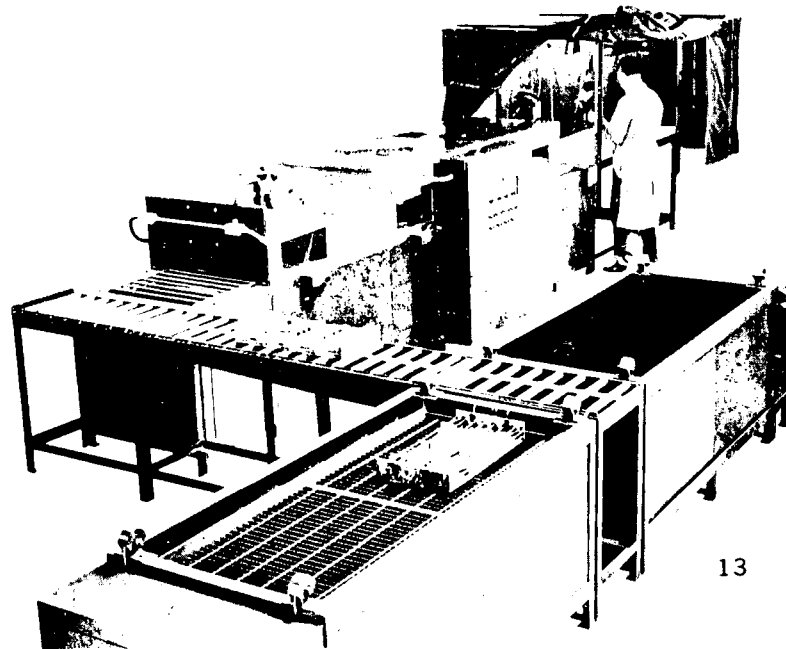


Fig. 14.-

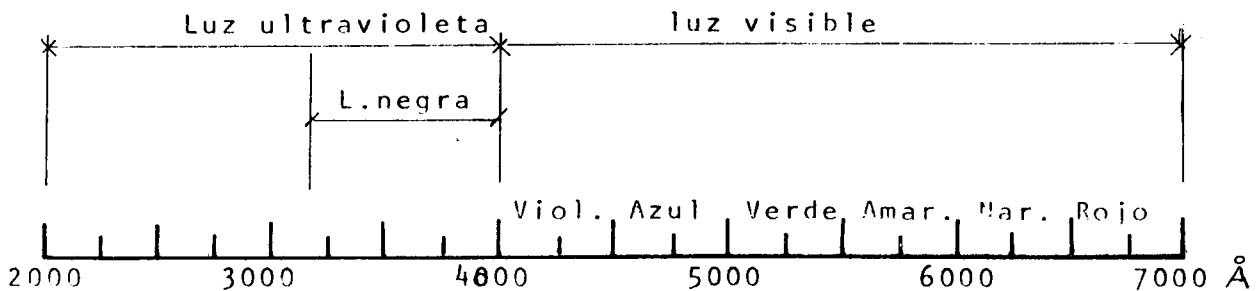
6.3.- Luz negra.

Las técnicas de ensayo con líquidos penetrantes fluorescentes son las más sensibles pero requieren el uso de iluminación con luz negra para la observación de las indicaciones que aparecen visibles por el fenómeno de fluorescencia en el pigmento penetrante.

La fluorescencia es definida como la propiedad que tienen ciertas sustancias para emitir radiación de mayor longitud de onda que la absorbida de otra fuente de radiación que la excita. Esta emisión de "luz fluorescente" cesa cuando cesa la radiación que la excita.

Se da el nombre de luz negra a la energía radiante que se emite en el rango de longitud de onda entre 3200 y 4000 Angstroms, con un pico de intensidad en 3650 Å. Esta longitud de onda es más corta que la que corresponde al extremo violeta del espectro visible, es llamada a veces "ultravioleta cercano" y no es visible por el ojo humano, de ahí su nombre.

La luz ultravioleta muy peligrosa para muchas formas de vida, mata bacterias causa quemaduras, produce ozono y puede ser muy dañina para el ojo humano. La zona del espectro ultravioleta, de longitudes de onda menores que 3200 Å es mucho más activa, en este sentido, que la que corresponde a los rangos de longitud de onda de la luz negra.



En los líquidos penetrantes fluorescentes se usan sustancias que absorben la radiación invisible de la luz negra, emitiendo al propio tiempo radiación de mayor longitud de onda en el rango visible del espectro dando una luz brillante de color amarillo-verdoso. Existe la posibilidad de usar otras sustancias cuya emisión de luz visible se produce en longitudes de onda correspondientes a otros colores (rojo o azulado por ejemplo) pero se prefiere el amarillo verdoso porque el ojo humano es más sensible a ese color. En la Fig.16 se da el espectro de emisión que corresponde a un colorante fluorescente de uso típico en líquidos penetrantes.

Los mejores colorantes fluorescentes usados reaccionan energicamente cuando son excitados con radiación de 3650 Å de longitud de onda y emiten luz en el rango amarillo-verdoso con marcada estabilidad durante prolongadas exposiciones.

6.3.1.- Fuentes de luz negra.

A pesar de que la radiación solar contiene una gran cantidad de radiación ultravioleta, no es apropiada para la observación de las indicaciones de los líquidos penetrantes fluorescentes y es por ello que debe hacerse uso de lámparas especialmente diseñadas para dar un flujo adecuado de luz negra.

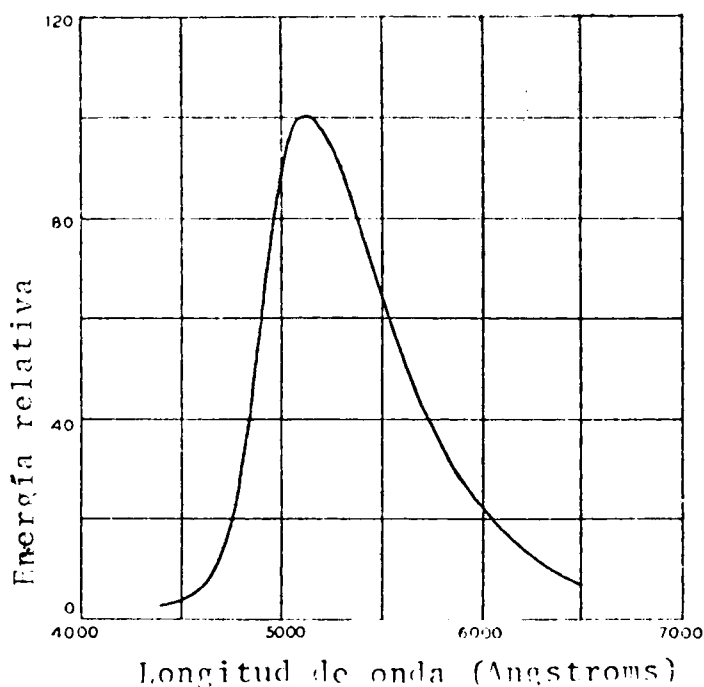


Fig.16.-Espectro de emisión de un pigmento fluorescente verde-amarillento

Con pocas excepciones dichas lámparas se basan en que la radiación emitida por el arco eléctrico que salta entre dos electrodos de metal o de carbono en una atmósfera de vapor de mercurio, es particularmente rica en longitudes de onda que corresponden a la luz negra. En la Fig.17 se da el espectro de emisión dado por una lámpara de arco en vapor de mercurio en el que se puede ver que tiene varios picos de emisión, uno de los cuales, de alta intensidad, corresponde a la longitud de onda apropiada de 3650 Å.

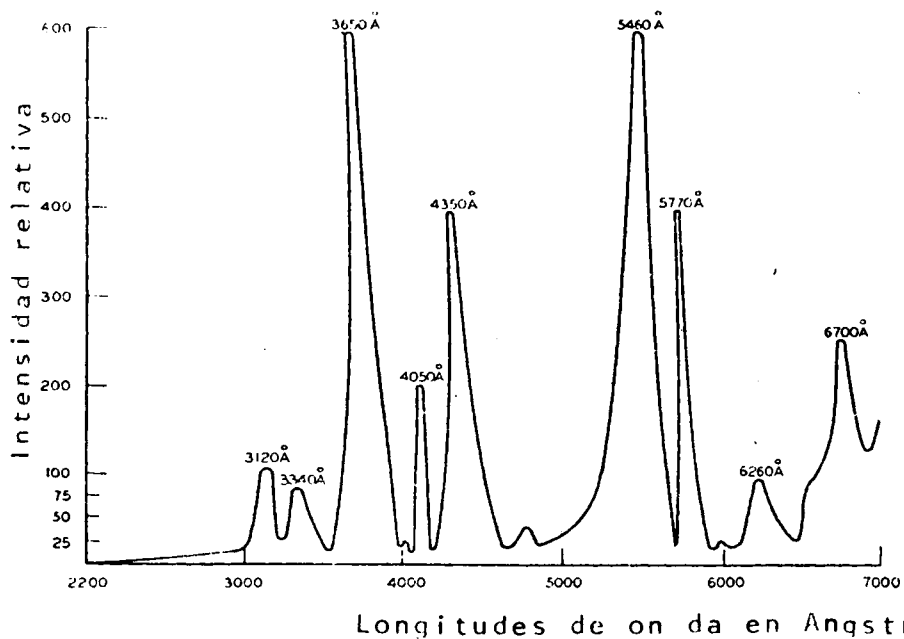


Fig.17.- Espectro de emisión de una lampara de arco de mercurio de alta presión.-

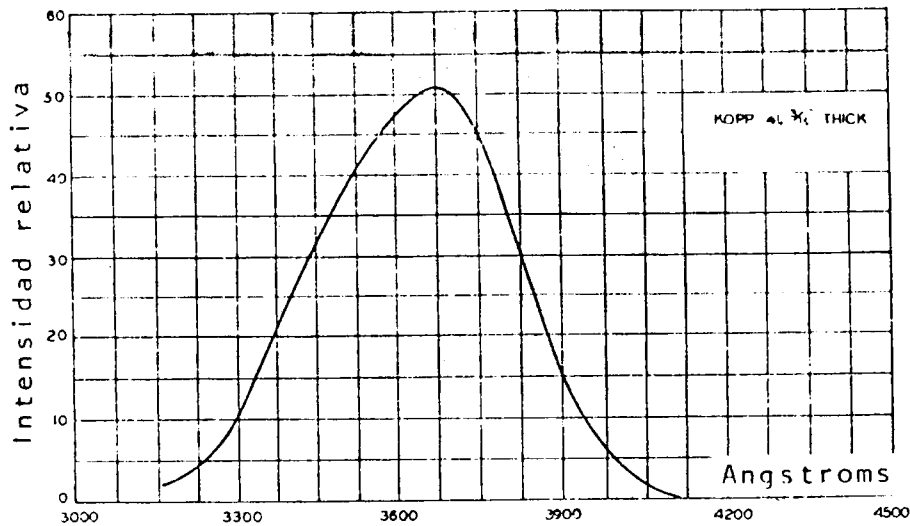


Fig.18.- Curva de transmisión de la luz para un filtro de luz negra de vidrio (Kopp 41)

Como podemos ver además de la luz negra, estas lámparas emiten radiaciones en otros rangos de longitud de onda que corresponden al ultravioleta y al visible. A fin de eliminar estas radiaciones se utilizan filtros de vidrio que las absorben y dejan pasar la radiación correspondiente a la luz negra. En la Fig. 18 se puede ver la curva que da el porcentaje de luz transmitida a través de un filtro de vidrio para luz negra (tipo Kopp 41).

Comercialmente existen distintos tipos de lámparas de luz negra pero no todas satisfacen la condición de dar suficiente energía en el rango de los 3650 Å como para ser utilizados en el examen con líquidos penetrantes fluorescentes. Todas usan filtros de vidrio coloreado para remover luz ultravioleta de onda corta y la luz visible pero no todos los tipos de filtros usados tienen igual eficiencia.

Lámparas incandescentes de luz negra: son similares a las lámparas usadas en iluminación para fotografía pero poseen un filtro rojo - púrpura. Dado que el filamento está sometido a un sobrevoltaje la vida de estas lámparas es corta y disipan mucha energía en forma de calor. Su rendimiento en luz negra es bajo en relación a la potencia consumida y el filtrado no es suficiente.

Tubos de luz negra: En construcción y operación son similares a los tubos fluorescentes comunes.

Se distinguen por el color rojo púrpura oscuro del filtro de vidrio. Emplean la descarga de un arco eléctrico en una atmósfera de vapor de mercurio en baja presión, que excita la sustancia luminiscente con que está cubierta la pared interior del tubo. En el comercio se encuentran tubos de 6 y 8 Wattios en tamaños pequeños para operar con baterías o con 220 volts. Existen también tubos de 40 a 60 Wattios pero son de mayor tamaño con lo que no se logra una mayor intensidad localizada.

En todos los casos la salida de luz negra en estos tubos es de baja intensidad y por lo tanto se deben utilizar muy próximas a la pieza en examen.

No son apropiados para trabajos en los que se busca alta sensibilidad. Se pueden usar baterías de tubos para iluminar áreas mayores pero en todos los casos el nivel de iluminación será insuficiente para detectar fisuras muy finas.

Lámparas de vapor de mercurio. Las lámparas de arco en vapor de mercurio de alta presión son las más importantes fuentes de luz negra usadas en inspección.

La construcción de esta lámpara se muestra en la figura. 19. El arco se hace saltar entre dos electrodos (E_1 y E_2) incluidos dentro de una ampolla de cuarzo (Q).

El arranque se realiza mediante electrodo auxiliar (E_a) ubicado a corta distancia de uno de los electrodos. Se produce un pequeño arco inicial cuya corriente está limitada por la resistencia de arranque (R) y se provoca así la ionización necesaria para permitir el establecimiento del arco entre los dos electrodos principales. Esta ampolla de cuarzo, que es la responsable de la emisión de la radiación se encuentra envuelta dentro de un bulbo de vidrio que puede actuar como focalizador y reflector según el diseño. La lámpara debe ser alimentada a través de un transformador o ballasto que limita la corriente que puede ser drenada a través de los electrodos. El proceso de encendido que se inicia a través del electrodo de arranque requiere unos 5 minutos al cabo de los cuales la corriente fluye por los electrodos principales y se alcanza la totalidad de la emisión.

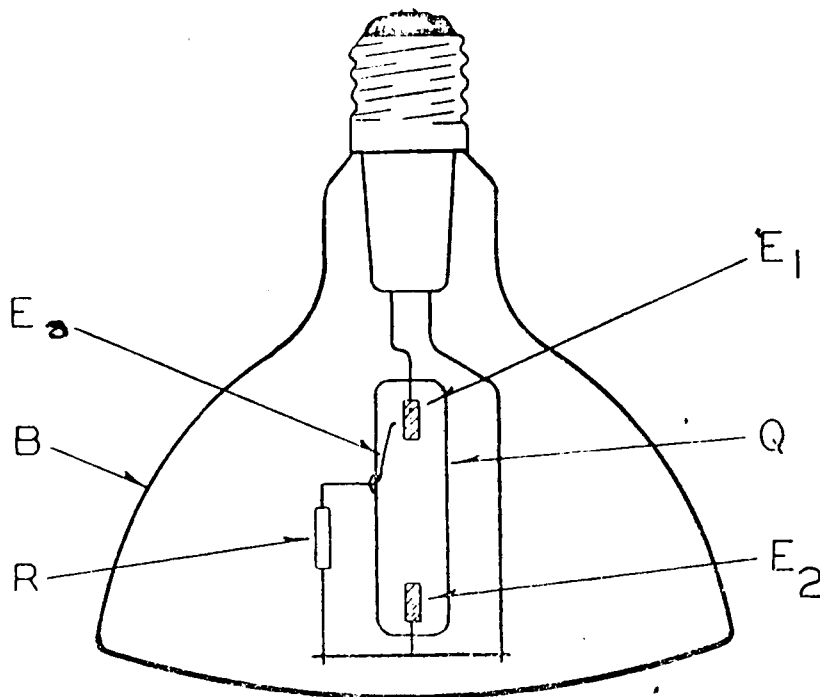


Fig.19.- Esquema constructivo de una lámpara de Hg.

La cápsula de cuarzo permite el paso tanto de luz visible como ultravioleta. El espectro emitido es controlado por el diseño y fabricación de la lámpara. Para muy altas presiones, (100 Atm) el espectro es más o menos continuo sobre un amplio rango de longitudes de onda pero a presiones menores (10 Atm) la salida está principalmente en el rango del visible y el ultravioleta. A estas presiones esta distribuido más o menos homogéneamente e incluye las longitudes de onda correspondientes a la luz negra.

Estas lámparas producen el máximo rendimiento en luz negra previo filtrado apropiado y son así usadas para las inspecciones.

Comercialmente son obtenibles en dos formas principales: tipo reflector y tipo bulbo, generalmente con 100 W de potencia. Las más usadas son las de tipo reflector por permitir concentrar la iluminación sobre el área en inspección. Los de tipo bulbo distribuyen la luz sobre mayor área y se adoptan menos a la modalidades de la inspección.

En la figura 20 se muestran en distintos tipos comerciales de lámparas para luz negra. En la figura 21 se puede observar una lámpara tipo reflector montada y con balasto tal como se usa en la inspección.

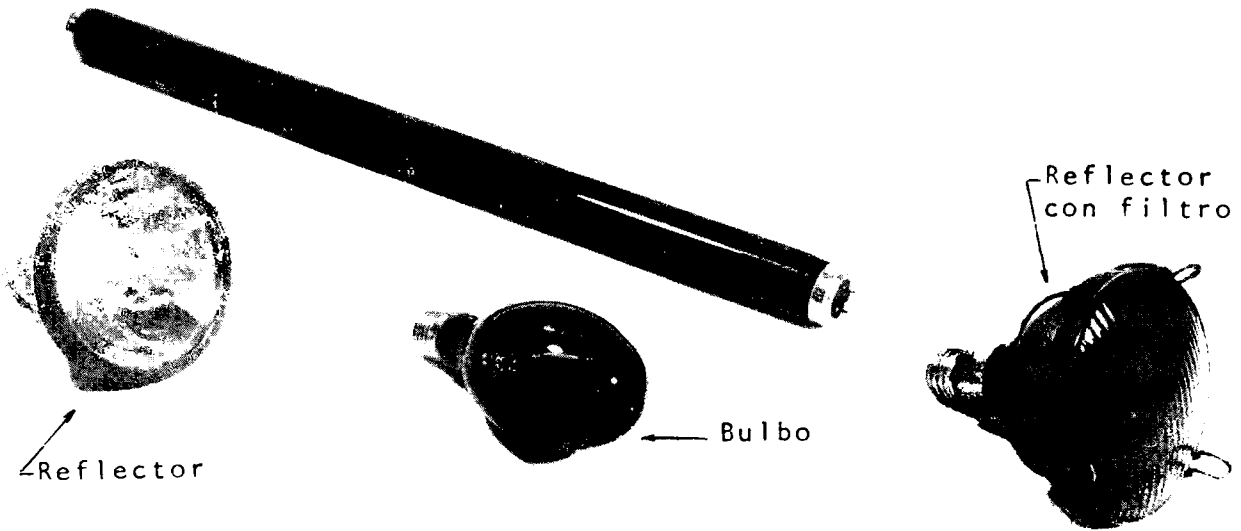


Fig.20.-

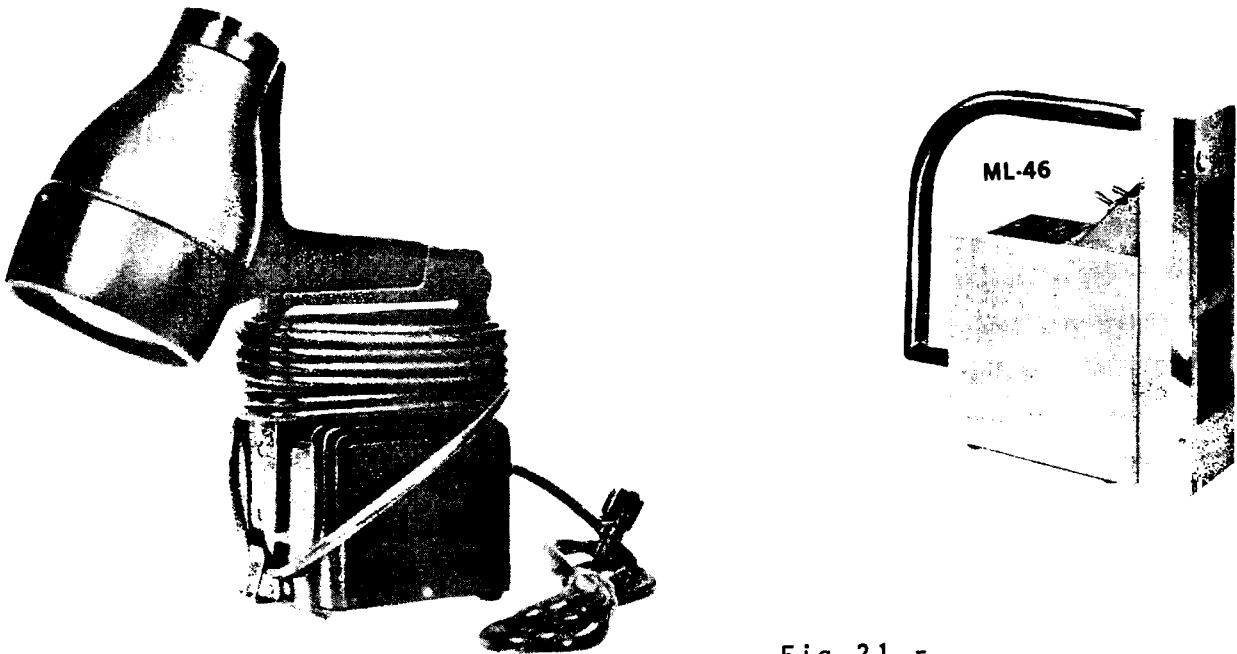


Fig.21.-

6,3,2,- Requerimientos de intensidad de luz negra.-

En el examen con líquidos penetrantes fluorescentes tres factores determinan la perceptibilidad de una indicación, estos son: a) La cantidad de pigmento en la indicación; b) la respuesta del pigmento fluorescente en forma de luz visible emitida en relación con la energía suministrada como luz negra; c) la cantidad de energía actualmente suministrada al pigmento por la luz negra.

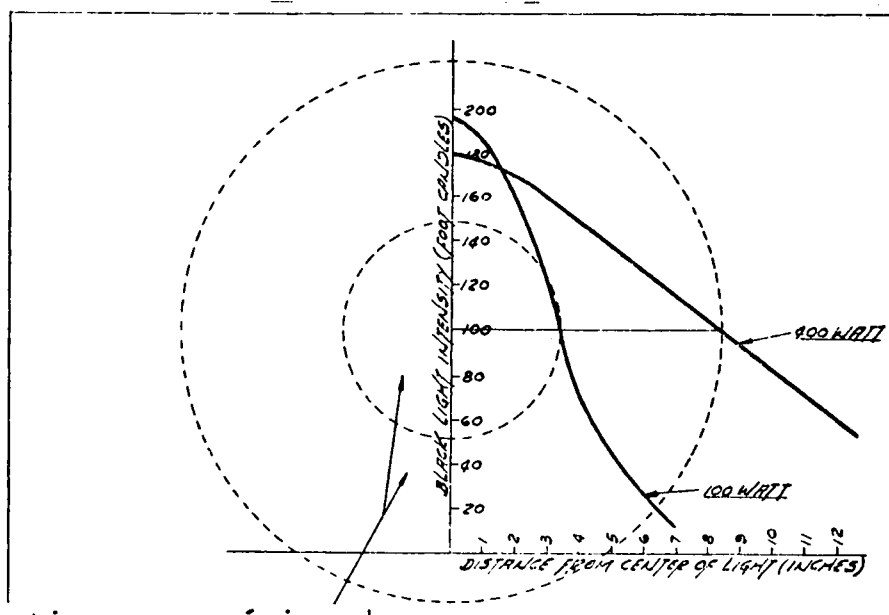
Dada una indicación, con una cantidad determinada de pigmento fluorescente, el brillo depende de la intensidad de la luz negra incidente.

Esta consideración es crítica cuando se trata de observar indicaciones de defectos extremadamente finos.

La experiencia indica que la intensidad de iluminación mínima adecuada para observar fisuras finas, tales como fisuras de amolado, debe ser de 950 Lux. Para fisuras más gruesas o abiertas es suficiente con 750 Lux y para defectos gruesos la iluminación puede ser de sólo 500 Lux. No obstante ello ninguna instalación fija puede ser diseñada en menos de 950 Lux sobre la mesa de examen.

Estos niveles se adoptan suponiendo una eliminación substancial de la luz visible en el área de inspección.

Esta intensidad es provista, sobre un área de 150 mm de diámetro, por una lámpara de 100 vatios, colocada a 375 mm de distancia. En el centro del área la intensidad es por lo menos el doble. En la figura 22 se dan las curvas de distribución de la intensidad de luz negra a distancias variables desde el centro del área iluminada por una lámpara puntual de 100 vatios colocada a 375 mm de la superficie y la misma curva para otra lámpara puntual de 400 vatios.



Áreas relativas con mínimo de 950Lux(100Ft.Candle) a 15 pulg. de una lámpara de 400W y de 100 W respectivamente.

Curvas de distribución típicas de lámparas de 100 y de 400 W en un plano a 15" de distancia

Fig.22.-

A fin de mantener los niveles de iluminación es necesario efectuar un control periódico de la intensidad de luz negra que suministran las lámparas en uso. Para ello se pueden utilizar fotómetros standard (luxómetros) que constan esencialmente de una célula fotovoltaica y un microamperímetro que da lecturas directamente en Lux, con una calibración correspondiente a la luz visible. Dado que estos fotómetros tienen una respuesta aceptable en el rango de luz negra, las indicaciones del instrumento serán proporcionales a la intensidad de ésta. Los valores obtenidos no serán numéricamente exactos pero sí reproducibles con lo cual las sucesivas medidas serán comparables y se podrán hacer mediciones de intensidad relativa con suficiente exactitud. En la Fig 23 se da la curva correspondiente a la respuesta de un fotómetro de este tipo para las distintas longitudes de onda y su propuesta a la misma la curva de transmisión correspondiente a un filtro de vidrio para luz negra. Se puede apreciar que la célula fotovoltaica tiene todavía respuesta apreciable para las longitudes de onda entre 3400 y 3900 Å.

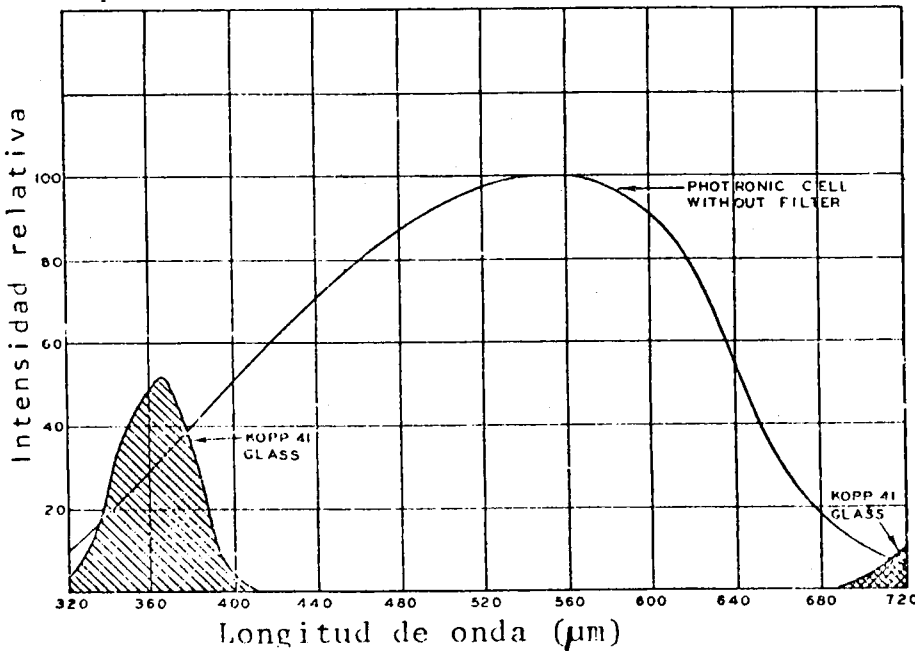


Fig.23.-

En el mercado se encuentran este tipo de fotómetros (Weston Mod. 703 tipo 3; G.E. Meter -SDW 40 y 16) para luz negra calibrados de 0 a 75 o 0 a 100 pie candela (1 pie-candela \approx 10 Lux) con máscaras para ampliar el rango X 10. Actualmente se ofrecen también fotómetros que miden la intensidad de luz negra en energía, expresando el valor en micro Watios/cm² (Tokushu Toryo Co - UV 2500).

Para hacer las mediciones el fotómetro debe ser colocado en el lugar de trabajo enfocado hacia la lámpara de luz negra, leyendo la indicación en la escala para anotar el valor directamente o multiplicado por el factor correspondiente en caso de ampliación de escala por máscaras.

La evaluación de la intensidad de luz negra emitida por una lámpara puede ser efectuada también midiendo, con un fotómetro, la luz visible excitada en una pantalla fluorescente.

La norma BSI 4488 (1969) describe un método utilizando el sencillo dispositivo que se observa en la Fig. 24

Dicho dispositivo consta esencialmente de una apertura por donde se hace incidir la luz UV sobre una pantalla fluorescente standard para RX, de 55 mm² y colocada a 45°. Un fotómetro de 0-500 Lux colocado normalmente a la pantalla a 70 mm de distancia mide la luz fluorescente a través de un filtro amarillo verdoso y da la indicación en Lux.

Esta es una medición indirecta pero permite hacer la comparación entre distintas lámparas y evaluar la pérdida de rendimiento de una lámpara en uso.

El dispositivo permite ser usado también para comparar el brillo efectivo de distintos pigmentos fluorescentes usados en líquidos penetrantes. En este caso en lugar de la pantalla fluorescente se coloca papel impregnado en el pigmento fluorescente.

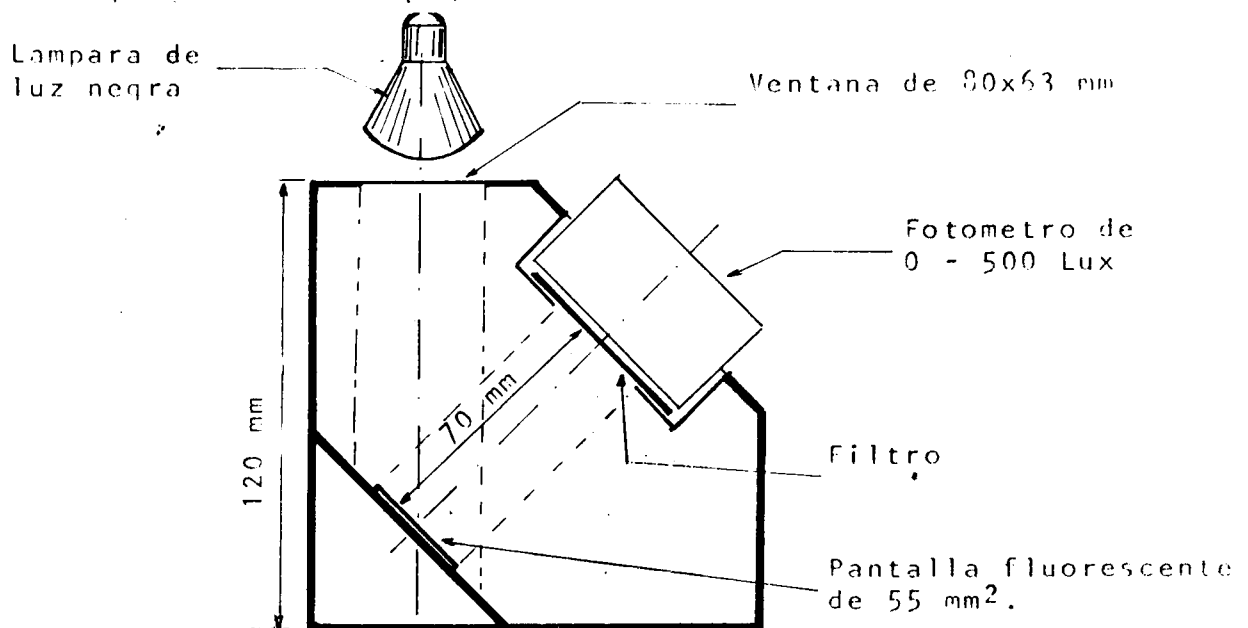


Fig. 24.- Equipo para medición de emisión de luz negra y comparación de pigmentos fluorescentes.-

La medición periódica de la intensidad de las lámparas de luz negra es necesaria en razón de que la iluminación es un factor importante en la sensibilidad del ensayo y el rendimiento de las lámparas se ve afectado por diversas causas:

- a) Diferencias entre las lámparas a pesar de tener los mismos valores nominales. Estas diferencias se manifiestan aún entre lámparas de un mismo origen. La potencia nominal o el consumo de energía no garantizan por sí solas la intensidad de emisión de luz negra.
- b) Para una lámpara dada el rendimiento en luz negra varía con el voltaje aplicado, disminuyendo al disminuir el voltaje aplicado.
- c) El rendimiento en luz negra de una lámpara decae con el tiempo de uso y al final de su vida útil puede llegar a ser de sólo el 25% del inicial. La vida útil de una lámpara puede, por varias razones, ser menor que la indicada por el fabricante. Entre estas razones se pueden mencionar la frecuencia de encendido y apagado y el recalentamiento durante el uso.
- d) La acumulación de suciedad sobre la lámpara (tierra, aceite, etc) reduce la luz negra a veces hasta un 50%. Esto indica, además, la necesidad de limpiezas periódicas.

Características de operación de las lámparas de luz negra:

Como se ha explicado el arranque de las lámparas de luz negra se hace por medio de un electrodo auxiliar que provoca la ionización inicial de vapor de mercurio. Hasta llegar a la condición de régimen y completa ignición requiere 5 o más minutos según la potencia.

No se deberá iniciar la inspección hasta que no haya transcurrido dicho tiempo. Si por cualquier razón se interrumpe la corriente durante la inspección, la lámpara no volverá a encenderse al restablecerse el paso de corriente, si la misma no se ha enfriado suficientemente. Por ello en estos casos se debe abrir el interruptor y esperar a que se enfríe algo la lámpara antes de volver a conectar. Esto requiere unos 10 minutos por lo menos.

Cada arranque de la lámpara afecta su vida útil reduciéndola en aproximadamente 3 hs. por encendido.

Por estas razones es preferible mantener encendida la lámpara durante varias horas esperando cada inspección antes que encenderla y apagarla repetidas veces.

Finalmente se debe prestar atención al voltaje de operación ya que una lámpara de 120 volts por ejemplo dejará de operar a 90 volts y con 130 volts se quemará rápidamente.

7.- Evaluación de los Líquidos Penetrantes

El éxito de un examen con líquidos penetrantes no depende solamente del cuidado con que sean aplicadas las distintas etapas del proceso sino también de la aptitud y performance del sistema de penetrante utilizado.

Lamentablemente, en nuestro medio, no se ha dado suficiente importancia a este hecho y hasta hoy es corriente que se utilice un sistema de líquidos penetrantes confiados en el folleto ó etiqueta que lo presenta sin efectuar ningún tipo de evaluación que nos permita obtener idea respecto de su comportamiento y de su capacidad de detección de defectos o sensibilidad dimensional.

La sensibilidad dimensional o capacidad de detección de defectos de un sistema de líquidos penetrantes depende del comportamiento de cada una de las etapas que lo componen.

Es posible dar valores numéricos a estos comportamientos de las etapas individuales ó al del sistema en su conjunto de operaciones en terminos relativos y/o absolutos de limites de respuesta y eficiencia (7).

7.1 Propiedades de los materiales

Las características de los materiales para el proceso de ensayo por líquidos penetrantes estan determinadas por los parametros relativos a las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas inherentes a la composición de los mismos.

Entre estos parametros tenemos:

Punto de inflamación: La medición del punto de inflamación cumple con un doble propósito; asegura que el material cumplimenta con requisitos respecto a riesgo de incendio y provee de una indicación con respecto a la exactitud en la formulación del producto.

Las desviaciones en los valores del Punto de Inflamación entre diferentes partidas de un mismo producto no deben exceder de $\pm 10\%$ respecto del valor medio.

La medición del punto de inflamación se hace generalmente con el aparato de Tag (Norma IRAM ó ASTM D-56) cuando su valor es inferior a 80°C y con el método Cleveland de vaso abierto (Norma IRAM 6555 ó ASTM D-92) para el caso de puntos de inflamación superiores a 80°C.

Presión de vapor: La evaporación puede alterar el balance químico ó la concentración de pigmento en los materiales de un proceso con líquidos penetrantes y por lo tanto desmejorar su eficiencia. En algunos casos (reveladores húmedos no acuosos) es necesario ajustar la volatilidad del material para asegurar una determinada velocidad de secado.

La velocidad de evaporación es función de la presión de vapor y esta puede ser medida convenientemente determinando la presión mínima que se puede alcanzar en un sistema de vacío que contiene una muestra del líquido ensayado. La presión de vapor se mide usualmente en mm de Mercurio a 25°C de temperatura.

Viscosidad: este parámetro tiene un significado múltiple ya que afecta la velocidad con que se difunde ó migra hacia ó desde las discontinuidades ó difunde en otro de los materiales del proceso, medio de lavado etc. Sirve además para verificar la exactitud de la formulación y su mantenimiento entre las distintas partidas de un mismo producto.

En condiciones normales la viscosidad no debe variar en $\pm 10\%$ respecto del valor medio. Este valor medio se determina como el promedio de un número de lotes de producción y debe ser reevaluado periódicamente. Para su determinación ver Norma IRAM 6597 N.I.O.

La viscosidad puede ser medida por método cinemático (ASTM-D445). Alternativamente medida en unidades Saybolt (ASTM-D88) y ser convertida en valor de viscosidad cinemática (Centistokes) mediante gráficos como el de la Fig.25. Para conversión en otras unidades ver Norma IRAM 6598.

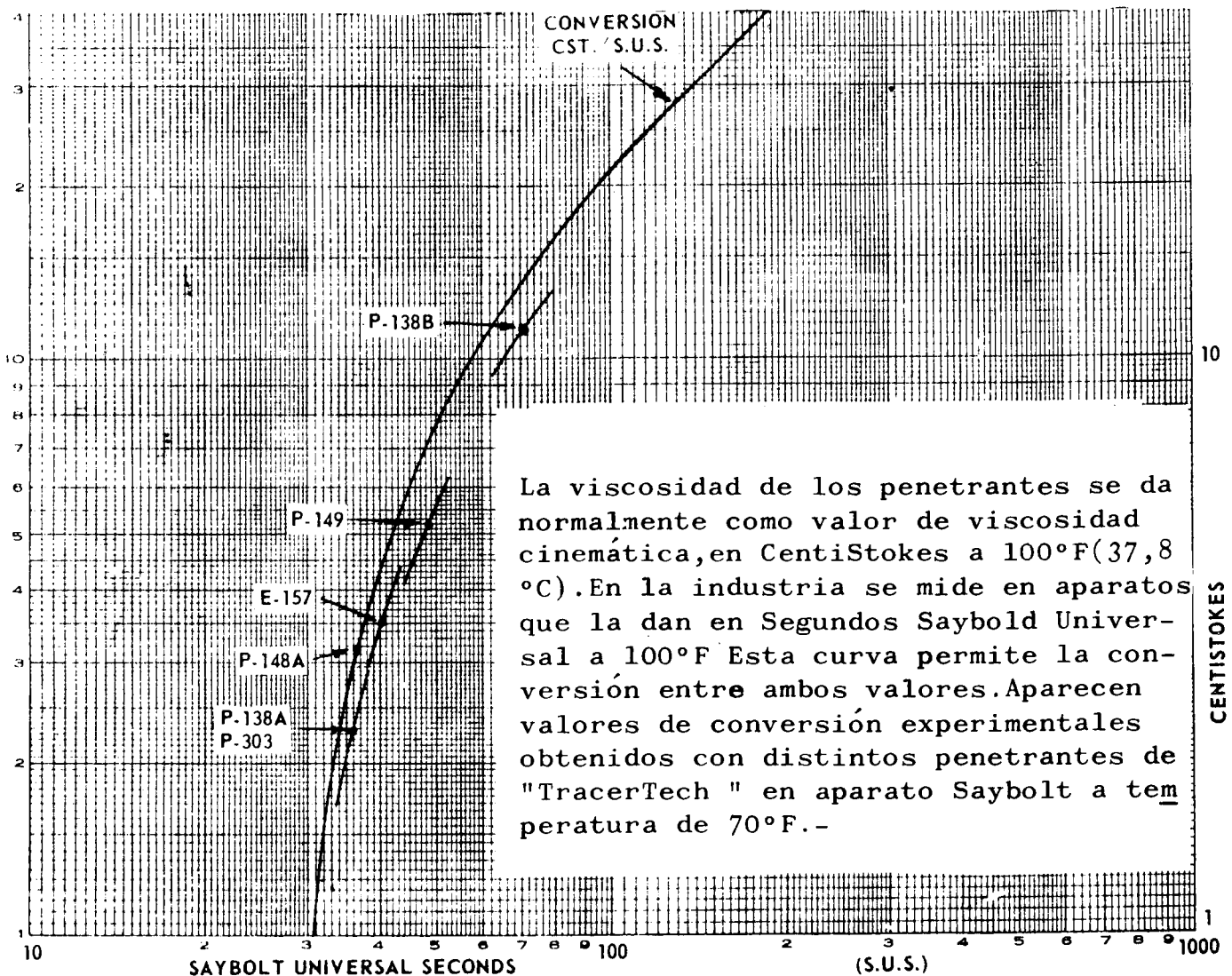


FIG. 25.- Curva de conversión de valores de viscosidad (7)

Se debe tener presente que los valores de viscosidad son establecidos normalmente a 100°F (37,8°C) mientras que en la práctica los líquidos son usados a temperatura ambiente y en algunos casos hasta 50 ó 60°C.

Densidad: Se expresa en gr/cc para los líquidos y en gr/l. en el caso de polvos reveladores secos. En este caso se trata de medir la densidad aparente del polvo suelto siendo un índice de su finura. En polvos secos sueltos debe ser normalmente menor que 200 gr/l.

Corrosión: Los materiales no deben exhibir acción corrosiva ni opacar la superficie cuando son aplicados en aluminio, magnesio ó acero inoxidable.

Contenido de Azufre: Ciertas aleaciones son sensibles a compuestos de azufre que desarrollan efectos de corrosión intergranular. El contenido de azufre es medido como el % de S en el residuo no volátil del material luego de completar evaporación. Si se exige que el material este libre de S el porcentaje del mismo en el residuo seco debe ser menor que el 1 % cuando se mide según la norma ASTM-D 129.

Contenido de Halógenos: Los halógenos, particularmente el Fluor y el cloro muestran tendencia a producir ataque en los aceros inoxidables austeníticos , aleaciones de Niquel y/o de Titanio. Su efecto más peligroso es la inducción de corrosión bajo tensiones.

En Aluminio y sus aleaciones, mezclas de hidrocarburos e hidrocarburos clorados pueden desarrollar reacciones de tipo catalítico que conducen a su desintegración.

Cuando el material se debe utilizar en el examen de los metales citados se debe especificar el máximo contenido de halógenos permisibles. Algunas normas (ASTM) establecen como admisible un máximo de 0,5 % de halógeno determinado, por el método ASTM-D 808 sobre muestra evaporada.

En el caso de examen de componentes nucleares las exigencias en cuanto al contenido de halógenos son practicamente las mismas en diferentes normas: Secc. III Código ASME; NAVSHIPS 250-1500; AEC RDT-F3-6T. Pero mientras en las dos primeras se expresa que el análisis debe hacerse en la muestra evaporada la norma de la AEC (Atómic Energy Comission of U.S.) nada dice al respecto.

Una situación que debe tenerse en cuenta es que el ensayo de halógenos debe hacerse sobre todos los materiales y por lo tanto debe incluirse el propelente cuando se aplica el proceso en aerosol. Si el propelente es Freon (Compuesto fluorcarbonado) al hacerse el análisis del mismo el % de halógenos puede ser del 1.7 %, si se usa Freon 12 y de hasta el 8% para mezclas de Freon 11 y 12. AEC prohíbe directamente el uso de propelentes fluorcarbonados en el envasado de aerosoles para uso nuclear. Para cumplir con esta norma el propelente empleado puede ser un hidrocarburo no halógenado como el Isobutano, aunque en este caso aparece el riesgo de la inflamabilidad del material.

Contenido de Hidrogeno: Ciertas aleaciones o superficies cromadas o niqueladas son sensibles a la fragilización por el hidrogeno. En esos casos se debe verificar que los materiales del proceso no contienen componentes que liberan hidrogeno.

Toxicidad: Ninguno de los materiales usados ni sus combinaciones deben resultar peligrosos para la salud cuando se los use de acuerdo a las instrucciones del fabricante. El olor no debe producir nauseas cuando se está limitadamente expuesto a los vapores del líquido.

En la evaluación de la toxicidad de los materiales se debe tener en cuenta:

- Posibles vias de absorción; por ejemplo: Respiratoria, cutánea o gastrointestinal.
- Velocidad de absorción por las diferentes vias.
- Sistema de organos afectados y forma en que es afectado. Evidencia histopatologica producida.
- Dosis que producen afección aguda.
- Niveles de dosis que pueden ser tolerados durante ocho horas diarias, indefinidamente sin producir efectos.
- Concentración en aire fisiologicamente efectiva.
- Información dermatologica que establezca si el producto es no irritante, primariamente irritante o sensibilizador.

Debe tenerse en cuenta que estas propiedades por sí solas no definen la aptitud del sistema y que ademas resultan influenciadas y varían sensiblemente según el medio y las condiciones en que se realiza el ensayo. Por lo tanto si bien estas propiedades pueden medirse y compararse con exactitud los valores que se obtengan solo deben utilizarse para caracterizar un determinado material y verificar su estado de conservación o de mantenimiento de sus propiedades pero no para evaluar su aptitud con respecto a otras de distinta procedencia.

Para determinar la aptitud absoluta o relativa de un sistema de materiales que componen un proceso de ensayo deben evaluarse además los parámetros relativos a: características de comportamiento, características de visibilidad y finalmente verificar la sensibilidad de detección de defectos que exhibe el sistema al ser aplicado en pruebas normalizadas que tienen determinado tipo de defectos.

7.2 Parámetros relativos al comportamiento

Al hacer la evaluación de un sistema de líquidos penetrantes se deben tener en cuenta los siguientes parametros que hacen al comportamiento de los materiales en el proceso:

Tolerancia a la contaminación con agua: Los penetrantes lavables con agua y los emulsificadores están basados en la acción química de un detergente que, en el límite de la compatibilidad con agua provee una definida separación de la emulsión.

La tolerancia respecto a la adición de agua depende del penetrante y puede llegar hasta valores del 20 ó 25 %.

Una de las formas de evaluar esta propiedad consiste en colocar una muestra del penetrante (20 cc por ejemplo) en un frasco ó erlenmeyer con tapa y agregar agua en incrementos del 1 % de la muestra (0,2 cc cada vez) agitando después de cada adición y observando luego si aparece turbidez u opalescencia. El punto final de inversión del sistema, está dado por el porcentaje de agua agregado para el cual se forma una emulsión lechosa que no se clarifica al hacer un nuevo agregado de agua y que por el contrario al quedar en reposo se separa en dos fases. En algunos casos al llegarse a un cierto agregado de agua (9-10 % por ejemplo) se produce una ligera turbidez que desaparece al agregarse más agua antes de llegar al valor máximo tolerable para el cual la turbidez que aparece no es más reversible.

Esta aparición de turbidez se puede tomar como índice de excesiva contaminación durante la operación del proceso.

Lavabilidad del Penetrante

Un parámetro de mucho valor en la evaluación del comportamiento de un líquido penetrante es la facilidad de su remoción de la superficie ensayada. Para evaluarlo se puede aplicar el ensayo descrito en la norma MIL -I- 25135C.

En este ensayo se utiliza un panel de prueba consistente en una placa de acero inoxidable de 50 x 100 mm por 2 mm de espesor arenada en una de sus caras con abrasivo, malla 100, mediante una tobera ubicada en 450 mm de distancia y con una presión de 60 libras.

El panel, antes de su uso, debe ser lavado con vapor desengrasante, calentado a 105°C y enfriado a temperatura ambiente en un desecador.

El procedimiento depende del tipo de penetrante a ensayar. En el caso de penetrante removible con solvente (Clases IC y IIC) se procede de la siguiente manera:

- Se toman dos paneles colocando en uno de ellos unos 5 mililitros de penetrante a ensayar e igual cantidad de penetrante de referencia o muestra standard en el otro panel. El penetrante se deja caer a unos 10 a 20 mm de un extremo de cada panel.

- Se deja escurrir el penetrante durante 15 minutos.

- Se limpia con un trapo seco para remover el penetrante.

- Se termina la limpieza pasando un trapo humedecido en el solvente que corresponda según el proveedor.

- Se comparan ambos paneles bajo luz blanca o luz negra según el tipo de penetrante.

En el caso de penetrantes removibles con agua (IA y IIA) el ensayo se conduce así:

- Se colocan los paneles en un soporte a 45° y se dejan caer sobre los mismos uno 5 mililitros de penetrante a ensayar y standard respectivamente.

- Se deja escurrir durante unos 15 minutos.

- Se enjuaga con agua fría mediante un pulverizador a no más de 30 libras de presión.

- Se seca con aire caliente.

- Se aplica el revelador de acuerdo a la indicación del proveedor.

- Se comparan ambos paneles bajo luz blanca ó luz negra según el pigmento.

Tratándose de penetrantes post-emulsificables se procede como en el caso anterior pero se debe incluir una etapa intermedia de emulsificación.

Índice de Emulsificador: Es el % de penetrante que se puede agregar al emulsificador sin destruir su lavabilidad.

Este parámetro se evalúa en los procesos de líquidos penetrantes post-emulsificables, procediendo de la siguiente manera:

- Se preparan varias muestras del emulsificador agregando a cada una de ellas un porcentaje distinto de penetrante agitando para obtener un perfecto mezclado.

- Se deja escurrir una gota de cada una de las muestras, así preparadas, sobre un panel de acero arenado (como el descrito en el ensayo de lavabilidad)

- Se procede al lavado en las condiciones indicadas en el ensayo de lavabilidad.

- Se observa con que porcentaje de penetrante la mezcla deja de ser lavable, dejando una fuerte fluorescencia o color en el panel. Dicho porcentaje se indica como Índice de Emulsificación.

Este ensayo es válido para índices comprendidos entre 5 y 50 con error de $\pm 10\%$.

Cuanto menor sea el Índice de Emulsificación mayor será la eficiencia de detección del sistema pues menos será la probabilidad de que el penetrante que se encuentre dentro de una falla sea emulsificado y extraído por el lavado.

La eficiencia ϵ del sistema P/Em. sería indicada por la fórmula:

$$\epsilon = \frac{100 - I_e}{100} ; \text{ donde } I_e = \text{Índice de Emulsificación}$$

Mojabilidad: Este parámetro da información sobre la aptitud del penetrante para mojar la superficie a ensayar. Depende fundamentalmente de la tensión superficial del penetrante y del ángulo de contacto que forma con la superficie.

Para cuantificar este parámetro se puede medir la extensión de una gota del penetrante, sobre una superficie de condiciones estandarizadas, 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 de ensayo puede estar constituida por paneles metálicos de aluminio anodizado ó de acero inoxidable arenado, a bien por un bloque cerámico de porosidad controlada.

Los bloques cerámicos, conocidos como bloques Shannon, consisten en discos de cerámica cocida, no vitrificada con una estructura superficial constituida por microfisuras y poros cuyas dimensiones varían entre 50 y 500 milimicrones ($1\mu = 10^{-6}\text{mm}$). Estos bloques pueden ser también utilizados para ensayar la sensibilidad de penetrantes fluorescentes como veremos más adelante.

Una práctica recomendable para realizar este ensayo sería la siguiente:

- Sobre un panel arenado de acero inoxidable (preparado de acuerdo con lo descrito más adelante en el ensayo de lavabilidad) se deposita mediante una micropipeta, una gota de volumen conocido (p.ejem. $0,01\text{ cm}^3$) del penetrante a ensayar.
- A los 15, 30, 45, 60, 90 y 120 se mide el diámetro alcanzado por la gota. Para facilitar la medición se puede utilizar un compás de puntas secas.
- Se repite la medición del diámetro a los 5, 15 y 30 minutos y al cabo de dos horas se hace la medición final.
- Con los valores obtenidos se traza una curva de diámetro como función del tiempo.

- La comparación de las curvas obtenidas para distintos penetrantes de información sobre las características de mojabilidad de las mismas.

- Una lectura final al cabo de 12 ó 24 hs puede dar información adicional sobre el efecto de la evaporación en la velocidad de migración del penetrante.

En caso de desear una mayor información se puede utilizar una serie de paneles con rugosidad superficial diferente para evaluar su influencia.

Precipitación del Revelador: En el caso de reveladores húmedos acuosos o no-acuosos la evaluación de la velocidad de asentamiento del polvo en la suspensión permite obtener información sobre su calidad y además de las condiciones de trabajo. La velocidad de precipitación depende de la densidad de las partículas de su tamaño y de su concentración en la suspensión.

Usualmente la concentración del revelador es de 50 a 60 gr de revelador seco por litro de agua. Para evaluar su velocidad de precipitación se procede de la siguiente forma:

- Se agita el baño perfectamente.
- Se llena una probeta cilíndrica de 250 cc con el baño agitado.
- Se deja reposar y se mide el tiempo necesario, en minutos, para que el revelador sedimente hasta la mitad de la altura.
- Se permite que el reposo continúe durante 64 hs. para obtener información sobre la sedimentación que puede ocurrir en un baño durante el fin de semana.
- Al final del ensayo se verifica si el polvo sedimentado se ha compactado o agrumado.

Generalmente el tiempo requerido para sedimentar a la mitad es de 15 minutos y al final del ensayo no deben formarse grumos ni apelmazamientos del polvo en el fondo de la probeta.

Brillo fluorescente del Penetrante: Este parámetro caracteriza el comportamiento de un líquido penetrante fluorescente por su actividad de emisión de luz fluorescente al ser excitado con luz negra. Depende de las características del pigmento y de su concentración en el penetrante.

Su evaluación se puede hacer en forma comparativa utilizando como referencia una muestra patrón definida por un determinado pigmento fluorescente en concentración prefijada.

La comparación se puede hacer usando un Photo-fluorimetro tal como esta descrito en la sección 4.5.3 de la norma MIL-I-25135 C (ASG). Alternativamente puede ser utilizado el equipo descrito en la pag. 35 al tratar la medición de la luz negra. En este caso el procedimiento a emplear es el siguiente:

- Se preparan papeles de filtro tipo Muntkells ó Watman N° 5 en trozos de 7,5 x 7,5 mm.

- Se humedece uno de ellos con una cantidad exactamente medida del penetrante a ensayar y otro con igual cantidad del líquido patrón o penetrante de referencia.

Se dejan secar bajo una Campana infrarroja ó con aire caliente cuidando de no recalentar las muestras por encima de las 40-50°C.

- Se coloca el papel que contiene el patrón de referencia, en lugar de la pantalla fluorescente del equipo.

- Se ilumina con luz negra alimentando la lámpara con tensión regulada en 1 V aprox. y se lee la indicación del fotometro en Lux.

- Se realiza la misma operación con el papel que contiene el penetrante a ensayar.

- Se repiten alternativamente ambas mediciones por tres veces cada una.

- Se comparan los resultados tomando el valor promedio para cada muestra.

Poder cubriente

A fin de poder calcular las necesidades de líquido penetrante para efectuar una serie de ensayos, o de preveer las necesidades de reposición del mismo cuando se opera una planta 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 poder cubriente depende de la viscosidad y de la temperatura.

En la Fig. 25A se da un gráfico que permite calcular el poder cubriente de un penetrante si se conoce su viscosidad a una temperatura cualquiera. Si por ejemplo se conoce la viscosidad P_1 una temperatura de 100°F y se desea saber el poder cubriente a 70°F se debe correr el punto paralelamente a las curvas de viscosidad hasta llegar al punto P_2 que corresponde a la viscosidad a esa temperatura y bajar un paralela al eje de ordenadas hasta cortar a la curva de poder cubriente en el Punto P_4 cuya ordenada corresponde al poder cubriente buscado.

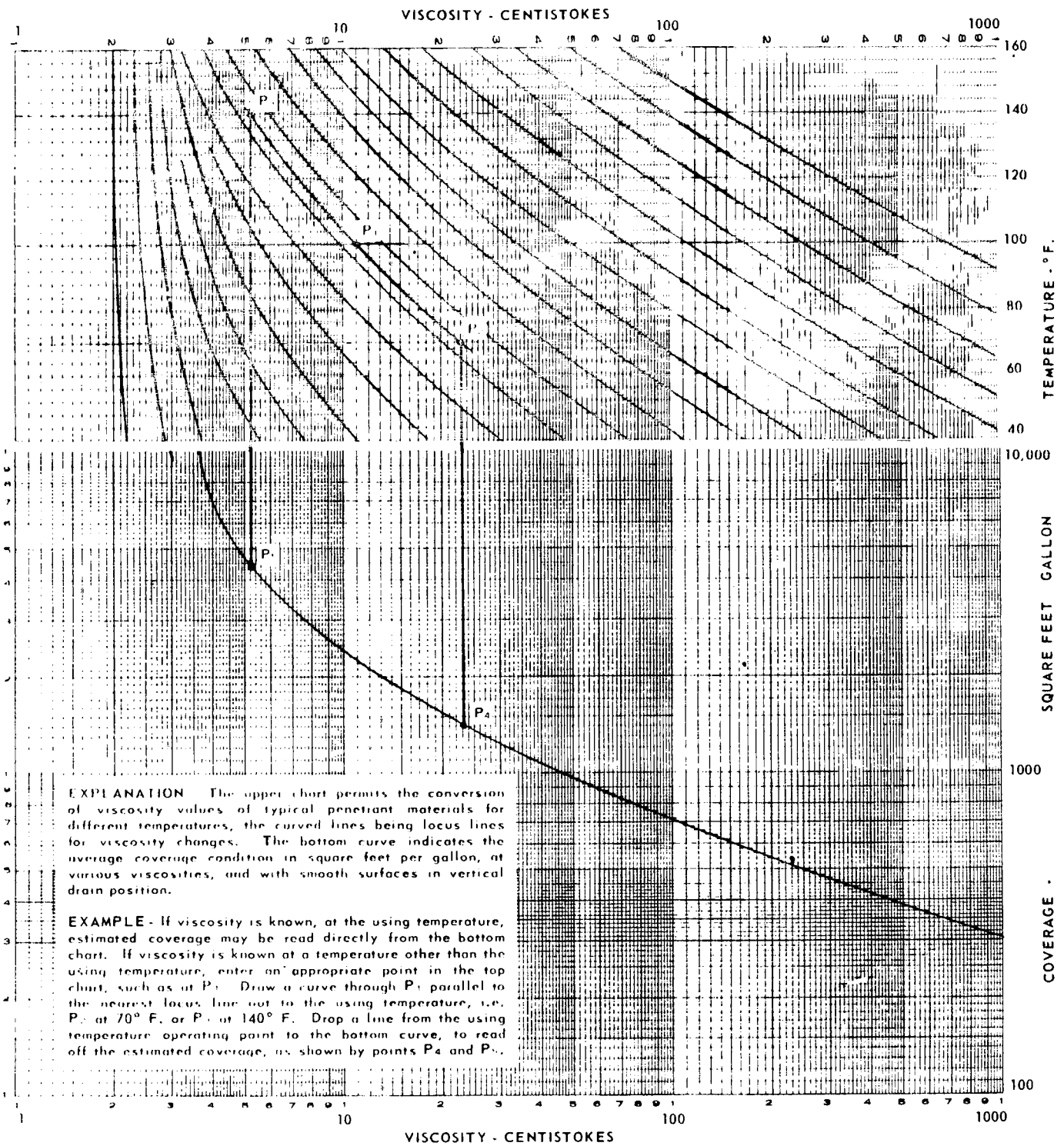


Fig. 25 A

Generalmente se pueden tomar como referencia aproximada los siguientes valores a 20°C.

Aplicación por inmersión

Penetrantes	25 - 30 m ² /litro
Revelador	15 - 20 m ² /litro

Aplicación en aerosol

Penetrante	5 - 6 m ² / por aerosol de 340 cc
Revelador	3 - 4 m ² / por aerosol de 340 cc

Si se considera el rendimiento de aerosoles en el examen de soldadura (ancho aproximado de 5 cm) se puede decir que

1 aerosol de penetrante de 340cc cubre aprox. 120 m de soldadura
1 " " revelador " 340cc " " 80 m " "

Alternativamente el poder cubriente puede ser determinado en forma experimental midiendo el volumen extraído por una pieza de superficie conocida cuando se la sumerge en el líquido y se la deja escurrir un par de minutos.

7.3.- Sensibilidad dimensional:

La sensibilidad de detección de defectos característica de un determinado sistema o proceso 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 su aplicación del tipo de defecto, y de las condiciones de observación de las indicaciones.

Como podemos inferir de lo antedicho la evaluación final de la sensibilidad de detección de defectos sólo podrá obtenerse mediante un ensayo de la performance del proceso, que incluya todos los factores enfocados y permita fijar los límites dimensionales de detección.

En la práctica resulta muy difícil, si no imposible, el diseño de un ensayo que satisfaga dicha condición, especialmente por las dificultades en preparar patrones de defectos que reproduzcan las condiciones de los defectos reales.

Una respuesta a este problema consiste en evaluar la sensibilidad dimensional mediante dos ensayos: uno que permita fijar de antemano el límite de visibilidad del penetrante y otro que permita evaluar la sensibilidad de detección de defectos en forma relacionada con las performances de los distintos procesos en el examen de bloques patrones de fisuras.

7.3.1.- Límite de visibilidad del Penetrante

La relación matemática que rige la absorción de la luz a través de capas líquidas esta expresada por una función exponencial conocida como ley de Beer (o de Lambert):

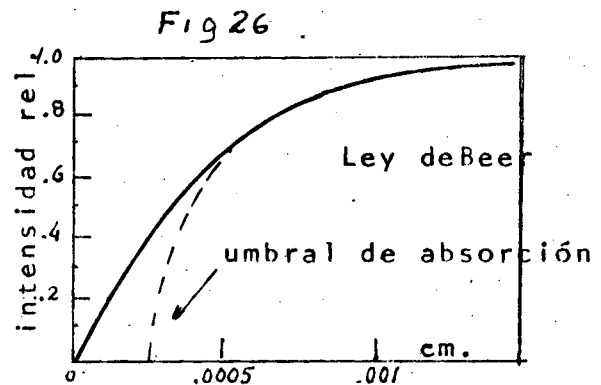
$$I = I_0 e^{-a \cdot x} \quad \text{en la cual;}$$

I = Intensidad de luz transmitida

I_0 = " " " incidente

a = coeficiente de absorción

x = espesor de la capa absorbente



El coeficiente de absorción dependerá de la concentración y de las características del pigmento y será constante para una determinada formulación del penetrante.

Tanto la respuesta de color como de fluorescencia son proporcionales a la radiación absorbida por lo tanto, en una capa de penetrante, serán también función exponencial del espesor, de acuerdo a lo expresado por la ley de Beer. Al observar el cumplimiento de esta ley se verifica que es válida para espesores relativamente gruesas pero que, para cada concentración, tanto los pigmentos fluorescentes como los coloreados muestran un umbral de espesor mínimo por debajo del cual cesa la absorción. Al existir una discontinuidad en la absorción de la luz (sea visible o ultravioleta) cesa también la respuesta de color o fluorescencia y el líquido aparece como transparente. Fig.26

Una correcta interpretación de este comportamiento discontinuo de color y fluorescencia en espesores delgados es muy importante en la evaluación de la performance del penetrante.

El resultado más significativo de este apartamiento de la ley de Beer es que los penetrantes quedan caracterizados por un límite de visibilidad de color o fluorescencia que corresponde al espesor de film líquido por debajo del cual se deja de percibir el color o la fluorescencia y que depende de la concentración y tipo de pigmento utilizado.

La sensibilidad de detección de defectos quedará limitada entonces por el mínimo espesor de película de penetrante extraída por el revelador que es capaz de brindar una respuesta de color ó brillo.

En otras palabras, ya que el espesor de la película de penetrante resultante de la retención en un defecto está relacionado con la dimensión del defecto, el límite de visibilidad define una dimensión por debajo de la cual no se pueden obtener indicaciones visibles. En la Fig. 27 se dan curvas de respuesta de distintos penetrantes en función de la dimensión de defecto equivalente al espesor de película.

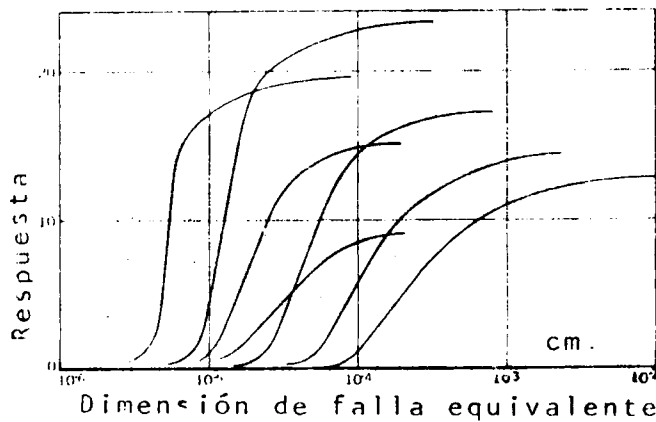


FIG.-27

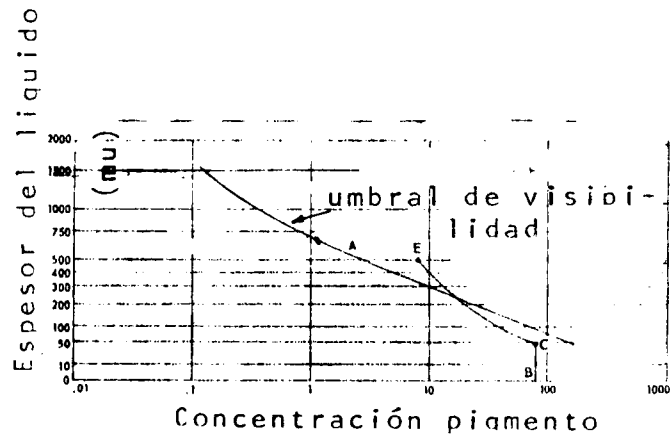


FIG.- 28

Pero esta dimensión de defecto equivalente no representa realmente la sensibilidad de detección de defecto por cuanto el límite de visibilidad que lo define puede variar durante la aplicación del penetrante debido a dilución o concentración en las etapas de remoción y revelado. En la fig 28 se da la curva de variación del límite de visibilidad de un penetrante en función de la concentración del pigmento. Estas curvas son de utilidad para evaluar el posible comportamiento de un penetrante en el proceso de aplicación.

Para la determinación del umbral de absorción ó límite de visibilidad se aplica el método del menisco.

El método se basa en medir el mínimo espesor de líquido penetrante que da respuesta de color ó fluorescencia (límite de visibilidad) como función del largo de la cuña de líquido que, formada entre el menisco de una lente y un vidrio plano, no produce absorción de luz y por lo tanto respuesta.

En la figura 29 se muestra la sección transversal del dispositivo utilizado en el método del menisco. Sobre una placa de vidrio se ha colocado una gota de penetrante y encima de la misma se apoya una lente plano convexa de 0,5 Dioptrías (radio de curvatura $R = 1,06$ m):

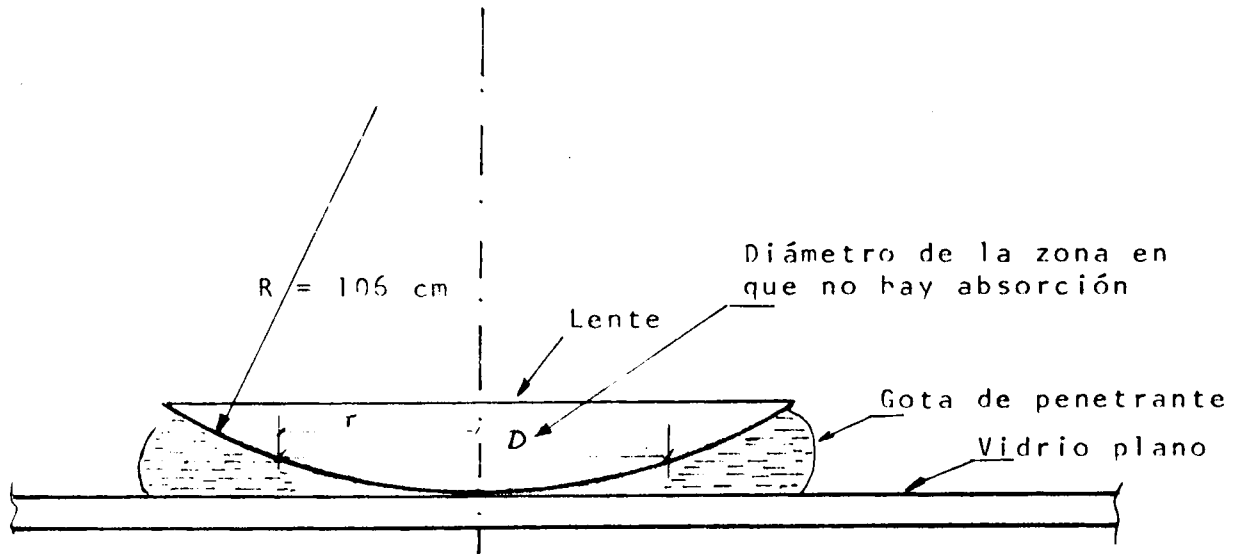


FIG.-29: Ensayo de visibilidad. Método del Menisco

Entre la curvatura de la lente y la superficie plana el líquido adopta la forma de un menisco de tal manera que el espesor del mismo aumenta al aumentar la distancia radial r al punto de contacto entre lente y vidrio.

A una cierta distancia crítica, característica, como vimos, del líquido penetrante ensayado, se encuentra un punto en el cual se produce una transición brusca entre color y no color o fluorescencia y no fluorescencia según el penetrante. Esta transición corresponde al espesor mínimo de absorción, o umbral de absorción o límite de visibilidad del penetrante.

El espesor de transición E está dado geoméricamente con suficiente aproximación por la fórmula

$$E = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \frac{1}{2R} = \frac{D^2}{8.2;106} = \frac{D^2}{848}$$

donde:

R = radio de curvatura de la lente = 106 cm

D = Diámetro del círculo no coloreado o no fluorescente que se observa en el centro de la lente (radio del "menisco") en centímetros.

Para facilitar la medición del diámetro del menisco se debe utilizar un vidrio plano blanco si se trata de ensayar penetrantes coloreados o un vidrio negro si se trata de penetrantes fluorescentes. La medición del diámetro se hace con un ocular micrométrico.

Generalmente el Método del Menisco se utiliza para hacer ensayos comparativos entre distintos penetrantes o para verificar el mantenimiento de la formulación o el estado de conservación de un mismo penetrante ya que el valor obtenido E es una función de la actividad del pigmento y de su concentración en el penetrante.

7.3.2.- Sensibilidad de detección de defectos

La sensibilidad de un líquido penetrante para la detección de defectos solo puede ser evaluada mediante la aplicación del proceso completo en las condiciones especificadas por el proveedor.

Este tipo de ensayo que se realiza mediante la utilización de bloques patrones con fisuras controladas permite además comprobar el comportamiento de los distintos materiales del proceso y evaluar la performance del proceso en su conjunto.

El punto fundamental reside en adoptar el tipo de bloque patrón adecuado para el tipo de proceso a ensayar y para el tipo de problema a que se ha de aplicar el proceso cuya sensibilidad se evalúa. Así por ejemplo si se trata de evaluar un proceso destinado a ser aplicado en la industria aeronáutica para el examen de componentes de aluminio o sus aleaciones será mucho más apropiado un bloque patrón de aluminio con fisuras de fatiga térmica que uno obtenido por fisuración de una capa de cromo depositada sobre acero ductil, no solo por el tipo de fisuras sino por el material que como ya hemos dicho influye en el ángulo de contacto del penetrante.

Existe un gran número de bloques patrones de fisura basados en distintos materiales y en distintas concepciones de diseño.

Describiremos a continuación aquellos patrones que consideramos son de mayor utilidad y/o de más fácil obtención o preparación.

7.3.2.1.- Bloques de Aluminio (MIL - I - 25135 C)

De acuerdo con la norma MIL - I - 25135 C los paneles de 3 pulgadas de largo por 2" de ancho, se cortan de una plancha de Aluminio 2024 condición T3, de 5/16" de espesor.

Cada una de estas piezas es calentada separadamente sobre un mechero de gas tipo Meker o Bunsen de manera que se caliente al menos durante 4 minutos la zona central a una temperatura de 525 grados C que se puede medir con lápiz térmico. El calor es aplicado localizadamente en el centro de la pieza puesto que se desea conseguir un gradiente térmico hacia los bordes. Cuando se ha alcanzado la temperatura buscada se temple la pieza sumergiéndola en un baño de agua fría (27 grados C. ó menos) con el propósito de conseguir en ella la producción de fisuras. Se repite luego la operación sobre la otra cara de la pieza. Puede ser necesario repetir el proceso varias veces.

Finalizadas estas operaciones se calienta el block o pieza a una temperatura moderada y suficiente para eliminar de las fisuras toda el agua contenida en ellas, dejando luego que se enfríe a temperatura ambiente.

Se toma luego la pieza y se maquina en ella una ranura a lo largo del ancho y en centro de ambas caras, la cual tiene por finalidad el poder ensayar en una forma simultánea pero sin interferencias, por ejemplo dos penetrantes. Cuando se realiza este ensayo se recomienda identificar claramente cada una de las zonas con el penetrante usado.

a) Uso de los bloques de aluminio:

Cuando se quiere analizar las propiedades de un dado penetrante, lo que se hace es aplicarlo en una de las mitades del bloque de control, mientras que en la otra mitad se coloca un penetrante de características conocidas por lo que llamaremos de control.

El orden y la forma de realizar las operaciones deberá ser idéntica a la que se empleará en la aplicación a la cual será destinada en su utilización industrial.

Además si solo se está analizando un material, por ejemplo el penetrante, todos los demás deben ser similares en ambas mitades para mantener la capacidad de comparación.

La forma general de trabajar con estos bloques es procesar ambas mitades simultáneamente (lo más posible) y luego realizar una comparación visual de los resultados. Esta comparación se verá facilitada puesto que es posible suponer, dada la forma en que se construyeron, que el mapa de fisuras es simétrico en ambas mitades. Durante la observación debe ponerse especial cuidado en el estudio de las fisuras más finas, dado que en la mayoría de los casos las indicaciones que se obtienen en la zona cercana a la de la separación de las mitades (zona de fisuras grandes), son similares a ambos lados.

La observación no debe evaluarse sólo por el brillo sino que también deberá tenerse en cuenta la definición que se haya obtenido.

b) Reacondicionamiento de los bloques:

Los mejores resultados son siempre obtenidos cuando se usan bloques nuevos, en caso de no poder cumplir con esta condición ideal, es conveniente decir que, nunca debe volver a usarse un bloque de ensayo sin reacondicionarlo de acuerdo al procedimiento que más adelante se dará.

Respecto de esto diremos que, en general, los bloques que han sido reacondicionados más que tres veces, no son ya mucho más veces confiables.

El proceso de renovación consta de las siguientes partes:

- Desengrasado con vapor
- Lavado con cepillo, jabón y agua.

- Remojar en acetona durante al menos una noche.
- Lavar con chorro de agua.
- Calentar lentamente con un quemador de gas hasta 445 grados C. y templarlo en agua fría. Calentar luego nuevamente para eliminar el agua y luego dejar enfriar.

c) Interpretación de los resultados:

Luego de realizado todo el proceso de aplicación y revelado de los penetrantes, cada bloque debe ser cuidadosamente examinado utilizando luz negra o luz blanca de acuerdo a cuales hallan sido los materiales empleados con anterioridad en la realización del ensayo.

En caso de no observarse diferencia en la indicación recibida desde el penetrante patrón, con la de la otra mitad tratada con el penetrante que se está ensayando, puede decirse que el material se encuentra en condiciones de ser usados satisfactoriamente.

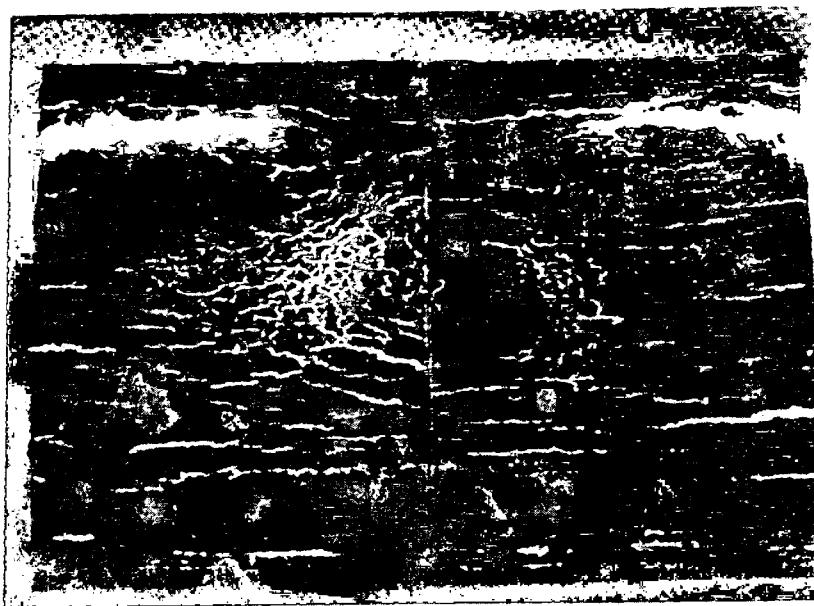


FIG.30.- Bloque patron de aluminio 2024. Comparación de dos penetrantes fluorescentes. Se puede apreciar la mayor sensibilidad del de la izquierda.-

d) Limitaciones en el uso de los bloques de aluminio:

Tal como hemos visto, los bloques de aluminio artificialmente craqueados son muy útiles en la evaluación de penetrantes y otros materiales, particularmente en la comparación de las propiedades de materiales supuestamente idénticos. Pero a pesar de todo esto, deben observarse ciertas precauciones en su aplicación y uso.

Veamos cuales son éstas:

- Las fisuras artificiales de los bloques son no uniformes por naturaleza. Es imposible hacer 2 bloques idénticos, de allí que algunos sean más eficientes que otros en la indicación de determinadas diferencias en las materiales. Es importante entonces realizar siempre una serie de pruebas con varios bloques antes de emitir un juicio definitivo, en especial si los resultados son críticos.

- Las diferencias a observar pueden ser muy sutiles, de allí que la examinación debe ser hecha por personal experimentado.

- Debe tenerse cuidado al intentar extrapolar las conclusiones obtenidas sobre comportamiento de materiales, cuando estos van a ser aplicados sobre otros elementos metálicos o no metálicos distintos que el aluminio y en otras condiciones de cuidado.

- Estos ensayos de comparación muestran solamente si los materiales tienen o no las mismas propiedades que otro tomado en ese momento como patrón.

Para determinar si unos materiales son apropiados para una aplicación deben hacerse ensayos en partes y bajo condiciones que reproduzcan lo más aproximadamente posible las condiciones reales de uso.

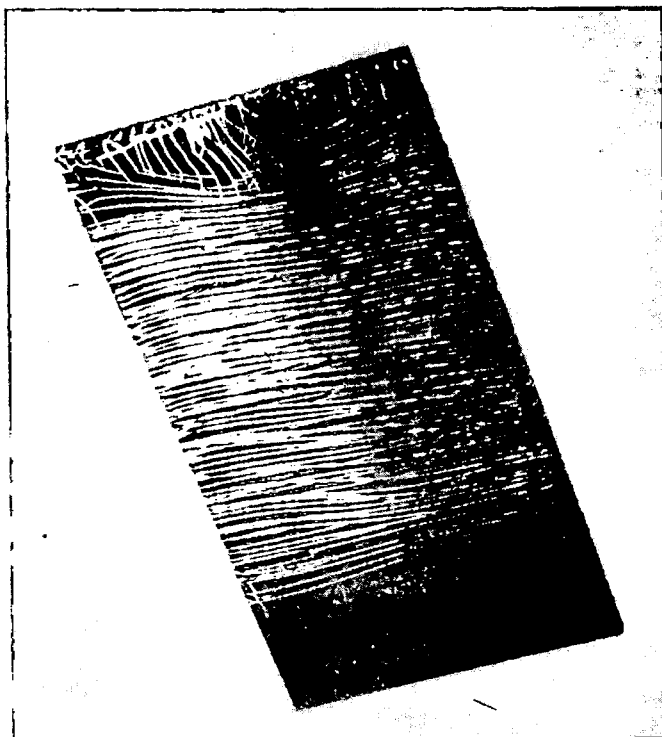


FIG.31.- Bloque patron de niquel-cromo.Comparación de dos penetrantes fluorescentes.El de laderecha no cumple con los requerimientos de sensibilidad

7.3.2.2.- Bloques de níquel-cromo

La preparación de estos bloques responde a las indicaciones de la norma MIL -8963.

Estos bloques se preparan efectuando un depósito de níquel y luego un cromado sobre una lámina de bronce.

Las dimensiones más comunes, son 0,40 mm. de espesor por 102 mm de largo y 67 mm. de ancho.

Para obtener en estos bloques distintas dimensiones y distintos tipos de fisuras se varía la composición de los baños de níquelado y/o cromado, o se varían las técnicas para realizarlos. La forma general de producir las fisuras es flexionando los bloques. Todos estos parámetros son analizados en la norma MIL antes nombrada enumerándose allí los siguientes tipos de fisuras.

- Bloques con grandes fisuras, aparecen en estas fisuras de alrededor de 11 micrones de ancho y 50 de profundidad.

- Bloques con fisuras medianas, son los que poseen fisuras alrededor de 2 o 3 micrones de ancho y 40 de profundidad.

- Bloques con fisuras finas, es decir aquellos que tengan fisuras de medio micrón de ancho y 2 micrones de profundidad.

Al igual que en otros tipos de bloques; en estos se maquina la ranura longitudinal.

En cuanto a su vida útil, la experiencia demuestra que es prolongada. O sea que pueden ser empleados repetidas veces con el mismo éxito, siempre que se cuide en cada caso de cumplir estrictamente las condiciones de reacondicionamiento.

En la Fig. 31, tenemos la comparación de sensibilidad de dos penetrantes, en un bloque de grandes fisuras ranurado para obtener dos áreas semejantes. Se observa el menor brillo de las indicaciones de la izquierda.

7.3.2.3.- Bloques de acero cromado duro

Estos bloques pueden prepararse a partir de plaquetas de acero dúctil o de acero inoxidable, de 25 mm de ancho por 75 mm de largo y 4 mm de espesor sobre una de cuyas caras hace un depósito de cromo duro cuyo espesor se puede fijar entre 0,1 y 0,5 mm según el tamaño de fisura que se desee obtener.

Las fisuras pueden ser producidas según dos procedimientos:

a) por flexión de la plaqueta. Se obtienen fisuras transversales más o menos paralelas, más juntas en la zona de mayor tensión.

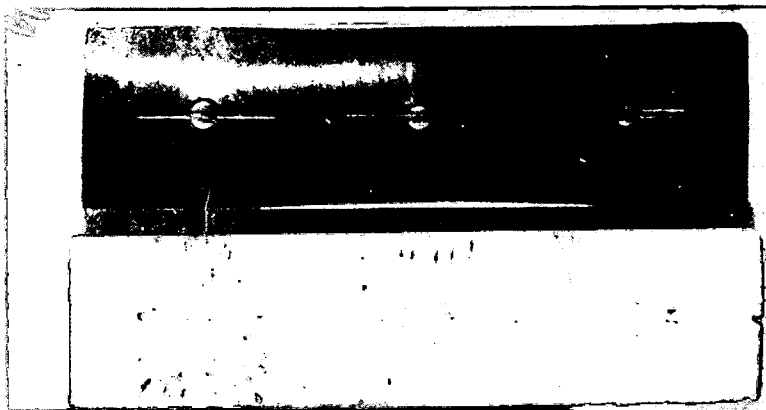
b) efectuando una impronta con una bola de dureza Brinell, de 10 mm de diámetro, sobre la cara que no ha sido cromada. Se produce sobre la capa de cromo duro un mapa de fisuras radiales con origen en el punto de aplicación de la carga. Sobre cada plaqueta se pueden hacer tres impronta con distinta carga cada una. Generalmente los valores de la carga aplicada son 500, 750 y 1.000 kg. respectivamente.

Estos bloques son muy apropiados para evaluar líquidos penetrantes que se deben usar en materiales ferrosos. Tienen además la ventaja de poder lavarse muy bien siendo muy durables, especialmente si tienen base de acero inoxidable.

Generalmente para hacer las comparaciones se usan dos bloques cuyos mapas de fisuras han sido obtenidos mediante el uso de un penetrante fluorescente de alta sensibilidad y han sido fotografiados para tener un registro. Se aplica el penetrante de referencia en uno de los bloques y el penetrante a ensayar en el otro. Se comparan las indicaciones (se fotografian si es procedente). Se lavan perfectamente y se vuelve a repetir el ensayo aplicando ahora el penetrante incógnita en el bloque que antes se usó en el penetrante de referencia y viceversa.

El lavado más efectivo se logra retirando primero el revelador con un fuerte chorro de agua o solvente (pasando un cepillo de cerda fina si es necesario). Luego se lava durante 20 a 30 minutos en un baño de detergente con agitación ultrasónica. Se enjuaga muy bien con agua. Se hace un enjuague final con alcohol puro y finalmente se seca con aire caliente. Se guarda en desecador ó en una caja hermética con silicagel.

En la figura 32 se muestra uno de estos patrones con fisuras producidas por impronta de bola Brinell.



Parte posterior de un bloque cromado

Mapa de fisuras de un bloque cromado, revelado con penetrante rojo.-

Fig.32.- Bloques de acero cromado y fisurados por impronta de dureza Brinell.-

7.3.2.4.- Bloques cerámicos Shannon

Consisten en un disco de cerámica virgen, cuya superficie aunque parezca sana tiene una estructura porosa que retiene el penetrante.

El tamaño de dichas porosidades y microfisuras va de 50 a 500 milimicrones, que caen en el umbral dimensional de los penetrantes usados comunmente.

Dado que los bloques del equipo son dos se pueden comparar con ellos simultáneamente la sensibilidad de dos penetrantes cualesquiera, observando el color o fluorescencia de las indicaciones con ellos obtenidas, sin revelado.

Forma de uso:

- sacar el disco del estuche usando la pinza y evitando el contacto con los dedos.
- pasar un paño sobre el disco para quitar la humedad y polvo que pudiera acumularse.
- hacer una pequeña marca con lápiz en una de las caras del disco para identificarla.
- aplicar una gota del penetrante a comparar, con pincel o isópo y dejar penetrar 2 a 10 minutos, cubriéndolo para evitar la evaporación.
- lavar con el procedimiento normal para ese penetrante (agua, solvente ó emulsificador y agua). No usar revelador.
- escurrir y secar al aire.
- Obsevar con el medio adecuado (luz normal ó ultraviola) y evaluar el número de porosidades y fisuras, además de su nitidez.
- Luego de usado, colocar el disco en el pote y cubrirlo con alcohol, dejándolo varias horas, con lo cual desaparecerá el penetrante retenido en las fisuras. Sacar el bloque del alcohol, secarlo y verificar la limpieza, iluminándolo con luz negra si se ha empleado tinta fluorescente. Guardarlo nuevamente en el pote sin tocarlo con las manos.

Estos bloques cerámicos, como hemos visto antes también pueden ser utilizados para el ensayo de mojabilidad.

REFERENCIAS

- 1.- E.W.Washburn; Phys. Rev. 17 p 374 (1921)
- 2.- E.K. Rideal; Phil Mag. 44 p 1152 (1922)
- 3.- W.H. Banks; Brits.J. app, Phys. Suppl. N°6 p 523
- 4.- J.O.Hislop; Brit. J. of NDT, Vol 12 N° 2 p 42/51 (1970)
- 5.- Pasley, R.L.; Non destructive testing, 1973, 7-26.
- 6.- C.E. Betz, "Principles of Penetrants" Magnaflux Corp. (1963)
- 7.- Shanon Luminous Materials Co. Bulletin 651118 - U.S.A.
- 8.- W.E.Thomas, "An Analytic Approach to Penetrant Performance",
Lester Woner Lecture - British Society of Non destructive
testing.
- 9.- R.C. McMaster, Non destructive Testing Handbook, Vol 1
The Ronad Press Co. 1963 N.Y.
- 10.- R.T. Fricker "Evaluation of high Sensitibity Water Washable
Fluorescent Penetrants" Materials Evaluation Sep., 1972
- 11.- N.H. Hyam; "Quantitative Evaluation of Factors Affecting Sensi
vity of Penetrant Systems" 30th Fall Conf. of ASNT, Oct. 1970