

04.73.03

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1973

INEND/A-3

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

CURSOS DE RECICLADO

para

PROFESIONALES DE LA INDUSTRIA

"Ensayos por Líquidos Penetrantes"

Ing. Norberto Curto

Instituto de Ensayos no Destructivos y Control de Calidad
Proyecto ARG/71/537-PDNU
OIEA - UNIDO

Departamento SATI
Gerencia de Tecnología
Argentina

- 1973 -

INEND/A-3

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

CURSOS DE RECICLADO

para

PROFESIONALES DE LA INDUSTRIA

"Ensayos por Líquidos Penetrantes"

Ing. Norberto Curto

Instituto de Ensayos no Destructivos y Control de Calidad
Proyecto ARG/71/537-PDNU
OIEA - UNIDO

Departamento SATI
Gerencia de Tecnología
Argentina

- 1973 -

I - Introducción.

La inspección con penetrantes es un método de ensayos no destructivos que puede usarse para la detección de discontinuidades o fisuras superficiales o subsuperficiales que estén comunicadas de alguna manera con el exterior, lo cual se justificará al estudiar sus principios de aplicación.

Puede considerarse al uso de penetrantes como una extensión o perfeccionamiento de la inspección visual, ya que solamente en muy contadas ocasiones es posible detectar con los penetrantes, discontinuidades que no pueden encontrarse con una inspección visual realizada concientemente. Lo que ocurre es que el penetrante delinea la discontinuidad en forma mucho más visible, permitiendo de esa manera que el éxito de la inspección dependa en mucho menor grado del factor humano, además de acelerar notablemente la operación.

Las técnicas de penetrantes son aplicables a todos los metales, cerámicas vitrificadas, plásticos y cualquier otro material no poroso. A pesar de esto, debemos decir que existen penetrantes especiales de aplicación en materiales porosos, tales como cerámicas no cocinadas.

Además se infiere de lo dicho recién que un método de penetrantes es aplicable tanto a materiales magnéticos como no magnéticos.

Entre las principales virtudes de este método diremos que es de fácil aplicación, rápido, relativamente barato y además confiable.

Respecto de sus desventajas es dable afirmar que éstas están fundamentalmente relacionadas en la limitación de detección de defectos puramente superficiales o conectados con ella: Además todo defecto localizado con penetrantes, o sea su indicación, no brinda una información completa y confiable de las dimensiones de la falla indicándonos sólo su localización, o sea es un método cualitativo. (Cosa que tampoco hacen la mayoría de los demás métodos de Ensayos No Destructivos). A pesar de esto, como veremos más adelante, la observación de la indicación por un inspector experimentado, puede llevar a una más completa obtención de datos respecto a ancho, profundidad, etc. de la falla.

Las técnicas con penetrantes pueden usarse para localizar fisuras de amolado, fisuras de soldadura, fisuras en fundiciones, fisuras en piezas sometidas a fatiga, rechupes, poros, falta de unión, marcas de herramientas, etc. con la condición ya remarcada, de que se comuniquen con la superficie.

Como dato confirmatorio de las bondades de este método de ensayos no destructivos diremos que con él, es posible detectar fisuras cuyo volumen total es solamente del orden de una millonésima parte de un centímetro cúbico. (10^{-6} cm³).

En conclusión puede decirse que el advenimiento del método de penetrantes para la detección no destructiva de fallas, ha tenido una aceptación notable y ha revolucionado las técnicas de inspección, particularmente donde los materiales no ferrosos son los que se deben inspeccionar.

Y decimos esto, porque siempre que sea posible aplicar el método de partículas magnéticas, al permitirlo la geometría de la pieza y ser material ferromagnético, debe utilizárselo en una primera aproximación, para detectar tanto discontinuidades superficiales, como subsuperficiales no comunicadas con la superficie. Y sí, como un segundo paso, si se lo cree necesario, utilizar los penetrantes para diferenciar entre ambos tipos de discontinuidades.

Además ha ayudado a su éxito la posibilidad de aplicación aún en aquellos lugares donde no hay fuentes de energía eléctrica, lo cual descalifica a casi la totalidad de los demás métodos de ensayos no destructivos.

Además es el único método independiente de la geometría y tamaño de la pieza a inspeccionar, lo cual no puede decirse de la radiografía, partículas magnéticas, ultrasonido o corrientes parásitas, ya que para ellos la geometría de la pieza es la primera condición y limitación a estudiar, para la aplicación de alguna de sus técnicas.

En lo que sigue del texto trataremos de dar un desarrollo de todo lo referente a este método y sus diferentes técnicas, para alcanzar en su aplicación, una sensibilidad en la detección de defectos superficiales que sería imposible lograr con otros métodos. Puesto que se demuestra que defectos que son muchas veces más pequeños que los detectables con corrientes parásitas o ultrasonido y ciertamente no son detectables con radiografía, pueden realmente encontrarse con el método de líquidos penetrantes.

Resaltando las palabras de J. D. Hislop, experto de las Naciones Unidas a cargo de nuestro proyecto Instituto de Ensayos No Destructivo, en la Comisión Nacional de Energía Atómica, diremos que en lo referente a esta técnica, el método de penetrantes es entre los no destructivos, del que más se abusa en la práctica, el menos entendido por quienes lo usan y el menos apreciado por aquellos que lo consideran de limitada importancia. Todo esto, cuando podría decirse que es el método más poderoso y el que más facilidades de utilización ofrece entre los no destructivos, cuando las etapas son llevadas a cabo en las formas apropiadas.

II - Historia.

Recorriendo hacia los orígenes, los caminos seguidos por los ensayos no destructivos, podremos ver que el basado en el uso de penetrantes es uno de los más antiguos.

Tiene éste su iniciación en un proceso desarrollado especialmente para aplicar en piezas de acero, en particular de la industria ferroviaria, que era la floreciente en aquellos momentos, y en los talleres de automotores en nuestra patria. Su nombre era Método de aceite y blanqueo.

De ninguna manera éste era caprichoso sino que describía fielmente el proceso a seguir, puesto que el penetrante usado era una mezcla de 25% de aceite y 75% de kerosene calentado a cerca de 80° C. Luego de esto se sumergía en él la pieza a ensayar durante 20 minutos o más, con el propósito de dar el tiempo necesario para

lograr una buena penetración en las discontinuidades. Cumplida esta etapa se extraía la pieza del baño, se retiraba todo el exceso de la mezcla de su superficie y se colocaba sobre ella otra mezcla ahora de talco o tiza con alcohol. Al evaporarse éste, la pieza quedaba "blanqueada" por una fina capa de talco o tiza, la cual actuaba como absorbente, extrayendo el penetrante de las discontinuidades y evidenciando su presencia con el oscurecimiento de la cobertura blanca.

Pero si bien este método en aquella época cubrió una imperiosa necesidad, su sensibilidad es probadamente baja, debido, entre muchas razones, a que las indicaciones de las discontinuidades, que en el mejor de los casos aparecen como manchas grises oscuras en un fondo gris claro, no están lo suficientemente bien definidas como para hacer infalible la detección de pequeñas discontinuidades, especialmente cuando se ensayan piezas oscuras.

Hacia 1930 aparece al mundo el método de partículas magnéticas, que ^{en}desplaza una gran cantidad de aplicaciones con grandes beneficios, a nuestra primitiva técnica de penetrantes. Pero esto no significó la muerte del método, sino que evidenció lo pobre de una técnica, la cual debía ser reemplazada por otras más eficaces, pues en especial los materiales no ferromagnéticos reclamaban por ella.

Así en 1941 Robert C. Smitzer y Joseph L. Smitzer desarrollan un penetrante notablemente mejorado, siendo su principal contribución la de haber agregado una tinta fluorescente en el penetrante, aunque también trabajaron con el agregado de tintas visibles con luz normal.

Todo se encontraba en este estado hasta que la Segunda Guerra Mundial y el crecimiento de la industria de la aviación le dieron un impulso notable. De esta manera llega a nuestros días con todas esas características que recién remarcamos en la introducción.

III - Teoría y principio de funcionamiento:

Tal como hemos anticipado, la base funcional de este método de ensayos no destructivos consiste en el llenado por medio de un penetrante, de discontinuidades comunicadas con la superficie. Y además, como etapa subsiguiente su extracción de esos lugares por medio de sustancias absorbentes, que daremos en llamar reveladores.

No nos ocuparemos aquí, en este punto, de estudiar las propiedades específicas de estos elementos, sino que intentaremos realizar una descripción del fenómeno físico a través del cual tiene lugar el proceso de penetración de las causas o fenómenos que pueden actuar sobre él, o sea centraremos nuestro estudio en intentar ahondar en el concepto de penetrabilidad.

Para comenzar es conveniente remarcar que el penetrante no siempre llena completamente las fallas, especialmente las fisuras. Y además, que esto está relacionado con las diferencias de habilidades que tienen los distintos penetrantes para indicar pequeñas fisuras.

El intentar explicar estas diferencias por una no intencional remoción de los penetrantes no es suficiente, puesto que las más anchas donde este fenómeno debería darse con mayor facilidad son justo las que tienden a no presentar diferencias marcadas con el cambio de penetrantes. Luego puede suponerse que la razón estaría radicada en la penetrabilidad del penetrante o sea la profundidad hasta la cual éste llega.

El estudio más extenso sobre penetración fue el realizado por Mc Cauley y Van Winkle, conducido por la Fuerza Aérea en la Universidad del Estado de Ohio. La primera fase de este trabajo relaciona el proceso de penetración con las propiedades de los penetrantes.

Ambos presentan el estudio basándose en los clásicos conceptos de mojabilidad de superficies y tensiones superficiales. Por lo cual sería necesario realizar una breve reseña acerca de cada uno de ellos.

Así digamos de la tensión superficial que es una consecuencia de las fuerzas de cohesión molecular, pues aunque existe la atracción de masas donde la fuerza es directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre centros, ésta no se tienen en cuenta, o sea sólo se consideran las acciones electroquímicas que se ejercen entre las moléculas en el seno del líquido, para distancias muy pequeñas entre ellas. Así, allí, cada molécula está sometida a la acción de las que la rodean, acciones éstas que para cada molécula corresponden a las acciones de otras encerradas en una esfera de radio r , que llamaremos radio de acción.

Es conveniente decir que todas estas acciones se equilibran para una molécula sumergida y también sumergida la esfera de radio r .

Pero en aquellas moléculas cuya distancia a la superficie es menor que r , las acciones de las restantes no se equilibran sino que dan una resultante dirigida hacia el interior del líquido, normal a la superficie.

Resultante ésta que alcanza su valor máximo cuando la molécula está en la superficie.

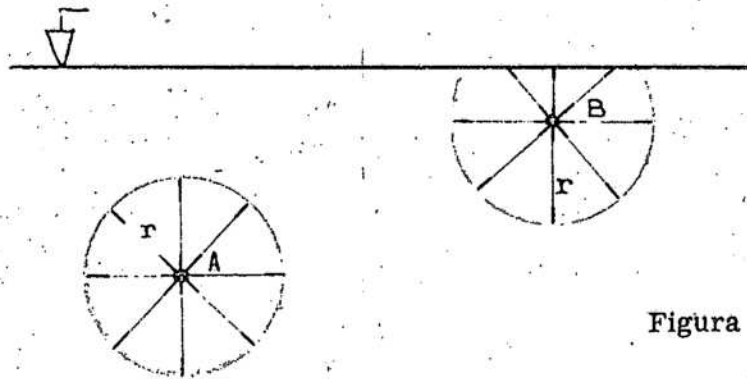


Figura 1

El líquido se encuentra pues, sometido a la acción de una fuerza hacia el interior y cada molécula superficial sometida a la acción de las moléculas que la rodean en la superficie, lo que da origen a la tensión superficial.

Todo esto nos dice que si queremos formar una superficie libre en el interior de un cuerpo líquido habrá que ejercer un trabajo para vencer la atracción interna entre las moléculas que ahora van a estar a ambos lados de la superficie de separación.

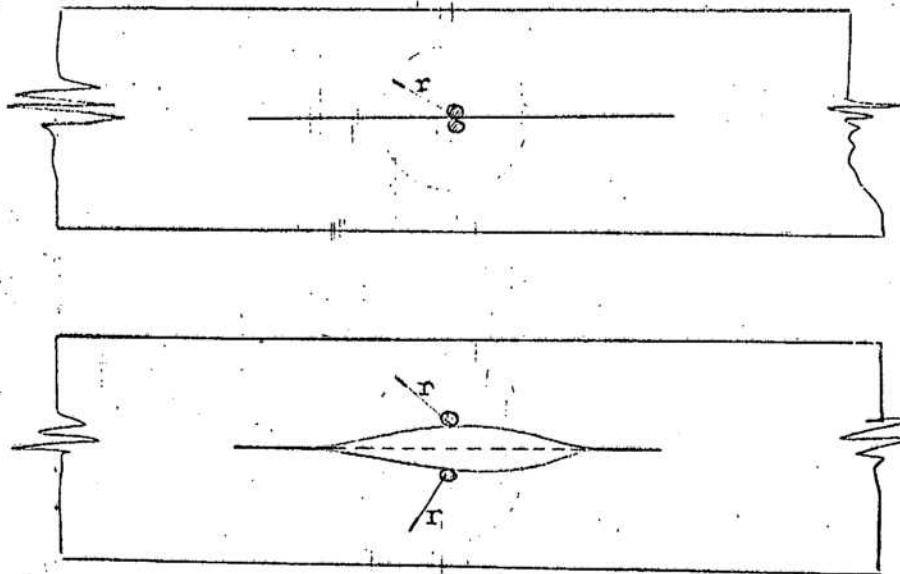
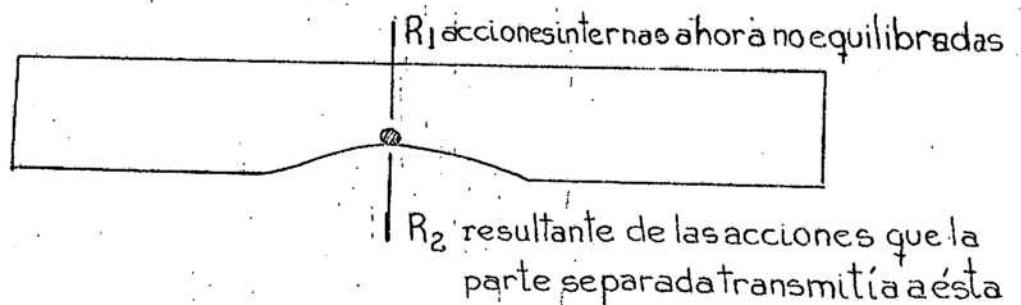


Figura 2



Para vencer esta fuerza es que debe realizarse un trabajo, pues debe entregárselo hasta retirar ambas superficies de las zonas de mutua influencia. Luego de esto quedará que la molécula se encuentra solicitada hacia el interior por una fuerza igual y contraria a la que ejercía la otra superficie.

Vemos entonces que la existencia de una superficie libre implica la existencia de una energía, llamada energía superficial, cuya magnitud es igual al trabajo que fue necesario entregar para formarla. O sea esa energía se liberaría si se volviera a unir ambas superficies.

Designando como σ a esta energía por unidad de superficie, el trabajo que hay que realizar W , por ejemplo para producir la separación de una columna líquida en una sección transversal A , dada, sencillamente será, $2A\sigma$, puesto que se formarán entonces, dos superficies libres, cada una con un área A . La cantidad

$$\frac{W}{A} = 2\sigma$$

se llama trabajo de cohesión del líquido.

Debido al fundamento molecular de esta energía superficial es natural que la magnitud de σ dependa para una superficie líquida, no sólo de la fuerza de atracción entre las moléculas del líquido mismo sino también de la fuerza de atracción entre las moléculas líquidas y las del medio del otro lado de la superficie. En el caso de que el otro medio sea vapor, σ representará únicamente la atracción entre las moléculas líquidas.

En cambio, en el caso de contacto entre dos líquidos distintos, la fuerza de atracción entre las moléculas del uno y del otro, puede ser mayor o menor que entre las moléculas del mismo líquido.

Para efectuar la separación de dos líquidos según una superficie de área A , el trabajo que se necesita realizar será igual a la diferencia entre la energía superficial final de las dos superficies libres $A(\sigma_a + \sigma_b)$ y la energía superficial inicial $(A\sigma_{a,b})$. Luego

$$\frac{W_{ab}}{A} = \sigma_a + \sigma_b - \sigma_{ab}$$

donde $\frac{W_{ab}}{A}$ puede considerarse como el trabajo de adherencia entre los dos líquidos.

Observando la expresión anterior puede decirse que cuanto más pequeño sea W_{ab}/A menor será la energía a entregar para conseguir la separación, o sea a medida que σ_{ab} se acerca $\sigma_a + \sigma_b$, menor es la adherencia entre los fluidos.

Esto sería porque σ_a es la energía que entregaría el líquido A para unirse con el B y σ_b es lo mismo del B respecto del A . O sea la suma es la energía aportada por los líquidos para la unión. Si además σ_{ab} es la tensión que existía durante la unión entre ambos, lógicamente la diferencia entre estos valores, será lo que hay que agregar para conseguir la separación y restituir las condiciones iniciales.

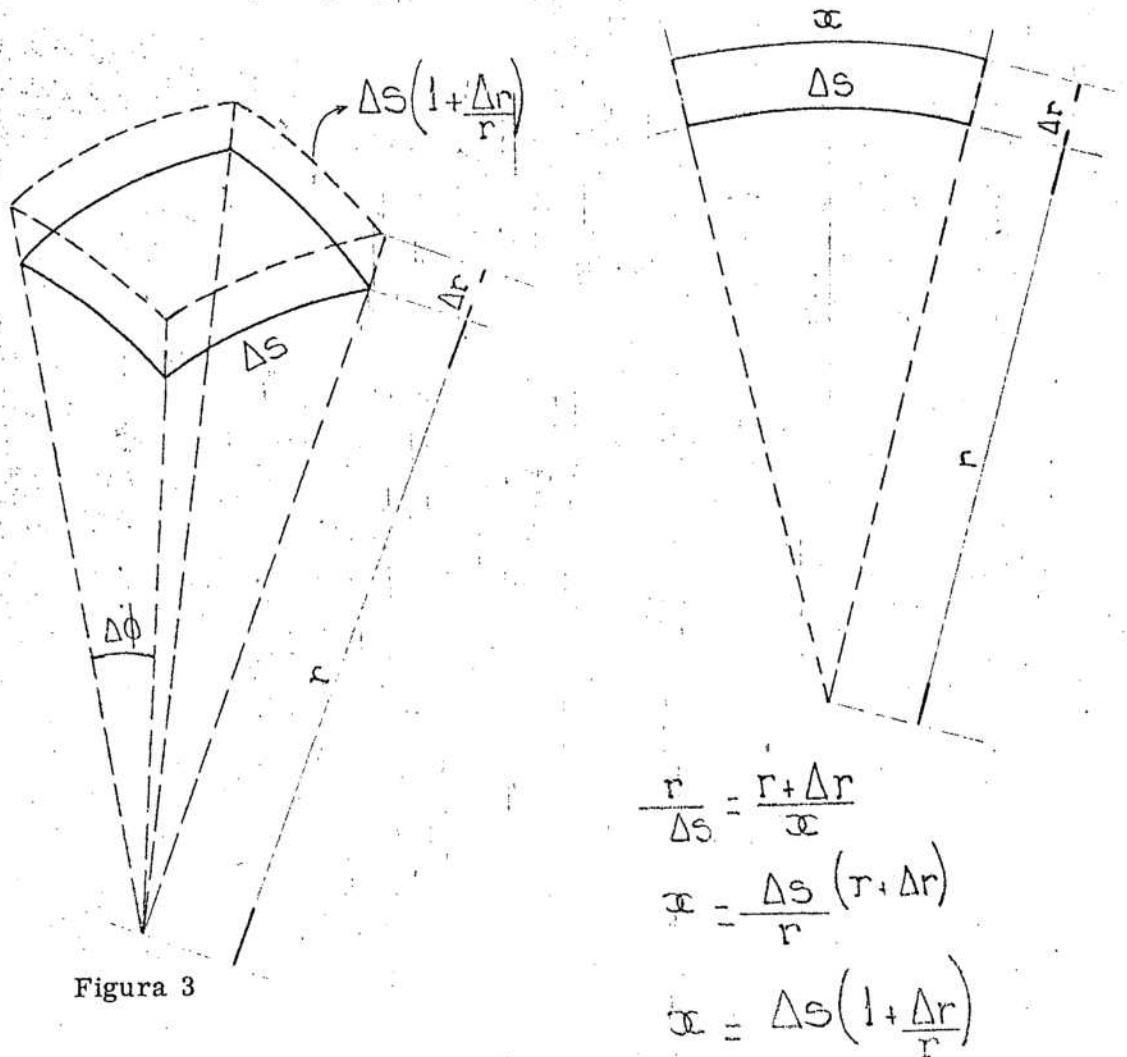
Resulta que si $\sigma_{a,b}$ se hace cero o negativa, las moléculas entre ambos fluidos resultan tener una atracción recíproca tan grande, como la que existe entre las moléculas de un mismo líquido, la posibilidad de mezcla es entonces perfecta y desaparecen las superficies de separación y entonces desaparece la tensión interfacial.

Veamos ahora un aspecto de importancia en todo este estudio que es la existencia de una fuerza resultante normal a la superficie (para adentro) que requiere en el seno del fluido de otra igual y opuesta, si es que se quiere alcanzar un estado de equilibrio estático. Hay pues que tener en cuenta que en el seno de toda masa líquida, existirá una presión interna de tal magnitud que equilibre a las fuerzas superficiales debidas a la atracción molecular no equilibrada, o sea a la tensión superficial.

Siempre que la superficie considerada sea plana, la magnitud de esta presión debido a fuerzas moleculares, no sólo será muy pequeña, sino también imposible de medir directamente.

Con superficies curvas, por el contrario, la presión resultante será perceptible y posible de medir, ya que la presencia de esta curvatura es a su vez la causa de una variación adicional de presión y el medio de calcularla.

Consideremos por ejemplo



La energía superficial que representa será sencillamente

$$\sigma (\Delta s)^2$$

Si la superficie se desplaza una cantidad real Δr , aumentado su área, la energía será ahora

$$\sigma \left(\Delta s + \Delta s \frac{\Delta r}{r} \right)^2$$

Si el trabajo en contra de las fuerzas intermoleculares que implica esta variación de energía superficial, está realizado únicamente por la fuerza radial

$$\Delta p (\Delta s)^2$$

debida a la diferencia de presiones entre las caras cóncava y convexa de la superficie de separación, tendremos

$$\begin{aligned} \Delta p (\Delta s)^2 \Delta r &= \sigma \left(\Delta s + \Delta s \frac{\Delta r}{r} \right)^2 - \sigma (\Delta s)^2 = \\ &= \sigma \left[(\Delta s)^2 + \frac{2}{r} (\Delta s)^2 \Delta r + (\Delta s)^2 \left(\frac{\Delta r}{r} \right)^2 \right] - \sigma (\Delta s)^2 = \\ &= \cancel{\sigma (\Delta s)^2} + \frac{2\sigma}{r} (\Delta s)^2 \Delta r + \sigma (\Delta s)^2 \left(\frac{\Delta r}{r} \right)^2 - \cancel{\sigma (\Delta s)^2} \end{aligned}$$

$$\Delta p \cancel{(\Delta s)^2} \Delta r = \frac{2\sigma}{r} \cancel{(\Delta s)^2} \Delta r + \sigma \cancel{(\Delta s)^2} \left(\frac{\Delta r}{r^2} \right)$$

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r} + \frac{\sigma \Delta r}{r^2}$$

si $\Delta r \rightarrow 0$

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r}$$

con lo cual se demuestra que la presión siempre es mayor del lado cóncavo.

Veamos ahora los conceptos de la adhesión y la cohesión (mojabilidad).

Hay un concepto que se ha utilizado durante mucho tiempo para explicar los fenómenos del comportamiento superficial de los fluidos y es aquél que supone la existencia de una membrana elástica que cubra los líquidos. Concepto éste que a pesar de no ser correcto conceptualmente es útil en las determinaciones cuantitativas. Así por ejemplo un caso, en el cual no resulta fácil, utilizando el concepto visto de energía superficial, es el que plantea el problema del llamado ángulo de contacto entre un sólido, líquido y gas.

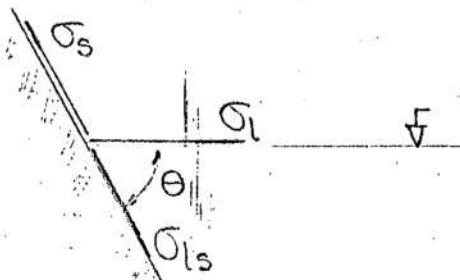


Figura 4

Supongamos ahora tensiones hipotéticas por unidad de longitud, como las de la figura anterior, teniéndose entonces

$$\sigma_s = \sigma_{ls} + \sigma_l \cos \theta \quad \triangle$$

que reemplazado en la

$$\frac{W_{ab}}{A} = \sigma_a + \sigma_b - \sigma_{ab}$$

que nos da la energía necesaria a entregar para separar ambas superficies, donde es ahora

$$\sigma_a = \sigma_l \text{ (líquido)}$$

$$\sigma_b = \sigma_s \text{ (sólido)}$$

será

$$\frac{W_{ls}}{A} = \sigma_l + \sigma_s - \sigma_{ls}$$

llegamos a que

$$\frac{W_{ls}}{A} = \sigma_l + \cancel{\sigma_{ls}} + \sigma_l \cos \theta - \cancel{\sigma_{ls}}$$

$$\frac{W_{ls}}{A} = \sigma_l (1 + \cos \theta)$$

y a la vista del diagrama se tiene que si la atracción entre las moléculas líquidas y sólidas es igual o mayor que la que existe entre las moléculas líquidas, o sea la tensión superficial σ_l tiende a ser pequeña, por lo que el ángulo de contacto tenderá a hacerse nulo permitiendo que se acueste y equilibre a σ_s con su componente.

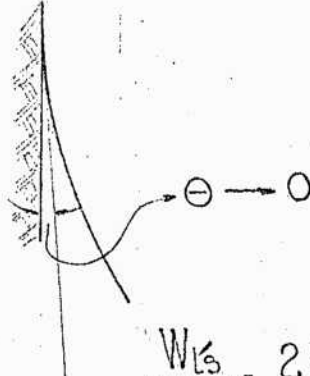


Figura 5

es decir será

$$\frac{W_{ls}}{A} = 2\sigma_l \quad (\text{osea será máxima})$$

que es el trabajo de cohesión del líquido con el sólido se dice entonces que el líquido moja al sólido.

De igual forma si la adherencia entre el líquido y el sólido tienen un valor igual a la mitad de la cohesión, el ángulo de contacto será $\pi/2$ y el

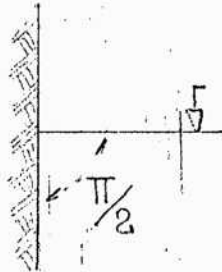


Figura 6

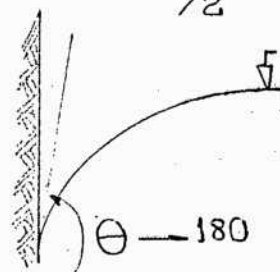


Figura 7

mojado será incompleto. A pesar de que la fuerza de adherencia entre algunos líquidos y sólidos sea relativamente pequeña nunca puede ser nula. Por lo tanto un ángulo de contacto de 180° nunca puede alcanzarse prácticamente, el grado de mojado es, entonces tan sumamente pequeño que puede despreciarse. Por ejemplo, una superficie limpia de cristal quedará mojada por completo por el agua pero sólo imperceptiblemente por el mercurio.

Vemos entonces en razón de todo lo anterior, cuál es el origen de los diferentes ángulos de contacto en función de las relaciones entre las tensiones superficiales del sólido, del líquido, ambos con el aire y del sólido y del líquido entre sí, en la zona de contacto.

Para comprender lo anterior es conveniente recordar en todo momento que de la expresión

$$\frac{W_{ab}}{A} = 2\sigma_a$$

tenemos que es una medida de la capacidad de cohesión del medio de sus moléculas entre sí y de éstas con el medio que las rodea.

O sea que si σ_s es la capacidad de unión entre las moléculas del sólido y

aire (a mayor σ menor cohesión) y σ_{ls} entre el sólido y el líquido, el ficticio balance de fuerzas presentado en una figura anterior puede razonarse de la siguiente manera. Partiendo de una supuesta distribución original inestable

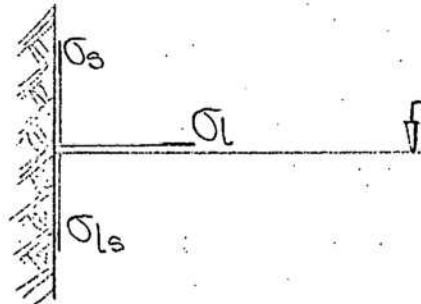


Figura 8

De acuerdo a que

$$\sigma_s \geq \sigma_{ls}$$

el líquido desplazará al aire de la unión con el sólido o viceversa. Así si

$$\sigma_s > \sigma_{ls}$$

tendremos que el líquido irá a desplazar al aire de la unión con el sólido, consiguiendo así mojar la superficie y llegando a

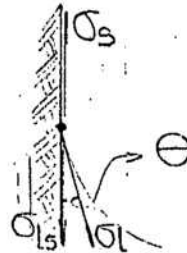


Figura 9

donde σ_l se inclinará un ángulo tal que con su valor proyectado consiga llegar a equilibrar esa diferencia.

En la misma forma puede explicarse el caso en que

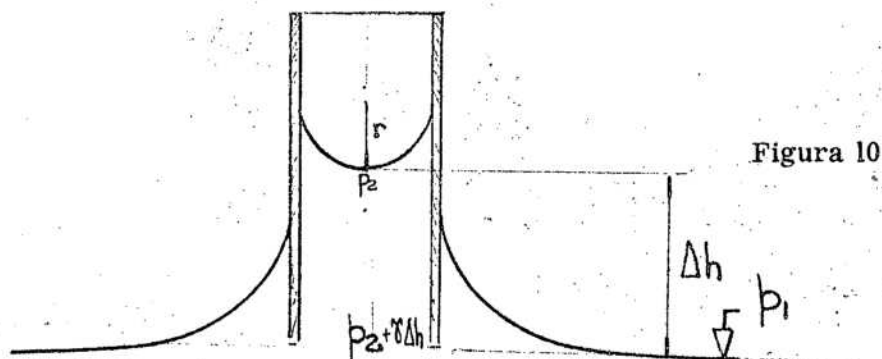
$$\sigma_s < \sigma_{ls}$$

y

$$\sigma_s = \sigma_{ls}$$

Ascensión capilar de los líquidos.-

Quizás la aplicación más importante del principio de la adhesión sea la ascensión capilar de líquidos en tubos y en los intersticios de los materiales porosos. Si un tubo tiene un diámetro muy pequeño y el líquido moja por completo su contorno interior, la superficie curva o menisco del líquido tendrá una forma semiesférica como indicamos en la figura siguiente



como la presión en el interior del líquido, justamente debajo de la superficie libre ha de ser más pequeña que encima, de acuerdo con la ecuación

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r}$$

y como la presión del líquido a una altura determinada ha de ser la misma en el interior y en el exterior del tubo, se deduce que el menisco de la columna líquida estará situado a un nivel superior al de la superficie libre del líquido exterior. El valor de esta diferencia de niveles puede calcularse

$$p_1 = p_2 + \gamma \Delta h$$

$$p_1 - p_2 = \gamma \Delta h$$

$$\Delta p = \gamma \Delta h - \frac{2\sigma}{r} \quad \Delta h = \frac{2\sigma}{\gamma r}$$

debiendo considerarse que sólo es exacta cuando el radio del tubo se hace infinitesimal. Aunque el error que se cometa sea despreciable para radios finitos muy pequeños, al aumentar el radio, se producirá una forma superficial bastante distinta de la semiesférica, aumentando gradualmente el radio de curvatura en el centro del menisco con respecto al radio de la zona en contacto con el contorno, debido a la influencia niveladora de la gravedad sobre una superficie de líquido cualquiera.

Hay también que tener en cuenta que esta forma de la ecuación se limita a líquidos que mojen por completo el contorno y ha de ser modificada para ángulos de contacto que sean mayores que cero. Un dato de importancia es que la menor traza de suciedad en la superficie de contacto de un líquido con un sólido puede variar el ángulo de contacto en forma apreciable, variando los efectos de la capilaridad.

Como regla general, por lo tanto, podemos decir que al medir la elevación capilar de líquidos en tubos, se llega a un valor siempre menor que el que da el cálculo para unas condiciones de limpieza química absoluta.

Por otra lado, si el grado de mojado es despreciable ($\Theta \rightarrow 180^\circ$) existirá una depresión capilar, siendo entonces, prácticamente será

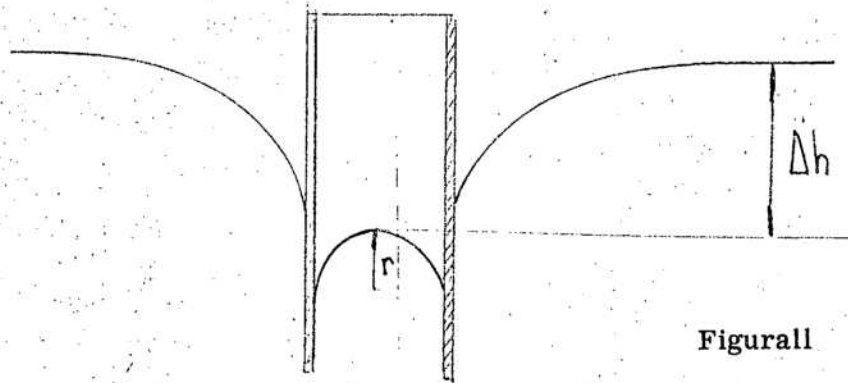


Figura 11

Adquiridos estos conceptos veamos cómo son manejados por aquellos investigadores con el propósito ya anunciado de estudiar la penetrabilidad de los penetrantes.

Así ellos tomando la ecuación Δ definen a la energía libre de inmersión por unidad de superficie, como

$$E_i = \sigma_s - \sigma_{ls}$$

y recordando la misma nos va a quedar que

$$E_i = \sigma_l \cos \theta$$

al cual ambos investigadores han definido como parámetro de penetrabilidad estática.

P.P.E. Y lo hacen en base a la explicación de que es la diferencia entre las σ_s y σ_{ls} la que originando un θ de contacto dan origen al Δp que provoca el ascenso. O si no que la fuerza (como dice Estermann en Methods of Exp. Physics), que origina la penetración es $2\pi r(\cos\theta)\sigma_l$ la cual crece hasta equilibrar el Δp . (Para esto se acepta la analogía de la membrana.)

Los penetrantes que mojan la superficie de la parte liberarán esta energía cuando el penetrante cubre la superficie y presumiblemente penetrará en las fisuras. Se dice entonces que el P.P.E. es una medida de la fuerza que conduce al penetrante dentro de la fisura en sus estrechas secciones y a lo largo de su longitud, desplazando el aire atrapado y/o absorbiéndolo a través de la interface.

Además el P.P.E. es también un término proporcional a la fuerza que acelera al líquido dentro del tubo capilar durante la primera fase de flujo y aparece en una adaptación de la ecuación de Ligenza y Berustein de la velocidad de ascenso (dh/dt) de un líquido en capilaridad vertical, al entrar un líquido penetrante en una fisura de ancho ω . Así será

$$\frac{dh}{dt} = \frac{\omega \sigma_l \cos \theta}{6 \eta h} \quad (*)$$

donde

$$\left[\frac{dh}{dt} \right] = \frac{[\omega] [\sigma_l] [\cos \theta]}{[\eta] [h]}$$

donde

$$[\omega] = [L]$$

$$[\sigma_l] = \left[\frac{F}{L} \right]$$

$$[\eta] = \frac{[M]}{[T][L]} \longrightarrow \frac{g}{cm \text{ seg}} = \text{poise}$$

$$[h] = [L]$$

$$[\nu] = \frac{[L]^2}{[T]} \longrightarrow \frac{cm^2}{seg} = \text{stokes}$$

η = viscosidad dinámica
 ν = viscosidad cinemática

h = es la profundidad de penetración

η = viscosidad

θ = ángulo de contacto del penetrante en contacto con su propio vapor.

La ecuación (*) nos sugiere que la penetración en fisuras más grandes ocurrirá más rápido, al menos inicialmente.

Los valores calculados de P.P.E. en sus ensayos para un dado rango de penetrantes fue de 28 a 40 dinas por centímetro, asimilando la tensión superficial a una fuerza por unidad de distancia. Esto es un rango más que pequeño en comparación con el rango de performance que los penetrantes analizados representan.

Los penetrantes estudiados representan un ancho rango de contenido en tintas. Los valores medidos para k_c , el coeficiente de absorción son indicativos del contenido efectivo de tintas, y QI_o , la eficiencia de fluorescencia. Su producto, $QI_o k_c$, para cada penetrante representa la influencia relativa del nivel de tintas en pequeñas cantidades de penetrantes. Los valores para ciertos penetrantes son los que se muestran en la tabla I

Penetrante	P.P.E.	E.D.F.	k_c	QI_o	$QI_o k_c$
A-4	29.4	54	55.9	35.3	1970
A-5	28.5	66	120	35.9	4300
A-6	30.4	75	542	32.7	17700
A-7	33.2	91	1730	31.9	55200
A-8	31.6	51	320	33.6	10750
A-13	31.5	35	629	33.6	21100
C-2	33.4	63	700	30.1	21100
C-3	34.0	76	3060	30.3	92600
C-4	37.0	80	7540	32.9	248000

Tabla I

Mc. Cauley y Van Winkle, infirieron la penetrabilidad de varios penetrantes a partir de ensayos realizados en algunos bloques patrones.

En cada uno de estos bloques se contarón las fisuras con la ayuda de un microscopio 100X en el cual se habfa colocado una cuadrícula.

El número de fisuras por pulgada lineal, caracterizaba la densidad de fisuras y se comparaba con el número de indicaciones que se obtenfan con el penetrante. La relación entre ambos valores, es lo que se definió como eficiencia en la detección de fisuras, E.D.F., lo cual también se da en la tabla I.

El problema que surgió, fue determinar si ese E.D.F. era una medida de la penetrabilidad o una medida de la eficiencia en cuanto a fluorescencia. Se resolvió entonces comparar al E.D.F. con el producto $QI_0 k_c$, para lo cual se realizó la representación de la figura 12.

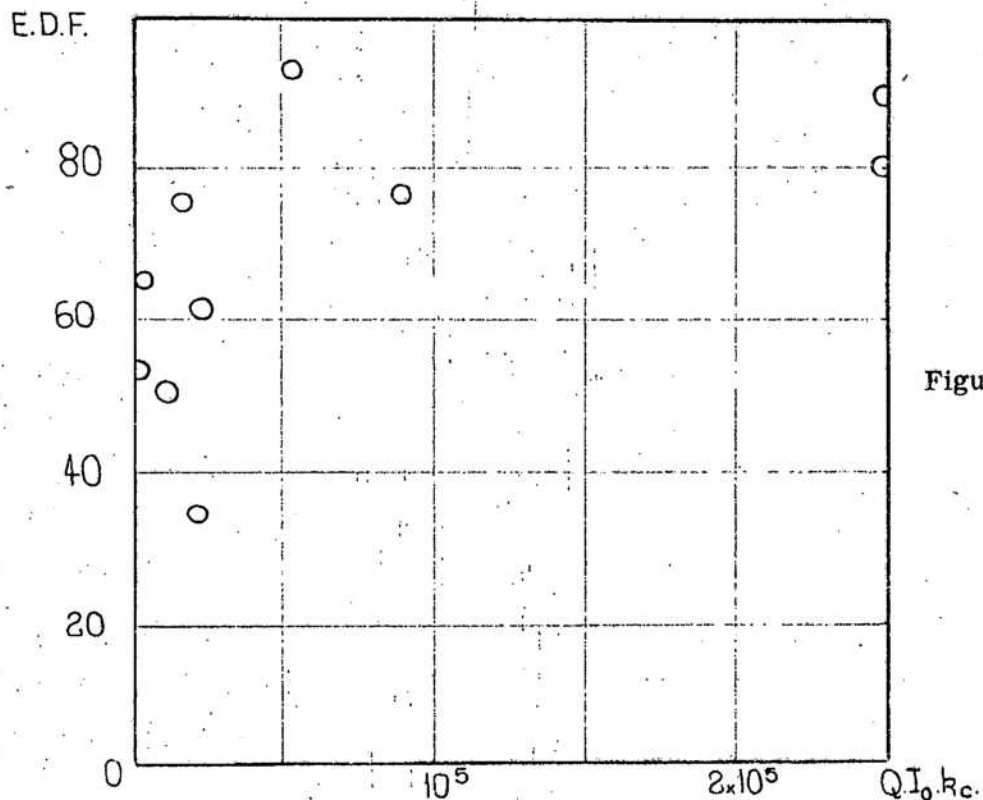


Figura 12

donde se ve que la correlación es baja, lo cual nos dice que obviamente el contenido de tinta ejerce una influencia despreciable en E.D.F.

Suponiendo entonces que E.D.F. es penetrabilidad debería haber una cierta correlación cuando comparemos E.D.F. con P.P.E, lo cual se hace en la figura. 13

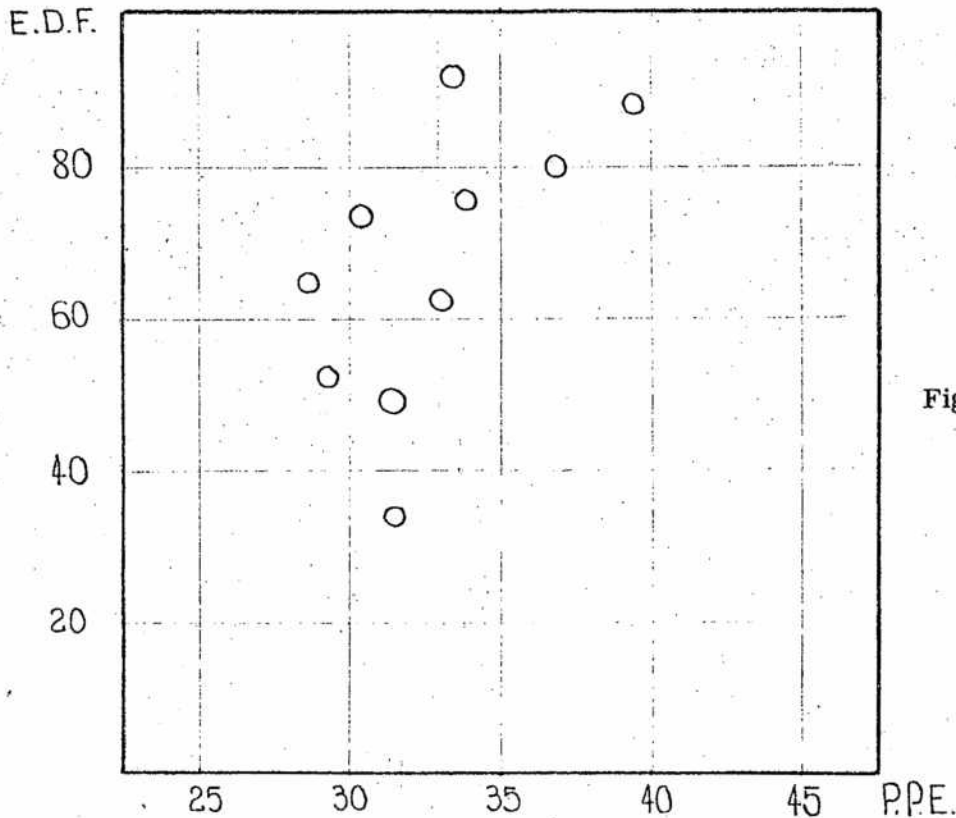


Figura 13

Se ve que no hay correlación. Lo cual quiere decir dos cosas, que P.P.E. no es una medida de la penetrabilidad o que E.D.F. refleja muy poco la penetrabilidad relativa de los penetrantes. Ante esta incertidumbre Mc Canley y Van Winkle estudiaron también la velocidad de esparcimiento de los penetrantes en superficies metálicas limpias. Encontrando una gran influencia de la viscosidad en el esparcimiento horizontal pero que no ofrece información directa sobre la penetrabilidad, con todo lo anterior estaríamos en condiciones de decir que P.P.E. es, por ahora, una medida de la penetrabilidad que permanece completamente teórica.

Por otra parte, Filimonova, también encara el estudio de la penetrabilidad y dice que la penetración está basada en la interacción del penetrante con las paredes de la fisura y no solamente con su separación.

El penetrante fluye dentro de la fisura mojando las paredes y disminuye la energía libre de estas superficies en el proceso. Por todo esto es que relaciona a la capacidad de los penetrantes de mojar las superficies con el flujo del penetrante dentro de la fisura y estudia la penetrabilidad en relación con el esparcimiento sobre superficies metálicas. Justificándolo al decir que el proceso de esparcimiento depende en que la cantidad de la tensión de mojabilidad, $(\sigma_s - \sigma_{sl})$ excede la tensión superficial del líquido σ_l . El esparcimiento debería ser por lo tanto, una base conveniente para la comparación de la penetrabilidad relativa de los penetrantes. Los penetrantes que tienen mejor penetrabilidad se esparcen más rápido que aquellos que tienen una penetrabilidad pobre.

Filimanova estudió las penetrabilidades relativas de algunas mezclas líquidas y observó su esparcimiento inicial en acero 18-8. No hay información del procedimiento usado para los estudios de penetrabilidad, ni resultados tabulados, pero los ejemplos de penetrabilidad relativa, ofrecieron acuerdo con los resultados de los ensayos de esparcimiento. Se dan curvas que muestran la variación del diámetro de la gota con el tiempo para los primeros 5 minutos. Afortunadamente, ninguna de las curvas cruza a otra.

La conclusión fue que los valores óptimos para viscosidad están entre 1 y 2 centipoise y para una tensión superficial entre 25 y 28 dyn/cm.

Nosotros vimos dos conceptos de penetración, a lo largo de las exposiciones anteriores, Mc Canley y Van Winkle's con su concepto de capilaridad asociando una cantidad macroscópica, la energía inmersional de mojabilidad (P.P.E) a la fuerza que impele en el interior de la fisura, y el otro el concepto de Filimanova respecto del esparcimiento.

Ambos sugieren, a lo largo de sus trabajos que las secciones estrechas de una fisura serán penetradas en una extensión más grande, lo cual es una variante con las observaciones que pueden hacerse en el laboratorio. Experimentos en piezas de ensayo que contienen fisuras de profundidad uniforme de anchos variables, tales como los paneles cromados, con fisuras de profundidad uniforme y varios anchos, que se describan en otra sección, muestran que los penetrantes ocupan completamente las fisuras más anchas, al menos tan completamente como las más pequeñas.

En algunos casos, las fisuras cerradas no son indicadas completamente, excepto en los puntos donde están comunicadas con fisuras más grandes y claramente indicadas. Para aclarar estas observaciones se encargó.

Estudio experimental de penetrabilidad: realizado por HNS KOGLUND y C. Magdalin de la Magnaflix.

Se usó un panel para estudiar la penetrabilidad de un dado grupo de penetrantes.

Este tiene una alta densidad de fisuras interconectadas, todas de la misma profundidad y alrededor de 3 micrones, teniendo un ancho variable entre 0,2 a 1,2 micrones.

Nada se hizo para cuantificar las relaciones, pero cada penetrante fue asignado o en grupo, el que podría ser constituido en base a su penetrabilidad, basado todo en su contenido de tinta y las fisuras indicadas.

Un establecimiento objetivo acerca de la profundidad a la cual el penetrante llega en la fisura sólo es posible cuando se ha hecho un gran esfuerzo para detectarlo. Para ello el exceso de penetrante se eliminó de forma de minimizar la remoción del penetrante involuntariamente de la fisura misma. Para los penetrantes

tes lavables con agua, un simple chorro de ésta, usualmente es suficiente pero para penetrantes postemulsificables, un removedor tipo espuma probó ser más controlable que el emulsificador.

La naturaleza de las fisuras con que se trabajó obligó a utilizar un revelador capaz de formar una película microscópicamente continua sobre la superficie del panel, con lo cual se controló el esparcimiento horizontal del penetrante desde la fisura.

El proceso de secado se limitó al tiempo que se empleaba en secar justamente la capa de revelador en la región de interés del panel para evitar los dañinos efectos que el calor puede tener en la fluorescencia de las indicaciones.

Finalmente se hicieron varias pruebas con el mismo penetrante, agregando tinta adicional al penetrante en un esfuerzo por detectar positivamente el penetrante residual en las fisuras y alcanzar alguna selección del nivel equivalente de tinta. Tales adiciones de tintas, se interpretarán como teniendo una influencia más grande en aquellos penetrantes que llenan apreciablemente la fisura que en aquellos que sólo mojan los bordes de la abertura o no penetran del todo.

Los penetrantes asociados con el primer grupo, indican cada fisura conocida en las áreas examinadas. Las fisuras más pequeñas forman un retículo, bordeado por otras mucho más grandes. Son capaces de indicar un artículo visible bajo 90 aumentos.

Los penetrantes del segundo grupo, indican el retículo incompletamente, aun con el agregado de cantidades adicionales de tinta.

El grupo 3 de penetrantes sólo indica las intersecciones de las fisuras en la retícula. Las grandes se siguen viendo claramente.

El grupo 4 no indica para nada el retículo, aun en las intersecciones de las fisuras grandes con las pequeñas.

Los resultados de las observaciones se ven en la tabla II.

Tensión superfic.	GRUPO			
	1	2	3	4
30.1	A			
30.2	B		C	
30.3		D		
32.8	E			
33.2			F	
33.3	G.H			
36.1	I			

Tabla II

Esta tabla muestra claramente que no hay relación entre la σ y la penetrabilidad. En cambio σ tiene una gran influencia en el P.P.E. El equilibrio, o el ángulo o estático de contacto de equilibrio de la gran mayoría de penetrantes que ellos estudiaron no son más grandes que 14 grados. Esto representa una variación de 3% en el P.P.E.

Vemos con todo esto que si bien hay una sustentación teórica que puede explicar el proceso de penetración en condiciones ideales, como en casi todos los métodos de no destructivos, al entrar a considerar la influencia de factores que ajustan el proceso a la realidad, se pierde facilidad de justificación.

Y esto ocurre porque en la realidad la penetrabilidad implica un equilibrio de fuerzas; las fuerzas que conducen al penetrante dentro de la fisura y un sistema de fuerzas y condiciones, que resisten la penetración del penetrante. Estas fuerzas de resistencia actúan mayormente en las secciones estrechas de una fisura, de allí que las más anchas sean más fáciles de penetrar que las estrechas, a pesar de las consideraciones teóricas. La viscosidad es una fuerza dinámica de resistencia al flujo, que no tiene intervención o efecto en un sistema estático. El aire atrapado representa también en otra fuerza de resistencia en la penetración. El trabajo gastado en comprimirlo bien puede absorber el cambio de energía libre que resultaría si las paredes de la fisura fueran mojadas.

Por todo esto, como corolario del estudio del principio físico del método y la visión de lo difícil de llegar a explicarlo con consideraciones puramente teóricas es conveniente recalcar la necesidad de la experimentación directa para trabajar con él.

IV - Aplicación del método.

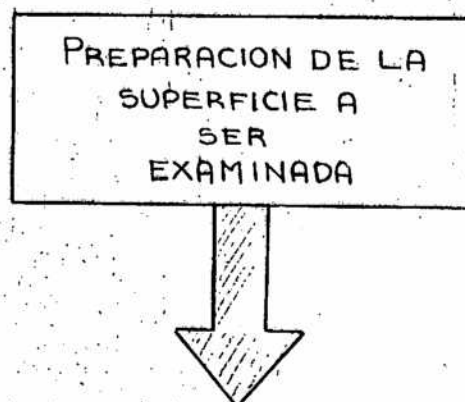
Veremos en lo que sigue la secuencia básica de operaciones a seguir para alcanzar los resultados buscados con la utilización del método. De la estricta observación o no de las indicaciones que aquí figuren y de las dadas por los fabricantes para cada uno de sus productos dependerá el éxito o el fracaso de la inspección.

El enunciado de esa secuencia es el siguiente:

- 1) Preparación de la superficie a ser examinada.
- 2) Aplicación del penetrante.
- 3) Remoción del exceso de penetrante.
- 4) Secado de la superficie.
- 5) Aplicación del revelador.
- 6) Secado posterior al revelado.
- 7) Observación de las indicaciones.
- 8) Interpretación de los resultados.
- 9) Limpieza de post-inspección.

Desarrollaremos a continuación cada uno de estos pasos.

1) Preparación de la superficie. -



Recordando lo visto acerca del principio físico del método y el hecho de que es aplicado para la detección de discontinuidades conectadas con la superficie, llegaremos a comprender lo crítico de esta operación. Entonces, a menos que la pieza que quiera inspeccionarse esté perfectamente limpia y libre de cualquier material extraño que pueda cubrir las discontinuidades o quizá más tarde confundir con las indicaciones, de seguro no pueden esperarse buenos resultados.

Según los elementos presentes en las superficies y a los cuales queremos eliminar, tendremos que valernos de distintos métodos de limpieza. Así tendremos:

Detergentes

Estos productos no son inflamables y además son solubles en agua. Tienen componentes especialmente seleccionados, en virtud de los cuales pueden mojar las superficies, penetrar en lugares estrechos y emulsificar ciertos tipos de suciedades.

Los detergentes pueden ser alcalinos, ácidos o neutros, de acuerdo con las aplicaciones que se les den, debiendo cumplir, además, con la condición de no ser corrosivo a los materiales con los cuales se ponga en contacto. De acuerdo con lo recomendado por las normas ASTM E-165-65 el tiempo de limpieza con estos detergentes debe ser de alrededor de 10 a 15 minutos, en un baño de 80° o 90° C, con agitación moderada y manteniendo una concentración de 45 o 60 Kg/m³ o cualquier otra que, en particular, recomiende el fabricante.

Respecto de los tiempos anteriores y temperaturas, no debe perderse de vista que, son meramente indicativos, y que sólo la práctica será la que nos dé los parámetros adecuados para nuestra aplicación particular.

Una modificación respecto de sumergir las piezas en un baño, es utilizar vapor que puede usarse con éxito en piezas de difícil maniobrabilidad.

El problema que se presenta luego del lavado final con agua, que se hace para retirar el detergente de la superficie y discontinuidades, el conseguir que estos abandonen los lugares que durante el ensayo deberá llenar el penetrante. Esto podría conseguirse calentando la pieza, pero aunque consiguiéramos eliminar el agua, quedarían depósitos de sólidos por supuesto indeseables, que harían más difícil la acción del penetrante. Ante esto se nos presenta como mejor alternativa la utilización de elementos fluidos capaces de desplazar el agua. Estos elementos están pensados para mezclarse libremente con soluciones acuosas, ya sea ácidas o básicas y ser luego compatibles con solventes orgánicos, tal como el tricloretileno. Este tipo de limpieza se aplica, generalmente, a aquellas piezas provenientes de una línea de producción o sea que, aún no han sido utilizadas en servicio y por lo tanto sus elementos contaminantes no son de muy difícil remoción.

Solventes

Estos elementos pueden utilizarse, ya sea mediante una limpieza con trapos mojados en ellos o en tanques para sumergir las piezas.

Son adecuados para remover las grasas y aceites, pero no son aplicables cuando se quieren eliminar residuos sólidos.

Respecto de las grasas, es conveniente aprovechar la oportunidad para decir que debe ponerse especial cuidado en su eliminación antes de la inspección. Principalmente porque muchos aceites son fluorescentes y además muy buenos penetrantes, lo cual puede llevar a conseguir indicaciones falsas.

Vapor desengrasante

Es una de las formas de limpieza más aplicadas.

Generalmente se lo considera como el mejor de los métodos de limpieza, lo cual puede llevar a graves errores si además, es utilizado como único medio.

Esto es debido a que con él pueden removerse residuos como grasas y aceites, ya que son perfectamente solubles en tricloretileno, lo cual presupone que el vapor va a penetrar en las discontinuidades llevando consigo los contaminantes.

Pero estos solventes orgánicos no tienen afinidad por el agua, ni son capaces de remover residuos sólidos.

Por todo esto es que el método debe complementarse con alguno de los descritos en el resto de este punto, por ejemplo residuos inorgánicos; estos pueden removerse exitosamente usando soluciones detergentes.

Debe tenerse cuidado especial en el uso de solventes consistentes en hidrocarburos clorados, cuando se los emplea para desengrasar ciertas aleaciones de titanio, especialmente aquellas que han sido soldadas. Para estos casos se dispone de solventes especialmente inhibidos, puesto que de otra manera puede producirse una peligrosa corrosión bajo tensiones en estas aleaciones. En el peor de los casos los solventes deben usarse en la forma líquida, que es menos peligrosa.

Soluciones decapantes.

La eliminación de capas de óxidos puede conseguirse con ácidos inhibidos con soluciones alcalinas calientes. Estos elementos deben tener como condición el no ser corrosivos.

Las soluciones de ácidos se usan generalmente a temperatura ambiente y con una dilución en 2 ó 3 partes de agua, en cambio las soluciones alcalinas se usan generalmente en relaciones de 250 a 350 Kg/m³ de agua y a 90 o 100°C.

En ambos casos las piezas a decapar se sumergen completamente en las soluciones. Como siempre, es conveniente consultar el catálogo de los fabricantes para las aplicaciones especiales.

Removedores de pintura

Los elementos utilizados con este propósito pueden corresponder a dos tipos, aquellos que eliminan la unión entre el metal y la pintura o aquellos que desintegran. Cualquiera de los dos que se use debe presentar, luego de su actuación, una

superficie del metal perfectamente limpia.

Se agrega como condición, el someter la pieza, luego de este tratamiento, a un fuerte chorro de agua.

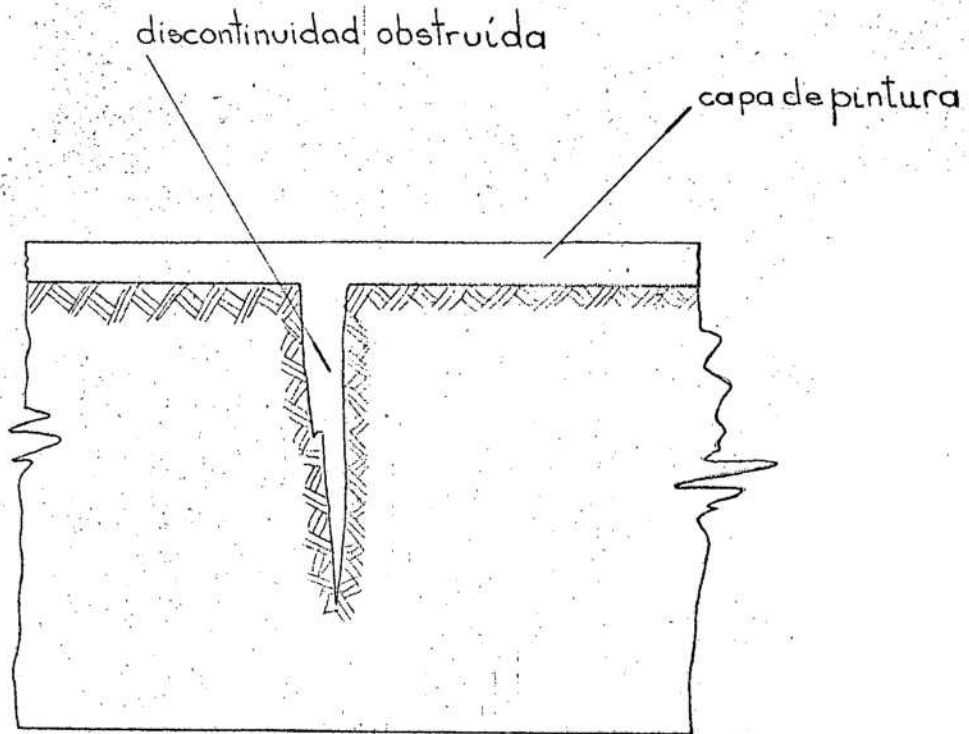


Figura 14

Métodos electroquímicos

En algunos casos, los procesos simplemente químicos no son adecuados para remover los depósitos adheridos en las superficies. Se hace entonces necesario aplicar una limpieza electrolítica usando soluciones fuertemente oxidantes o reductoras y haciendo trabajar la pieza de ánodo o de cátodo.

Puesto que en estas condiciones el hidrógeno a menudo es liberado en uno u otro de los electrodos, el peligro de la fragilización por el hidrógeno es apreciable, especialmente en aceros de alta resistencia o en otras aleaciones complejas. Esto es lo más importante, debido a lo cual, se toman precauciones para que el daño sea despreciable.

Generalmente estos métodos son necesarios en piezas que han sido usadas (piezas de motores) y que por ello presentan depósitos fuertemente fijados.

Limpieza abrasiva

La remoción de algunos depósitos sólidos puede alcanzarse con un bombardeo de la superficie en un medio seco o húmedo, para lo cual puede emplearse como proyectiles, arena, bolillas metálicas u otros materiales abrasivos.

Este tipo de limpieza sólo es permisible cuando el bombardeo con sus proyectiles no llene las fisuras o vacíos superficiales. A pesar de las precauciones, la seguridad de una buena detección queda reducida notablemente, dado que el trabajo mecánico en frío al que es sometida la superficie, hace que los labios de las fisuras, antes abiertos, tiendan a cerrarse.

A menudo es posible regenerar las condiciones iniciales de inspeccionabilidad (para la superficie teóricamente limpia) utilizando un ataque, adecuado al material con el propósito de eliminar la delgada capa que cierra la abertura.

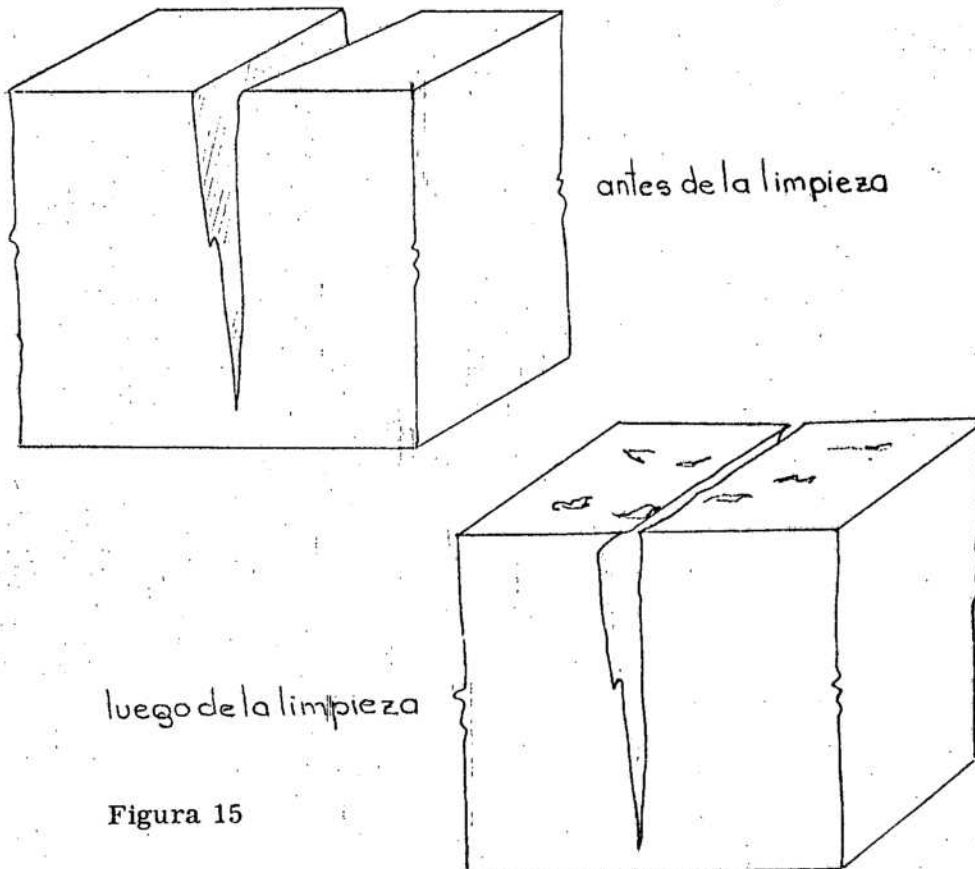


Figura 15

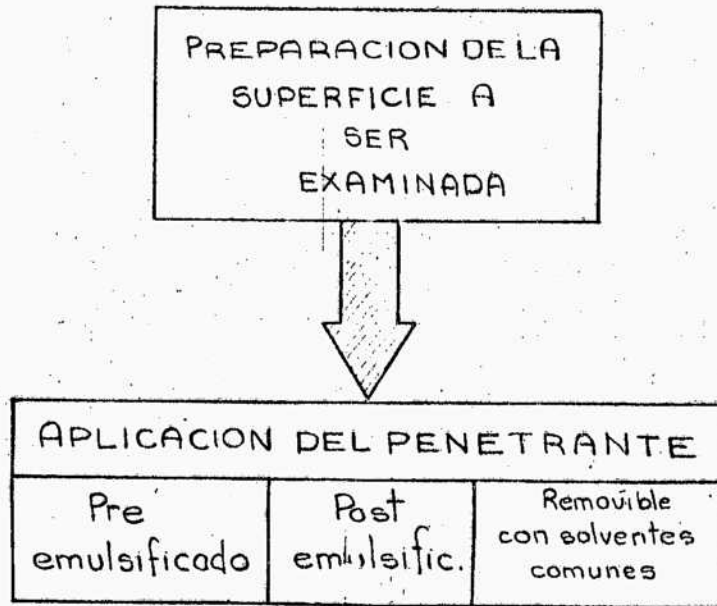
Limpieza con ultrasonido

Este método ha sido utilizado con gran éxito para la remoción de livianos y a demás, no adherentes contaminantes sólidos. Esto es por ejemplo una manera excelente de remover partículas magnéticas que hubieran quedado depositadas como consecuencia de una inspección previa.

Se conoce información en la literatura acerca del uso del ultrasonido para mejorar la performance de los penetrantes, pero la experiencia también bibliográfica del tema, indica que cualquier mejora que se obtenga en el método es atribuible, casi seguramente a una efectiva limpieza con ultrasonido, que a la mejora de la penetración por ayuda del ultrasonido en ese paso.

Como consejo final puede decirse que, no deben dejarse sólidos o cromatos dentro de las discontinuidades o sobre la superficie, puesto que estos afectan notablemente algunos penetrantes. Esto es particularmente verdad para los penetrantes fluorescentes, puesto que esos elementos dañan la fluorescencia. Por esta razón se prefiere examinar el aluminio antes del anodizado, el acero inoxidable antes de pasivado, etc.

2) Aplicación del penetrante. -



Comenzaremos diciendo que penetrante es cualquier líquido que, reuniendo una serie de características, es capaz de penetrar en las más pequeñas discontinuidades abiertas a la superficie de una pieza. Además, se puede decir que todos o al menos la mayoría de los penetrantes que se pueden encontrar en el mercado tienen una propiedad común que es una buena penetrabilidad, o al menos una penetrabilidad similar.

Tal como hemos visto anteriormente, es muy difícil resumir en un solo concepto la definición de penetrabilidad, así que recordemos ahora que es una combinación de la capilaridad, tensión superficial y viscosidad es decir que es muy difícil conseguir una regla que nos dé directamente cómo producir un penetrante que reúna todas ellas.

Hay ciertos escritores que afirman que todas estas propiedades son las menos importantes y que no es posible mejorar notablemente la performance de un penetrante actuando sobre ellas. O sea que si una fisura está limpia y libre de contaminantes, cualquier penetrante la ocupará rápidamente y sin dificultad. Nuestra experiencia no nos lo ha demostrado aún fehacientemente, así que seguimos sin embandearnos en ninguna de las corrientes. Dejemos por un momento esto para retomarlo luego, cuando hablemos de tiempos de penetración.

Ahora digamos que sí, nuestra experiencia nos ha demostrado que siendo la capilaridad uno de los factores de la penetrabilidad y, al no ser afectada ésta por la gravedad, pueden obtenerse indicaciones que harían al penetrante trabajar contra la gravedad.

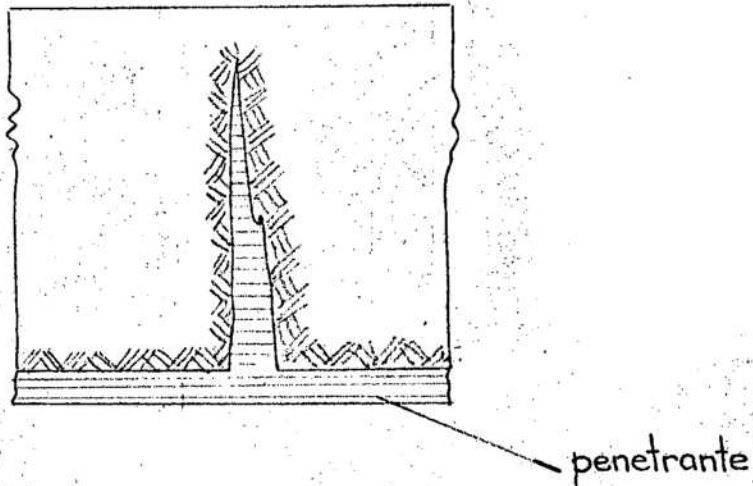


Figura 16

Con el propósito de mejorar la capacidad de detección de los penetrantes, se buscó aumentar el contraste producido por sus indicaciones contra el medio circundante, para lo cual se les agregó tintas.

Estas pueden ser de dos tipos fundamentales, una llamada "visible con luz común", la cual es una tinta coloreada que es altamente visible bajo luz normal y la otra conocida como "fluorescente", la cual es una tinta que emite rayos luminosos de luz visible cuando se la ilumina con luz negra.

Y de esta combinación de tintas más el penetrante, es que surgen las llamadas tintas-penetrantes que dan nombre a este método de ensayos no destructivo.

Conocido ya el elemento con el cual vamos a trabajar, veamos cómo se lo aplica a la pieza a inspeccionar, siendo válidos todos los procedimientos salvo cuando expresamente se lo indique para cualquier tipo de tinta penetrante. Los medios más comunes con los cuales se consigue la aplicación son:

inmersión
spray
pincel

debiendo cumplirse en todos los casos que el área a examinar sea completamente abierta. Pudiendo darse como reglas semiprácticas que, por ejemplo, el penetrante cubra una banda de 30 mm. alrededor del área a inspeccionar, además, lógicamente de ese área. O también, en caso de soldaduras, se dice que la tinta penetrante debe cubrir 40 mm. a cada lado del cordón.

La elección de uno de los modos dependerá sobre todo de la pieza que se quiera inspeccionar, su tamaño, cantidad, número, etc.

Así por ejemplo, si sólo se van a inspeccionar ciertas áreas críticas, la aplicación con pincel reducirá el consumo de tintas penetrantes y también facilitará la remoción en virtud de estar perfectamente localizada. Pero en cambio si un gran número de piezas son las que se deben inspeccionar, la técnica de inmersión será la más rápida y efectiva.

Las piezas a inspeccionar en este caso se acomodan en canastas cuidando que no queden lugares donde el penetrante no pueda llegar.

Con respecto a los sprays, la experiencia indica que su mayor utilidad reside en lo portable que son, aunque con una aplicación más cuidadosa pueden alcanzarse resultados satisfactorios.

Cuando se usa pincel tiene que cuidarse la calidad y limpieza de ellos, para asegurar que no se transformarán en agentes contaminantes.

Nos quedaría ahora por tratar el problema del tiempo de penetración, o sea aquel "mínimo" tiempo necesario para que el penetrante llene las discontinuidades.

Tal como algo se anticipó existen en el ambiente dos teorías acerca de su importancia, forma de calcularlo, etc. La idea de esta publicación es presentar en lo posible ambas y junto con el resto de la información sobre el método aquí volcada, conseguir que el lector consiga sus propias conclusiones.

Comenzaremos hablando de la más tradicional, o sea aquella sostenida sin discusión durante muchos años. Esta nos dice que el tiempo necesario para que un penetrante llene una discontinuidad dependerá fundamentalmente del material que se está inspeccionando y del tipo de discontinuidad que se pretende encontrar, lógicamente para un dado penetrante. Además, se nos informa que un tiempo extremadamente largo no afectará los resultados notablemente, excepto que aumentará el brillo conseguido de la indicación, en caso de tintas fluorescentes, pero como contrapartida puede llevar a un proceso de remoción del exceso de tinta penetrante más dificultoso, al evaporarse el penetrante y fijarse la tinta en la superficie.

Como todos estos tiempos se acepta que varían, para cada penetrante, los fabricantes proveen tablas de tiempos de penetración del tipo de la siguiente.

Material	Tipo de discontinuidad	Tiempo de penetración

Tabla III

donde lógicamente los tiempos dados son los considerados mínimos. Al final del texto se adjuntan algunas tablas de éstas para distintos penetrantes.

Serfa conveniente decir que en el caso de pretender encontrar varios tipos de discontinuidades, el tiempo de penetración estará dado para el conjunto por el mayor de los que fije la tabla para esos defectos y no al promedio.

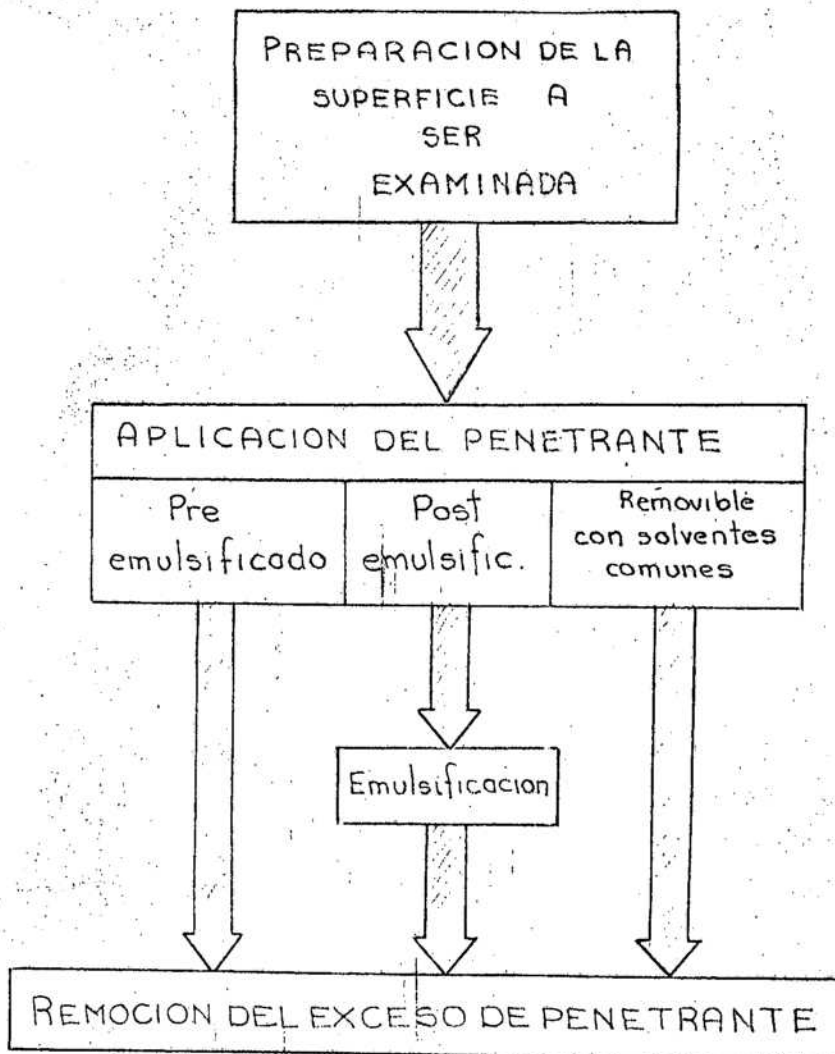
Además digamos que todos los tiempos de penetración que dan las tablas se basan en la suposición de que el penetrante permanece húmedo todo el tiempo. Esto quiere decir que puede ser necesario agregar una cantidad adicional durante ese tiempo, si se encuentra que la capa inicial se está secando. Esto nos asegurará un llenado completo de las discontinuidades. Si el tiempo de penetración supera los 30 minutos el penetrante deberá reaplicarse para asegurar que permanecerá húmedo.

Veamos ahora qué nos dicen los defensores de la otra corriente. Ellos afirman que si bien existen las tablas que recién vimos, su experiencia les indica que no dan ningún tipo de seguridad. Lo cual se avala por numerosos ensayos realizados con tipos característicos de penetrantes y de fisuras, en los cuales asegurando una buena limpieza, se comprobaba que en todos los casos bastaban unos pocos segundos para alcanzar una buena penetración. Así se vió que piezas que habfan sido colocadas en penetrante y retiradas inmediatamente y procesadas lo más rápido posible no mostraron disminución en la efectividad de detección.

A pesar de todo no se dejan de reconocer que tiempos de penetración más largos hayan dado a otros investigadores mejores resultados, pero agregan que esto podría deberse a adecuadas o no condiciones de limpieza, dado que los penetrantes son también moderadamente buenos limpiadores y pueden en su penetración desplazar los depósitos ocluidos en las discontinuidades y penetrar en ellas, lo cual lógicamente representará un consumo de tiempo en la penetración, el cual se evitaría en condiciones de extrema limpieza.

Como último agregado a todo esto referente al tiempo de penetración, es posible decir que todos los valores, provengan de donde provengan, que se tengan, están dadas para condiciones normales de temperatura, entendiéndose por tal, aquélla en que el penetrante se encuentra entre 25 y 40° C y debiendo mantenerse a esa temperatura durante toda la penetración.

3) Remoción del exceso de penetrante.



Se entienden por exceso de penetrante a todo aquél que permanece en la superficie de la pieza luego de transcurrido el tiempo de penetración estimado, o sea todo aquél que no ha penetrado en las discontinuidades. Se requiere que antes de iniciar esta etapa el penetrante se encuentre húmedo y si, por cualquier razón se lo encontrara seco, es necesario realizar una nueva aplicación.

En caso de que, luego de iniciada la limpieza, el operador se diera cuenta de que el penetrante estaba seco, no tendrá más remedio que volver al paso primero.

Todas estas precauciones son para evitar que el penetrante pueda estar seco en el interior de las discontinuidades.

El otro consejo fundamental a tener siempre en cuenta cuando se realice la remoción del exceso de penetrante, por cualquier método, es evitar de todas las

formas el retirar penetrante de las discontinuidades. Esto nos da una idea de lo crítico que es esta operación, dado que las técnicas que comunmente se usan para las limpiezas superficiales son muy proclives a esas remosiones.

En lo anterior hablamos de diferentes técnicas de limpieza, respecto de esto debemos decir que su existencia no es caprichosa, sino que responde a la presencia en el mercado de distintos tipos de penetrantes.

Así como en un principio dijimos que las diferentes tintas que se agregan a los penetrantes pueden hacer que las tintas penetrantes sean de dos tipos fundamentales, como eran

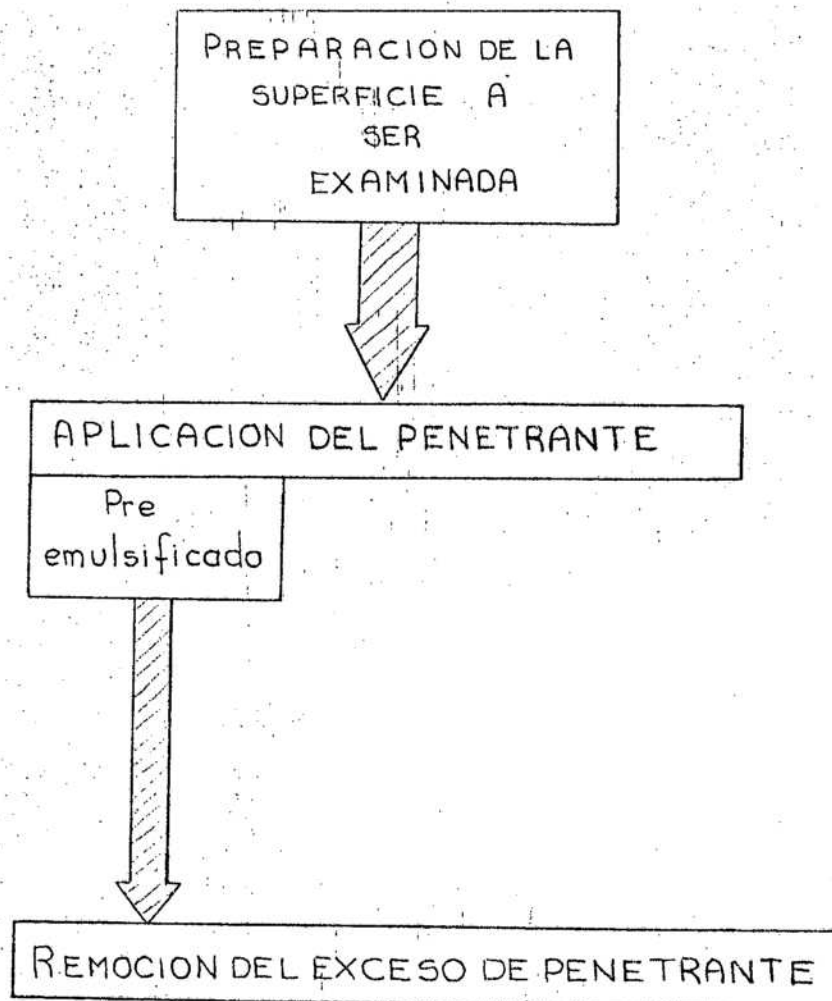
visibles con luz común
fluorescentes

diremos ahora que los penetrantes que se mezclan con las tintas para formar las tintas penetrantes pueden hacer que éstas sean

- * pre-emulsificadas (lavables con agua)
- ** post-emulsificadas (lavables con agua)
- *** lavables con limpiadores especiales

naciendo para cada uno de ellos una técnica de remoción que ahora intentaremos describir.

Remoción de tintas penetrantes pre-emulsificadas



Los penetrantes usados aquí son en general de una base oleosa, a la cual se le ha agregado, además de las tintas que como dijimos pueden ser fluorescentes, o visibles con luz normal, una sustancia química que recibe el nombre de emulsificador y que hace que el penetrante y la tinta-penetrante, luego, sean solubles en agua.

El hecho de tener un agregado extraño más, hace que las condiciones de sensibilidad del penetrante original se vean dañadas, pudiendo decirse que, si bien tienen una buena sensibilidad ésta es inferior a la de otros. Pero veremos que lo que se pierde en esto se gana en comodidad de operación.

Lo que debemos hacer entonces para eliminar este penetrante de las superficies es hacer llegar hasta ellas un chorro de agua finamente pulverizado por su acción física, con el cual se formará una emulsión que será arrastrada por el flujo.

Las variaciones existentes se presentan en las formas de hacer llegar el chorro de agua. En la mayoría de los lugares se utilizan pistolas spray, las cuales dan, según su modelo, chorros de agua pulverizados y acelerados por corrientes de alta presión o dan pulverizaciones conseguidas con diseño de toberas. La experiencia parece indicar que un fuerte chorro no pulverizado es la utilización más peligrosa aunque algunas veces sea necesario recurrir a ella para conseguir eliminar restos de penetrante oculto en agujeros de difícil acceso u otras trampas que podría mostrar la superficie.

Una de las limitaciones que podría presentar la utilización de pistolas con chorros acelerados por aire a presión, es la contaminación que podría introducirse a través de las líneas de aire. Esto es debido fundamentalmente a que los compresores introducen cantidades de aceite y agua en las corrientes, elementos que sin la existencia de filtros sumamente eficaces se incorporarán a la corriente de lavado.

Además de este caso particular, hay otro en que estos elementos son sumamente indeseables, y es aquel en el cual la corriente de aire a presión se usa para eliminar el exceso de agua luego del lavado.

Hay ciertas instalaciones en que el lavado de las piezas se consigue sumergiéndolas en un baño de agua agitado con aire. Generalmente los penetrantes para los cuales se aplica son especialmente elegidos.

Para asegurar un buen lavado, si la tinta es fluorescente se aconseja realizarlo bajo la iluminación de luz negra, puesto que el sobrelavado es realmente un riesgo en esta etapa. Y lo es porque el penetrante de la fisura es tan susceptible al lavado como el de la superficie, sólo que estará protegido por la dificultad que tenga el agua de entrar en la discontinuidad. Luego diremos que el lavado debe suspenderse inmediatamente que se tenga una superficie que no fluorezca bajo la luz negra.

Puede decirse que en casos de no disponer de pistola ni recipientes o no poder usarlos podemos valernos de trapos mojados en agua y un balde.

Como un caso práctico de interés puede agregarse aquí que si las piezas son demasiado largas se recomienda comenzar la limpieza por la parte inferior, porque el agua que fluye sobre el penetrante que aún no ha sido removido deja una película que luego es muy difícil de eliminar.

La última recomendación a tener en cuenta es la referente a la temperatura del agua, para lo cual diremos que no debe ser superior a 43°C , pues si no aumentaría la velocidad de evaporación del penetrante, lo que llevaría a una indicación más pobre,

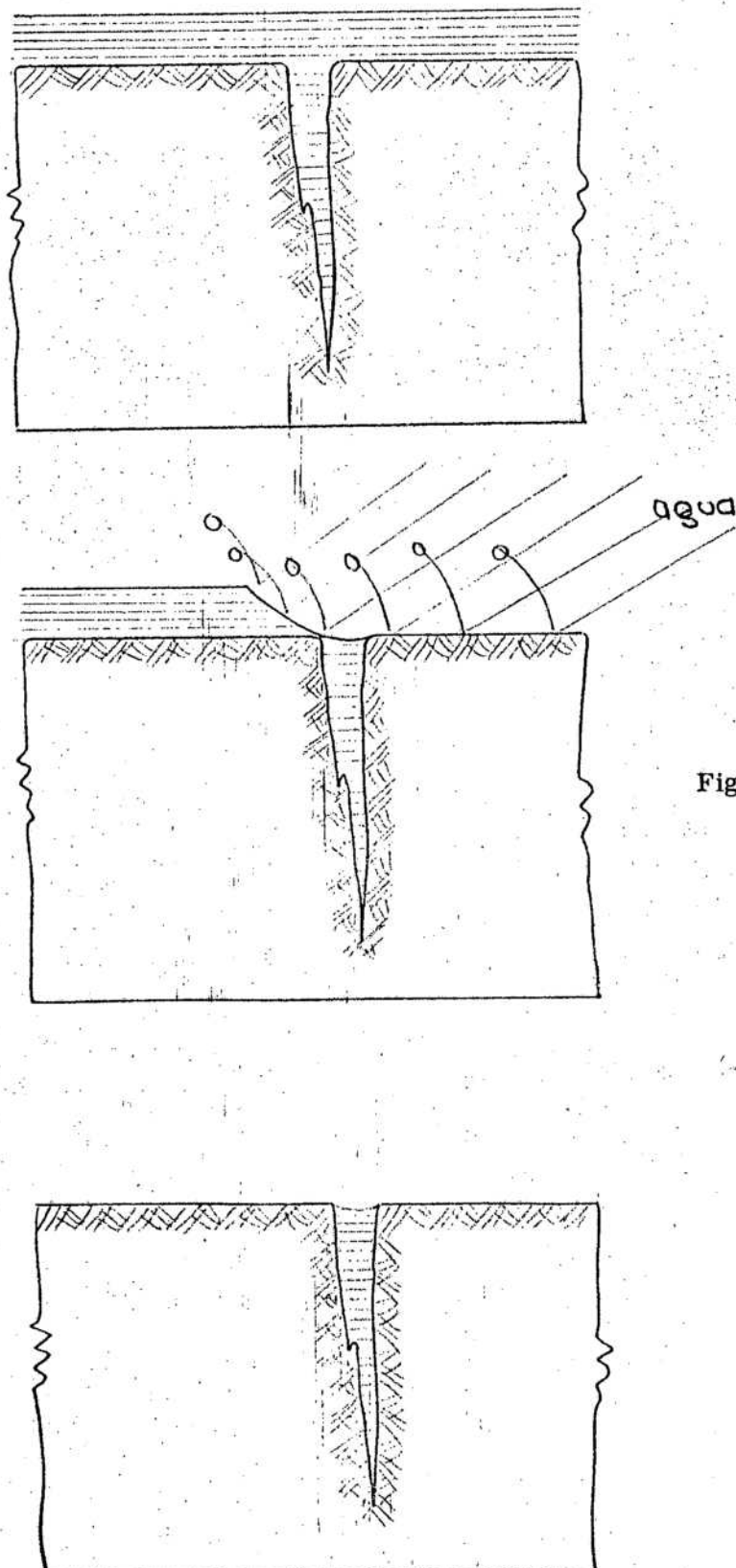
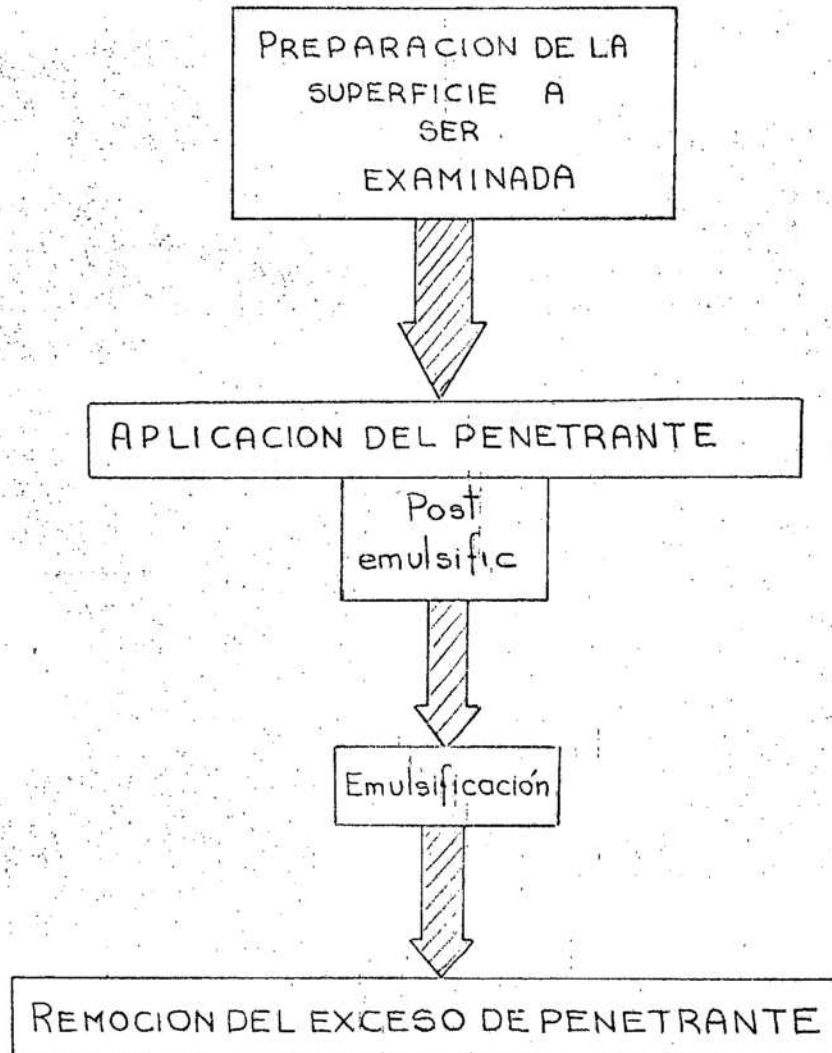


Figura 17

Puede usarse agua a temperatura normal (20°C), pero el lavado es más lento.

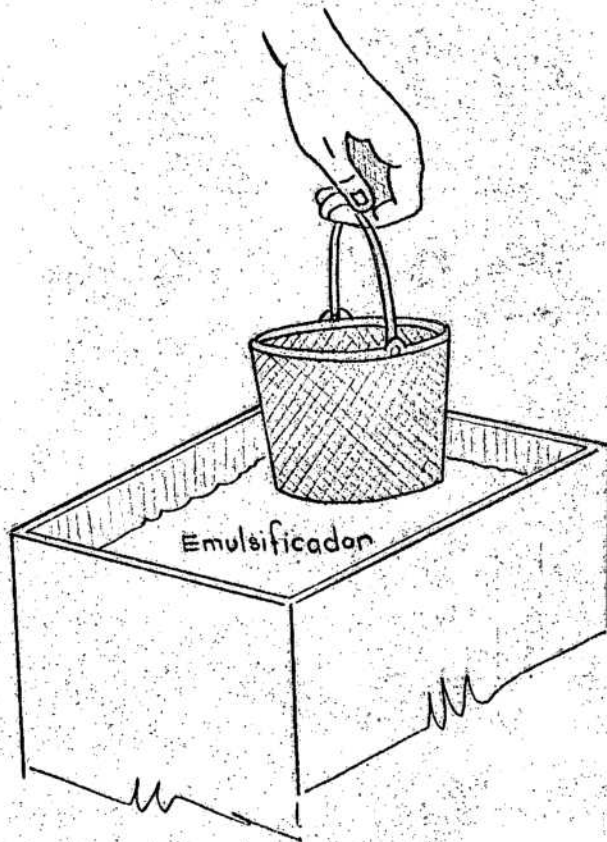
Remoción de tintas penetrantes post-emulsificadas.



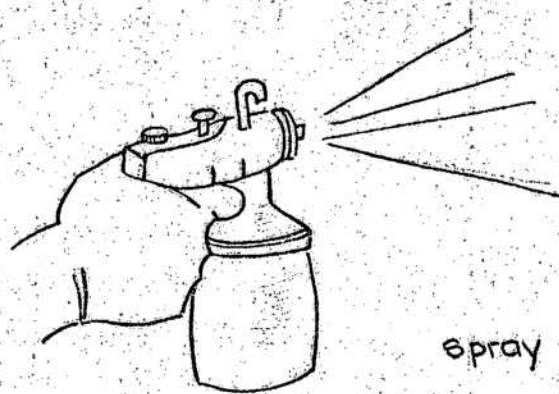
Se ha comprobado con la experiencia que este tipo de penetrante es el más sensible, especialmente para defectos pequeños y para irregularidades muy abiertas y poco profundas.

Puesto que este penetrante no es lavable con agua tal como se lo aplica a la pieza, es necesario agregar un emulsificador luego del tiempo de penetración y antes del lavado con agua.

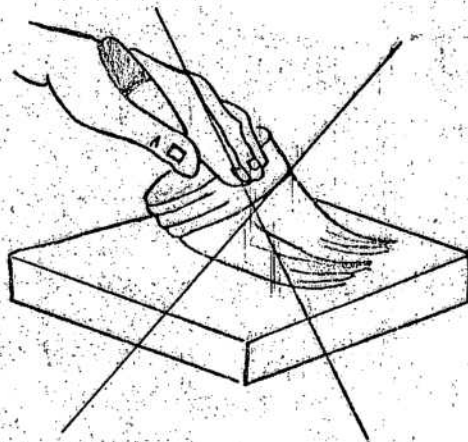
Las formas en que pueden colocarse el emulsificador son las mismas que se usaron para con el penetrante, salvo ahora que, nunca debe aplicarse el emulsificador con pincel. Esto es debido a que con él se corre el peligro de arrastrar el penetrante de las discontinuidades muy abiertas.



Inmersión



spray



pincel

Figura 18

El trabajo del emulsificador es combinarse con el penetrante y hacerlo soluble en una corriente de agua. Es decir en el

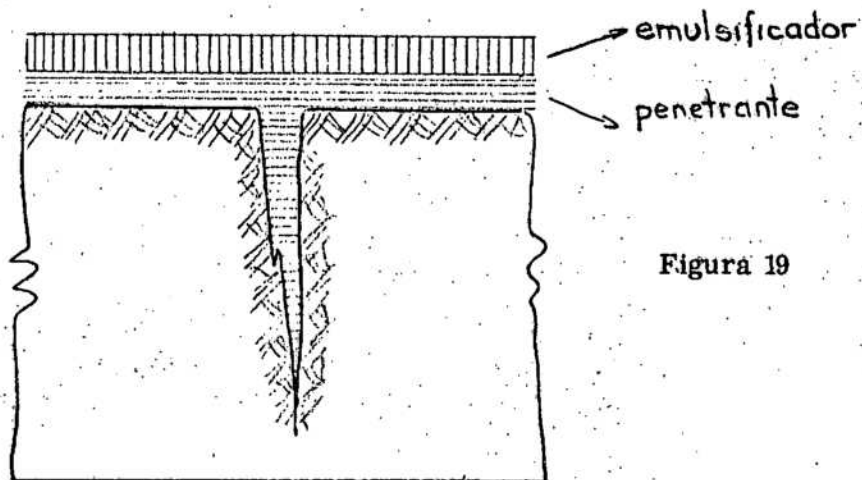


Figura 19

momento de la colocación la situación es como lo muestra la figura 19 . Un instante después será

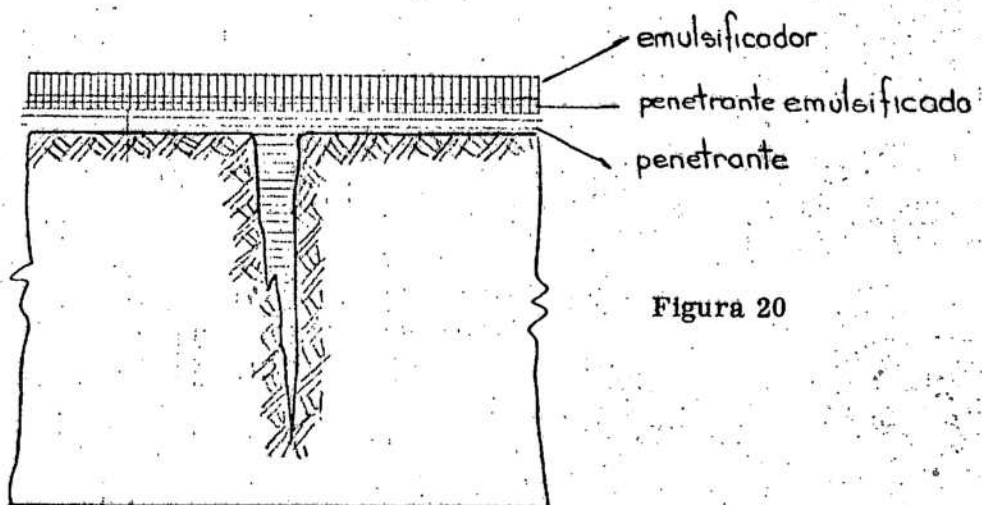


Figura 20

Para llegar a la posición ideal de emulsificar todo el penetrante ubicado en la superficie

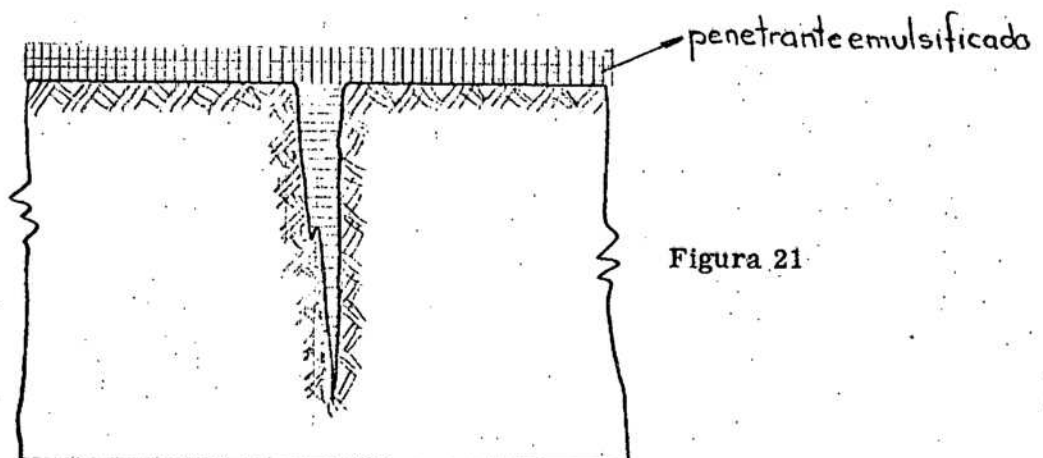


Figura 21

sin hacerlo con el que se encuentra contenido en las fisuras.

Dado que los pasos anteriores son función del tiempo que se permita estar al emulsificador actuando sobre el penetrante, se ve claramente que éste debe ser controlado celosamente para interrumpir esa acción en el momento preciso en que comenzaría a actuar sobre el penetrante ocluido en las fisuras. Es decir es esta una etapa crítica.

El tiempo más adecuado para una correcta emulsificación sólo puede conseguirse en cada caso en particular con una previa experimentación.

Los lineamientos generales nos dicen que en superficies lisas se necesitarán tiempos más cortos que en las rugosas. En particular estas últimas superficies pueden evitar la combinación del penetrante con el emulsificador y reducir así su lavabilidad, lo cual puede llevar a hacer el proceso inaplicable a aquellas superficies extremadamente rugosas.

Además, el tiempo es crítico especialmente en el caso de tener discontinuidades muy superficiales.

Por todo esto puede decirse únicamente que el tiempo de emulsificación debe ser el mínimo que asegure un buen lavado posterior. Aunque la experiencia muestra que siempre oscila entre 10 seg. y 5 minutos.

Consideramos conveniente remarcar ahora cuál es la principal ventaja de usar penetrantes post-emulsificables para lo cual nos valdremos del siguiente ejemplo. Supongamos tener dos piezas exactamente iguales

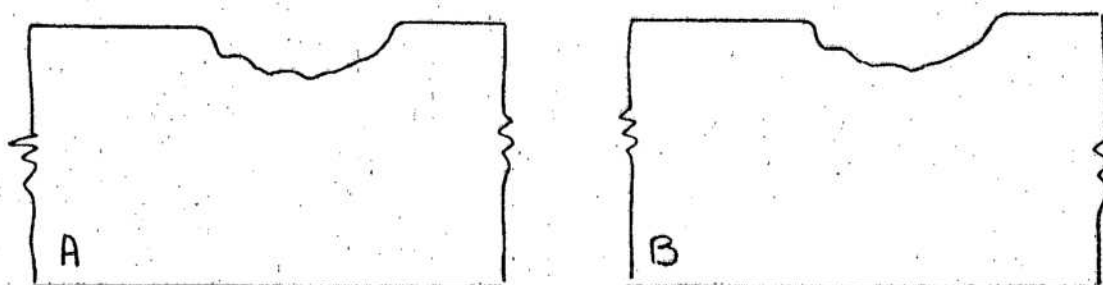


Figura 22

y que a la A la trataremos con penetrantes pre-emulsificado y a la B con post-emulsificado. Es decir que luego de la aplicación tendremos

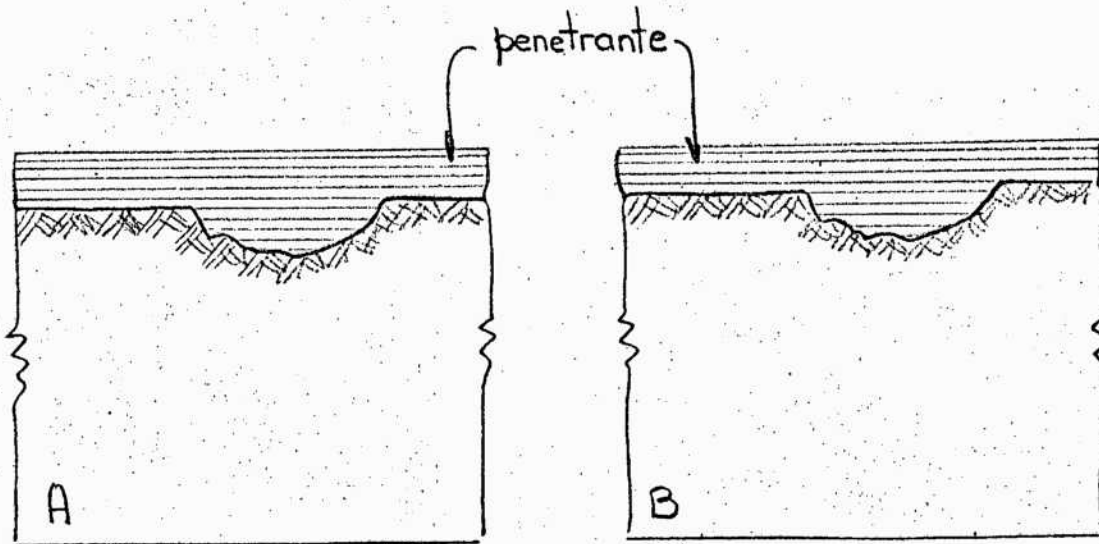


Figura 23

El paso siguiente para el A es un lavado y para el B la emulsificación a la que supondremos se le dará el tiempo correcto.

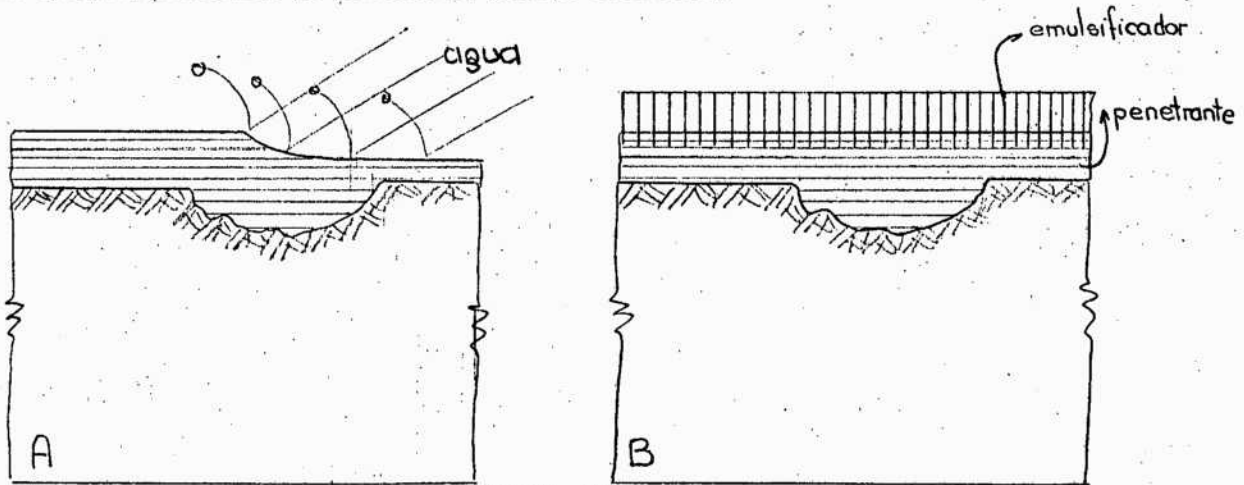
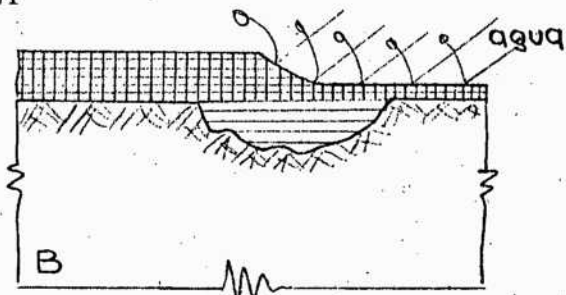


Figura 24

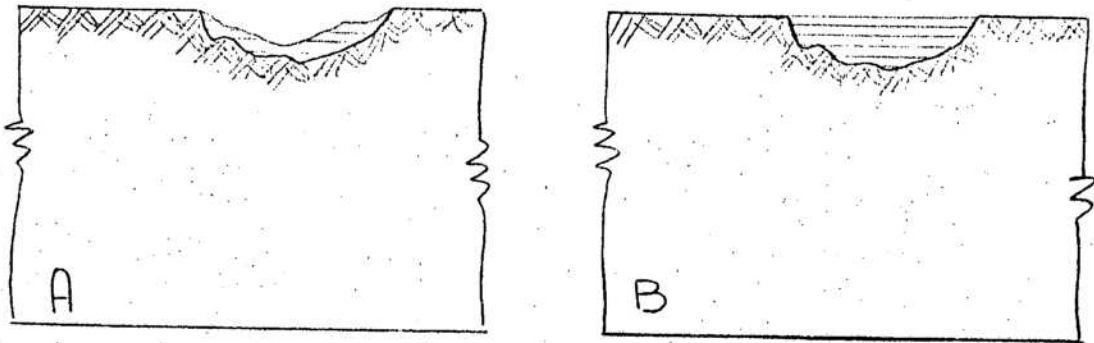
y luego sí el lavado

Figura 25



Suponiendo que el lavado fue realizado con el debido cuidado, las apriencias de las discontinuidades serán

Figura 26



es decir que la ventaja del postemulsificable es que al no haber sido emulsificado el penetrante de la discontinuidad no será removido por el lavado.

Respecto de los distintos tipos de emulsificador que pueden usarse, la NORMA ASTM E 165 nos habla de dos tipos principales. El primero de alta viscosidad, el cual dará los mejores resultados en el caso de fisuras extremadamente finas.

El segundo de baja viscosidad, tiene un tiempo de emulsificación de la mitad, pero disminuye notablemente la sensibilidad del método especialmente para discontinuidades muy abiertas. Su uso se recomienda para una aplicación con spray para piezas en las que, debido a su configuración, tienen una tendencia a encasarse el emulsificador cuando se usa el método de inmersión.

Generalmente es recomendable una diferencia de color entre el emulsificador y el penetrante para asegurar su aplicación.

En lo que sigue intentaremos hacer una breve reseña histórica del desarrollo de esta etapa, lo cual nos permitirá tomar conciencia comparativa entre los distintos desarrollos. El concepto que regirá el análisis y que no debemos perder de vista es que **UN BUEN PROCESO DE EMULSIFICACION ES AQUEL QUE DEJA INSOLUBLE EN AGUA EL PENETRANTE DE LAS DISCONTINUIDADES**

Tal como hemos visto, el sistema original de emulsificación funciona, agregando al penetrante de base oleosa un elemento oleófilo que se mezclará con él transformando al conjunto en lavable con agua. Es decir que tendremos

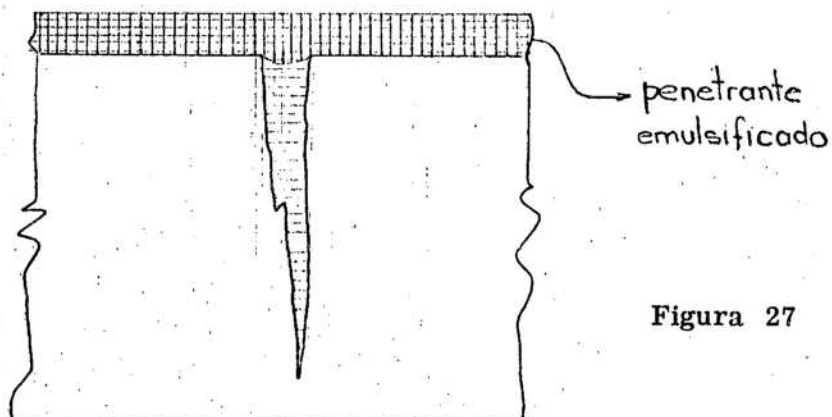


Figura 27

con lo que se refleja la tendencia casi segura de una emulsificación sobre el penetrante de las discontinuidades.

En búsqueda de soluciones para sobrellevar este problema se utilizaron partículas sólidas aplicadas con una pistola a fin de actuar como removedor. Este material empleado era blando y relativamente absorbente. Cuando los ensayos fueron llevados a cabo sin utilizar ningún tipo de emulsificador se encontró una notable mejora en lo referente a fisura de todo tipo, tanto finas como muy abiertas.

En la próxima figura se ilustra el sistema, y puesto que no se usan emulsificadores, queda descartada toda posibilidad de eliminación del penetrante de las fisuras durante el lavado final

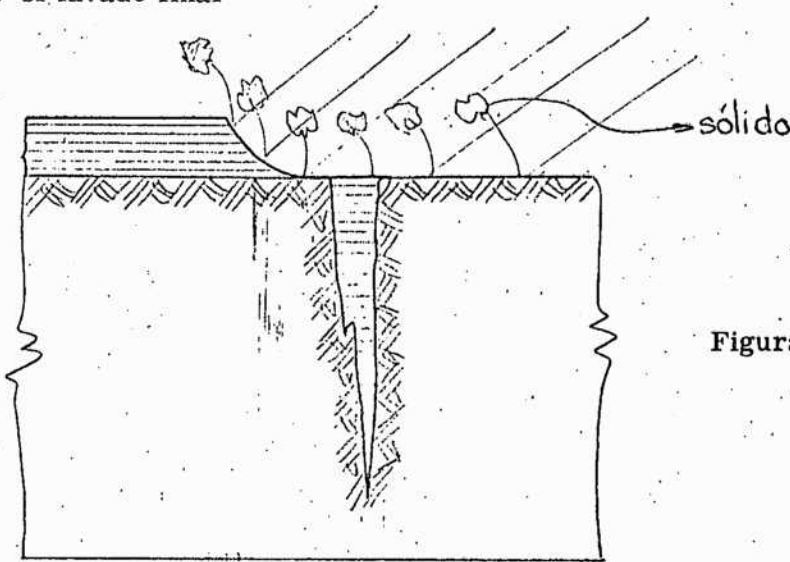


Figura 28

A menudo, este proceso resulta antieconómico, como en el caso de paletas de turbinas, puesto que cada una tiene que ser manipulada individualmente.

En consecuencia fue necesario comenzar a desarrollar nuevas técnicas más adecuadas.

Para ello se pensó en probar un nuevo tipo de removedor, en el cual la solubilidad mutua entre emulsificador y penetrante no fuera necesaria. Con ese propósito se pensó que sería necesario primeramente que la película de penetrante sobre la superficie fuera reducida a un valor mínimo, para lo cual se sugirió un lavado con agua inmediatamente después de la etapa de penetración, esgrimiendo como único medio para conseguirlo el de su acción física. Eso se vería :

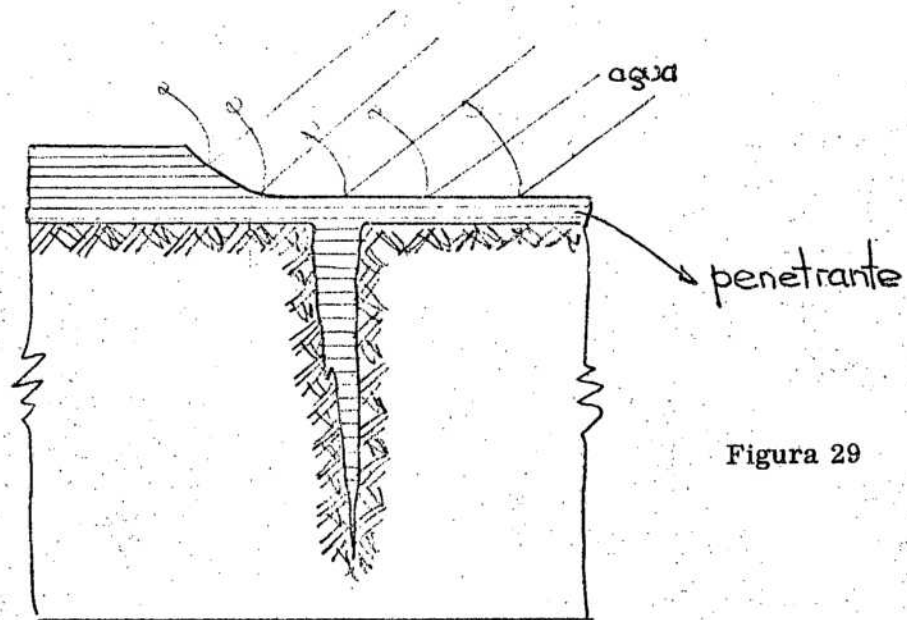


Figura 29

Luego de conseguido esto se aplica, durante un período de tiempo, un emulsificador hidrófilo, como los detergentes usados en las aplicaciones domésticas, en una concentración muy baja. El tiempo de aplicación no es crítico.

Tendremos entonces

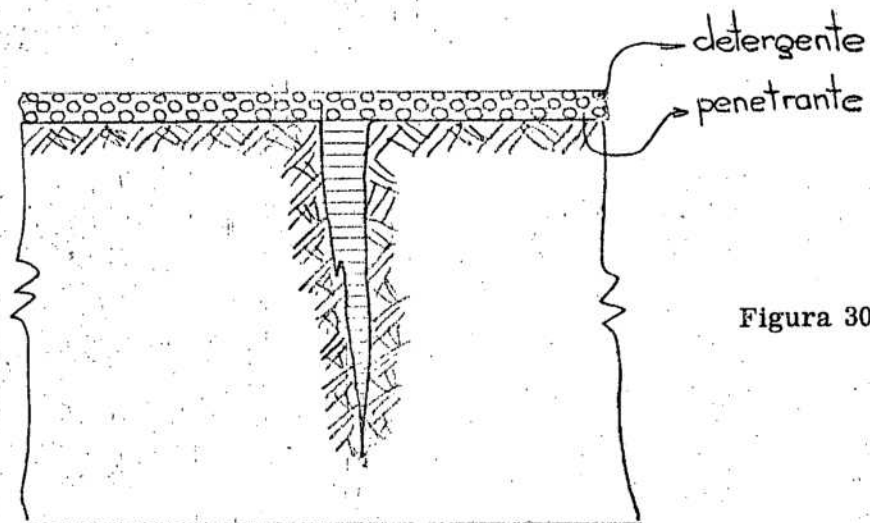


Figura 30

Luego de esto se lleva a cabo un lavado con agua, el cual tendrá un algo reducida la tendencia a retirar penetrante de las fisuras. Los resultados conseguidos son verdaderamente satisfactorios para sus investigadores. Tal es así que se han localizado pequeñas fisuras de fatiga que escapaban a los medios normales.

Buscando nuevas mejoras se llega a la utilización, como removedor, de una espuma. Esta estará formada por pequeñas burbujas que se producen al soplar aire a través de una solución de removedor diluido regulándose el tamaño de las burbujas colocando a la entrada del aire un medio poroso. Es fundamental para una buena limpieza el movimiento de las burbujas sobre las superficies.

Los límites de detección alcanzados son asombrosos, pues se han llegado a encontrar discontinuidades jamás detectadas por este medio. Así se localizaron fisuras de 0,02 mm. de profundidad y relativamente abiertas.

Remoción de penetrantes lavables con limpiadores especiales.

Las consideraciones generales sobre precauciones son muy similares a las de los penetrantes lavables con agua, especialmente las de los preemulsificados.

^{que} Dado este tipo de penetrantes es fundamentalmente usado en equipos portátiles, en el mercado aparece generalmente ofrecido en recipientes de spray, al igual que los limpiadores que los fabricantes aconsejan como adecuados para ellos.

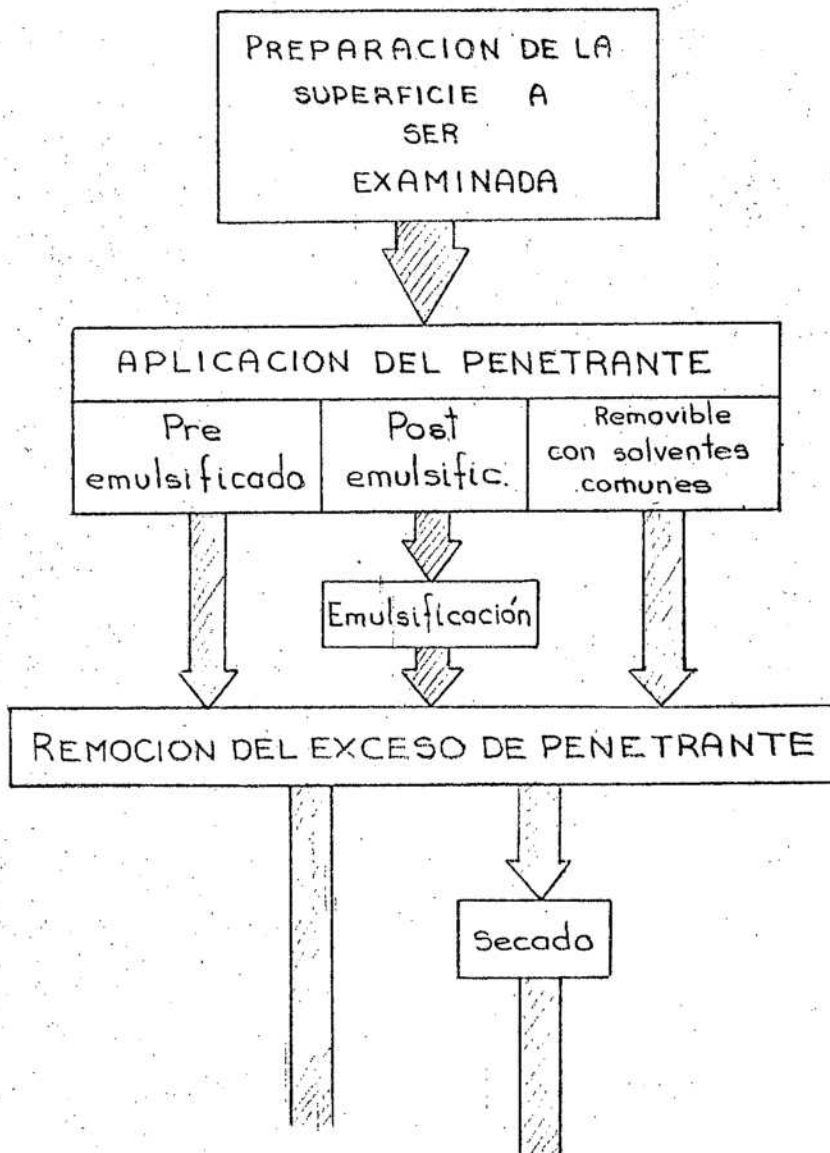
El proceso de remoción consistirá entonces en la mayoría de los casos en aplicar ese removedor con el spray sobre la superficie y luego con un trapo o papel perfectamente limpios terminar la limpieza.

A pesar de ser el procedimiento más usado para aplicaciones en el terreno, no es el más aconsejable, puesto que la acción mecánica del spray si no es muy cuidadosamente aplicado puede retirar penetrante de las discontinuidades, especialmente de las más abiertas. Estos problemas pueden evitarse especialmente si utilizamos en la limpieza trapos o papeles mojados en el removedor recomendado, que en la mayoría de los casos suele ser tricloretileno.

Respecto del uso de esos elementos, la experiencia indica, por lo dañinos que son para la salud, el uso de máscaras de aire cuando se trabaja con ellos en recipientes cerrados. Además debe cuidarse su inflamabilidad.

Si las tintas son fluorescentes se recomienda realizar la limpieza con la ayuda de luz negra.

La limpieza también puede hacerse sumergiendo la pieza y luego recurriendo al uso de trapos y/o papel.

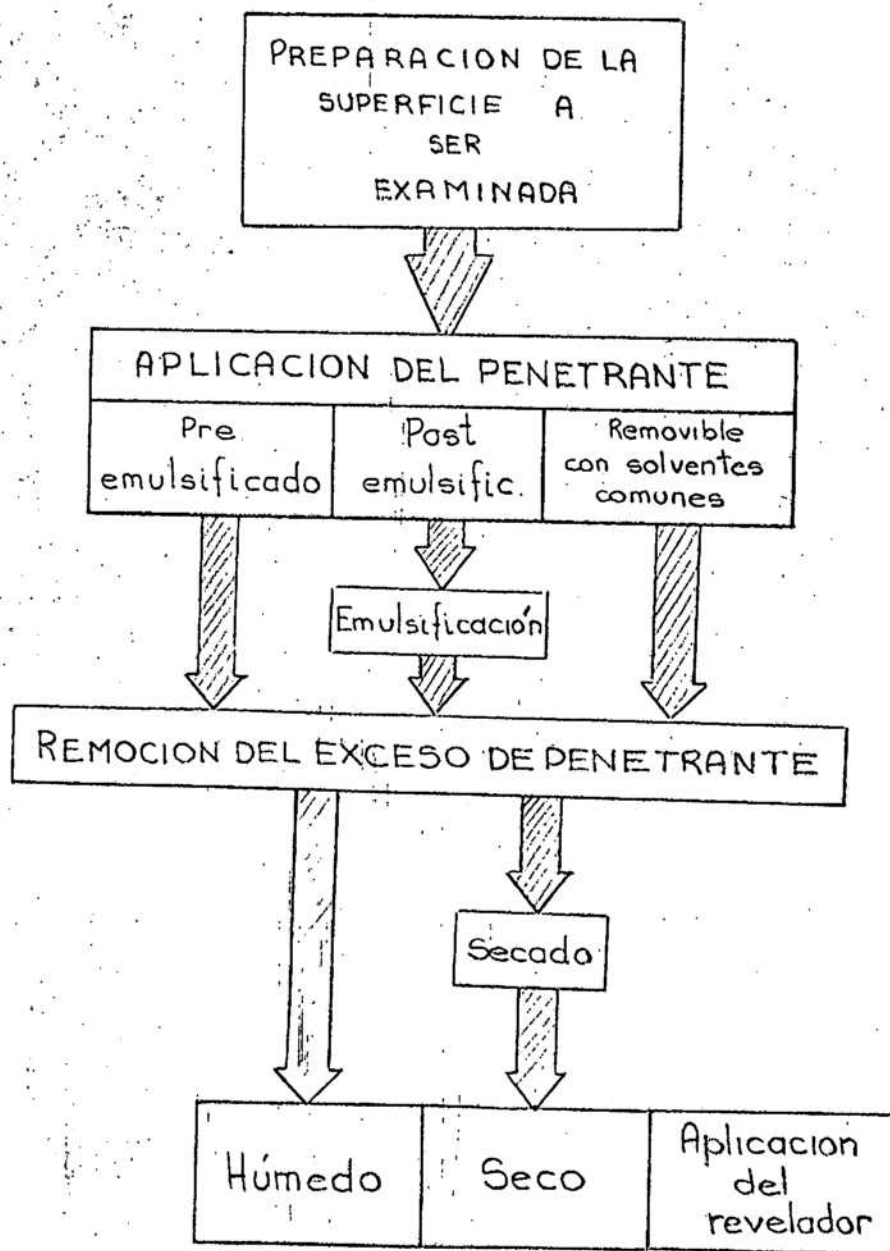
4) Secado de la superficie. -

Veremos más adelante al hablar del proceso de revelado que existen dos tipos de elementos usados para ese fin, unos secos y otros de base húmeda.

Nos interesan aquí particularmente los primeros, pues siendo secos necesitarán que la pieza les presente una superficie completamente libre de restos de los elementos usados durante la limpieza del exceso de penetrante (agua o remove-dores).

La razón de esta condición está radicada en que cualquier elemento extraño que quede podría interponerse entre el penetrante de las fisuras y el revelador distorsionando las indicaciones.

Para conseguir el secado puede recurrirse a iluminación con lámparas de infrarojo, o a ventiladores de aire caliente o frío. En cualquiera de los casos las normas requieren además de precauciones de limpieza en las corrientes un buen cuidado de la temperatura de ellas, pidiéndose como caso general (algunos casos es peciales pueden necesitar menores).

5) Aplicación del revelador. -

Se da este nombre a la etapa del método en la cual se trata de llevar a la superficie el penetrante contenido en las discontinuidades, para así evidenciar su presencia.

Para este propósito se utilizan polvos blancos finamente divididos y fuertemente absorbentes (pues debe luchar contra la fuerza de capilaridad) que se esparcen cubriendo la superficie a inspeccionar.

Las formas en que estos se presentan para su uso son dos: seca, donde el polvo se aplica directamente sumergiendo la pieza en el recipiente que lo contiene o esparciéndolo sobre ella o puede obtenerse, húmeda, es decir disperso en un medio, que al retirarse lo deja colocado en el lugar deseado.

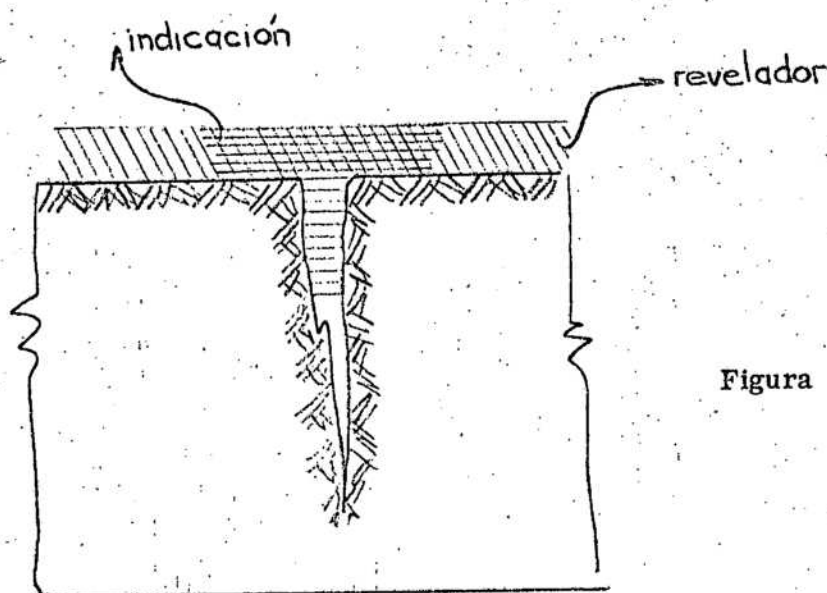


Figura 31

En ambos casos el revelador debe ser aplicado de tal manera que cubra completamente la superficie con una capa delgada y uniforme. O sea que el recubrimiento conseguido debe ser lo suficientemente grueso como para dar un buen contraste, lo cual es particularmente necesario en el caso de usar tintas visibles con luz normal, cuya indicación necesita aumentar su diferenciación con el medio que la rodea, no así las fluorescentes que son fácilmente diferenciables (de allí que para ellas la capa debe ser sumamente delgada); y lo suficientemente delgado como para que indicaciones muy pequeñas no vayan a ser perdidas.

Veamos ahora cuales son las características y limitaciones para cada uno de los tipos de revelador.

Los de base húmeda no son más que polvos mezclados con agua u otro medio de evaporación más rápida.

En el momento de usarlos deben tomarse las precauciones para conseguir que se encuentre en suspensión la proporción especificada, para lo cual se a los recipientes de agitadores, que se ponen a funcionar un tiempo prudencial antes de usarlo (pueden ser 5 ó 6 minutos). Para la aplicación las piezas se sumergen en el baño.

Durante esta aplicación el líquido portante puede retirar el penetrante de las fisuras no por absorción sino por lavado. El penetrante en ese estado se espar-

cirá entonces en el revelador, en un área mucho más grande perjudicando notablemente la visibilidad, dado que disminuye el contraste al hacer menos blanco el fondo.

Otra forma de aplicación de este tipo de revelador es utilizando un spray. En ese caso debe mantenerse lo suficientemente alejado de la superficie como para evitar que se produzca el lavado antes descrito. En condiciones ideales el polvo debería llegar a la superficie seco.

En el caso de revelador seco se necesita antes de su aplicación un previo secado de la superficie. Su aplicación puede conseguirse sumergiendo la pieza en recipientes o con aplicadores manuales. A diferencia de lo que ocurría en el caso de usar un revelador húmedo, aquí el seco, al ser aplicado, sólo queda retenido en los lugares donde hay penetrante ocluido, mientras que el resto en exceso se elimina sacudiendo la pieza o soprándolo con un ventilador de baja presión.

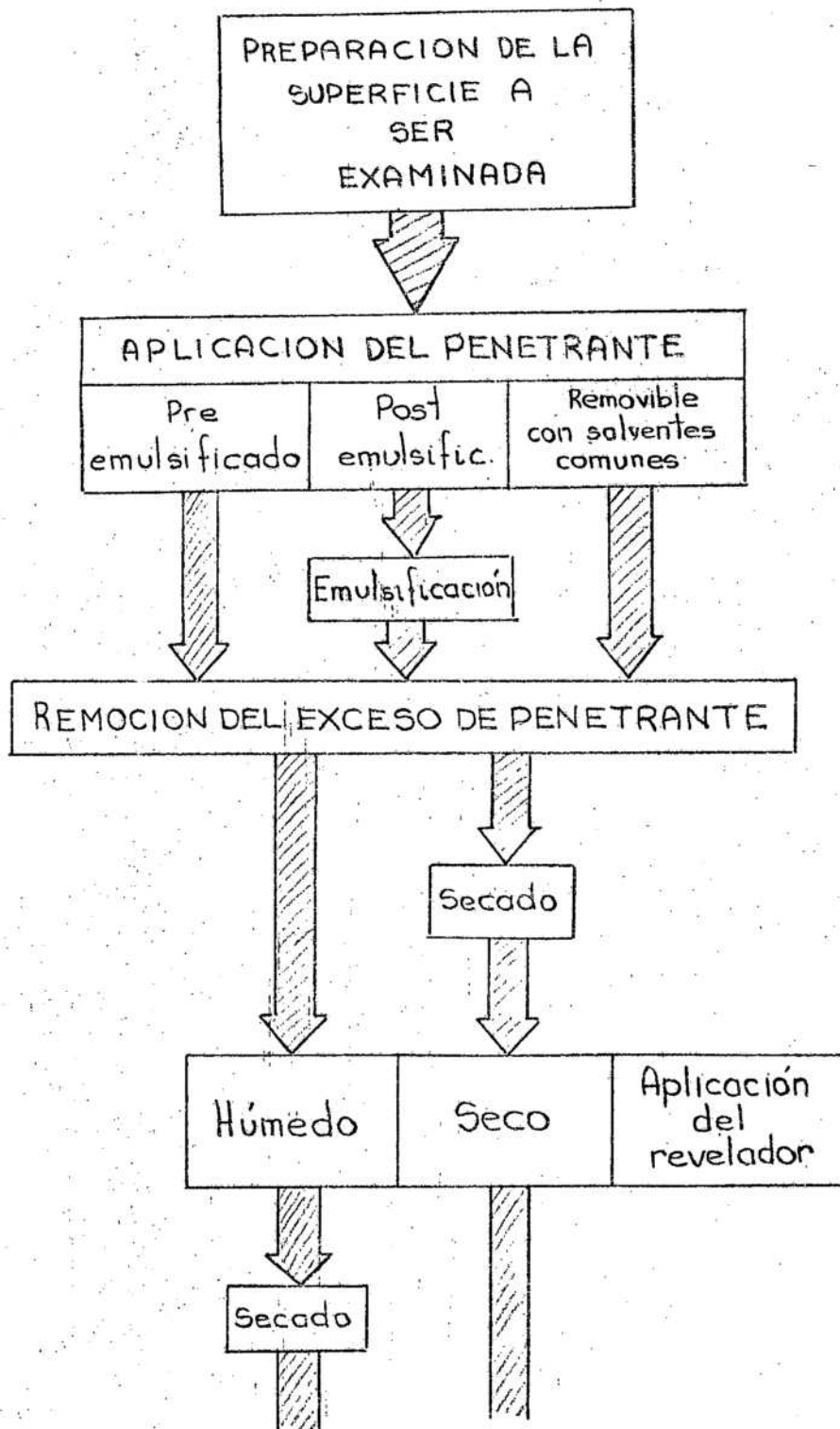
Por todo esto es que este tipo de revelador es aplicable fundamentalmente para tintas fluorescentes que no necesitan de una capa relativamente gruesa de revelador.

En ambos casos es necesario establecer un tiempo de revelado, es decir un tiempo mínimo para el cual pueda considerarse que la extracción del penetrante ha comenzado efectivamente en toda la superficie.

El valor que comúnmente se ha dado como adecuado es que debe ser al menos igual tiempo de penetración, aunque esta nuevamente como en casos anteriores es una regla de aproximación que afinará la experiencia individual de cada aplicación dado que puede haber casos que requieran de tiempos mucho mayores o menores.

Tampoco deben dejarse las piezas en revelado durante un tiempo muy grande y sin observarlas periódicamente, pues, puede ocurrir que haya fisuras muy profundas con gran contenido de tinta que al llegar a la superficie enmascare otras indicaciones no permitiendo localizaciones exactas.

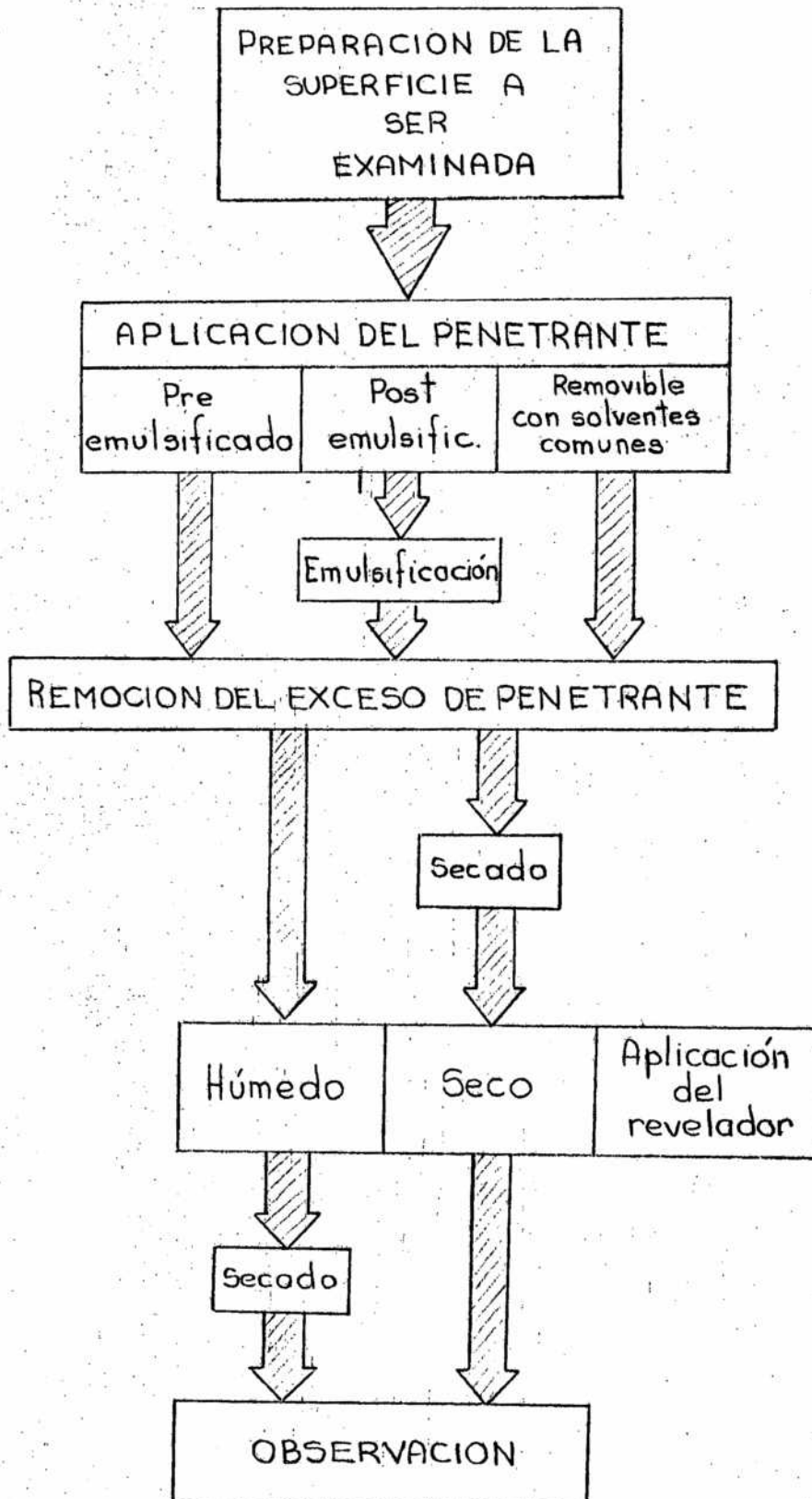
Hay casos en que puede evitarse el uso de revelador, esto especialmente se da con las tintas fluorescentes y además cuando se analizan piezas cerámicas.

6) Secado posterior al revelado. -

Lógicamente que esta etapa sólo figurará en el diagrama de flujo de aquellos ensayos que utilizan reveladores húmedos.

Las precauciones y recomendaciones son exactamente las mismas que se hicieron para el secado previo a la utilización de reveladores secos.

También en este caso el secado puede conseguirse a temperatura ambiente.

7) Observación de las indicaciones. -

Esta etapa comienza en el mismo momento en que comienza a trabajar el revelador, de allí que sea recomendable en todos los casos seguir paso a paso la evolución del revelado.

Es condición indispensable para lograr los resultados en la inspección, el trabajar con las condiciones de iluminación adecuadas. Es decir si se está trabajando con tintas fluorescentes, disponer de una habitación completamente oscurificada e iluminada únicamente con luz negra de características especiales que luego veremos.

Además la superficie sobre la cual apoyaremos la pieza debe estar limpia de sustancias que puedan dar indicaciones fluorescentes, se recomienda también que sea opaca para no reflejar los rayos ultravioletas. Por otra parte si se usan tintas visibles con luz normal las condiciones deben ser disponer de una buena iluminación ya sea artificial o natural.

Como resultado de una buena inspección el operador encontrará indicaciones, las cuales estará capacitado para distinguir entre verdaderas y falsas.

Entendiéndose por indicaciones verdaderas aquéllas que provienen de discontinuidades reales que durante las diferentes etapas del método retuvieron al penetrante. En cambio las falsas son producidas por penetrante también retenido, pero no en discontinuidades sino que quedó en esos lugares, por ejemplo, por una mala operación de lavado, favorecida por una superficie extremadamente rugosa.

Debemos decir aquí que un buen operador de tintas penetrantes será tal, cuando sépa distinguir claramente estas diferencias.

Podemos decir ahora que son numerosos los intentos realizados para correlacionar adecuadamente la cantidad de penetrante extraída con las dimensiones de las discontinuidades, y su forma, lo cual puede conseguirse a través de una ardua experiencia, dado que no son posibles formular reglas de oro aplicables ciegamente.

Generalmente podemos decir que la experiencia nos indica que será más fácil detectar la forma y naturaleza de la discontinuidad que sus dimensiones.

Como ejemplo de todo esto podemos decir que si en la inspección nos enfrentamos con una porosidad fina, esta aparecerá indicada como puntos aislados.

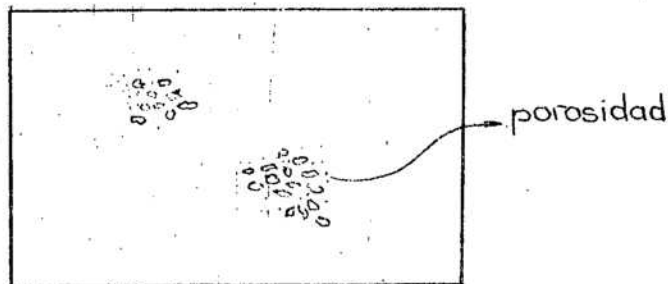
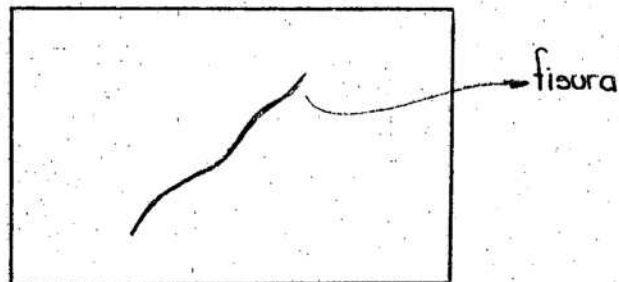


Figura 32

si en cambio la discontinuidad es una fisura, su indicación será una línea continua.

Figura 33



y así en los demás casos.

Respecto a la importancia de seguir la evolución del revelado, podemos decir que una indicación extensa sobre el revelador puede provenir por ejemplo de dos lugares diferentes, de una indicación superficial y muy abierta o de una fisura estrecha pero profunda.

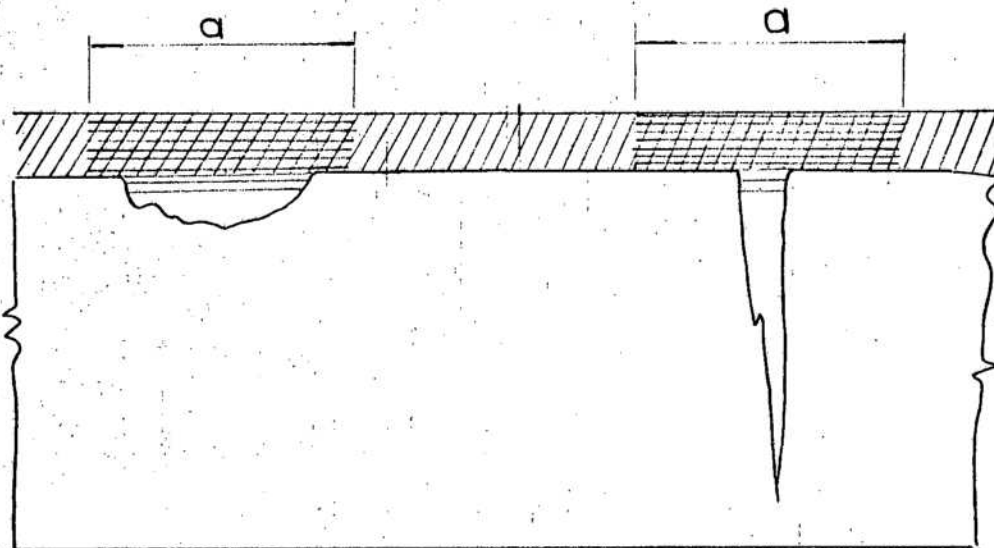
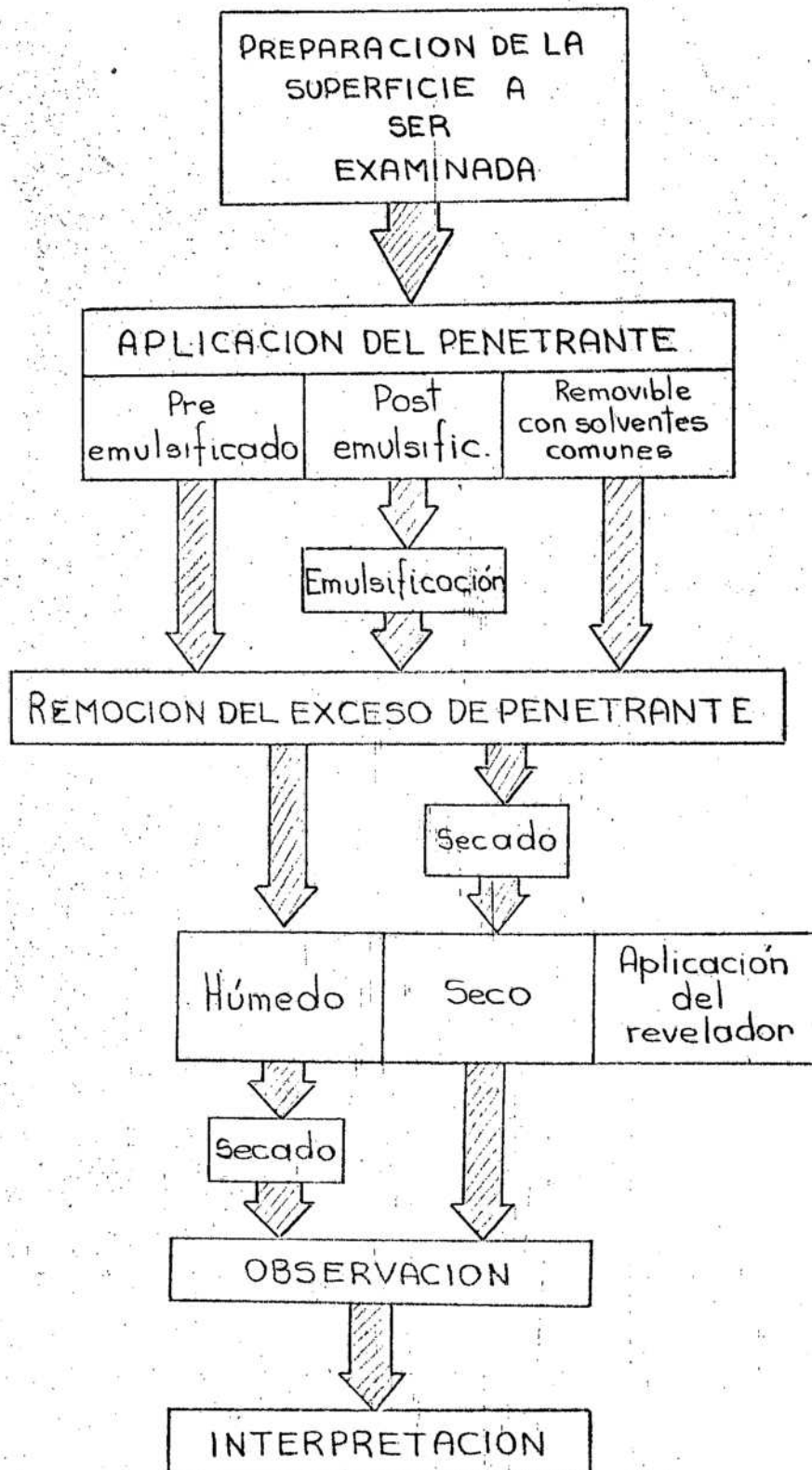


Figura 34

Aunque la indicación final sea la misma por tener ambas igual volumen de penetrante, su evolución será distinta, dado que en el primer caso la manifestación será rápida y completa, mientras que en el segundo será lenta y requerirá entonces un tiempo mayor.

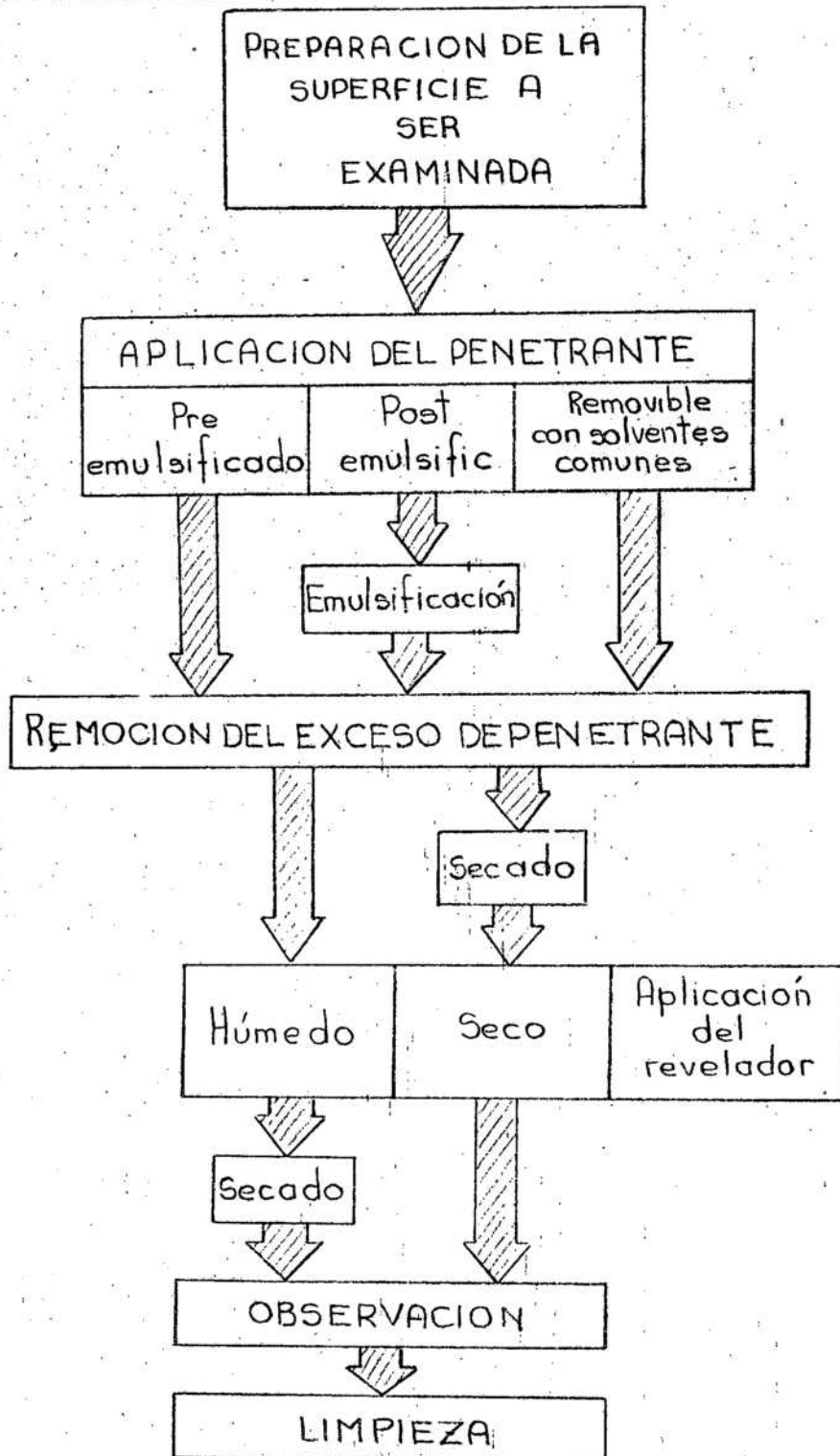
La forma de trabajar en la inspección será con el ojo desnudo o a lo sumo ayudado por una magnificación moderada.

8) Interpretación de los resultados. -

Comprenderemos en esta etapa la evaluación de las indicaciones obtenidas no ya en sus dimensiones por ellas mismas, ni del tipo de defecto, sino en su importancia en la vida útil de la pieza. Lo cual si bien depende de los factores anteriores no está relacionado con ellos en una dependencia directa. Es decir un de-

defecto grande no siempre es descalificante para la pieza, ni siempre un defecto pequeño es insignificante.

Esto nos dice que para esta etapa será necesario recurrir al conocimiento profundo de los materiales, de las aplicaciones ulteriores de la pieza y valerse de un correcto manejo e interpretación de códigos, que nos aseguren una adecuada evaluación de las indicaciones.

9) Limpieza de post - inspección. -

Esta etapa no es siempre imprescindible o sea que se aplicará en aquellos casos donde el penetrante residual o bien el revelador pueden interferir con la aplicación ulterior de la pieza. Especialmente si de su acción ulterior puede derivarse un fenómeno corrosivo.

También se aplicará cuando de la inspección nazca la necesidad de repetir el método.

Los medios de limpieza pueden seleccionarse de los enumerados al estudiar la preparación de las superficies.

V - Tipos de defectos a detectar.

Tal como se ha afirmado en repetidas oportunidades los defectos a detectar son todas aquellas discontinuidades superficiales o comunicadas de alguna manera con ella.

Con el fin de tener una clasificación de estos, las normas ASTM en su número E 433 - 71 la han dado junto con las fotografías de referencia de cada una de ellas.

Su utilidad será fundamentalmente grande en la redacción de especificaciones de materiales, puesto que en el contrato cada una de las partes deberá acordar los límites de rechazo para cada caso, fijando valores límites para el número y dimensiones de cada tipo. Cosa que no hace la norma puesto que no es su intención establecer límites de aceptabilidad o rechazo.

El esquema de clasificación consiste en agrupar las discontinuidades en tipos, a saber:

Tipo I son aquéllas en las cuales ninguna de las dimensiones mensurables es más grande que tres veces cualquier otra.

Tipo II aquéllas en las cuales una de las dimensiones mensurables es al menos tres veces más grande que la otra.

y a la vez cada tipo es dividido en clases, de manera que es

clase A	solitaria
clase B	múltiples no alineadas
clase C	" alineadas
clase D	intersección de superficies (esquinas, filetes, etc.)

En la misma norma para cada tipo y clase se tienen fotografías.

A pesar de esto puede darse el caso de que compañías que realizan continuamente la inspección de piezas iguales tengan sus propias fotografías de referencia, las cuales pueden sí, ahora, tener establecidos para cada una de ellas, niveles de rechazo. Estos se establecen una vez y para siempre cuando detectada la fisura se la fotografía y luego se corta para evaluar su importancia y otorgarse el nivel. Es decir que una vez por lo menos, el ensayo destructivo complementa aquí al no destructivo.

VI - Limitaciones del método

Por todo lo que se ha estudiado hasta ahora y, aunque ya muchas veces se lo ha dicho, podemos repetir que la principal limitación del método es que sólo es capaz de detectar defectos conectados con la superficie.

Por lo demás es aplicable a todo tipo de materiales y sólo es superado en su trabajo en dos casos

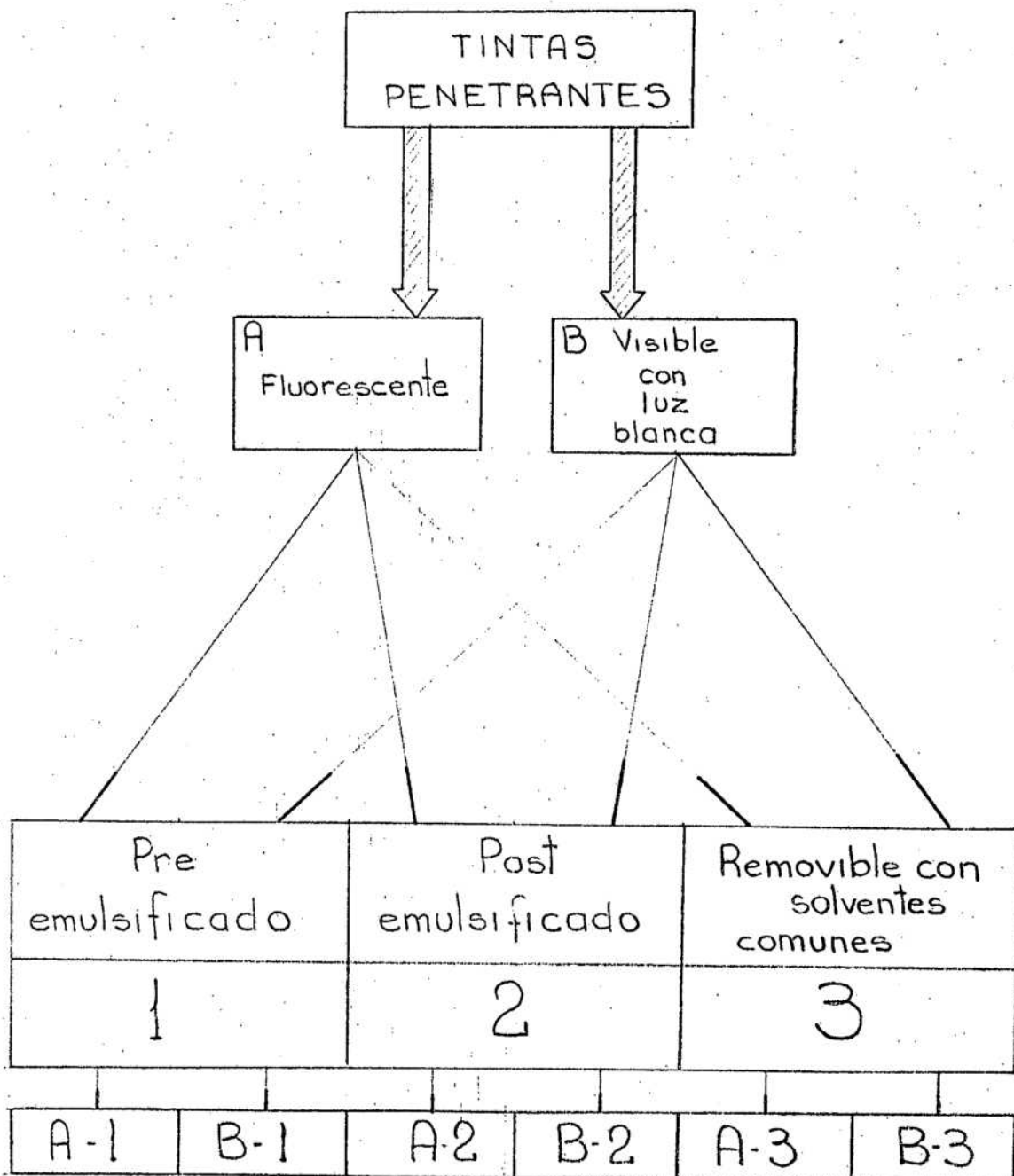
- cuando se trata de materiales ferromagnéticos, por las partículas magnéticas
- cuando se trata de materiales porosos ;
por las partículas filtradas

Los casos anteriores los presentamos sin con ello querer significar que no pueda aplicarse también en ellos las tintas penetrantes.

VII - Selección del método a usar. Ventajas y desventajas de cada uno.

Dado que ya hemos visto todo lo referente a las características funcionales del método de tintas penetrantes estamos en condiciones sin más, de elegir la técnica adecuada para encarar cada problema específico.

Sólo haremos aquí una serie de recopilaciones generales que podemos comenzar clasificando las técnicas en la forma en que lo hace la norma ASTM que nos dice que



pudiendo dividirse a su vez cada una de las 6 técnicas finales, en dos más si recordamos que el revelado puede ser:

seco

húmedo

es decir que se dispondría de 12 técnicas distintas.

Recordando ahora las ventajas y desventajas que se puntualizaron en todo el estudio de ellas puede formularse los siguientes cuadros orientativos para la elección de la técnica.

Ver tabla VI , VII , VIII , IX y X

Por supuesto que lo allí indicado es meramente orientativo, quedando claro que los factores determinantes para la elección de una técnica son:

- sensibilidad deseada
- número de piezas a inspeccionar
- lugar de inspección
- tipo de defecto
- estado superficial

VIII - Equipos auxiliares e instalaciones de ensayo. -

Trataremos de describir en este punto todos aquellos elementos que, además de los usados directamente en contacto con el material que se inspecciona, son necesarios para concretar el ensayo.

-1 Sistemas de iluminación.

-1-1 Iluminación con luz blanca.

Es la utilizada para la inspección de piezas ensayadas con tintas de las llamadas visibles con luz normal.

-1-1-1 Fuentes de luz blanca.

Son prácticamente las mismas que para cualquier otra inspección visual. Es decir, serán, el sol, las lámparas incandescentes, tubos fluorescentes, etc.

Lo importante es que provean una buena iluminación dado que de ello dependerá el éxito de la inspección y la comodidad de trabajo (no habrá fatiga óptica) del inspector.

-1-1-2 Características espectrales.

Generalmente se emplea luz perfectamente blanca, es decir que tiene toda la gama de longitudes de onda del espectro visible. Pero en ciertas oportunidades en que se asegura un buen fondo blanco con el revelador, puede emplearse una luz en la que se haya iluminado ^{con} la longitud de onda que refleja el penetrante. Ante esto la indicación aparecerá negra, que en un fondo blanco asegurará un buen contraste.

-1.1.3 Niveles de iluminación.

Estos se eligen en función del tipo de defectos que se van a intentar detectar. Así para defectos grandes el nivel puede ser de 30 a 50 pie-candela en la superficie de la pieza.

Pueden utilizarse niveles más bajos cuando intencionalmente se pretende no ver indicaciones falsas o mayores de hasta 100 pies-candela para inspecciones críticas.

-1-2 Iluminación con luz negra.

Es la utilizada para la inspección de indicaciones conseguidas con el uso de tintas fluorescentes.

-1-2-1- Definiciones

Llamamos en todo lo que vimos hasta aquí y seguiremos llamando luz negra, a la energía radiante que tiene una longitud de onda comprendida en la banda de 3200 a 4.000 Å con un pico de intensidad a los 3650 Å.

Para ubicarla en el espectro veamos la siguiente figura

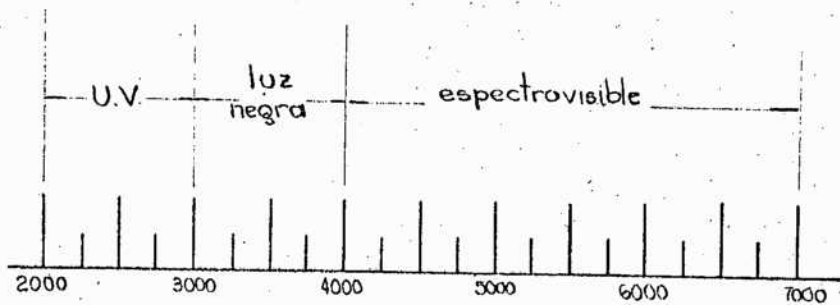


Figura 35.

Esta luz negra tiene la propiedad de que al llegar a ciertas sustancias éstas fluorescan. Entendiéndose por fluorescencia el hecho de que una sustancia emita radiación visible de una dada longitud de onda mayor cuando es alcanzada por la luz negra y deja de hacerlo en cuanto no la recibe más.

Las longitudes de onda en que pueden emitir son varias, así tendremos sustancias que emiten, en el anaranjado, rojo, amarillo, etc. Las usadas para las tintas penetrantes lo hacen en un verde amarillento.

La luz negra no es dañina al organismo, no así la radiación ultravioleta que, puede causar mucho daño a la vista, además de otros efectos.

Una fuente natural de luz negra es la radiación que llega desde el sol, donde aparece mezcla con energía perteneciente al espectro visible. Por ello es que aun que hace fluorescer las sustancias, esto pasa casi inadvertido, a pesar de lo cual se pueden ver objetos especialmente brillantes bajo el sol.

-1-2-2 Fuentes de luz negra.

Además del sol, del cual ya hemos hablado, se encuentra la producida por el arco que salta entre dos electrodos de carbón o metálicos. Pero el arco producido entre dos electrodos sumergidos en una atmósfera de vapor de mercurio a presión, es quizá la fuente más adecuada para la producción de luz negra. Y es usada esta lám para prácticamente sin excepciones.

En la figura siguiente tenemos presente

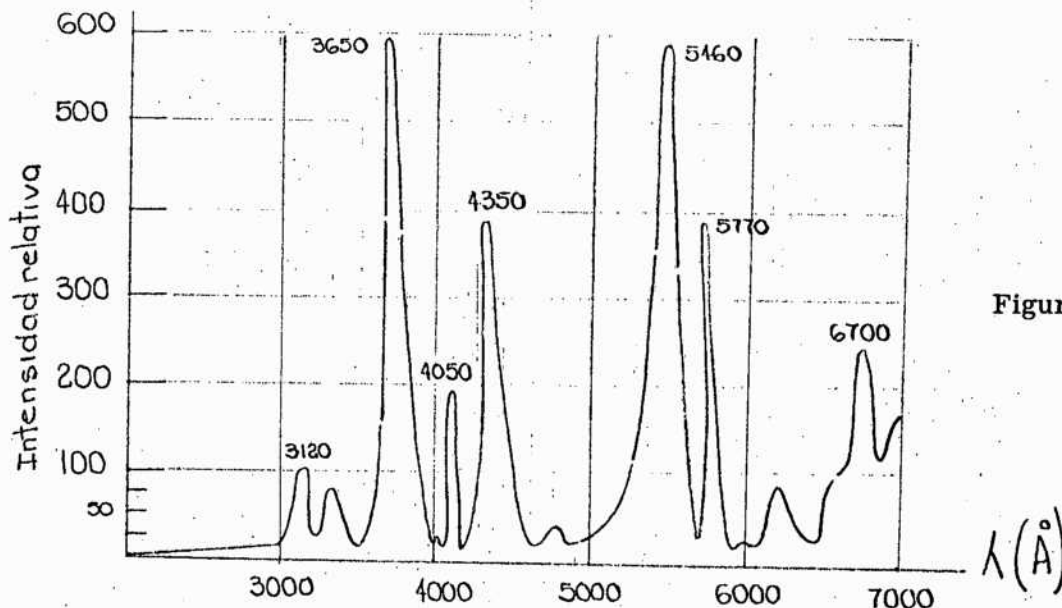


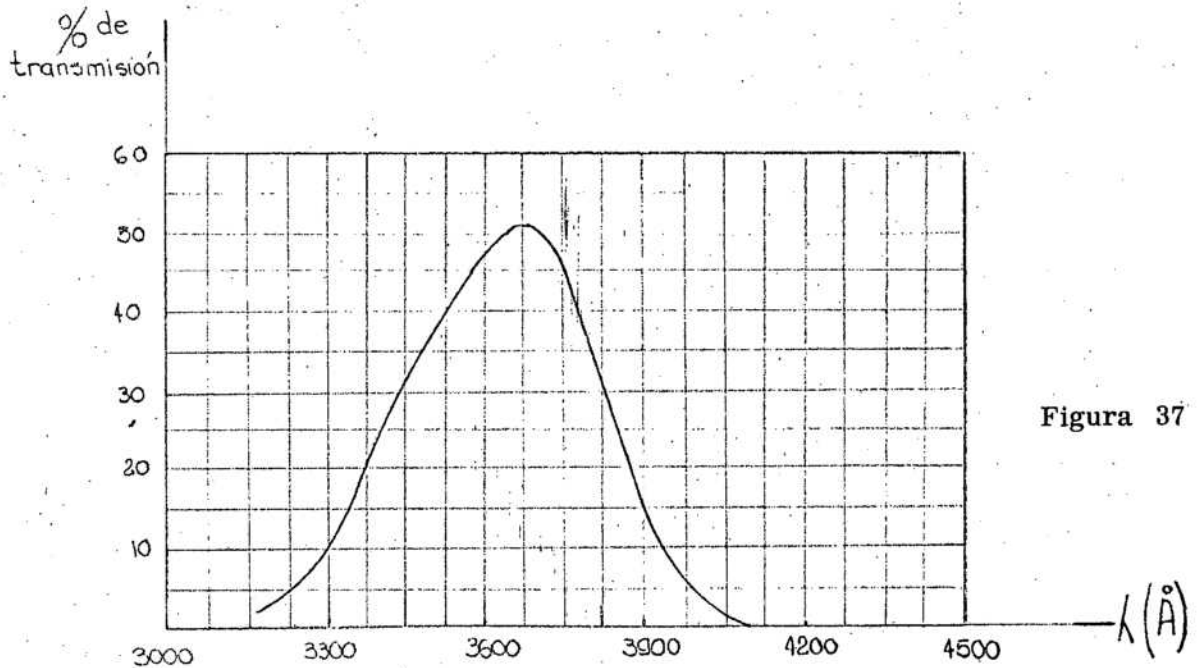
Figura 36

el espectro de luz dado por las lámparas de vapor de mercurio.

En la mayoría de las aplicaciones la luz producida por estas lámparas es filtrada utilizando filtros de vidrio, con lo cual se pretende eliminar lo más posible, toda la luz visible y la ultravioleta.

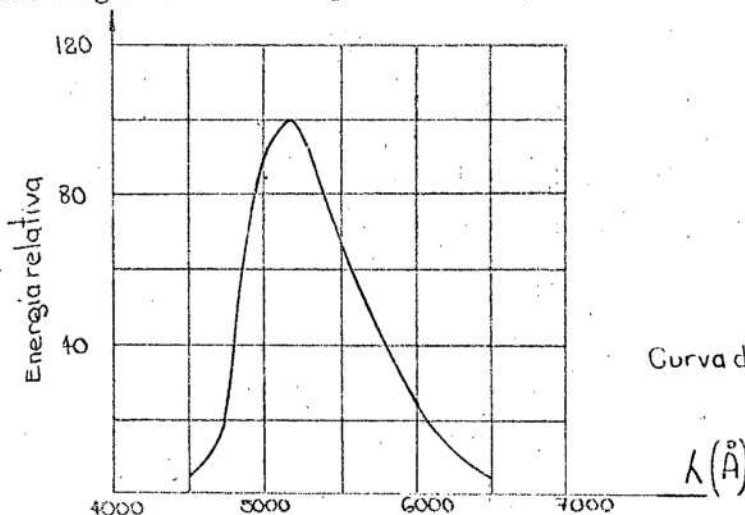
La única radiación que pasa los filtros es la correspondiente a la luz negra con un pico máximo en $3650 \text{ \AA}$.

En la figura siguiente puede verse el resultado obtenido con la radiación luego de usar un filtro Kopp 41 (4,7 mm de espesor).



Puede allí verse que la cantidad de luz visible transmitida es muy poca aun que no despreciable, puesto que tendrá la intensidad suficiente como para que el inspector pueda ver las cosas no fluorescentes ubicadas cerca de la pieza en ensayo. También pasarán las radiaciones infrarrojas.

Las tintas fluorescentes utilizadas con los penetrantes emiten luz visible en varias longitudes de onda que van del rojo al azul. Aunque observamos la curva siguiente



veremos que la mayor intensidad estará en la zona del verde - amarillento.

-1-2-3 Tubos de luz negra.

Constructivamente son similares a los de uso familiar o sea que emplean un arco de mercurio de baja presión y además en el lado interior están cubiertos con una sustancia que flouorece ante la energía de la descarga en el vapor de mercurio. Envolviendo estos tubos se colocan otros más largos de color rojo púrpura o se construye con vidrio de ese color la envoltura original para transformarlos en una fuente de luz negra.

Las variedades que en el mercado se presentan son muchas y allí podemos encontrar tubos de 6 Watts y 110 volts, los cuales son muy poco usados con los penetrantes únicamente cuando se sabe que las indicaciones a conseguir serán evidentes.

Hay otros más grandes de 40 a 60 Watts que al igual que los anteriores tienen el problema de una potencia muy baja. Son también muy poco usados.

Cuando se los emplea se lo hace en baterías de ellos.

-1-2-4 Lámparas incandescentes de luz negra.

Son similares a las de uso común salvo que el vidrio es de color rojo púrpura para actuar como filtro. Son al igual que los tubos de baja producción de luz negra y bastante luz blanca. Vale para ella lo dicho para los tubos de 6 Watt y además son de vida muy corta.

-1-2-5 Lámparas de vapor de mercurio.

La disposición constructiva es la que aparece indicada en la figura siguiente:

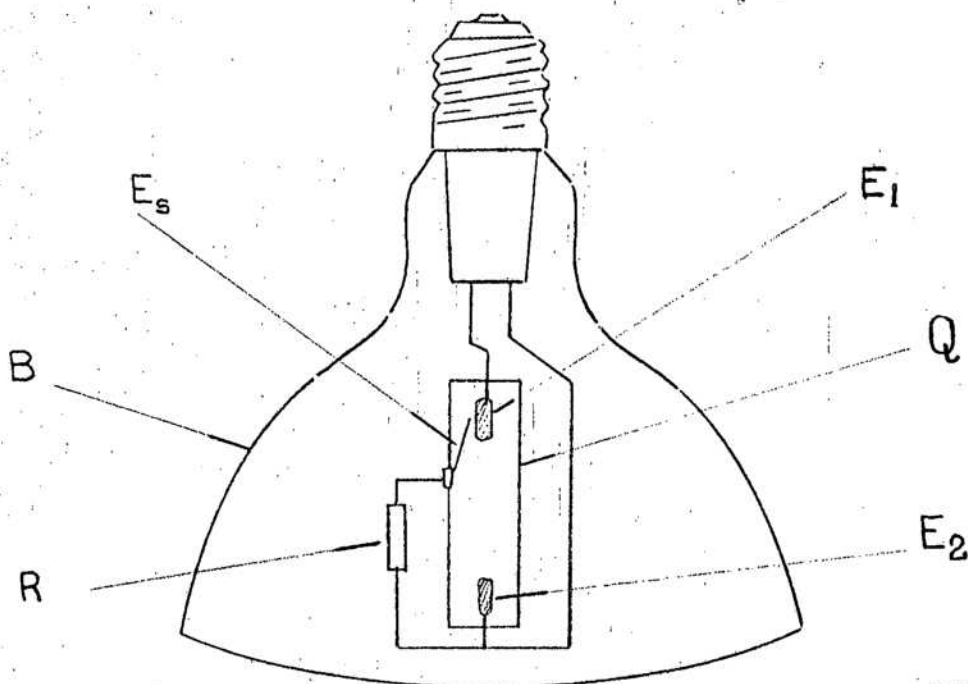


Figura 39

Aquí el arco de mercurio salta entre dos electrodos encerrados en un pequeño bulbo de cuarzo Q.

Los electrodos principales son el E_1 y el E_2 , mientras que el E_3 , es el electrodo secundario de arranque y calentamiento. La resistencia R limita la corriente en el E_3 . Todo está colocado dentro de un bulbo de vidrio B el cual sirve de protección del conjunto y además para focalizar la luz emitida.

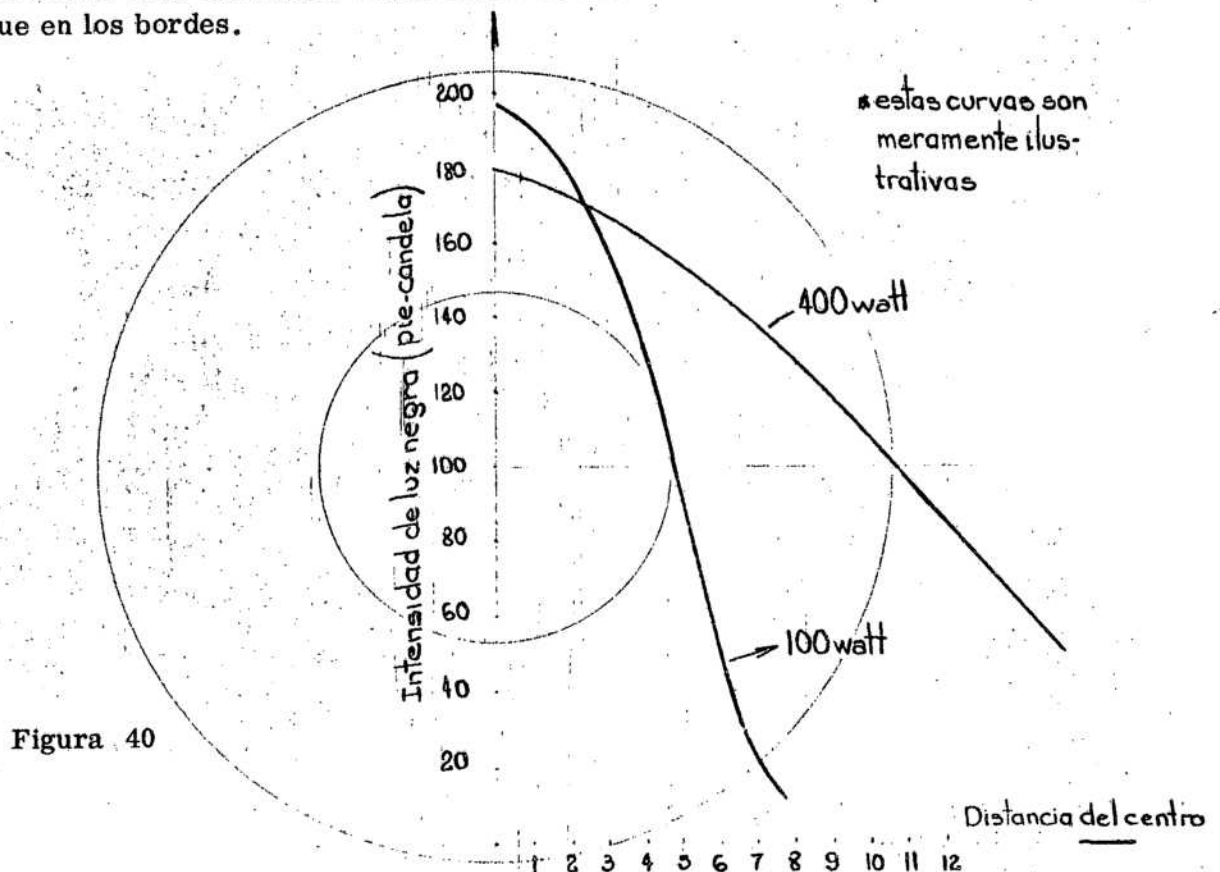
La corriente que recibe la lámpara proviene de un balasto especial regulador transformador, el cual limita la corriente que hace saltar el arco.

En el primer momento el arco no es establecido completamente, sino que se establece un arco de baja corriente entre E_1 y E_3 , produciendo suficiente vaporización del mercurio como para que salte el arco entre los electrodos principales.

Esto hace que la lámpara necesite casi 5 minutos para alcanzar su máxima intensidad.

Controlando las características del vapor de mercurio se puede variar el espectro de radiación. Así a presiones muy altas (100 atmósferas) el espectro será prácticamente continuo en una banda muy ancha de longitudes de onda, pero a presiones más bajas (10 atmósferas) la producción es grande en el rango visible y ultravioleta. Estas son las lámparas que luego de filtrada su radiación alcanzan una buena producción de luz negra y son las usadas en inspección.

Las formas más comunes en que pueden conseguirse es en 100 Watt (que es la más común). Este tipo de lámpara en su forma focalizada (hay también de emisión panorámica, pero no son útiles) da una intensidad adecuada de luz negra para casi todos los casos de inspección sobre una superficie de 15 cm. de diámetro en un plano colocado a 30 cm. del filtro. En el centro de este círculo la intensidad es casi el doble que en los bordes.



Las hay también de 400 watts pero ya no es empleada en instalaciones portátiles como la anterior sino que se la usa en iluminaciones fijas.

Podemos decir ahora que, puesto que la cantidad de luz emitida desde una tinta fluorescente depende directamente de la cantidad de energía de luz negra que se le suministra, la intensidad debe ser en el punto de inspección lo más alta posible.

Podemos decir que hay tres factores que determinan la perceptibilidad de una indicación:

- a) la cantidad de tinta en la indicación.
- b) la respuesta de la tinta a una dada luz negra.
- c) la energía de luz negra suministrada.

La experiencia ha demostrado a los investigadores y usuarios que una intensidad de luz negra de 90 pies-candela en el punto de inspección es la mínima para una segura detección de pequeñas fisuras. Pueden usarse menores a medida que aumenta el tamaño del defecto a detectar.

-1-2-6 Medición de la intensidad de la luz negra.

Para asegurar que en todo momento mantienen las condiciones requeridas es necesario repetir el ensayo periódicamente. No serían necesarias en una primera aproximación, mediciones fotométricas exactas pero si se les exigiera que den repetibilidad.

Los métodos desarrollados son varios, pero generalmente consisten en células fotovoltaicas con miliamperímetros como indicadores que permiten tomar las lecturas directamente en pie-candelas.

Las calibraciones se hacen con lecturas de luz blanca. Generalmente los aparatos tienen una adecuada respuesta para el rango de longitudes de onda correspondiente a la luz negra.

En la figura siguiente se ven superimpuestas la curva resultante luego del filtrado y la que resulta de las indicaciones del instrumento sin filtrado.

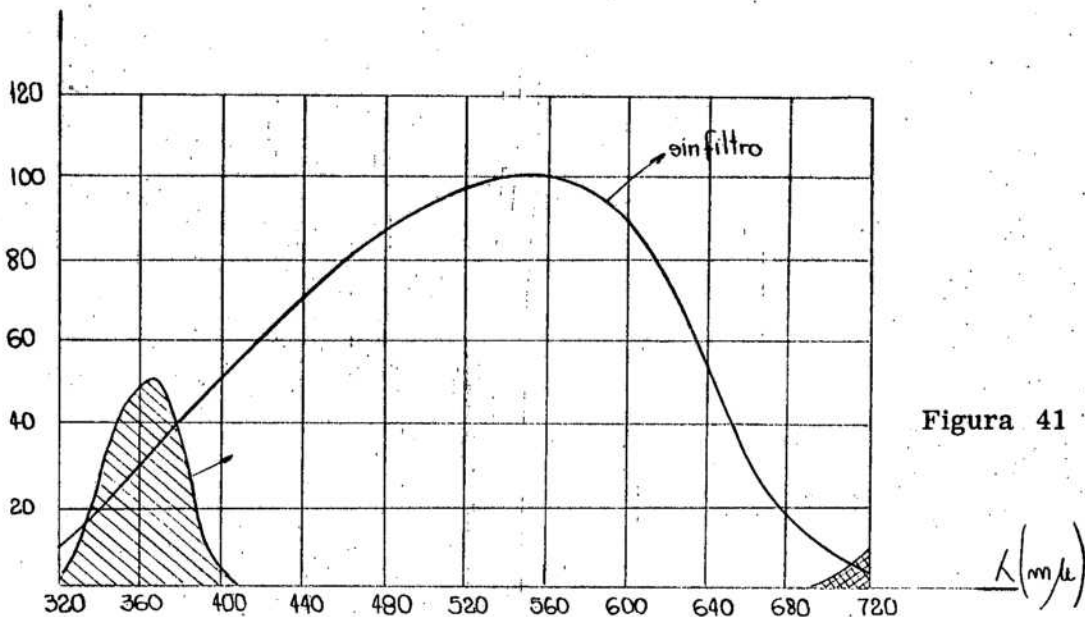


Figura 41

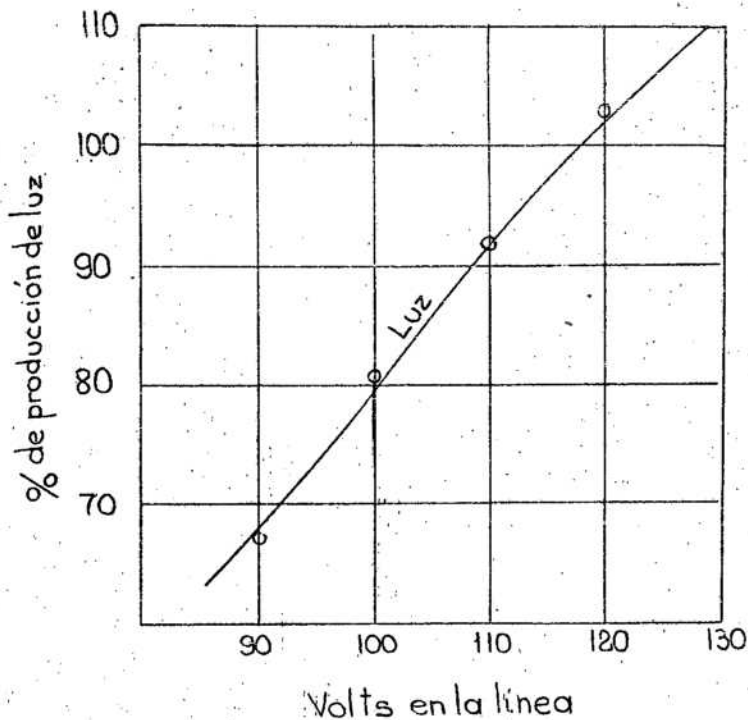


Figura 42

Los medidores se calibran desde 0 a 75, 60 a 100 pie-candela, utilizando máscaras para multiplicar las lecturas por 10 para intensidades más altas.

Las normas British Standards (BS: 4489) describen también un procedimiento pensado para establecer con medios comparativos la producción de las lámparas de luz negra usadas en la detección de defectos con indicadores fluorescentes. Este se aplicará tanto a lámparas nuevas como usadas.

Además el método puede usarse para evaluar la fluorescencia de las soluciones penetrantes.

Para describir el aparato de ensayo digamos que consistirá en una pantalla fluorescente y un fotómetro como se lo muestra en la figura siguiente:

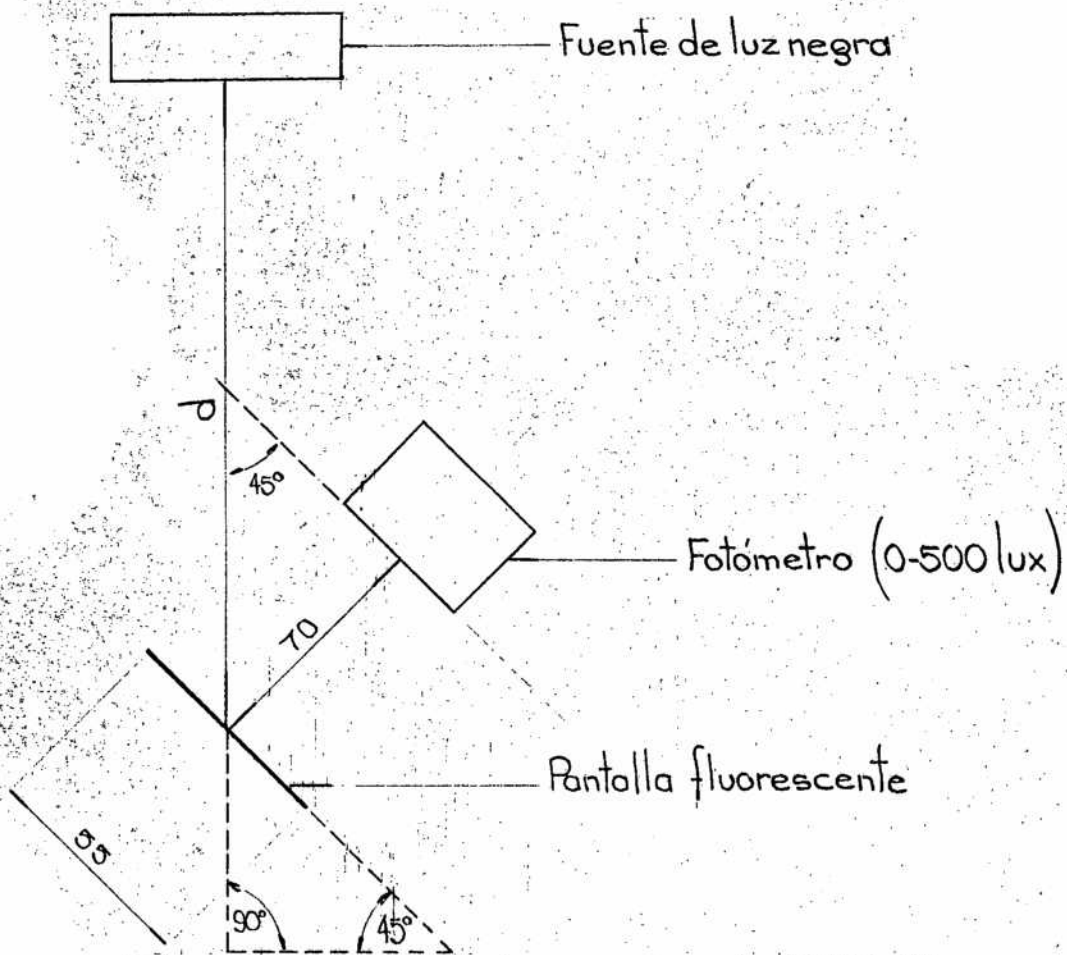


Figura 43

La pantalla fluorescente será una dispersión de un pigmento inorgánico fluorescente en un plástico encerrado entre dos hojas finas de polyester.

Las condiciones exigidas para realizar el ensayo piden que las lámparas se calienten durante 15 minutos antes de comenzar las mediciones y además que el procedimiento deberá hacerse en una habitación completamente a oscuras, aceptándose que la iluminación sea como máximo de 10 lx en el punto de inspección.

-1-2-7 Causas de la variación de la intensidad de la luz negra.

Algunas de las causas más comunes culpables de las variaciones de intensidad de las lámparas de luz negra son:

a) Diferencias en los bulbos.

Es una diferencia inevitable entre lámparas de distintos fabricantes y aún del mismo, lo cual redunda en una necesaria variación de intensidad.

b) Variaciones en el voltaje aplicado.

La producción de luz negra depende directamente del voltaje aplicado.

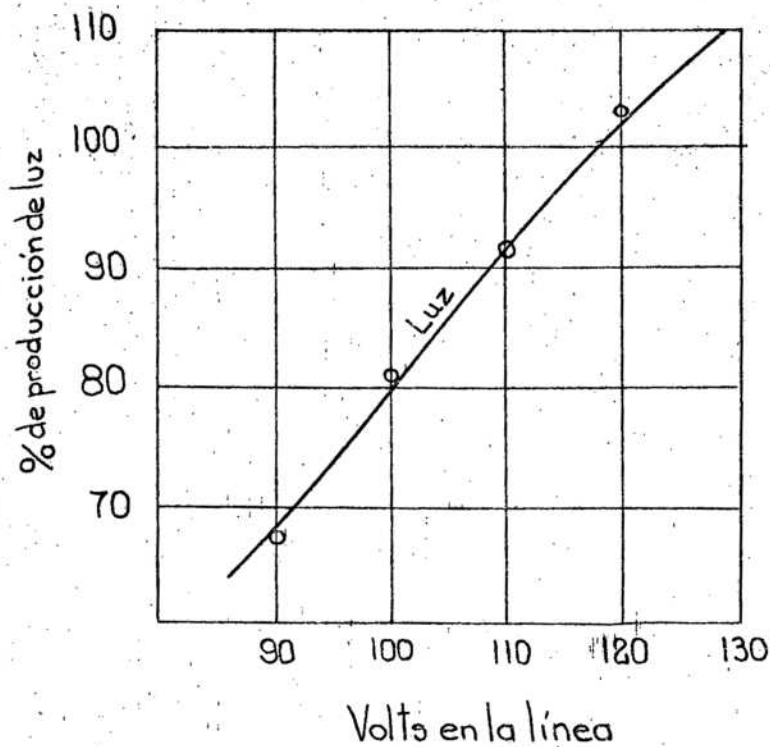


Figura 44

c) Transcurso del tiempo.

Es proceso inevitable que hace que el bulbo en su último período de vida esté produciendo un 25% de luz negra.

Actualmente la vida esperada para una lámpara de 100 Watts es de 1000 horas, para un uso continuo y adecuadamente refrigeradas. Es decir que en el uso real de encendidos y apagados continuos este valor se reduciría.

Para las lámparas de 400 Watt la vida es más larga (3 veces más), esto ha-

ce que a pesar de que el costo de ellas sea de casi el doble de las pequeñas (100 Watt), y agregando un análisis de consumo de potencia, se concluye que es mejor colocar una lámpara de 400 Watt que las pequeñas equivalentes.

d) Acumulaciones de películas de aceite y suciedad en el filtro. Algunas veces se puede provocar una reducción de hasta un 50%. La forma de evitarlo es sencilla pues bastará con periódicas limpiezas.

-1-2-8 Características operativas de las luces negras.

Ya hablamos acerca del período de calentamiento. Digamos ahora que si se apaga una lámpara debe aguardarse un cierto período de enfriamiento para poder restablecer el arco. Esto puede tomar 10 minutos. Por esto es que generalmente es más conveniente no apagar la lámpara aunque no se la use, lógicamente durante períodos relativamente cortos.

Otra de las razones para no apagarla es que los fabricantes afirman que en cada operación de apagado - encendido la vida se reduce en 3 horas.

-1-2-9 Fluorescencia del ojo.

Nos referimos con esto al hecho de que cuando luz negra alcanza la pupila del ojo ésta flourece.

El fenómeno no es dañino pero obstaculiza la visión mientras existe, luego debe evitarse. No hay que olvidar que la luz negra también se refleja como la luz blanca en las superficies pulidas, por lo que también hay que cuidarlas. Esto se consigue adecuando los ángulos de incidencia.

Generalmente se recomienda usar anteojos amarillos para evitar que la luz negra llegue a los ojos. El color elegido es debido a que debe dejar pasar la luz proveniente de las indicaciones solamente, eliminando también la radiación ultravioleta. Los operarios suelen resistirse a usarlos porque dan la sensación de trabajar en una completa oscuridad.

Antes de adoptar esos anteojos, deben confrontarse las curvas de transmisión de ellos con la de la tinta fluorescente.

-1-2-10 Equipos de luz negra.

Las lámparas pueden usarse como vimos para instalaciones portátiles, para lo cual toman la apariencia siguiente

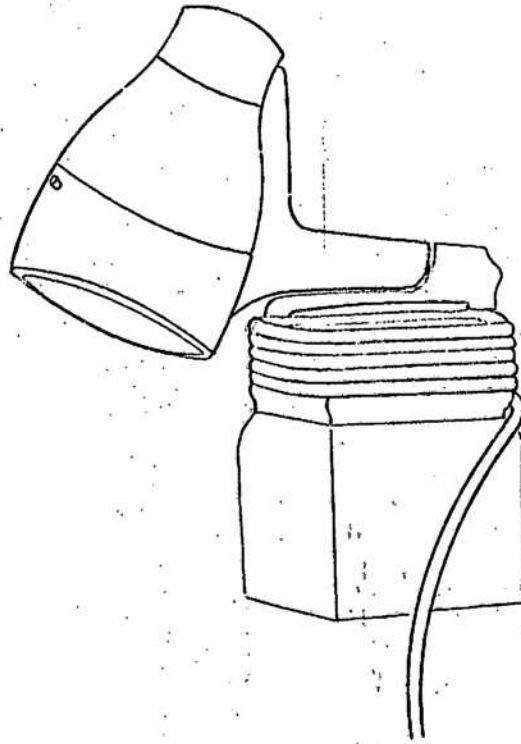


Figura 45

O en instalaciones fijas para iluminar grandes áreas.

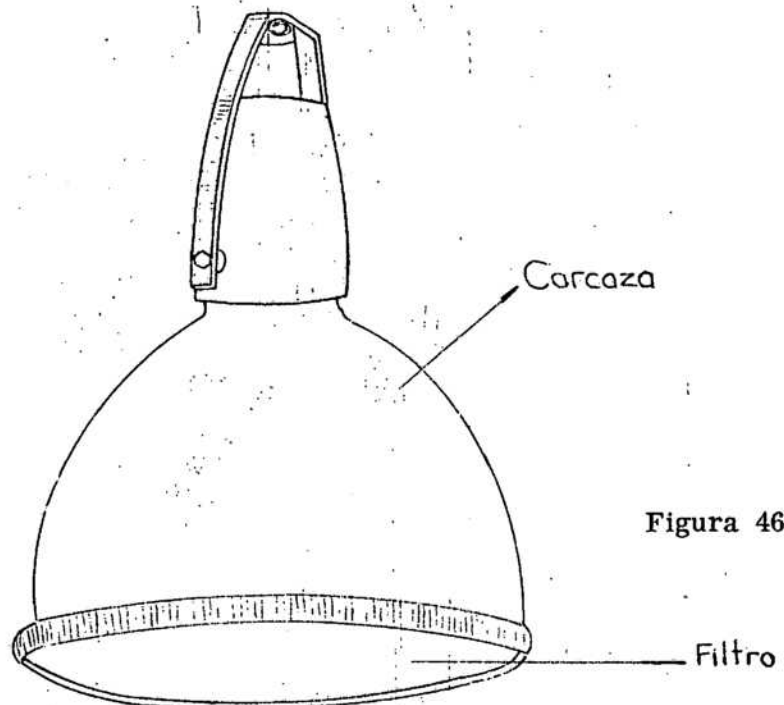


Figura 46

Las características principales de estas instalaciones son:

- a) todas las etapas requeridas para el proceso de inspección elegido figuran como una parte de ellas.
- b) el proceso es llevado a cabo manualmente o con la ayuda de dispositivos muy simples
- c) no están pensadas para un tipo determinado de piezas

Un ejemplo de una instalación de este tipo es la que se muestra en la figura siguiente:

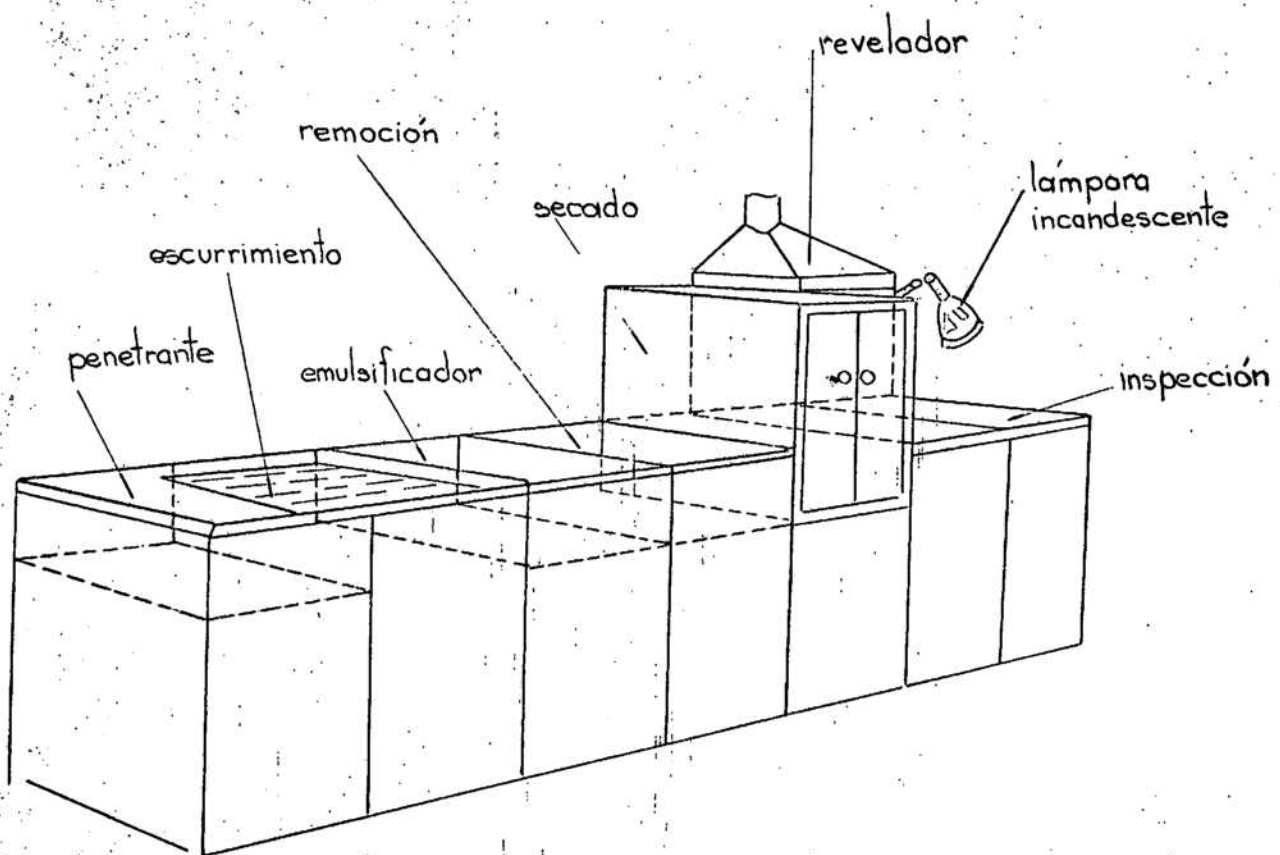


Figura 48

Lógicamente la disposición que presenta responde a un determinado proceso, allí vemos en primer lugar una parte para la colocación del penetrante. Esta no es más que un tanque durante el cual se sumerge la pieza, o se lo aplica con pincel.

Una parte del tanque está cubierta con un enrejado que actúa como etapa de drenaje, pues sobre ella se colocan las piezas para permitir que el exceso de penetrante escurra y vuelva al tanque.

Además allí se cumple el tiempo de penetración.

A continuación de esta figura la etapa de emulsificación, es otro tanque donde pueden sumergirse las piezas.

Inmediatamente a continuación de ésta se encuentra la estación de lavado, la cual estará equipada con toberas que facilitarán el lavado, el cual generalmente se hace a mano.

En algunos casos se incorporan lavadores semiautomáticos que economizan gran cantidad de horas de trabajo.

En algunas ocasiones cuando se trabaja con tintas fluorescentes se adiciona a esta etapa una lámpara de luz negra para controlar el lavado.

Luego de esta etapa, llegamos a la etapa del secado (en este caso particular) donde se colocará un circulador de aire a temperatura. Luego encontramos la estación de aplicación del revelador y luego una mesa para la inspección.

De acuerdo a lo que puede observarse la instalación que mostramos será para trabajar con tintas visibles con luz normal, postemulsificable y utilizando revelador seco, pues el secado se realiza antes de su aplicación.

Otros ejemplos de instalación serían

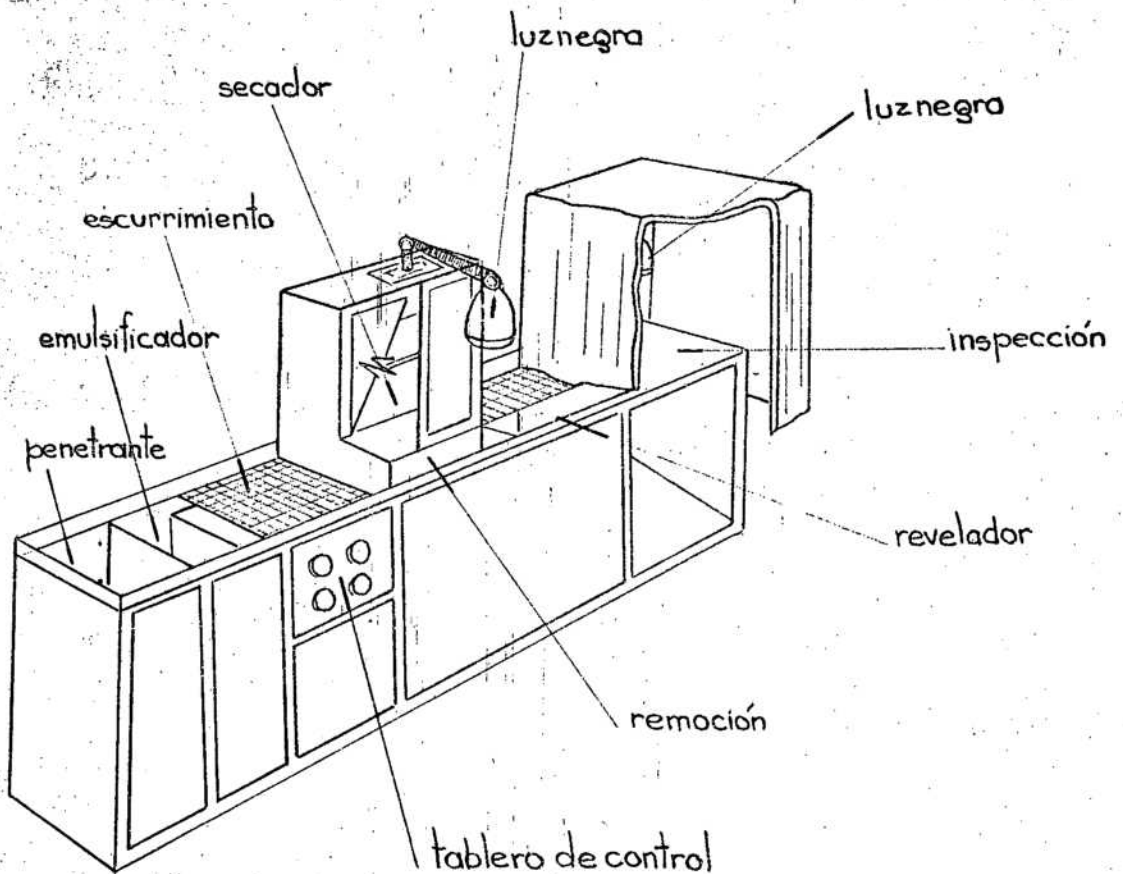


Figura 49

la cual será para usar con tintas fluorescentes, postemulsificable y con revelador en polvo.

O si no la siguiente:

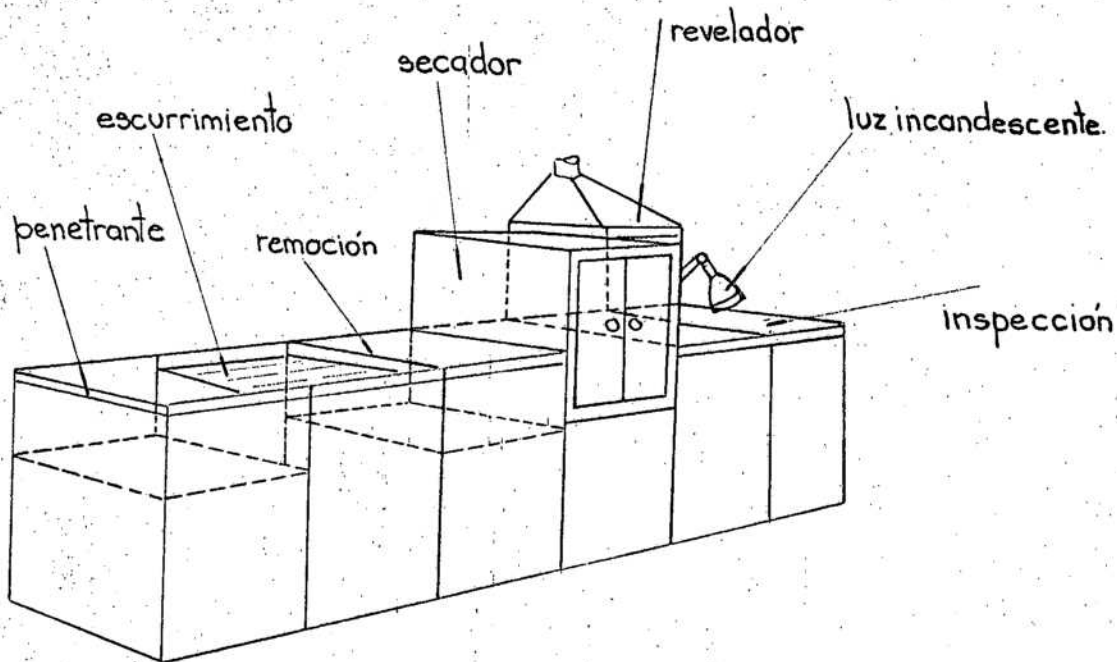


Figura 50

que es para tintas visibles con luz normal, preemulsificada y con revelador seco.

O esta

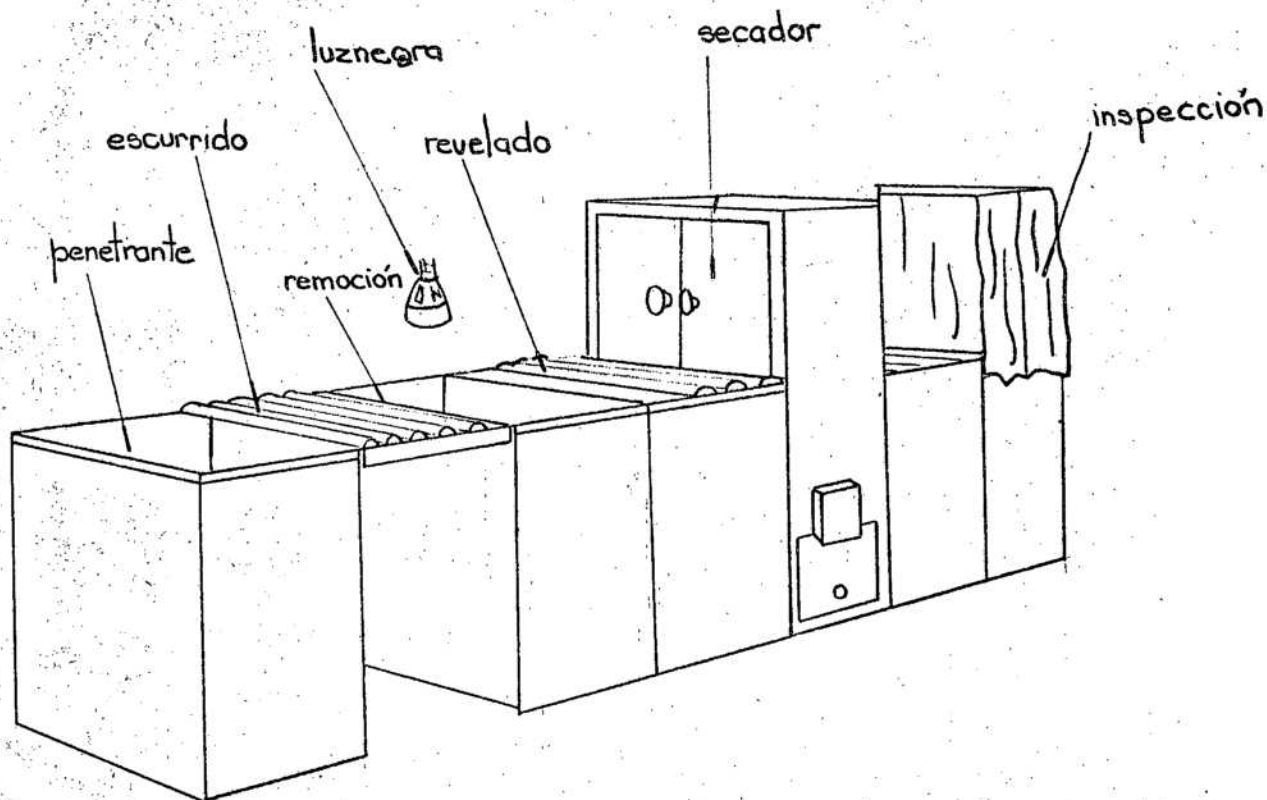


Figura 51

que se usará con tintas fluorescentes, preemulsificadas y además con revelador húmedo.

Como hemos visto, a lo largo de estos ejemplos se comprueba que la disposición de las instalaciones será dictada por el proceso en que se aplique.

Lógicamente además de las partes fijas, se proveerán, para cada estación, relojes, medidas de densidad, extractores de aire, termómetros, etc. Además pueden usarse canastas metálicas donde se ponen las piezas pequeñas al circular en cada etapa.

- 4 Instalaciones fijas automáticas.

A lo largo de la historia de aplicación del método puede observarse una tendencia continua a eliminar en la mayor forma posible la participación del factor humano en el proceso. O sea toda la búsqueda de la tecnología está orientada para alcanzar soluciones económicas y más precisas.

El éxito es grande en lo referente a la aplicación del penetrante y el emulsificador, donde el único factor operacional que se debe controlar es el tiempo de ambas operaciones. Pero los problemas comienzan cuando se llega a la operación de lavado, es decir a la remoción del exceso de penetrante, lo cual puede hacerse como ya vimos anteriormente, de muy variadas formas. El cuidado fundamental se centra en que el lavado alcance el 100% de las superficies a examinar, lo cual es

bastante difícil de alcanzar en una alimentación automática.

La aplicación del revelador se soluciona en la mayoría de los casos usando polvos secos. Ya sea sumerjiendo las piezas en recipientes o haciendo pasar las piezas, suspendidas adecuadamente en una atmósfera saturada de polvo, y producida en compartimentos especialmente acondicionados para ello. Estos compartimentos deben tener una longitud adecuada que permita al revelador estar en contacto con la pieza el tiempo necesario.

Se han ensayado también en algunos lugares, reveladores húmedos, pero no se consiguieron buenos resultados cuando se busca alta sensibilidad, dado que se puede producir lavado del penetrante ocluido en las fisuras y dar zonas difusas que enmascaran pequeñas fisuras.

Durante mucho tiempo fue imposible la utilización de polvos secos aplicados con pistolas pues quedaban suspendidos en el aire y luego eran ingeridos por los operarios con los consecuentes daños en su salud.

Estos problemas se solucionaron utilizando las pistolas electrostáticas para aplicar el polvo revelador.

En ellas las partículas de polvo al pasar por la pistola que tiene unos electrodos adquieren una pequeña carga eléctrica. Luego de esto las partículas son atraídas hacia un metal conectado a tierra y además se repelen mutuamente. Mediante la utilización de este sistema es posible aplicar el revelador a piezas en recintos abiertos y además tiene la ventaja de que el revelador cubrirá completamente la pieza bajo ensayo aún cuando la pistola no sea dirigida a cada superficie individualmente. Ello se debe a que el polvo es atraído electrostáticamente por las caras.

Se pueden conseguir de esta manera capas muy delgadas de revelador y una alta economía de éste ajustando el tiempo de aplicación.

Un equipo similar puede usarse para aplicar el penetrante.

Generalmente en las instalaciones automáticas se usan cintas transportadoras aéreas u horizontales para la alimentación de las piezas en las distintas etapas. Las velocidades de traslado se adecúan a cada aplicación pero varían entre 15 y 90 centímetros por minuto.

IX - Calificaciones de los operadores.

De acuerdo a lo que hemos indicado en cada uno de los pasos descriptivos del proceso, es de suma importancia la competencia de los operadores encargados de cada uno de ellos.

Esta necesidad se vuelve día a día más imperiosa ante los nuevos requerimientos que en nuestro país plantea la industria nuclear.

Por todo esto es que se ha resuelto encarar un estudio tendiendo a elaborar un proyecto de norma que fije los requerimientos a cumplir por aquellas personas encargadas de prestar servicios en los distintos métodos de ensayos no destructivos. En una aproximación grosera podría decirse que los requerimientos constarían de:

- a)) Un examen escrito en el cual se evaluarán los conocimientos teóricos del aspirante.
- b) Un examen práctico con problemas específicos durante el cual se continuará el interrogatorio.

Pasadas ambas pruebas se le extenderá al aspirante el certificado correspondiente avalado por el organismo competente que tenga a su cargo la tarea.

De ninguna manera esto significará poner dificultades al desarrollo de tareas sino que contribuirá a elevar el nivel de nuestros operadores, asegurando probados niveles de eficiencia.

T A B L A N°IV

TIEMPOS DE PENETRACION PARA LOS PENETRANTES REMOVIBLES CON AGUA
Técnicas A-1 y B-1 (ASTM. E-165-63) Volumen 31. - Mayo 1965.

M A T E R I A L	Tipo de Proce- samiento	Discontinuidades	Tiempos de pene- tración (minutos)
ALUMINIO	Fundidos	Porosidad	5 - 15
		Falta de estanqueidad	5 - 15
	Extruídos y forjados	Pliegues	30
	Soldaduras	Falta de fusión	30
		Porosidad	30
	Todos los tipos	Grietas o fisuras	30
MAGNESIO	Fundidos	Porosidad	15
		Falta de estanqueidad	15
	Extruídos y forjados	Pliegues	30
	Soldaduras	Falta de fusión	30
		Porosidad	30
	Todos los tipos	Grietas o fisuras	30
ACEROS	Fundidos	Porosidad	30
		Falta de estanqueidad	30
	Extruídos y forjados	Pliegues	60
	Soldaduras	Falta de fusión	60
		Porosidad	60
	Todos los tipos	Grietas o fisuras	30
BRONCES Y LATONES	Fundidos	Porosidad	10
		Falta de estanqueidad	10
	Extruídos y forjados	Pliegues	30
	Soldaduras	Falta de fusión	15
		Porosidad	15
	Todos los tipos	Grietas o fisuras	30

T A B L A N° V

**TIEMPOS DE PENETRACION PARA PENETRANTES DE EMULSIFICACION POSTERIOR
Y DE LOS PENETRANTES REMOVIBLES CON SOLVENTE**

Técnicas: A-2; A-3; B-2; B-3 - Norma A.S.T.M. - E.165 - 63 - Vol. 31

M A T E R I A L	Tipo de Proce- samiento	Discontinuidades	Tiempos de pene- tración (minutos)
ALUMINIO	Fundido	Porosidad	5
		Falta de estanqueidad	5
	Extruídos y forjados	Pliegues	10
	Soldaduras	Falta de fusión	5
		Porosidad	5
	Todos los tipos	Grietas o fisuras	10
MAGNESIO	Fundido	Porosidad	5
		Falta de estanqueidad	5
	Extruídos y forjados	Pliegues	10
	Soldaduras	Falta de fusión	10
		Porosidad	10
	Todos los tipos	Grietas o fisuras	10
ACERO	Fundido	Porosidad	10
		Falta de estanqueidad	10
	Extruídos y forjados	Pliegues	10
	Soldaduras	Falta de fusión	20
		Porosidad	20
	Todos los tipos	Grietas o fisuras	20
HERRAMIENTAS		Falta de Fusión	5
PASTILLAS		Porosidad	5
		Grietas o fisuras	20
BRONCES Y LATONES	Fundido	Porosidad	5
		Falta de estanqueidad	5
	Extrusión y forja	Pliegues	10
	Soldadura (Brogín)	Falta de fusión	15
		Falta de fusión	15
	Todos los tipos	Grietas o fisuras	10

T A B L A N º 6

RECOMENDACION PARA ELECCION DE LA TECNICA CORRECTA

PROBLEMA ESPECIFICO DE INSPECCION	TECNICA RECOMENDADA	OBSERVACIONES
Producción de gran número de piezas pequeñas	A-1	Operación con cestos metálicos
Producción de gran número de piezas grandes	A-2 o B-1	Piezas forjadas o extruídas, etc.
Gran sensibilidad o discontinuidad mínima	A-2	Indicaciones muy claras y visibles.
Discontinuidades poco profundas. Rayos.	A-2	Cuidado en el proceso de emulsificación.
Piezas con superficies rugosas.	A-1	Deberá estudiarse la técnica de lavado.
Roscas. Chaveteras. etc.	A-1 y B-3	-
Piezas con superficie medianamente rugosa	A-1 y A-2	La elección depende del número de piezas a inspeccionar y de la sensibilidad deseada.
Inspecciones locales en piezas grandes	A-3 o B-3	Depende la elección de las condiciones locales y de la sensibilidad deseada
Piezas anodizadas. Rayadas	A-1, A-2 o B-2	-
Inspección en locales sin energía ni agua	B-3	-
Ensayos en recipientes de paredes finas	A-3 o B-3	-

T A B L A N º V I I
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNICA A-1

V E N T A J A S	D E S V E N T A J A S
1) Indicaciones brillantes por efecto de la fluorescencia.	1) No es bueno para detectar rayos o discontinuidades poco profundas.
2) Fácilmente removibles con agua	2) Sufre la acción de los ácidos y cromatos
3) Rápido. Economía de tiempo	3) Las superficies metálicas anodizadas pueden afectar la sensibilidad.
4) Fácilmente adaptables a gran número de piezas.	4) la re-inspección baja la sensibilidad
5) Buen comportamiento para superficies rugosas	5) Muy susceptible de salir del interior de las discontinuidades con el super lavado.
6) Bueno para roscas y chaveteros	6) Necesita ser inspeccionado bajo luz negra
7) Económico	7) Necesita largos tiempos de penetración.

T A B L A N º V I I I
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNICA A-2

V E N T A J A S	D E S V E N T A J A S
1) Indicaciones más brillantes que los anteriores	1) Operación de emulsificación posterior a la aplicación del penetrante.
2) La fluorescencia garantiza la visibilidad	2) Equipo adicional para el emulsificador.
3) Alta sensibilidad para pequeñas discontinuidades	3) No es muy buena cuando es aplicada a roscas, chaveteros o superficies rugosas.
4) Buena para discontinuidades poco profundas.	4) Materiales más caros.
5) Fácilmente lavable con agua después de la emulsificación.	5) Materiales (algunos) inflamables.
6) Alto rendimiento	-
7) Cortos tiempos de penetración	-
8) No son en general afectados por los ácidos, cromatos y superficies anodizadas.	-
9) Las piezas pueden ser fácilmente reinspeccionadas.	-
10) No son tan vulnerables a una operación de super-lavado.	-

T A B L A N º I X
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNICA B-1

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1) No hay necesidad de "luz negra"	1) No tiene sensibilidad para discontinuidades muy cerradas o pequeñas.
2) Muy portátil.	2) Las indicaciones tienen visibilidad limitada, menor que las Técnicas A.
3) Muy bueno para inspección de pequeñas zonas en piezas o mantenimiento de equipos.	3) Algunos materiales son inflamables.
4) Las piezas pueden ser re-inspeccionadas	4) Exige más número de horas-hombre.
5) No sufre influencias cuando se inspeccionan superficies metálicas anodizadas.	5) Hay ciertas dificultades en usarlos sobre superficies rugosas.
6) Pueden acompañar la reparación de piezas a la luz natural.	6) Los penetrantes no deben ser usados en tanques abiertos.
	7) Tiempo de penetración largo

T A B L A N º X
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNICA B-2

VENTAJAS	DESVENTAJAS
1) No hay necesidad de luz negra	1) La operación de emulsificación es una operación separada.
2) Portátil	2) La emulsificación ulterior exige equipo adicional.
3) Muy buena sensibilidad, mayor que las técnicas B-1 y menor que las técnicas A-1 y A-2	3) No es tan buena como la técnica A-1, cuando es realizada sobre roscas, chaveteros y superficies rugosas.
4) Buena para detectar discontinuidades poco profundas.	4) Es más caro que B-1
5) Fácilmente lavable con agua después de la emulsificación.	5) Algunos penetrantes son inflamables.
6) Buen rendimiento, especialmente para piezas grandes.	-
7) En general no son afectados por los ácidos y superficies anodizadas.	-
8) Las piezas pueden ser fácilmente re-inspeccionadas.	-
9) No son tan vulnerables a una operación de super-lavado.	-