



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE
Facultad de Ingeniería
Laboratorio de Ensayos No destructivos

LÍQUIDOS PENETRANTES

Ing. Ricardo Echevarria

AÑO 2003

Indice

1	INTRODUCCIÓN:	3
2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MÉTODO.	4
2.1	Limpieza inicial y secado: (Figura 1-a)	4
2.2	Aplicación del Líquido Penetrante y Tiempo de penetración: (fig. 1-b)	4
2.3	Limpieza intermedia: (Fig. 1-c)	4
2.4	Secado (según la técnica)	4
2.5	Aplicación del revelador : (fig.1-d)	4
2.6	Inspección y evaluación:	4
2.7	Limpieza final:	4
2.8	Ventajas y limitaciones generales del método de LP:	4
3	CLASIFICACIÓN DE L.P.	6
3.1	.Diagramas de flujo de distintas técnicas:	8
4	PRINCIPIOS FÍSICOS DEL ENSAYO	11
4.1	Propiedades de líquidos penetrantes.	11
4.1.1	Tensión superficial:	11
4.1.2	Mojabilidad o poder de humectación	12
4.1.3	Capilaridad:.....	14
4.1.4	Viscosidad	18
4.1.5	Densidad:.....	19
4.1.6	Volatilidad	20
4.1.7	Punto de inflamación.....	20
4.2	Otros tipos de penetrantes	20
4.3	Influencia del estado de la superficie de la muestra, contaminación y temperatura.	21
4.4	Soluciones y dispersiones	21
4.5	EMULSIONANTES	22
4.5.1	Lipofílicos e hidrofílicos	22
4.5.2	Propiedades Físicas del emulsionante.....	22
4.5.3	Contenidos de S y Halógenos en los emulsificadores.	25
4.6	Mecanismos del revelado	25
4.6.1	Granulometría de los polvos:	25
4.7	Espectro visible y ultravioleta	25
4.7.1	Colores y fluorescencia	26
4.7.2	Colores primarios	26
4.7.3	Fluorescencia.....	27
4.7.4	Luminiscencia.	27
4.7.5	Absorción de la luz.	28
4.7.6	Ley de Beer.	28
4.8	Formulación básica de líquidos penetrantes con base oleosa y no oleosa	28
4.8.1	Aditivos y acondicionadores.	29
4.9	Removedores usados en el proceso	29
4.9.1	Formulaciones básicas.....	30
4.9.2	Emulsificadores.	31
4.10	Composición y estado de reveladores	31
5	PROCESAMIENTO	33
5.1	Preparación de la pieza de trabajo, tratamiento, identificación y protección de las áreas que no serán inspeccionadas.	33
5.1.1	Limpieza preliminar a la inspección	33

5.1.2	Condiciones y requerimientos para efectuar el secado.....	34
5.1.3	Aplicación del agente penetrante.....	34
5.1.4	Remoción del exceso del agente penetrante.....	39
5.1.5	Aplicación del revelador.....	40
5.2	Observación de las indicaciones (Inspección).....	42
5.2.1	Condiciones de iluminación.....	42
5.2.2	Secuencia y tiempo de observación.....	42
5.2.3	Interpretación de las indicaciones, identificación del tipo de defectos y evaluación.....	42
5.3	Registro de indicaciones.....	43
5.3.1	Informes escritos.....	43
5.3.2	Formulario de ensayo.....	44
5.3.3	Esquemas de localización.....	46
5.3.4	Transferencia de indicaciones.....	46
5.4	Técnicas de ensayo para la detección de perdidas por medio de Líquidos Penetrantes.....	46
6	EQUIPAMIENTO Y MATERIALES.....	48
6.1	Tipos de equipamiento.....	48
6.2	Fuentes y medidores de luz UV.....	50
6.2.1	Recinto de observación de líquidos penetrantes fluorescentes.....	54
6.3	Piezas de trabajo normalizadas para la evaluación de procesos y calificación de procedimientos.....	55
7	NORMAS – CODIGOS – PROCEDIMIENTOS Y SEGURIDAD DE LIQUIDOS PENETRANTES.....	58
7.1	Normas y Códigos.....	58
7.2	Problemas de seguridad industrial en el uso de productos químicos e inflamables.....	60
7.3	Evaluación de los materiales usados en el ensayo.....	60
i.	AGENTES PENETRANTES.....	60
ii.	EMULSIONANTES.....	63
iii.	REMOVEDOR.....	64
iv.	REVELADOR.....	64
7.4	Procedimientos.....	65
7.5	Formulación de instrucciones de ensayo.....	68

ENSAYO LIQUIDOS PENETRANTES

1 INTRODUCCIÓN:

El análisis no destructivo con Líquidos Penetrantes se emplea generalmente para evidenciar discontinuidades superficiales sobre casi todos los materiales **no porosos** (o con excesiva rugosidad o escamado) como metales, cerámicos, vidrios, plásticos, etc. , característica que lo hace utilizable en innumerables campos de aplicación.

El método de LP se introdujo en la industria en los años que precedieron a la Segunda Guerra Mundial, la causa principal fue la necesidad de poder disponer de un control válido alternativo al de Partículas Magnetizables el cuál requiere, para su aplicación, materiales con características ferromagnéticas, especialmente en el campo aeronáutico.

Esta técnica, basada en el **fenómeno de capilaridad**, permite evidenciar de una manera rápida y confiable, discontinuidades **abiertas a la superficie** (fisuras, porosidad, pliegues, etc.) sobre casi cualquier componente (ferrosos y no ferrosos) independientemente de la geometría y del material de la pieza.

Su origen se remonta a fines del siglo pasado en los talleres ferroviarios de Harford (EEUU) en donde se aplicaba el procedimiento de **“aceite y blanqueo”** para la detección de fisuras de fatiga en componentes de vagones y locomotoras.

Este técnica consistía en una buena limpieza de la pieza a ensayar con agua caliente o NaOH y su secado. Posteriormente su inmersión en una mezcla caliente de aceite (25%) y queroseno (75%) durante algunas horas, luego de las cuales se la enjuagaba con queroseno, quitándole el exceso con trapos y papeles y secaba. El siguiente paso era el blanqueo con cal o tiza en una suspensión alcohólica. Por último se observaba la posible exudación, del aceite en la cal en las zonas defectuosas.

Las características de los líquidos empleados y la falta de contraste hacían poco sensible este método.

Roberto y José Switzer en 1941 patentan un método mejorado, el que luego venden a Magnaflux Corporation. Así, con su comercialización, comienza la difusión de la técnica.

Actualmente, el E.N.D. de LP posee una alta sofisticación en cuanto a las características de los productos empleados pudiéndose detectar, en condiciones especiales, fisuras de espesores de décimos de micrón.

2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MÉTODO.

Actualmente la técnica de LP, se puede resumir en los siguientes pasos:

2.1 Limpieza inicial y secado: (Figura 1-a)

Consiste en limpiar perfectamente la zona de interés a ser ensayada de tal forma de dejar, las posibles discontinuidades, libres de suciedad o materiales extraños y su posterior secado.

2.2 Aplicación del Líquido Penetrante y Tiempo de penetración: (fig. 1-b)

Cubrir la superficie de interés con el LP y dejar transcurrir el tiempo necesario para permitir que el LP se introduzca por capilaridad en las discontinuidades.

2.3 Limpieza intermedia: (Fig. 1-c)

Se removerá el exceso de LP de la superficie, evitando extraer aquel que se encuentra dentro de las fallas. Esta remoción, podrá hacerse, según la técnica empleada, mediante: a) lavado con agua, b) aplicando un emulsionante y posterior lavado con agua, o c) mediante solventes.

2.4 Secado (según la técnica)

Se secará la pieza del agente limpiador. Este paso puede ser obviado según la técnica utilizada.

2.5 Aplicación del revelador : (fig.1-d)

Sobre la superficie ya preparada se colocará el revelador en forma seca o finamente pulverizada en una suspensión acuosa o alcohólica, que una vez evaporada, deja una fina capa de polvo.

2.6 Inspección y evaluación:

Esta fina capa de revelador absorberá el LP retenido en las discontinuidades, llevándolo a la superficie para hacerlo visible, ya sea por contraste o por fluorescencia (según la técnica empleada) las indicaciones podrán registrarse y evaluarse.

2.7 Limpieza final:

Aunque los agentes químicos utilizados no deberían ser corrosivos de los materiales ensayados, se eliminarán sus restos para prevenir posteriores ataques.

2.8 Ventajas y limitaciones generales del método de LP:

Ventajas	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Relativamente simple de aplicar y controlar. ◆ Aplicable a materiales metálicos y no metálicos. ◆ No requiere costosos equipos. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Sólo detecta discontinuidades abiertas a la superficie. ◆ No para materiales porosos. ◆ Difícil en superficies muy rugosas o porosas.

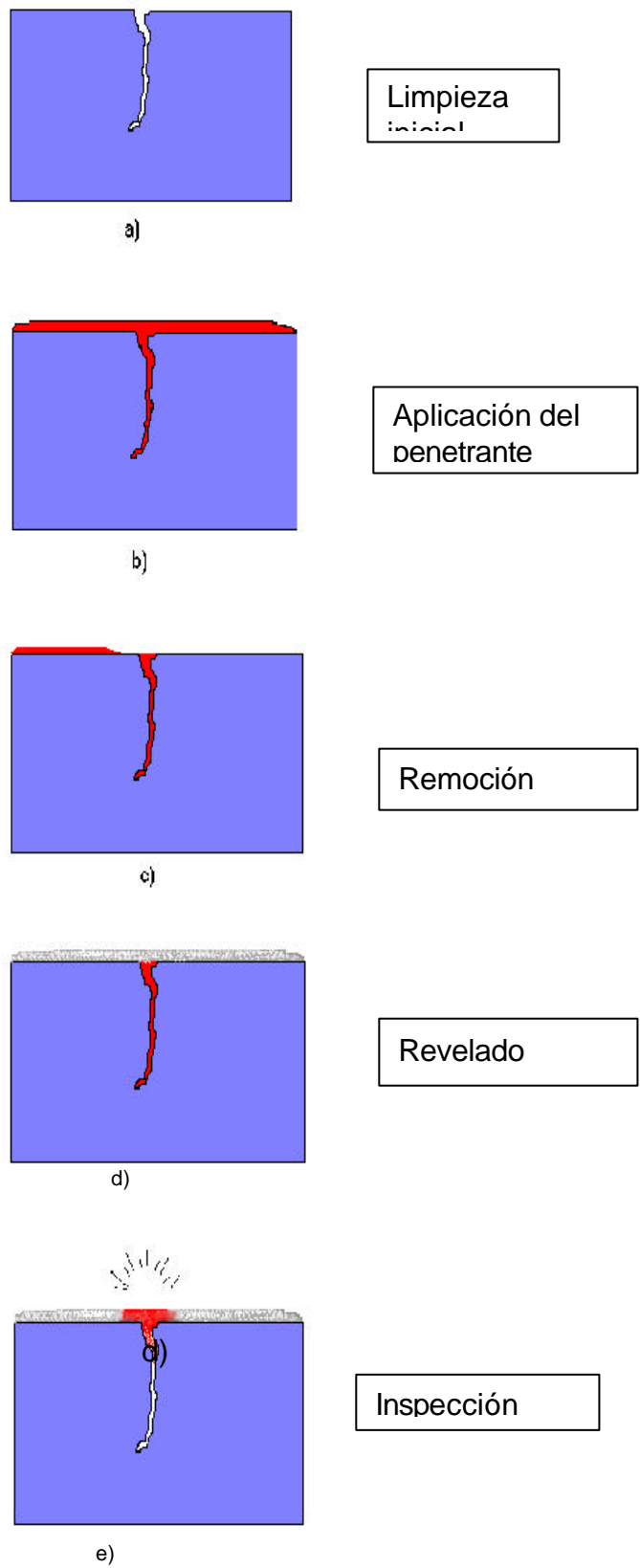


Figura 1

3 CLASIFICACIÓN DE L.P.

Norma IRAM-CNEA Y 500-1001 (1986)

Penetrantes:

A:	Penetrante fluorescente.	1	Lavables con agua.
		2	Postemulsificables.
		3	Removibles con solvente.
B	Penetrante coloreado.	1	Lavables con agua.
		2	Postemulsificables
		3	Removibles con solvente
C:	Penetrante de uso dual.	1	Lavables con agua.
		2	Postemulsificables.
		3	Removibles con solvente
D:	Penetrante para usos especiales		

Removedores: se agrupan en tres clases:

- a) agua
- b) emulsionantes
 - 1) de base oleosa
 - 2) “ “ acuosa
- c) disolventes

Reveladores: pueden ser.

- I) Polvos secos.
- II) Dispersiones y soluciones acuosas:
 - a) dispersión de polvo en agua.
 - b) solución de polvo en agua.
- III) Suspensión de polvo en disolventes volátiles no acuoso.
 - a) no inflamable.
 - b) inflamable.

Norma ASTM: E 165-94.

Tipo I	
Fluorescente	
Método A	Lavable con agua (ASTM E-1200)
“ B	Postemulsificable lipofílico (ASTM E-1208)
“ C	Removible con solvente (ASTM E-1219)
“ D	Postemulsificable hidrofílico (ASTM E-1210)
TIPO II	
Coloreados	
Método A	Lavables con agua (ASTM E-1418)
“ C	Removibles con solvente (ASTM E-1220)

Norma DIN 54 152 (1989)

Penetrantes		Removedor del penetrante en exceso		Revelador	
Código	Designación	Código.	Designación	Código	Designación
A	Fluorescente	A	Solvente liquido	A	Seco
B	Coloreado	B	Agua y solvente	B	No acuoso
C	Fluor.y color.	C	Agua	C	Acuoso
		D	Emulsificadores hidrofílico (base agua)		
		E	Emulsificador lipofilico (base aceite)		

Norma JIS Z 2343 (1982)

Designación	Método	Símbolo
Fluorescente	Lavable con agua	FA
	Postemulsificable	FB
	Removible con solvente	FC
Coloreado	Lavable con agua	VA
	Removible con solvente	VC

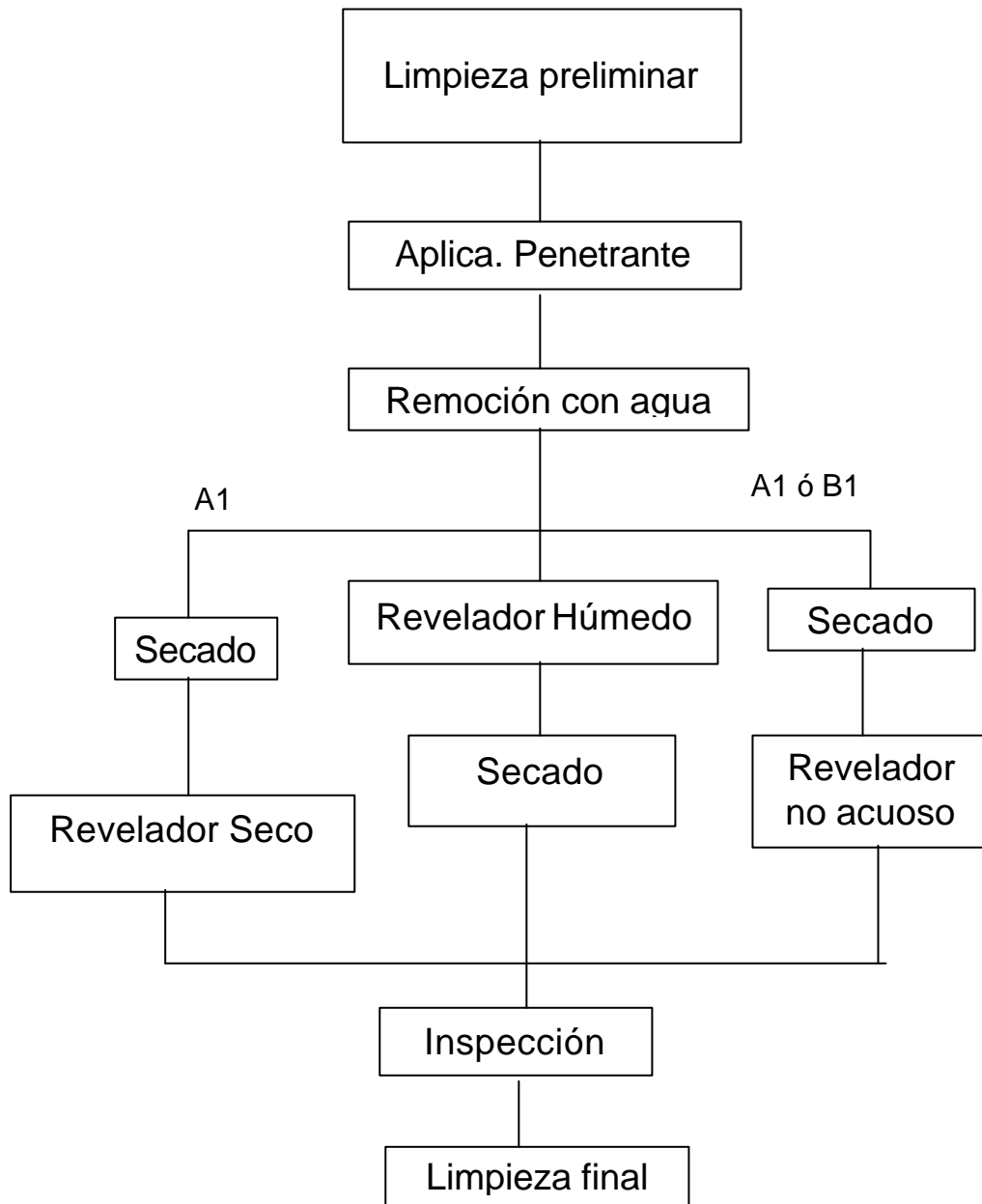
Designación	Método	Símbolo
Método de revelado seco	Revelador seco	D
Método de revelado húmedo	Revelador húmedo acuoso	W
	Revelador húmedo no acuoso	S
Método sin revelado	Sin revelador	N

Combinar las tablas anteriores para identificar la técnica.

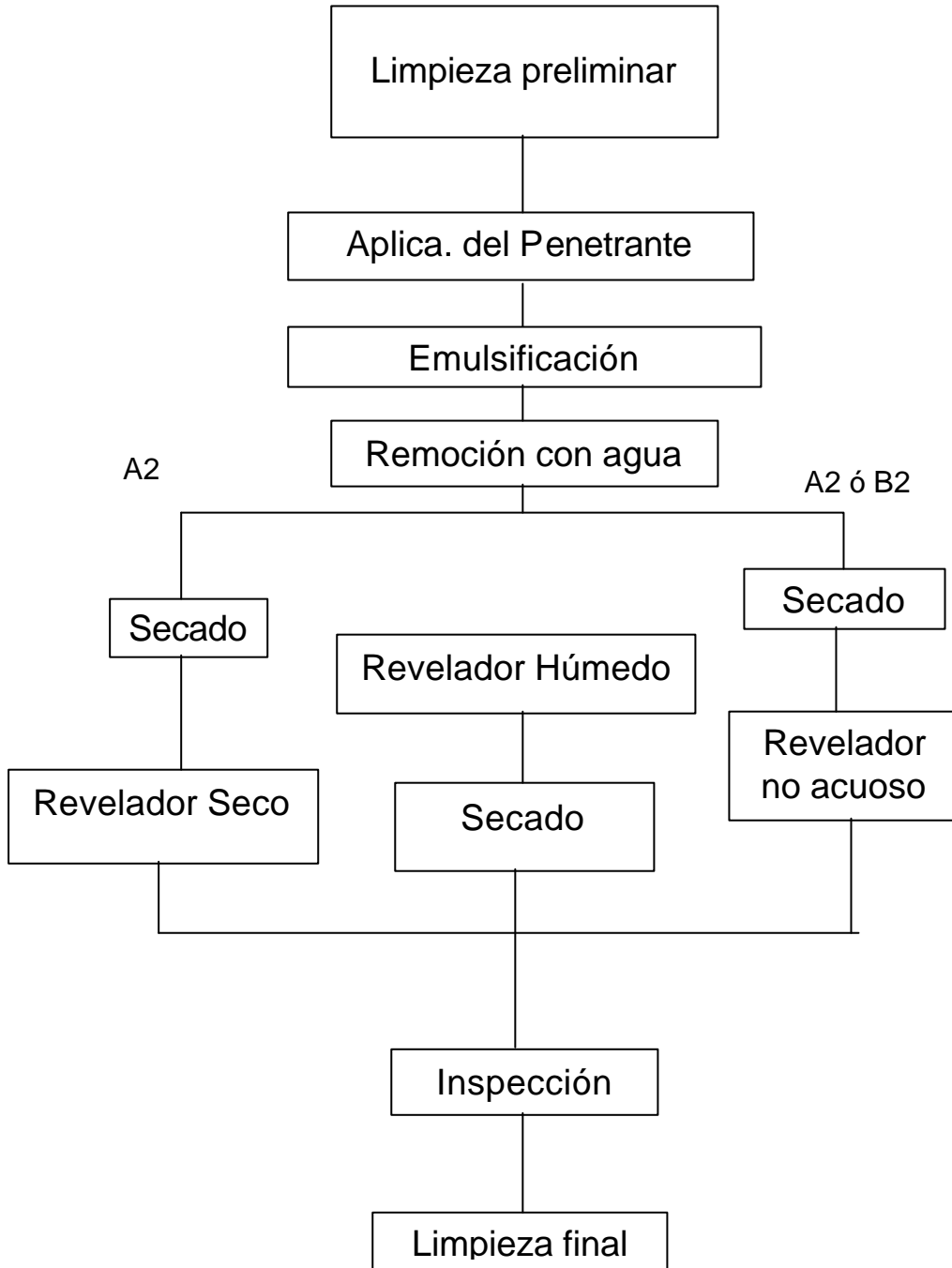
Ej.: FA-W : Fluorescente lavable con agua y revelador húmedo acuoso.

3.1 .Diagramas de flujo de distintas técnicas:

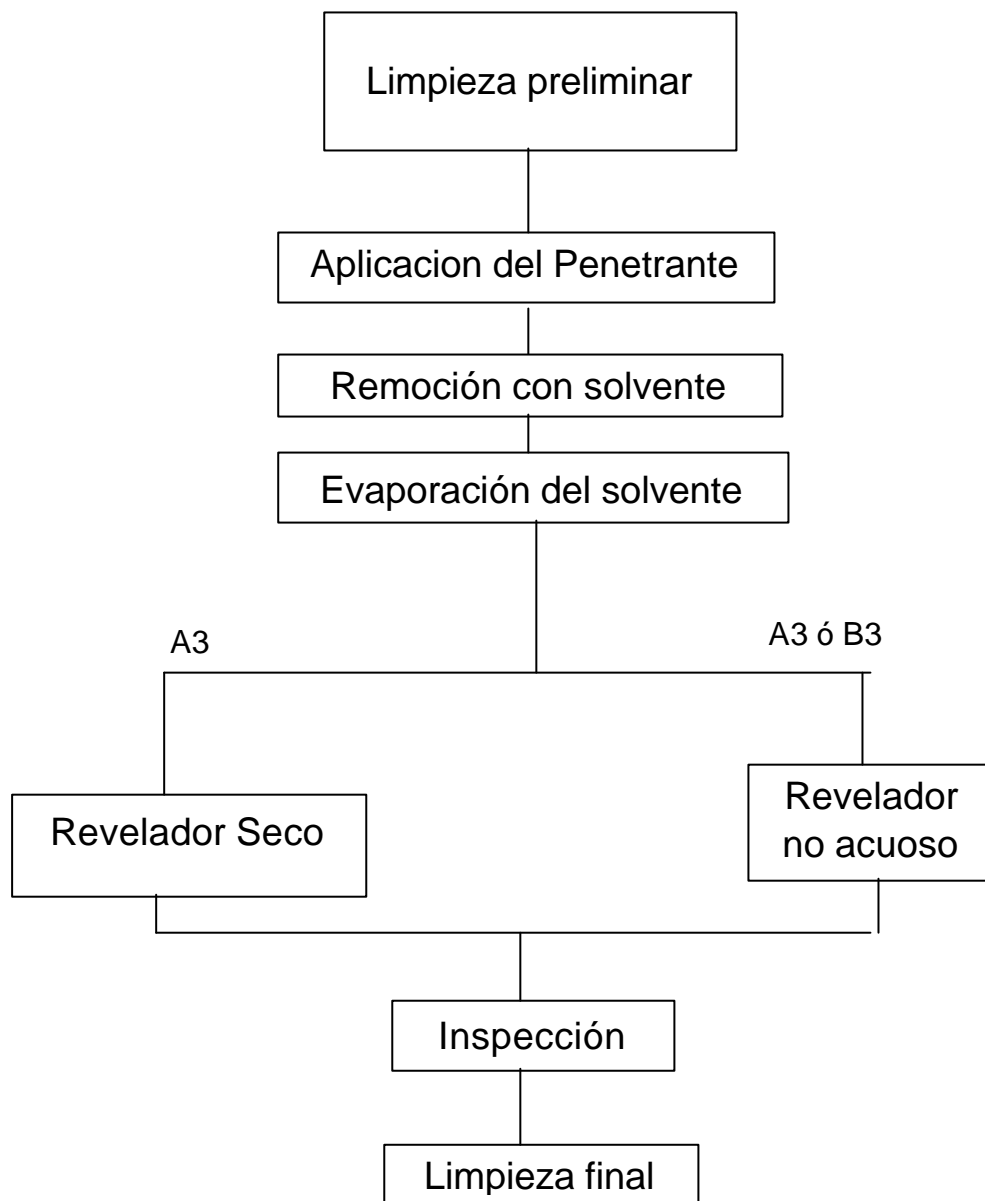
Procedimientos A1; B1



Procedimientos A2; B2



Procedimientos A3; B3



4 PRINCIPIOS FÍSICOS DEL ENSAYO

4.1 Propiedades de líquidos penetrantes.

Como ya se señaló, el **principio** en el cual se basa esta técnica no destructiva es en la capacidad de que el líquido pueda penetrar (por capilaridad, no por gravedad) y ser retenido en las discontinuidades como fisuras y poros abiertos a la superficie.

No existe una característica física que, por sí sola, determine terminantemente la bondad de un líquido penetrante.

Las principales características físicas a considerar son:

4.1.1 Tensión superficial:

La tensión superficial es la forma de **cohesión** de las moléculas de la superficie del líquido en función de la cual, a igualdad de volumen, asume la forma correspondiente a la mínima superficie compatible con el vínculo externo. La forma de la gota simplifica este concepto.

La tensión superficial esta definida como una fuerza que actúa sobre toda “saliente” en una superficie acabada. (Fig 2)

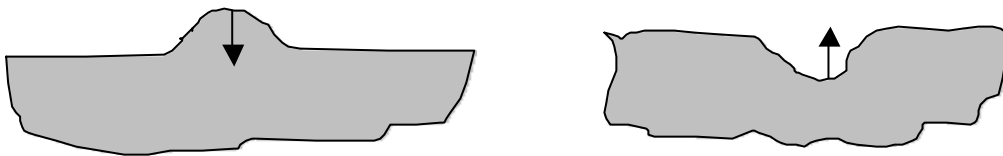


Fig. 2

Para demostrar su existencia se usa un marco rectangular con un lado corredizo en el cual se extiende una película de agua jabonosa, el lado corredizo está sometido a una fuerza que tiende a volverlo a su posición cuando se lo aleja. Midiendo el trabajo “dL” de superficie de la película líquida, se obtiene de la fórmula de Gauss: (Fig. 3)

$$dL = g ds$$

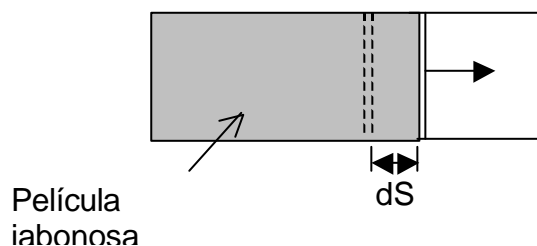


Fig.3

donde : γ es la tensión superficial por lo cual $g = dL / ds$
 ds es el desplazamiento de la película.

γ se expresa : en SI N/m
 en CGS dinas / cm

Nota : $1 \text{ N/m} = 10^3 \text{ dina/cm}$

Un ejemplo de cómo actúa la tensión superficial es una pompa de jabón. Esta consiste en una lámina de agua jabonosa que tiende a asumir la superficie mínima que es la forma esférica.

La tensión superficial, como la viscosidad, dependen de la temperatura y disminuyen con el aumento de la energía cinética de las moléculas del líquido.

La tensión superficial de los líquidos penetrantes es normalmente de 25 a 30 dinas/cm

La tensión superficial también es función del estado superficial.

4.1.2 Mojabilidad o poder de humectación

Por mojabilidad se entiende a la propiedad de un líquido de expandirse **adhiriéndose** a la superficie de un sólido. Esta depende de la interacción del líquido con la fase sólida y gaseosa en la que se encuentra. La mojabilidad está estrechamente ligada a la tensión superficial, y está determinada por el ángulo " θ " de contacto con la superficie. Ver Fig. 4 en donde se muestran tres condiciones intermedias con $\theta < 90^\circ$; $\theta = 90^\circ$, $\theta > 90^\circ$

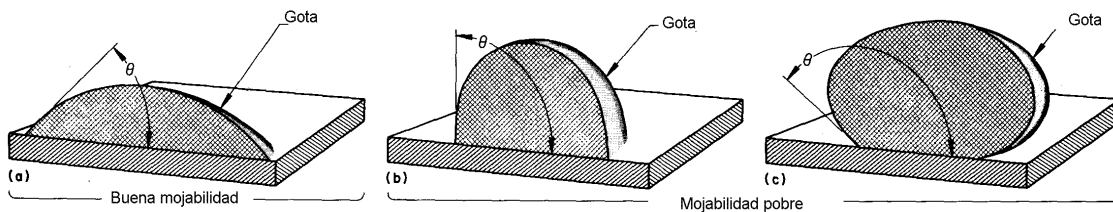


Fig. 4 : a) buena mojabilidad, b) y c) escasa mojabilidad

Un líquido penetrante de buena calidad debe necesariamente poseer un bajo ángulo de contacto a fin de asegurar una buena mojabilidad de la superficie de examen y una óptima penetración en las discontinuidades.

Es fácilmente demostrable que, con solamente una buena tensión superficial, no es suficiente para garantizar la capacidad de penetración y en consecuencia la calidad de un producto. Por ejemplo el agua, teniendo una alta tensión superficial, posee un ángulo de contacto grande que la hace escasamente penetrable. Si a esta se le agregan agentes humectantes, el ángulo es drásticamente reducido y aunque se obtiene una consiguiente reducción de la tensión superficial, ella podrá resultar en un buen penetrante.

Por lo tanto en la evaluación del producto se debe evaluar separadamente la tensión superficial y el ángulo de contacto para no llegar a conclusiones erróneas.

Si consideramos una gota de líquido en equilibrio sobre una superficie plana (Fig. 5), en el punto de contacto de las tres fases (sólida, líquida y gaseosa) existe un equilibrio entre las fuerzas dado por la siguiente relación:

$$\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_L \cos \theta \quad \text{Ec. 1}$$

Donde

γ_S Tensión superficial del sólido en contacto con el aire

γ_{SL} Tensión superficial de la interfase sólido- líquido (función del líquido, sólido; y estado de la superficie).

γ_L Tensión superficial de la interfase aire (o vapor) - líquido

Ángulo de contacto.

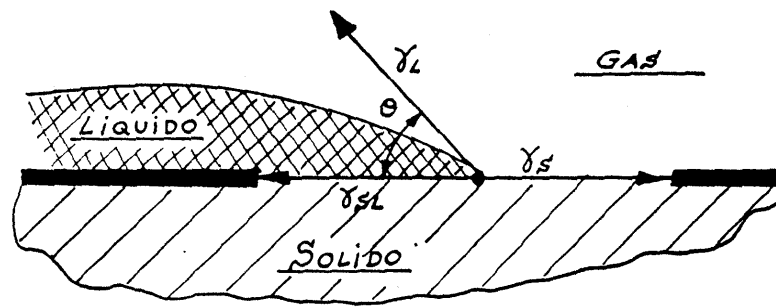


Fig. 5

Si el líquido *moja* la superficie (por ejemplo el agua):

$$\gamma_s > \gamma_{SL} \text{ por lo tanto } \cos \theta \text{ será mayor que cero lo que implica } \theta < 90^\circ$$

Si el líquido *no moja* la superficie (por ejemplo mercurio):

$$\gamma_s < \gamma_{SL} \text{ por lo tanto } \cos \theta \text{ será menor que cero lo que implica } \theta > 90^\circ$$

Los aditivos (como pueden ser sales de K o Na) que poseen los LP disminuyen el θ por lo que :

$$\gamma_s > \gamma_{SL} + \gamma \cos \theta$$

y la gota tenderá a extenderse continuamente y formar una capa molecular si no actúan otros fenómenos antes como la evaporación y consecuente descomposición del líquido.

Puesto que la energía de penetración "Fp" por unidad de longitud de superficie está dada por :

$$F_p = \gamma_s - \gamma_{SL}$$

De acuerdo con la ec. 1 también se puede escribir:

$$F_p = \gamma \cos \theta$$

donde γ_L generalmente se indica como valor de fuerza/ longitud (dina/cm) o como valor de trabajo/ superficie (erg/cm²).

El término Fp viene generalmente definido como "parámetro de penetrabilidad estática" (P.P.S.) y muestra claramente como la capacidad de penetración de un líquido penetrante no está sólo determinada por la tensión superficial, sino por el producto de $\gamma_L \cos \theta$.

Por otro lado tal parámetro no asume un valor constante para un dado LP, puesto que el ángulo de contacto en la fase líquida varía considerablemente con el tipo de material, con la rugosidad superficial y con el grado de limpieza del componente en examen.

Por el motivo expuesto, en el comercio no existe un Líquido Penetrante "ideal" en cuanto a su capacidad de penetración en el interior de las discontinuidades, varía continuamente en función de la especificidad del control.

Ya se dijo que la interacción de las partículas de líquido con las partículas sólidas de ejercen una influencia sobre la forma de la superficie del líquido dentro del recipiente. Si una gran cantidad de líquido esta contenido en un gran recipiente, la forma de su superficie está determinada por el peso lo que engendra una superficie plana y horizontal en su parte media.

Sin embargo junto a las paredes del recipiente, la superficie del líquido adquiere una curvatura que se llama “menisco”, y que puede ser cóncavo cuando el líquido moja la superficie (Fig.6 - a) o convexo para los que no la mojan (Fig.6 - b)

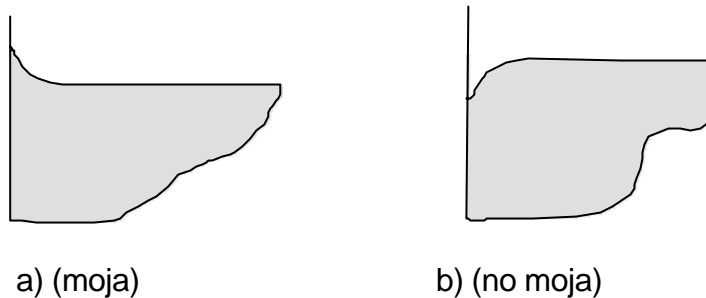


Fig. 6

4.1.3 Capilaridad:

Se ha visto que la superficie de un líquido contenido en un recipiente presenta cierta curvatura en las fronteras del líquido y las paredes sólidas del recipiente. Sobre el resto de la superficie, conserva una forma plana. Pero si el tamaño total de la superficie es pequeño, toda la superficie del líquido “sentirá” la influencia de las paredes y este aparece curvo en toda su extensión. En este caso, cuando las dimensiones del recipiente en el que se encuentra el líquido o, en el caso más general, si la distancia entre las superficies limitantes del líquido es comparable al radio de curvatura de su superficie, a estos recipientes se los llamará “capilares”. A los fenómenos que tienen lugar dentro de estos recipientes se denominan “fenómenos de capilaridad” o simplemente “capilaridad”

La capilaridad viene generalmente entendida cuando se analiza el particular fenómeno por el cual, cuando se sumerge un tubo capilar en un líquido, se obtiene una diferencia de niveles entre el líquido contenido en el tubo y aquel que permanece afuera, formando el líquido un menisco.

El desnivel obtenido podrá ser positivo o negativo, según el ángulo de contacto y la mojabilidad del líquido.

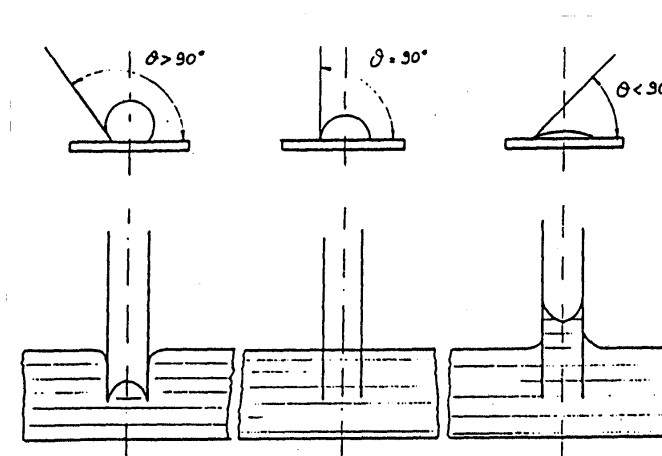


Fig. 7

Si se tiene una buena mojabilidad ($\theta < 90^\circ$) en el interior del capilar se obtiene un aumento del nivel (desnivel positivo), en el caso contrario ($\theta > 90^\circ$) el nivel baja (fig. 7).

En razón de la presión engendrada por la curvatura de la superficie, el líquido contenido en el tubo está sometido a una presión "p" dirigida hacia el centro de curvatura del menisco, es decir hacia arriba, e igual a:

$$2 \gamma / r_0$$

r_0 : radio del menisco

γ : coeficiente de tensión superficial del líquido.

Son los efectos de esta presión por la cual el líquido sube por el tubo hasta una altura "h", a la cual la presión hidrostática " $\rho g h$ " de la columna de líquido equilibra a la presión "p" (Fig 8)

La condición de equilibrio, debida al accionar de las dos fuerzas contrapuestas: una hacia arriba (T) debido a la tensión superficial, y la otra hacia abajo (P) debida al peso de la columna de líquido.

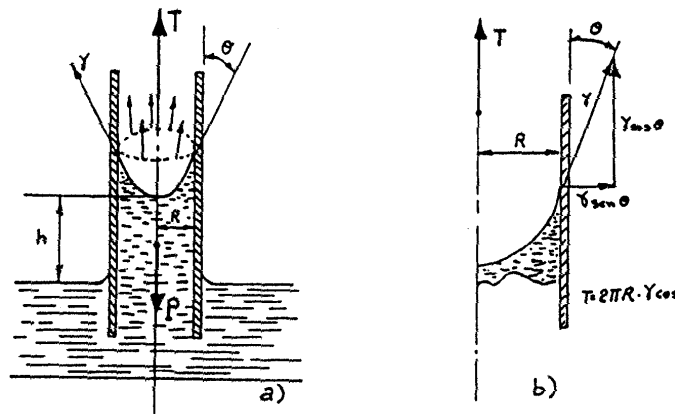


Fig. 8

Habiendo precedentemente definido la tensión superficial como una fuerza por unidad de longitud (dina/cm), se tendrá que la resultante vertical T en el interior de un capilar de radio r, está dada por la relación: Fig. 8.

$$T = 2 \pi r \gamma \cos \theta$$

La fuerza P ejercida por el peso de la columna de líquido se calcula mediante:

$$P = \rho r^2 g h$$

Donde:

ρ : densidad del líquido

g : aceleración de la gravedad.

h . desnivel

En condiciones de equilibrio, $T = P$ por lo que:

$$2 p r g \cos q = p r^2 r g h \quad \text{de acá}$$

$$h = (2 g \cos q) / (r r g) \quad \text{ec 2}$$

Por lo tanto, colocando en un Líquido Penetrante un tubo capilar de radio r conocido y midiendo el desnivel "h" que se crea, es posible calcular el valor de la tensión superficial mediante:

$$g = (r r g h) / 2 \cos q$$

La diferencia de niveles que se crea resulta mayor cuanto más pequeño sea el diámetro interno del tubo capilar.

El fenómeno de la capilaridad constituye la base de la acción penetrante de un líquido en el interior de las discontinuidades.

La Fig. 9 muestra cómo el ángulo de contacto y la tensión superficial interactúan para aumentar el nivel en el interior del tubo.

Tomando como una buena aproximación el $\cos \theta$ aproximadamente 1, la tensión superficial está dada por:

$$g = (r r g h) / 2$$

La ascensión capilar permite explicar una serie de fenómenos bien conocidos: la absorción de líquido por un papel de filtro fabricado de manera que presente poros finos y sinuosos; el escurrido del petróleo hacia el pozo, la subida de la savia a lo largo de los troncos de los árboles en donde las fibras de la madera juegan el rol de tubos capilares, etc.

La ascensión capilar puede no solo ser observada en tubos capilares cilíndricos. El líquido puede subir igualmente entre dos placas separadas por un espacio entre ellas (fig 9) . Si las placas se colocan paralelas , el menisco toma una forma cilíndrica. La altura de ascensión se determina ahora de la fórmula:

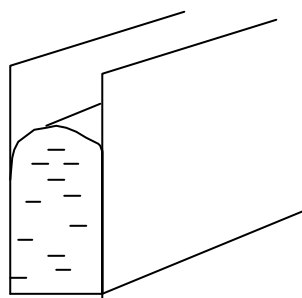


Fig. 9

$$h = (2 g \cos q) / (d r g)$$

donde "d" es la distancia que separa las placas.

Esta ecuación se obtiene de la misma forma que la ec.2 en donde la relación entre el radio del capilar "r" y la distancia "d" esta dada por:

$$r = d / 2 \cos q$$

Se observa en la fig 10 que a medida que crece la separación “d” entre las placas, la altura disminuye

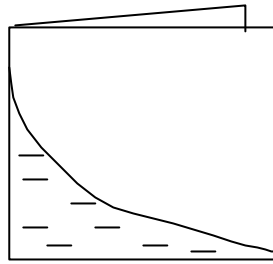


Fig 10

En realidad, considerar un tubo capilar como una discontinuidad no es completamente exacto por cuanto uno es abierto en sus dos extremidades , y el otro comúnmente no atraviesa el total de la pared del material en examen.

Si se sumergen dos tubos capilares, uno con los dos extremos abiertos y el otro sólo con uno (Fig. 11) en este último se obtiene un desnivel menor.

El fenómeno es debido a que el área presente en el tubo, comprimiéndose a causa del aumento del nivel, genera una presión (P_1) que se suma al peso (P) de la columna de líquido.

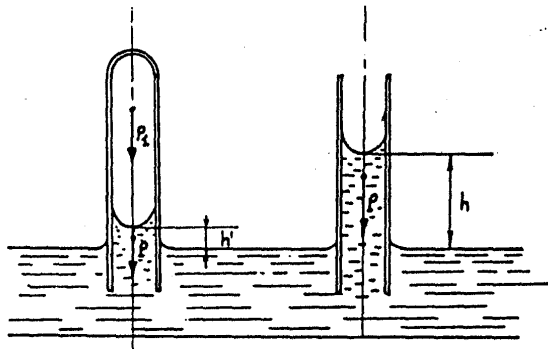


Fig. 11

Esta condición simula de manera más correcta lo que sucede realmente en la discontinuidad no pasante, en cuanto que el penetrante deberá vencer la presión del área en ella contenida.

La presión ejercida por el penetrante para introducirse en la discontinuidad, se denomina generalmente “ Presión de capilaridad” y se calcula mediante:

$$P = (2 \gamma \cos\theta) / W$$

donde:

P : presión de capilaridad

γ : Tensión superficial del líquido penetrante.

θ : ángulo de contacto.

W : longitud de la discontinuidad.

Esta relación, muestra claramente como la presión de capilaridad está ligada a las características físico - químicas del producto (γ ; $\cos\theta$) y a las características de la discontinuidad (W) .

Por lo tanto se pueden hacer las siguientes consideraciones:

- La presión de capilaridad aumenta con el aumento de la tensión superficial.
- La presión de capilaridad aumenta cuando disminuye el ángulo de contacto (y en consecuencia aumenta la mojabilidad).
- La presión de capilaridad aumenta cuando disminuya el largo de la discontinuidad.

De lo expuesto, resulta evidente cómo el fenómeno de la capilaridad, en el que se basa la técnica de L.P. , incide de manera determinante sobre la sensibilidad y confiabilidad del control.

4.1.4 Viscosidad

La viscosidad de un fluido, propiedad física debida a la interacción interna de las moléculas, es la fuerza tangencial o de corte debido a esa cohesión, que hay que vencer para separar dos capas adyacentes en el líquido.

El coeficiente de viscosidad “η” es la fuerza por unidad de superficie para mantener una diferencia de velocidad de 1 cm/seg. entre dos estratos paralelos y distantes 1 cm entre ellos . Se expresa en dina/ cm² seg.

La inversa del coeficiente de viscosidad es llamada “ fluidez” y se representa con:

$$j = 1/\eta$$

De por sí la viscosidad no influye directamente sobre la valoración cuantitativa del penetrante, pero asume una particular importancia en la fase operativa del ensayo.

En otras palabras, el penetrante debe poseer la suficiente fluidez para entrar con facilidad y rapidez en los defectos tanto como para salir de ello cuando se lo requiera. Al mismo tiempo debe ser lo suficientemente viscoso como para no ser extraíble fácilmente de las discontinuidades en la etapa de remoción del exceso, ya sea por la acción directa el agua (penetrantes lavables con agua) o asociarse al emulsificador (postemulsificables).

La eficacia global del proceso puede ser considerada mayor o menor según el riesgo de pérdida de las indicaciones en la etapa de remoción del exceso según se considere prevaleciente o no sobre la velocidad de penetración en la discontinuidad y sobre la eficiencia del revelado.

	VISCOSIDAD	VELOC. DE PENETRACION	RIESGO DE PÉRDIDA DE INDICACIÓN	EFICIENCIA DE REVELADO	EFICIENCIA GLOBAL DEL PROCESO
Penetrante	alta	menor	menor	menor	mayor / menor
	baja	mayor	mayor	mayor	menor / mayor

Los penetrantes de alta viscosidad (tixotrópicos) son usados para aplicaciones en spray o electrostáticamente por cuanto tienen una lenta velocidad de drenaje. Son particularmente usados sobre superficies verticales.

Aquellos con baja viscosidad son usados para aplicaciones por inmersión donde se requiere un rápido drenaje para disminuir el consumo de penetrante y la contaminación del emulsificador y /o el agua.

Es fácilmente intuible como la viscosidad de un penetrante es un factor determinante en la velocidad de penetración en la discontinuidad.

Si tenemos dos productos con idéntico “Parámetro de penetrabilidad estática” ($PPE = g \times \cos \alpha$) pero con distintos valores de viscosidad (η) , el penetrante con mayor viscosidad empleará mas tiempo para entrar una discontinuidad de dimensiones standard

Esta consideración está relacionada a través del “*Parámetro de Penetrabilidad Cinemática*” (PPC), el cual resulta directamente proporcional a la tensión superficial y al ángulo de contacto, e inversamente proporcional a la viscosidad.

$$PPC = (g \cos \theta) / \eta$$

Por tanto productos con alto valor del PPC, (baja viscosidad) necesitará de un tiempo menor de penetración con la consiguiente reducción del tiempo de inspección.

Por otra parte, un penetrante caracterizado por una baja viscosidad “escurrirá” rápidamente de la superficie en examen, especialmente si esta es vertical o inclinada.

Este fenómeno incidirá negativamente tanto sobre el accionar del líquido como en la confiabilidad del resultado del ensayo.

En consecuencia, si el caso particular exige el uso de LP de baja viscosidad, será preferible aplicar la técnica de inmersión para asegurar una suficiente cantidad de penetrante sobre la superficie a controlar.

En el caso de usar un producto con alta viscosidad, se recomienda hacer alguna evaluación económica.

La cantidad de penetrante retenido sobre la superficie del componente resulta proporcional a la viscosidad del producto. Esto se traduce en un mayor consumo especialmente en los casos en los cuales se emplea la técnica por inmersión. Fig.12

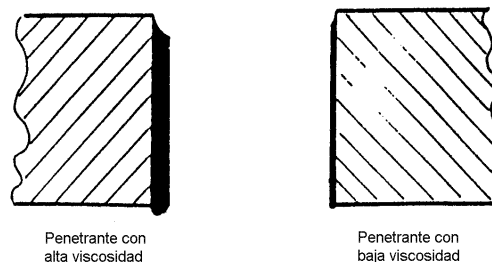


Fig. 12

Normalmente el penetrante tiene una viscosidad variable de 5 a 10 cSt (centistokes) a 38 °C. (La unidad en el SI para la viscosidad cinemática es m^2/seg ; $1 m^2/s = 10^6 cSt$).

Se mide por el método cinemático (ASTM - D445) o , alternativamente medida en unidades Saybolt (ASTM-D88) y convertida a viscosidad cinemática (centistokes) mediante gráficos. Sus valores no deben diferir del valor medio en mas del $\pm 10 \%$.

4.1.5 Densidad:

Siendo generalmente compuestos orgánicos oleosos, los LP poseen generalmente un Peso específico (PE) muy bajo.

La densidad y el PE del producto no inciden en forma directa sobre la sensibilidad y confiabilidad del ensayo.

Especialmente en el caso en el cual la inspección se efectúa con la técnica de inmersión, son más adecuados los penetrantes con $Pe < 1$ (comercialmente entre 0,85 a 0,95).

Esta exigencia deriva principalmente del hecho que una eventual contaminación del LP con agua, usada durante el control, no producirá consecuencia irreparable, por cuanto al

ser el P_e de la misma mayor que la del líquido penetrante, se depositará en el fondo del contenedor, facilitando así la separación del agua.

La densidad aumenta con el aumento de la temperatura debido a la evaporación de los componentes más volátiles que generalmente son más ligeros.

La densidad para líquidos se mide gr/cm^3 y para reveladores en polvos secos en gr/litro dando, esto en este último caso idea de su granulometría o finura.. En reveladores secos, la densidad debe ser normalmente menor a 200 gr/litro .

4.1.6 Volatilidad

Por volatilidad se entiende la propiedad físico - química de algunos componentes, constituyentes de la mezcla líquida, de pasar al estado gaseoso (evaporarse) más o menos fácilmente de la superficie en examen. La consecuencia inmediata de la volatilidad, es la variación de la composición química (y por lo tanto de la tensión superficial, mojabilidad, viscosidad, densidad, punto de inflamabilidad, etc.) de la mezcla original.

La volatilidad es función de la temperatura y la presión a la cual se encuentra la mezcla penetrante.

Es evidente que para un líquido penetrante ideal, la volatilidad deberá ser la mínima posible e igual o similar para cada componente con el objeto de mantener la composición química original.

Un líquido muy volátil no resulta económicamente competitivo por cuanto, si se usa en un contenedor abierto para la técnica por inmersión, tiende continuamente a evaporarse con la consiguiente pérdida de sus características.

Cuando se trata de reveladores húmedos no acuosos se necesita ajustar la volatilidad del material para asegurar una determinada velocidad de secado.

4.1.7 Punto de inflamación

Es la temperatura mínima a la cual el líquido penetrante debe ser calentado, en condiciones normalizadas de laboratorio, para producir vapor en cantidad suficiente como para formar una mezcla inflamable

En la inspección se requieren penetrantes con alto punto de inflamabilidad que, además de poseer un bajo grado de volatilidad, aseguran ajustarse a las normas de seguridad vigentes.

Tales exigencias son particularmente requeridas cuando se utiliza la técnica por inmersión, donde los recipientes están abiertos al aire.

Su medición, además, provee una indicación con respecto a la exactitud de la formulación del producto y sus desviaciones no debe exceder el $\pm 10\%$ del valor medio, dentro de diferentes partidas.

La medición del Punto de inflamabilidad se hace con el aparato de Tag (Norma IRAM o ASTM D-56) cuando su valor es inferior a 80°C y con el método Cleveland de vaso abierto (Norma IRAM 6555 ó ASTM D-92) para Puntos de inflamación mayores de 80°C .

4.2 Otros tipos de penetrantes

- **Penetrantes tixotrópicos:** alta viscosidad.
- **Penetrantes fluorescentes base acuosa:** para inspeccionar tanques O_2 .
- **Penetrantes coloreados o Fluorescentes:** sin S, halógenos, etc.
- **Penetrantes coloreados fluorescentes:** dispersables en H_2O o para ensayos de fugas en grandes recipientes.
- **Penetrantes Fluorescentes:** sin aceites para gomas y plásticos.
- **Penetrantes Fluorescente base aceite:** para aceites de refrigeración.

- **Penetrantes Para superficies calientes.**
- **Penetrantes coloreados:** uso comestible.
- **Penetrante micro encapsulados.**
- **Penetrantes tipo By- Lux Penetrant:** no por capilaridad. Cambia de color neutro a rojo brillante con H₂O o humedad.

4.3 Influencia del estado de la superficie de la muestra, contaminación y temperatura.

Del estado de la superficie y de los contaminantes que contenga la superficie, dependerá fuertemente el examen de LP.

La evidencia de indicaciones esta determinada por la cantidad de penetrante que permanezca en la superficie o sea, está influenciada por la rugosidad de la superficie.

Las “ sustancias extrañas” se llaman comúnmente “ contaminantes”, y pueden tener su origen en numerosas causa:

- **Procesos metalúrgicos de fabricación** como : arenas, escamas, cascarillas de tratamientos térmicos, óxidos, etc.
- **Procedentes de controles no destructivos** como : aceites, partículas magnetizables, líquidos penetrantes usados precedentemente, etc.
- **Condiciones de servicio** como: grasas, lubricantes, óxidos, barnices y pinturas, etc..

Los contaminantes pueden afectar la calidad de los ensayos de diferentes maneras:

- Reaccionando con el LP para contaminarlo reduciendo o eliminando sus propiedades de penetración y/o disminuyendo la fluorescencia (ácidos y cromatos) o coloración.
- Obturando o rellenando las discontinuidades de tal forma de evitar que el LP penetre en ellas.

Contaminantes como cascarillas y óxidos deberán ser eliminados de acuerdo a las técnicas más convenientes.

Las superficies deberán estar libres de pinturas o recubrimientos para no impedir el acceso del penetrante a las discontinuidades. Así también deberán estar secas pues el agua es uno de los más comunes contaminantes.

Hay que tener especial cuidado con los residuos del proceso de limpieza pues pueden reaccionar adversamente con el penetrante, particularmente los ácidos y cromatos que pueden reducir la fluorescencia.

Si se inspecciona sólo una parte de la pieza (por ejemplo soldaduras) se deberá limpiar el área adyacente hasta 1” por afuera de la zona a ensayar

4.4 Soluciones y dispersiones

Las dispersiones son mezclas en las que se esparcen las partículas de una sustancia en otra. Se pueden clasificar, según el tamaño de las partículas en cuatro clases de dispersiones:

- Dispersiones gruesas: en donde las partículas son visibles al ojo humano.
- Dispersiones finas: las partículas son visibles en el microscopio.
- Dispersiones coloidales: las partículas son demasiado pequeñas para observarse en el microscopio óptico.

- Soluciones verdaderas: son dispersiones en las cuales las partículas son del orden molecular y no se sedimentan pero en las otras clases de dispersiones las partículas pueden sedimentar.

En una dispersión, la sustancia que se dispersa se llama dispersada o fase interna. La otra sustancia, se denomina medio dispersor o fase externa.

Las soluciones son mezclas homogéneas. La sustancia esparcida (solute), tal como cloruro de sodio, se dice que se disuelve en una segunda sustancia (solvente), tal como el agua. Aunque las soluciones líquidas son las más conocidas, existen varias otras clases. Las bebidas gaseosas contienen agua carbonatada, que es una solución de un gas en un líquido. El aire es una solución de gases.

4.5 EMULSIONANTES

4.5.1 Lipofílicos e hidrofílicos

Un emulsificador es una sustancia que, mezclada con otra (en nuestro caso el líquido penetrante) la hace lavable con agua.

Como ya fue mencionado anteriormente, los penetrantes pueden ser del tipo removibles con agua, post emulsificables o lavables con solvente.

Cuando se utilizan los penetrantes post emulsificables estos pueden ser de dos tipos : **lipofílicos e hidrofílicos**.

Ambos pueden actuar sobre el penetrante en exceso desde los pocos segundos a varios minutos, dependiendo de la viscosidad, concentración, método de aplicación, y composición química del emulsificador, como así también de la rugosidad de la pieza.

Un buen emulsionante debe:

- a) Mezclarse con el exceso de penetrante de modo de formar una emulsión fácilmente removible con agua.*
- b) Tener una velocidad de emulsificación tal que el operador la pueda controlar.
- c) Poder usarse en contenedores abiertos, por lo que deben tener punto de ebullición alto y volatilidad mínima.
- d) Tener una buena tolerancia a la contaminación con penetrantes.
- e) Tener una buena tolerancia a la contaminación con el agua.
- f) Poseer una pigmentación de tal forma que sea visible con radiación de WOOD y distinguirse del penetrante.*
- g) La pigmentación no debe cambiar de color o tonalidad.
- h) Ser químicamente inerte (pH=7).
- i) Ser estable con el tiempo.
- j) No ser inflamable.
- k) No tener olor desagradable.
- l) No tóxico.

4.5.2 Propiedades Físicas del emulsionante.

Las principales propiedades físicas son:

- VISCOSIDAD: Para lipofílicos, determinar el tiempo de emulsificación

Si es muy viscoso se tendrá:

- Mayor tiempo de drenaje.
- Mayor consumo del producto.
- Mayor contaminación del agua de lavado.

Para hidrofílicos no es relevante

- VOLATILIDAD: Debe ser baja.

Otras propiedades importantes (por seguridad):

- Punto de inflamabilidad.
- Inercia química
- Toxicidad.

La aplicación de los emulsionantes puede realizarse:

- Por inmersión: donde el tiempo total será el tiempo de inmersión mas el tiempo de drenaje.
- Por spray: donde el tiempo de aplicación debe ser breve de lo contrario es difícil de controlar.
- Con pincel : NUNCA.

El tiempo de emulsificación es **crítico** y debe **definirse experimentalmente** y ser el menor posible.

Depende de:

- Emulsionante usado.
- Rugosidad superficial
- Material en examen.
- Tipo de discontinuidades.
- Temperatura de ensayo.

Lipofílicos : aproximadamente 1 a 5 min.

Hidrofílicos: “ 1 a 2 min. (dependiendo de la concentración del tensoactivo)

La contaminación que puede afectar a los emulsificadores generalmente es agua o el mismo penetrante.

En el caso de contaminación por agua los emulsionantes lipofílicos pueden tolerar hasta 5 al 30 % según el producto. Los hidrofílicos no se contaminan por ser basados en agua.

En el caso de la contaminación por penetrante esto afecta mucho. Se puede controlar esta contaminación evaluando la fluorescencia del emulsificador.

Si el emulsificador está contaminado (por agua o penetrante) **NO SE RECUPERA**.

Los emulsionantes lipofílicos son productos de base oleosa. Se aplican como son suministrados por el fabricante y actúan por difusión (Fig. 13). El emulsificador difunde en la película de líquido penetrante y lo hace lavable con agua. La velocidad de difusión dentro del penetrante , establece el tiempo de emulsificación. El emulsificador tiene una acción muy rápida, por lo que esta operación se hace crítica debiéndose frenar no bien la emulsificación llega a la pieza para evitar una sobreemulsificación.

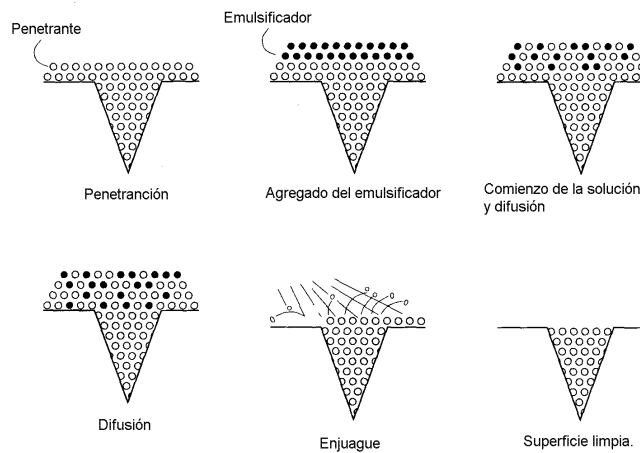


Fig. 13 Emulsionante Lipofílico.

Los penetrantes postemulsificables hidrofílicos (Fig.14) son productos de base acuosa y se suministran como concentrados para ser diluidos en agua del 5 al 30 % para aplicaciones por inmersión y de 0.05 a 5 % para aplicaciones por pulverización. Estos emulsificadores actúan por desplazamiento del exceso de penetrante desde la superficie de la pieza por acción detergente.

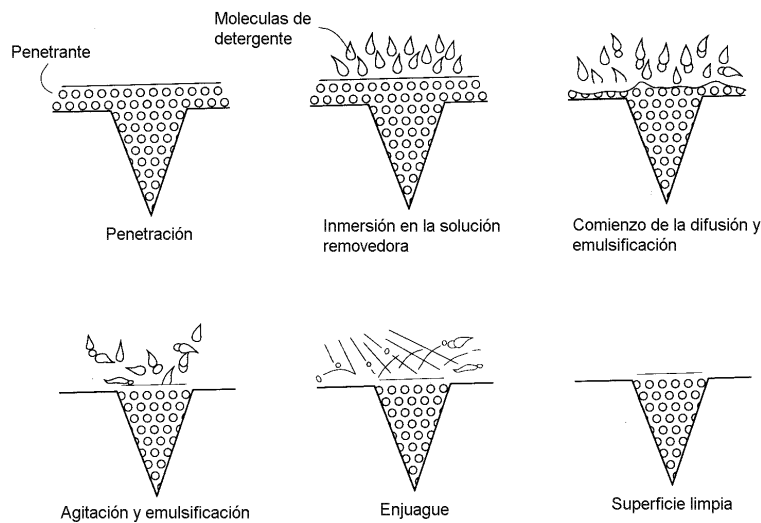


Fig.14 . Emulsionante hidrofílico

La fuerza de pulverizado de agua o la agitación por aire del tanque de inmersión proveen la acción de remoción por desplazamiento. Esta acción es más lenta que los emulsificadores lipofílicos por lo que se facilita el control de la limpieza. Además este método requiere, antes de la aplicación del emulsificador, una basta pulverización con agua lo que ayuda a la remoción del exceso de penetrante minimizando así la contaminación del emulsificador. La prepulverización arrastra el exceso de líquido penetrante dejando sólo una fina capa sobre la pieza, evitando remover el penetrante de

las discontinuidades. Este paso se requiere porque el penetrante no es miscible en el emulsificador hidrofílico.

Los fabricantes sólo dan tiempos nominales para cada emulsificador por lo que, el tiempo correcto, se deberá determinar por experimentación en cada tipo de pieza, dependiendo de las condiciones predominantes, textura superficial y del tipo de discontinuidad buscada

4.5.3 Contenidos de S y Halógenos en los emulsificadores.

El azufre (S) es perjudicial principalmente para las aleaciones de Ni.

Los halógenos son perjudiciales para aceros inoxidable austeníticos y aleaciones de Ti.

Las normas dan distintos controles para estos contaminantes y uno de ellos es el dado en ASME V T640 ed 1992 que dice:

- Evaporar 50 gr. del material por 1 hora a una temperatura de 90 – 100° C o a punto de ebullición si es inferior.
- El producto es aceptable si los residuos son < 0,0025 gr.

Si los residuos son iguales o mayores a 0,0025 gr.:

El contenido de S es aceptable si es < 1% en peso de residuo seco.

El contenido de Halógenos es aceptable si es < 1% en peso de residuo seco

4.6 Mecanismos del revelado

El revelado consiste en la aplicación, sobre la pieza en ensayo, de una capa muy fina del polvo revelador. La función del revelador es la de absorber y llevar al penetrante, atrapado en las discontinuidades, hacia la superficie, aumentando así la visibilidad de las indicaciones.

La acción del revelador es una combinación de los efectos de **disolución, absorción y adsorción.**

Los reveladores se pueden clasificar en tres tipos generales con sus subdivisiones:

I) Polvos secos.

Sólo se usan con líquidos penetrantes fluorescentes dado que con LP coloreados no producen el suficiente contraste.

II) Dispersiones y soluciones acuosas (Húmedos acuosos):

- a) dispersión de polvo en agua.
- b) solución de polvo en agua.

III) Suspensión de polvo en disolventes volátiles no acuoso (Húmedos no acuosos).

- a) no inflamable (solventes clorados).
- b) inflamable (solventes no clorados).

4.6.1 Granulometría de los polvos:

La composición química de los reveladores es un secreto de los fabricantes en cuanto a los porcentuales de las mezclas de los diversos polvos y en ella de su granulometría que puede ser de 2 a 4 micrones.

4.7 Espectro visible y ultravioleta

La radiación electromagnética son ondas vibracionales de campos magnéticos y eléctricos, perpendiculares uno de otros que se transmiten a través del espacio en línea recta.

Dentro del espectro de radiación electromagnética tenemos la luz visible, radiación U.V. RX. Rg, ondas de radio, etc...

La luz visible tiene una longitud de onda que va de aproximadamente 400 a 750 nm, por debajo de esta (menor longitud de onda) se encuentra la luz ultravioleta, no visible para el ojo humano, con un rango de longitud de onda entre ----- y 400 nm.

La U.V. puede producir quemaduras en la piel, dañar los ojos, matar bacterias (esterilización de instrumental), producir ozono, entre otros efectos, Siendo especialmente el rango por debajo de 320 nm el más peligroso.

Dentro de la radiación U.V. se puede distinguir el rango entre 320 a 40 nm conocido como luz negra en donde hay un pico importante en 365 nm. Y el que es aprovechado en la inspección con LÍQUIDOS PENETRANTES fluorescente.

4.7.1 Colores y fluorescencia

El color, es un fenómeno físico de la luz o de la visión, asociado con las diferentes longitudes de onda en la zona visible del espectro electromagnético. Como sensación experimentada por los seres humanos y determinados animales, la percepción del color es un proceso neurofisiológico muy complejo. Los métodos utilizados actualmente para la especificación del color se encuadran en la especialidad llamada colorimetría, y consisten en medidas científicas precisas basadas en las longitudes de onda de tres colores primarios.

La luz visible está formada por vibraciones electromagnéticas cuyas longitudes de onda van de unos 350 a unos 750 nanómetros (milmillonésimas de metro). La luz blanca es la suma de todas estas vibraciones cuando sus intensidades son aproximadamente iguales. En toda radiación luminosa se pueden distinguir dos aspectos: uno cuantitativo, su **intensidad**, y otro cualitativo, su **cromaticidad**. Esta última viene determinada por dos sensaciones que aprecia el ojo: la **tonalidad** y la **saturación**. Una luz compuesta por vibraciones de una única longitud de onda del espectro visible es cualitativamente distinta de una luz de otra longitud de onda. Esta diferencia cualitativa se percibe subjetivamente como tonalidad. La luz con longitud de onda de 750 nanómetros se percibe como roja, y la luz con longitud de onda de 350 nanómetros se percibe como violeta. Las luces de longitudes de onda intermedias se perciben como azul, verde, amarilla o anaranjada, desplazándonos desde la longitud de onda del violeta a la del rojo.

El color de la luz con una única longitud de onda o una banda estrecha de longitudes de onda se conoce como color puro. De estos colores puros se dice que están saturados, y no suelen existir fuera del laboratorio. Una excepción es la luz de las lámparas de vapor de sodio empleadas en ocasiones para la iluminación de calles y carreteras, que es de un amarillo espectral casi completamente saturado. La amplia variedad de colores que se ven todos los días son colores de menor saturación, es decir, mezclas de luces de distintas longitudes de onda. Si a una pintura con un color (puro) determinado le agregamos blanco, estamos disminuyendo su saturación.

4.7.2 Colores primarios

El ojo humano no funciona como una máquina de análisis espectral, y puede producirse la misma sensación de color con estímulos físicos diferentes. Así, una mezcla de luces roja y verde de intensidades apropiadas parece exactamente igual a una luz amarilla espectral, aunque no contiene luz de las longitudes de onda asociadas al amarillo. Puede reproducirse cualquier sensación de color mezclando aditivamente diversas cantidades de luces roja, azul y verde. Por eso se conocen estos colores como colores

aditivos primarios. Si se mezclan luces de estos colores primarios con intensidades aproximadamente iguales se produce la sensación de luz blanca. También existen parejas de colores espectrales puros, que si se mezclan aditivamente, producen la misma sensación que la luz blanca, por lo que se denominan colores complementarios. Entre esos pares figuran determinados amarillos y azules, o rojos y verdes azulados.

Todos los objetos tienen la propiedad de absorber y reflejar ciertas radiaciones electromagnéticas. La mayoría de los colores que experimentamos normalmente son mezclas de longitudes de onda que provienen de la absorción parcial de la luz blanca. Casi todos los objetos deben su color a los filtros, pigmentos o pinturas, que absorben determinadas longitudes de onda de la luz blanca y reflejan o transmiten las demás; estas longitudes de onda reflejadas o transmitidas son las que producen la sensación de color, que se conoce como color pigmento.

4.7.3 Fluorescencia.

Es la emisión de radiación electromagnética por una sustancia como el resultado de la absorción de radiación electromagnética o corpuscular y tiene una energía mayor que la de la excitación. La fluorescencia está caracterizada por el hecho de que ocurre solamente mientras la estimulación se mantiene. La radiación característica de rayos X emitida como el resultado de la absorción de RX de mayor frecuencia es un ejemplo típico de fluorescencia.

Los pigmentos fluorescentes poseen estas sustancias.

4.7.4 Luminiscencia.

Es la emisión de luz no causada por combustión y que, por tanto, tiene lugar a temperaturas menores. Un ejemplo de luminiscencia es la luz que emiten algunos carteles de señalización que brillan en la oscuridad después de haber sido expuestos a la luz natural o artificial. La luminiscencia es distinta de la incandescencia, que es la producción de luz por materiales calentados.

Cuando determinados materiales absorben energía de distintas clases, parte de esta energía puede ser emitida en forma de luz. Este proceso implica dos pasos: 1) la energía inicial hace que los electrones de los átomos del material luminiscente se exciten y salten de las órbitas internas de los átomos a las externas; 2) cuando los electrones vuelven a su estado original, se emite un fotón de luz. El intervalo entre ambos pasos puede ser corto (menos de una cienmilésima de segundo) o largo (varias horas). Cuando el intervalo es corto, el proceso se denomina **fluorescencia**; cuando el intervalo es largo, **fosforescencia**. En ambos casos, la luz producida es casi siempre de menor energía —es decir, de mayor longitud de onda— que la luz que produce la excitación.

La fluorescencia y la fosforescencia tienen numerosas aplicaciones prácticas. Los tubos de imagen de los televisores están recubiertos de materiales fluorescentes que brillan al ser excitados por un rayo catódico. El interior de un tubo fluorescente también está recubierto por un material similar, que absorbe la radiación ultravioleta —invisible pero intensa— de la fuente primaria de luz y emite luz visible. En un láser se produce un tipo especial de fluorescencia denominado emisión estimulada.

La fotoluminiscencia es la luminiscencia que se produce cuando determinados materiales son irradiados con luz visible o ultravioleta; ocurre por ejemplo en pinturas fosforescentes.

4.7.5 Absorción de la luz.

No se conoce bien el mecanismo por el que las sustancias absorben la luz. Aparentemente, el proceso depende de la estructura molecular de la sustancia. En el caso de los compuestos orgánicos, sólo muestran color los compuestos no saturados, y su tonalidad puede cambiarse alterándolos químicamente. Los compuestos inorgánicos suelen ser incoloros en solución o en forma líquida, salvo los compuestos de los llamados elementos de transición.

4.7.6 Ley de Beer.

La ley de Beer o Lambert es una función exponencial que rige la absorción de la luz que tiene lugar cuando una luz, visible o ultravioleta, atraviesa una capa de líquido de un espesor determinado.

$$I = I_0 \cdot e^{-a \cdot x}$$

Donde:

- I: intensidad de la luz transmitida
- I_0 : intensidad de la luz incidente.
- a: coeficiente de absorción
- x: espesor de la capa absorbente.

4.8 Formulación básica de líquidos penetrantes con base oleosa y no oleosa.

No es fácil clasificar a los líquidos penetrantes dado la variedad que existe pero, sin tener en cuenta los productos especiales se puede esbozar una clasificación en función al producto base que contienen:

Penetrantes en base oleosa (standard):

Tienen una base oleosa que es una mezcla de hidrocarburos parafínicos (inodoro), nafténicos (inodoro) y aromáticos (no inodoro pero empleado por ser un excelente solvente del pigmento). Existen actualmente productos con base de solventes sintéticos alifáticos que son biodegradables. No deben ser usados para inspeccionar recipientes que contengan oxígeno líquido porque se pueden producir explosiones (oxígeno: comburente; penetrante base oleosa: combustible).

Penetrantes en base no oleosa (inorgánicos):

Son de base acuosa con pigmentación inorgánica. Poseen menor sensibilidad que los de base oleosa por lo que deben ser empleados donde no es necesario alta sensibilidad. Son de bajo costo.

Este tipo de penetrante debe ser usado en el control de recipientes de oxígeno líquido para prevenir explosiones.

Otros tipos de penetrantes pueden ser:

Penetrantes para alta temperatura:

Tienen base cerosa con aditivos de solventes no inflamables. Poseen menor sensibilidad que los oleosos y se emplean normalmente para temperaturas máximas de 200 a 250 ° C.

4.8.1 Aditivos y acondicionadores.

También es difícil establecer la función cualitativa y cuantitativa de cada uno pero se los puede subdividir en:

- Copulantes: sirven para mantener el pigmento en solución.
- Plastificantes: mantienen estable la solución con los cambios de temperatura.
- Tensoactivos: confieren una adecuada mojabilidad y tensión superficial al penetrante. En general son sales de sodio y potasio de ácidos grasos
- Solventes y emulsificadores: hacen que el penetrante sea más o menos lavable con agua. Según el tipo de solvente, el penetrante puede resultar mejor lavarlo en frío o en caliente, como también según sea en base oleosa o cerosa.

Existen límites, por parte de las normativas, sobre el contenido de algunas sustancias que pueden inducir corrosión o dañar la pieza en examen.

El Código ASME V (T640) ED 1992 indica que es necesario analizar el contenido de azufre para aleaciones en base níquel, mientras que en el control de aceros inoxidables austeníticos y aleaciones de titanio se deberán analizar el contenido de alógenos.

Un resumen de estos análisis es lo siguiente:

a) Cuando se examina aleaciones de níquel, todos los materiales serán analizados individualmente por el contenido de azufre.

- I) Una muestra de los materiales penetrantes (penetrante, revelador etc.) con excepción de los limpiadores (cleaners) será preparada para el análisis calentando 50 gr del material en una caja de Petri de 150 mm de diámetro nominal a una temperatura de 90°C a 100°C durante 60 min.
- II) El análisis de los residuos será como sigue: si el residuo es menor a 0,0025 gr, el material es aceptable sin más análisis. Si el residuo es igual a 0,0025 gr o mayor, el procedimiento mostrado en a) I) será repetido y el residuo, analizado de acuerdo con ASTM D 129 o ASTM D 1552. Alternativamente, el material puede ser descompuesto de acuerdo a ASTM D 129 y analizado de acuerdo a ASTM D 516 Método B. El contenido de sulfuro no deberá exceder el 1% en peso del residuo.

4) b) Cuando se examinan aceros inoxidables austeníticos o titanio, todos los materiales serán analizados por el contenido de cloruros y fluoruros como sigue.

Una muestra individual de los materiales penetrantes (penetrante, revelador, etc.) con excepción de los limpiadores (cleaners) será preparada para el análisis calentando 50 gr del material en una caja de Petri de 150 mm de diámetro nominal a una temperatura de 90°C a 100°C durante 60 min.

II) El análisis de los residuos será como sigue: si el residuo es menor a 0,0025 gr, el material es aceptable sin más análisis. Si el residuo es igual a 0,0025 gr o mayor, el procedimiento mostrado en a) I) será repetido y el residuo, analizado de acuerdo con ASTM D 808 o ASTM SE- 165 Anexo 2 por cloruros y SE 165 Anexo 3 por fluoruros. El contenido de cloruros más fluoruros no deberá exceder el 1% en peso del residuo

4.9 Removedores usados en el proceso

En la terminología corriente de ensayo de Líquidos Penetrantes se llama agente de remoción al solvente que es empleado para la eliminación del penetrante en exceso y en inglés se lo nombra como "**Remover**". Al que se utiliza en la limpieza inicial se lo denomina "**Cleaner**".

Ambos difieren de los emulsificadores porque ellos remueven el líquido penetrante en exceso por la acción directa del solvente.

4.9.1 Formulaciones básicas

Hay dos tipos básicos de removedores, los inflamables y los no inflamables.

Los primeros están esencialmente libres de alógenos pero son potencialmente peligrosos. Los segundos, que son ampliamente usados, son halogenados lo que los puede hacer inapropiados para algunas aplicaciones.

Las características físico - químicas de los agentes de remoción varían considerablemente de acuerdo al penetrante usado y al tipo de material en examen. Una formulación aproximada es la siguiente:

- Solvente no inflamable: solventes clorados estabilizados para la industria convencional.
- Solventes inflamables: destilados volátiles de petróleo, alcoholes volátiles y cetonas para la industria nuclear.
- Solventes de petróleo:
 - hidrocarburos de petróleo de diversas naturalezas: aromáticos y alifáticos.
 - Aceites minerales: de un grado de pureza particular.
 - Cosolventes: glicol-eter comprimido.
- Derivados sintéticos:
 - tensoactivos modificados.
 - tensoactivos orgánicos modificados.
 - Bases diversas con oxido de etileno y/o propileno.
- Inhibidores de corrosión:
 - Tipo A : soluble en aceites.
 - Tipo B: soluble en agua.

De cualquier modo, independientemente de su formulación, deberá poseer un alto punto de inflamación que respete las normas de seguridad y una alta volatilidad a fin de ser eliminado de la pieza antes de aplicar el revelador.

Se debe tener un cuidado particular en las especificaciones del contenido preciso de azufre y cloro de estos productos especialmente en el campo nuclear y aeronáutico. A continuación se transcribe el Código ASME T 640 Ed 1992 que especifica porcentajes menores al 1%) en estos casos.:

Un resumen de estos análisis es lo siguiente:

a) Cuando se examina aleaciones de níquel, todos los materiales serán analizados individualmente por el contenido de azufre.

III) Una muestra del material limpiador/removedor (cleaners/ removers)) será preparada para el análisis calentando 100 gr del material en una caja de Petri de vidrio de 150 mm de diámetro nominal a una temperatura de 90°C a 100°C durante 60 min.

IV) El análisis de los residuos será como sigue: si el residuo es menor a 0,005 gr, el material es aceptable sin más análisis. Si el residuo es igual a 0,005 gr o mayor, el procedimiento mostrado en a) III) será repetido y el residuo, analizado de acuerdo con ASTM D 129 o ASTM D 1552. Alternativamente, el material puede ser descompuesto de acuerdo a ASTM D 129 y analizado de acuerdo a ASTM D 516 Método B. El contenido de sulfuro no deberá exceder el 1% en peso del residuo.

- 4) b) Cuando se examinan aceros inoxidable austeníticos o titanio, todos los materiales serán analizados por el contenido de cloruros y fluoruros como sigue.

3) Una muestra individual del material limpiador / removedor (cleaners/ remover) será preparada para el análisis calentando 100 gr del material en una caja de Petri de vidrio de 150 mm de diámetro nominal a una temperatura de 90°C a 100°C durante 60 min.

4) El análisis de los residuos será como sigue: si el residuo es menor a 0,005 gr, el material es aceptable sin más análisis. Si el residuo es igual a 0,005 gr o mayor, el procedimiento mostrado en a) 3) será repetido y el residuo, analizado de acuerdo con ASTM D 808 o ASTM SE- 165 Anexo 2 por cloruros y SE 165 Anexo 3 por fluoruros. El contenido de cloruros más fluoruros no deberá exceder el 1% en peso del residuo

4.9.2 Emulsificadores.

Aunque no se conoce exactamente su composición química (reservada por el fabricante) los *emulsificadores lipofílicos* se puede decir que la base de la formulación es la siguiente:

- Producto base:
Tensoactivos, hidrocarburos de petróleo y aminas.
- Aditivos:
Glicol, ácidos grasos y aceites vegetales.
- Pigmentos:
Pigmentación roja (colorantes orgánicos) o fluorescentes

Así como en el caso anterior los *emulsificadores hidrofílicos* tienen la siguiente formulación base aproximada:

- Producto base (80 - 90 %):
El producto base son mezclas de tensoactivos no iónicos y glicol (alcoholes superiores)
- Aditivos (15 - 20 %):
Son esencialmente inhibidores de corrosión y bactericidas.
- Pigmentos

4.10 Composición y estado de reveladores

Los reveladores deben poseer las siguientes características:

- Tener una elevada capacidad absorbente.
- Ser fácilmente dispersables de tal forma de formar una capa uniforme sobre la pieza de ensayo.
- Dar un buen contraste con la indicación. De modo particular el revelador debe ser:
 - Blanco para líquidos penetrantes coloreados.
 - No fluorecer para líquidos penetrantes fluorescentes.
- Tener buena mojabilidad para que el líquido retenido en las indicaciones se pueda expandir sobre la superficie de las partículas.
- Adherencia a la superficie en ensayo.
- De fácil aplicabilidad, uniforme y rápido; baja velocidad de sedimentación para los reveladores líquidos en suspensión.
- Ser fácilmente removibles después del examen.

- Químicamente inerte (PH=7)
- No tóxico
- No inflamable.

La composición química de los reveladores, como todos estos productos, es secreto de los fabricantes especialmente los porcentuales y granulometrías usadas pero en líneas generales podemos decir que la composición es la siguiente para:

En líneas generales podemos decir que la composición es la siguiente:

1) **Reveladores secos:** polvo de sílice amorfa o coloidal (la cristalina está prohibida), polialcoholes, carbonatos insolubles, con una granulometría entre 2 y 4 micrones.

Pueden contener pequeños porcentuales de polvo de talco, silicatos, sales de calcio y polvos de titanio (confieren peso para su decantación sobre la pieza).

2) **Reveladores líquidos:**

- Líquido soporte:
 - Agua para el revelador acuoso.
 - Solventes halogenados (donde no existe prescripciones sobre el contenido de alógenos) o alcohol isopropílico.
- Polvos: con una concentración de 0,04 – 0,1 Kg por cada litro de líquido constituidos de:
 - Reveladores en suspensión: sílice amorfa o coloidal (la cristalina esta prohibida por cancerígena), polialcoholes, carbonatos insolubles.
 - Reveladores en solución: sales de calcio (por ejemplo silicatos).

Granulometría. La granulometría aproximada de las partículas de polvos es de alrededor de 2 a 4 micrones dependiendo de la calidad del revelador.

5 PROCESAMIENTO

5.1 Preparación de la pieza de trabajo, tratamiento, identificación y protección de las áreas que no serán inspeccionadas.

Para su ensayo la pieza debe ser perfectamente identificada. Luego se procederá a su limpieza protegiendo antes las áreas que no serán ensayadas. Se recuerda se deberá ensayar la pieza por lo menos una pulgada hacia las adyacencias de la zona de interés.

Se deberá tener especial cuidado de no cubrir con penetrante áreas sin importancia para lo que la aplicación con pincel es recomendable.

Se deberá medir o estimar la temperatura de la pieza para efectuar el ensayo dentro de las temperaturas normalizadas.

Una vez limpia la superficie asegurarse de su buen secado.

5.1.1 Limpieza preliminar a la inspección

La preparación superficial, o mejor el acondicionamiento superficial, es una de las fases críticas del proceso de examen por cuanto si esta no es idónea, las discontinuidades pueden quedar obturadas con suciedad y el penetrante no poder penetrar.

El factor de mayor importancia en la elección del método de limpieza es el tipo de contaminante que deberá ser removido y el tipo de material a ser ensayado. Otros factores son el tamaño de la pieza, su historia termomecánica, su dureza, el tipo de aleación, terminación superficial de la pieza

Varias técnicas aplicables:

a) **Solventes.**

Aplicables para la limpieza de contaminantes orgánicos como aceites y grasas y no recomendados para suciedad inorgánica.

Estos no deberán dejar residuos como por ejemplo la acetona pero su desventaja es su gran volatilidad que la hace peligrosa para el operador especialmente en ambientes poco ventilados.

El tricloroetileno debe ser empleado solamente para la limpieza inicial pues puede contaminar al penetrante.

Se deberá tener con las restricciones que dan las Normas o Códigos en cuanto a los contenidos de alógenos y azufre.

b) **Vapor desengrasante**

Es uno de los métodos más ampliamente usados y más efectivo para la remoción de contaminantes tipo orgánico.

Comúnmente utiliza tricloroetileno.

Dado el corto tiempo de contacto del vapor es posible que la suciedad en discontinuidades profundas no sea extraída por lo que se recomienda una limpieza final con otro solvente.

c) **Soluciones de detergentes**

Son especialmente aplicadas cuando los contaminantes son de tipo inorgánico.

Son soluciones en base agua que contienen surfactantes para el mojado, emulsificación y saponificación de varios tipos de suciedad orgánica como aceites y fluidos de maquinado, corte, etc.

Pueden ser ácidos, neutros o alcalinos y deben ser no corrosivos.

El tiempo de limpieza está entre 10 a 15 minutos a una temperatura entre 70 a 90 °C.

Las concentraciones deberán ser las recomendadas por el fabricante.

d) **Soluciones que tienen una acción química (decapantes ácidos y alcalinos, etc.)**

Aplicadas generalmente cuando se quieren eliminar óxidos presentes, decapar luego de una limpieza mecánica, etc. El producto a usar depende de las características del material y la contaminación.

Se debe poner especial atención en el lavado final para no dejar residuos ácidos (especialmente ácido crómico) que reducen la fluorescencia del penetrante. Sin embargo la limpieza química puede ser de gran ayuda cuando se requiere inspeccionar superficies anodizadas, plaqueadas o con recubrimientos (pinturas, barnices, etc.).

Los limpiadores alcalinos son soluciones acuosas no inflamables que contienen detergentes seleccionados para varios tipos de suciedades. Pueden usarse en forma caliente para remover óxidos o herrumbre. Las piezas deberán ser enjuagadas y secada perfectamente luego del proceso.

e) **Limpieza ultrasónica.**

Es el mejor método para remover suciedad de las discontinuidades pero puede ser una inversión en equipamiento muy alto.

f) **Modos mecánicos (amolado, arenado, cepillado, etc.)**

Estos métodos deberán ser aplicados con sumo cuidado puesto que se corre el riesgo de tapar discontinuidades por deformación de la superficie (materiales blandos) como también la obturación con partículas abrasivas.

En general estos métodos deberían ser seguidos con un ataque químico para corroer la sutil pátina metálica formada sobre la apertura de las discontinuidades.

g) **Removedores de pinturas**

Son removedores de pinturas comerciales que pueden ser tipo solvente de o tipos alcalinos para utilizar en caliente (80° a 90 °C) por inmersión.

La pieza debe ser enjuagada y secada perfectamente luego de la remoción.

h) **Quemado con aire**

Aplicado generalmente a cerámicos. Se calienta la pieza en una atmósfera oxidante a alta temperatura (dependiendo de las propiedades de la pieza). Es una forma efectiva para remover suciedad orgánica.

5.1.2 Condiciones y requerimientos para efectuar el secado.

Luego de la limpieza preliminar la pieza deberá secarse perfectamente.

Esto puede llevarse a cabo a través de la evaporación natural, recirculación de aire frío o caliente (secadores) manuales, lámparas, o estufas.

La temperatura y tiempo mínimo de secado deberá determinarse experimentalmente según los productos y materiales en uso, temiendo en cuenta que la pieza deberá estar a una temperatura entre 16° a 52° C (ASME V T652).

5.1.3 Aplicación del agente penetrante.

La aplicación del penetrante puede realizarse por inmersión, con pincel o por spray. Si para este último caso se usan equipos de aire comprimido se deben colocar filtros en la entrada de aire para evitar contaminar al penetrante con aceites, partículas de polvo, agua, etc. o sedimentos que pueden estar presentes en el circuito.

El tiempo de penetración es crítico y depende de la temperatura de ensayo, tipo de discontinuidad y materiales, por lo que el mínimo será el recomendado en las normas o el que determine el procedimiento calificado

La temperatura es la anteriormente especificada (16° a 52 ° C)

5.1.3.1 Tiempos de penetración:

Tiempos aproximados de penetración para penetrantes coloreados

TIPO DE DEFECTO	TIEMPO DE PENETRACIÓN (min.)
Fisuras de tratamiento térmico.	2
Fisuras de amolado.	10
Fisuras de fatiga	10
En plásticos	1-5
En cerámicos	1-5
En herramientas de corte	1-10
En forjados	20
En soldaduras	10-20
Solapado en frío de fundiciones en matriz	10-20
Porosidad en cerámicos	3-10
En fundiciones en matriz	3-10
En soldaduras	10-20
Solapados de forja	20
Costuras	10-20

**TIEMPOS APROXIMADOS DE PENETRACIÓN PARA PENETRANTES
COLOREADOS POST-EMULSIFICABLES.**

MATERIAL Y CONDICIÓN	DEFECTO	TIEMPO DE APLICACIÓN (MIN)	
		Temperatura 15 °C- 32°C	Temperatura 1°C - 15°C
Todos los metales	Fis. de trat. Term.	3 a 5	10 a 15
Todos los metales	Fis. De amolado	7 a 10	15 a 20
Todos los metales	Fis. De fatiga	7 a 10	15 a 20
Plásticos	Fisuras	3 a 5	10 a 15
Cerámicos	Fisuras	3 a 5	10 a 15
Cerámicos	Porosidad	3 a 5	10 a 15
Herramientas de corte			
Puntas de carburos	Bronceado pobre	3 a 5	10 a 15
De corte	Fis. en la punta.	3 a 5	10 a 15
De corte	Fis. en la caña.	3 a 5	10 a 15
Metales			
Fundic. de molde permanente	Porosidad de rechupe	3 a 5	10 a 15
Fundiciones en matriz	Porosidad superficial	3 a 5	10 a 15
Fundiciones en matriz	Solapado en frío	3 a 20	10 a 20
Forjados	Fisuras y solapados	7 a 20	15 a 20
Metal rolado	Costuras	7 a 20	15 a 15
Soldaduras de Al.	Fisuras y poros.	3 a 5	10 a 15
Soldaduras de acero	Fisuras y poros	7 a 20	15 a 20

TIEMPOS DE PENETRACIÓN PARA PENETRANTES FLUORESCENTES LAVABLES CON AGUA

MATERIAL	CONFORMADO	TIPO DE DEFECTO	TIEMPO DE PENETRACION (MINUTOS)
ALUMINIO	Fundiciones	Porosidad	5-15
		Cerrado en frío	5-15
	Forjados	Solapados	30
	Soldaduras	Falta de unión	30
		Porosidad	30
Todos los conformados	Fisuras de fatiga	30	
MAGNESIO	Fundiciones	Porosidad	15
		Cerrado en frío	15
	Forjados	Solapados	30
	Soldaduras	Falta de unión	30
		Porosidad	30
Todos los conformados	Fisuras de fatiga	30	
ACEROS INOXIDABLES	Fundiciones	Porosidad	30
		Cerrado en frío	30
	Forjados	Solapados	60
	Soldaduras	Falta de unión	60
		Porosidad	60
Todos los conformados	Fisuras de fatiga	30	
LATÓN Y BRONCE	Fundiciones	Porosidad	10
		Cerrado en frío	10
	Forjados	Solapados	30
	Partes bronceadas	Falta de unión	15
		Porosidad	15
Todos los conformados	Fisuras de fatiga	30	
PLÁSTICOS	Todos los conformados	Fisuras	5-30
VIDRIOS	Todos los conformados	Fisuras	5-30
HERRAMIENTAS CON PUNTAS DE CARBUROS		Falta de unión	30
		Porosidad	30
		Fisuras de amolado.	10
TITANIO Y ALEACIONES PARA ALTA TEMPERATURA		Todas	Use solamente con penetrantes postemulsificables.

TIEMPOS DE PENETRACIÓN PARA PENETRANTES FLUORESCENTES POST-EMULSIFICABLES

MATERIAL	CONFORMADO	TIPO DE DEFECTO	TIEMPO DE PENETRACION (MINUTOS)
ALUMINIO	Fundiciones	Porosidad	5
		Cerrado en frío	5
	Forjados	Solapados	10
	Soldaduras	Falta de unión	5
Porosidad		5	
	Todos los conformados	Fisuras de fatiga	10
MAGNESIO	Fundiciones	Porosidad	5
		Cerrado en frío	5
	Forjados	Solapados	10
	Soldaduras	Falta de unión	10
Porosidad		10	
	Todos los conformados	Fisuras de fatiga	10
ACEROS INOXIDABLES	Fundiciones	Porosidad	10
		Cerrado en frío	10
	Forjados	Solapados	10
	Soldaduras	Falta de unión	20
Porosidad		20	
	Todos los conformados	Fisuras de fatiga	20
LATÓN Y BRONCE	Fundiciones	Porosidad	5
		Cerrado en frío	5
	Forjados	Solapados	10
	Partes bronceadas	Falta de unión	10
Porosidad		10	
	Todos los conformados	Fisuras de fatiga	10
PLÁSTICOS	Todos los conformados	Fisuras	2
VIDRIOS	Todos los conformados	Fisuras	5
HERRAMIENTAS CON PUNTAS DE CARBUROS		Falta de unión	5
		Porosidad	5
		Fisuras de amolado.	20
TITANIO Y ALEACIONES PARA ALTA TEMPERATURA		Todas	20-30

5.1.4 Remoción del exceso del agente penetrante.

Luego de que el tiempo de penetración ha transcurrido, se procederá a la remoción del excedente superficial cuidado de no remover aquel que está retenido en las discontinuidades.

El resultado de esta etapa debe ser evaluado bajo luz blanca para penetrantes coloreados y bajo luz negra para fluorescentes.

La remoción dependerá del tipo de penetrante utilizado.

a) **Penetrantes lavables con agua:** dado que el LP contiene dentro de su formulación el emulsificador, puede ser removido directamente con agua.

Esto se realiza con dispositivos (boquillas) que permitan aplicar una vasta lluvia o rociado de agua que no exceda una presión de 2 Kg /cm² (200 kPa) y a una temperatura entre 10 a 40 °C y no mayor a 43 °C (110°F).

El lavado deberá realizarse de tal forma que el chorro de agua no sea perpendicular a la superficie sino con un cierto ángulo.(Fig. 15)

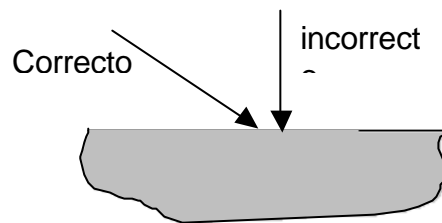


Fig. 15

Se tendrá especial cuidado de no producir un sobre lavado realizando este paso bajo luz blanca con penetrantes coloreados y bajo luz negra para fluorescentes.

Otra indicación importante es que el lavado para LP fluorescentes deberá hacerse de **abajo hacia arriba** para evitar el velo fluorescente que se produce sobre la pieza por el chorreado.

En piezas fundidas donde la fluorescencia puede ser muy tenaz es posible la inmersión de la pieza y un rociado posterior siempre y cuando se tenga un buen control para evitar el sobrelavado.

b) **Penetrantes postemulsificables lipofílicos:** los penetrantes de esta categoría no poseen el emulsificador incorporado por lo que se requerirá una etapa adicional de emulsificación sobre el LP en exceso. Esta etapa puede ser efectuada por:

a) **Inmersión:** sumergiendo la pieza en el recipiente que contenga el emulsificador solo un tiempo suficiente para cubrir la pieza (toda la superficie en un mismo tiempo) y continuando el tiempo de emulsificación fuera de él. Para piezas pequeñas lo más conveniente es utilizar canastas para la inmersión.

b) **Rociado:** del emulsificador sobre la pieza.

Para piezas grandes se debe cubrir toda la superficie lo más rápido posible.

El tiempo de contacto es fundamental pues el determina la profundidad de emulsificación. Si es demasiado breve será difícil la remoción del exceso, si fuera muy largo se podrían perder por lavado el LP dentro de discontinuidades poco profundas. Este tiempo debe ser determinado experimentalmente y puede variar

entre 30 segundos a 3 minutos aproximadamente (no excediendo de 5 min.) y está directamente relacionado con la concentración del emulsificador.

La temperatura del emulsificador no es extremadamente crítica pero se recomienda que esté entre 20° a 30°C (70° a 90 °F)

Una vez que esta técnica es ajustada en función del tipo de producto, material, tipo de discontinuidad, etc., es una de las más sensibles especialmente en aplicaciones automáticas de componentes en serie.

Remoción: Esta etapa es quizás la más importante para obtener reproducibilidad y el tiempo debería ser determinado experimentalmente (aproximadamente entre 10 seg. A 2 min.).

Se recomienda realizar la remoción con una lluvia abundante de agua a presión de 2 Kg/cm² (200 kPa) y a una temperatura de 10° a 40°C (50° a 100° C).

c) Penetrantes postemulsificables hidrofílicos: acá la remoción se realiza con la aplicación del emulsificador por contacto interfacial actuando por arrastre. Acá el tiempo de emulsificación es menos crítico que en el caso de los lipofílicos y es menor. Se recuerda que antes de su aplicación se debe dar un enjuague con abundante agua (30 a 90 seg. como mínimo) para ayudar al emulsificador y reducir así su rápida contaminación. La temperatura del agua debe estar entre 10° a 40° C (50° a 100° F).

3.6 .Secado: cuando sea necesario y dependiendo de la técnica a aplicar, se deberá secar la pieza.

El mejor secado se realiza en secadoras con recirculación de aire caliente controladas termostáticamente. La temperatura de la pieza no deberá exceder los 52° C y deberá permanecer en la secadora no más allá del tiempo necesario.

5.1.5 Aplicación del revelador

Depende del tipo de revelador usado. Deberá ser aplicado tan pronto como sea posible luego de la remoción del penetrante y el secado de la pieza:

1) Revelador seco: se aplica después de que la pieza ha sido secada. Se puede aplicar de las siguientes formas:

- Espolvoreando y eliminando el exceso con una corriente de aire seco muy suave.
- Por inmersión de la pieza dentro del polvo (algunas veces permisibles) y sacudiendo suavemente o con aire seco para eliminar el exceso de revelador.
- Con brochas muy suaves.
- Usando sopletes electrostáticos.

Se recuerda que este tipo de revelador debe ser usado con penetrantes fluorescentes ya que no da un fondo de contraste adecuado para los penetrantes coloreados. Idealmente este revelador debería ser liviano y velloso (no formar grumos) para permitir una fácil aplicación y debiéndose adherir en forma muy tenue a la superficie seca. Estos reveladores no deberían ser higroscópicos y permanecer bien secos, por lo que se deberá tener cuidado en su almacenaje y manejo. Los reveladores secos pueden formar grumos desde 3 micrones y más, hasta 100 micrones. Esto puede dificultar la remoción del penetrante en por ejemplo fisuras muy finas de pocos micrones de profundidad y ancho de boca de las que es necesario extraer todo el penetrante para visualizarlas.

Por razones de seguridad en la salud, los reveladores secos deberán ser manejados con cuidado. Como otras partículas de polvos, estas pueden reseca

la piel y producir irritaciones respiratorias. Si el operador trabaja continuamente en la estación de revelado, es recomendable usar guantes de goma y máscaras.

2) **Revelador soluble en agua:** aplicados después de la remoción y antes del secado

- Se aplica por inmersión

Puede ser usado para líquidos fluorescentes y coloreados.

Estos reveladores no son recomendados para usar con penetrantes lavables con agua, debido al potencial lavado del penetrante retenido en las discontinuidades por el revelador.

Su suministro es en la forma de polvos secos para ser disueltos en agua de acuerdo a las recomendaciones del fabricante . En general desde 0,12 a 0,24 Kg/litro.

La concentración de los baños debe ser controlada periódicamente con un densímetro.

Dentro de su composición tienen inhibidores de corrosión y bactericidas.

Las ventajas de este tipo de revelador son las siguientes:

- a) Como el polvo es soluble en agua, no se requiere la agitación continua del baño.
- b) El revelador se aplica antes del secado disminuyendo así el tiempo de revelado.
- c) Como el film formado después de l secado es completamente soluble en agua, es fácilmente removible con un enjuague.

3) **Revelador en suspensión acuosa:** aplicados después de la remoción y antes del secado.

Se aplican por:

- Inmersión
- Vertido.
- Spray.

Pueden ser usados con LP fluorescentes o coloreados.

Se suministran como polvos secos para luego agregarles agua y formar la suspensión. En general las proporciones pueden ser entre 0,04 a 0,12 Kg/litro y se debe tener sumo cuidado de mantener el polvo en suspensión dado que demasiado o muy poco revelador sobre la superficie de la pieza puede afectar la sensibilidad del ensayo. También en este caso se controla rutinariamente con un densímetro la concentración.

Su formulación contiene agentes dispersantes que ayudan a mantener las partículas en suspensión. así también contienen inhibidores de corrosión, biocidas y agentes humectantes tanto para un buen cubrimiento de la superficie de las piezas como para su limpieza final.

4) **Reveladores suspendidos en solventes:** se aplican siempre después del secado ya sea por:

- Aerosol.
- Spray electrostático.

Se usan tanto para LP fluorescentes como para coloreados.

Este tipo de revelador produce una capa muy blanca sobre la superficie dando un máximo de contraste para ambos tipos de LP.

Dentro de su formulación contienen solventes compatibles con los penetrantes y agentes surfactantes en un dispersante que cubren las partículas y así evitar su tendencia a la aglomeración .

Los reveladores en suspensión no acuosa son **los más sensibles** para el revelado de LP fluorescentes puesto que la acción del solvente contribuye a los mecanismos de absorción y adsorción. En muchos casos en donde hay discontinuidades muy estrechas, los reveladores acuosos (ambos tipos) no llegan a contactar el LP entrampado por lo que la acción capilar no se produce.

Los reveladores no acuosos entran al defecto y se disuelven en el penetrante aumentando su volumen y reduciendo su viscosidad.

Dentro de su composición hay dos tipos de solventes:

a) No inflamables: solventes clorados.

b) Inflamables: solventes no clorados.

Ambos son ampliamente usados y su selección depende principalmente del tipo de material que se vaya a inspeccionar.

5.2 Observación de las indicaciones (Inspección).

Deberá comenzar después de transcurrido el tiempo de revelado.

5.2.1 Condiciones de iluminación

a) **Para LP fluorescentes:** el área de inspección deberá ser oscurecida. La intensidad de la luz ultravioleta deberá ser de $800 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ como mínimo sobre la superficie de la pieza, y deberá verificarse regularmente (una vez cada 8 hrs. Según ASME V T-676.4).

Otras exigencias son:

- el operador deberá permanecer al menos 5 min. en el área oscurecida para adaptar su visión antes de comenzar el examen.
- La lámpara de UV deberá ser calentada 5 min. como mínimo antes de su uso.
- La luz blanca no deberá exceder los 20 lux (2ftc)

b) **Para LP coloreados:** las recomendaciones son

- Iluminación 320 a 540 lux (30 a 50 ftc) se recomienda

5.2.2 Secuencia y tiempo de observación

El tiempo de observación comenzará no bien el revelador este completamente seco.

La interpretación final será hecha dentro de los 7 a 30 min. después de que el revelador se ha secado. (ASME V T-676). Si el “sangrado” del LP no altera los resultados de la examinación, se puede extender este período.

5.2.3 Interpretación de las indicaciones, identificación del tipo de defectos y evaluación.

Indicaciones Falsas, relevantes y no relevantes:

Dado que la técnica provee indicaciones indirectas de , no es posible determinar en primera instancia si una indicación es real., falsa o no relevante.

Estas pueden definirse como:

- **Indicación real:** causada un defecto indeseable tal como una fisura.
- **Indicaciones relevantes:** aquellas indicaciones reales que están fuera de las especificaciones permitidas.

- **Indicación no relevante:** aquella que es debida a la retención de LP por características de la pieza que son aceptables aunque excedan las dimensiones permitidas.
- **Indicaciones falsas:** acumulación de penetrante causada no por una discontinuidad sino por gotas caídas sobre la pieza por descuido, marcas de dedos., etc.

Para la interpretación de las indicaciones el inspector se puede valer de instrumentos tales como lupas (3 a 10 x), instrumental para medición, etc.. .

Deberá determinar indicaciones falsas , relevantes y no relevantes de acuerdo al plan de especificaciones. Unas de las más común y segura forma de medición es colocar un dispositivo plano con las dimensiones máximas aceptables sobre las indicaciones. Si la indicación no es cubierta completamente no será aceptable.

Evaluación: cada indicación que no es aceptable deberá ser evaluada.. Esta puede ser :

- Realmente inaceptable.
- Que aparezca por error.
- Falsa
- Ser real pero no relevante
- Ser aceptable después de una más minuciosa inspección.

Los métodos más comunes de evaluación incluyen:

- Limpiar el área de la indicación con cepillo o trapo con solvente.
- Espolvorear el área con revelador seco o revelador no acuoso.
- Redimensionar bajo una iluminación apropiada para el tipo de LP.

La indicación podría parecer más larga debido a un excesivo sangrado. Se deberá limpiar el área, observar la indicación con aumento y buena iluminación. Puede que sea más larga de lo que aparece debido a que los extremos no han retenido suficiente LP por ser demasiado estrechos.

La experiencia del inspector juega también un rol fundamental.

5.3 Registro de indicaciones.

5.3.1 Informes escritos

Los informes escritos deben incluir los datos siguientes:

- a) Nombre del cliente u orden de trabajo.
- b) Normas de referencia y/o numero o código de la especificación del ensayo.
- c) Identificación de la pieza ; planos de referencia ; tipo de material; condiciones de recepción y de la superficie a ensayar.
- d) Productos a utilizar ; marcas e identificación del fabricante.
- e) Temperatura en el momento del ensayo.
- f) Preparación de la pieza, procedimiento de limpieza preliminar y secado.
- g) Procedimiento de aplicación del penetrante, tiempo de penetración.
- h) Procedimiento de remoción . Tiempo de emulsificación y secado (si corresponde).
- i) Procedimiento de revelado
- j) Condiciones y tiempo de observación.
- k) Registro de las indicaciones (fotos, esquemas, etc)

l) Conclusiones y evaluación de los resultados del ensayo.

Los informes deben estar firmados por el operador, el responsable del ensayo y eventualmente puede firmarlo el inspector del cliente.

5.3.2 Formulario de ensayo.

El siguiente es un ejemplo de los datos necesarias en un formulario de ensayo.

LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

REGISTRO DE EXAMEN POR LIQUIDOS PENETRANTES

INFORME Nro.; / MA	SOLICITUD NRO:.....	
SOLICITANTE:		
DIRECCION:	Calle:	Ciudad:

ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA:

COMPONENTE:	GANCHO	IDENTIFICACION	N
MATERIAL:	Acero		
PLANO DE REFERENCIA		
CONDICIONES DE LA SUPERFICIE			

TIPO Y TECNICA DE ENSAYO (IRAM-CNEA Y 500-1 001)

LIMPIEZA INICIAL			
TIPO:	Solvente	MARCA	
MODO DE APLICACION:	Spray	SECADO:	30 min.

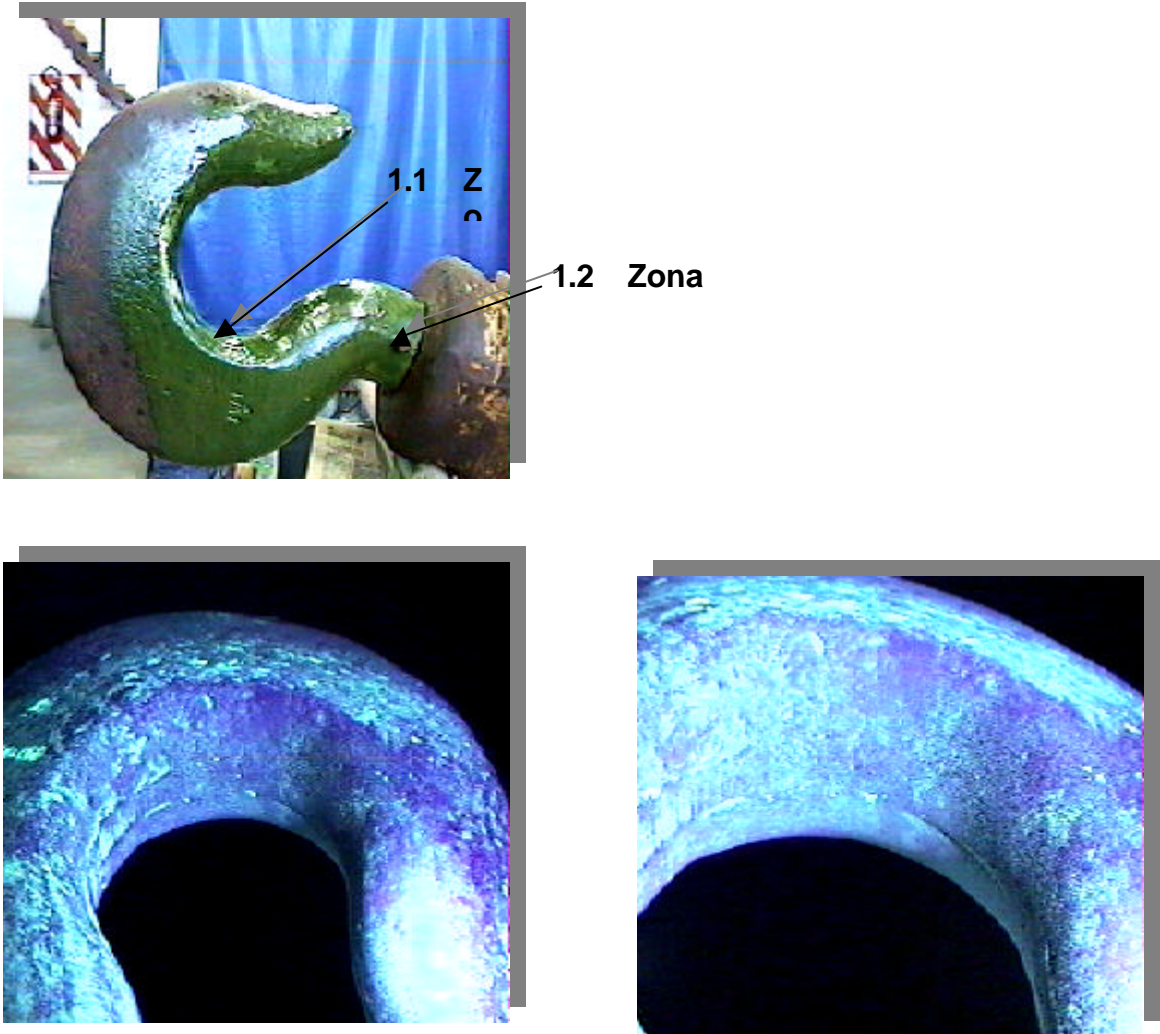
LIQUIDO PENETRANTE					
LAVABLE CON AGUA:					
PROCESO POST-EMULSIFICABLE					
LAVABLE CON SOLVENTE		X			
COLOREADO					
FLUORESCENTE:		X			
APLICACION	Spray	TIEMPO	30 min	MARCA	ZYGLO

LIMPIEZA INTERMEDIA			
PROCEDIMIENTO	Trapos humedecidos con disolvente	MARCA	ZYGLO

REVELADOR	
SECO:	
TIPO ACUOSO	
HUMEDO NO ACUOSO	X

MODO DE APLICACION	Spray
MARCA	
TIEMPO OBSERVACION	DE 0 a 3 hrs.

Imágenes con detalles

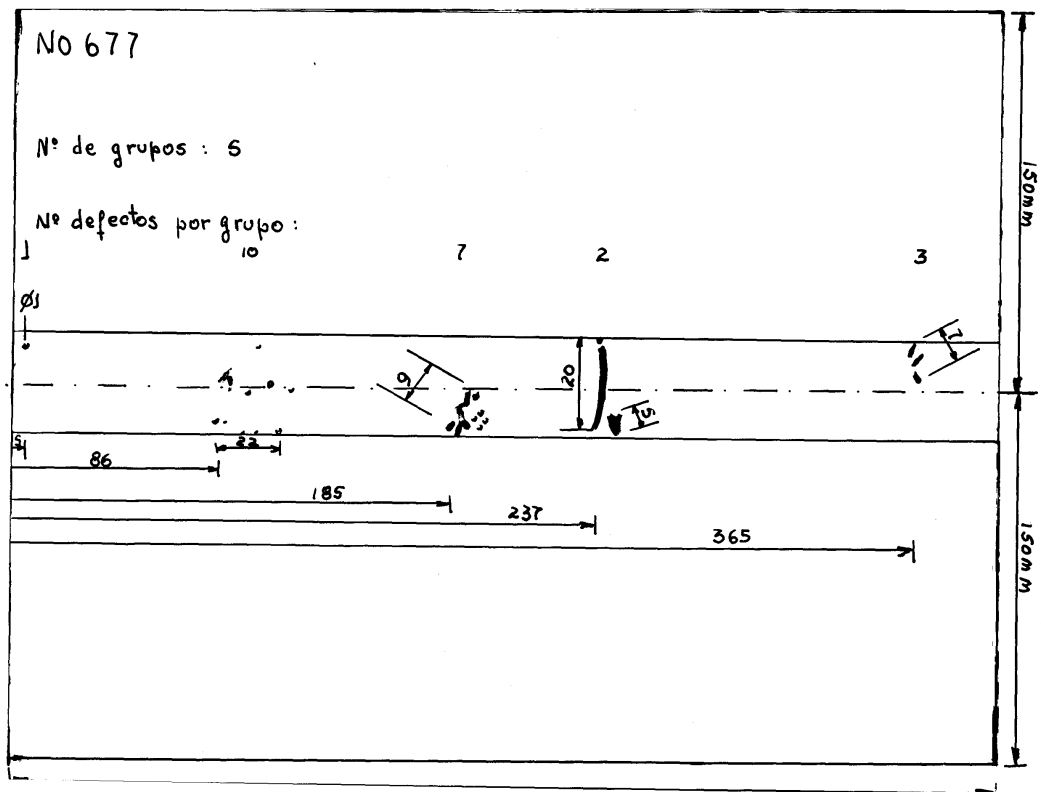


EVALUACION.

----- Se inspeccionó el gancho en su totalidad, con la pasteca puesta. No presentando indicaciones relevantes especialmente en las Zonas A y B (regiones traccionadas).

5.3.3 Esquemas de localización.

- 1. Fecha:
- 2. Lugar
- 3 Inspector
- 4. Pieza de ensayo
- 5 Metodo
- 6. Tiempo de penetracion:
- Revelado:



Este esquema divide a las discontinuidades en grupos (5) y a cada grupo en el número de discontinuidades que contienen (1;10;7;2;3). Cada grupo tiene su cota correspondiente para su ubicación y se muestra la dimensión de cada grupo.

5.3.4 Transferencia de indicaciones.

La transferencia de las indicaciones o su registro puede realizarse de diferentes formas. Las más aceptables son las fotografías, filmaciones y el uso de lacas repelables que fijan la indicación. también los esquemas en papel. Todos estos registros deben mostrar marcas de referencia para su perfecta ubicación, especialmente cuando se debe reparar.

5.4 Técnicas de ensayo para la detección de perdidas por medio de Líquidos Penetrantes.

Existen otros métodos de aplicación de LP como el ensayo de pérdidas. Este consiste en la aplicación del penetrante de un lado de la pieza o en su interior y el revelador del otro para detectar alguna discontinuidad pasante. Esta técnica obviamente es aplicada en espesores delgados de piezas como por ejemplo soldaduras sobre láminas, soldaduras por resistencia, etc, teniendo buena eficacia de detección.

Otra forma es la aplicación del penetrante como en el caso anterior y observar la pieza desde el lado externo con luces adecuadas para LP coloreados o luz UV para fluorescentes.

Para acelerar el proceso es posible en algunos casos aplicar presión.

Otros tipos de LP para pruebas hidrostáticas son comercializados con el nombre de By-Lux y son del tipo coloreados-fluorescentes. Esto tienen características físico-químicas muy diferentes a los tradicionales.

Su acción no se basa en el fenómeno de capilaridad sino en el cambio de color (de neutro a rojo brillante) que ocurre cuando son puestos en contacto con agua o vapor.

Son muy sensibles y basta el aliento del operador para este cambio.

Una vez que el producto es colocado sobre la zona de interés, el componente es sometido a una prueba hidrostática. La humedad o el agua que atraviesa la pared del recipiente hace cambiar de color a estos líquidos obteniéndose así las indicaciones.

Las limitaciones de estos son:

- Sólo se detectan discontinuidades pasantes.
- La superficie de inspección debe estar perfectamente pulida.
- La elevada sensibilidad del producto produce numerosas indicaciones falsas.

Por estos motivos el By Lux Penetrant no se comercializan fácilmente.

6 EQUIPAMIENTO Y MATERIALES

6.1 Tipos de equipamiento

Los equipamientos usados en este método varían desde los simples aerosoles hasta equipamiento semi y automatizado y computarizado.

A) Equipamiento portable: equipamiento especialmente utilizado en campo, y limitado a la inspecciones localizadas de no grandes superficies. Para LP coloreados y fluorescentes consiste en un kit de:

- Limpiador (limpieza inicial)
- Penetrante
- Removedor
- Revelador
- Trapos o toallas de papel (libres pelusas)
- Lámpara de UV portable (sólo para LP fluorescentes).

B) Equipos estacionarios (Fig. 16 y 17). Este equipamiento se utiliza en instalaciones fijas y consiste en una serie de subunidades modulares (tanques, plataformas de drenaje, secadoras, etc.) que depende del tipo de técnica utilizada.

A continuación se muestran esquemas de estas unidades:

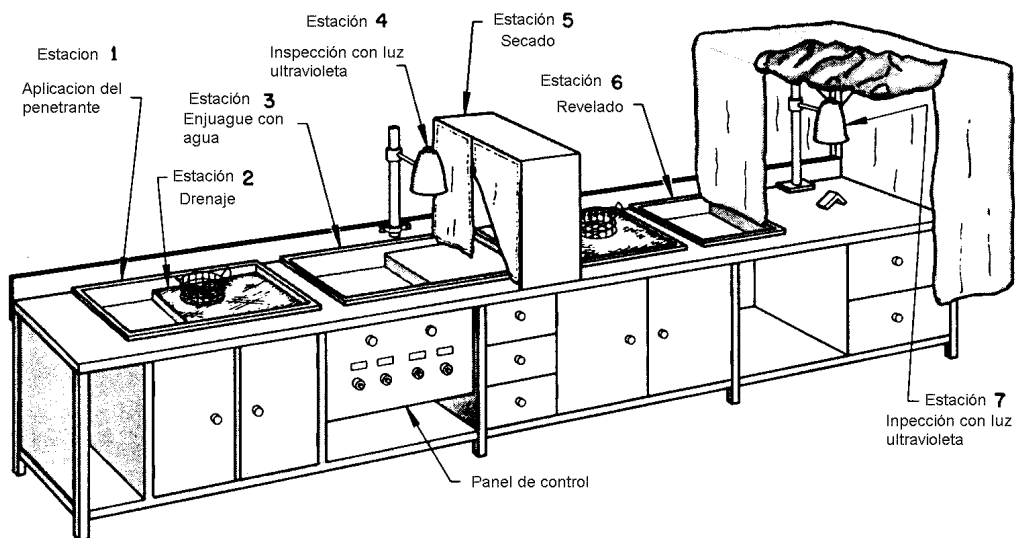


Fig. 16: Estación típica para inspeccionar piezas por el método de penetrantes fluorescentes lavables con agua.

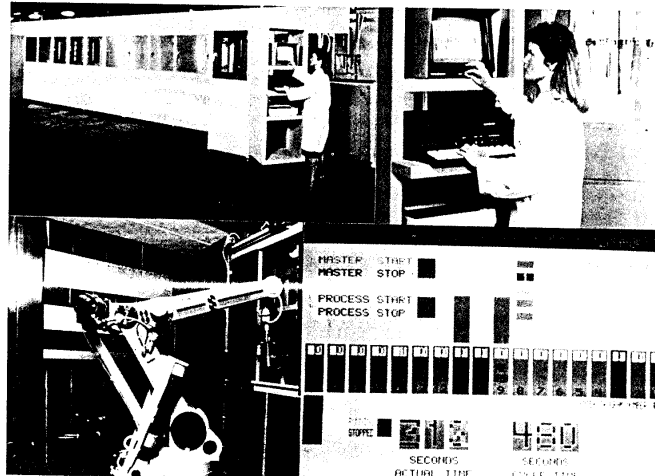


Fig.18: Equipamiento para inspección automatizada. Arriba el operador chequeando a través de la pantalla PLC

6.2 Fuentes y medidores de luz UV

En las técnicas A1, A2 y A3, la visualización de las discontinuidades debe realizarse bajo una iluminación de luz UV debido a que los productos fluorescentes de los líquidos penetrantes se visualizan con la máxima eficacia cuando son irradiados con una longitud de onda de 365 nm. (ver Fig. 19).

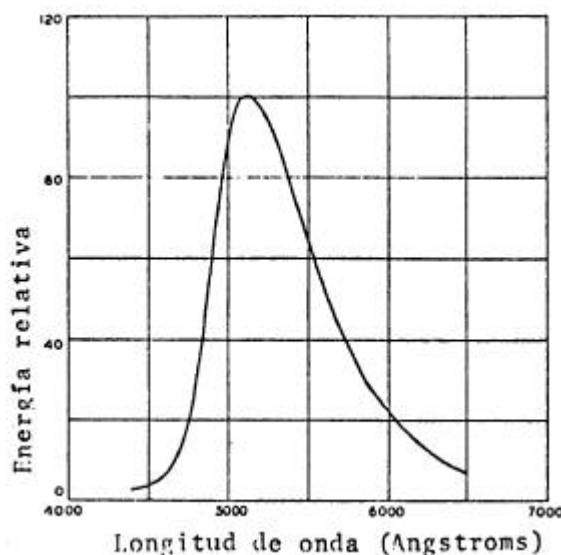


Fig. 19 :Espectro de emisión de un pigmento fluorescente verde-amarillento

Las fuentes de este tipo de luz que se pueden adquirir comercialmente son variadas. Se pueden encontrar en forma de lámpara de vapor de mercurio, lámparas incandescentes, tubos entre las más comunes.

El equipo de emisión de luz negra, comúnmente llamada de luz de Wood, está constituido fundamentalmente de una lámpara a vapor de mercurio con un filtro de vidrio al plomo. Este tiene la función de dejar pasar sólo la radiación luminosa de una longitud de onda

comprendida entre 320 a 400 nm. Esta radiación es la que mejor activa el fenómeno de fluorescencia de los productos utilizados en el control.

En la fig. 20 puede observarse la emisión de una lámpara de vapor de mercurio.

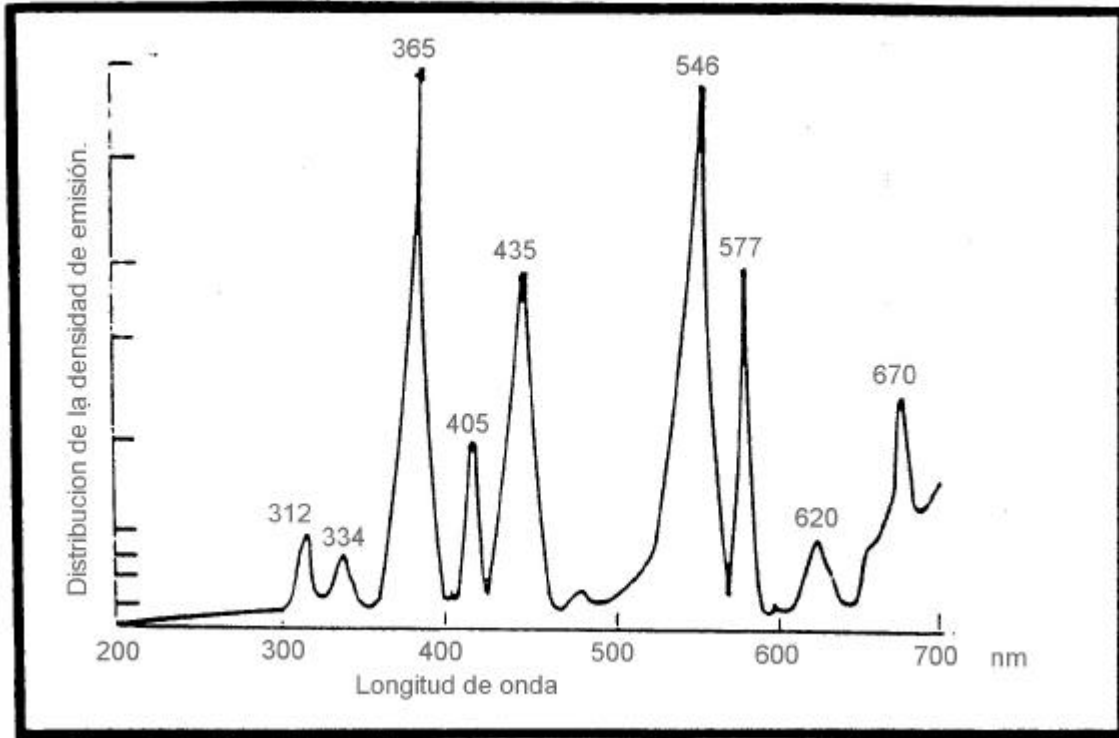


Fig: 20: Espectro de una lámpara de arco de mercurio de alta presión.

Estas lámparas no solo emiten radiación correspondiente al UV sino también luz visible. Para eliminarla luz visible y obtener longitudes de ondas alrededor de 365 nm (donde la fluorescencia de los productos es máxima) se utilizan filtros. Estos eliminan longitudes de onda menores a 320 nm que resultan peligrosas para el operador, y las superiores a 400nm que no son eficaces para activar la fluorescencia y mejorar la visibilidad. La fig 21 muestra estos efectos.

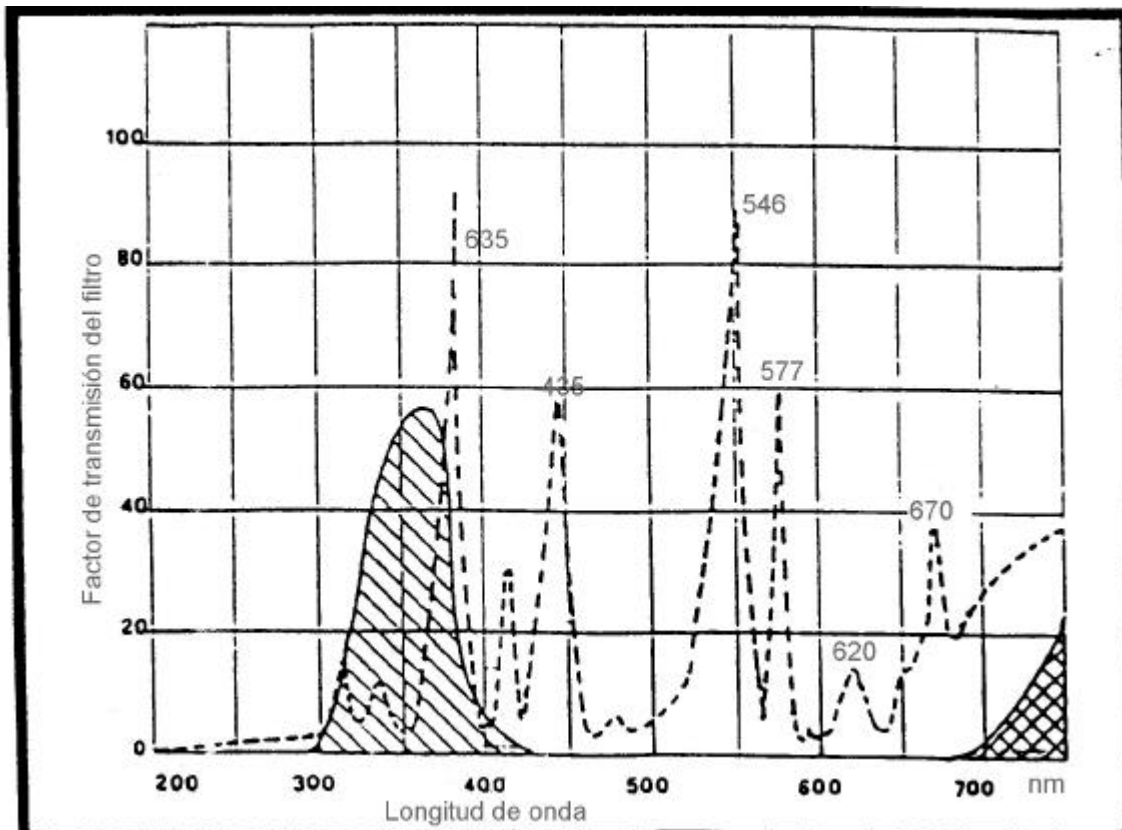


Fig.21: efecto del filtrado.

Lámpara de vapor de mercurio:

Son las que proveen mejor calidad de iluminación.
 Su funcionamiento es el siguiente(Fig. 22)

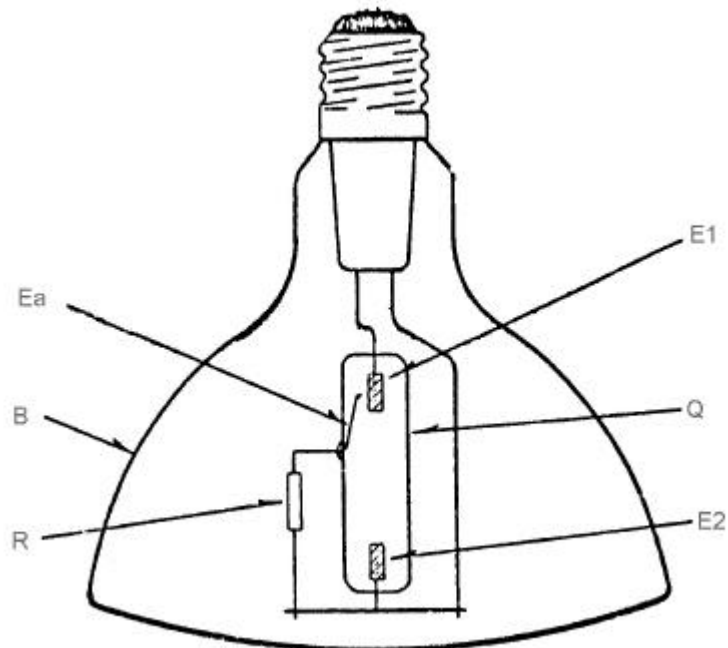


Fig. 22: Lámpara de vapor de mercurio.

Posee dos electrodos principales E1 y E2 dentro de una ampolla de cuarzo (Q) con mercurio. El arranque se realiza mediante un electrodo auxiliar (Ea) colocado a una pequeña distancia de uno de los electrodos (E1). Se produce un arco inicial cuya corriente se limita con la resistencia de arranque (R) provocandose de este modo la ionización necesaria para permitir que se establezca el arco entre los dos electrodos principales.

La ampolla de cuarzo, que permite el paso del espectro completo, se encuentra dentro de un bulbo de vidrio que, según el diseño de la lámpara puede actuar como reflector y focalizador. A la salida esta el filtro de vidrio.

Las lámparas de Wood son generalmente comercializadas con un transformador adecuado debido a que es necesario una tensión de alimentación definida que varía según el tipo de lámpara, actuando también como estabilizador para reducir los efectos de las fluctuaciones de la tensión de la red. Por ejemplo para una lámpara de 120 Volts dejara de operar a 90 Volts y con 130 Vols de quemara rapidamente.

El encendido y estabilización de la radiación requiere por lo menos 5 minutos.

Los adelantos tecnológicos tienden a que se produzcan lámparas con menores recalentamientos (sistemas de ventilación incorporados), que no las afecten los campos magnéticos, etc.

Otra característica de la lámpara es que pueden emitir radiación focalizada (spot lamp) o una radiación difusa (flood lamp).

La primera generalmente se utiliza en ensayos de campo puesto que se necesita asegurarse una intensidad luminosa adecuada sobre la pieza. (Fig.23)



Fig.23. Lampara UV focalizada

La segunda se emplea comúnmente en cuartos de inspección donde resulta más útil una iluminación más difusa. (Fig.24)

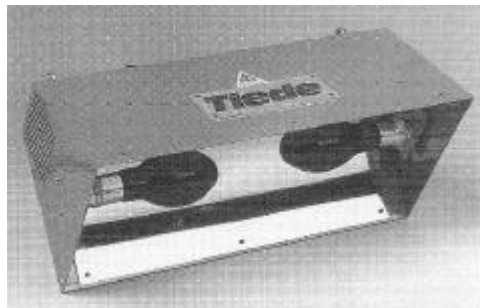


Fig.24: Lamparas tipo bulbo

Las primeras especificaciones requerían de 970 lux (90 fotocandelas) sobre la pieza en inspección. La medición se llevaba a cabo con un medidor de luz tipo fotográfico que responde tanto a la luz visible como a la ultravioleta de una lámpara de arco de mercurio (Fig. 25), pero debido a que la intensidad de las lámparas disminuyen con el tiempo y horas de uso de la misma muchas veces no se alcanza esa intensidad aunque el medidor indique lo contrario.

Por esto se han desarrollado medidores específicos para luz UV que miden sólo en el rango de 300 a 400 nm siendo muy sensibles en el pico en el que emiten las lámparas de arco de mercurio.

Estos medidores indican la intensidad en microwatt por centímetro cuadrado ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$).

En el campo de la aviación la intensidad mínima requerida es de $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ y existen lámparas de alta intensidad que proveen más de $5000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ a 380mm de distancia.

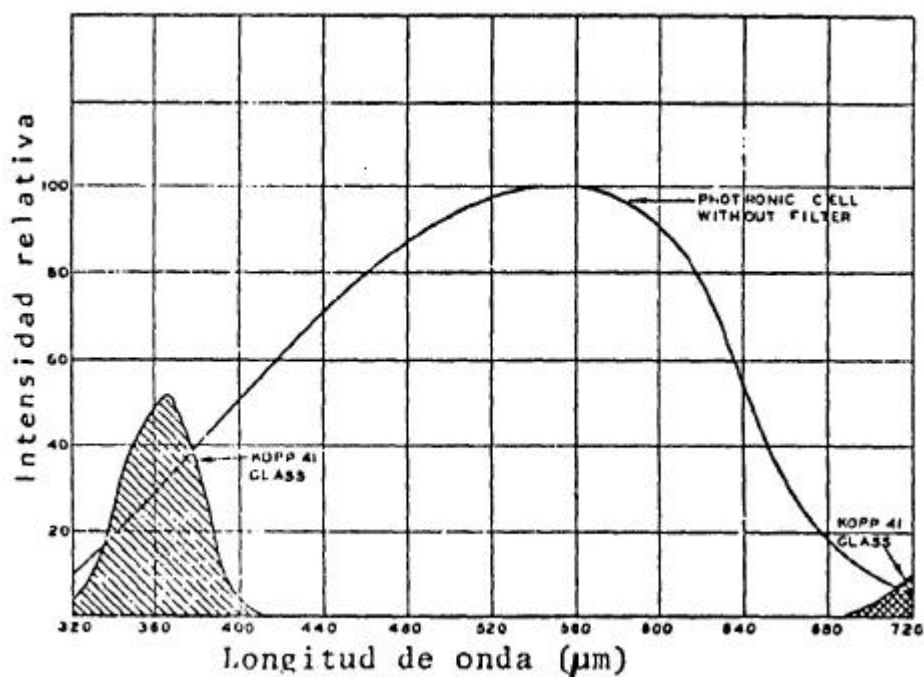


Fig. 25 Respuesta de un fotómetro de luz visible (Lux) superpuesta a la curva de transmisión con filtro para luz negra..

Debe tenerse cuidado de no exponer la lámpara a campos magnéticos, pues los mismos pueden interrumpir el arco. En ese caso la lámpara deberá apagarse, dejarse enfriar y encender nuevamente (si se trata de encenderla rápidamente esta no responderá).. Se recuerda que cada arranque de la lámpara afecta su vida útil reduciéndola en aproximadamente 3 hrs. por lo que se recomienda dejarla encendida a la espera de cada inspección antes de encenderla y apagarla repetidamente.

6.2.1 Recinto de observación de líquidos penetrantes fluorescentes.

Los recintos de inspección en general son lugares en los que se maneja sobre una mesa de trabajo la pieza con una iluminación adecuada. En la inspección de LP fluorescentes debe oscurecerse el recinto mediante una cortina o trampas de luz para eliminar la mayoría de la luz visible. Las lámparas de luz UV deberían poder moverse manualmente para un mejor enfoque y dado que producen mucho calor el recinto debería estar bien ventilado con circulación de aire.

6.3 Piezas de trabajo normalizadas para la evaluación de procesos y calificación de procedimientos.

Junto a especificaciones, se utilizan muchos métodos y Normas para verificar la efectividad de un LP y otros componentes de la técnica así como calificar procedimientos. Cuando se requiere evaluar la sensibilidad de los componentes de LP o calificar un procedimiento es común la utilización de **Bloques patrones**.

En el mercado están disponibles paneles con fisuración fina, media y basta de distintos materiales.

De acuerdo al tipo de materiales a ensayar y el origen de sus posibles discontinuidades (térmico, fatiga, etc.) se deberá elegir los bloques que mejor lo representen.

Algunos de los más utilizados son:

a) **Bloques de aluminio** (Fig. 26)(Norma MIL -I-25135 C); ASME Article 6 T-653.2

Material: Aluminio ASTM B 209, Tipo 2024 o SB-211, Tipo 2024

Dimensiones: 80mm x 50mm ; espesor: 10mm; Ranura: ancho:3 mm; prof.: 2mm

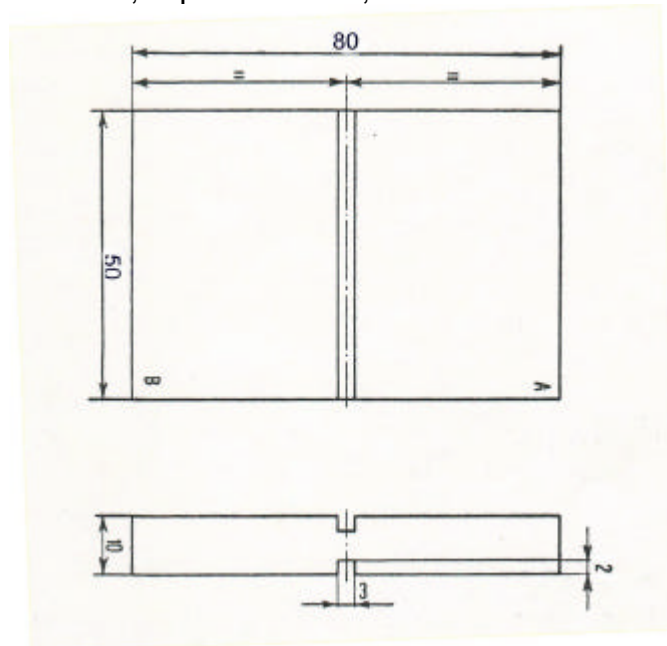


Fig. 26

Se marca en el centro del bloque (sin ranurar) con lápiz térmico para 510°C un círculo de 24 mm en ambas caras. Se calienta lo más puntualmente posible con un mechero Bunsen, Merker o similar hasta alcanzar una temperatura entre 510 a 525°C. Inmediatamente se la sumerge en agua fría. Se obtienen de este modo una red de fisuras simétricas. A continuación se seca la pieza a 150°C, y se le mecaniza la ranura.

Una de las mitades se la identificará como "A" y la otra como "B".

La parte "B" será la mitad sobre la cual se realizan los ensayos a temperaturas inferiores a 16°C o por encima de 52°C según sea el caso. A continuación se ensaya la parte "A" entre 16 y 52°C. Se comparan los resultados entre ambas partes para la calificación del examen.

b) Bloques de acero cromado duro: Estos tienen una base de acero inoxidable austenítico (los más durables) o un acero dúctil con un depósito de cromo duro entre 0,1 a 0,5 mm según las fisuras deseadas. La fisuración se puede realizar por medio de flexión en cuyo caso se obtienen fisuras transversales con mayor concentración en el centro

(mayor tensión) o por medio de improntas (sobre la cara posterior al cromado) con bolillas de dureza Brinell (10 mm). Generalmente se realizan tres improntas por bloque (500; 750; y 1000 Kg) obteniéndose así fisuraciones radiales en cada una de ellas.

La Norma IRAM-CNEA Y 500-1 004 da la construcción de probetas cilíndricas de este tipo.

La figura 27 muestra dos penetrantes lavables con agua de diferente calidad aplicados sobre paneles cromados.

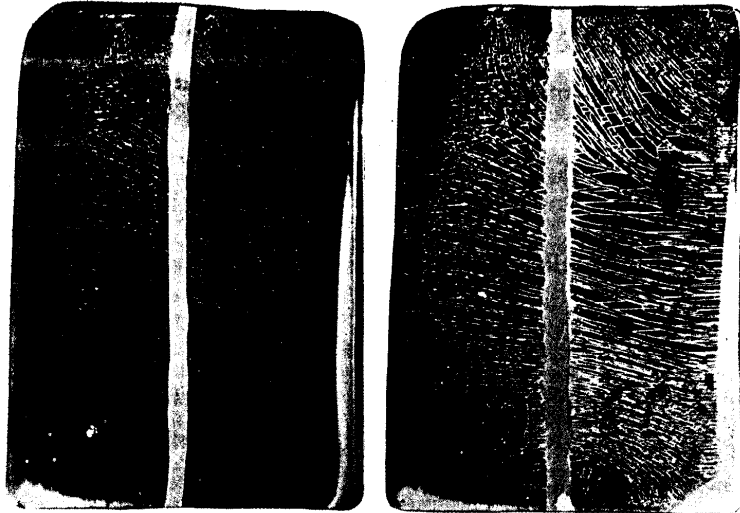


Fig.27: Comparación de indicaciones en un panel de cromo fisurado. (Izquierda) LP lavables con agua de baja sensibilidad; (Derecha) LP de alta sensibilidad

c) Bloques cerámicos Shannon: son discos cerámicos con porosidades y microfisuras para usar con LP coloreados o fluorescentes sin el proceso de revelado.

Otros tipos de paneles también se han desarrollado para aplicaciones específicas.

d) **Bloques de Ni-Cr** (Fig. 28): comercialmente se pueden conseguir como un kit de cuatro probetas con un recubrimiento de níquel – cromo con espesores de 10, 20, 30 y 50 μm .

La norma MIL 8963 da las indicaciones de preparación de estas probetas. Sobre una base de bronce se deposita Ni y sobre este el cromado (el cromado no es posible directamente sobre el bronce). . Las probetas generalmente se someten a flexión por lo que variando los espesores de ambos recubrimientos se obtienen fisuras de diferentes tamaños.

En general tienen buena durabilidad pudiendo usárselas repetidamente siempre que se las reacondicione en forma adecuada.

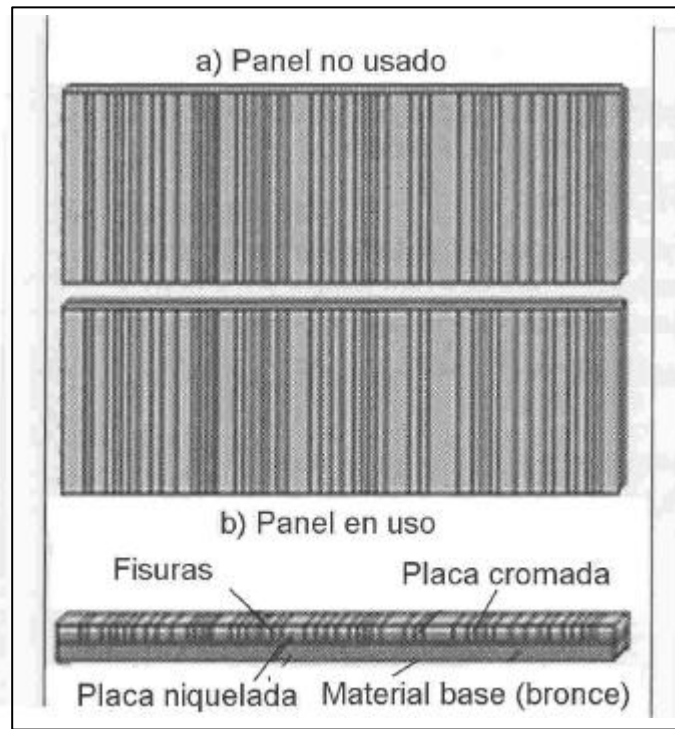


Fig. 28 Paneles de Cr-Ni

7 NORMAS – CODIGOS – PROCEDIMIENTOS Y SEGURIDAD DE LIQUIDOS PENETRANTES

7.1 Normas y Códigos

ASTM	
Designación:	Titulo
E 165-94	Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination.
E 270-84	Standard Definitions of Terms Relating to LIQUID PENETRANT INSPECTION.
E 1208 92	Standard Test Method for Fluorescent Liquid Penetrant Using the Lipophilic Post-Emulsification Process.
E 1209-92	Standard Test Method Fluorescent Liquid Penetrant Examination Using the Water-Washable Process.
E 1210-92	Standard Test Method for Fluorescent Liquid Penetrant Examination Using the Hydrophilic Post-Emulsification Process.
E 1219-92	Standard Test Method for Fluorescent Liquid Penetrant Examination Using The Solvent-Removable Process.
E 1220-92	Standard Test Method for Visible Liquid Penetrant Examination Using the Solvent-Removable Process.
E 1135-86(1992)	Standard Test Method for Comparing the Brightness of Fluorescent Penetrants.
D 2512	Compatibility of Materials with Liquid Oxygen (Impact-Sensitivity Threshold Technique)
E 1417-94	Standard practice for Liquid Penetrant Examination.
E 433-71(1993)	Standard Reference Photographs for Liquid Penetrant Inspection.
E 1316-94	Standard Terminology for Nondestructive Examinations.
E 1418-92	Standard Test Method for Visible Penetrant Examination Using the Water-Washable Process.

CODIGO ASME (1992) SECTION V	
ARTICLE 6	Liquid Penetrant Examination.
ARTICLE 6	Mandatory Appendices.
ARTICLE 24 SD-129	Standard Test Method For Sulfur In Petroleum Products (General Bomb Method).
ARTICLE 24 SD-808	Standard Method Of Test For Chlorine In New and Used Petroleum Products (Bomb Method).
ARTICLE 24 SE-165	Standard Recommended Practice For Liquid Penetrant Inspection Method .
SE-270	Standard Definitions of Terms Relating to Liquid penetrant Inspection.

U.S.military and government specifications	
MIL-STD 6866	Military Standard Inspection, Liquid Penetrant
MIL-STD-410	Nondestructive Testing Personnel Qualifications & Certifications.
MIL-1-25135	Inspection Materials, Penetrant

MIL-1-25105	Inspection Unit, Florescent penetrant, Type MA-2
MIL-1-25106	Inspection Unit, Florescent penetrant, Type MA-3
MIL-STD-271	Nondestructive Testing requirements for Metals

IRAM	
IRAM-CNEA Y500–1001 1996	Ensayos no destructivos con Líquidos Penetrantes. Principios generales.
IRAM-CNEA Y500–1004 1983	Experimental LP. Calificación y Evaluación de los productos para el ensayo.
IRAM 760 (1994)	Ensayo No destructivo. Acero fundido. Examen por LP.
IRAM 9415 (1992)	Implantes quirúrgicos metálicos. Inspección por LP

JIS	
JIS Z 2343	Métodos para ensayo de Líquidos Penetrantes y Clasificación de indicaciones.

DIN	
DIN 54 152 Parte 1	Inspección con penetrantes. Procedimiento
DIN 54 152 Parte 2	Inspección con penetrantes. Verificación de materiales penetrantes de inspección.
DIN 54 152 Parte 3	Inspección con penetrantes. Bloques de referencia para la determinación de la sensibilidad de los sistemas penetrantes.

7.2 Problemas de seguridad industrial en el uso de productos químicos e inflamables.

Los productos empleados en el ensayo de LP no son tóxicos para la mayoría de los individuos. Algunas personas, particularmente sensibles, pueden presentar irritación en la piel u ojos, pudiendo determinarse tal hipersensibilidad con estudios anteriores.

Debemos considerar a los LP como una sustancia química más, tomando los recaudos apropiados.

La elección de métodos de limpieza puede ser regulado por los organismos de seguridad, salud y protección ambiental. Las cantidades de los materiales que serán usados, toxicidad, filtrados, neutralización y técnicas de desechos, como la protección de los operadores son todos factores cruciales.

7.3 Evaluación de los materiales usados en el ensayo

Dada la amplia utilización del método de LP en diferentes materiales metálicos y no metálicos, este debe ser confiable en cuanto a sensibilidad se refiere. Esta confiabilidad del método no solo reside en la correcta ejecución de la técnica sino en la utilización de productos de ensayo de buena calidad y que cumplan con las normas y códigos vigentes.

Sin dudas el control de las propiedades fisico-químicas de los productos no es una práctica que generalmente se efectúe, confiando el cliente en marcas, folletos y proveedores.

Dentro de las normativas argentinas esta la Norma IRAM- CNEA Experimental Y 500- 1 004 (1983) Ensayos No Destructivos Líquidos Penetrantes. Calificación y evaluación de los productos para el ensayo.

Los objetivos de esta Normas son: a) dar los métodos de ensayo para la evaluación de los productos (penetrantes, emulsionantes, removedor, revelador) y b) establecer los criterios para la calificación del conjunto de los productos utilizados en cada técnica. Es importante notar que la calificación se dará si se ensayan el conjunto de los productor de una técnica.

La norma establece cuales deben ser las características generales de composición de los penetrantes, emulsionantes, removedores y revelador, según cada técnica, como así también las instrucciones que deben figurar en los envases y técnicas de compra.

Se da a continuación un resumen de la Norma IRAM- CNEA Experimental Y 500- 1 004 (1983) para mostrar cuáles son las evaluaciones que se deben realizar en el método de LP.:

i. AGENTES PENETRANTES

*** Punto de inflamación:**

El ensayo determina que el punto de inflamación será determinado según la norma IRAM-IAP A 65-39 y no debera ser menor a a 50 ° C

Las discrepancias serán menores a $\pm 0,1 \times t$ (t: temperatura de inflamación, °C)

Viscosidad cinemática:

Se determina según la norma IRAM 6 597 (utilizando un viscosímetro Cannon-Fenske para líquidos opacos), y a una temperatura de 40 ° C, no será menor a 3 cS

Las discrepancias entre diferentes partidas no serán mayores al 10 %

*** Azufre:**

El procedimiento utilizado para su determinación lo da la norma IRAM-IAP A 65-16 y deberá ser menor al 1% en el residuo seco.

*** Halógenos:**

Se determinará según lo que indica la norma IRAM 6 568 debiendo ser menor al 1 % en el residuo seco.

Para piezas de acero inoxidable austenítico o con altos contenidos de cromo y níquel este valor se reduce a 0,5% en el residuo seco.

*** Absorción de radiación ultravioleta:**

Se aplica a LÍQUIDOS PENETRANTES fluorescentes.

Se obtiene un espectrograma de absorción (absorbancia) por unidad de espesor ($b= 1\text{cm}$) como función de la longitud de onda entre 300 a 400 nm.

La desviación admisible en la absorbancia máxima, de cada banda de absorción para muestras de una misma partida, será de $\pm 2 \%$.

Las discrepancias entre diferentes partidas no será mayor al 10 %.

*** Absorción de luz visible:**

Aplicado a LÍQUIDOS PENETRANTES coloreados. Es igual que para radiación U.V. pero entre un rango entre 380 a 700 nm. Aquí también, la desviación admisible es de $\pm 2 \%$ y la discrepancia entre distintas partidas no mayor al 10 %.

*** Expansión de la gota:**

Este ensayo trata de evaluar la extensión del LÍQUIDOS PENETRANTES

Se realiza sobre un panel de acero inoxidable IRAM 30 304 de la Norma IRAM 690 o sobre otra superficie según convenio previo. La Norma establece la preparación de dicho panel.

Se aplica tanto para LÍQUIDOS PENETRANTES coloreados como fluorescentes y consiste en colocar con pipeta $0,05 \text{ cm}^3$ de LP cuyo diámetro, luego de 10 minutos, deberá ser cuatro veces el diámetro inicial, sin observarse separación de fases o secado dentro de los 30 minutos. Se grafican los valores de diámetros en función del tiempo:

*** Lavabilidad para los técnicas A1 y B1:**

El objetivo de este ensayo es el de determinar como se comporta el LÍQUIDOS PENETRANTES en la etapa de remoción.

Consiste en aplicar 2 gotas sobre el mismo panel utilizado en la expansión de la gota, y dejarlo escurrir 5 minutos en el dispositivo de la figura 29:

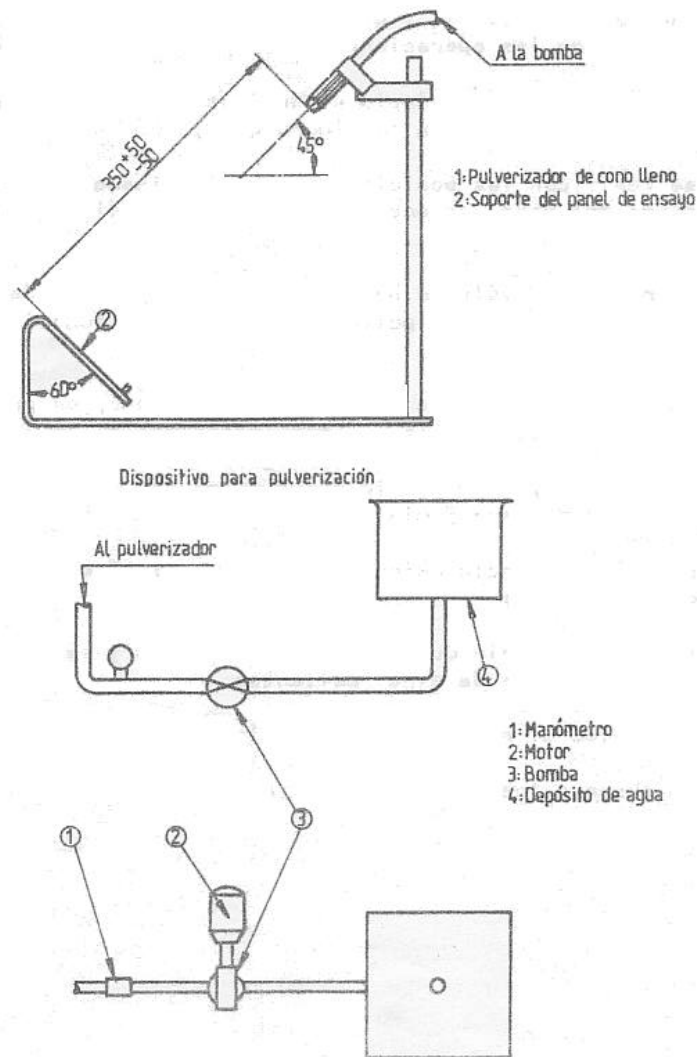


Fig.29:Esquema del equipamiento para la determinación de la lavabilidad

Se lava durante un minuto y , aplicando el revelador correspondiente, se verifica si han quedado indicaciones del LÍQUIDOS PENETRANTES

*** Tolerancia a la contaminación con agua:**

Este ensayo se aplica a LÍQUIDOS PENETRANTES correspondientes a las técnica A1 y B1 y a los emulsionantes.

El procedimiento consiste en colocar 40 cm³ del producto a ensayar en una probeta de 100 cm³ . Se le va agregando 0,5 cm³ de agua, invirtiendo la probeta varias veces entre cada adición y observando la posible formación de geles, separación de fases o precipitaciones.

La tolerancia se calcula con la fórmula:

$$Tca = \frac{A}{B} \times 100$$

Donde A: cantidad de agua agregada hasta la observación de algún efecto indicado

B: Vol. De la muestra (cm³)

Tca: tolerancia a la contaminación con agua.

Para su aprobación deberán tolerar hasta 5 % en volumen sin presentar los efectos descriptos anteriormente.

* Estabilidad con la temperatura:

El ensayo se aplica tanto a los LÍQUIDOS PENETRANTES coloreados con fluorescente y a los emulsionantes consistiendo en ciclos térmicos entre -15°C y 60°C (cuatro ciclos). Luego se evalúa la viscosidad cinemática, fluorescencia o color.

Para su aceptación no se deben presentar:

- a) Modificaciones en su coloración
- b) Precipitaciones o separación de constituyentes
- c) Cambios en los valores de la viscosidad cinemática y en las propiedades de absorción de radiación U.V. o visible, mayores a $\pm 10\%$.

* Conservación en recipientes:

Se ensayan L. P. Coloreados, fluorescentes y emulsificadores usados en inmersión.

Consiste en tomar un volumen del producto (200 cm^3) y dejarlo reposar durante 60 días. Luego se analizan posibles separaciones de constituyentes, alteraciones físicas y modificaciones de la viscosidad.

* Estabilidad a la exposición de luz visible y/o U.V.

Ensayo para LÍQUIDOS PENETRANTES coloreados y fluorescentes.

Se expone una muestra a iluminación visible o U.V. según corresponda en las condiciones que determina la norma

No se deben observar precipitados o enturbamientos, ni modificaciones en las propiedades de absorción de radiación U.V. o visible mayores a $\pm 10\%$

* Corrosión

Se aplica a todos los productos y el ensayo consiste en sumergir parcialmente probetas de distintos materiales (acero aleado, inoxidable, aluminio, aleación de magnesio) durante 1 hora. Se limpian y verifican con lupa (20x) puntos de ataque.

ii. EMULSIONANTES

Los ensayos especificados en la Norma IRAM- CNEA Y 500-1 004 son los siguientes:

Tiempo de difusión

Se aplica a las técnicas A2 y B2

El ensayo se realiza sobre una probeta de acero inoxidable IRAM 30 316 de la Norma IRAM 690, arenada y con las dimensiones que se especifican.

El procedimiento para efectuar el ensayo indica en primera instancia utilizar el tiempo de emulsificación dado por el fabricante.

Si no se observan indicaciones se realiza nuevamente el ensayo con un tiempo 20 % menor. Si hay indicaciones el tiempo dado por el fabricante es el tiempo de difusión normal.

Si con el tiempo del fabricante se observan indicaciones se repiten las operaciones con incrementos del 20 % en el tiempo hasta no observarse indicaciones. Este último se considerará como el tiempo de difusión normal de la técnica.

Viscosidad cinemática:

Deberá tener el valor declarado por el fabricante.

Tolerancia a la contaminación con agua:

El mismo procedimiento que para los penetrantes. El emulsionante deberá tolerar hasta 5 % en volumen de agua sin que se presenten geles, separación de fases o precipitados.

Tolerancia a la contaminación con líquidos penetrantes.

Deberán tolerar como mínimo un 20 % de líquido penetrante, sin variar sus propiedades.

El procedimiento de ensayo es básicamente el mismo que para determinar el tiempo de difusión, agregando (contaminando) volúmenes de penetrantes al emulsificador y repitiendo las operaciones hasta que aparezcan indicaciones de penetrante sobre el panel de ensayo.

Estabilidad a la temperatura.

El ensayo es el mismo que para penetrantes, no debiéndose observar precipitaciones o separación de constituyentes o modificación de la viscosidad cinemática mayor que ± 10 %.

Conservación en recipientes.

Procedimiento igual al realizado para penetrantes.

Corrosión.

Idem al de penetrantes.

iii. REMOVEDOR

* Punto de inflamación:

Esta Norma indica que la determinación se hará según la Norma IRAM- IAP A 65-39 y preferentemente será mayor a 50 ° C. Si fuese menor se deberá indicarlo en el recipiente. Las diferencia de valores entre diferentes partidas no deberán exceder el ± 10 % del pto. De inflamación determinado.

* Azufre

Determinado según la norma IRAM- IAP A 65-16 será menor al 1 % en el residuo seco.

* Halógeno

Determinado según la Norma IRAM 6 568 será menor al 1 % en el residuo seco.

En el caso de aceros inoxidables austeníticos y aleación con alto contenido de cromo y níquel el contenido de halógeno deberá ser menor a 0,5 % en el residuo seco.

* **Corrosión**

Este ensayo es el mismo que el descrito para los productos anteriores.

iv. REVELADOR

* Precipitación del revelador en suspensión en líquido acuoso.

El procedimiento de este ensayo indica preparar el revelador según indicaciones del fabricante, dejar reposar 4 hs., se agita; se vierte 25 cm³ en una probeta y luego de un reposo de 15 minutos se mide visualmente lo precipitado

Este valor será como mínimo de 50 cm³ / 100 cm³.

* Precipitación del revelador en suspensión en líquido no acuoso.

El procedimiento, semejante al anterior, deberá dar como resultado de precipitación como mínimo un valor de $92 \text{ cm}^3 / 100 \text{ cm}^3$.

* **Revelador en polvo seco- Medición del volumen**

El procedimiento consiste en pesar $50 \text{ gr.} \pm 0,5 \text{ gr.}$ De polvo, colocarlo en una probeta graduada de 500 cm^3 ; agitar con una varilla y leer el volumen. Se repiten los pasos de agitación y lectura hasta obtener valores dentro de los $\pm 5 \text{ cm}^3$. Los resultados se darán en $\text{cm}^3 / \text{gr.}$ El valor obtenido deberá coincidir con los declarados por el fabricante.

* **Corrosión:**

Ensayo igual que para otros productos.

Otros puntos que especifica la Norma IRAM- CENA Y 500- 1 004 son:

* **Comportamiento del conjunto de productos:**

Es de carácter orientativo y no se aplica en la aceptación o rechazo.

Aquí se especifica la preparación de probetas de acero inoxidable cromadas, fisuradas por indentación, sobre las que se ensayan el conjunto de los productos. El umbral mínimo de detección será para L.P: fluorescentes del 90 % y para coloreados del 75 % del mapa de fisuras correspondientes al certificado de cada probeta.

* **Marcado, Rotulado y Embalaje**

Da las indicaciones de los rotulos escritos que deben poseer los recipientes.

* **Inspección y Recepción**

Da las especificaciones para que el comprador tenga acceso a la inspección de las instalaciones del fabricante; formación de Lotes, Inspección Visual sobre los lotes y Muestreo de los productos.

7.4 Procedimientos

¿Qué es un procedimiento?

Un procedimiento es una serie de etapas siguiendo un orden regular previamente establecido de la inspección no destructiva, destinados para reunir los requerimientos de un dado código o especificación.

Códigos- Procedimientos- Técnicas

A. Código o especificación:

Es un documento escrito en el cual provee un lineamiento general y amplio para los respectivos métodos no destructivos.

ASTM	ASME	Sección V
AWS	MIL- STD- 271	
	MIL - J - 6368	
	MIL – J - 6866.	

B. Procedimiento Escrito:

Es un documento escrito en la cual prescribe una completa y exacta metodología de ensayos para un tipo específico de artículo o componente (soldadura, fundición, Forjado, laminado, etc).

Se debe señalar:

1. Las etapas precisas del proceso del método de END.
2. Factores específicos y esenciales para asegurar la inspección de un elemento en particular.
3. Criterios de aceptación y rechazo.

C. Técnicas:

Es todo aspecto o porción de un procedimiento en la cual trata en detalle las frecuencias de etapa por etapa del proceso del método de END aplicado a un elemento o pieza en cuestión.

Procedimientos**A) UN BUEN PROCEDIMIENTO DEBE**

1. Ser claramente escrito en la forma ordenada y apropiada.
2. Incluir todo lo necesario respecto a la información de los ensayos.
3. Utilizar la terminología que pueda adaptarse fácilmente cuando se desconoce algunas partes concernientes a su utilización.

B) UN BUEN PROCEDIMIENTO NO DEBE

1. Ser ambiguo o indefinido
2. Haber confusión en el procedimiento a llevar a dudas o especulación sobre el entendimiento del propósito o aproximarse a un método de ensayo.
3. Incluir alguna referencia de especificaciones de fabricantes, los nombres de sus productos o niveles de códigos.

C) ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO ESCRITO

1. Alcance.
2. Información general.
3. Referencias.
4. Personal
5. Equipamiento.
6. Procesos (Inspección).
7. Informes (Documentación, hoja de ruta, etc.).
8. Normas de aceptación.

1. **Alcances- Objetivos- Propósitos**

- ❖ Tipo de END utilizado (LP, lavable, US, RX, etc)
- ❖ Tipo de los componentes a ensayar (Fundición, Forja, Soldadura, etc)
- ❖ Característica de los materiales en general (Aceros, Al, etc).
- ❖ Dimensiones de los componentes (Límites) Ej.: 20 a 50 cm.
- ❖ Códigos o especificaciones que el procedimiento debe reunir (ASTM, ASME, DIN, AWS, etc).

2. **Información general (no son datos técnicos)**

- ❖ Definir el método de END (opcional)
- ❖ Establecer las responsabilidades del cliente para suministrar:
 - A- Identificación de los componentes o sistemas.
 - Configuración, tamaño, sitio, proyecto / contrato.
 - B-Extensión del ensayo que deberá llevarse a cabo.
 - Área de interés del componente a ensayar.
 - Ensayo completo o muestreo.

C Normas de Aceptación.

3- **Referencias:**

Listar todos los documentos a utilizar como una referencia para preparar el procedimiento.

- A- Especificaciones y Códigos.
- B- Procedimiento de Calificación y Certificación del Personal.
- C- Definición de los términos relativos al procedimiento.

4- **Personal**

Calificación de acuerdo con el procedimiento escrito por la Entidad Certificadora.
Condición del personal que debe interpretar y evaluar los resultados (nivel II o III).

5- **Equipamiento:**

Enunciar todo el equipamiento necesario, materiales y normas de referencia.

No se debe especificar nombres de fabricantes o códigos de productos (Equipos de RX, películas, indicadores, etc.)

6- **Procesos (Técnica- especificación).**

Se detalla etapa por etapa comenzando la secuencia de END desde la calibración hasta el Ensayo propiamente dicho. Las reparaciones también se detallan cuando se reinspeccionan.

7- **Informes:**

Deben incluir todos los ítems detallados en el punto 5.3.1

Se debe especificar quien recibe los informes.

Cantidad de copias a entregar al cliente y al grupo de inspectores.
 Cuánto tiempo se mantienen los informes en archivos.

8- Normas de aceptación:

Las Normas de aceptación dan los Niveles de las discontinuidades. Su evaluación .
 Situación del cliente como autoridad final y responsabilidad para interpretar y evaluar todos los ensayos.

7.5 Formulación de instrucciones de ensayo.

Las instrucciones son un documento escrito que detallan los pasos precisos a seguir en el ensayo de acuerdo con un procedimiento. Ellas deben ser claras, concisas, no ambiguas para que puedan seguirse sin ninguna dificultad y dudas por el operador. Se debe especificar también el equipamiento usado y su especificación.

A continuación se da un ejemplo:

INSTRUCCIÓN ESCRITA LIQUIDOS PENETRANTES

Fecha/...../.....
Procedimiento de ensayo	Nº.

Componente a ensayar:		Identificación	
Material			
Condicion de la superficie			
Zona de ensayo:			

Esquema zona a ensayar:

Limpieza inicial

Temperatura de ensayo:
 Limpieza Inicial:
 Secado.

Termómetro N^a :
 Marca:....

Iluminación requerida:

Lampara de UV: N^a :
 Luxómetro: N^o.
 Iluminación máxima en cuarto oscuro:

Iluminación:

Penetración:

Penetrante. Tecnica: Marca:

