

**Ministerio de Industria, Turismo, Integración  
y Negociaciones Comerciales Internacionales -MITINCI**

**Universidad Nacional de Ingeniería - UNI**

**II PROGRAMA DE ACTUALIZACION TECNOLOGICA PARA LA INDUSTRIA DE  
PINTURAS Y AFINES**

**SEMINARIO TALLER INTERNACIONAL  
“MANTENIMIENTO INDUSTRIAL POR PINTURAS”**

**Expositor : Ing. Juan José Caprari  
CIDEPINT - ARGENTINA**

**Fecha : Del 14 de Octubre al 15 de Noviembre de 1996**

**Lugar : Lima, Arequipa, Chimbote  
Perú**

**Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas  
CIDEPINT - ARGENTINA  
CIC - CONICET**

República Argentina  
Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto.  
Dirección de Cooperación para el Desarrollo  
Fondo Argentino de Cooperación Horizontal  
FO-AR

II PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA PARA  
LA INDUSTRIA DE LA PINTURA Y AFINES.

PROYECTO N° 1175

## PREPARACION DE SUPERFICIES

Ing. Juan J. Caprari

CIDEPINT  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN TECNOLOGIA DE  
PINTURAS  
(CIC-CONICET)

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL POR PINTURAS

Diagramado: Profesora Viviana Segura

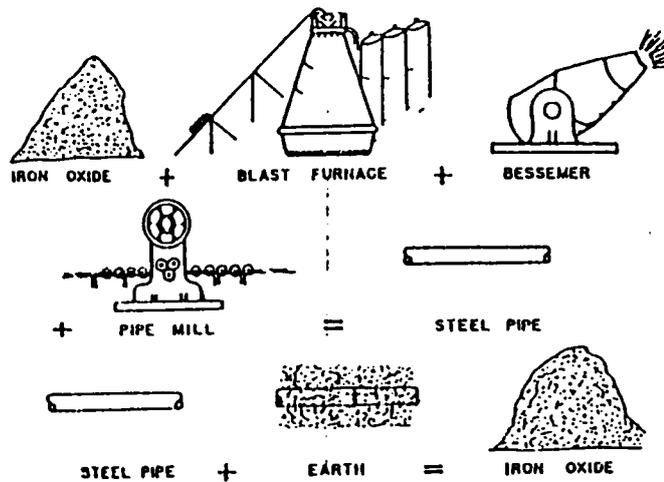
Tipografiado: Sra. Dora L. Aguirre

Srita Lorena Fernandez



## EL CICLO DEL ACERO EN LA NATURALEZA

- Desde el punto de vista del metal, la corrosión es la combinación de este con un no metal como oxígeno, azufre, etc.
- Es el medio que tiene el metal para retornar a su estado original en la naturaleza, donde se encuentra en forma de óxidos, sulfuros, sulfatos, carbonatos, etc. Lo hace con pérdida completa de sus propiedades metálicas.



- La formación del metal exige cierto gasto de energía en forma de calor (alto horno, convertidor), electricidad (aluminio). El proceso inverso no necesita de dicha energía, ya que la formación de óxidos, sulfatos, carbonatos ocurre espontáneamente en condiciones favorables.

## **PREPARACION DE SUPERFICIE**

- Es una operación o proceso por el cual se eliminan los contaminantes existentes sobre la superficie metálica, a la vez que se produce sobre ella una cierta rugosidad. Ambos factores buscan aumentar la adhesión de la pintura al sustrato.

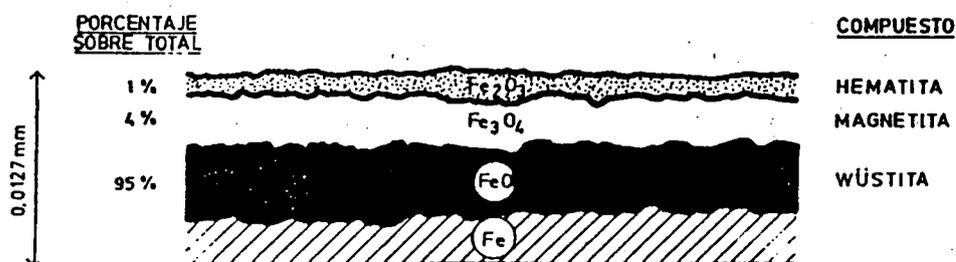
## **RELACION DE COSTOS EN LAS OPERACIONES DE PINTADO**

- La elección del método de preparación de superficies depende del estado inicial del sustrato y puede variar según sea
  - Acero para construcciones nuevas
    - Decapado y aceitado
    - Con escama de laminación
    - Con escama de laminación y óxido
  - Acero sobre el que se tiene que realizar mantenimiento
    - Pintura parcialmente deteriorada
    - Pintura totalmente deteriorada y óxido abundante

## COSTO DEL PINTADO

OPERACION	% SOBRE EL TOTAL
Preparación de superficies	15-40
Aplicación de pinturas	30-60
Limpieza en general	5-10
Productos auxiliares	2-5
Costo de las pinturas	15-20

### Acero para construcciones nuevas Acero laminado en caliente (700-1250°C)



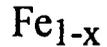
### Acero laminado en frío (debajo 570°C)



La WÜSTITA es inestable por debajo de 570°C, transformándose:



Es producido por el enfriamiento normal (rápido) del acero lo que podría establecer una fórmula general:



Afecta la preparación de superficies. El FeO tiene tendencia a la hidratación y oxidación.

**Cantidades en peso de agua y oxígeno necesarias para convertir el hierro en diversos productos de corrosión en un medio en que la velocidad de corrosión es 0,07 g/cm<sup>2</sup>/año**

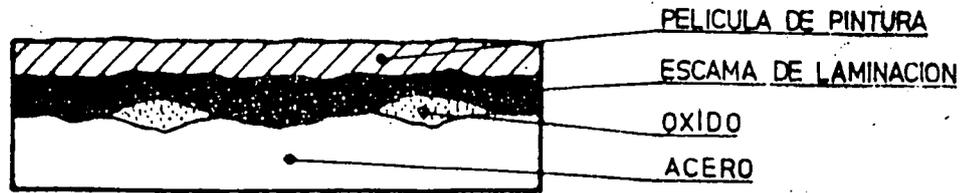
PRODUCTOS DE CORROSION	AGUA (g)	OXIGENO (g)
Hidróxido férrico	0,034	0,030
Goethita	0,011	0,030
Magnetita hidratada	0,011	0,027
Oxido ferroso hidratado	0,023	0,020

La pintura es permeable y desarrolla óxido hidratado debajo de su superficie, especialmente LEPIDOCROSITA  $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  destruyendo la película por aumento de volúmen.

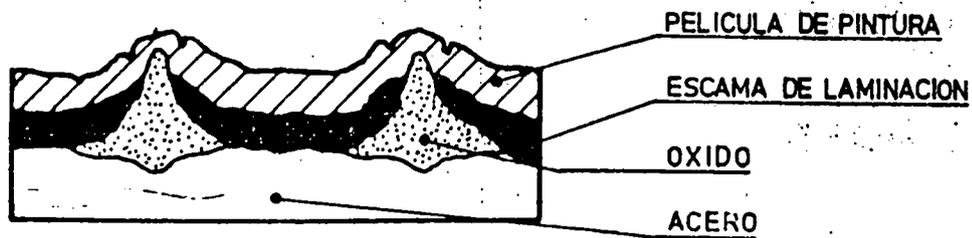
## Análisis cualitativo de los productos de corrosión bajo la película de pintura

Tipo de superficie	Posición de la muestra	Constituyentes
Escama de laminación con herrumbre por exposición a la intemperie	En la superficie del acero	$\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ y $\text{Fe}_3\text{O}_4$
	Debajo de la película de pintura	$\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ y $\text{Fe}_3\text{O}_4$
	Interfase acero-pintura	$\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , $\text{Fe}_2\text{O}_3$ y $\text{Fe}_3\text{O}_4$
Herrumbre, libre de laminación	de escama en la superficie del acero	$\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y $\text{Fe}_2\text{O}_3$ $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , $\text{Fe}_3\text{O}_4$
Escama de laminación libre de herrumbre	de En la superficie del acero	$\text{Fe}_3\text{O}_4$

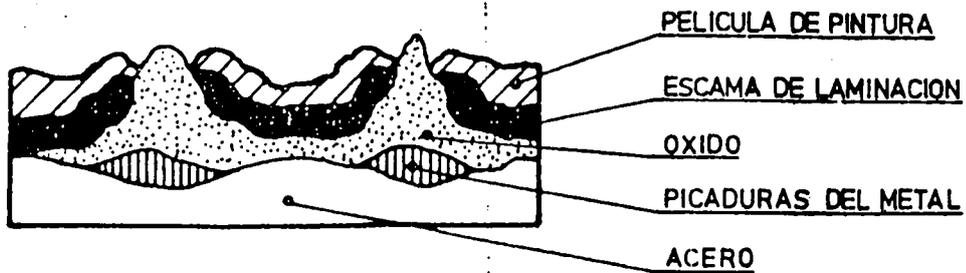
- En todos los óxidos evolucionan hacia sus formas más hidratadas a expensas de los compuestos no hidratados, creciendo el óxido debajo de la película.



PELICULA APLICADA SOBRE ESCAMA DE LAMINACION Y OXIDO



PASAJE DEL AGUA DEL MEDIO A TRAVES DE LA PELICULA, AUMENTO DE VOLUMEN DEL OXIDO Y CUARTEADO DE LA PELICULA.



EL PASAJE DE AGUA PROVOCA PRIMERO EL AGRIETADO Y LUEGO EL DESPRENDIMIENTO DE LA PELICULA; APARECE OXIDO EN LA SUPERFICIE Y PICADURAS EN EL METAL.

- Estos cambios se producen tanto debajo de la película como debajo del acero que tenga herrumbre con escama de laminación. En zonas húmedas y ambientes marítimos se forma una pila hierro/ electrolito/ calamina.
- El cátodo con gran superficie es la calamina, mientras que el/ o los ánodos son pequeñas superficies libres lo que genera corrosión localizada (picado o "pitting").
- Si la calamina se ha eliminado la condición de la superficie de acero depende de la protección temporaria que tenga y del lugar de almacenaje.

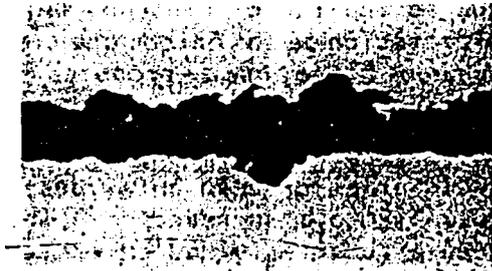
Si se encuentran al aire libre sin protección, el método de preparación de superficie será función del óxido desarrollado sobre la superficie.



*Panel testigo*



*Estabilizador de óxidos*



*Estabilizador de óxidos*



*Estabilizador de óxidos*



*Fondo sintético cromato*



*Fondo anticorrosivo oleo-  
resinoso*

- Las partículas de polvo que forman parte de la capa de óxido es variada. Se puede ejemplificar por:

Disposición de capas y composición típica.  
Acero expuesto 34 meses en atmósfera industrial.

	ZONA*			
	I	II	III	IV
	Cantidad de óxido, mg.cm <sup>-2</sup>	---	29	40
Contenido de hierro en el óxido, % sobre el total	---	66,9	63,9	60,5
Hierro ferroso, %	---	60,5	8,66	0
Sulfato total, mg.cm <sup>-2</sup>	---	240	1128	281
Sulfato soluble, mg.cm <sup>-2</sup>	---	40	87	55
Cloruro total, mg.cm <sup>-2</sup>	---	130	186	32

\* Capa: I) Acero; II: Óxido extremadamente denso y compacto; III: Óxido laminar frágil, fácil de romper y fracturar y poroso; IV: Óxido fino y pulverulento.

- Las mismas pueden acelerar el proceso por su caracter higroscópico o su reacción ácida. Según Evans pueden clasificarse en:

PARTICULAS ACTIVAS: Particulas higroscópicas que crean condiciones particulares en la zona en que se encuentran (cloruros y sulfatos).

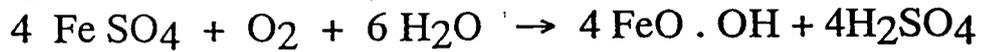
PARTICULAS INDIRECTAMENTE ACTIVAS: Absorben o adsorben gases atmosféricos ( $\text{SO}_2$ ) produciendo a favor de la penetración de agua y oxígeno sustancias ácidas que destruyen el recubrimiento.

## ETAPAS DE LA CORROSION ATMOSFERICA

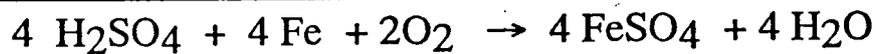
- Formación del sulfato ferroso



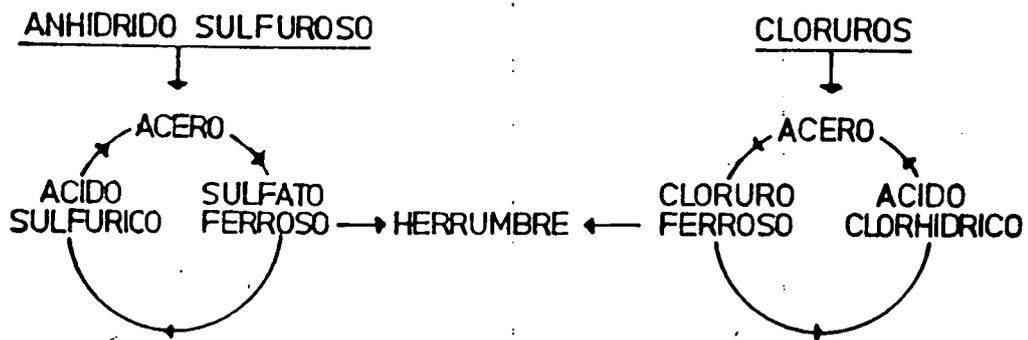
- Formación del herrumbre (FeO.OH)



- Regeneración del sulfato ferroso



PROCESO CICLICO de formación de derrumbe en ambiente industrial y marino



## Métodos de preparación de superficies

Clasificación de los métodos de preparación de superficies más utilizadas

Objetivo del tratamiento	Métodos físico	Métodos químicos
<p>Eliminar grasas y aceites, tanto minerales como vegetales, partículas de polvo y sales solubles, restos de películas de pinturas viejas y deterioradas.</p>	<p><i>Disolventes:</i> hidrocarburos alifáticos (derivados del petróleo), hidrocarburos aromáticos (derivados del alquitrán de hulla), hidrocarburos clorados, disolventes polares. <i>Emulsiones:</i> disolventes con el agregado de agentes humectantes y emulsionantes, trabajando en fase acuosa.</p>	<p><i>Alcalis y sustancias alcalinas:</i> soda cáustica, carbonato de sodio, fosfatos y polifosfatos de metales alcalinos, silicatos complejos.</p>
<p>Eliminar escamas de laminación, óxidos, polvo atmosférico, restos de pinturas viejas y deterioradas o quemadas en zonas con cordones de soldadura.</p>	<p>Acción de la llama oxiacetilénica o de gas propano-butano. Cepillado (manual o mecánico). Picareteado con granalla esférica o angular, escorias de función o arena.</p>	<p>Acción de la intemperie o meteorizado. Decapado ácido, con ácido sulfúrico, clorhídrico o mezclas decapantes. Fosfatizado, utilizando ácido fosfórico solo o formando parte de productos que tienen acelerantes o humectantes.</p>

## LIMPIEZA CON VAPOR DE AGUA, AGUA CALIENTE Y DETERGENTE

- Vapor de agua: Remueven partículas de polvo muy adherentes acompañadas por grasas y aceites minerales o vegetales.
- Agua caliente a presión con detergente (0,5 %) en peso en boquilla.

Componentes	Contenido en la mezcla	Función que cumple
Metasilicato de Sodio	45	Limpiadores caústicos de baja alcalinidad
Sesquisilicato de Sodio	43	
Tetrafosfato de Sodio	10	Buffer de los caústicos
Detergente emulsionable al vapor	2	Ayuda a la limpieza

## LAVADO CON AGUA A ALTA PRESIÓN

- No reemplaza al arenado ya que no produce una superficie equivalente, ni elimina escama de laminación, óxidos y pinturas bien adheridas y no produce rugosidad. La limpieza producida es de calidad intermedia entre las herramientas mecánicas y el arenado.

## PRESIONES RECOMENDADAS PARA LIMPIEZA CON AGUA

Impureza a remover	Presión recomendada, ps i
Películas de pintura, resinas, fosfatos, sales de calcio, carbonatos, coque.....	20.000
Cenizas, incrustaciones biológicas, rebabas de metal.....	15.000
Silicatos, calamina, polímeros.....	10.000
"Mastics", cementos, pintura suelta, óxido (herrumbre), bitumen, PVC, mortero, sulfato de calcio.....	7.000
Películas de curado para concreto, incrustaciones de sales en calderas o intercambiadores, abesto, PVA.....	5.000
Sedimentos, pulpa de papel, ceras, grasas, barros de aluminio, carbón blando, arcilla dura, residuos de petróleo crudo.....	3.000
Suciedad, hongos, algas, rastros de vegetación.....	2.000
Depósitos blandos diversos.....	1.000
Pintura firmemente adherida, óxido muy adherido, calamina en chapas recién laminadas, asfalto, carbón.....	5.000 a 10.000

## METEORIZADO Y ACCION DE LA LLAMA O FLAMEADO

En el meteorizado el acero se expone a la intemperie para que se desarrolle óxido debajo de la superficie y desprenda la calamina. Se complementa con llama que aprovecha la diferencia entre el coeficiente de dilatación del acero y la calamina y la contracción producida por deshidratación del óxido.

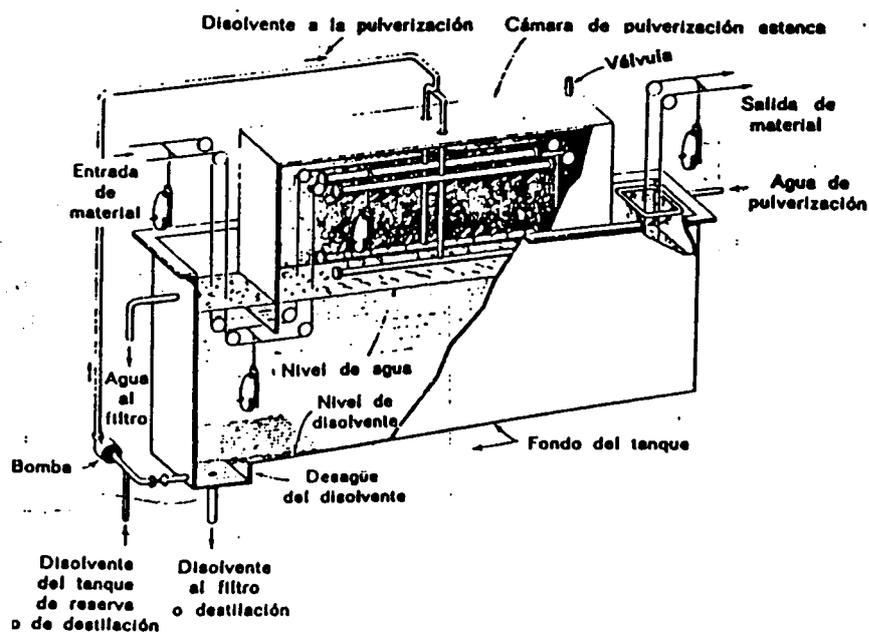
## METODOS FISICOS

### Limpieza por disolventes con ciclo abierto

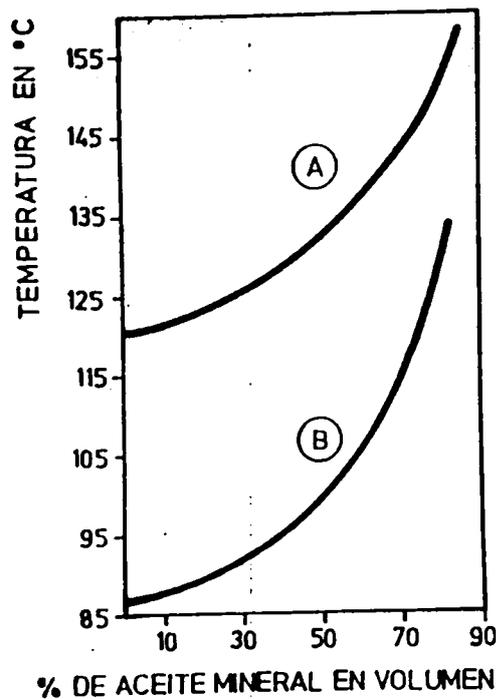
- Manual: Se emplea tela (trapeado) cepillo de cerdas blandas o brocha embebida en disolventes. Solo se sigue empleando por mala práctica. Se usan disolventes aromáticos y alifáticos.
- Sopleteado a alta presión: La pieza esta en posición vertical y el líquido a alta presión incide a 90° sobre la pieza.
- Desventaja de la operación:
  - Elevado costo de los disolventes.
  - Inflamabilidad.
  - Toxicidad.
  - No elimina las sales solubles en agua.
  - Difícil disposición del afluente contaminado.
  - Sistema de recuperación de alto costo.

## LIMPIEZA CON DISOLVENTES EN CICLO CERRADO

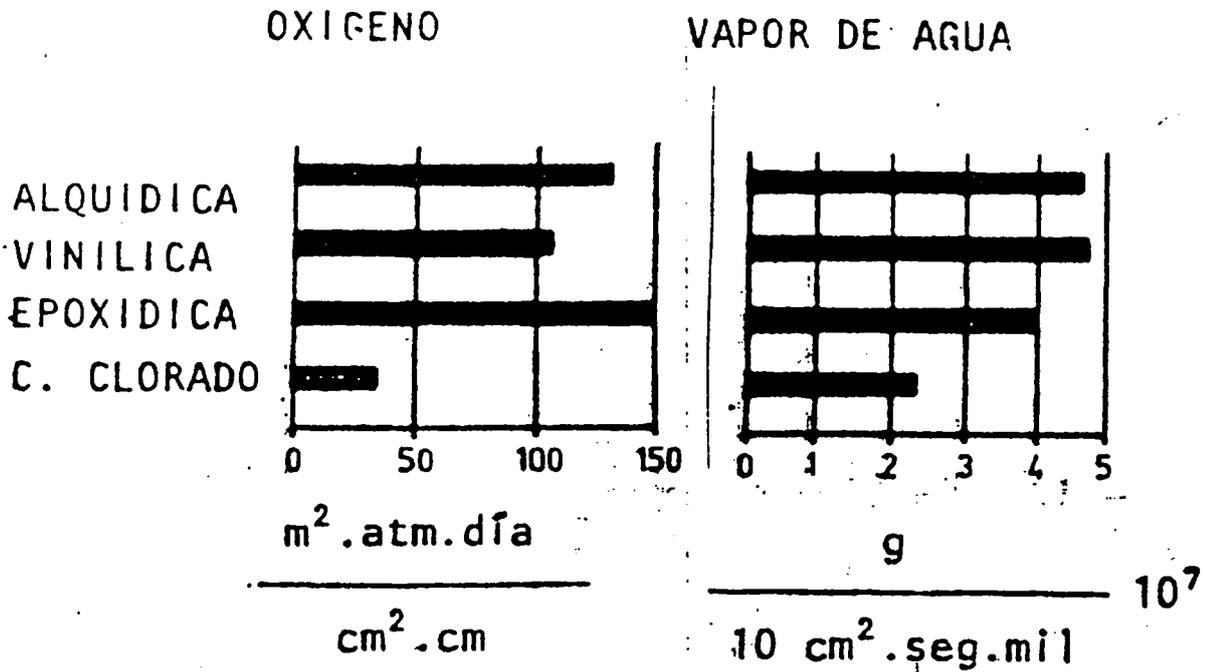
- Fase vapor: El artículo se cuelga de un sistema discontinuo y se hace entrar vapor  $\phi$  a la cámara que condensa sobre el objeto y arrastra partículas de polvo, grasas y aceite. No arrastra productos solubles en agua.
- Sopleteado a alta presión: Sistema discontinuo similar a la fase vapor pero con sopletes que hacen incidir el disolvente sobre la pieza. No arrastra productos solubles en agua.
- Sistema doble fase: Operación continua que hace circular la pieza por un baño de agua (disolver sales solubles), sopleteado con disolventes (arrastra aceite y grasas) y sopleteado con agua para arrastrar sales solubles.



- Si se utilizan disolventes clorados deben tenerse en cuenta:
  - El desengrasado no puede prolongarse mucho tiempo pues es antieconómico y no mejora la preparación superficial.
  - La operación termina cuando la pieza alcanza la temperatura del vapor.
  - El enriquecimiento paulatino en contaminante de estos disolventes eleva el punto de ebullición y luego del 60 % se descompone produciendo ácido clorhídrico y atacando la pieza.
  - Los disolventes usados, cloruro de metileno, percloroetileno y tricloroetileno, están siendo reemplazados por otros no tóxicos (alifáticos libres de aromáticos, silicatos y glutanatos, isoparafinas).



Las reacciones químicas anteriores demuestran que las sustancias necesarias para regenerar el ácido sulfúrico o el ácido clorhídrico son el OXIGENO y el AGUA.



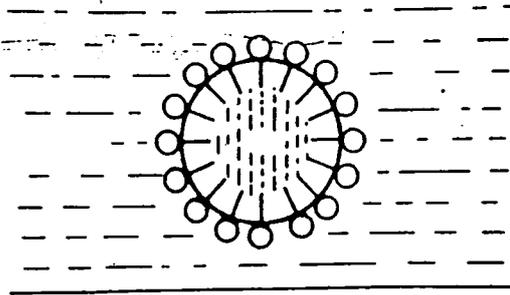
Partículas neutras: no actúan desde el punto de vista fisicoquímico, pero sí desde el punto de vista mecánico al producir discontinuidades en la película y pérdida de adhesión.

## LIMPIEZA MEDIANTE PRODUCTOS QUIMICOS

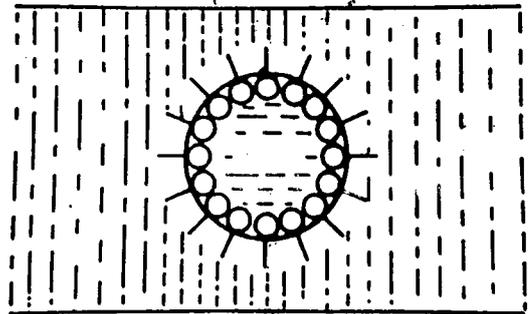
- Busca eliminar polvo, grasas y materia extraña de la superficie del acero.

## LIMPIEZA POR DETERGENTES

- Se desplaza las impurezas y las materias extrañas por agentes tensioactivos de gran afinidad por el metal y que es ayudado por efecto mecánico.
- Un detergente posee una carga electrónica conformando lo que se llama "cabeza" de la molécula y una parte no cargada llamada "cola".



Sustancia hidrofóbica  
(carbón suspendido en agua)



Sustancia hidrofílica  
(arena suspendida en agua)

## TENSIOACTIVOS NO MODIFICADOS

- Se emplean conjuntamente con sales alcalinas, ácidos o disolventes y en pequeñas cantidades.

Amionicos    No iónicos    Cationicos    Anfóteros

- La mejor combinación es la mezcla de amionicos-no iónicos. Los anfóteros ejercen su acción en un amplio rango de pH. Los catiónicos no se usan en limpieza.

## JABONES

- Son productos de la reacción entre ácidos grasos y álcalis. Son largas cadenas de C-H solubles en aceite con un grupo terminal ionizado soluble en agua. Son sensibles a los iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  presentes en aguas duras.

## DETERGENTES INTERMEDIOS

- Son derivados del ácido abiético con metales alcalinos, llegando a formarse en un 80 %. Son de mayor solubilidad, producen menos espuma en caliente y son menos sensibles a los iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ .

## TENSIOACTIVOS SINTETICOS

- Son los derivados del aceite de coco (lauril, sulfato de sodio) y fracciones derivadas del petroleo combinadas con benceno y sulfonadas con ácido sulfúrico.
  - Humectantes: entre 8-10 átomos de C.
  - Detergentes: entre 12-15 átomos de C.
  - Emulsionantes: mayores de 16 átomos de C.
- La atracción por el agua disminuye con el aumento de átomos de Carbono.

## TENSIOACTIVOS NO IONICOS

- Derivan del óxido de etileno (OE) y se clasifican de acuerdo con el número de grupos OE dentro de la molécula.
  - Humectantes: OE es igual a 20
  - Detergentes: OE es igual a 10
  - Emulsionantes: OE es igual a 5
- La atracción por el agua disminuye al disminuir el número de grupos OE. Su acción es función del pH del medio.

## LIMPIADORES ALCALINOS

- Son sales alcalinas mezcladas con tensioactivos. En general son mezcladas combinadas de tres o cuatro sales alcalinas con dos o tres tensioactivos orgánicos. La mezcla en tipo y proporción es definida por las impurezas a remover.

## ACERO

### COMPONENTE

Soda cáustica (NaOH)

Silicato de Sodio

Fosfato trisódico

Pirofosfato tetrasódico

Tripolifosfato de Sodio

Carbonato de Sodio

Alquil-uril Sulfonatos

Jabón aniónico

Detergente no iónico

### FUNCION

Neutraliza impurezas ácidas

Dispersa sólidos y ayuda detergencia

Peptiza el polvo

Acción detergente específica sobre el polvo con aceite

Evita la dureza. Facilita el enjuague

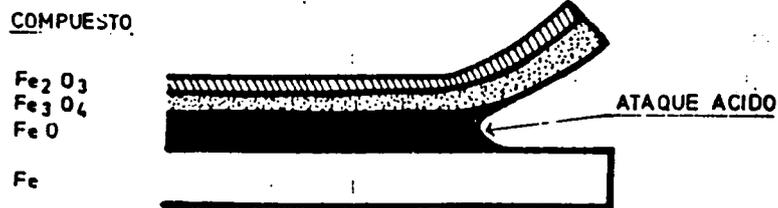
Reserva de alcalinidad

Tensioactivos

- Si se trata de aluminio se elimina el NaOH que produce gran ataque y se aumenta el silicato de sodio, parte del fosfato trisódico por fosfato disódico para bajar el pH y se elimina el Carbonato de Sodio. Producto de baja alcalinidad y alto poder limpiador.

## TRATAMIENTO CON ACIDOS MINERALES

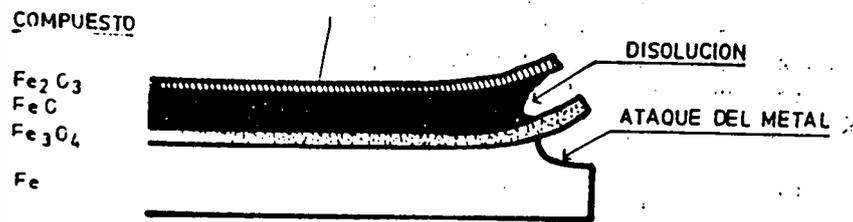
- Se utilizan:  
Acido sulfúrico  
Acido clorhídrico
- Actúan sobre la herrumbre y la calamina
- Su mecanismo de acción varian en función de:
  - a) Composición de la capa escama de laminación.
  - b) Porosidad de la capa.



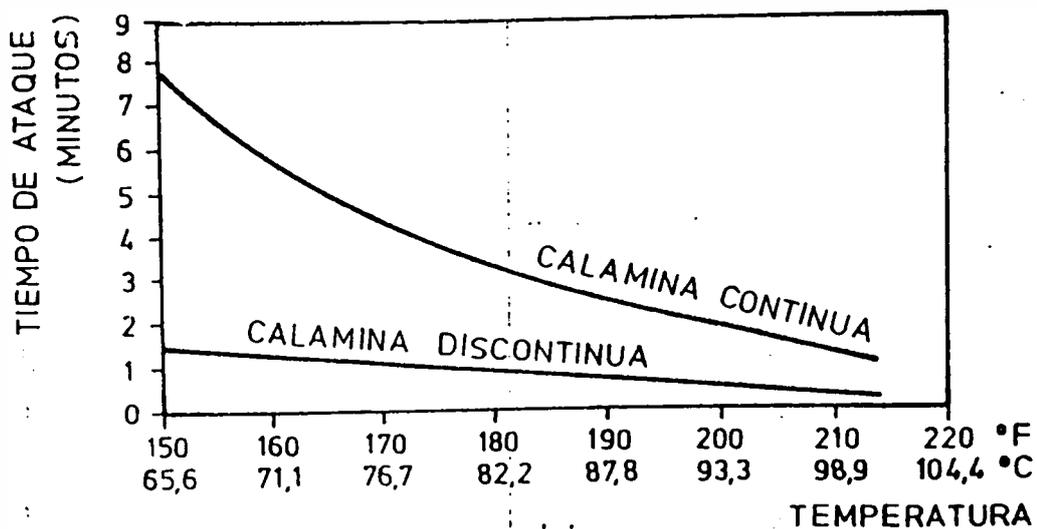
El ataque de la escama de laminación producida entre 700-1250°C se caracteriza por:

- Oxidos de mayor contenido de oxígeno son insolubles en los ácidos mencionados.
- El óxido ferroso es disuelto rápidamente por el ácido que penetra por lo poros.
- Se separa el total de la capa de óxidos por desprendimiento, y se depositan en forma de lodos en el fondo de la cuba.

El ataque de la escama de laminación producida por debajo de 570°C, se caracteriza por:

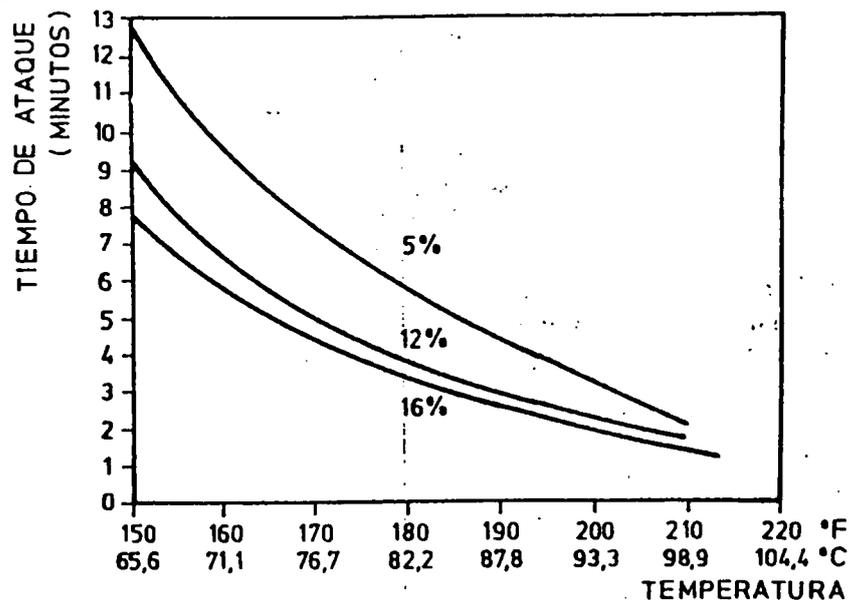


- No hay óxido ferroso (Wüstita) en contacto directo con el metal. Sobre la superficie hay una capa de magnetita, insoluble en los ácidos minerales.
- Se produce un ataque del metal con formación de hidrógeno cuyas burbujas ejercen acción mecánica. El hidrógeno reduce los óxidos superiores a otros fácilmente removibles.
- Aumenta el consumo de ácidos y hay disolución del metal. Puede producirse corrosión localizada o pitting y fragilización por hidrógeno.

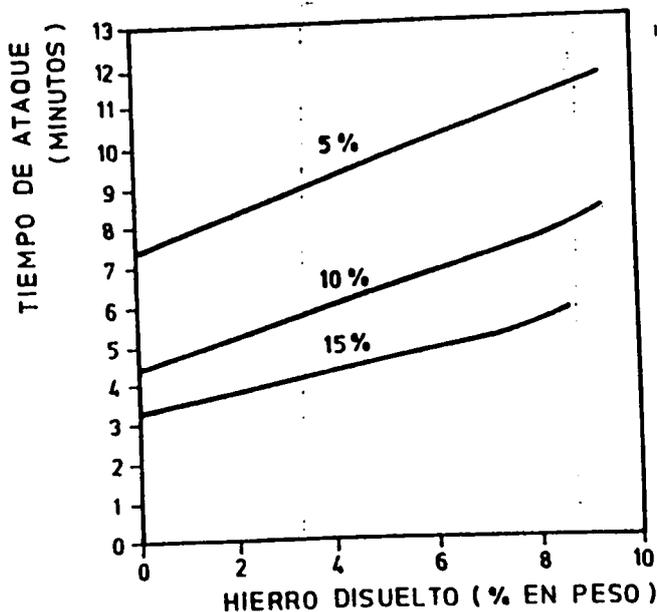


## COMPOSICION DE LOS BAÑOS

- Acido Sulfúrico: Se utiliza en concentraciones de 5-25 % V/V, aumentando la velocidad de ataque con el aumento de concentración. Por encima del 25 % disminuye la reacción.
- La temperatura es un parámetro importante pues el tiempo de residencia disminuye a la mitad por cada 10°C de aumento de la temperatura a concentración de ácido constante.

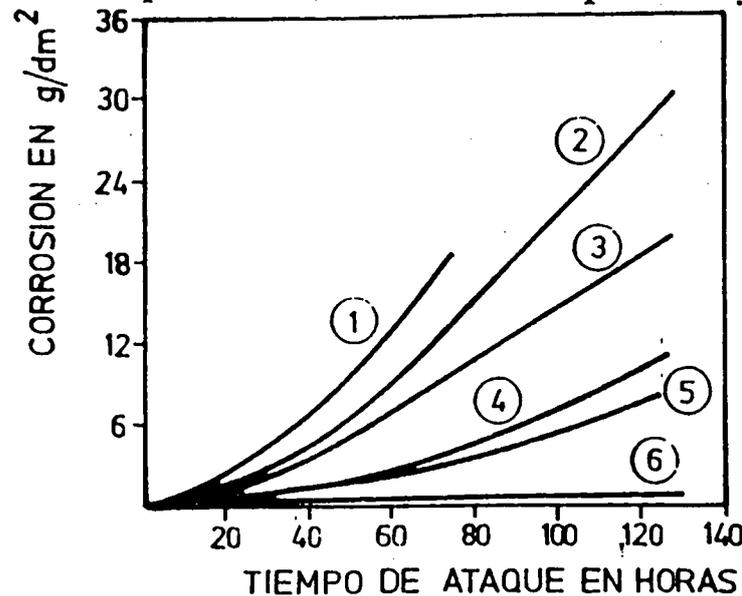


- La cantidad de hierro disuelto aumenta considerablemente con el aumento de tiempo de residencia a concentración de ácido constante.

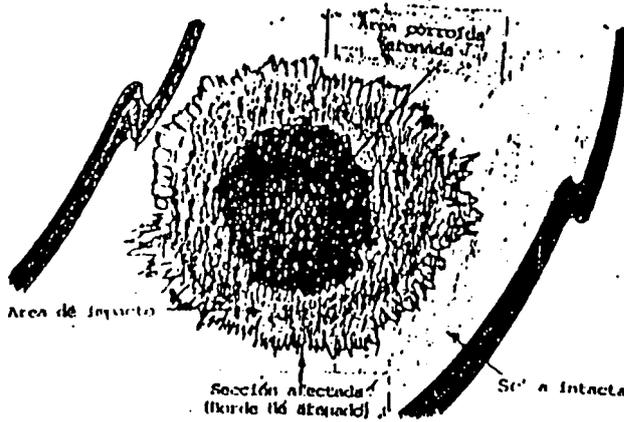
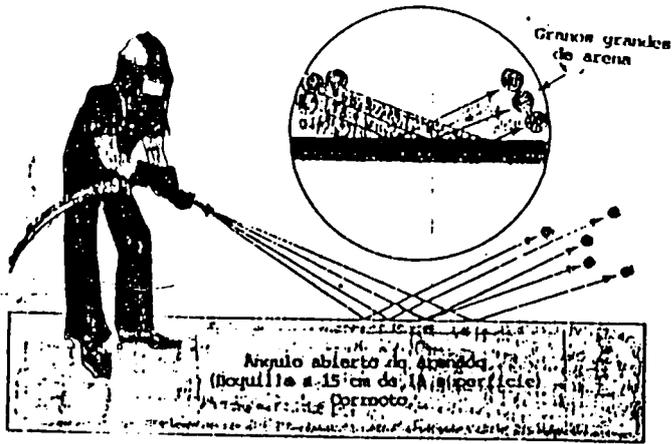
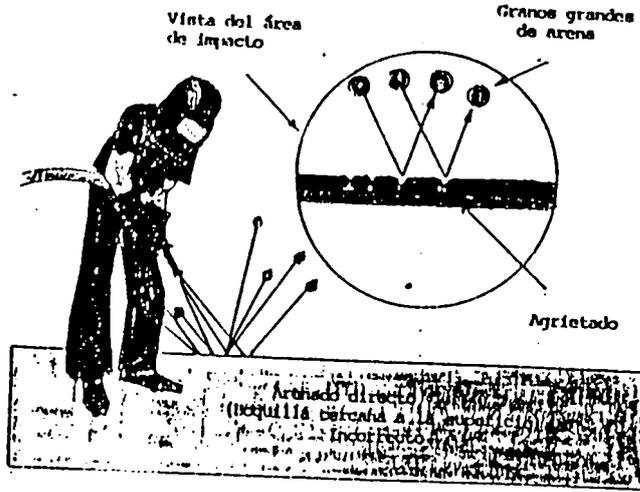


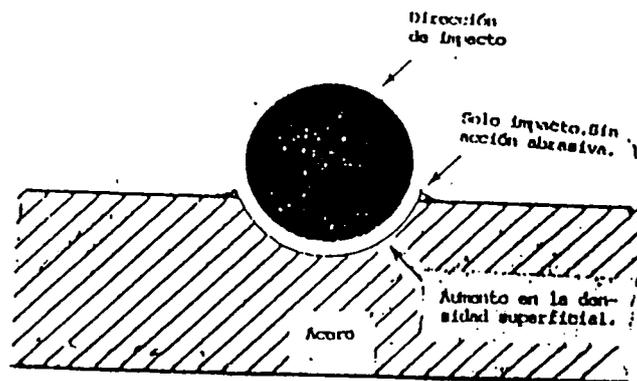
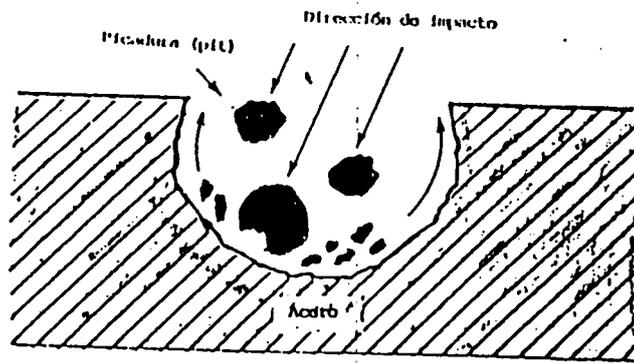
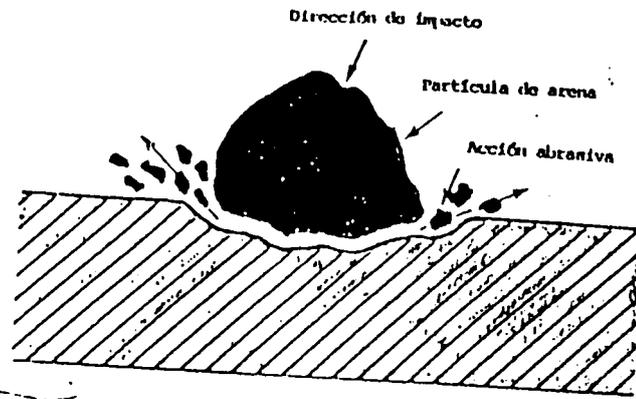
- El ácido clorhídrico reemplaza al sulfúrico en los casos en que éste es poco efectivo:
  - Óxido formado en ambientes muy corrosivos.
  - Óxidos que han sufrido deshidratación.
  - Superficies recubiertas con óxido mezclado con grasas y aceites.
- Forma rápidamente cloruros con todos los metales más solubles que los correspondientes sulfatos. Penetra con mayor rapidez a través de los poros.
- La principal desventaja es la de dejar cloruros (HCl) y Sulfatos ( $H_2SO_4$ ) residuales.  
Activadores, Acelerantes e inhibidores de decapado.
- Se utilizan cuando el acero aparece como sin óxido a simple vista. Se realiza el tratamiento para eliminar la fina capa superficial de óxido y producir una pequeña rugosidad.
- Concentración máxima: 2 % en peso. Actúan como  $Cl^-$  de iones metálicos y son ácidos orgánicos fuertes (oxálico, tricloroacético) ó débiles (cítrico, acético) y van acompañados por  $Na^+$  neutros.
- Se forman así pares como ácido oxálico-oxalato de amonio ó ácido cítrico-citrato de sodio.
- Acelerantes de reacción: Se emplea cuando se atacan aceros especiales cuya composición impide el accionar normal de los ácidos mencionados.
- Para aceros comunes se emplean ferricianuros de sodio o potasio (2 %). Para el inoxidable y aceros de mediana aleación el tiosulfato de sodio, liposulfito de sodio o sulfito de sodio (0,5 - 2%) conjuntamente con el ácido sulfúrico.

- Inhibidores de corrosión: Se emplea en aceros con calamina parcialmente desprendida o zonas aisladas de oxidación que favorecen la formación de filas galvánicas.
- Actúan disminuyendo la velocidad de disolución del metal sin alterar la reacción principal.
- Se emplea anilina, quinoleína, derivados del petróleo y alquitrán, gelatina.



- El ácido fosfórico se utiliza en concentraciones de 5-15 % en todos los casos de oxidación presencia de óxidos bien adheridos a la superficie y de muy bajo espesor.
- No deja residuos potencialmente peligrosos sobre el sustrato, depositando hasta en lugares remotos una capa de fosfato de hierro complejo muy estable.
- No deja residuos peligrosos y es tolerado sin neutralizar debajo de una película de pintura en cantidades de hasta 54 mg cm<sup>2</sup>.
- No produce corrosión localizada.
- No debe confundirse tratamiento con ácido fosfórico con fosfatización.







# **LIMPIEZA DE SUPERFICIES CON MATERIALES ABRASIVOS**

Método de trabajo en frío que induce fuerzas de compresión por el impacto a alta velocidad de un material abrasivo sobre una superficie metálica bajo condiciones controladas.

## **BENEFICIOS**

Aumenta la resistencia a la fatiga

Descarga tensiones mecánicas

Mejora la adherencia superficial  
de los revestimientos

# MATERIALES ABRASIVOS

## *NATURALES:*

- Arena
- Cuarzo
- Granate

## *RESIDUALES:*

- Escorias de función
- Alambre cortado

## *ELABORADOS:*

- Granallas de acero  
(esféricas o angulares)
- Esferas de vidrio
- Esferas de material polimérico

La selección se realiza de acuerdo al tipo de operación:

*Ciclo abierto* (sin recuperación de abrasivo)

**Naturales y Residuales**

*Ciclo cerrado* (se recupera el abrasivo)

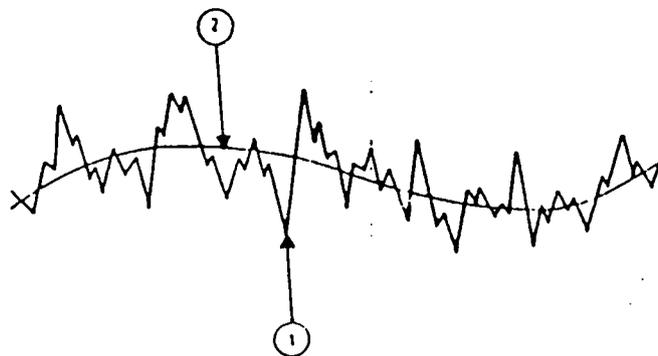
**Elaborados**

## ACCION DEL MATERIAL ABRASIVO

Forma perfiles de diferente magnitud, lo que constituye la TEXTURA de la superficie.

**(1) Rugosidad o textura primaria:** Es la producida por acción del material abrasivo.

**(2) Ondulación o textura secundaria:** Es la que viene con el material como resultado de maquinado, vibraciones, etc., sobre ella está sobreimpuesta la rugosidad.

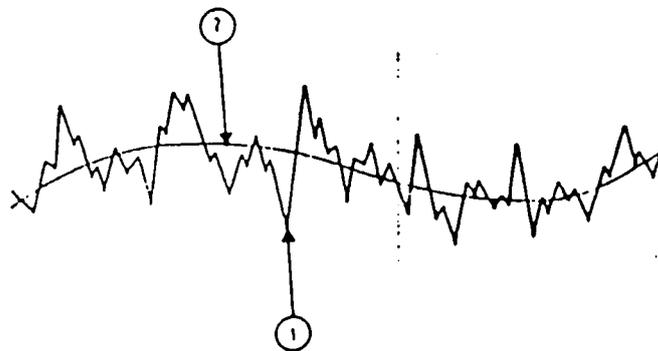


# RUGOSIDAD

Por la *acción del material abrasivo*, se forman perfiles de diferente magnitud, que constituyen la **TEXTURA** de la superficie.

**(1) Rugosidad o textura primaria:** Es la producida por acción del material abrasivo.

**(2) Ondulación o textura secundaria:** Es la que viene con el material como resultado de maquinado, vibraciones, etc. Sobre ella está *sobreimpuesta* la rugosidad.

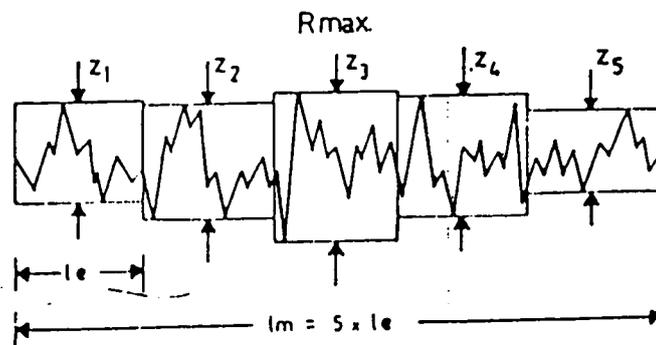


# PARAMETROS A DEFINIR Y SELECCION

Se definirá solo la rugosidad o textura primaria y se determinará en función de sus definiciones matemáticas cuál o cuáles son de mayor utilidad en nuestro caso.

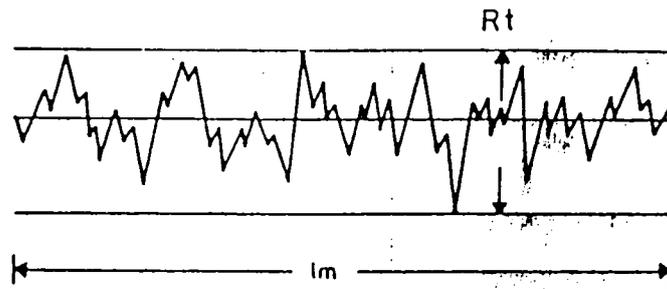
## RUGOSIDAD MAXIMA ( $R_m$ )

Distancia que existe entre dos líneas paralelas que tocan los puntos consecutivos máximos y mínimos existentes en la longitud de muestra considerada.



## RUGOSIDAD TOTAL ( $R_t$ )

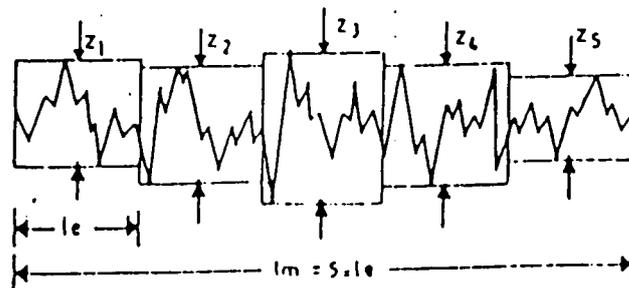
Es la mayor distancia medida normal a la línea central, que existe entre los puntos máximos y mínimos no consecutivos que se pueden encontrar dentro de la longitud de medida.



## RUGOSIDAD MEDIA ( $R_z$ )

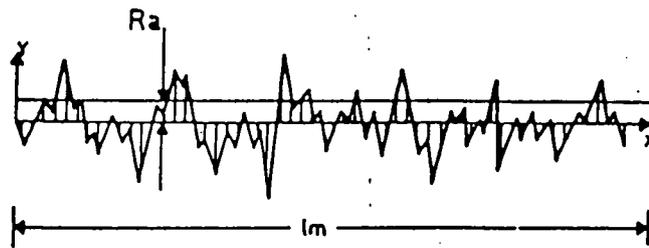
Es la distancia promedio entre los cinco picos más altos y los cinco valles más profundos tomados en la longitud de la muestra, que se subdivide en cinco subtrazos iguales y sucesivos

$$R_z = 1/5 (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5)$$



## RUGOSIDAD MEDIA ARITMETICA ( $R_a$ )

Llamada también AA (arithmetic average) o CLA (center line average), es el valor medio aritmético de las distancias a los puntos del perfil efectivo a la línea media, dentro de la longitud de la muestra considerada.



## VALORES UTILES EN LA PREPARACION DE SUPERFICIES

Rugosidad máxima ( $R_m$ )

Rugosidad total ( $R_t$ )

Rugosidad media ( $R_z$ )

# **MATERIALES ABRASIVOS NATURALES**

## **ARENA**

**Características técnicas a tener en cuenta  
para seleccionar un material adecuado**

# **SELECCION DE LA ARENA COMO ABRASIVO EN FUNCION DE:**

Facilidad de obtención

Facilidad de transporte

Bajo costo

## **CONTROL DE CARACTERISTICAS**

Análisis mineralógico

Composición química

Composición granulométrica

# CALIDAD DE LA ARENA

## *BUENA CALIDAD*

- Granos de adecuada dureza
- Adecuada distribución de tamaño de grano
- Bajo contenido de sales potencialmente agresivas (cloruros, sulfatos)
- Adecuado grado de limpieza
- Obtención de una adecuada rugosidad
- Producción de poca cantidad de polvo durante la operación (baja contaminación)
- Buen rendimiento (reciclado)

## *MALA CALIDAD*

- Granos blandos
- Mala distribución de tamaño de grano
- Moderada a alta cantidad de sales potencialmente agresivas
- Insuficiente grado de limpieza
- Rugosidad inadecuada
- Producción de gran cantidad de polvo durante la operación (alta contaminación)
- Bajo rendimiento (sin reciclado)

## **ARENA ADECUADA**

*Geológicamente apta:* índice de fragmentación menor al 10 %

*Químicamente aceptable:* muy bajo contenido de sales potencialmente agresivas y en algunos casos exentas de ciertos metales

*Distribución de tamaño de partícula:* adecuado (define el perfil de rugosidad)

## **DISTRIBUCION GRANULOMETRICA**

Exceso de partículas grandes

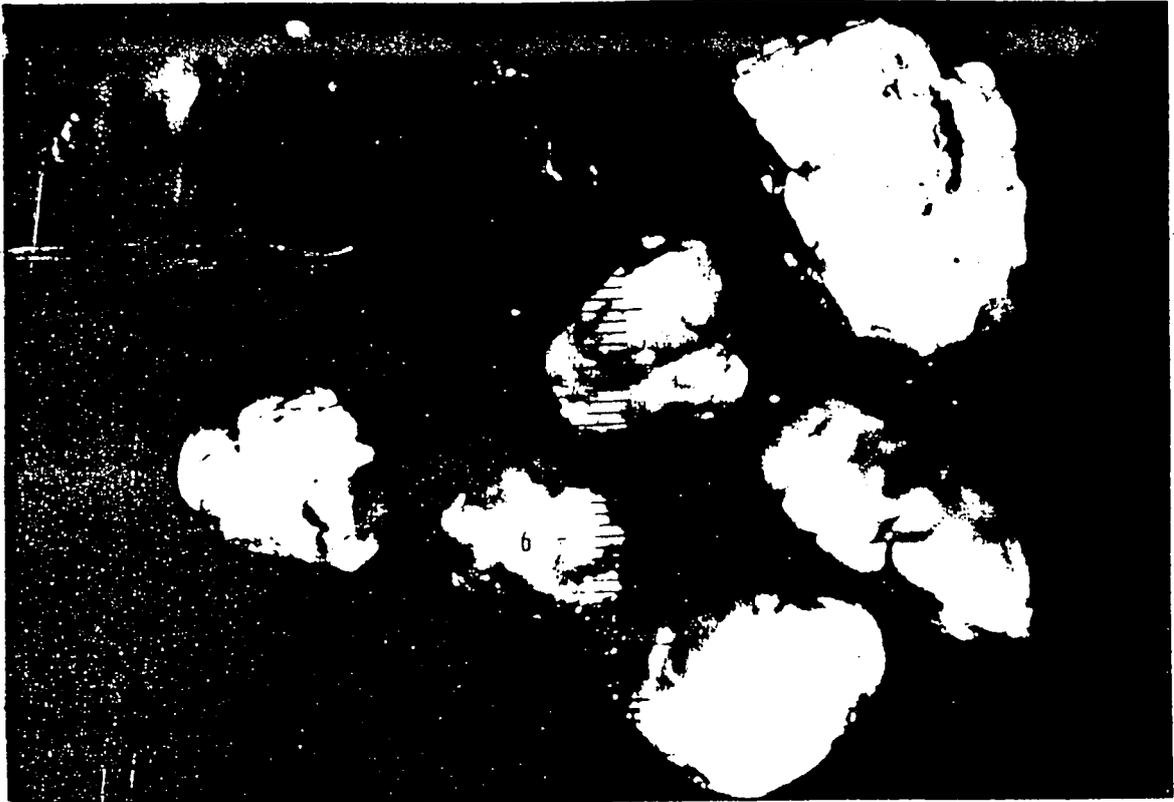
- Baja velocidad de trabajo
- Deficiente eliminación de impurezas
- Alta rugosidad final

**LAS MEJORES CONDICIONES DE TRABAJO SE OBTIENEN COMO COMPROMISO ENTRE:**

- Rendimiento de la operación
  - Grado de limpieza
- Rugosidad recomendada en función del tipo de revestimiento

# ANALISIS MINERALOGICO Y QUIMICO

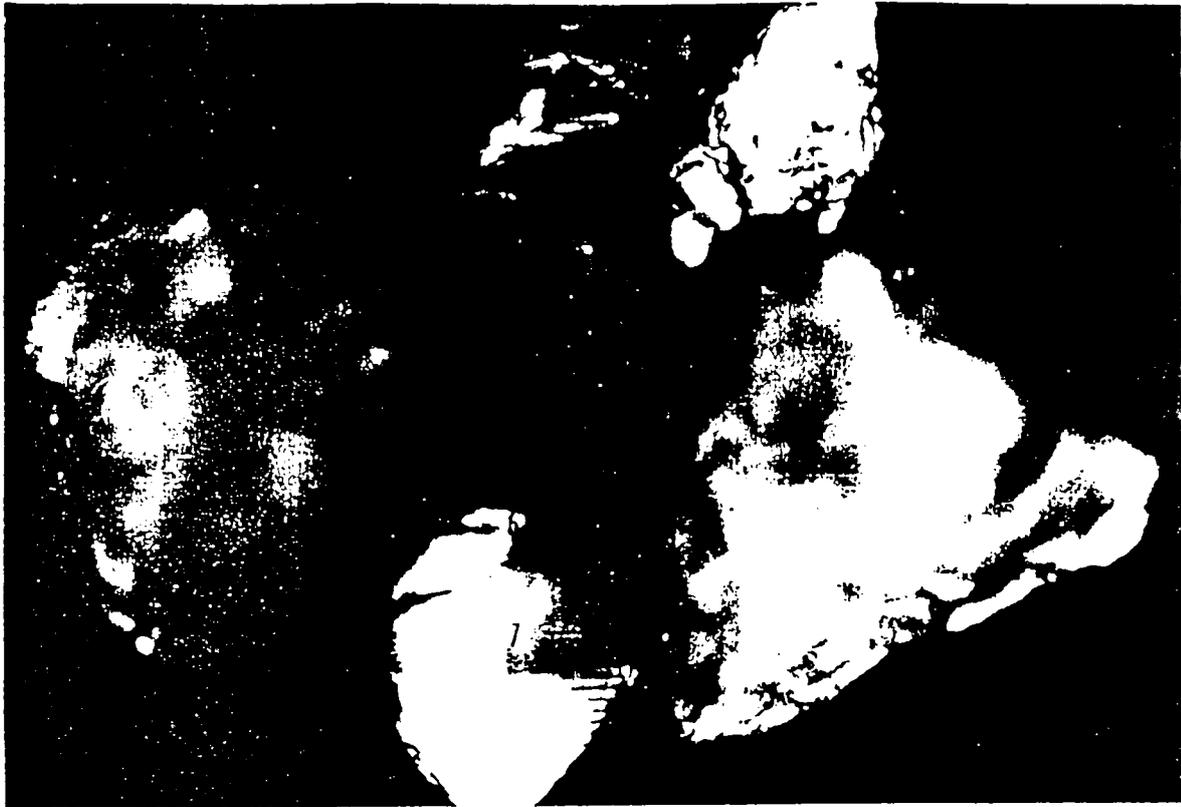
Componente, %	Procedencia de la arena	
	Argentina	Oriental
<i>Composición mineralógica</i>		
Cuarzo (SiO <sub>2</sub> )	96,00	42,50
Feldespato potásico (Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> Al.K)	2,50	53,50
Calcedonia	0,50	0,50
Granulometría, µm	320-960	700-1400
Tamiz, N°	30-120 (95,5 %)	16-60 (98,42 %)
Forma de los clastos	Redondeados	Sub-redondeados y angulosos
<i>Composición química</i>		
Sílice total (como SiO <sub>2</sub> )	97,90	88,70
Sales solubles en agua	0,004	0,015



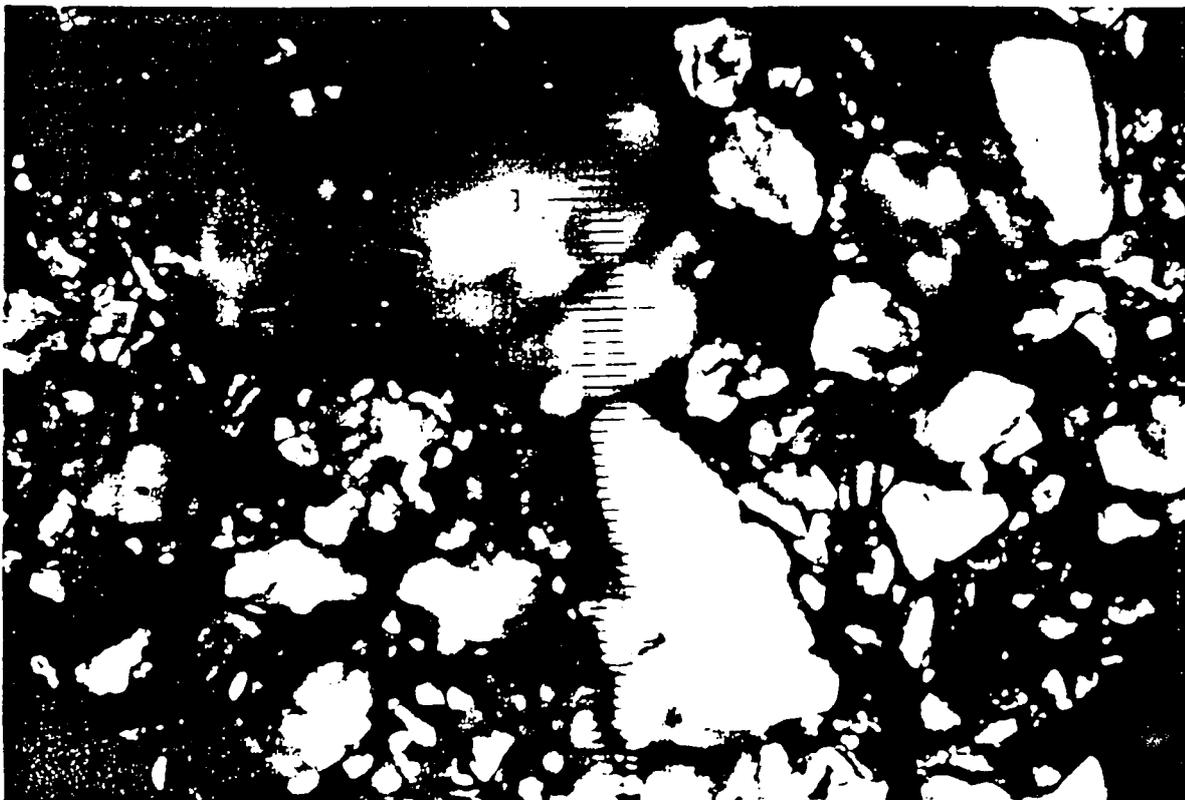
Partículas de arena argentina (40 X) en su estado original



Partículas de arena nacional usada (40 X)



Partículas de arena oriental (40 X) en su estado original



Partículas de arena oriental usada (40 X)

# 1. Desgaste de la arena

- Depende de la composición mineralógica
- Mínima para 300  $\mu\text{m}$  en arena nacional y 550  $\mu\text{m}$  para arena oriental
- La arena oriental tiene 10-15 % más de pérdida que la arena argentina

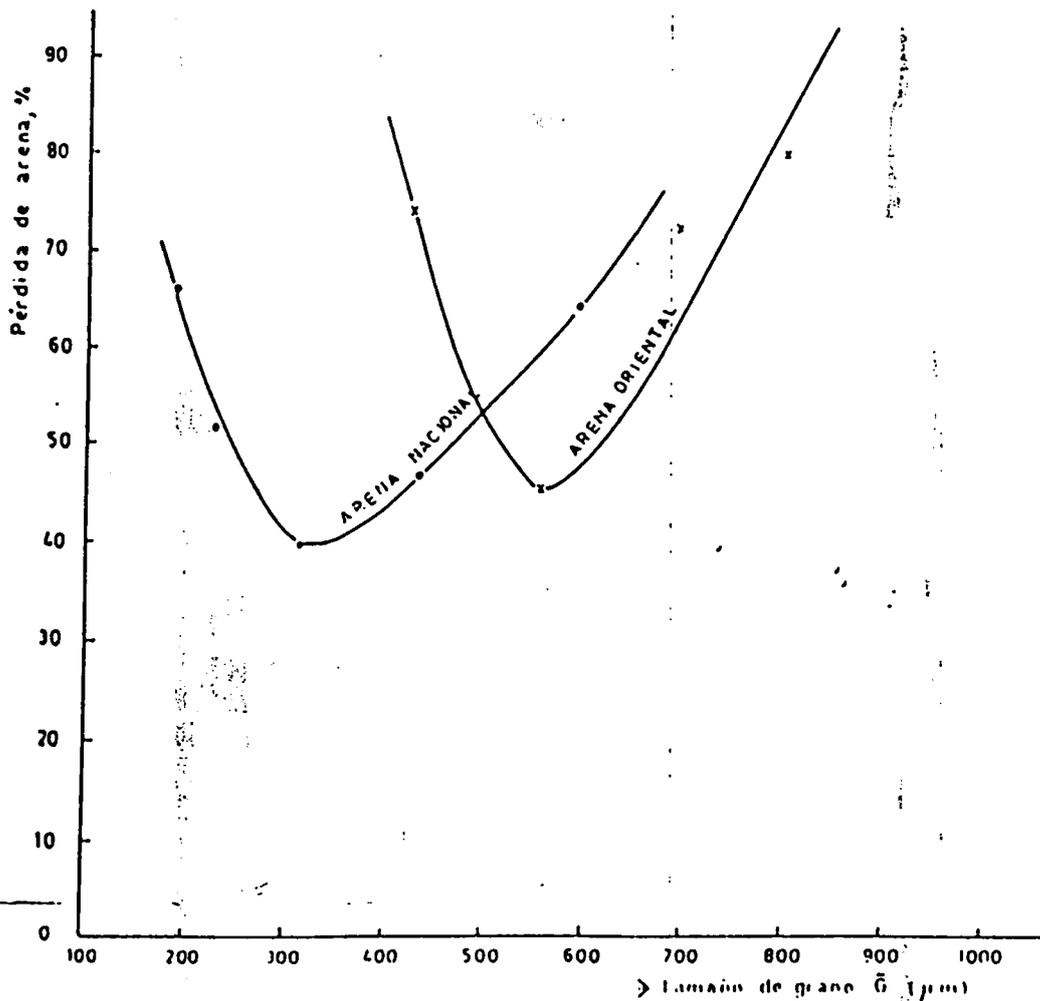


Gráfico 1.- Porcentaje de pérdida de arena en función del tamaño de grano ponderado

## 2. Tiempo de limpieza

- Tiempo total para llevar 1 m<sup>2</sup> de acero SAE 1010 grado SIS Sa 2 1/2
- Granulometría óptima: arena argentina: 400 μm, arena oriental: 800 μm
- Es una función del tamaño de grano promedio ponderado. Optimo para granulometrías intermedias.

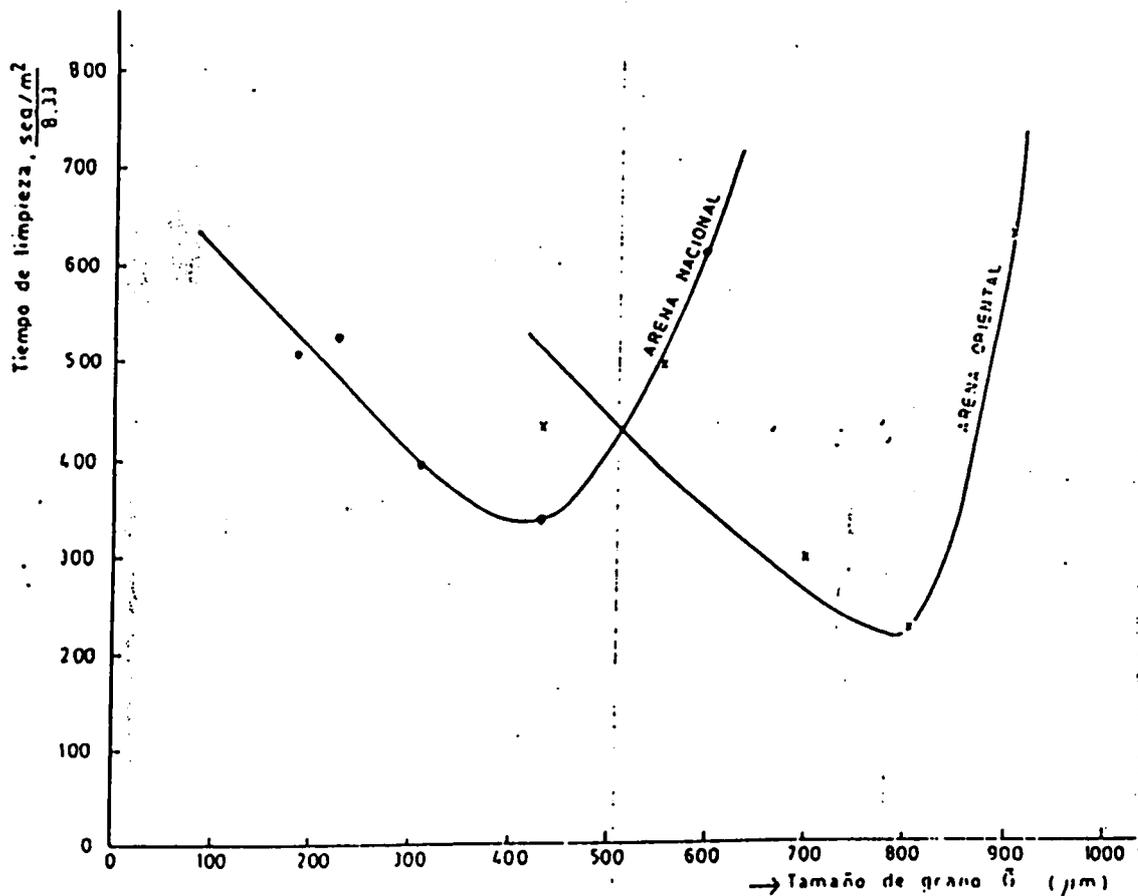


Gráfico 2.- Tiempo de limpieza en función del tamaño de grano promedio ponderado

### 3. Rugosidad conferida al acero

- Es independiente del tipo de arena
- Depende del tamaño de grano
- No influye la tendencia a la rotura del grano

### 4. Tamaño de grano y superficie específica

- Dependencia directa y mutua de ambos parámetros
- Es independiente de las características del material abrasivo y del tipo de equipo

## 5. Distribución granulométrica

- Tiene gran influencia sobre el perfil de rugosidad
- Influye directamente sobre el aumento de superficie específica
- Condiciona la adhesión de la película y determina el consumo de pintura

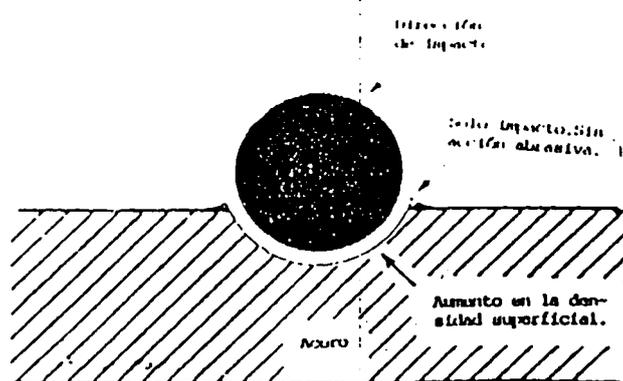
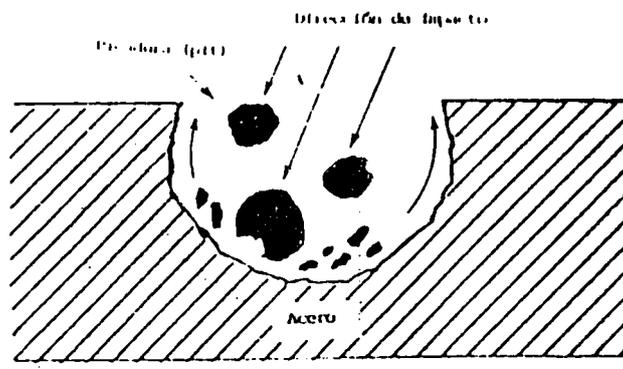
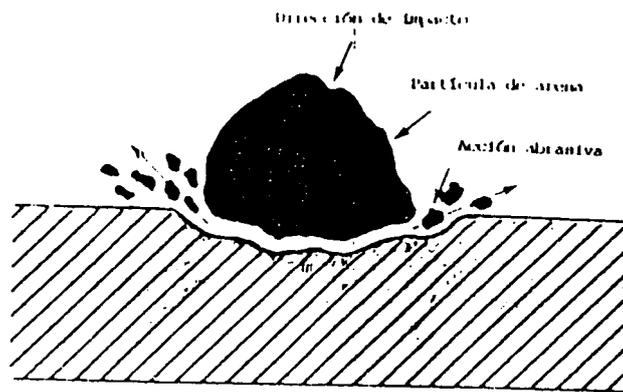
### Incremento porcentual de la superficie en función del tamaño de grano promedio ponderado\*

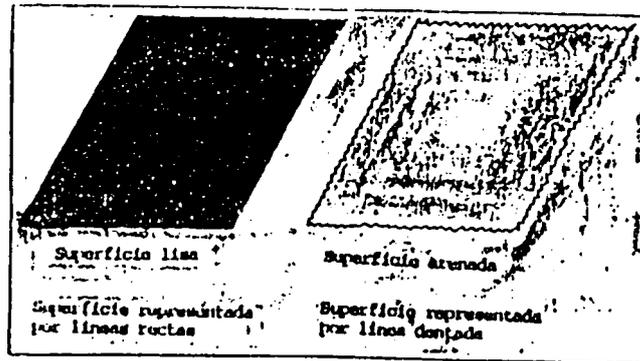
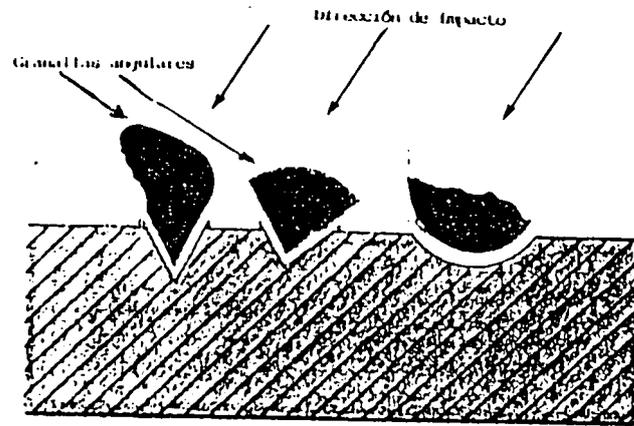
Tamaño de grano ( $\mu\text{m}$ )	Aumento de la superficie (%)
240	19,0
327	21,3
387	33,0
460	27,5
550	40,7
650	43,4
775	52,7
925	61,4
1000	60,7
1000	62,8

\* Para panel de acero SAE 1010 y granallas de acero

# **MATERIALES ABRASIVOS ELABORADOS**

**Características técnicas de las granallas  
utilizadas en operaciones dentro de  
circuitos cerrados**





## **GRANALLADO**

Considerando los diferentes materiales abrasivos las granallas son las que mejor modifican las propiedades mecánicas superficiales del material de base.

### **ACCION SOBRE LA GRANALLA**

Los impactos repetidos sobre la superficie de base provocan su rotura y desgaste por fragmentación, ya que la periferia del grano se descascara reduciendo su diámetro.

### **APTITUD DE LA GRANALLA**

Se define por dos factores:

- Resistencia al desgaste.
- Fuerza de impacto que producen.

# VARIABLES DE OPERACION

*Inherentes al abrasivo:*

Tamaño

Dureza

Forma

*Tamaño:*

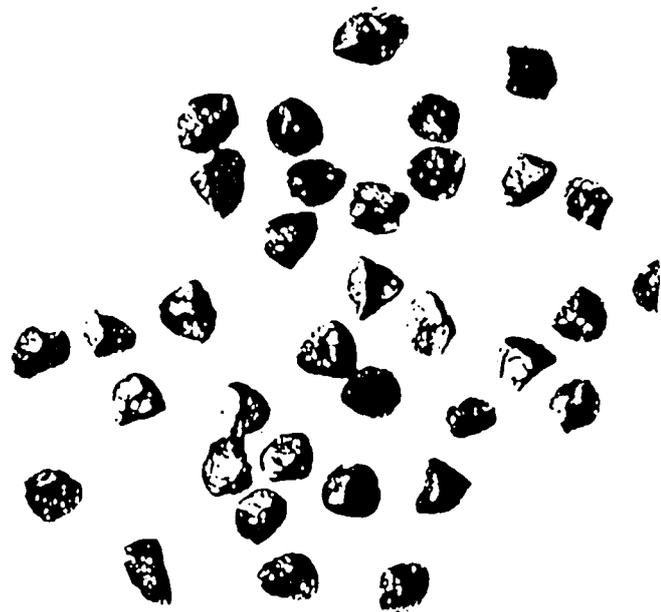
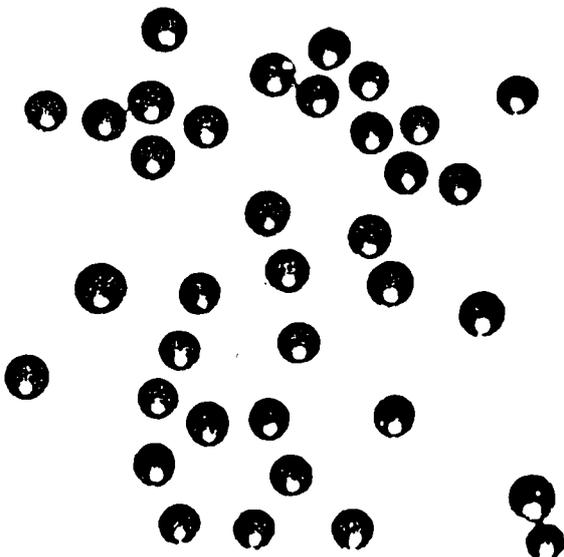
A menor tamaño menor rugosidad y mayor grado de limpieza

A mayor tamaño mayor rugosidad y menor grado de limpieza

*Dureza:*

A mayor dureza mayor velocidad de limpieza, ya que hay menor desgaste y mayor frecuencia en la modificación y cambio-de la mezcla operativa

## FORMA



# VARIABLES DE OPERACION

*Inherentes al equipo o a la operación:*

Inclinación de la boquilla

Diámetro de la boquilla

Presión de impulsión

Volumen de aire

Distancia al objeto

## INCLINACION DE LA BOQUILLA

Mejor grado de limpieza y rugosidad

Diámetro de boquilla, mm	Angulo de ataque, °	Presión de impulsión, Kcm <sup>-2</sup>
12,7	90 y 45	5 y 7
12,7	90 y 45	7
19,0		
12,7	90	5 y 7
19,0		

Volumen de aire = constante

Distancia al objeto = 70 mm

## CALCULO DEL DESGASTE

Se mide por las variaciones de los porcentajes retenidos en cada tamiz respecto de la mezcla original. Se toma para el cálculo la mayor diferencia de todas las encontradas.

$$A = \sum_{i=1}^F \frac{R_D}{R_0} R_d$$

$R_D$  = g de granalla del valor de referencia

$R_0$  = cantidad de la mezcla original en el tamiz considerado

$R_d$  = fracción en peso del material original retenido en cada tamiz

## RENDIMIENTO

Mezcla original: 100 g

Superficie: 9,6 m<sup>2</sup>

Cantidad total a reponer: 75,23 g

Cantidad perdida: 24,77 g

Rendimiento por unidad de superficie: 74 %



# **FACTORES DE LOS QUE DEPENDE EL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA PROTECTOR**

## **Factores directos**

- 1. Propiedades físicas y químicas de las pinturas.**
- 2. Esquema protector seleccionado y pinturas que lo constituyen.**
- 3. Espesor de película obtenido y uniformidad del mismo.**
- 4. Método de aplicación seleccionado.**
- 5. Calidad de la mano de obra de aplicación.**
- 6. Método de preparación de superficie. Grado de limpieza y rugosidad.**

## **Factores indirectos**

- 7. Tipo y naturaleza del sustrato (madera, hormigón, acero, aluminio, etc)**
- 8. Diseño de la estructura.**
- 9. Características del medio agresivo (atmosfera, agua de mar, reactivos químicos).**

# **SISTEMAS DE PINTURAS Y ESQUEMAS DE PINTADO**

**Estos términos no son sinónimos.**

**SISTEMA:** Se define fundamentalmente por la composición química del ligante, lo que establece el mecanismo de secado.

**Sistema alquídico   Sistema epoxídico   Sistema vinílico**

**No se hace referencia al número de capas, espesor de cada una y espesor total de película. Tampoco define el tipo y grado de preparación de superficie.**

## **CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE PINTURAS**

### **1. Sistema homogéneo:**

**Imprimación epoxídica con cinc en polvo  
(epoxi-zinc rich primer)**

**Pintura intermedia epoxídica**

**Pintura de terminación epoxídica**

### **2. Sistema heterogéneo:**

**Epoxy poliamida bituminosa de alto espesor**

**Pintura intermedia inerte de caucho clorado**

**Pintura de terminación de caucho clorado**

**ESQUEMA:** Define el conjunto de los componentes en cuanto a ligante, pigmentación, número de capas de cada uno, espesores parciales de cada capa y espesor total.

**Establece:**

**Método y grado de preparación de la superficie.**

**Método y condiciones de aplicación.**

### **CLASIFICACION**

Esquema de pintado homogéneo

Espesor total: 200  $\mu\text{m}$ .



-Arenado a grado Sa 2 ½ Norma Sueca SIS 05 59 00 - 1967.

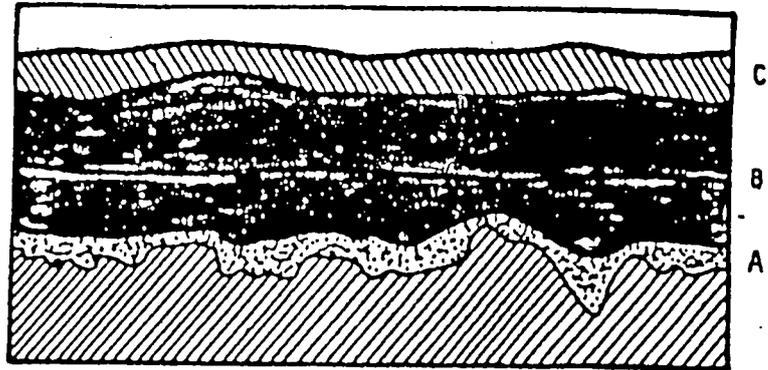
A.- 1 capa, 50  $\mu\text{m}$ : Pintura anticorrosiva de fondo epoxi-minio

B.- 2 capas, 50  $\mu\text{m}$  cada una (100  $\mu\text{m}$  total): Pintura intermedia epoxi-óxido de hierro rojo con color diferencial.

C.- 1 capa, 50  $\mu\text{m}$ : Pintura de terminación epoxi-bióxido de titanio.

## Esquema de pintado heterogéneo

Espesor total: 200  $\mu\text{m}$ .



- Arenado a grado Sa 2 ½ de la norma SIS 05 59 00 - 1967.

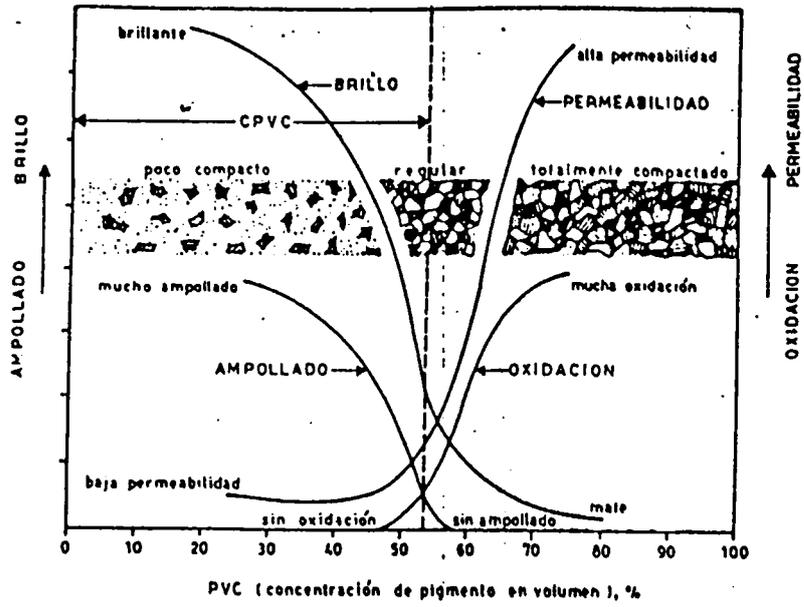
A.- 1 capa, 50  $\mu\text{m}$ : imprimación anticorrosiva cinc-rich primer epoxidico.

B.- 2 capas, 50  $\mu\text{m}$  cada una (100  $\mu\text{m}$  total): Pintura Intermedia inerte  
caucho clorado-oxido de hierro rojo.

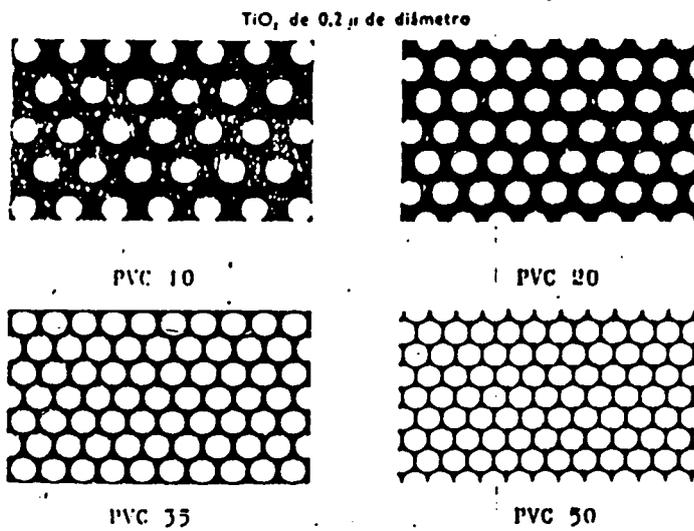
C.- 1 capa, 50  $\mu\text{m}$ : Pintura de terminación caucho clorado-bioxido de titanio.

**El esquema de pintado debe diseñarse en función de:**

1. Tiempo disponible antes de la entrada en servicio.
2. Complejidad de la estructura.
3. Tipo y naturaleza de la superficie de base.
4. Estado de la superficie de base
5. Facilidad en la preparación de superficies.
6. Espesor mínimo aconsejado para las condiciones de servicio.



- Efecto de la concentración de pigmento en volumen sobre las propiedades de una pintura



- Representación de la separación entre partículas para diversas concentraciones de pigmento (PVC 10, 20, 35 y 50 respectivamente)

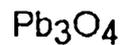
# COMPONENTES DEL ESQUEMA

## IMPRIMACIONES Y FONDOS

### A base de pigmentos inhibidores

#### Pigmentos básicos

Minio



#### Pigmentos solubles

Cromato de cinc



Tetraoxicromato de cinc



La acción inhibidora del minio puede atribuirse a:

1. Buena distribución del tamaño de partícula.
2. Alcalinidad residual (extracto en agua destilada da pH 9,6).
3. Formación de jabones intermedios por reacción con la resina constituyente del ligante.
4. Formación de una película de plumboferrita



por reacción con el hierro o los óxidos de hierro de la base.

La acción inhibidora de los cromatos puede atribuirse a:

1. Los cromatos son solubilizados por el agua que atraviesa la película.
2. Se obtienen soluciones de anión cromato que, en contacto con el metal inhiben los procesos de corrosión.
3. Por contener óxido de cinc en su estructura se obtiene un medio básico que incrementa la protección.
4. El cromato se emplea en pinturas para exterior y el tetraoxicromato para fondos de inmersión continua.

## A base de cinc metálico

Zinc-rich orgánicos

Zinc-rich inorgánicos

Caucho clorado

Silicatos alcalinos

Epoxídicos

Silicatos de etilo

## Zinc - rich orgánicos

1. El cinc actúa en contacto con el hierro como ánodo de sacrificio, confiriendo en principio protección catódica.
2. Los ligantes mencionados tienen buenas propiedades dieléctricas y se agregan a la formulación en cantidades reducidas.
3. Esto unido al alto contenido de cinc de la película (90-95% p/p), aseguran un contacto continuo entre partículas de pigmento y por lo tanto, buena conductividad eléctrica.
4. La protección catódica se produce en la etapa inicial, en especial cuando el film es más poroso y en primers de bajo espesor.
5. Posteriormente los productos de reacción del cinc y del dióxido de carbono del aire obturan los poros y aumentan la impermeabilidad.
- 6.- Es muy efectivo sin pintura de terminación en atmósferas poco contaminadas y de baja humedad relativa.
7. En atmósferas industriales muy contaminadas con dióxido y trióxido de azufre y alta humedad ó en ambiente marino su eficacia decae por formación de compuestos solubles.

## Solubilidad de compuestos de cinc

Compuesto	Solubilidad en agua a 15°, % en peso
Cinc metálico	0,00016
Oxido de cinc	0,0007
Carbonato de cinc	0,001
Sulfato de cinc	86,5
Cloruro de cinc	432,0

## **Recubrimientos Inorgánicos de cinc de un solo envase.**

Son productos basados en silicatos orgánicos solubles en solventes. Su estabilidad en el envase y su comportamiento son similares a los de dos componentes con las ventajas de su fácil manipuleo.

### **Principales características**

**Resistencia a la corrosión:** Muy resistente a la corrosión y de buen comportamiento químico.

**Protección catódica:** Provee protección catódica por poseer matriz y pigmentos conductores, produciéndose la disolución del cinc de manera controlada. Tiene reducida porosidad superficial.

**Resistencia a la Intemperie:** Por la naturaleza inorgánica de su ligante, no es afectado por la luz solar, radiación ultravioleta, lluvias, bacterias, hongos o temperatura.

**Mantiene su adhesión al sustrato.**

**Resistencia a la temperatura.**

**Resistencia a los disolventes.**

**Resistencia a la radiación.**

**Coefficiente de fricción.**

**Abrasión.**

**Resistencia al fuego.**

**Soldabilidad.**

Para exposición a la intemperie se emplean frecuentemente los cinc-rich/caucho clorado, los que poseen buenas características de resistencia sin pinturas de terminación.

Los revestimientos epoxídicos constituyen excelentes productos autoimprimantes y de reparación de daños en impimaciones metálicas.

## **Principales características**

**Compatibilidad:** Compatibles con las superficies de acero y las películas orgánicas. Importante en construcciones multisuperficiales.

**Protección catódica:** Se mantiene tanto tiempo como se mantenga el contacto continuo entre partículas.

**Aplicación:** Cubren un amplio rango de condiciones. Puede acelerarse ó retardarse el secado y el curado.

**Resistencia del ligante:** Depende del uso

Caucho clorado y epoxis: Resistencia química.

Cinc-silicona: Resistencia a la temperatura

**Preparación de superficies:** Arenado o granallado.

## **Zinc-rich Inorgánicos**

Los cinc-rich inorgánicos aplicados como una capa simple sobre una superficie limpia, han cambiado el viejo concepto del pintado y repintado de las estructuras en ambientes de alta agresividad.

Pueden estar compuestos por silicatos de sodio, de potasio, de litio, sílice coloidal o silicatos orgánicos hidrolizados.

Son películas en constante cambio, dependiendo de la atmósfera a la que esté expuesta. En ciertos casos puede inactivarse su acción.

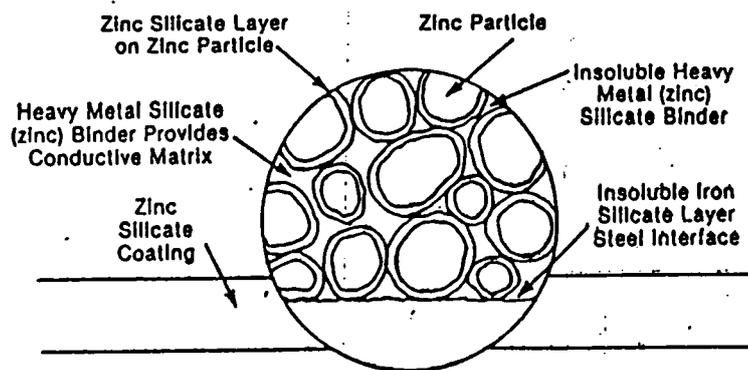
El cinc reacciona con el dióxido de carbono y el oxígeno del aire, para producir carbonato y óxido de cinc respectivamente.

Se manifiesta pues la superficie brillante inicial se transforma en gris con abundante cantidad de sales blancas sobre su superficie. Es una reacción rápida, visible y superficial que solo progresa muy lentamente en profundidad en atmósferas muy agresivas.

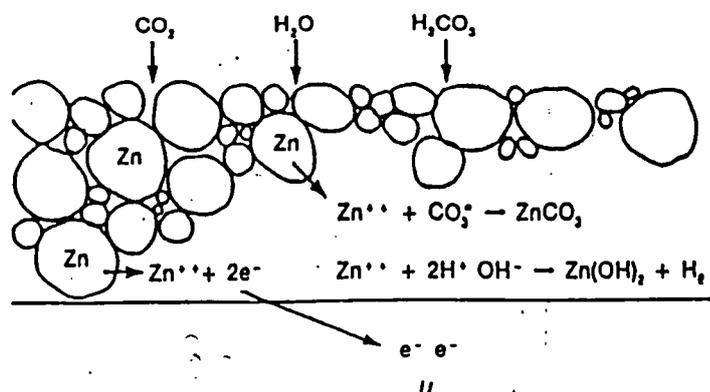
Son reacciones considerablemente más complejas que las que ocurren con los cinc-rich orgánicos y los galvanizados debido a que interviene la química de los silicatos complejos.

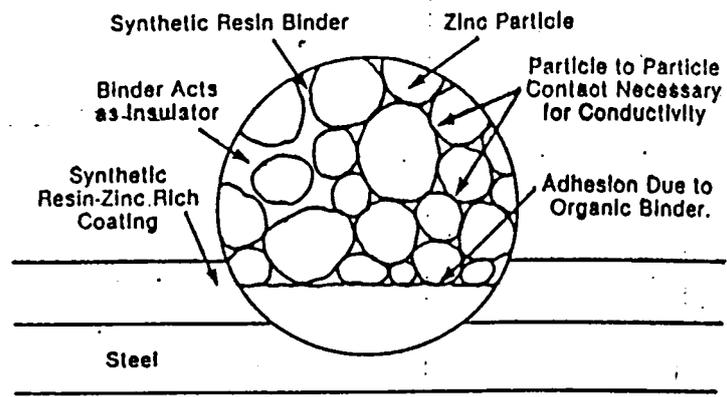
Los productos de reacción finales son similares para todos los silicatos pero diferentes los caminos por los que se producen. Las reacciones que se producen con los silicatos de sodio ó potasio, silicatos de etilo ó sílice coloidal son:

1. Concentración de los componentes por evaporación de agua y deposición sobre la superficie metálica. Interfiere la contaminación de tipo orgánico.
2. Inmediatamente después de la deposición reacciona el cinc con el silicato para formar un silicato de cinc y dar una película sólida insoluble,
3. A lo largo del tiempo (días ó meses) la acción continuada del anhídrido carbónico y del oxígeno completan la formación de una matriz de cinc-silicato.



Se forman iones cinc en la superficie del metal, los que difunden hacia el gel de silicato, formándose una piel de silicato que rodea a las partículas. Continúa luego la reacción con el dióxido de carbono, el oxígeno, agua y ácido carbónico hasta colmar los poros superficiales.

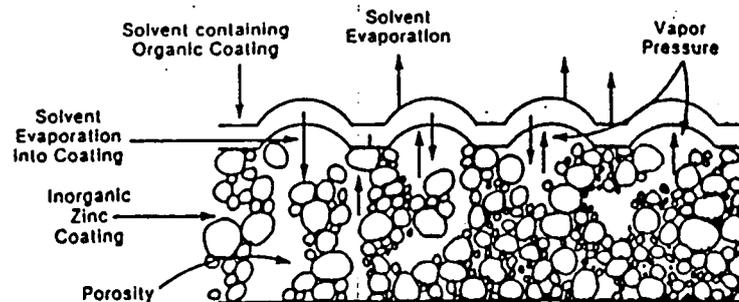




## El recubrimiento de los cinc-rich inorgánicos

Los sistemas de cinc inorgánico recubiertos con películas orgánicas proveen de buena resistencia anticorrosiva y larga duración del esquema en medios de alta agresividad.

Es necesario no recubrir inmediatamente el cinc inorgánico pues puede producirse ampollado debido a la tendencia al rápido secado de muchos recubrimientos orgánicos. Se incrementa si la superficie está caliente.



Para solucionar este problema debe tenerse en cuenta:

1. Puede recubrirse el primer con una terminación libre de disolventes ó una composición de alto sólidos.
2. Si la pintura es de base solvente debe tener su parte volátil disolventes de evaporación lenta.
3. Aplicación de una capa de bajo espesor selladora.
4. Empleo de terminaciones de base acuosa como los modernos recubrimientos de tipo epoxi-acrílicos.

## Curado bajo la capa de terminación

El cinc inorgánico necesita de un curado mínimo para recubrirlo. Se puede acelerar confiriéndole un grado de prehidrólisis adecuado y seleccionando correctamente la pintura de terminación, ya que el mecanismo de curado probable es el siguiente:

1. El ligante de silicato al momento de recubrirlo tiene el mismo grado de prehidrólisis y de formación del polímero inorgánico que al momento de su envasado. Por lo tanto si el recubrimiento es rápido no hay suficiente contacto con la humedad ambiente para lograr un buen curado.

2. Durante el secado duro de la terminación, se produce un intercambio con la humedad ambiente en una cantidad determinada por el grado de permeabilidad de la pintura de terminación.
3. Producido el secado definitivo, la terminación debe ser suficientemente permeable como para permitir el pasaje de suficiente humedad como para completar la hidrólisis del producto.
4. La terminación debe funcionar como una membrana permeable en ambos sentidos para dejar escapar los subproductos volátiles de la reacción (alcohol etílico u otros alcoholes) hacia el exterior sin producir ampollado.

La selección de la terminación debe hacerse en función de su permeabilidad.

### PERMEABILIDAD DE ALGUNOS RECUBRIMIENTOS ORGANICOS

Terminación	Permeabilidad ASTM E-96 g/ 24 h. mm <sup>2</sup> Hg
Epoxi poliamida HB	0.35
Epoxi HB secado rápido	0.30
Epoxy Uretano	0.105
Epoxi bituminoso	0.042
Vinilico alto espesor	0.092
Vinil acrílico	0.115
Caucho clorado	0.089

### Algunas consideraciones sobre aplicación de pinturas.

#### Disolventes y diluyentes

Son los componentes volátiles de los cuales depende la calidad de la película.

## AGLUTINANTE DE PINTURAS ALQUIDICAS

Son poliésteres de alcoholes polihidroxílicos (glicerina) con ácidos policarboxílicos (ftálico), combinados con aceites secantes.

La parte resinosa confiere dureza y durabilidad y el aceite flexibilidad y solubilidad en disolventes comunes.

## AGLUTINANTE DE PINTURAS AL ACEITE

Está constituido por aceites secantes, esteres naturales de ácidos grasos no saturados con glicerina.

Los ácidos grasos componentes de los aceites no saturados son:

Una doble ligadura:	$C_nH_{2n-2}O_2$	(oleico)
Dos dobles ligaduras:	$C_nH_{2n-4}O_2$	(linoleico)
Tres dobles ligaduras:	$C_nH_{2n-6}O_2$	(linolénico)

Las dobles ligaduras son reactivas y de ellas depende el secado y la polimerización.

## **CARACTERISTICAS DE LAS RESINAS ALQUIDICAS DE ACUERDO AL ACEITE UTILIZADO**

- Linaza**            **Buen color, rápido secado, buena resistencia al agua y a la radiación**
- Linaza-tung**    **Regular color, rápido secado, muy buena resistencia al agua y a la radiación**
- Soja**              **Muy buen color, secado lento, poca resistencia al agua y a la radiación**
- Ricino**           **Buen color, rápido secado, muy buena resistencia al agua y a la radiación**

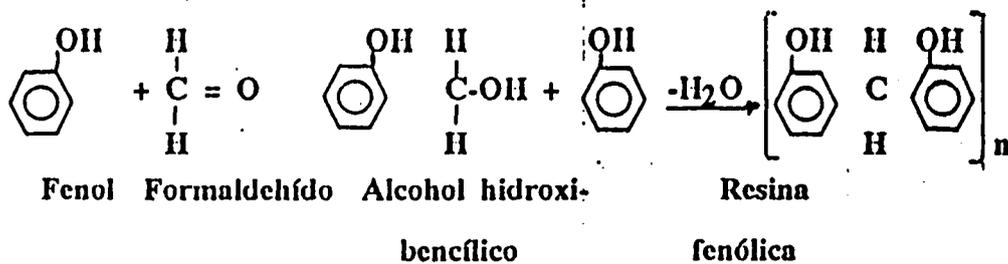
## **AGLUTINANTE DE PINTURAS OLEORRESINOSAS**

**Son aceites vegetales tratados térmicamente (en ausencia de oxígeno) para disminuir la acidez de los ácidos grasos libres y aumentar el grado de polimerización (aumento de la viscosidad).**

**Mejoran la resistencia al agua, al exterior y el brillo, respecto a los aceites crudos.**

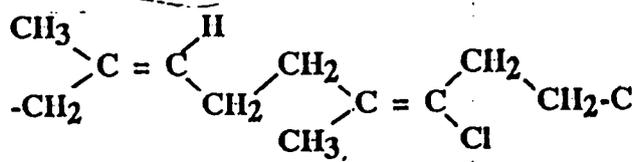
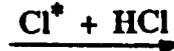
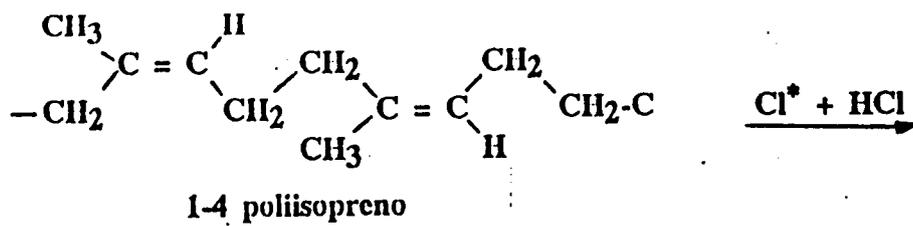
## AGLUTINANTES DE PINTURAS FENOLICAS

Se obtienen a partir de fenol y formaldehído por condensación. Estas resinas se solubilizan en aceites produciendo sustancias filmógenas.



## AGLUTINANTE A BASE DE CAUCHO CLORADO

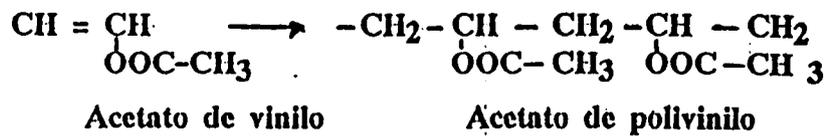
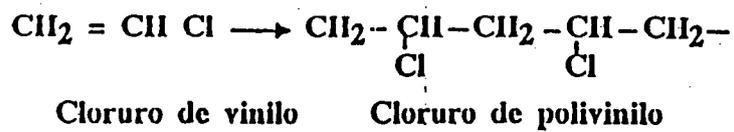
Pueden ser cauchos naturales o sintéticos, modificados por acción del cloro



Son solubles en hidrocarburos aromáticos

## AGLUTINANTE A BASE DE RESINAS VINILICAS

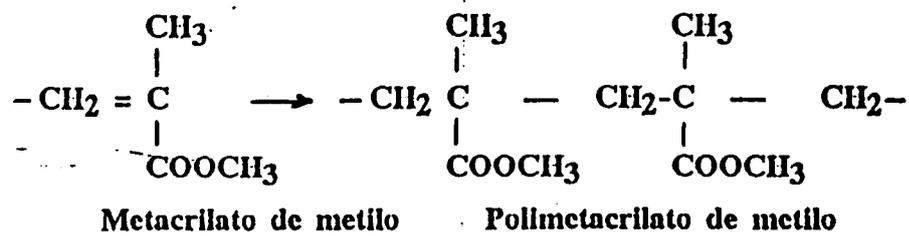
Pueden ser homopolímeros de cloruro o acetato de polivinilo o heteropolímeros de los anteriores



Solubles en mezclas de cetonas e hidrocarburos aromáticos

## AGLUTINANTES A BASE DE RESINAS ACRILICAS

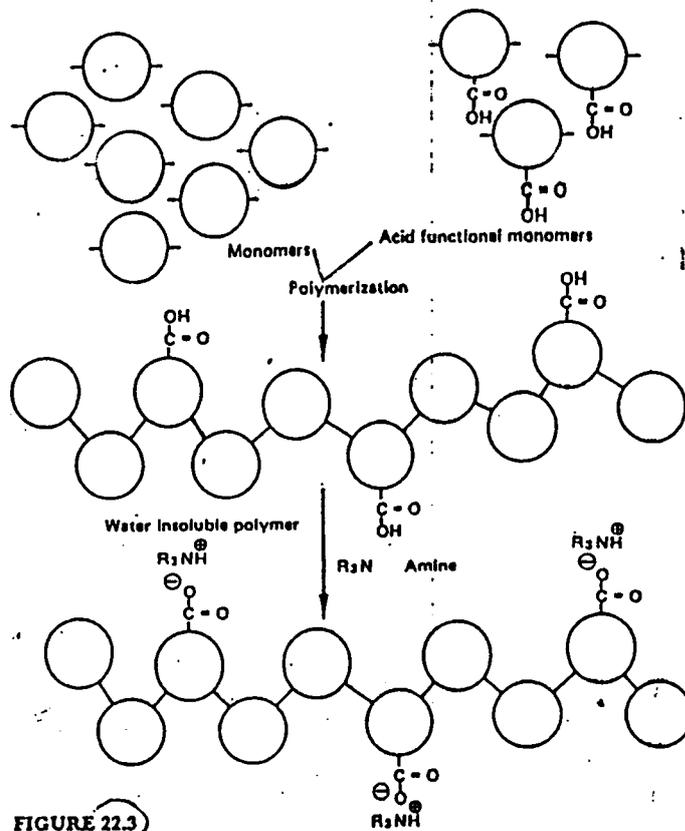
Son polímeros formados por polimerización vinílica.



Muy solubles en hidrocarburos aromáticos

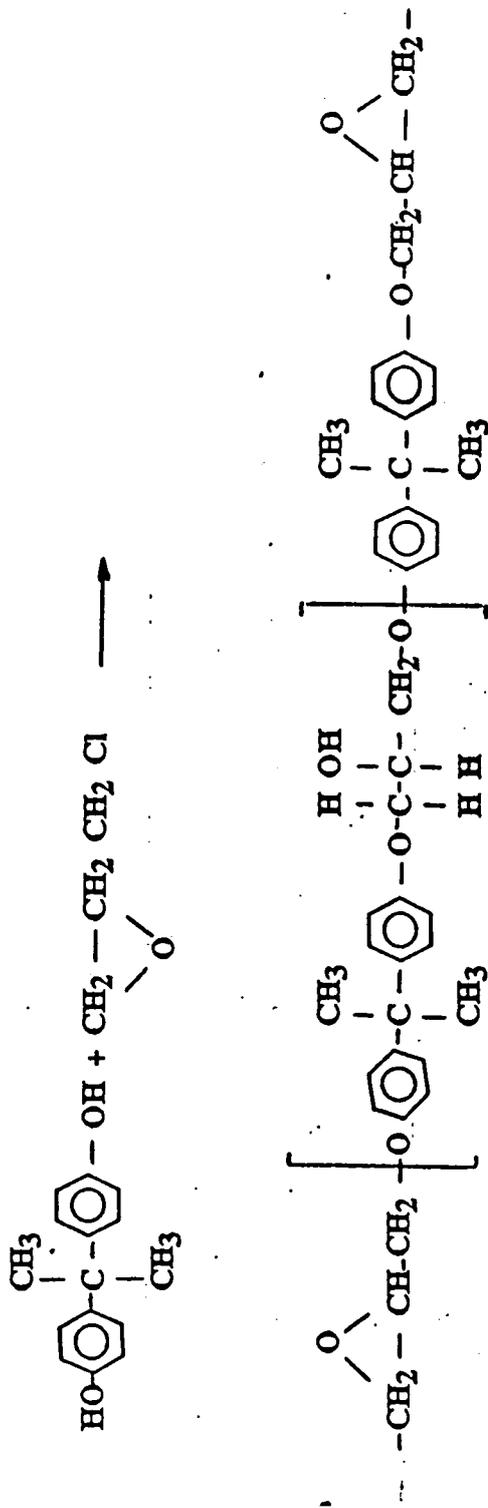
# RESINAS REDUCIBLES CON AGUA

- Se emplean polímeros cuya composición les permite ser diluidos en agua con la asistencia de coalescentes y agentes neutralizantes para formar soluciones transparentes.
- Al formarse la película, el coalescente y el neutralizante se evaporan y el polímero recupera sus características de resistencia.
- Los polímeros solubles provienen de la reacción de un monómero reactivo con otro que contiene grupos ácidos funcionales que se unen por polimerización, y que se solubilizan por posterior neutralización.



## AGLUTINANTES A BASE DE RESINAS EPOXIDICAS

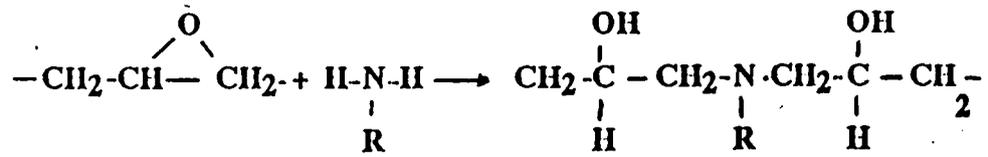
Se forman a partir de bisfenol y epiclohidina



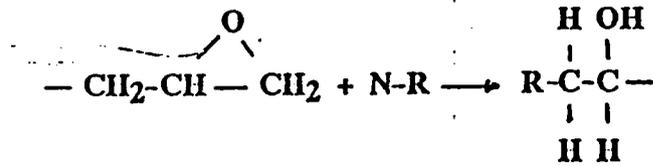
Solubles en mezclas de alcoholes, cetonas e hidrocarburos aromáticos

## CURADO DE LA RESINA EPOXIDICA

Con aminas:

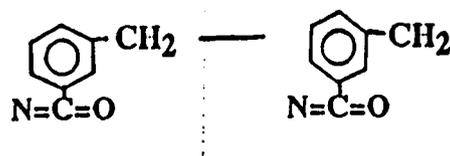


Con amidas:



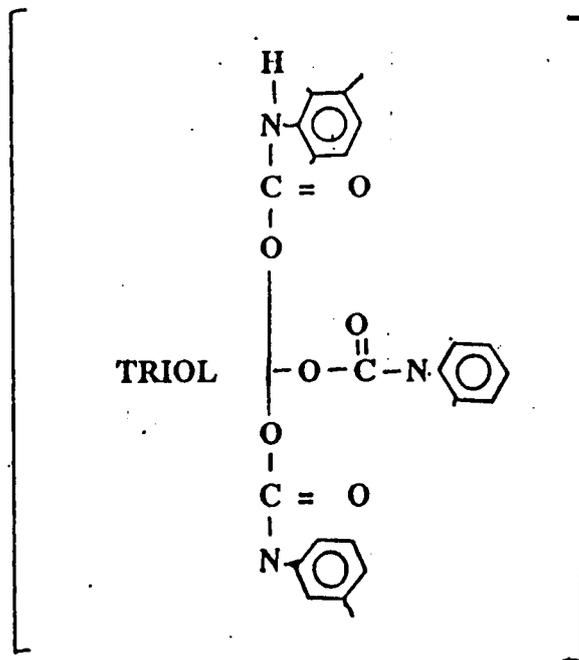
## AGLUTINANTES A BASE DE RESINAS POLIURETANICAS

Se elaboran a partir de isocianatos que por reacciones de adición forman compuestos líquidos.



## CURADO DE LAS RESINAS POLIURETANICAS

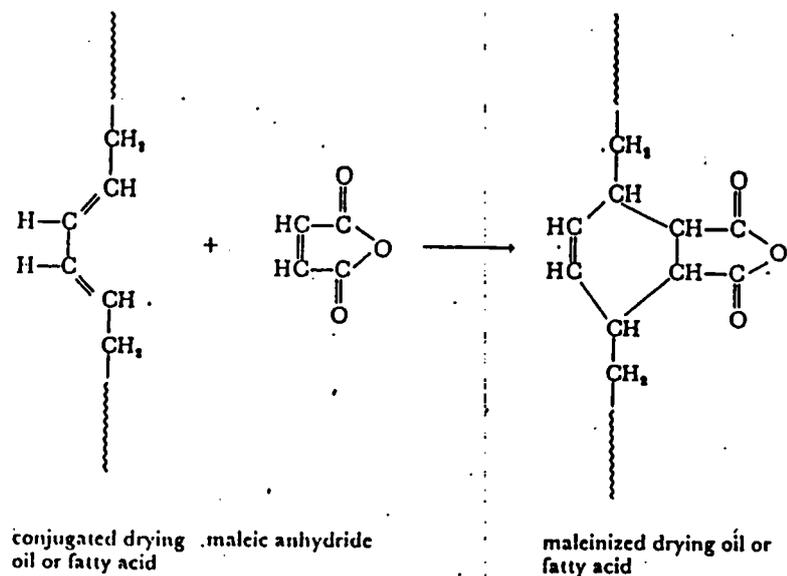
Los grupos isocianatos reaccionan con grupos alcoholes de resinas alquídicas o poliéster formando resinas de poliuretano



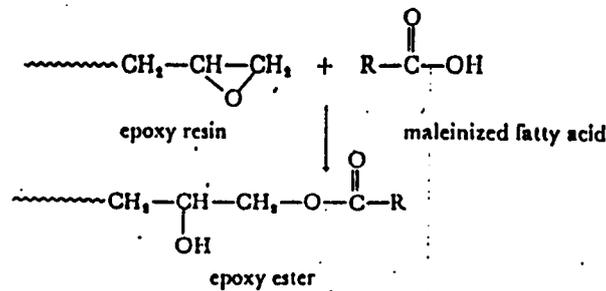
# ACEITES SECANTES MALEINIZADOS

- El anhídrido maleico o el ácido fumárico se unen a la insaturación de los aceites secantes para producir aductos maleicos o <sup>ácidos</sup> fumáricos que contienen grupos carboxílicos libres, los que se neutralizan con amoníaco o aminas, dando jabones solubles. La reacción se realiza entre 210-240°C.

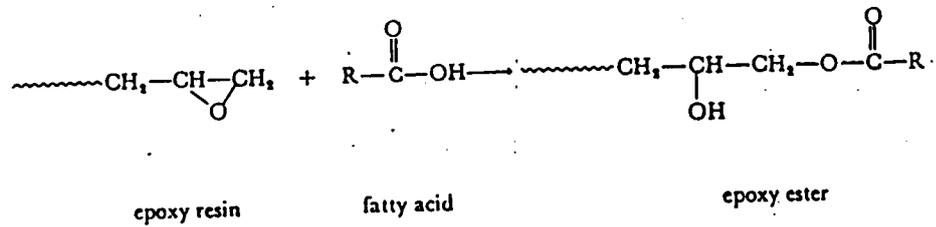
- El aceite maleinizado se hace reaccionar con un ácido dibásico a 175-200°C hasta alcanzar un índice de acidez entre 40 y 60. El producto se enfría y diluye en solventes miscibles con el agua.



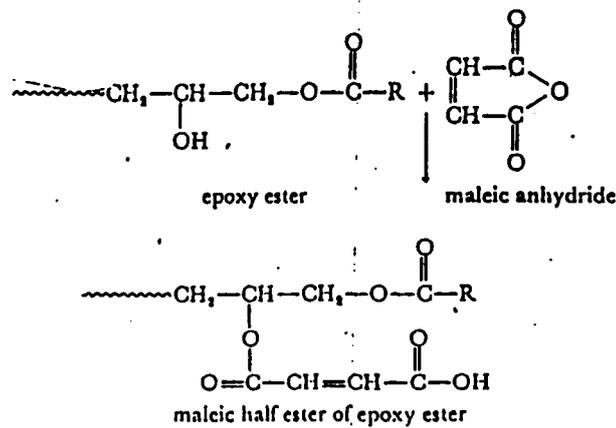
- La segunda etapa es la reacción entre los grupos anhídridos que no han reaccionado con los polioles a reflujo. La reacción se realiza a 200°C y controlando la temperatura asegura la suficiente cantidad de grupos carboxílicos libres para neutralizar.
- La misma reacción se puede realizar con resinas acrílicas, poliésteres, siliconas, etc.
- Las resinas epoxídicas solubles en agua son resinas modificadas para incrementar su PM e introducirle grupos ácidos que lo transforman en un polímero soluble.
- Estas resinas pueden reaccionar con aceites maleinizados:



- La resina epoxídica puede reaccionar con un ácido graso para dar un éster epoxi

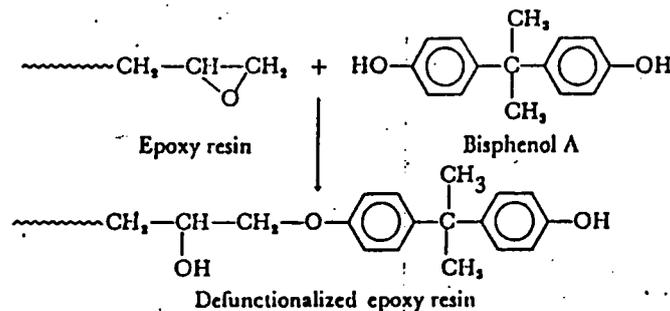


- El éster epoxi reacciona con el anhídrido maleico para dar un medio epoxi-éster al reaccionar con los grupos OH- remanentes y quedando suficientes grupos ácidos para neutralizar.



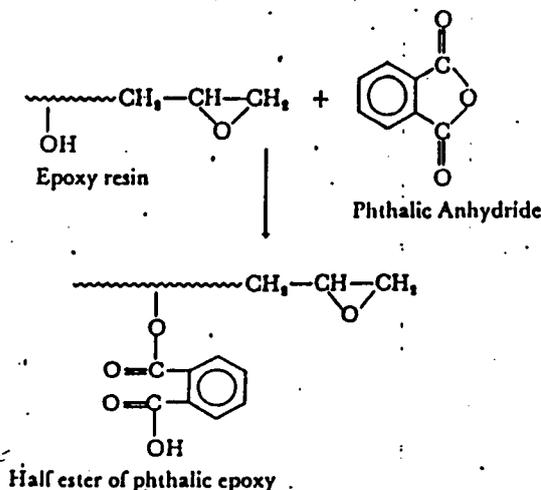
# DESFUNCIONALIZACION DEL ANILLO EPOXI

- Se previene una reacción excesiva sobre el anillo epoxi, produciendo un grado de polimerización controlada con bisfenol A. Sobre los OH- remanentes se introducen ácidos funcionales, anhídridos o aceites maleinizados

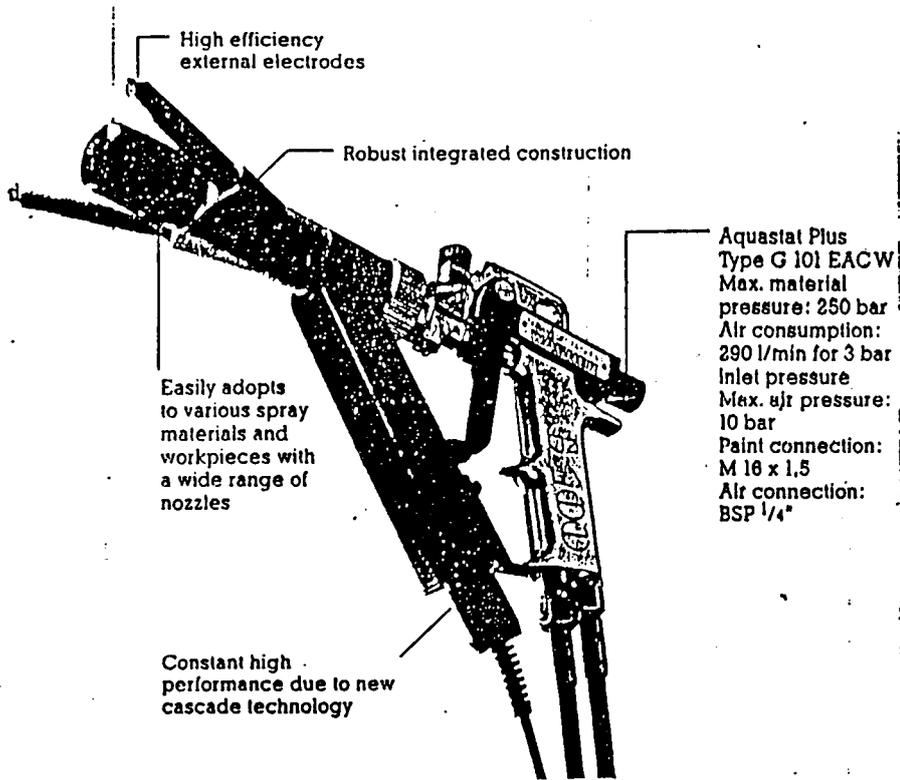


## ANILLO EPOXI SIN MODIFICAR

- La reacción se produce sobre los grupos OH- secundarios de la resina epoxídica, que se esterifican con ácidos y anhídridos di-tri básicos



# APLICACION ELECTROSTATICA



High efficiency  
external electrodes

Robust integrated construction

Easily adapts  
to various spray  
materials and  
workpieces with  
a wide range of  
nozzles

Constant high  
performance due to new  
cascade technology

Aquastat Plus  
Type G 101 EACW  
Max. material  
pressure: 250 bar  
Air consumption:  
290 l/min for 3 bar  
Inlet pressure  
Max. air pressure:  
10 bar  
Paint connection:  
M 18 x 1,5  
Air connection:  
BSP 1/4"

*Windsor Industrial Group*

**PINTURAS EN EMULSION**

**FORMULACIONES ANTICORROSIVAS Y**

**DE TERMINACION**

**Ing. Juan J. Caprari**

**CIDEPINT**  
**Centro de Investigación y Desarrollo**  
**en Tecnología de Pinturas**

**52 e/121 y 122, (1900) La Plata**  
**ARGENTINA**

# RECUBRIMIENTOS DE BASE ACUOSA

Componente principal = Agua

## Ventajas

- Reduce costos
- Buenos caracter organolépticos (incolora e inodora)
  - No es tóxica
  - No es inflamable

## Limitaciones

- Ajuste en la humectación de pigmentos
- Ajuste de las condiciones de nivelado y secado de la película
- Compatibilidad con materiales resinosos
  - Estabilidad en el envase

## Clasificación

- *Pinturas solubles*: el ligante se disuelve en agua
- *Pinturas emulsionadas*: dispersión de una resina en agua
  - *Pinturas reducibles*: disueltas en disolventes pero diluibles con agua

# PINTURA EMULSIONABLE O REDUCIBLE

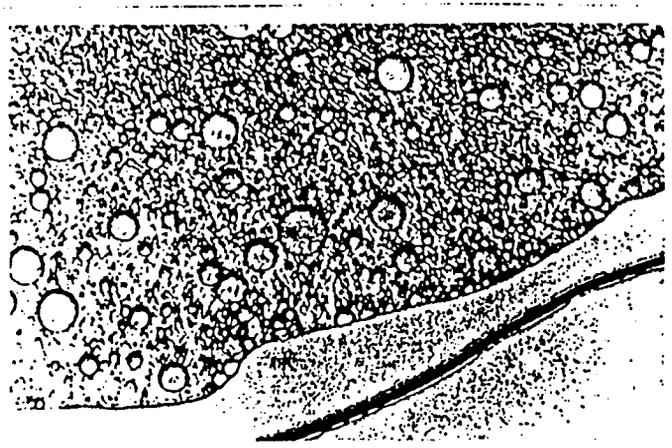
Se presenta en forma de una pasta viscosa opaca, de color blanquecino o ligeramente amarillento, formada por una gran cantidad de gotas de forma esférica y diámetro variable (ligante, fase interna) moviéndose con cierto grado de libertad en un medio líquido (agua, fase externa)

**Fase interna, discontinua o dispersa**

*Ligante:* se encuentra en menor cantidad

**Fase externa, continua o dispersante**

*Agua:* se encuentra en mayor cantidad



## POLIMEROS PARA EMULSIONES

No se usan polímeros puros. Se copolimerizan para regular dureza y flexibilidad.

TIPO DE COMPUESTO	ENDURECEDOR	PLASTIFICANTE
Esteres de vinilo	Acetado de vinilo (VA)	Caprato de vinilo (VCC) Propionato de vinilo (VP)
Esteres acrílicos y metacrílicos	Metil metacrilato (MMA)	Etil acrilato (EA) Butil acrilato (BA) 2-Etilhexil acrilato (2EHA) Butil metacrilato (BMA)
Hidrocarbonados	Estireno (S) Vinil tolueno (VT)	Butadieno (B) Etileno (E) Isobutileno (IB)

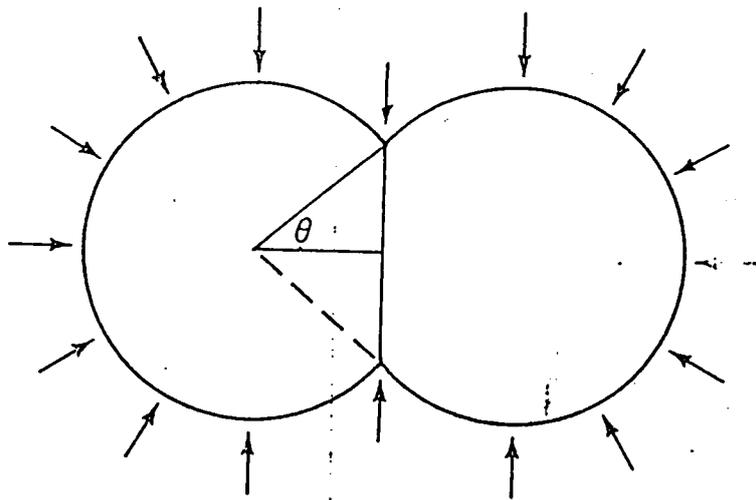
La composición del monómero influye sobre:

- Tamaño de partícula medio
- Rango de tamaño de partícula
  - PM del polímero
- pH y viscosidad de la emulsión
  - Carga de la partícula
    - Adhesión
  - Velocidad de secado al tacto
  - Tolerancia a los disolventes
  - Resistencia al agua
  - Estabilidad en el almacenaje
  - Estabilidad a la temperatura
  - Estabilidad a la dilución
- Estabilidad a la acción mecánica y a la elaboración
  - Uso final del producto

# TEORIAS DE FORMACION DE PELICULA

Dillon, Matheson y Bradford

Postulan que la energía necesaria para que se produzca la disminución del área de la superficie, la proveen las fuerzas de tensión superficial



y su valor viene determinado por

$$\phi^2 = k.r \quad ; \quad k = (\delta\gamma t \pi \eta)$$

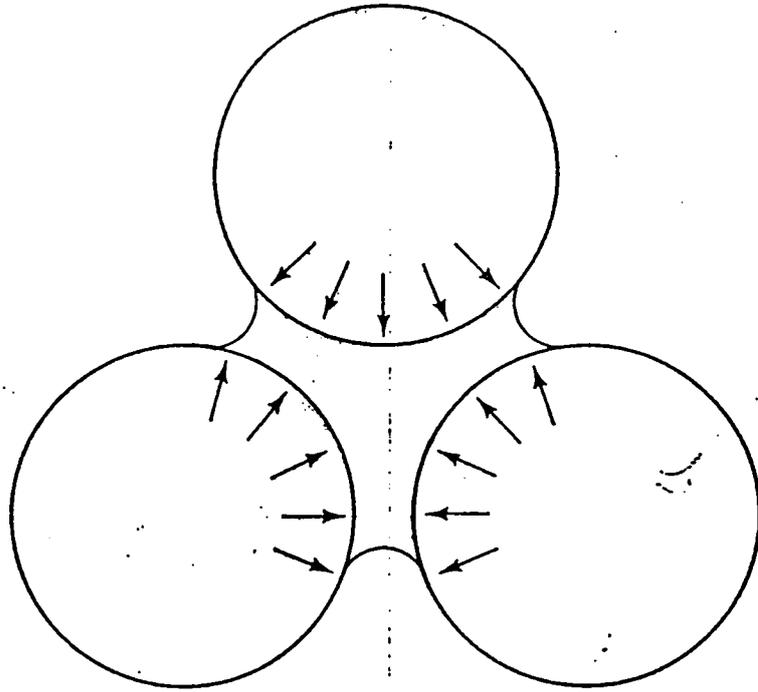
$\phi$  = ángulo de coalescencia

$\eta$  = viscosidad de la partícula

Indica una relación directa entre el ángulo de coalescencia y el radio de la partícula.

## Brown

Las partículas coalescen por la fuerza de presión capilar existente que es suficiente para vencer la resistencia del polímero a la deformación.



- El mecanismo propuesto por Dillon es el que parece representar la formación de una película de látex.
- El mecanismo propuesto por Brown es el que parece representar la formación de una película de pintura reducible con agua.

## PROCESO DE EVAPORACION

**Humedad relativa:** afecta la evaporación del agua y de los coalescentes pero en forma diferente.

### HR baja o moderada

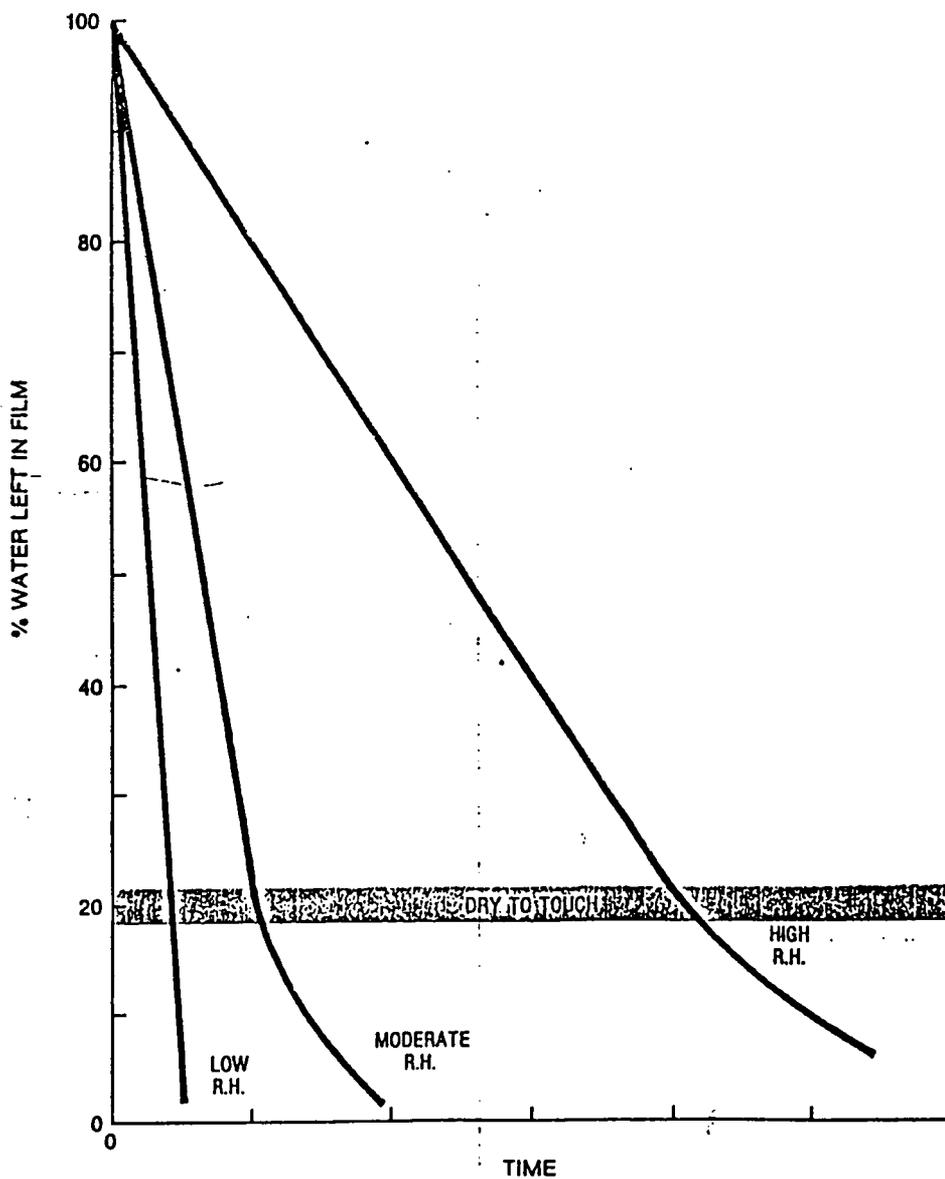
- El agua abandona rápidamente la película, alcanzándose rápidamente también el punto de máximo empaquetamiento.
- La concentración de coalescentes aumenta, la película coalesce rápidamente y el coalescente debe difundir a través de la película seca.
- Se <sup>DISMINUYE</sup>retarda el endurecimiento del film y el secado duro.
- Se obtiene una película final muy buena.

### Alta HR

- El agua se evapora lentamente y el coalescente se va rápidamente por convección.
- El punto de máximo empaquetamiento se alcanza sin coalescente que ablande las partículas para permitir su deformación.
- Se obtienen películas con buen brillo, dureza y flexibilidad pero muy permeables.

## SECADO FORZADO

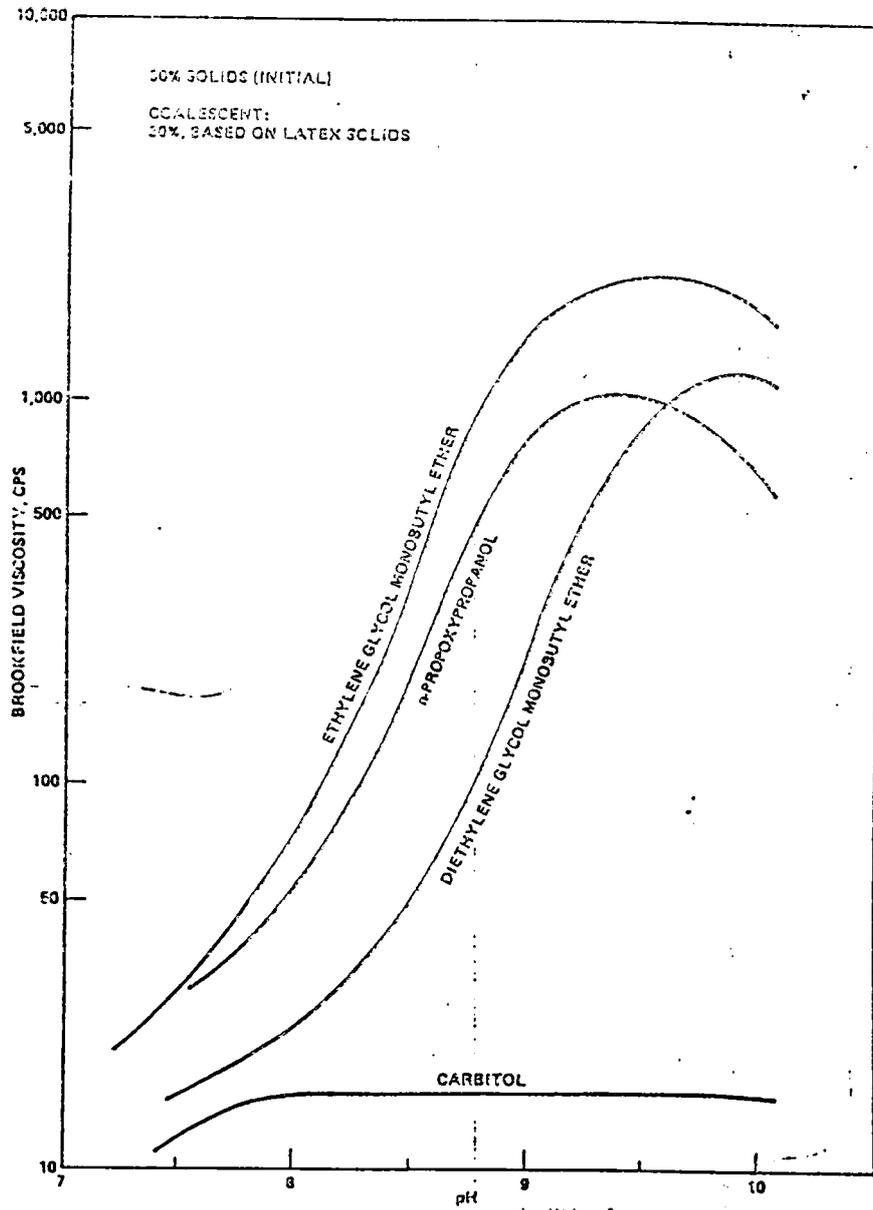
- Reduce la influencia de la HR al reemplazar aire húmedo por aire caliente seco.
- El secado se produce entre 50-80°C.
- Se debe usar coalescentes insolubles en agua y de baja volatilidad.
- El uso de plastificante aumenta la velocidad de formación pero disminuye la dureza.



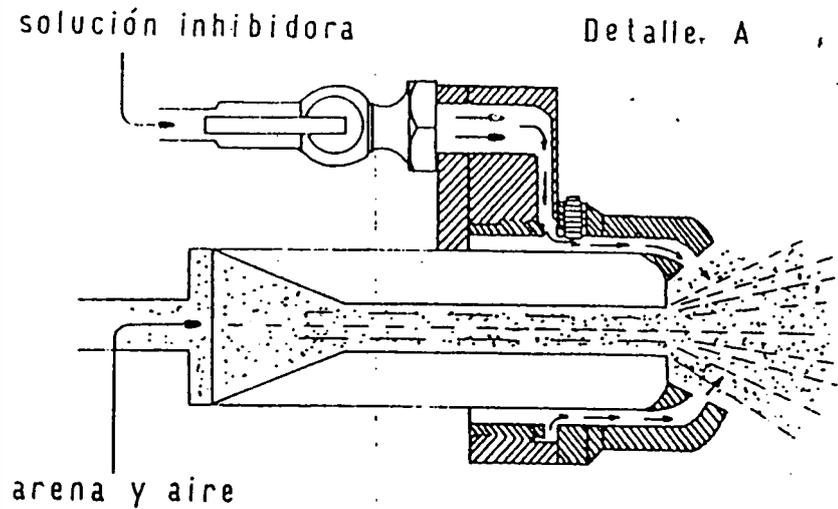
## CONTROL DE LA VISCOSIDAD

- En pinturas anticorrosivas se emplean resinas que poseen mecanismo interno de espesamiento. Contienen ácidos copolimerizados.
- No se usan espesantes externos celulósicos. De ser necesario se reemplazan por poliméricos.
- El mecanismo se activa por dos vías:  
*Selección del tipo y contenido de coalescente*  
*Selección del tipo y contenido de aminas*
- Se emplea amoníaco, trietilamina (TEA) o dimetil amino etano (DMAE). Neutralizan los grupos carboxílicos, cambiando la funcionalidad de ácido carboxílico a una carboxilada (salificada)
- La sal solvatada por el agua se distiende y aumenta su volumen, aumentando la viscosidad.
- Es preferible usar amoníaco que se evapora completamente. Pequeñas cantidades de TEA o DMAE son retenidas por la película por largo tiempo, disminuyendo su resistencia al agua.

# EFEECTO DEL TIPO DE COALESCENTE



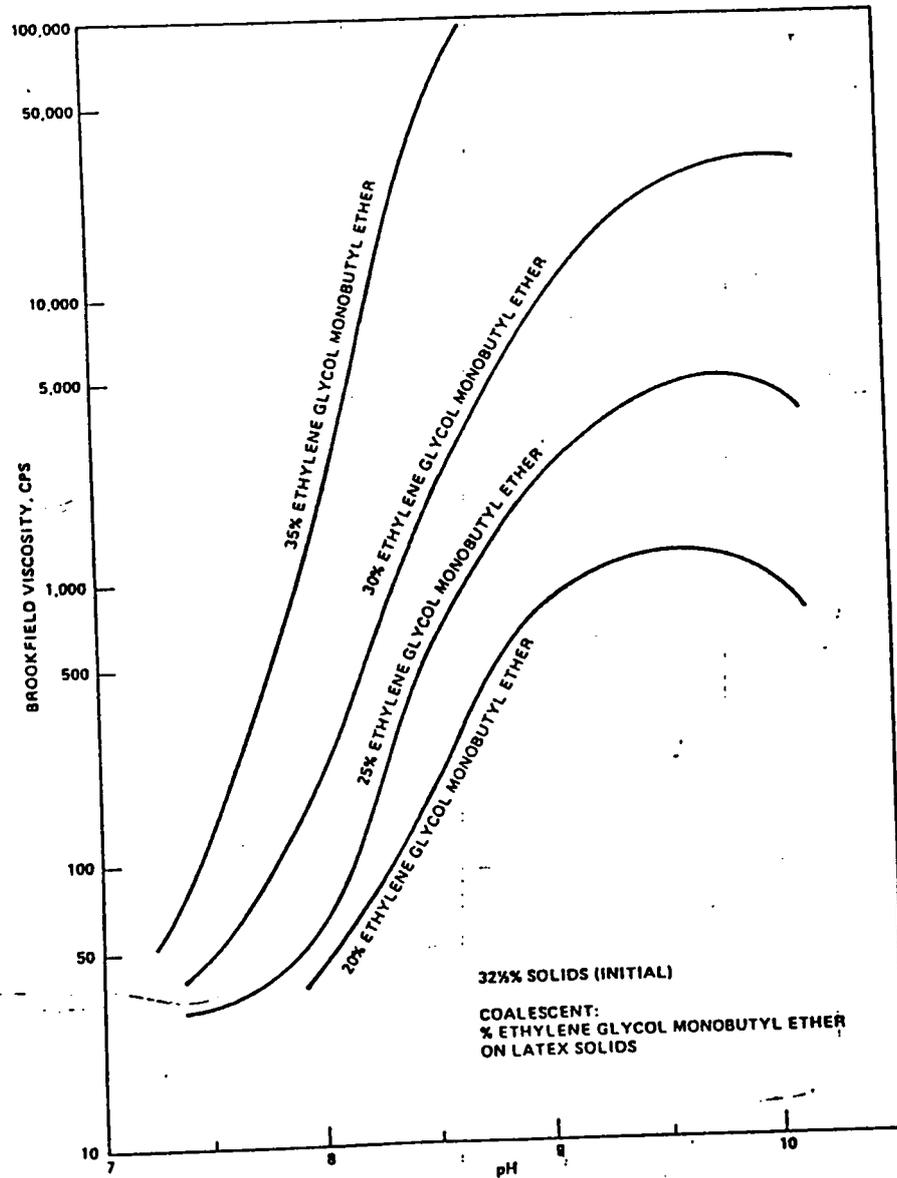
## DETALLE DE BOQUILLA



## CONDICIONES DE TRABAJO

- Boquilla de arenado: diámetro interno 12,8 mm
- Distancia boquilla-sustrato: 80 - 100 mm
- Angulo de incidencia: 90° (sistema chorro de arena inhibidor)
- Superficie tratada: 450 cm<sup>2</sup>
- Tiempo de tratamiento: 5 minutos
- Consumo de materiales por formulación:
  - . Arena: 1,5 litros
  - . Solución inhibidora: 2,5 litros

# EFFECTO DE LA CONCENTRACION DE COALESCENTE



# PROPIEDADES DE LOS COALESCENTES

COALESCENTE	VOLATILIDAD (BuAc = 100)	SOLUBILIDAD % a 20°C	
		En agua	Agua en
<b>COALESCENTES RAPIDOS</b>			
Etilenglicol monobutil eter	6	CS	CS
Propilen glicol n-butil eter	7	6,4	15,5
Propilen glicol n-propil eter	21	CS	CS
Propilen glicol terbutil eter	25	14,5	20,1
<b>COALESCENTES LENTOS</b>			
Alcohol ester	0,2	I	0,9
Diutilen glicol monobutil eter	0,3	CS	CS
Dipropilen glicol metil eter	2	CS	CS

I = Insoluble; CS: Completamente Soluble

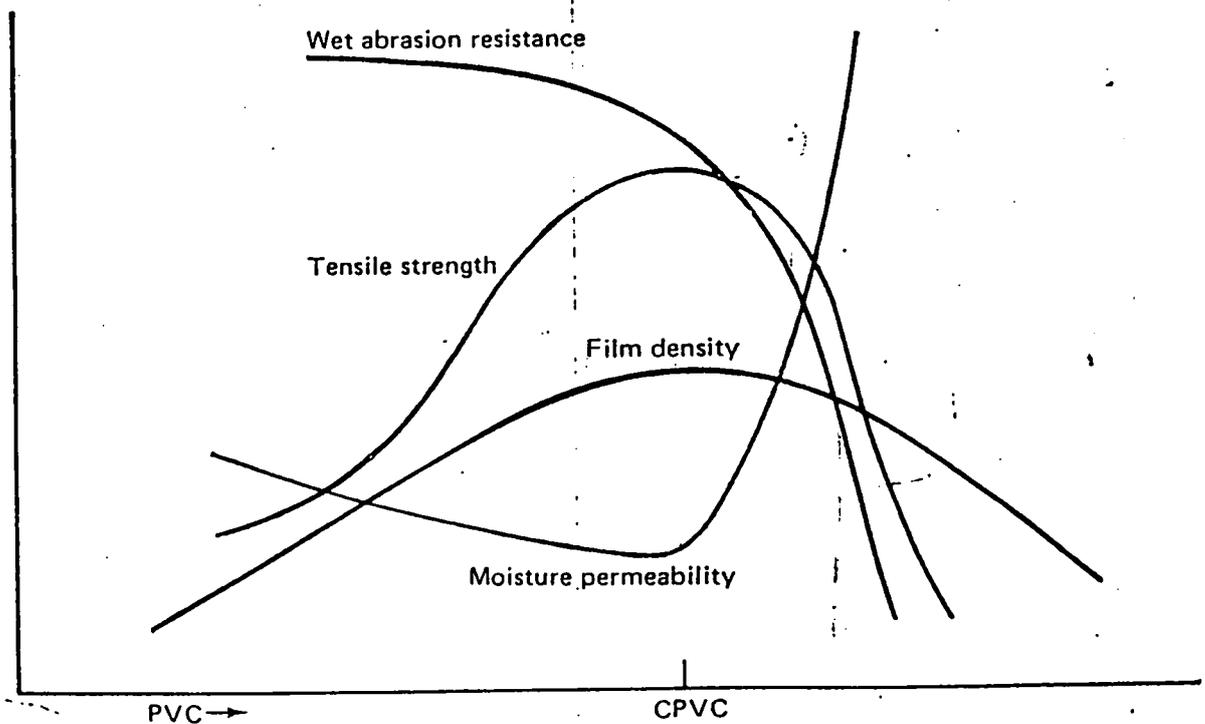
## PLASTIFICANTES

- Asegurar una buena formación de la película. Se los considera coalescentes no volátiles.
- Protegen contra altos niveles de HR.
- Concentración: 5-10 % sobre sólidos resina.
- Se emplean: Ftalato de dibutilo y ftalato de butil bencilo

# PIGMENTOS

- Intervienen en el mecanismo de secado en el que no interfieren si el valor del PVC está por debajo del CPVC.
- No deben aumentar la tensión superficial del sistema para no interferir en la tendencia a la deformación del polímero.
- Algunos pigmentos como el  $\text{TiO}_2$  tienen tendencia a absorber materiales hidrofílicos como los espesantes. Se pueden formar aglomeraciones de espesante-pigmento.

## Variación de propiedades con el PVC



## FACTORES QUE AFECTAN AL CPVC

- Formular en los alrededores del CPVC es crítico para obtener una buena película.
- El ligante está compuesto por partículas discretas de polímero que compiten por el lugar dentro del empaquetamiento con las partículas de pigmento.
- Por definición el CPVC depende de las propiedades del polímero y de las partículas de pigmento.
- Alta capacidad de ligamiento en función del tamaño de partícula de la emulsión, la deformabilidad del polímero y capacidad del sistema pigmento-ligante para mantener alto grado de defloculación.
- Esta propiedad se mantiene si:
  - a) el polímero se mantiene deformable y blando
  - b) las partículas de emulsión son pequeñas
  - c) el pigmento se mantiene bien defloculado en el sistema

## EVAPORACION DESDE PELICULAS PIGMENTADAS

- El PVC influye sobre la evaporación de la fase líquida.
- A concentraciones por debajo del PVC las partículas no porosas de pigmento actúan como barrera al pasaje de solvente.
- A concentraciones por encima del CPVC los espacios huecos y la discontinuidad del polímero afecta el pasaje de solvente.
- El punto ideal se encuentra alrededor del CPVC.
- Al pigmentar hay que tener en cuenta:

*Compatibilidad con la emulsión*

*Compatibilidad con los coalescentes*

# FACTORES QUE INFLUYEN

## Substratos absorbentes

- Papel
- Madera
- Cartón
- Mampostería

## Difieren en:

- Composición química
- Textura de la superficie

Para igual composición se tendrán diferentes velocidades de formación de película y diferentes propiedades físicas, químicas y mecánicas

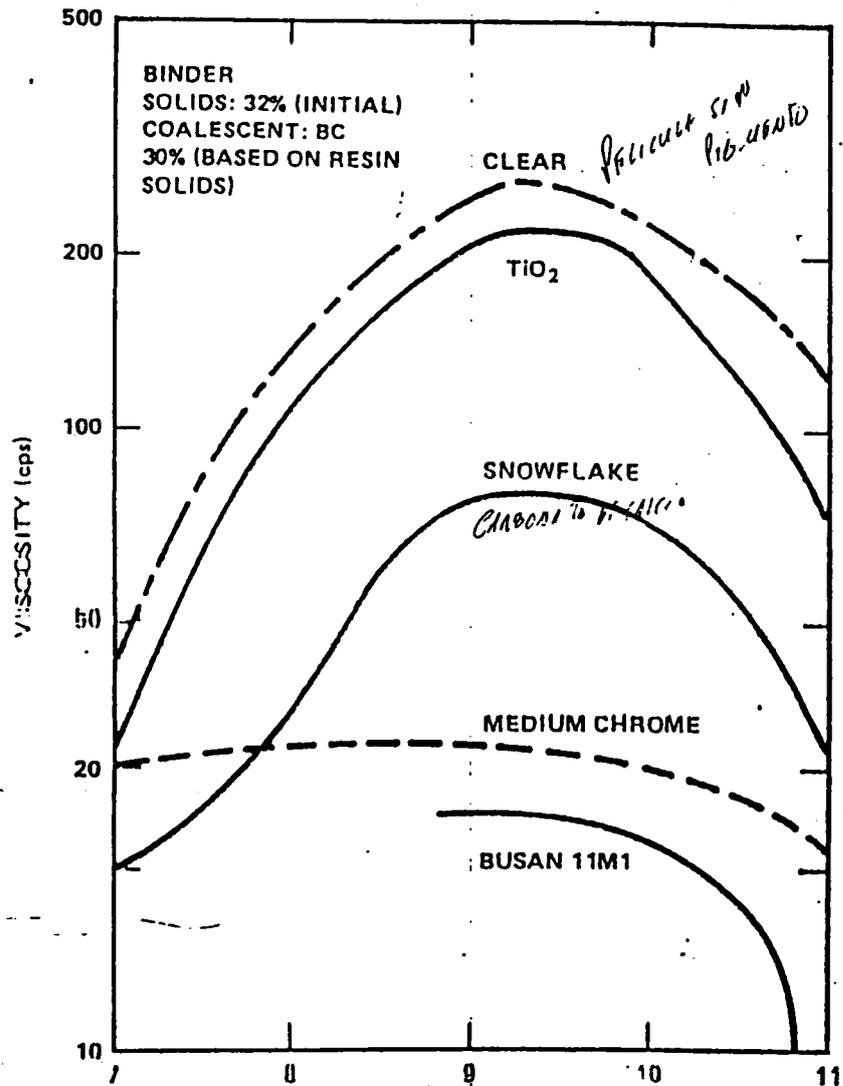
## Absorción de la superficie

- No es ilimitada

La velocidad inicial depende del grado de humedad que tenga la película

- La velocidad disminuye con el tiempo
- A bajas velocidades mejor formación de película. La movilidad de las partículas se mantiene suficiente tiempo como para alcanzar el empaquetamiento óptimo
- A altas velocidades el ligante es casi totalmente absorbido por el sustrato, dando un film con deficientes propiedades
- Algo similar ocurre si el tamaño de poro del sustrato es mayor que el diámetro de las partículas

# EFFECTO DEL TIPO DE PIGMENTO EN LA VISCOSIDAD EN LA VISCOSIDAD



- Los pigmentos con bajos contenido de iones solubles (TiO<sub>2</sub> y CO<sub>3</sub>Ca ppdo) provocan una gran respuesta del látex a la variación de la viscosidad por agregado de amoníaco.
- Los pigmentos con alto contenido de iones solubles tienen un apreciable efecto, logrando un mejor control de la viscosidad por el uso de un tipo y concentración de agente coalescente adecuado.

## AGENTES DISPERSANTES

- Las propiedades de la película dependen de una buena dispersión del pigmento. Los polímeros emulsionados en general no son intrínsecamente buenos medios dispersantes.

- El dispersante asegura: buena desaglomeración de pigmentos, extendedores y cargas y estabilidad del sistema.

- Puede emplearse en combinación con surfactantes o ciertos polímeros dispersantes.

- Los pigmentos orgánicos difíciles de dispersar necesitan de un polímero dispersante y ajuste del pH alrededor de 9.

- Las resinas alquídicas reducibles con agua pueden usarse también como dispersantes, sin exceder el 20 % sobre ligante. Es necesario aumentar en este caso los niveles de aminas y solventes.

- El equipo depende del pigmento:

Dispersora Cowless:  $\text{TiO}_2$  y óxidos de hierro  
Molinos de arena o de bolas: negros y verdes  
ftalo

## ANTIESPUMAS, AYUDA ANTIABRASIVA Y AYUDAS DE FLUJO

- La presencia de tensioactivos y la incorporación de aire por agitación, desarrolla espuma durante la operación de mezclado o dispersión.
- Algunas lacas deben mejorar su resistencia a la abrasión. Se pueden usar siliconas en 0,3-0,5 % sobre sólidos de polímero sin alterar la adhesión intercapas. Se pueden usar ceras microdispersadas en 10-20 % sobre sólidos.
- Cuando se requieren propiedades reológicas determinadas. Se pueden usar siliconas (disminuyen la "piel de naranja").

## **ESPESTANTES EXTERNOS**

- Se usan cuando la viscosidad provista por el mecanismo interno de la resina no se puede desarrollar pues es necesario bajos niveles de pH y coalescentes.
  - Se descartan las celulosas por su sensibilidad al agua y a la degradación microbiológica.
- Se recomiendan polímeros sintéticos que se asocian con el mecanismo interno y evitan los inconvenientes mencionados.

## **CORROSION INSTANTANEA**

- Se produce sobre superficies de acero por contacto con el agua del revestimiento. Desarrolla hidróxidos y óxidos hidratados que pueden provocar la falla del sistema.
- Se puede controlar por el pH (8,5 mínimo).  
Agregando Benzoato de amonio (10 % s.p.)  
Nitrito de sodio  
Benzotriazol (0,1-0,4 % s.p.)  
(solución al 10 % en butil-celcosolve)

# FORMULA TIPICA LATEX PURO

COMPONENTES	CANTIDAD g/100 g
<b>Dispersión</b>	
Butil Cellosolve	4,2
Agua	12,4
Antiespuma	0,1
Dispersante	0,3
Dispersante	1,4
Oxido férrico rojo	7,5
Metaborato de bario	6,2
Talco micronizado	7,7
Barita micronizada	10,8
<hr/>	
<b>Reducción</b>	
Emulsión	38,2
Tensioactivo estabilizador	-0,9
Butil Carbitol	2,4
Ftalato de dibutilo	1,6
Butil Cellosolve	3,8
Amoníaco (14 %)	0,6
Benzoato de amonio (10 %)	1,9
	<hr/>
	100,0

# ORDEN TIPICO DE ADICION

## En pinturas base látex

- Mezclar en Cowless con agitación a mínima velocidad todos los líquidos y aditivos.
- Agregar los pigmentos en su orden creciente de absorción de aceite (Gardner-Coleman)

Barita micronizada	13,5
Oxido férrico rojo	24,0
Metaborato de bario	30,0
Talco micronizado	60,0

y agitar a máxima velocidad 15-30 minutos hasta lectura adecuada de cuña de molienda.

- Agregar la reducción a baja velocidad controlando con cuña el proceso y en el orden que está incluido en la fórmula.

# FORMULA TIPICA LATEX-ALQUID REDUCIBLE

COMPONENTES	CANTIDAD g/100 g
<b>Mezclar con buena agitación</b>	
Resina alquídica reducible	10,6
Secante 1	0,2
Secante 2	0,4
Amoníaco 28 %	0,3
Agua	16,8
Antiespuma	0,2
Negro de humo	1,6
<hr/>	
<b>Moler en molino de bolas a 7-7,5 cuña Hegman y agregar en el orden dado con buena agitación.</b>	
Resina alquídica reducible	17,6
Amoníaco 28 %                      Premezclar*	0,4
Agua	20,9
<hr/>	
Látex compatible	21,9
Agua	6,3
Butil carbitol	2,5
Amoníaco al 14 % (pH 7,3-7,5)	---
	100,0

\* Corresponde a una neutralización del 70 % de la resina alquídica reducible.  
pH = 6,0 - 6,3

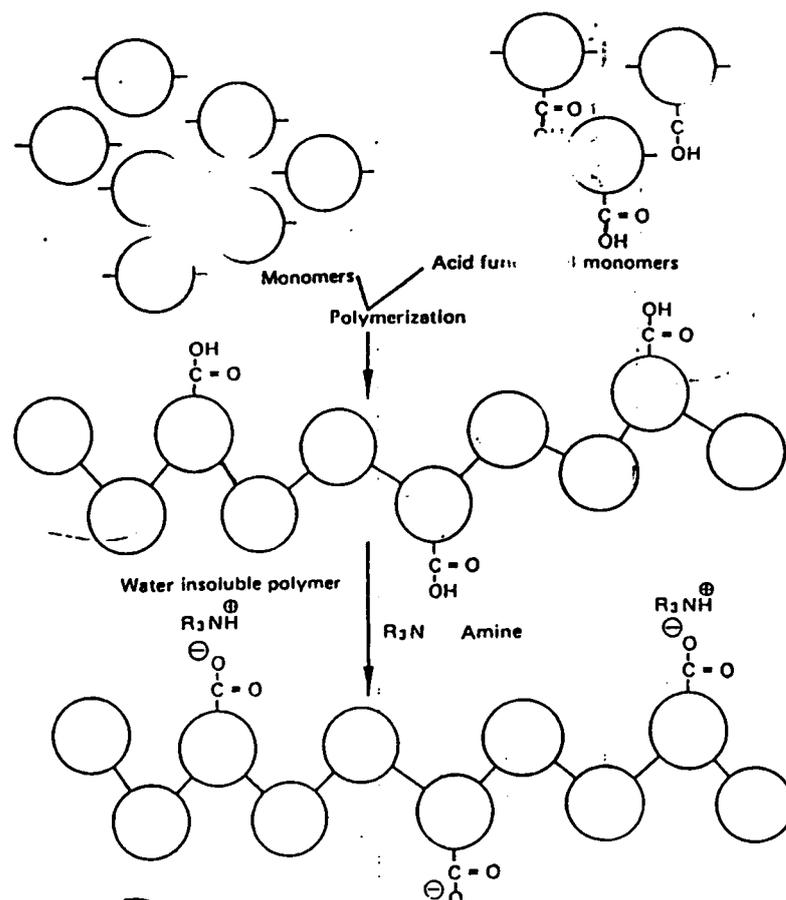
## ORDEN DE AGREGADO

### Mezcla látex-resina alquídica reducible

- Los pigmentos se dispersan en una porción de la resina reducible en agua, que va acompañada por el agua, secante, amoníaco y antiespuma. El agregado se realiza en el orden creciente del valor de la absorción de aceite.
- La resina alquídica remanente se neutraliza al pH que corresponda al porcentaje de neutralización requerido y el premezclado se agrega al recipiente que ya contiene la base de carga. Mezclar.
- Se agrega la emulsión a la mezcla.
- Se incorpora el coalescente y la amina o el amoníaco remanente necesario.

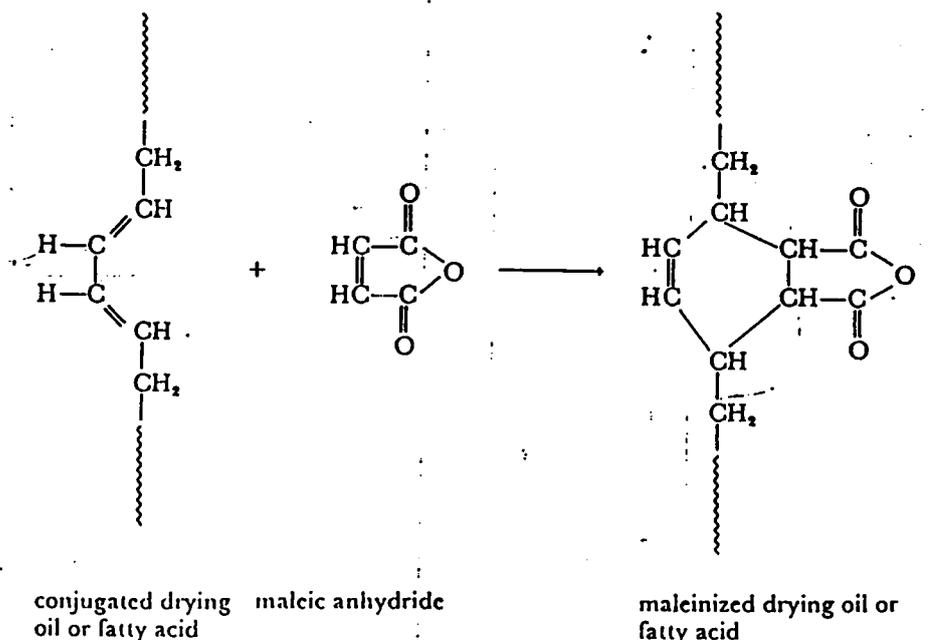
# RESINAS REDUCIBLES CON AGUA

- Se emplean polímeros cuya composición le permite ser diluidos en agua con la asistencia de coalescentes y agentes neutralizantes para formar soluciones transparentes.
- Al formarse la película, el coalescente y el neutralizante se evaporan y el polímero recupera sus características de resistencia.
- Los polímeros solubles provienen de la reacción de un monómero reactivo con otro que contiene grupos ácidos funcionales que se unen por polimerización, y que se solubilizan por posterior neutralización.

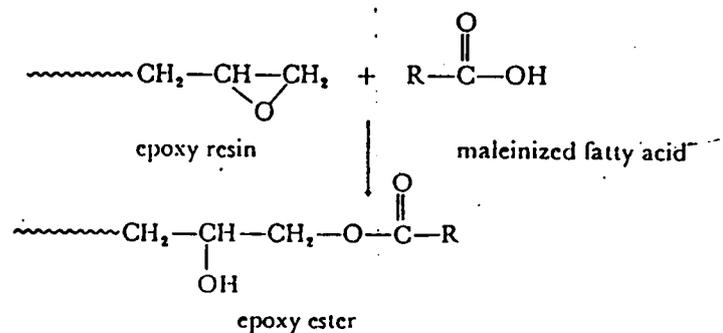


# —ACEITES SECANTES MALEINIZADOS

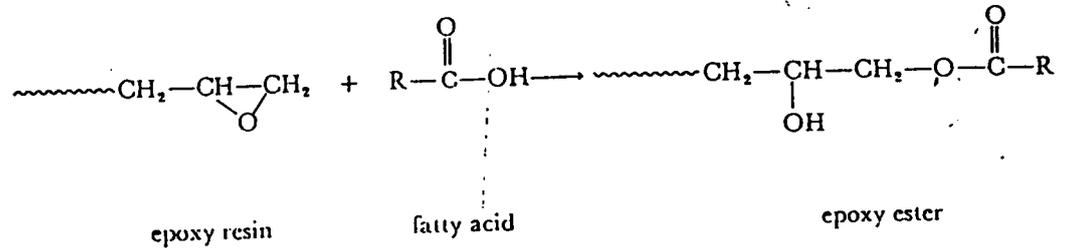
- El anhídrido maleico o el ácido fumárico se unen a la insaturación de los aceites secantes para producir aductos maleicos o <sup>ácidos</sup> fumáricos que contienen grupos carboxílicos libres, los que se neutralizan con amoníaco o aminas, dando jabones solubles. La reacción se realiza entre 210-240°C.
- El aceite maleinizado se hace reaccionar con un ácido dibásico a 175-200°C hasta alcanzar un índice de acidez entre 40 y 60. El producto se enfría y diluye en solventes miscibles con el agua.



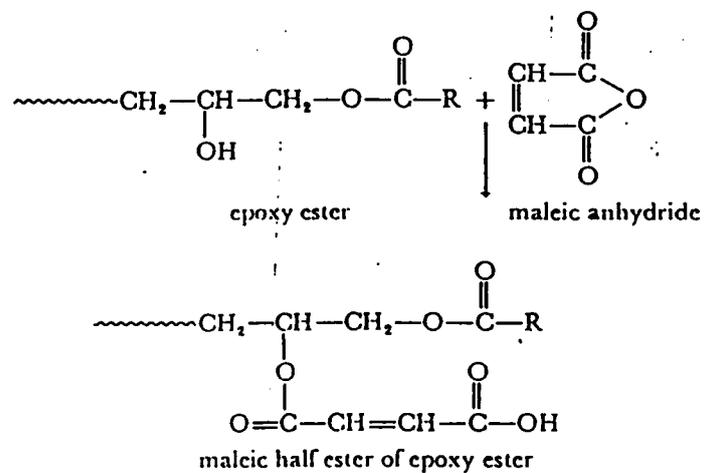
- La segunda etapa es la reacción entre los grupos anhídridos que no han reaccionado con los polioles a reflujo. La reacción se realiza a 200°C y controlando la temperatura asegura la suficiente cantidad de grupos carboxílicos libres para neutralizar.
- La misma reacción se puede realizar con resinas acrílicas, poliésteres, siliconas, etc.
- Las resinas epoxídicas solubles en agua son resinas modificadas para incrementar su PM e introducirle grupos ácidos que lo transforman en un polímero soluble.
- Estas resinas pueden reaccionar con aceites maleinizados:



- La resina epoxídica puede reaccionar con un ácido graso para dar un éster epoxi

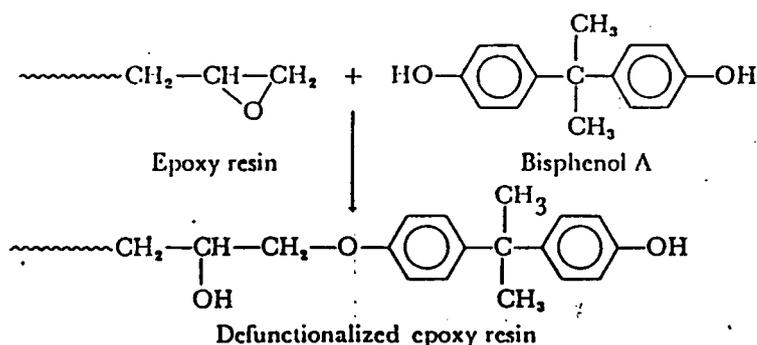


- El éster epoxi reacciona con el anhídrido maleico para dar un medio epoxi-éster al reaccionar con los grupos OH- remanentes y quedando suficientes grupos ácidos para neutralizar.



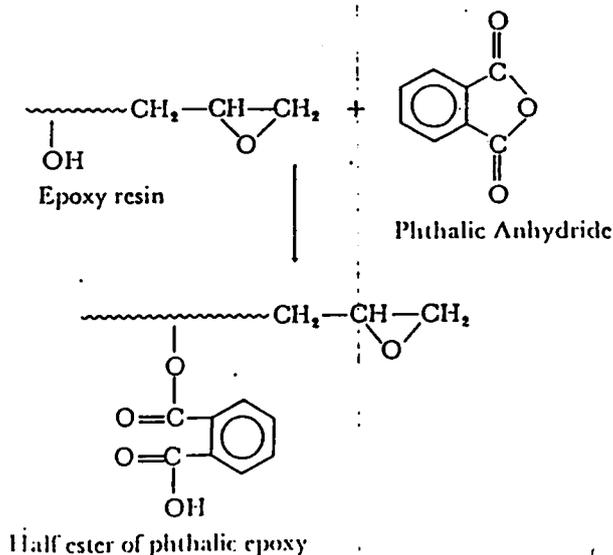
# DESFUNCIONALIZACION DEL ANILLO EPOXI

- Se previene una reacción excesiva sobre el anillo epoxi, produciendo un grado de polimerización controlada con bisfenol A. Sobre los OH- remanentes se introducen ácidos funcionales, anhídridos o aceites maleinizados



## ANILLO EPOXI SIN MODIFICAR

- La reacción se produce sobre los grupos OH- secundarios de la resina epoxídica, que se esterifican con ácidos y anhídridos di-tri básicos



República Argentina  
Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto.  
Dirección de Cooperación para el Desarrollo  
Fondo Argentino de Cooperación Horizontal  
FO-AR

II PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA PARA  
LA INDUSTRIA DE LA PINTURA Y AFINES.

PROYECTO Nº 1175

## APLICACION DE PINTURAS

Ing. Juan J. Caprari

CIDEPINT  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN TECNOLOGIA DE  
PINTURAS  
(CIC-CONICET)

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL POR PINTURAS

Diagramado: Profesora Viviana Segura

Tipografiado: Sra. Dora L. Aguirre

Srita. Lorena Fernandez

## APLICACION DE PINTURAS

- Conjunto de operaciones necesarias para llevar la pintura del estado líquido al estado de película.
- La conversión implica un cierto consumo de energía en forma de TRABAJO MANUAL (pincel o rodillo) y de **generación de aire comprimido** sea para pulverizar la pintura (soplete convencional) o para impulsar una bomba neumática (soplete sin aire comprimido o airless).
- Los factores que deciden la elección del método de aplicación son:
  - **Extrínsecos:** Son factores externos y no relacionados con las pinturas como la naturaleza del sustrato y diseño, ubicación y tamaño de la estructura.
  - **Intrínsecos:** Están relacionados directamente con la pintura como son sus propiedades fisicoquímicas y características del esquema de pintado elegido.

## FACTORES RELACIONADOS CON EL SUSTRATO

- **Superficies nuevas y absorbentes:** Como maderas, aglomerados, hormigones o mampostería, etc., la primera capa se debería aplicar siempre a pincel ya que:
  - Se logra un íntimo contacto entre la imprimación y el material de base.
  - Se facilita el llenado de los poros pequeños y la eliminación del aire ocluido en los mismos, mejorando la adhesión del sistema.
  - Los poros grandes, pequeñas grietas y huecos es conveniente rellenarlos con una masilla al aceite o de base acuosa antes de aplicar la imprimación.
  - El resto del esquema puede ser aplicado indistintamente a pincel, rodillo o soplete.
- **Superficies no absorbentes:** Como en el caso del acero, aluminio, hierro galvanizado, etc.
  - La aplicación puede realizarse por cualquiera de los métodos: pincel, rodillo o soplete si se trata de superficies nuevas.
  - Si la superficie está muy atacada (llena de irregularidades), es conveniente aplicar la primera mano a pincel o rodillo.

## EL DISEÑO ESTRUCTURAL EN RELACION A LA PROTECCION POR PINTURAS

- **Diseño:** Es una palabra clave en el mundo actual, ya que puede influir sobre el modo de vida y los productos que forman parte de ella.
- **La formulación de una pintura** es una forma de diseño, ya que al especificar un recubrimiento para un trabajo determinado se debe realizar una correcta selección y combinación de los materiales que la constituyen.
- La estructura o el objeto a pintar debe ser diseñado para que pueda ser recubierto con facilidad en toda su extensión y proveer de una base adecuada para la pintura.
- Un diseño adecuado posibilitará la formación de una película continua de espesor uniforme y con mínima cantidad de fallas o poros en toda su extensión.

## PRINCIPIOS DE DISEÑO PARA LA PROTECCION DE ESTRUCTURAS

- Los principios básicos para el diseño de estructuras a ser protegidas por pinturas pueden resumirse:
  - La estructura debe ser lo más simple posible, con acceso directo a todas sus partes.
  - Reducir el área superficial complicada al mínimo posible compatible con la resistencia estructural deseada.
  - Esto es reducción deliberada de áreas complicadas e inaccesibles para realizar un correcto trabajo de pintado.
  - Para ello debe tratarse de eliminarse las planchas superpuestas, roblonadas o tornilladas y la reducción de cantos vivos, rincones y áreas desiguales.
- Dado que no es tarea fácil ajustarse a estos lineamientos es más sencillo adoptar los métodos usuales que generalmente ignoran los requerimientos de la pintura.

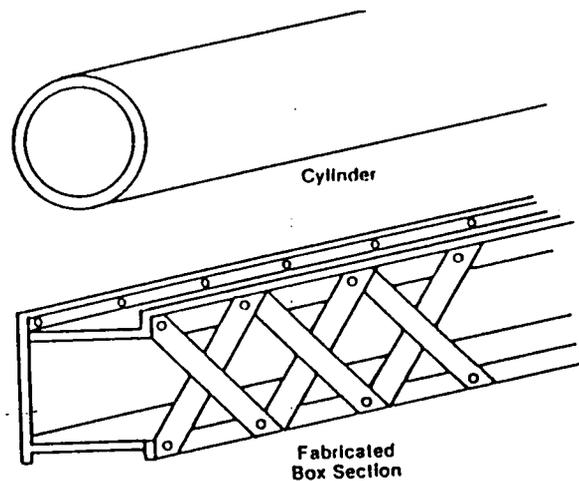
## DISEÑO INTERIOR Y DISEÑO EXTERIOR

- Hay dos zonas distintas donde el uso de pintura es totalmente diferente.
  - El diseño del interior de un depósito donde se almacenará un material sujeto en primera instancia a condiciones de **ataque químico**.
  - Paredes constituídas por cilindros superpuestos.
  - Techo y fondo por discos circulares.
  - Refuerzos de estructura simple.
  - Todo unido por soldadura a tope con chaflán.
- El diseño exterior de la estructura sujeta a **ataque atmosférico** de diferente naturaleza (fábrica de aceites combustibles, plantas químicas).
  - Cuando sea posible, los soportes estructurales del techo deben colocarse en el exterior.
  - Cuando no es posible, sostenerlo con columnas cilíndricas apoyadas en el piso.

## PROBLEMAS CON PINTURAS RELATIVAS AL DISEÑO

- La forma del acero que constituye la estructura (ángulos, hierro U, hierro T, hierro I, hierro L).
- Todos tienen formas que representan ángulos rectos continuos, donde la pintura tiene generalmente bajo espesor.
- Los cantos vivos y ángulos exteriores son más vulnerables que las partes planas.
- Salvo pinturas inorgánicas, muchos sistemas de alta resistencia presentan una tensión superficial considerable luego del secado.
- Si la pintura es aplicada sobre un área que tiene un cambio de dirección brusco, se produce en los cantos vivos un espesor de película mínimo.
- Los ángulos interiores son lugares peligrosos. En la preparación de superficies los contaminantes (escama de laminación, óxidos, grasas, aceites) son de difícil remoción.

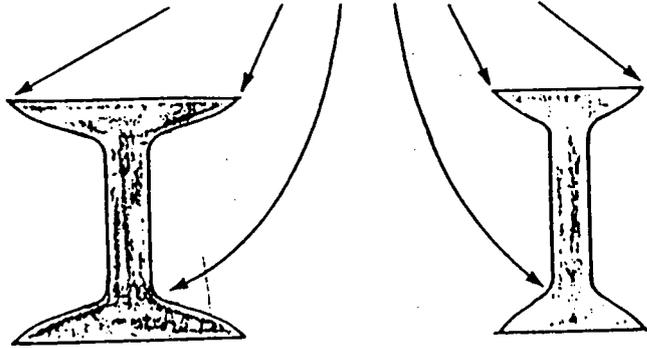
- Un cambio en el material que constituye la estructura resistente (como tuberías cilíndricas) que reemplacen a hierros ángulos, hierros U o planchuelas, pueden proveer de igual resistencia con mayor facilidad de pintado.



- Se eliminarán así numerosos ángulos, rincones, juntas sobrepuestas, remaches, etc., que son difíciles de recubrir correctamente.
- En conclusión, el diseño adecuado controla indirectamente la correcta aplicación de la pintura o el revestimiento, influyendo sobre la resistencia a la corrosión de la estructura.

- **Durante la aplicación:** con pistola aerográfica o pincel, los ángulos interiores son difíciles de alcanzar y es trabajoso obtener un espesor de película adecuado y constante.
- **Durante el mantenimiento:** Son lugares de acumulación de suciedad y difíciles de limpiar. Luego de la limpieza la presencia de polvo puede generar bolsas de aire debido a la baja humectación de la pintura en la zona y con tensiones derivadas del secado.
- Las soluciones para el pintado de estructuras complicadas se buscan durante la construcción.
- **Cantos vivos:** Constituyen lugares de fallas iniciales del sistema, ya que son zonas donde se dificulta la aplicación, lugares de deposición o precipitación de polvos corrosivos o condensación de vapores o nieblas de líquidos corrosivos.
- Exige la aplicación de capas antes de que se pinte la estructura. Las mismas deben ser finas y sucesivas para evitar el efecto de contracción.

Puntos peligrosos

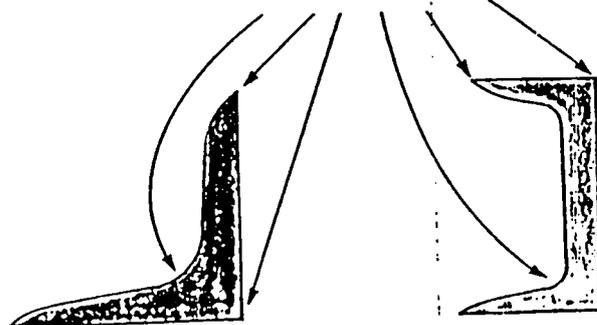


Pintura

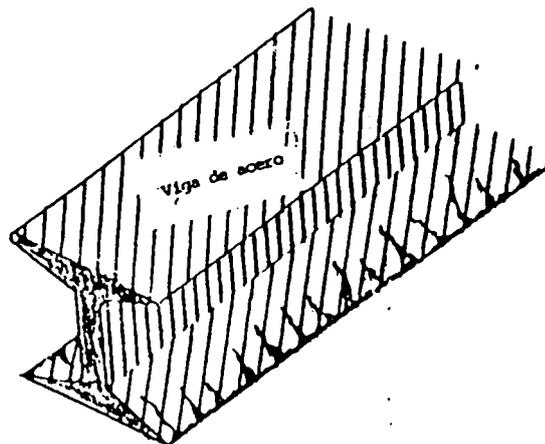
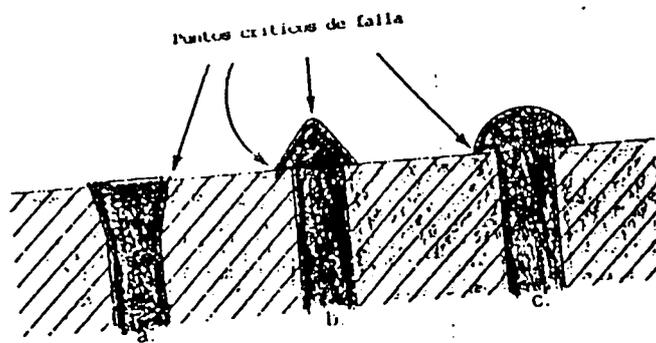
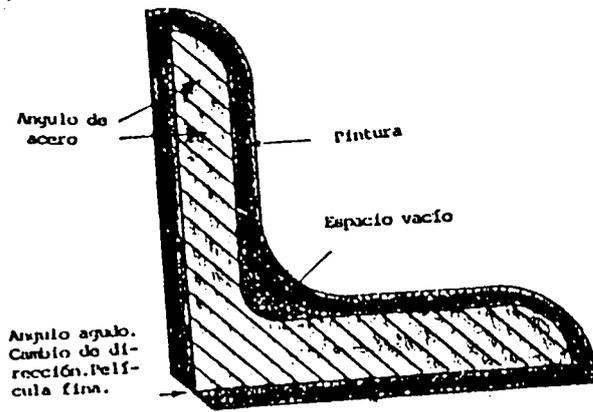
Película fina en filo agudo ocasionada por tensión superficial.



Puntos peligrosos

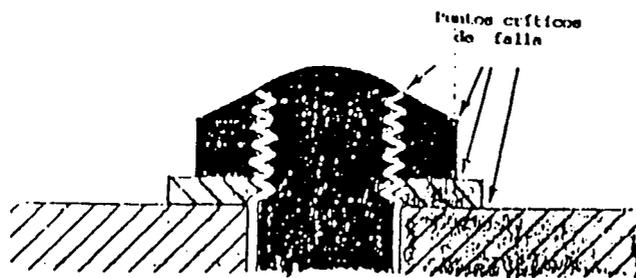
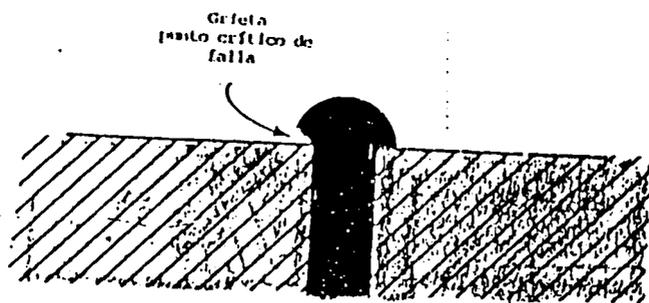
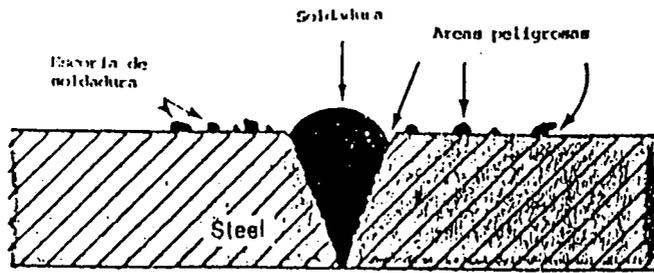


- **Roblonēs y tornillos:** Son áreas de falla preferencial y peligrosa ya que unen segmentos de estructura. Se incrementa la superficie de cantos vivos de la zona, aumentando las posibilidades de agrietados y discontinuidades alrededor de ellos.
- Hay 3 tipos de roblones: de cabeza cónica, redonda y escondida. El primero es el que crea más problemas, los más fáciles de recubrir son los dos últimos.
- Los roblones de cabeza cónica y redonda deben ser inspeccionados antes y luego de su colocación ante la posibilidad de aparición de fisuras.
- Las zonas más expuestas son aquellos puntos de unión entre dos planchas de acero superpuestas.
- Las juntas atornilladas: Son más difíciles de proteger y recubrir que los roblones, ya que se incrementan los cantos vivos y se colocan arandelas.
- Se recomienda aplicar las primeras manos a pincel, que produce una película de espesor mayor y constante que el soplete y dar las terminaciones con éste.



## SOLDADURAS

- La **soldadura automática** produce cordones lisos y fáciles de proteger.
- En la **soldadura manual** la calidad y homogeneidad de la misma depende de la calidad de la mano de obra. Tiene mayor o menor rugosidad de acuerdo al operador.
- Es conveniente preparar la zona por arenado para eliminar impurezas y escorias. La zona debe ser de 5 cm de cada lado del cordón. Si se ha pintado antes de soldar, el arenado debe incluir la zona quemada de la imprimación de mantenimiento.
- En **áreas críticas** conviene preparar el cordón por alisado para asegurar espesor y continuidad de la película.
- El principal inconveniente es la **escoria de soldadura**, constituidos por glóbulos de metal pequeños, con grietas en su base, que producen discontinuidad de la película.



- En el caso de **placas superpuestas** debe realizarse una **soldadura de sellado**, que evite la penetración de agentes corrosivos entre ellas, una superficie continua para su mejor pintado y un punto extra de resistencia.
- El **fundente** queda retenido en zonas rugosas, particularmente a lo largo de los bordes. Es difícil de remover por arenado y es extremadamente alcalino e higroscópico.
- Los **soportes y marcas auxiliares** del proceso de fabricación que son retirados al final del mismo, pueden afectar zonas ya pintadas y producir discontinuidades en la película dentro de un área bien protegida.
- **Soldaduras discontinuas:** empleadas como refuerzo de juntas solapadas donde no se considera necesaria una soldadura continua. Crean serios problemas de corrosión puesto que impide el paso de agentes corrosivos y se crea una discontinuidad de película y dificultades en la aplicación.

## **FACTORES RELACIONADOS CON LAS PINTURAS Y EL ESQUEMA ELEGIDO**

- Las formulaciones se suministran con la viscosidad adecuada para permitir su aplicación a **pincel o rodillo**.
- Para la aplicación a **soplete aerográfico** debe ajustarse la viscosidad con disolvente o la mezcla de disolventes adecuados.
- No deben aplicarse a pincel o rodillo las pinturas de muy rápido secado o las que secan por sola evaporación de disolventes (salvo el caso del caucho clorado).

## **FACTORES QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL ACABADO**

- **Condiciones atmosféricas:** Las condiciones ideales son 20 °C y 60-65% de HR, condiciones a las que responden la mayoría de las pinturas. Es necesario tener en cuenta humedad y temperatura en relación con las diferentes combinaciones que pueden darse.
- **Humedad:** Es el mayor problema pues puede variar en forma marcada en una jornada de trabajo.
- La temperatura de la superficie metálica debe estar 3 °C por encima de la correspondiente al **punto de rocío**.
- El **punto de rocío** es la temperatura de una mezcla dada de aire-agua a la cual comienza la condensación, si a dicha temperatura el agua sobrepasa el nivel de saturación.

Air Temp °C	Dewpoints (°C) at Various Relative Humidities							
	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
-1	—	—	—	—	6.5	4	-2	1
4	—	-6.5	-4	2	0.5	1.5	3.5	4.5
10	-6.5	-3.5	0.5	2	3.5	5.5	8.5	10
15.5	0	2	4	8	10	11.5	14	15.5
21	3	6.5	10	13	15	18	19.5	21
26.5	7	12	15.5	19	21	23.5	25	26.5
32	13	16.5	20.5	24	25.5	28.5	30.5	32
38	18	22	25.5	29	31	33.5	36	38

NOTE: It is essential to ensure that no condensation occurs on blasted steel or between coats during painting.

Air at a given temperature can only contain a certain (maximum) amount of water vapor. This proportion is lower at lower temperatures.

The dewpoint is the temperature of a given air-water vapor mixture at which condensation starts, since at that temperature its maximum water content (saturation) is reached.

In practice a safety margin must be kept, whereby the substrate temperature is at least 3°C above dewpoint.

## DIFERENTES CONDICIONES

### Tiempo caluroso y seco

- Puede o no ser buenas condiciones de aplicación.
- La pintura tiende a secar rápidamente al salir del soplete o al aplicarse a pincel o rodillo. Mala formación de película.

- El "spray" seco puede ocurrir durante la aplicación de pinturas de cinc-silicato de etilo. Estas pinturas no curan bien en estas condiciones.
- En las epoxídicas los disolventes evaporan rápidamente. Pueden formar "piel de naranja".
- Tampoco son buenas condiciones para la aplicación de poliuretanos que secan por humedad y de las pinturas de base acuosa.

### **Tiempo caluroso y húmedo**

- La alta humedad crea problemas de condensación, particularmente en horas finales de la tarde.
- Se debe inspeccionar la superficie para asegurar que no se está aplicando bajo condiciones de condensación.
- Son condiciones excelentes para aplicar etil-silicatos y poliuretanos que curan por humedad.
- No lo son para pinturas vinílicas que evaporan rápidamente su disolvente, disminuyen la temperatura de la base y pueden alcanzar el punto de rocío, produciendo blanqueado ("blushing").

## **Tiempo frío y seco**

- Por encima de 5 °C es excelente para la aplicación de lacas, pinturas de base acuosa acrílicas, etc. En estas condiciones el agua evapora lentamente y las dispersiones de silicatos y las de cinc-silicato de litio inorgánico alcanzan su máxima eficiencia.
- Los uretanos que secan por humedad están sin curar por largos períodos.

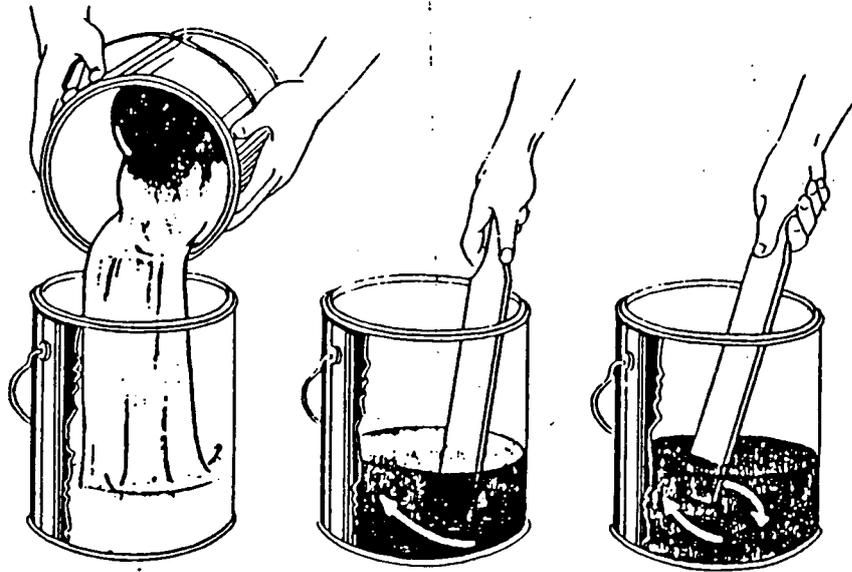
### **Tiempo frío y húmedo**

- Es muy bueno para las pinturas que curan por humedad como los etil silicatos inorgánicos y los poliuretanos.
- No es conveniente para las pinturas de base acuosa como los cinc-silicato inorgánicos ya que no evaporan por largo tiempo el agua y no forman películas de resistencia adecuada.
- Para las pinturas epoxídicas son malas condiciones de curado.
- La gran humedad puede condensar y reaccionar con los agentes de curado de tipo amínico causando problemas posteriores de resistencia.

## OPERACIONES DE PINTADO

- **Operaciones previas:** Son aquellas preparatorias y de las cuales depende la obtención de una buena película y una operación económicamente eficiente.
  - Son: Mezclado y homogeneización.  
Ajuste de viscosidad.  
Filtrado.
- Muchas pinturas pueden presentar excesiva sedimentación en el envase, lo que no es grave si el sedimento es de fácil redispersión.
- Puede producirse un aumento en la viscosidad inicial por reacción entre pigmento y ligante y si la misma continúa puede llegarse a la **gelificación**.
- Estos problemas pueden ser consecuencia de una almacenaje inadecuado, por ser expuestas a condiciones extremas (muy altas o muy bajas temperaturas).
- **Mezclado y homogeneización:** Es la redispersión de componentes cuando se ha producido separación.
- Se debe comprobar si se ha producido formación de capa la que debe ser retirada.

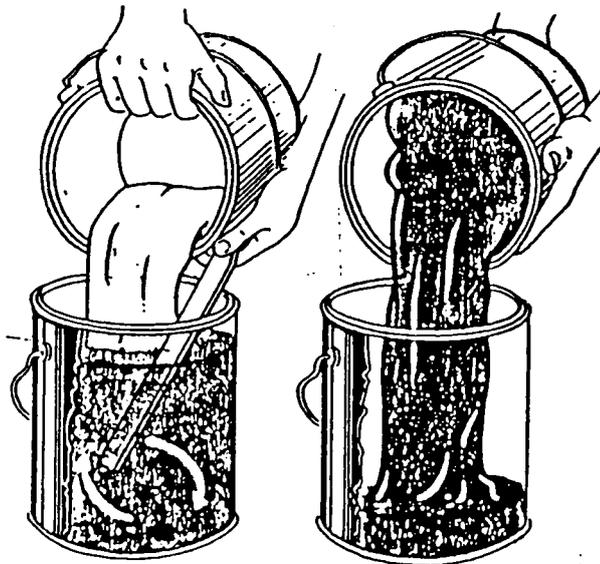
## INCORPORACION DE SEDIMENTOS



(a)

(b)

(c)



(d)

(e)

## ASPECTOS PRINCIPALES

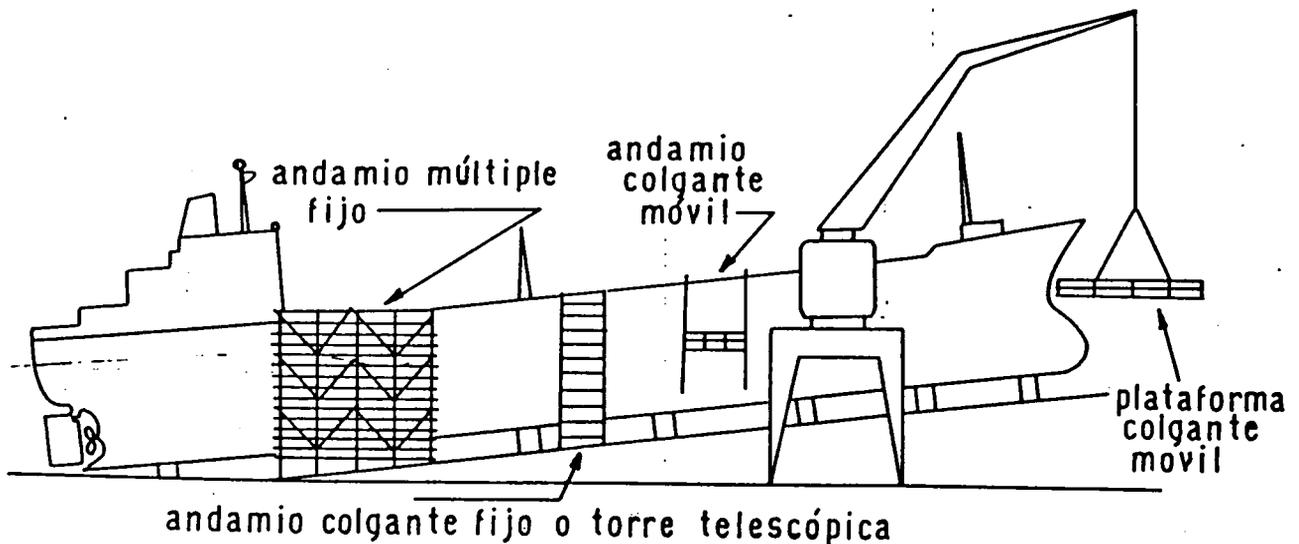
- **Diluyente apropiado:** Es el que debe usar cada tipo de pintura. Los diluyentes de alto contenido de alifáticos (mínimo 90 %) para esmaltes sintéticos y pinturas al aceite. Caucho clorado: aromáticos. Usar el que provee el fabricante.
- **Cantidad a agregar:** La imprescindible para facilitar la aplicación. Dilución excesiva disminuye los sólidos depositados y el espesor de película final.
- **Caída de viscosidad:** Depende del disolvente utilizado. En general: aromáticos y cetonas producen mayor caída que los alifáticos.

## FILTRADO

- Se emplea un tamiz cuyo tamaño de malla debe ser relacionado en función del grado de dispersión de la pintura dado por la cuña Hegman.

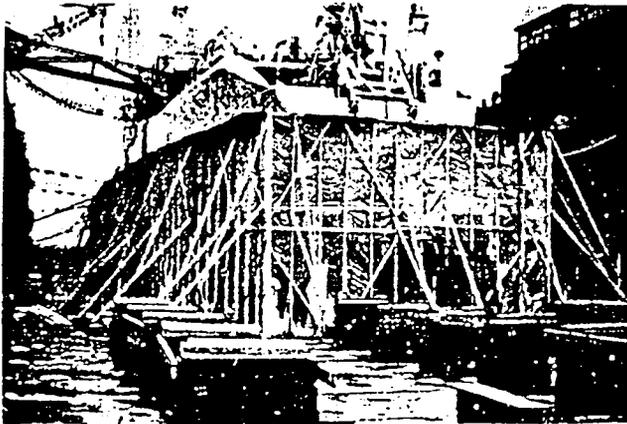
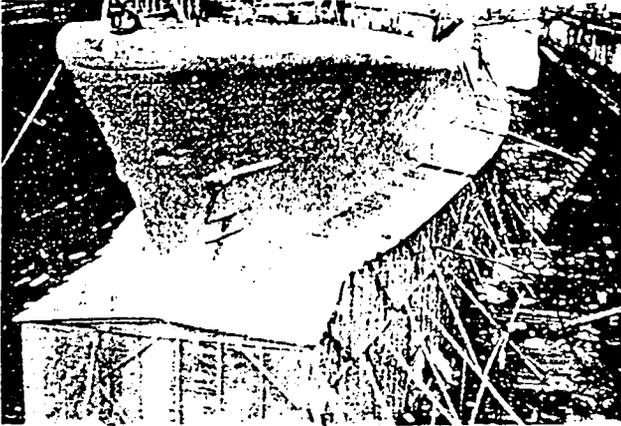
## OPERACIONES COMPLEMENTARIAS

- Armado de andamios: los mismos pueden ser fijos o móviles.
  - **Fijos:** Se arman en lugares de difícil acceso y en general para una diversidad de tareas: soldaduras, preparación de superficies y pintado.
  - **Móviles:**
    - **Autónomos:** Plataformas de desplazamiento horizontal o vertical según necesidad. Módulos de 3 m de altura x 12 m de longitud.



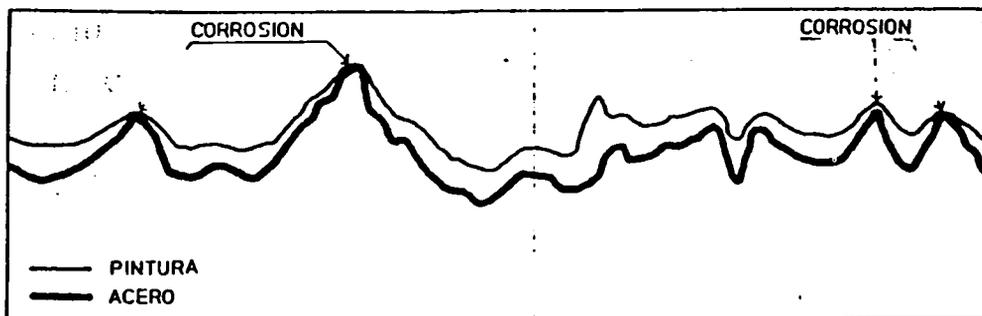
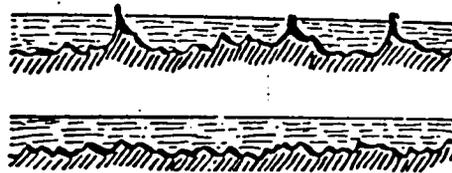
- **Plataformas colgantes:** Se usan en lugares de difícil acceso o donde el armado de los fijos es de alto costo.
- **Andamio Desplazable:** Son torres colgantes de no más de 3 m de longitud con desplazamiento vertical.

PROTECCION CONTRA CONDICIONES  
ATMOSFERICAS ADVERSAS



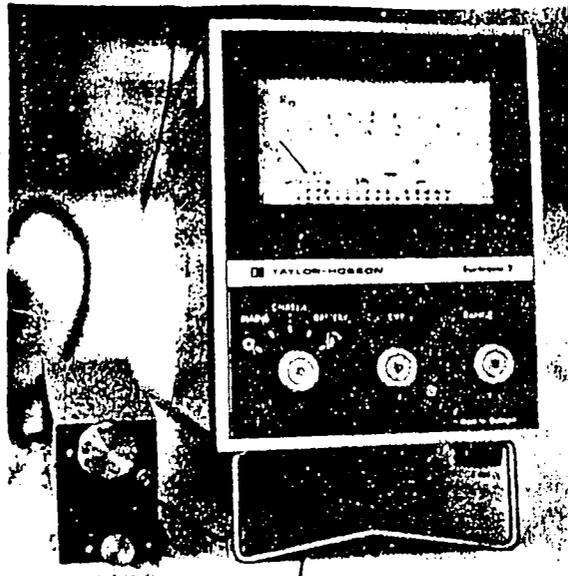
## INSPECCION DE LA PREPARACION DE SUPERFICIES

- **Grado de limpieza:** Se puede verificar por normas internacionales.
- **Rugosidad:** Deberá estar de acuerdo al espesor de película especificado para la pintura de fondo.

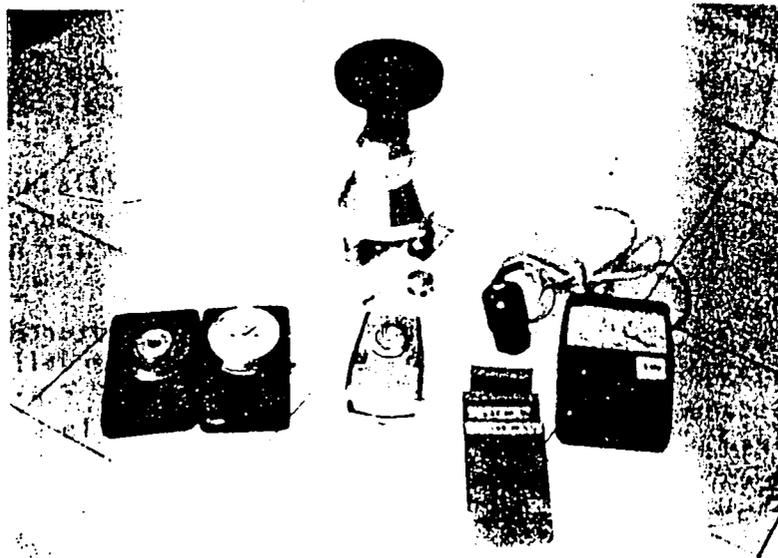


## INSPECCION DE LA APLICACION

- **Espesor de película:** Se puede verificar mediante **medidor de espesor de película húmeda o seca.**



- **Adhesión al sustrato, dureza y flexibilidad.**



- **Diferente tono entre capas**
- **Inspección de las herramientas de trabajo**
- **Inspección de la forma y calidad de limpieza del material**

## APLICACION

- La protección por pinturas se soporta sobre tres parámetros:
  - **El material:** si está mal formulado o no es el adecuado, la protección fracasa.
  - **La preparación de superficie:** Ante una mala operación, el sistema protector tiene poca vida útil.
  - **Aplicación:** Si es mala o descuidada, la protección final no será acorde al buen material y preparación de la superficie.
- La operación de aplicación tiene como fundamento lograr:
  - El desarrollo de una capa protectora sobre la superficie.
  - Que dicha capa sea continua.
  - Que el espesor sea constante y del valor especificado.
  - Ayudar a que la película formada desarrolle buena adhesión al sustrato.
- Cada material tiene características específicas y dentro de un mismo material, las mismas pueden variar entre fabricantes, lo que complica la descripción.

## **TIPOS DE PINTURAS Y SU RELACION CON LA FORMA DE APLICACION**

- Se trata de describir los tipos esenciales en función de los componentes de la formulación y las características de los productos.

### **Pinturas oleosas u oleorresinosas**

- Incluye las pinturas al aceite puras, los fondos alquídicos, los esmaltes alquídicos y los barnices oleorresinosos y materiales similares.
- En general deberían aplicarse en varias capas finas si se desea obtener buen espesor debido a su mecanismo de curado.
- Los altos espesores por mano tienden a causar una serie de problemas como el arrugado, agrietado, etc.
- Tienen buenas características de aplicación a pincel y humectación de la superficie, conferidas por la porción oleosa, tanto sobre el metal como sobre madera.
- Por su composición fluyen y nivelan muy bien y es necesario conferirles cierto grado de tixotropía para evitar chorreaduras o "descuelgues" sobre superficies verticales.

## **Lacas**

- Son resinas sintéticas del tipo no convertibles, que endurecen por evaporación del disolvente y son de rápido secado.
- Esto depende de la mezcla utilizada, pero aún en presencia de una mezcla "lenta" (evaporación lenta), su velocidad de secado es razonablemente rápida respecto a las oleorresinosas.
- Se incluyen dentro de esta categoría las acrílicas, nitrocelulósicas, vinílicas, caucho clorado, caucho-acrílico, todas resinas de alto P.M.
- Tienen por ello bajo poder de humectación y se aplican en bajo espesor porque tienen bajo contenido de sólidos, comparado con las otras resinas.
- Por esta razón se aplican con soplete tanto aerográfico como "airless", dependiendo de su viscosidad.
- Las características de su mezcla disolvente las hace extremadamente dependiente de las condiciones ambientales para su aplicación.

## **Recubrimientos reactivos**

- Incluyen las pinturas epoxídicas y poliuretánicas. Tienen como principal característica de aplicación los altos espesores por capa que se logran, debido a su relativamente alto contenido de sólidos.
- Como están formados por dos componentes una BASE y un CATALIZADOR, AGENTE DE CURADO o ENDURECEDOR, la película se produce por reacción interna. Se obtienen películas de medio a alto espesor y buena resistencia.
- La formación de la película posibilita que productos que individualmente son de bajo P.M. reaccionen entre sí y den lugar a otro producto de mayor P.M. y buena resistencia.
- Como desventajas deben señalarse que son extremadamente dependientes de la temperatura ambiente, tienen ámbito de aplicación. Al aplicarse demuestran una cierta "pegajosidad", que impide su aplicación a pincel o rodillo sobre grandes superficies.

### **Pinturas libres de disolventes**

- Son pinturas que varían desde las que deben aplicarse en caliente hasta las epoxídicas y las poliuretánicas.
- Son de bajo poder humectante, debido principalmente a la falta de disolventes, a que su resina de alta viscosidad es líquida y a la rápida reacción entre sus componentes.
- Las pinturas de "fusión" o de aplicación en caliente, también tienen baja humectación debido a la diferencia de temperatura entre el producto y el sustrato, cambiando rápidamente de líquido a sólido. Es conveniente precalentar el sustrato.
- Se aplican a soplete sin aire, a veces es necesario precalentar el producto para reducir viscosidad lo que disminuye su "pot-life".

## Recubrimientos inorgánicos

- Se refiere a recubrimientos de zinc, tanto base solvente como acuosos. Su principal característica es su alto contenido de pigmento y su ligante.
- Debido a esto no se aplican a pincel o rodillo y tienden a tapar los orificios de las boquillas. Se aplican de todas maneras con soplete "airless".
- Su principal característica es su dependencia de las condiciones ambientales.

## Recubrimientos de base acuosa

- Se incluyen los productos reducibles con agua y las emulsiones. Son productos vinílicos, acrílicos, epoxídicos o poliuretánicos dispersados en agua.
- Por su tamaño de partícula son más tixotrópicos que viscosos, por lo que son fácilmente aplicables a pincel o rodillo.
- La calidad de la película depende del contenido de agua de la formulación ya que:
  - **Alta humedad-baja temperatura:** evaporación lenta, baja adhesión y mala terminación.
  - **Baja humedad-alta temperatura:** evaporación rápida. Formación de cuarteado y poceado.

## METODOS DE APLICACION DE PINTURAS

### **Pincel**

- Es el método más antiguo conocido, su técnica es aparentemente sencilla y la física del procedimiento sólo se ha estudiado y comprendido en los últimos años.
- Tiene mucha importancia la elección de la herramienta para realizar un trabajo adecuado. Una elección acertada debe considerar:

- **Aspectos relativos a la cerda**

- Calidad
- Origen: animal, vegetal, sintética.
- Longitud y cantidad
- Propiedades mecánicas
- Tipo y forma de la junta
- Sujeción al mango

- **Aspectos relativos al tamaño**

- Una elección acertada del tamaño de la herramienta permite optimizar el trabajo y obtener buen rendimiento.
- Se puede estimar como bueno un rendimiento de  $15-20 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$  para  $30 \mu\text{m}$  de espesor trabajando sobre superficies complicadas.

## **Tratamiento previo**

- Los de muy buena calidad (baja absorción) no necesitan tratamiento previo.
- Es conveniente antes del trabajo, sumergirlos durante 24-48 horas en la pintura a utilizar diluída (mínimo 2:1; máximo 4:1 disolvente/pintura).
- Se impregna la cerda y no produce absorción diferencial.

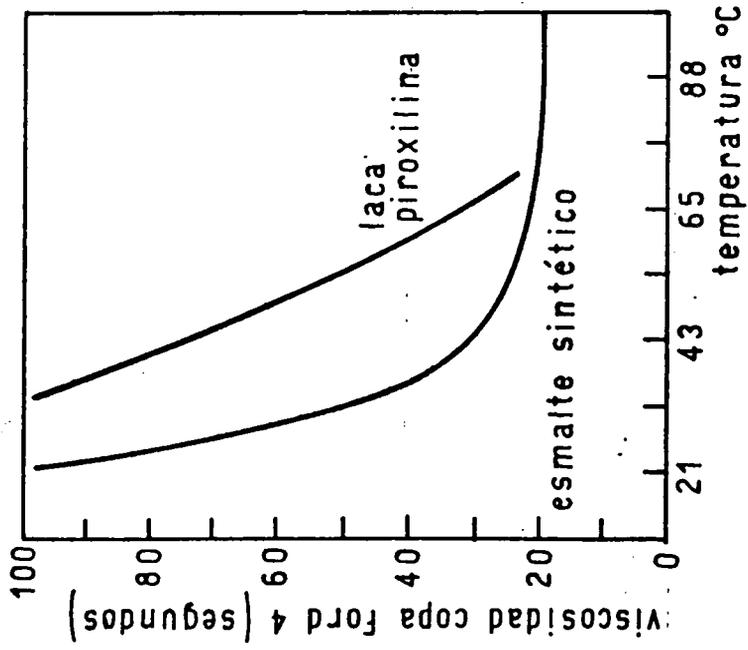
## **Limpieza posterior**

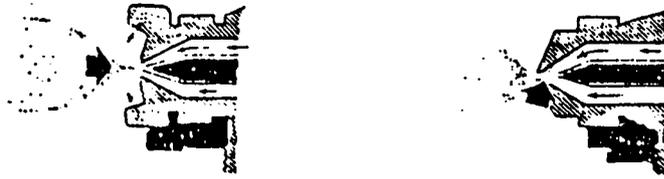
- Se empleará el disolvente compatible con la resina base de la pintura utilizada. Es conveniente formular un disolvente de limpieza.
- Para guardar el pincel es conveniente envolverlo en papel de periódico y sumergirlo en un envase que contenga el diluyente de la pintura en uso.
- La altura del disolvente no sobrepasará  $\frac{1}{3}$  de la fibra. El líquido impregna el papel y mantiene la cerda húmeda por capilaridad, sin afectar el pegamento que la sostiene.
- En caso de no envolverlo, cuidar que la cerda no toque el fondo del recipiente y que el disolvente no exceda su longitud.

## Aplicación a soplete

### Sopletes de baja presión o aerográficos

- En este sistema el aire comprimido se usa tanto para atomizar el producto como para depositarlo sobre la superficie.
- Es importante controlar el balance aire-pintura, controlando los parámetros:
  - **Variación de viscosidad:** Bajando la viscosidad se incrementa la cantidad de pintura que pasa por la boquilla, pero con reducción simultánea del espesor.
  - **Regulación del abanico:** Por medio del tornillo de ajuste de aire y el diámetro de boquilla.
  - **Regulación de la presión:** La atomización puede producirse por **mezclado externo**. El producto se atomiza fuera de la boquilla. En el **mezclado interno** el producto se atomiza dentro de la boquilla.





(A)

(B)

- Sistema de pulverización con mezclado externo (A) o con mezclado interno (B) (32)

### Tipos de alimentación

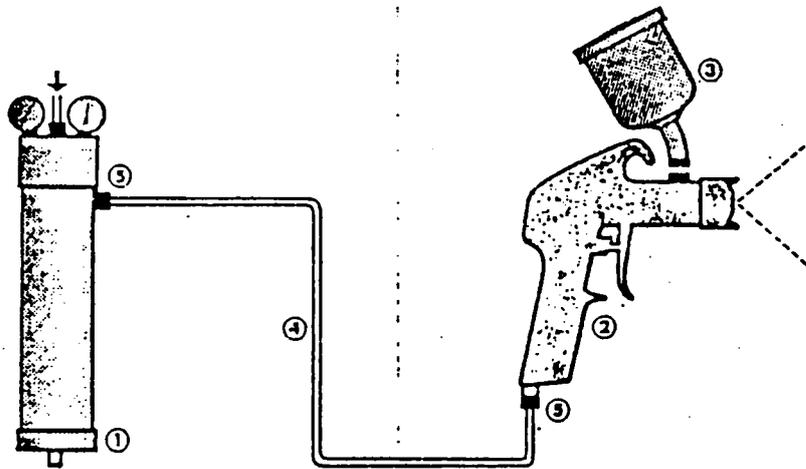


Figura 14.- Sistema de alimentación por gravedad: (1) purificador de aire; (2) pistola de proyección; (3) vaso de alimentación por gravedad; (4) manguera de aire; (5) acoplamiento de la manguera

## Pulverización a alta presión (Airless Spray)

- En el resultado de la investigación realizada para lograr la aplicación de pinturas de alto contenido de sólidos y alta viscosidad.
- El "chorro libre" que sale de la boquilla entra en el aire y se expande bruscamente. El momento de chorro es transferido al fluido y se produce una pérdida debido a la turbulencia ( $Re > 2000$ ), alcanzándose la velocidad crítica ( $V_c = m.seg^{-1}$ ) por lo que se rompe en infinidad de gotas

$$V_c = \frac{Re \mu_L g_c}{\rho_L D_j}$$

$Re = n^\circ$  de Reynold;

$g =$  aceleración gravedad ;

$D_j = \varnothing$  del orificio

$\mu_L =$  viscosidad líq.;

$\rho_L =$  densidad líq. ;

- Por la ecuación de Rayleigh-Weber, el diámetro de gota ( $d$ ) será:

$$d = 1.89 D_j \left\{ 1 + \frac{3\mu_L}{(\tau \rho_L D_j g_c)^{1/2}} \right\}$$

$\tau =$  tensión superficial

- Esta atomización produce una gran cantidad de gotas de tamaño uniforme a partir de un líquido libre de aire. La rotura normal  $1/15 D_j$ . A lo largo del recorrido hacia el objeto cada gota se subdivide en por lo menos dos o más de menor tamaño.
- El criterio de transición de Ohnesorge desde el estado de columna líquida hasta la atomización es:

$$\frac{D_j \cdot V \cdot \rho_L}{\mu_L} > 2,8 \cdot 10^2 \left\{ \frac{\mu_L}{(\tau \cdot \rho_L \cdot D_j \cdot g_c)^{1/2}} \right\}^{-0.82}$$

- Se tienen las tres ecuaciones fundamentales de la atomización sin aire: la que establece la **velocidad crítica**, y las que indican los **procesos primarios y secundarios** de formación de gota.
- Se introducen sucesivamente tres **parámetros característicos**: diámetro del orificio ( $D_j$ ), viscosidad del líquido ( $\mu_L$ ) y densidad del líquido ( $\rho_L$ ). Dos de estas variables se ajustan antes de la aplicación: el  $\emptyset$  del chorro y el ancho del abanico (selección de boquilla) y el ajuste de la viscosidad por dilución y la consecuente reducción de la densidad.

$$\rho_p = F_{Vp} \rho_p + F_{V\ell PL} F_{VD} \rho_d$$

## **Pulverización en caliente**

- Una película continua se logra por la deposición de un gran número de gotas de la pintura pulverizada cuando éstas se depositan y extienden sobre la superficie.
- En el sopleteado convencional en frío la viscosidad ideal se obtiene por dilución con disminución del espesor de película.
- La reducción de viscosidad puede lograrse también calentando el producto a pulverizar con una reducción de  $1/3$  a  $1/4$  de la viscosidad a temperatura ambiente.

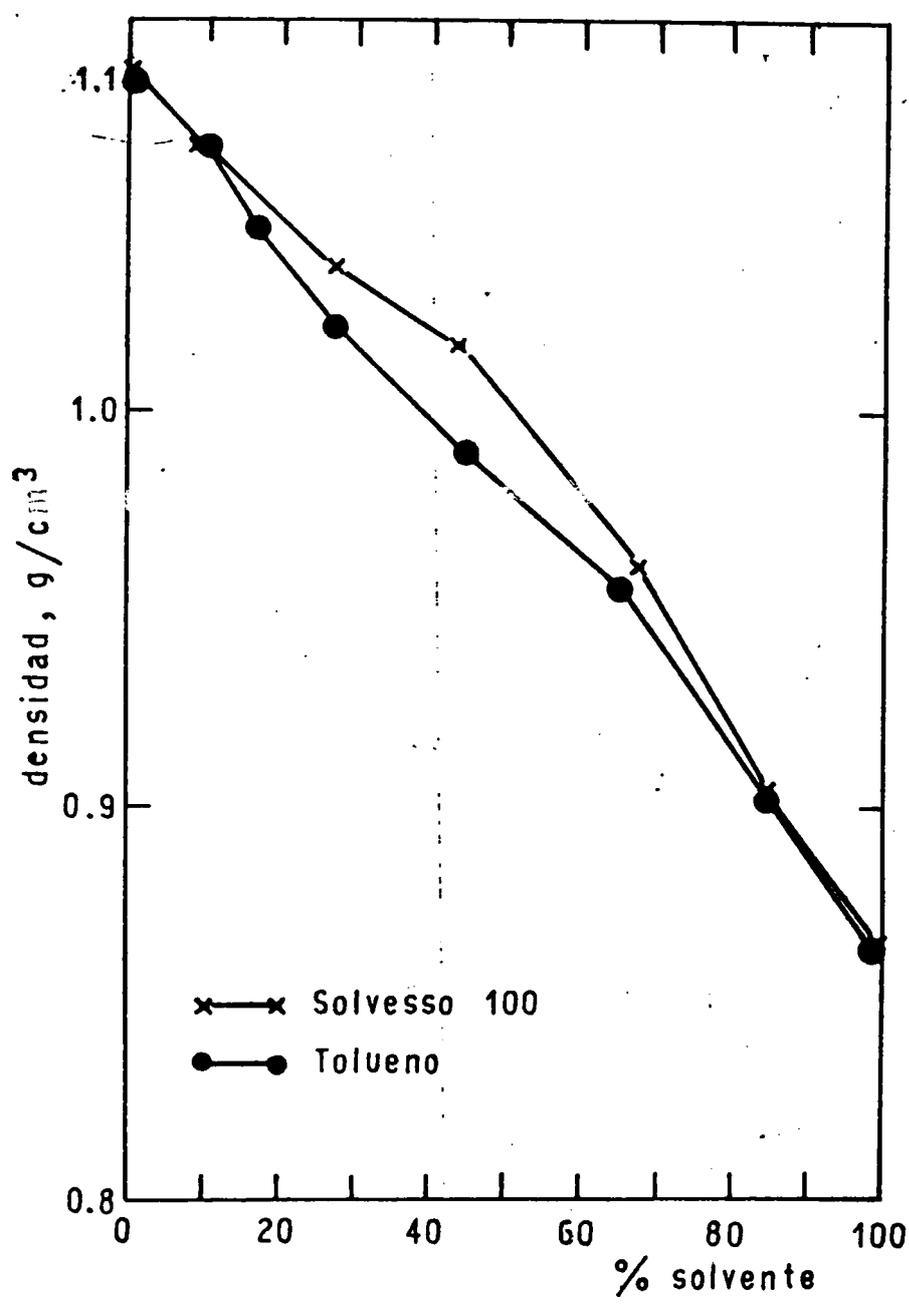
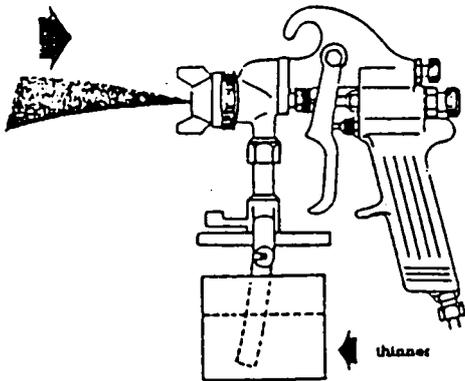
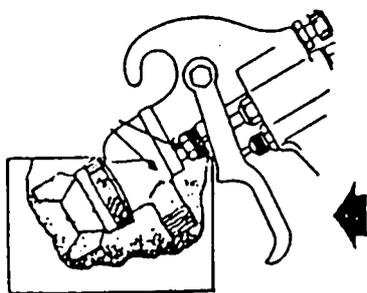
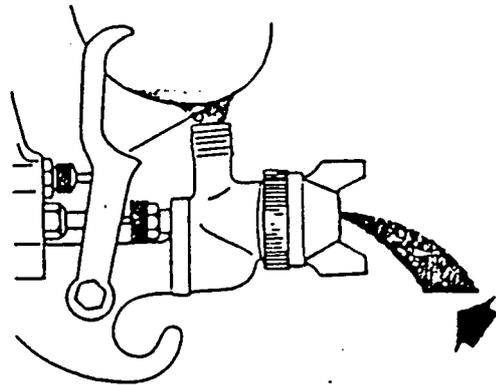


Fig. 19



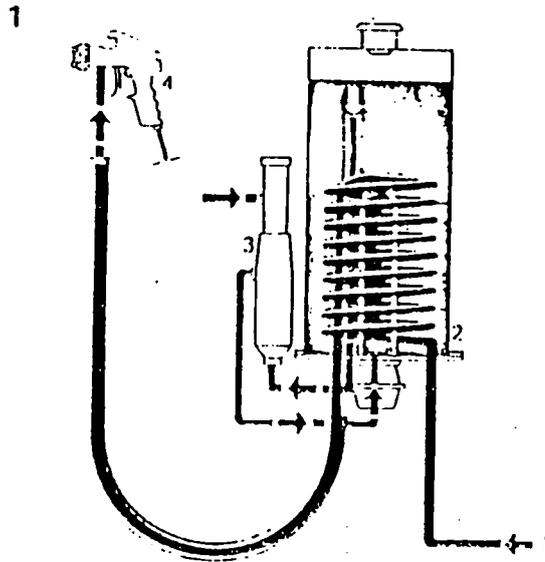
Cuando se emplean pistolas con taza, la limpieza se realiza sumergiendo el tubo sifón en un recipiente abierto conteniendo "thinner" u otro disolvente adecuado. Se debe mover el gatillo constantemente para producir un flujo discontinuo que limpie la aguja y el asiento de la misma.

Cuando la pistola es alimentada por gravedad o desde un tanque a presión, se deberá desenganchar la manguera de producto, se invertirá la pistola, colocando el "thinner" u otro disolvente adecuado en la entrada de producto, moviendo continuamente el gatillo; de esa manera se limpia continuamente la sección de pasaje de la pintura.

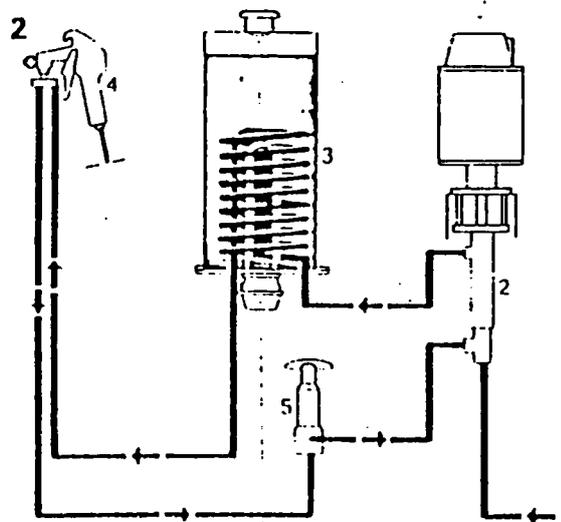


Es una mala práctica sumergir la pistola completamente en el disolvente, especialmente si se trata de "thinner" o cetonas, ya que de esa manera se disuelve el lubricante (aceite) de las empaquetaduras. Se debe colocar sólo la boquilla y la entrada de producto en el disolvente, evitando que se ataque la empaquetadura.

Figura 18.- Esquema de las operaciones de mantenimiento y limpieza de cabezales pulverizadores convencionales



**Pulverización a baja presión con calentamiento.**  
 1. Del depósito de alimentación a presión o del sistema de circulación de pintura.  
 2. Calentador de pintura.  
 3. Bomba de agua.  
 4. Pistola pulverizadora.



**Pulverización a alta presión con calentamiento.**  
 1. Del recipiente de pintura o del sistema de circulación de pintura.  
 2. Bomba de alta presión.  
 3. Calentador de pintura.  
 4. Pistola pulverizadora.  
 5. Regulador de retorno.

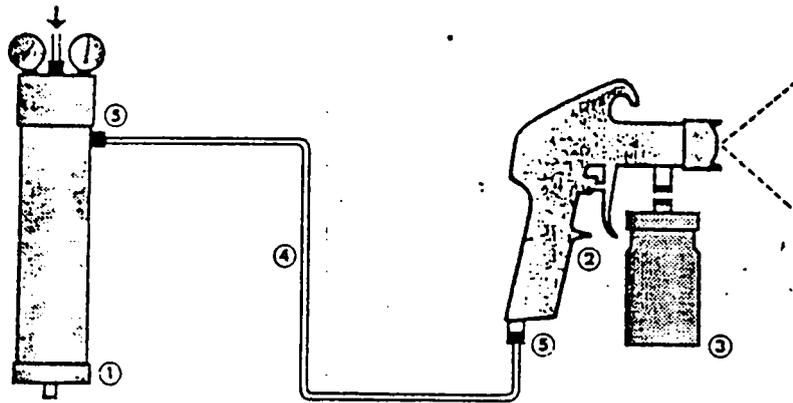


Figura 15.- Alimentación por succión: (1) purificador de aire; (2) pistola de proyección; (3) vaso de succión; (4) manguera de aire; (5) acoplamiento de la manguera (18, 19, 20)

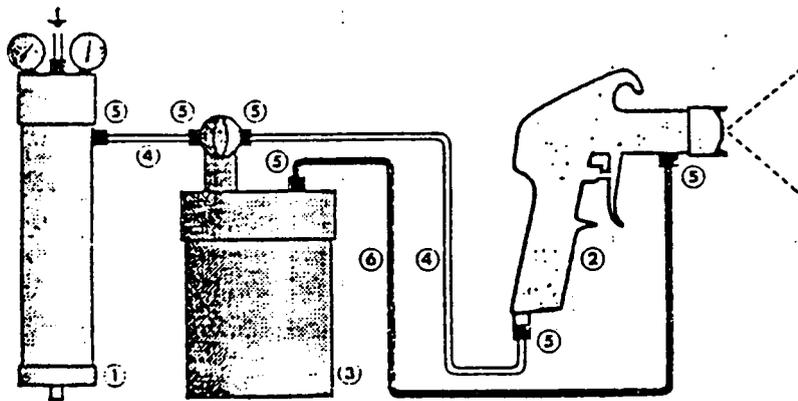


Figura 16.- Alimentación por presión: (1) purificador de aire; (2) pistola de proyección; (3) tanque de alimentación a presión; (4) manguera de aire; (5) manguera pintura (18, 19, 20)

República Argentina  
Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto.  
Dirección de Cooperación para el Desarrollo  
Fondo Argentino de Cooperación Horizontal  
FO-AR

II PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA PARA  
LA INDUSTRIA DE LA PINTURA Y AFINES.

PROYECTO Nº 1175

## EL PINTADO DEL CONCRETO Y LA MADERA

Ing. Juan J. Caprari

CIDEPINT  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN TECNOLOGIA DE  
PINTURAS  
(CIC-CONICET)

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL POR PINTURAS

Diagramado: Profesora Viviana Segura

Tipografiado: Sra. Dora L. Aguirre

Srita Lorena Fernandez



## EL PINTADO DEL CONCRETO

- El concreto se considera un material resistente a la corrosión. Si está bien realizado en cuanto a dosificación y densidad, colocado sobre el acero lo aísla del medio creando una atmósfera resistente a la corrosión.
- Por sus características reactivas requiere protección las áreas de alta agresividad como en zonas marinas e industriales.

## CARACTERISTICAS DEL CONCRETO

- Es de carácter inorgánico, configurando esencialmente un material rocoso. Sólo es atacado por algunos hongos y bacterias (corrosión microbiológica) y es afectado en menor medida por la luz solar, las variaciones climáticas, el exceso de humedad o las condiciones desérticas.
- Su resistencia a la abrasión depende de la dureza del **agregado** que lo acompaña y tiene buena resistencia a la compresión.
- Sus propiedades se desarrollan con el tiempo, incrementándose su dureza y resistencia a la compresión, pero con tendencia a la cristalización y aparición de pequeñas rajaduras.
- Dado que contiene considerable cantidad de hidróxido de calcio, éste reacciona con el bióxido de carbono del aire, formándose carbonato de calcio (piedra caliza), lo que incrementa la dureza y la resistencia a la compresión.

## COMPOSICION DEL CEMENTO

- Esta varía si se trata de cemento común o cemento de curado rápido y por ende su resistencia a diferentes sales, especialmente sulfatos y cloruros.
- Una composición típica es:

Nombre	Composición química	Contenido, %
Silicato tricálcico	$3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	40-55
Silicato dicálcico	$2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	14-31
Alumino-ferrita tetracálcica	$4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2 \text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2 \text{O}_3$	5-12
Aluminato tricálcico	$3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2 \text{O}_3$	10-15
Yeso		Resto

- Para producir el concreto a partir del cemento es necesaria su hidratación, donde ocurren las siguientes reacciones:

## REACCIONES DE HIDRATACION DEL CEMENTO PORTLAND



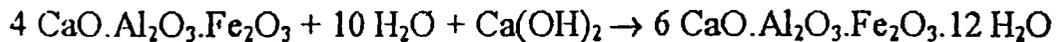
Silicato tricálcico

Gel de Tobermorita

Hidróxido de calcio

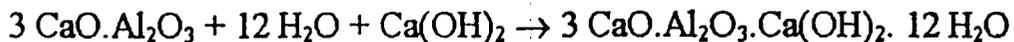


Silicato dicálcico



Alumino-ferrita tetracálcica

Alumino ferrita cálcica  
hidratada



Aluminato tricálcico

Aluminato tetracálcico hidratado

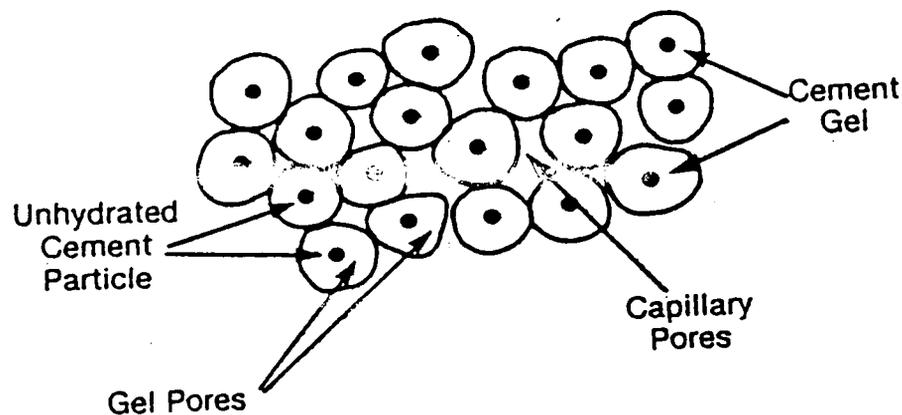


Sulfato de calcio  
hidratado

Mono Sulfo Aluminato de  
calcio hidratado

- Las dos primeras reacciones de hidratación producen la aparición de óxido de calcio (20 % sobre el producto hidratado, llegándose a un pH de 13 cuando está saturado con agua. Esto produce pasivación del acero contenido en éste (se pasiva a pH 11.5).
- La hidratación se produce dentro de los 28 días. Se puede acelerar si el concreto es de tipo **curado por vapor** entre 60-70°C. Se utiliza en artículos manufacturados.

- El curado es uno de los factores que deciden sobre la posibilidad de aplicar pinturas sobre el concreto, ya que tanto las partículas de cemento como sus reacciones de curado generan porosidad.
- El H<sub>2</sub>O agregada es 2 veces la necesaria para satisfacer la demanda del cemento anhidro, ya que:
  - Se hace trabajable la mezcla que produce el concreto.
  - Permite copiar perfectamente la forma del molde.



- El agua en exceso se elimina por:
  - Evaporación superficial
  - Formación del gel de cemento que recubre el núcleo
  - Aparición de poros (2-4 μm) por migración del agua existente en el gel por canales capilares, impulsados por la diferencia entre densidades (compuestos del cemento 25; agua 1).
- Aparecen así espacios huecos libres en el cemento curado.

- La porosidad total depende de la eficiencia del mezclado de componentes como arena, piedra, cemento y agua, el tipo de producto y el empleo de aditivos.
- Hay también macro huecos producidos por bolsones de aire y agua, lo que hace que la preparación superficial del concreto sea en algunos casos de mayor complejidad que la del acero.

## PROBLEMAS EN EL RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO

- Los problemas principales del recubrimiento de estas superficies derivan de las propiedades que el concreto adquiere una vez curado:
  1. La resistencia a la compresión es relativamente alta (2000-6000 Lb/pulg<sup>2</sup>).
  2. La resistencia a la tracción es baja (500 Lb/pulg<sup>2</sup>).
  3. El concreto es alcalino alcanzando un pH de 12-13.
  4. El concreto es poroso. Cuando cura su volumen de huecos puede variar entre 10 y 25 %.
  5. El concreto contiene humedad libre y la retiene aún en condiciones severas de secado. Su cantidad depende de la HR ambiente.
  6. La estructura de concreto impide el pasaje o transferencia de agua líquida a través de él.
  7. El concreto es permeable al vapor de agua y transfiere humedad desde zonas de alta concentración hacia las de baja concentración.

## CUARTEADO Y AGRIETADO ESTRUCTURAL

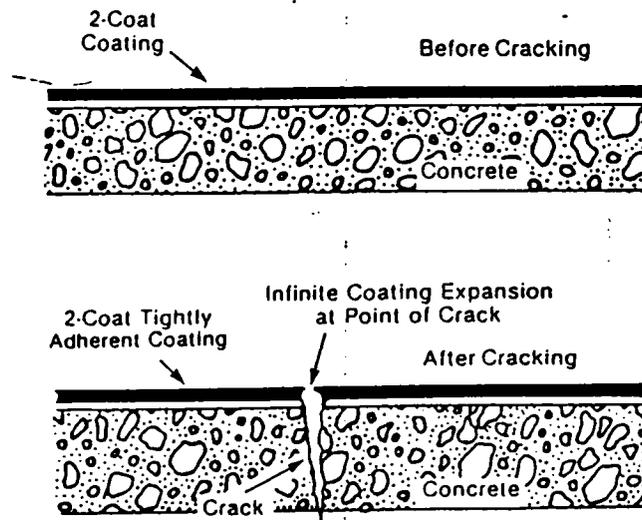
- Son el resultado de la baja resistencia a la tracción que tiene el concreto y puede ser de dos tipos:
  1. Cuarteado por contracción
  2. Agrietado por movimientos de la estructura o agrietado estructural.

### CUARTEADO POR CONTRACCION

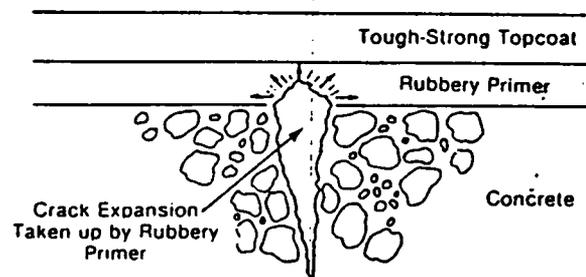
- Este cuarteado puede ser de dos tipos:
  1. **Contracción pura:** El cuarteado es superficial y se produce durante el período de curado inicial del concreto por dos causas: rápida evaporación de agua por temperatura superficial excesiva y dilatación-contracción diferencial entre capas de cemento de diferente contenido de humedad.
    - Este defecto es subsanable durante la preparación de la superficie. Son poco profundas y las largas se pueden rellenar mientras las cortas de deben abrir lo suficiente para permitir el pasaje del material de relleno.
  2. **Por diferencia entre materiales:** Se produce cuando el concreto es revocado con un material cementífero de diferente composición. El cuarteado es profundo y generalmente alcanza todo el espesor del material cementífero.
    - El material de revoque suele ser difícil de recubrir y las pinturas presentan falta de penetración, desprendimiento y tendencia al ampollado.

## AGRIETADO ESTRUCTURAL

- Este tipo de agrietado (no cuarteado) aparece por movimientos en la estructura (diferencias de tensión entre distintas zonas) y movimientos del terreno, temblores que pueden afectar la base.
- Pueden aparecer a lo largo de toda la vida útil de la estructura.
- Aparecen donde la estructura cambia de dirección (ángulos) o en diagonal en direcciones variables.
- Tienen como particularidad que la grieta contrae y expande cuando la estructura mueve.
- La pintura aplicada sobre ella también se agrieta y pierde parte de sus propiedades protectoras decorativas.

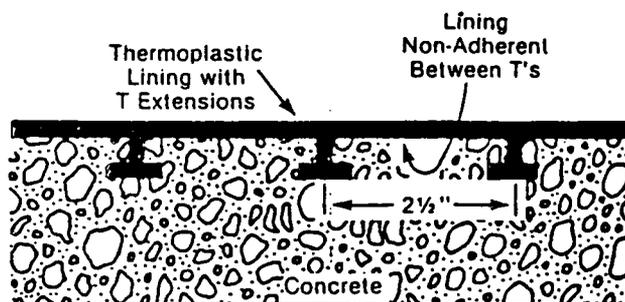


- La solución es establecer un "puente" con materiales de relleno flexibles y extensibles, para lo cual dicho material debe adherir firmemente al cemento, lo que facilita una expansión infinita del material.
- Hay que tener en cuenta que si partiendo de cero, la grieta se expande desde 0.80 mm en el punto de fisura. El esfuerzo aplicado al relleno y la pintura sobrepasa la resistencia a la tracción y elongación de muchos materiales.
- Otra solución es el empleo de una imprimación de tipo expansible, que absorba la expansión producida por la grieta y no la transmita a la pintura de terminación.



- Es evidente que se deben emplear pinturas aplicables en alto espesor para que el espesor del recubrimiento absorba parte de la grieta formada. Se pierde el concepto de imprimación (bajo espesor).

- Un material de buena resistencia y buenas características mecánicas a agentes químicos son los cauchos modificados.
- Otra solución es emplear cloruro de polivinilo (P.V.C.) plastificado que tiene gran resistencia a la corrosión y gran coeficiente de elongación. Se usa en forma de planchas que tienen prolongaciones en forma de T en la cara que se adherirá al concreto.
- La plancha se coloca sobre el concreto fresco y las extensiones T se introducen dentro del mismo. El material toma esa forma y al endurecer fija el revestimiento.



- La distancia entre "Ts" puede variar entre 50-63 mm.
- Si ocurre una fisura, como la plancha está amarrada a intervalos y se desliza libre sobre la superficie de concreto, produce sólo ligeras tensiones en el material sin afectar su continuidad.
- Un diseño que tiende a evitar el problema causado por la expansión y contracción térmica, es el empleo de juntas de expansión rellenas con material flexible, lo que puede generar problemas desde el punto de vista de la pintura.

## ALCALINIDAD

- Hay una cantidad sustancial de álcalis en el concreto, en especial cuando hay humedad presente. La pintura sella la superficie y retiene la humedad, por lo que el pH de la interfase concreto/pintura es de 12-13.
- Se produce **eflorescencia**, que es la conversión espontánea en sólido de las sales solubles al perder agua de cristalización.
- El agua atraviesa el concreto y disuelve las sales alcalinas. La solución se deposita sobre la superficie y el agua comienza a evaporarse.
- Las sales alcalinas (principalmente hidróxido de calcio) precipitan sobre la superficie y reaccionan con el anhídrido carbónico del aire apareciendo un depósito esponjoso blanco cristalino.
- Si la película de pintura es porosa a la humedad o al dióxido de carbono, la reacción se produce en la interfase película/concreto, causando **ampollado y desprendimiento** de la película.
- El concreto se ablanda y destruye por acción del proceso de cristalización. Las fuentes de humedad provienen de zonas cuarteadas o agrietadas, zonas impermeabilizadas, etc.
- Su alta alcalinidad lo vuelve fácilmente atacable por ácidos. El **ácido clorhídrico** lo ataca pero produce sales solubles que se eliminan por lavado. El **ácido sulfúrico** produce sulfatos insolubles que adicionalmente aumentan hasta 10 veces su volumen respecto al cemento original.
- Este último caso configura un ataque combinado químico-mecánico sumamente agresivo.

## **CICLOS CONGELAMIENTO** **DESCONGELAMIENTO**

- Durante el ciclo de congelamiento, el agua aumenta, se expande 10 % respecto de su volumen original. Debido a su baja resistencia a la tracción el cemento se agrieta, astilla y fragmenta.
- Dado que la humedad interna se emplea en completar la reacción de fraguado, la solución consiste en aplicar una pintura que evite la penetración de agua y mantenga al material con el mínimo de humedad interna posible.

## **POROSIDAD Y SALES SOLUBLES**

- El cemento no sólo es poroso a la humedad sino que lo es también a varios cloruros solubles. Si la superficie está sometida a salpicaduras o niebla de cloruros, los mismos penetran en el concreto y se mantienen en él.
- Cuando el cemento se seca, los cloruros cristalizan y lo astillan. Cuando se vuelve a mojar se solubilizan y al secarse nuevamente cristalizan y producen acción mecánica.
- La solución es aplicar una pintura selladora impermeable a iones cloruros. Se debe aplicar alto espesor (mayor que 150  $\mu\text{m}$ ) en varias capas para evitar poros e imperfecciones.

## **CORROSION DEL ACERO EMPOTRADO EN CONCRETO**

- La penetración de humedad, sales conductoras (cloruros, sulfatos) y oxígeno corroen el acero, produciendo óxidos voluminosos que expanden varias veces su volumen original, creando una presión interna que rompe el concreto en el punto de penetración.
- Suele ser bastante normal que, por defectos de llenado, la armadura quede cerca de la superficie del cemento el que, al romperse lo deja al descubierto y favorece la continuidad del ataque.
- En países adelantados, la armadura se compone de acero recubierto con pinturas en polvo o en su defecto se cubre la superficie del concreto con pinturas de alto espesor.

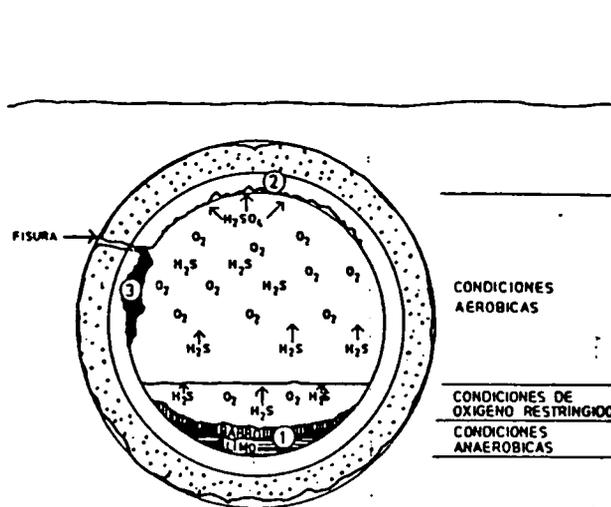
## **AGREGADOS REACTIVOS**

- Puede producirse en ciertos lugares concentraciones altas de agregados que reaccionan con los compuestos alcalinos en presencia de humedad y causan la fractura del concreto. Muchos agregados pueden resultar críticos para el comportamiento de la pintura.

# CORROSION BACTERIANA DEL HORMIGON

- Considerando una canalización de efluentes líquidos pueden encontrarse tres condiciones diferentes:

1. Condición anaeróbica
2. Condición de oxígeno restringido
3. Condición aeróbica



## CONDICION AEROBICA

- Las bacterias sulfato-reductoras actúan reduciendo los iones sulfato a ácido sulfhídrico, produciendo un medio ácido débil ( $pH = 5$ ), disminuyendo la concentración de iones sulfato (Zona 1).
- Se produce un doble mecanismo
  1. **Corrosión:** Debido al medio ácido débil
  2. **Protección:** Se eliminan iones sulfato

## CONDICIONES DE OXÍGENO RESTRINGIDO

- El oxígeno presente se emplea en satisfacer la DBO necesaria para degradar la materia orgánica.
- Una parte del sulfuro de hidrógeno producido en condiciones anaeróbicas se disuelve en el efluente y el exceso asciende hacia la parte superior.

## CONDICIONES AEROBICAS

- El sulfuro de hidrógeno se encuentra en condiciones de alta humedad y es atacado por bacterias productoras de sulfato, produciendo ácido sulfúrico que ataca el hormigón.



- Si se produce una fisura y por ella penetra agua con apreciable cantidad de carbonato de hierro, se produce un gel de color marrón (colonia de bacterias ferruginosas), Zona 3.
- Su metabolito es el dióxido de carbono que se convierte rápidamente en ácido carbónico. El hormigón se hace friable y los granos desprendidos son arrastrados y continúa el deterioro.



**TABLA I**  
**Acción bacteriana en la corrosión del hormigón armado\***

Tipo de corrosión	Mecanismo de acción	Algunas de las bacterias que pueden generar las condiciones citadas
1. Corrosión carbónico-ferruginosa	Acción del dióxido de carbono formando carbonatos cálcicos y magnésicos solubles o consumiendo el hierro presente	<i>Crenothrix</i> <i>Leptothrix</i> <i>Gallionella</i>
2. Corrosión sulfhídrica	Acción anaeróbica de reducción de sulfatos presentes en el medio con producción de sulfuro de hidrógeno y azufre elemental (baja acidez).	<i>Desulfovibrio desulfuricans</i>
3. Corrosión ácida selenitosa	Acción simultánea del ion hidrógeno y del ion sulfato en altas concentraciones (alta acidez).	<i>Thiobacillus thioxydans</i> <i>Ferrobacillus ferroxydans</i>
4. Corrosión sulfoaluminica y sulfato luminica selenitosa	Acción del ion sulfato sobre el hormigón en altas y bajas concentraciones (c > <1000 mg/l).	<i>Beggiatoa</i> <i>Thiotrix</i> <i>Chromatium</i> <i>Chorobium</i>
5. Corrosión magnésica-selenitosa	Acción simultánea de los iones magnesio y sulfato	<i>Beggiatoa</i> <i>Thiotrix</i>
6. Corrosión por nitritos, nitratos y sales amónicas	Acción de los nitritos, nitratos y del ion amonio transformando las sales cálcicas poco solubles en fácilmente solubles. Se produce nitrógeno elemental, amoníaco libre o hidróxido de amonio.	<i>Pseudomonas</i> <i>Nitrosomonas</i> <i>Nitrobacter</i>

## METODOS DE PREPARACION DE SUPERFICIES

- El concreto no es un material consistente y homogéneo como el acero. Es poroso, carente de uniformidad entre puntos, especialmente cuando se cambia de partida.
- La adhesión inicial del recubrimiento depende tanto de las propiedades de la superficie del concreto, como del revestimiento en sí mismo.
- **Para el concreto:** Resistencia mecánica, perfil, grado de porosidad, pH y tensión superficial.
- **Para la pintura:** Viscosidad, tensión superficial, coeficiente de contracción por curado o secado y aptitud para curar o secar al aire en medios de alta alcalinidad y humedad.

## **PREPARACION DE SUPERFICIES** **Y CONTAMINANTES**

- Desde el punto de vista del sustrato, los contaminantes pueden clasificarse en:
  1. **Existentes en el concreto nuevo:** Aditivos, selladores, membrana de curado, exceso de humedad, materiales formados por la reacción de curado (productos de carbonatación, eflorescencias). Adherencias biológicas como mohos, hongos, algas y líquenes. Polvo atmosférico.
  2. **Existentes en el concreto en servicio:** Aminas, negro de humo, óxidos de hierro y otras sales, subproductos de la industria química, de alimentos y manufacturera.
  
- Desde el punto de vista de la preparación de superficies:
  1. **Hidrofóbicos:** No removibles o insolubles en agua (aceites, grasas, fluidos hidráulicos, siliconas, ácidos orgánicos).
  2. **Hidrofílicos:** Removibles o solubles en agua (cloruro de sodio, ácido sulfúrico, hidróxido de sodio, silicato de sodio).

## TRABAJOS PREVIOS

### Identificación de los contaminantes:

- No es necesario identificarlos químicamente. Se refiere a determinar la clase o carácter químico del contaminante:
  - Hidrofóbico y hidrofílico
  - Acido o alcalino
- Aproximaciones se pueden obtener por:
  - Inspección visual
  - Estimación de la tensión superficial o "mojabilidad" del sustrato
  - Medidas de pH
  - Análisis químico
- La inspección visual: permite detectar contaminantes visibles como suciedad, polvo, adherencias orgánicas, pinturas viejas, selladores, eflorescencias, aceites y grasas colocados. No permite detectar membranas de curado expuestas a la intemperie, endurecedores superficiales, sales solubles, aceites incoloros.
- **Tensión superficial:** Puede ser estimada aplicando líquidos de valores conocidos o sus mezclas. Las mezclas de metanol-agua tienen un rango entre 20-70 dinas  $\text{cm}^{-1}$  y observar si moja la superficie.
- **pH:** El método propuesto por ASTM D4262 determina el pH luego de atacar la superficie con ácido. El criterio de aceptación está entre -1 a +2 del pH inicial del agua de lavado. El pH del concreto sin atacar está entre 8 y 12 de acuerdo a su edad.
- El concreto contaminado con **ácidos** tiene un pH menor al mencionado precedentemente, mientras que el contaminado con materiales hidrofóbicos toma el pH del agua de ensayo (pH = 5-7)

## EXTRACCION DE CONTAMINANTES

- Las sales solubles (hidrofilicos) se extraen con agua destilada.
- Los contaminantes orgánicos se extraen con disolventes fuertes como el cloruro de metileno.
- En controles más rigurosos se puede realizar sobre las muestras análisis químico instrumental.
- Realizados los análisis y detectado el grado de contaminación se puede seleccionar el método de preparación adecuado al grado de limpieza exigido y al perfil de rugosidad deseado.

Método	Requerimiento*	Perfil logrado**
Chorro abrasivo seco	R-P-L	Bajo-Medio-Alto
Chorro abrasivo húmedo	R-P-L	Bajo-Medio-Alto
Chorro de agua a presión	R-P-L	Bajo-Medio-Alto
Chorro de agua cavitante	R-P-L	Medio-Alto
Herramientas de impacto	R-P-L	Medio-Alto
Herramientas mecánicas	R	Bajo-Medio
Limpieza por llama	R	Alto
Ataque ácido	P-L	Bajo

\* R: Remoción, P: perfil, L: limpieza

\*\* Bajo: 5-30  $\mu\text{m}$ ; Medio: 30-60  $\mu\text{m}$ ; Alto > 60  $\mu\text{m}$

- Luego de realizada la limpieza, se puede inspeccionar la calidad del trabajo realizado determinando la rugosidad por comparación con patrones y determinar el ángulo de contacto y el pH.

**Valores comparativos de ángulo de contacto y pH antes y después del tratamiento de superficies.**

Contaminante	SUPERFICIE					
	Contaminada		Chorro abrasivo		Chorro de agua (alta presión)	
	Angulo cont.	pH	Angulo cont.	pH	Angulo cont.	pH
Leche	30-70	6,5	0	8,5	0-20	8,5
Aceite vegetal	30-60	6,5	20-40	8,5	20-40	8,5
Aceite mineral	60-80	6,5	20-30	8,5	20-30	8,5
Fluido hidráulico	20-30	6,5	0	8,5	0	8,5
Cloruro de sodio	5-20	8,5	0	9	0	8,5

## **PROPIEDADES QUE SE REQUIEREN** **DE LA PINTURA**

### **Penetración:**

- Es una propiedad muy importante para la adhesión de la pintura y la resistencia del esquema de pintado. Es equivalente al perfil de rugosidad en un acero.
- La resina que es penetrante aumenta la densidad superficial del concreto. Está limitada por el tamaño molecular de la resina.
- La penetración se logra empleando resinas de bajo peso molecular, auxiliadas por disolvente de alto poder humectante. También ayuda la correcta viscosidad, lograda con una exacta dilución y una buena preparación de superficie se obtiene una buena adhesión de tipo fósico.
- El material requerido debe tener: bajo peso molecular, alta resistencia a los álcalis, buenas características humectantes. La pintura debe contener solventes que disminuyan la tensión superficial.
- Una buena pintura incrementa la densidad del material en la superficie en especial donde la presencia de humedad es reducida y hay baja actividad química. La misma fluye en poros, grietas, hendiduras y entre los granos de la arena y rodea la piedra.
- El espesor de película debe ser alto (250-500  $\mu\text{m}$ ) para cubrir las irregularidades e imperfecciones del concreto y resiste mejor la aparición de pequeñas grietas por formación de protección puente.

- **Resiliencia - flexibilidad - extensibilidad:** Valores de estas propiedades relativamente altos (mayores que el para el acero) para resistir las contracciones, expansiones y golpes a los que está sometido el concreto.
- **Adhesión:** Es indudablemente la propiedad primaria exigible, pero las mencionadas precedentemente contribuyen a un buen desarrollo de ésta. Debe tener buena adhesión inicial y retenerla cuando el concreto esté curado. Buena resistencia a la humedad, presión de vapor o agua que puede existir en la interfase cemento-película.
- **Resistencia a la abrasión:** Especialmente en aquellos casos de pisos para tránsito peatonal o rodante para evitar el desgaste y el desprendimiento.

## **RAZONES PARA EL PINTADO DEL CONCRETO**

- **Decoración**
- **Impermeabilización**
- **Resistencia química**
- **Resistencia a la corrosión**
- **Resistencia a los ciclos frío-calor**

## Propiedades que se requieren de la pintura

### Penetración:

- Es una propiedad muy importante para la adhesión de la pintura y la resistencia del esquema de pintado. Es equivalente al perfil de rugosidad en un acero.
- La resina que es penetrante aumenta la densidad superficial del concreto. Está limitada por el tamaño molecular de la resina.
- La **penetración** se logra empleando resinas de bajo peso molecular, auxiliadas por disolvente de alto poder humectante. También ayuda la correcta viscosidad, lograda con una exacta dilución y una buena preparación de superficie se obtiene una buena adhesión de tipo fósico.
- El material requerido debe tener: bajo peso molecular, alta resistencia a los álcalis, buenas características humectantes. La pintura debe contener solventes que disminuyan la tensión superficial.
- Una buena pintura incrementa la densidad del material en la superficie en especial donde la presencia de humedad es reducida y hay baja actividad química. La misma fluye en poros, grietas, hendiduras y entre los granos de la arena y rodea la piedra.
- El **espesor de película** debe ser alto (250-500  $\mu\text{m}$ ) para cubrir las irregularidades e imperfecciones del concreto y resiste mejor la aparición de pequeñas grietas por formación de **protección puente**.

# **TIPOS DE RECUBRIMIENTOS PARA CONCRETO**

## **PINTURAS BITUMINOSAS**

- Son soluciones en disolventes (pinturas asfálticas) o emulsiones (emulsiones asfálticas) de asfalto o alquitrán de hulla (coal-tar).

### **COAL-TAR**

- Resistencia Química
- Impermeabilidad

### **ASFALTO**

- Resistencia a la intemperie
- Resistencia a la luz solar
- Ambos se emplean en depósitos de agua industrial no potable.

## **PINTURAS ASFALTICAS**

- Secar la superficie.
- Capa fina de imprimación penetrante
- Capas sucesivas de alto espesor, con o sin inclusión de fibra de vidrio.

## **EMULSIONES ASFALTICAS**

- Humedecer la superficie (no mojarla)
- Capa fina de imprimación penetrante (necesaria pero no imprescindible).
- Capas sucesivas de espesor medio de emulsión bituminosa.

## **CAUCHO CLORADO**

- Buena resistencia química y al agua; excelente adhesión, buena resistencia a la alcalinidad superficial, rápido secado, buena resistencia a vapores de diversas sustancias. Buenas propiedades de repintado si la superficie se prepara adecuadamente. Buena adherencia entre capas.
- No se recomienda para sistemas de desagües industriales o alcantarillas. Baja o nula resistencia a aceites animales e industriales, grasas y disolventes diversos. Su resistencia química decae si son plastificadas con resinas alquídicas, aceites secantes o barnices oleorresinosos.

## **VINILICAS**

- Se emplea en lugares donde la penetración de radiación o productos químicos es peligrosa. Buena resistencia a ácidos y álcalis, secan rápidamente y se pueden aplicar capas sucesivas con poco tiempo de secado entre ellas.
- El rápido secado y manos sucesivas pueden retener solvente en los poros del concreto y por calor producir ampollado. Tiene bajo contenido de sólidos y deben aplicarse capas sucesivas para lograr alto espesor.

## **ESQUEMA PARA AMBOS**

- Neutralizar con ácido clorhídrico la alcalinidad superficial.
- Capa fina de imprimación para mejorar la penetración y la adhesión de las sucesivas capas.
- Capas restantes hasta lograr el espesor deseado.

## **PINTURAS EPOXIDICAS**

- Tienen buenas características de adherencia y se las formula con resinas líquidas, agentes de curado líquidos y disolventes de alta penetración.
- Los posibles sistemas son:
  - Recubrimiento epoxi de base disolvente, sobre superficie atacada con ácido y lavarla con agua. Se aplica una imprimación de bajo espesor y sucesivas capas de alto espesor.
  - Recubrimiento epoxi de alto espesor aplicado con llana o una combinación de llana con soplete sin aire. La capa de imprimación se aplica con llana, lo que permite cubrir las imperfecciones y el resto de las capas con soplete sin aire.

## **PINTURAS EPOXI ALQUITRAN DE HULLA**

- Combina las propiedades del alquitrán de hulla con la de la resina epoxídica, si se la aplica en espesores mínimos de 400  $\mu\text{m}$ , en una o dos capas, se obtiene buena adhesión al concreto, buena resistencia química, buena resistencia a la abrasión y fácil aplicación.

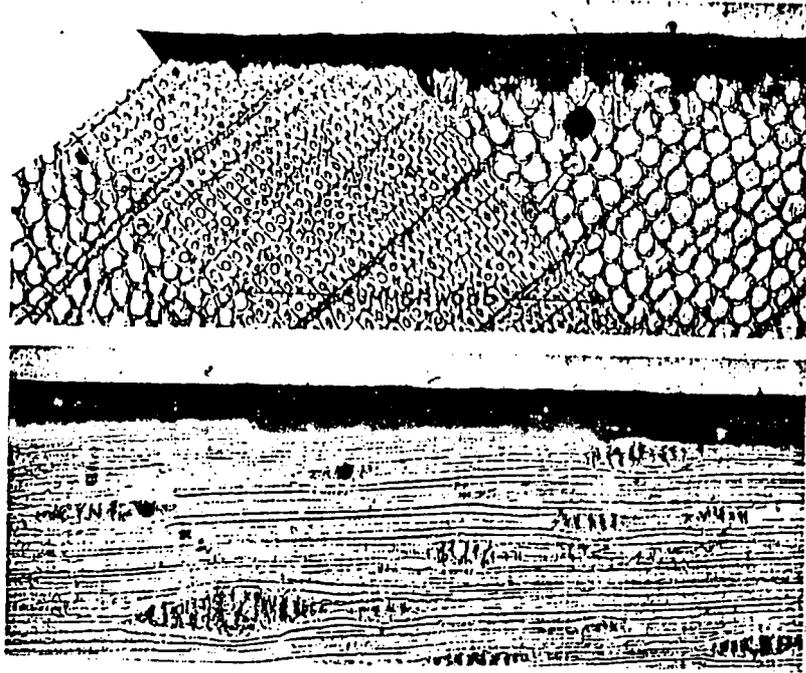
## EL PINTADO DE LA MADERA

- Es una estructura compuesta básicamente de **celulosa** (60-75 %), ligada y reforzada por **lignina** (25-35 %). La lignina es un desarrollo fibroso que se encuentra entre medio de las paredes de las celdas de celulosa. El resto de los componentes son resinas naturales, aceites, materia colorante, etc. lo que depende de la especie y el lugar geográfico.
- El crecimiento, características y diferencias entre las celdas celulósicas, determina las características y diferencias entre maderas y su efecto sobre las terminaciones. El contenido de agua durante el crecimiento y el comportamiento de las celdas de celulosa luego del cortado y trabajado de la madera, es un factor de gran importancia que afecta el comportamiento de las películas aplicadas sobre ellas.
- La estructura de las celdas varía poco en composición química de una especie a otras, pero mucho en lo relativo a la forma, tamaño y contenido de lignina. Estos factores y los subproductos del metabolismo celular determinan el carácter de varias maderas.

## CLASIFICACION

- Las maderas se clasifican en **duras**: algarrobo, nogal y **blandas**: pinos y coníferas. En estas últimas la estructura celular es de mayor complejidad, ya que tienen celdas dispuestas con menor regularidad y están complicadas por la presencia de fibras de alta resistencia y variadas formas.
- A estas diferencias se unen las derivadas del diferente metabolismo que tienen durante el crecimiento. El dióxido de carbono por fotosíntesis (diurna) se transforma en almidón que, por hidrólisis (nocturna) se convierte en azúcares, que llega a ramas y raíces por el flujo descendente de la savia.
- El agua absorbida del suelo por las raíces es transportada hacia todas las ramas y hojas, aún las más elevadas, por el flujo ascendente de la savia que alcanza varias atmósferas de presión. Los anillos exteriores que transportan la savia en ambas direcciones constituyen los racimos vasculares.
- Estos se dividen en **FLOEMAS** o conductor de savia elaborada hacia la capa de tejido celular embrionario (cambium), por donde penetran las sustancias nutrientes y **XILEMAS** o conjuntos de vasos leñosos que transportan el agua y los elementos reproductores durante el período de crecimiento.

- El tejido celular embrionario (cambium) permanece inactivo durante el invierno y se activa durante la primavera produciendo la **madera clara** de primavera, menos densa y de mayor tamaño que la **madera oscura** de verano, lo que permite diferenciar los **anillos anuales** o **anillos de la edad**.



- La figura representa una fotografía de madera blanda, donde se pueden observar la madera de primavera (A) y la madera de verano (B). La capa oscura superior (C) es una pintura de aceite de lino pigmentada. Puede observarse en la madera de verano bajo la capa (C) una zona más clara (D) marcada especialmente y que corresponde a aceite absorbida por la madera de verano. Puede notarse que en la madera de primavera la pintura penetra en las celdas de mayor tamaño.

## **EL ESTACIONAMIENTO Y SU EFECTO SOBRE EL RECUBRIMIENTO PROTECTOR**

- Ciertas características físicas de las celdas son retenidas luego de cortado el árbol; la más importante es la contracción y expansión derivados de la ganancia o pérdida de humedad.
- La humedad puede absorberse por dos vías:
  1. En los espacios de aire existen entre las cavidades intercelulares, produciéndose saturación sin cambio de volúmen.
  2. Las paredes celulares se saturan y expanden, con una hinchazón a través del grano, que produce un daño severo en las terminaciones sobre ellas aplicadas.
- El estacionamiento es el proceso controlado por el cual se secan las cavidades celulares por un procedimiento que las mantiene intactas y sin alteraciones, ya que un rápido secado causa un encogimiento brusco de la célula, lo que colapsa y se rompe, con la consecuente pérdida de resistencia a la tracción.
- El encogimiento es tangencial a la circunferencia del tronco (en la dirección de los anillos anuales) y en menor medida en sentido radial. El tronco se corta en cuartos para uniformar el secado y reducir las consecuencias negativas.
- El estacionamiento natural se produce por el aplicado abierto de madera al aire hasta que la misma alcance el grado de humedad deseado.
- El estacionamiento industrial es el secado controlado en estufas, mediante un procedimiento que evite el sobresecado superficial.

- El valor final de humedad a alcanzar se establece por dos criterios:
  1. Alcanzar un contenido de humedad similar al existente en el lugar de uso de la tabla.
  2. Considerar que la madera está estacionada cuando alcanza un contenido de humedad de 15-17 %.

## **MADERA EXPUESTA AL EXTERIOR**

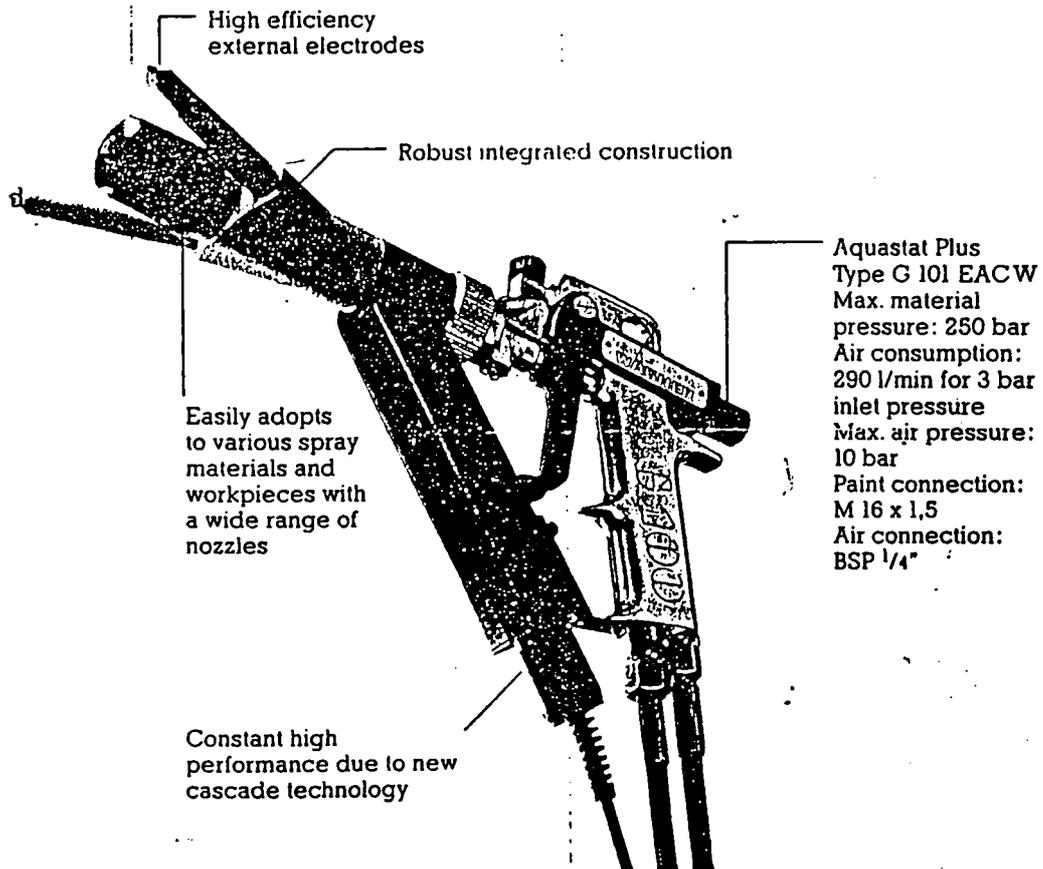
- Madera nueva: requiere lijado suave y eliminación del polvo y suciedad acumulados.
- Repintado: el tratamiento depende del estado del revestimiento, debiéndose eliminar el mismo por completo si presenta desprendimiento o si se quiere cambiar el tipo de barniz protector.
- En este último caso emplear removedores de bajo contenido de parafina o a base de celulosa, pues el primero puede interferir en el secado y eliminar la primera capa de madera posiblemente alterada.

## **BARNIZADO DE LA MADERA**

- Sobre la resistencia final del barniz puede influir:
    - 1.- Factores intrínsecos del sistema: Especies de madera, grado de estacionamiento, tipo de imprimación y composición del barniz.
  - La especie de madera puede ser afectada por la radiación solar que atraviesa la capa de barniz, alterando la estructura celular por reacción química entre sus componentes. Se afecta la interfase película/sustrato con pérdida de adhesión.
  - El grado de penetración de la imprimación que contribuye a estabilizar las primeras capas de madera.
  - La composición del barniz en relación directa a su resistencia a los factores atmosféricos y la presencia de sustancias hidrófobas y absorbedores de radiación UV.
- 2.- Factores extrínsecos: Condiciones atmosféricas adversas (excesiva humedad o lluvia) antes durante o inmediatamente después de la operación de aplicaciones. Efecto de la radiación solar.

- Agua de lluvia y rocío:
  1. El agua de lluvia lava la superficie barnizada, eliminando los contaminantes atmosféricos y reduciendo al mínimo su acción perjudicial.
  2. El rocío disuelve y facilita el acceso de contaminantes a la interfase madera/película a través de poros o daños en la película.
  3. Los ciclos lluvia-sol, menos frecuentes pero dañinos, pues producen variaciones mecánicas y volumétricas importantes.
  
- Efecto de la radiación solar:
  1. La radiación solar produce aumento de temperatura por influencia de la fracción IR del espectro.
  2. La fracción visible no produce alteraciones por ser su nivel energético inferior al necesario para catalizar reacciones de descomposición.
  3. La fracción UV (200-400 nm), posee energía superior a las 60-120 K cal.mol<sup>-1</sup> existente entre las uniones de los polímeros, provocando rotura de la molécula.
  4. Las reacciones son procesos de isomerización, polimerización y combinación entre dobles ligaduras (especialmente conjugadas), formándose complejos de estructura cíclica.
  5. Las impurezas de la película provenientes de procesos de polimerización (trazas de peróxidos, radicales libres residuales o productos de oxidación) se transforman en radicales iniciadores de la degradación o en simples transportes energéticos a otras moléculas que desencadenan reacciones secundarias de descomposición.
  
- Como consecuencia de lo manifestado precedentemente la película de barniz sufre la influencia de medios potencialmente adversos tanto provenientes del sustrato como del medio ambiente.

# APLICACION ELECTROSTATICA



11.1

11.1

República Argentina  
Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto.  
Dirección de Cooperación para el Desarrollo  
Fondo Argentino de Cooperación Horizontal  
FO-AR

II PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA PARA  
LA INDUSTRIA DE LA PINTURA Y AFINES.

PROYECTO Nº 1175

**PINTURAS. PROPIEDADES ESCENCIALES**

Ing. Juan J. Caprari

**CIDEPINT**  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN TECNOLOGIA DE  
PINTURAS  
(CIC-CONICET)

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL POR PINTURAS

Diagramado: Profesora Viviana Segura.

Tipografiado: Sra. Dora L. Aguirre

Srita Lorena Fernandez



## PROPIEDADES ESCENCIALES DE LAS PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS

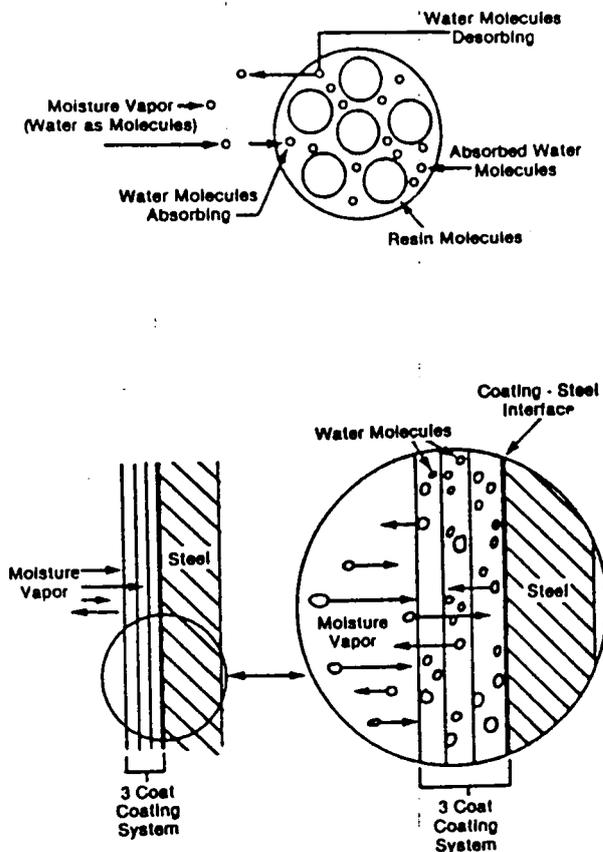
- La protección por pinturas es uno de los métodos más versátiles para controlar la corrosión: provee larga protección para medios tan diferentes como exposición atmosférica hasta inmersión continua en medios altamente corrosivos.
- La función de una pintura o recubrimiento protector es la de separar dos materiales de alta reactividad como líquidos, sólidos o gases corrosivos del hierro estructural por ejemplo, evitando el contacto entre ambos y su reacción química.
- Respecto de otros sistemas de protección, las pinturas y los recubrimientos tienen como ventaja la de proveer de mecanismos adicionales de protección provenientes de los pigmentos y otros componentes de la formulación.
- Dado que la película que se forma es relativamente fina y que la aplicación se realiza manualmente sobre grandes superficies, es importante obtener una película continua y uniforme.
- Para lograr una protección efectiva la película debe tener varias propiedades básicas comunes a todas y otras propiedades complementarias que dependen del uso específico a la que se las destinará.

## RESISTENCIA AL AGUA

- Es una de las propiedades más difíciles de obtener, a tal punto que no hay una pintura efectiva contra todos los tipos de agua existentes: agua destilada (retorno condensado), agua destilada y deionizada (pulido de condensado), agua deionizada, agua estancada, agua acidificada, aguas sulfurosas, aguas ácidas, aguas alcalinas, aguas salitrosas, aguas de alto contenido de oxígeno, etc.
- La molécula de agua es pequeña y presenta muchos de los compuestos orgánicos conocidos, circulando por los espacios intermoleculares y termina absorbido por este o atravesándolo. En forma de humedad se alcanza un equilibrio dinámico, manteniéndose un contenido constante de agua en la película.
- El agua afecta la permeabilidad de otras moléculas (amoníaco, dióxido de carbono, ácido clorhídrico), aumentándola. El amoníaco es gas y se disuelve en agua tornándose alcalino y aumentando su penetración. El ácido clorhídrico también gas, penetra en la película, ampolla y ataca la base.
- Las moléculas grandes (azúcar, hidróxido de sodio, ácido sulfúrico), tienden a eliminar todo el agua absorbida por la película.
- Una película resistente debe soportar inmersión continua en agua y agua de mar sin sufrir ampollado, cuarteado, ablandamiento, hinchado o pérdida de adhesión.

## ABSORCION DE AGUA

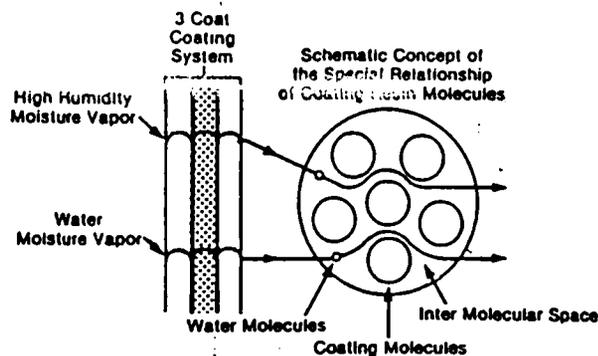
- Es la cantidad de agua absorbida y retenida entre los espacios intermoleculares de la película. Una vez formada el contenido de agua tiende al equilibrio con la humedad atmosférica, absorbiendo o desorbiendo agua de acuerdo a las condiciones externa.



- Si la película tiene alta adhesión, no existe interfase entre metal-pintura y el agua absorbida se mantiene en estado inerte por alcanzarse el equilibrio. Las mejores películas son las de baja absorción de agua.

## VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE VAPOR DE AGUA

- Es la velocidad a la cual el vapor de agua se transfiere a través de una película "libre" por impulso de la diferencia de presión existente entre la dos caras de la misma. Es un valor característico para cada resina y variable para cada pintura.
- En general cuando menos sea éste valor para la resina se supone un menor valor para la pintura.

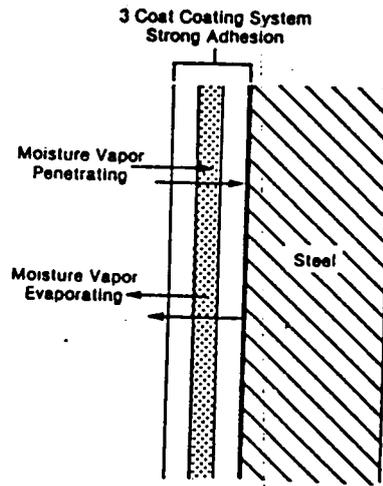


- Se debe considerar el pasaje a través de los espacios intermoleculares y no de los poros existentes en la película. En este caso una resina de alto peso molecular no entrecruzado tiene mayor permeabilidad.

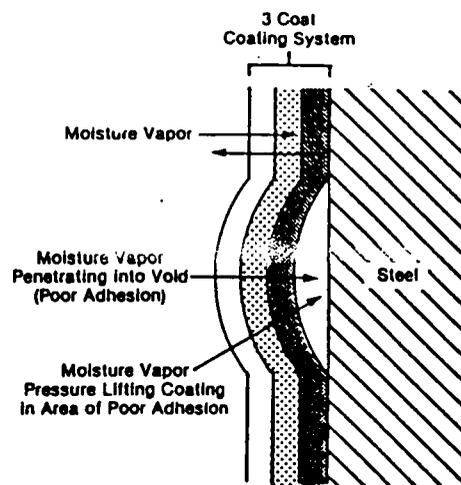
## TRANSFERENCIA DE VAPOR DE AGUA A TRAVES DE DIFERENTES RESINAS

RESINA	ESPESOR $\mu\text{m}$	G.100 Pulg.-2 24 h-1
Epoxi poliamida	200	0.17
Epoxi curada con aminas	190	0.30
Resina vinílica	140	0.83
Resina vinil-acrítica	125	0.83
Resina alquídica corta	125	3.7

- La velocidad de transferencia depende de la diferencia de presión entre las dos caras de la película:
  1. Buena adhesión: no hay diferencia de presión entre ambas caras y se logra el equilibrio dinámico.

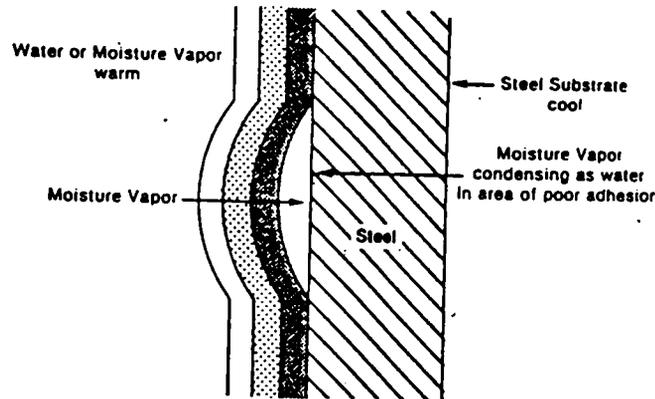


2. Mala adhesión: Hay interfase entre metal/pintura y el vapor de agua se transfiere hacia la interfase. La presión de vapor es hacia el metal y por acumulación se forma una ampolla y luego se produce desprendimiento.



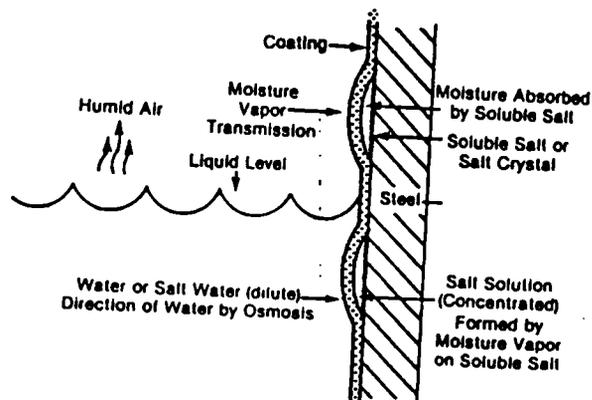
## GRADIENTE TERMICO

- Es otro mecanismo de transferencia en el cual el metal está a menor temperatura que el agua o vapor de agua en contacto con el revestimiento. Se produce ampollado.



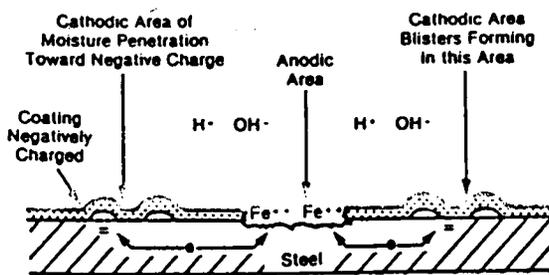
## OSMOSIS

- Es el pasaje de agua a través de una membrana semipermeable (película de pintura) desde una solución de baja concentración hacia otro de alta concentración. Tiene especial importancia en zonas contaminadas bajo la película.



## ELECTROENDOSMOSIS

- Es la transferencia de agua a través de una membrana semipermeable por efecto de un potencial eléctrico en la dirección del polo que tiene la misma carga eléctrica de la membrana.
- La película es generalmente negativa y si se produce la ruptura de la película, hay un exceso de electrones que carga negativamente ciertas zonas. El agua trata de circular a través de la película hacia el cátodo, produciendo ampollado.



## RESISTENCIA DIELECTRICA

- Es una propiedad mediante la cual el revestimiento interrumpe el circuito eléctrico. Impide el paso de los electrones y por lo tanto inhibe la disolución del metal en el ánodo. Es afectada por la absorción de agua.

## RESISTENCIA AL PASAJE IONICO

- Es la transferencia de iones desde el exterior del recubrimiento hacia el sustrato. Una película con alto peso molecular y estructura molecular densa tiene la mayor resistencia a la transferencia de iones.

## RESISTENCIA QUIMICA

- Es la capacidad de una pintura y en especial de la resina con la que está formulada para resistir el deterioro por acción de los reactivos químicos a los que está expuesta. Si es formulada con pigmentos reactivos tiene baja resistencia. Máxima con pigmentos inertes al medio.

## ADHESION

- Es una propiedad desarrollada por fuerzas físicas y químicas que interactúan en la interfase película-sustrato. La adhesión puede aumentarse por medios físicos (arenado o granallado), por medios químicos (tratamiento ácido o uso de pretratamiento) y por ambos combinados (arenado y pretratamiento).
- Hay polímeros polares de alta afinidad por los metales como las resinas epoxídicas. Las resinas vinílicas (de baja o nula polaridad) tienen muy poca o ninguna adhesión si se aplican directamente sobre metales. Siempre debe aplicarse una capa de Wash primer vinílico o una base que contenga como ligante una resina vinílicamodificada con monómeros polares. Se produce una adhesión de tipo químico.

- Desde el punto de vista práctico la adhesión es un problema técnico de tipo físico por el que debe aprovecharse al máximo las características de adhesión inherente del polímero, para lo cual debe cumplirse:
  - 1.- Aplicar la pintura sobre superficies limpias.
  - 2.- La superficie debe tener cierta rugosidad.
  - 3.- La pintura debe poseer cierto poder humectante de la superficie, para lograr contacto íntimo con la misma.
- La pintura debe resistir estas condiciones sin sufrir (en el corto plazo): tizado excesivo, cuarteado, agrietado, desprendimiento, ampollado, pérdida de adhesión, cambio de color excesivo.

### **TENDENCIA A LA CAPTURA DE POLVO**

- Por su alta polaridad muchas pinturas tanto de terminación como de fondo, tienen tendencia a atraer polvo atmosférico y retenerlo durante el período de secado al tacto, produciendo:
  - 1.- Mala terminación de la película final recién aplicada y discontinuidad en la película, disminuyendo su elasticidad.
  - 2.- Desmejora las propiedades anticorrosivas del fondo pues puede retener cloruros, sulfatos, cenizas alcalinas, carbón, etc. que crean condiciones para la penetración de agua o electrolitos.

### **RESISTENCIA A BACTERIAS Y HONGOS**

- Las bacterias y hongos afectan a la pintura desde dos puntos de vista:
  - 1.- Se fija en el polvo depositado en la película, se desarrolla y extiende desmejorando la estética de la película.
  - 2.- Ataca los componentes de la pintura, provocando su deterioro y pérdida de propiedades protectoras.

## PINTURAS

- Es un sistema disperso, constituido por la dispersión de un sólido friamente dividido o PIGMENTO en un medio fluido llamado VEHICULO.

### COMPONENTE

Pigmento

Vehículo

Ligante

Disolventes y  
Diluyentes

### PROPIEDADES

Color - Poder cubritivo, tamaño y formade partícula, absorción de ligante, resistencia al deterioro por luz, calor, agua, productos químicos.

Contenido y tipo de sólidos, viscosidad, índice de acidez, capacidad de humectación, retención de color, tiempo de secado duro, brillo, durabilidad, resistencia al deterioro por luz, calor, agua, productos químicos.

Viscosidad, capacidad de humectación, materias volátiles, calidad de película, tiempo de secado al tacto.

- Mientras que ambos componentes (pigmento y vehículo) influyen sobre las características de formulación, elaboración y propiedades, finales de la película, el tipo y composición del vehículo define:
  - 1.- Condiciones de secado o formación de película.
  - 2.- Método de aplicación.
- Ligante: Material cuya función es formar la película y proveer las fuerzas cohesivas que mantienen unidos los componentes de la película entre sí y parte de las fuerzas adhesivas que mantienen unido al sistema película-sustrato.

- Puede presentarse bajo la forma de un producto líquido, no pigmentado, que al ser aplicado por un método adecuado proporciona una película uniforme, lisa, brillante o mate, transparente y relativamente dura, independientemente de su mecanismo de secado. En este caso, se tiene un barniz.
- Puede presentarse formando parte de una dispersión, con el aspecto de un producto líquido, pigmentado, que al ser aplicado por un método adecuado proporciona una película uniforme, de color y brillo variable, opaca, lisa y relativamente dura, independientemente de su mecanismo de secado. En este caso se tiene una pintura.

## EL MECANISMO DE FORMACIÓN DE PELICULA

- El secado de la película es el pasaje de la pintura desde el estado líquido a la forma de una película sólida.
- El proceso involucrado puede ser de 3 tipos:
  - 1.- Proceso físico: solo ocurre evaporación del disolvente, como en el caso de una pintura vinílica pura.
  - 2.- Proceso químico: solo ocurre reacción química entre componentes, como en el caso de una pintura epoxídica de 100 % de sólidos.
  - 3.- Proceso combinado: en la primera etapa se produce la evaporación del disolvente (secado al tacto) para, una vez eliminado casi todo el disolvente, terminar el proceso por reacciones químicas de diferente complejidad, con elementos del medio ambiente (oxígeno en una resina alquídica) o con productos incorporados en la formulación (aminas en una resina epoxídica).
- Las reacciones pueden tener lugar a temperatura ambiente o necesitar de una fuente de energía en forma de calor o radiación ultravioleta.

## PROCESO FISICO

- La película se forma por el simple fenómeno físico de evaporación de disolventes y sin modificación química de la resina constituyente del ligante. La película formada se redisuelve si es puesta en contacto nuevamente con el disolvente de la pintura o barniz. Debido a esto se los llama PRODUCTOS NO CONVERTIBLES.
- La película se forma cuando la evaporación ha avanzado significativamente de manera tal que las moléculas del ligante queden cercanas entre sí y las fuerzas de atracción entre ellas sean superiores a las fuerzas de disolución-dispersión del disolvente.
- La estructura debe ser ordenada y homogénea, lo que se obtiene si los disolventes mantienen la máxima disolución-dispersión y movilidad molecular a lo largo de todo el tiempo de secado. La condición externa opuesta es la rápida precipitación del sólido como consecuencia de la evaporación producida en un lapso muy breve.
- En sistemas de alto espesor que secan por este mecanismo hay cierta tendencia a retener los disolventes principales y a producir películas blandas inicialmente, que se van endureciendo con el tiempo.

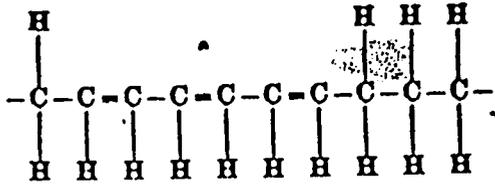
## PROCESO COMBINADO SECADO FISICO Y QUIMICO

- Se produce por el proceso inicial físico de evaporación de disolventes y el desarrollo paulatino de una reacción química que se completa con el tiempo. El ligante final tiene una estructura química diferente a la de la resina original, por lo que se los llama PRODUCTOS CONVERTIBLES.

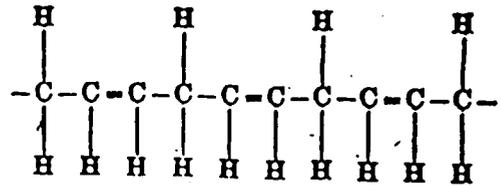
## CONVERSION POR ACCION DEL OXIGENO DEL AIRE

- Es el secado de pinturas a base de ligantes que contienen aceites secantes y de los barnices olerresinosos. Para que el proceso de conversión tenga lugar, el componente químico del ligante debe ser no saturado, es decir, debe tener dobles o triples ligaduras en su estructura.
- Ejemplos son aceites vegetales como el lino, tung y el aceite de pescado. En los aceites vegetales esos ácidos son el oleico, linoleico y linolenico, y en el aceite de tung, el ácido eleosteárico.
- Los ácidos grasos pueden tener 1, 2 o 3 dobles ligadura. Los que no tienen o tienen una sola son no secante; los de 2 dobles ligaduras son semisecantes y los de 3 dobles ligaduras secantes.

Las ligaduras pueden ser no conjugadas o conjugadas.



Trieteno conjugado



Trieteno no conjugado

- En este caso, el proceso de secado es:
  - 1.- Inducción: Poca absorción de oxígeno y sin polimerización.
  - 2.- Absorción: Se absorbe oxígeno atmosférico y se producen peróxidos e hidroperóxidos que actúan como catalizadores.
  - 3.- Polimerización: Termina la absorción de oxígeno y comienza la reacción interna con formación de uniones entre cadenas.
- Cuando la película alcanza consistencia de gel, se tiene secado al tacto, para luego solidificar en una película de diferente dureza (de acuerdo al tiempo de reacción), alcanzándose el secado duro.
- El proceso puede acelerarse incorporando catalizadores (favorecen la reacción) que se denominan secantes. Son jabones de plomo, cobalto, magnesio, cinc, calcio en forma de naftenatos y octoatos, que se agregan en diferentes proporciones a la pintura pues cumple distintas funciones.
- Algunos pigmentos como el negro de humo y el bióxido de titanio producen una absorción grande del secante durante el almacenaje, restándolo de la composición y retardándolo e incluso inhibiendo (negro de humo) el secado.

- El proceso explicado es aplicable a los aceites y a todos los barnices y resinas que contienen aceites secantes en su composición.
- Conversión por el calor: Son las denominadas pinturas horneables, pinturas al horno ó pinturas al fuego. Son fabricadas a base de barnices que contienen aceites semisecantes a las que se mezcla con resinas que reaccionan con ellas a cierta temperatura. El endurecimiento varía en función del tiempo. Pueden aplicarse en forma líquida (pinturas horneables) o en forma sólida (pinturas en polvo).
- Conversión química: Se adiciona a la resina un agente de curado en el momento de su utilización y la reacción ocurre a temperatura ambiente, siendo acelerada por el calor. En el mismo proceso se producen entrecruzamientos de cadena, formándose una estructura de gran resistencia.
- En este tipo de revestimiento es necesario respetar un tiempo de inducción en el envase antes de su aplicación para que comience la reacción y el producto mezclado tiene una vida útil (pot-life) máxima de los componentes una vez incorporado el agente de curado que depende de la composición y de la temperatura ambiente.

## DISOLVENTES Y DILUYENTES

- La importancia de los componentes volátiles de una pintura están vinculados con las operaciones de aplicación, y la formación y propiedades de la película:
  - 1.- Operaciones de aplicación:
    - Ayudan a la humectación del sustrato.
    - Penetran en el perfil de rugosidad e imperfecciones del sustrato.
    - Influyen sobre la aplicabilidad, viscosidad, contenido de sólidos, velocidad de secado, espesor de película por capa y durabilidad en servicios.
- Los componentes volátiles se clasifican en:
  - Disolventes activos: son los que actúan disolviendo la resina constituyente del ligante.
  - Diluyentes: no disuelven la resina que actúa como ligante, pero son agregados en cantidades limitadas al disolvente activo sin producir precipitación de la resina. Sirven para mejorar la aplicabilidad, la penetración, regular el secado y la formación de la película y bajar el costo.
  - Disolventes latentes: no son disolventes de las resinas pero se transforman en disolventes en presencia del solvente activo. Mejoran la estabilidad de la solución.

## MECANISMO DE DISOLUCION

### MOLECULAS POLARES Y MOMENTO DIPOLAR

- El mecanismo de disolución está íntimamente ligado a la presencia de grupos polares en la molécula.
- En un enlace entre dos átomos iguales (A:A) la distribución de cargas está repartida por igual entre ambos núcleos y la molécula es homopolar.
- En moléculas con átomos diferentes (A:B), la distribución de cargas no es uniforme, debido a la diferente atracción que poseen cada uno de los núcleos por los electrones. Hay entonces un átomo positivo y uno negativo, lo que genera una escala de electronegatividad.

H						
2,1						
Na	Mg	Al	C	N	O	F
0,9	1,2	1,5	2,5	3,0	3,5	4,0
K	Ca		Si	P	S	Cl
0,8	1,0		1,8	2,1	2,5	3,0

- Los disolventes tienen un momento dipolar que da idea del grado de asimetría de la molécula.

Hidrocarburos normales.....	0,0
Esteres.....	1,2
Aminas primarias.....	1,3
Acidos carboxílicos.....	1,4
Alcoholes normales.....	1,7
Aldehídos.....	2,5
Cetonas.....	2,7
Cianuros.....	3,4
Amidas.....	3,6

- Los disolventes no polares (tolueno, xileno, aguarrás mineral) disuelven fácilmente los ligantes no polares y escapan de la película casi en su totalidad. Los disolventes polares por tener un campo electrostático apreciable tienden a quedarse retenidos por mayor tiempo en la película.

## MECANISMO DE DISOLUCIÓN

- Cuando una sustancia sólida (P) se agrega a una sustancia sobre un líquido (S), la disolución de (P) en (S) es función del grado de polaridad de cada una de las asociaciones moleculares involucradas.
- Si (P) es no polar, su disolución es una invasión del disolvente (S) dentro de su estructura. Durante el movimiento normal de la molécula del polímero se producen huecos que son ocupados por las moléculas más pequeñas del disolvente.
- Esto separa las moléculas de (P) e impiden que se vuelvan a acercar. La repetición de este fenómeno ocurre hasta que las moléculas de (S) forman una caparazón alrededor de las cadenas poliméricas (P). Es una disolución por solvatación.
- Es el caso del caucho clorado (no polar) que se disuelve en tolueno (no polar), pero es insoluble en alcohol etílico (polar).
- El caucho clorado (no polar) no tiene fuerza electrostática para ubicarse dentro de la estructura del alcohol, mientras que dicha fuerza proveniente del alcohol no tiene efecto sobre una sustancia neutra (caucho clorado).
- La resina colofonia (polar) es soluble en cualquier proporción en alcohol etílico (polar), pues la mayor polaridad del alcohol separa las moléculas de resina, produciéndose la disolución.

## **SECANTES**

**Aceleran la conversión de la película sólida.**

**Son sales de metales pesados de ácidos orgánicos**

**Por su acción se clasifican en:**

**Secantes de superficie**

**Secantes internos**

LOS SECANTES DE USO MAS COMUN SON NAFTENATOS Y OCTOATOS DE PLOMO  
COMO SECANTES INTERNOS.

NAFTENATOS Y OCTOATOS DE COBALTO Y MANGANESO COMO SECANTES DE  
SUPERFICIE.

EL EXESO DE SECANTE PUEDE PROVOCAR EFECTOS NO DESEADOS, COMO  
ARRUGADO DE LA PELICULA O MODIFICACIONES DURANTE EL ALMACENAJE DE  
LA PINTURA (FLOCULACION).

## **PLASTIFICANTES**

Se agregan a los polímeros de alto peso molecular, formadores de película, para aumentar su flexibilidad.

Existen tres tipos fundamentales:

**Aceites vegetales no secantes**

**Monómeros de alto punto de ebullición**

**Polímeros resinosos**

DENTRO DE LOS ACEITES NO SECANTES EL DE RICINO ES MUY UTILIZADO  
(CASTOR OIL)

LOS MONOMERICOS MAS COMUNES SON LOS FTALATOS P.EJ: DE DIBUTILO

BENZOATOS

FOSFATOS P.EJ: DE TRICRESILO

RESINAS: ALQUIDICAS

LOS PLASTIFICANTES EN GENERAL REDUCEN LA DUREZA Y RESISTENCIA AL AGUA  
DE LAS PELICULAS DE PINTURA.

LOS PLASTIFICANTES BASAN SU ACCION EN LAS CARACTERISTICAS SOLVENTES.

OTROS LOS NO SOLVENTES, DISMINUYEN LAS FUERZAS DE COHESION ENTRE  
MACROMOLECULAS.

## **ESPESANTES**

**Sustancias destinadas a aumentar la viscosidad de la pintura y no permitir la sedimentación de los pigmentos durante el almacenamiento.**

ESTOS ESPESANTES PUEDEN SER:

ESTEARATO DE ALUMINIO

SILICE FINAMENTE DIVIDIDA

FORMAN AGREGADOS O MICELAS EN HIDROCARBUROS QUE SE COMPORTAN

COMO GELES Y ACTUAN ESPESANDO

PARA PRODUCIR PINTURAS TIXOTROPICAS ES NECESARIO INCORPORAR

CASTOL OIL (ESPESANTE ORGANICO)

BENTONITAS (ESPESANTE INORGANICO)

## ANTICAPA

Utilizados en pinturas al aceite, ~~de~~ resinosas, alquídicas, impiden la formación de película en el envase. No deben interferir en las propiedades de la película de pintura.

LA CAPA FORMADA EN EL ENVASE TIENE CARACTERISTICAS SIMILARES A LA DE LA FORMACION DE LA PELICULA DE PINTURA.

SOBRE TODO EN ENVASES NO ENRASADOS ( DEBIDO AL AIRE EXISTENTE)

ADITIVOS ANTIOXIDANTES EJ: METIL CETOXIMA

FENOLES

## DISPERSANTES

Son sustancias que se concentran en la superficie del líquido al que se incorpora el sólido disperso posibilitando mejor humectación.

Pueden ser ácidos orgánicos, jabones de metales pesados, aceites no secantes.

EXISTEN FUERZAS DE COHESION EN LOS PIGMENTOS QUE MANTIENEN AGLOMERADAS A LAS PARTICULAS.

A LA HUMEDAD Y AL AIRE QUE CONTIENEN SUPERFICIALMENTE LAS PARTICULAS DE PIGMENTO ES NECESARIO REEMPLAZARLAS DURANTE LA DISPERSION (OPERACION DE PREPARACION DE PINTURA) PARA SEPARARLAS Y ORIENTARLAS.

TARLA XII

EJEMPLOS DE DEFECTOS DE PULVERIZACIÓN EN "AIRLESS SPRAY"; CAUSAS QUE LAS PRODUCEN Y MEDIDAS CORRECTIVAS (°)

CONDICIONES	CAUSA	CORRECCION
1. Marcas parecidas a dedos sobre la superficie pulverizada	1.1 Presión de la bomba muy baja 1.2 Material muy viscoso	1.1 Incrementar la presión ajustando el regulador de la bomba 1.2 Difundir a la consistencia adecuada
2. La misma condición citada en 1, pero el material tiene la consistencia correcta y la bomba opera a la máxima presión.	2.1 El crificio de la boquilla pulverizado- ra es muy pequeño	2.1 Cambiar la boquilla pulverizadora por una de mayor tamaño
3. Se suelta el gatillo y la pistola continúa pulverizando	3.1 Presión muy alta 3.2 El tornillo de ajuste del pasaje de fluido está muy abierto 3.3 Material seco o polvo sobre el asiento de la aguja 3.4 La aguja reguladora del pasaje de fluido está pegada sobre la empaquetadura	3.1 Reducir la presión por ajuste del regulador sobre la bomba 3.2 Ajustar según instrucciones del equipo 3.3 Limpiar en ambos casos 3.4 Aflojar la empaquetadura y reemplazar la pieza
4. El material continúa goteando desde la boquilla pulverizadora después de soltar el gatillo	4.1 La boquilla pulverizadora o los asientos de la aguja gastados 4.2 La aguja reguladora del pasaje de fluido pegada sobre la empaquetadura	4.1 Pulirla o reemplazarla 4.2 Aflojar la empaquetadura y reemplazar la pieza

5. Boquilla pulverizadora y anillo gastados      5.1 El movimiento de la aguja está restringido a 1/16".      5.1 Reajustar el tornillo de ajuste de la aguja

5. Pulverización que produce una capa de tlapo arenoso

6.1 La presión de aire a la entrada de la bomba es muy baja      6.1 Aumentar la presión; controlar la presión durante la pulverización

6.2 Formación de hielo en el escape de la bomba, por la rápida expansión del aire húmedo      6.2 Colocar la bomba en una zona menos húmeda o liberar el escape

7. No pulveriza

7.1 No hay presión en el fluido      7.1 Revisar la línea para una apropiada operación

7.2 Boquilla pulverizadora tapada      7.2 Limpiar la boquilla

8. Pulverización distorsionada o discontinua

8.1 Acumulación de material sobre la boquilla pulverizadora      8.1 Limpiar

8.2 Presión de fluido muy baja      8.2 Aumentar la presión

8.3 Boquilla pulverizadora excesivamente gastada      8.3 Reemplazarla; dado que el tamaño del orificio es muy pequeño y no permite una inspección visual hay un punto crítico que es cuando la boquilla pulveriza bien, normalmente, y luego mal

9. Fuga del producto por el soporte de la empaquetadura

9.1 Soporte de la empaquetadura flojo      9.1 Ajustarlo y lubricar

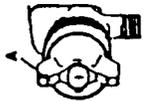
9.2 Empaquetadura gastada      9.2 Reemplazar la empaquetadura

(\*) La elección de la presión correcta y boquilla adecuada da como resultado un modelo normal de esta forma:

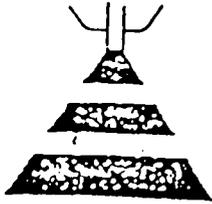
(26)

FALLAS EN LA PULVERIZACION A BAJA PRESION Y FORMA DE CORREGIRLAS \*

FALLA QUE AFARECE	CAUSA DE LA FALLA	CORRECCION
	<p>Materia! seco en el orificio A que reduce el pasaje a través del mismo; la presión de aire del orificio limpio fuerza el abanico en dirección a la zona indicada con A en la figura de la derecha</p>	<p>Limpiar, disolviendo el material que constituye la suciedad, empleando un disolvente adecuado (por ejemplo "thin-ner"); no limpiar el orificio con materiales metálicos u otros que producen efecto abrasivo</p>
	<p>Materia! seco alrededor de la parte externa de la boquilla pulverizadora; ubicado en el punto B restringe el pasaje de! aire atomizador en un punto del centro abierto de la boquilla pulverizadora, produciéndose el efecto de la figura de la izquierda en la zona pintada; puede ocurrir también esta falla por estar floja la boquilla pulverizadora</p>	<p>Si el material seco es el causante del problema se saca la boquilla pulverizadora del soporte y se limpia con un trapo impregnado en "thinner"; se revisa luego la junta y se aprieta el soporte de la boquilla. En el otro caso, ajustar la boquilla pulverizadora.</p>
	<p>Una pulverización dividida o una forma donde la acumulación del producto es grande en los extremos y escasa en el centro, se produce por una presión atomizadora muy alta o por intentar aplicar un abanico muy ancho con un producto excesivamente diluido (muy baja consistencia)</p>	<p>Reduciendo la presión de aire se corrige la primera de las causas citadas; para la segunda se debe abrir la perilla de control de material (D) al máximo, moviéndola hacia la izquierda; al mismo tiempo se girará la perilla de ajuste de abanico (C) hacia la derecha; esto reduce el ancho del abanico pero corrige el defecto.</p>



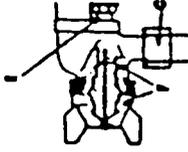
1. La empaquetadura existente alrededor de la aguja permite al aire introducirse dentro del canal de pasaje de la pintura.
2. Presencia de polvo o suciedad entre el asiento de la boquilla y el cuerpo de la pistola; también puede producirse por estar la boquilla de pulverización floja.
3. Articulación giratoria de la taza de succión floja.



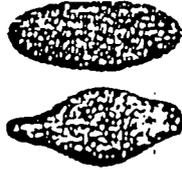
Para corregir la causa (1) desensamblar la pieza estriada (E), colocar aceite de máquina en la empaquetadura y ajustar el sistema con suave presión; si no se corrige, reemplazar la empaquetadura.

Para (2) quitar la boquilla pulverizadora (F), limpiar el asiento y el cuerpo de la pistola con un trapo impregnado en "thinner" y rearmar.

Para corregir la causa (3) se deberá ajustar o reemplazar la tuerca loca (G).



La forma del abanico es gruesa en el medio y menor en los extremos (figura de la izquierda) por exceso de presión de aire. Se obtiene un efecto denominado "sal y pimienta" (figura de la derecha) con un salpicado de diferente tono; ello es índice de presión de aire insuficiente.



Regular la presión de aire con el regulador intercalado entre la fuente de aire y la pistola; ajustar la presión de acuerdo con lo indicado por el manual del equipo.

República Argentina  
Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto.  
Dirección de Cooperación para el Desarrollo  
Fondo Argentino de Cooperación Horizontal  
FO-AR

II PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA PARA  
LA INDUSTRIA DE LA PINTURA Y AFINES.

PROYECTO Nº 1175

## FUNDAMENTOS DE CORROSION

Ing. Juan J. Caprari

CIDEPINT  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN TECNOLOGIA DE  
PINTURAS  
(CIC-CONICET)

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL POR PINTURAS

Diagramado: Profesora Viviana Segura.

Tipografiado: Sra. Dora L. Aguirre

Srita Lorena Fernandez



## RELACION CORROSION PINTURAS

- Según NACE: Destrucción de un material (generalmente en metal) por reacción con el medio ambiente, con marcada variación o pérdida de sus propiedades originales.
- La definición no emplea los términos corrosión química o electroquímica debido a que los mismos solo se refieren al caso particular de los metales y no tienen aplicación sobre otros materiales que también se destruyen por exposición al medio ambiente.
- Dentro de estos términos, la corrosión también afecta al concreto, madera, cerámicos y plásticos. En algunos casos los cambios se detectan visualmente o por cambio de peso y en otros no.
- Cambios visibles:
  - Cuarteado del acrílico
  - Tizado de una pintura
- Cambios no visibles:
  - Pérdida de cinc de una aleación de bronce

# **FUNDAMENTOS DE CORROSION**

## **Principios de electroquímica**

- Dado que el hierro no existe libre en la naturaleza, este tiende a volver a su estado original pues es termodinámicamente inestable.
- Al corroerse, la energía almacenada en el hierro metálico es cedida a la reacción que permite al hierro volver a su estado natural.
- Lo dicho ocurre también en el caso de otros metales como el cinc, aluminio, magnesio.
- Cuanto más energía absorbe el metal para transformarse de óxido, tiende a sufrir corrosión con mayor facilidad.
- Hay metales que existen en la naturaleza en forma metálica y también como compuestos: estaño, cobre, plata, platino, oro. Su extracción requiere, entonces de mínima energía.

**METALES ORDENADOS POR LA ENERGÍA  
REQUERIDA PARA SU CONVERSION  
EN OXIDOS**

METALES	ENERGIA DE CONVERSION
Potasio	Máxima
Magnesio	
Berilo	
Aluminio	
Zinc	
Cromo	
Hierro	
Niquel	
Estaño	
Cobre	
Plata	
Platino	
Oro	Mínima

**FUERZA ELECTROMOTRIZ (FEM)**

- Lo mismo ocurre con el metal respecto de la FEM. Aquellos que requieren mayor cantidad de energía para su transformación son aquellos con la mayor fuerza electromotriz, es decir tienen mayor tendencia a sufrir corrosión.
- Significa mayor tendencia a pasar a solución y formar iones.
- Por esta causa la FEM suele ser denominada como potencial de disolución.
- Se puede construir así una tabla de fuerzas electromotrices, donde arbitrariamente se introduce el hidrógeno como referencia y se le da el valor cero.

## SERIE DE FEM (resumida)

Potasio	
Magnesio	
Aluminio	
Cinc	
Cromo	
Hierro	
Niquel	
Estaño	( - )
Plomo	ACTIVOS
HIDROGENO	0
Cobre	Interes (nobles)
Plata	
Platino	
Oro	

## CORROSION LECETROQUIMICA

- Para que ocurra es necesario que estén presentes al menos cuatro componentes:

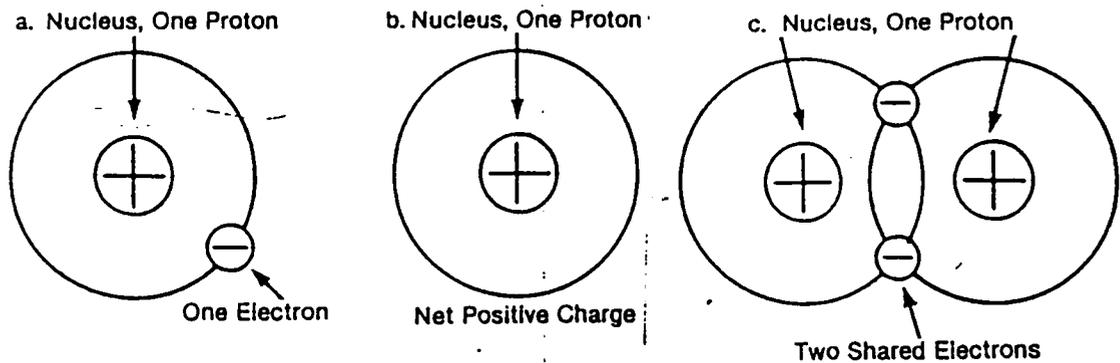
ANODO (A)  
ELECTROLITO  
(solución conductora)

CATODO (C)  
CIRCUITO EXTERNO  
(contacto entre A y C)

- El conjunto se denomina Celda de Corrosión.
- Favorecen la reacción: Presencia de oxígeno, agitación, temperatura, presencia de ácidos o alcalis (pH), etc.

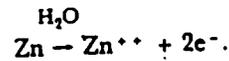
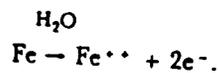
## IONIZACION

- Los términos ión e ionización son muy importantes para comprender el rol de cada elemento con el conjunto .
- Si el número de cargas (+) del núcleo (protones) es igual al número de cargas (-) que lo rodean (electrones), la estructura está eléctricamente neutra. Se tiene un átomo de hidrógeno.



- Si un átomo de hidrógeno comparte su electrón con otro átomo de hidrógeno, se tiene una molécula de hidrógeno.
- Si uno o más electrones se retira del átomo, el número de cargas (-) de la periferia son insuficientes para neutralizar las cargas (+) del núcleo y la parte residual del átomo se carga (+). Se ha producido un ION. Es el caso del sodio.
- Si uno o más electrones se agregan a la periferia del átomo, el número de cargas (-) excede al de cargas (+) del núcleo. También se ha producido un ION. Es el caso del cloro.
- Durante una reacción electroquímica, los iones (+) migran hacia el cátodo o polo (-) de la celda por lo que se los denomina CATIONES.
- Simultáneamente los iones (-) migran hacia el ánodo o polo (+) de la celda, por lo que se los denomina ANIONES.

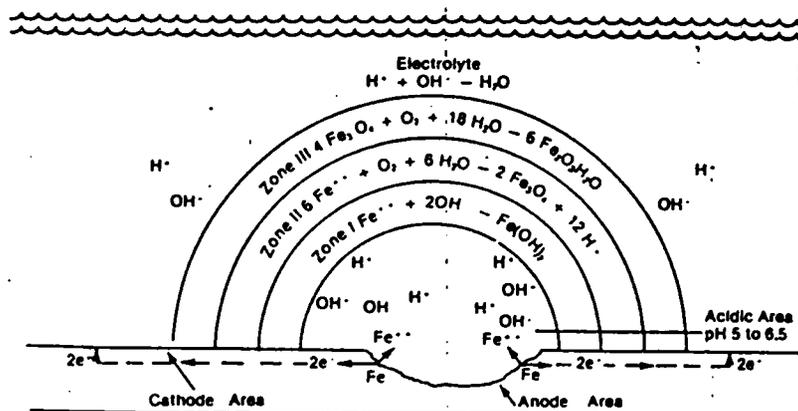
- La ionización puede expresarse:



- Los iones en solución acuosa forman un ELECTROLITO, cuya conductividad eléctrica depende de la CONCENTRACION y de la MOVILIDAD de los iones en la solución. La movilidad depende del tamaño del ión, de la interacción ión-solvente y de la temperatura del electrolito.
- La corriente eléctrica que transporta el electrolito resulta del movimiento de los iones en la solución y la cantidad de corriente es proporcional a la concentración IÓNICA.

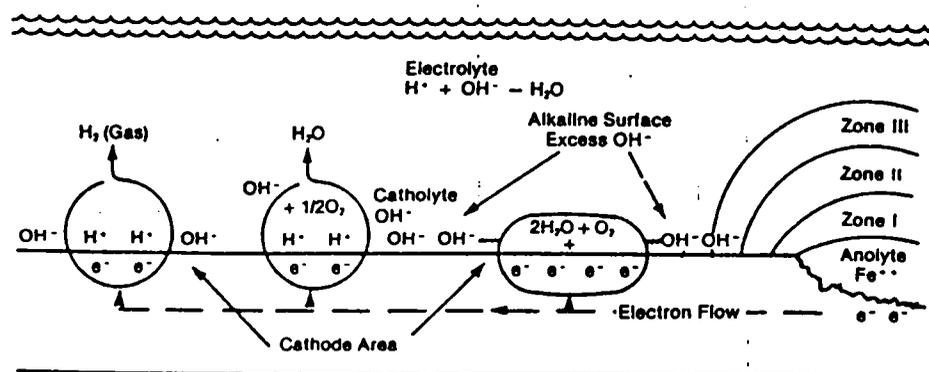
## CELDA DE CORROSION

- El ánodo es el área donde se produce la disolución del metal cuya primera reacción en el caso del acero es la transformación del hierro metálico en ión ferroso y la producción de dos electrones.
- A partir de ella se pueden encontrar 3 zonas de reacción bien diferenciadas; cuyos productos de reacción varían en función de la concentración creciente de oxígeno en el electrolito.

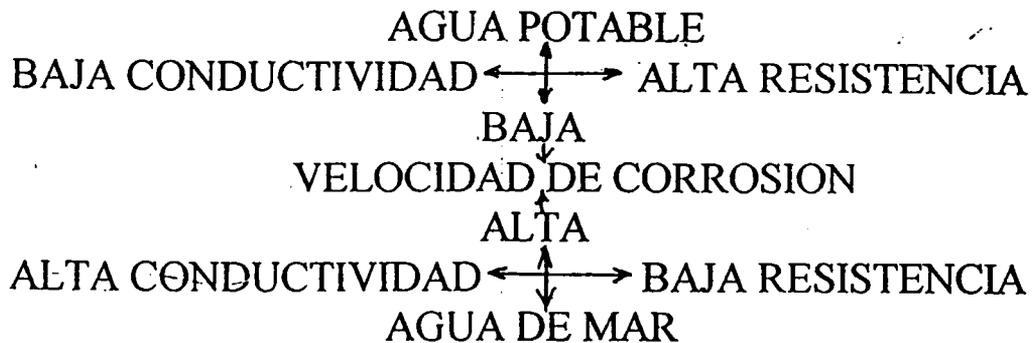


- Si dentro del electrolito se encuentran iones negativos como carbonatos, cloruros, sulfatos e iones hidroxilos producen reacciones secundarias con el hierro compitiendo con el oxígeno.
- En el cátodo se producen reacciones menos complejas, pero muy importante en el control de la velocidad de corrosión que tenga lugar en los ánodos. La misma no ocurre hasta que los electrones no están acomodados para llegar a producir la reacción catódica.
- La reacción que tiene lugar es esencialmente la neutralización de los electrones producidos por la disolución del hierro en el área anódica y que llegan por el circuito externo.

- 1)  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$
- 2)  $\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{H}$
- 3)  $8\text{H} + 2\text{O}_2 \rightarrow 4\text{H}_2\text{O}$
- 4)  $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$



- En la última reacción se produce iones que alcalinizan fuertemente el área catódica por lo que la pintura que protege esa zona debe tener alta resistencia a la saponificación.
- El electrolito es la solución que rodea o cubre el metal. Su conductividad define la velocidad de corrosión:



- Cuando el ánodo y el cátodo están sobre la MISMA SUPERFICIE METALICA, el mismo metal actúa de CIRCUITO EXTERNO. Si son dos metales diferentes tienen que estar en buen contacto. Su conductividad o resistencia también determina la velocidad de corrosión.

### INFLUENCIA DEL OXIGENO

- En presencia de los cuatro factores enumerados la corrosión se produce muy lentamente o se detiene en ausencia de oxígeno. Su función es remover el hidrógeno que se estaciona sobre el cátodo y consumir electrones. La acumulación de hidrógeno impide la neutralización de los electrones y se expresa que la celda está polarizada.

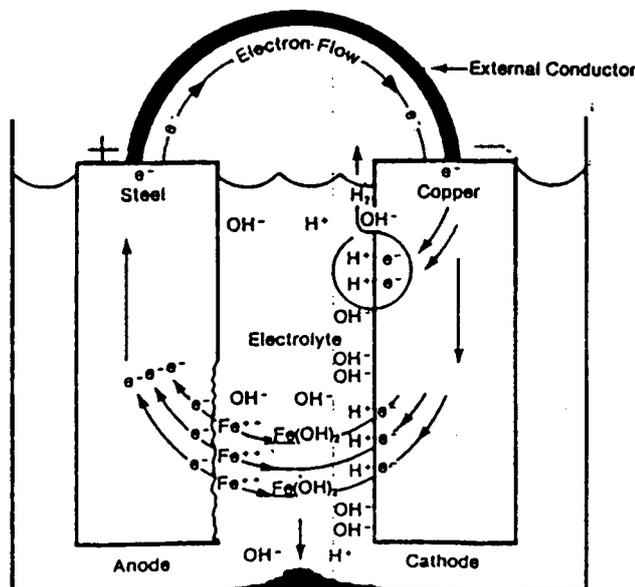
## RELACION ANODO-CATODO

- La relación superficie anódica a superficie catódica es fundamental en la velocidad de corrosión y en las consecuencias del fenómeno sobre el material:
  1. Superficie catódica igual a superficie anódica:  
Corrosión Generalizada
  2. Superficie catódica mucho mayor que superficie anódica:  
Corrosión Localizada
  3. Por esta razón los ángulos, agujeros y cordones de soldadura son zonas de mayor actividad corrosiva. Otro tanto ocurre sobre zonas con raspaduras o alteraciones superficiales.

## CONCEPTOS QUIMICOS Y ELECTRICOS DE UNA CELDA DE CORROSION

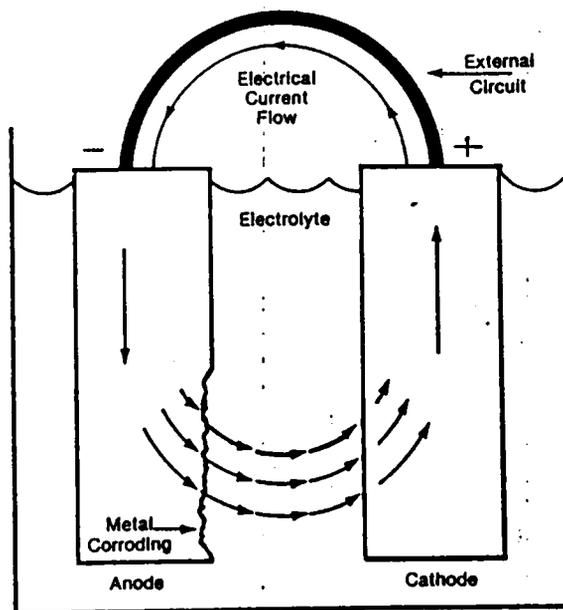
### CONCEPTO QUIMICO

1. El hierro se disuelve en el ánodo, reacciona con los iones hidroxilo y precipita.
2. Los electrones se mueven a través del metal o del circuito externo hacia el cátodo, donde neutralizan el hidrógeno que se escapa como gas.



## CONCEPTO ELECTRICO

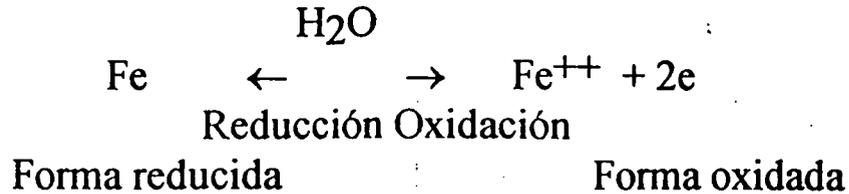
1. La corriente eléctrica fluye desde el ánodo hacia el cátodo a través de la solución.
2. El ánodo es el área de la superficie metálica donde la corriente eléctrica abandona el metal y entra en la solución.
3. El cátodo es por donde retorna desde la solución al metal y de allí al ánodo por el circuito externo.



- Una celda de corrosión se representa por la combinación de 2 hemiceldas: ánodo-electrolito y cátodo-electrolito.
- La caída de potencial causada por el pasaje de corriente entre la hemicelda anódica-catódica se denomina POLARIZACION.
- El potencial de electrodo es importante para el ingeniero en corrosión porque es una medida de la tendencia de un electrodo (metal-electrolito) para ganar o perder electrones.
- La diferencia de potencial entre 2 hemiceldas es la fuerza que produce la corrosión y que determina la velocidad del proceso.

- La velocidad de corrosión viene determinada por factores ambientales:
  1. Condición del metal.
  2. Concentración iónica del metal y otros componentes del electrolito.
  3. Temperatura.
  
- La polarización puede detener o inhibir el proceso normal de corrosión por:
  1. Baja velocidad de movimiento iónica.
  2. Baja velocidad de combinación molecular.
  3. Baja solvatación de los iones por el electrolito.
  4. Presencia de agentes polarizantes en la interfase electrolito-electrodo.
  
- Se puede evitar:
  1. Agitación del electrolito: elimina los productos de corrosión de la interfase electrodo-electrolito.
  2. Retira el hidrógeno (molecular o atómico) de la superficie catódica.
  3. Presencia de agentes despolarizantes.
  
- Hay dos clases de polarización: por activación o por CONCENTRACION, que retardan las reacciones de corrosión.
  
- La polarización por activación: retarda la actividad inherente a la reacción. La velocidad de evolución del hidrógeno en el cátodo depende de la velocidad de transferencia de electrones en el ánodo.
  
- La polarización por concentración: se refiere a la reacción electroquímica que produce cambios de concentración en el electrolito adyacente a la superficie metálica. La reacción se controla por la velocidad de difusión del hidrógeno a través de la solución.

# OXIDACION Y REDUCCION



- La oxidación ocurre en el ánodo y por ello los productos de reacción se denominaban óxidos.

## CORROSION GALVANICA

### Serie de fuerzas electromotrices

- Cuando varios metales se ordenan de acuerdo a sus potenciales comparativos, constituyen una **SERIE DE FUERZAS ELECTROMOTRICES (SERIE EFM)**.
- El hidrógeno constituye el elemento arbitrario de referencia. Los elementos por encima de él incrementan su actividad a medida que el potencial es más negativo. Los elementos por debajo de él son tanto más inertes cuanto su potencial se haga más positivo.

Electrode Reaction	Standard Electrode Potential E (Volts), 25 C
K = K <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	-2.922
Ca = Ca <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-2.87
Na = Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	-2.712
Mg = Mg <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-2.34
Be = Be <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-1.70
Al = Al <sup>+++</sup> + 3e <sup>-</sup>	-1.67
Mn = Mn <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-1.05
Zn = Zn <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0.762
Cr = Cr <sup>+++</sup> + 3e <sup>-</sup>	-0.71
Ga = Ga <sup>+++</sup> + 3e <sup>-</sup>	-0.52
Fe = Fe <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0.440
Cd = Cd <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0.402
In = In <sup>+++</sup> + 3e <sup>-</sup>	-0.340
Tl = Tl <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	-0.336
Co = Co <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0.277
Ni = Ni <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0.250
Sn = Sn <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0.136
Pb = Pb <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	-0.126
H <sub>2</sub> = 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	0.000
Cu = Cu <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	0.345
Cu = Cu <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	0.522
2Hg = Hg <sub>2</sub> <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	0.799
Ag = Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	0.800
Pd = Pd <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	0.83
Hg = Hg <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	0.854
Pt = Pt <sup>++</sup> + 2e <sup>-</sup>	ca1.2
Au = Au <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	1.42

## PREPARACIONES PARA EVITAR EL DESARROLLO DE CUPLAS GALVANICAS

1. Evitar la combinación de metales con potenciales muy separados en la serie galvánica.
2. Evitar las combinaciones donde el área anódica sea muy chica respecto de la catódica. Usar metales para remaches que sean catódicos respecto del área que los rodea.

Metal A	Metal B	Comments	Borderline, May Work, Uncertain		
<b>Couples That Usually Give Rise to Undesirable Results on One or Both Metals</b>			Copper	Solder	Soldered joint may be attacked, but may have useful life.
Magnesium	Low-Alloy Steel	Accelerated attack on A. danger of hydrogen damage on B.	Graphite	Titanium or Hastelloy C	
Aluminum	Copper	Accelerated pitting on A. Ions from B attack A. Reduced corrosion on B may result in biofouling on B.	Monel-400	Type 316 SS	Both metals may pit.
				<b>Generally Compatible</b>	
			Titanium	Inconel 625	
Bronze	Stainless Steel	Increased pitting on A.	Lead	Cupronickel	

3. Aislar las juntas de metales diferentes cuando sea posible, empleando plásticos y/o pinturas.
4. Pintar toda la superficie cuando sea posible. No pintar solo la parte anódica pues la corrosión se acelera en las imperfecciones o raspaduras que aparecen en la película.
5. Sellar adecuadamente la unión de superficies.
6. Aplicar un recubrimiento metálico para reducir la diferencia de potencial.
7. Evitar las uniones tornilladas cuando se empleen diferentes metales.

## CELAS DE CONCENTRACION DE OXIGENO

- Se produce en condiciones de inmersión y se considera una de las más destructivas.

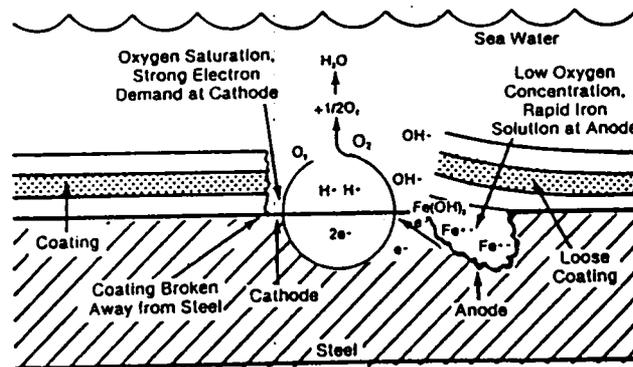
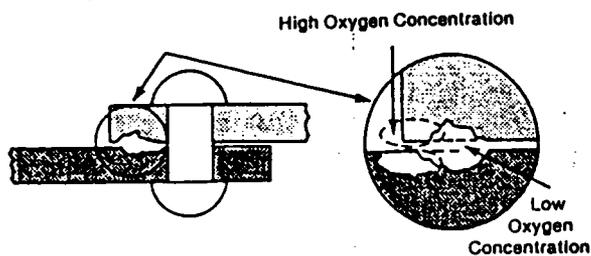
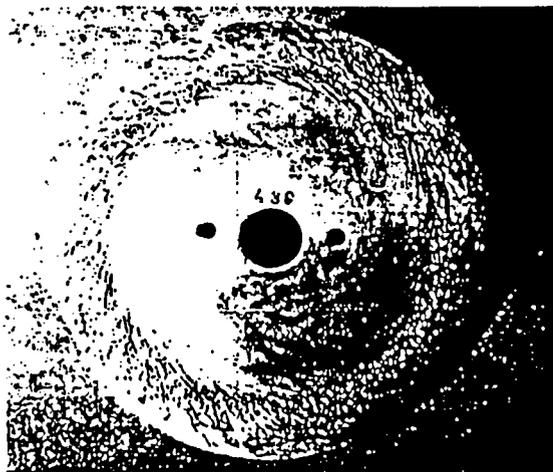
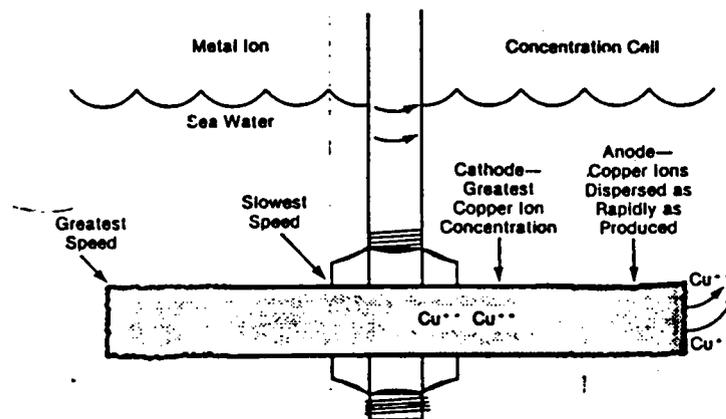
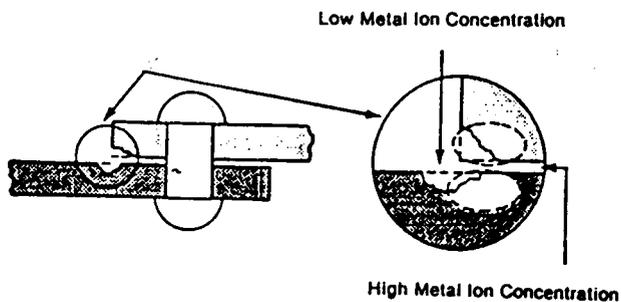


FIGURE 2.15 — Oxygen concentration cell found on a ship bottom.



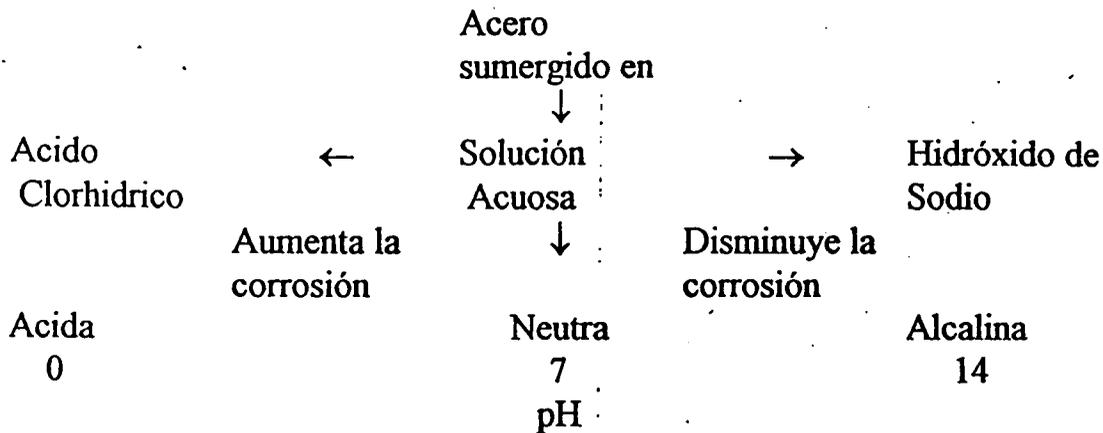
## CELIDAS DE CONCENTRACION IONICA

- Se produce por grandes diferencias de concentración entre diferentes puntos de una superficie metálica.
- El lugar de mayor concentración iónica constituye el cátodo (lugar protegido). El de menor concentración iónica constituye el ánodo (se disuelve el metal).



## CORROSION QUIMICA

- La corrosión puede ser producida por medios tan variables como el envasado de frutas, vegetales y producción de ácidos débiles como en la fabricación de ácidos fuertes o bases fuertes.

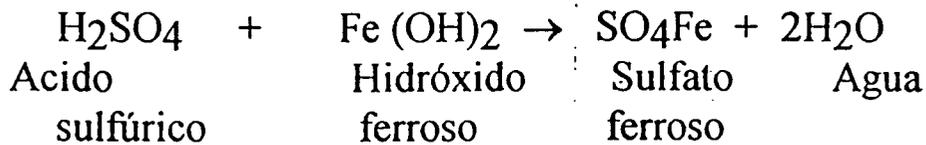


- Las características corrosivas de una sustancia pueden estar referidas a la escala de pH y a su grado de volatilidad.

pH 14	Strong alkali ( $\text{NA}^+ + \text{OH}^-$ ) Sodium Hydroxide
13	0.1N NAOH
12	0.01N NAOH
11	0.1N Ammonia
10	Saturated Magnesia
9	0.1N Borax, sodium borate (washing detergent)
8	Sodium Bicarbonate (urine)
pH 7	Water ( $\text{H}^+ + \text{OH}^-$ ) (milk, blood plasma)
6	Saliva (tuna, beans)
5	0.1N Boric acid (turnips, sweet potatoes)
4	Saturated Carbonic Acid (soda water, tomatoes)
3	0.1N Acetic Acid (wine, grapefruit, apples)
2	0.01NHCL (lemons)
1	0.1NHCL (limes)
pH 0	Strong Acid ( $\text{H}^+ + \text{CL}^-$ ) (stomach acid)

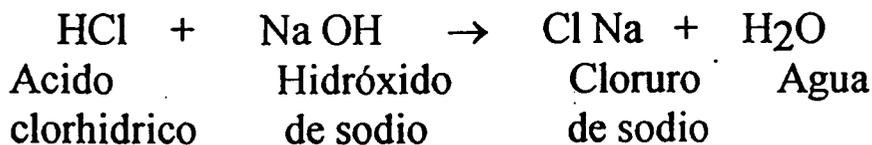
## SALES

- Se producen por reacción entre un ácido y un alcali. Se clasifica en ácidas, neutras y alcalinas.
- Las sales ácidas se producen por reacción entre un ácido fuerte y una base débil:



Son productos relativamente solubles y actúan como sales más que como ácidos.

- Las sales neutras son combinaciones de ácidos fuertes con alcalis fuertes:



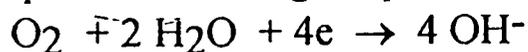
Son productos muy solubles y actúan como sales.

- Las sales alcalinas son combinaciones de ácidos débiles con bases fuertes:

Son productos con pH mayor que 7 y menor corrosivas que las 2 anteriores. Muchas están muy ionizadas creando fuertes celdas de corrosión

- Alcalis: Los más ionizados (extremo de la escala son hidróxido de sodio, hidróxido de potasio. La cantidad de ión hidrógeno presente, disminuye con el > del pH y hay menor cantidad de iones para capturar electrones.

Tiene importancia el oxígeno pues se reduce:





## CORROSION FILIFORME

Se produce tanto en hierro desnudo como recubierto con películas transparentes o pigmentadas. La causa es la contaminación a la superficie por partículas atmosféricas o provenientes del proceso de elaboración.

FUENTE	CONTAMINANTE
Atmósfera Industrial	Oxido de hierro; polvo de carbón Sílice; sulfato de amonio; materia orgánica.
Atmósfera Industrial y ambiente marino	Cloruro de sodio; Cloruro de calcio Sulfato de calcio; Sulfato de magnesio.
Operaciones de pulido	Carburundum
Operaciones de soldadura	Cloruros.
Pigmentos	Oxido de hierro; cromato de cinc.
Productos de corrosión	Sulfato de hierro; cloruro férrico.

- Son en general sales insolubles que producen corrosión rápida en presencia de alta humedad, por su mecanismo por el cual la cabeza del filamento es el ánodo de la celda, el tubo está lleno de electrolito y se produce por diferencia en la concentración de oxígeno entre ánodo y cátodo.

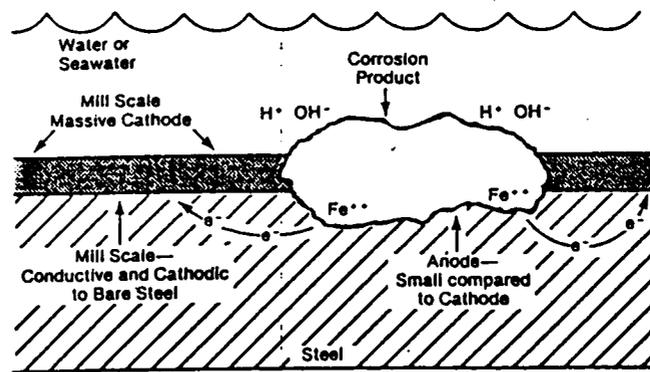


### CORROSION LOCALIZADA

- Es la concentración del proceso corrosivo en un área particular, donde el metal se solubiliza más rápidamente en ese punto que en cualquier otra área adyacente. Se forma así una zona anódica de pequeña superficie rodeada de una gran superficie catódica.
- Se puede producir por:
  - Falla puntual en una superficie pintada.
  - Rotura de una pequeña zona de la escama de laminación que recubre el acero.

- Contacto entre dos metales con valores de potencial de electrodos muy diferentes. Valvula de Bronce G (-0,31). Acero inoxidable 316 pasivo (-0,05).

- Formación de celdas de concentración de oxígeno en lugares solapados (remaches) o donde se ha depositado materia orgánica.



## CORROSION ATMOSFERICA

- Según Barton es un proceso electroquímico que ocurre en presencia de cantidades limitadas de un electrolito neutro o ligeramente ácido y cuya velocidad depende de la composición química de la atmósfera y de los productos de corrosión formados.

## COMPONENTES DE LA ATMOSFERA

- Nitrógeno y gases inertes: Componentes que se encuentran en mayor proporción y que no participan de los procesos de corrosión.
- Oxígeno: Segundo gran componente atmosférico (21 %), es un material reactivo de participación activa en todos los procesos de corrosión.
- Agua: Tercer componente y el más importante en términos de corrosión. Como líquido es el principal componente del electrolito disolviendo la mayor parte de la materia sólida en suspensión en la atmósfera.  
En forma de lluvia suele alcanzar un  $\text{pH}=3$  y saturada de oxígeno.
- Temperatura y humedad relativa: Las temperaturas extremas tienen mínimo significado desde el punto de vista de la corrosión. Los cambios bruscos de temperatura producen en la HR:
  - A bajas temperaturas y altas HR, se alcanza rápidamente el punto de rocío y el agua se deposita sobre la superficie.
  - A altas temperaturas y alta Hr, el agua no condensa.
- Dirección del viento: Afecta la velocidad de corrosión por afectar la composición atmosférica en lo relativo a contaminantes.
- Sales higroscópicas: Depositadas sobre una superficie favorecen los procesos corrosivos.
- Polvo atmosférico: El proceso corrosivo es muy afectado por partículas sólidas conocidas como polvo atmosférico. Estas partículas afectan la velocidad de corrosión del acero desnudo y aceleran el deterioro del revestimiento protector aplicado para su protección.

## **MÉTODOS DE CONTROL DE LA CORROSION**

- Los métodos de protección que aseguren un largo tiempo en servicios de las estructuras con mínimo costo pueden ser:
  - Selección correcta y uso de materiales de construcción resistentes a la corrosión.
  - Cambios o alteraciones del medio.
  - Empleo de barreras entre el medio y la estructura.
  - Uso de protección catódica.
  - Empleo del principio del sobrediseño o sobredimensionamiento de la estructura.
- La selección debe realizarse en base a consideraciones constructivas de mantenimiento en servicio y de costos comparativos entre cada una de las soluciones propuestas.