

6.2.  
M3  
M1937

MANUAL ECOMAR DE

# PREPARACION Y PRETRATAMIENTO DE SUPERFICIES METALICAS PARA PINTAR

CIDEPINT  
CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO  
EN TECNOLOGIA DE PINTURAS  
CIC - CONICYT



SENID - 1982



MANUAL ECOMAR DE  
PREPARACION Y PRETRATAMIENTO  
DE SUPERFICIES METALICAS  
PARA PINTAR

PREPARADO POR EL  
ING. QUIM. JUAN J. CAPRARI  
(CIDEPINT)

SENID  
SERVICIO NAVAL DE INVESTIGACION Y DESARROLLO  
Buenos Aires - 1982

6.2.  
M3  
M1937

1.

## INDICE

	Pág.
Summary.....	3
Introducción.....	5
Relación de costos en las operaciones de pintado.....	6
Preparación de la superficie del acero utilizado en las construcciones navales.....	8
Métodos de preparación de superficies metálicas.....	19
Limpieza con vapor de agua, agua caliente y detergentes	21
Lavado con agua a alta presión.....	23
Acción de la intemperie o meteorizado.....	23
Acción de la llama o flameado.....	25
Limpieza por métodos físicos.....	26
Limpieza mediante productos químicos.....	30
Tratamiento por medio de ácidos minerales.....	32
Composición de los baños de decapado.....	35
Activadores, acelerantes e inhibidores de decapado..	37
Empleo de ácido fosfórico como agente decapante.....	38
Cepillado y picareteado.....	40
Correado con materiales abrasivos.....	40
Arenado seco.....	42
Arenado húmedo.....	46
Granallado (granallas metálicas).....	48
Rugosidad superficial y espesor mínimo de imprimaciones y esquema protector.....	53
Pretratamiento de superficies metálicas.....	60
Fosfatizado de una chapa decapada.....	60
Imprimaciones reactivas.....	61
Consideraciones sobre la preparación de superficies de mampostería o madera.....	63
Mampostería nueva.....	63
Repintado de mampostería.....	64
Madera nueva.....	65
Repintado de madera.....	66
Referencias bibliográficas.....	67
Apéndice.....	69
Norma Sueca SIS 05 59 00 - 1967.....	71
Norma de la Shipbuilding Research Association, Japón	75



---

SUMMARY\*

---

This review was prepared with the aim to remark the influence of surface preparation and pretreatment on the behaviour of paint systems as soon as to collect available information on this subject. Author's experience complete this work.

In order to systematize the information it was pointed out the importance of surface preparation parameter on the painting costs. Chemical reactions produced in millscale formation and rusting mechanisms involved in the reactions between steel surfaces and the aggressive medium were considered, showing the need of the complete removal of impurities. Reference is also made to the employ of "rust converters" without previous oxides elimination.

The importance of rust formation cyclic process in presence of chlorides and sulfates and their destructive action if they are not eliminated before paint application are considered.

Cleaning methods are classified in function of the chemical or physico-mechanical action by which impurities are eliminated. A special reference is made to vapor treatment, use of high pressure water (cold or hot), with and without the employ of deterative agents. Problems related to outdoor weathering, flame action, vapor degreasing and alkaline substances effect were also treated. Pickling action with mineral acids is outlined with special attention to its application to millscale and rust removal. Pickling baths concentration and temperature, reaction time and the use of activators, accelerators and inhibitors are also established.

Cleaning methods which use abrasive particles (sandblasting and gritblasting) are presented, considering specially the operations balance on which depends the equipment efficiency, the nature of the abrasive material and the importance of particle shape and distribution.

A critical analysis of the surface texture parameters was presented. Roughness measured by means of surface profile gauges was connected with paint thicknesses and with results obtained in service for different paint systems. The use of the Truelove's graphic for the calculation of the paint required in connection with surface profile due to gritblasting was proposed.

Mechanisms of phosphate surface treatment and the use of vinyl wash-primers are also indicated, showing the relative value of both inhibitive and passivating procedures.

*The article was completed with several considerations about wood and masonry surfaces preparation, considering the painting of new surfaces and the repairing of the old ones after a long service use.*

---

## INTRODUCCION

---

La protección de estructuras en ambiente marino o industrial mediante el empleo de sistemas de pinturas será duradera sólo si se tienen en cuenta, además de la calidad de las pinturas elegidas, tres factores fundamentales: el *método de preparación y pretratamiento de la superficie*, la *correcta elección del esquema de pintado* y la *forma de aplicación de las pinturas*.

Se debe contar con un asesoramiento técnico adecuado que contemple estos tres aspectos y evite que se apliquen criterios de economía erróneos durante la selección de los mismos. En muchos casos se consigue disminuir inicialmente los costos, pero ello se traduce posteriormente en un gran incremento de los gastos de mantenimiento durante la vida útil de la estructura.

De los factores enumerados precedentemente, uno de los más importantes es el método de *preparación y pretratamiento de la superficie*, que ejerce una influencia decisiva sobre el comportamiento en servicio del esquema protector. La práctica ha demostrado que sistemas de bajo poder anticorrosivo en determinados ambientes, suelen alargar su vida útil cuando se aplican sobre superficies bien preparadas y dan mejores resultados que aquéllos de gran resistencia (y mayor costo) que han sido aplicados sobre sustratos deficientemente preparados.

Es necesario diferenciar claramente los términos *preparación* y *pretratamiento* de la superficie. En el primer caso se hace referencia exclusivamente a la limpieza que se realiza para quitar del sustrato óxidos, grasas, aceites, partículas de polvo, sales, etc., por métodos tanto físicos como químicos, mientras que el uso de pretratamientos involucra producir cambios químicos de variada complejidad, que dependen de la naturaleza del producto empleado. No obstante, ambos términos no son excluyentes sino complementarios. Un sistema anticorrosivo puede aplicarse luego del arenado o granallado de la superficie, directamente sobre el metal limpio y rugoso. Otra alternativa es, cuando ya realizada la limpieza y antes de aplicar la imprimación, se recubre el metal con una fina capa de "wash-primer" vinílico; en este caso se ha empleado además un pretratamiento anticorrosivo denominado  *acondicionador de superficie* ("metal conditioner").

Más adelante se hará referencia fundamentalmente a los métodos conocidos de preparación de las superficies metálicas

como operación previa al pintado de una estructura, pero es necesario aclarar que muchos de estos conceptos son también aplicables a otros tipos de sustratos, tales como madera y cemento, sobre los cuales se efectuarán también breves consideraciones.

---

## RELACION DE COSTOS EN LAS OPERACIONES DE PINTADO

---

La elección del método adecuado de preparación de superficies metálicas depende del estado inicial del sustrato y varía según se trate de *acero para construcciones nuevas, acero galvanizado* o aquellos casos en que se deben realizar *operaciones de mantenimiento* luego de un tiempo prolongado en servicio. Como los materiales se almacenan generalmente a la intemperie en los dos primeros casos, es necesario eliminar las impurezas formadas o depositadas sobre la superficie (óxidos, sulfatos, carbonatos, sales solubles, polvo atmosférico) antes de comenzar el pintado de la estructura. En el mantenimiento, las operaciones a realizar dependerán del grado de deterioro alcanzado por el sistema protector, de su adhesión al sustrato y del tipo, diseño y ubicación de la estructura metálica, que haga factible el empleo de un método de preparación de superficies eficiente y compatible con los factores económicos involucrados en todo el proceso.

Dichos factores han sido bien descriptos por Levinson y Spindel <sup>(1)</sup> en un trabajo realizado por pedido de la Federation of Societies for Paint Technology, para determinar la incidencia que, sobre el costo total del proceso, tienen los distintos factores. Los resultados obtenidos por estos autores se pueden observar en la tabla I.

El costo del revestimiento protector es sobrepasado por el de la mano de obra de preparación de superficies y de aplicación de pinturas, que sufren un aumento continuo en todo el mundo. Los equipos de preparación de superficies deben ser diseñados para obtener altos rendimientos, con muy buenos niveles de limpieza, para que los sistemas de pintado desarrollados por la tecnología moderna, puedan ser rentables al obtenerse larga durabilidad en servicio.

El gasto en pintura tiene muy poca incidencia sobre el valor final de la estructura a proteger, lo que permite el empleo de productos de buena calidad.

TABLA I  
Costo del pintado

Operación	% 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

---

## CARACTERISTICAS DE LA SUPERFICIE DEL ACERO UTILIZADO EN CONSTRUCCIONES NAVALES

---

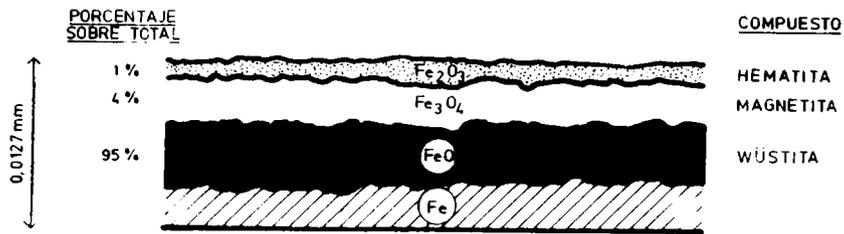
Durante la elaboración del acero, se forman capas de escama de laminación o calamina en las distintas etapas del proceso. Se ha calculado que durante estas operaciones se producen pérdidas importantes de material (5,9-8,4 por ciento), lo que ha conducido a la realización de diversos estudios (2) con el objeto de reducir las. Estos estudios han favorecido indirectamente a la industria de preparación de superficies, al permitir una comprensión más acabada de los parámetros que determinan la composición de la capa de óxido, su influencia sobre el esquema de pintura y sobre la velocidad de operación y grado de limpieza alcanzado.

Pfeil (3) determinó que en el acero al carbono común oxidado a altas temperaturas durante el laminado, la escama de laminación está formada por tres capas de óxidos. La más cercana al acero está constituida por óxido ferroso (wüstita parcialmente transformada) de fórmula  $FeO$ ; la zona media está ocupada por óxido ferroso-férrico u óxido salino de hierro (magnetita), de fórmula  $Fe_3O_4$  y en la parte superior es posible detectar el óxido férrico (hematita), de fórmula  $Fe_2O_3$ , que corresponde a un estado de oxidación mayor debido precisamente a la concentración de oxígeno en dicha zona. El espesor de la escama de laminación depende de la temperatura y del tiempo de trabajo, mientras que el espesor de cada capa de óxido es función exclusivamente de la temperatura de elaboración. En la figura 1, se ha realizado una interpretación gráfica ilustrativa de lo manifestado precedentemente, basada en los estudios de Paidassi (4) sobre cinética de oxidación del acero entre los 700 y 1250°C.

La wüstita es inestable por debajo de los 570°C (5), debido posiblemente a que se produce la reacción:



Este proceso tiene mucha importancia debido a que la calamina está formada en este caso por hematita, magnetita y hierro. Gerber (6), realizando estudios sobre formación y composición de la capa de escama de laminación, ha encontrado, por observación microscópica, una disposición tal como la representada en la figura 2.



*Figura 1.- Composición de la capa de escama de laminación (entre 700-1250°C)*



*Figura 2.- Composición de la capa de escama de laminación (debajo de 570°C)*

En un enfriamiento normal, que es rápido, la composición de la wüstita ( $\text{FeO}$ ) se puede representar con mayor exactitud por la fórmula  $\text{Fe}_{x-1}\text{O}$ , donde  $x$  es una medida de las vacancias moleculares <sup>(6)</sup>. Durante dicho enfriamiento las condiciones son favorables para la difusión de iones, que se depositan sobre la base en forma de hierro metálico. La zona queda entonces con exceso de oxígeno, transformándose en magnetita primaria, mecanismo que depende de la energía de enlace y de los coeficientes de difusión, que a su vez son función de la temperatura y de la naturaleza fisicoquímica del sistema.

Esto demostraría que la forma de enfriamiento de la calamina desde altas temperaturas es un factor muy importante, ya que determina la composición final de la capa. Esta composición tiene a su vez gran influencia sobre la velocidad de trabajo durante la preparación de la superficie, sobre todo cuando la misma se realiza por medio de baños ácidos ("pickling"), como se considerará más adelante.

El óxido ferroso tiene una tendencia particular a la hidratación y oxidación, transformándose en óxido férrico hidratado por acción de los agentes atmosféricos (agua, humedad, oxígeno). Mayne, basado en la conclusión de Friend <sup>(7)</sup> en el sentido que el hierro no sufre corrosión en ausencia de agua y oxígeno, realizó ensayos para obtener valores indicativos de los pesos de estas sustancias necesarios para convertir el hierro en diversos productos de corrosión, cuando la velocidad de oxidación es de  $0,07 \text{ g/cm}^2/\text{año}$ , como ocurre en algunas atmósferas industriales de Gran Bretaña (tabla II) <sup>(8)</sup>.

La capa de calamina es suficientemente permeable como para permitir el acceso de mayores cantidades de agua y de oxígeno que las mencionadas en la tabla, produciéndose así la transformación de óxido ferroso a óxido férrico hidratado ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), con dos efectos muy importantes asociados: cambio en el sistema cristalino y gran aumento de volumen.

Chandler y Reeve <sup>(9)</sup> determinaron por difracción de Rayos X la composición cualitativa de los óxidos sobre tres tipos de superficie:

- a) pintura aplicada sobre acero con calamina y óxido y que ha sufrido meteorización o acción previa de la intemperie;
- b) pintura aplicada sobre superficie herrumbrosa; y
- c) pintura aplicada sobre escama de laminación mal adherida y óxido (por acción de la intemperie).

Los resultados obtenidos se indican en la tabla III.

Por análisis se demostró que la calamina presenta en la superficie del acero una mezcla de  $\gamma \text{ Fe}_2\text{O}_3$  (maghemita) y  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetita), similar a la obtenida directamente debajo de la película de pintura. Las muestras extraídas de la interfase acero-pintura, per-

TABLA II

*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 (8)*

Productos de corrosión	Agua (g)	Oxígeno (g)
Hidróxido férrico.....	0,034	0,030
Goethita.....	0,011	0,030
Magnetita hidratada.....	0,008	0,027
Oxido ferroso hidratado.....	0,023	0,020

TABLA III

*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 escama de laminación.	En la superficie del acero	$\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y $\text{Fe}_2\text{O}_3$
		$\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y $\text{Fe}_3\text{O}_4$
Escama de laminación libre de herrumbre.	En la superficie del acero	$\text{Fe}_3\text{O}_4$

miten detectar la presencia de  $\gamma$   $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (lepidocrosita), que produce los efectos mencionados precedentemente con la consiguiente acción destructora sobre la película. Es evidente, que la evolución de este compuesto en las restantes fases analizadas es cuestión de tiempo. Lógicamente su aparición debe producirse en la interfase metal-pintura, a la cual, por ser la zona más cercana al medio agresivo, tienen acceso con mayor rapidez el agua y el oxígeno, que producirán las conversiones aludidas.

En la misma tabla es posible verificar la presencia de óxidos hidratados sobre la superficie del acero en aquellas muestras que contienen herrumbre libre de escama de laminación. Es por ello que se insiste reiteradamente en la correcta y exhaustiva eliminación de la herrumbre, por ser un factor potencial de deterioro del sistema protector.

Los ensayos realizados por Bruzzoni y colaboradores (10) sobre el tema, para aplicarlo al estudio de una serie de muestras de pinturas transformadoras de óxido, corroboran estos conceptos. En todos los casos, los óxidos evolucionan hacia formas más hidratadas ( $\gamma$   $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  y  $\alpha$   $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , lepidocrosita y goethita respectivamente), a expensas del resto de los compuestos no hidratados; tanto en los paneles pintados como en el testigo sin protección no se constató la presencia de magnetita al cabo de 18 meses de exposición (tabla IV). El crecimiento de la capa de óxido por debajo de la película, con respecto al panel testigo expuesto a la intemperie sin protección, se puede observar en la figura 3.

Dichas transformaciones se producen tanto debajo de una película de pintura como sobre la superficie del acero recubierta con calamina. En este último caso ello se debe no sólo a la excesiva porosidad de la capa sino también a desprendimientos parciales de la calamina durante el transporte y manipuleo de las planchas desde la fábrica hasta el lugar de manufactura de la estructura, concentrándose el ataque en las zonas en que el acero ha quedado al descubierto. En ambientes muy húmedos, zonas industriales o marítimas, este proceso origina una pila hierro/electrolito/calamina, en la cual la superficie catódica (escama de laminación) es de mayor tamaño que la anódica (hierro), produciéndose en ese lugar un peligroso proceso de corrosión localizada ("pitting"), con disminución del espesor de la plancha y pérdida de resistencia mecánica.

Si la calamina ha sido eliminada en la acería por tratamiento ácido ("pickling"), las condiciones en que se encuentre el acero dependerán de la aplicación de un revestimiento graso de protección temporaria, del lugar de almacenaje que posea el usuario (intemperie o interior) y de la agresividad del ambiente. En la actualidad las acerías protegen las planchas luego del decapado químico con películas de aceite, grasas, lanolina o ceras especia-

TABLA IV

TRANSFORMACION DE LOS OXIDOS DE HIERRO DURANTE LA EXPOSICION A LA INTEMPERIE  
(Determinación por difracción de Rayos X)

Panel	Composición de los óxidos, por ciento			
	Lepidocrosita $\gamma$ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O	Goethita $\alpha$ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O	Maghemita $\gamma$ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Hematita $\alpha$ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Testigo, sin protección*	35	30	30	5
Muestra 1.....	50	30	20	0
Muestra 2.....	70	15	15	0
Muestra 3.....	60	25	15	0
Muestra 4.....	70	20	10	0
Muestra 5.....	65	25	10	0

\* Oxidación Grado CS<sub>2</sub>, Escala Sueca SIS 05 59 00 - 1962.

Muestras 1, 2 y 3: pinturas denominadas "estabilizadoras de óxidos"; muestra 4, fondo sintético a base de cromato básico de cinc; muestra 5, pintura anticorrosiva oleorresinosa



*Panel testigo*



*Estabilizador de óxidos*



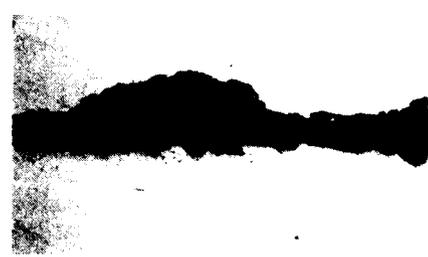
*Estabilizador de óxidos*



*Estabilizador de óxidos*



*Fondo sintético cromato*



*Fondo anticorrosivo oleo-  
resinoso*

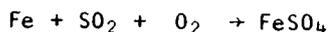
*Figura 3.- Crecimiento de la capa de óxido debajo de la película de pintura respecto a un panel testigo sin protección*

les (11) para proveer de protección temporaria al acero, pues aíslan al sustrato del agua y de la humedad. Se introduce sin embargo, de esta manera, otro factor a tener en cuenta en el momento de realizar la preparación de la superficie.

Si en cambio, las chapas se encuentran al aire libre sin protección alguna durante un tiempo más o menos prolongado, la cantidad de óxido desarrollado determinará el método de preparación de superficie a elegir. Si no se cuenta con los elementos necesarios para realizar un trabajo correcto o si las reglas de buena práctica se dejan de lado por factores económicos, la capa de pintura ocluirá óxido en la interfase metal/película. Se impide de esta manera el contacto uniforme del o de los pigmentos inhibidores con el metal de base y ello afecta de manera diferente al sistema en función de las condiciones de formación de la capa de óxidos y del momento en que se realice el pintado. De cualquier manera, el proceso de hidratación de los óxidos que tiene lugar, determinará, en un lapso más o menos breve, que se produzca amollado de la película y su posterior desprendimiento, total o parcial.

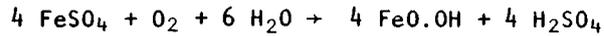
Las partículas de polvo atmosférico que forman parte de la capa de óxidos pueden iniciar o acelerar el proceso antes descrito, debido a su carácter higroscópico o a su reacción ácida. Evans (12), las clasifica de acuerdo a su agresividad en *partículas activas*, constituidas por sales higroscópicas que crean condiciones muy particulares en la zona donde están depositadas, ya que favorecen fenómenos osmóticos, provocando o acelerando el pasaje de agua a través de la película, debido al carácter poroso de la membrana (tal es el caso de los cloruros y sulfatos ocluidos dentro de la herrumbre) y *partículas indirectamente activas* que absorben o adsorben gases atmosféricos (especialmente anhídrido sulfuroso) produciendo, a favor de la penetración de agua mencionada, sustancias ácidas que destruyen el recubrimiento.

No hay criterio unánime sobre el mecanismo de la corrosión atmosférica en ambientes contaminados con cloruros o anhídrido sulfuroso. En este último caso y aplicado a la oxidación del hierro, el fenómeno implica una serie de etapas. En primer lugar hay una captación del anhídrido sulfuroso de la atmósfera por el metal, la humedad o capa acuosa formada sobre él o por las partículas mencionadas precedentemente, produciéndose un electrolito de baja resistividad. El oxígeno atmosférico produce la oxidación del anhídrido sulfuroso a sulfúrico (proceso que es catalizado por la propia herrumbre) y la disolución de éstos en agua, dando ácidos sulfuroso y sulfúrico, que reaccionan con el hierro formando sulfato ferroso:



Posteriormente se forma herrumbre ( $\text{FeO.OH}$ ) a partir del sul-

fato ferroso en presencia de humedad, con liberación de ácido sulfúrico (13):



que reacciona a su vez con el Fe para dar más sulfato ferroso:

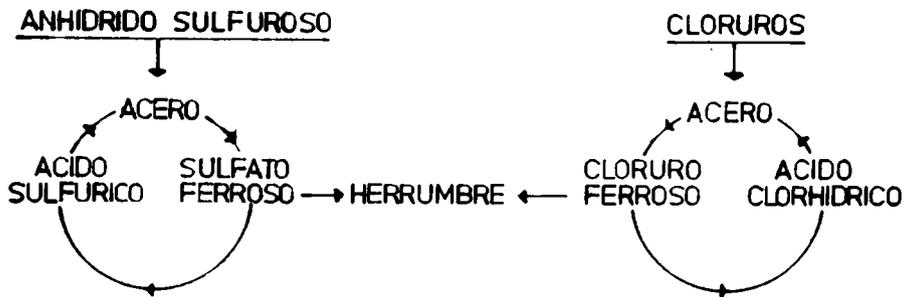


Figura 4.- Proceso cíclico de formación de herrumbre en presencia de anhídrido sulfuroso o cloruro de sodio y humedad

Debido a la regeneración del ácido sulfúrico la corrosión continúa, incluso en ausencia de anhídrido sulfuroso, con tal que la humedad del aire sea suficiente. Un mecanismo de corrosión hasta cierto punto análogo, resulta de considerar la atmósfera contaminada con cloruros (ambiente marino). McKelvie (14), expresa este proceso cíclico de formación de herrumbre en presencia de anhídrido sulfuroso o cloruro de sodio mediante el diagrama de la figura 4.

Como se puede observar en este esquema de reacciones químicas, las sustancias necesarias para la regeneración del ácido sulfúrico son fundamentalmente el oxígeno y el agua. Estas reacciones, en principio estudiadas para explicar la corrosión del acero sin protección en atmósferas contaminadas, pueden producirse cuando se aplican películas de pinturas sobre sustratos deficientemente preparados, que quedan con cantidades relativamente importantes de herrumbre sobre la superficie.

Por tratarse de una membrana, la película de pintura deja pa-

sar cierta cantidad de vapor de agua y oxígeno (15), como se puede visualizar en los gráficos de la figura 5. Por lo tanto, la acción destructora de los contaminantes perdura aún después de separado el sustrato del medio agresivo. La falla del sistema se producirá en un lapso que es función de la naturaleza química del contaminante, de su concentración, de las propiedades fisicoquímicas del ligante de la pintura, del tipo de pigmentación y del espesor total de película del sistema aplicado.

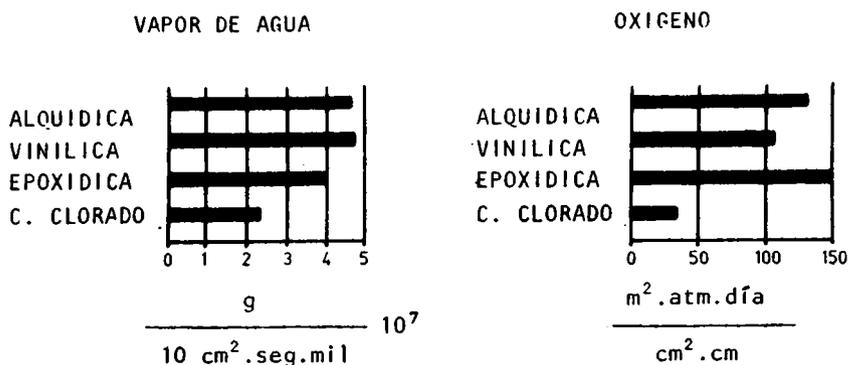


Figura 5.- Transmisión de vapor de agua y de oxígeno en diferentes tipos de ligantes para pinturas

Evans considera también un tercer tipo de contaminante, que denomina *partículas neutras*, las que si bien no actúan desde el punto de vista fisicoquímico, lo hacen mecánicamente, ya que dan lugar a discontinuidades en la película y alterando también la adhesión.

Luego de preparada, la superficie debe ser pintada lo más rápidamente posible, para evitar que se depositen nuevamente partículas extrañas o condense humedad. La presencia de agua y su incorrecta eliminación es causa de fallas en el esquema protector. En ambientes de alta humedad relativa (70 por ciento o mayor) puede aparecer una capa fina e invisible de agua que produce pérdida de adhesión e interfiere en el secado. Este fenómeno puede ocurrir también entre dos manos de pintura si la composición del producto utilizado incluye una alta concentración de disolventes muy volátiles o la mezcla de disolventes y diluyentes no ha sido adecuadamente balanceada.

Todas las impurezas reducen las fuerzas de adhesión que se desarrollan entre la base y las primeras capas del esquema, impidiendo que éste cumpla eficazmente la función protectora-decorativa para la que ha sido diseñado.

---

## METODOS DE PREPARACION DE SUPERFICIES METALICAS

---

Los métodos de preparación de la superficie empleados habitualmente tienden a eliminar las impurezas que puedan interponerse entre el sustrato y la primera capa de pintura (imprimación). Dan además rugosidad al metal e incrementan la superficie libre sobre la que se depositará la pintura, con lo que aumenta también la adhesión mecánica.

Estas operaciones permiten el uso posterior de pretratamientos reactivos ("wash-primers"), que cumplen la doble función de aumentar la adherencia y proporcionar una capa de pintura adicional y pasivante, lo que mejora la resistencia total del sistema, propiedad muy importante frente a medios muy agresivos.

La selección del método adecuado (tabla V) depende de diversos factores relacionados con el tipo de impurezas presentes en la superficie, diseño de la pieza o estructura a tratar, etc.

Generalmente el polvo atmosférico está depositado sobre aceites anticorrosivos, grasas, ceras, etc., tomando la masa una consistencia semisólida que dificulta su separación.

Otros contaminantes, tales como los polvos carbonosos o abrasivos o los sólidos finamente divididos de cualquier tipo depositados sobre una superficie, causan problemas especiales de limpieza superficial que deben ser resueltos por la aplicación de procesos combinados.

Pueden aparecer también casos particulares donde sustancias grasas y polvo atmosférico se han depositado sobre películas de pinturas de protección temporaria (shop-primers) o en que el acero está protegido por películas no pigmentadas (barnices pelables), habiendo sufrido procesos de envejecimiento que han provocado su desprendimiento parcial.

A todo ello se debe agregar la presencia de óxidos como consecuencia de la exposición al exterior o de un incorrecto almacenaje. Este sería un caso típico de tratamiento combinado, donde por medio de disolventes, detergentes o sustancias alcalinas se remueven primero los contaminantes y los óxidos son eliminados posteriormente de la superficie mediante tratamiento ácido (decapado).

En la tabla V se menciona, junto con el objetivo del tratamiento, los diferentes métodos físicos y químicos habitualmente empleados.

TABLA V  
 Clasificación de los métodos de preparación de superficies más utilizadas

Objetivo del tratamiento	Métodos físicos	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><b>Disolventes:</b> hidrocarburos alifáticos (derivados del petróleo), hidrocarburos aromáticos (derivados del alquitrán de hulla), hidrocarburos clorados, disolventes polares.</p> <p><b>Emulsiones:</b> disolventes con el agregado de agentes humectantes y emulsionantes, trabajado en fase acuosa.</p>	<p><b>Alcalis y sustancias alcalinas:</b> 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). Pica-reteado con gránula esférica o angular, escorias de fundición o arena.</p>	<p>Acción de la intemperie o meteorizado. Decapado ácido, con ácido sulfúrico, clorhídrico o mezclas de capantes. Fosfatizado, utilizando ácido fosfórico solo o formando parte de productos que tienen acelerantes o humectantes*.</p>

\* Puede ser considerado también como un tratamiento decapante-pasivante.

Un factor importante a tener en cuenta es la forma y complejidad de la estructura, como así también la existencia de zonas críticas (áreas fileteadas con otros materiales, excesivamente pulidas, solapadas o sobrepuestas por medio de soldaduras, remaches, tornillos, bulones, etc.).

Incidirá además en el método a elegir el espacio existente para la realización del trabajo, la velocidad de tratamiento y el costo y toxicidad de los productos químicos utilizados. El balance económico es importante e influye sobre la calidad de la superficie preparada.

Uno de los requerimientos importantes de una película de pintura es que su adhesión al sustrato sea adecuada. El término sustrato involucra no sólo metales, sino también madera, plásticos, otras capas de pinturas, etc.

Se deben distinguir dos tipos de adhesión, la mecánica y la específica, considerándose que en la mayoría de los casos la adhesión de la pintura resulta de una combinación de ambas. La adhesión mecánica es la que se produce por fuerzas meramente físicas, por inclusión mecánica de la película en las irregularidades y poros de la superficie. Los tratamientos de superficie que se considerarán en este trabajo tienden a dar a la base una cierta rugosidad. Se busca lograr un íntimo contacto entre la misma y los grupos funcionales activos que existen en la pintura. La mayor rugosidad se traduce en un aumento de la superficie específica y de los sitios activos presentes en el sustrato. Ello da lugar a que se desarrolle la adhesión específica, que es atribuible a fuerzas de valencia secundaria, fuerzas de Van der Waals o enlaces de hidrógeno. Estas fuerzas interactúan con los grupos polares existentes en la mayoría de las resinas constituyentes de los ligantes dando lugar a una unión cuya firmeza depende de la naturaleza química del sustrato. La polaridad adecuada del ligante se puede lograr por la incorporación de grupos carboxilo (p. ej. ácido maleico) a las formulaciones o por el empleo de plastificantes adecuados.

---

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

---

La limpieza con vapor *seco sobrecalentado* se emplea para remover partículas de polvo muy adherentes que, acompañadas por grasas y aceites minerales o vegetales, están presentes sobre la superficie

de estructuras que por su tamaño, diseño o ubicación no pueden ser tratadas con disolventes o por cualquier otro método de limpieza.

La limpieza por procedimientos abrasivos (arenado o granallado) permite eliminar óxidos y pinturas viejas, mientras que la limpieza con vapor remueve sólo el polvo y la suciedad carbonosa que están adheridos al sustrato y también el pigmento suelto (tizado) que aparece en películas de pintura no excesivamente deterioradas.

Una variante de dicho método es trabajar con vapor saturado de agua (mezcla de vapor-agua líquida) o con agua caliente a presión, lo que permite adicionar detergentes o sustancias alcalinas, que ayudan a la limpieza y sirven de removedor de ciertos tipos de pintura. Una mezcla típica para limpieza con vapor de agua se indica a continuación: (16):

<i>Componentes</i>	<i>Contenido en la mezcla</i>	<i>Función que cumple</i>
Metasilicato de sodio	45 % en peso	Limpiadores cáusticos de baja alcalinidad.
Sesquisilicato de sodio	43 % en peso	
Tetrafosfato de sodio	10 % en peso	"Buffer" de los cáusticos
Detergente emulsionable al vapor	2 % en peso	Ayuda de limpieza

Para la mayoría de los casos un contenido de 0,5 por ciento en peso en la salida de la boquilla atomizadora es suficiente para obtener buenos resultados, pudiendo aumentarse esta proporción hasta un máximo de 0,75 por ciento si las características del trabajo lo requieren.

El vapor seco a una temperatura de 150°C se pulveriza a una presión de 4-10 kg/cm<sup>2</sup> y el consumo horario de material dependerá del tipo y de la forma de la boquilla pulverizadora. Para superficies amplias se emplean boquillas tipo abanico, mientras que las de chorro redondeado son especiales para áreas inaccesibles y de reducido tamaño.

Para obtener un rendimiento óptimo del equipo, la boquilla debe ubicarse a unos 15-20 cm de la superficie a limpiar y será desplazada en forma paralela a ella; es preferible un número mayor de pasadas rápidas que una sola realizada en forma lenta. La eficiencia puede aumentarse sopleteando agua con la sustancia limpiadora sobre la superficie y dejando actuar el compuesto hasta que el mismo se haya secado, procediéndose luego a la limpieza final.

En superficies horizontales puede quedar líquido alcalino remanente, por lo que se recomienda realizar un lavado con agua para eliminarlo o con una solución al 5 por ciento de ácido fosfórico para neutralizar.

---

## LAVADO CON AGUA A ALTA PRESION

---

El *agua a presión* elimina de la superficie la pintura ampolada o mal adherida, óxidos sueltos, grasas y aceites superficiales, polvo y otros residuos. La limpieza por agua a presión no reemplaza al arenado, teniendo cada método un rol distinto.

Debe quedar bien claro que el agua a presión no produce una superficie equivalente a la que se obtiene por arenado, ya que no puede eliminar la escama de laminación, óxidos y pinturas bien adheridas y no produce rugosidad adecuada, pero compite con algunas ventajas frente a las herramientas manuales o mecánicas, ya que llega a lugares inaccesibles para dichas herramientas, produciendo una limpieza de calidad intermedia con respecto a los métodos que emplean chorros abrasivos.

De acuerdo al tipo de sustancias que se deben remover se utilizan diferentes presiones de trabajo, las que se indican en la tabla VI.

---

## ACCION DE LA INTEMPERIE O METEORIZADO

---

El mecanismo de acción por el que se produce el desprendimiento de la escama de laminación o calamina de la superficie cuando se utiliza este método, se debe a la transformación que sufren las capas inferiores de los óxidos presentes (en especial el óxido ferroso) en compuestos hidratados. El consecuente aumento de volumen que se verifica resquebraja la calamina y la desprende de la superficie del acero; por este motivo, en la clasificación dada en la tabla V, se lo considera como un método químico de preparación

TABLE VI  
PRESIONES RECOMENDADAS PARA LIMPIEZA CON AGUA\*

Impurezas a remover	Presión recomendada, psi
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, asbesto, PVA.....	5 000
Sedimentos, pulpa de papel, ceras, grasas, barras 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

\* Partek Waterblasting Corporation, EE.UU.

de superficies.

Aun cuando es un método actualmente muy difundido en algunas fábricas, investigadores como Hudson (17) consideraban ya 40 años atrás como inadmisibles y fuera de la buena práctica, este sistema, si se quieren obtener superficies preparadas adecuadamente.

El período de intemperie necesario para eliminar toda la escama de laminación depende de su composición y de la agresividad del medio al que ella está expuesta. Puede variar desde unos pocos meses en ambientes industriales altamente contaminados o marinos, hasta años en aquéllos donde la corrosión se produce a velocidades infinitesimales. En los dos primeros casos además, vuelve a repetirse el problema de eliminación de los sulfatos y cloruros en los huecos del "pitting" o en los poros o imperfecciones de la superficie (18). El tratamiento se completa generalmente por cepillado vigoroso manual o mecánico con el cual no es posible eliminar los contaminantes mencionados precedentemente.

El procedimiento da como resultado superficies que son muy difíciles de preparar aún por chorreado (19) e importantes pérdidas de material de base, las que en algunos casos sobrepasan en peso al total de la calamina formada durante el laminado.

---

## ACCION DE LA LLAMA O FLAMEADO

---

Este método puede ser utilizado como complemento del meteorizado o directamente si el acero no ha estado expuesto a la intemperie y como pretratamiento antes de realizar el chorreado de la superficie. No puede ser considerado únicamente como un proceso de descalaminado, ya que puede actuar también sobre superficies que tengan grandes cantidades de óxidos hidratados, sustancias grasas protectoras mezcladas con polvo, pintura de protección temporaria con óxido debajo de la película, etc.

En el caso del acero nuevo con calamina, el flameado aprovecha la diferencia entre los coeficientes de dilatación del acero y la escama de laminación, que causa tensiones entre ambas superficies, produciéndose el resquebrajamiento y desprendimiento de la capa superior. Al proceso contribuye la disminución de volumen (contracción) que se produce en los óxidos hidratados al perder agua por efecto de la temperatura.

El tipo, forma, tamaño y velocidad de pasaje de la llama

dependen de la geometría de la estructura a tratar. Sobre chapas de acero se utilizan quemadores que formen llamas planas, mientras que las redondas se emplean para lugares poco accesibles (ángulos), uniones solapadas por remaches o soldaduras y bordes, los cuales son siempre difíciles de limpiar uniformemente. Las impurezas restantes (capas de calamina muy adheridas, óxidos en capa fina, polvo atmosférico, etc.), se eliminan por cepillado mecánico, chorreado, etc .

El ángulo de incidencia de la llama puede variar entre 45 y 90 grados y la velocidad de pasaje entre 60 y 300 cm/min. Antes de aplicar la imprimación se debe dejar descender la temperatura por debajo de los 40°C; de esta manera se evita la descomposición o alteración que pueden sufrir algunas de las resinas constituyentes de la pintura y la condensación de humedad sobre el sustrato. Por otra parte la superficie ligeramente caliente aumenta la adhesión del "primer" a la base y acelera su secado, lo que puede ser importante cuando se trabaja en procesos continuos con máquinas automáticas. Además, el calentamiento en este caso favorece el proceso de granallado, obteniéndose mayores velocidades de trabajo y, como consecuencia, un aumento importante en la cantidad de metros cuadrados de material procesado por hora (20).

---

## LIMPIEZA POR METODOS FISICOS

---

El uso de *disolventes* (tabla VII) como descontaminantes de la superficie se realiza utilizando hidrocarburos aromáticos o alifáticos, que son aplicados sobre la superficie del metal por medio de una *tela*, *cepillo de cerdas blandas* o *brocha*, embebidas en el disolvente y con las cuales se la frota reiteradas veces.

Este método, que sólo se sigue utilizando por mala práctica, elimina únicamente una parte de las sustancias grasas y contaminantes, ya que el disolvente se enriquece rápidamente en ellos y los redistribuye sobre todo el sustrato, con las consecuencias que son de prever cuando se aplica una capa de pintura.

En algunos casos una limpieza más efectiva de la superficie se obtiene mediante el método de *sopleteado vertical a alta presión*, que permite mayor velocidad y mejores condiciones de trabajo. El líquido a alta presión incide a 90 grados sobre la pieza, colocándose debajo una bandeja colectora de dimensiones apropiadas.

En ambos casos, las principales desventajas del proceso son el

TABLA VII  
Propiedades características de los disolventes más utilizados

Disolvente	Punto de Inflamación °C	Punto de autoignición °C	Límite explosivo, % en volumen		Concentración máxima aceptable, ppm*
			mínimo	máximo	
Acetona.....	- 14,4	732,5	2,15	13,00	1 000
Benceno.....	- 10,6	583,0	1,40	1,80	100
Cloruro de metileno..	13,3	-	-	-	500
Etanol (99 %).....	13,9	561,1	4,00	14,00	1 000
Gasolina.....	- 17,8	259,3	1,00	6,00	500
Metanol.....	11,1	578,5	6,00	36,50	300
Nafta (derivado de la hulla).....	37,8-45,3	234,1	1,00	5,00	200
Nafta (derivado de pe- tróleo).....	< - 17,8	259,3	1,00	5,00	500
Percloroetileno.....	no	0	no	no	100
Tricloroetileno.....	no	0	no	no	100
Tolueno.....	4,4	556,6	1,30	6,70	200
Trementina.....	35,0	-	0,80	1,00	100
Xileno.....	17,2	486,1	1,00	5,30	200
Isopropanol (99 %)...	15,0	625,0	-	-	400

\* Valores M.A.C. (maximum allowable concentration), correspondientes a 8 horas de trabajo.

elevado costo de los disolventes, su inflamabilidad y toxicidad, la imposibilidad de eliminar algunos tipos de sales sólo solubles en agua y la difícil disposición del efluente contaminado. Este se debe eliminar sin afectar el medio ambiente, lo que implica usar un sistema de recuperación de alto costo.

Los inconvenientes hasta aquí mencionados pueden subsanarse para el caso de pequeñas piezas, mediante el uso de *disolventes en fase vapor*, en circuito cerrado. En este caso, el artículo a limpiar se suspende en soportes especiales dentro de un recipiente, con pérdidas mínimas, pues existe un sistema de recuperación. Se dejan entrar en el recinto los gases provenientes del disolvente en ebullición, el que condensa en pequeñas gotas sobre la superficie, arrastrando las grasas, aceites y partículas de polvo más livianas. Se utilizan disolventes clorados como el cloruro de metileno, el tricloroetileno o el percloroetileno; el desengrasado no puede prolongarse indefinidamente pues es antieconómico, ya que el factor tiempo no produce una mejor preparación superficial. Cuando la pieza alcanza la temperatura del vapor, éste no sigue condensando sobre la superficie, debiéndose dar por finalizada la operación.

Por otra parte, el enriquecimiento paulatino de estos disolventes en los contaminantes eleva sus respectivos puntos de ebullición (fig. 6). El sobrecalentamiento puede producir reacciones que den lugar a la formación de productos tóxicos y ácido clorhídrico, el que causa intensa corrosión en la instalación (21). Este tratamiento no produce el arrastre del polvo denso y sustancias sólo solubles en agua, ya que la película continua formada no tiene la fuerza suficiente como para arrastrarlos o arrancarlos de la superficie.

Cuando la superficie presenta abundante cantidad de estos contaminantes, lo más indicado es el *sopleteado automático a alta presión* dentro de un circuito sellado (que es un proceso discontinuo) o un *sistema de doble fase* (procedimiento continuo combinado) donde la pieza pasa alternativamente por agua (para disolver las sales solubles), disolvente clorado (para disolver grasas y aceites) y nuevo pasaje por agua por inmersión y posterior sopleteado para remover gotas de disolvente y polvo adherido a ellas. Por último, se produce el secado con aire caliente (fig. 7).

Los disolventes clorados deben ser utilizados con precauciones, debido al alto grado de toxicidad del material empleado. Todas las unidades deben ser construidas con circuito sellado para evitar fugas y con sistemas de recuperación, ya que el disolvente utilizado es de alto costo. Además se debe evitar el contacto de los mismos (en especial el tricloroetileno) con productos caústicos, pues pueden formarse sustancias espontáneamente combustibles.

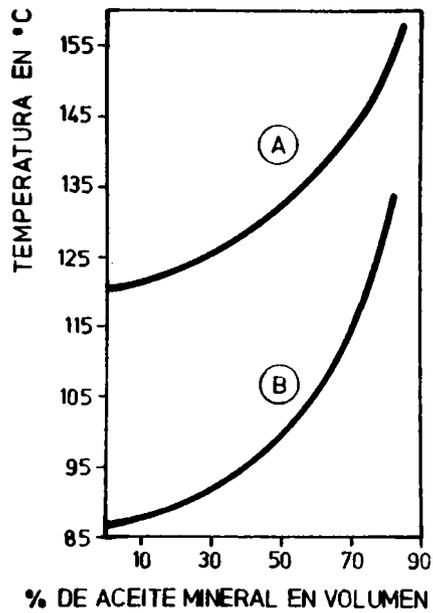


Figura 6.- Elevación del punto de ebullición por efecto del contaminante: A, percloroetileno; B, tricloroetileno

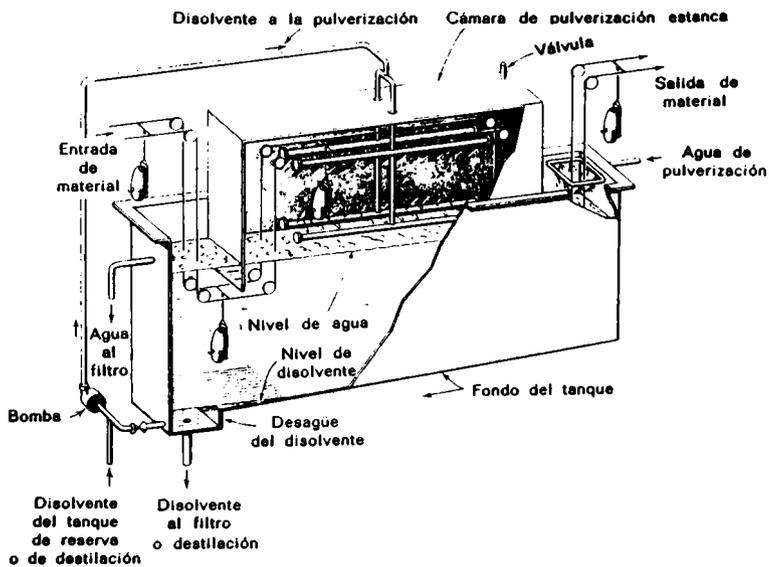


Figura 7.- Limpieza con disolventes. Sistema de doble fase, (EI. Du Pont de Nemours Co)

---

## LIMPIEZA MEDIANTE PRODUCTOS QUIMICOS

---

La limpieza mediante productos químicos busca eliminar polvo y materias extrañas de la superficie del acero.

Hay varios métodos para realizarla: por *detergencia*, desplazando las impurezas y las materias extrañas por agentes tensioactivos de gran afinidad por el metal; por *remoción mecánica*, que en realidad se usa en conjunción con el mencionado precedentemente; por *disolución*, en disolventes como agua, en derivados del petróleo y en disolventes halogenados o alcoholes; y por *reacción química*, para transformarlos en sustancias solubles.

La elección del procedimiento adecuado depende de factores tales como el tipo de contaminante, la naturaleza de la superficie, geometría de la misma, etc.

La *limpieza por detergentes* se puede explicar si se considera el caso particular de la eliminación del aceite protector depositado sobre una superficie de acero lisa. Se debe recordar que un detergente posee una carga electrostática, conformando lo que se denomina "cabeza" de la molécula y una parte no cargada denominada "cola". En los surfactantes no iónicos estas cargas no existen pero el mecanismo es similar, ya que en todos los casos actúan por adsorción.

En el caso que la impureza esté constituida por una sustancia hidrofóbica (caso del carbón suspendido en agua), la orientación es la que se observa en la figura 8.

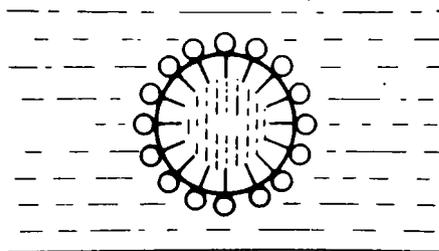


Figura 8

Si la partícula es hidrofílica (caso de la arena húmeda suspendida en disolvente orgánico) la orientación cambia tal como se muestra en la figura 9.

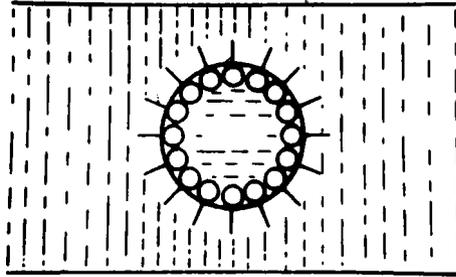


Figura 9

Las partículas tienen esta orientación cuando se agrega el surfactante adecuado.

Una vez lograda la limpieza, que puede acelerarse por agitación o ultrasonido, hay que evitar la redeposición, en especial de partículas carbonosas.

En la industria pueden usarse *tensioactivos no modificados* en conjunción con sales alcalinas, ácidos o disolventes. A pesar de su menor concentración tienen suma importancia en las operaciones de limpieza.

Se clasifican en aniónicos, catiónicos, no iónicos y anfóteros. Los mejores son mezclas de aniónicos con no iónicos; los catiónicos no se emplean en limpieza.

Los detergentes más conocidos son los *jabones* producidos por reacción de ácidos grasos con álcalis. Poseen largas cadenas hidrocarbonadas que son solubles en aceite y un grupo terminal que está ionizado y es soluble en agua. Son muy sensibles a la presencia de iones metálicos como  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , presentes en aguas duras.

Detergentes intermedios son los *derivados del ácido abietico*, que forman mejores jabones. La reacción permite obtener hasta 80 por ciento de abietato de sodio. Son más solubles que los anteriores, producen menos espuma a alta temperatura y son menos sensibles a los iones calcio y magnesio.

Tensioactivos sintéticos son aquellos derivados del aceite de coco (lauril-sulfato de sodio y fracciones derivadas del petróleo combinadas con benceno y sulfonadas con ácido sulfúrico). Si poseen entre 8 y 10 átomos de carbono se los considera como agentes humectantes, con 12 a 15 como detergentes y con más de 16 como emulsionantes. La atracción por el agua disminuye a medida que aumenta el número de átomos de carbono.

Los surfactantes no iónicos derivan del óxido de etileno (OE) y se clasifican de acuerdo con el número de grupos dentro de la molécula: si EO es 20, es un agente humectante; si EO es

10 es un detergente y si OE es 5 se trata de un emulsionante.

La atracción por el agua disminuye al disminuir OE. Su porción eléctricamente activa atrae el agua y su parte más importante y larga está cargada negativamente. En los catiónicos la porción cargada positivamente es la más larga e importante y repele el agua por lo que son malos limpiadores.

Los tensioactivos no iónicos tienen largas cadenas positivas y negativas y desarrollan su acción en función del medio en que están incorporados (ácido o alcalino).

Los *limpiadores alcalinos* son sales alcalinas mezcladas con tensioactivos; en general se mezclan tres o cuatro sales alcalinas con dos o tres tensioactivos orgánicos. Las mezclas se hacen en función de las impurezas a remover. Por ej. en una mezcla para limpieza de acero se puede agregar soda caústica, para neutralizar impurezas ácidas; silicato de sodio, para dispersar sólidos y ayudar la detergencia; fosfato trisódico, para peptizar el polvo; pirofosfato tetrasódico, por su acción detergente específica sobre partículas de polvo embebidas en aceite; tripolifosfato de sodio, para evitar el efecto de la dureza del agua y facilitar el enjuague; alquil-aril sulfonatos y algún jabón como componente aniónico, ayudados en su acción por un detergente sintético no iónico. Se agrega además carbonato de sodio como reserva de alcalinidad y un electrolito que ayuda la incorporación del surfactante.

Si el metal de base es aluminio; se elimina la soda caústica que produce un gran ataque del metal. En este caso se incrementa el silicato de sodio de la formulación, se reemplaza parte del fosfato trisódico por fosfato disódico para disminuir el pH y se lleva a límites mínimos el carbonato de sodio. Se obtiene así un producto de muy baja alcalinidad y con buen poder limpiador.

---

## TRATAMIENTO POR MEDIO DE ACIDOS MINERALES

---

Tres son los ácidos utilizados normalmente para el tratamiento de superficies: sulfúrico, clorhídrico y fosfórico. Este último en realidad puede ser considerado como un tratamiento decapante-pasivante, ya que remueve solamente la herrumbre y provee

de una protección adicional (de corta duración) al sustrato.

Los ácidos sulfúrico y clorhídrico actúan tanto sobre la herrumbre como sobre la calamina y su mecanismo de acción varía de acuerdo con la composición relativa de los óxidos presentes en la escama de laminación.

Cuando se consideraron los mecanismos de formación de dicho producto de corrosión a diferentes temperaturas (fig. 1 y 2), se hizo referencia a la porosidad de la capa formada, en relación con los distintos procesos que pueden ocurrir debajo de ella y que contribuyen al deterioro acelerado del sustrato. Dicha porosidad, no deseable en el caso mencionado, es sin embargo muy útil cuando se requiere eliminar escama de laminación y herrumbre de la superficie del acero, antes de aplicar un material graso de protección temporaria o un "shop-primer".

Como se ha mencionado, la calamina varía en su composición en función de la temperatura de laminación; los óxidos superiores o de mayor contenido de oxígeno son insolubles en los ácidos mencionados, mientras que el óxido ferroso se disuelve rápidamente. En este último caso, la porosidad de la calamina beneficia al proceso, ya que el ácido penetra a través de los poros disolviendo el óxido ferroso y produciendo la separación y posterior deposición de los restantes en el fondo de la cuba. La formación de estos lodos insolubles demuestra que el fenómeno puede ser considerado como un caso de desprendimiento de película (fig. 10).

La escama de laminación producida por debajo de 570°C, muestra total ausencia de wüstita en contacto directo con el metal. Sobre la superficie de éste aparece una capa de magnetita, mucho menos soluble en los ácidos minerales; en este caso se produce además un ataque de la superficie metálica con formación de hidrógeno (fig. 11). Las burbujas del gas ejercen una acción mecánica sobre la magnetita favoreciendo desprendimientos parciales de la capa de calamina; el hidrógeno naciente formado en los momentos iniciales reduce los óxidos superiores a otros más fácilmente removibles.

Se producen en consecuencia, dos fenómenos asociados: aumenta el consumo de ácido, con una apreciable disolución del metal, mientras que el desprendimiento parcial de la capa de calamina da lugar a la formación de microceldas electrolíticas, produciéndose corrosión localizada, picado o "pitting". El desprendimiento de hidrógeno sobre la superficie del metal, si bien contribuye a la eliminación de la escama, puede provocar un proceso de fragilización como consecuencia de su absorción por el acero; la magnitud de esta absorción depende del tipo de material tratado y del tiempo de residencia dentro del baño.

El tiempo de residencia puede ser disminuido si se somete

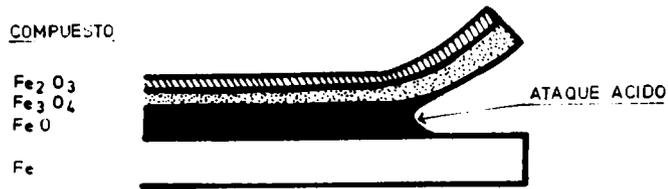


Figura 10.- Efecto del decapado sobre la escama de laminación producida entre 700-1250°C



Figura 11.- Efecto del decapado sobre la escama de laminación producida por debajo de los 570°C

el acero a una acción de rotura mecánica de la capa de calamina por medio de rodillos diseñados para que se produzca en ella una gran deformación superficial. La intensidad de la presión y la velocidad de pasaje dependen fundamentalmente de las propiedades mecánicas de la escama de laminación (la que varía con el espesor y la porosidad inicial) y de la distribución y proporción relativa de los óxidos que la componen. Se produce de esta manera un gran cuarteado y desprendimiento parcial o total de la capa, facilitando el acceso del ácido de la interfase acero-calamina. Así tomando como ejemplo el ácido sulfúrico, en la concentración de 16 por ciento en peso y manteniendo este valor constante, la velocidad de trabajo se incrementa entre 1 y 6 veces con respecto al método de ataque directo de la calamina, dependiendo dicho incremento de la temperatura de trabajo (fig. 12).

### *Composición de los baños de decapado*

El *ácido sulfúrico* es un agente decapante que se utiliza en concentraciones que varían entre 5 y 25 por ciento en volumen, aumentando la velocidad de ataque a medida que aumenta la concentración. Por encima de 25 por ciento disminuye la velocidad de reacción, mientras que el parámetro temperatura influye de tal manera que el tiempo de residencia o de decapado disminuye a la mitad por cada 10°C de aumento de la temperatura entre 65 y 85°C (fig. 13), cuando se mantiene constante la concentración de ácido. La cantidad de hierro disuelto aumenta considerablemente con el aumento del tiempo de residencia (figura 14).

Durante el tiempo que dura el decapado, debe mantenerse constante la cantidad de ácido dentro del baño, verificando por métodos físicos (densidad) o químicos (análisis) el contenido de materia activa de la solución y reponiendo el ácido consumido.

El *ácido clorhídrico*, se utiliza en todos aquellos casos en que el sulfúrico es poco efectivo, como en el caso del óxido que se forma en atmósferas altamente corrosivas, si han sufrido algún tipo de deshidratación previo al decapado o cuando los productos de corrosión se desarrollan sobre superficies recubiertas con aceites o grasas anticorrosivas de protección temporaria y con una larga exposición a la intemperie. El ácido clorhídrico forma rápidamente cloruros con todos los metales presentes (más solubles que los correspondientes sulfatos), penetrando además con más rapidez a través de los poros de la calamina. Esta mayor tendencia al decapado hace que pueda utilizárselo a temperatura ambiente o con calentamiento hasta un máximo de 40°C; por encima de esta temperatura desprende cloruro de hidrógeno altamente corrosivo y que tiene una mayor tendencia que el sulfúrico a producir corrosión localizada (picado o "pitting").

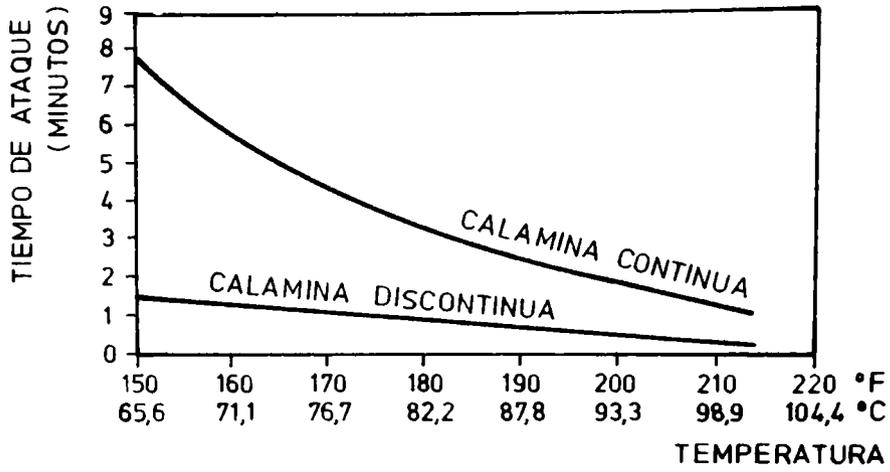


Figura 12

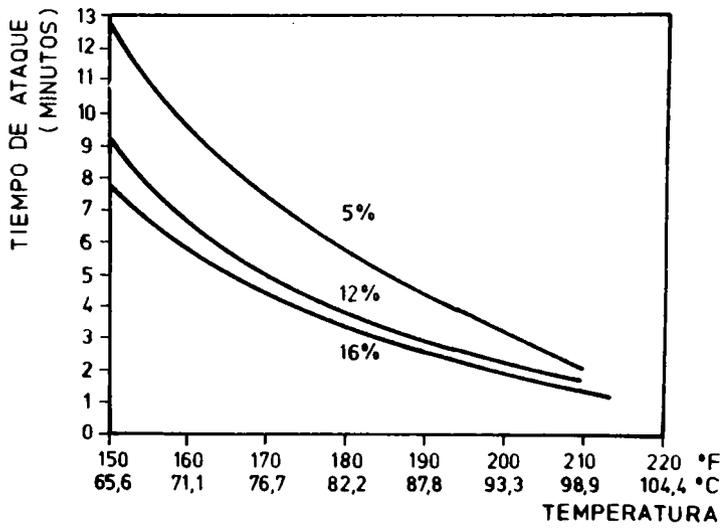


Figura 13

En general se lo emplea en altas concentraciones, ya que una parte de ácido clorhídrico comercial suele diluirse con tres partes de agua; los baños más comunmente usados contienen partes iguales en volumen de ácido y de agua. La principal desventaja del uso de los ácidos mencionados precedentemente, reside en la tendencia que tienen ambos a dejar trazas de sulfatos y cloruros dentro de los poros de la superficie, con las consecuencias que ya han sido explicadas sobre la película de pintura. Es por ello que se recomiendan diferentes tratamientos complementarios para producir la eliminación de dichas sales: lavado con agua caliente, seguido de una neutralización con solución de hidróxido de sodio diluida y nuevo lavado con agua caliente para limpiar totalmente la superficie <sup>(21)</sup>. La otra solución es el lavado con ácido fosfórico diluido y en caliente para eliminar los productos potencialmente corrosivos y nuevo lavado con agua caliente <sup>(22)</sup>.

#### *Activadores, acelerantes e inhibidores de decapado*

Cuando la superficie a tratar está libre de escama de laminación y óxidos de gran volumen o aparece a simple vista como completamente desoxidada, es necesario sin embargo realizar un tratamiento de decapado que elimine la fina capa de óxido invisible que seguramente se ha formado sobre el sustrato y provea a la superficie de una pequeña rugosidad. Este tratamiento repercute sensiblemente sobre el comportamiento del sistema protector en especial si éste es de bajo espesor, al eliminar de la superficie los contaminantes presentes, produciendo un "mordentado", que mejora el anclaje o adhesión de la imprimación anticorrosiva que se aplique; en este caso se emplean los *agentes activadores*.

Estos se utilizan en bajas concentraciones (máx. 2% en peso) y son generalmente ácidos orgánicos fuertes como el oxálico o el tricloroacético o ácidos orgánicos débiles como el cítrico, acético o hidroxiacético, los que actúan como *secuestrantes* de iones metálicos. Para regular la reacción suele usárselos conjuntamente con secuestrantes neutros, tales como el gluconato de sodio-ácido glucónico, ácido cítrico-citrato de sodio, oxalato de amonio-ácido oxálico, etc. <sup>(23)</sup>.

Los *aceleradores de reacción* se utilizan cuando el sustrato es un acero especial, que impide la acción normal del ácido sulfúrico o clorhídrico durante el decapado. La aceleración puede realizarse aun cuando el sistema trabaje en las condiciones habituales de concentración, temperatura y agitación. Son productos patentados que suelen agregarse en concentraciones no superiores al 2 por ciento. Spring <sup>(23)</sup>, menciona los ferricianuros de sodio o de potasio en dichas concentraciones, para el

caso de aceros comunes, mientras que recomienda para acero inoxidable y aceros de mediana aleación compuestos tales como el tiosulfato de sodio, hiposulfito de sodio o sulfito de sodio (0,5-2 %), que se emplean conjuntamente con el ácido sulfúrico.

Sin embargo, el uso más generalizado en este tipo de tratamientos es el de *inhibidores de corrosión*, en especial en el caso de aceros con calamina parcialmente desprendida o zonas aisladas de oxidación, que favorecen la formación de pilas galvánicas.

Estos productos actúan disminuyendo la velocidad de disolución del metal y deben ser seleccionados de forma tal que tengan poco o ningún efecto sobre la reacción química principal de disolución de los óxidos presentes. Se emplean compuestos tales como la anilina, quinoleína, derivados del petróleo y del alquitrán de hulla, gelatina, etc. La figura 15 indica cómo varía la velocidad de ataque del metal en función del tiempo, para una muestra decapada sin inhibidor y para otras tratadas con baños que contienen dichos productos en su composición.

#### *Empleo de ácido fosfórico como agente decapante*

Este ácido se utiliza como agente decapante en todas aquellas piezas que están moderadamente oxidadas, sin calamina presente, ya que sólo en estos casos es efectivo. Se trata de un ácido relativamente débil, si se lo compara con el sulfúrico o clorhídrico.

Tiene la ventaja sobre los nombrados en último término de no dejar residuos potencialmente peligrosos sobre el sustrato (sulfatos y cloruros), ya que en los huecos y poros se suele depositar una capa de fosfatos de hierro complejos, que no tienen influencia sobre la película de pintura debido a su gran estabilidad. Las pinturas toleran además algo de este ácido libre sobre la superficie, considerándolo no peligroso cuando queden cantidades de alrededor de 54 mg/m<sup>2</sup> debajo de ella. De los tres ácidos hasta aquí considerados, es el que menor tendencia tiene a producir corrosión localizada ("pitting") pudiéndose establecer la siguiente tendencia, de menor a mayor:

fosfórico → sulfúrico → clorhídrico

Se lo emplea a temperatura ambiente, en concentraciones que varían entre 5 y 15 % en peso, de acuerdo a la cantidad de óxidos que tenga adherida la superficie. Es especialmente recomendable para trabajos de repintado en estructuras parcialmente corroídas, con la ventaja de eliminar el óxido formado y proveer

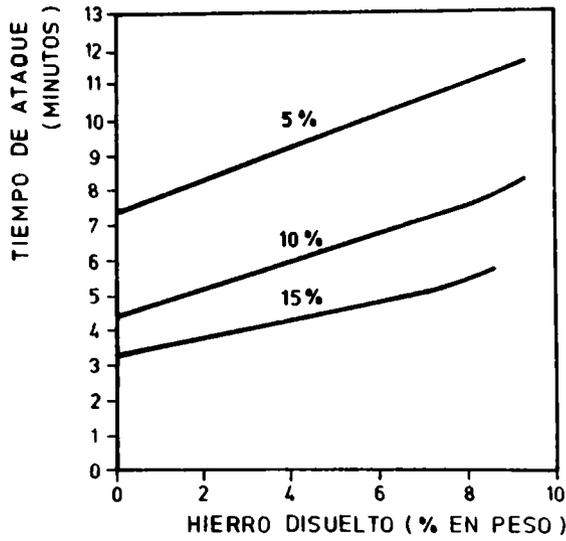


Figura 14.- Cantidad de hierro disuelto en función del tiempo de residencia

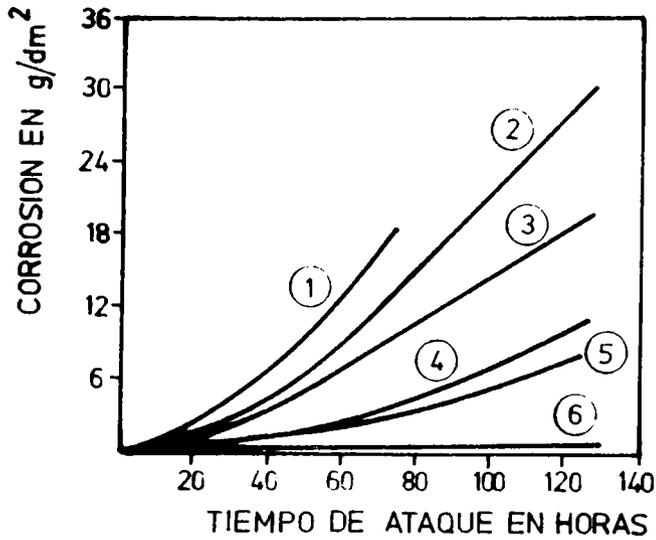


Figura 15.- Efecto de los inhibidores: 1) sin inhibidor; 2) anilina; 3) quinoleína; 4) derivados de petróleo; 5) gelatina; 6) derivados del alquitrán

de una resistencia adicional a la corrosión hasta el momento en que se reponga la capa de antióxido.

No debe confundirse el uso del *ácido fosfórico* en estas condiciones con la *fosfatización*. Este último proceso se realiza con soluciones que contienen fosfatos ácidos de hierro, cinc o manganeso o una mezcla de ellos, que produce sobre el sustrato una capa fina, cristalina y continua de fosfato de dichos cationes. Esta capa, firmemente adherida, forma una barrera protectora efectiva que impide la acción del medio agresivo hasta el momento del pintado y además mejora la adhesión de la imprimación a la base. De estos compuestos se hablará cuando se considere el tema pretratamiento de superficies.

---

## CEPILLADO Y PICARETEADO

---

Estos métodos se emplean cuando se realizan operaciones complementarias al meteorizado y flameado o el sustrato va a ser pintado sin exigencias muy altas de calidad, cuando se realizan operaciones de mantenimiento preventivo de estructuras durante la etapa constructiva o cuando se debe efectuar el repintado de superficies con varios años de servicio, donde se han producido desprendimientos parciales en zonas críticas de la estructura (refuerzos soldados o remachados, ángulos o lugares poco accesibles, etc.).

Como el empleo de estas máquinas es suficientemente conocido, en la tabla VIII se mencionan las más utilizadas y se agrega una breve descripción de las tareas que se pueden realizar y su campo de aplicación sobre sustratos diferentes al hierro, como son por ejemplo la mampostería y la madera.

---

## CHORREADO CON MATERIALES ABRASIVOS

---

Estos métodos son superiores a los descritos precedentemente (a excepción del "pickling"), ya que se obtienen superficies completamente libres de herrumbre y calamina.

TABLA VIII

Herramientas más utilizadas para la preparación de superficies por medios mecánicos

Tipo de herramienta	Impulsión	Velocidad del motor, r.p.m.	Tareas que puede realizar	Tipo de superficie sobre la que puede ser usada	Observaciones
Pulidoras rotativas con cuchillas de alambre acerado.	Eléctrica	2 800-4 250	Remoción de pintura vieja, óxidos superficiales y capas finas de calamina, sin peligro de producir rayaduras o desprendimientos en sustratos blandos.	Madera, mampostería, acero, concreto, piedra, fibrocemento.	Para evitar la producción de polvo, debe mojarse la superficie antes de comenzar el trabajo.
Pulidoras rotativas de disco con cuchillas dentadas.	Eléctrica o neumática	1 500-5 000	Remoción de contaminantes sólidos, pintura vieja y capas gruesas y duras de calamina y herrumbre.	Mampostería, concreto y materiales afines más duras que para el caso anterior. Acero y fundición; no pueden utilizarse sobre madera.	No produce polvo por tener circuito aspirador.
Herramienta rotativa con impacto de agujas.	Neumática	1 200	Remoción de contaminantes, pintura vieja y capas gruesas y duras de calamina y herrumbre. Se pueden obtener superficies a metal blanco.	Concreto, piedra y acero. En general, materiales de mayor dureza que para los dos casos anteriores.	No produce polvo por tener circuito aspirador incorporado.
Martillos de agujas y picaretas.	Neumática	--	Remoción de contaminantes, sólidos, pintura vieja y capas finas de óxido en superficies de difícil acceso. Limpieza de escamas en soldaduras eléctricas, remaches, pernos, conductos, ángulos, etc.	En superficies de acero, torres, etc. Alternativamente puede ser usado para limpiar o dar rugosidad a superficies de concreto.	El polvo se retira de la superficie por soplado.

En la práctica industrial hay tres formas de limpiar el acero por chorreado con materiales abrasivos: *arenado seco*, donde el abrasivo es impulsado por aire a alta presión a través de una boquilla hacia la superficie a preparar y la impulsión puede realizarse por presión directa o por succión; *arenado húmedo*, que puede realizarse por succión o mezcla en la boquilla (método de baja presión) o por presión directa (método de alta presión); y *granallado* en circuito cerrado, ya que se usan granallas de acero esféricas o angulares, de alto costo, que deben ser recuperadas, separadas del polvo, herrumbre y trozos de calamina y recicladas.

Cada uno de los métodos enumerados tiene un campo de aplicación, que viene delimitado por la forma, tamaño, tipo de estructura, instalaciones disponibles, grado de preparación exigido y características del lugar donde se realiza el trabajo.

Así por ejemplo, si se trata de piezas o trozos de estructuras relativamente pequeñas, el arenado seco puede ser una solución más económica que el granallado, si se dispone de aire a presión en abundancia dentro de la fábrica.

En cambio, si el trabajo ha de realizarse en lugares abiertos (como en el caso del repintado de estructuras muy deterioradas), cerca de instalaciones donde se emplean aparatos de precisión o circula constantemente el personal, se prefiere el arenado húmedo, que no permite gran dispersión del material, que pueda afectar instalaciones o la salud de dicho personal.

Por último, para la preparación de superficies con alto grado de calidad y trabajando en serie, como en el caso de los astilleros (donde se tratan grandes cantidades de chapas y perfiles) se utiliza el chorreado con granalla de acero esférica o angular, en circuito cerrado y con aplicación automática de la pintura.

En cualquiera de los casos mencionados precedentemente es necesario tener en cuenta que se producen dos fenómenos asociados: un gran aumento de la superficie libre del metal debido a la aparición de un *perfil de rugosidad* (al que haremos mención más adelante) y una consecuente activación de la superficie, la que debe ser protegida inmediatamente para evitar su rápida oxidación.

Se detallarán a continuación cada uno de los métodos mencionados, para luego tratar la repercusión que, sobre la capa de pintura, pueda tener la diferente rugosidad de la superficie de base.

### ARENADO SECO

El método consiste en utilizar aire, que imparte a las par-

tículas abrasivas la energía cinética necesaria para que lleguen a la superficie con la fuerza y velocidad suficientes como para eliminar los contaminantes que se encuentran sobre ella. Dichas partículas abrasivas pueden estar constituidas por arena de distinto tipo y tamaño de grano, escorias de fundición, etc., y su alimentación al circuito puede producirse de varias maneras diferentes.

*Alimentación por presión directa.* En este caso el tanque de alimentación se encuentra bajo presión durante toda la operación de arenado. La arena es forzada a llegar de este modo a una cámara de mezclado, donde es arrastrada por aire que pasa a alta velocidad hacia la boquilla de salida. Es el método más utilizado en la actualidad, ya que se logra un control efectivo del flujo de arena y aire mediante un sistema regulado que permite el trabajo continuo o discontinuo. El procedimiento es tan versátil que con el solo cambio de una boquilla común por otra de diseño especial, es posible hacerlo trabajar como equipo de arenado húmedo.

*Alimentación por succión o vacío.* La arena llega a la manguera de alimentación por medio de la succión que produce un chorro de aire comprimido a alta velocidad, que pasa a través de una pequeña tobera hacia la boquilla de trabajo. Es usado tanto en grandes estructuras como en cabinas. Como la provisión del abrasivo depende de la succión por aire, el mismo debe estar perfectamente limpio y seco para obtener rendimientos óptimos.

En cualquiera de los dos casos, Skaggs <sup>(24)</sup> ha demostrado que la eficiencia del equipo depende en realidad de obtener un exacto balance de todas las variables que intervienen en la operación:

a) *Elección de un compresor adecuado*, cuya presión no sea inferior a 6-7 kg/cm<sup>2</sup> y que entregue paralelamente elevados volúmenes de aire (2,3-9,5 m<sup>3</sup>/min). Cuanto más grande sea el compresor, mayor será el tamaño de la boquilla a utilizar, realizándose el trabajo con mayor rapidez.

b) *Tanque de alimentación de arena.* Debe ajustarse a normas de seguridad, compatibles con un manejo sencillo, rápida recarga del equipo, fácil flujo de abrasivo hacia la válvula mezcladora y facilidad de transporte dentro del área de trabajo; debe poseer una válvula dosificadora adecuada, que mantenga dentro del caudal de aire la proporción necesaria de abrasivo para obtener el grado de preparación superficial exigido con un máximo de rendimiento.

c) *Mangueras de arenado* seleccionadas de manera correcta. En general una regla de buena práctica indica que el diámetro interno de la manguera debe ser 3 a 4 veces mayor que el

TABLA IX

*Influencia del tipo de arena sobre la altura máxima del perfil*

Tipo de arena silíceas	Tamaño máximo de partícula (n° de tamiz)	Luz de la malla mm	Altura máxima del perfil mm
Muy fina	80	0,177	1,5
Fina	40	0,420	1,9
Media	18	1,000	2,5
Gruesa	12	1,680	2,8

orificio de salida de la boquilla, para obtener bajos valores de fricción y reducir la caída de presión al mínimo.

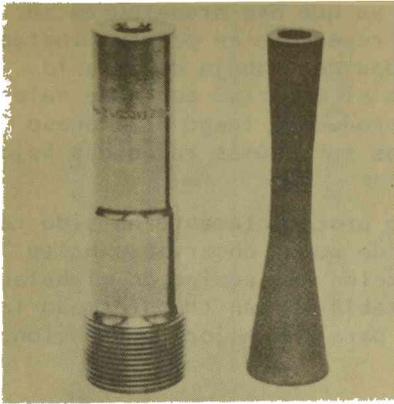


Figura 16.- Parte componente de una boquilla tipo Venturi

d) *Boquillas de arenado*, que pueden ser de materiales cerámicos, fundición, carburo de tungsteno, etc. y cuya vida útil depende del tipo de abrasivo utilizado. El desgaste es 2-3 veces mayor cuando se emplea arena que cuando se trabaja con granallas de acero. El rendimiento depende del tipo de boquilla empleada, siendo mayor en las Venturi que en las de salida recta (fig. 16). Con las primeras se obtienen velocidades de salida del abrasivo de 335 m/s, cayendo este valor a 220 m/s para las segundas. El incremento de producción logrado es entre un 15 y un 70 por ciento superior.

e) *Tipo de arena utilizada*. Tiene fundamental importancia en la operación y un informe técnico preparado por la NACE (25) hace mención de las propiedades abrasivas específicas del material, poniendo especial énfasis en el *tamaño de partícula*, que debe ser uniforme para obtener superficies de rugosidad y ancho de perfil adecuados. Algunas referencias al respecto se dan en la tabla IX (26).

f) *Forma*. Las partículas de forma esférica o redondeada, producen superficies con baja rugosidad, mientras que las de forma angular, dan como resultados sustratos perfectos desde este punto de vista.

g) *Peso específico del material*. Es importante, ya que los materiales de mayor densidad penetran más en la superficie para una misma velocidad de salida. Los abrasivos de alto peso específico, pueden ser utilizados con menores presiones y velocidades de salida y constituyéndose así en materiales más económicos.

h) *Composición química de la arena*. Depende fundamentalmente de la historia del yacimiento geológico del cual proviene (27) y que determina la cantidad de sílice que contiene y por lo tanto, la resistencia a presiones extremas o impacto; en general, la mayoría de las normas exige contenidos que varían entre 90 y 100 por ciento de sílice, debiendo descartarse aquéllas que presenten granos calcáreos, granulometría muy fina o sílice orgánica (tipo diatomeas), pues estas impurezas, más blandas, disminuyen el poder abrasivo (28). Desde este punto de vista, el acceso

fácil a yacimientos locales de arena que provea material a bajo costo, no es argumento suficiente para que se lo utilice. En general, la economía que se opera en los gastos de extracción y transporte puede resultar engañosa, ya que esa arena puede ser muy blanda y de poca pureza, lo que repercute en primera instancia en una disminución de la velocidad de trabajo durante la limpieza de la superficie. Si además el material contiene sales tales como cloruros o sulfatos, se producirá luego el fracaso prematuro del sistema al quedar estas sustancias retenidas bajo la capa de pintura.

En definitiva, lo argumentado precedentemente ha sido resumido por Skaggs en la tabla X, donde puede observarse hasta qué punto influye una correcta selección del equipo en el balance total de la operación. En dicha tabla se han transformado las unidades al sistema métrico decimal para una mejor comprensión.

#### ARENADO HUMEDO

Una de las principales limitaciones que tienen los métodos de arenado seco, es su utilización en áreas cercanas a talleres donde funcionan maquinarias de precisión, lugares de intensa circulación vehicular o de personal, zonas adyacentes a lugares de trabajo donde se realicen procesos que exijan extremada limpieza, etc. Dichos métodos producen una gran dispersión de polvo y partículas abrasivas (fig. 17), capaces de originar grandes inconvenientes.

Los procesos por vía húmeda son utilizados para la remoción de herrumbre ligera o capas finas de calamina y polvo atmosférico. La presencia de agua limita las pérdidas de metal, imparte una rugosidad controlada a las piezas sobre las cuales actúa y evita la dispersión de polvo, el que cae rápidamente al suelo. Estos métodos se pueden llevar a cabo por tres vías:

a) *Sistema de succión.* La suspensión de abrasivo en agua con constante agitación, es succionada por un Venturi colocado dentro de la pistola de trabajo e impulsada hacia el sustrato a tratar con una velocidad de aproximadamente 210 m/s. Es comúnmente denominado también, método de baja presión.

b) *Sistema de alta presión.* Se denomina también de presión directa, en el cual el abrasivo es impulsado desde un tanque a presión hacia una boquilla de alta velocidad especialmente diseñada, desde donde sale a una velocidad de 520 m/s.

c) *Sistema de mezcla en la boquilla.* Es una variante del sistema de arenado seco por presión directa, ya que el agua y el

TABLA X

*Balance comparativo de operación de dos equipos diferentes utilizados por el mismo operador*

Equipo.....	A	B
Grado de limpieza.....	NACE N° 3 (comercial bueno)	NACE N° 3 (comercial bueno)
Tamaño del tanque.....	0,93 x 4,18 (long.)	0,93 x 4,18 (long.)
Area interior, m <sup>2</sup> .....	145,8	145,8
Tipo de abrasivo.....	Arena sílicea Sewance	Perdigón mineral Alblast
Tipo de compresor.....	Schram, a pistón	Ingersol, diesel rotatorio
Capacidad, m <sup>3</sup> /min.....	3,5	8,9
Manguera de arenado.....	30,48 m, 1" x 2 braid	30,48 m, 1 1/4" x 4 ply
(Tipo y medidas)		3,8 m 1" x 2 braid
Boquilla.....	1/4" (recta)	3/8" (Venturi)
Presión de boquilla, kg/cm <sup>2</sup> .	4,5 - 5,3	6,8
Abrasivo utilizado, total...	6 200	3 925
Velocidad de limpieza, m <sup>2</sup> /h.	18.5	40,5

abrasivo llegan a la boquilla por separado, mezclándose directamente detrás de la boquilla de salida o justamente en ella. Este sistema permite su adaptación a equipos de arenado seco, aunque la cantidad de polvo que produce es mayor que en los dos casos anteriores.

En cualquiera de los procesos mencionados, y especialmente en aquellos casos en que el abrasivo circula por las cañerías en forma de barros, es necesario controlar el *tamaño de partícula* de tal forma que la misma, mediante la ayuda de agentes tensioactivos, se mantenga en suspensión a lo largo de todo el recorrido.

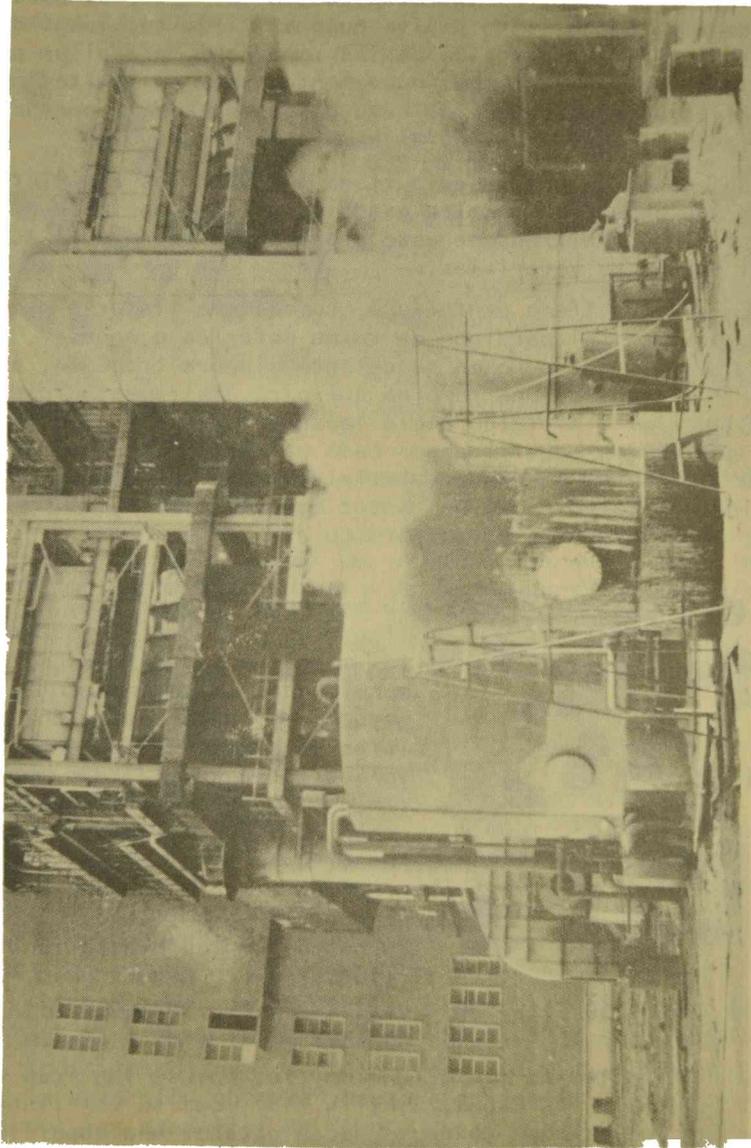
El *contenido de material abrasivo* dentro de la suspensión varía entre 40 y 60 por ciento en peso, de acuerdo al método empleado y con la presión o succión de trabajo. Esto determina una descarga de material de 4,5-7,0 kg/min, con una vida media del abrasivo de 30-50 horas, la que depende de su dureza y del tipo de superficie a tratar.

El arenado húmedo presenta el inconveniente de producir la rápida oxidación de la superficie expuesta del acero si no se le agregan al barro o al agua inhibidores de corrosión. Se ha encontrado que son efectivas mezclas de fosfato de amonio y nitrato de potasio (relación 4:1), en proporciones de 1 kg por tonelada de material o soluciones de ácido crómico, cromato de sodio o dicromato de potasio (0,2 % en peso), debiéndose incrementar esta cantidad si se produce la oxidación rápida de la superficie; estos materiales deben ser utilizados cuidadosamente por parte del personal que realice las tareas, el que debe emplear sistemas de protección industrial adecuados. La pasividad de la superficie se mantiene por un tiempo limitado, por lo que se debe aplicar, una vez producido el secado, una imprimación anticorrosiva. El "wash primer", debido al contenido de agua de su formulación, puede constituir una solución efectiva para la protección de la superficie así preparada, aún cuando la misma no haya secado completamente.

#### GRANALLADO (GRANALLAS METÁLICAS)

Este sistema puede ser definido como un método de trabajo en frío, mediante el cual se envía un chorro de granallas de acero a alta velocidad sobre la superficie libre del metal, en condiciones controladas.

El golpeteo continuo del material abrasivo provoca el desprendimiento de las impurezas adheridas a la superficie del acero. Complementariamente esta acción aumenta la resistencia a la fatiga del material y descarga tensiones residuales provenientes del proceso de elaboración, mejorando las condiciones de adherencia del revestimiento protector, al conferirle al sustrato una cierta rugo-



*Figura 17. - Dispersión de polvo durante la operación de un equipo para arenado seco*

alidad.

Este tipo de tratamiento se utiliza en pequeña o mediana escala, en cabinas individuales o recintos cerrados, diseñados de tal forma que permitan la recuperación del material abrasivo, que es de alto costo. Este vuelve pues al circuito, luego de sufrir un proceso de separación de las impurezas, granallas partidas, óxidos y polvo, actuando nuevamente hasta un límite impuesto por el tamaño de partícula, cuyo desgaste hace la operación poco eficiente, lo que obliga al cambio de abrasivo.

Su empleo en gran escala tiene lugar en los astilleros y fábricas que requieren un alto grado de calidad en la preparación de superficies, realizándose este proceso una vez que el acero llega al parque de materiales.

En el *granallado centrífugo*, como suele llamarse también a esta operación, el perdigón de forma esférica o angular, de acero o hierro fundido, o en su defecto alambre troceado, es tomado por los vanos de una turbina que gira a alta velocidad (2 000 -3 000 rpm) y dirigido hacia la superficie a tratar. La velocidad periférica adquirida por cada partícula es de alrededor de 60-70 m/s y el gasto de material depende de las medidas de la turbina, de la potencia del motor que la impulsa, del peso específico y de la dureza de la partícula.

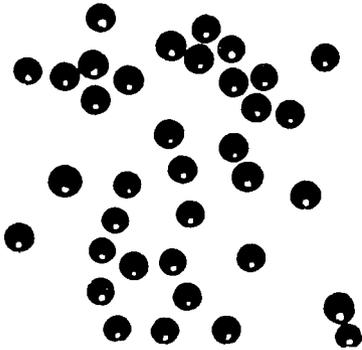


Figura 18.-Granalla esférica de acero fundido tratado

En estos casos y debido a su bajo peso específico, no se utiliza arena, ya que cualquiera de los materiales abrasivos metálicos mencionados precedentemente, tiene mayor poder de penetración, una más larga vida útil, producen menos polvo que la arena y actúan menos severamente sobre los materiales que componen la instalación. El rendimiento relativo es similar para el alambre troceado y acero fundido tratado y superior en ambos casos al obtenido cuando se emplea hierro fundido. Por resultar el de menor costo, las más utilizadas son las granallas de acero fundido tratado <sup>(29)</sup>.

Las granallas de acero fundido tratado, se fabrican en dos formas diferentes: las *esféricas* (fig. 18), que se utilizan en todas aquellas operaciones donde se desea obtener una superficie poco rugosa y uniforme, y las *angulares* (fig. 19), empleadas en aquellos trabajos donde se requiere un decapado profundo de la superficie y un sustrato con determinada rugosidad.

Ambos tipos son elaborados en tamaños nominales determinados,

según norma SAE J-444, con mínimos de partículas muy exigentes, ya que varían entre 70-85 por ciento para granalla esférica (S-70 a S-780) y entre 60-80 por ciento para granalla angular (G-80 a G-10), variando su tamaño nominal entre 0,2 y 2,0 mm para ambos casos. Se obtiene esta composición granulométrica por



Figura 19.- Granalla angular de acero fundido tratado

tamizado. Los tipos de alambre de acero en trozos están especificados en la norma SAE 34441 y su diámetro de acuerdo a ella es de 0,5 mm para el tipo CW-20 (mínimo especificado) hasta 1,6 mm para el CW-62 (máximo de la citada norma).

Las máquinas centrífugas no funcionan con un solo tamaño de granalla, sino que lo hacen con mezclas de ellas, denominadas *mezclas operativas*.

Según Espinosa (30), las mezclas operativas más idóneas son aquellas que están formadas por tres tamaños de granallas (grandes, medianas y pequeñas), siendo las primeras las encargadas de la eliminación de los contaminantes y de la obtención de una cierta rugosidad y las últimas de lograr una buena cobertura de la superficie a limpiar. La acertada dosificación, hace el proceso más económico, al mejorar la calidad que se obtiene de una superficie tratada (tabla XI).

Por lo tanto, ya que parte de la granalla se elimina cuando por abrasión ha alcanzado un tamaño mínimo y es arrastrada por el sistema separador, será necesario el agregado de granalla nueva en tamaño y cantidad suficiente como para mantener la eficiencia de dicha mezcla. Esto deberá realizarse mediante análisis granulométricos periódicos en lugares predeterminados de la máquina y la frecuencia con que éstos se realicen depende en buena medida de los grados de preparación de superficies requeridos, que deben ser compatibles con el nivel de producción a alcanzar.

Las especificaciones sobre granallas de acero de ambos tipos exigen además diferentes grados de dureza Rockwell C, la que se logra en todos los casos por tratamientos térmicos adecuados. Sin embargo, la selección en base a su dureza debe realizarse teniendo en cuenta que las granallas de mayor dureza son susceptibles de ocasionar mayor inestabilidad en la mezcla operativa y una frecuencia también mayor de reposición del abrasivo.

Estas máquinas de granallado automático son esencialmente

TABLA XI

Diferentes distribuciones granulométricas en granallas esféricas para chorroado  
Tamaño nominal 1,2 mm (Tipo S-460)\*

Malla de tamiz (mm)	Buena distribución		Mala distribución	
	Granos, en peso %	Cantidad de granos por kg	Granos, en peso %	Cantidad de granos por kg
1,2	35	39 000	85	103 000
0,84	25	85 000	10	34 000
0,60	20	185 000	5	46 000
0,42	15	400 000	-	-
0,30	5	373.000	-	-
Total	100	1 082 000	100	183 000

\* Según Espinosa de los Monteros A. (30).

autodestructivas, y es necesario realizar planes de mantenimiento preventivo de la instalación que consisten en la revisión periódica y ordenada de los elementos que la componen, como así también el control de su correcto funcionamiento (31). La composición, dureza y resistencia a la abrasión de los materiales empleados en la construcción, las condiciones de trabajo y el nivel de contaminantes de la mezcla operativa, condicionan la duración en servicio de ciertas partes vitales del sistema. El estudio realizado por una empresa especializada en la fabricación de granallas, resume la acción de dichas impurezas sobre partes vitales de la máquina (tabla XII) (29).

#### RUGOSIDAD SUPERFICIAL Y ESPESOR MINIMO DE IMPRIMACIONES Y ESQUEMA PROTECTOR

Como se ha expresado, las superficies producidas por arenado o granallado son más o menos rugosas y por lo tanto tienen perfiles de diferente magnitud. En cada uno de los casos, el perfil depende de las condiciones iniciales de la superficie, tipo de abrasivo utilizado (en lo inherente a su masa, dureza e indeformabilidad), intensidad del martilleo, duración del mismo y ángulo de incidencia de la granalla sobre la superficie.

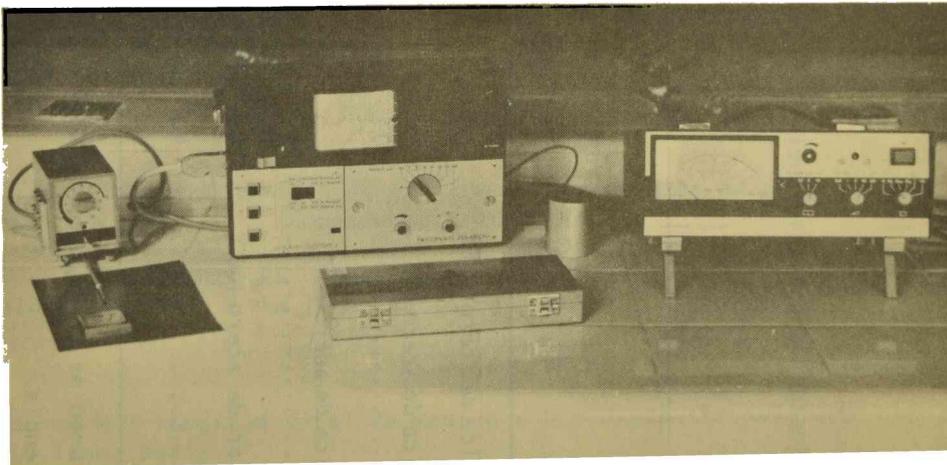


Figura 20.- Medidor de rugosidad superficial Hommel  
Tester P3-MZ con graficador

No debe confundirse grado de limpieza (Norma SIS 05 59 00/62 o JSRA 1975) con rugosidad de la superficie; se pueden obtener valores de SIS a 2 1/2 o 3 por ejemplo, con mayor o menor rugosi-

TABLA XII

*Efectos de los abrasivos en la vida útil de los componentes de una unidad de disco centrífugo\**

Abrasivo	Vida de los diferentes componentes, en horas			
	Hojas	Disco	Caja controlador	Forros cámara
Granalla esférica de acero 100 %.	250	250	400	3 000
Granalla esférica de acero con 1 % arena.....	80 a 100	100	100	2 000
Granalla esférica de acero con 3 % arena.....	15 a 25	50	50	1 500
Granalla angular de acero 100 %.	125 a 150	150	150	1 000 a 1 500
Arena 100 %.....	4 a 6	25		500

\* Basada en tiempo de trabajo con disco centrífugo de 495 mm de diámetro y 63,5 mm de ancho y 30 HP de potencia.

dad. Los aparatos utilizados para medir la rugosidad se llaman *rugosímetros*, tales como el Talysurf o el Hommel Tester (fig. 20) que permiten medir este parámetro preestableciendo de antemano la velocidad de desplazamiento del palpador y el largo de acción ("cut off") del mismo. Dicho palpador está constituido por una punta de diamante que recorre la superficie, cuyas inflexiones generan señales electrónicas que son registradas por un galvanómetro o un aparato registrador. En este último caso es necesario conocer el valor de amplificación dado al gráfico en abscisas y ordenadas.

La definición de *rugosidad* o *textura* de una superficie viene determinada en distintas especificaciones, por varios parámetros:

a) *Índice Ra*. Es la distancia media aritmética, llamada también AA (arithmetic average) o CLA (center line average), que se define como el valor medio aritmético de las distancias de los puntos del perfil efectivo a la línea media, dentro de una determinada longitud de medida ( $l$ ).

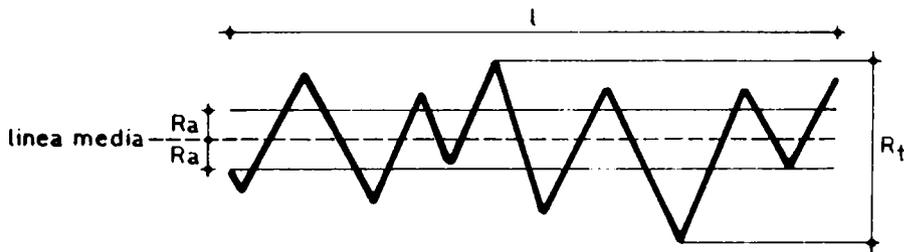


Figura 21.- Interpretación gráfica de los valores  $R_a$  y  $R_t$  para una longitud de medida  $l$

b) *Índice  $R_s$*  (Root mean square). Es el valor medio cuadrático del perfil a la línea media, es decir:

$$R_s = \sqrt{\sum M. D^2/M}$$

donde  $M$  = longitud total de medida y  $D$  = distancia del perfil a la línea media.

c) *Índice  $R_t$* . Es la mayor distancia, medida normal a la línea media, entre la cresta más alta y el valle más profundo, que no necesariamente son consecutivos.

Truelove (<sup>32</sup>), demuestra que los valores definidos en a y b carecen de significación en la determinación del espesor de pe-

lículas de pintura aplicadas sobre superficies rugosas, ya que no tienen en cuenta los picos del perfil más alto (fig. 21), que quedan fuera de medida. El valor a tener en cuenta verdaderamente es el índice  $R_t$ .

Según Bustamante (33), una rugosidad perfecta tendría un  $R_a=R_t$  (que sería la obtenida en un mecanizado), pero ocurre que para el granallado siempre  $R_t > R_a$  y crece con el valor de este último y por lo tanto con el tamaño de la granalla empleada. Además agrega que el  $R_s$  es un 11 por ciento mayor que el índice  $R_a$ , con lo que se confirma que ambos valores no dan una idea acabada del perfil real de la superficie, que sí se obtiene con los valores del índice  $R_t$ . Esto se puede confirmar observando los resultados obtenidos por dicho autor por adiciones de granallas de mayor tamaño dentro de mezclas operativas ya estabilizadas y de comportamiento comprobados (tabla XIII).

Si se toman como válidos los valores de  $R_a$  o  $R_s$  es probable que se presenten situaciones en las cuales se crea haber alcanzado un espesor de película adecuado y sin embargo no se logran cubrir suficientemente algunos picos, en los cuales comenzará rápidamente a aparecer oxidación (fig. 22).

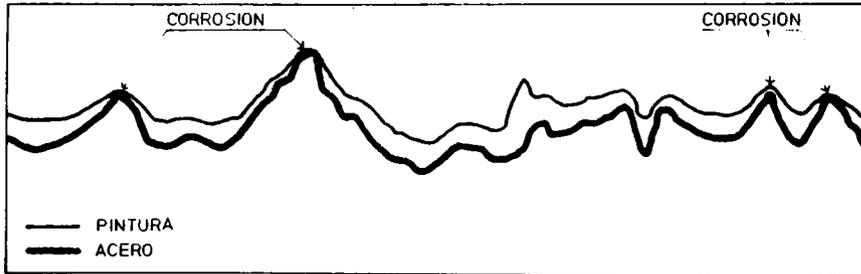


Figura 22.- Zonas que sufrirán corrosión por bajo espesor de película sobre los picos

Los bajos espesores que se obtienen sobre los picos no alcanzan a ser detectados por los aparatos de medida normalmente empleados en los astilleros, tales como el Elcometer, Permascope, Inspector o Minitecator, en especial en el caso de los "shop-primers".

Un papel muy importante sobre el espesor final de película que se obtiene, juega la perfecta formulación de la pintura a aplicar, ya que hay una cierta tendencia de las imprimaciones de pro-

TABLA XIII

Valores de Ra y Rt obtenidos para diferentes mezclas operativas  
Granalla esférica, normalizada según Norma SAE J-444\*

Muestra	Ra	Rt
Chapa decapada químicamente	2,54	19,05
Mezclas operativas		
S-230	6,60	36,83
S-230 + 5 % S-280	6,60	48,26
S-230 + 10 % S-280	6,60	39,37
S-280	8,12	48,26
S-280 + 5 % S-330	7,75	45,72
S-280 + 10 % S-330	8,13	43,18
S-330	9,40	49,53
S-330 + 5 % S-390	10,16	58,42
S-330 + 10 % S-390	10,16	52,07

\* Según Bustamante (33).

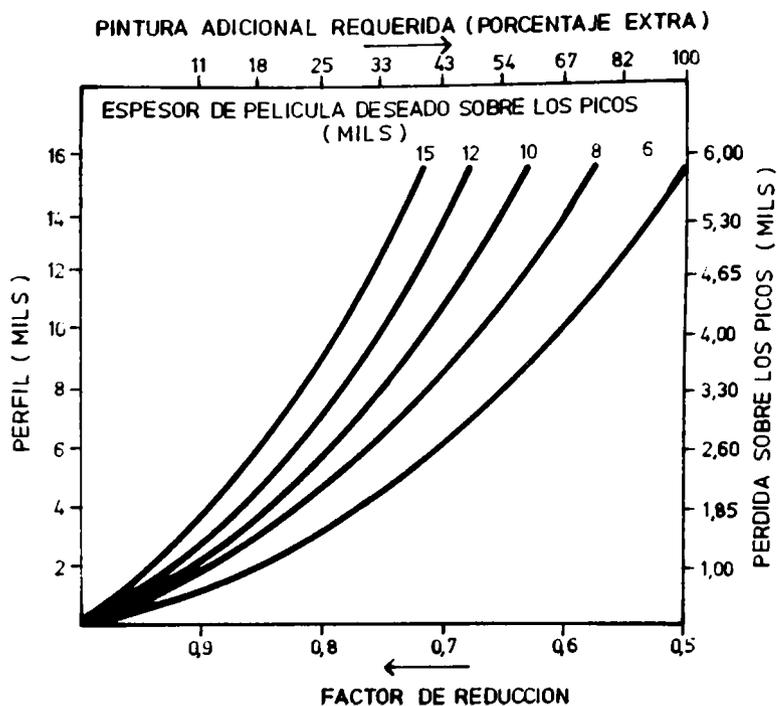


Figura 23.- Gráfico de Truelove para cálculo de la pintura necesaria en función de la rugosidad y el espesor de película deseado

tección temporaria a fluir hacia los valles y dejar al descubierto las puntas, característica que se puede regular confiriéndole una adecuada tixotropía al producto. Aun cuando éste esté bien formulado, el defecto puede aparecer al no tener en cuenta el aumento que se produce en la superficie específica del metal por efecto del granallado ya que muchas veces se toma el espesor con respecto al que se obtiene sobre una chapa decapada químicamente, dejando de lado que el aumento de rugosidad (y por ende de superficie) exige mayor cantidad de pintura a aplicar para alcanzar el espesor adecuado sobre los picos.

Aparece aquí un nuevo elemento a tener en cuenta, de real significación, y que es la *amplitud máxima de pico a valle adyacente* dentro de los límites establecidos por la longitud de muestreo, que condiciona la distribución del "primer" sobre la superficie. Es sorprendente el resultado que se obtiene al medir el perfil de los gráficos con un curvímetro y en una longitud deter-

TABLA XIV

*Aumento en la superficie específica del material por efecto del decapado químico y del granallado*

Tratamientos	Longitud	Cuadrado de la longitud*	Diferencias	Aumento de la superficie, %
A chapa pulida	68,58	4 703	--	--
B M.O.P. S-230	910	828 100	A - B	76,0
C M.O.P. S-280	975	950 625	A - C	102,0
D M.O.P. S-330	1 030	1 060 900	A - D	126,0

\* Proporcionales a las superficies a pintar.

minada para cada uno de ellos; los cuadrados de dicha longitud son proporcionales a las superficies a recubrir pudiéndose observar el aumento porcentual que ha sufrido el sustrato por efectos del granallado (tabla XIV) (33).

Resulta que, si se quiere mantener el espesor de película sobre los picos y controlar la corrosión, es necesario calcular el volumen de pintura adicional a emplear para lograr este efecto; el gráfico práctico desarrollado por Truelove es el que se indica en la figura 23.

---

## PRETRATAMIENTOS DE SUPERFICIES METALICAS

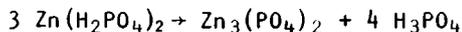
---

Cualquier tratamiento de superficie que se emplee produce una activación del sustrato, el que se torna más vulnerable al rápido ataque y oxidación. Cada proceso específico requiere una protección inmediata, sea por vía de aplicación de capas de fosfatos para las chapas decapadas químicamente o una pintura de protección temporaria o una imprimación reactiva para el caso del arenado y granallado.

### FOSFATIZADO DE UNA CHAPA DECAPADA

El principio de acción de este tipo de tratamiento consiste en la deposición sobre la superficie de una capa de finos cristales dispuestos al azar sobre el sustrato; dicha capa es insoluble y la reacción finaliza recién cuando se han sellado todos los poros del acero de base.

Según Diamond (34), si la solución se ha ajustado muy bien en la concentración de fosfato diácido de cinc a la temperatura de trabajo (100°C), este compuesto se desdobra en el fosfato terciario y ácido fosfórico:



La presencia de hierro en el baño produce dos reacciones:





se reduce la concentración de ácido fosfórico en las inmediaciones del metal, con lo que se sobrepasa el producto de solubilidad de los fosfatos secundarios y terciarios de cinc, los que precipitan sobre la superficie del acero. Es por ello que anteriormente se había explicado que la reacción continuaba hasta que se sellaran todos los poros del sustrato.

La eficacia de este tipo de tratamiento reside en que la pintura aplicada sobre esta capa adhiere firmemente por absorción sobre los poros, atracción iónica por formación de uniones de este tipo e incremento del área superficial libre del metal. Por otra parte, el depósito es compatible con todo tipo de pinturas. La adhesión lograda es mayor que cuando se pinta sobre metal limpio o sobre metal oxidado. La capa de fosfatos evita además el rápido deterioro del sustrato luego del decapado químico y reduce los riesgos de corrosión debajo de la película de pintura.

#### IMPRIMACIONES REACTIVAS

Se denominan también "wash-coat" o "wash-primer" y se caracterizan por combinar el proceso de fosfatizado y pasivado en una sola operación. Secan muy rápidamente, tienen muy buena adhesión y ofrecen buenas características de resistencia a la corrosión si se exponen durante un tiempo no muy largo a la intemperie sin estar protegidas por otras pinturas. Sobre estas imprimaciones se puede aplicar cualquier tipo de pinturas, incluidas las epoxibituminosas, como ha sido demostrado en un trabajo reciente <sup>(35)</sup>.

Se emplean sobre acero arenado o granallado y sobre superficies adecuadamente desengrasadas en el caso del aluminio, cinc o magnesio. Para los metales no ferrosos se requieren formulaciones especiales.

Chandler <sup>(36)</sup> ha resumido las interacciones entre los componentes del "wash-primer" y las de los mismos con la superficie metálica (tabla XV), que producen un fosfatizado, imprimación del metal, aumentan la adhesión y reducen la tendencia a la oxidación. Estas imprimaciones reactivas pueden formularse para ser comercializadas en simple y doble envase. Las de doble envase constan de una base compuesta por resina vinílica, cromato o tetroxicromato de cinc, extendedores y disolventes y de un aditivo endurecedor compuesto por ácido fosfórico, alcohol isopropílico y agua, tal como se indica en diversas especificaciones. Pueden consultarse la Navy Sp. MIL-C-15328 A, Fórmula 117 <sup>(37)</sup> o la

TABLA XV

*Interacciones que ocurren durante el secado del "wash primer"*

Interacción	Proceso y función
Acido fosfórico, agua, alcohol y metal....	Fosfatizado y humectación
Acido fosfórico, disolvente e iones cromato.....	Fosfatizado y pasivado
Acido fosfórico, disolvente y resina.....	Imprimación fosfatizante
Solución de disolvente e iones cromato....	Película inhibidora de la corrosión
Compuestos orgánicos de cromo y resina....	Compuesto repelente del agua, aumento de la adhesión
Compuestos complejos de cromo y resina....	Agentes organometálicos que aumentan la adhesión

del Steel Structures Painting Council, SSPC-PTs-64 (38).

---

## CONSIDERACIONES SOBRE LA PREPARACION DE SUPERFICIES DE MAMPOSTERIA O MADERA

---

### MAMPOSTERIA NUEVA

Dentro del término mampostería, se incluyen ciertos tipos de piedras artificiales, concreto, mortero de cal-arena-cemento, ladrillos y fibrocemento. Estos materiales se pintan para preservar la estructura de los factores climáticos, los que en términos más o menos breves inducen al desarrollo sobre la superficie de ciertos tipos de hongos y musgos, mientras que la contaminación atmosférica actúa por la presencia de anhídrido sulfuroso, que se transforma en ácido sulfúrico en presencia de agua y oxígeno. En ambos casos, el ataque que sufre la estructura influye no sólo sobre su aspecto decorativo sino que también destruye el material.

Antes del pintado es necesario dejar pasar un cierto tiempo para que el concreto o mortero pierdan la mayor cantidad de humedad posible, ya que debido a la naturaleza alcalina de la superficie destruyen los acabados oleorresinosos por saponificación y aun actúan sobre resinas tan resistentes como el caucho clorado. Ciertos pigmentos como el azul de prusia y algunos pigmentos rojos también pueden verse afectados, con el subsiguiente cambio de color. Por eso se recomienda el uso de selladores resistentes a los álcalis antes del pintado con pinturas convencionales, el uso de pinturas de alta resistencia al medio alcalino, o un tratamiento con ácido clorhídrico diluido, lavado y enjuague.

El mortero de cal y arena, utilizado como terminación para interiores y exteriores, presenta una superficie floja y pulverulenta, que tiende a desgranarse y desprenderse. Cuando se aplican pinturas al látex, no se logra generalmente la suficiente penetración del producto dentro de este tipo de sustrato como para transformarlo en una base sólida al actuar como ligante de las partículas; la consecuencia inmediata es el escamado o desprendimiento total o parcial de la película. En estos casos se recomienda quitar por cepillado o lijado suave las partículas sueltas y utilizar como imprimación una mano diluida del mismo recubrimiento.

Por último, otro defecto muy importante es la aparición

de *eflorescencia*, que no es más que la migración de sales en solución (en especial sulfatos) durante el secado del mortero y que cristalizan sobre la superficie una vez evaporada el agua. Para el caso del mortero en interiores se recomienda especialmente dejar secar éste la mayor cantidad de tiempo posible antes del pintado definitivo. Si es necesario dar un aspecto decorativo al muro interior se recomienda aplicar una mano de pintura de mantenimiento a base de cemento o cal, que permita el libre secado del muro y la salida al exterior de las sales.

Pasado un tiempo prudencial (6-8 meses en ambientes secos y 12-18 meses en lugares húmedos) cesa la *eflorescencia* y es posible aplicar cualquier tipo de revestimiento (látex o pintura oleorresinosa), sin peligro de que se produzca el rápido deterioro de la película. De otra forma, los cristales crecerían debajo del "film", desprendiéndolo.

#### REPINTADO DE MAMPOSTERIA :

La preparación superficial que exija este tipo de trabajo, dependerá del grado de deterioro alcanzado por el recubrimiento protector, del tipo de estructura, su ubicación y la factibilidad de aplicar el sistema propuesto. Debe quitarse en primer lugar la pintura de aquellas zonas donde la misma presente ampollado, cuarteado o desprendimiento. En el caso que estos defectos afecten a más del 20 por ciento de la estructura o estén localizados, se recomienda la limpieza a fondo hasta alcanzar el sustrato. En este caso se pueden aplicar dos métodos: el arenado a superficie blanca (seco o húmedo) o el lavado con agua a alta presión.

Los principios del arenado son los mismos ya explicados precedentemente. El lavado con agua a presión consiste en la utilización de agua en chorro con presiones del orden de 350-700 kg/cm<sup>2</sup> (1), lo que produce una velocidad de salida en las boquillas de diseño especial de 400 m/s, suficiente como para desprender los contaminantes, pintura vieja y parte del mortero mal adherido.

Solamente se requiere una fuente de abastecimiento de agua, una bomba de alta presión y mangueras y boquillas de salida adecuadas. Como se puede observar es un equipo muy simple, de bajo costo y de poco consumo de material decapante (ya que son suficientes de 20-60 l/min de agua), es fácil de usar, de alto grado de seguridad (ya que evita la formación de polvos y contaminantes) y prácticamente no produce problemas de eliminación del efluente. Sin embargo este método no da el perfil necesario para obtener un buen anclaje del nuevo revestimiento, por lo cual suele combinarse el chorro de agua con arena muy fina.

Para el caso de paredes que han estado mucho tiempo sin

protección expuestas al exterior, el tratamiento a realizar es el de arenado (seco o húmedo) o limpieza con vapor a presión, para eliminar la suciedad. En ambos casos es necesario reparar las partes de la mampostería que están agrietadas o se han desprendido durante el tratamiento, dejarlas secar y aplicar sobre ellas una capa de revestimiento antialcalino antes de proceder al pintado de la estructura con un producto oleorresinoso.

### MADERA NUEVA

En primer lugar se debe tener en cuenta que la madera utilizada tenga el suficiente grado de estacionamiento; se lo considera así cuando el contenido de humedad no sobrepasa el 15-17 por ciento, de acuerdo a la especie utilizada y a la época del año durante la cual la misma ha sido cortada.

No deben pintarse maderas con demasiado contenido de humedad ya que ello puede causar el ampollado, cuarteado, agrietado o desprendimiento de la película de pintura. Los artículos de madera que van a estar sometidos a la acción de materiales de construcción deben ser protegidos con una imprimación selladora que evite la acción deteriorante sobre la misma.

Los nudos y las áreas con exceso de resina deben ser tratados especialmente antes de imprimir, ya que en ellas la inestabilidad dimensional de la madera es mayor, produciéndose pérdida por adhesión y ampollado. Si el revestimiento a utilizar es transparente, se deberá dar un ligero tinte a toda la superficie para uniformar su color y luego proceder a imprimir y dar la primera mano de barniz (39). Para el caso que la protección se realice por revestimientos pigmentados, es conveniente luego de aplicar el sellador, dar una mano de una pintura intermedia de mantenimiento y luego aplicar la terminación correspondiente.

En algunos casos un arenado muy suave de la superficie, seguido de un lijado con abrasivo para madera de grano fino, dan una de las superficies mejor preparadas que se puedan lograr. El procedimiento de pintado posterior es similar a los indicados precedentemente.

Ciertos tipos de madera requieren un blanqueado de la superficie por tratarse de especies de tono muy oscuro o con vetas de colores muy diferentes. Para este tipo de trabajo suelen utilizarse diversos reactivos químicos (tales como agentes oxidantes o reductores) como peróxido de hidrógeno, sales de amonio, hipoclorito de sodio o ácido oxálico.

## REPINTADO DE MADERA

Los procedimientos a aplicar son muy diferentes, ya que puede tratarse de estructuras que no han sido protegidas convenientemente de los agentes atmosféricos con películas de barniz o directamente han estado expuestas a la intemperie sin protección alguna. En estos casos se recomienda en primera instancia realizar un blanqueo de la superficie con los reactivos indicados en el punto anterior, para luego aplicar el sellador y las manos de pintura o barniz correspondiente.

En el caso de estructuras con pinturas viejas en buen estado, se recomienda limpiar bien la superficie de polvo y sustancias grasas, realizar un lijado para dar una textura determinada a la pintura y luego proceder a pintar con las terminaciones elegidas. Solamente se debe quitar toda la película si se va a cambiar el tipo de revestimiento protector, ya que pueden producirse serios problemas de compatibilidad.

Si el sistema protector ha fallado completamente y se encuentra cuarteado, agrietado y desprendido es necesario quitarlo por completo, lo que se puede realizar mediante el empleo de removedores orgánicos adecuados, chorro de agua a presión o sustancias alcalinas si se trata de revestimientos saponificables.

---

## REFERENCIAS

---

- (1) Levinson S., Spindel S.- J. Paint Tech., 40 (520), (521), (522), 1968.
- (2) Garber S.- J. Iron and Steel Inst., 192, Part 2, June 1959.
- (3) Pfeil L.B.- J. Iron and Steel Inst., 119, 501, 1929,
- (4) Paidassi J.- Acta Met., 6, 184, 1958.
- (5) Pfeil L.B.- J. Iron and Steel Inst., 123, 237, 1931.
- (6) Garber S.- J. Iron and Steel Inst., 192, 156, 1959.
- (7) Friend J.N.- J. Oil Col. Chem. Assoc., 7, 5, 1924.
- (8) Mayne J.E.O.- Of. Digest, 24 (325), 127, 1952.
- (9) Chandler K., Reeve J.- J. Oil Col. Chem. Assoc., 49, 464, 1966.

- (10) Bruzzoni W., Aznar A., Iñiguez A.- LEMIT-ANALES, 4-1973, 146.
- (11) Barton, Karel.-Protection Against Atmospheric Corrosion. J. Wiley and Sons, London, 1976.
- (12) Evans U.R.-Metallic Corrosion Passivity and Protection. E. Arnold, London, 1946.
- (13) Barton K., Beranek E., Akimov G.V.- Werkstoffe u. Korrosion, 10 (6), 337, 1959.
- (14) McKelvie A.- J. Oil Col. Chem. Assoc., 60, 227, 1977.
- (15) Imperial Chemical House.- Protección, 5, 1977.
- (16) Spring S.- Industrial Cleaning. Prim Press, Australia, 1974.
- (17) Hudson J.C.- The corrosion of iron and steel. Chapman and Hall, 1940.
- (18) Caprari J.J., Morcillo M. y Feliu S.- El estado de la superficie metálica, factor clave en el comportamiento del revestimiento de pintura. Rev. Iberoam. Corros. y Protec., 10 (3), 45, 1979.
- (19) Fancutt F. et al.- Protección por pinturas de estructuras metálicas. Ed. Blume, Madrid, 1971.
- (20) Rascio V. et al.- Protección de superficies metálicas. Manuales Científicos, nº 1, Serie III, LEMIT, 1977.
- (21) Castellot A., López F.- Pint. y Acab. Indust., 2, 29, 1961.
- (22) Payne H.F.- Organic Coatings Technology. J. Wiley and Sons, London, 1954.
- (23) Spring S.- Preparation of Metals for Painting, Reinhold Publ. Co., London, 1965.
- (24) Skaggs T.D.- Materials Protection, 2 (10), 71-80, 1963.
- (25) NACE.- A report of Tech. Comm.- T-6G. Mat. Prot., 3 (7), 76-80, 1964.
- (26) Guillen M.A.- Corrosión y Protección, 8 (3), 39, 1977.
- (27) Lambert W.R., Mat. Prot., 4 (5), 11-13, 1965.
- (28) Weaver P.- Industrial Maintenance Painting, Edit. NACE, 1976.
- (29) Metapol S.A.- Estudio sobre chorreado por abrasivos, Barcelona, 1976.
- (30) Espinosa de los Monteros A.- Proc. A.I.C.C.N., Madrid, 1977.

- (31) de Iceta J.M.- Proc. A.I.C.C.N. Madrid, 1977.
- (32) Truelove R.K.- J. Oil. Col. Chem. Assoc., 38 (1), 57, 1966.
- (33) Bustamante Murga M.- Proc. A.I.I.C.N. Madrid, 1977.
- (34) Diamond H.- The application of surface coatings. OCCA, Part IV, Chap. 5, 1965.
- (35) Caprari J.J., del Amo B., Chiesa M. e Ingeniero R.- Influencia del pretratamiento y del esquema de pintado sobre el comportamiento de los revestimientos epoxibituminosos. CIDEPINT-ANALES, 223, 1980.
- (36) Chandler R.- Paint Tech., 26 (4), 14, 1962; 28 (11), 18, 1964.
- (37) Navy Specification MIL-C-15328 A (Form. 117). USA.
- (38) Steel Structures Painting Council.- Specification SSPC-PT 3-64.
- (39) Caprari J.J., del Amo B., Chiesa M. e Ingeniero R.- CIDE-PINT-ANALES, 153, 1980.

---

**APENDICE**

---



---

NORMA SUECA SIS 05 59 00 - 1967

GRADO DE HERRUMBRE EN SUPERFICIES DE ACERO Y  
GRADOS DE PREPARACION DE ESTAS SUPERFICIES  
PARA LA APLICACION DE PINTURAS ANTICORROSIVAS

---

INTRODUCCION

Al aplicar pinturas anticorrosivas es de suma importancia el grado de preparación de las superficies de acero antes de la aplicación de la pintura, para la aplicación de ésta. También es importante poder precisar de una manera clara el grado de preparación deseado para cada caso particular. Como norma, se han fijado cuatro *grados de herrumbre* en superficies de acero y, además, un número de *grados de preparación* correspondientes al tratamiento de superficies de acero con diverso estado de oxidación. Estos grados de herrumbre y de preparación son reproducidos por los grabados incluidos en la norma y de su observación se obtiene información clara y detallada. La edición 1967 de la norma SIS 05 59 00 se diferencia de la anterior en que se ha introducido un nuevo grado de preparación, el grado Sa 2 <sup>1</sup>/<sub>2</sub>. La experiencia ha demostrado que a menudo no es necesario quitar la capa de laminación, óxido, etc. de una manera tan minuciosa como lo determina el grado de preparación Sa 3. El grado de preparación Sa 2 <sup>1</sup>/<sub>2</sub> es en muchos casos suficiente y representa una gran economía en comparación con el grado Sa 3.

Se han eliminado en esta edición ilustraciones repetidas que figuraban en ediciones anteriores. Al quitar las ilustraciones repetidas y las ilustraciones B St 1, C St 1 y D St 1, que tenían una importancia práctica insignificante, se ha podido reducir el número de ilustraciones de 30 a 24, a pesar que se han agregado las ilustraciones del nuevo grado de preparación Sa 2 <sup>1</sup>/<sub>2</sub>.

El texto que describe las ilustraciones se ha corregido de acuerdo con la redistribución de los grabados. En algunos lugares se ha procedido también a corregir el texto para obtener mayor claridad.

Esta norma ha sido elaborada por el Instituto Sueco de Corrosión de acuerdo con la American Society for Testing and Materials (ASTM) y el Steel Structures Painting Council (SSPC) de los Estados Unidos de Norteamérica.

En la tabla siguiente se indica la relación entre esta norma y las especificaciones del SSPC referentes a la preparación de su-

de superficies para pintar.

---

SSPC-Vis 1	SIS 05 59 00
------------	--------------

---

SSPC-SP5	A Sa 3, B Sa 3, C Sa 3, D Sa 3
SSPC-SP10	A Sa 2 <sup>1/2</sup> , B Sa 2 <sup>1/2</sup> , C Sa 2 <sup>1/2</sup> , D Sa 2 <sup>1/2</sup>
SSPC-SP6	B Sa 2, C Sa 2, D Sa 2
SSPC-SP7	B Sa 1, C Sa 1, D Sa 1

---

### APLICACIONES

Esta norma comprende:

- superficies de acero laminadas en caliente con cuatro grados diferentes de herrumbre (A, B, C, D)
- las mismas superficies tratadas para dos grados diferentes de preparación (St 2 y St 3) mediante raspado y cepillado con cepillo de acero (cepillado a máquina, esmerilado a máquina, etc.)
- las mismas superficies tratadas para cuatro grados diferentes de preparación (Sa 1, Sa 2, Sa 2<sup>1/2</sup>, Sa 3), mediante chorreado con diferentes materiales abrasivos

Ejemplo: una superficie de acero originariamente del grado de herrumbre B que ha sido raspada o cepillada al grado de preparación 2 se designa B St 2; una superficie de acero originariamente del grado de herrumbre B que ha sido chorreada al grado de preparación Sa 2<sup>1/2</sup>, se designa B Sa 2<sup>1/2</sup>.

Las ilustraciones en color definen la norma. Dichas ilustraciones reproducen los grados de herrumbre y los grados de preparación estandarizados en tamaño natural.

Los grabados de herrumbre y los grados de preparación se reproducen en el orden que se indica en la figura 1.

### GRADOS DE HERRUMBRE

- A Superficie de acero con la capa de laminación intacta en toda la superficie y prácticamente sin corrosión
- B Superficie de acero con principio de corrosión y de la que la capa de laminación comienza a desprejarse

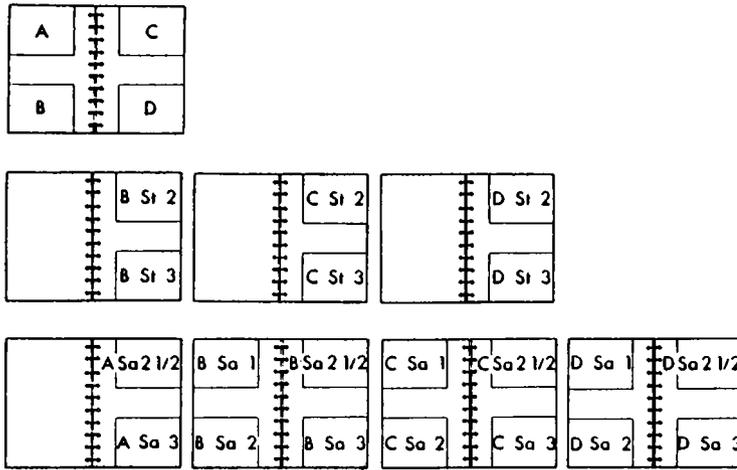


Figura 1.- Detalle del orden en que las distintas ilustraciones están incluidas en la Norma SIS 05 59 00 - 1967

- C Superficie de acero donde la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión o de la que la capa de laminación puede ser eliminada por raspado, pero en la cual no se han formado en gran escala cavidades visibles
- D Superficie de acero donde la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión y donde se han formado en gran escala cavidades visibles

#### GRADOS DE PREPARACION POR RASCADO Y CEPILLADO MANUAL CON CEPILLO DE ACERO

Las superficies de acero se limpiarán para quitar el aceite, grasa, etc. y las capas gruesas de óxido se sacarán con un cincel antes del tratamiento.

- St 2 Raspado, cepillado manual cepillo de acero, cepillado a máquina, esmerilado a máquina, etc., de una manera minuciosa. Mediante el tratamiento se quitarán las capas sueltas de laminación, el óxido y las partículas extrañas. Luego se limpiará la superficie con un aspirador de polvo, aire comprimido limpio y seco

o un cepillo limpio. Entonces deberá adquirir un suave brillo metálico. El aspecto deberá coincidir con las figuras con designación St 2.

- St 3 Raspado, cepillado manual con cepillo de acero, cepillado a máquina, esmerilado a máquina, etc., de una manera muy minuciosa. La superficie se tratará como en el grado St 2, pero de una manera mucho más minuciosa. Después de quitar el polvo la superficie deberá presentar un claro brillo metálico y su aspecto deberá coincidir con las figuras con la designación St 3.

#### GRADOS DE PREPARACION POR CHORREADO

Las superficies de acero se limpiarán para quitar el aceite, grasa, etc. y las capas gruesas de óxido se sacarán con un cincel antes del tratamiento.

- Sa 1 Chorreado ligero. Se quita la capa suelta de laminación, el óxido suelto y las partículas extrañas. El aspecto deberá coincidir con las figuras para Sa 1.
- Sa 2 Chorreado minucioso. Se quita casi toda la capa de laminación y de óxido y casi todas las partículas extrañas. La superficie se limpiará luego con un aspirador de polvo, aire comprimido limpio y seco o cepillo limpio. Deberá adquirir entonces un color grisáceo y su aspecto deberá coincidir con las figuras con la designación Sa 2.
- Sa 2<sup>1/2</sup> Chorreado muy minucioso. Las capas de laminación, óxido y partículas extrañas se quitan de una manera tan perfecta que los restos sólo aparezcan como ligeras marcas o rayas. La superficie se limpiará luego con aspirador de polvo, aire comprimido limpio y seco o cepillo limpio. Su aspecto deberá entonces coincidir con las figuras con la designación Sa 2<sup>1/2</sup>.
- Sa 3 Chorreado a "metal blanco". Toda la capa de laminación, todo el óxido y todas las partículas extrañas se quitan. La superficie se limpiará luego con aspirador de polvo, aire comprimido limpio y seco o cepillo limpio. Entonces deberá adquirir un color metálico uniforme y coincidir con las figuras con la designación Sa 3.

Nota.- Norma bajo "Copyright" de la Sveriges Standardiseringskommission, Box 3295, S 103-66 Stockholm 3, Sweden.

---

SHIPBUILDING RESEARCH ASSOCIATION, JAPON  
NORMA PARA LA PREPARACION DE SUPERFICIES DE  
ACERO PREVIO AL PINTADO - 1975

---

*PREFACIO*

La vida efectiva de una capa de pintura anticorrosiva aplicada a una superficie de acero depende grandemente de cómo dicha superficie ha sido preparada previo al pintado, además del espesor total de película aplicado.

La preparación de la superficie consiste en un tratamiento primario que remueve la escama de laminación, el óxido y las materias extrañas de la superficie del acero previo a la aplicación de un shop-primer y una preparación secundaria con el objeto de eliminar óxido y materias extrañas de una superficie de acero cubierta con un shop-primer previo a la aplicación de la capa anticorrosiva.

Como normas relativas a la superficie primaria se emplean usualmente la SIS 05 59 00 1967, SSPC Vis 1, etc.

Es también importante establecer una estandarización sistemática de la preparación de superficies secundaria previo al pintado protector, en una época en que el pintado con shop-primers es tan ampliamente aplicado en el proceso de construcción de cascos. Esta norma ha sido preparada por la 139 Sección de investigación de la "Shipbuilding Research Association" de Japón.

*ALCANCE*

Como preparación de superficie primaria esta norma hace referencia a:

- superficies laminadas en caliente, con dos grados de oxidación (JA, JB)
- las mismas superficies preparadas con tres grados de calidad (Sh 1, Sh 2, Sh 3) por chorreado con granallas de acero
- las mismas superficies preparadas con tres grados de calidad (Sd 1, Sd 2, Sd 3) por arenado
- las mismas superficies con dos grados de oxidación diferentes (Sh 0, Sd 0), previo al granallado o arenado

Como preparación secundaria de superficie esta norma se refiere a:

- Superficies de acero cubiertas con shop-primers (W, wash-primer; Z, primer de cinc orgánico; I, primer de cinc inorgánico) después de la preparación primaria de superficie, en cinco grados diferentes de daño/oxidación (H0, A0, F0, D0, R0) debido a soldadura, quemado, envejecimiento, etc.
- Las mismas superficies preparadas con tres grados de calidad superficial (Ss, Sd2, Sd3), por arenado.
- Las mismas superficies preparadas con tres grados de calidad superficial (Pt 1, Pt 2, Pt 3) mediante herramientas.

Como métodos para el tratamiento de superficie secundario esta norma se refiere a:

- Limpieza por arenado, para grados de preparación Sd2, Sd3.
- Limpieza por arenado rápido para grado de preparación Ss.
- Limpieza por disco abrasivo rotatorio para grados de preparación FPt 1, FPt 2, FPt 3, DPt 3.
- Limpieza por cepillado/disco abrasivo rotatorio para grados de preparación HPt 2, HPt 3, APt 3.
- Limpieza por cepillado para otros grados de preparación por herramientas mecánicas.

La estandarización del óxido y de los grados de preparación se definen mediante fotografías en colores de acuerdo con las denominaciones que se indican en la tabla 1.

#### CONDICIONES DE LA SUPERFICIE METALICA PREVIO A LA PREPARACION DE SUPERFICIES

- JA Superficie de acero recubierta con escama de laminación (raramente con pequeño oxidado).
- JB Superficie de acero JA expuesta a la intemperie durante un mes y medio; la superficie está recubierta con herrumbre, pero permanece la escama de laminación, sin "pitting" debajo de la herrumbre.

#### GRADOS DE PREPARACION PRIMARIA DE SUPERFICIE

- Sh0 Superficie previo a la limpieza por chorreado
- Sh1 Superficie preparada por ligero chorreado; escamas flojas, óxido y materias extrañas completamente removidos.
- Sh2 Superficie preparada por completa limpieza por granalla-

Tabla 1

1. Condiciones superficiales previo a la preparación de la superficie:

JA JB

2. Grados de preparación primaria de superficie:

JASh0	JASh1	JASh2	JASh3
JBSH0	JBSH1	JBSH2	JBSH3
JASd0	JASd1	JASd2	JASd3
JBSd0	JBSd1	JBSd2	JBSd3

3. Condiciones de superficies de acero cubiertas con shop-primers:

W0 Z0 I0

4. Grados de preparación secundaria de superficies:

W0	WHO	WHPt1	WHPt2	WHPt3	WHSd2
W0	WAO	WAPt1	WAPt2	WaPt3	WaSd2
W0	WFO	WFPt1	WFPt2	WFPt3	WFSd2
W0	WRO	WRPt1	WRPt2	WRSs	
Z0	ZHO	ZHPt1	ZHPt2	ZHPt3	ZHSd2
Z0	ZAO	ZAPt1	ZaPt2	ZaPt3	ZASd2
Z0	ZFO	ZFPt1	ZFPt2	ZFPt3	ZFSd2
Z0	ZDO	ZDPt1	ZDPt2	ZDSs	
Z0	ZRO	ZRPt1	ZRPt2	ZRSs	
I0	IHO			IHPt3	IHSd3
I0	IAO			IAPt3	IASd3
I0	IFO			IFPt3	IFSd3
I0	IDO		IDPt3	IDSs	IDSd3
I0	IRO			IRSs	

JA Acero cubierto con escama de laminación

JB Acero JA expuesto a la intemperie un mes y medio

Sh Chorreado con granallas

Sd Chorreado con arena

W Wash-primer

Z "Primer" rico en cinc (zinc rich primer), orgánico

I "Primer" rico en cinc (zinc rich primer), inorgánico

H Superficie con shop-primer, soldado a mano

A Superficie con shop-primer, soldado automático

F Superficie con shop-primer, quemado a soplete

D Superficie con shop-primer con sales blancas de cinc

R Superficie con shop-primer y con puntos de óxido

Pt Limpieza mediante herramientas

Ss Limpieza mediante suave chorreado con arena

0 Sin preparación de superficie

1 Bajo grado de preparación de superficie

2 Mediano grado de preparación de superficie

3 Alto grado de preparación de superficie

do; la mayor parte de la escama de laminación, óxido y materias extrañas son casi completamente removidos.

Sh3 Superficie preparada por completa limpieza por granallado; la escama de laminación, el óxido y las materias extrañas son removidos de manera tal que la superficie tiene aspecto metálico uniforme.

Sd0 Superficie previo al chorreado con arena o granallas.

Sd1 Superficie preparada por ligero chorreado con arena o granallas; la escama de laminación floja, óxido y materias extrañas son casi completamente removidos.

Sd2 Superficie preparada por cuidadoso chorreado con arena o granallas; la mayor parte de la escama de laminación, óxido y materias extrañas son removidos.

Sd3 Superficie preparada por muy cuidadoso chorreado con arena o granallas; escama de laminación, óxido y materias extrañas son removidos de manera que la superficie tiene aspecto metálico uniforme.

#### ESTADO DE LA SUPERFICIE METALICA CUBIERTA SON SHOP-PRIMER

W0 Superficie cubierta con shop-primer W (JASH 2).

Z0 Superficie cubierta con shop-primer Z (JASH 2).

I0 Superficie cubierta con shop-primer I (JASH 2).

#### ESTADO DE LA SUPERFICIE METALICA PREVIO A LA PREPARACION SECUNDARIA

H0 Superficie de acero cubierta con shop-primer (W, Z, I) que ha sido expuesta a la intemperie alrededor de un mes y medio después de soldadura manual.

A0 Superficie de acero cubierta con shop-primer (W, Z, I) que ha sido expuesta a la intemperie alrededor de un mes y medio después de soldadura automática.

F0 Superficie de acero cubierta con shop-primer (W, Z, I) que ha sido expuesta a la intemperie después de haber sido quemada por llama de soplete y enfriada con agua para remover tensiones existentes en el acero.

D0 Superficie de acero cubierta con shop-primer (Z, I) en la cual se ha generado una sal de cinc de color blanco.

R0 Superficie de acero cubierta con shop-primer (W, Z, I) en la cual se observan pocos puntos de oxidación como consecuencia de la exposición a la intemperie.

## GRADOS DE PREPARACION SECUNDARIA DE SUPERFICIES

- Pt1 Superficie preparada por limpieza con cepillo de acero para las condiciones superficiales (H, A, D, R) y por disco abrasivo para la condición superficial (F). El óxido flojo y las materias extrañas son completamente removidos.
- Pt2 Superficie preparada por limpieza con cepillo de acero para las condiciones superficiales (A, D, R), por limpieza con cepillo de acero y disco abrasivo para la condición (H) y por limpieza con disco abrasivo para la condición (F). La mayor parte del óxido y de las materias extrañas son removidos.
- Pt3 Superficie preparada por limpieza con cepillo de acero y disco abrasivo para las condiciones superficiales (H, A) y por disco abrasivo para la condición (F). El óxido y las materias extrañas son removidos de manera tal que la superficie tiene un aspecto metálico uniforme.
- Ss Superficie preparada por suave chorreado con arena o granallas (se advierten en la misma trazas de shop-primer y óxido).
- Sd2 La misma superficie que para el grado (Sd2) de preparación primaria.
- Sd3 La misma superficie que para el grado (Sd3) de preparación primaria.

Nota.- Norma bajo "Copyright" de la Shipbuilding Research Association of Japan; comercializada por Reimeisha Co., Ltd., n.º 25, 1-Chome, Kanda Nishiki-cho, Chiyodaky, Tokyo, Japan.





*Figura 2.- Superficie de acero con la escama de laminación intacta, prácticamente sin corrosión (tipo A, Norma SIS 05 59 00 - 1967)*



*Figura 3.- Superficie de acero en la que la escama de laminación ha comenzado a desprenderse, con principio de ataque (tipo B, Norma SIS 05 59 00 - 1967)*





*Figura 3.- Superficie de acero en la que la escama de laminación se ha eliminado por corrosión (tipo C, Norma SIS 05 59 00 - 1967)*



*Figura 4.- Superficie de acero luego de la eliminación de la escama de laminación; proceso de corrosión avanzado, con picado (tipo D, norma SIS 05 59 00 - 1967)*



Este tomo se terminó de imprimir  
en la Empresa Copias 55, La Plata,  
el 15 de diciembre de 1981.