

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Acabados Superficiales

Autor: Santiago Poveda Martínez

ACABADOS SUPERFICIALES

AUTOR: Santiago Poveda

Junio 2001

1- ACABADOS SUPERFICIALES

Las superficies de las piezas al definir la separación del cuerpo del medio exterior o ser la parte por la que se unen a otras requieren un estudio cuidadoso ya que de su estado puede depender tanto el funcionamiento, como el rendimiento de una máquina o mecanismo, la duración, e incluso sus posibilidades de venta, al presentar un aspecto mas o menos atractivo.

Como consecuencia de lo anterior es necesario establecer en los planos de proyecto y fabricación los requerimientos tecnológicos a aplicar sobre las superficies para hacer que el producto que se está diseñando o construyendo responda a las condiciones de funcionamiento y duración esperadas, todo ello dentro de un precio competitivo.

Representando el acabado superficial una parte importante del costo de producción de una pieza, la elección de los procedimientos adecuados para la satisfacción de los requerimientos funcionales adquiere una gran importancia y se hace necesario para el proyectista tener conocimiento de los sistemas de acabados y de los métodos empleados, para satisfacer cada una de las necesidades a cubrir.

Los objetivos funcionales a cumplir por una superficie se pueden clasificar en:

Protectores

- Resistencia a la oxidación y corrosión
- Resistencia a la absorción

Decorativos

- Mejora del aspecto

Tecnológicos

- Disminución o aumento del rozamiento
- Resistencia al desgaste, con los consiguientes beneficios de:
 - Mantenimiento de juegos
 - Facilidad de intercambiabilidad
- Resistencia a la fatiga
- Reflectividad
- Prevención de gripado
- Mejorar la soldabilidad
- Conductividad o aislamiento eléctrico

Para dar satisfacción a estos aspectos funcionales se actúa bajo el punto de vista de la superficie en dos sentidos, definiendo: a) el acabado (rugosidad superficial); b) los tratamientos y recubrimientos a aplicar sobre ellas, siendo por tanto la secuencia de trabajo, la realización de:

- 1- Producción de la superficie
- 2- Limpieza y preparación
- 3- Recubrimientos

NOTA: No se contemplan aquí los tratamientos térmicos de endurecimiento superficial por considerarse dentro de los métodos de producción de la misma.

1.1- Métodos de producción de superficies

La creación de las superficies en las piezas se consigue utilizando distintos medios de producción entre los que distinguimos:

- Moldeo
- Forja
- Estampación
- Laminado
- Extruido
- Máquinas herramientas de arranque de viruta
- Máquinas herramientas sin arranque de virutas
- Máquinas herramientas que utilizan abrasivos
- Bruñido
- Chorro de arena (1)
- Barrilado (1)
- Chorro de perdigones (Shot Peening) (2)
- Procedimientos manuales

Notas:

- (1) Procedimientos utilizados tanto para eliminación de asperezas como para limpieza y decapado.
- (2) Procedimiento para aumentar dureza superficial, mejorar la resistencia a la fatiga y la adherencia del cromado en recubrimientos electrolíticos, realizado al proyectar un chorro de perdigones metálicos contra la superficie de la pieza, mediante una corriente de aire con velocidad, intensidad y tamaño de perdigón controlados.

1.2- Recubrimientos

Los recubrimientos a dar sobre las distintas piezas atendiendo al tipo y sistema se obtención empleado, los podemos clasificar en:

Inorgánicos

Inmersión y reacción química (recubrimientos de conversión)

Electrolítico

Procesos de deposición no electrolíticos:

- Inmersión en metal fundido
- Metalizado por proyección
- Electroless
- Plaqueado
- Procesos de deposición por vapores metálicos

Orgánicos

- Pulverizado: aerográfico, airless, airmix, electroestático
- Inmersión
- Rodillos automáticos
- Cortina de pintura
- Pintado en tambor
- Electropintado (electroforesis)
- Cataforesis

Para satisfacción de los objetivos funcionales los procedimientos habitualmente utilizados son:

Protección

- Pinturas protectoras
- Deposición de metales
- Recubrimientos de conversión

Decoración

- Pinturas
- Recubrimientos cromo, níquel
- Recubrimientos joyería

Tecnológico

- Recubrimientos electrolíticos
- Metalizados
- Deposición alto vacío
- Tratamientos mecánicos

2- RUGOSIDAD SUPERFICIAL

Las superficies de las piezas en los dibujos se representan con líneas uniformes, sin embargo como consecuencia de los defectos originados por los procesos de fabricación con máquinas herramientas con o sin arranque de viruta, distan de esa uniformidad presentando irregularidades que será necesario estudiar y controlar para que la pieza cumpla con la función para la que se crea.

Para estudiar estos defectos, tomamos en una pieza producida con arranque de viruta, una porción de la sección producida en la superficie por un plano perpendicular a ella, representada en la parte "a" de la figura 1, en su forma teórica tal y como se define en los planos.

Realizando la representación gráfica con ampliación en escalas vertical y horizontal distintas, mediante un instrumento capaz de detectar las irregularidades de la superficie en toda su longitud, podremos observar que la superficie ya no es uniforme y dependiendo de la escala de ampliación utilizada (representadas en la misma figura), se pueden hacer las siguientes consideraciones:

En el caso "a", coincidente con la representación teórica, se considera la superficie absolutamente suave y plana. Un cristal óptico nos acerca a esta idea de planitud y suavidad.

Supongamos ahora que la superficie comienza a curvarse ligeramente caso "b", adquiriendo una flecha de $2,5 \mu\text{m}$. Si la superficie es suficientemente larga, como en este caso unos 150 mm., el ojo humano no apreciará nada extraño o defectuoso.

Pensemos ahora que ahora la superficie en vez de curvarse empieza a ondularse, casos "c" al "f", con una longitud de onda cada vez mas pequeña, pero siempre de la misma altura.

En el caso "c" la apreciación del ojo será todavía la de una superficie aceptable, pero a medida que disminuye la longitud de onda, llegarán a apreciarse unas marcas o líneas transversales. Esta sensación dependerá en magnitud del ángulo θ de incidencia. A partir de este instante la superficie comenzara a apreciarse como rugosa.

Podemos decir que en el caso "c" la superficie es suave pero no plana y que en el caso "f" la superficie es plana, pero no suave. Los casos "d" y "e" serán posiciones intermedias.

Vemos pues, que los diferentes cambios producidos han sido ocasionados exclusivamente por un cambio en la longitud de onda, es éste por tanto un concepto importante en la valoración de una superficie.

Refiriéndonos a la misma figura los casos "b" "e" y "d" se consideran como errores de forma, el caso "e" como una superficie con ondulaciones y el caso "f" como una superficie rugosa o con cierto grado de rugosidad.

Las ondulaciones son llamadas "estructura secundaria" y la rugosidad "estructura primaria". También se conoce a las primeras como diferencias de forma de 2º orden y a la rugosidad, como diferencias de forma de 3º a 5º orden, siendo necesario aclarar que el establecer una separación rigurosa entre ondulación y rugosidad es prácticamente imposible.

Un criterio admitido es el de considerar rugosidad cuando la separación entre estrías está entre 4 y 50 veces el valor de la altura máxima de las mismas y ondulación cuando la longitud de onda es 100 a 1000 veces su altura, siendo necesario que para la consideración de ésta en la longitud de exploración existan como mínimo dos, tomándose en caso contrario el defecto como error de forma. Usualmente en las piezas se presentará una composición de diferentes longitudes de

onda, casos "g" y "h", siendo el "g" una composición del "c" y "d" mientras que el "h" lo es del "c", "d" y "e". Pudiéndose decir por tanto que el aspecto final de una superficie es consecuencia de la suma de diferencias de forma de distintas longitudes de onda y amplitudes.

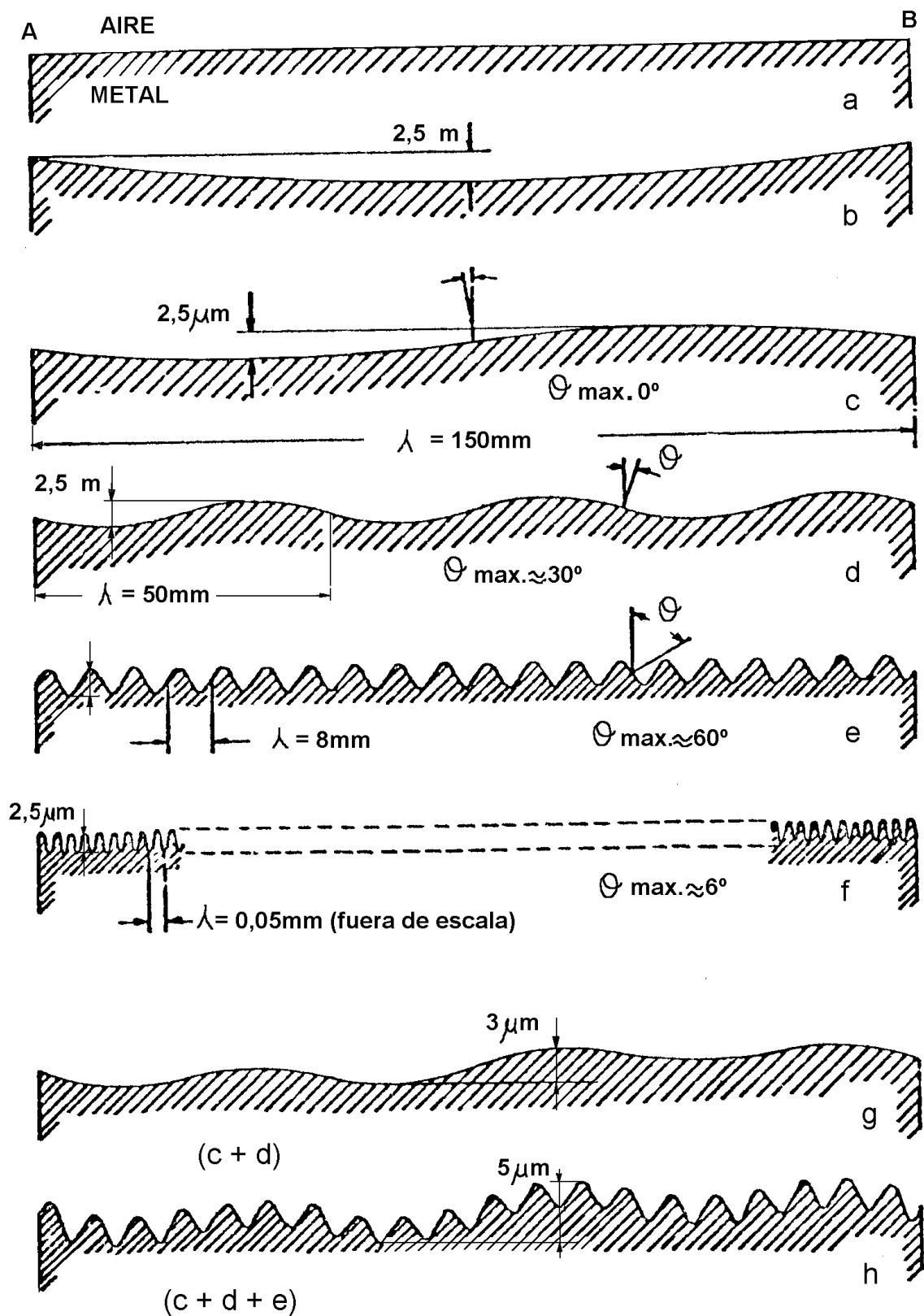


Figura 1

El origen de los distintos defectos puede establecerse de la siguiente forma:

a). Geométricos; consecuencia de las deformaciones de las bancadas de las máquinas o juegos de las mismas. Su naturaleza hace que solo pueda actuarse para evitarlos cambiando la máquina.

b) Ondulaciones; consecuencia de vibraciones producidas por desequilibrios, flexiones de las herramientas, falta de homogeneidad del material, máquinas o paso de vehículos próximos, etc. La actuación sobre estos factores es difícil de forma directa, aunque en alguno, como por ejemplo las flexiones, pueden disminuirse reduciendo el voladizo de las herramientas o la distancia entre apoyos de las piezas.

c) Rugosidad; consecuencia de la fragmentación del material por la acción de las herramientas de corte. Su magnitud se puede controlar actuando sobre la geometría de la propia herramienta, el avance, profundidad y velocidad de corte y naturalmente sobre el propio material.

Los sistemas de indicación de los requerimientos de estados superficiales han sido varios, remontándonos a especificaciones antiguas y que todavía pueden verse en muchos planos en producción, se utilizaban las designaciones de las superficies con uno, dos, tres o cuatro triángulos, con el siguiente significado:

Un triángulo; las huellas de mecanizado son apreciables al tacto y a simple vista.

Dos triángulos; las huellas de mecanizado son difícilmente apreciables al tacto y se siguen apreciando a la simple vista.

Tres triángulos; las huellas de mecanizado no son apreciables al tacto y difícilmente a simple vista.

Cuatro triángulos; las huellas de mecanizado no son apreciables al tacto ni a simple vista.

Como puede deducirse de estas definiciones, la apreciación del estado superficial es totalmente subjetivo porque dependerá de las condiciones físicas del observador y por tanto solo se puede considerar como un procedimiento meramente de orientación.

Para establecer un lenguaje común para especificar en los documentos técnicos, la norma UNE 82-315-86 (ISO 4287/1-1984) define los términos de rugosidad superficial. La norma UNE 82-301-86 (ISO 468-1982), establece los parámetros, tipos de dirección de las irregularidades superficiales y las reglas generales para la determinación de la rugosidad, aplicables a aquellos materiales y métodos que puedan asegurar los límites establecidos en esta norma. La norma UNE 1-037-83 (ISO 1302) especifica los símbolos e indicaciones complementarias de los estados superficiales a utilizar en los dibujos técnicos. Un resumen de las partes más significativas y conceptos descritos en las mismas se presenta a continuación.

Superficie real: superficie que limita el cuerpo y lo separa del medio que lo rodea (figura 2)

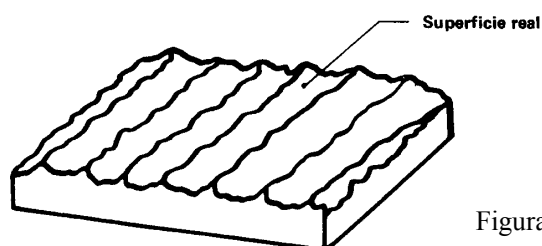


Figura 2

Superficie geométrica: Superficie ideal cuya forma nominal está definida por el dibujo

Imagen de contorno de una superficie: Conjunto de líneas de intersección de una superficie real por una serie de secciones equidistantes (figura 3)

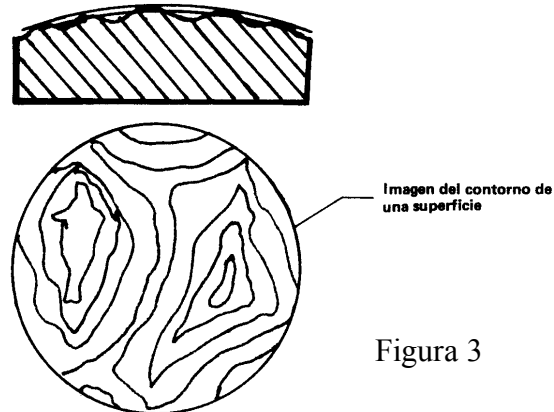


Figura 3

Perfil transversal: perfil resultante de la intersección de una superficie con el plano normal perpendicular a la dirección de las irregularidades (figura 4)

Línea de referencia: Línea con relación a la cual se determinan los parámetros de medida

Longitud básica, l : Longitud de la línea de referencia utilizada para separar las irregularidades que forman la rugosidad superficial.

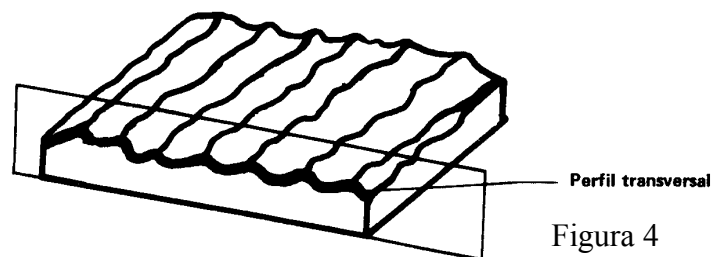


Figura 4

Longitud de evaluación l_n : longitud utilizada para determinar los valores de los parámetros de rugosidad superficial. Puede comprender una o más longitudes básicas.

Desviación (diferencial del perfil, y): distancia entre el punto del perfil y la línea de referencia siguiendo la dirección de la medida.

Línea media de los mínimos cuadrados o simplemente línea media m : línea de referencia cuya forma es la del perfil geométrico y que divide al perfil de forma que dentro de la longitud básica, la suma de los cuadrados de las desviaciones (diferencias) a partir de esta línea es mínima (figura 5)

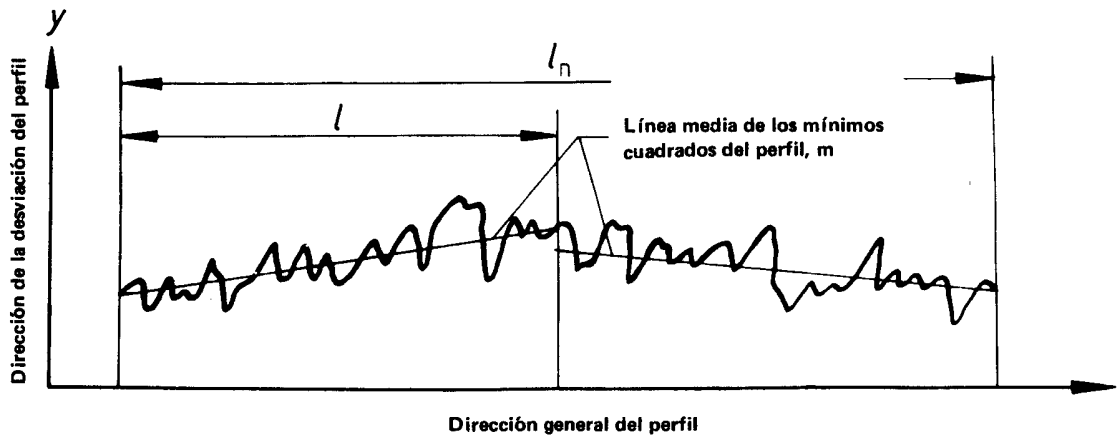
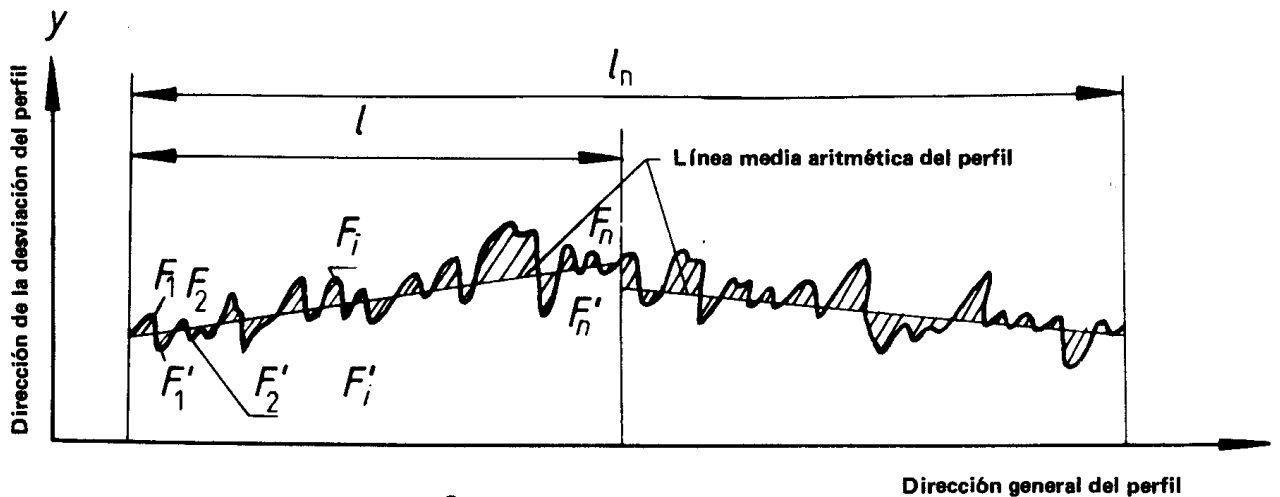


Figura 5

Línea media aritmética del perfil o simplemente línea central: Línea de referencia que tiene la forma del perfil geométrico paralela a la dirección general del perfil dentro de la longitud básica y que divide al perfil de tal forma que la suma de las áreas comprendidas entre ella y el perfil es igual (figura 6). Se utiliza para la determinación gráfica de la línea media de mínimos cuadrados, cuando el perfil tiene una periodicidad perceptible es única.



$$\sum_{i=1}^n F_i = \sum_{i=1}^n F'_i$$

Figura 6

Sistema de la línea media: Sistema de cálculo utilizado para evaluar los parámetros de rugosidad superficial cuando una línea media definida se toma como línea de referencia.

Irregularidad del perfil: Cresta del perfil y valle adyacente, entendiéndose como cresta la parte de perfil dirigida hacia el exterior y que une dos intersecciones consecutivas de éste con la línea media y valle lo mismo hacia el interior.

Rugosidad superficial: Conjunto de las irregularidades superficiales de paso relativamente pequeño, correspondiente a las huellas dejadas en la superficie real por el procedimiento de elaboración u otras influencias.

Parámetros de rugosidad

Como parámetros mas significativos en la valoración de la rugosidad se consideran:

Altura máxima del perfil, R_y : Distancia entre el pico de cresta mas alto y el fondo del valle mas profundo dentro de la longitud básica.

Altura de las irregularidades en diez puntos, R_z : Media de los valores absolutos de las alturas de las cinco crestas y_p mas altas y los cinco valles mas profundos y_v dentro de la longitud básica.

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5}$$

Valor de rugosidad R_a media aritmética del perfil: Media aritmética de los valores absolutos de las desviaciones del perfil, en los limites de la longitud básica l . Es el parámetro mas común en la medida de la rugosidad (figura 7)

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

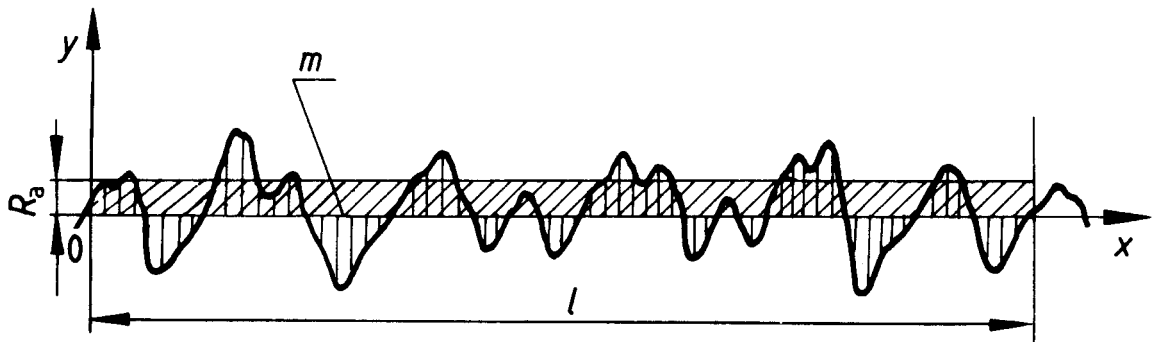


Figura 7

Desviación media cuadrática del perfil R_q : Valor medio cuadrático de las desviaciones del perfil, en los límites de la longitud básica, (valor utilizado con preferencia en normas americanas).

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx}$$

Longitud portante del perfil η_p : Suma de las longitudes de segmentos obtenidos cortando las crestas por una línea paralela a la línea media, dentro de la longitud básica y a un nivel de corte dado (figura 8).

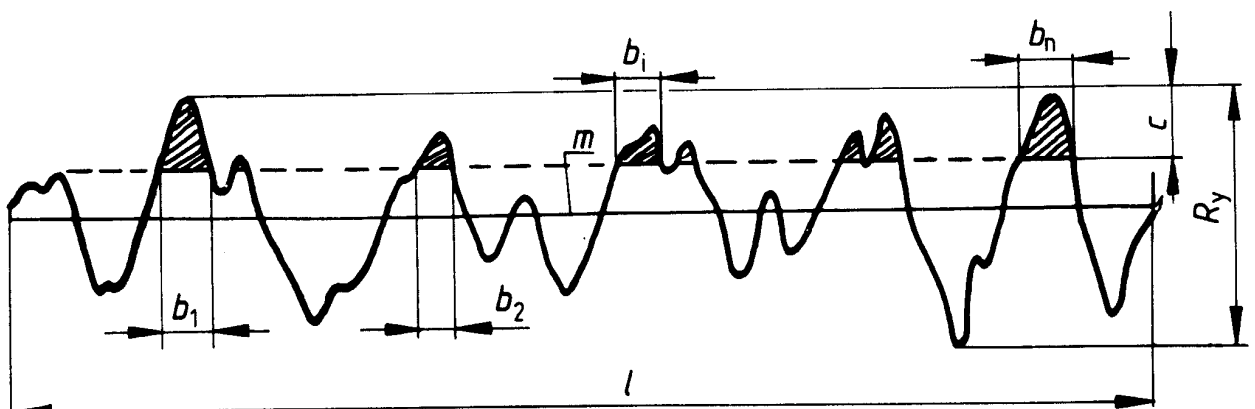


Figura 8

Tasa de longitud portante del perfil t_p : Relación entre la longitud portante y la longitud básica

$$t_p = \frac{\eta_p}{l}$$

Curva de la tasa de la longitud portante: gráfico que representa la relación entre los valores de la tasa de longitud portante del perfil y el nivel de corte del perfil (figura 9)

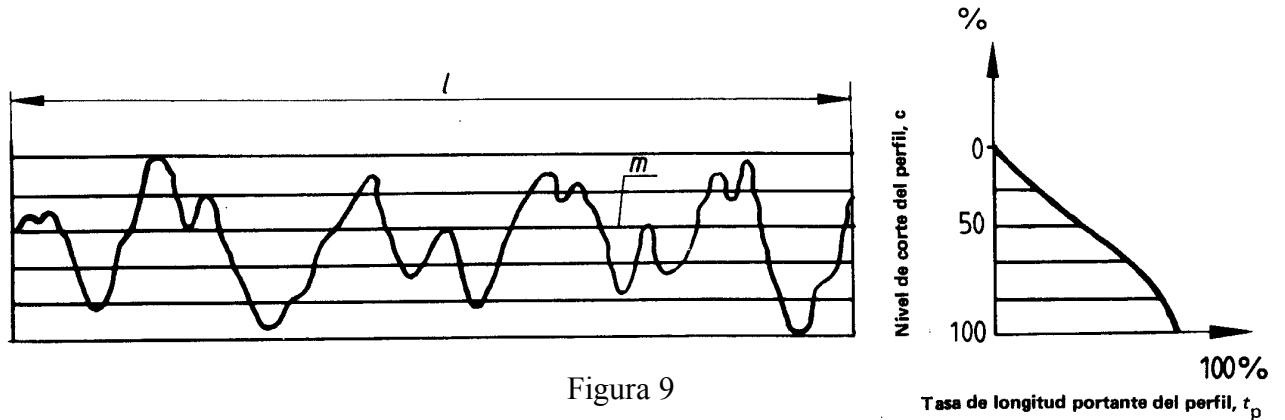


Figura 9

Conviene recalcar aquí la importancia de la correcta realización de las medidas ya que como puede apreciarse en la figura 10 la longitud de onda, depende de la dirección en que se realicen las medidas siendo la establecida por las normas las tomadas perpendiculares a la dirección general de las estrías en la figura, las secciones corresponden a la dirección de la sección.

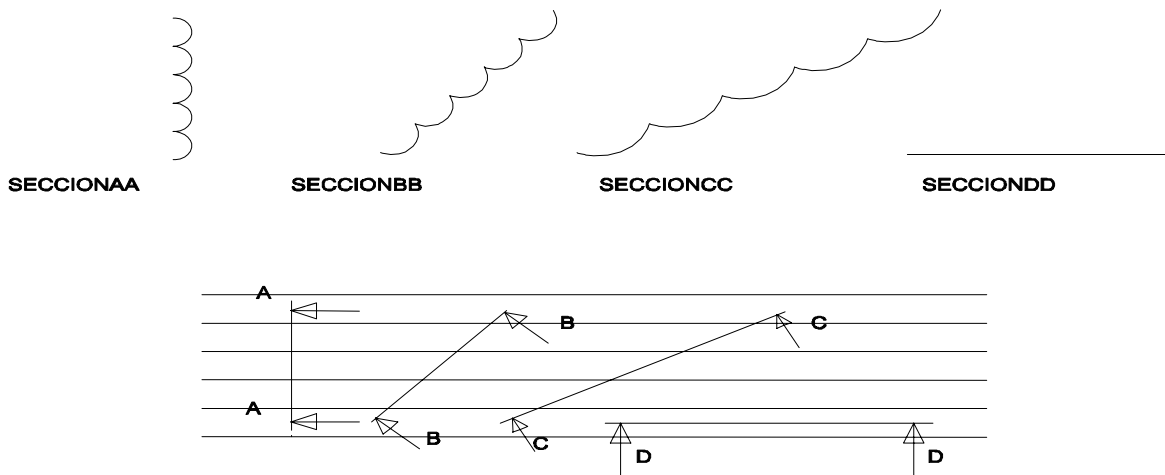


Figura 10

INDICACIONES EN LOS DIBUJOS DE LOS ESTADOS SUPERFICIALES

Las indicaciones sobre los dibujos de los estados superficiales se realizan los símbolos e inscripciones indicados a continuación y según proceda

Símbolos sin indicaciones

Símbolo	Significado
	Símbolo básico. Solamente puede utilizarse cuando su significado se exprese mediante una nota
	Superficie mecanizada con arranque de viruta
	Superficie que no debe someterse al arranque de viruta. También puede utilizarse en dibujos de fase de mecanizado para indicar que la superficie debe de quedar tal como ha sido obtenida, con o sin arranque de viruta, en la fase anterior de fabricación

Símbolos con indicación del criterio principal de rugosidad Ra

Símbolo			Significado
Con arranque de viruta			
facultativo	obligatorio	prohibido	
			Superficie con rugosidad Ra de valor máximo de 3,2 micras
			Superficie con rugosidad Ra de un valor máximo de 6,3 micras y mínima de 1,6

Símbolos con indicaciones complementarias

Símbolo	Significado
	Proceso de fabricación: fresado
	Longitud básica: 2,5
	Dirección de las estrías: perpendiculares al plano de proyección de la vista
	Sobremedida de mecanizado: 2 mm
	Indicación (entre paréntesis) de un criterio de rugosidad diferente al Ra por ejemplo Rt 0 0,4 mm

Los valores de rugosidad Ra pueden indicarse bien por su valor normalizado o por su número de clase indicados en la tabla 1.

Tabla 1

Valor de rugosidad Ra en μm	Clase de rugosidad
50	N12
25	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1

La dirección de las estrías se indica con los símbolos indicados en la tabla 2

Tabla 2

Símbolo	Interpretación	
=	Paralelas al plano de proyección de la vista sobre la cual se aplica el símbolo	
⊥	Perpendiculares al plano de proyección de la vista sobre la cual se aplica el símbolo	
X	Cruzadas en dos direcciones oblicuas con respecto al plano de proyección de la vista sobre la que se aplica el símbolo	
M	Multidireccional	
C	Aproximadamente circular con relación al centro de la superficie a la cual se aplica el símbolo	
R	Aproximadamente radial con respecto al centro de la superficie sobre la cual se aplica el símbolo	

La disposición de los símbolos e inscripciones deben de orientarse de manera que puedan leerse desde la parte inferior del dibujo o desde el lado derecho (figura 11), si esto no es posible y siempre que solo se exprese el valor de rugosidad Ra los símbolos pueden orientarse en cualquier dirección manteniéndose lo anterior para la lectura del valor de rugosidad.

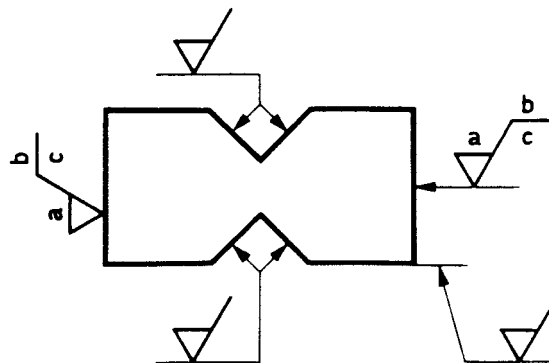


Figura 11

Los símbolos o las flechas deben de indicarse en la parte exterior de la pieza que representa la superficie o sobre una línea prolongación de la misma y una sola vez, preferentemente sobre la vista que define la medida de dicha superficie.

Cuando se exija para todas las superficies de la pieza el mismo estado de superficie, basta con la colocación del símbolo en las proximidades de la pieza, del cuadro de rotulación o en el espacio previsto para notas generales (figura 12)

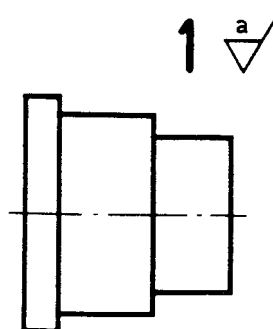


Figura 12

Cuando la mayoría de las superficies requieren el mismo estado de superficie (figura 13), el símbolo correspondiente a ese estado debe de ir seguido de:

La frase “salvo indicación particular”

El símbolo básico entre paréntesis sin ninguna otra indicación

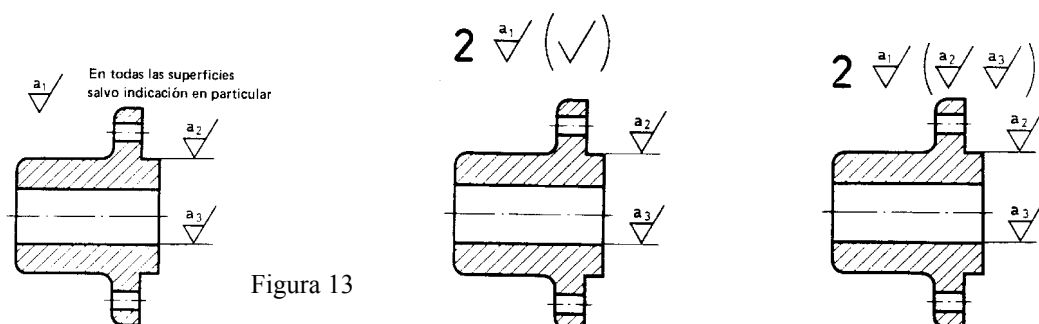


Figura 13

El símbolo básico entre paréntesis del estado o los estados de superficie particulares.

Las indicaciones relativas a tratamientos o recubrimientos se realizan como se indica en la figura 14

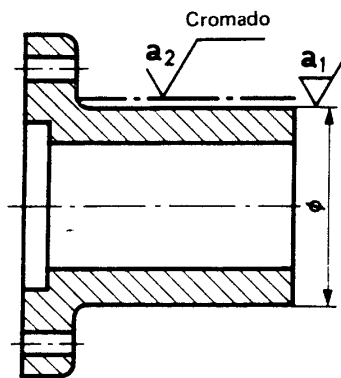


Figura 14

Un aspecto importante a tener en cuenta al especificar valores de rugosidad es la relación entre ésta y las tolerancias de fabricación ya que una superficie rugosa en piezas sometidas a deslizamiento, presentará rápidamente un desgaste consecuencia de la destrucción de los picos, perdiéndose por tanto la medida exterior y en consecuencia la tolerancia de funcionamiento, efecto que tardará mas en presentarse cuando esa superficie sea lisa y uniforme, en la tabla 3 se especifican como orientación los valores de rugosidad para distintas calidades de tolerancia de fabricación.

Tabla 3

¡Error! Marcador no definido. Superficies		Tolerancia ISO									
		IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	
		Rugosidad Ra									
Superficies cilíndricas con diámetro	> 3	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	
	>3 a 10	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	
	>18 a 80	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	
	>80 a 250	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	
	>250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	
Superficies planas		1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	

En las tablas 4 y 4a, se indican los valores de rugosidad que se pueden obtener con las distintas máquinas herramientas, en la 4 se dan ejemplos de valores de rugosidad para aplicaciones usuales y coste relativo.

TABLA 4

SUPERFICIE OBTENIDA CON ARRANQUE DE VIRUTA

RUGOSIDAD Ra μ	SUPERFICIE OBTENIDA CON ARRANQUE DE VIRUTA																												
	Lapeado	Superacabado	Bruñido con piedra			Pulido	Mandrinado		Rectificado			Torneado			Escariado	Fresado		Tallado		Acabado			Brochado	Taladrado	Mortajado	Refrentado	Limadora	Cepillado	Aserrado desbastado
			Interior	Cilíndrico	Plano		Diamante	Común	Diamante	Cilíndrico normal	Plano	Diamante	Fino	Basto		Metal duro	Común	Fresa módulo	Fresa madre	Lapeado	Amolado	Bruñido							
0.025																													
0.032																													
0.040																													
0.05																													
0.063																													
0.080																													
0.10																													
0.125																													
0.16																													
0.20																													
0.25																													
0.32																													
0.4																													
0.5																													
0.63																													
0.8																													
1.0																													
1.25																													
1.6																													
2																													
2.5																													
3.2																													
4																													
5																													
6.3																													
8																													
10																													
12.5																													
16																													
20																													
25																													
32																													
40																													
50																													
63																													
80																													
100																													



 Valores mas frecuentes
 Valores menos frecuentes

TABLA 4 a

RUGOSIDAD Ra μ	SUPERFICIE OBTENIDA SIN ARRANQUE DE VIRUTA														
	Bruñido con rodillos	Laminado			Trefilado en frío	Acuñado	Extruido	Estampado	Forjado	Fundición					Chorro de arena
		Roscas	Frío	Caliente						Microfundición	Presión	Coquilla	Cascara	Arena	
0.025															
0.032															
0.040															
0.05															
0.063															
0.080															
0.10	█	█													
0.125	█	█													
0.16	█	█					█								
0.20	█	█					█			█	█				
0.25	█	█					█			█	█				
0.32	█	█			█		█			█	█				
0.4	█	█	█		█		█			█	█				
0.5	█	█	█		█	█	█			█	█	█			
0.63	█	█	█		█	█	█			█	█	█			
0.8	█	█	█		█	█	█			█	█	█			
1.0	█	█	█		█	█	█			█	█	█			
1.25	█	█	█		█	█	█			█	█	█			
1.6	█	█	█		█	█	█			█	█	█			
2	█	█	█		█	█	█			█	█	█			
2.5	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█		
3.2	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█		
4	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█	█	
5	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█	█	
6.3	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█	█	
8	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█	█	
10	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█	█	
12.5	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█	█	
16	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█	█	
20	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█	█	
25	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█	█	
32	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█	█	
40	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█	█	
50	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█	█	
63	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█	█	
80	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█	█	
100	█	█	█		█	█	█			█	█	█	█	█	

TABLA 4

Ra μ	Coste relativo	Aplicación	Ra μ	Coste relativo	Aplicación
0,008 0,010 0,012	100	Calibres de gran precisión Bloques patrones	0,50		Aros para émbolos, cara superior y diámetro exterior Ajustes fijos prensados Cojinetes de metal anti fricción de calidad común Cojinetes lisos Ejes para cojinetes lisos Guías deslizantes laterales
0,025	80	Calibres Piezas de micrómetros	0,63	20	Dientes de engranaje de módulo menor de 2,5 Dientes de ruedas sinfin Superficies para juntas de cobre Ejes acanalados Superficies de freno de tambores Rótulas de dirección Asientos de válvulas
0,032	60	Calibres Ejes de émbolos Embolos de bombas de inyección Apoyo del pulsador Rodillos y sus alojamientos	0,8	15	Acabados para piezas endurecidas Alojamientos para aros de émbolos Cojinetes lisos, diámetro exterior Dientes de engranajes Muñequillas de cigüeñales Superficies deslizantes en seco Superficies para ajustes precisos
0,040			1,0		
0,050	50	Calibres Camisas y cilindros de motores Alojamiento de rodillos Rodamientos	1,25	13	Ajustes finos Chavetas y chaveteros Dientes de engranajes con módulo mayor de 2,5 Excentricas Superficies deslizantes poco cargadas Superficies de freno de tambores
0,063			1,6		
0,080	40	Camisas y cilindros de motores Cojinetes lubricados a presión Ejes de émbolos Rodillos de cojinetes para fuertes cargas Gorrones con velocidad de 1,5 a 2 m/seg Superficies para retención de fluidos Cañas de válvulas Conos de cabeza de válvulas Rodillos para laminadoras	2	11	Superficies para juntas blandas no metálicas Superficies de apoyo sin junta Superficies de freno de tambores
0,100			2,5		
0,125	35	Ejes de levas y excéntricas de calidad extrafina Ajustes de retención sin juntas Ejes giratorios de alta velocidad sobre bronce Cuellos de ejes para ruedas de vagones Rodamientos, caminos de rodadura Rodillos para cojinetes Rodillos de laminadoras en frío Roscas laminada Caña de válvulas de cabeza Con de la cabeza de válvulas Cojinetes de metal antifricción	3,2	9	Superficies sin requisitos especiales de calidad Superficies fundidas y estampadas
0,16			4		
0,20	30	Ejes y excentricas de calidad fina Ejes para cojinetes Ejes poco lubricados Rodamientos, caminos de rodadura Cilindros de motores diámetro interior Cojinetes de metal anti fricción diámetro interior Cojinetes de biela Cilindros para émbolos con anillos de cuero o goma Rodamientos, caminos de rodadura Caña de válvulas de cabeza	5	6	Superficies comunes de piezas mecanizadas Superficies fundidas y estampadas
0,25			6,3		
0,32	25	Ejes para cojinetes Excéntricas de calidad media Ejes giratorios con juntas de retención sobre el eje Cilindros para émbolos con anillos de cuero o goma Cojinetes de metal anti fricción Dientes de engranajes sometidos a fuertes cargas Dientes de tornillo sin fin y su rueda Rodamientos, caminos de rodadura Rodillos de laminadoras en caliente Rótulas de dirección, superficies esféricas Superficies deslizantes Superficies de rociamiento Superficies de freno de tambores Cañas de válvulas Válvula de asiento	8	4	Superficies comunes de piezas mecanizadas Superficies fundidas y estampadas
0,040			10		
			12,5		
			16	2	Superficies no solicitada, para las que tienen importancia solo las medidas dimensionales
			20		
			25		
			32 a 100		Superficies fundidas

3- TRATAMIENTOS DE LIMPIEZA

¡Error! Marcador no definido.

Antes de proceder a la realización de un recubrimiento y después del proceso de conformación es necesario eliminar los contaminantes que debido a los procesos de elaboración se han adherido a las piezas.

La eliminación de las contaminaciones existentes en las piezas no es, por lo general, un proceso sencillo, ya que suelen presentarse las piezas con dos o más tipos de contaminantes que normalmente no pueden eliminarse con los mismos tipos de productos o procesos debido a su diferente naturaleza.

Esta combinación de contaminaciones hace que se requieran procesos de complicación creciente y que se apliquen los procesos en determinadas secuencias a fin de que tengan el éxito deseado.

La razón de lo anteriormente expuesto es muy sencilla, ya que como todos conocemos los contaminantes se adhieren a las piezas en un determinado orden, salvo excepciones, secuencia que se debe de mantener en la realización de los procesos de eliminación o limpieza aunque en sentido inverso.

Esto es, por lo general, los contaminantes se adhieren en el siguiente orden a las piezas, empezando por la superficie de las mismas:

1. Oxidaciones y corrosiones
2. Capas de protección superficial tales como protectores, pinturas y tratamientos galvánicos.
3. Carbonillas y depósitos carbonosos.
4. Aceites y grasas

Por lo tanto, la limpieza o eliminación de los contaminantes se realizará en sentido inverso, es decir:

1. Operaciones de desengrase.
2. Descarbonillado y eliminación de depósitos de transformación orgánica.
3. Eliminación de capas de protección superficial, tales como protectores anticorrosivos, pinturas y tratamientos galvánicos.
4. Eliminación de oxidaciones y corrosiones.

Así pues la secuencia que seguiremos en el desarrollo de esta trabajo será la secuencia lógica que hemos indicado.

A veces hay procesos en los que falta uno de los contaminantes, por lo que el proceso de eliminado de ese tipo de contaminación no deberá de realizarse.

También es frecuente que un proceso pueda eliminar con una razonable efectividad dos o más contaminaciones, por lo que podemos utilizar éstos procesos múltiples para realizar tratamientos de limpieza que nos ahorren tiempo de proceso.

3.1- DESENGRASE

3.1.1- El desengrase en fase de vapor

El desengrase en fase o forma de vapor es un método **FÍSICO** que elimina los aceites y grasas solubles que se encuentran depositados o «atrapados» en la superficie de los elementos o piezas a tratar.

Los productos que se utilizan para este tipo de tratamiento son los disolventes clorados de alto punto de ebullición y entre ellos el **TRICLOROETILENO, TRICLOROETANO Y PERCLOROETILENO.**

Se pueden tratar por este procedimiento cualquier metal, excepto titanio y bajo ciertas circunstancias algunos aceros, en particular los considerados de «alta resistencia», ya que pueden ser atacados y producirse en ellos bien corrosión intercrystalina o intergranular, o fragilidad por oclusión de hidrógeno, así como materiales no metálicos resistentes a la acción química de los disolventes clorados y al calor, en particular aquellos que no sufran deformaciones térmicas en el rango de temperaturas de 75 a 121 ° C aproximadamente.

Productos para desengrase

Los productos para desengrasar pertenecen a la familia de los disolventes clorados y dentro de ellos, concretamente se suelen utilizar corrientemente tres de ellos :

- ★ Tricloroetileno
- ★ Tricloroetano
- ★ Percloroetileno

Estos disolventes tienen una muy alta tensión de vapor por lo que pasan a forma de vapor fácilmente, incluso a temperatura ambiente, por lo que a la temperatura de ebullición se forma una nube de vapor que se mantiene de forma sencilla bajo esta forma física. El menos reactivo de los tres es el tricloroetano, que deriva de un hidrocarburo saturado.

3.2- PROCEDIMIENTOS DE DESENGRASE ALTERNATIVOS

3.2.1- Desengrase Mediante Disolventes Líquidos

Este método consiste en solubilizar las grasa mediante puesta en «contacto» con un producto de la misma familia química, disolvente, que los productos contaminantes a eliminar y que se puedan suprimir fácilmente de la superficie a tratar mediante drenaje y secado.

En otras palabras un disolvente, que es un producto orgánico, se pone sobre la superficie del material a tratar. Este producto se «mezcla» o «engancha», de la misma manera que hace el agua con el azúcar, por ejemplo, mediante «solubilización» con las grasas que «contaminan» las superficies.

En una segunda etapa se hace drenar, o salir de la superficie, de la pieza en cuestión a dicha mezcla de disolvente y grasa y se sustituye por una capa de disolvente limpio, procediendo, como etapa final, a secar este disolvente, bien sea por si solo, bien mediante la ayuda de una corriente de aire. Así pues este método consta de tres etapas que son:

¡Error! Marcador no definido. Etapa 1	Aplicación del disolvente y solubilización de las grasas o aceites por contacto entre ambos durante un determinado tiempo.
Etapa 2	Enjuague de la mezcla disolvente - grasas con disolvente limpio.
Etapa 3	Drenaje y secado del disolvente sobrante que hay en la superficie tratada, bien por si solo en un tiempo determinado, bien mediante aire comprimido.

Hay dos tipos de disolventes que pueden aplicarse.

A.- Disolventes Clorados

B.- Disolventes Petrolíferos

Los disolventes clorados son de la misma familia y tipo que los que se emplean en la fase de vapor que ya hemos discutido, y presentan sus mismas limitaciones, además de algunas adicionales que resumiremos en:

1. No pueden tratarse ni titanio ni, por lo general, aceros de alta resistencia, ni tampoco plásticos ni cauchos.
2. No pueden utilizarse por inmersión, dado su alto poder de evaporación, por que les haría antieconómicos.
3. Algunos de estos productos pueden presentar problemas de Seguridad e Higiene, sino se utilizan de forma controlada.(equipos con extracción, zonas de ventilación adecuada, medios de protección específicos, etc.)
4. Va a limitarse su uso, en un futuro no lejano, debido a posibles problemas medioambientales (capa de ozono).

Como ventajas señalaremos:

1. Son altamente efectivos sobre todo tipo de grasas.
2. Secan y drenan muy fácilmente.
3. No son inflamables
4. Se pueden reciclar fácilmente

La segunda clase de disolventes o disolventes petrolíferos desengrasan por los mismos métodos y procedimientos por lo que lo hacen todos los disolventes, mediante disolución de las grasas, que ya hemos visto antes.

Además de estas características generales, los disolventes petrolíferos presentan otras características particulares que vamos a enumerar.

Como **limitaciones** debemos destacar que:

1. Pueden afectar a los plásticos y cauchos
2. Pueden resultar molestos por su olor aunque el contenido en aromáticos sea relativamente bajo.
3. Pueden producir alergias y dermatitis, a personas sensibilizadas.

4. Son inflamables, aunque a veces su punto de inflamación sea tan elevado que no se consideren como tales.
5. Su eficacia limpiadora es tanto mayor cuanto mayor sea el contenido en aromáticos.
6. Son de difícil reciclado.

Entre las **ventajas** señalaremos:

1. Se aplican a cualquier tipo de superficie metálica
2. Además de limpiar dejan las superficies con un ligero grado de protección anticorrosiva.
3. Se pueden utilizar tanto en tanque por inmersión, excepto los más ligeros, como el keroseno, debido a su alto poder de evaporación, como por pulverización.
4. Son de eliminación fácil por incineración, recuperando energía.

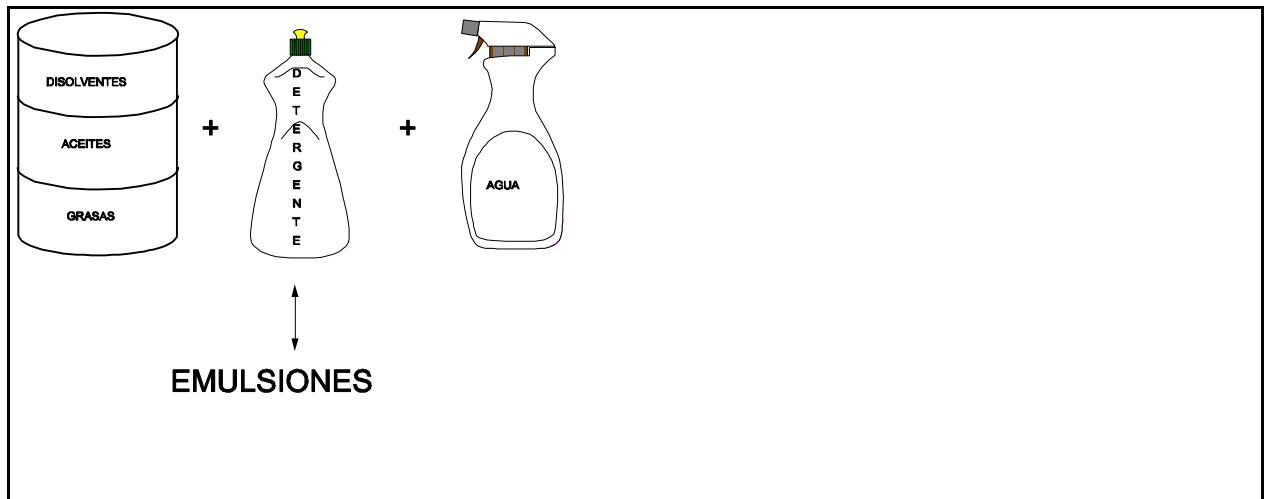
Los procesos de limpieza con disolvente suelen ser muy sencillos y su realización no suele presentar dificultades

Los procesos generales esquematizados son:

¡Error! Marcad or no definido. Etapa 1	Aplicación del disolvente por pulverización o por inmersión (solo en el caso de los disolventes tipo petrolífero). En el caso de inmersión se recomienda un tiempo de contacto mínimo de 5 min. y si es factible y el disolvente lo permite con una ligera agitación del mismo.
Etapa 2	Aclarado de las superficies. Este aclarado debe de realizarse con disolvente nuevo en el caso de haber tratado las piezas por inmersión. Todos los aclarados suelen realizarse mediante pulverización. Cuidar de utilizar la menor cantidad posible de disolvente, manteniendo en buen estado el equipo y colocando las piezas en las posiciones más favorables para que drenen fácilmente los disolventes.
Etapa 3	Drenado final de los disolventes y secado de los mismos bien al aire libre, bien mediante aire a presión. Hacer este secado en zonas o áreas con buena ventilación y renovación de aire.

3.2.2- Desengrase Mediante Disolventes Emulsionables

El desengrase mediante disolventes emulsionables, complementa y completa la modalidad del desengrase mediante disolventes, ya que aprovecha las ventajas de éstos y además añade la de los detergentes.



Los productos que se formulan para este tipo de desengrase son básicamente compuestos que tienen una base de disolventes a los que se les ha añadido un detergente.

Como de todos es conocido, los disolventes al igual que los aceites no son miscibles con el agua. Si a los disolventes o a los aceites les añadimos un detergente compatible con los mismos, lo que hacemos es que inmediatamente podemos unir, mezclar y hacer miscible esos disolventes o aceites con el agua ya que el detergente actuará de "puente de unión" entre ambas moléculas.

Así pues el desengrase se realiza mediante disolución de la grasa en cuestión realizada por la base disolvente y emulsión de dicha mezcla más de las grasas no disueltas por la base tensoactiva que el producto incorpora.

El producto final se puede eliminar fácilmente o lavar con agua.

Así pues concluiremos que este proceso al combinar otros dos, es uno de los métodos de desengrase más eficaces que se conocen, aplicándose fundamentalmente a aquellos procesos primarios en los que sea preciso eliminar grandes cantidades de contaminantes o que éstos sean de un tipo difícil.

Normalmente estos productos no se utilizan puros sino que se diluyen en disolventes o en agua, en proporciones variables, concentrándose más o menos de acuerdo al tipo de contaminaciones que se requiera eliminar.

Se pueden tratar todo tipo de aleaciones metálicas, con este tipo de productos, no debiéndose utilizar sobre plásticos y cauchos debido a que los disolventes que tienen en su base o con los que se diluyen pueden afectar a los mismos.

Tanto el tipo de disolvente con el que se va a diluir, como la concentración de uso, hacen que el proceso sea más eficaz, bajo todos los aspectos, eficiencia, ecología, seguridad e higiene como económicos o no.

Los disolventes en los que se puede diluir son cualquiera de los disolventes petrolíferos existentes, aunque, por lógica no deben de utilizarse para este fin los disolventes de bajo punto de inflamación o de alto poder de evaporación, como los kerosenos, recomendándose disolventes del tipo medio, e incluso los de tipo parafínico, exentos de aromáticos, que no presentan olores, siendo más aconsejables bajo los puntos de vista de seguridad y medioambiental, dado que el producto base va a suplir la posible ausencia de aromáticos en cuanto a eficacia limpiadora.

Los disolventes recomendados especialmente para la industria aeronáutica, son los definidos en la especificación americana: FED SPEc. PD 680, tipos I,II y III.

Pueden también usarse disolventes pesados, tipo gasoil o fueloil, limitándose su uso sobre aceros inoxidables o aleaciones ricas en níquel en función de su contenido en azufre. (Corrosión intercrystalina o intergranular).

Algunos de estos productos incluyen en su formulación pequeñas cantidades de productos fenólicos u otros activadores que transforman estos desengrasantes además en descarbonillantes ligeros.

Este tipo de desengrase es posiblemente el desengrase más efectivo de los conocidos y es el que se recomienda siempre que sea posible su uso, para eliminar grandes cantidades de grasa.

A continuación vamos a ver los disolventes emulsificables y sus características más importantes que podemos utilizar.

¡Error! Marcador no definido. TIPO	CONC.	DILUYENTE	USOS
General. No Fenólico	30 %	Disolvente petrolífero o agua	Limpieza de ruedas. Bulonería. Desengrase y limpieza de conjuntos
Fenólico ligero	30 %	Disolvente petrolífero	Desengrase de piezas muy contaminadas.
Fenólico ligero	30 %	Disolvente petrolífero	Desengrase y descarbonillado en una operación. Eliminación de restos de cauchos.

3.2.3- Desengrase mediante detergentes

El desengrase mediante detergentes consiste básicamente en una emulsificación que se realiza mediante un producto que se añade sobre la superficie a limpiar, llamado detergente, que hace de puente entre la molécula de grasa o disolvente orgánico que trata de eliminarse y la molécula del vehículo de arrastre, que llevará a ambos fuera de la superficie, esto es agua.

Un detergente por lo tanto tiene que tener por un lado una buena afinidad con las moléculas orgánicas que trata de eliminar, y por lo tanto una capacidad de miscibilidad con ellas total, y por otro lado debe de ser soluble en agua a fin de que pueda ser arrastrado fácilmente por ella.

Los detergentes realizan esta función por modificación de la tensión superficial, de los productos que se quieren eliminar y por ello se les denomina tensoactivos, al ser «activos» frente a dicha tensión.

Los detergentes o tensoactivos se soportan sobre un disolvente que generalmente es el agua, aunque pueden hacerlo sobre otro tipo de disolventes como son los petrolíferos. En el primer caso a dichos detergentes se les denomina «hidrófilos o hidrofílicos» y en el segundo caso se les denomina «lipófilos o lipofílicos».

Los más usados son generalmente los hidrófilos esto es los que tiene como base el agua, ya que

pueden utilizarse disueltos en ella con lo que su costo operativo es sensiblemente más barato que en los lipófilos que se debe de utilizar concentrados y no se pueden en ningún caso disolver en agua.

3.2.3.1- Formas de aplicación de los detergentes

La versatilidad de los detergentes como ya hemos indicado anteriormente es total, no solo por que admiten diferentes disoluciones o concentraciones en agua, lo que les hace tremendamente interesantes para un tratamiento general de desengrase al poder ser aplicados sobre distintas cantidades de contaminación en diferentes concentraciones, sino que admiten un amplio espectro de formas de aplicación, lo que les hace enormemente útiles.

La primera forma de aplicación o aplicación básica es la **inmersión**.

Esta forma de aplicación consiste en que la pieza o superficie es tratada introduciéndola en una cuba que contenga detergente en una disolución prefijada, normalmente una disolución intermedia que garantice que el tratamiento sea lo más universal posible.

La ventaja más importante de la inmersión es que se pueden tratar multitud de piezas simultáneamente, lo que beneficia la productividad, siempre que sean de materiales electroquímicamente compatibles, esto es de materiales que no produzcan «pilas galvánicas» entre sí, lo que implicaría que podría producirse ataque electroquímico, corrosión y/o inutilización del material.

En este punto hay que prestar atención al **titanio** y en segundo lugar al **magnesio** que son los dos metales con mayor peligro de ataque por éste efecto y que la mayoría de las órdenes técnicas y procesos recomiendan tratar por separado.

Las soluciones de detergentes pueden agitarse a fin de acelerar los tratamientos, pero debe de tenerse cuidado a la formación de espuma que aunque útil en algunos casos, como son los tratamientos por aplicación, puede resultar molesta e indeseable en otros, en particular si ésta es consistente o aparece en grandes cantidades, cuyos inconvenientes se describen más adelante.

La aplicación de detergente puede efectuarse por cualquiera de los métodos clásicos conocidos, brocha, mopa, máquina de lavado por agua a presión ó por aplicación en forma de espuma. Para definir la idoneidad de uno u otro procedimiento deben de valorarse el resto de los factores que implican el tratamiento y que son, por ejemplo, extensión y forma de la superficie a tratar, disponibilidad de servicios y equipos y medios auxiliares para su aplicación etc. Si se tiene que tratar una superficie localizada y pequeña, no estará justificado el tratamiento con máquina a presión o por espuma, debiéndose recurrir a brocha o mopa.

La aplicación por **brocha** o **cepillo** nos garantizará no solo el cubrimiento de la zona a tratar sino que el efecto mecánico de la aplicación facilitará la puesta en contacto de la contaminación con el paquete tensoactivo ahorrando el tiempo que en otro caso sería necesario emplear a fin de garantizar la rotura de la adherencia de la contaminación con la superficie ésta que en algunos casos está reforzada por fuerzas electrostáticas.

Está modalidad de aplicación está restringida a superficies de tamaño pequeño o a zonas relativamente poco extensas de grandes superficies, ya que requiere una gran cantidad de mano de obra.

La aplicación por **mopa** está recomendada en aquellos lugares donde no hay disponible agua de aclarado o no se puede efectuar éste. En estos casos se emplea la aplicación mediante mopa del detergente, pasando una mopa limpia a modo de aclarado. Esta técnica se conoce en inglés con el nombre de «wipe on - wipe off».

La técnica de aplicación por mopa no debe de aplicarse a grandes superficies o zonas amplias por que implicaría un costo elevado en mano de obra, ni a zonas con cantidades grandes de contaminación pues requerirían múltiples aplicaciones para que quedaran a un nivel aceptable.

La aplicación mediante **máquina de lavado a presión** se emplea para el tratamiento de grandes superficies, como es el lavado externo de aviones que **no estén excesivamente contaminadas**. La razón de esta última afirmación es que el tiempo de «contacto» contaminación - detergente es mínimo por lo que el efecto predominante en la limpieza no es la disolución y emulsificación sino el de «arrancado» de la contaminación por efecto de la presión del lavado. Este, es un procedimiento de uso general cuya eficacia limpiadora no es excesivamente elevada.

Por último esta la aplicación en forma de **espuma**. La espuma es una mezcla de detergente y aire.

Generalmente existe la, de que un detergente que forma fácilmente espuma tiene mayor poder de limpieza, esto es de desengrase, que uno que no lo forma, esta presunción es totalmente errónea ya que como sabemos, la espuma es sólo una mezcla de aire y detergente sin poder de limpieza por si misma, que en unos casos nos interesará favorecer y en otros evitar.

Por otra parte la espuma puede ser perjudicial ya que al ser arrastrada se deposita en los cauces de agua, evitando la entrada de oxígeno en ellos y perjudicando seriamente al medioambiente. Además está comprobado que la espuma no favorece, sino al contrario, evita, la precipitación de los metales pesados existentes en el agua de lavado, entorpeciendo los procesos de depuración.

Por todo ello los detergentes más avanzados, desde hace años se fabrican con tensoactivos de «baja espuma», como de todos es conocido, por ejemplo en los de uso en lavadoras domésticas.

Aún así «psicológicamente» es importante que los detergentes hagan espuma fácilmente.

Bajo el punto de vista que nos ocupa es importante que algunos detergentes se apliquen en forma de espuma, afin de conseguir que, una película de tensoactivo, esté el mayor tiempo posible en contacto con la contaminación para que emulsifique fácilmente.

Esto es imprescindible en el tratamiento de superficies verticales o invertidas como son los superficies del fuselaje del avión, en particular las de la parte baja del avión flaps, góndolas de alojamiento del tren, estabilizadores horizontales y verticales, timones, etc.

Además la aplicación en forma de espuma evita la penetración del detergente entre las chapas remachadas y pegadas, etc.

Por todo ello es a veces imprescindible la aplicación de detergentes en forma de espuma, ya que ésta es la encargada de mantener el contacto, o dicho de otra manera adherir el detergente a la pieza. En estos casos es importante la estabilidad de la espuma. Normalmente precisamos que permanezca «activa», el mayor tiempo posible.

Para conseguirlo, es necesario ensayar con diferentes caudales de detergente, diluido a la concentración de uso recomendada por el fabricante, y aire, que se mezclarán en el equipo apropiado obteniéndose diferentes tipos de espuma.

La aplicación de la espuma se realiza de abajo a arriba y nunca al revés pues aunque liviana, la espuma tiene un peso y se irá descolgando por efecto del mismo.

Una vez transcurrido el tiempo de tratamiento o contacto contaminación - detergente, se elimina éste de la superficie mediante un lavado con agua a presión.

Hoy en día y debido al problema de la espuma antes citado, se fabrican detergentes «viscosos», esto es con un grado de viscosidad estudiado para que se apliquen fácilmente y se «peguen» adecuadamente a la superficie, incluso mejor que la espuma, para facilitar el contacto de la contaminación con el detergente, se pueda modificar la tensión superficial líquido - superficie metálica, se «moje» la superficie y se pueda emulsificar la contaminación aceitosa o grasa existente.

¡Error! Marcador no definido. Los detergentes que contienen en su formulación silicatos por ser unos magníficos inhibidores de la corrosión y de la oxidación del aluminio, requieren un esmerado lavado con agua ya que en otro caso, dejarán las superficies, aunque limpias, con aspecto de "chorreras", lo que a veces no es conveniente.

3.2.4- Desengrase mediante productos alcalinos. ¡Error! Marcador no definido.

El desengrase mediante productos alcalinos es quizás el proceso más utilizado universalmente. Se aplica por inmersión, pulverización, bajo forma de vapor, circulación, bombos, etc.

Estos compuestos generalmente contienen, productos alcalinos básicos, tensoactivos, emulsificadores, humectantes, saponificadores, secuestrantes, acomplejantes, activadores e inhibidores de la corrosión.

Además del desengrase pueden tener otros usos, como son la desoxidación y el decapado de pintura.

En función del uso predominante que se quiera dar a estos productos, dada su gran variedad de aplicaciones, se utilizan en diferentes concentraciones, que varían desde muy pocos gramos por litro (30-40) a concentraciones importantes, como son 720 grs por litro en el caso de la desoxidación, previa a la soldadura del titanio.

En cuanto a la aplicación de este tipo de productos en los diferentes materiales tenemos que tener en cuenta que no son de aplicación universal, sino que cada tipo de material requiere y admite, en muchos casos, solo un tipo de alcalino, ya que otros pueden ser perjudiciales para los mismos.

Así por ejemplo, a modo de resumen, podemos establecer los siguientes criterios generales:

Aluminio: Es muy sensible a los alcalinos de tipo medio que pueden atacarle, y a los alcalinos fuertes que francamente le atacan.

Los productos para tratamiento del aluminio son pues de alcalinidad baja normalmente inhibidos con silicatos.

Zinc: Se ataca fuertemente con los alcalinos fuertes y de tipo medio. Se utilizan solo alcalinos suaves inhibidos, reduciendo además el tiempo de tratamiento con este tipo de productos al mínimo posible.

Bronce: Se ataca y matea con los alcalinos fuertes y medios, debido a su contenido en zinc, debe tratarse con alcalinos suaves inhibidos con silicatos o con otros inhibidores específicos, reduciendo al mínimo posible los tiempos de tratamiento.

Cobre: Puede matearse con el tratamiento con alcalinos fuertes, dependiendo de concentraciones y tiempo de tratamiento, pero normalmente soporta bien el tratamiento con productos alcalinos medios y suaves.

Magnesio: Soporta normalmente bien el tratamiento con alcalinos fuertes. En particular los tratamientos que se recomiendan para los aceros con bajo contenido en carbono son adecuados para tratar magnesio. No debe de tratarse con alcalinos débiles, pues pueden corroerle.

Estaño: Es sensible y se ataca con alcalinos fuertes, aunque menos que el aluminio y zinc. Los silicatos son unos magníficos inhibidores para el estaño en las formulaciones para tratamiento de estaño.

Plomo: Se atacan con los alcalinos fuertes, en particular con los que contengan cloruros o secuestrantes. Los alcalinos que se utilicen para el tratamiento del plomo deben de estar inhibidos con silicatos o con otros inhibidores específicos.

Titanio: Normalmente no se ataca con los alcalinos fuertes, pero puede ser susceptible de ataque por aquellos que contengan agentes acomplejantes.

Hierro y Acero: No se atacan por soluciones alcalinas cualquiera que sea su potencia. Debe de tenerse una cierta precaución con los tratamientos de larga duración con alcalinos de tipo medio ya que puede manifestar una tendencia a la aparición de oxidaciones en particular en los aceros y hierros no aleados.

Acero Inoxidable: Puede tratarse en alcalinos cualquiera que sea su potencia.

¡Error! Marcador no definido.El mecanismo de desengrase es un mecanismo sencillo que consiste en una «saponificación» o neutralización del aceite o grasa, que es un ácido, con un producto alcalino, formando un típico «jabón», fácilmente eliminable de la superficie mediante lavado con agua.

Los agentes humectantes se añaden a la formulación para facilitar el contacto entre la base alcalina y la contaminación grasa actuando frente a la tensión superficial de la interfase pieza-producto.

Los agentes secuestrantes tienen por objeto eliminar mediante «secuestro» o neutralización los iones de los metales pesados o de calcio o magnesio (aguas duras) que puedan estar presentes en el baño y que puedan interferir el tratamiento de desengrase.

A veces, en particular en los procesos en que se requiere un muy alto estándar de limpieza, se emplea el **desengrase electrolítico**. El proceso de desengrase es el mismo, esto es, un desengrase químico efectuado por saponificación, pero el contacto de la superficie contaminada con el ión alcalino neutralizador se efectúa mediante atracción eléctrica.

Para ello se hace que la pieza actúe como electrodo de una pila y este electrodo se pone en inmersión en una solución alcalina. Los cationes, normalmente iones sodio (Na^+) o iones potasio (K^+) son rápidamente atraídos por el cátodo o pieza donde se produce la reacción de neutralización.

Debido a la atracción electroquímica que se produce en todos y cada uno de los cationes presentes, este procedimiento es muy eficaz, y dado su total aprovechamiento, las concentraciones que se precisan del producto desengrasante suelen ser pequeñas. Por contra requiere un gasto energético elevado debido a la corriente eléctrica que se precisa.

Este procedimiento no es aplicable a grandes cantidades de contaminación ya que en este caso la pieza al estar totalmente recubierta de una capa de aceite o grasa, esta eléctricamente aislada, por no ser los aceites o grasas conductores, por lo que el proceso no es realizable.

En estos casos lo que se hace es efectuar primero un desengrase químico, por disolventes emulsionables, detergentes o por desengrase alcalino. A continuación se completa el proceso efectuando un desengrase completo por medios electroquímicos.

El desengrase electroquímico es el proceso de desengrase más perfecto existente, pero dado su costo en instalaciones y energía debe limitarse sólo a los procesos que realmente lo requieran como son los procesos galvánicos, anodizados o fosfatados, donde una preparación previa lo más perfecta posible de la superficie garantizará una transformación química o una deposición correcta de la capa metálica en cuestión

El desengrase electroquímico no puede aplicarse a superficies o piezas pintadas, o recubiertas de capas no conductoras de la corriente eléctrica.

El desengrase alcalino debe efectuarse en caliente, para que la reacción de saponificación o formación de jabón tenga lugar de forma efectiva. Esto representa uno de los mayores inconvenientes del proceso ya que requiere equipos e instalaciones con calentamiento y un gasto de energía importante, lo que hace que no sea un proceso de los considerados económicos.

3.2.5- Técnicas de lavado

Es de particular importancia el efectuar correctamente el lavado de las piezas tratadas con productos químicos, para conseguir, por un lado, la máxima eficacia en cuanto al proceso de tratamiento y, por otro, el ahorrar producto, recuperando el máximo posible y evitando que la mayor cantidad posible de éste pase a las aguas de lavado, lo que abaratará el proceso de eliminación de residuos y mejorará sustancialmente el área medioambiental.

Por ello este procedimiento es de la máxima importancia y se aplica a todos los procesos que se utilizan en el tratamiento superficial.

Si los productos se han dado por aplicación, el lavado se efectuará normalmente por pulverización a alta presión. No debemos olvidar que la presión «arranca» la suciedad, que este incrustada, o fuertemente adherida en la superficie, por ejemplo en los decapados de pintura, pero que no disuelve mejor que el agua aplicada por un sistema de pulverización a baja presión ya que lo que disuelve es el agua y no el sistema de aplicación o la presión.

Normalmente pues es más eficaz el aplicar caudales elevados de agua que altas presiones, a la hora de eliminar los contaminantes (producto más suciedad de la superficie), además de esta forma, los contaminantes llegan altamente diluidos a los sistemas de recogida de aguas de lavado, por lo que será más fácil su tratamiento como residuos y su posible depuración al requerir menor DBO (Demanda Biológica de Oxígeno).

El inconveniente que presenta éste sistema proviene de que el agua empieza a ser un bien escaso y por lo tanto, caro, por lo que debe de utilizarse la menor cantidad posible, lo que indefectiblemente nos lleva a utilizar un sistema combinado, que consiste en efectuar un primer lavado con agua a alta presión, que consume menor cantidad y seguidamente y a modo de aclarado un lavado por pulverización con un volumen de agua adecuado que haga que se efectúe una buena disolución de los contaminantes existentes en la superficie que se esté tratando.

Si el tratamiento se ha efectuado por inmersión debe de dejarse drenar unos minutos las piezas sobre la cuba a fin de recuperar la mayor cantidad posible de producto que ha sido arrastrado por éstas en su salida, y si además el producto en cuestión tiene base acuosa o "sello" (ver «Descarbonillado») de agua, la pieza o piezas deben de «regarse» con agua encima de la cuba de producto (Se indica regar, esto es rociar con agua a muy baja presión). Con esto se consigue que el producto existente en la superficie de la pieza y que ha sido arrastrado por ella retorne a la cuba. La cantidad de agua que también se manda a la cuba es por tanto muy pequeña y sirve para, de alguna forma, compensar la pérdida producida por evaporación, si el producto actúa en caliente, o en completar las pérdidas de arrastre en sello y productos de actuación en frío.

Una vez realizada la recuperación de la mayor cantidad posible de producto debe de efectuarse un lavado que también elimine, la mayor cantidad posible de contaminantes y que normalmente se efectuará por inmersión en agua circulante con agitación.

Este sistema supone que la contaminación será desprendida de cualquiera de las partes en la que este aún adherida y la cantidad de agua empleada es mínima ya que la circulación normalmente no es, o no debe ser excesiva, pues su fin no es un aclarado total o final.

Debe de tenerse cuidado con la agitación, cuando se laven restos de productos que contengan tensoactivos de los no considerados de baja espuma, ya que pueden producirse cantidades importantes de ésta.

Por último se aclararán las piezas con agua limpia por rociado, de la misma forma que se ha indicado anteriormente, operación que puede realizarse sobre la propia cuba de lavado con agua circulante.

Si los productos no son miscibles con agua, se efectuará el drenaje sobre la cuba del producto, pasándose a continuación al lavado con agua circulante, recomendándose en este caso un mayor volumen de circulación que en el caso de los productos miscibles con agua, a fin de obtener residuos con alta disolución, a efectos de medioambiente, y aclarado final.

En este caso, no debe de efectuarse el lavado sobre la propia cuba de producto.

El titanio y sus aleaciones requieren un último aclarado con agua desionizada o desmineralizada.

3.2.6- Tiempo de tratamiento

El tiempo de tratamiento para el desengrase en condiciones normales de una pieza es variable, dependiendo de la cantidad y tipo de contaminación así como del producto y sistema empleado, el intervalo de tiempos estándar está comprendido entre 5 y 30 minutos.

3.3- DESCARBONILLADO

La carbonilla es el segundo de los contaminantes que se pueden presentar en una superficie, aunque no necesariamente siempre se encuentre en ella.

La carbonilla no es más que aceite o grasa «polimerizados», esto es aceite o grasa que por efecto de la temperatura, producida por el funcionamiento de los subconjuntos o bien por efecto de los rozamientos o de cualquier otra causa, se transforman en un producto «plástico» que se adhiere fuertemente a la superficie. En el peor de los casos, el aceite o la grasa pueden «quemarse» produciendo una capa endurecida.

Como vemos, la carbonilla es una capa «plastificada» de productos orgánicos, por lo que esta contaminación, a efectos de eliminación, puede considerarse como una capa de pintura y de hecho se elimina prácticamente de la misma forma. La gran diferencia entre la pintura y la carbonilla es que esta última normalmente presenta capas de gran tamaño, mucho mayor que las de pintura, por lo que se requieren productos de alta actividad, esto es, productos de actuación por inmersión en caliente, que son los que se presentan como más efectivos.

3.3.1- Mecanismo del descarbonillado

Como ya hemos dicho, la carbonilla y la pintura presentan una gran similitud en cuanto a su disposición superficial y por lo tanto su eliminación.

Normalmente el sistema de descarbonillado, consiste en la entrada de producto por los poros o huecos de la capa de carbonilla hasta la superficie y la rotura de la adherencia de esta capa con aquella.

Además el producto complementa esta actuación con un efecto de disolución, que en el caso de la carbonilla no tiene gran efecto, ya que las capas son normalmente muy gruesas, y este efecto es lo suficientemente lento como para que sea despreciable.

Por la razón antedicha, grosor de las capas de carbonilla, no pueden emplearse productos similares a los decapantes de pintura ya que su efecto sería prácticamente nulo dado el grosor de capa y el tiempo tan corto de evaporación de los disolventes base.

3.3.2- Proceso de descarbonillado

El proceso de descarbonillado, consiste en:

1. Poner las piezas a tratar por inmersión dentro del descarbonillante elegido y mantenerlo en dicha posición durante un **tiempo que estará comprendido entre 30 minutos y varias horas** dependiendo de la cantidad y del tipo de carbonilla (estado de polimerización).
2. Debe de cuidarse que no se produzcan «bolsas de aire» en la introducción de las piezas en los baños, debido a geometrías complicadas de las mismas, huecos etc., ya que en esas áreas no se eliminará la contaminación al no haber podido entrar producto para su tratamiento.
3. Transcurrido el tiempo de tratamiento, deben de lavarse las piezas, efectuando un repaso manual a las piezas si así se requiriera, al haber zonas que puedan estar defectuosamente acabadas debido a que el espesor de carbonilla sea desigual.
4. Las piezas a continuación se tratarán con desplazador de humedad o se secarán siguiendo el procedimiento que se describe en los procesos de tratamiento establecidos.

3.3.4- Limpieza con ultrasonidos

La limpieza con ultrasonidos es un procedimiento por inmersión en un tanque, que contiene el líquido de limpieza, siendo la acción de éste reforzada por el efecto de una agitación muy enérgica del líquido, proporcionada por un transductor piezoeléctrico. Esta acción mecánica que empuja el líquido sobre cualquier parte de la pieza, hace que sea un procedimiento especialmente eficaz para objetos con cualquier tipo de contaminación y que tengan formas complicadas, incluidos huecos y agujeros. El tipo de producto a emplear depende de la naturaleza del contaminante,

3.4- DECAPADO DE PINTURA

Ya se ha indicado anteriormente que algunos de los conceptos que se aplican en el decapado de pintura, son equivalentes a los que se incluyen en el descarbonillado. A continuación vamos a indicar algunos puntos importantes de forma esquemática que hay que tener en cuenta en los procesos de decapado en la industria en general, y en particular en el mantenimiento aeronáutico.

El decapado de pintura es una de las etapas importantes de la limpieza química. La importancia radica del hecho de que la pintura, no es sólo una capa decorativa que se pone en piezas o estructuras y que de alguna forma da idea de la marca o de la imagen de la compañía si no que es la responsable máxima de la protección anticorrosiva de los materiales a los que se aplica y protege.

La pintura al igual que cualquier otro sistema, se degrada con el tiempo, por efecto del cambio de temperaturas, de la radiación ultravioleta, roces, arañazos, etc.

Esta degradación supone que la superficie que se encuentra debajo de la pintura se puede corroer al disminuir o desaparecer la capa de protección que la protege.

Esta corrosión que empieza por un punto puede extenderse en superficies importantes debajo de dicha capa, por lo que es imprescindible la eliminación de dicha capa de pintura para inspeccionar la superficie, determinar la existencia de corrosión, evaluar su extensión y reparar, si es posible, las zonas afectadas o sustituirlas.

Una vez efectuada esta reparación las piezas deben de volverse a pintar para aplicar la protección anticorrosiva que dichos elementos deben de llevar.

Así pues es básico que efectuemos correctamente cada uno de los pasos de esta importante etapa, ya que de ella va a depender en gran medida que el componente este en utilidad óptima o no durante el tiempo que se requiera.

3.4.1- Métodos de eliminación de la pintura

Existen dos métodos de eliminación de pintura universalmente aceptados:

Métodos Mecánicos

Métodos Químicos

Vamos a enumerar a continuación los métodos mecánicos de decapado, y vamos a describir en profundidad los métodos químicos que son los que se están utilizando universalmente en mayor medida.

3.4.1.1-Métodos Mecánicos

1. Chorreado con arena o perla de vidrio. Métodos secos y húmedos.
2. Chorreado con abrasivos incluyendo corindón, semillas y plástico.
3. Chorreado con hielo seco (anhídrido carbónico sólido).
4. Chorreado con agua a alta presión.
5. Chorreado con vapor de agua sobrecalentado.
6. Aplicación de sistemas criogénicos, que consisten en refrigerar las capas orgánicas a eliminar de las piezas con nitrógeno líquido, chorreando posteriormente la capa quebradiza resultante con un sistema no abrasivo.
7. Lijado y raspado
8. Quemado. Este procedimiento se emplea con modernos sistemas que incluyen el uso de postquemadores y a veces de recuperadores, para ahorrar energía.
9. Quemado en lecho fluidizado. este procedimiento consiste en introducir las

piezas en un lecho fluidizado en el que hay arena caliente. Se requiere un sistema de postquemadores.

Todos estos sistemas tienen ciertas ventajas y ciertos inconvenientes. En cualquier caso hoy en día los inconvenientes, en el mayor de los casos, son mayores que las ventajas, por lo que el uso de estos sistemas está limitado a pocas piezas, generalmente de acero de alta resistencia. Cuando las piezas vayan a ser sometidas a una inspección por Líquidos Penetrantes, el uso de los sistemas mecánicos está restringido y solo se debe utilizar bajo expresa indicación de los procedimientos realizados y autorizados por los departamentos de ingeniería.

¡Error! Marcador no definido.3.4.1.2- Métodos Químicos

Los decapantes químicos más comúnmente utilizados, se clasifican en:

- ★ Decapantes de actuación en caliente
- ★ Decapantes de actuación en frío.

Los decapantes de actuación en caliente son generalmente fuertemente alcalinos, teniendo como base la sosa cáustica (NaOH).

Como excepción hay una familia de decapantes orgánicos que actúan en caliente y que además de emplear productos alcalinos de baja fuerza, emplean disolventes orgánicos de actuación en caliente.

Los decapantes de actuación en frío se basan en disolventes orgánicos, generalmente cloruro de metileno, cetonas, ésteres, alcoholes u otros disolventes halogenados. Estos decapantes además pueden ser alcalinos, neutros o ácidos.

Algunos de estos decapantes se presentan bajo forma de emulsión y son lavables con agua. La especificación más usual entre los decapantes en emulsión es la MIL-R-25134. Además estos decapantes pueden incluir en su formulación productos fenólicos, que entran a formar parte de las emulsiones lavables.

¡Error! Marcador no definido.Esencialmente, los decapantes de pintura tiene cuatro mecanismos diferentes de actuación:

- a) El vehículo de la pintura puede disolverse y formar una solución con el disolvente
- b) El disolvente o compuesto químico puede reaccionar químicamente con la capa o película de pintura y destruirla.
- c) El decapante puede penetrar físicamente a través de la capa de pintura y destruir la adhesión y cohesión de esta película, facilitando su eliminación.
- d) El decapante puede penetrar físicamente a través de la capa de pintura vía agujeros, raspaduras, etc. y destruir la adhesión del sustrato.

Cualquier decapante de pintura debe de eliminar la película de pintura en cuestión de forma rápida y eficaz. Los mecanismos completos, normalmente combinan dos o más de los mecanismos individuales antes citados, aunque uno de ellos es el que predomina de forma general particularmente los indicados en los puntos c y d, ya que el o los otros mecanismos suelen ser muy lentos (generalmente es lo que ocurre con los mecanismos de disolución y de reacción química).

3.4.2- Criterios para la elección de un decapante de pintura químico.

Los decapantes de pintura por vía química deben de cumplir alguno, sino todos, de los criterios que a continuación exponemos:

- 1) Capacidad para el decapado. Eficacia
- 2) No ser corrosivos para el sustrato
- 3) No producir ni contribuir al ataque galvánico en la zona de unión de metales diferentes.
- 4) En lo posible, estar libres de cresoles, fenoles, bencenos o de cualquier otro producto químico considerado tóxico o peligroso.
- 5) Poseer una dilatada vida activa
- 6) Poder ser tixotrópico si fuera necesario.
- 7) Poseer sellos internos de ceras o externos de agua o aceites para prevenir una rápida evaporación.
- 8) Tener la propiedad de dejar la superficie lo más preparada posible para un repintado de la misma.

¡Error! Marcador no definido.3.4.2.1- Ventajas y desventajas de los decapantes de actuación en caliente

En los decapantes de actuación en caliente, que siempre se utilizan por inmersión se presentan las ventajas y desventajas que a continuación relacionamos:

¡Error! Marcador no definido.Ventajas

1. El calor es una tremenda ayuda en el decapado de pintura, debido a que puede, en ciertos casos, " degradar " la capa de pintura, en particular con algunos decapantes basados en productos alcalinos de actuación en caliente, con los que es posible sobrepasar el punto de ebullición del agua y alcanzar los 115° C.
2. Cuando los baños de decapado se sobre contaminan con pintura, los tanques pueden ser «decantados» y eliminados los «lodos», ahorrando aproximadamente las partes del producto químico en lugar de cambiar todo el baño.
3. De acuerdo con la experiencia no hay pérdidas por evaporación, de producto, solo de agua.
4. La carga original inicial en los decapantes alcalinos, tiene un bajo costo por litro de baño.

¡Error! Marcador no definido.Desventajas

1. El costo del equipo, o instalación requerida es considerable.
2. Los decapantes alcalinos de actuación en caliente no pueden utilizarse para decapar pintura en aluminio, zinc y algunas aleaciones de cobre. Debe de consultarse siempre con el fabricante del decapante las restricciones de uso del mismo.
3. Los decapantes alcalinos en caliente deben de utilizarse extremando las medidas de protección personal para evitar riesgos debidos a los productos alcalinos y a la temperatura de trabajo de los baños.
4. El costo energético es relativamente alto

5. Debido a su actuación en caliente, el tanque no se puede utilizar mientras no se haya alcanzado la temperatura de trabajo adecuada. Por contra los decapantes de actuación en frío se pueden utilizar en cualquier momento.
6. Algunos de los acabados, como los epoxys o epoxídicos, se han diseñado para poder resistir la temperatura y los productos alcalinos, por lo que imperativamente deben de tratarse con decapantes en frío.
7. En los decapantes alcalinos, la pintura se elimina por una gradual degradación de ella misma. Este proceso continua hasta que todo el polímero se haya roto y convertido en simples jabones. Esto trae como consecuencia un aumento del consumo de producto cáustico y de la contaminación del baño.

¡Error! Marcador no definido.3.4.2.2- Ventajas y desventajas de los decapantes de actuación en frío

¡Error! Marcador no definido.Ventajas

1. Un decapante de actuación en frío puede actuar en cualquier momento. No se precisa, y es más, no se debe, **nunca**, precalentar el baño o el decapante, ya que el único efecto conseguido será la evaporación de los disolventes.
2. En algunos metales, como el aluminio, este tipo de decapantes son los únicos que se deben de utilizar ya que cualquier otro puede producir ataques al material base.
3. No se requieren disoluciones ni mezclas. Se utilizan como se suministran.
4. No hay gasto energético
5. Si se utiliza un decapante por inmersión, la pintura desprendida puede eliminarse del tanque por filtrado.
6. No suelen perder fuerza por reacción química ó esta es mínima si se filtra de forma adecuada.

¡Error! Marcador no definido.Desventajas

1. El precio de estos decapantes es mayor que los alcalinos de actuación en caliente.
2. No se pueden diluir en agua, deben de usarse tal cual se suministran.
3. La evaporación de los disolventes en este tipo de decapantes puede ser muy alta, incluso aunque dispongan de sellos de agua.
4. Estos decapantes tienen en sus formulaciones disolventes clorados. Algunos de éstos, en contacto con el agua pueden acidificarse y producir ataques al metal base.
5. Puede ser necesario utilizar un sello antievaporación en un decapante de actuación en frío por inmersión. Este sello se obtiene añadiendo agua, con inhibidores de la corrosión, para evitar ataques al substrato metálico, en la parte alta del tanque de decapante. Este sello deberá flotar sobre el resto del baño de decapante.

¡Error! Marcador no definido.3.4.3- Sugerencias para el uso de los decapantes de pintura

A fin de mejorar los procesos de utilización de los decapados de pintura deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Deben de ensayarse y evaluarse los decapantes frente a los diferentes tipos de pintura a fin de determinar la escala o intervalos de tiempos de decapado estándar en cada caso.

2. Debe de tenerse en cuenta que siempre es más fácilmente decapable una pintura "joven" que otra envejecida, por lo que si un trabajo de pintura ha salido defectuoso, debe decaparse lo antes posible, pues será más fácilmente eliminable.
3. Si se pretende decapar una pieza que tenga capas de pintura muy gruesas, o muchas capas, a veces es práctico precalentar las piezas antes del decapado, para ayudar a degradar las pinturas por efecto de la temperatura, y mejorar su decapado.
4. Debe de evitarse el lavar las piezas decapadas y en particular las tratadas con decapantes alcalinos, con aguas duras ya que pueden aumentar los lodos en el tanque y en cualquier caso pueden dar problemas en el repintado, debido a compuestos insolubles que pueden formar, dado su contenido en Ca^{++} y Mg^{++} . El agua de lavado debe ser agua potable de baja dureza o en su ausencia, agua desionizada.

3.5- LIMPIEZA DE PRODUCTOS DE LA CORROSIÓN;Error! Marcador no definido.

¡Error! Marcador no definido.Los metales y los materiales en general sufren continuas agresiones del medio ambiente en el que trabajan.

Este medio ambiente suele contener una serie de subproductos, tales como anhídrido sulfuroso, óxidos nitrosos, etc., que provienen de los procesos industriales que tienen lugar en talleres y ambientes fabriles, tales como combustión de gasóleos, kerosenos, etc.

Además a estos productos hay que añadir el agua y el anhídrido carbónico que existen en la naturaleza y la temperatura ambiente, que a veces es relativamente elevada.

Todos estos factores, convenientemente unidos, pueden producir ataques a los materiales de las piezas o componentes que se fabriquen o trabajen en esos ambientes.

Estos ataques consisten en la formación de productos y subproductos, mecánicamente frágiles, y pueden ser tremendamente serios tanto por su extensión como por sus consecuencias, ya que su fragilidad puede hacer inservibles a las piezas en cuestión o incluso, y en el mejor de los casos, puede hacer variar dimensionalmente a éstas, de tal forma que pueden producir serios accidentes a las piezas en uso.

La corrosión es, metafóricamente, el cáncer de los metales y de los materiales y por lo tanto el problema más serio que éstos pueden llegar a tener. Su corrección no es fácil y siempre, en cualquier proceso industrial, se tiende a prevenirla antes que tratarla, de ahí las enormes cantidades de dinero que se gastan en sistemas protectores de la corrosión, tales como sistemas de pinturas, transformaciones superficiales y electrodeposiciones, sistemas de protección temporal etc.

Pese a ello la corrosión puede presentarse en piezas en servicio y ésta debe ser detectada, evaluada, eliminada y combatida.

¡Error! Marcador no definido.3.5.1- Los productos de la corrosión.

Los productos o subproductos derivados de la corrosión son de diversos tipos y afectan a diferentes bases metálicas.

Los principales productos son:

- ★ Sales, tales como sulfatos, carbonatos, etc.
- ★ Óxidos atmosféricos
- ★ Óxidos térmicos.

Los más «famosos» son los óxidos y popularmente y erróneamente a todos los productos derivados de la corrosión se les suele designar como «oxidación».

La realidad es que los metales féreos y el titanio suelen presentar generalmente oxidaciones, mientras que otros metales como son los metales ligeros, aluminio, magnesio, etc. suelen presentar sales.

Los óxidos, por lo general, presentan una fuerte adherencia y en particular los óxidos térmicos.

Estos óxidos no presentan apenas porosidades por lo que los procesos de eliminación deben de

basarse más en la disolución o transformación, mediante reacción química, que en rotura de la adhesión de la capa de óxido.

Las sales por el contrario presentan por lo general una mala y floja adherencia a la superficie, por lo que su eliminación es más sencilla ya que la mayoría de los productos pueden introducirse en la capa de transformación química y desprender esta de la superficie metálica sin mayores problemas.

¡Error! Marcador no definido. **3.5.2- Métodos y procesos de eliminación de los productos de corrosión**

Los procesos de eliminación de la corrosión consisten básicamente en el tratamiento de las piezas con productos que transformen los materiales derivados de la corrosión en otros con muy poca adherencia que sean fácilmente desprendibles de la superficie, mediante un lavado con agua.

Normalmente los óxidos se transforman bien en hidróxidos, que se prácticamente se «autodesprenden» de las superficies o bien en sales, fácilmente solubles o desprendibles.

Las sales tales como carbonatos o sulfatos, etc. se tratan de forma que se transformen en otros productos o sales más solubles o con menor adherencia.

¡Error! Marcador no definido. **3.5.2.1- Óxidos Atmosféricos**

El proceso consiste en el tratamiento con productos alcalinos fuertes, con altos contenidos en NaOH o KOH (sosa o potasa), de forma que se transformen los óxidos en cuestión en los correspondientes hidróxidos.

A veces no es posible eliminar todos los óxidos como hidróxidos, en particular los de los elementos o metales de aleación, ya que la velocidad de transformación de aquellos en éstos es tan lenta que este proceso es prácticamente imposible. En estos casos se debe recurrir a la transformación de dichos óxidos en sales mediante tratamiento con ácidos adecuados.

Lo normal es realizar el proceso completo, es decir, hacer un tratamiento combinado de eliminación, como hidróxidos y como sales, de los óxidos.

El proceso será pues:

1. Tratamiento con un producto alcalino fuerte, en caliente, para transformar fundamentalmente los óxidos ferrosos y férricos, más los óxidos de algún otro metal de aleación, en hidróxidos, durante un tiempo que varía entre pocos minutos (15) hasta aproximadamente una hora.
2. Lavado con agua de para eliminar de la superficie los productos transformados.
3. Tratamiento, durante un tiempo que varía entre pocos minutos (15) a una hora aproximadamente, con un producto ácido adecuado, para transformar los óxidos restantes, particularmente los óxidos de los metales de aleación, en las correspondientes sales.
4. Lavado con agua para eliminar de la superficie los productos transformados.
5. Tratamiento con un producto alcalino fuerte, en caliente, para transformar fundamentalmente los óxidos ferrosos y férricos, más los óxidos de algún otro metal de aleación, ocluidos por los otros óxidos, en hidróxidos, durante un tiempo que varía entre pocos minutos (15) hasta aproximadamente una hora.

6. Lavado con agua para eliminar de la superficie los productos transformados.

¡Error! Marcador no definido.3.5.2.2- Óxidos Térmicos.

Los óxidos térmicos son los formados a altas temperaturas. Estos óxidos se caracterizan por su gran adherencia y su falta de porosidad y su compactísima estructura sólida, lo que hace que los procesos normales de tratamiento sean bastante ineficaces frente a éstos óxidos.

El método de hacer más eficaces estos procesos, es intercalar una etapa de tratamiento con un reoxidante, cuya misión es oxidar químicamente la superficie del metal en cuestión, produciendo una capa de óxido entre la superficie metálica y la capa de óxido térmico de mucha menor compacidad y adherencia que haga que ésta sea fácilmente transformable y desprendible arrastrando con ella a la de óxido térmico que está soportada sobre ella.

Así pues el proceso será:

1. Tratamiento con un producto alcalino fuerte, en caliente, para transformar fundamentalmente los óxidos ferrosos y férricos, más los óxidos de algún otro metal de aleación, en hidróxidos, durante un tiempo que varía entre pocos minutos (15) hasta aproximadamente una hora.
2. Lavado con agua para eliminar de la superficie los productos transformados.
3. Tratamiento, durante un tiempo que varía entre pocos minutos (15) a una hora aproximadamente, con un producto ácido adecuado, para transformar los óxidos restantes, particularmente los óxidos de los metales de aleación, en las correspondientes sales.
4. Lavado con agua para eliminar de la superficie los productos transformados.
5. Tratamiento con un producto alcalino fuerte y oxidante, en caliente, para reoxidar en óxidos metálicos, el metal base, y posterior transformación en hidróxidos, durante un tiempo que varía entre pocos minutos (30) hasta varias horas.
6. Lavado con agua para eliminar de la superficie los productos transformados.
7. Tratamiento, durante un tiempo que varía entre pocos minutos (15) a una hora aproximadamente, con un producto ácido adecuado, para transformar los óxidos restantes, particularmente los óxidos de los metales de aleación, en las correspondientes sales.
8. Lavado con agua para eliminar de la superficie los productos transformados.
9. Tratamiento con un producto alcalino fuerte, en caliente, para transformar fundamentalmente los óxidos ferrosos y férricos, más los óxidos de algún otro metal de aleación, ocluidos por los otros óxidos, en hidróxidos, durante un tiempo que varía entre pocos minutos (15) hasta aproximadamente una hora.
10. Lavado con agua para eliminar de la superficie los productos transformados.

Este proceso se acaba en caso necesario con un repaso manual, o con un acabado mecánico de las piezas, bien en tambor roto-vibratorio, bien chorreando a las piezas con un abrasivo adecuado.

Este proceso sólo se puede aplicar por métodos o procedimientos de inmersión.

Las piezas de gran tamaño se suelen desoxidar con productos ácidos aplicables por pulverización, base generalmente ácido fosfórico, y repaso manual o acabado mecánico.

En el caso particular del titanio se realiza un procedimiento similar, salvo la reoxidación que en este caso no es necesaria dado el tipo de óxido térmico, pero con una concentración de producto alcalino y una temperatura de tratamiento que pueden ser sensiblemente mayores.

El proceso en este caso sería:

1. Tratamiento con un producto alcalino fuerte, en caliente, para transformar fundamentalmente los óxidos de titanio, en hidróxidos, durante un tiempo que varía entre pocos minutos (15) hasta aproximadamente una hora.
2. Lavado con agua para eliminar de la superficie los productos transformados.
3. Tratamiento, durante un tiempo que de pocos minutos con ácido nítrico al 35 % más un aditivo adecuado, para transformar los óxidos restantes, en las correspondientes sales (nitratos) y producir un «mordentado» superficial que deje la superficie en perfecto estado para el proceso de acabado siguiente, generalmente soldadura.
4. Lavado con agua para eliminar de la superficie los productos transformados, acabando con un aclarado adecuado con agua desmineralizada o desionizada.

3.5.2.3- Sales de corrosión.

Las sales de corrosión, generalmente carbonatos y sulfatos, se producen sobre substratos metálicos no férreos, en concreto aleaciones ligeras.

En función del tipo de aleación de que se trate el procedimiento que se emplea es completamente diferente, ya que el material base va a comportarse de forma diferente frente a los diversos agentes químicos.

Así, por ejemplo, el aluminio responderá muy bien frente a los ácidos débiles, y esta será la base de los procesos de tratamiento, mientras que el magnesio no podrá ser tratado con ellos, porque sufriría ataques serios. Por contra el magnesio se trata perfectamente con alcalinos fuertes, mientras que el aluminio no lo soporta y se producen ataques de tal grado que puede haber incluso disolución completa de las piezas.

Los procesos de tratamiento serán, por consiguiente:

Aluminio

Tratamiento, durante un tiempo que varía entre pocos minutos (15) a una hora aproximadamente, con un producto ácido adecuado, generalmente ácido fosfórico inhibido, para transformar los sales en las correspondientes sales solubles o de poca adherencia.

Lavado con agua para eliminar de la superficie los productos transformados.

Magnesio

Tratamiento con un producto alcalino fuerte, en caliente, para transformar fundamentalmente los óxidos y productos de corrosión, en hidróxidos, durante un tiempo que varía entre pocos minutos (15) hasta aproximadamente una hora.

Lavado con agua para eliminar de la superficie los productos transformados.

3.6- SELECCION DEL PROCESO

La selección adecuada del proceso de limpieza en su sentido mas amplio se ve afectada de muchos factores entre los que se han de tener en cuenta:

- Naturaleza del contaminante y del material de la pieza a limpiar
- La importancia de la condición de la superficie en el uso de la pieza
- El grado de limpieza requerido
- El tipo de producción
- Los medios disponibles
- El impacto ambiental de los medios empleados
- El costo
- La superficie total a limpiar
- Los efectos de operaciones anteriores
- Requerimientos de inhibición de óxido
- Factores de manipulación de piezas y productos

Requerimientos de operaciones posteriores

Por tanto al no existir un procedimiento único y ser múltiples las condiciones de fabricación, la valoración y ponderación de los factores anteriores nos conducirá a la selección del proceso que conjugue la eficacia con el costo, siendo conveniente la realización de ensayos que nos garanticen la idoneidad del mismo antes de realizar costosas inversiones.

4- RECUBRIMIENTOS DE PINTURA

Como se ha dicho anteriormente el pintado de objetos se realiza para satisfacer dos necesidades funcionales que son las de: protección y decoración, y los distintos tipos de pintura que nos ofrecen los fabricantes deberán en mayor o menor medida ser capaces de cumplir esos objetivos sin perjuicio que realicen los dos a la vez. Por ello y en función del resultado esperado, la elección del tipo correcto de pintura adquiere una gran importancia

La protección que pretendemos realice la pintura sobre los metales es la de evitar la oxidación y corrosión, y sabiendo que estos fenómenos se inician por la superficie de las piezas cuando están en contacto con distintos agentes (aire y agua), parece claro que si conseguimos una separación efectiva de ellos, se habrá alcanzado el objetivo buscado. Pues bien este efecto que se denomina **barrera** es lo que realiza la pintura, naturalmente esto implica impermeabilidad y adherencia.

La impermeabilidad será tanto mayor cuanto lo sea el espesor de la capa de pintura.

Otra forma de protección es la conseguida por la composición de la propia pintura, por ejemplo pinturas o imprimaciones ricas en zinc al estar en contacto íntimo con el acero, actuando éste como cátodo con lo que protegerá al acero. Este tipo de pintura en el momento de su aplicación son muy porosas pero en presencia de humedad se produce óxido de zinc que es insoluble en agua y se acumula entre las partículas de zinc de la pintura actuando como ligante de ellas y haciendo impermeable a ésta. Si por cualquier razón la capa de pintura se destruye en algún punto la penetración de humedad al contacto con el zinc reinicia el proceso de formación de óxido, regenerando la capa de protección.

Es importante resaltar que bajo la capa de pintura no deben de existir trazas de oxígeno y humedad para evitar el inicio de la corrosión. Si la superficie de la pieza tiene muestras de óxido, su combinación con el aire contenido en las bolsas que se forman al aplicar la pintura, da lugar a una nueva corrosión que avanzará de dentro hacia afuera rompiendo la capa de pintura dando lugar a un proceso que acabará por destruir la pieza.

De lo anteriormente expuesto se deduce la importancia que tienen los pretratamientos de limpieza y de aplicación de imprimaciones que aparte de evitar la formación de óxido en el tiempo transcurrido entre la limpieza y la aplicación de la pintura, actúen como inhibidores de corrosión y agentes que faciliten la adherencia de ésta. Debe temerse en cuenta que el costo de estos pretratamientos es de alrededor de seis veces el de la pintura y la duración de ésta sobre acero es de 4 a 10 veces mayor con un pretratamiento de chorreado abrasivo.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la rugosidad de la superficie, siendo el ideal en piezas de acero, valores de Ra entre 30 y 50 micras perfectamente obtenibles con chorro abrasivo. Superficies muy pulidas dificultan la adherencia, mientras que las muy bastas obligan a la aplicación de capas muy gruesas para poder tapar las asperezas. Cuando las superficies son muy rugosas y presentan identaciones o arañazos profundos e interesa dejar acabados muy lisos, el procedimiento empleado consiste en rellenar los defectos con emplastecedores, lijar para conseguir la uniformidad deseada y aplicar la pintura.

Como resumen podremos decir que el éxito en la aplicación de un proceso de pintura está en la limpieza (decapado, desengrase, eliminación de óxido y polvo, secado), aplicación de imprimación, aplicación de pintura y secado con control de temperatura y polvo.

Como función de decoración es claro que la principal característica es el color y su definición como es lógico por la posibilidad de tonalidades no puede ser definida simplemente por las

denominaciones: rojo, azul, verde claro, etc. La necesidad de uniformidad requerida en fabricaciones en serie para intercambiabilidad, imagen, etc. a obligado a la aparición de distintas normas que mediante códigos establece los colores y tonos de forma precisa. Las normas de aceptación mas ampliamente difundidas son conocidas como **RAL** y **Pantone**.

4.1- Componentes de las pinturas

Las pinturas son compuestos de distintos productos que podremos clasificar como:

- Pigmentos
- Cargas
- Ligantes
- Disolventes
- Secantes y aditivos

Los pigmentos proporcionan el color, opacidad, viscosidad y el poder cubriente de la pintura, también la fortalecen, le dan consistencia y tienen especial importancia en la protección contra el óxido al conferirle impermeabilidad .

Las cargas se puede decir que son un tipo especial de pigmentos de tamaños y formas irregulares, se agregan para dar el aspecto y consistencia adecuado a la pintura a fin de hacerla apta para su aplicación por pulverización, rodillo, brocha, etc. La adición de cargas permite aplicar la pintura en capas gruesas sin que se produzcan descolgamientos. También se pueden agregar para mejorar las condiciones de secado, actuar como agentes emulsificadores o dispersantes, absorber las radiaciones ultravioletas.

El ligante es el ingrediente mas importante en las propiedades de la pintura, dureza, protección, adherencia, etc. Las pinturas se agrupan de acuerdo con los tipos de ligantes ya que pinturas con exactamente el mismo color dependiendo del tipo y proporción de ligante empleado resultan completamente distintas.

El disolvente es el líquido que contiene al resto de los componentes de la pintura, proporciona y mantiene las condiciones de viscosidad de la pintura antes de su aplicación y tiene gran influencia en el proceso de secado.

Los secantes y aditivos son componentes especiales para facilitar el secado o proporcionar alguna característica específica.

4.2- Clases de pinturas

Esmaltes: Son pinturas caracterizadas por su capacidad para formar superficies suaves, que habitualmente presentan un alto brillo, aunque también pueden ser mates en distinto grado. Los esmaltes pueden secar al aire o en horno, realizándose este proceso por oxidación de forma que las cadenas moleculares de corta longitud se enlazan al contacto con el oxígeno al evaporarse el disolvente.

El hecho de que curen con el contacto con el aire significa que lo hacen por el exterior por lo que el endurecimiento evita la difusión del oxígeno hacia las capas interiores, siendo por tanto desaconsejable el dar capas de espesores gruesos.

Estas pinturas también se las conoce como pinturas al aceite, alquídicas o sintéticas.

Lacas: Son composiciones basadas en termoplásticos naturales o sintéticos cuyas cadenas moleculares mas largas que las anteriores se encuentran disueltas en disolventes orgánicos. El secado es físico al evaporarse el disolvente produciéndose entonces la unión de las cadenas realizándose de una forma rápida siendo ésta una de las características de estas pinturas. Las lacas típicas están compuestas en la nitrocelulosa y derivados celulósicos, resinas vinílicas y acrílicas. Una resina formada por goma laca natural es la conocida como "shellac".

Una ventaja de estas pinturas es la de poderse aplicar capas de pintura nueva sobre capas viejas (siempre que se encuentren exentas de polvo y aceite), ya que el disolvente de la nueva actúa sobre la primitiva fusionándose con ella y creando una nueva capa homogénea

Pinturas al agua: Los problemas ambientales y contaminación con productos tóxicos derivados de la evaporación de los disolventes orgánicos, a obligado a la busca de otros tipos de pinturas, apareciendo las denominadas pinturas al agua, que probablemente en un futuro inmediato desplazarán a buena parte de los otros tipos de pintura.

Existen tres tipos de pinturas al agua: soluciones, dispersiones coloidales y emulsiones.

Las soluciones están basadas en ligantes solubles en agua. Muchos de los ligantes convencionales tales como los alquídicos, acrílicos o epoxys pueden hacerse solubles en agua con la adición de componentes fuertemente hidrófilos.

Las dispersiones coloidales están formadas por partículas muy pequeñas de ligantes, menores de $0,1\mu\text{m}$ de diámetro dispersas en agua.

Las emulsiones son dispersiones en agua que difieren de las anteriores en que las partículas son mucho mayores que las anteriores. Se realizan por precipitación en agua y por tanto no necesitan ser dispersadas.

Los pigmentos son compatibles con el agua tomando las precauciones necesarias para evitar la reacción química con el agua.

Las ventajas de estos tipos de pinturas son:

- Baja inflamabilidad.
- Baja toxicidad y olor.
- Facilidad de limpieza con agua.
- Buena continuidad de la capa de pintura similar a las que contienen disolventes orgánicos.
- Buena estabilidad mecánica. Se puede bombear igual con los equipos de uso habitual.

Las desventajas mas significativas son:

- Dificultades de aplicación con equipos electrostáticos debido a la conductividad del agua.
- La temperatura de curado debe de controlarse en la subida para evitar que la evaporación del agua produzca ampollas en la pintura.
- Durante el curado la pintura es mas susceptible para la captación de polvo.
- El control de humedad y temperatura es vital ya que temperaturas bajas y humedades altas pueden hacer que a pintura se descuelgue.

Pinturas electroforésicas: Son pinturas particulares al agua, para aplicación en cubas especiales en las que se sumergen las piezas y donde las partículas de pintura se cargan eléctricamente, siendo atraídas por la pieza dejando la solución y adhiriéndose a ella. Las pinturas se pueden preparar

para depositarse bien en el ánodo o el cátodo. Cuando la pieza sale del baño es enjuagada con agua para quitar la pintura sobrante, quedando una capa de pintura uniforme y firmemente adherida, precediéndose a continuación al secado en horno.

Las resinas y pigmentos son almacenados como concentrados y añadidos al tanque según necesidad para mezclarse con agua desionizada y pequeñas cantidades de solubilizantes y desespumantes. La concentración de no volátiles en el baño varía de un 10 a un 20%. Las resinas utilizadas con mayor frecuencia son epoxys o acrílicas.

Pinturas para autoforesis: Son pinturas al agua depositadas sobre el metal por una acción catalítica en baño. Solo las piezas ferrosas son susceptibles de ser tratadas por este procedimiento. Tienen especial aplicación en el tratamiento de estructuras tubulares de automóviles.

Pinturas de alto contenido sólido : Son pinturas que contienen un 70% o mas de sólidos por volumen, incorporan polímeros de bajo peso molecular para que con menos disolvente puedan alcanzar la densidad necesaria para una aplicación correcta. Pueden ser de uno o dos componentes.

Las de un solo componente pueden ser: epoxy, acrílicas, poliéster y alquídicas.

Las de resinas de dos componentes pueden ser: uretanos, acrílico- uretanos o epoxy-aminas. El curado lo realizan por la acción de un catalizador que se mezcla con la pintura en el momento de su aplicación, si esta unión se realiza en la pistola en el momento de la aplicación se acelera el proceso de curado. Al ser este consecuencia de una reacción química no deben de aplicarse los componentes por separado ni mantenerse juntos antes del proceso de pintura.

Las ventajas de estas pinturas son:

- El control del color es mas fácil que el de las pinturas con disolventes.
- Las propiedades de brillo, dureza, adherencia, resistencia al desgaste pueden ser superiores a las convencionales.
- El coste de aplicación por metro cuadrado es mas bajo.
- El coste de energía para es secado es mas bajo.
- El cumplimiento de los límites legales impuestos para el control de evaporación de disolventes es mas fácilmente alcanzable.

Las desventajas son:

- Requieren equipo de aplicación especializado.
- La limpieza es mas difícil, así como el repaso de piezas ya pintadas.
- La toxicidad de los isocianatos empleados con los uretanos y las aminas con los epoxys, puede causar problemas.
- Los tiempos de secado o curado es considerablemente mas largo a menos que se empleen hornos.

Pinturas en polvo: Consisten en polvos formados por polímeros y resinas con pigmentos iguales a las pinturas líquidas, mezclados y pulverizados de forma homogénea, fundidos y vueltos a pulverizar en partículas extremadamente finas.

La aplicación se realiza como polvo seco con procedimientos electrostáticos. La capa se forma al fundirse el polvo sobre la pieza calentando ésta por encima del punto de fusión de la pintura.

Este procedimiento es ampliamente empleado en productos domésticos, cestas de alambre,

equipamiento de laboratorio, y componentes aeronáuticos y de automóviles. Las ventajas en su utilización son las derivadas de la baja toxicidad y aprovechamiento del material y las desventajas las dificultades en el control de color, aplicación de capas delgadas y la temperatura necesaria para alcanzar la fusión.

4.3- Selección del tipo de pintura

La selección del tipo de pintura estará de acuerdo con los requerimientos del producto a pintar y debe de realizarse teniendo conocimiento de las características favorables y desfavorables, las formas de suministro, costo relativo y forma de aplicación, secado, condiciones de servicio, regulaciones ambientales. En las tablas siguientes, se hacen comparaciones entre los distintos tipos de resinas.

Resina	Forma disponible	Método de secado	Características favorables	Características desfavorables	Costo	Utilización
Acrílica	Disolvente y al agua	Secado al aire y horno	Dureza, adherencia, aplicación para exteriores, resistencia ligera a ácidos, alcalis, disolventes	Tendencia a ser frágil	Moderado-alto	Aplicaciones de acabado para automóviles
Alquídicas	Disolvente y al agua	Secado al aire y horno	Alto brillo, flexibilidad, buena duración, versatilidad	Poca resistencia a alcalis, poca dureza, tendencia a amarillear	Bajo-moderado	Pinturas de anuncios, exterior sobre piezas metálicas
Cloro- caucho	Disolvente	Secado al aire	Resistencia al agua, alcalis y ácidos	Poca dureza y resistencia a la abrasión, poco brillo, sensible a los disolventes.	Moderado	Fondos de depósitos o elementos sumergidos en agua, manten.
Epoxy	Disolvente, agua y polvo	Secado al aire y horno	Excelente adhesión y resistencia química, flexibilidad, resistencia a la abrasión y dureza	Deslucido rápido en exteriores, poca resistencia a los ácidos oxidantes, amarillea en colores claros	Moderado-alto	Pinturas de mantenimiento, primeras capas en automóviles, metales
Fluorcar-bon	Disolvente y polvo	Horno	Excelente resistencia en exteriores y a productos químicos	Moderada adhesión, difícil repintado, altas temperaturas de curado	Alto	Pintado de muelles, serpentines
Nitrocelulosa	Disolvente	Secado al aire y horno	Secado rapidísimo, buena dureza y resistencia al desgaste	Bajo contenido de sólidos, de débil a buena duración en exteriores, peligro de inflamabilidad	Bajo-moderado	Acabado de muebles, lacados
Fenólicas	Disolvente, agua	Secado al aire y horno	Resistencia química, y a la corrosión, dureza, adhesión	El obscurecimiento solo se puede realizar sobre pinturas oscuras	Alto	Recubrimientos de latas y depósitos, mantenimiento
Poliéster	Disolvente, agua, polvo	Secado al aire y horno	Alto brillo, resistencia química, dureza, capas gruesas	Adhesión débil	Alto	Acabados para madera
Poliuretano	Disolvente, agua, polvo	Secado al aire y horno	Resistencia química, a la abrasión y dureza, duración en exteriores	Algunos tipos amarillean y se deslucen bajo ciertas condiciones	Moderado-alto	Acabados en aviones y sobre piezas metálicas
Siliconas	Disolventes, agua	Secado al aire y horno	Alta resistencia al calor, duración en exteriores, retención de color y brillo	Tendencia a fragilizarse	Alto	Cualquier acabado con para alta resistencia en exteriores
Vinílicas	Disolvente y polvo	Secado al aire y horno	Resistencia química, flexibilidad, secado rápido, resistencia a ácidos alcalis y a la abrasión	Bajo contenido en sólidos, riesgo de inflamabilidad	Moderado	Latas de envase y depósitos, mantenimiento y decoración

Siendo como se ha dicho anteriormente la de protección una de las funciones mas importantes a cumplir por las pinturas, en la tabla de la página siguiente se relacionan los distintos tipos y su acción frente a condiciones ambientales concretas.

Tipo de pintura	Aplicaciones
<p>Intemperie Pinturas al aceite Alquídicas Alquídicas modificadas con aminas Lacas de nitrocelulosa Acrílicas</p> <p>Atmósferas marinas Alquídicas, cloro-caucho, fenólicas, epoxys, vinílicas, vinílico-alquídicas Uretano</p> <p>Inmersión en agua Fenólicas Vinílicas Cloro-caucho Uretanos Epoxys Vapores químicos Epoxys, cloro-caucho, vinílicas, uretanos</p> <p>Luz solar fuerte Vinílicas Acrílicas Silicona, alquídicas</p> <p>Humedad concentrada Alquídicas modificadas con aminas Epoxis Epoxys catalizadas, cloro-caucho, fenólicas</p> <p>Alta temperatura Epoxys Siliconas modificadas Siliconas</p> <p>Ricas en zinc inorgánico</p>	<p>Edificios, vehículos, puentes, mantenimiento Perfilado, acabado de piezas metálicas, acabados Automóviles, cubiertas de metal, piezas de aluminio Acabado de productos, lacas en aerosol Acabado de automóviles</p> <p>Superestructura y entibados</p> <p>Barnices claros marinos</p> <p>Fondos de barcos Fondos de barcos, compuertas Fondos de barcos, piscinas Barnices claros marinos Casco y estructura de barcos</p> <p>Equipo de instalaciones químicas</p> <p>Cubiertas metálicas Acabados de automóviles Equipo de instalaciones petrolíferas</p> <p>Frigoríficos, máquinas de lavar Acondicionadores de aire Mantenimiento, plantas químicas y papeleras</p> <p>Tuberías de motores hasta 120 °C Piezas de estufas y hornos, tostadores, hasta 205 °C Piezas de estufas y hornos, tostadores, hasta 290 °C. Pinturas con pigmentos de aluminio hasta 650 °C Estructuras de acero, chimeneas, hasta 370 °C</p>

Atendiendo a la resistencia mecánica o acción química

.Acción	Pintura
Abrasión	Vinilos, poliuretanos
Impacto	Epoxy, vinilos, poliuretanos
Adherencia	Acrílicas, vinílicas
Flexibilidad	Epoxy, vinílicas
Acidos	Cloro-caucho, vinílicas, epoxy
Disolventes	Epoxy, fenólicas
Detergentes	Acrílicas, epoxy
Manchas	Fenólicas
Gasolina	Alquídicas, epoxy
Alcalis	Fenólicas
Calor	Alquidico- aminas, siliconas

4.4- Tratamientos de prepintado:

Adicionalmente a las operaciones de limpieza y acondicionado en cuanto a rugosidad de la superficie y con objeto de aumentar la resistencia a la corrosión y adherencia de la pintura se efectúan tratamientos de prepintado inorgánicos (fosfatado) y orgánicos (imprimaciones). La elección de uno u otro depende de la naturaleza del material de la pieza y el tipo de protección deseada.

Fosfatado: Es un tratamiento consistente en la formación de una capa protectora no metálica y aislante formada sobre la superficie del metal al sumergirlo en una solución de fosfato.

Imprimaciones: Son aplicaciones de productos orgánicos que proporcionan al metal una capa inhibidora. Los componentes de las imprimaciones son resinas polivinílicas, cromatos y ácido fosfórico, siendo éste el encargado de favorecer la adherencia de las posteriores capas de pintura, su aplicación se realiza en capas muy delgadas. Entre las denominaciones más conocidas están:

- Wash primer: para piezas de aluminio, metal galvanizado y toda aquella superficie chorreada previamente
- Shop primer: proporciona protección temporal inmediatamente después del tratamiento de la chapa, seca muy rápido y admite encima cualquier tipo de pintura.
- Imprimaciones ricas en zinc: como prevención de la corrosión.
- Las imprimaciones son imprescindibles cuando no puede aplicarse un tratamiento de fosfatado.

4.5- Aplicaciones de la pintura

La aplicación de la pintura puede realizarse por múltiples medios mas o menos sofisticados y cuya elección viene condicionada por el tipo de pintura, cantidad de piezas, acabado deseado, aprovechamiento de la pintura, contaminación ambiental admisible. Además de los conocidos métodos manuales de aplicación sobradamente conocidos tales como brocha y rodillo se utilizan aplicaciones consistentes en el rociado de la pintura mediante una pistola con las siguientes variantes:

Pulverizado aerográfico: El pulverizado de la pintura se realiza con una pistola por la que se hace pasar una corriente de aire que por efecto venturi aspira la pintura del deposito que la contiene, creando una niebla también impulsada por la corriente de aire que se dirige contra la pieza a pintar. Es un procedimiento barato de calidad aceptable y válido para producciones medias y altas, donde se requiera buena uniformidad y apariencia. Sus inconvenientes se derivan del alto consumo de pintura que se produce en la atomización y en la aspiración del local donde se realiza el pintado, el aire empleado debe ser seco y exento de aceite.

Pulverizado airless: Es un sistema que mediante una bomba de alta presión impulsa la pintura hasta una pistola difusora en la que se realiza la atomización pudiéndose controlarse el chorro con distintos tipos de boquillas acoplables en la salida de la misma. La formación de niebla es muy pequeña o nula siendo por tanto mucho más alto el aprovechamiento de la pintura, perdiéndose solo aquella parte que no incide sobre la pieza a pintar.

Pulverizado airmix: Es un sistema intermedio entra el aerográfico y el airless con menor consumo de aire que el primero, sin alcanzar las altas presiones del segundo. La formación de niebla es considerablemente más pequeña que en el aerográfico.

Pulverizado electrostático: Es un sistema de proyección de pintura con o sin aire incluso en polvo, con pistolas especiales donde en el momento del atomizado, las partículas de pintura se cargan eléctricamente de forma que si la pieza a pintar se conecta a tierra, es decir se mantiene a un potencial eléctrico mas bajo que el de las partículas de pintura, estas son atraídas por la pieza. Esto permite por ejemplo en estructuras tubulares, que aun dirigiendo el chorro a la parte frontal y al envolver la niebla a toda la pieza también se produzca adherencia por la parte posterior. La principal desventaja se encuentra en el hecho de que en piezas con aristas, las más próximas a la pistola, son las que en mayor medida atraen a la pintura produciendose acumulaciones sobre ellas, esto hace este procedimiento inadecuado par piezas con superficies que presenten concavidades o zonas de difícil acceso. Otra desventaja es que en montajes debe de existir contacto eléctrico entre todos los componentes.

Con este método el aprovechamiento de pintura es mucho mayor que en los procedimientos anteriores donde las pérdidas de pintura pueden llegar a un 70% quedando aquí en un 10%.

En los métodos anteriormente descritos, incluido la aplicación de pintura en polvo, donde se recordará es necesario calentar la pieza para que la pintura se funda sobre ella, la pintura sale por pistolas especiales generalmente éstas son soportadas por el hombre que dirige el chorro de la forma más conveniente en distancia y posición, para que pueda alcanzar la totalidad de la pieza a pintar.

Cuando las producciones son altas y se pretende reducir mano de obra, existen procedimientos automáticos en los que se pueden instalar pistolas fijas delante de las cuales se hacen pasar las piezas, a las que se dota de los movimientos necesarios tanto en trayectoria como velocidad para que la pintura pueda alcanzar toda la superficie a pintar.

Otra variante es la de sujetar la pistola en el brazo de un robot en el que se programan los movimientos por aprendizaje del pintado realizado sobre una pieza por un pintor que lo dirige, las piezas a pintar son conducidas por una cadena o una cinta y el robot actúa cada vez que detecta una de ellas en su presencia. Naturalmente este equipo es muy costoso y solo se justifica su utilización cuando el balance entre adquisición y mantenimiento frente al precio del ahorro en mano de obra así lo aconseja o bien el manejo de los productos utilizados no permiten la presencia del hombre.

Inmersión: Es un procedimiento donde el pintado se produce al sumergir la pieza en un depósito conteniendo la pintura en un estado de agitación. El exceso de pintura adheridas se devuelve al depósito soplando con aire la pieza en el momento de su extracción. Es un procedimiento útil en aquellos casos en que la totalidad de la pieza debe quedar pintada y para grandes producciones utilizando cadenas de transporte de las que cuelgan cestas o soportes adecuados para las piezas. El aprovechamiento de pintura es prácticamente total. Sus desventajas se derivan de la dificultad en el control de la capa de pintura ya que se producen mayores espesores en las superficies inferiores que en las superiores como consecuencia del descolgamiento de las aristas y partes agudas, con el consiguiente riesgo de formación de goterones y ampollas en el secado.

Rodillos automáticos: Es un procedimiento similar al de las rotativas de imprenta donde las piezas (chapas planas) se hacen pasar entre dos rodillos impregnados de pintura. Este procedimiento es adecuado para grandes producciones por su economía y calidad de pintura. Permite la creación de letreros figuras y detalles similares a los creados en una imprenta.

Cortina de pintura: Es un procedimiento utilizado para pintura de chapas a gran velocidad, basado en el movimiento de chapas planas o curvas radiadas, a una velocidad adecuada bajo una cortina de pintura de muy pequeño espesor, con lo que se consigue el recubrimiento de la pieza con una capa de pintura de espesor constante. Las pérdidas de pintura son mínimas siendo por tanto adecuado para grandes producciones ya que requieren al igual que en los dos procedimientos anteriores instalaciones automáticas relativamente complicadas.

Pintado en tambor: Es uno de los procedimientos más económicos para el pintado de pequeñas piezas con pesos inferiores a medio kilo tales como tornillos, tuercas, botones, pequeños volantes, etc., Siendo también un buen procedimiento para el prepintado. Está basado en la introducción en un tambor giratorio de las piezas con una cantidad predeterminada de pintura en forma similar a la de una lavadora doméstica. El aire de secado se introduce por un extremo del eje central y forzado a través de las piezas en movimiento continuo, escapando por el otro extremo del eje arrastrando los vapores de los disolventes.

Electropintado: Es un procedimiento también conocido como **electroforesis** en el que las piezas son sumergidas en un tanque en el que las partículas de pintura en este caso disueltas en agua, está sometida a una corriente eléctrica que las carga, siendo éstas atraídas por la pieza que mantiene una carga contraria, cuando alcanzan la pieza abandonan la solución y cubren su superficie. El espesor de la capa depende de la complejidad de la pieza, tiempo de permanencia, voltaje, temperatura, contenidos sólidos y capacidad para penetración en zonas escondidas, el crecimiento de la capa se produce más rápidamente en las zonas de más fácil acceso pero a medida que va aumentando la creciente resistencia eléctrica de la pintura va disminuyendo el régimen de deposición en las zonas, de forma que al final se obtiene una buena uniformidad pudiendo llegar a ser de 38 μm . Una vez se ha realizado el recubrimiento la pieza se extrae del tanque, se enjuaga con agua para eliminar los excesos de pintura y se seca en horno.

Las ventajas de este procedimiento son:

- Posibilidad de total automatización.
- Posibilidad de introducir en el tanque a la vez piezas de formas y tamaños distintos.
- Uniformidad de capa.
- Buen recubrimiento de bordes y zonas ocultas con el consiguiente aumento de resistencia a la corrosión.
- Ausencia de descolgamientos.
- Ahorro de pintura e hasta un 30%.
- Ausencia de riesgos de incendio.

Las desventajas son:

- Coste elevado de instalaciones
- Se necesita un cuidadoso control de temperatura, pH de la solución y del material de la pintura.
- El pretratamiento debe ser más cuidadoso.
- Los defectos de substrato son visibles a través de la pintura.
- Solo se puede dar una capa de pintura.
- Los cambios de color son difíciles y caros.

4.6- Instalaciones de pintura

Las instalaciones de pintura lógicamente dependerán del procedimiento empleado y del tamaño de las piezas a pintar (téngase en cuenta por ejemplo el tamaño de un avión), pero en cualquier caso generalmente serán costosas en ellas y sobre todo en las que se empleen procedimientos de pulverización, se podrán distinguir las siguientes áreas de trabajo:

Limpieza y pretratamiento; incluidos, chorreados, emplastecidos, lijados y enmascarados (protección de zonas que no deben pintarse).

Aplicación de pintura; se caracterizará esta zona sobre todo en aplicaciones por atomización de la pintura, por la necesidad de establecer sistemas de filtrado de aire y eliminación de polvo, captación de los excesos de pintura y disolventes mediante cortinas de agua y sistemas de aspiración con los consiguientes sistemas de filtrado tanto del agua como del aire devuelto a la atmósfera, habiéndose de tener en cuenta que el contenido de disolventes obliga a hacer las instalaciones eléctricas antideflagrantes.

Secado; bien por aire caliente o en horno, instalaciones que requieren también características de ausencia de polvo, filtrado y eliminación de disolventes y propiedades de la instalación eléctrica antideflagrantes.

5- RECUBRIMIENTOS INORGANICOS;Error! Marcador no definido.

Los principales procedimientos de recubrimientos inorgánicos son:

Modificación química de la superficie (recubrimientos de conversión):

- Fosfatado
- Pavonado
- Anodizado
- Cromatizado
- Película química (Alodine)
- Dow

Electrolítico:

- Cobreado
- Cromado duro y decorativo
- Niquelado
- Cadmiado
- Zincado
- Estañado
- Plomeado
- Plateado
- Dorado

Procesos de deposición no electrolíticos

Inmersión en metal fundido:

- Zinc
- Estaño
- Plomo
- Aluminio

Metalizado por proyección:

- Flame spray
- Plasma spray

Electroless níquel

- Electroless cobre
- Electroless oro
- Plaqueado
- Procesos de deposición por vapores metálicos

5.1- MODIFICACIÓN QUÍMICA DE LA SUPERFICIE (RECUBRIMIENTOS DE CONVERSIÓN)

5.1.1- Fosfatado

El fosfatado es un tratamiento de conversión de la superficie del metal en que ésta reacciona químicamente con una solución diluida de ácido fosfórico convirtiéndose en una capa protectora de fosfato cristalino insoluble de color entre gris y negro que actúa por efecto barrera y proporciona una buena base para el posterior pintado. Los espesores de capa pueden variar entre 3 y 50 μm .

Tres tipos distintos de fosfatos pueden aplicarse a saber:

- Fosfato de zinc; Proporciona una capa ligera, se denomina tipo I en la especificación MIL-C-490A.
- Fosfato de hierro; Proporciona una capa ligera, se denomina tipo II en la especificación MIL-C-490A.
- Fosfato de manganeso; Proporciona una capa pesada, existen varios tipos y clases especificados en la especificación MIL-P-16232D en función de espesores y tratamientos suplementarios, pueden soportar temperaturas hasta 120 °C. Además de las características anteriores proporciona resistencia al desgaste.

Se puede aplicar sobre hierro, acero, acero galvanizado y aluminio, siendo las aleaciones ferrosas en las que se realiza con preferencia, pueden aplicarse por inmersión o rociado en spray.

Nota: la referencia a especificaciones aquí y en los sucesivos se hacen a normas militares y federales americanas.

5.1.2- Pavonado

El pavonado consiste en la creación sobre la superficie de piezas ferrosas una capa de óxido de color negro, principalmente con funciones decorativas, ya que solo proporciona una protección moderada contra la corrosión en ambientes no muy agresivos.

Se aplica por inmersión en sales fundidas oxidantes, a temperaturas entre 250 y 620 °C o en sales alcalinas oxidantes disueltas en solución acuosa a temperatura de ebullición, siendo en las primeras en las que se consigue una capa más resistente.

Se utiliza para piezas móviles en las que no se toleran cambios dimensionales y con una cierta resistencia a la corrosión mejorada por la adición de aceite protector.

La especificación MIL-C-13924B cubre las características de este tratamiento con 3 clases de variantes definidas en ella.

5.1.3- Anodizado

El anodizado consiste en la formación superficial del aluminio, magnesio y sus aleaciones de un compuesto metálico generalmente un óxido, mediante un tratamiento electrolítico en el que se mantiene la pieza como ánodo.

Los objetivos alcanzados con el anodizado son:

- Aumentar la resistencia a la corrosión; al ser el óxido de aluminio resistente a la corrosión y ataque de agua salada, actuando como barrera.
- Mejorar la adherencia de la pintura.
- Permite la aplicación de otro tipo de baños electrolíticos.
- Sirve como decorativo.
- Proporciona aislamiento eléctrico.
- Permite la aplicación de emulsiones fotográficas y litográficas.
- Incrementa la emisividad, si se anodiza en negro absorbe calor.
- Incrementa la resistencia a la abrasión.
- Facilita la detección de grietas

Las características enunciadas y la gran cantidad de piezas que son fabricadas con aleaciones ligeras en la industria aeronáutica, hace que sea este uno de los procedimientos más empleados en esta actividad.

Existen tres variantes de anodizado:

- **Crómico;** En él, el agente activo es el ácido crómico, es aplicable a cualquier aleación de aluminio que no contenga por encima del 5% de cobre o el 7,5% en total de elementos de aleación y cuando la forma de la pieza pueda dar lugar a atrapamiento de la solución en agujeros o partes huecas. También cuando la pérdida de resistencia a la fatiga es importante.

Los espesores de capa que se obtienen están entre 0,012 y 0,035 mm. con colores que varían entre el gris y el gris oscuro dependiendo de la aleación y con excelente resistencia a la corrosión (240 horas en niebla salina al 20%).

La especificación MIL-A-8625C establece los requerimientos aplicables.

- **Sulfúrico;** En él, el agente activo es el ácido sulfúrico, es aplicable a cualquier aleación de aluminio con la limitación de piezas en las que pueda quedar atrapado en su interior.

El espesor de la capa se especifica entre 0,005 y 0,01 mm. con colores que dependen de la aleación, no presentando cambios cuando los elementos de aleación son bajos.

Puede tintarse para conseguir prácticamente cualquier color (negro, rojo, azul, etc.) excelente resistencia a la corrosión (240 horas en niebla salina al 20%).

La especificación MIL-A-8625C establece los requerimientos aplicables.

- **Duro;** En él, los agentes activos son los ácidos sulfúrico y oxálico, la principal diferencia con el anterior está en la temperatura y la densidad de corriente empleada en el baño, con lo que se consiguen capas mucho más gruesas en la misma unidad de tiempo. Es el procedimiento en el que se alcanza la plenitud de las propiedades comentadas anteriormente.

Se aplica sobre la mayor parte de las aleaciones de aluminio con espesores entre 0,005 y 0,01 mm., para valores mayores tiende a romperse en las aristas (ha de hacerse notar que el espesor de la capa se produce tanto hacia adentro como hacia afuera, produciendo por tanto un cambio dimensional).

Sus aplicaciones típicas son, en cilindros hidráulicos, levas, superficies sometidas a desgaste, aislamiento eléctrico, etc.

La resistencia a la corrosión se aumenta sellando con una solución al 5% de dicromato.

La especificación MIL-A-8625C en tipo III considerado el normal, establece los requerimientos aplicables.

5.1.4- Cromatizado

El tratamiento de conversión de la superficie denominado cromatizado, es el resultado que se produce en la superficie del metal por el ataque que le produce una solución acuosa de ácido crómico o sales de cromato de sodio potasio al sumergirlo en ellas, con el resultado de la disolución de una parte del metal y la formación de una capa protectora que contiene compuestos de cromo.

Existen dos tipos:

- a) los que completan el proceso por ellos mismos creando la capa suficiente de cromato.
- b) los que se emplean para sellar otras capas de óxido, fosfato u otro tipo de recubrimiento no metálico.

Una gran variedad de metales y recubrimientos metálicos incluyendo zinc, cadmio, magnesio y aluminio pueden ser sometidos a este tratamiento.

La mayor parte de los tratamientos de conversión son solubles de forma muy lenta en agua, por lo que proporcionan una protección limitada en este medio, siendo beneficiosos en atmósferas marinas o con humedades altas por la tendencia a retardar la formación de productos de corrosión en el zinc y cadmio cuando están sometidos a la intemperie por largo tiempo.

Se pueden utilizar tanto para aplicaciones funcionales como decorativas por poder realizarse en gran variedad de colores, desde muy brillantes sobre zinc y cadmio al color oliva utilizado en aplicaciones militares.

5.1.5- Películas químicas (Alodine)

Son aplicaciones de cromatizado utilizadas en la industria aeronáutica para piezas de aluminio en las que se pretende obtener una buena base para la pintura, resistencia a la corrosión y conductividad.

Se utiliza también para retoques en aquellas piezas en que por cualquier razón se ha roto el anodizado. Su resistencia a la abrasión es débil.

El color varía desde marrón al dorado iridiscente. El proceso incluye el Alodine 1200 (cromato amarillo), Alodine 1000 (cromato claro), Iridite (cromato amarillo) etc. No produce cambios dimensionales y la resistencia a la corrosión es excelente, en piezas sin pintar se alcanzan 168 en cámaras de niebla salina y piezas pintadas con una capa de imprimación de cromato de zinc y dos capas de laca aguantan hasta 500 horas con concentración de sal del 20%.

La especificación MIL-C-5541A recoge y especifica las características del procedimiento

5.1.6- Dow

Las denominaciones Dow corresponden a tratamientos de conversión con cromatos para aplicar sobre magnesio utilizados en la industria aeronáutica con distintas intensidades, estas denominaciones se encuentran definidas en la especificación MIL-M-3171B.

Dow 1; (Tipo I en la especificación). se emplea para protección durante las operaciones de almacenamiento, mecanizado, expedición y como base para pintura. Ataca a la superficie eliminando un espesor de alrededor de 0,015 mm. produciendo una coloración que varía entre gris mate y amarillo rojizo. La resistencia a la corrosión es débil, menos de 24 horas en niebla salina al 20%.

Dow 7; (Tipo III en la especificación) proporciona una buena base para el pintado y protección contra la corrosión, tiene limitaciones sobre algunas aleaciones. No produce cambios dimensionales, la capa toma colores entre marrón claro a oscuro o gris dependiendo de la aleación. La resistencia al corrosión es similar a la anterior.

Dow 9; (Tipo IV en la especificación), es un anodizado galvánico para el magnesio válido para todas las aleaciones incluidas aquellas en las que el Dow 7 no se puede emplear, se utiliza como base para la pintura donde las tolerancias son estrechas ya que no produce cambios dimensionales. El color varía entre marrón oscuro y negro siendo muy apto para componentes de equipo óptico. La resistencia a la corrosión es como los anteriores.

6- RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS

6.1- Cobreado

El cobreado se emplea tanto para aplicaciones funcionales como decorativas, entre las primeras se encuentran:

- En piezas cementadas o nitruradas proteger las zonas exentas de este tratamiento.
- Apantallado para soldadura de latón.
- Transferir el calor de la pieza.
- Base para baños posteriores de níquel.
- Facilitar soldadura con estaño.
- Protección como barrera contra la corrosión.
- Recrecimiento de piezas desgastadas.

Como decoración y mediante pulido alcanza un color rojizo brillante, que en contacto con la atmósfera se patina rápidamente por lo que es necesario protegerlo con barnices transparentes.

La especificación MIL-C-14550 define los tipos posibles y los espesores que pueden variar de 0,0025 a 0,025 salvo indicación contraria para recrecimientos.

6.2- Cromado

El cromado como recubrimiento electrolítico se realiza en dos variantes dependiendo de la aplicación pudiéndose distinguir entre el cromado duro o industrial y el decorativo.

- **Cromado duro;** Se utiliza cuando se necesita conferir a la superficie de las piezas dureza (68 a 74 Rc) y resistencia al desgaste y de moderada a débil a la corrosión. Confiere un coeficiente de rozamiento muy bajo que unido a su resistencia a la abrasión tanto seca o con aceite lo hace especialmente útil en todas aquellas piezas sometidas a deslizamiento con

- fuertes cargas y en ambientes agresivos como por ejemplo: ejes, cojinetes, trenes de aterrizaje, cilindros hidráulicos, pistones, calibres, moldes, etc. También se utiliza en recrecimiento de piezas desgastadas siempre que el coste lo compense.

Como precauciones en su empleo deben tenerse en cuenta, una ligera reducción de resistencia al fatiga y ductibilidad, que no debe aplicarse sobre partes cementadas ni sobre aristas vivas; no se deben de rectificar piezas después de cromar con resistencia superior a 142 kg/mm^2 ; En piezas cilíndricas con cambios de diámetro es necesario especificar como exentas de cromado las salidas de herramientas.

Se aplica directamente sobre el material base, y el acabado de rugosidad conseguido es similar al conseguido en el proceso previo.

Debido a la generación de hidrógeno durante e proceso electrolítico, es muy importante en aceros con durezas superiores a 40 Rc someter a las piezas antes del baño a un tratamiento térmico durante 3 horas y $190 \text{ }^\circ\text{C}$ mas menos $5 \text{ }^\circ\text{C}$, para alivio de tensiones, y otro inmediatamente después para la eliminación del hidrógeno absorbido durante el proceso y causante de fragilidad.

Cuando se requiere incrementar la resistencia a la corrosión se emplea es denominado flash de cromo de alta densidad que al microscopio no presenta grietas ni poros, característicos del anterior.

La especificación QQ-C-320A define los tipos y clases que determinan los espesores que pueden ir de 0,0025 a 0,5 mm.

- **Cromado decorativo;** Proporciona una capa brillante de gran reflexión resistente al deslucimiento, aplicable a gran cantidad de productos tanto industriales como domésticos. La resistencia a la corrosión siempre y cuando no se rompa la capa.

Normalmente se da sobre capas de cobre o níquel con espesores no mayores de 0,0015 mm. En la misma especificación del duro se definen sus características.

6.3- Niquelado

Existen aplicaciones de acabados de níquel prácticamente para la mayor parte de necesidades. Puede ser blando o duro, brillante o mate dependiendo del proceso y las condiciones del baño. La dureza puede estar entre 150 y 500 Vickers. En color puede ser parecido al acero inoxidable o alcanzar un gris brillante o mate.

Proporciona: resistencia al desgaste para cargas ligeras y medias; buena prevención de la corrosión por si mismo o bajo capas de cromo; su coeficiente de dilatación es bajo, es magnético.

Como limitaciones deben de tenerse en cuenta no aplicar sobre aceros con resistencias por encima de 140 kg/mm^2 , ni en piezas expuestas a temperaturas por encima de $480 \text{ }^\circ\text{C}$.

Al igual que en el cromado las piezas con dureza superior a 40 Rc necesitan ser sometidas inmediatamente después del baño a un tratamiento térmico durante 3 horas a $190 \text{ }^\circ\text{C}$ mas menos $5 \text{ }^\circ\text{C}$ para eliminación del hidrógeno causante de fragilidad.

Para aplicaciones decorativas se puede aplicar sobre: acero con espesores de 0,01 a 0,05, sobre base de cobre de 0,002 a 0,01, sobre base de zinc de 0,01 a 0,03.

En aplicaciones de ingeniería para la recuperación de piezas desgastadas, con requerimientos de dureza y resistencia a la corrosión, los espesores se aplican según necesidad.

La especificación que define características y tipos es la QQ-N-290.

Para aplicaciones aeronáuticas y en la especificación AMS-2416-D se define el proceso de Níquel-cadmio difuso para prevenir la corrosión de piezas de acero de baja aleación que deban trabajar por encima de 482 °C durante largo tiempo. Los espesores de capa van de 0,002 a 0,01 mm.

6.4- Cadmiado

El cadmiado es un tratamiento para la protección contra la corrosión del hierro, acero, fundición de hierro y aleaciones de cobre, es de gran eficacia por el hecho de ser el cadmio más electronegativo que el hierro de forma que si se produce rotura de capa, el deterioro es a cuenta del cadmio. Sobre acero inoxidable se obtienen resultados excelentes para prevenir la corrosión galvánica cuando está en contacto con piezas de aluminio. No tiene efectos sobre la resistencia a la fatiga.

Como limitaciones deben tenerse en cuenta:

- No aplicar donde la temperatura pueda exceder 230 °C.
- En piezas deslizantes o con roscas móviles que estén en contacto con combustible, fluidos hidráulicos, grasas, aceites.
- En piezas en contacto con otras de titanio.
- La toxicidad del cadmio y los productos utilizados en el proceso.

La capa es de color blanco plateado con espesores entre 0,05 y 0,13 mm. Se puede aplicar sólo o con tratamientos suplementarios de cromato o fosfato, la mejor resistencia a la corrosión se obtiene con cromato (96 horas en niebla salina al 20%).

Para pintado posterior se utiliza con tratamiento de fosfato.

En aceros con durezas superiores a 40 Rc y para evitar la fragilización, es necesario someter a las piezas antes del baño a un tratamiento térmico durante 3 horas y 190 °C más o menos 5 °C, para alivio de tensiones, y otro inmediatamente después del baño para eliminar el hidrógeno absorbido en el proceso.

La especificación QQ-P-416B, define tipos, y clases con sus características.

6.5- Zincado

La aplicación de recubrimientos de zinc proporciona características similares y por los mismos motivos, que el cadmiado presentando sobre éste la ventaja de resultar más económico. En ambientes marinos, su comportamiento es peor que el cadmiado.

La capa de zinc se aplica directamente sobre el metal base con color que puede ser brillante (parecida al cromo) o mate, si bien la duración de la primera es corta, tornándose en exposiciones a la intemperie en gris pardusco.

Los espesores varían entre 0,007 y 0,015 mm., admitiendo la aplicación directa o con tratamientos de cromato o fosfato. El primero para retrasar la aparición de la corrosión blanca del zinc, y el segundo como base para pintura.

En aceros con durezas superiores a 40 Rc y para evitar la fragilización, es necesario someter a las piezas antes del baño a un tratamiento térmico durante 3 horas y 190 °C más o menos 5 °C, para alivio de tensiones, y otro inmediatamente después del baño para eliminar el hidrógeno absorbido en el proceso, especial atención en este aspecto debe tenerse con muelles.

6.6- Estañado

Las propiedades del estaño de bajo punto de fusión, soldabilidad, inalterabilidad, resistencia a la corrosión, ductibilidad, etc. son conferidas a metales tales como el hierro, cobre, níquel, cuando se deposita electrolíticamente sobre ellos. Por estas razones es empleado en las industrias: electrónica, transporte, agrícola, alimenticia, construcción.

Aplicado sobre chapas de acero de muy poco espesor recibe la denominación de hojalata, empleada en la fabricación de latas y contenedores para conservas alimenticias. No utilizable con temperaturas por debajo de -40 °C por la pérdida de adhesión debido a los cambios estructurales que sufre.

Aplicaciones concretas son: facilitar la soldadura, prevenir el gripado, enmascarar en procesos de nitrurizado aquellas zonas exentas de ese tratamiento.

La capa es de color gris-blanco muy brillante cuando se funde, los espesores recomendados son de 0,001 a 0,25 mm.

La especificación MIL-T-10727A define las diferencias entre recubrimientos electrolíticos y por inmersión con sus requerimientos.

6.7- Plomeado

Sus aplicaciones principales sobre acero y cobre, son como protección contra la corrosión producida por líquidos como disoluciones de ácido sulfúrico o atmósferas sulfurosas en tanques refrigerantes, quemadores de gas, baterías, en cojinetes por su bajo coeficiente de rozamiento, etc. El bajo punto de fusión hace que se emplee con preferencia el procedimiento de recubrimiento por inmersión en caliente del electrolítico.

El color de capa es gris con espesores recomendables de 0,01 a 0,025 mm.

6.8- Plateado

Se realiza para aplicaciones decorativas y funcionales sobre todo en electricidad y electrónica.

Proporciona buena resistencia al corrosión, la dureza varía entre 90 y 135 Brinnel, dependiendo del proceso. La soldabilidad es excelente decreciendo con el paso del tiempo. Proporciona una conductibilidad eléctrica inmejorable por lo que se emplea en contactores. El bajo coeficiente de rozamiento y características antigripantes hace que sea de gran aplicación el juntas estáticas, cojinetes, placas de fricción en bombas de pistones, bombas de keroseno, motores de turbinas de gas.

Como limitaciones debe de tenerse en cuenta: no utilizar en contacto con piezas de titanio; no emplear en atmósferas oxidantes a temperaturas por encima de 425 °C.

La capa varía de color blanco mate a muy brillante aunque tiene tendencia a adquirir una patina mate que es retrasada con post tratamiento de cromato. Los espesores recomendados varían entre 0,0015 y 0,005 mm.

La especificación QQ-S-365A define tipos, grados y características.

6.9- Dorado

El dorado se emplea fundamentalmente en aplicaciones decorativas aunque también se utiliza con propósitos tecnológicos principalmente en la industria electrónica, en contactos, conectores, guías de ondas, circuitos impresos...

Su utilización es debida a la resistencia a la corrosión, brillo y conductividad eléctrica, el alto precio condiciona el empleo a condiciones en que otros procedimientos no son válidos.

El color varía del amarillo al naranja y los espesores de 0,001 a .0,04 mm.

La especificación MIL-G-45204 define tipos, grados y características.

6.10- Recubrimientos selectivos (Brush plating)

Todos los procedimientos anteriores se realizan por inmersión en tanques que contienen el electrólito. Para retoques o aplicación sobre determinadas zonas en piezas muy grandes y para prácticamente todos los recubrimientos anteriores existe el procedimiento denominado selectivo o a brocha en el que el electrólito llega a la pieza (cátodo) a través de un ánodo mantenido a mano y que incorpora los elementos absorbentes necesarios. La corriente eléctrica es proporcionada por una fuente de alimentación portátil.

Este procedimiento también se puede emplear para: electrodecapado, anodizado, fresado químico y electropulido.

Las recubrimientos obtenidos presentan una buena adhesión, y las limitaciones en comparación con los procedimientos anteriores es la dificultad de aplicación sobre grandes superficies y dificultad en el control de la uniformidad de la capa.

7- PROCESOS DE DEPOSICIÓN NO ELECTROLITICOS

Se incluyen en este capítulo procesos de recubrimientos que no utilizan procedimientos electrolíticos, y que por tanto no utilizan corriente eléctrica incluyendo los denominados electroless conseguidos por un proceso químico y los de plaquado realizados por medios mecánicos.

7.1- Inmersión en metal fundido

Los procedimientos de protección de superficies son los conocidos como inmersión en caliente, consisten en la inmersión de la pieza a proteger en un baño fundido del metal protector, que debe tener como características: un punto de fusión relativamente bajo, precio barato con una pureza determinada, capacidad para alearse en cierta medida con el que ha de proteger. Los materiales de mayor uso son zinc, estaño, plomo y aluminio

7.1.1- Galvanizado

El recubrimiento de hierro y acero por inmersión en caliente en zinc o compuestos de zinc se conoce como galvanización, el procedimiento puede realizarse para grandes producciones con la utilización de sistemas de manipulación automáticos.

El objetivo fundamental de este procedimiento es el de protección de la corrosión de piezas de hierro y acero y se aplica sobre chapas para cubiertas y elementos estructurales expuestos a la

intemperie, componentes de automóviles, tubos para conducción de agua, depósitos, tornillos, clavos, etc.

El proceso de protección lo realiza por la acción electrolítica sobre el hierro, en atmósferas ácidas la duración se ve reducida si bien sigue resultando el método más eficaz y económico.

7.1.2- Estañado

El recubrimiento del hierro y el acero con estaño por inmersión en caliente tiene por objetivo alguna de las tres siguientes:

- Creación de una capa no tóxica, protectora y decorativa en piezas dedicadas a conservado y empaquetado de alimentos.
- Facilitar la soldabilidad en componentes empleados en la industria eléctrica y electrónica.
- Facilitar la adhesión de otro metal tal como el plomo, al base.

Los espesores habitualmente realizados van de 0,007 a 0,04 mm.

7.1.3- Plomeado

El recubrimiento del hierro y el acero con aleaciones de plomo con contenidos del 2 al 10 % de estaño por inmersión en caliente requiere una preparación cuidadosa del acero y control de a temperatura y tiempo de inmersión.

Se utiliza únicamente para prevenir la corrosión atmosférica con una cierta resistencia a la abrasión, compitiendo con el galvanizado. Se aplica en elementos de fijación como tornillos, arandelas, tuercas, ganchos, tanques de combustible, equipo agrícola y militar, etc.

Los espesores habitualmente realizados van de 0,005 a 0,015 mm.

7.1.4- Aluminización

El recubrimiento del hierro y acero por inmersión en caliente en aluminio se conoce como aluminización.

Se aplica para conseguir buena resistencia a la corrosión a la intemperie en ambientes industriales, apariencia brillante, alta reflectividad, conductividad eléctrica, resistencia a la formación de cascarilla, piezas de buenas características mecánicas con las propiedades superficiales del aluminio, resistencia a altas temperaturas en piezas empleadas en automóviles y aviones tales como válvulas de escape.

7.2- Metalizado por proyección

Son procedimientos basados en la pulverización de metales, cerámicas, y algunos polímeros, en forma de polvo alambre o varilla a temperatura de fundición o semifundición y depositados sobre un sustrato de forma que crea sobre el una capa de metal fuertemente adherida, existen los procedimientos de: flame spray y plasma spray. Los espesores de capa obtenidos pueden llegar a ser de 20 mm.

7.2.1- Spray con llama (Flame spray)

En ese procedimiento el material a depositar en forma de alambre, varilla o polvo, es dirigido a través de una pistola, en cuya salida se funde por el calor producido por la combustión de oxígeno y acetileno y pulverizado por medio de una corriente de aire u otro gas a presión que también lo proyecta sobre la pieza a cubrir.

Las propiedades físicas del material proyectado son bastantes diferentes del original ya que la estructura no es homogénea, resultando porosa con aspecto parecido al de piezas sinterizadas, la adhesión es producida por un proceso de pegado mecánico y metalúrgico, la resistencia a la tracción puede ser relativamente alta en metales de bajo punto de fusión, pero la ductilidad es baja.

La forma de las piezas ha de conseguirse antes de metalizar, y su tamaño puede ser cualquiera (desde piezas de barcos a simples ejes) el trabajo puede realizarse in situ. Piezas de revolución se metalizan fácilmente en un torno colocando la pistola en el carro y ajustando la velocidad y avance.

El procedimiento se utiliza para recuperación de piezas desgastadas, como ejes, rodillos, alojamientos de rodamientos, etc. construidos prácticamente de cualquier metal.

Existen pistolas especiales que permiten que el material de metalizado sea suministrado en polvo en vez de varilla, en cuyo caso es necesario calentar la superficie de la pieza para fundir el depósito

7.2.2- Plasma spray

El plasma spray es un procedimiento similar al anterior en el que el calentamiento del material de metalizado en este caso en polvo, se realiza al hacer pasar una corriente de gas, generalmente argón, aunque ocasionalmente pueda incluir nitrógeno, hidrógeno y helio por un arco eléctrico formado en la pistola, por un cátodo de tungsteno y un ánodo de cobre refrigerado con agua. El arco ioniza el gas, que se transforma en plasma a alta presión, obteniéndose de esta forma un incremento de temperatura que puede exceder de los 30000 °C. como consecuencia el incremento de volumen del gas, produce al salir por la tobera de la pistola una velocidad de la corriente que puede llegar a ser supersónica.

La ausencia de oxígeno, acetileno y los productos de combustión de la corriente de proyección hace que el material llegue de forma mas homogénea que en el caso anterior, también la adherencia es superior.

Los aplicaciones y procedimientos de trabajo, también son similares al flame spray. En ambos casos se debe poner especial cuidado en los procesos de acabado por mecanizado generalmente por rectificado, pulido y lapeado, de las superficies metalizadas.

7.3- Electroless níquel

Es un método de recubrimiento por una capa de níquel de gran uniformidad de metales, preferentemente hierro, acero y aluminio, pudiéndose también aplicar sobre plásticos y no metales; se consigue por la deposición de iones de níquel en un proceso químico autocatalítico mediante hipofosfitos, lo que permite depósitos en cavidades.

La capa obtenida tiene como propiedades una excelente resistencia a la corrosión y al desgaste, la dureza normal alcanza entre 46 y 50 Rc y mediante un tratamiento térmico a 370 °C puede llegar a estar entre 62 y 67 Rc; sobre aluminio favorece su soldabilidad. En moldes y matrices se utiliza para

facilitar la lubricación y el desmoldeo ya que confiere un coeficiente de rozamiento muy bajo. Todas estas características han hecho que el procedimiento se utilice prácticamente en todas las ramas de la industria habiendo alcanzado su mayor penetración en la aeroespacial.

Sobre aceros con durezas superiores a 40 Rc, es necesario realizar después de su aplicación un tratamiento térmico para reducir la fragilidad de 200 °C más o menos 5 °C durante tres horas.

El color de la capa es similar al del acero inoxidable y los espesores conseguidos varían entre 0,01 y 0,025 mm.

La especificación MIL-C-26074A define clases espesores y procedimientos aplicables

Los procesos electroless para cobre y oro son similares, no haciéndose aquí mayores comentarios por no ser de tanta utilización como el níquel

7.4- Plaqueado

Puede definirse el proceso de plaqueado como el revestimiento de un metal o aleación con otro que le proporcione unas características de aspecto o protección distintas de las que posee. El revestimiento se realiza por una operación de tipo mecánico en la que las dos superficies se enlazan en su totalidad por diversos procedimientos, soldadura, fusión, etc., seguido de un laminado.

La unión se realiza por difusión mutua y es muy fuerte, lógicamente es aplicable a aquellos materiales que en el proceso de laminado presenten características similares, por ejemplo, aceros al carbono, plaqueados con acero inoxidable y aleaciones de aluminio recubiertas de aluminio. Estas últimas son las conocidas como Alclad y se emplean ampliamente en la fabricación de aeronaves.

7.5- Procesos de deposición por vapores metálicos

Los procesos de deposición de vapores metálicos, se basan en la evaporación del metal en cámaras de vacío previo calentamiento y condensado sobre la superficie de la pieza a cubrir, estas pueden ser metálicas o plásticas siempre que sean estables en vacío y no retengan gas en su superficie. Si la superficie de la pieza a cubrir está pulida, se obtienen depósitos brillantes, con propiedades eléctricas proporcionales al espesor de la capa.

Los metales empleados para recubrir, con los que el procedimiento resulta más fácil son: aluminio, cobre, plata, cromo, germanio, selenio, oro, cadmio, zinc, níquel y aleaciones de cromo níquel.

Las aplicaciones pueden ser decorativas o funcionales.

Las decorativas se aplican sobre componentes de automóviles, instrumentos de hogar, trajes, joyería, electrodomésticos, etc.

Las funcionales incluyen piezas reflectantes y antirreflectantes, filtros, instrumentos ópticos, transportes de corriente, dieléctricos, semiconductores, protección de la corrosión en componentes de aviones y misiles.

En aplicaciones aeronáuticas es el aluminio el elemento que se utiliza como recubrimiento con mayor profusión por las siguientes razones:

- Proporciona protección contra la corrosión del acero y del aluminio sin reducir la resistencia a la fatiga.
- Puede utilizarse en elementos de fijación fabricados en titanio y acero inoxidable, para proporcionar compatibilidad con piezas de aluminio, aleaciones de aluminio, o de acero con recubrimientos de aluminio o cadmio.
- Proporciona buena adherencia para pinturas.
- Puede sustituir al anodizado en componentes de aluminio críticos.
- No causa fragilidad por absorción de hidrógeno en piezas de titanio o de acero de alta resistencia.
- Los depósitos se pueden realizar sobre zonas interiores de las piezas de una determinada amplitud por ejemplo agujeros de profundidad igual al diámetro.

Como precauciones debe de tenerse en cuenta que todas las operaciones de conformado incluidos tratamientos térmicos se realizarán antes del proceso de recubrimiento. Las partes que no se requieren cubrir deben de enmascararse.

Los espesores recomendados en función de tipo y clase especificado en la norma MIL-C-83488 varían entre 0,007 y 0,025 mm.

BIBLIOGRAFIA:

Normas UNE

- UNE 37 501 1R Galvanización en caliente, características y métodos de ensayo.
UNE 37 505 1R Recubrimientos galvanizados en caliente sobre tubos de acero. Características y métodos de ensayo.
- UNE 37 507 Recubrimientos galvanizados en caliente de tornillería y otros elementos de fijación.
- UNE 37 508 Recubrimientos galvanizados en caliente de piezas y artículos diversos.
UNE 37 551 Recubrimientos electrolíticos de níquel y cromo
UNE 37 552 Recubrimientos electrolíticos de cinc y cadmio sobre base férrea.
UNE 37 553 Recubrimientos electrolíticos de cinc y cadmio sobre tornillería con rosca métrica de perfil triangular ISO.
- UNE 112 001 Recubrimientos metálicos y otros recubrimientos no orgánicos, definiciones y principios concernientes a la medida del espesor.
- UNE 112 004 94 Corrosión de metales y aleaciones, vocabulario.
UNE 112 024 94 Recubrimientos electrolíticos y operaciones relacionadas. Vocabulario.
UNE 112 030 94 Recubrimientos metálicos. Depósitos electrolíticos de oro y sus aleaciones para usos industriales.
- UNE 112 032 94 Recubrimientos metálicos. Depósitos electrolíticos de níquel.
UNE 112 033 94 Recubrimientos metálicos. Depósitos electrolíticos de níquel mas cromo y de cobre mas níquel mas cromo
- UNE 112 039 94 Recubrimientos electrolíticos de aleación de estaño-níquel. Especificaciones y métodos de ensayo.
- UNE 112 040 94 Recubrimientos electrolíticos de aleación estaño plomo. Especificaciones y métodos de ensayo.
- UNE 112 041 94 Recubrimientos metálicos. Depósitos electrolíticos de estaño. Especificaciones y métodos de ensayo.
- UNE 112 051 94 Capas de conversión fosfatantes sobre metales. Métodos para la especificación de sus características.

Normas MIL

Metal Handbook

American Society for Metals

La limpieza química en la Industria aeronáutica

F. Gómez Fraile; Brent Ibérica S.A.

ANEXO

PINTURA DE AERONAVES

El pintado de aviones se realiza para satisfacer alguno o todos los requerimientos indicados a continuación.

Protección contra la corrosión

- ◆ Protección contra los agentes químicos (combustible, líquidos hidráulicos, líquidos de deshielo, detergentes de limpieza, etc.)
- ◆ Protección contra los agentes físicos que pueden dañar los revestimientos de aluminio (partículas de polvo, granizo).
- ◆ Decoración en caso de aviones civiles y camuflaje en los militares
- ◆ Facilitar operaciones de localización en caso de accidentes.

Como consecuencia de lo anterior a las pinturas se les requieren las siguientes características:

- ◆ Impermeabilidad
- ◆ Resistencia a la erosión, abrasión y pequeños impactos
- ◆ Flexibilidad para soportar los cambios dimensionales del material originados por los cambios de temperatura sin cuartearse
- ◆ Resistencia al medio ambiente: temperatura (variaciones entre -60°C y 180°C), humedad, agua, nieve, granizo.
- ◆ Adherencia a la superficie estructural
- ◆ Duración de las características anteriores

Para cumplir los requerimientos anteriores se aplican distintos productos que combinados proporcionan los efectos deseados, un proceso típico es el señalado a continuación:

- ◆ *Limpieza y desengrase.*
- ◆ *Washprimer:* consiste en la realización de un ataque químico con la aplicación de pintura de la superficie del sustrato generalmente aleaciones ligeras de aluminio, acero o titanio, para facilitar la adherencia de los tratamientos posteriores.
- ◆ *Primer:* pintura base, para la protección contra la corrosión y hongos
- ◆ *Intermediate coat:* capa de pintura para refuerzo de la protección contra la corrosión, por el estableciendo un efecto barrera y facilitar la adherencia de la capa final
- ◆ *Top coat:* capa final de pintura que confiere las cualidades de resistencia exterior y aspecto

Pinturas utilizadas

- ◆ *Epoxy*: son pinturas formadas por resinas que poseen una buena flexibilidad, proporcionan una excelente adherencia, resistencia a la abrasión y a los agentes químicos. Por el contrario proporcionan poca resistencia frente a los ácidos oxidantes y cuando están expuestas directamente a la intemperie se deterioran rápidamente
- ◆ *Acrílica*. Poseen una buena resistencia química, son duraderas y resistentes al calor. Su adherencia no es muy buena por la tendencia a cuartearse y romperse.
- ◆ *Poliuretano*: Son muy flexibles, resistentes a la abrasión y a los agentes químicos.

Pretratamientos de las superficies

Como tratamientos previos de las superficies de las piezas de aleación ligera y con el objeto de mejorar la adherencia de la pintura, retardar la aparición de la corrosión, o como decoración en el supuesto de que no se pinte, se realizan procedimientos de conversión de las superficies mediante la aplicación de con alguno de los productos siguientes bien por inmersión en baño o directamente a brocha: *Alodine 1200*, *Alochrome*, *Bonderite* o *Iridite*

TABLAS